

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

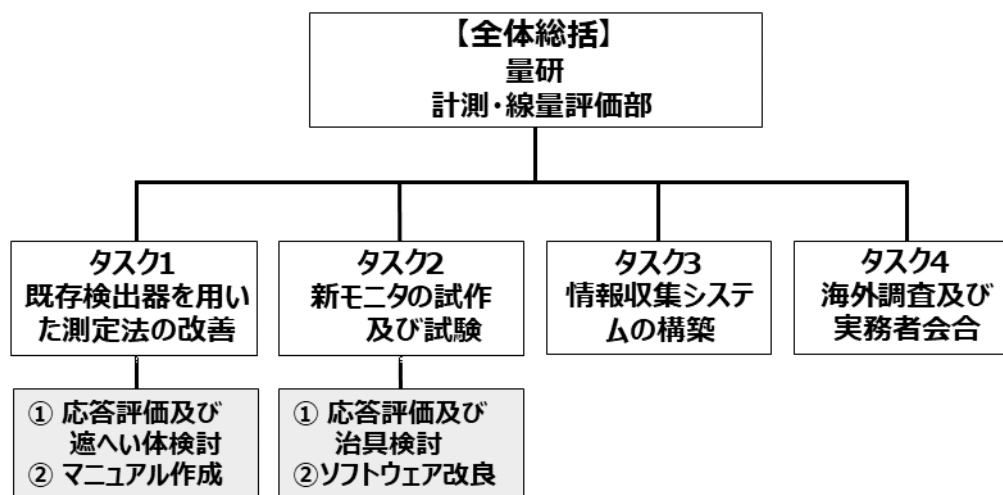
東電福島第一原子力発電所事故（以下、福島原発事故）に伴い周辺環境中に放出された大量の放射性核種により近隣住民が受けた被ばく線量の把握は、放射線による将来の健康影響（確率的影響）の可能性を評価する上で重要であり、これまでも多くの調査報告がなされてきた。しかしながら、放射性ヨウ素を初めとした短寿命核種による事故初期の内部被ばく、特に甲状腺内部被ばくに関しては、その線量推計の基礎となる人の実測データが十分に得られなかったことから、正確な線量の把握を困難にしている。この反省に立ち、今後段階的に進められる原発再稼働に際し、不測の原子力災害時における緊急時対応の一環として、緊急防護措置計画範囲（Urgent 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実行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 ₃ 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、 ¹³⁷ 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¹⁾。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²⁾。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³⁾。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、¹³¹I）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¹³¹Iの実測値としては、Tokonamiら⁴⁾、Matsudaら⁵⁾、Kimら⁶⁾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⁷⁾と比較して相当少ない⁸⁾。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¹³¹I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⁹⁾。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実行でき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。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 (^{131}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。

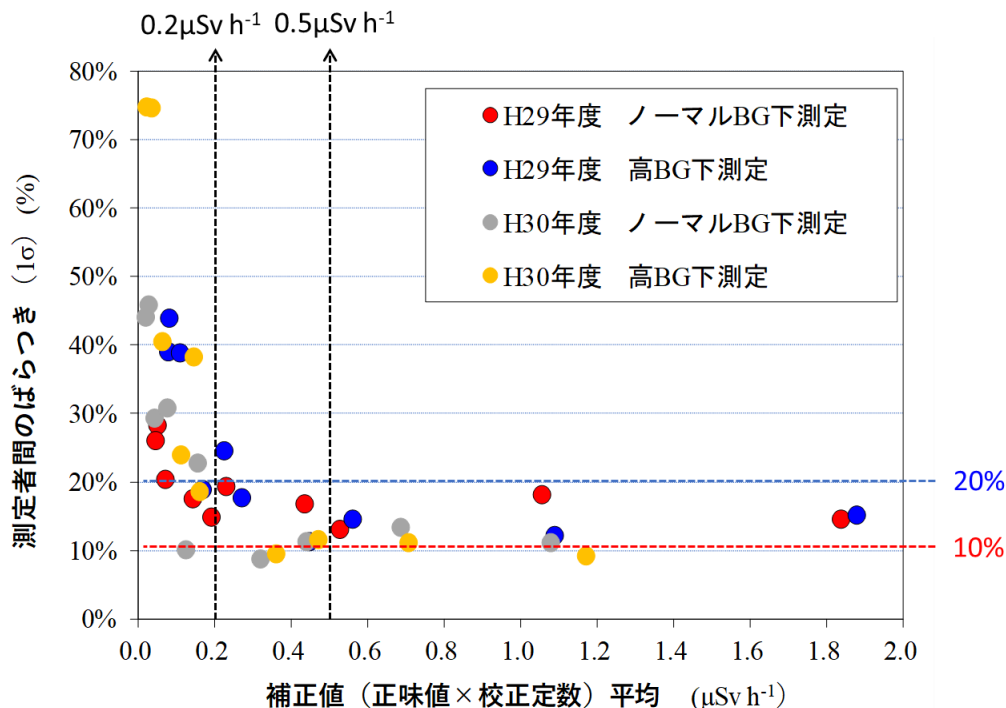


図1 平成29年度及び平成30年度に実施した甲状腺簡易検査実証試験における測定者間の測定データのばらつき

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 CeBr₃ 検出器を比較のため 1 台評価した。
- 1.5 インチ CeBr₃ 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⁸⁾。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⁹⁾。

IRSN ファントムは甲状腺容器内に ¹³¹I 又は ¹³³Ba 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 ¹³¹I, ¹³³Ba 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 は甲状腺容器の峡部中央位置であり、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。

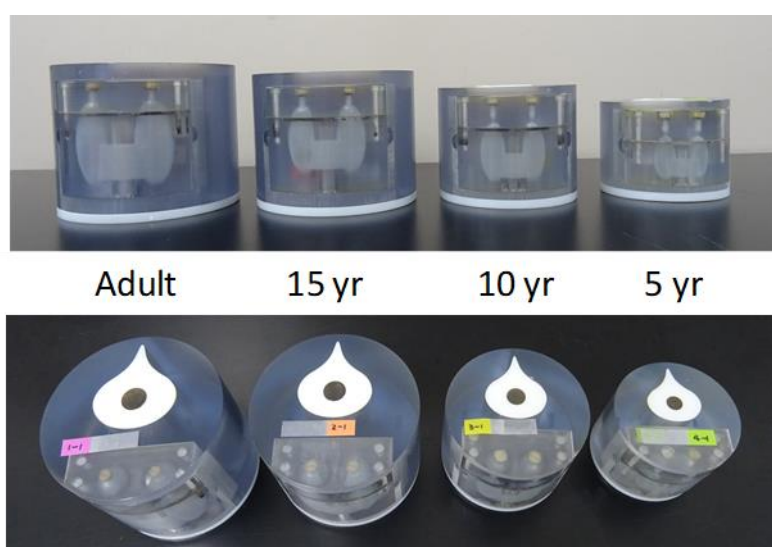


図 2 IRSN ファントム（左から大人、15 歳児、10 歳児、5 歳児）

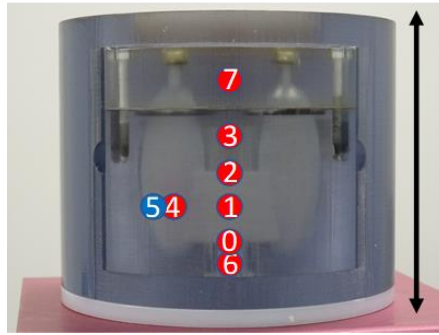


図3 IRSN ファントム測定位置ジオメトリー。図中の番号0～7がg-0～g-7に対応する。

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

	甲状腺容器容積 [cm^3]	甲状腺容器中 ^{133}Ba 放射能[Bq] (2018/07/25時点)	甲状腺容器中 ^{131}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}I)から正味計数率を求め, 測定時の甲状腺容器中 ^{131}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}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}I から放出されるガンマ線の波高分布の例を示す。

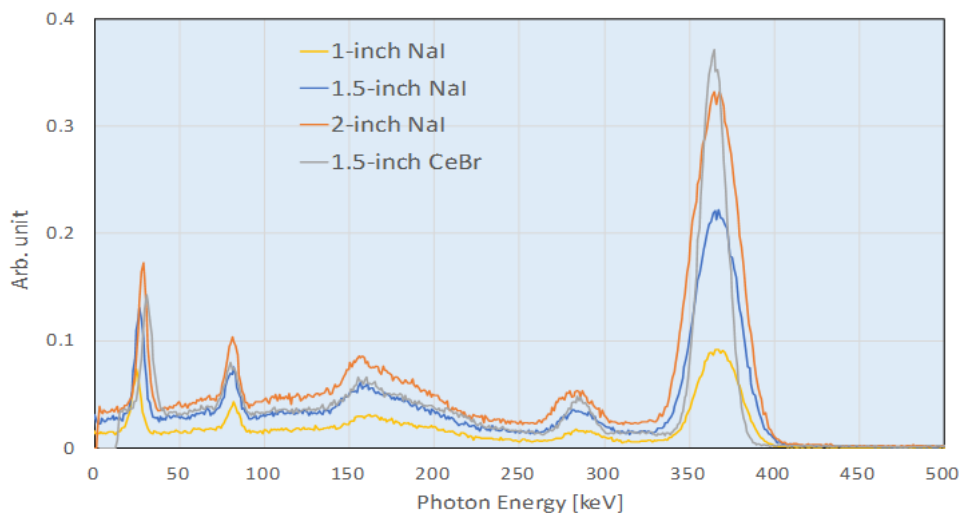


図 5 1-inch NaI, 1.5-inch NaI, 2-inch NaI, 1.5-inch CeBr 検出器で得られた ^{131}I 波高分布

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}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}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 ¹³¹ 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 ¹³¹ 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

¹³³Ba 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¹³³Ba 放射能換算係数の一覧を表6～9に示す。

¹³¹I 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¹³¹I 放射能換算係数 (kBq / (μSv h⁻¹)), 及び計数率－甲状腺中¹³¹I 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¹³³Ba 放射能換算係数 (IRSN ファントム 大人)

D (cm)	¹³³ Ba 放射能換算係数 kBq / (μSv h ⁻¹)						
	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}Ba 放射能換算係数 (IRSN ファントム 15 歳児)

D (cm)	^{133}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}Ba 放射能換算係数 (IRSN ファントム 10 歳児)

D (cm)	^{133}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}Ba 放射能換算係数 (IRSN ファントム 5 歳児)

D (cm)	^{133}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}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}I	0cm	24	21	19	16
	0.5cm	30	27	25	21
		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}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}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}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}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}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}Ba からの線量率及び ^{137}Cs からの線量率を評価・比較した。ここで、 ^{133}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}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}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。

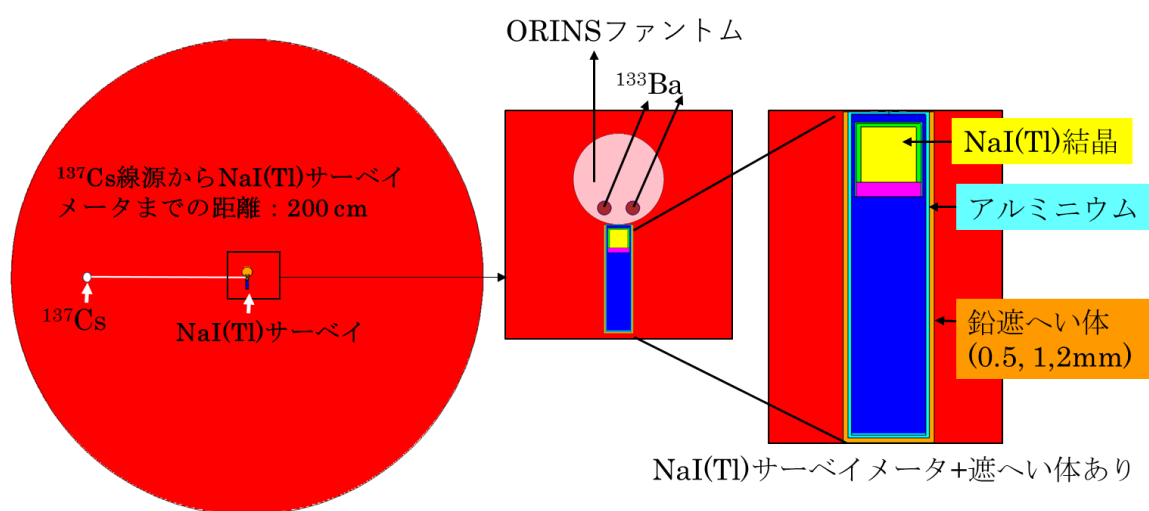


図 6 計算体系

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}Ba (ORINS)	^{137}Cs (BG)	^{133}Ba (ORINS)	^{137}Cs (BG)	^{133}Ba (ORINS)	^{137}Cs (BG)	^{133}Ba (ORINS)	^{137}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¹³⁷Cs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¹³¹I）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¹³¹I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¹³¹I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¹³⁷Cs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30 cm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¹³¹I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、30 cm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}Cs , ^{137}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}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。

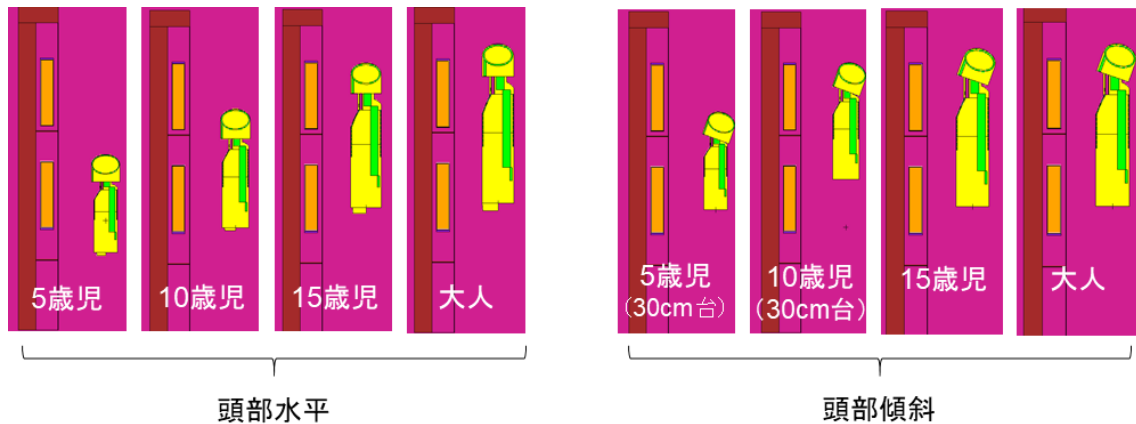


図7 甲状腺中 ^{131}I に対する FASTSCAN 応答評価のためのシミュレーションモデル

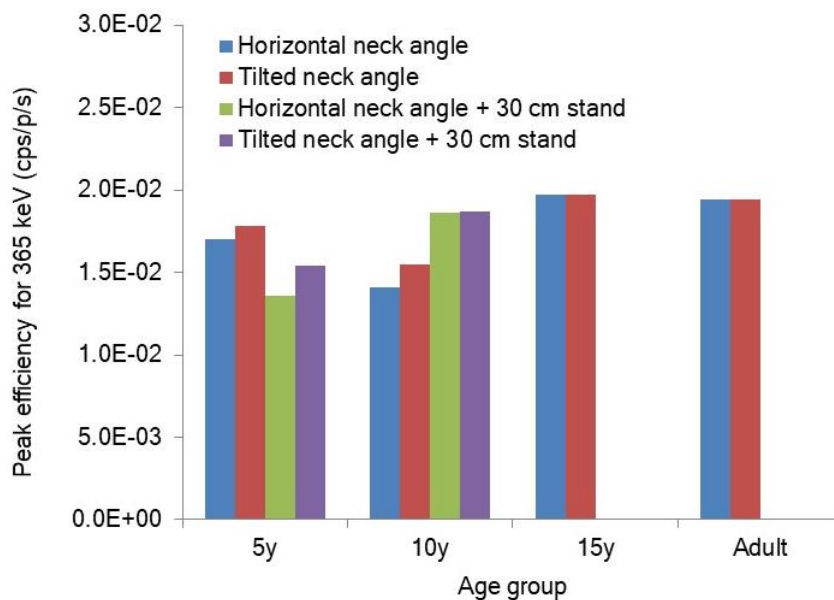


図8 甲状腺中 ^{131}I に対する全吸収ピーク効率 (2 検出器の合計)

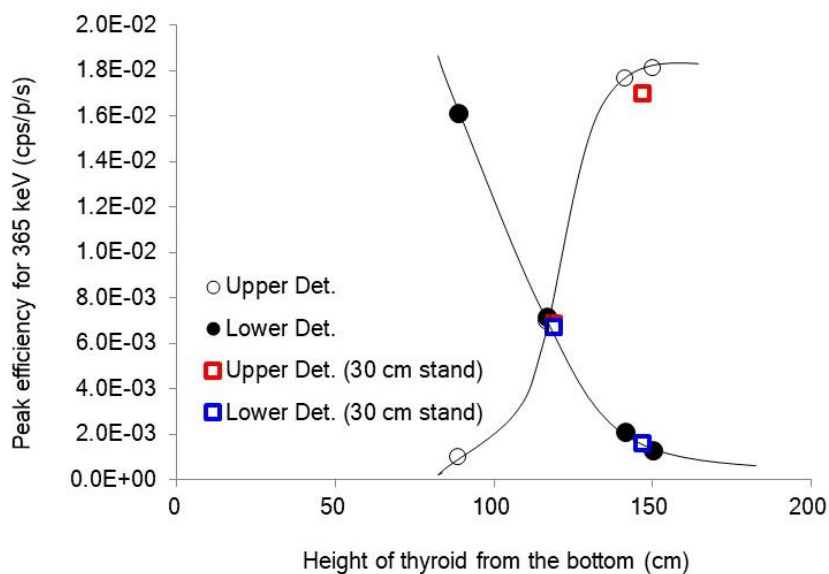


図9 甲状腺中 ^{131}I に対する全吸収ピーク効率 (各検出器)

(○, ● : 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, 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, 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, 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。

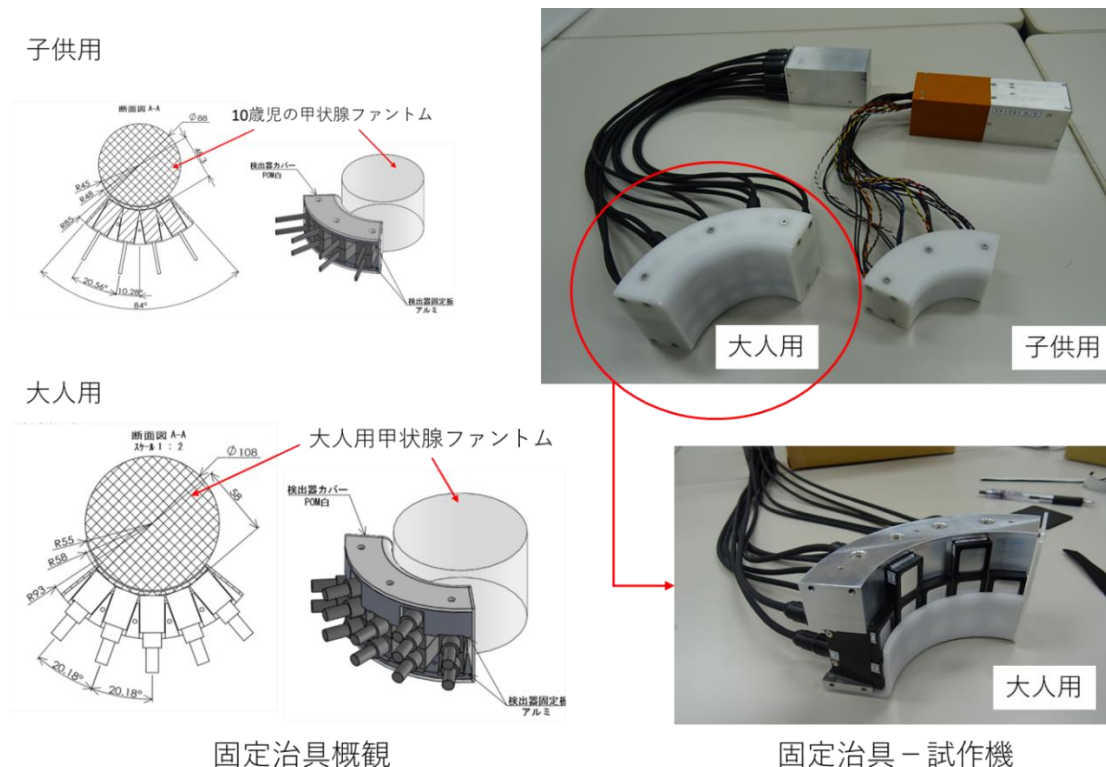
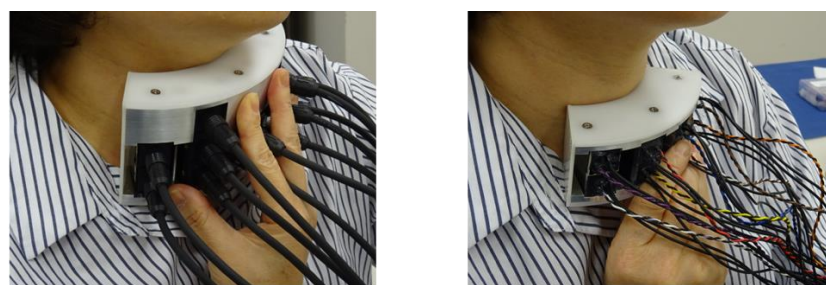


図 11 新モニタ用固定治具の概観図及び試作機



大人用モニタ(GAGG:12台)の測定例 子供用モニタ(GAGG:8台)の測定例

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}Ba 及び ^{137}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}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}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}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}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。

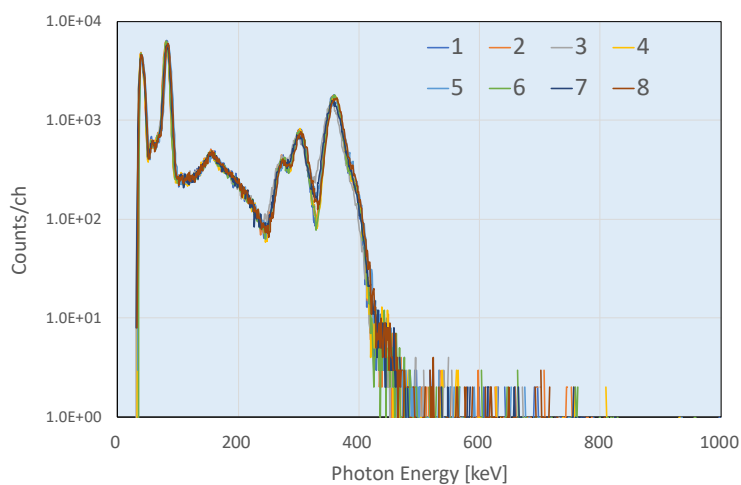


図 13 子供用新モニタ 8 検出素子で測定した ^{133}Ba ポイント線源の波高分布

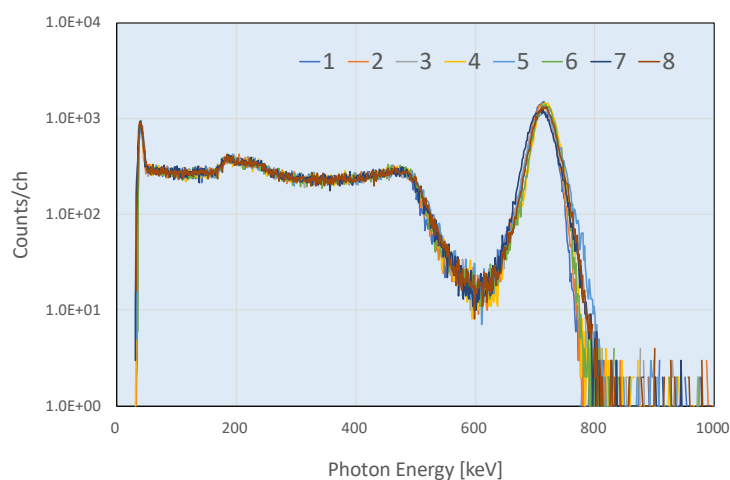


図 14 子供用新モニタ 8 検出素子で測定した ^{137}Cs ポイント線源の波高分布

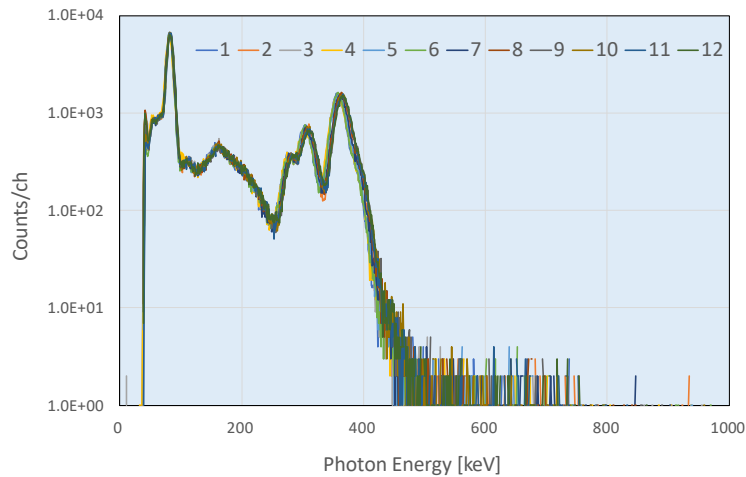


図 15 大人用新モニタ 12 検出素子で測定した ^{133}Ba ポイント線源の波高分布

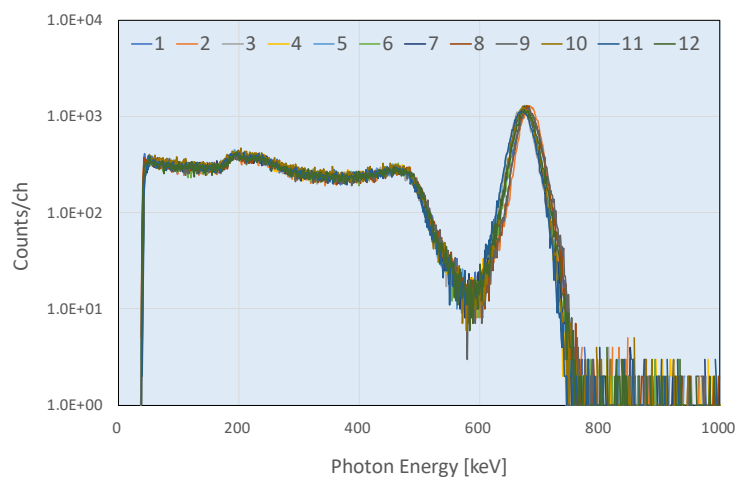


図 16 大人用新モニタ 12 検出素子で測定した ^{137}Cs ポイント線源の波高分布

(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 γ 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)

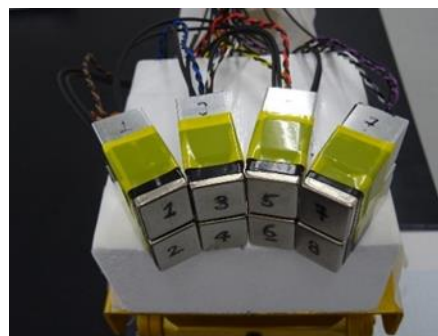


図 18 配置 2 (2×4 密着型)

(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}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}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。

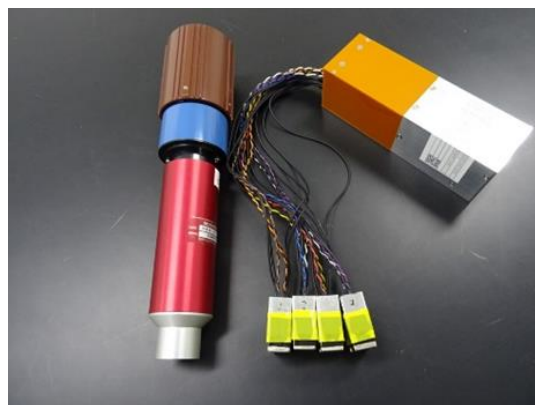


図 19 1-inch NaI 検出器と新モニタ試作機

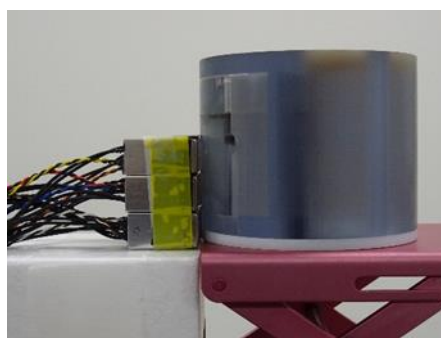
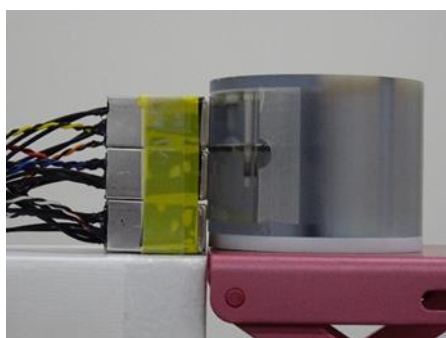


図 20 配置 1 による 5 歳児ファントム (左) 及び大人ファントム (右) 測定の様子

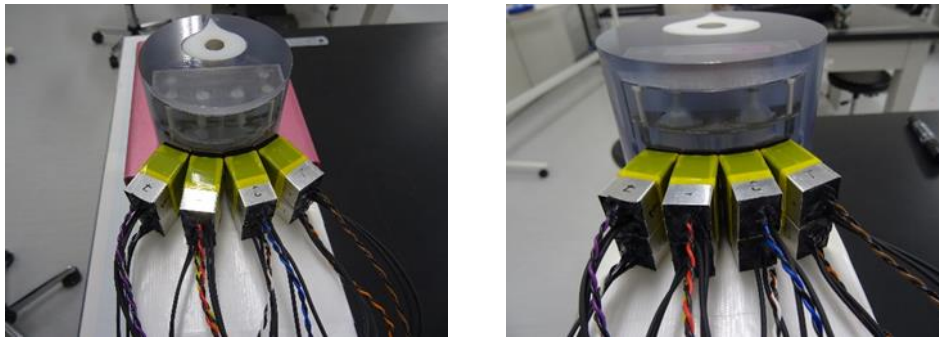


図 21 配置 2 による 5 歳児ファントム (左) 及び大人ファントム (右) 測定の様子

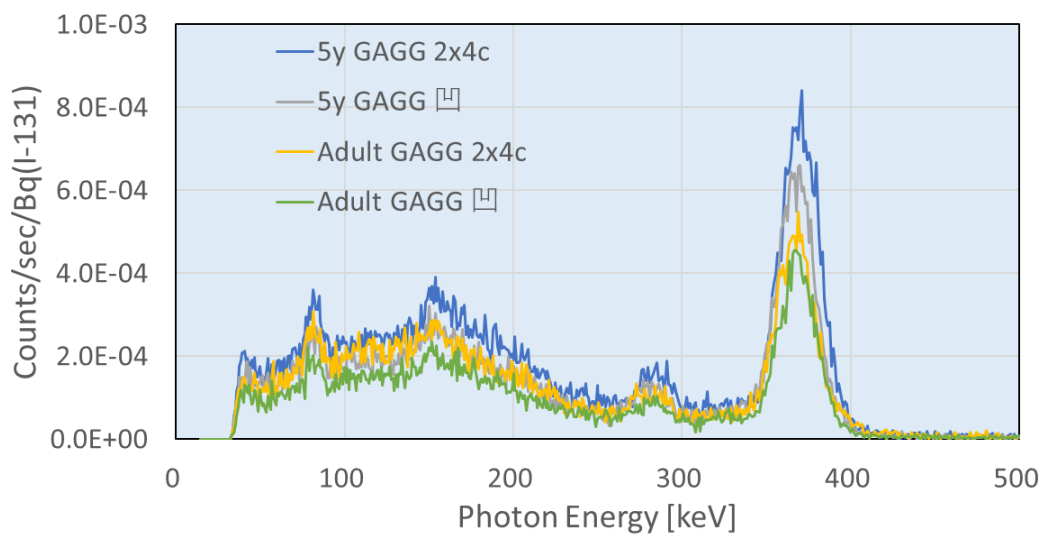


図 22 配置 1 (□) 及び配置 2 (2×4c) で取得した ^{131}I 波高分布の例

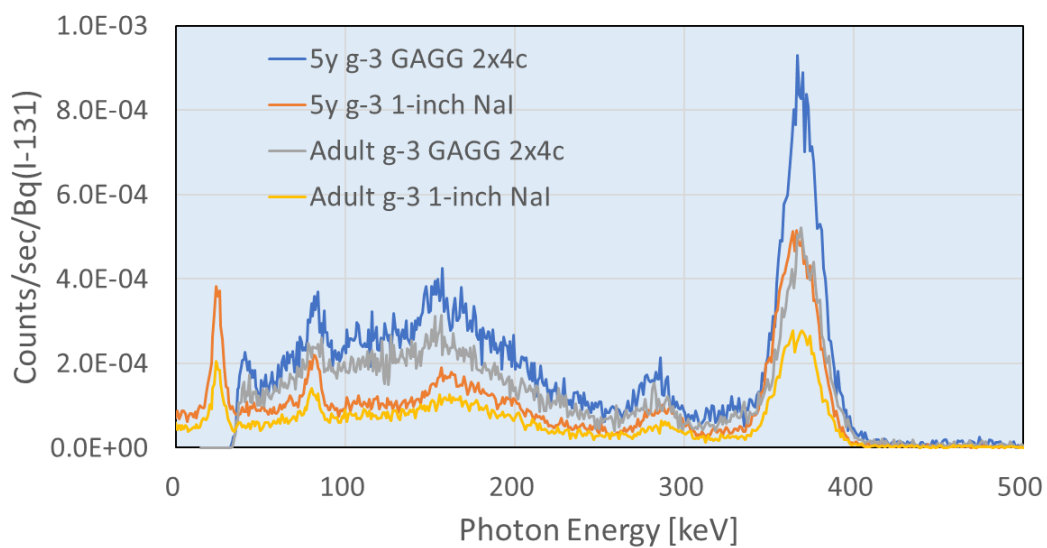


図 23 配置 2 (2×4c) と 1-inch NaI 検出器で得られた ^{131}I 波高分布の比較

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 とともに既存の 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 ¹³¹ 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 ¹³¹ 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 ¹³¹ 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。

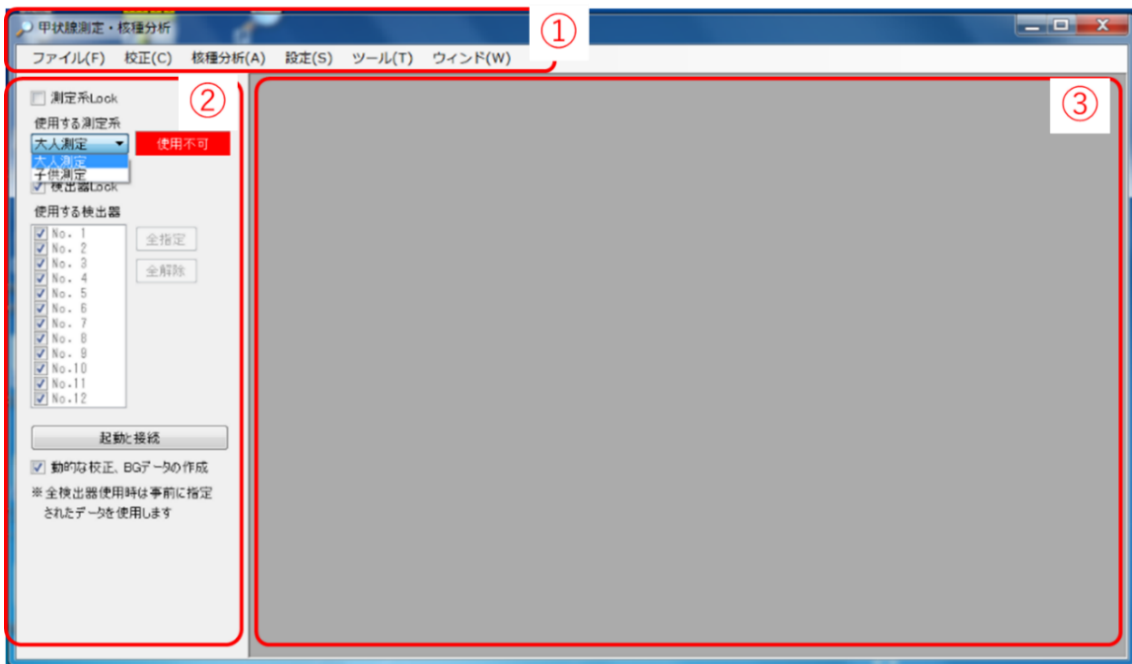


図 24 改良版ソフトウェアのユーザインタフェース画面

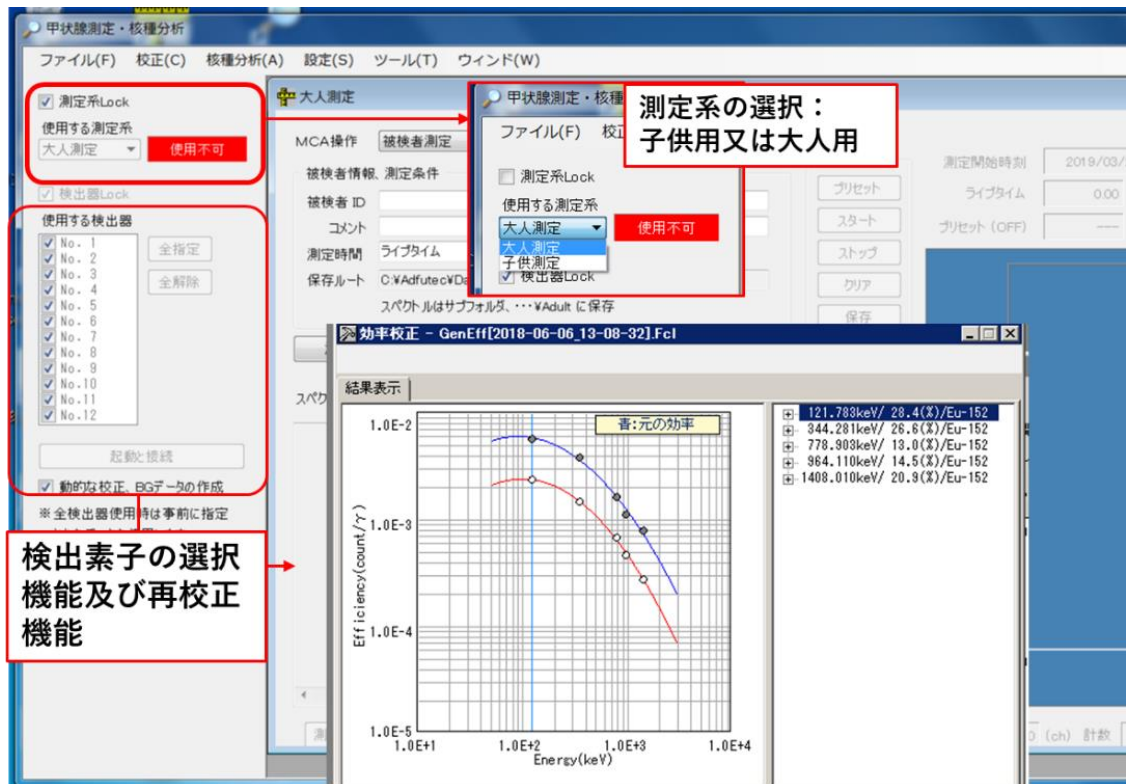


図 25 MCA 接続管理画面

(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 γ 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}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}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。

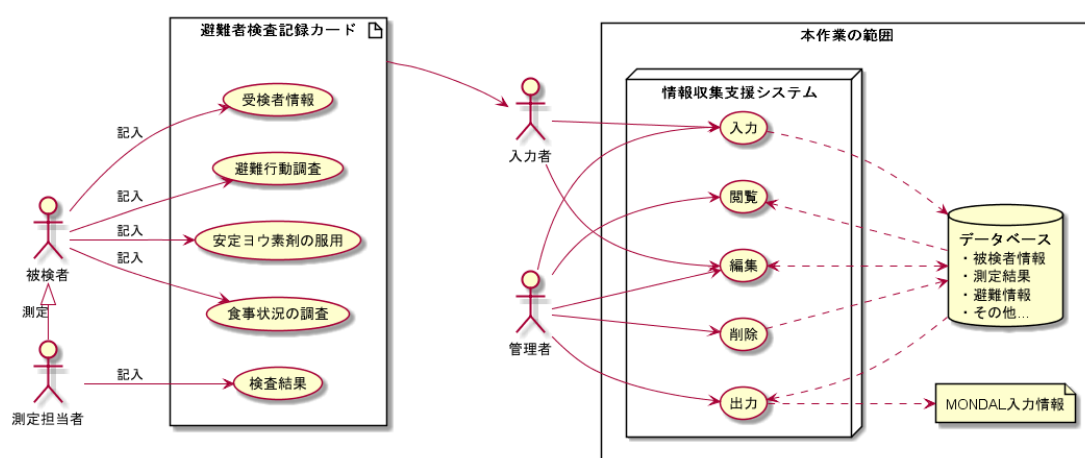


図 26 本システムの概要

(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。

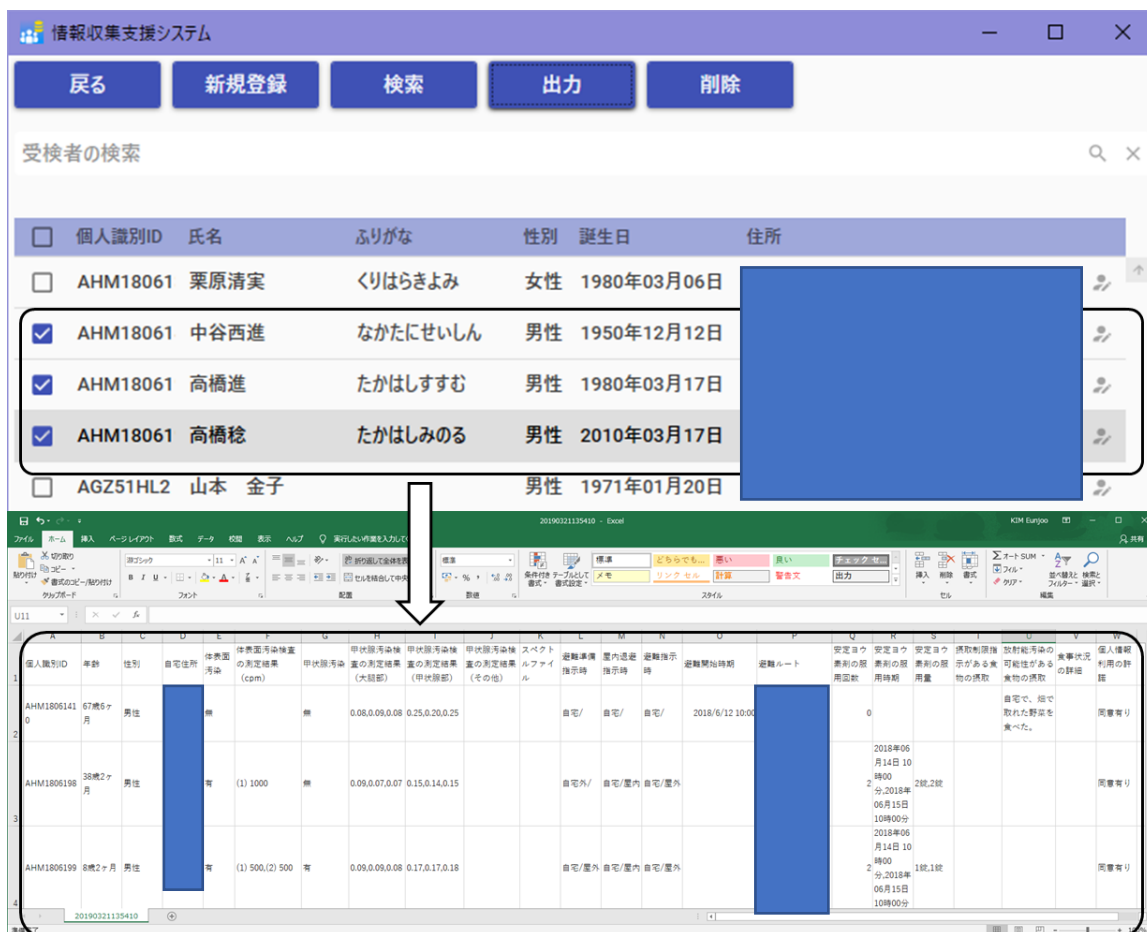


図 27 受検者情報内容の出力(CSV ファイル)例

(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 μ 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(μ 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 μ Sv/h

No. 大腿部 (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	0.15
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

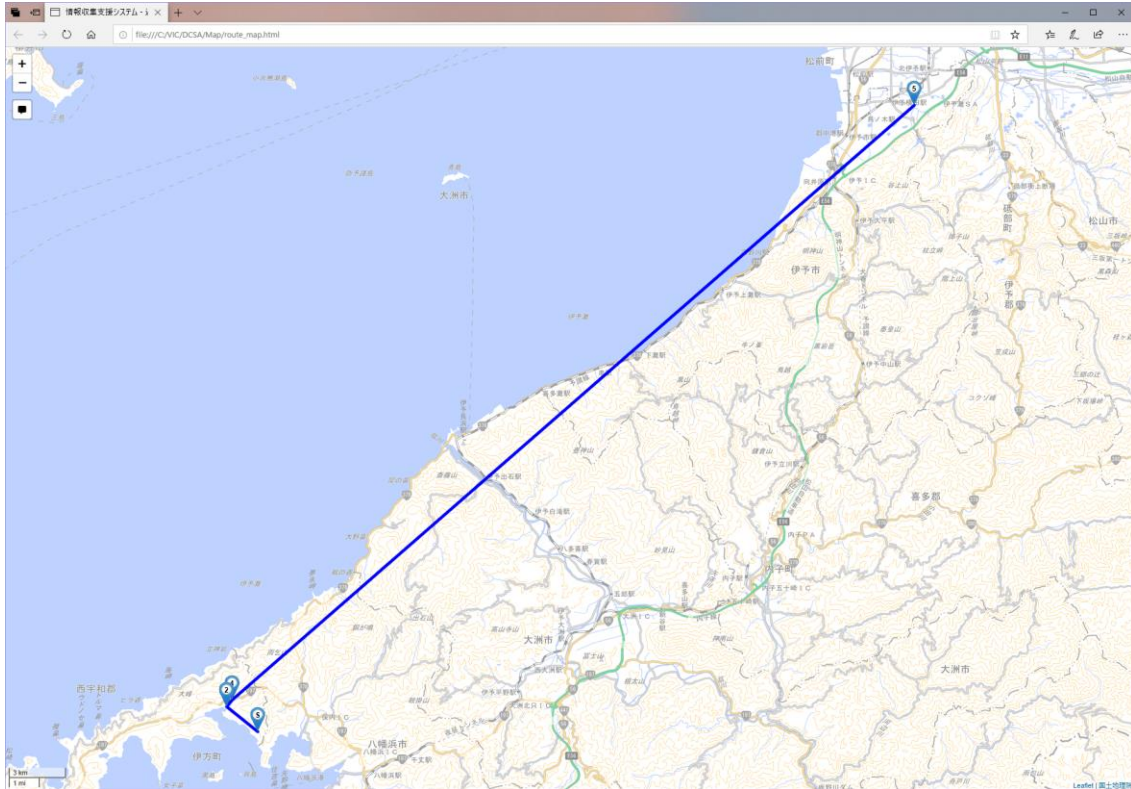


図 30 登録された避難ルートデータ（図 29）を地図上に示したもの

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	原子力災害時 避難者検査記録カード	個人識別ID	AHM1806198
検査場				

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-1701 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: 有 ③

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

管理番号: 記録員: 工藤 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 避難時に同行者 (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: 2 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: 2 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 発災後から現在まで、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 発災後から現在まで、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¹⁰⁾。

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がある状況	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¹¹⁾。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¹²⁾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）¹³⁾」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）¹⁴⁾」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 γ 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¹⁵⁾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¹²⁾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。

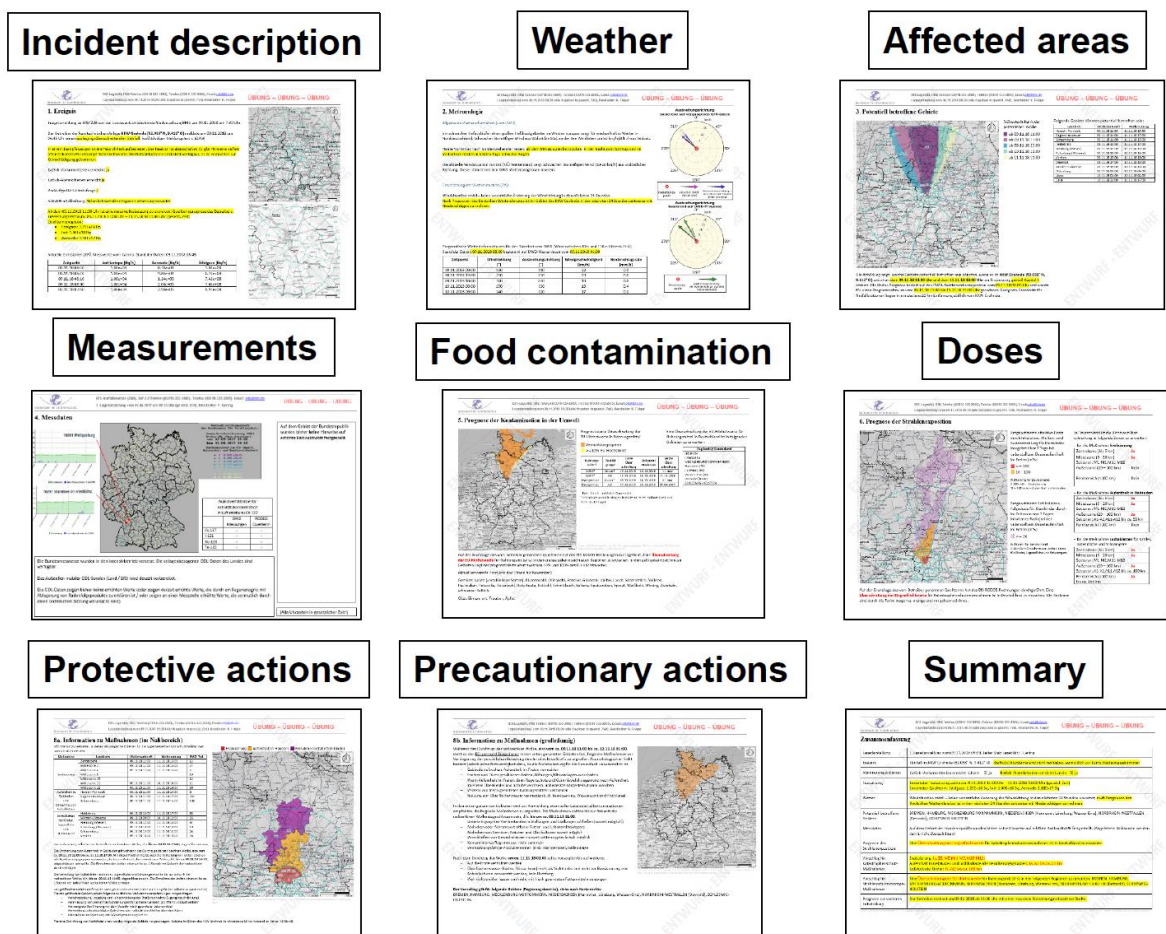


図 32 RODOS に基づく状況報告書の例

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 ¹³¹I 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
- 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
- 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
- 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

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}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}I) である¹。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。

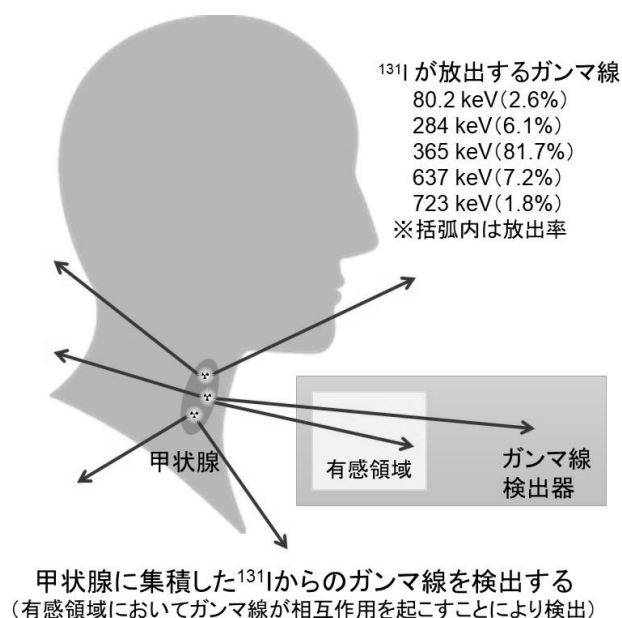


図1 甲状腺中ヨウ素の測定原理

¹ ^{131}I 以外に、 ^{132}Te — ^{132}I 、 ^{133}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}Te 、 ^{132}I 、 ^{133}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}Te と ^{132}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}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¹⁾⁵⁾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⁶⁾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⁷⁾。

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 ₃ (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-172B² (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)

² 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。

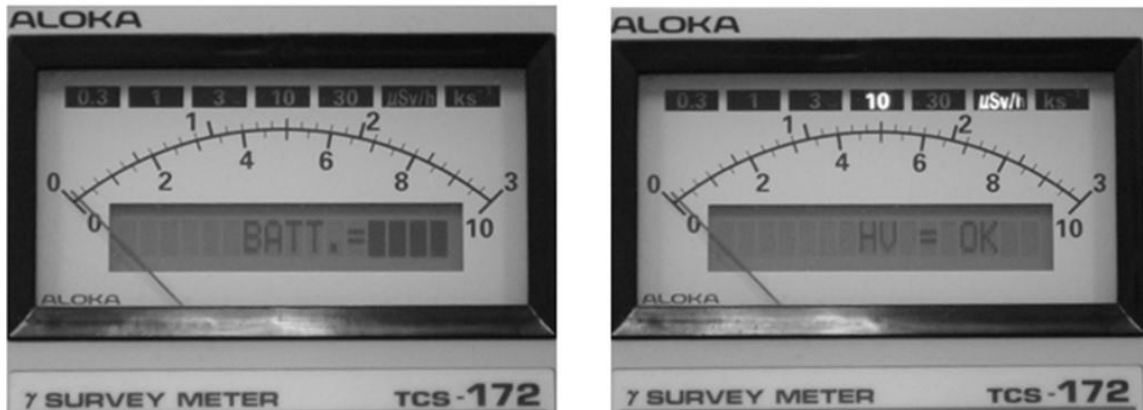


図4 TCS-172 起動時の自己点検

(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)

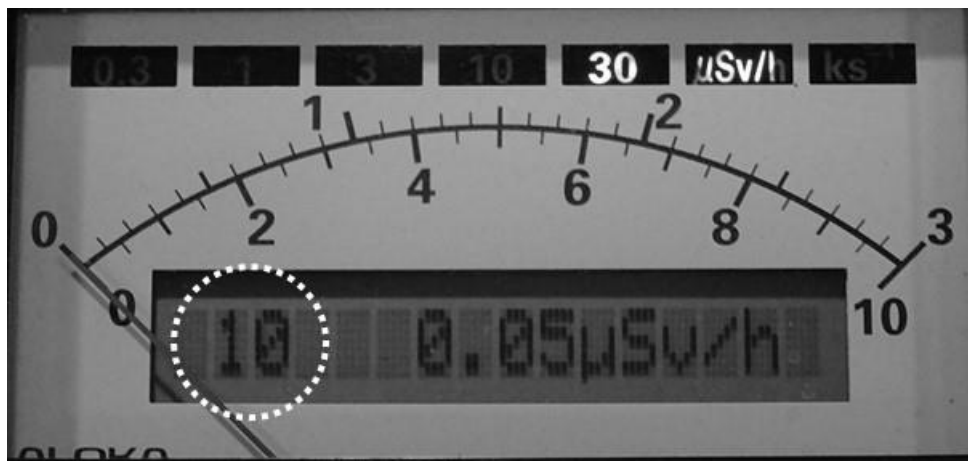
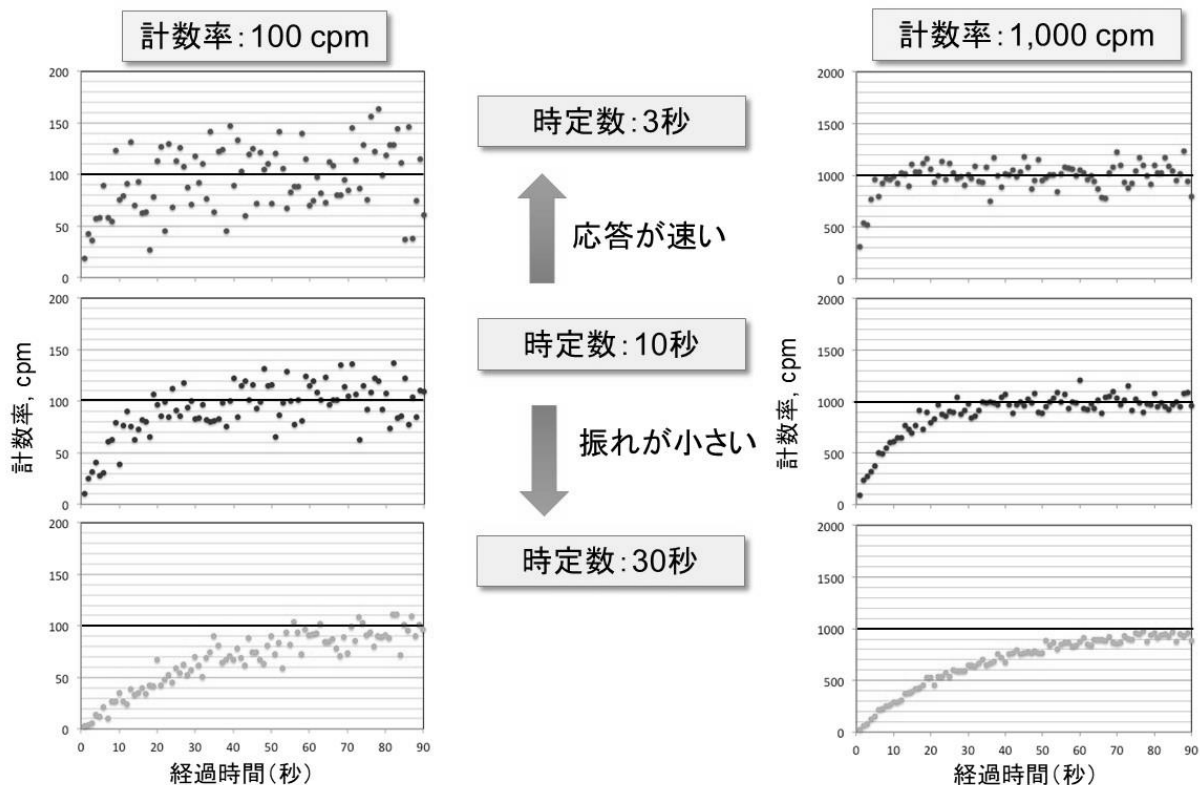


図5 時定数の設定

(○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。

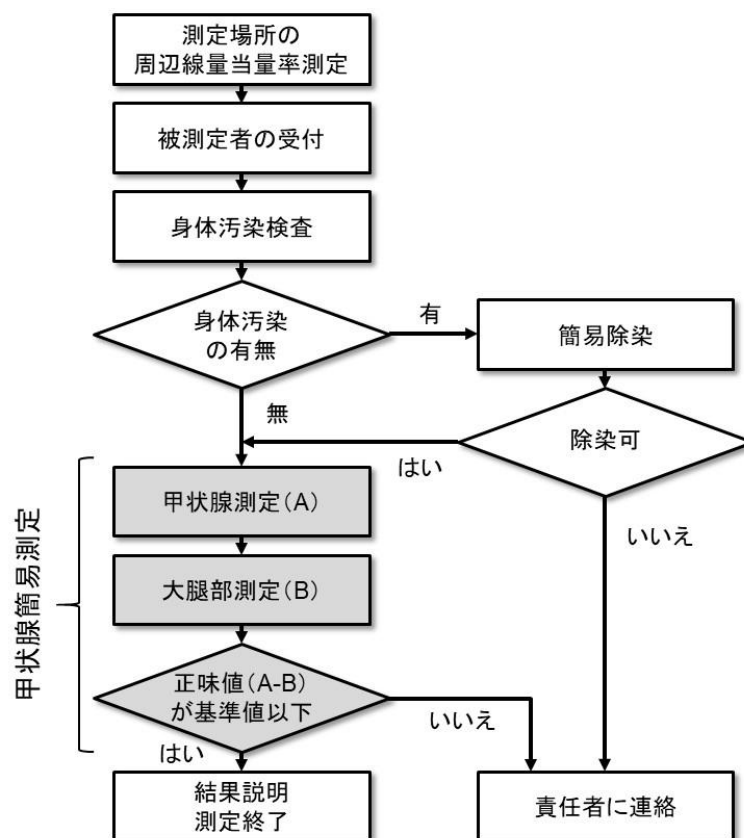


図6 甲状腺簡易検査の手順

(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けないものの、避難退域時検査⁸⁾と併せて行うことは困難³⁾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⁴⁾。

(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。

³⁾ 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。

⁴⁾ 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⁵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。

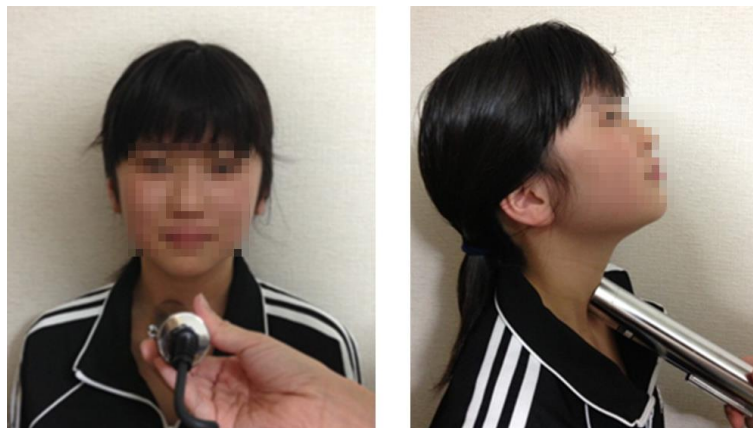


図 7 甲状腺測定におけるプローブ位置

(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 : $1 \mu\text{Sv h}^{-1}$

⁵ 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⁶、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^{9),10)}、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⁷。

⁶ 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。

⁷ 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¹¹⁾。

参考2 アンケート（測定結果記録）用紙の例⁸

作成日	20 年 月 日	個人識別ID
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)		③ 性別
		男・女
② 生年月日	年 月 日	
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:	記録員:	
管理番号:		
BG:	(測定場所の空間線量率: $\mu\text{Sv/h}$)	
	cpm	
		測定結果 cpm
		部位
		表面汚染: 有・無
		除染実施: 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
1		
2		
3		
備考		

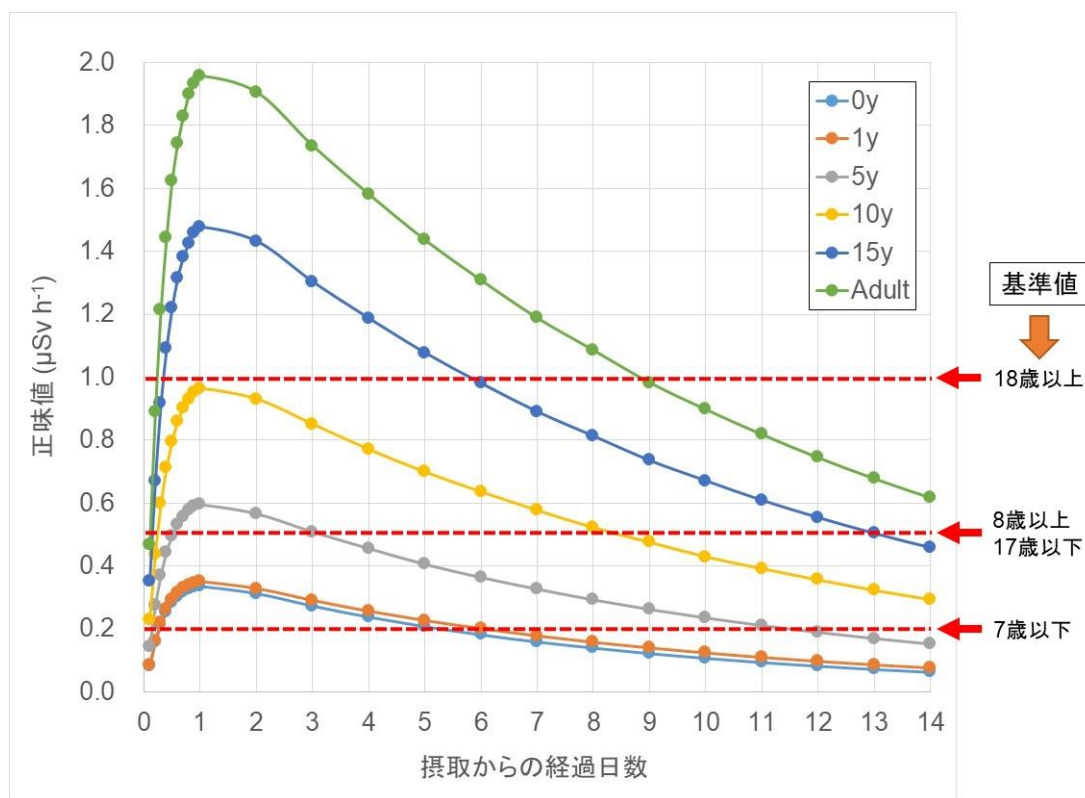
3. 避難行動調査		
① 避難準備指示: 屋内退避指示、避難指示を受け取った場所と、その時の屋内・屋外滞在の別をご記入ください。 () / 屋内・屋外		
② 避難開始した日時をご記入ください。(月 日)		
③ 避難時に同行者(一緒に行動した人)がいた場合、家族・その他別に代表者のお名前と人数をご記入ください。 家族: 代表者()・人数() / その他: 代表者()・人数()		
④ 避難開始から避難完了までの避難経路(行動、移動手段、期間、場所)を教えてください。		
行動	移動手段	期間
1 移動・滞在	車・徒歩・その他()	/ : ~ / :
2 移動・滞在	車・徒歩・その他()	/ : ~ / :
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。		
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
5. 食事状況調査		
① 被災後から現在まで、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 被災後から現在まで、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		
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、放射線による健康リスクの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白済(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)

⁸ 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⁹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 ^{131}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。 ^{131}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。 ^{131}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¹³⁾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¹⁰⁾。

⁹ 図中の 0y, 1y, 5y, 10y, 15y 及び Adult は下記の年齢に対応する¹²⁾。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）

¹⁰ 有効面積が 15 cm² 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 cm² 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¹³⁾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 ¹⁴⁾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・校正でも感度に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¹¹。

(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¹⁵⁾。

¹¹ ^{131}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 ¹³¹I 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 ¹³¹I 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 (CATHYMAR): 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⁻¹) ※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 (m³ day⁻¹) ※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⁻³) ※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 ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)¹² ※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

¹²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 ¹³¹I 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

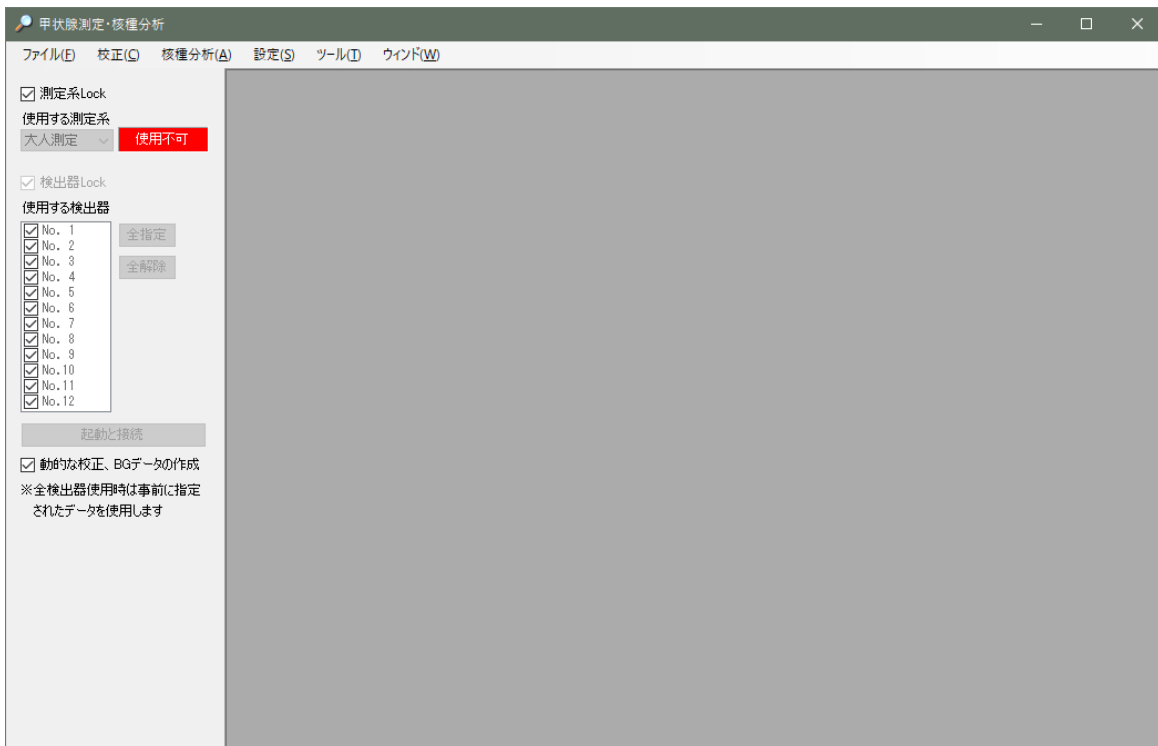
新モニタと接続や起動、校正データの作成や各種設定は完了しているものとする。

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' control. The left screenshot shows the checkbox '測定系 Lock' is unchecked. The right screenshot shows the checkbox '測定系 Lock' 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 below it.

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

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. The button is highlighted with a blue border and a black arrow pointing to it from the left. Below the button are several options: a checked checkbox '動的な校正、BGデータの作成', and a note '※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。

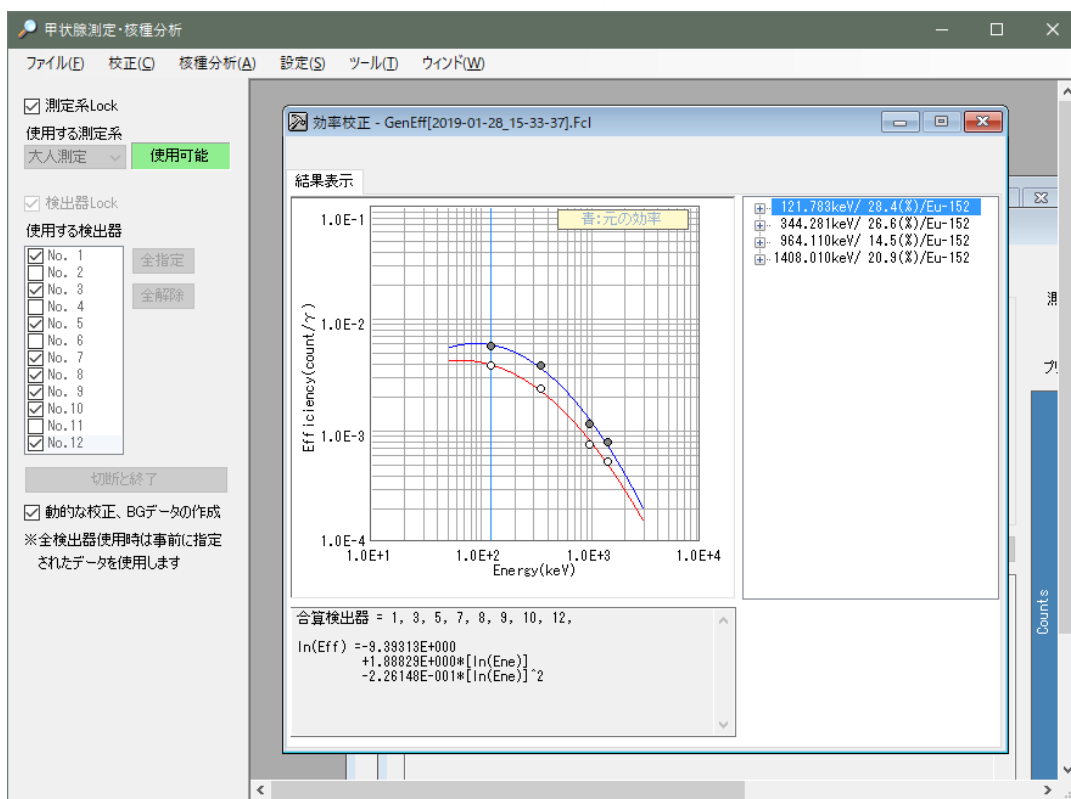
例) 大人測定(検出器数 = 12) の検出器の 1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12 のみを使用するとして MCA 接続した場合、

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

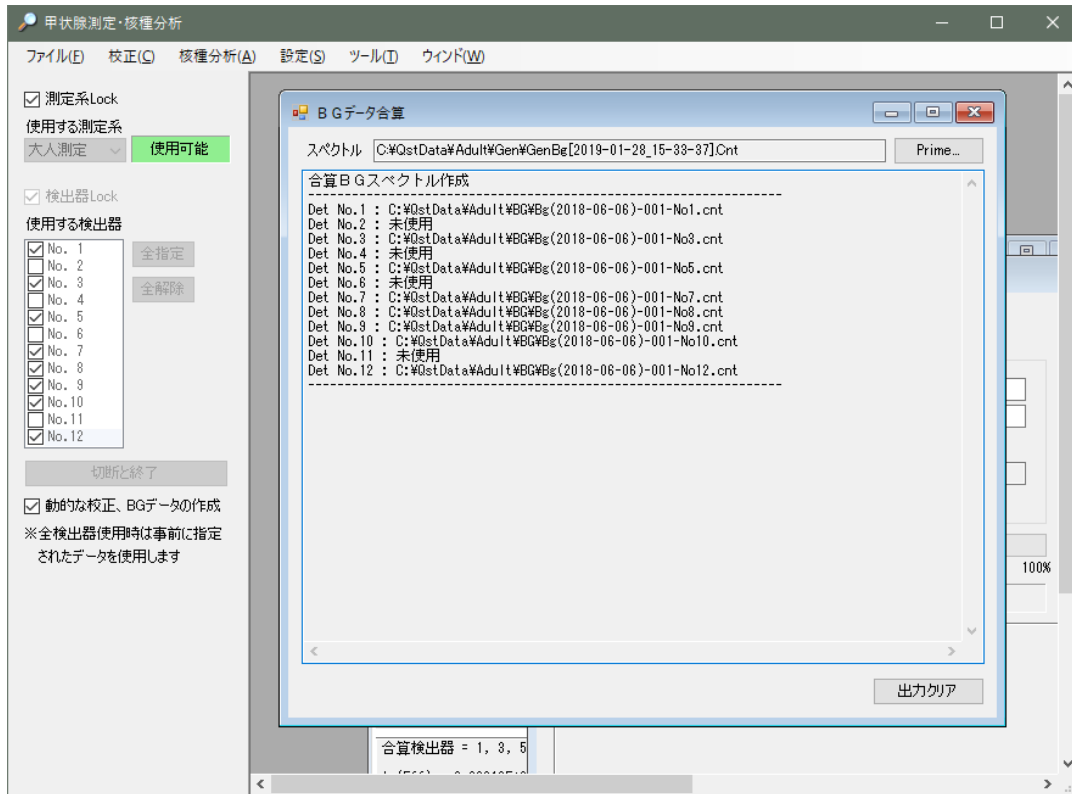
BG データ : 検出器 = 1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12 の合算スペクトルを BG データ

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

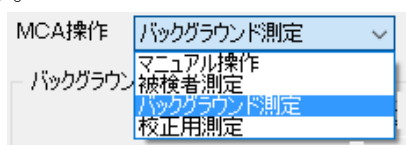
被検者測定を行う前にバックグラウンドに汚染がないかを確認する。

※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。

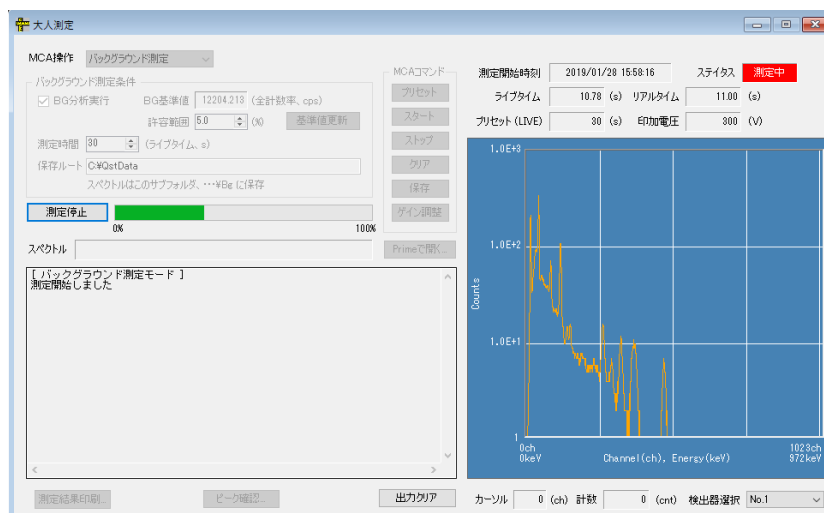
- **BG 分析実行** : 測定後、合算 BG スペクトルに対して BG 分析を実行するか否かを指定する。チェック(☑)すると BG 分析を実行する。
- **許容範囲** : 測定した全計数率(cps)と登録してある BG 基準値(cps)との許容範囲を%単位で指定する。なお、システム導入の段階では BG 基準値が未登録なので、1 回目の BG 測定結果が BG 基準値として自動登録される。
- **測定時間** : 測定可能時間= 1 ~ 99999 秒
測定のプリセット時間(ライブタイム)を秒単位で入力する。

測定したスペクトルデータは、保存ルートの下層に

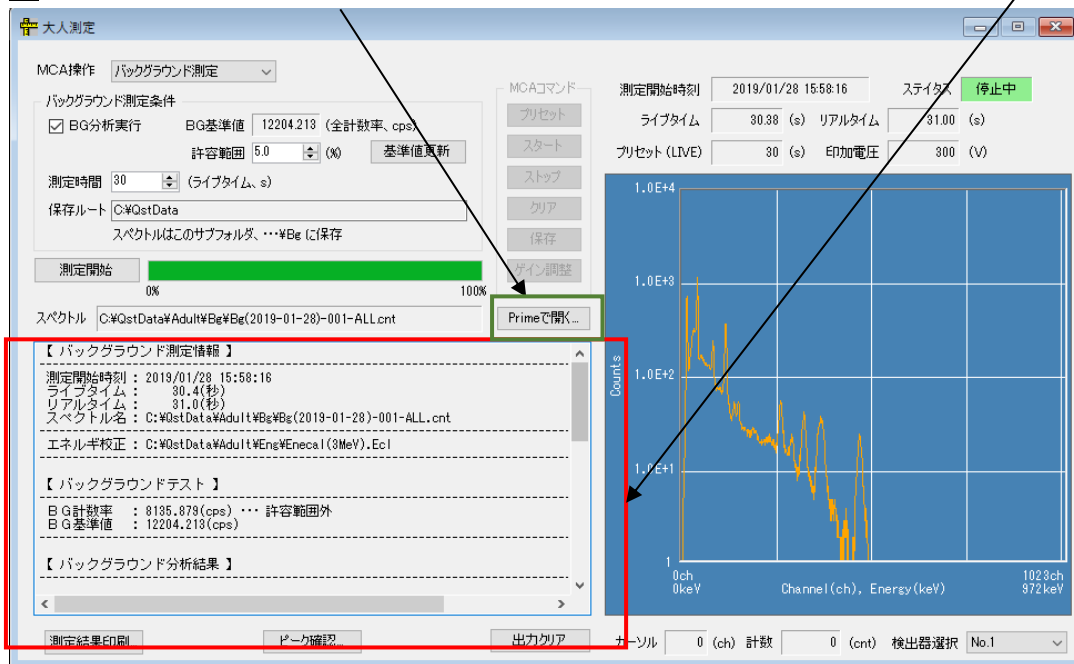
大人測定 : ...¥Adult¥BG, 子供測定 : ...¥Child¥BG
に個々の検出器のスペクトル及び合算スペクトル保存される。

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。

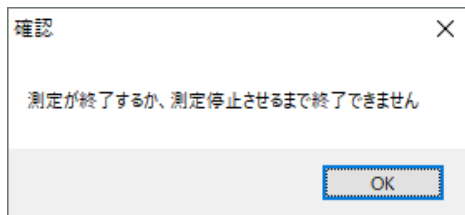
BG 測定中画面



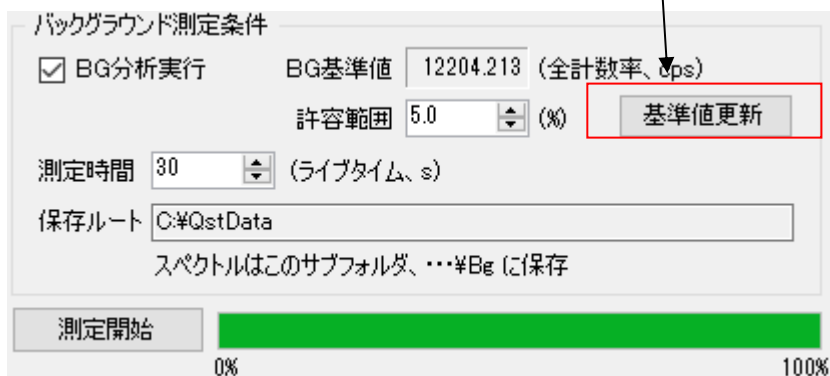
測定後にバックグラウンドテスト(と指定により BG 分析)を実行, 結果を出力画面に表示する。また「Primeで開く...」ボタンをクリックすると合算スペクトルが表示可能である



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。



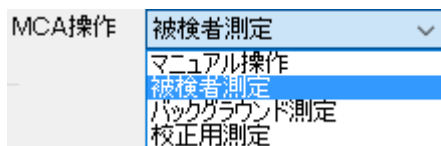
バックグラウンドテストの結果は更新可能であり、「基準値更新」ボタンをクリックするとシステムデータとして保存できる。



※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。

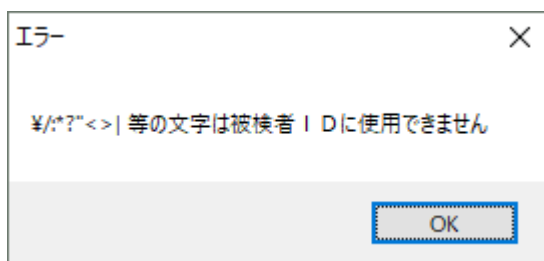
A screenshot of the '被検者測定' (Subject Measurement) information input screen. The 'MCA 操作' dropdown is set to '被検者測定'. The screen contains the following fields:

- 被検者 ID: []
- コメント: []
- 測定時間: ライブタイム (dropdown), 60 (spin), (s)
- 保存ルート: C:\QstData

Below the fields is a '測定開始' button and a progress bar showing 0% to 100%.

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

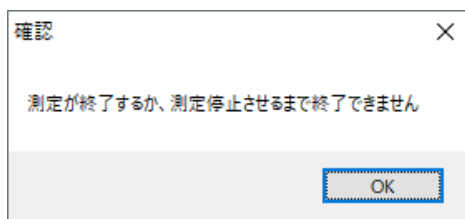
測定 : …¥Child

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。

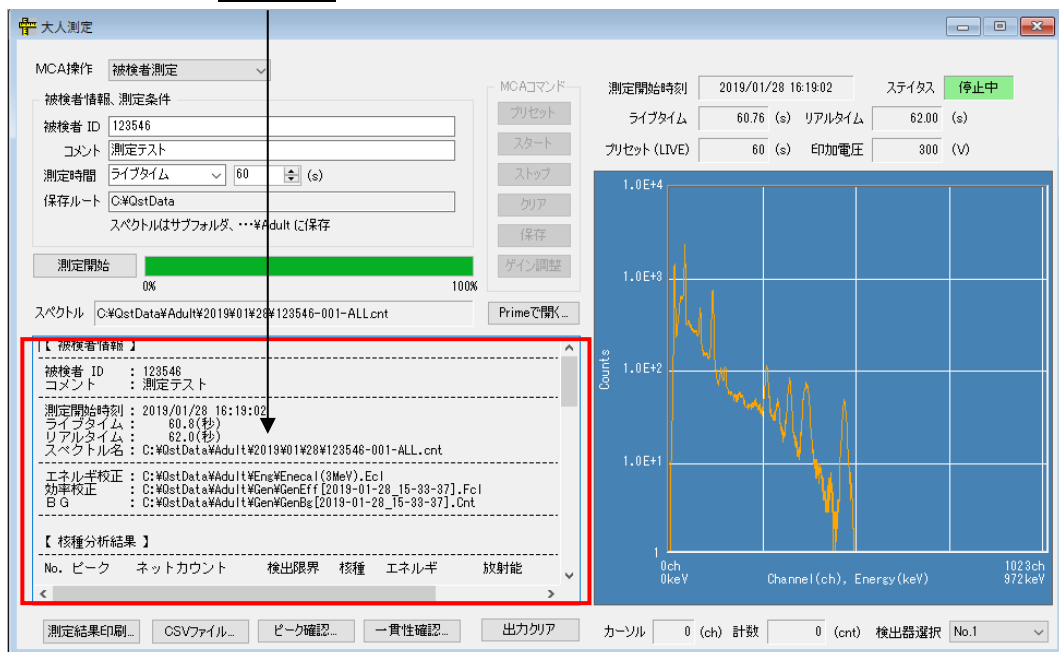
例) C : ¥&&&&&&¥Adult¥yyyy¥MM¥dd¥#####-\$\$\$-%%%.cnt

- 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。



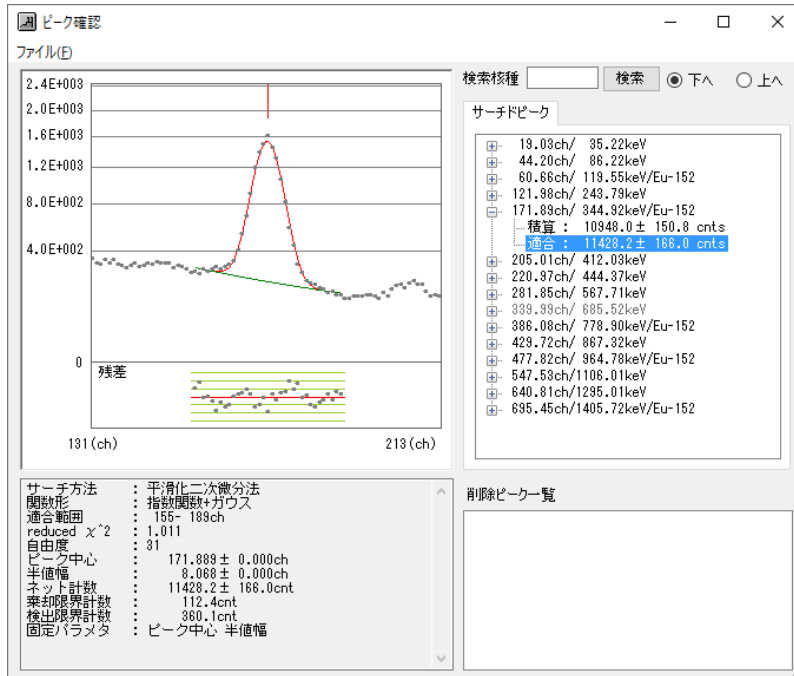
測定が終了するとスペクトルの合算, 合算スペクトルを保存して, 合算スペクトルに対して核種分析を行い, 結果を画面表示する。



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。

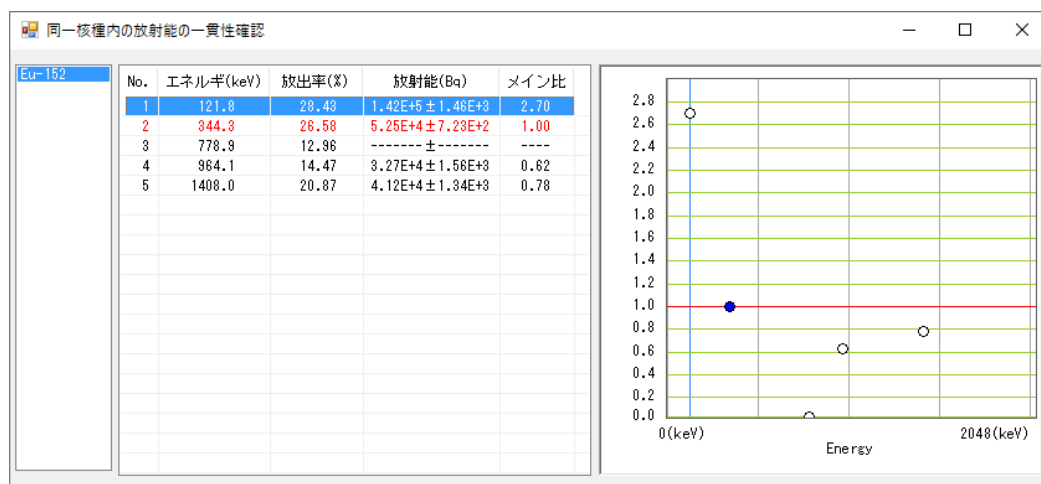
- ・測定結果印刷 : 画面中の測定結果出力をプリンタ出力する。出力プリンタや出力方向 等は Windows 標準の入力画面で行う。
- ・CSV ファイル : 画面中の測定結果出力を CSV ファイルに保存する。
- ・ピーク確認 : 本プログラムで処理した γ 線ピークの処理情報詳細を画面出力する。



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 γ 線を放出している場合、個々の γ 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 γ 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

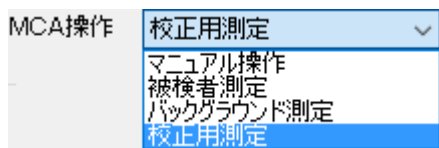
に対して上記のように、ファイル名規約を強制してファイル保存する校正測定モードを実装している。BG 測定については既出の [1.3. バックグラウンドテスト](#) が相当する。

以下、残りのエネルギー校正、効率校正について説明する。

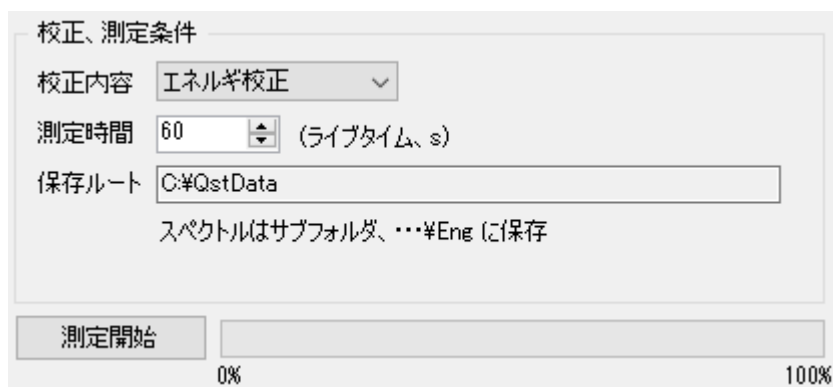
(1) エネルギー校正用測定

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。

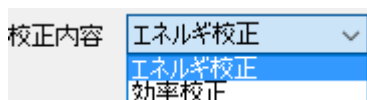
コンボボックス" MCA 操作 " 「校正用測定」 を選択する。



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。



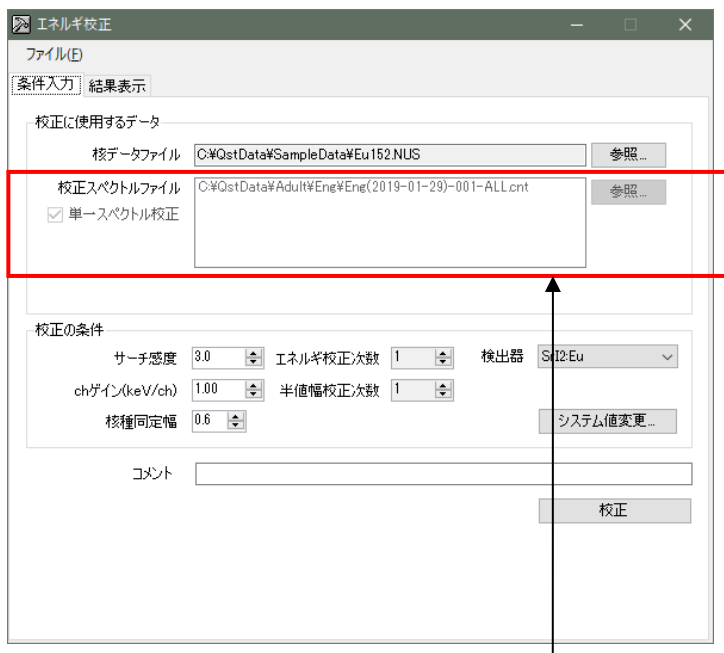
測定時間 : 測定時間をライブタイムプリセットする。

※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。

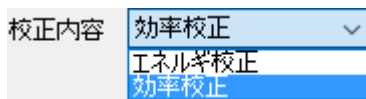


スペクトルファイルは自動的に指定されており、変更できない。

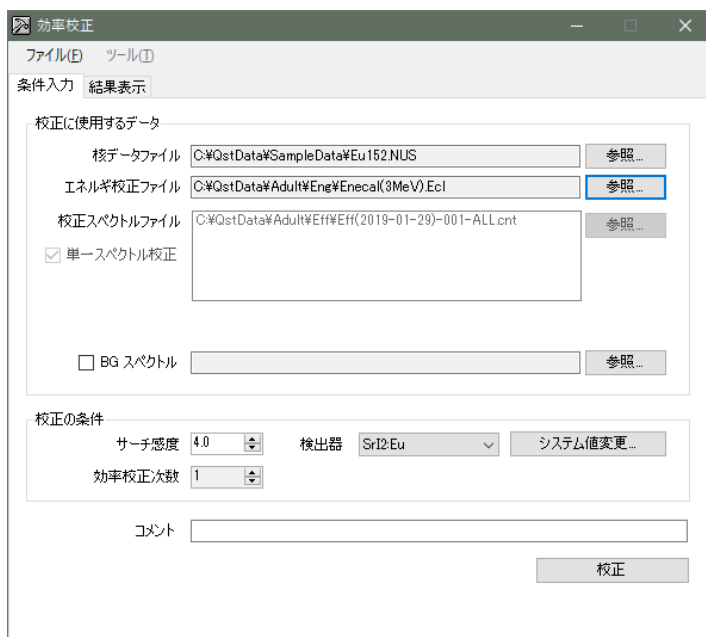
以降の操作はメニューから実行する通常の「エネルギー校正」と同一である。「2.2. エネルギー校正」を参照してください。

(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。



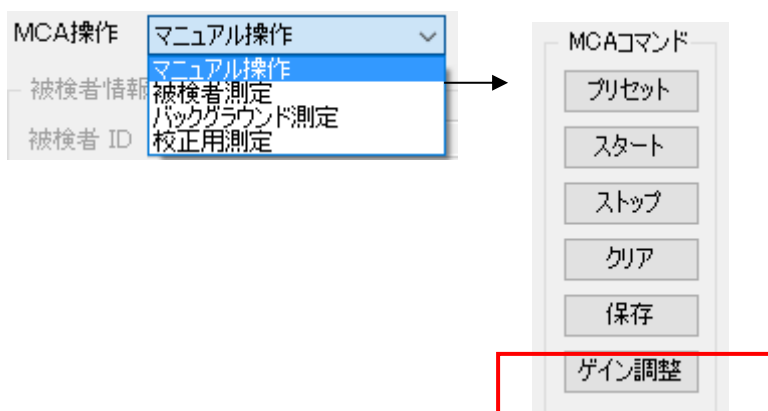
スペクトルファイルは自動的に指定されており、変更できない。
 これ以降の操作はメニューから実行する通常の「効率校正」と同一である。「2.3. 効率校正」を参照する。

1.6. ゲイン微調整

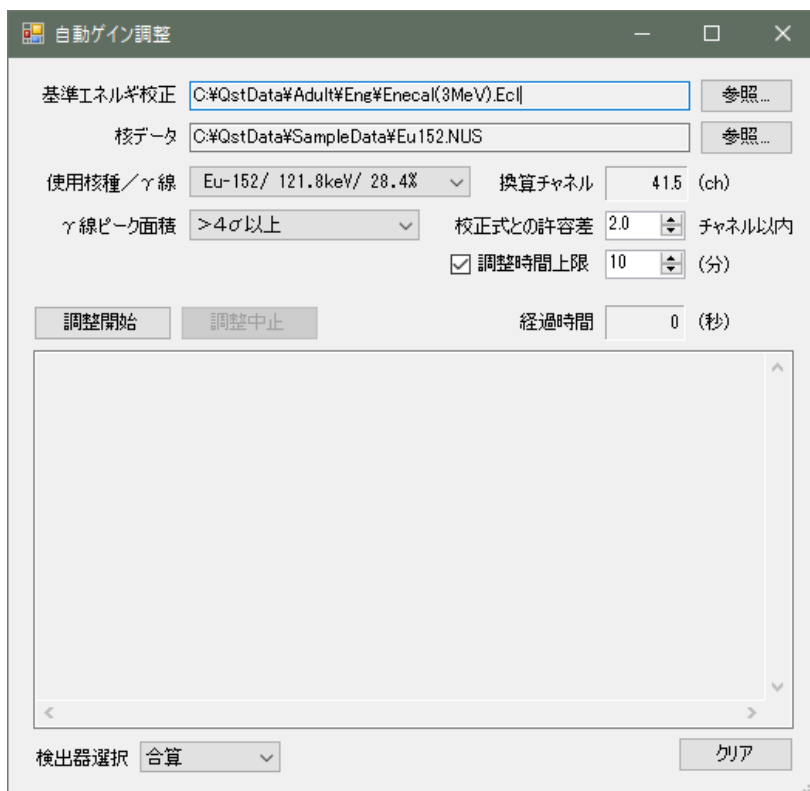
※本機能は初期のゲイン調整からの数 ch 程度のズレをハードウェア調整するものである。数十 ch にも及ぶ大きなズレが発生しているような場合は、新モニタの制御プログラムで再調整する必要がある。

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 :

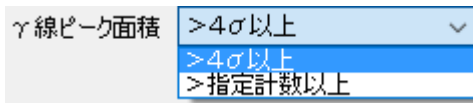
用意した線源の核種/γ線情報が登録された核データファイル(.Nus)を指定する。初期値は核種分析に使用する核データファイルであるが、変更可能である。
- 使用核種/γ線 :

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。

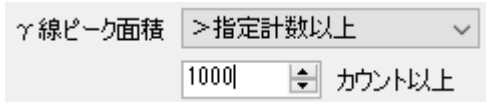
使用核種/γ線	選択された項目
	Ba-133/ 31.0keV/ 54.0% ▼
	Ba-133/ 31.0keV/ 54.0%
	Ba-133/ 81.0keV/ 35.9%
	Ba-133/ 276.4keV/ 7.2%
	Ba-133/ 302.9keV/ 18.3%
	Ba-133/ 356.0keV/ 62.1%
	Ba-133/ 383.8keV/ 9.1%

・ γ 線ピーク面積 :

使用する核種/ γ 線のピーク面積を指定する。本機能は全検出器の当該 γ 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。

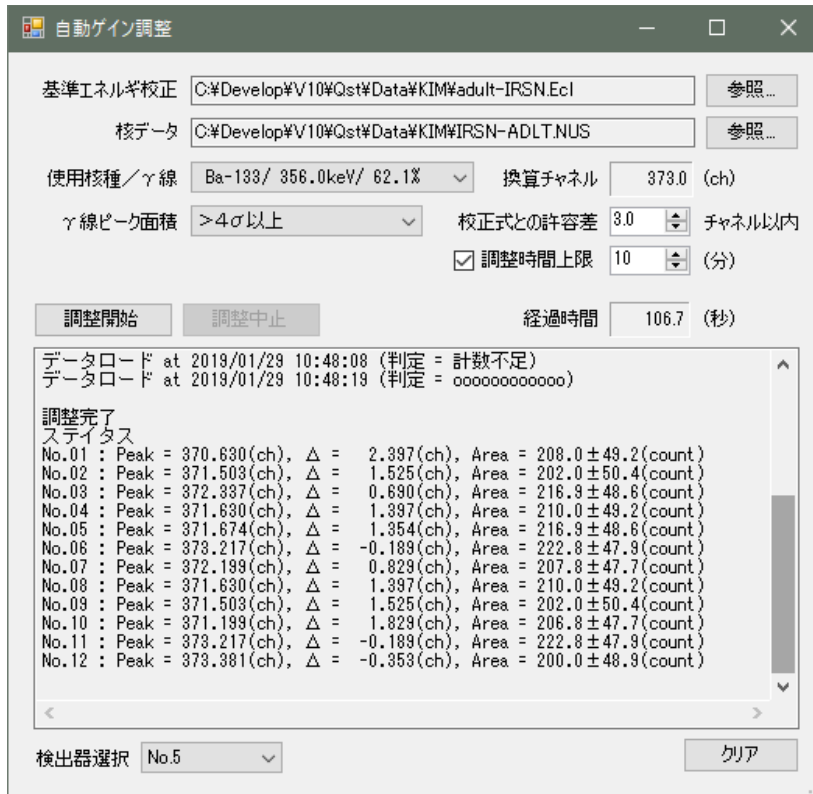
・ 調整時間上限 :

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。

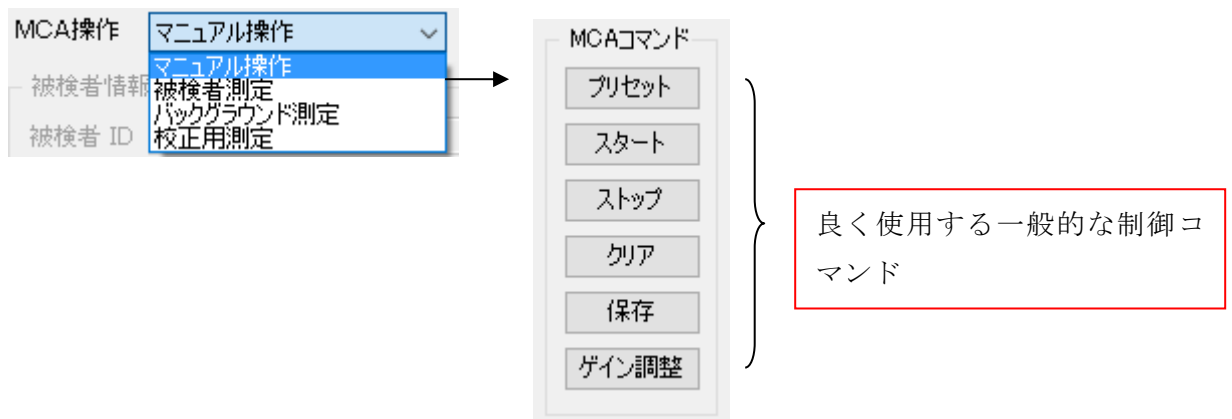
2. プログラム機能毎の操作方法

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。

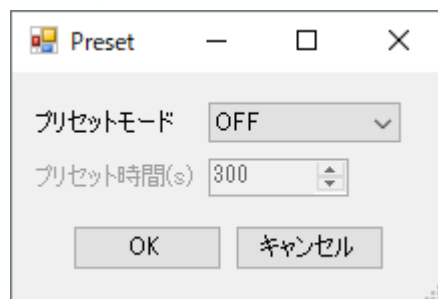
※一部の処理を除いてコマンドは連動しないため、測定開始→終了してもスペクトルの自動保存は行わない。

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。



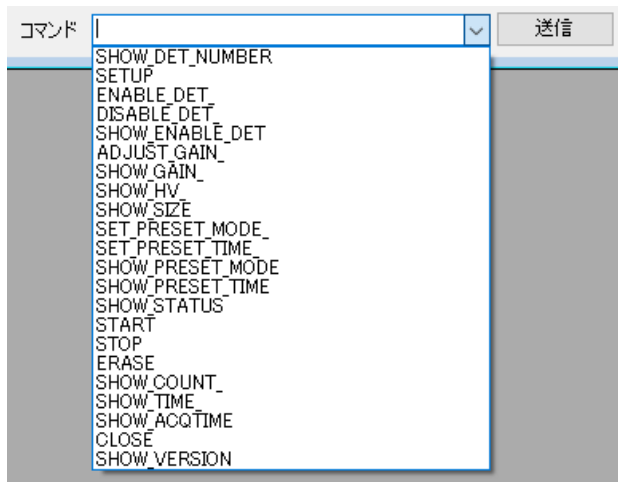
このモードでは良く使用する MCA コマンドが画面にボタンとして配置している。

- ・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。

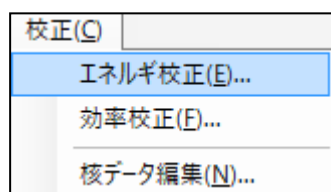
MCA コマンド送信結果は画面に出力される。

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

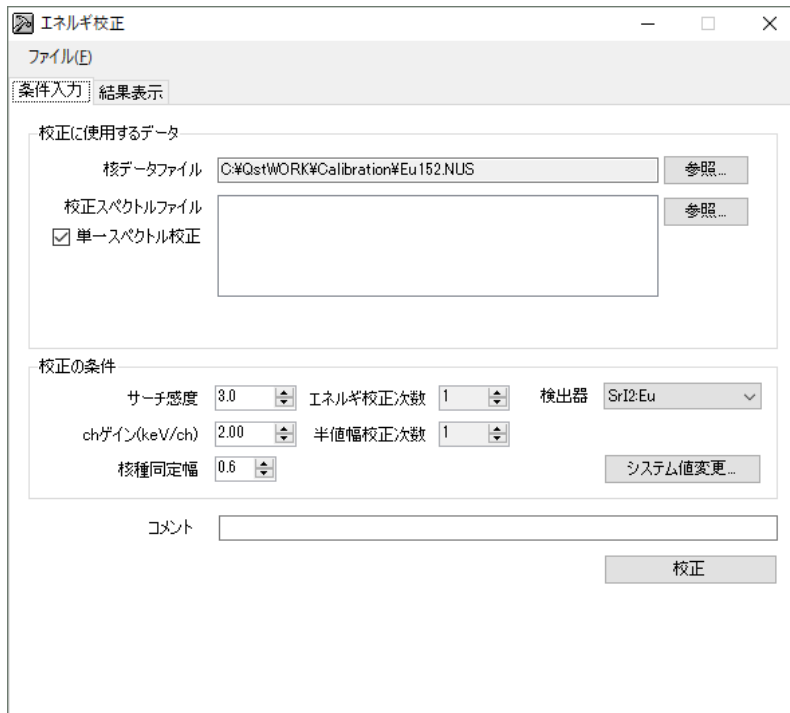
2.2. エネルギー校正

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。

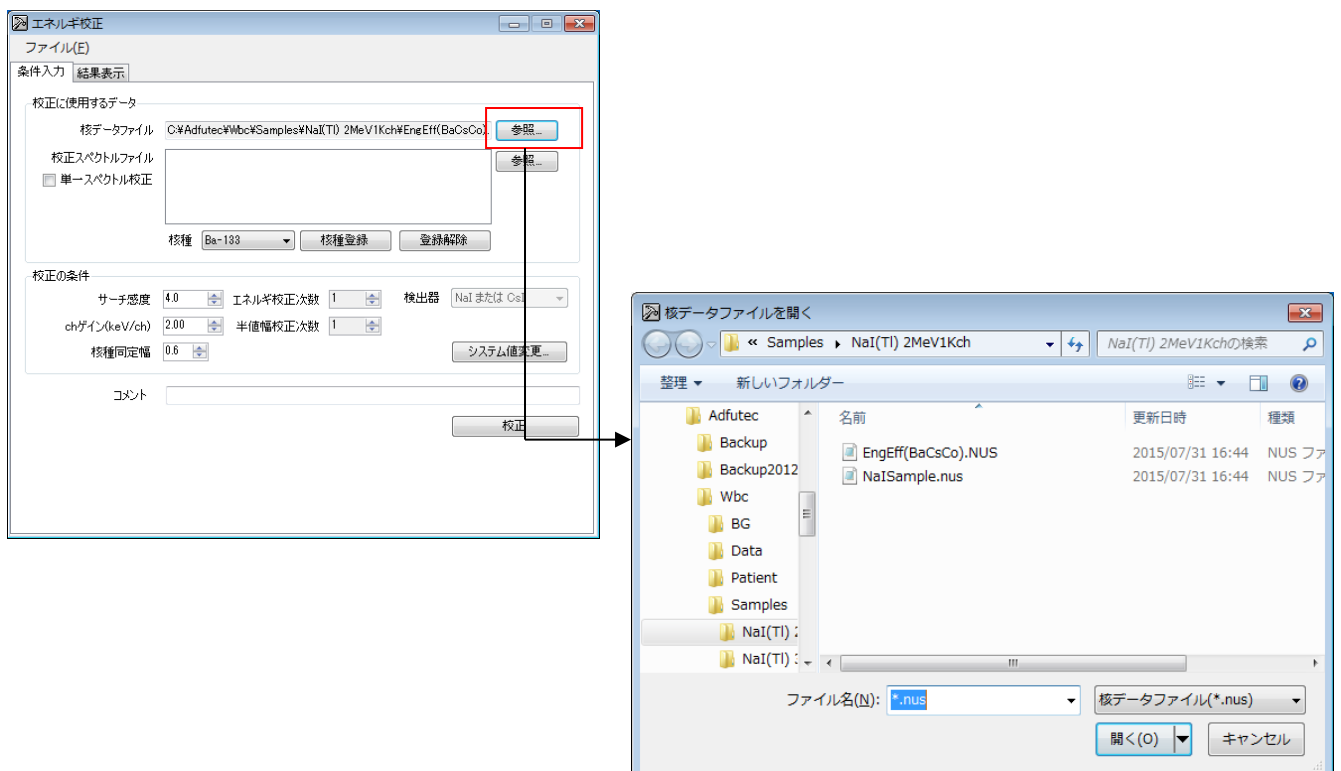
メニュー「校正／エネルギー校正」を実行する。



エネルギー校正／半値幅校正プログラムが起動する。



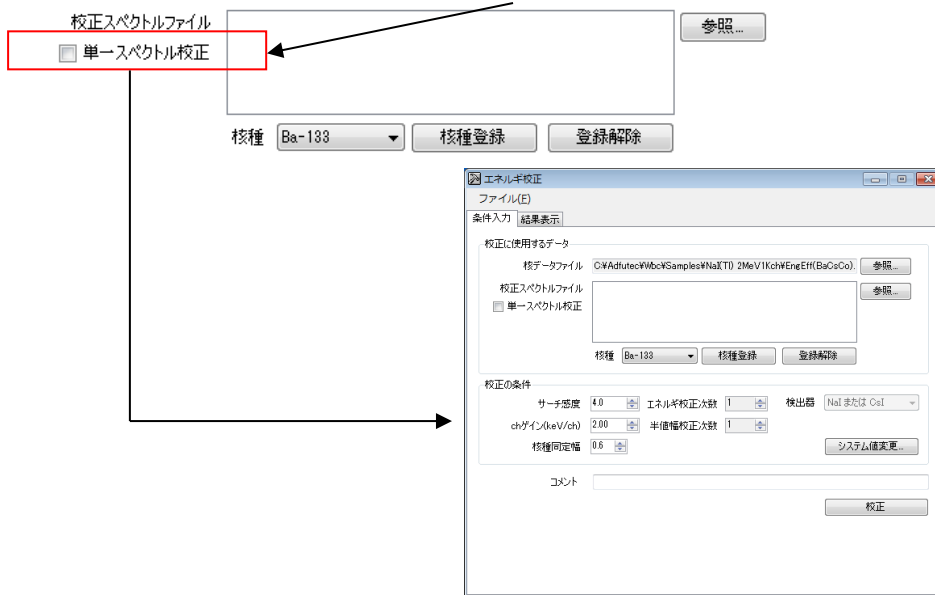
エネルギー校正に使用する，核データファイルと校正スペクトルを「参照」ボタンをクリックして核データファイルから選択する。



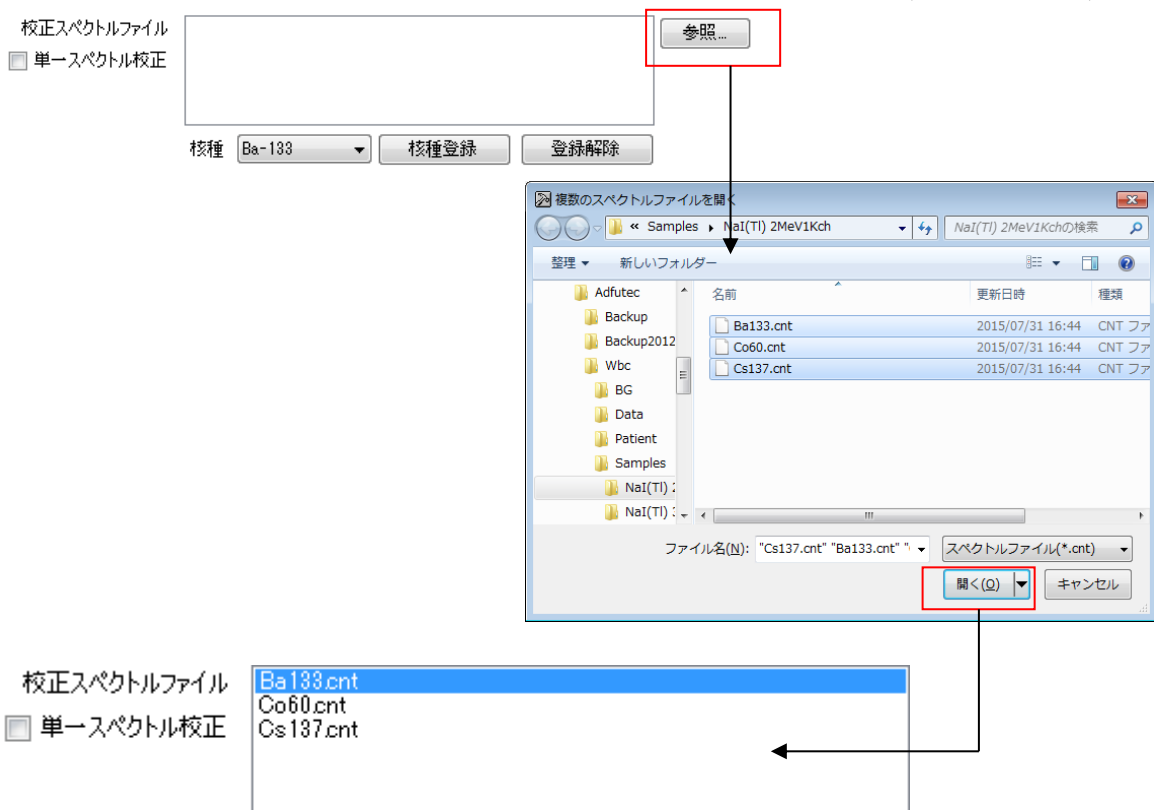
エネルギー校正に使用するスペクトルは核種／線源によって次の2タイプがある。

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

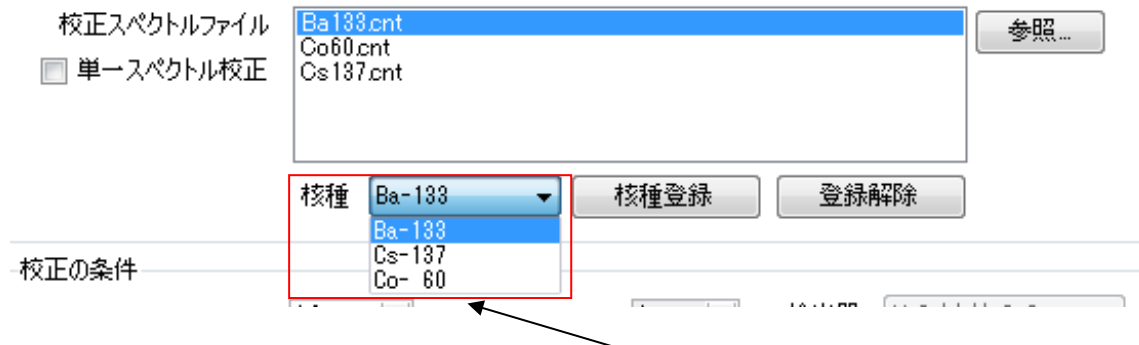
「単一スペクトル校正」の (チェックなし)で画面が切り換わる。



「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。



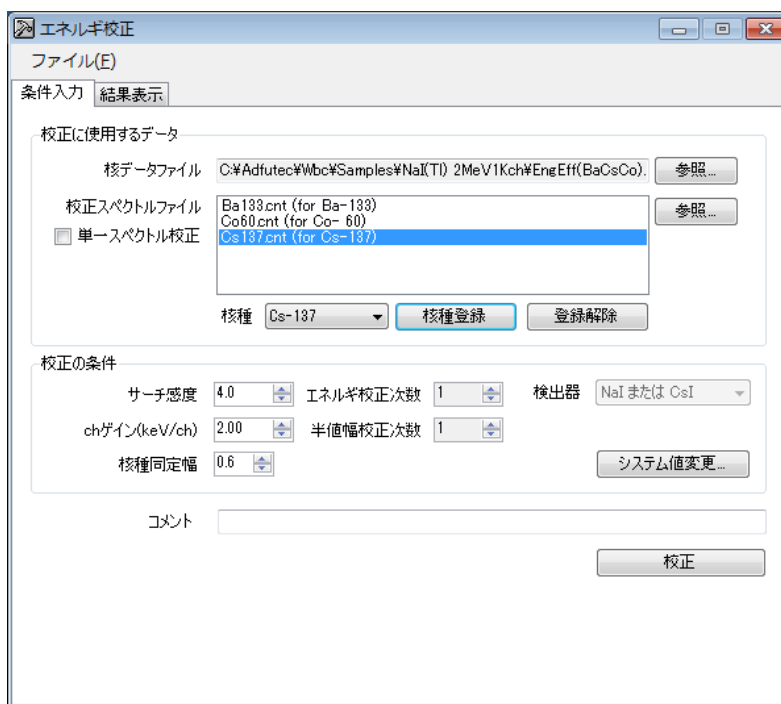
核データファイルを選択すると核種がコンボボックスで選択できる。核種を選択後、「核種登録」ボタンをクリックして校正スペクトルに対応させる。

※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。



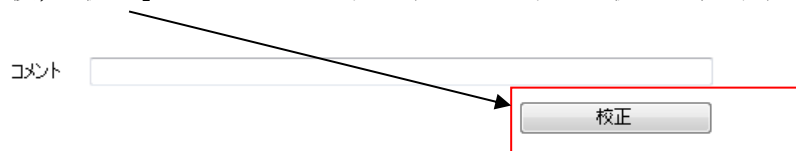
校正の条件として,

- ・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 γ 線数 - 2 が上限
(3 本なら校正次数 ≤ 1)
- ・半値幅校正次数(1 or 2) …… 校正に使用可能な登録 γ 線数 - 2 が上限
(3 本なら校正次数 ≤ 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。

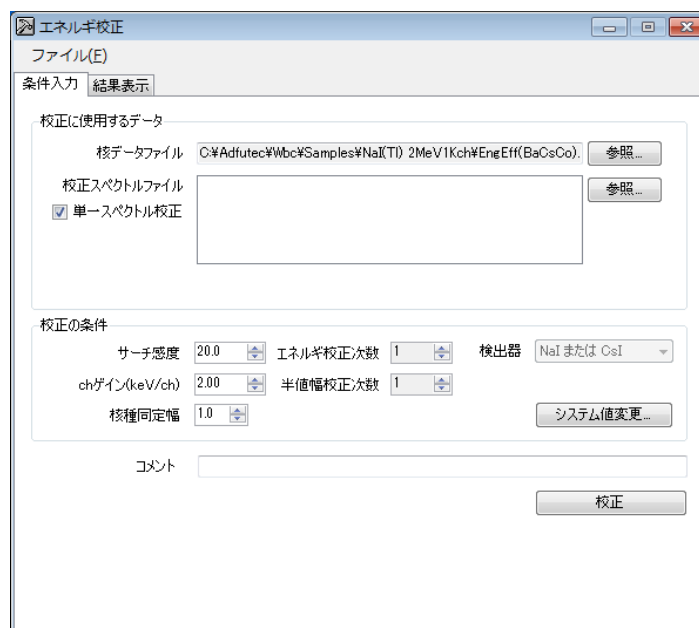
※「システム値変更...」は「設定」メニュー, 「核種分析条件設定」と同じである。

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

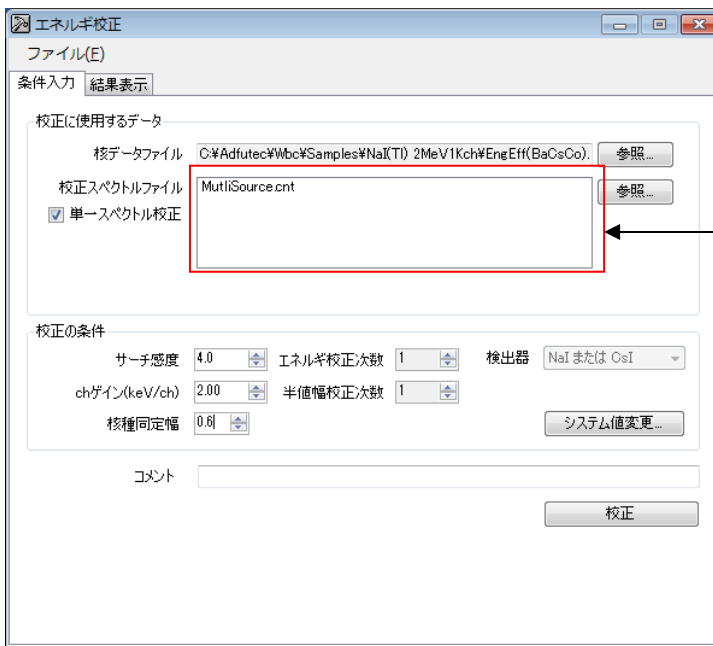
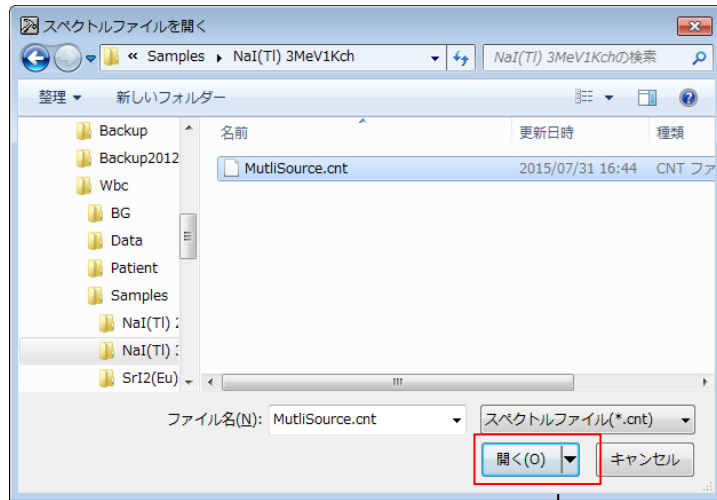
「単一スペクトル校正」を (チェックあり)する。



「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

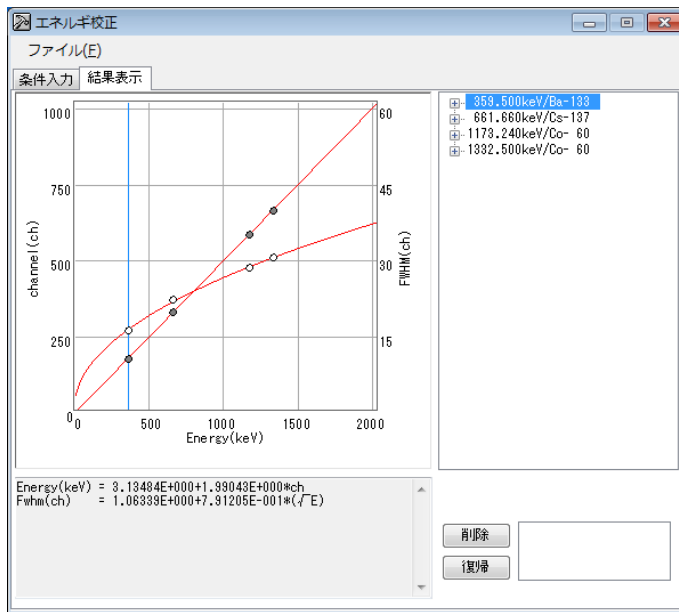
参照...



※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。

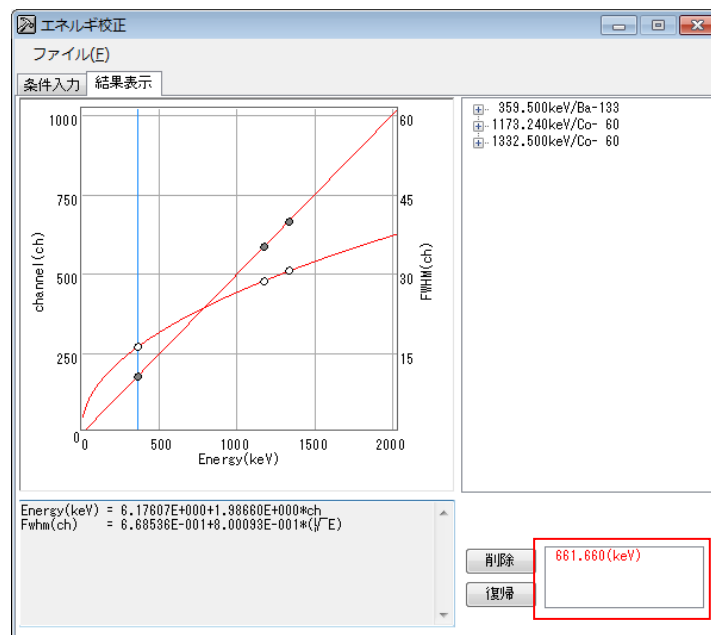
タイプ1同様にサーチ感度等の校正の条件を設定して、「校正」をクリックするとエネルギー校正を開始する。

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）。



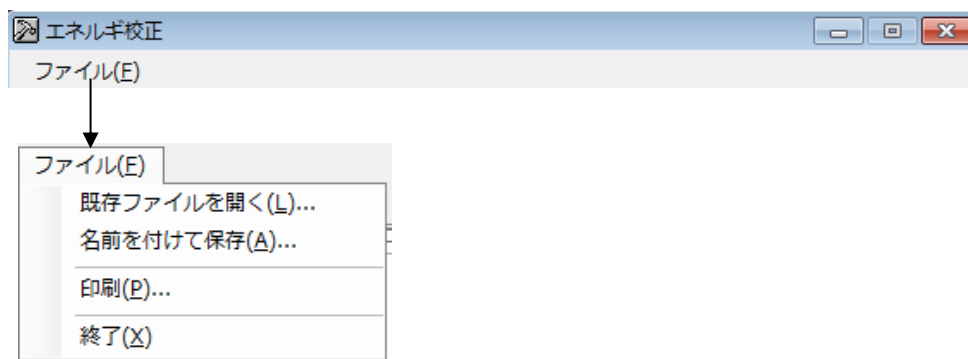
必要に応じて、エネルギー校正に使用したデータを「削除」したり、削除したデータを「復帰」させることができる。

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。

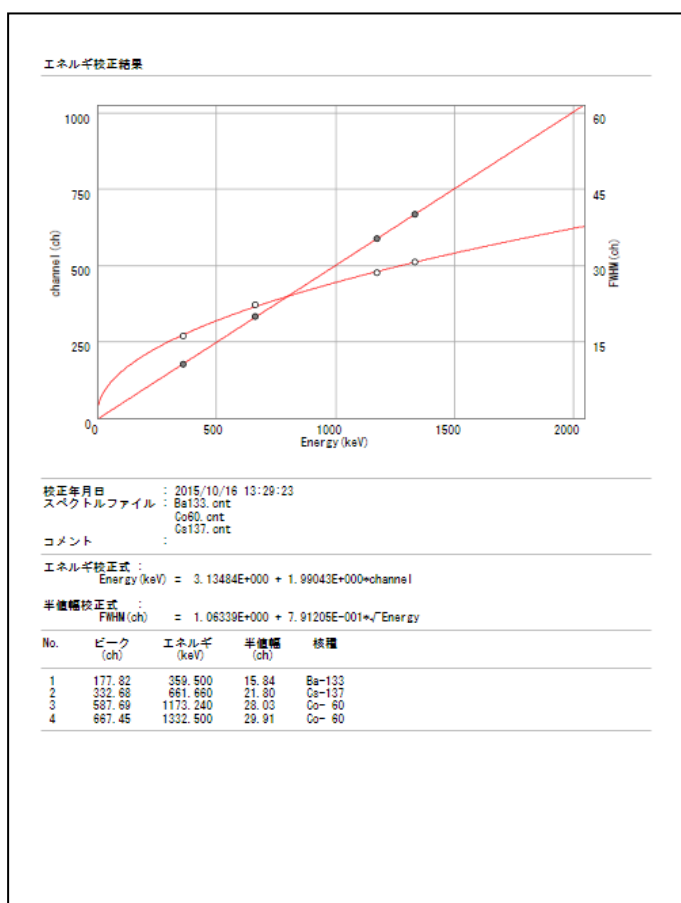


復帰：削除データ一覧のデータを選択して「復帰」ボタンをクリックする。そうするとエネルギー校正が直ちに再校正され、また復帰したデータは削除データ一覧から除かれる。

他の操作は「ファイル」メニューで行う。



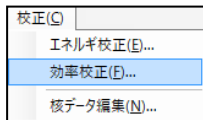
- ・ 既存ファイルを開く : 登録済みのエネルギー校正ファイルを読み込む。(拡張子=.Ecl)
- ・ 名前を付けて保存 : 作成したエネルギー校正データをファイル保存する。(拡張子=.Ecl)
- ・ 印刷 : 作成または読み込んだエネルギー校正データをプリンタ出力する。
- ・ 終了 : 「エネルギー校正」を終了して起動画面に戻る。



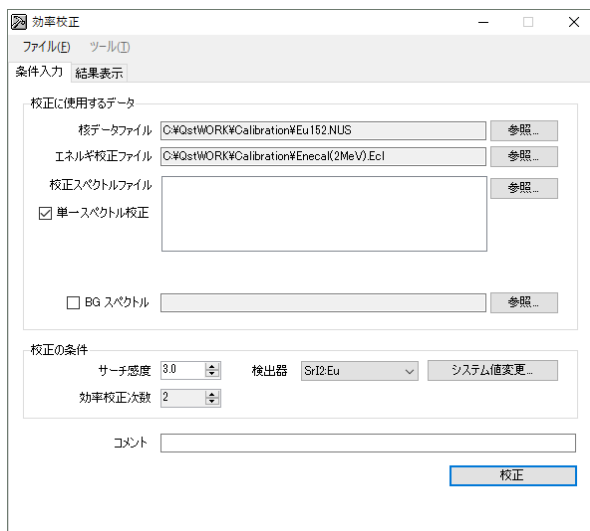
2.3. 効率校正

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。

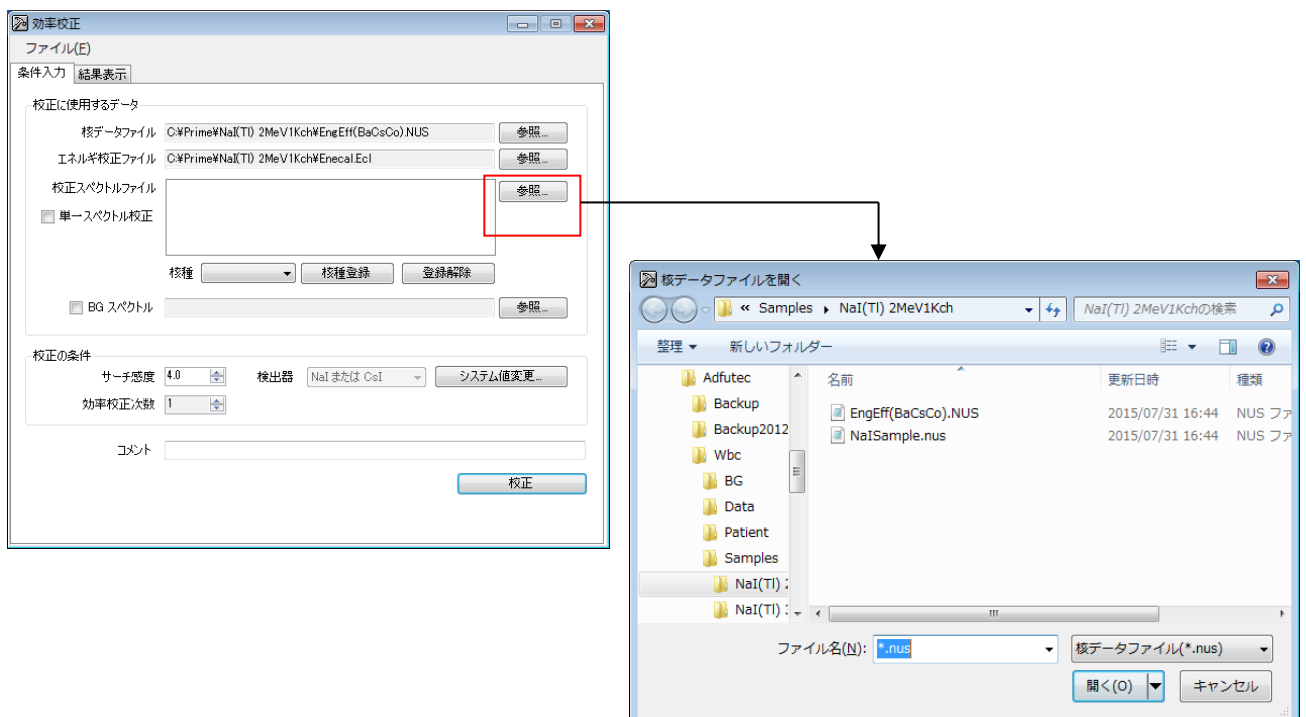
メニュー「校正／効率校正」を実行する。



効率校正プログラムが起動する。



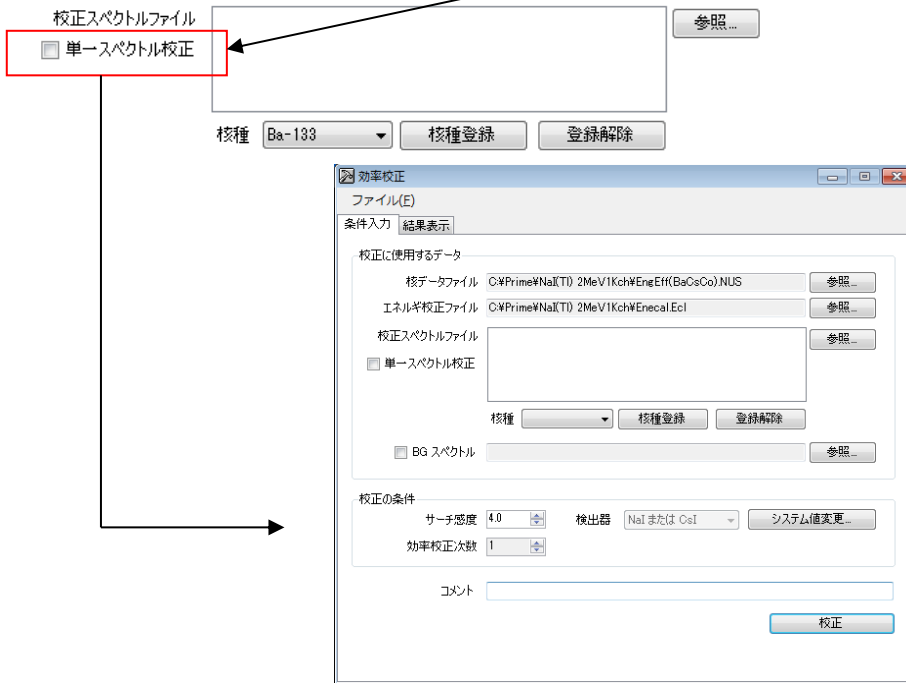
各「参照」ボタンをクリックして効率校正に使用する、核データファイルとエネルギー校正ファイルを選択する。なお、核データファイルには使用する核種の検定強度、検定日を登録しておく必要がある。



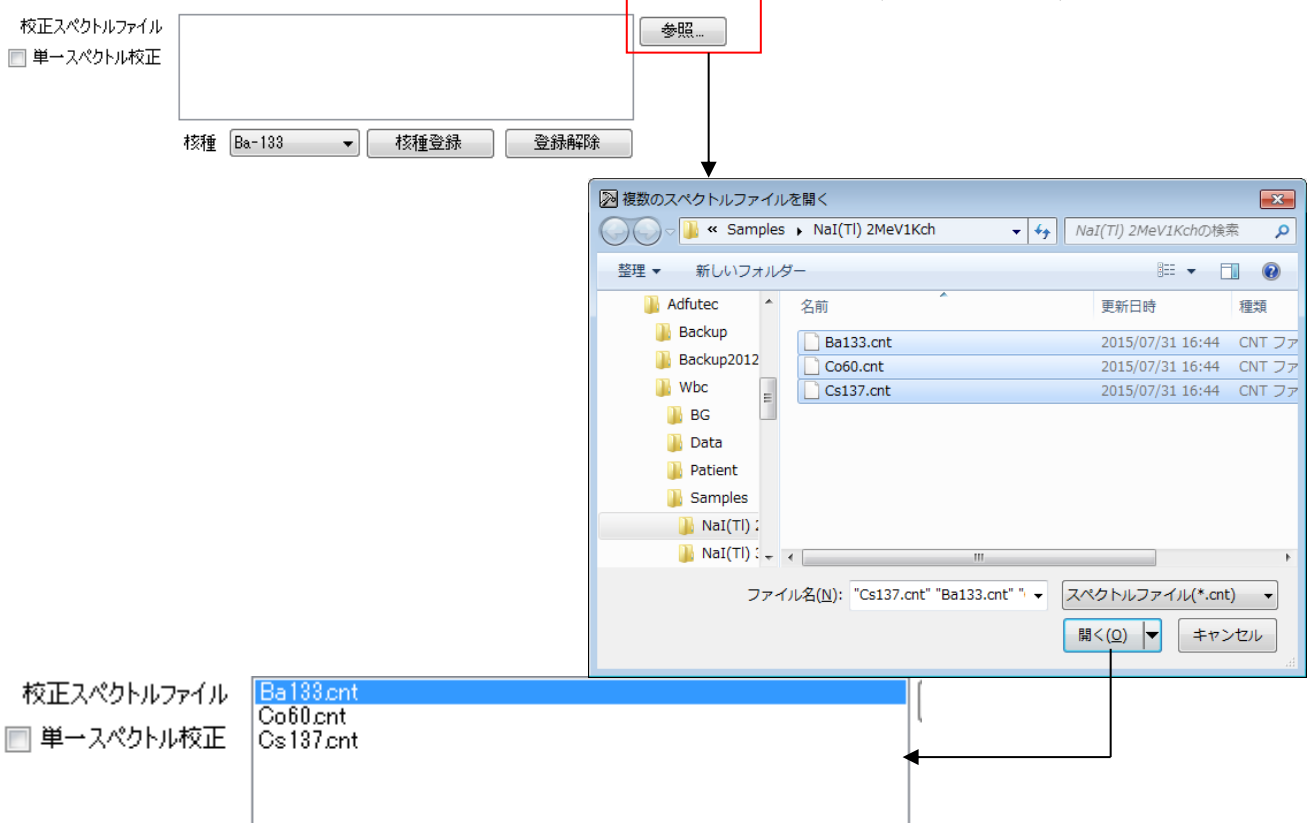
効率校正に使用するスペクトルは核種／線源によって次の3タイプがある。

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

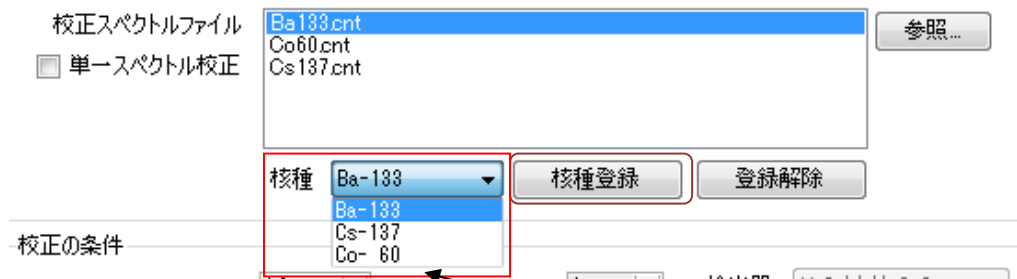
「単一スペクトル校正」を (チェックなし)で画面が切り換わる。



「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。

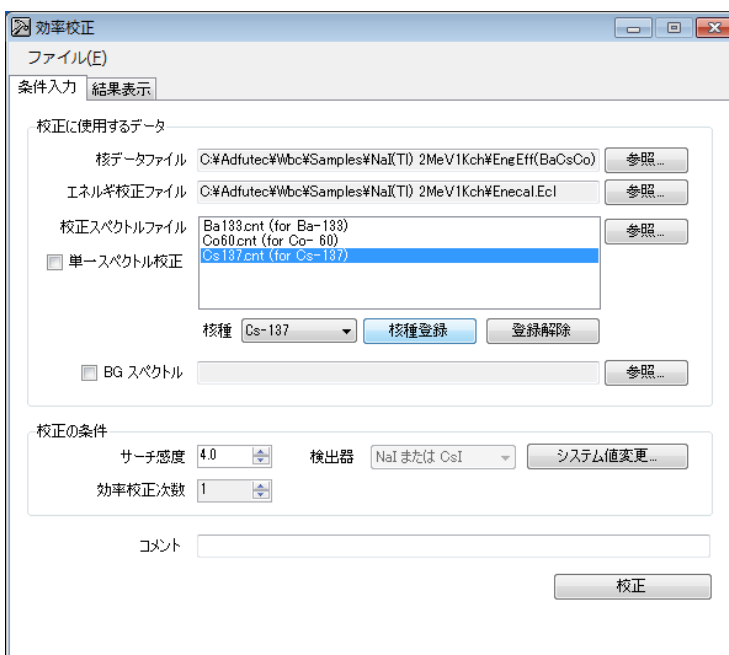


核データファイルを選択すると核種がコンボボックスで選択できる。核種を選択後、「核種登録」ボタンをクリックして校正スペクトルに対応させる。

※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 γ 線数 -2 が上限 (2本なら校正次数 ≤ 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。

コメント

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 γ 線を使用するので、「単一 γ 線」はチェックなしとする。

校正スペクトルファイル

単一スペクトル校正

単一 γ 線

効率校正

ファイル(E)

条件入力 結果表示

校正に使用するデータ

核データファイル C:\Adfutech\Wbc\Samples\NaI(Tl) 2MeV1Kch\EngEff(BaCsCo)

エネルギー校正ファイル C:\Adfutech\Wbc\Samples\NaI(Tl) 2MeV1Kch\Enecal.Ecl

校正スペクトルファイル

単一スペクトル校正

単一 γ 線

BG スペクトル

校正の条件

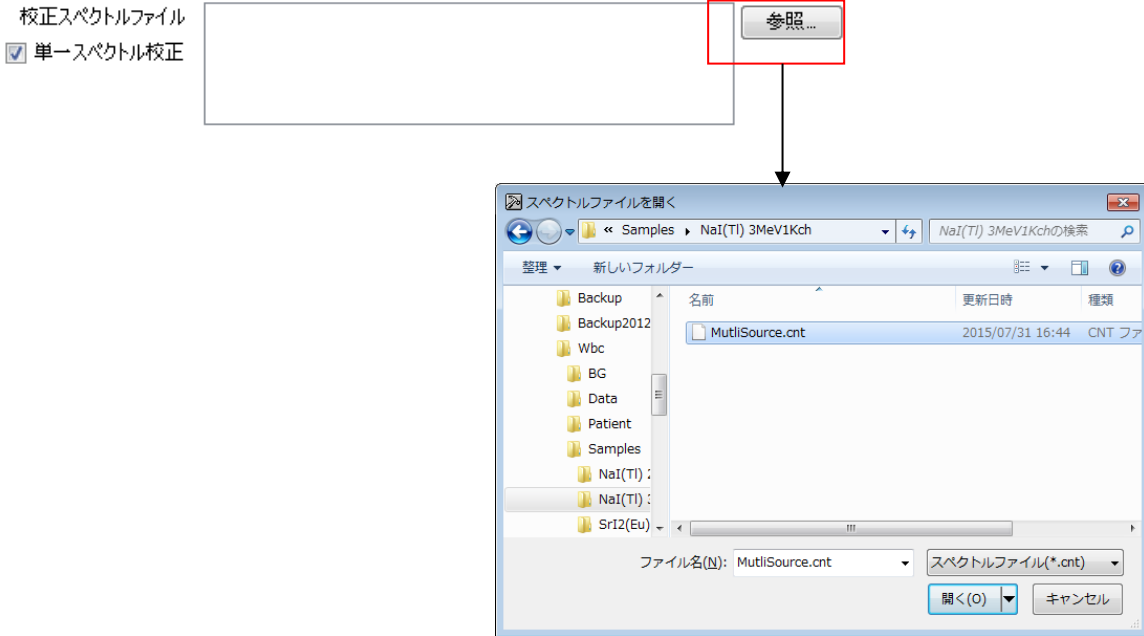
サーチ感度 4.0

検出器 NaI または CsI

効率校正次数 1

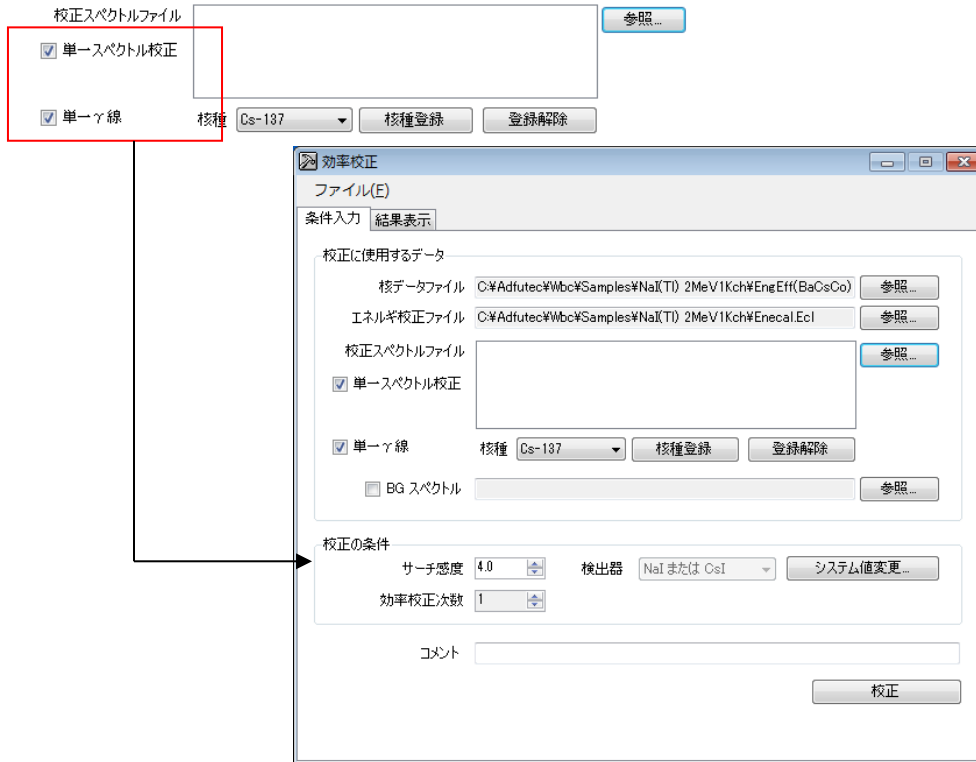
コメント

「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)

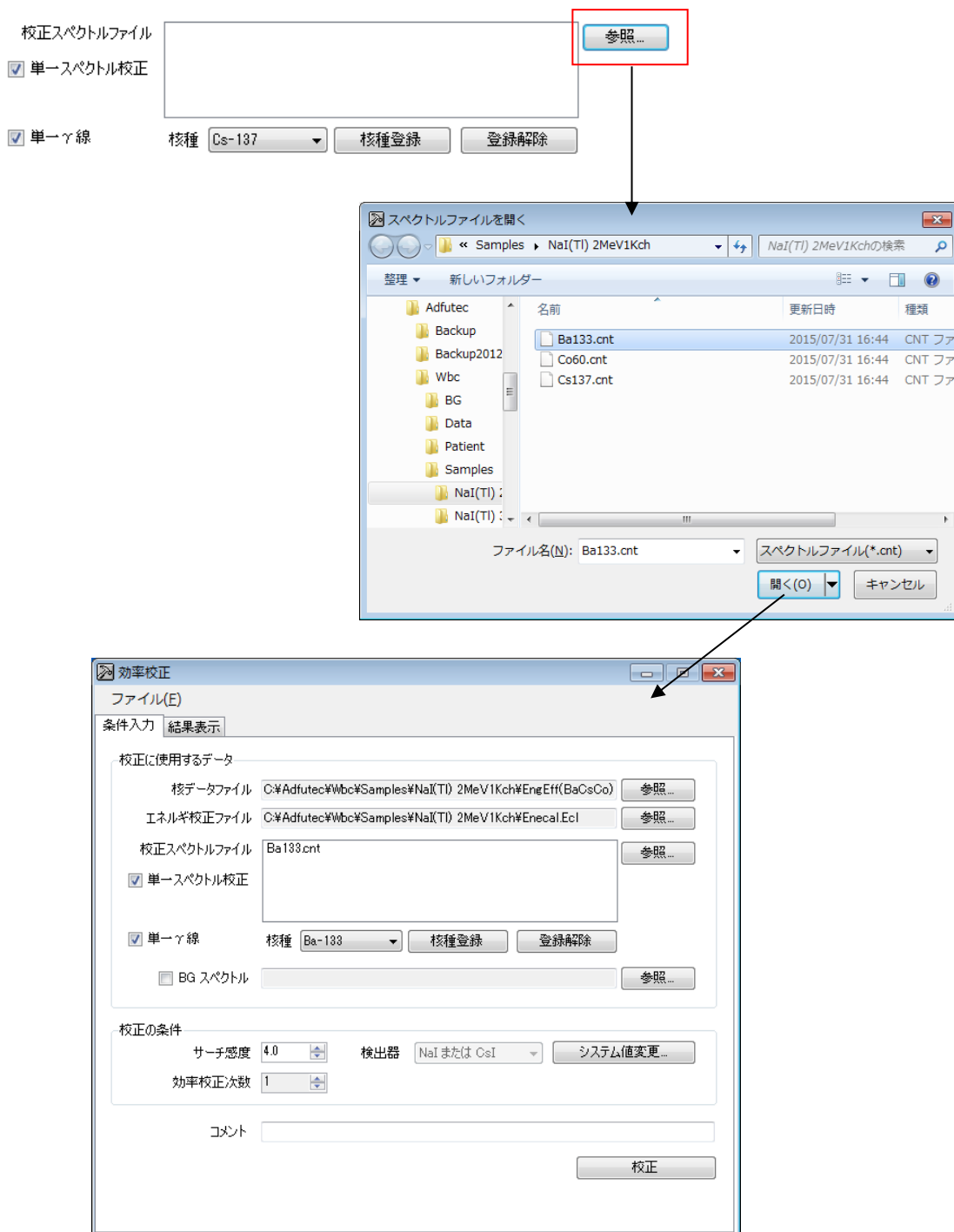


※タイプ2では、核種同定は自動的に行うため、タイプ1のような「核種指定」はない。タイプ1同様にサーチ感度等の校正の条件を設定して、「校正」ボタンをクリックすると効率校正を開始する。

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



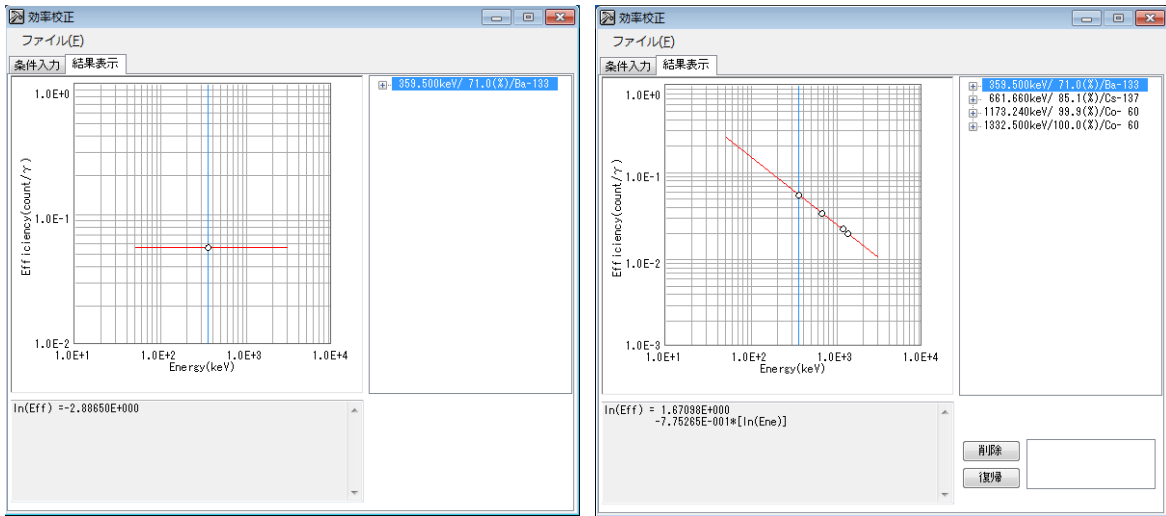
「参照」ボタンをクリックして校正スペクトルファイルを選択する(複数選択可能)



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。

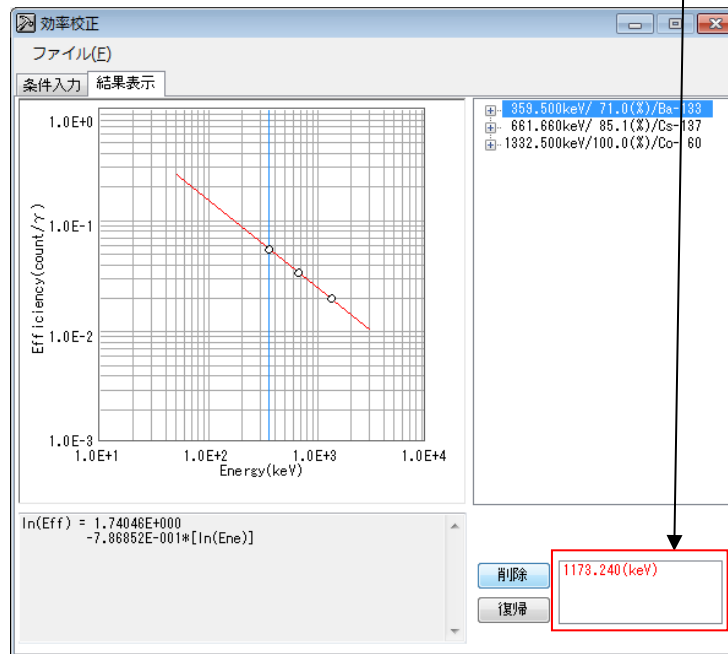
効率校正後の画面は次のとおりである。



タイプ1,2 の複数 γ 線による効率校正結果 タイプ3の1本の γ 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。

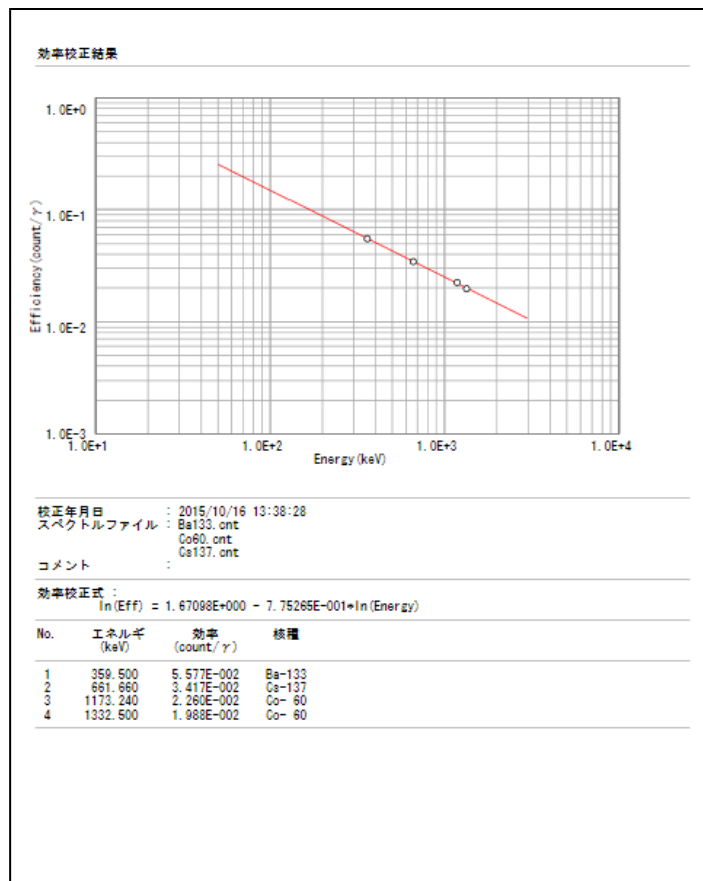


復帰: 削除データ一覧のデータを選択して「復帰」ボタンをクリックする。すると直ちに効率校正が再校正され, また復帰したデータは削除データ一覧から除かれる。

他の操作は「ファイル」メニューで行う。



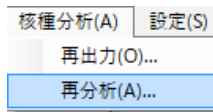
- 既存ファイルを開く : 登録済みの効率校正ファイルを読み込む。(拡張子=.Fcl)
- 名前を付けて保存 : 作成した効率校正データをファイル保存する。(拡張子=.Fcl)
- 印刷 : 作成または読み込んだ効率校正データをプリンタ出力する。



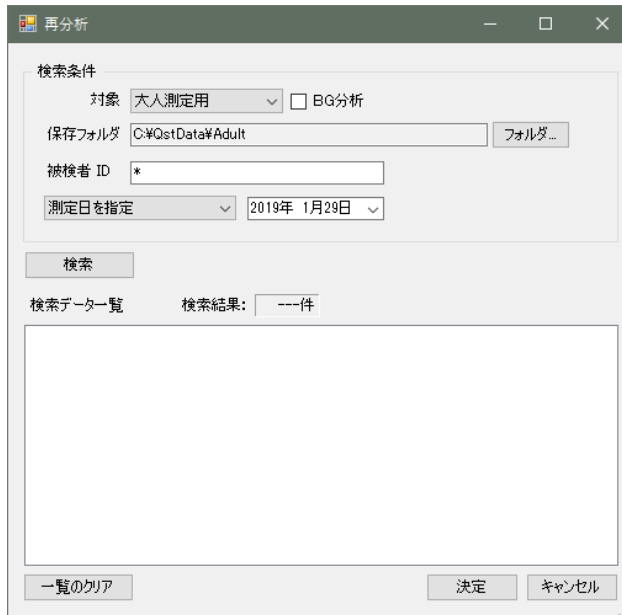
- 終了 : 「効率校正」を終了する。

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。

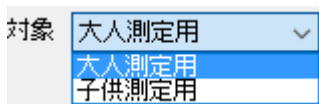


再分析対象を指定する画面が起動する。



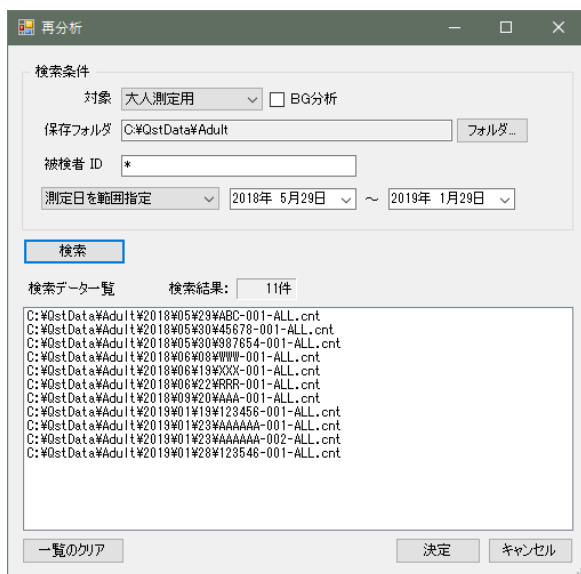
◎検索条件

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。



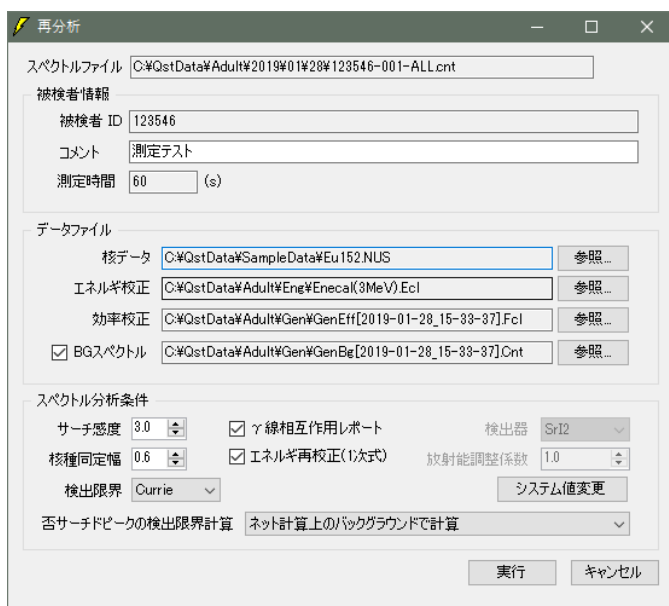
- BG 分析** : チェック()すると、対象を BG 測定結果に変更する。
- 保存フォルダ** : 既出の"対象"と連動し、大人測定用フォルダ、子供測定用フォルダが切り替わる。「フォルダ...」ボタンをクリックすると変更可能である。
- 被検者 ID** : 被検者識別の ID を入力する（起動時の初期表示は常に '*' である）。
※ワイルドカード"*", "?" が使用できる。
123?? → 最初の 3 文字が"123"の全ての被検者
- 測定日** : 測定日をカレンダー入力する。
※測定日は範囲入力が可能である

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。

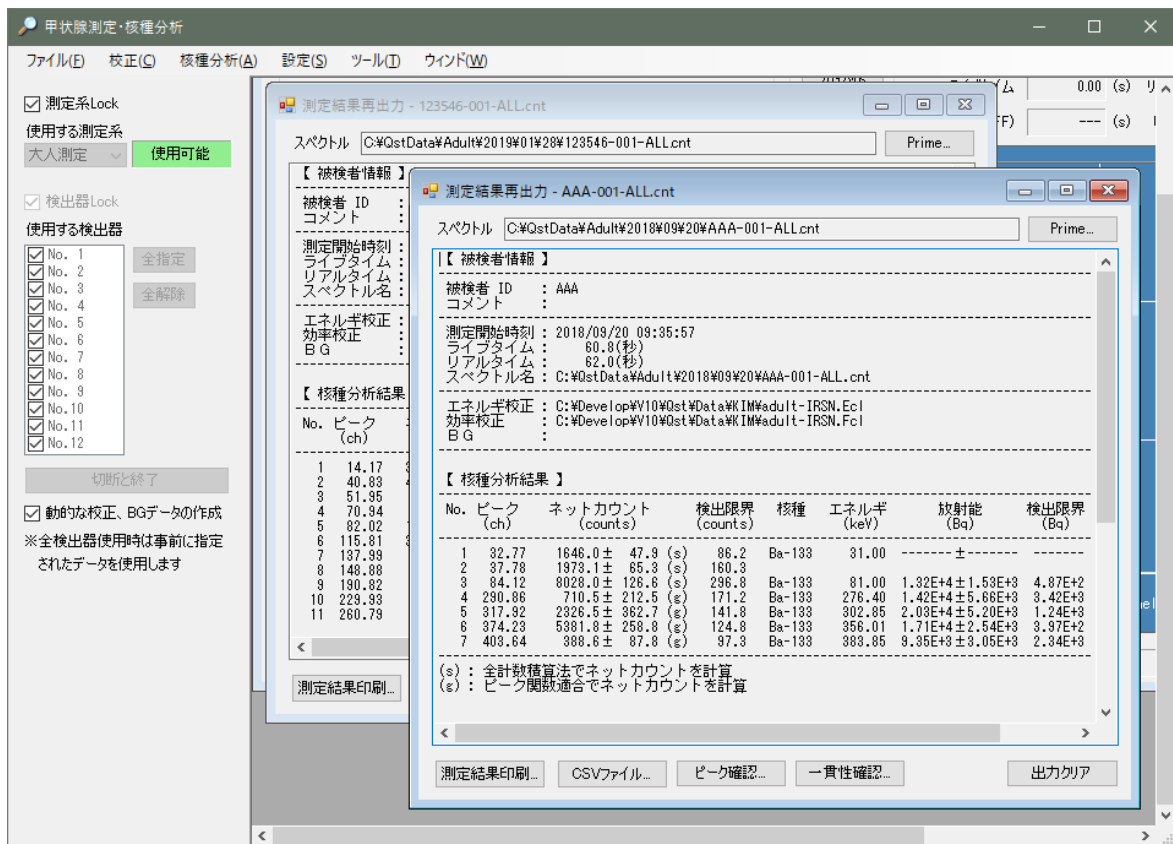
特定被検者が 1 日に何度か測定した場合も全て別のデータとして扱い、検索結果として出力される。一覧から測定データを選択し、「決定」ボタンをクリックして次の条件入力に進む。なお、選択できる測定データは 1 件で、複数選択できない。測定データを選択、「決定」ボタンをクリックすると被検者情報、条件設定画面が起動する。



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。

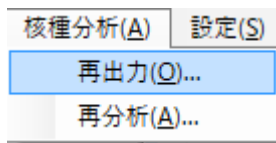


なお、改良により再分析結果は別ウィンドのため、複数の結果を並べて表示することも可能である。

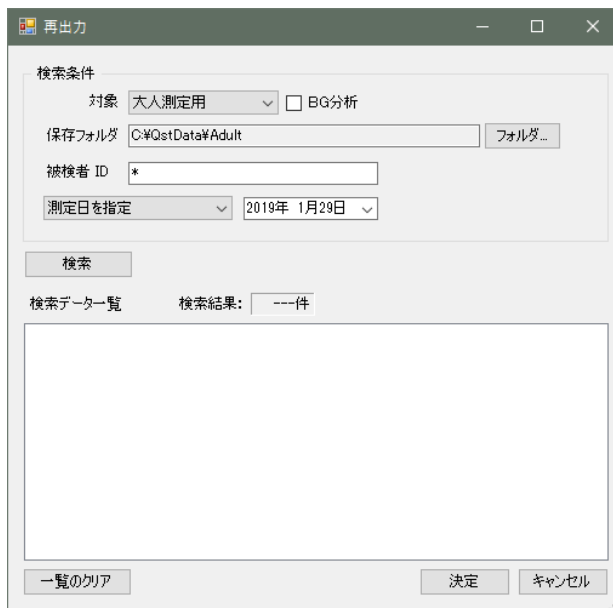


2.5. 再出力

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。

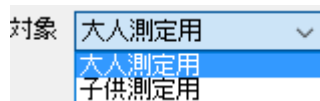


再出力対象を指定する画面が起動する。



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

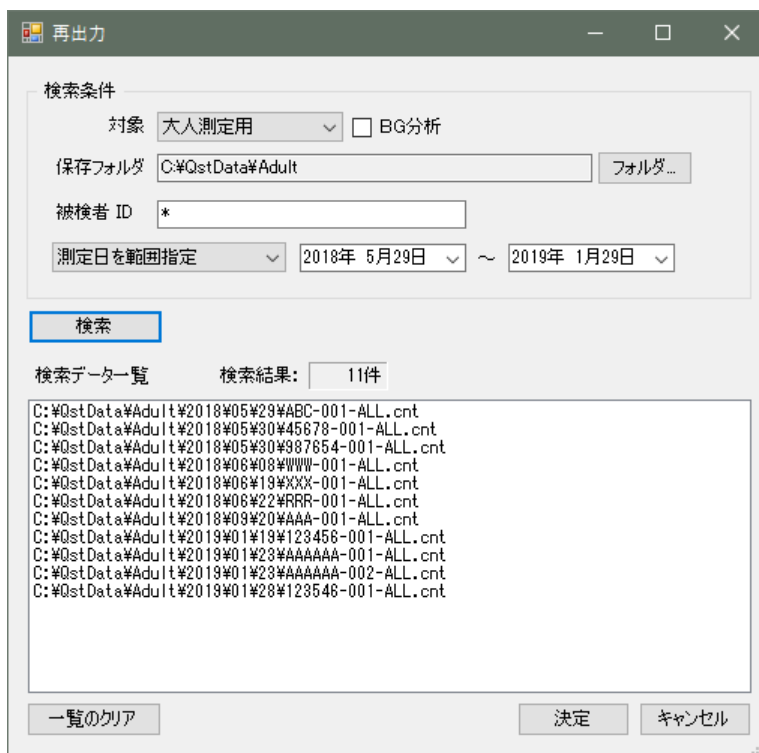
123?? → 最初の 3 文字が"123"の全ての被検者

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。

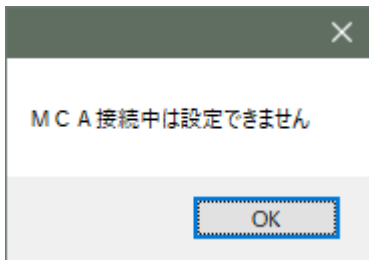


一覧から測定データを選択し、「決定」ボタンをクリックしてその内容を再出力する。これ以降の操作は「被検者測定」と同一である。なお、選択できる測定データは1件である。複数選択できない。再分析同様に別ウィンドが再出力される。再出力も結果を並べての比較表示が可能である。



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
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

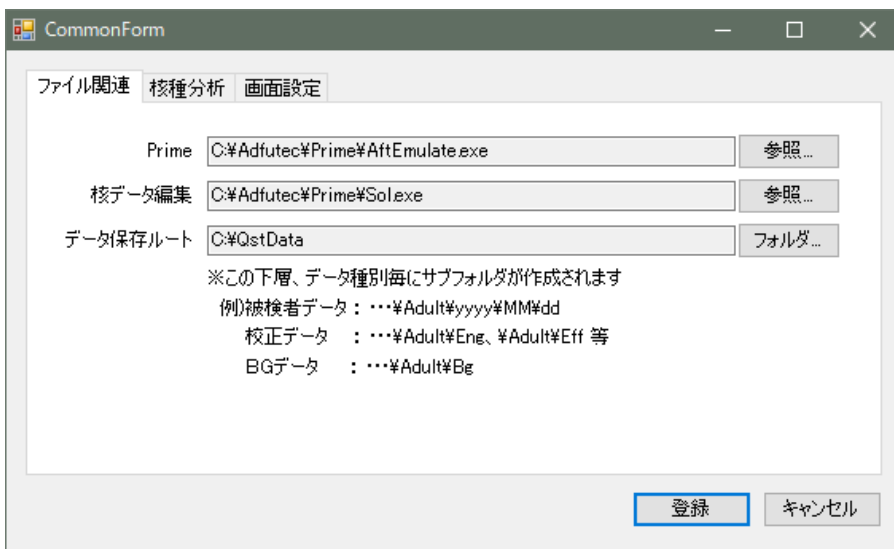
の 3 つに分けられる。

(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。

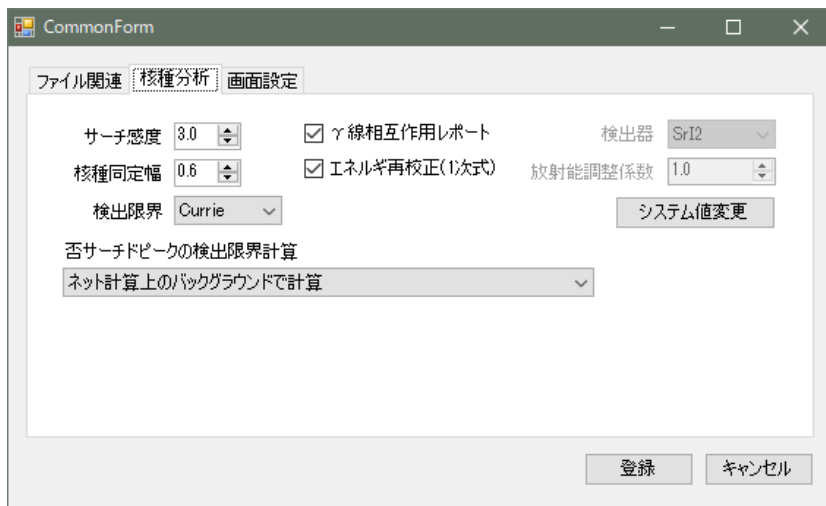


- ・ Prime : Prime の AftEmulate.exe を指定する。
- ・ 核データ編集 : Prime 附属の核データ編集プログラム, Sol.exe で指定する。
- ・ データ保存ルート : 全てのデータのルートフォルダを指定する。

※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
- γ 線相互作用レポート : チェックすると(☑) γ 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 γ 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/ γ 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。

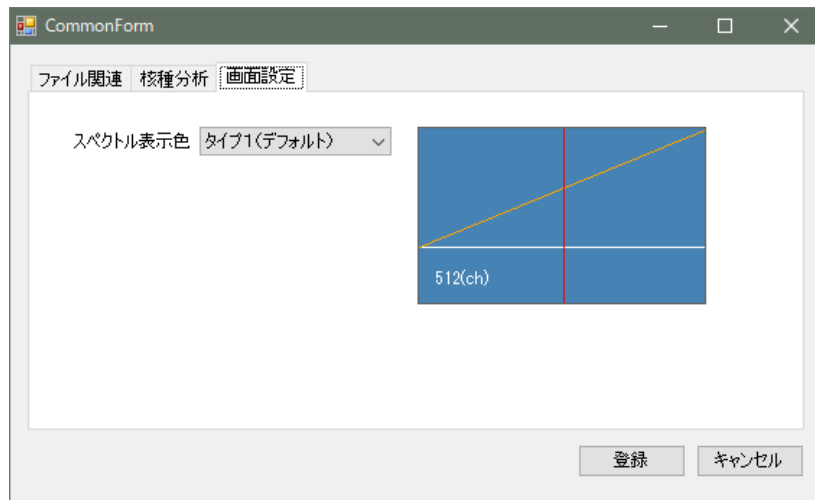
例) 放射能測定で得られた不確かさ = 15%

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。

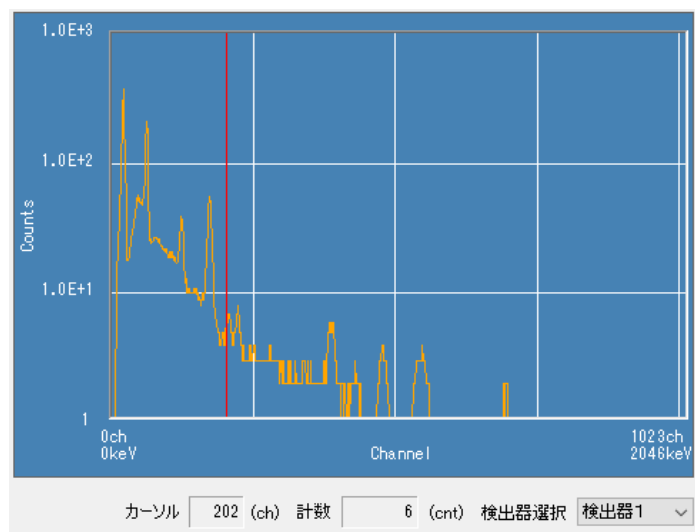
共通「画面設定」は次の画面である。



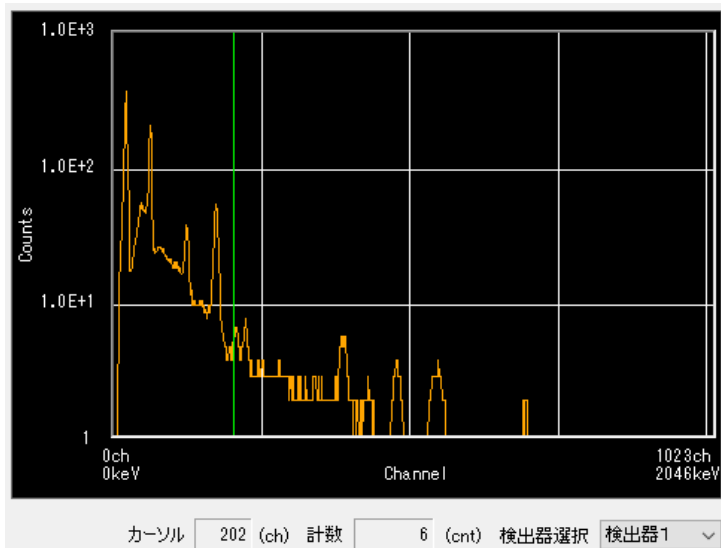
・スペクトル表示色

画面中のスペクトル表示色を選択する。

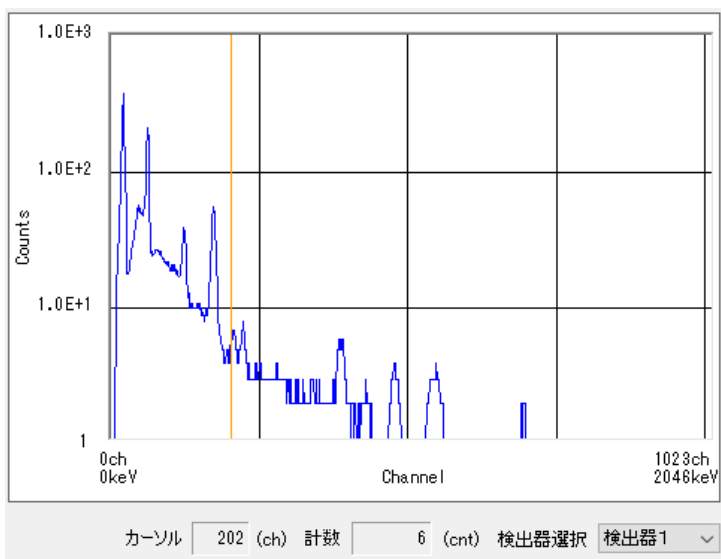
タイプ1：背景色=Primeと同じ青，スペクトル色=橙，軸スケール値の表示色=白，カーソル色=赤



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

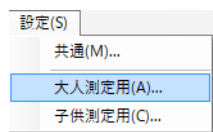


「登録」ボタンで，入力した設定値を保存して通常画面に戻る。

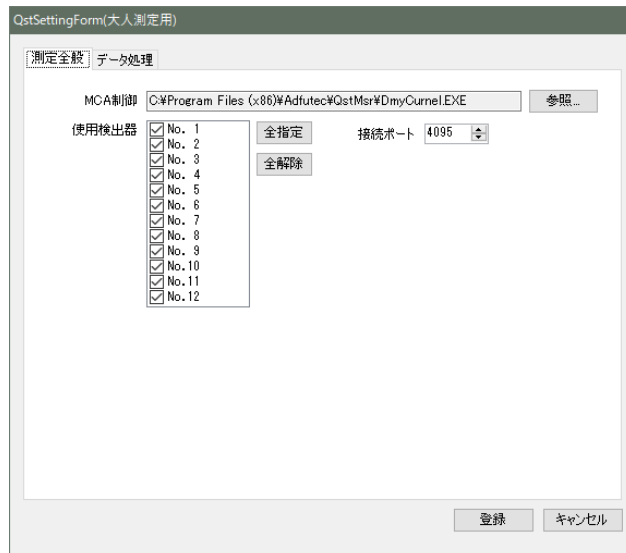
「キャンセル」ボタンで，入力した設定値を破棄して通常画面に戻る。

(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。



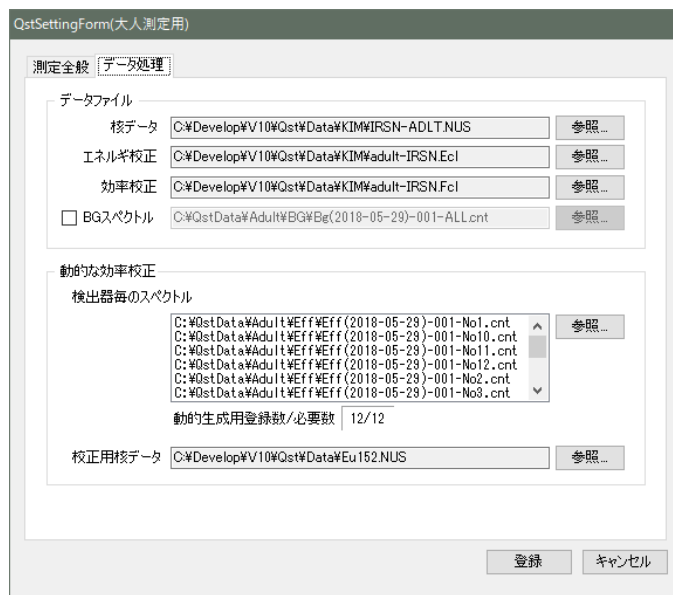
MCA 制御 : 新モニタ用 MCA 制御用プログラムを指定する。

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 :

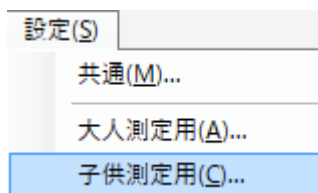
先に指定した効率校正は合算スペクトル(...¥#####(yyyy-MM-dd)-\$\$\$-ALL.cnt)で作成したものであるが, 合算前の検出器毎のスペクトルファイル(.cnt)を全て指定する(No.1~No.12)

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

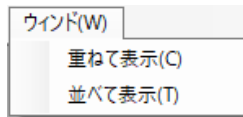
メニュー「設定/子供測定用」を実行する。



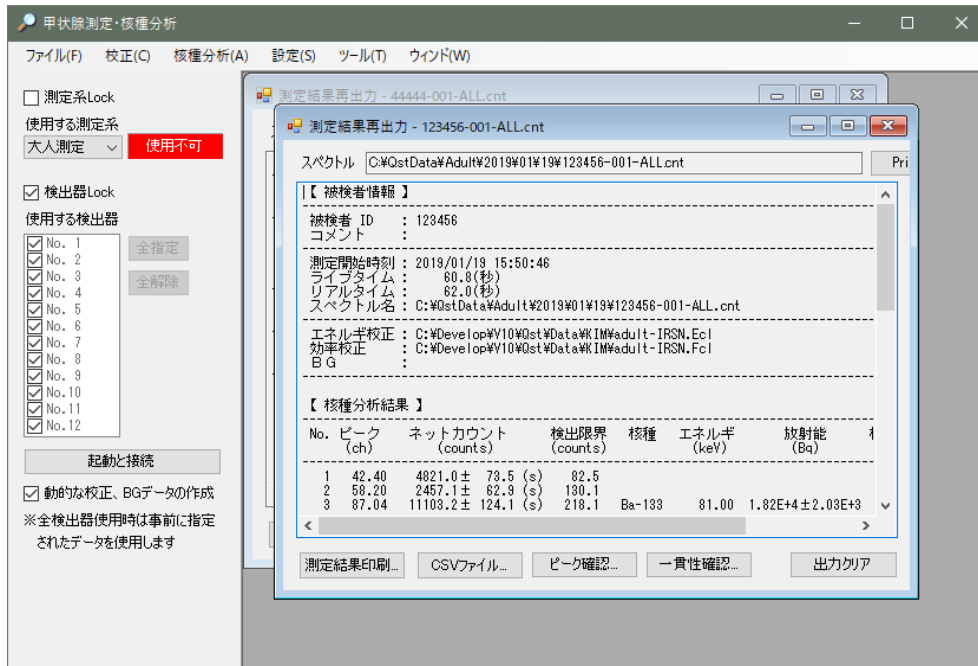
以降の操作は大人測定用の設定と同じである。

2.7. ウィンド

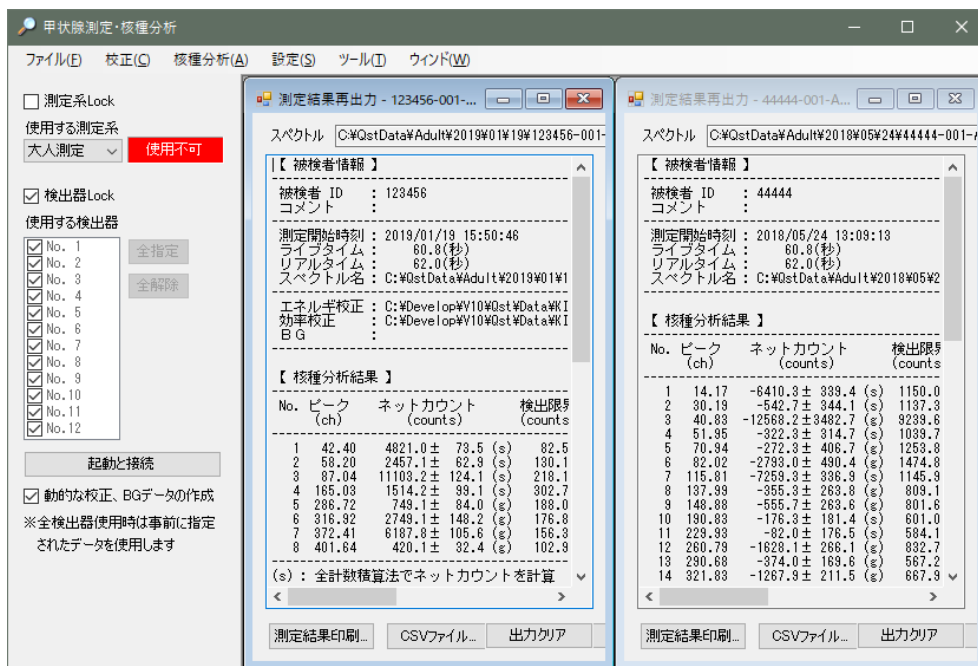
本プログラムは複数のウィンド表示が可能な MDI (Multi Document Interface) である。複数の Window を同時表示している場合は整列表示が有効である。



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用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。

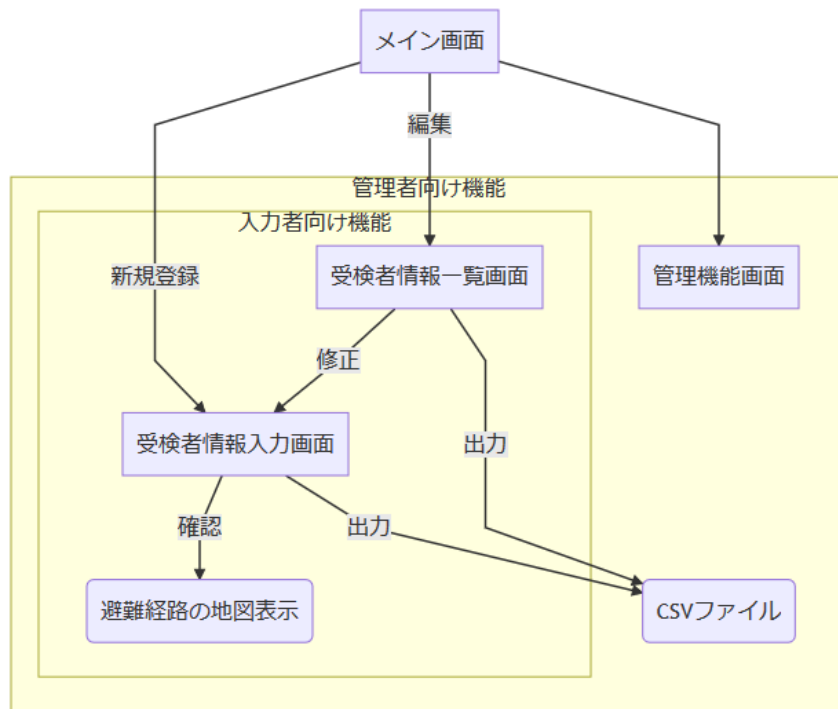


図1 画面の遷移図

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）。

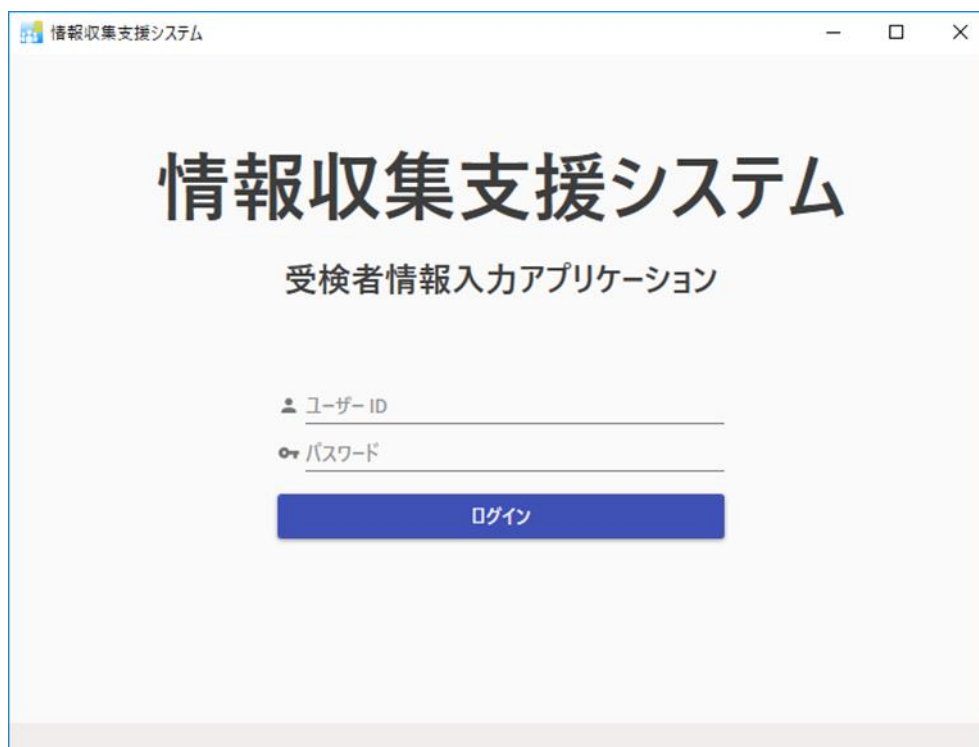


図 2 入力画面

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)



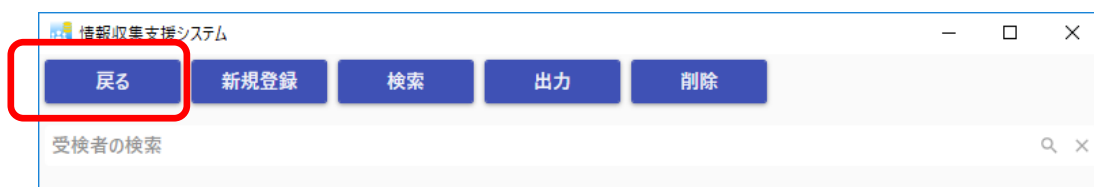
図 3 (b) メイン画面 (入力者)

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。

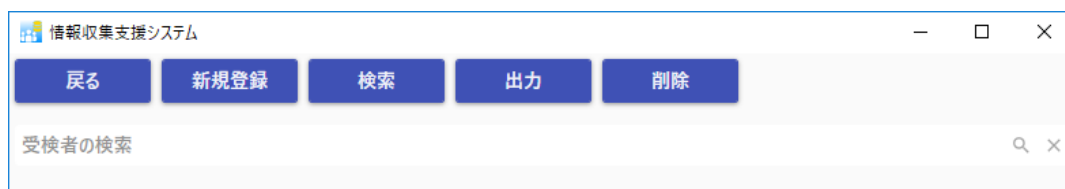
この画面では、登録している受検者情報の検索が行うことができる。入力者権限のユーザーであれば、個人情報の一覧表示は行われず、検索結果が一致したユーザーの表示のみを行う。管理者権限を持ったユーザーであれば、登録中の全データが一覧表に表示され、検索条件を入力することで一覧表の表示内容が絞り込まれる。

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。

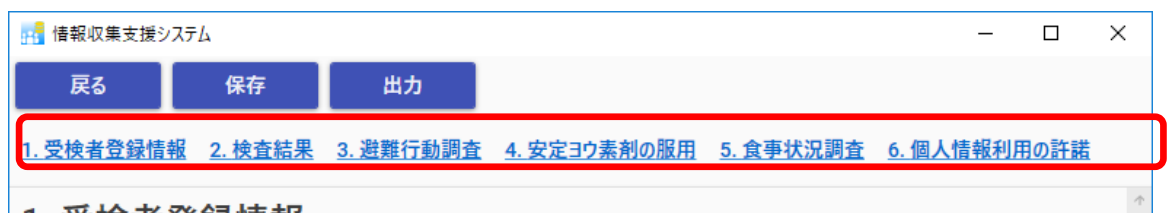


(2) 出力

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' form. The form contains several input fields. Two fields are highlighted with red boxes: '作成日' (Creation Date) with the value '2018/12/19' and a calendar icon, and '生年月日' (Date of Birth) with the value '1972/10/07' and a calendar icon. Other visible fields include '検査場' (Exam Site), '個人識別ID' (AGZ51HL2), '氏名' (山本金次), 'ふりがな' (やまもと きんじ), '測定時の年齢' (46 歳 2 ヶ月), '性別' (radio buttons for 男性, 女性, 未記入, 判読不可), and '住所'.

「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 μ 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(μ 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 μ Sv/h

No.	大腿部 (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て、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。

個人識別ID	氏名	住所
AGZ51HL2	山本金次	[Redacted]
ABCD	山本金次	

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

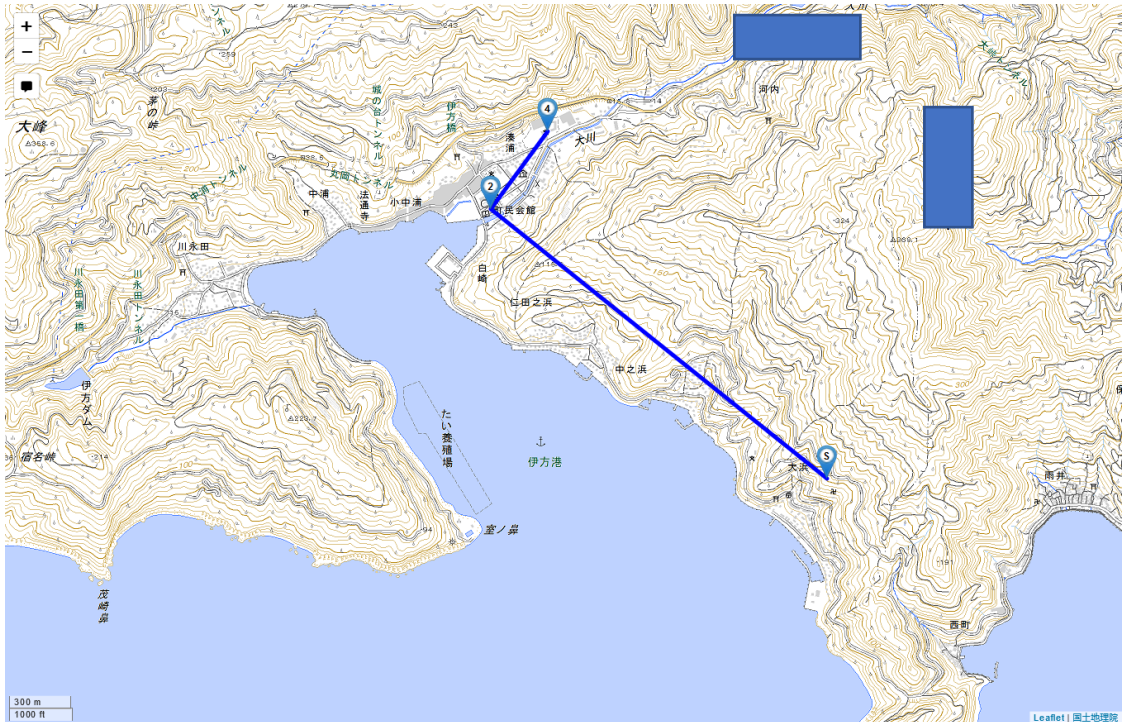


図 11 地図で示した避難行動

(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】

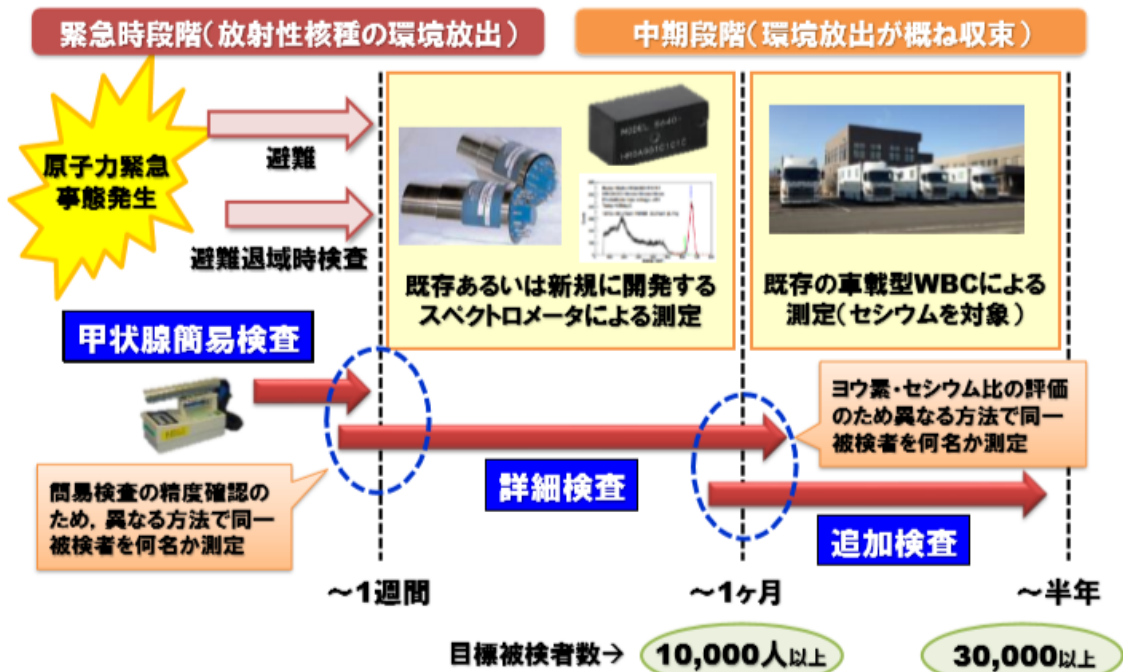
⑤放射性ヨウ素等の迅速・高精度な内部被ばくモニタリング手法に関する研究
研究の背景等(公募要領より)

- 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

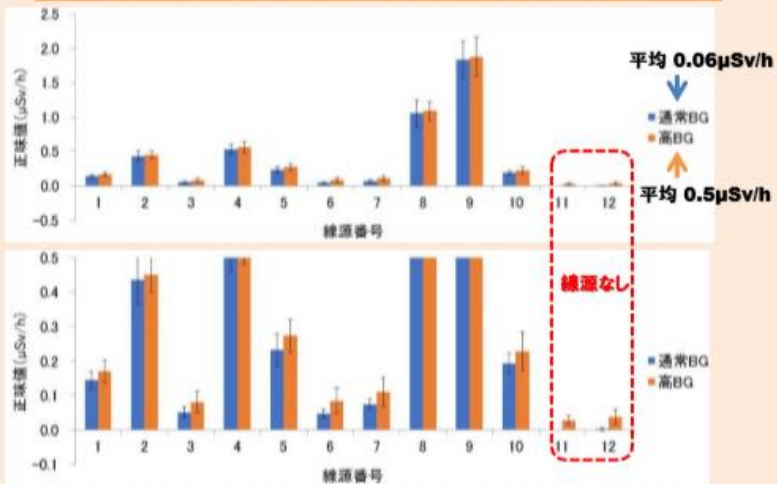
5

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



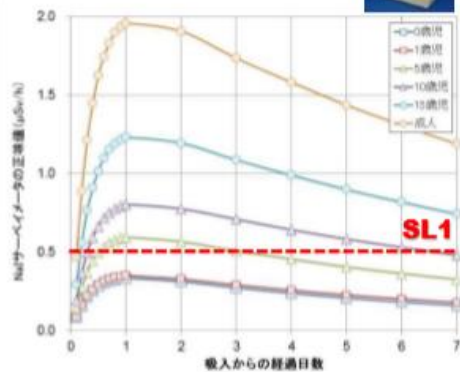
- 頸部の正味値が0.5 μ Sv/h程度以上であれば比較的信頼性のあるデータが取得できる。
- プローブ位置の標準化やサーベイメータ校正定数の個体間のばらつき等の課題抽出。

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2Gy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100mSvから導出



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



OIL8の根拠となる包括的
判断基準は、甲状腺等価
線量で100~200 mSv

表 10 甲状腺からの線量率に対する OIL8 の初期判定値

この OIL8 の初期判定値は甲状腺からの線量率に用いるものであり、以下のように決定される必要がある。(a) 対象者の年齢及び汚染状況の状況に応じ、(b) 急性摂取による甲状腺への照射の可能性があった時から1~6日後に、(c) 測定距離が10cm以下のプローブを用い、(d) 甲状腺の表層に接触させず、測定用のプローブを調整し、(e) バックグラウンド線量率が0.2 μ Sv/h未満の場所で行なう。

OIL8*	測定された人への線量
0.5 μ Sv/h 年齢 < 7歳	0.5 μ Sv/h
2 μ Sv/h 年齢 > 7歳	2 μ Sv/h

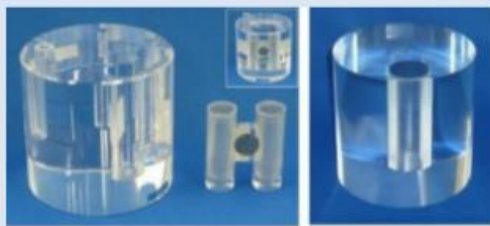
注: * 甲状腺からの線量率(μSv/h)は100mSvに相当する線量率で算出される。
 † 手を洗わずに測定器を手に持ち、測定器を甲状腺に近づけすぎると、甲状腺に放射線を照射する可能性がある。このため、OIL8を測定したときは必ず手を洗ってから測定を行う。
 ‡ バックグラウンド線量率に対する距離値。

- 提案するSL
SL1: 5 μ Sv/h, SL2: 0.5 μ 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-19 Thyroid radioiodine uptake measurement (1959)

ANSIファントム
Ref. ANSI N44.3-1973
Ref. ANSI/HPM 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)

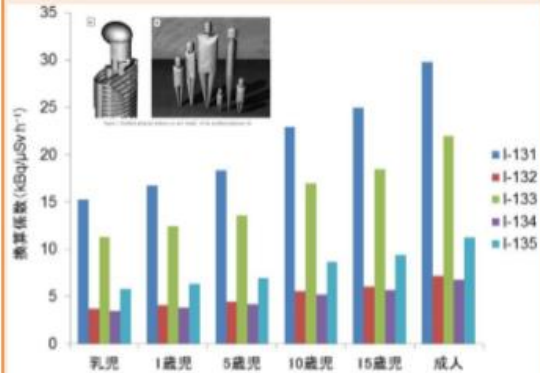
ANSIファントムに対する換算係数(kBq/μSv^h-1)

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^h-1)

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^h-1) ※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)

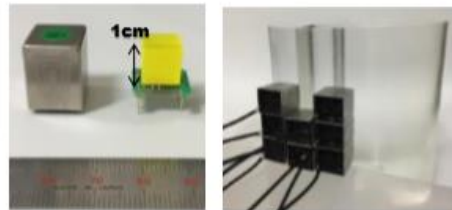
甲状腺詳細検査のための新モニタ開発

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

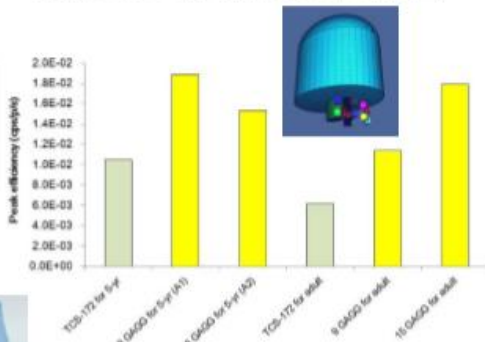
- 周辺環境中の着目核種の影響
- 小児を含む幅広い年齢群を対象とした検査



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

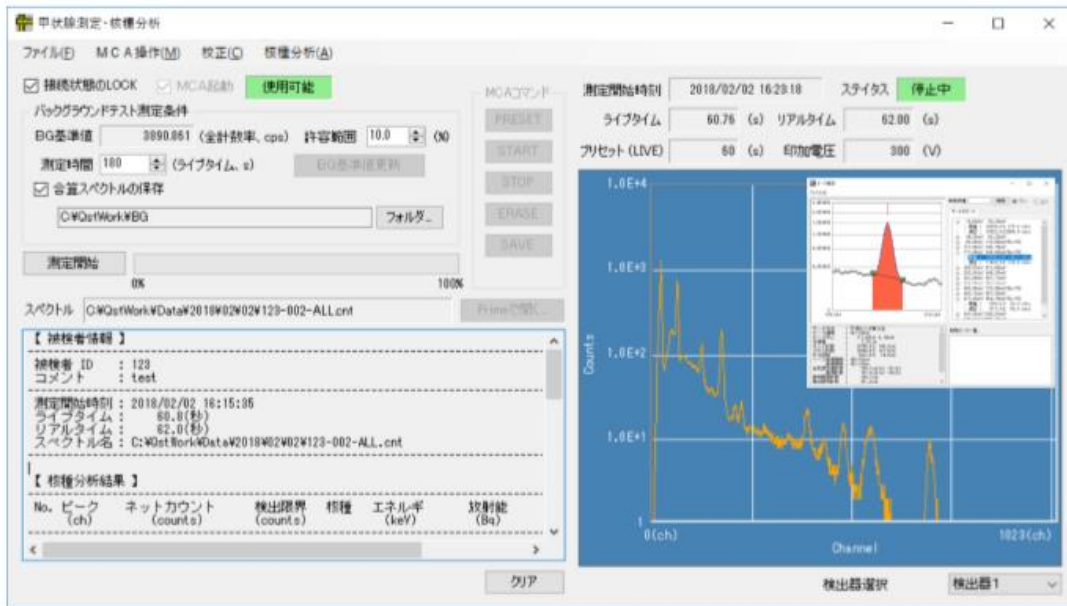


新モニタとNaI(Tl)サーベイメータの感度比較(数値シミュレーション)

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

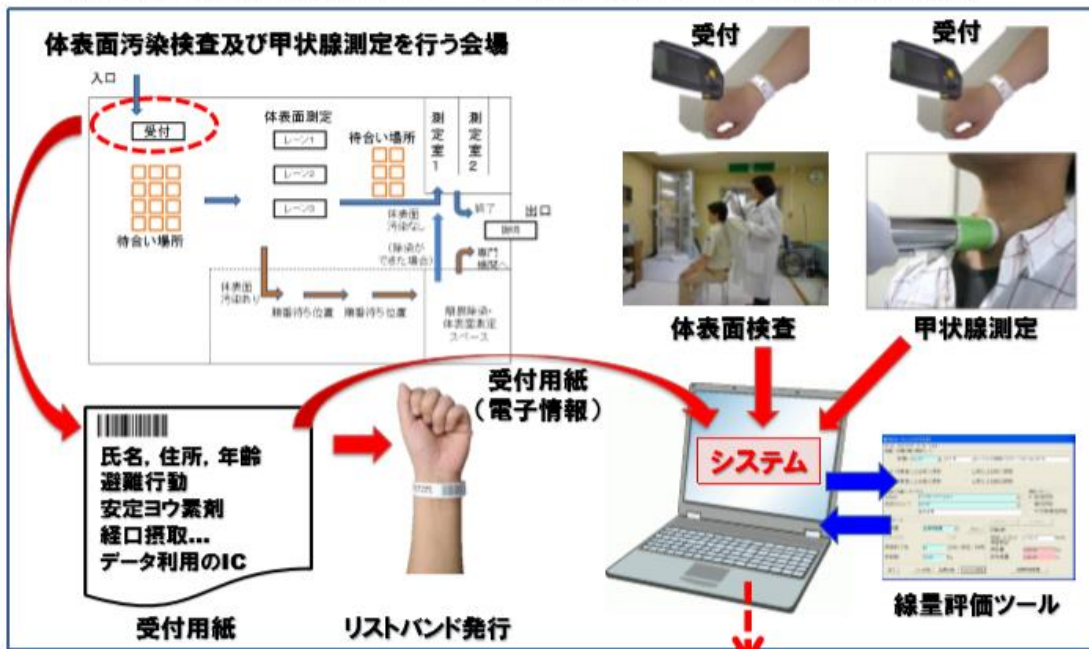


新甲状腺モニタ(GAGG)の制御及び波高スペクトルの解析処理

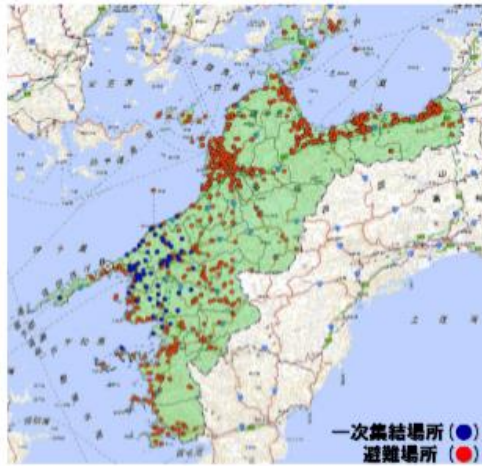
情報収集支援システム

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



国、自治体等の放射線防護対応の意思決定機関へ



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	3,518	5,761	29,534	81,576	122,836	
Total	63	2,497	3,664	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 含まれる区域			UPZ外	計
		PAZ	UPZ	UPZ外		
北川町	771	0	6,308	0	7,079	
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	831		831	
美里町	0	0	116	5,094	5,210	
南三陸町	0	0	1,618		1,618	
計	1,382	2,523	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"> ● 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。 ● 海外調査は3月に予定(訪問先: Health Canada)
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).

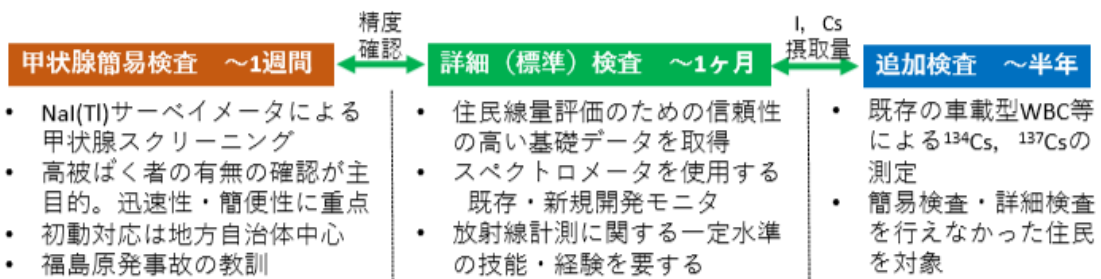
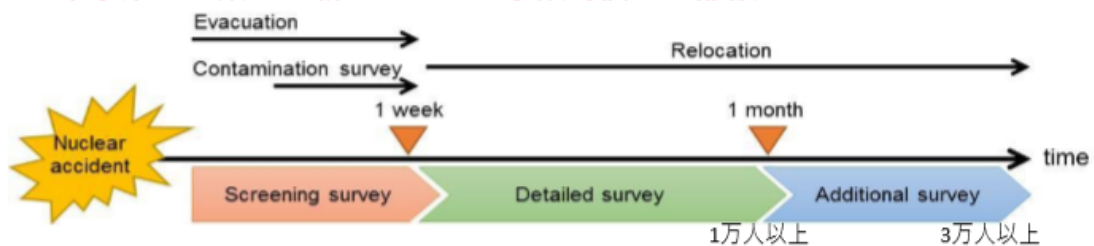
放射線安全規制研究推進事業
原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立

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



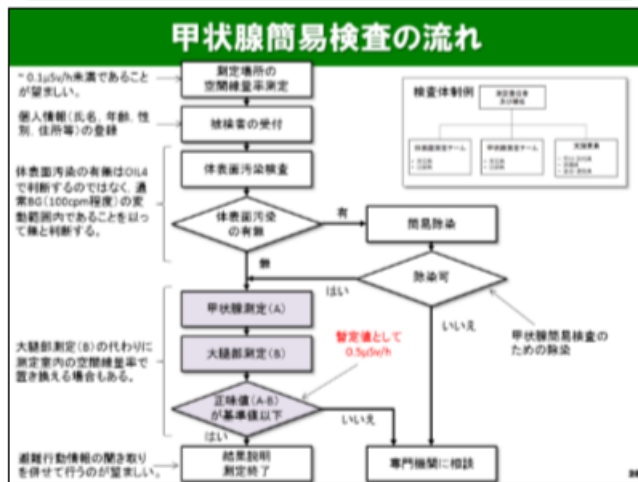
Nalサーベイメータによる甲状腺スクリーニングの技術面・運用面での課題

‘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 (Ti) 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 (¹³⁷Cs)

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：¹³⁷Cs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. 体表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秒で指示値が安定したときの数値【測定値(A)】を読み取る。

(測定説明)
 ● プローブの先端はティッシュペーパー等で拭き、汚染を確認した場合には適やかに洗浄するようにしておく。
 ● 可能であれば、プローブを顔面に密着させる前に被検者の顔面肌をティッシュペーパー等で軽く拭く。
 ● 一定のセットをした場合、指示値が安定するのは30秒ほど(測定数10秒の場合)。

2. 体表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秒で指示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



正味値
μSv/h

= 頸部前面での空間線量率
(甲状腺測定)

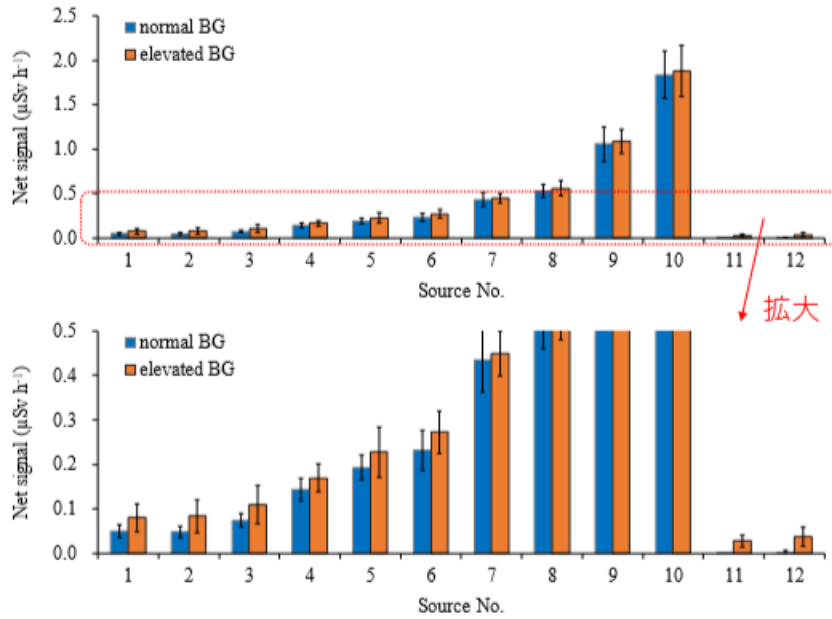
- 台下の空間線量率
BG (大腿部測定)

甲状腺簡易検査実習



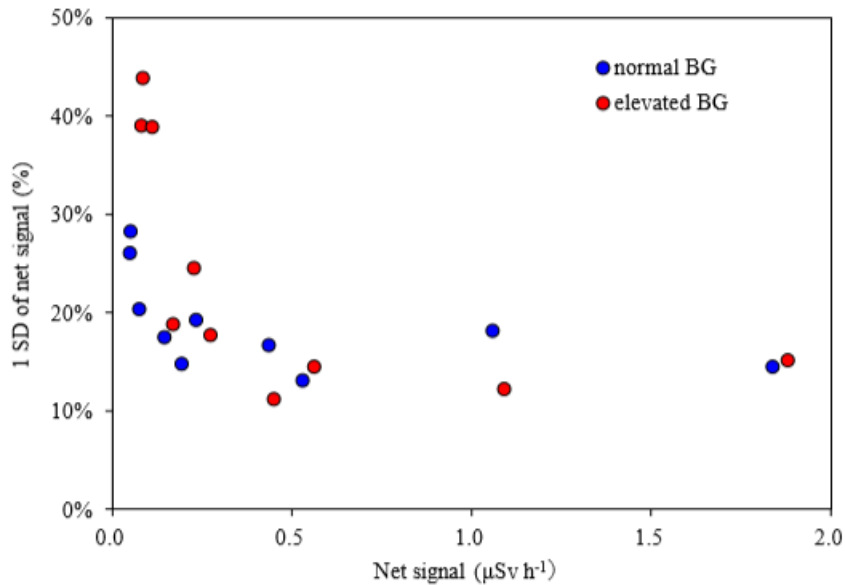
甲状腺簡易検査実習の様子

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 μ 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 μ 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 μ Sv/hの範囲ではほぼ10–20%の間であった。 < 0.2 μ Sv/hでは計数の統計的なばらつき、 > 0.2 μ 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 μ 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) ²



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. ANSIHP5 N13.44-2014

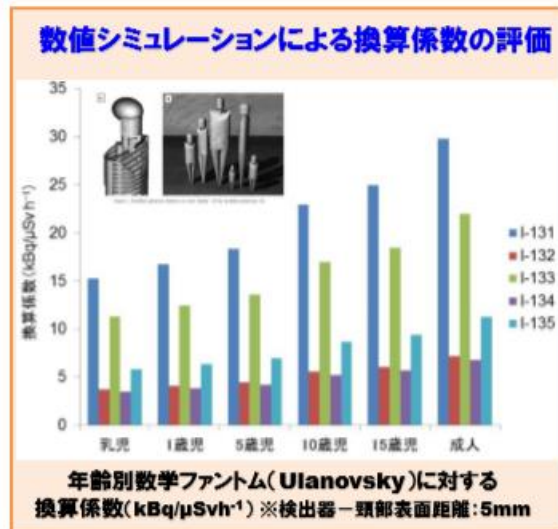
換算係数の実験評価
(校正済みの6台のサーベイメータを用いて実験)

ANSIファントムに対する換算係数(kBq/μSv・h⁻¹)

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

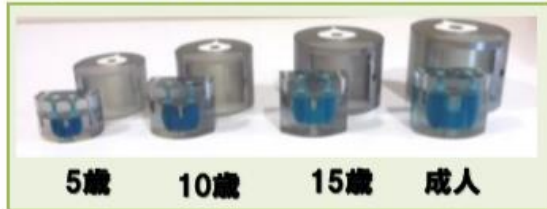
ORINSファントムに対する換算係数(kBq/μSv・h⁻¹)

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



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

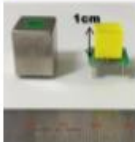
年齢別ファントムに対する換算係数(kBq/μSv⁻¹)(TCS-172)

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

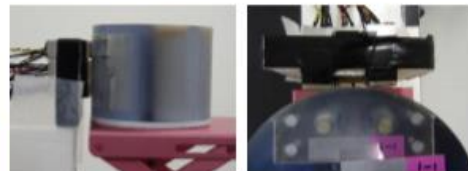
新モニタ(GAGG検出素子)の試作及び試験

- 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

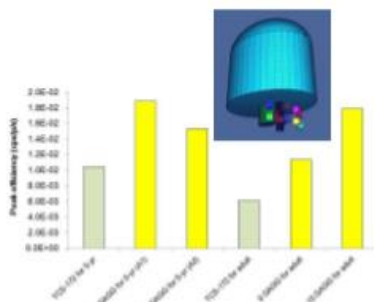


写真左: GAGG結晶(+SIPM)とケーシング
写真右: GAGG検出素子をファントムに配置

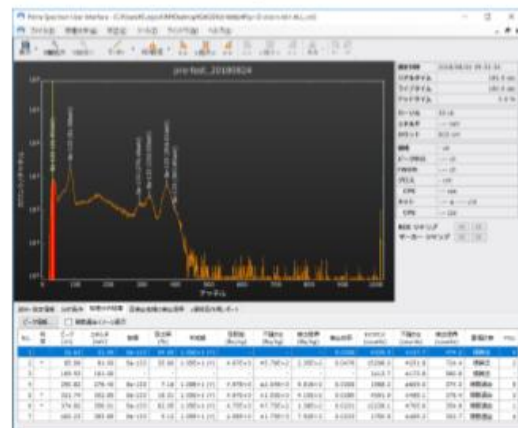
最適配置検討



↓ 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

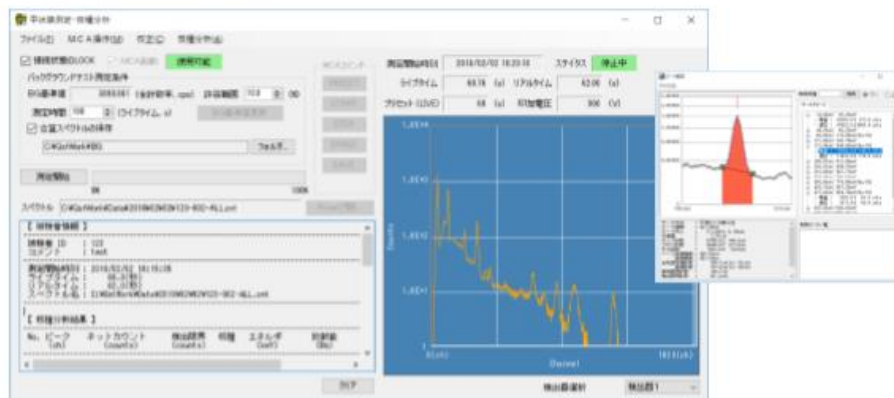


No.	別定	ピーク (keV)	エネルギー (keV)	核種	放射率 (%)	半減期	放射能 (Bq/kg)	不確かさ (Bq/kg)	検出限界 (Bq/kg)	検出効率	計数率 (counts)	不確かさ (counts)	検出限界 (counts)	閾値計算	Prio
1		32.63	31.00	8a-133	54.00	1.05E+1 (Y)	-	-	-	0.0336	6930.2	±161.8	459.3	検出済	0
2	+	85.85	81.00	8a-133	35.93	1.05E+1 (Y)	5.64E+3	±6.39E+3	2.04E+2	0.0476	17350.0	±231.5	628.9	検出済	2
3		169.93	161.00	-	-	-	-	-	-	-	1926.2	±213.4	609.9	検出済	-
4	+	290.82	276.40	8a-133	7.19	1.05E+1 (Y)	4.74E+3	±7.47E+2	1.23E+3	0.0305	1865.1	±107.8	482.8	検出済	5
5	+	321.24	302.83	8a-133	18.31	1.05E+1 (Y)	5.69E+3	±7.78E+2	6.35E+2	0.0280	5257.7	±192.7	577.3	検出済	3
6	+	374.82	356.01	8a-133	62.05	1.05E+1 (Y)	4.97E+3	±5.72E+2	2.07E+2	0.0231	12791.7	±194.7	532.3	検出済	1
7	+	404.06	383.85	8a-133	9.12	1.05E+1 (Y)	3.31E+3	±5.02E+2	9.79E+2	0.0233	118	±73.0	374.1	検出済	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)

The image shows a sample of a disaster evacuee inspection record card. It is a form with multiple sections for data entry. The top section is for personal identification, including name and address. The middle section is for evacuation details, such as the date and location. The bottom section is for medical and inspection data, including thyroid function test results and other health-related information. There are checkboxes and input fields throughout the form.

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

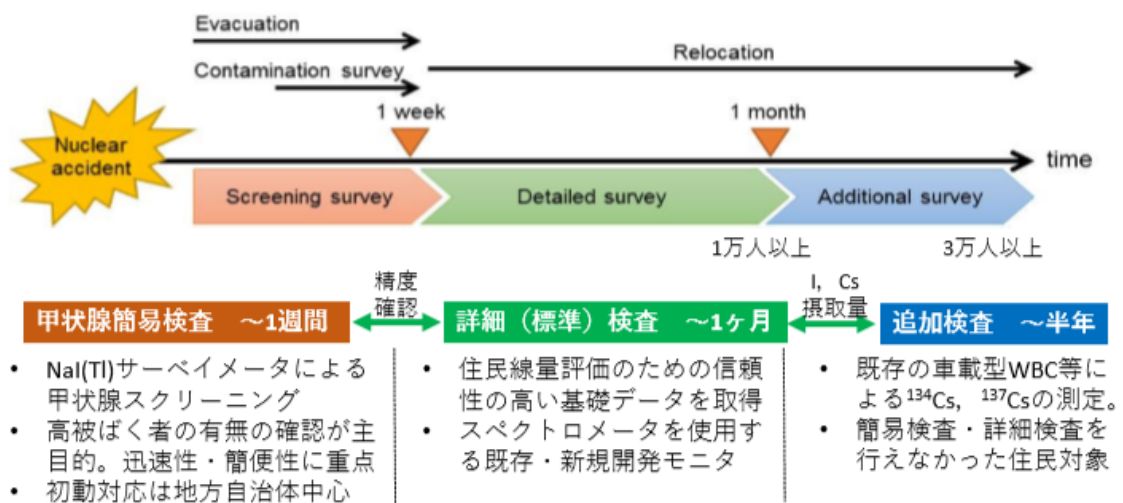
既存検出器の甲状腺中放射性ヨウ素放射能換算係数の評価

(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

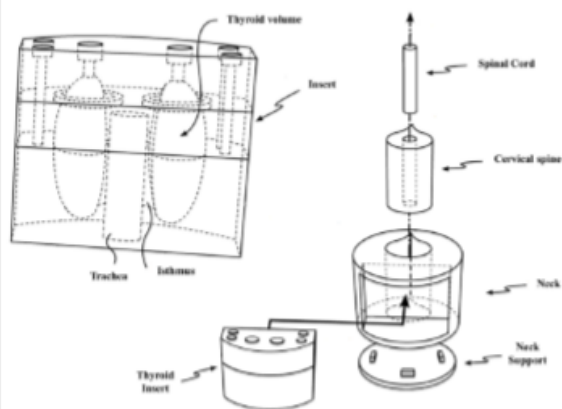
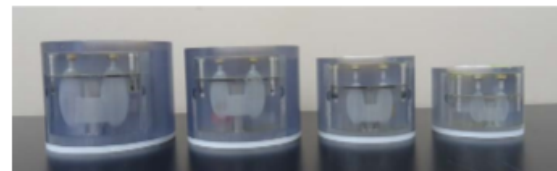


Figure 2. Technical drawing of the thyroid insert showing the filling holes, gutters and fixing screws (left) and of the thyroid-neck phantom showing the spine elements (right).

Beaumont T, Ideias P C, Rimlinger M, Broggio D and Franck D 2017 Development and test of sets of 3D printed age-specific thyroid phantoms for ^{131}I measurements Phys. Med. Biol. 62 4673–93



Adult 15 yr 10 yr 5 yr



	Thyroid容器 Volume [cm ³]	Thyroid容器中 Ba-133溶液[g]	Thyroid容器中 Ba-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

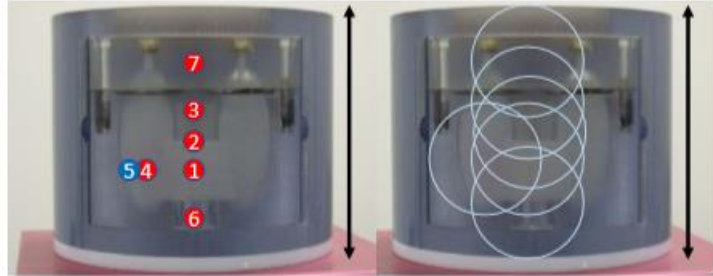
放射能：2018年7月25日時点

既存検出器を用いた測定法の改善

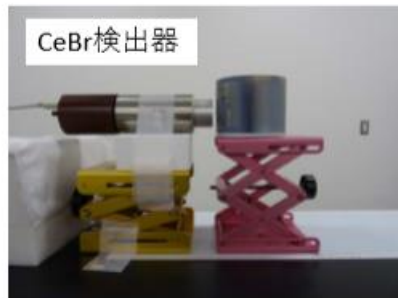
測定



TCS-172
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



CeBr検出器
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/(μ 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 (1999)

ANSIファントム
Ref. ANSI N44.3-1973
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/ μ Svh⁻¹)

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/ μ Svh⁻¹)

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/(μ 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/(μ 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/(μ 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/(μ 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)
- ・ CeBr₃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

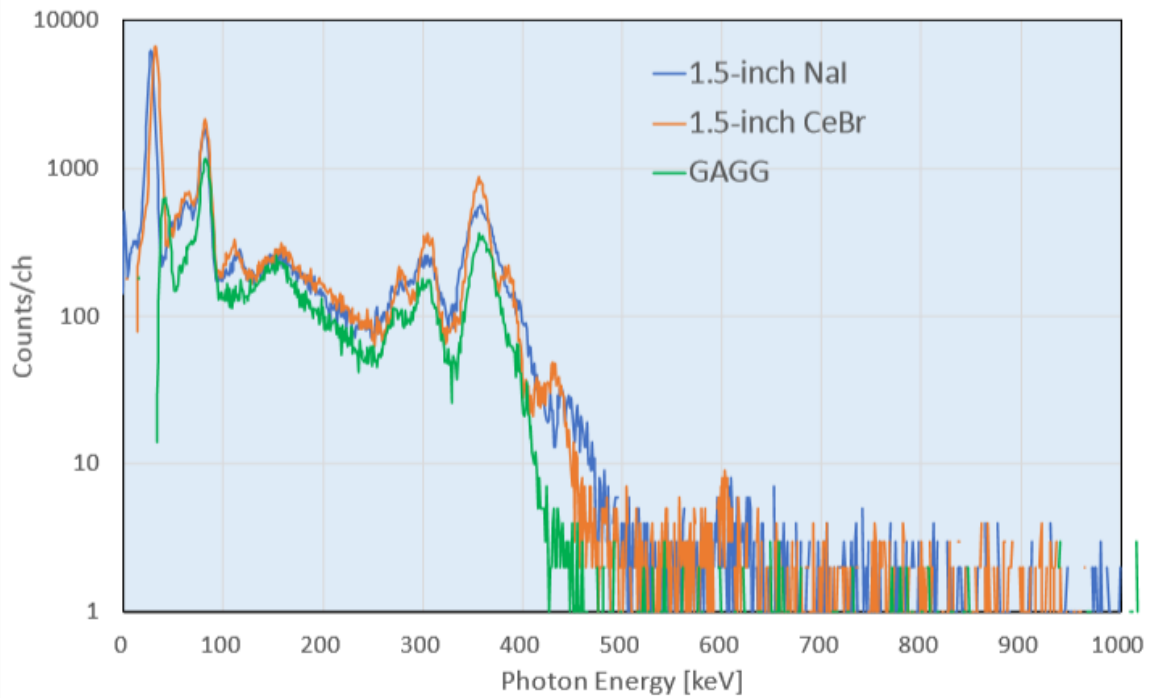
×

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

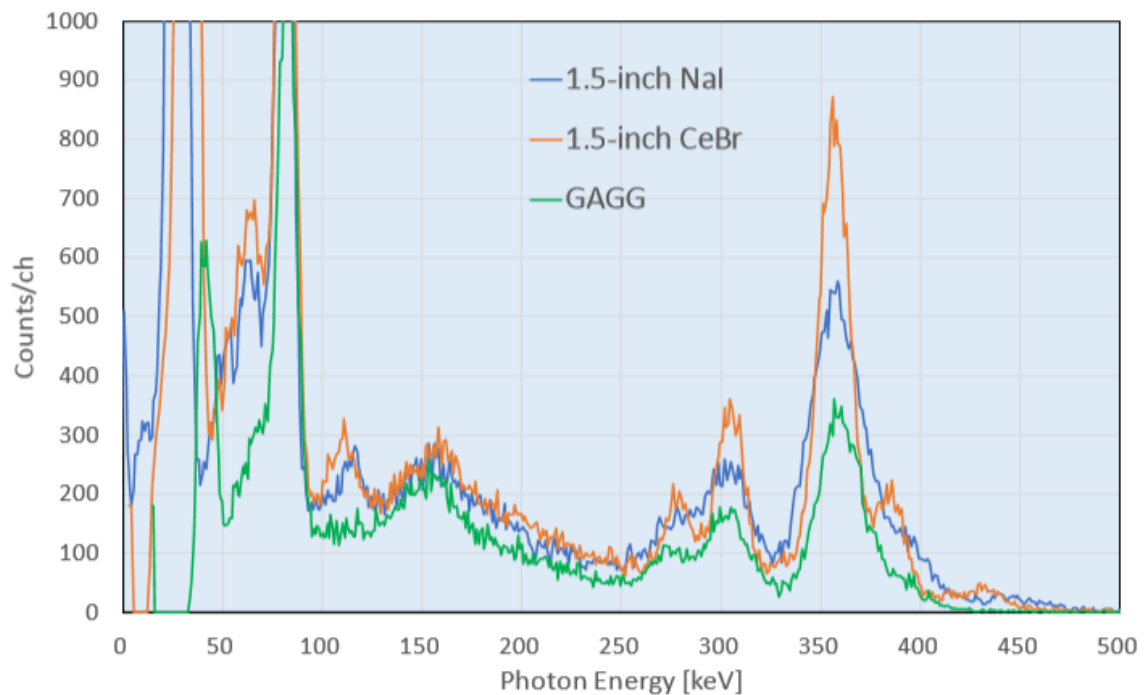
既存スペクトロメータ検出器特性試験

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	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	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 ⇒

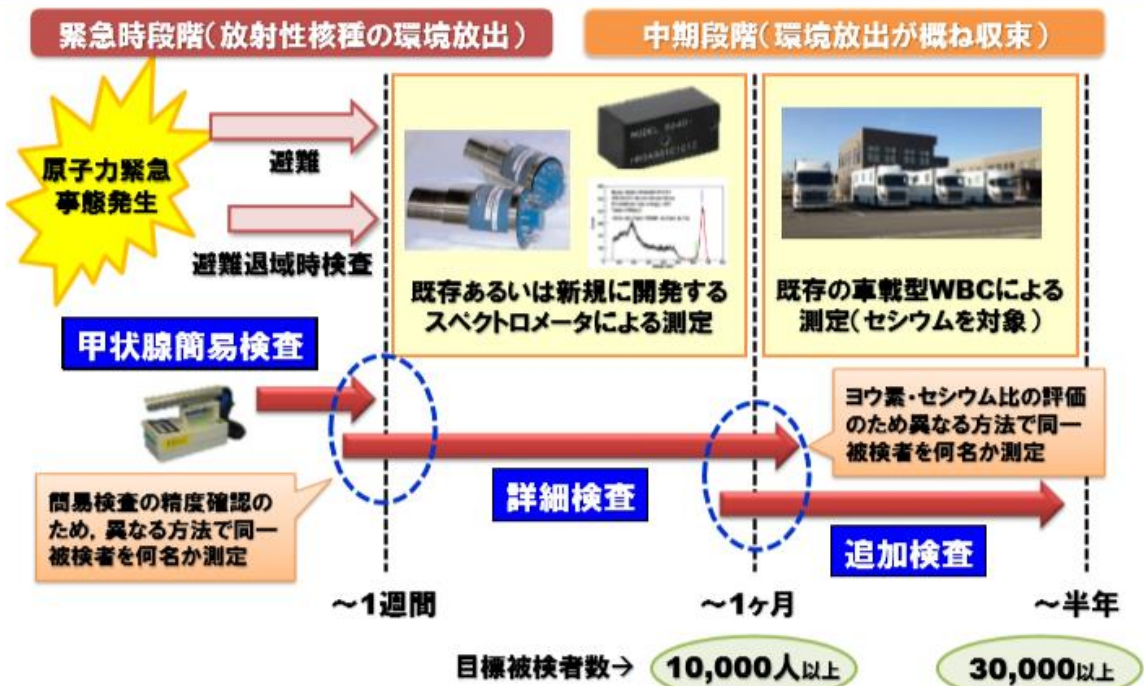
- ・I-131線源によるデータセット取得
- ・サーベイメータの機種・校正定数等の影響
- ・スペクトロメータの運用について検討 (遮へい、校正、場所、操作)
- ・新モニタ (GAGG) 試作・特性評価
- ・甲状腺簡易検査実習 (10/26)
 - ヨウ素線源の作成、サーベイメータ校正定数測定位置の説明・指示

(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

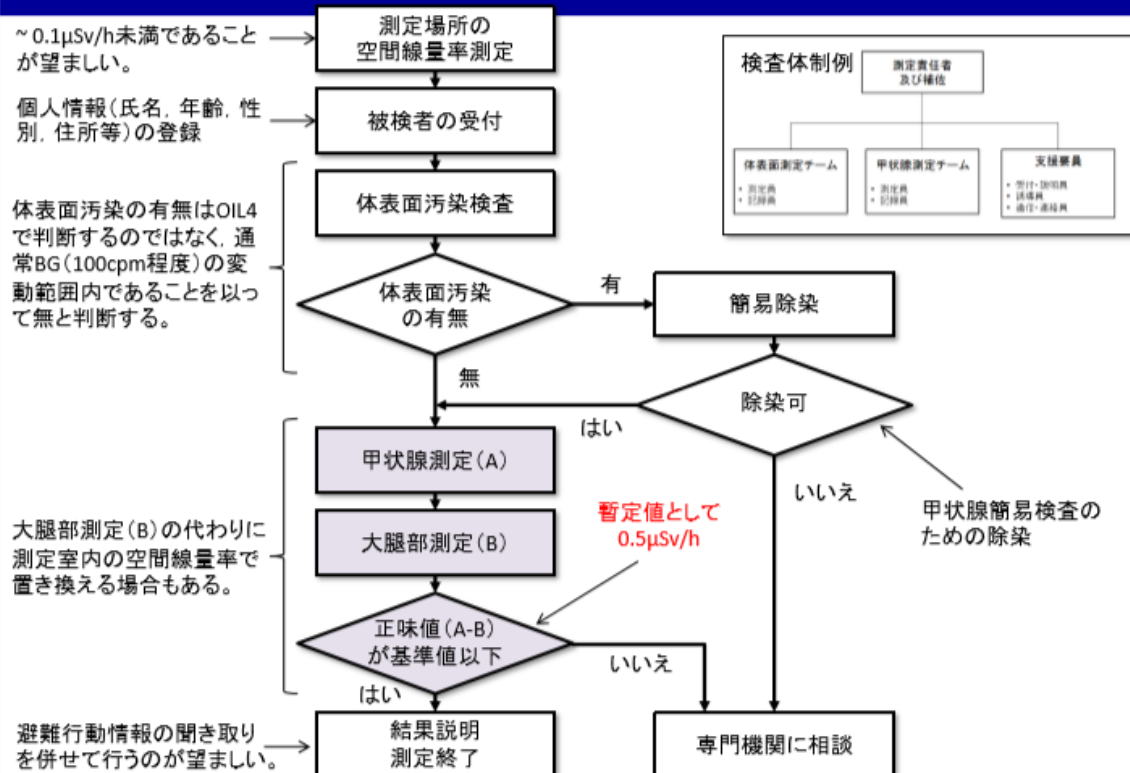
【どこで行うのか...】

避難所または事前に指定した他の公共施設等。

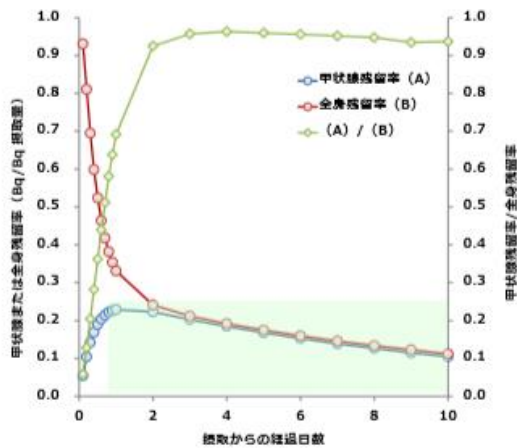
※必要に応じてスペクトロメータ等を用いた詳細検査も追加で実施

3

甲状腺簡易検査の流れ



甲状腺中ヨウ素の測定原理



131I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)



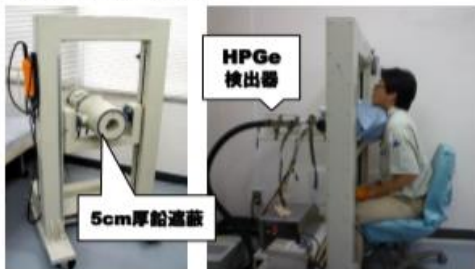
PMT シンチレータ

機器の仕様

- 測定放射線: γ 線
- シンチレータ: 25.4 Φ ×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 μ Sv/h
- 測定範囲(計数率): 0-30 ks⁻¹
- エネルギー特性: ¹³⁷Cs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

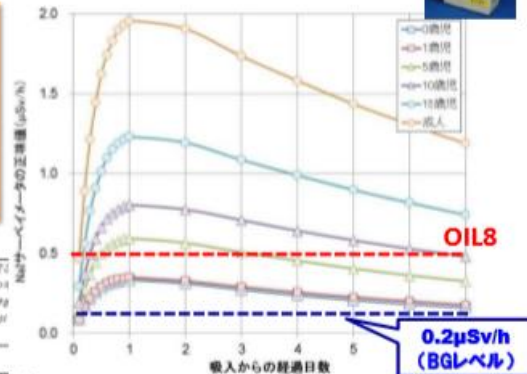
5cm厚鉛遮蔽

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(¹³¹I, 3分測定)

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2Gy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100mSvから導出**



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

- **提案するSL**
SL1: 5 μSv/h, SL2: 0.5 μSv/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(新モニターで解決)**



OIL8の根拠となる包括的判断基準は、甲状腺等価線量で100~200 mSv

表 19 甲状腺からの線量率に対するOIL8の初期設定値

このOIL8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、以下のようにより厳格な必要がある。(a) 対象者の年齢及び性別別の甲状腺に、(b) 放射性ヨウ素の摂取の4倍があった時から1ヶ月後、(c) 有効線量が10 μSv以下のプルームを吸い、(d) 甲状腺の皮膚に接触させ、測定用のプルームを測定し、(e) パックグラウンド線量率が0.5 μSv/h未満の条件下で測定。

OIL	測定された人々への線量
OIL7	測定後、1か月以内に甲状腺の初期の汚染に接触させバックグラウンド線量率に対する
OIL8	測定後、1か月以内に甲状腺の初期の汚染に接触させバックグラウンド線量率に対する

0.5 μSv/h 年齢 < 7歳
2 μSv/h 年齢 > 7歳

引用: JAERI-Review 2016-013

(参考) OIL7,8の説明

表 24 OILの初期設定値に関する説明 (2/2)

OIL	目的	包括的判断基準/ 被ばく期間	被ばく経路/ 考慮したシナリオ*
食物、ミルク及び水の放射性核種の濃度			
OIL7	食物、ミルク及び水の消費を制限する必要があるか決定するために、放射性核種濃度の分析を評価すること	1年間での消費による代表的個人に対するの預託実効線量 10 mSv ^f	影響を受けた食物、ミルク又は水の摂取に続く一回の汚染事象。消費されるすべての食物及び水が影響を受けたという仮定を含み、非常に保守的な仮定に基づいている。崩壊による減少は考慮されている。
放射性ヨウ素の甲状腺への摂取			
OIL8	将来的な医学追跡調査のための登録を必要とする人を確認するために、甲状腺のモニタリングを評価すること	代表的個人の甲状腺に対する預託等価線量 100—200 mSv	甲状腺集積性の核分裂生成物の吸入及び経口摂取

* シナリオ及び被ばく経路は付録書 II.2.節に記載されている。
 b 被ばく期間7日は、1日以内に講ずべき緊急措置を最も効果的に確立するために使用される。
 c 考慮したが、該当するシナリオにおいて重要な被ばく経路ではない。
 d 被ばく期間1年は、数日から1か月以内に実施する早期対策を最も効果的に確立するために使用される。
 e 除染措置(皮膚洗浄等)が実施されない場合に、放射性物質が皮膚に残留すると仮定した最も保守的な期間である。4日を過ぎた後に、放射性物質が自然作用で皮膚に集まることはないとして仮定した。
 f 避難又は移動しなかった地域の住民が年間100 mSv(経口摂取からの線量を含む)の包括的判断基準[1]以上の合計線量を被ばくしないこと、胎児の等価線量(H_{emb})が参考文献[1]に示された包括的判断基準を下回ること、そして甲状腺への等価線量が約100 mSvを下回ることを確実にするために、参考文献[1]に与えられた包括的判断基準よりも低い基準が利用された。
 g OIL3を超過した場合には、雨水を希釈せずに直接収集して得られた必須ではない飲料水の消費のみが規制される。(井戸や貯水池や河川などの)他の飲料水の水質は希釈によってより低い水準の濃度となり、試料分析の結果がOIL7を超過する場合のみ制限が必要となる。

引用: JAERI-Review 2016-013

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}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**I-131**ろ紙線源を設置)

高BG環境： ^{137}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}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. 体表露汚染が無いことを確認した後、被検者の咽頭下部(写真)にプローブを密着させた状態で保持し、**測定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値(A)】を読み取る。**

(補足説明)
 ● プローブの先端はティッシュペーパー等を巻いて、汚染を確認した場合には適中かを外せるようにしておく。
 ● 可能であれば、プローブを最初に接触する前に通常の検出器をウエットティッシュ等で軽く拭く。
 ● 一度リセットした場合は、指示値が安定するのは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秒で指示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



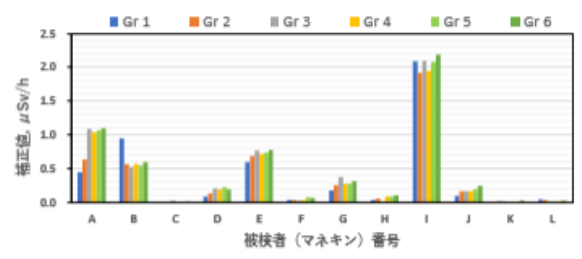
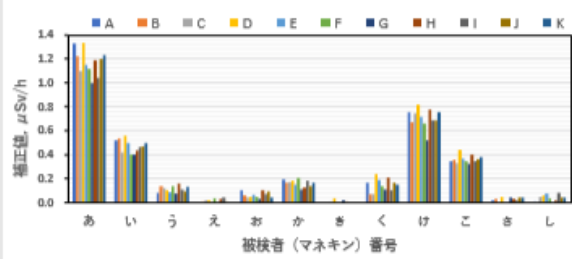
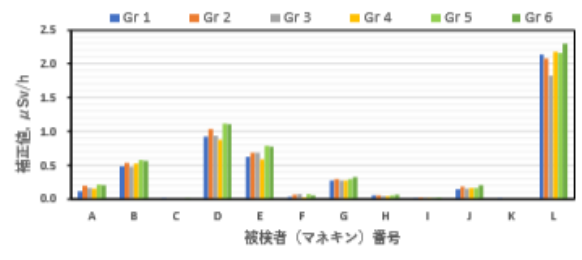
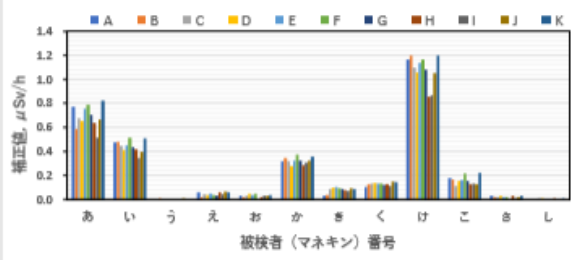
$$\text{正味値 } \mu\text{Sv/h} = \text{頸部前面での空間線量率 (甲状腺測定)} - \text{台支柱中程の空間線量率 BG (大腿部測定)}$$

補正值
= 正味値 × NaIサーベイ校正定数



マネキンと内部に設置した線源

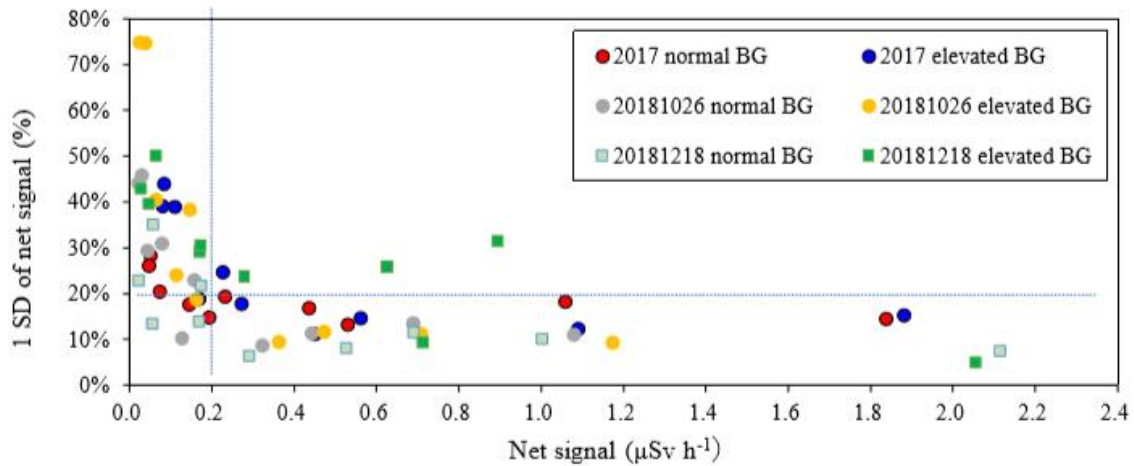
既存検出器を用いた測定法の改善



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 μSv/hから上で10–20%
 ・statics < 0.2 μSv/h < 測定のエラー
 ・~0.1 μSv/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

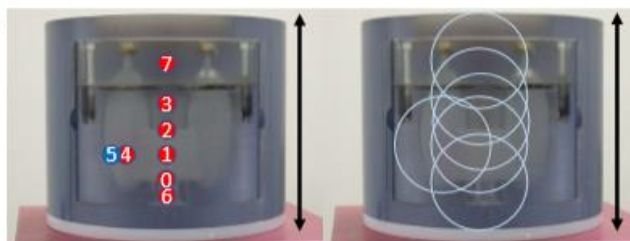
IRSN年齢別甲状腺・頸部ファントム



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 ³]	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	4.96E+03	4.16E+04
15yr	4.75E+03	4.09E+04
10yr	5.01E+03	4.19E+04
5yr	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	98

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	13	14	14	20
0.6	17	16	18	18	19	18	26
1	22	23	24	26	26	23	30
3	62	49	53	51	54	56	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	67
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	38	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 - ③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
5	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
5	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	58	49	48	43
1	68	61	61	56
3	130	121	120	123
5	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	76	78	81	88	92
3	135	131	139	143	147	147	152
5	215	201	215	213	238	238	236

IRSN I-131 g1 (① - ③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

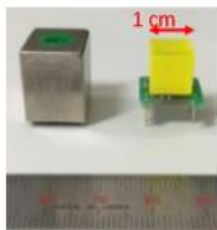
既存スペクトロメータ検出器特性試験

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	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
			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	151	
	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

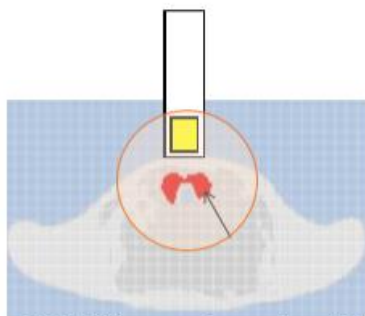
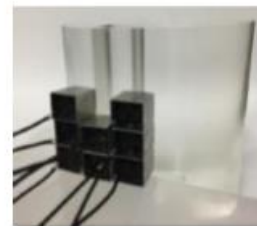
GAGGモジュール検出器を用いた新モニタの特性試験



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

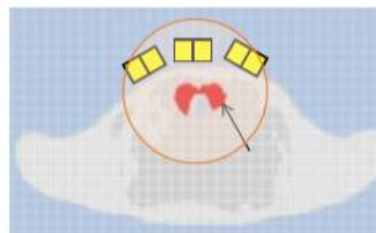


GAGG monitor (assembled 8 GAGG modules)



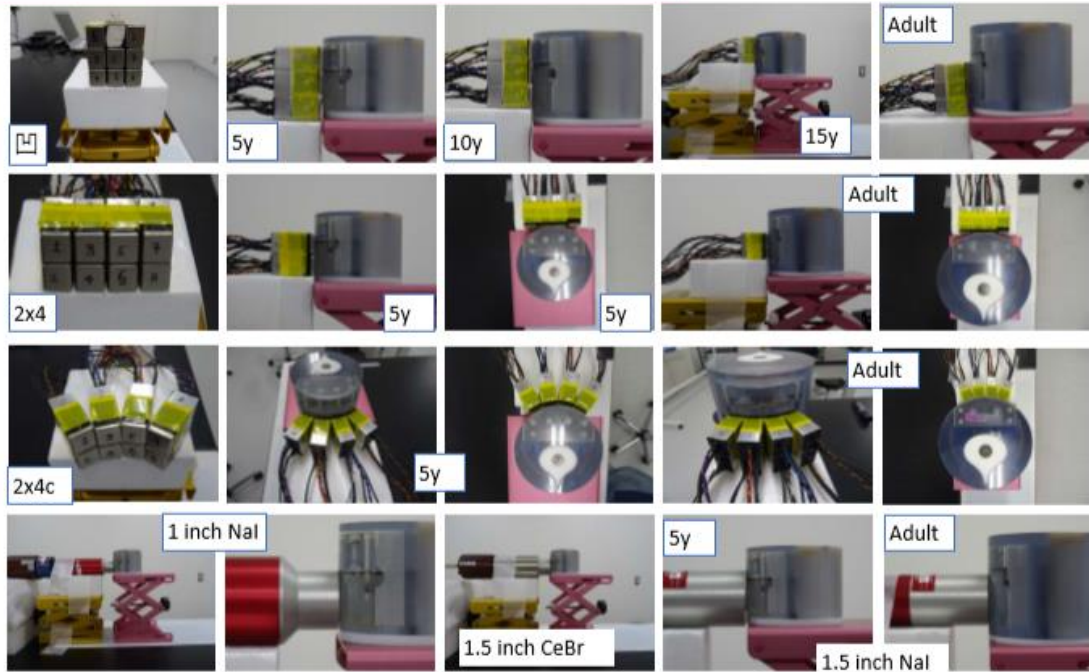
NaI(Tl) spectrometer など

GAGGセンサーモジュールの配置最適化(成人・小児の測定)



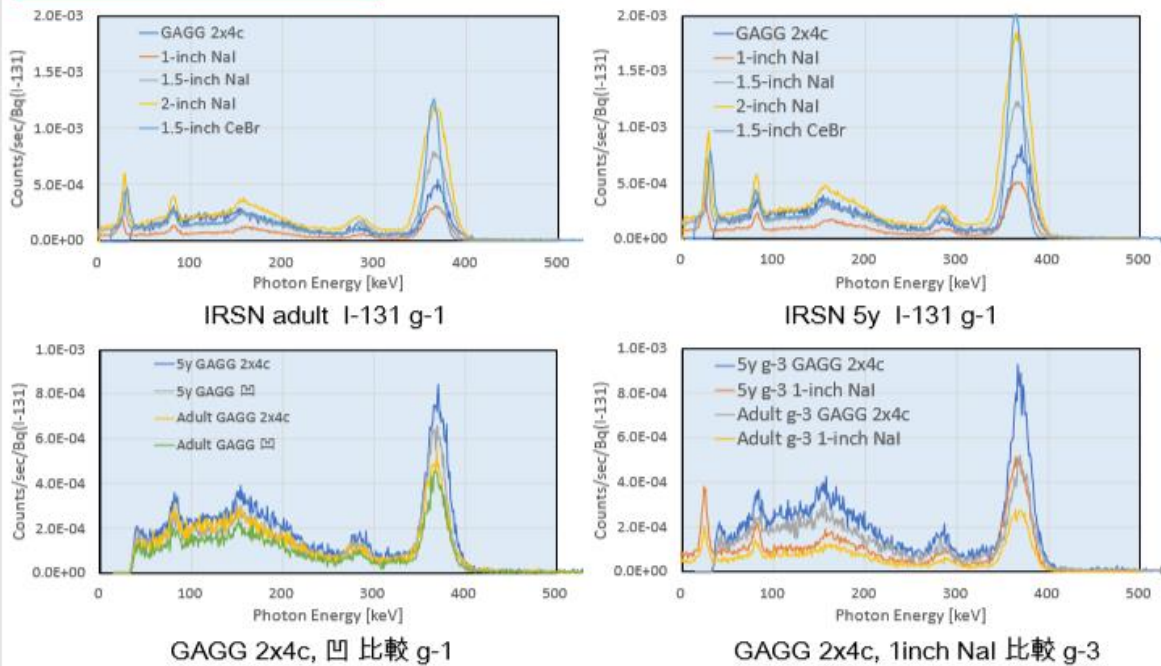
新モニタの試作及び試験

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(kBq/μSv⁻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パターンの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

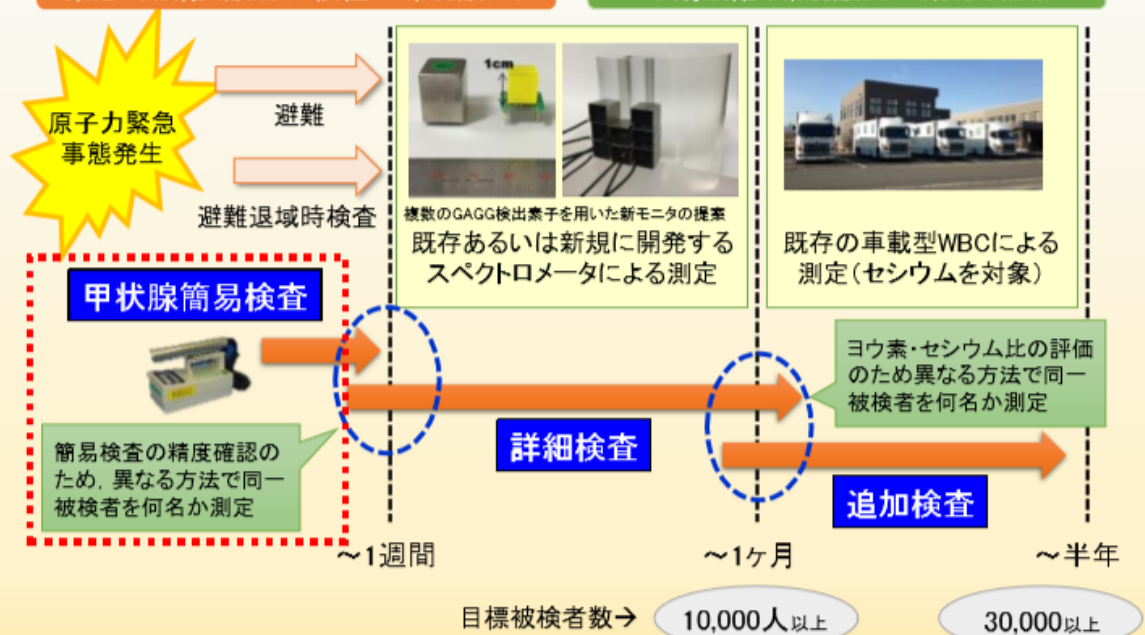
第3回実務者会合
平成30年1月28日

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

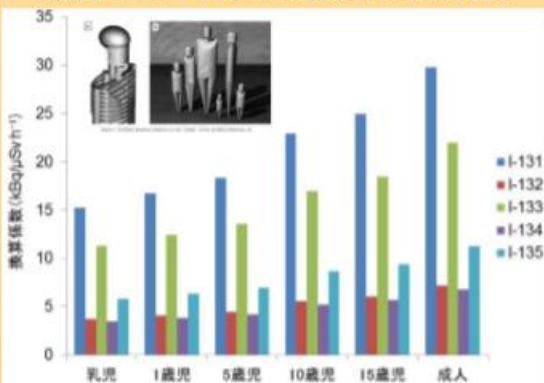
この OIL の初期設定値は甲状腺からの線量率に対するものであり、以下のように測定される必要がある: (a) 対象者の除染及び汚染着衣の脱衣後に、(b) 放射性ヨウ素の摂取の可能性があった時から 1-6 日後に、(c) 有効面積が 15 cm² 以下のプローブを用い、(d) 甲状腺の前面の皮膚に接触させ、測定用のプローブを設置し、(e) バックグラウンド線量率が 0.2 μSv/h 未満の場所を実施。

OIL8 ^a	測定された人々への措置
<p>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</p> <p>0.5 μSv/h^c 年齢 ≤ 7 歳 2 μSv/h^c 年齢 > 7 歳</p>	<p>即時:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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。 <p>数日以内:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 手を洗浄するまで飲食、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

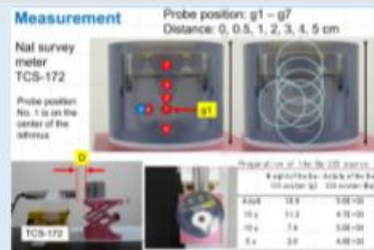
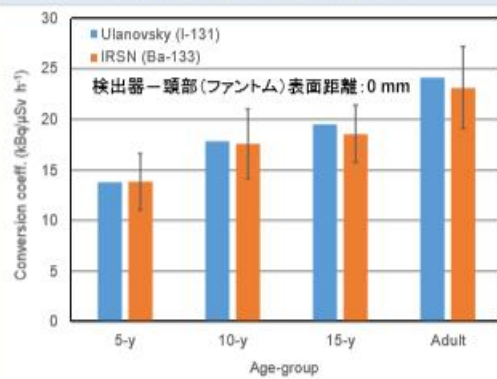


年齢別数学ファントム (Ulanovsky) に対する換算係数 (kBq/μSv h⁻¹) ※検出器-頸部表面距離: 5mm



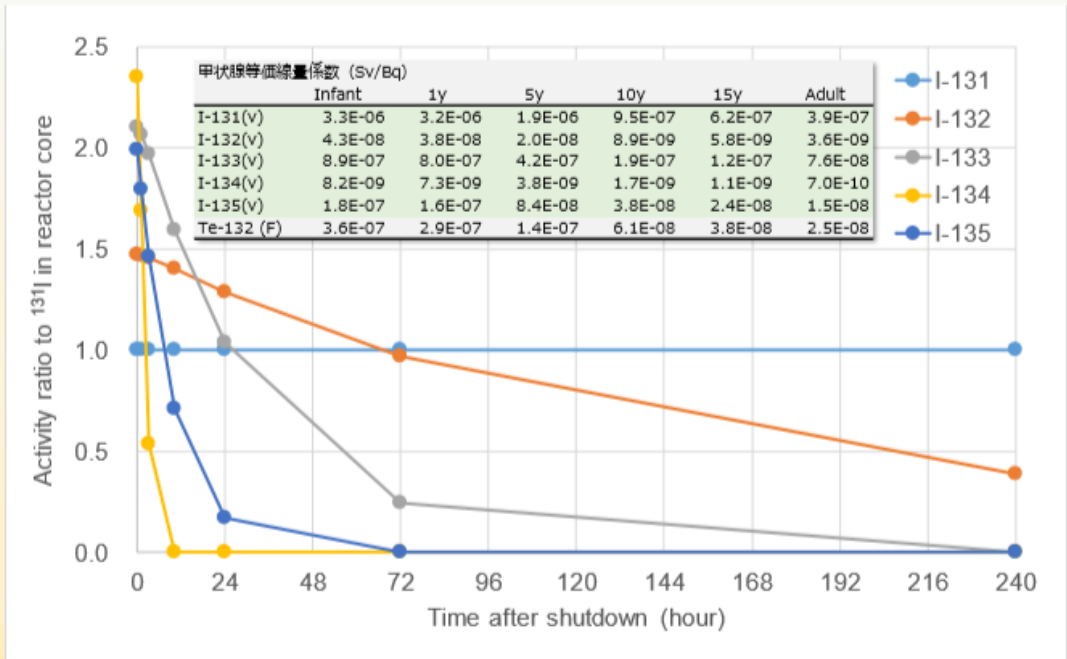
IRSNで開発された年齢別ファントムを製作発注 (昨年度末に納品、今年度試験)

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

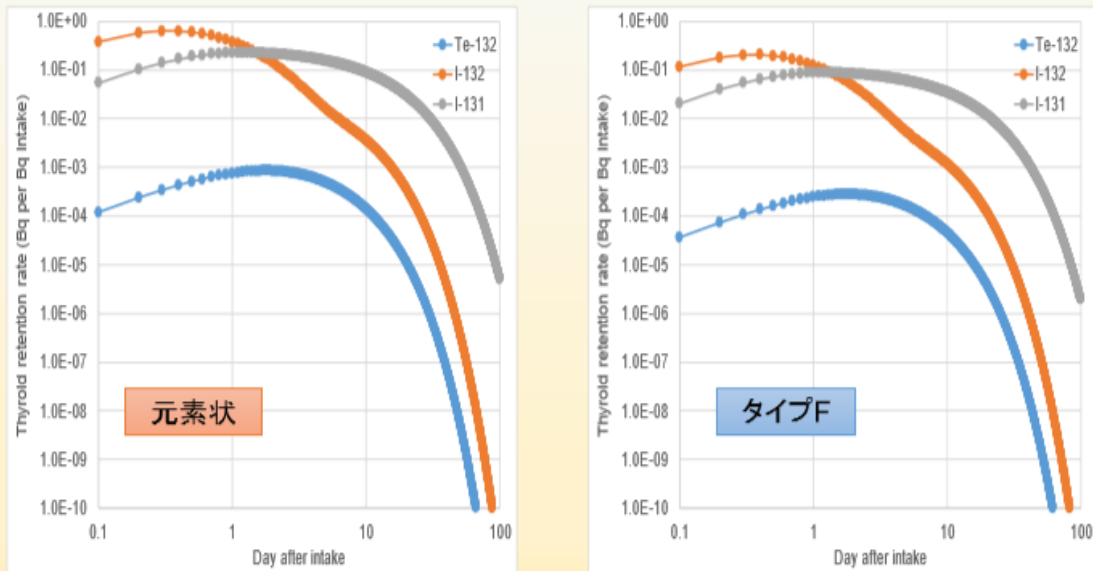


東電福島第一原発1号炉の炉内インベントリ(JAEA-Data-Code-2012-018)
(¹³²Iは¹³²Teと速やかに放射平衡になる)

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)



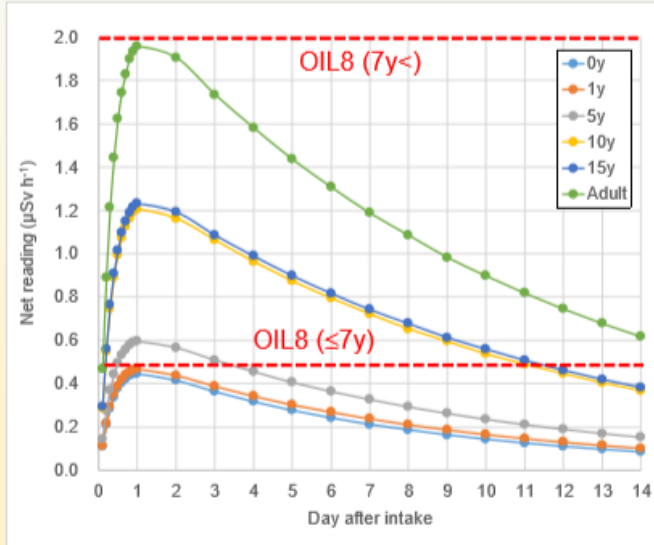
6

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¹³¹Iのみ)

¹³¹Iに対する換算係数 (kBq/μSv⁻¹)

Net正検数	15		20		30	
	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
0.1	1.10E-01	1.44E-01	1.44E-01	2.57E-01	2.94E-01	4.57E-01
0.2	2.10E-01	2.17E-01	2.74E-01	5.47E-01	5.59E-01	8.59E-01
0.3	2.85E-01	2.94E-01	2.71E-01	7.47E-01	7.83E-01	1.21E+00
0.4	3.37E-01	3.50E-01	4.45E-01	8.59E-01	9.09E-01	1.44E+00
0.5	3.78E-01	3.90E-01	4.95E-01	9.95E-01	1.02E+00	1.62E+00
0.6	4.04E-01	4.19E-01	5.32E-01	1.07E+00	1.10E+00	1.74E+00
0.7	4.23E-01	4.40E-01	5.55E-01	1.13E+00	1.15E+00	1.83E+00
0.8	4.36E-01	4.53E-01	5.76E-01	1.18E+00	1.19E+00	1.90E+00
0.9	4.42E-01	4.60E-01	5.89E-01	1.19E+00	1.22E+00	1.92E+00
1	4.48E-01	4.67E-01	5.95E-01	1.21E+00	1.23E+00	1.98E+00
2	4.16E-01	4.35E-01	5.60E-01	1.16E+00	1.19E+00	1.91E+00
3	3.64E-01	3.83E-01	5.08E-01	1.06E+00	1.09E+00	1.74E+00
4	3.17E-01	3.42E-01	4.55E-01	9.63E-01	9.99E-01	1.58E+00
5	2.77E-01	3.02E-01	4.05E-01	8.74E-01	8.98E-01	1.44E+00
6	2.42E-01	2.69E-01	3.62E-01	7.95E-01	8.17E-01	1.31E+00
7	2.12E-01	2.35E-01	3.26E-01	7.21E-01	7.42E-01	1.19E+00
8	1.87E-01	2.10E-01	2.92E-01	6.52E-01	6.77E-01	1.09E+00
9	1.63E-01	1.87E-01	2.62E-01	5.95E-01	6.13E-01	9.83E-01
10	1.43E-01	1.65E-01	2.35E-01	5.37E-01	5.59E-01	8.97E-01
11	1.26E-01	1.47E-01	2.11E-01	4.90E-01	5.08E-01	8.18E-01
12	1.10E-01	1.30E-01	1.89E-01	4.45E-01	4.62E-01	7.44E-01
13	9.88E-02	1.15E-01	1.69E-01	4.04E-01	4.20E-01	6.75E-01
14	8.98E-02	1.02E-01	1.54E-01	3.67E-01	3.82E-01	6.17E-01
15	7.41E-02	9.08E-02	1.36E-01	3.34E-01	3.48E-01	5.62E-01
16	6.51E-02	8.04E-02	1.22E-01	3.04E-01	3.16E-01	5.12E-01
17	5.70E-02	7.13E-02	1.10E-01	2.78E-01	2.88E-01	4.68E-01
18	4.99E-02	6.31E-02	9.84E-02	2.51E-01	2.62E-01	4.25E-01
19	4.38E-02	5.60E-02	8.82E-02	2.28E-01	2.38E-01	3.86E-01
20	3.84E-02	4.98E-02	7.92E-02	2.07E-01	2.17E-01	3.52E-01



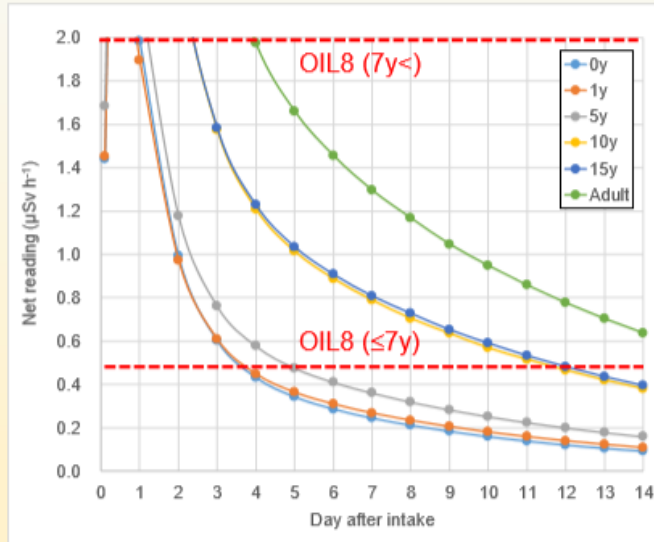
7

TCS-171/172の応答(2)

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

¹³²Iに対する換算係数 (kBq/μSv⁻¹)

Net正検数	3		4		6	
	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
0.1	1.33E+00	1.34E+00	1.54E+00	3.11E+00	3.07E+00	5.05E+00
0.2	2.15E+00	2.08E+00	2.36E+00	4.78E+00	4.69E+00	7.72E+00
0.3	2.48E+00	2.33E+00	2.66E+00	5.40E+00	5.27E+00	8.67E+00
0.4	2.52E+00	2.34E+00	2.68E+00	5.44E+00	5.29E+00	8.72E+00
0.5	2.41E+00	2.24E+00	2.56E+00	5.20E+00	5.05E+00	8.32E+00
0.6	2.25E+00	2.09E+00	2.38E+00	4.83E+00	4.69E+00	7.73E+00
0.7	2.08E+00	1.91E+00	2.19E+00	4.43E+00	4.30E+00	7.09E+00
0.8	1.87E+00	1.74E+00	1.99E+00	4.04E+00	3.92E+00	6.45E+00
0.9	1.70E+00	1.58E+00	1.80E+00	3.66E+00	3.55E+00	5.82E+00
1	1.54E+00	1.43E+00	1.63E+00	3.31E+00	3.21E+00	5.30E+00
2	5.76E-01	5.35E-01	6.12E-01	1.24E+00	1.20E+00	1.98E+00
3	2.37E-01	2.21E-01	2.52E-01	5.12E-01	4.97E-01	8.18E-01
4	1.14E-01	1.08E-01	1.21E-01	2.46E-01	2.38E-01	3.93E-01
5	6.50E-02	6.08E-02	6.92E-02	1.40E-01	1.36E-01	2.25E-01
6	4.30E-02	4.01E-02	4.53E-02	9.30E-02	9.04E-02	1.46E-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	3.16E-02	3.07E-02	5.05E-02
11	1.18E-02	1.08E-02	1.23E-02	2.50E-02	2.43E-02	4.00E-02
12	9.16E-03	8.44E-03	9.76E-03	1.95E-02	1.92E-02	3.17E-02
13	7.27E-03	6.75E-03	7.75E-03	1.57E-02	1.53E-02	2.53E-02
14	5.77E-03	5.35E-03	6.16E-03	1.25E-02	1.21E-02	2.00E-02
15	4.59E-03	4.28E-03	4.59E-03	9.92E-03	9.64E-03	1.59E-02
16	3.65E-03	3.40E-03	3.59E-03	7.59E-03	7.47E-03	1.26E-02
17	2.90E-03	2.70E-03	2.92E-03	6.27E-03	6.10E-03	1.00E-02
18	2.31E-03	2.15E-03	2.46E-03	4.99E-03	4.85E-03	7.99E-03
19	1.84E-03	1.71E-03	1.96E-03	3.97E-03	3.86E-03	6.35E-03
20	1.48E-03	1.38E-03	1.56E-03	3.16E-03	3.07E-03	5.05E-03



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、¹³²Teと¹³¹I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

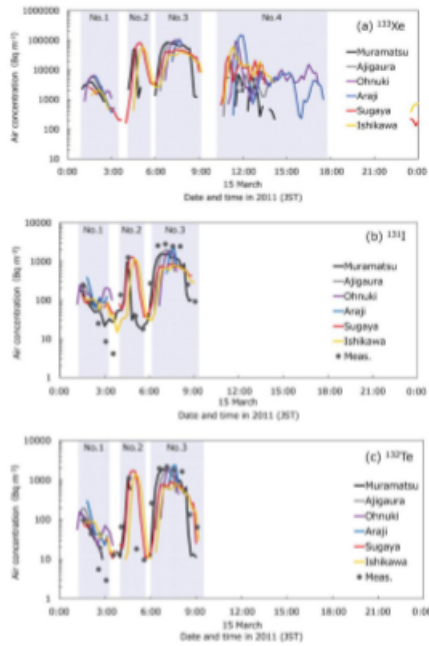


Figure 4. Temporal change in the estimated air concentration in 15 March 2011. Measured values at the point JAEA-1 are also plotted for ^{131}I and ^{137}Te .

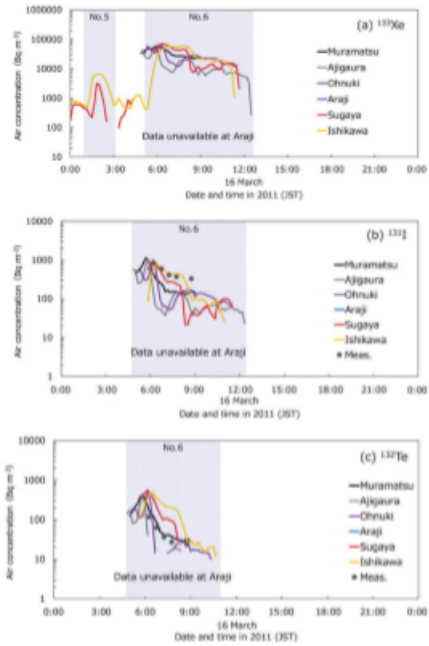
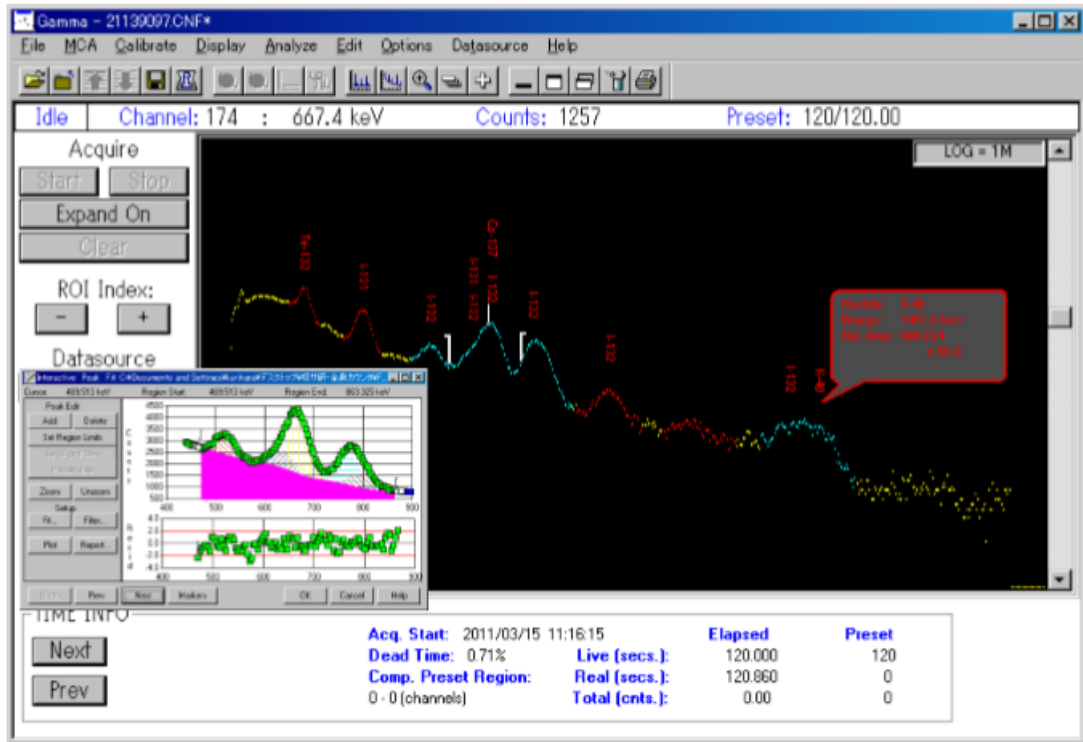


Figure 5. Same as Figure 4 except for the period in 16 March 2011.

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

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

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



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

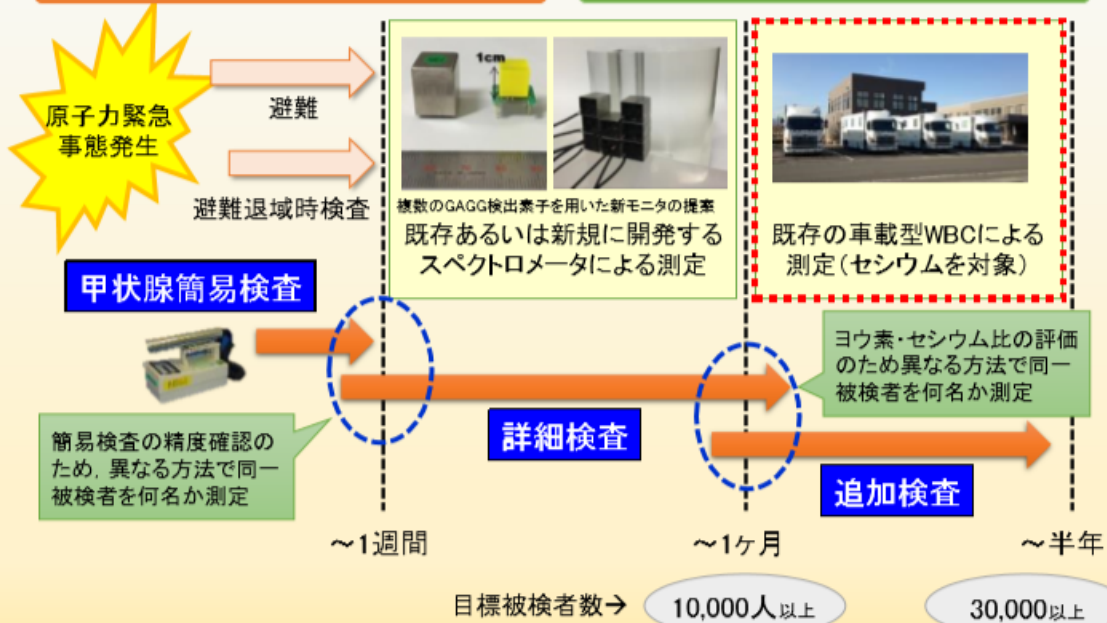
第3回実務者会合
平成30年1月28日

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

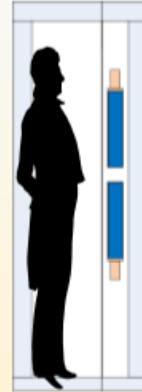
WBC (FASTSCAN)

FASTSCAN™

- 米国Cannberra(現MIRION Technology)製
- シャドーシールド(鉄材~10cm厚)
- NaI(Tl)検出器(12.7×7.6×40.6 cm³)2式
- 総重量 4.8トン
- 外寸:1.24×0.9 m²(設置面積)×2.1m(高さ)
- 検出限界値:150 Bq(⁶⁰Co, 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

¹³¹I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

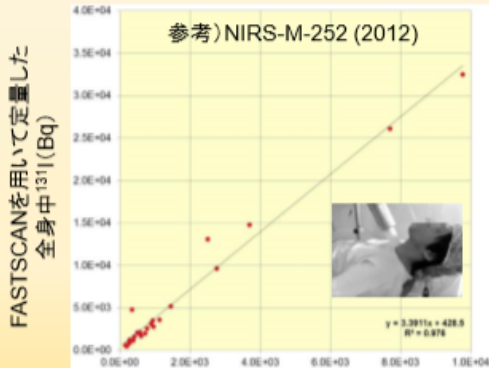
WBC (FASTSCAN)による甲状腺中¹³¹I測定

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¹³¹Iを過大に評価。
- ✓ ¹³¹I, ¹³²Te-¹³²I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs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。



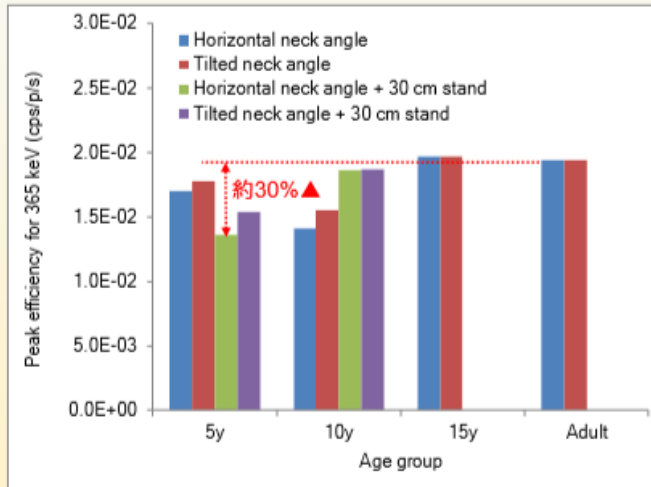
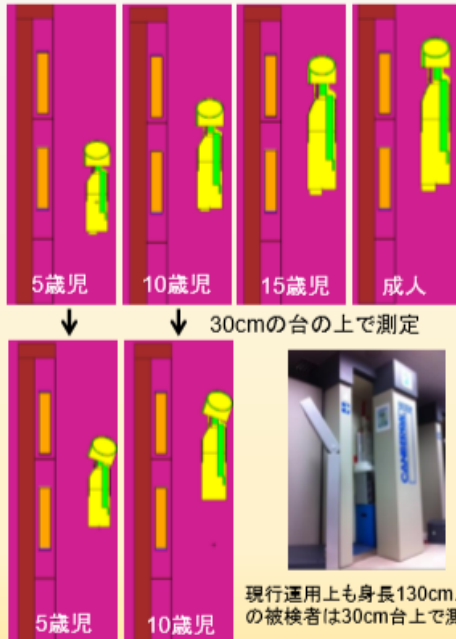
HPGe検出器を用いて定量した甲状腺中¹³¹I(Bq)

- ✓ 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。→¹³¹I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¹³¹I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

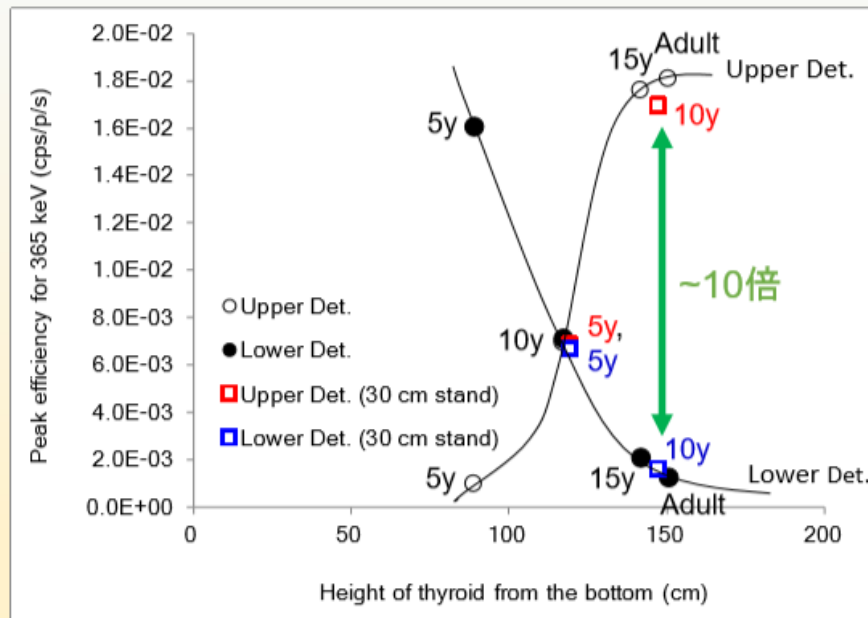


甲状腺中¹³¹Iに対するFASTSCANの計数効率(両検出器の合算)

幅広い年齢の被検者に対し甲状腺中¹³¹I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¹³¹Iに対する応答評価



甲状腺中¹³¹I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

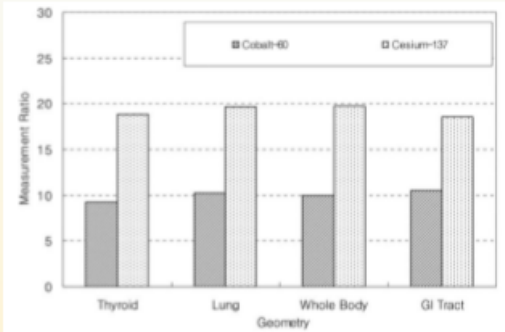


Figure 4. Measurement ratios of counts from the front and back for external contamination.

体内汚染

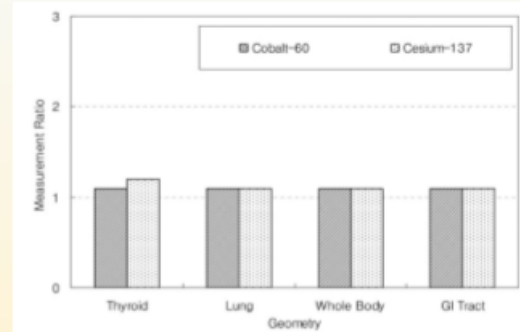


Figure 5. Measurement ratios of counts from the front and back for internal contamination.

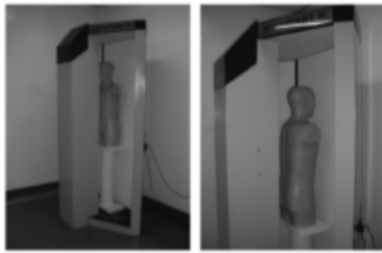


Figure 3. Experiments of discrimination between external and internal contamination using StandFAST II and humanized phantoms.

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。**

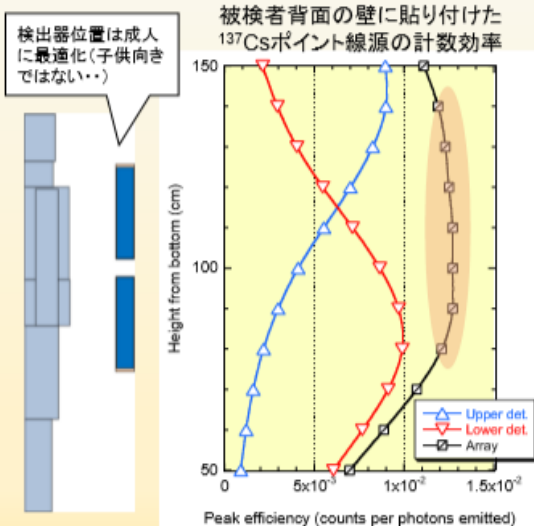
参考)

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

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	全長, 重量
4y	114 cm, 17.7 kg
10y	147 cm, 33.8 kg
Adult Male	175 cm, 66.0 kg

(原科研データ)



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	0.91	1.21	1.28	1.02
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

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

信号処理装置

GAGG検出器

GAGG結晶の大きさ: 10mm × 10mm × 10mm
外寸: 20mm × 20mm × 40mm

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
ソフトウェアで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>作成日 年 月 日 原子力事故時 避難者検査記録カード 個人識別ID</p> <p>1. 受検者登録情報</p> <p>① 氏名 (フリガナ) ② 生年月日 ③ 性別</p> <p>④ 住所</p>	<p>1. 受検者登録情報</p>	<p>3. 避難行動調査</p> <p>① 避難実施状況、室内退避状況、避難経路を記入してください。その時の室内・室外滞留の割合を記入ください。 避難実施状況: 通常・非常時(避難・退避) <input type="checkbox"/> 室内・室外 室内退避状況: 通常・非常時(避難・退避) <input type="checkbox"/> 室内・室外 避難経路: 通常・非常時(避難・退避) <input type="checkbox"/> 室内・室外</p> <p>② 避難を開始した日時を記入ください。 (年 月 日)</p> <p>③ 避難時に同行者(一緒に行動した人)の性別、年齢、その他別に内務省の調査票と人数を記入ください。 家族: 内務省()、人数()人 / その他(人数) ()、人数()人</p> <p>④ 避難開始から避難完了までの避難経路(行動、移動手段、経路、場所)を記入してください。</p>																																																
<p>2. 検査結果(測定時情報記入欄)</p> <p>① 検査日時</p> <p>測定結果: 測定値: 定数値:</p> <p>測定単位: cps (測定単位の変換係数: μSv/h)</p> <p>測定場所: 左 右</p> <p>測定時間: 時 分 秒</p> <p>測定結果: 測定値: 定数値:</p> <p>測定単位: cps (測定単位の変換係数: μSv/h)</p>	<p>2. 測定結果情報</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>行動</th> <th>検出器</th> <th>測定値</th> <th>定数</th> <th>検出器</th> <th>検出器</th> <th>検出器</th> <th>検出器</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 検出器・検出器</td> <td>検出器・検出器</td> <td>測定値</td> <td>定数</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> </tr> <tr> <td>2. 検出器・検出器</td> <td>検出器・検出器</td> <td>測定値</td> <td>定数</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> </tr> <tr> <td>3. 検出器・検出器</td> <td>検出器・検出器</td> <td>測定値</td> <td>定数</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> </tr> <tr> <td>4. 検出器・検出器</td> <td>検出器・検出器</td> <td>測定値</td> <td>定数</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> </tr> <tr> <td>5. 検出器・検出器</td> <td>検出器・検出器</td> <td>測定値</td> <td>定数</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> <td>検出器</td> </tr> </tbody> </table> <p>⑤ 避難中の注意事項等について記入があれば記入ください。</p>	行動	検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器	1. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器	2. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器	3. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器	4. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器	5. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器
行動	検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器																																											
1. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器																																											
2. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器																																											
3. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器																																											
4. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器																																											
5. 検出器・検出器	検出器・検出器	測定値	定数	検出器	検出器	検出器	検出器																																											
<p>② 検査結果判定 検査結果(測定値: Netサーベイナール(μSv/h)・スペクトルモード(数値))</p> <p>測定結果: 測定値: スペクトルモードによる測定の場合</p> <p>測定単位: cps (測定単位の変換係数: μSv/h) スペクトルモード</p>	<p>3. 避難行動情報</p>	<p>4. 安定ヨウ素剤</p> <p>① 安定ヨウ素剤を服用しましたか? はい/いいえ *1ミリキュリウム(mg)、25ミリキュリウム(mg)</p> <p>② ①で「はい」の場合、服用時刻、服用時間、日時、服用量を記入してください。服用時刻: (時分) 服用時間: (時分) 服用日時(月日): () 服用量: (mg) 錠</p> <p>③ ①で「いいえ」の場合、服用時刻、服用時間、日時、服用量を記入してください。服用時刻: (時分) 服用時間: (時分) 服用日時(月日): () 服用量: (mg) 錠</p>																																																
<p>③ 食事状況調査</p> <p>④ 測定日から測定まで、摂取した食料のあった食品をリストアップしてください。はい/可能あり/いいえ</p> <p>⑤ 測定日から測定まで、摂取した食料のなかった食品をリストアップしてください。はい/可能あり/いいえ</p> <p>⑥ ④⑤で「はい」「可能あり」を選択した方は、その状況について詳しく記入してください。</p>	<p>4. 安定ヨウ素剤</p>	<p>5. 食事状況情報</p>																																																
<p>6. 個人情報利用について</p>	<p>6. 個人情報</p>	<p>6. 個人情報取得の目的</p> <p>本記録カードの記録内容は、個人特定可能な情報を持って、放射線による被ばく線量測定または放射線計測の業務にのみ利用されることを目的として収集・管理されています。上記の情報は、関係機関との連携により活用される場合があります。</p> <p>氏名(任意)</p> <p>ご協力ありがとうございます。</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)



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)



③入力画面(2)



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(海急)	自宅等→集合場所→船→避難先
4	空路(海急)	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	32,936	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
		浜玉地区	11,458	4,146	鳥栖市・基山町
	敷木地区	4,082	1,757	佐賀市	
	相知地区	7,498	2,931	佐賀市	
	北浜多地区	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
	鎮西地区	PAZ 圏内を除く全域	2,916	1,839	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	851	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

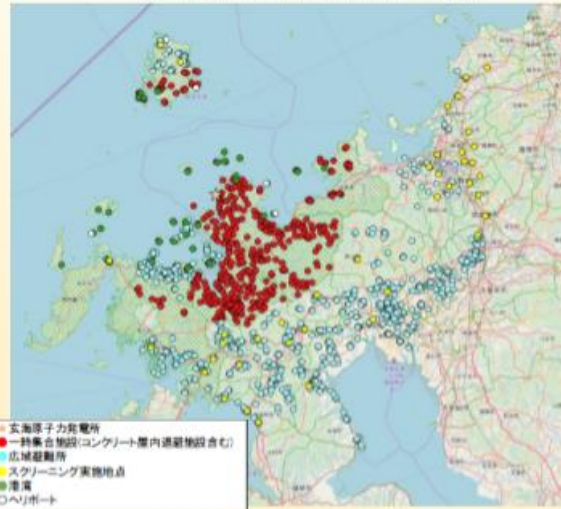
広域避難計画の調査・整備と避難場所データベース: 玄海サイト

「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



- 本地地域、離島等での避難経路及び手段等調査
- PAZ及びUPZ内市町の人口及び避難先リストアップ

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。	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: 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。		
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。		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。		

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。

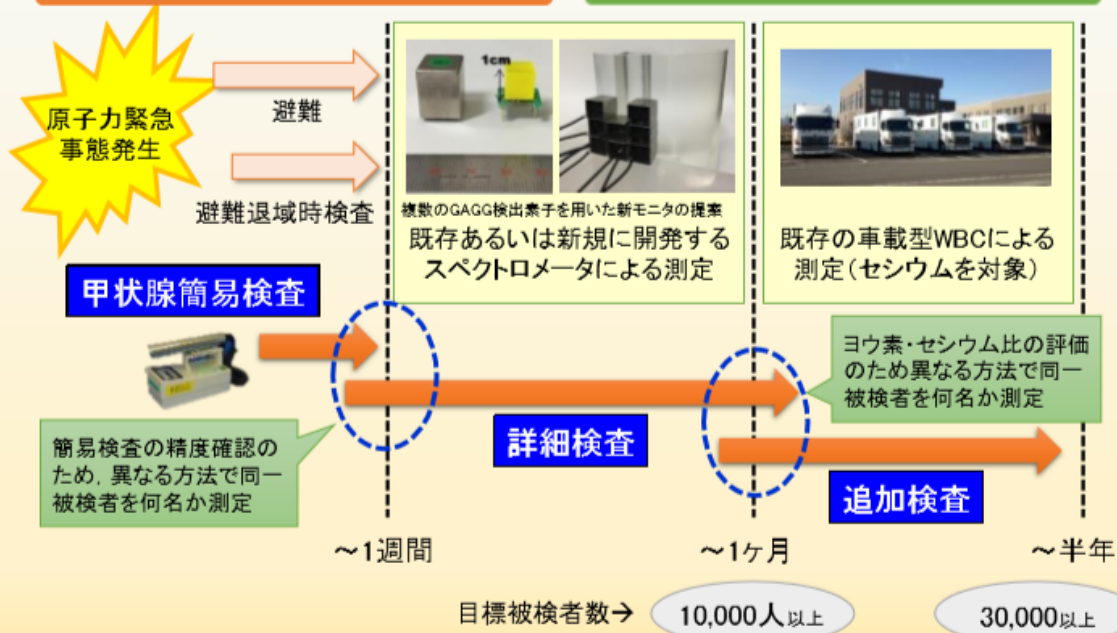
本研究の目標

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)

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

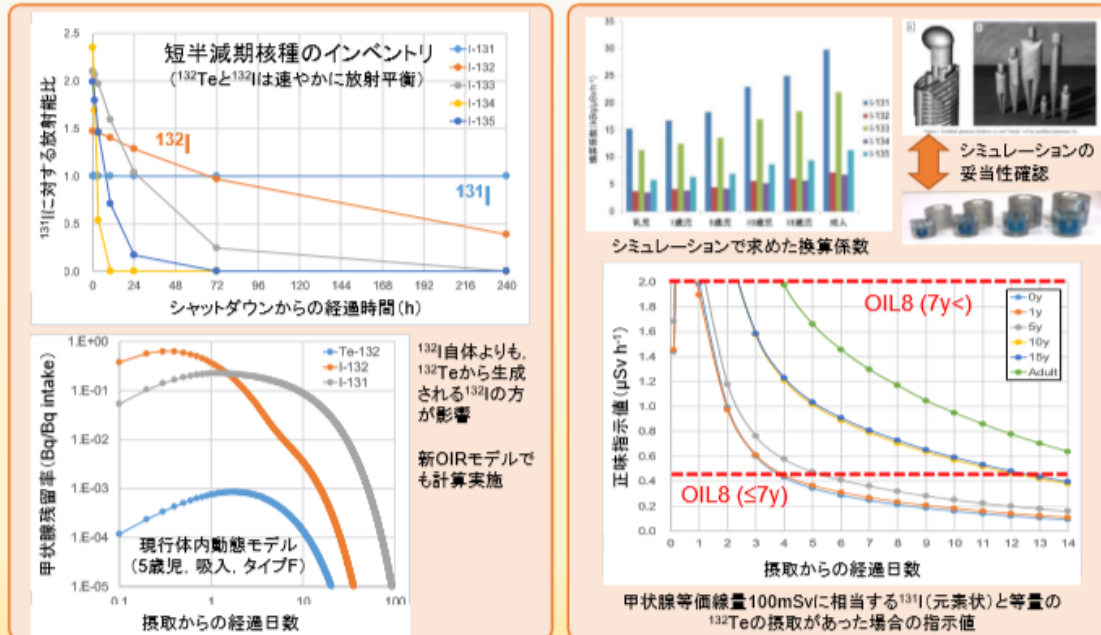
【平成30年度の達成状況】 概ね計画通りに進捗

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¹³¹I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

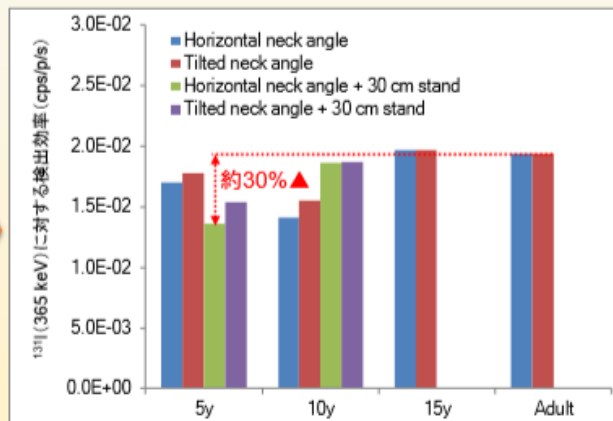
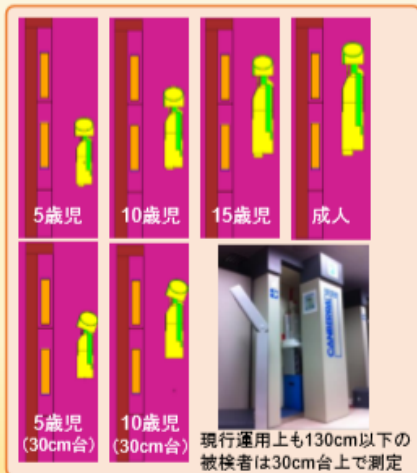
6

進捗③ WBCによる甲状腺中¹³¹I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¹³¹I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

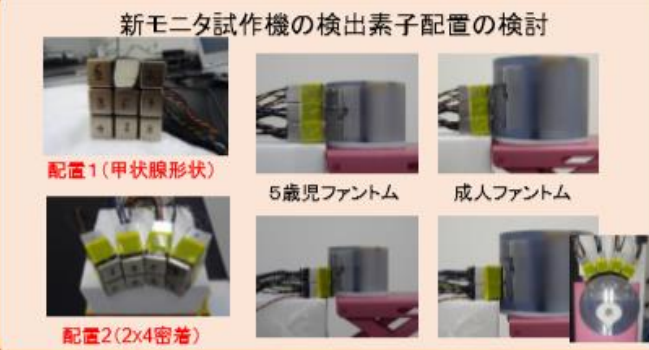
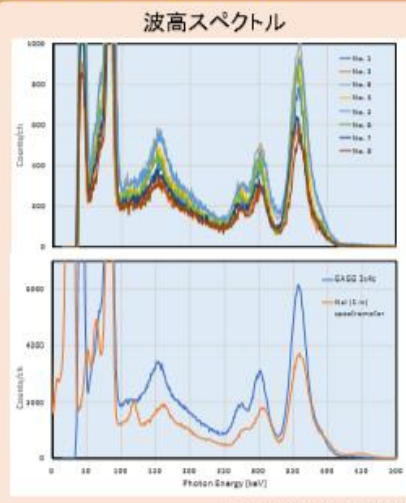


- 体格差によらず比較的安定した甲状腺中¹³¹Iの定量ができる。また、上下の検出器の計数の違いにより、体表面汚染の弁別が可能。

7

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

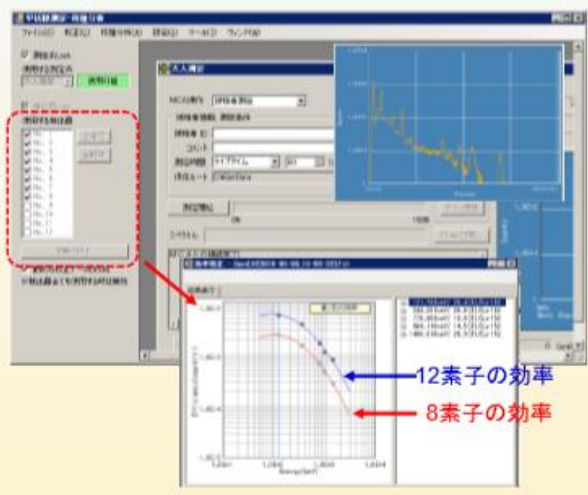


MDA(Bq)の比較

ファントム	1"NaI	新-配置1	新-配置2
成人	45	35	31
5歳児	27	23	19

- 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)

進捗⑤ 新モニタ改良機の制作(項目2)



- 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

- 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)

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

The form includes fields for personal information, examination results (thyroid and body surface), evacuation details, iodine tablet usage, and dietary habits. It also features a consent section at the bottom.

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)

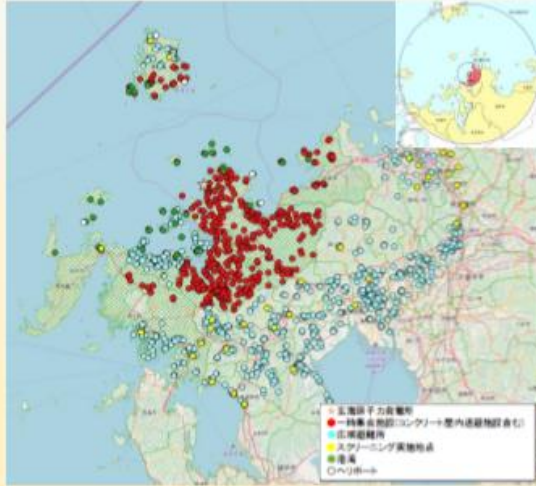
The system interface includes a login screen, a data entry screen for examinee information and body surface examination, and a map-based evacuation route visualization screen. The map shows evacuation routes between various sites, with a red arrow indicating the visualization of evacuation routes based on site information.

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(IRS)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	実効線量が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。

公衆のモニタリング(IRS)



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. 8-11th, 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)測定の経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 ¹³¹I 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。

Health Physics (2018), pp. 1-8

A SCREENING SURVEY EXERCISE FOR THYROID INTERNAL EXPOSURE FROM RADIOIODINE AFTER A NUCLEAR ACCIDENT

Kazuo Yajima¹, Kazuo Kim¹, Kazuo Tani¹, Hiroo Tatsuzaki², Chuanling Li³ and Osamu Kurihara^{4*}

¹National Institute of Radiological Sciences, National Institute for Quantum and Radiological Sciences and Technology, 4-1-8 Anagnin, Inage-ku, Chiba City 263-0292, Japan

²Radiation Protection Bureau, Health Canada, 755 Brockfield Rd, Ottawa, Canada

*Corresponding author: kurihara.osamu@nirs.go.jp

Received 27 May 2018; revised 8 August 2018; editorial decision 7 September 2018; accepted 17 September 2018

A PRACTICAL EXERCISE ON THYROID SCREENING SURVEY

members in the figure are arranged in increasing order of net signal although the gross counts were randomly scattered in the monitor heads. The error bars denote one standard deviation (SD) of the measurement data obtained from the 50 pairs of participants. The error bars in the results in that the net signals obtained for corrected NaI and corrected WBC are quite close to each other. The net signals obtained for corrected WBC are slightly higher than those obtained for corrected NaI. On the other hand, false positive rates based on corrected NaI for screens 11 and 12. A probable reason for this is the shielding effect of the poles of the stands for the scaled ¹³¹I activity described above. Consequently, the net signals obtained for corrected WBC would be considered when evaluating counting for high-gamma irradiation (HGI) from dose for the neck (N₁). Figure 4 demonstrates the relationship between the net signals and their 1 SDs (N = 10, when data for the first screen (Screen No. 1) are used) are evaluated. As shown, the majority of the net signals was kept for below -0.2 gJy h⁻¹, far away from within the range of 0.000 to above +0.1 gJy h⁻¹. This suggests that counting for below 0.2 gJy h⁻¹ was easily due to the counting statistics while counting for above 0.2 gJy h⁻¹ was mainly due to variations in the measurement geometry among the participants when measuring the monitor heads. For example, some of the participants placed the detector probe open from the neck surface depth being restricted to one constant geometry, instead the distance between the neck and the probe has been diverse to be the most influential factor in the counting efficiency of a detector in direct thyroid measurements.^{17, 18} This matter may be related to the dose exercise by making the International Atomic Energy Agency (IAEA) the OES for thyroid measurements (total OES) is determined by the OI (gJy h⁻¹) for those 17 years and 1 gJy h⁻¹ for those 17 years.¹⁹ However, this report does not provide details on the process to calculate these values. A government OI value for the screening survey using TCS-171/172 was then determined to be 0.1 gJy h⁻¹, a value equal to the one derived from the thyroid equivalent dose of 100 mSv in the assumption of some simple assumptions and that would be repeatedly applied to Japan, Europe, USA and other countries within one week after the event. Details on this will be published elsewhere.

Although the difficulties represented in the 2011 Fukushima nuclear disaster should be considered for subjects including small children, the influence of surrounding outdoor background levels around the measurement places, and so on, the results of this survey exercise suggest that to keep accurate data items, if the measurements are performed at suitable places, then data can be reliably obtained at the sites set previously OES. Regarding such places, the IAEA report has stated that direct thyroid measurements are performed at places where the ambient dose equivalent rate is below 0.2 gJy h⁻¹.¹⁹ This



Figure 1. A monitor head used for the exercise in which gross counts were scattered in counts. *A typical example.



Figure 2. Scenes from the screening survey exercise.

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"> ● 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。 ● 海外調査(ドイツ・BfS)は2月に行う予定である。
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"> ● 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。 ● 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。
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"> ● 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。
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"> ● 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。 ● 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。
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"> ● 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。

ご清聴ありがとうございました