

平成 31 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 31 年度 事業成果報告書

令和 2 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 31 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. はじめに.....	1
2. 事業概要.....	2
3. 実施体制.....	3
4. 実施報告書.....	4
4.1 今年度（2019年度）の事業進捗.....	4
4.2 既存検出器を用いた測定法の確立.....	6
4.3 新甲状腺モニタの開発及び実用化.....	18
4.4 情報収集支援システムの改良.....	32
4.5 研修会.....	37
5. まとめ.....	38
5.1 今年度の成果.....	38
5.2 3カ年の成果（2017-2019年度）.....	38
6. 参考文献.....	39
7. 成果発表.....	41
付録.....	42
A 研究成果概要（2017-2019年度）.....	42
B 甲状腺簡易測定マニュアル.....	54
C 新甲状腺モニタ用ソフトウェアの取扱説明書.....	74
D 新甲状腺モニタ簡易使用法.....	128
E 情報収集支援システム取扱説明書.....	137

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震が引き金となり発生した東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、福島第一原発事故）により、大量の放射性物質が周辺環境中に放出されることとなり、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、人々が福島第一原発事故から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第一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（基本調査）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を用いて行われた。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方法では不確実性が大きいため、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必要であったものの、事故初期の内部被ばく線量に最も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様々な研究が継続されている。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。福島第一原発事故の際に取得された公衆（及び初動対応者）の¹³¹Iに係る実測値としては、Tokonamiら⁽⁴⁾、Matsudaら⁽⁵⁾、Kimら⁽⁶⁾などの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。この測定数は、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と比較して相当少ない⁽⁷⁾。ただしこれは、チェルノブイリ原発事故の場合、放射性物質に汚染した飲食物の摂取制限等が適切に行われなかったために経口摂取が継続し、物理学的半減期が約8日と短い¹³¹Iであっても長期間にわたり甲状腺計測が行えたという見方もできる。福島第一原発事故の際に国が行っ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。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概ね30 km圏外の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）や被検者の行動代表性が未確認であること等の問題を内包している。

我が国において段階的に進められてい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、緊急防護措置計画範囲（UPZ：Urgent Protective action planning Zone）圏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を行うための体制整備が喫緊の課題である。本研究では、福島第一原発事故の経験を踏まえ、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際し、近隣住民の初期内部被ばく線量を正確に把握するための個人内部被ばくモニタリングの方法を提案するとともに、様々な年齢層の公衆（特に乳幼児）に対する正確な甲状腺計測を可能とする測定器の開発等を行った。

2. 事業概要

平成 29 年度（2017 年度）の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課題の一つとして、「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」が公募された。同課題の背景として、以下の事柄が述べられている。

- （被ばく）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。

本研究では、以上の要件を満足する甲状腺モニタを新規に開発するとともに、原子力災害対応では複数の機関が関わることを想定し、公衆を対象とした個人内部被ばくモニタリング及び被ばく線量評価を確実かつ円滑に実施するための種々の技術的課題についても取り組むこととした。

本研究のロードマップ（実施期間：2017 年 4 月～2020 年 3 月）を表 1 に示す。本研究の実施項目としては、①既存あるいは新規に開発する測定器の応答評価（スペクトル解析ソフトウェアの開発含む）、②研究課題に述べられた要件を満たす新しい甲状腺モニタ（以下、本報告書では新モニタと呼ぶ）の開発、③マニュアル類の作成（後述する情報収集支援システムの開発含む）及び、④実務者会合及び研修・ワークショップの開催であり、概ね当初の計画通り研究が進捗した¹。

表 1 本研究のロードマップ

項目	2017年度	2018年度	2019年度
1. 検出器応答評価 (スペクトル解析ソフトの 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
2. 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
3. マニュアル作成 (情報収集支援システム 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
4. 実務者会合 研修・ワークショップ	実務者会合	実務者会合	研究会 国際学会発表 に変更 WS

¹ ④実務者会合及び研修・ワークショップの開催の内、ワークショップについては、主たる目的が海外専門家から開発した新モニタの総評を得ることであったため、国際学会発表での意見収集や学術論文発表等に置き換えることとした。

3. 実施体制

今年度（平成 31 年度）の研究実施体制を図 1 に示す。同図に示す研究代表者以下の体制は、当初の研究計画どおりである。研究全体の遂行に関しては、PO 及び PO 補佐からの助言及び指導を適宜頂いた。今年度は新モニタの開発を確実に行うために、小児内分泌及び放射線計測を専門とする学職有識者からの助言を得ることとした。また、同一課題で研究を進めている谷村氏（日本原子力研究開発機構）との情報共有を定期的に行うとともに、開発した新モニタのデモンストレーションの機会とした研修会の開催にあたっては、研究代表者らが所属する量子科学技術研究開発機構の関係部署の協力を得た。後述する新モニタ用制御ソフトウェア及び情報収集支援システムの開発、ならびに新モニタの治具製作等は外部委託により行った。

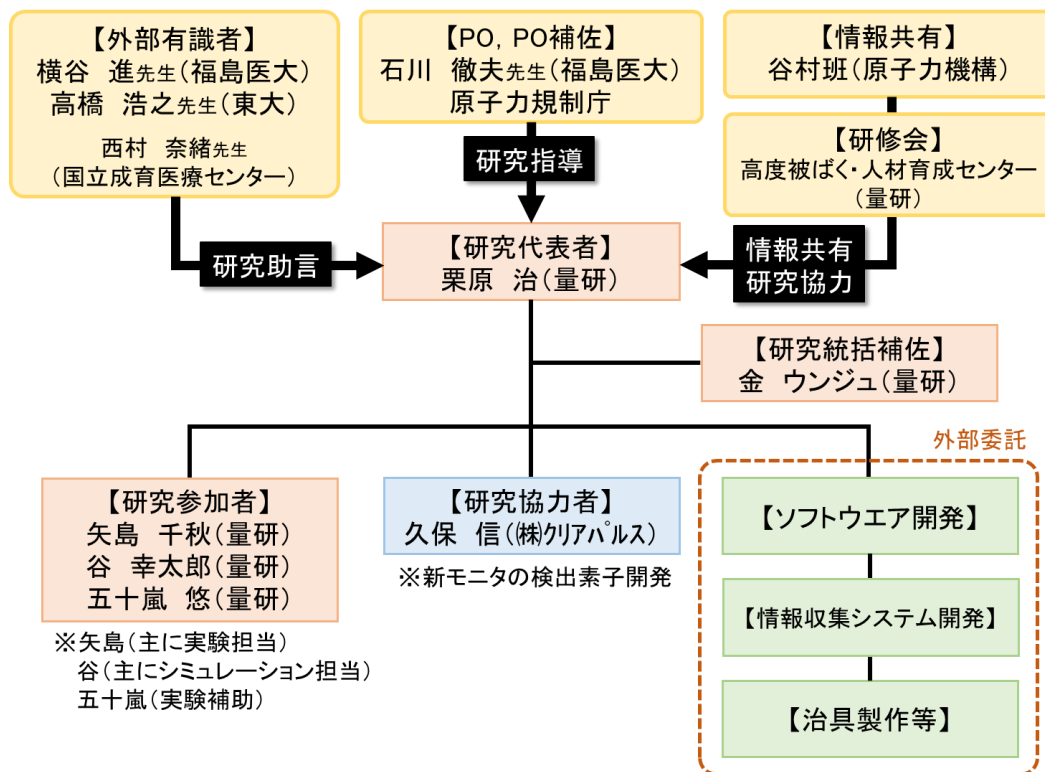


図 1 今年度の研究実施体制

4. 実施報告書

4.1 今年度（2019年度）の事業進捗

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は、福島第一原発事故において近隣住民が受けた事故初期の内部被ばく線量、具体的には放射性ヨウ素に代表される短半減期核種による甲状腺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、認識された技術的課題を克服するための新しいモニタの開発、大多数の公衆に対する内部被ばくモニタリングを確実にを行うための方法、さらには後の線量再構築に用いる避難行動データ等の情報を効率的に収集するためのシステム構築などを含むものである。今年度（2019年度）の当初計画に対応する実績は下記のとおりであり、各項目の詳細は本報告書第4章を参考にされたい。

表1 2019年度実施項目（当初予定）及び実施概要

2019年度実施項目	実施概要	備考
1. 既存検出器を用いた測定法の確立		
①NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査の標準化	NaI(Tl)サーベイメータを用いる甲状腺簡易測定 of 標準化を図るため、当該マニュアルを整備するとともに、研修会参加者に配布し解説を行った。また、未経験者を含む研修会参加者に対し、十分な量の測定実習を行い、原子力災害初動対応者の技術を向上させた。	4. 実施報告書 4.2.1
②候補検出器の測定法の確立	年齢別ファントムを用いた実験により、甲状腺測定に適用可能な様々な既存検出器の校正データを取得するとともに、種々の測定条件での検出下限値を評価した。	4. 実施報告書 4.2.2 4.2.4
③遮へい体仕様の検討	高バックグラウンド環境下での甲状腺測定を想定し、試作した可搬型遮へい体の性能を実験的に評価した。	4. 実施報告書 4.2.3
④甲状腺簡易検査用マニュアル改良	昨年度作成した当該マニュアルの一部見直しを行った。	付録B
2. 新モニタの開発・実用化		
①新モニタの実用化に向けた検討	新モニタの開発に際し、外部有識者からの助言を参考にして様々な年齢の被検者に対する測定方法を事前に検討した。検討結果に基づき、乳幼児・子供兼用プローブ及び	4. 実施報告書 4.3.4 4.3.5

	一般用プローブの2種類を製作し、それらの性能評価を行った。	
②固定治具の作成	昨年度の検討結果を基に、プローブに内蔵する検出素子の固定治具を製作した。新モニタの操作性を考慮し、プローブは検出素子とアンプヘッドユニットを一体化した構造を考案した。	4. 実施報告書 4.3.2 4.3.3
③新モニタ用ソフトウェアの実用化	昨年度までに制作した試作版に、使用者のカテゴリー（専門家及びそれ以外）に応じたモード設定を追加や新モニタ以外の市販測定器の制御を行うための改良などを実施した。また、情報収集支援システムとのデータリンケージにより、利便性を向上させた。	4. 実施報告書 4.3.7
3. 情報収集支援システムの改良		
	昨年度までに制作した情報収集支援システムについて、データ入力機能及び避難経路表示機能の改良、データベースの統合機能の追加等を行った。	4. 実施報告書 4.4
4. 研修会		
	本研究で開発した新モニタを含む種々の測定器を用いた甲状腺測定に関する研修会を開催した。新モニタに関しては、研修参加者から更なる改良・改善のための意見を聴取した。	4. 実施報告書 4.5

4.2 既存検出器を用いた測定法の確立

4.2.1 NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易測定

NaI(Tl)サーベイメータを用いる甲状腺中ヨウ素の測定は、福島第一原発事故の際に行われた小児甲状腺被ばくスクリーニング検査でも行われたが、測定器の取扱いが容易であり、測定に要する時間も比較的短いことから、大多数の被検者から高線量を受けた者を速やかに同定するための測定用途（いわゆるトリアージ）には適している。ただし、NaI(Tl)サーベイメータでは核種弁別が行えないため、想定した核種組成に基づき、指示値（周辺線量当量率など）から体内残留放射能への換算係数を事前に決定しておく必要がある。そこで、本研究事業で購入した年齢別の頸部物理ファントムを用い、NaI(Tl)サーベイメータ（TCS-172、日立製）の甲状腺中ヨウ素に対する換算係数を導出した。使用した頸部物理ファントムは、フランス放射線防護原子力研究所（IRSN）によって近年開発されたものであり、5歳、10歳、15歳及び成人の頸部及び甲状腺が模擬されている（図2）⁽⁸⁾。

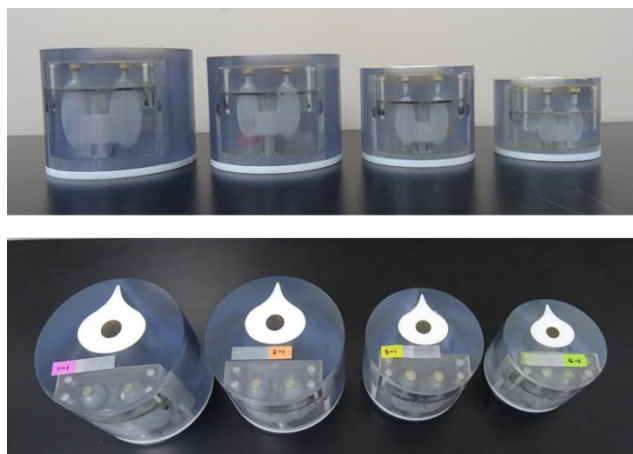


図2 換算係数の導出に使用した年齢別頸部物理ファントム
(左から成人、15歳、10歳及び5歳)

頸部物理ファントムに内蔵される甲状腺は中空構造の容器になっており、既知量の放射性標準溶液を充填することができる。実験では2セットのファントムを用い、それぞれに ^{133}Ba と ^{131}I の標準溶液を充填した。また、NaI(Tl)サーベイメータのプローブ位置の違いによる換算係数の変動を確認するため、ファントムとプローブの距離を0 cm（密着）、0.5 cm及び1.0 cmの3通り、また各距離において、プローブを甲状腺の中心から高さ方向及び横方向にずらした位置での測定を行った。一例として、ファントム-プローブ間の距離を5 mmの合わせたときの結果を図3に示す。同図には、比較のため、MIRD型数学ファントム⁽⁹⁾に対する換算係数の計算値も示した。ただし、数学ファントムの換算係数は、甲状腺中心の頸部上にプローブを配置した場合のみのものである。

同図から、年齢が上がるにつれて、換算係数が増加してゆく（すなわち検出効率が低くなる）傾向があることが分かる。これは、ファントムにおいて、年齢に応じた甲状腺容積と甲状腺前

組織厚の違いを考慮しているためであり、成人が子どもに比べて換算係数が高いのは、甲状腺容積が大きく、かつ、甲状腺前組織が厚いために幾何学的効率を含む検出効率自体が小さくなるためである。5歳児の換算係数は成人の換算係数の約2/3であったが、同様な結果が欧州の研究プロジェクトでも得られている⁽¹⁰⁾。一方、物理ファントムから導出した換算係数において、¹³¹Iは¹³³Baに比べて約10%高い結果となった。この差は数学ファントムでは約5%であったが、全体的にみれば両ファントムから導出した換算係数はよく一致しており、妥当であると考えられる。ファントム-プローブ間の距離を0 cmと1.0 cmにした場合の結果については、別添1に示した。

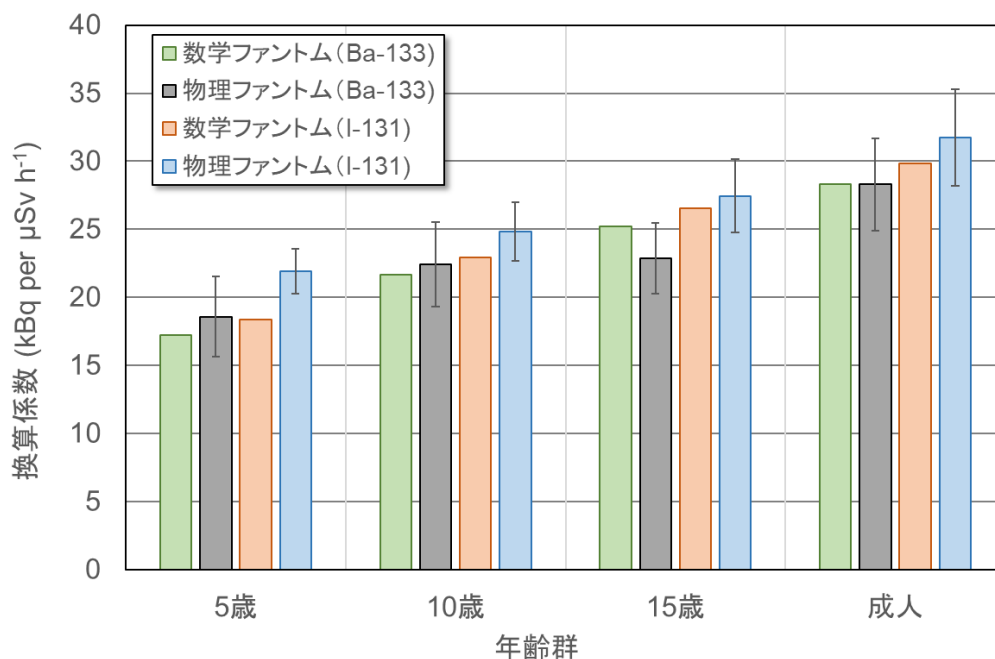
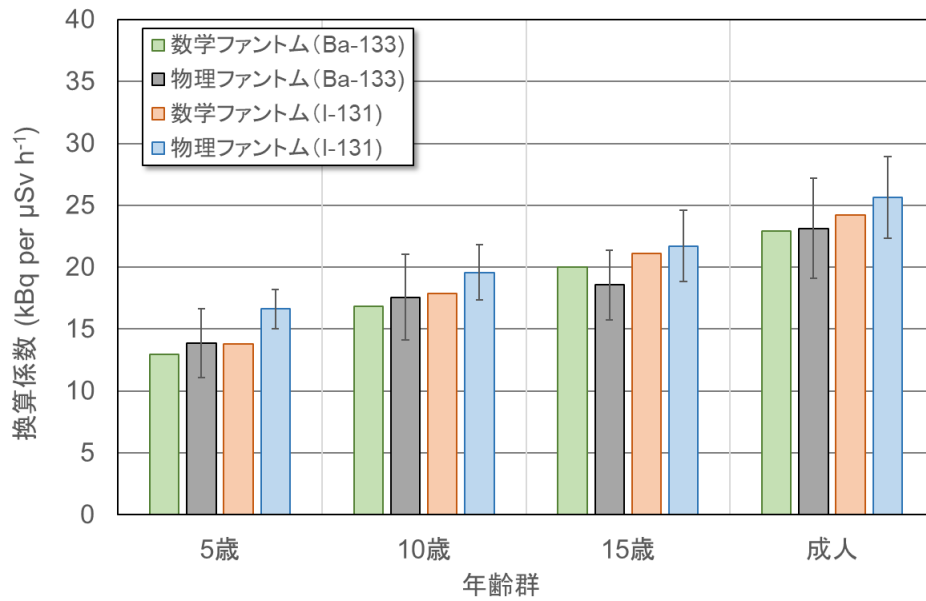


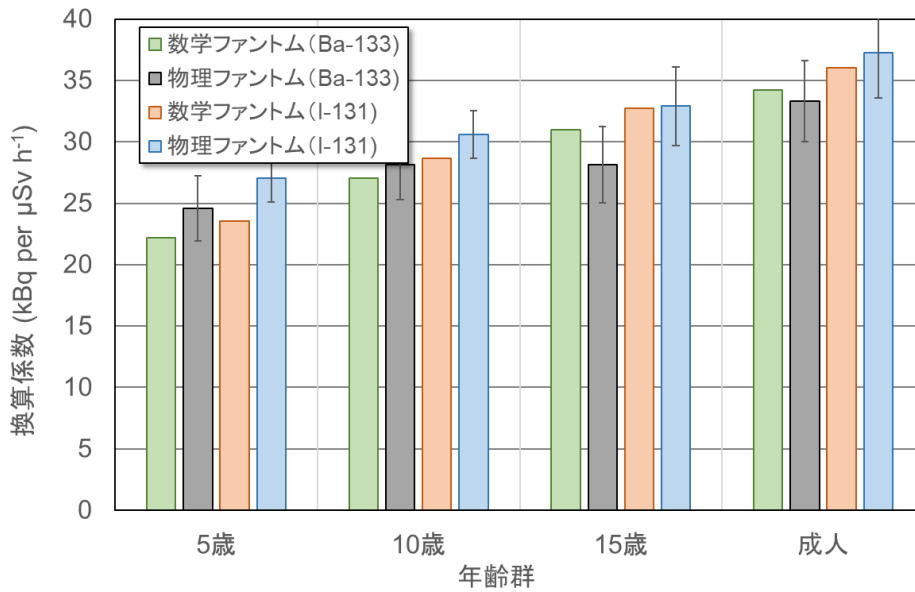
図3 NaI(Tl)サーベイメータの甲状腺中ヨウ素に対する換算係数
(ファントム-プローブ間距離が0.5 cmの場合)

以上の結果に基づき、NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺簡易測定に適用する年齢群毎の換算係数を次のように定めた：0歳，1歳，5歳について20 kBq per μ Sv h⁻¹（0歳と1歳については，5歳の換算係数を割り当て），10歳について25 kBq per μ Sv h⁻¹，15歳について30 kBq per μ Sv h⁻¹及び成人について35 kBq per μ Sv h⁻¹。これらの換算係数を用いて，年齢群毎のある甲状腺等価線量（例えば100 mSv）に相当するNaI(Tl)サーベイメータの指示値を求めておけば大多数を対象としたトリアージには有効であり，甲状腺簡易測定マニュアル（付録B）に早見表を提示した。なお，換算係数の単位はkBq per μ Sv h⁻¹であるが，上記の研究プロジェクトでは，欧州諸国で利用されている，TCS-172と同様な線量率計に対する換算係数が紹介されている⁽¹¹⁾。

別添 1



別図 1 NaI(Tl)サーベイメータの甲状腺中ヨウ素に対する換算係数
(ファントム-プローブ間距離が 0 cm の場合)



別図 2 NaI(Tl)サーベイメータの甲状腺中ヨウ素に対する換算係数
(ファントム-プローブ間距離が 1.0 cm の場合)

4.2.2 候補検出器による測定

甲状腺中 ^{131}I に対する候補測定器として、表 1 に示す市販の γ 線スペクトロメータの試験を行った。これらの測定器は全て小型・軽量であるため、測定場所への移動が容易であり、操作性にも優れている。前述した NaI(Tl)サーベイメータでも ^{131}I の測定は可能であるが、核種同定は行うことができない。一方、 γ 線スペクトロメータはスペクトル解析により核種同定及び同定した核種毎の放射能定量が可能であるものの、測定時間は NaI(Tl)サーベイメータよりも時間を要し、かつ、事前の校正作業や放射線計測に関する相応の専門知識を必要とする。したがって、 γ 線スペクトロメータは後述する新モニタとともに、NaI(Tl)サーベイメータを用いた甲状腺被ばくスクリーニング検査において一定の基準値を超えた者を対象とした詳細測定に適用するのが現実的である。なお、 γ 線スペクトロメータとしては、エネルギー分解能に優れた高純度ゲルマニウム (HPGe) 半導体検出器を備えた甲状腺モニタも利用できるが、結晶冷却や信号処理などに必要な機構が大掛かりとなるため、一部の高価な可搬型 HPGe 検出器を除けば、一般的に測定場所に移動して使用することは想定していない。特性試験を行った市販 γ 線スペクトロメータの外観 (プローブのみ) を図 4 に示す

表 1 試験を行った市販 γ 線スペクトロメータ

測定器	結晶サイズ (円柱) : 高さ×径 ※プローブ径	製造メーカ (型式)
1 インチ NaI(Tl)	25.4 mm× 25.4 mm ※30 mm	SCIONIX (25B25/1.5)
1.5 インチ NaI(Tl)	38 mm× 38 mm ※45 mm	SCIONIX (38B38/1.5)
2 インチ NaI(Tl)	51 mm× 51 mm ※58 mm	SCIONIX (51B51/2)
1.5 インチ CeBr ₃	38 mm× 38 mm ※42 mm	SCIONIX (38B38/2M-CEBR-X)



図 4 試験を行った市販 γ 線スペクトロメータの外観 (プローブのみ)

※ 左から、1.5 インチ CeBr₃、2 インチ NaI(Tl)、1.5 インチ NaI(Tl)及び 1 インチ NaI(Tl)。
2 インチ NaI(Tl)と 1 インチ NaI(Tl)には USB コネクタベース (digiBASE, ORTEC 製) が
接続している。

表 2(1)~(4)には、各測定器の甲状腺中 ^{131}I から放出される γ 線 (365 keV) に対する (全吸収) ピーク効率 (cps per ^{131}I kBq) を示した。ここで、同表中に標記したファントムは NaI(Tl) サーベイメータの試験にも使用した IRSN 製の年齢別ファントム (5 歳, 10 歳, 15 歳及び成人) であり、プローブ前面-ファントム前面間距離を 0 cm, 0.5 cm, 1 cm, 3 cm 及び 5 cm (0 cm は密着) 毎にピーク効率を示している。また、ピーク効率の測定誤差の計算には、ピークエリア計数の統計誤差及びプローブ前面-ファントム前面間距離の不確かさ (1 mm) 伴うピーク効率の変動の両因子を考慮した。

表 2(1) 甲状腺中 ^{131}I に対するピーク効率 (1 インチ NaI(Tl) スペクトロメータ)

1 インチ NaI(Tl)		ピーク効率 (cps per ^{131}I kBq)				
プローブ~ファントム間距離		0 cm	0.5 cm	1 cm	3 cm	5 cm
ファントム	成人	7.7 ± 0.5	5.7 ± 0.3	4.6 ± 0.3	2.2 ± 0.1	1.3 ± 0.1
	15才	9.5 ± 0.5	7.2 ± 0.4	5.6 ± 0.3	2.6 ± 0.2	1.5 ± 0.1
	10才	10.4 ± 0.6	7.7 ± 0.5	5.9 ± 0.4	2.7 ± 0.2	1.5 ± 0.1
	5才	13.1 ± 0.8	9.3 ± 0.6	6.9 ± 0.4	3.0 ± 0.2	1.6 ± 0.1

表 2(2) 甲状腺中 ^{131}I に対するピーク効率 (1.5 インチ NaI(Tl) スペクトロメータ)

1.5 インチ NaI(Tl)		ピーク効率 (cps per ^{131}I kBq)				
プローブ~ファントム間距離		0 cm	0.5 cm	1 cm	3 cm	5 cm
ファントム	成人	19.9 ± 0.9	16.0 ± 0.7	13.0 ± 0.6	6.6 ± 0.3	3.9 ± 0.2
	15才	24.1 ± 1.3	18.4 ± 1.0	14.9 ± 0.8	7.3 ± 0.4	4.3 ± 0.2
	10才	26.3 ± 1.4	20.2 ± 1.1	15.6 ± 0.8	7.6 ± 0.4	4.4 ± 0.2
	5才	32.1 ± 1.8	24.5 ± 1.3	18.9 ± 1.0	8.6 ± 0.5	4.9 ± 0.3

表 2(3) 甲状腺中 ^{131}I に対するピーク効率 (2 インチ NaI(Tl) スペクトロメータ)

2 インチ NaI(Tl)		ピーク効率 (cps per ^{131}I kBq)				
プローブ~ファントム間距離		0 cm	0.5 cm	1 cm	3 cm	5 cm
ファントム	成人	33.7 ± 1.3	28.4 ± 1.1	23.6 ± 0.9	12.3 ± 0.5	7.8 ± 0.3
	15才	40.7 ± 1.9	32.6 ± 1.5	26.7 ± 1.2	13.8 ± 0.6	8.1 ± 0.4
	10才	44.8 ± 2.1	35.6 ± 1.7	28.9 ± 1.4	14.8 ± 0.7	8.7 ± 0.4
	5才	52.8 ± 2.8	40.6 ± 2.2	32.4 ± 1.7	15.9 ± 0.9	9.1 ± 0.5

表 2(4) 甲状腺中 ^{131}I に対するピーク効率 (1.5 インチ CeBr₃ スペクトロメータ)

1.5 インチ CeBr		ピーク効率 (cps per ^{131}I kBq)				
プローブ~ファントム間距離		0 cm	0.5 cm	1 cm	3 cm	5 cm
ファントム	成人	24.7 ± 1.5	19.5 ± 1.2	15.6 ± 0.9	8.0 ± 0.5	4.8 ± 0.3
	15才	30.1 ± 1.7	22.9 ± 1.3	18.5 ± 1.0	9.0 ± 0.5	5.2 ± 0.3
	10才	32.8 ± 1.9	24.8 ± 1.4	19.5 ± 1.1	9.5 ± 0.5	5.5 ± 0.3
	5才	40.3 ± 2.4	30.0 ± 1.8	22.8 ± 1.4	10.2 ± 0.6	5.9 ± 0.3

図 5 には、測定時間を 180 秒としたときの、各測定器の ^{131}I に対する検出限界値をプローブとファントム間の距離の関数として示した。バックグラウンドは通常環境レベル ($0.05 \mu\text{Sv/h}$) としたが、1 インチ NaI(Tl) スペクトロメータ及び 1.5 インチ NaI(Tl) スペクトロメータについては、バックグラウンドを周辺線量当量率で約 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ に高めた環境 (同図中に高 BG と標記) した場合の検出限界値についても示した。また、検出限界値は Currie の補正式⁽¹²⁾により算出した。

図 5 に示す結晶サイズの異なる 3 種類の NaI(Tl) スペクトロメータの通常 BG での結果を比較すると、検出下限値が最も低いのが 2 インチの NaI(Tl) スペクトロメータであり、プローブとファントム間の距離を 5 cm としても検出下限値は 100 Bq 程度である。ただし、1 インチの NaI(Tl) スペクトロメータの場合でも同一条件の検出下限値は高々 200~300 Bq 程度であり、 ^{131}I の摂取から 1 週間以内の測定であれば必要十分な感度は有していると言える。甲状腺測定に伴う様々な不確実性 (例えば、統計誤差、プローブ被検者頸部間距離の誤差、甲状腺形状や甲状腺前組織厚の個人差など) を低減する観点では、結晶サイズの大きい検出器を被検者の頸部からなるべく離して測定を行うのが良い⁽¹³⁾。しかしながら、検出器が測定対象となる甲状腺から離れることで検出感度が低下することに加え、周辺環境からの放射線の影響を受けやすくなることに留意する必要がある。一方で、 ^{131}I の摂取から時間が経過した場合や周辺環境のバックグラウンドが上昇した場合などを想定すると、検出器を被検者頸部に近接させて検出下限値をなるべく下げる必要性が生じる。その際、試験に用いた γ 線スペクトロメータでは、乳幼児の頸部にプローブを近接させることが難しいことが予想される (最も小型な 1 インチ NaI(Tl) スペクトロメータのプローブ径で 3 cm)。この点を除けば、市販の γ 線スペクトロメータは甲状腺中 ^{131}I の測定に適用可能であり、また既に多くの経験があるものの、乳幼児を含む小児を対象とした測定については、後述する新モニタのように実行性を検証する必要がある。

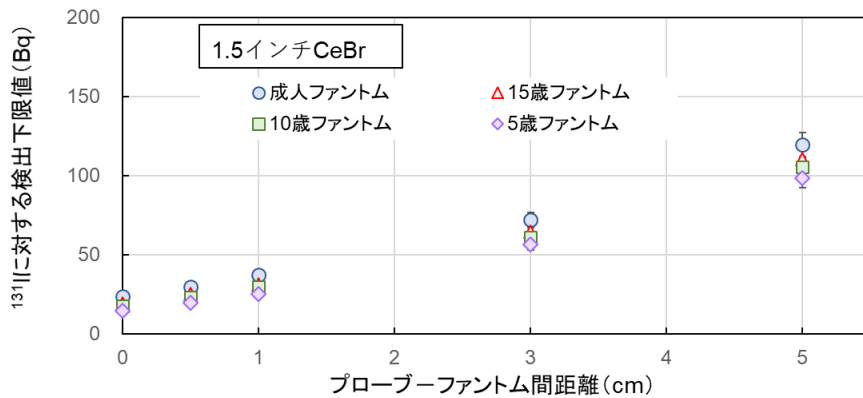
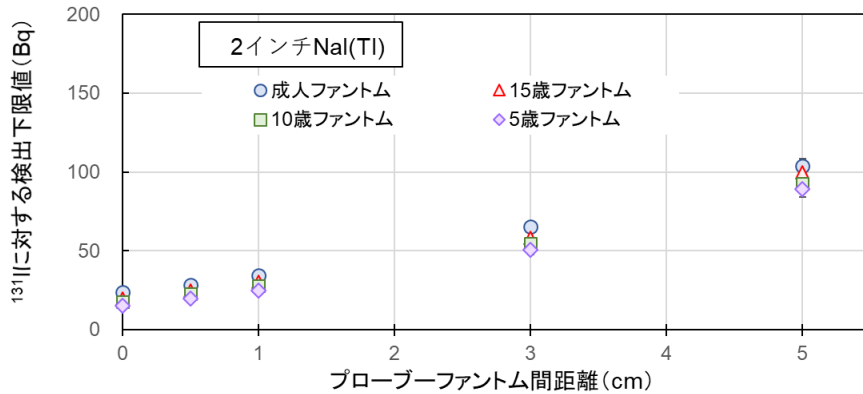
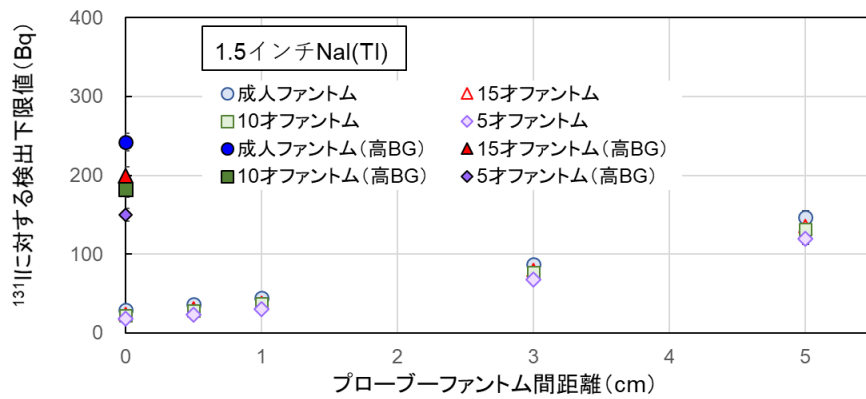
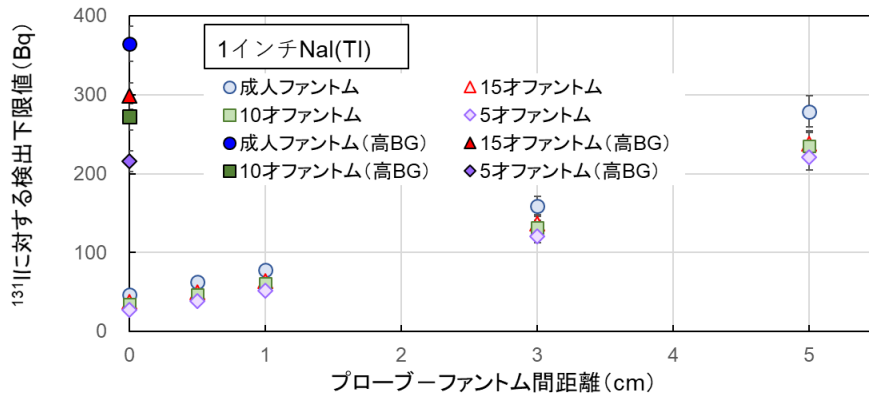


図5 各検出器の甲状腺中 ^{131}I に対する検出下限値
 上段から 1 インチ NaI(Tl), 1.5 インチ NaI(Tl), 2 インチ NaI(Tl), 1.5 インチ CeBr₃

4.2.3 遮へい体の製作

研究課題の要件の一つに挙げられた高バックグラウンド環境下での被検者の甲状腺計測について、本研究では可搬型の遮へい体を製作することとした。これは、後述する新モニタの開発に際し、特に乳幼児の測定のためには検出素子を収めたプローブ自体を薄く、軽量にする必要があったことから、プローブ周囲に遮へいを施すことは困難と考えられたためであった。製作した可搬型遮へい体の外観を図6に示す。

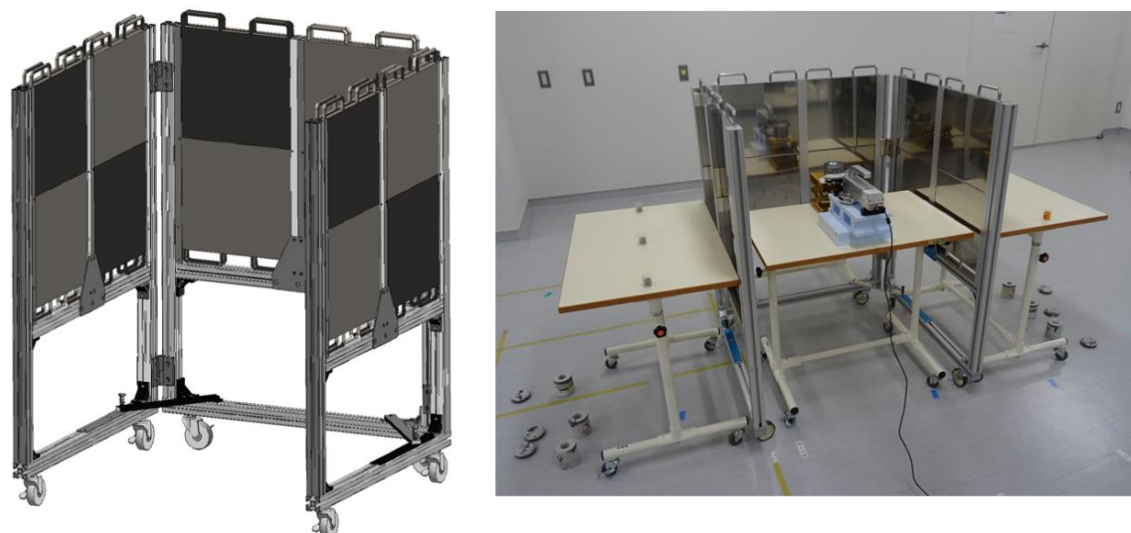


図6 製作した可搬型遮へい体の外観

可搬型遮へい体はコの字型形状としており、被検者は中央遮へい板を背にして椅子に座り、測定者と対面して甲状腺計測を受ける形を想定している。可搬型遮へい体の設置する遮へい板は鉛製（外側はアルミニウムで覆われている）で1枚が約15 kgであり、外寸は35 cm × 30 cm × 1 cmである。可搬型遮へい体各辺（中央及び左右）には、4枚ないし8枚（2枚重ね）の遮へい板を設置することができる。なお、可搬型遮へい体のフレームには車輪が備えられており、遮へい板設置時においても多少の移動は可能であり、また、開口部の角度を変更することができる。

遮へい性能を確認するため、図7に示すような複数の ^{137}Cs 線源を用いた実験を行った。その結果、可搬型遮へい体中央部の周辺線量当量率は、遮へい体1枚厚で約60%（2枚厚で約75%）低減した。遮へい性能は照射ジオメトリに大きく依存すると考えられるが、 ^{131}I に対しては、 ^{137}Cs よりも放出される γ 線のエネルギーが低いために、より高い遮へい効果が期待できる。なお、IAEA安全文書には、公衆の甲状腺計測を $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 未満の場所で行うことを推奨しているが⁽¹⁴⁾、コンクリート建屋内で製作した可搬型遮へい体を使用することにより、屋外での周辺線量当量率が数 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ までであれば、この条件を概ね満足するものと思われる²。

² コンクリート建屋の低減率（建屋内と屋外の線量率の比）を20%、可搬型遮へい体の低減率（1-0.75）を25%と見込むと、 $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1} \div 0.2 \div 0.25 = 4 \mu\text{Sv h}^{-1}$ となる。

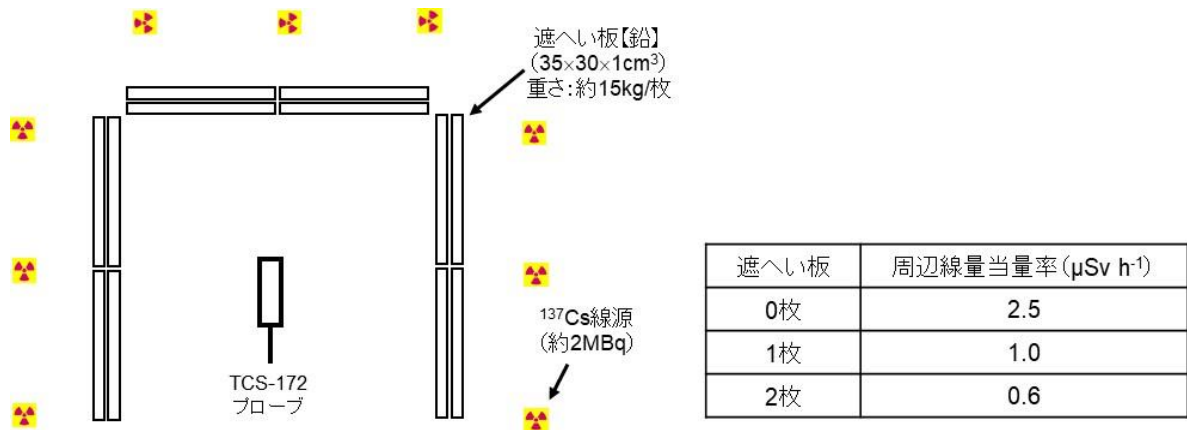


図7 遮へい性能を評価するための実験条件

4.2.4 立位型全身カウンタによる測定

福島第一原発事故後、多数の住民を対象とした^{134/137}Csの体内残留量の測定を実施するために、多くの自治体及び民間病院等で全身カウンタが導入され、特に福島県内においては約50機が稼働した^(15,16)。最も多く普及した全身カウンタは、図8に示す立位型のFASTSCAN(ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ 米国)⁽¹⁷⁾である。



図8 FASTSCAN(ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ 米国)の外観⁽¹⁷⁾

FASTSCANには、40.6 cm(縦)×12.7 cm(横)×7.6 cm(厚さ)のNaI(Tl)結晶を使用したシンチレーション検出器2基が、それぞれ被検者前方の上部及び下部に設置されている。自然放射線を遮蔽するために、検出器の周辺及び被検者の左右、背面、床面、天井は約10 cm厚の鉄材で囲まれている。本研究では、モンテカルロ放射線輸送計算コードであるMCNP(Monte-Carlo N-Particle transportation code version 6.2)⁽¹⁸⁾によってFASTSCANの構造をモデル化し、Ulanovsky

らが作成した年齢別人体数学ファントム⁽⁹⁾を使用したシミュレーションに基づいて、¹³¹I を対象とした甲状腺計測における有用性を検討した。使用した数学ファントムは、直方体や楕円柱などの単純な図形を組み合わせで作られた MIRD5 型ファントム⁽¹⁹⁾が原型となっている。Ulanovsky らは、体幹を構成する楕円柱の角を滑らかに削ることで、より現実に近い胸部の形状を再現した。図9に、5歳、10歳、15歳及び成人の数学ファントムを対象とした FASTSCAN による測定ジオメトリを示す。

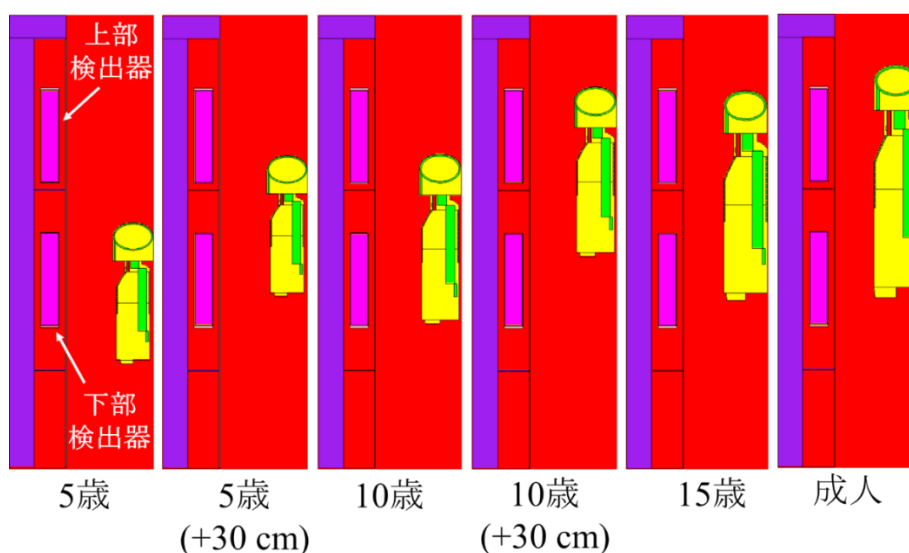


図9 年齢別数学ファントムに対する測定ジオメトリ

福島第一原発事故後の測定では、全身に均一に分布する ^{134/137}Cs に対する FASTSCAN の計数効率を高めるために、130 cm 以下の小児に対して高さ 30 cm の踏み台を使用したため⁽²⁰⁾、本研究でも 5 歳及び 10 歳の数学ファントムについて通常より 30 cm 高い位置での測定ジオメトリを追加した。各ファントムの甲状腺に ¹³¹I の体積線源を設定し、FASTSCAN の上部及び下部検出器の NaI(Tl)結晶に対する光子のエネルギースペクトルを MCNP の F8 タリーによって計算した。¹³¹I の主要な光子エネルギーである 365 keV のピーク効率から計算した各ファントムに対する計数効率 (cps/Bq) を表3に示す。

表3 年齢別数学ファントムに対する FASTSCAN の計数効率 (cps/Bq)

検出器	5歳	5歳 (+30 cm)	10歳	10歳 (+30 cm)	15歳	成人
上部	0.00095	0.0069	0.0070	0.017	0.018	0.018
下部	0.016	0.0067	0.0071	0.0016	0.0021	0.0013
合計	0.017	0.014	0.014	0.019	0.020	0.019

成人及び15歳のファントムに対する上部及び下部検出器の計数効率の合計は、それぞれ0.019 cps/Bq 及び 0.020 cps/Bq であり、ほぼ一致した。いずれのファントムに対しても、上部検出器の計数効率は 0.018 cps/Bq であり、頸部前面に存在する上部検出器の計数効率が下部検出器と比較して非常に大きいことが確認された。一方、10歳のファントムの場合、頸部の高さが上部及び下部検出器の中間に位置しており、計数効率は 0.014 cps/Bq に低下した。しかし、通常よりも 30 cm 高い位置では、頸部が上部検出器の前面に位置することで計数効率は 0.019 cps/Bq に改善した。5歳のファントムの場合、頸部は下部検出器の前面に位置し、計数効率は 0.017 cps/Bq であった。30 cm 高い位置での計数効率は、むしろ 0.014 cps/Bq に低下した。以上のように、各ファントムに対する FASTSCAN の計数効率は概ね一定 (0.017-0.020 cps/Bq) に保たれる (ただし 10歳のファントムについては 30 cm 高い位置) ことが明らかとなった。

バックグラウンド (BG) のエネルギースペクトルに基づく典型的な定量下限 (Minimum determination limit: L_Q) の計数は、以下の式で計算できる⁽¹²⁾。

$$L_Q = 10\sigma_{BG} \quad (1)$$

ここで、 σ_{BG} は 365 keV の光子ピークに対して設定する関心領域 (Region of interest: ROI) における BG 計数の標準偏差 (計数の平方根) である。例えば、福島第一原発事故後の 2011 年 3 月 24 日に茨城県東海村において FASTSCAN による作業者の測定を実施されたが⁽²¹⁾、BG スペクトルにおいても ^{131}I 及び $^{134/137}\text{Cs}$ がわずかに検出されていた当時の環境において、ROI の BG 計数率は 32.7 cps であった。この環境において測定時間を 180 秒に設定した場合、 L_Q は式(1)から 767 カウントと計算される。また、 L_Q に相当する甲状腺残留量 A_T (Bq) は、測定時間 t (秒) 及び計数効率 ε (cps/Bq) から以下の式で計算できる。

$$A_T = L_Q / (t \cdot \varepsilon) \quad (2)$$

前述のとおり、各ファントムに対する FASTSCAN の計数効率が 0.017-0.020 cps/Bq の範囲内であったことから、その下限値である $\varepsilon = 0.017$ を代入すると、180 秒の測定で L_Q (767 カウント) に相当する A_T が 251 Bq と計算される。したがって、原発事故後によってわずかに BG が上昇した環境であっても、300 Bq の甲状腺残留量を定量できる可能性があると考えられる。

元素状の ^{131}I を吸入摂取した場合の甲状腺等価線量係数 (Sv/Bq) ⁽²²⁾及び 100 mSv に相当する摂取量を、5 歳、10 歳、15 歳及び成人ごとに表 4 に示す。

表 4 ^{131}I 吸入摂取（元素状）時の甲状腺等価線量係数及び 100 mSv に相当する摂取量

年齢	甲状腺等価線量係数 (Sv/Bq)	100 mSv に相当する摂取量 (Bq)
5 歳	1.9×10^{-6}	5.3×10^4
10 歳	9.5×10^{-7}	1.1×10^5
15 歳	6.2×10^{-7}	1.6×10^5
成人	3.9×10^{-7}	2.6×10^5

また、100 mSv に相当する ^{131}I （元素状）を吸入した後の経過日数に対する甲状腺残留量の変化（甲状腺残留関数）について、年齢ごとに MONDAL3⁽²³⁾で計算した結果を図 10 に示す。

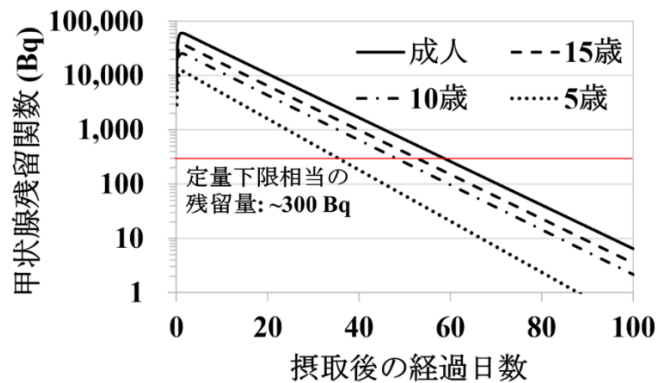


図 10 100 mSv の甲状腺等価線量に相当する ^{131}I （元素状）吸入摂取後の甲状腺残留関数

図 10 に示すように、もし定量下限に相当する甲状腺残留量が 300 Bq 以下の環境であれば、 ^{131}I の吸入摂取から 30 日以内に FASTSCAN による測定を実施することで、少なくとも 100 mSv に相当する甲状腺残留量を定量できる可能性がある。しかし、FASTSCAN による測定の課題として、設置場所及び設置台数が限られること、5 歳未満の乳幼児を対象とした測定が困難であることが挙げられるため、これらの欠点を補う乳幼児を対象とした可搬型測定器の開発は重要である。

4.3 新甲状腺モニタの開発及び実用化

4.3.1 背景と目的

福島第一原発事故に際し、2011年3月下旬に国が行った小児甲状腺被ばくスクリーニング検査では、乳幼児を含む15歳以下の子どもが測定対象となった。同検査において技術的課題として認識された事柄は前述のとおりであり(2. 事業概要)、要約すると、①放射性物質が広域に拡散したことにより、高バックグラウンド環境下での測定を余儀なくされたこと、②幅広い年齢層を含む公衆の甲状腺計測に適した測定器及び校正方法が無かったことの二つである。この内、最初の技術的課題については、各原発サイトにおいて自治体が整備している広域避難計画等を参考にし、数ある指定避難所の中から、高い遮へい効果が期待できる施設を事前に幾つか選定しておくといったソフト的な対応が有効だと思われる。他方、二番目の技術的課題については、特に乳幼児を対象とした甲状腺計測に適した測定器が現状では存在せず、この目的に特化した測定器の開発が望まれている⁽¹⁰⁾。そこで本研究では、複数の小型放射線検出素子を用いる新しいタイプの甲状腺モニタ(以下、新モニタ)を提案し、開発を進めてきた⁽²⁴⁾。新モニタのコンセプトは図11に示すとおりであり、検出素子を被検者頸部の周囲に配置することで、甲状腺中ヨウ素に対する幾何学的効率を高めつつ、測定中の被検者の動きにも影響を受けにくいジオメトリとしている。放射線検出素子には、近年開発・市販化されたガドリニウム・アルミニウム・ガリウム・ガーネット(GAGG)検出素子(5640-HRGAGGG1C1C1C型、クリアパルス、日本)を採用した。同検出素子には、シリコン光電子倍增管(SiPM)に光学接合した1cm角のGAGG結晶が内蔵しており、従来型の測定器(NaI(Tl)サーベイメータ等)と比較してプローブ自体の小型軽量化が可能である。本節では、新モニタの開発に関して、今年度実施した内容を中心に述べる。

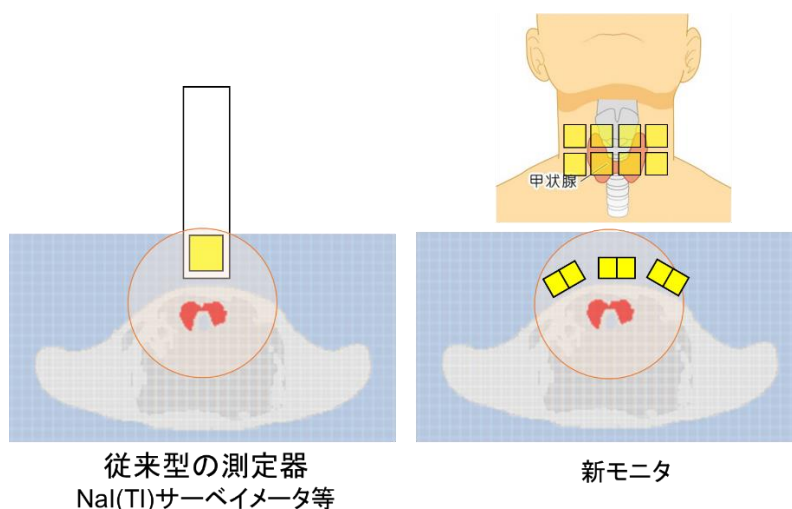


図11 新モニタのコンセプト

4.3.2 乳幼児測定に関する検討

昨年度、製作した新モニタ用プローブは、乳幼児用、子供用及び一般用の3種類であり、各プローブ内の検出素子の配列は、1段4列（乳幼児用）、2段4列（子供用）及び2段5列（一般用）である。ただし、乳幼児用と子供用のプローブに用いる検出素子は一般用プローブに用いる市販の検出素子とは異なり、より小型化した特注仕様のものである。そのため、乳幼児用及び子供用プローブの厚さは、成人用プローブに比べて薄くなっている（乳幼児用：24 mm、子供用：40 mm、一般用：48 mm）。各プローブ内の検出素子の位置は、年齢別頸部ファントム（IRSN製）を用いた実験結果等を参考に決定した。図12に各プローブの構造を示す。

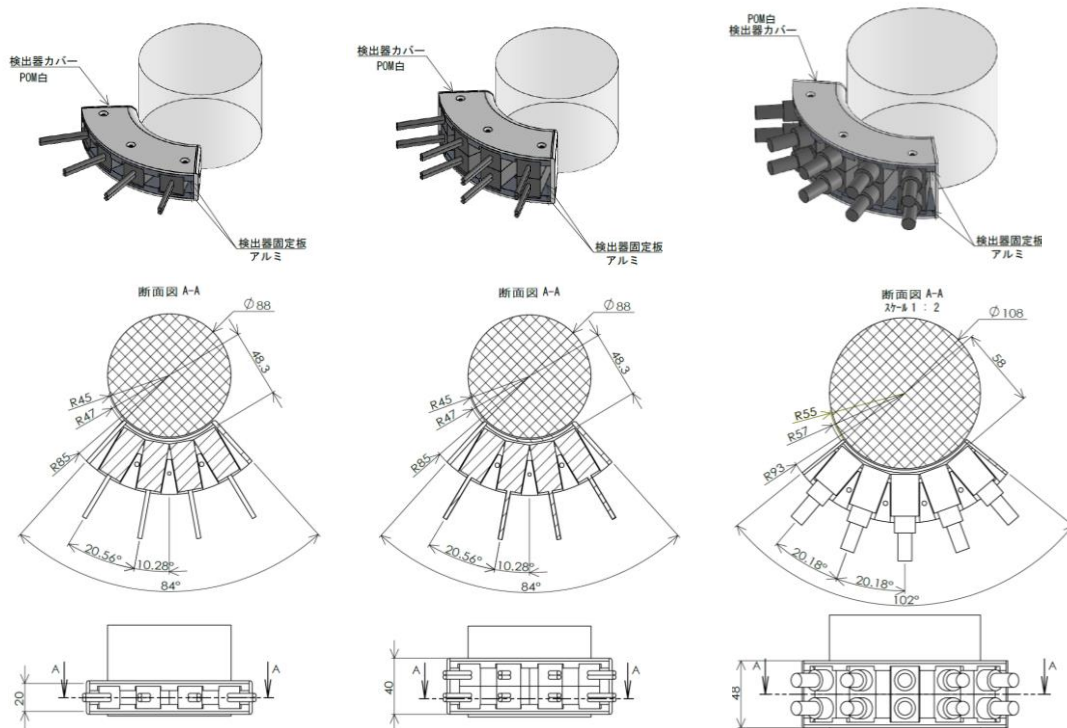


図12 新モニタプローブの構造

(左：乳幼児用，中央：子供用，右：一般用)

製作したプローブが甲状腺計測に実際に使えるかを確認するため、マネキンや実被検者の頸部にプローブが近接して配置できるかを確認した（図13）。その結果、目安として、5歳児までは乳幼児用プローブ、小学生（6歳から12歳）は子供用プローブ、中高生以降は一般用プローブを選択する一応の目安が得られた。また、甲状腺計測を行う際の被検者の体位については、医療関係の外部有識者からの助言を得て、2歳未満では母親が前に抱きかかえた状態でプローブを頸部に添え当てて測定、2歳から5歳までは測定中に動かずにいることが難しい状況が想定されることから（必要に応じて）ベッドに寝かせて測定、小学生以降は椅子に座って測定者と対面して測定といった形が現実的であると考えられた。なお、2歳未満については、母親自身がプローブを持ち、測定者となる場合もあり得る。



図 13 新モニタプローブの試験

4.3.3 新モニタ実用機の開発

新モニタ実用機として、乳幼児・子供用及び一般用の2種類のモニタを製作した(図14)。制御用PCを除く新モニタ本体の重量は、乳幼児・子供用で約1kg、一般用で約1.5kgであり、我が国で広く使用されているNaI(Tl)サーベイメータ(TCS-172, 重量は1.5kg)と比較して、同等あるいはより軽量である。図15には、新モニタ実用機(乳幼児・子供用)の構造を示す。モニタ本体は、GAGG検出素子が収められたプローブと取っ手部分からなり、後者には複数チャンネルに対応した信号処理ユニット(Model 80405/80406, Model 80415/80416, クリアパルス, 日本)が内蔵されている。プローブと取っ手部分の接合部の角度は調節することができる。なお、検出素子に内蔵されている温度センサーによってシグナルゲインの自動補正が行われるため、複数の検出素子からの波高スペクトルの合算による劣化はほとんど生じない。

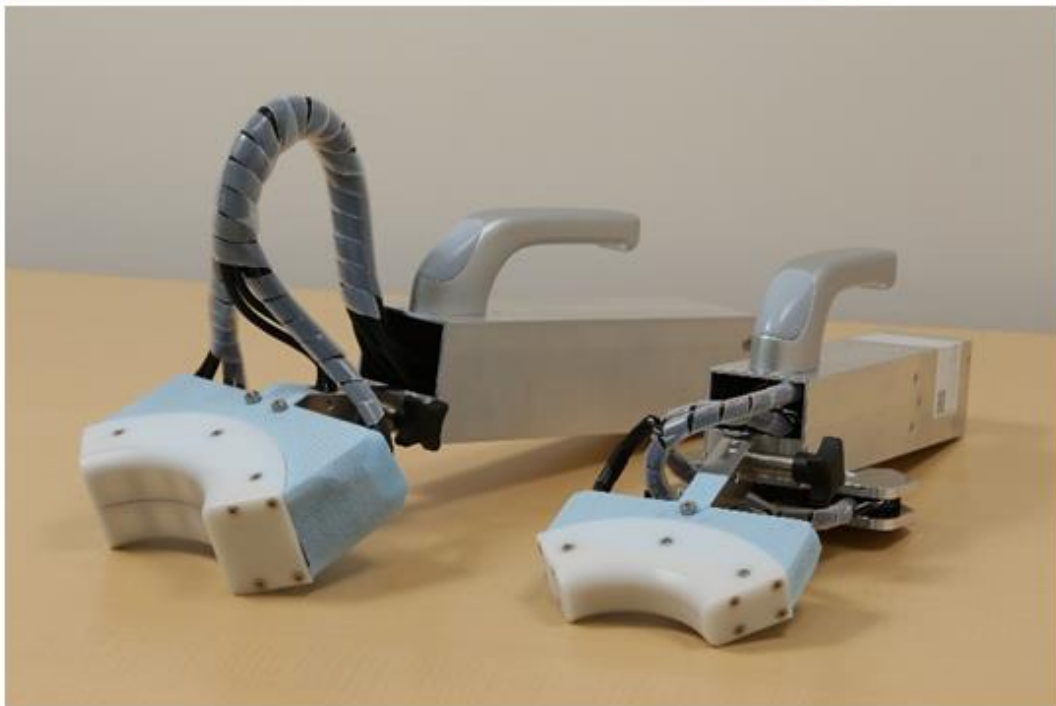


図 14 開発した新モニタ実用機
(左：一般用，右：乳幼児・子供用)

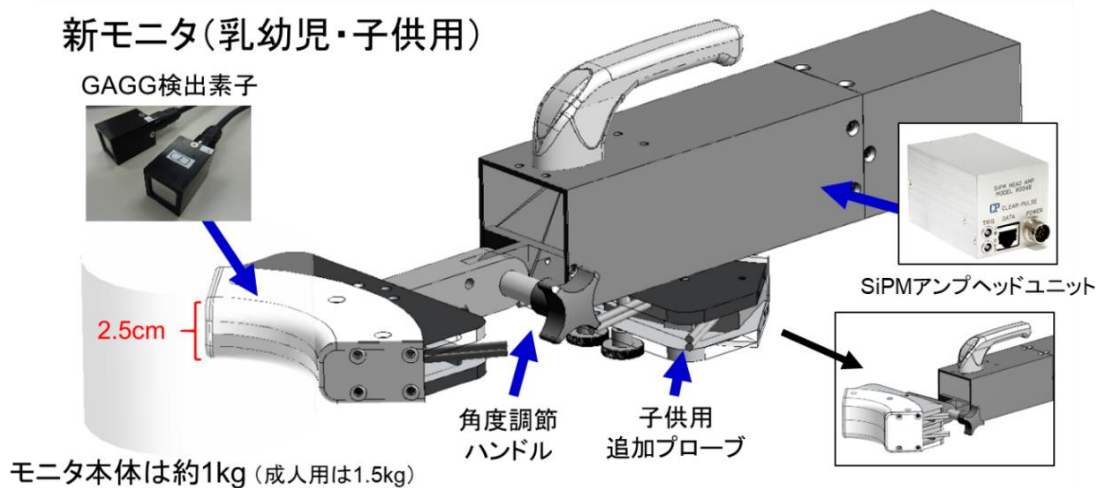


図 15 新モニタ実用機（乳幼児・子供用）の構造

4.3.4 校正及び検出下限値の評価

新モニタ実用機の甲状腺中 ^{131}I に対するピーク効率 (365 keV) は、物理ファントムを用いた実験、及び、(放射線輸送)シミュレーションによる計算から評価した。ここでシミュレーションを適用したのは、実験で使用可能な年齢別頸部ファントム (IRSN 製) が 5 歳、10 歳、15 歳及び成人の 4 種類しかないためである。実験では、頸部ファントム内の甲状腺形状容器に ^{133}Ba 標準溶液を充填し、取得した波高スペクトルから γ 線エネルギーを変数とするピーク効率関数を求め、これから ^{131}I のピーク効率を決定した。シミュレーションでは、新モニタのプローブと年齢別数学ファントム (0 歳、1 歳、5 歳、10 歳)⁹⁾ または数値ファントム (2.7 歳、IRSN から提供されたもの) を組み込んだ計算体系を構築し、甲状腺中 ^{131}I から発生する γ 線に対する波高スペクトルを計算してピーク効率を導出した。図 16 にシミュレーションの計算体系、図 17 に評価したピーク効率の結果を示す。



図 16 シミュレーションの計算体系



図 17 甲状腺中 ^{131}I に対するピーク効率 (365 keV)

図 17 に示すシミュレーション（計算）の結果から、乳幼児用プローブを用いた場合、0歳から5歳まではピーク効率の変化が比較的小さいことが分かる。このことは、おおよそ5歳以下の被検者に対しては、被検者の年齢に応じてピーク効率を細かく変更する必要がないことを意味している。シミュレーションの妥当性は、同図に示す5歳と10歳のピーク効率について、計算値が実験値とほぼ一致していることから明らかである。なお、5歳時以上では子供用プローブ、15歳以上では一般用プローブを使用することで、検出感度を高められる。

図 18 及び図 19 には、種々の実験条件に対する新モニタ実用機の甲状腺中 ^{131}I に対する検出下限値を示した。検出下限値は、波高スペクトル中に ^{131}I ピーク (365 keV) の関心領域を設定し、修正された Currie 式を用いて導出した⁽¹²⁾。なお、実験では5歳より低い年齢のファントムは利用できないが、ピーク効率の計算結果から、5歳児以下でも検出下限値はそれほど変わらないと考えられる。

図 18 には、検出器近傍の周辺線量当量率と ^{131}I に対する検出下限値の関係を示した。ただし、測定時間は180秒とした場合である。当然ながら、周辺線量当量率の上昇に伴い、検出下限値も増加していくが、周辺線量当量率が $2.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ の環境においても検出下限値は200 Bq程度であった。この量は、乳幼児の甲状腺等価線量が10 mSvに相当する場合の、吸入摂取1週間後の甲状腺残留量320 Bqよりも小さい。周辺線量当量率が $\sim 0.05 \mu\text{Sv h}^{-1}$ の環境（通常のバックグラウンドレベル）では、検出下限値は30 Bq程度であるので、同様な条件で1 mSv程度の甲状腺内部被ばくを検知できることになる。

図 19 には、周辺線量当量率が $\sim 0.05 \mu\text{Sv h}^{-1}$ と $2.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ のそれぞれの環境において、測定時間と検出下限値の関係を示したものである。乳幼児を含む子供の甲状腺計測は、3分程度以内とするのが現実的と考えられるが、状況に応じて測定時間をより短くする必要性も想定される。同図から測定時間を3分間から1分間にとすると検出下限値は約2倍に増加するが、通常バックグラウンドの数倍程度の環境であれば、数 mSv程度の甲状腺等価線量を検出するのに十分な検出感度で甲状腺計測を行うことが可能である。

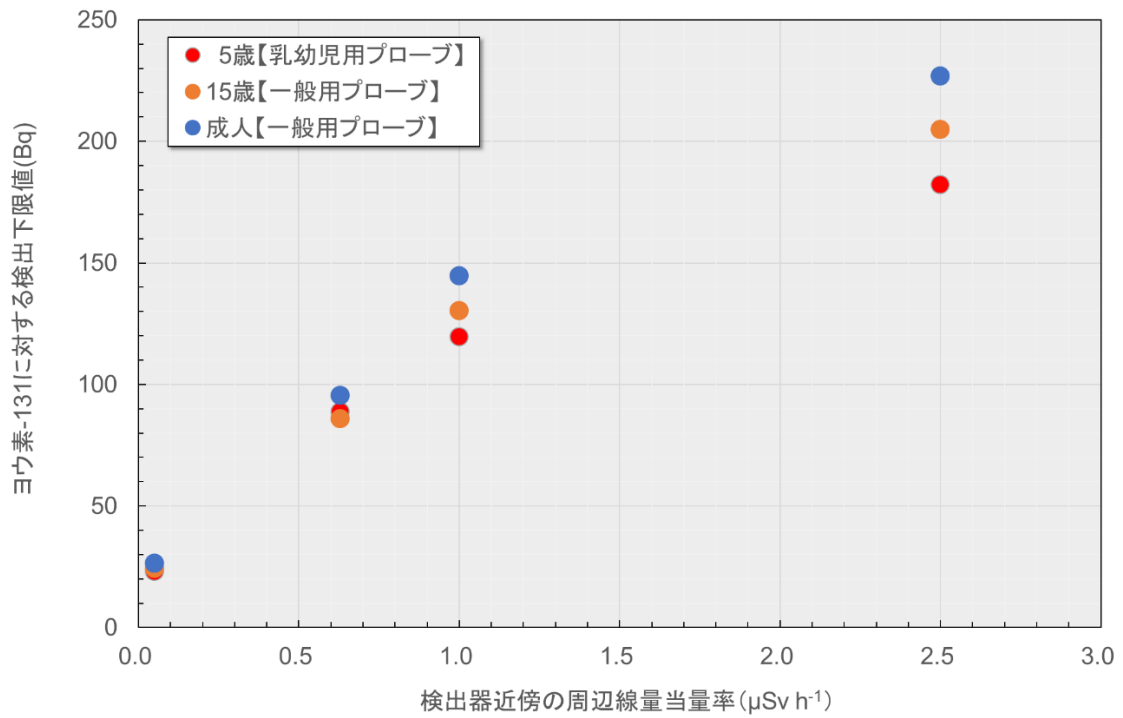


図 18 周辺線量当量率と ¹³¹I に対する検出下限値の関係
(測定時間 : 180 秒)

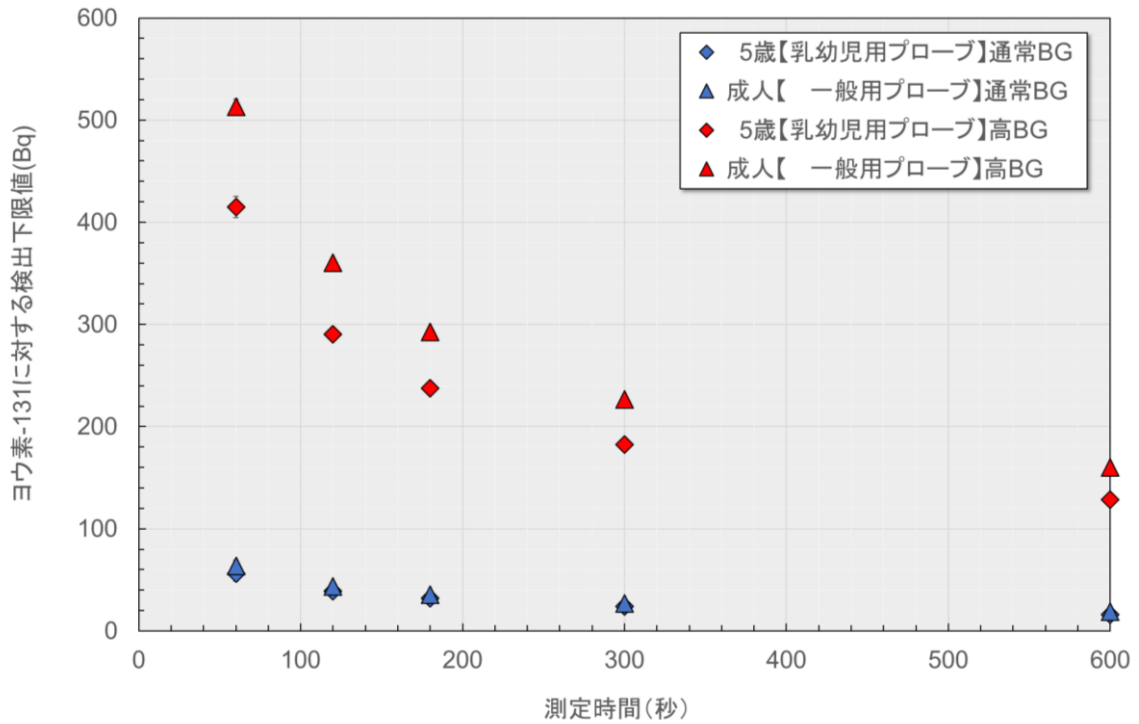


図 19 測定時間と ¹³¹I に対する検出下限値の関係
(通常 BG : ~ 0.05 μSv h⁻¹, 高 BG : 約 2.5 μSv h⁻¹)

4.3.5 測定精度の評価

甲状腺測定には様々な誤差が生じることが予想される。ここでは、測定誤差の一要因となるプローブ位置のずれによる計数効率の変化に着目して、年齢別ファントムを用いた実験的評価を試みた。実験では、ファントムに内蔵する甲状腺形状線源の中央（より正確には甲状腺峡部の上端）の真上にプローブの中心を密着して合わせた配置を基準位置として、①ファントムとプローブ間の距離を変化、②プローブを基準位置から上下に移動、③プローブを基準位置から右回りに回転（ファントムは左右対称であるため左回りは省略）の各ケースについて ^{131}I ピーク効率を得た。ここで②及び③については、プローブとファントムの密着状態は保持し、年齢別ファントムに内蔵する甲状腺形状容器には既知量の ^{131}I 標準溶液を充填した。図 20 にプローブの基準位置、図 21 から図 23 に上記①、②及び③の各ケースの実験結果を基準位置に対する ^{131}I ピーク効率の相対値として示した。

プローブとファントム間の距離の変化に伴う ^{131}I ピーク効率（相対値）は図 21 に示すとおりである。新モニタ（実用機）は被検者の頸部に密着させて測定を行うことを想定しているが、頸部の起伏やプローブ内径が固定されているために、実際には数 mm 程度はプローブが頸部から離れてしまうことも想定される。プローブとファントム間の距離を 5 mm としたときの ^{131}I ピーク効率は、密着した場合に比べて相対値で 0.75~0.84 であった。したがって、数 mm の距離の誤差が ^{131}I ピーク効率に与える変化は 15%程度と評価される。新モニタを用いた甲状腺測定では、基本的にプローブを被検者頸部に密着させた状態で行うことを想定しているものの、距離を 5 mm とした場合の ^{131}I ピーク効率を用いることで、甲状腺中 ^{131}I の過小評価を防ぐことができると考えられる。

プローブを基準位置から上下に移動した場合の ^{131}I ピーク効率の変化は図 22 に示すとおりである。乳幼児用プローブの ^{131}I ピーク効率の（下方向での）変化が他プローブと比較して大きいのは、検出素子の数が少ないために（1 段 4 列、図 2 参照）、高さ方向に断面積が変化する線源（甲状腺）形状の影響を受けやすいことが理由と考えられる。同図に示す結果から、プローブ位置が基準位置から上下に 1 cm 移動した場合の ^{131}I ピーク効率の変化は、平均すると乳幼児用プローブの場合で 10%程度以内であった。

プローブを回転させたときの ^{131}I ピーク効率の変化は図 23 のとおりである。同図から、回転角が 20° の場合には ^{131}I ピーク効率は基準位置の場合と比べて 10%程度低下するが、回転角が 10° 以内では 5%の変動範囲内に収まる結果が得られた。

以上の結果から、新モニタを用いた甲状腺測定において想定されるプローブ位置のずれに伴う測定誤差は 20%程度 ($18\% = \sqrt{(15\%)^2 + (10\%)^2 + (5\%)^2}$) と評価される。被検者の測定では、この測定誤差に ^{131}I ピークエリア計数の統計誤差を加算することになる。

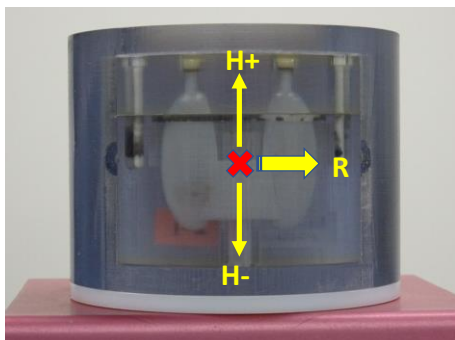


図 20 年齢別ファントムにおけるプローブの基準位置
 (×印で示した甲状腺峡部上端部の直上のファントム表面)

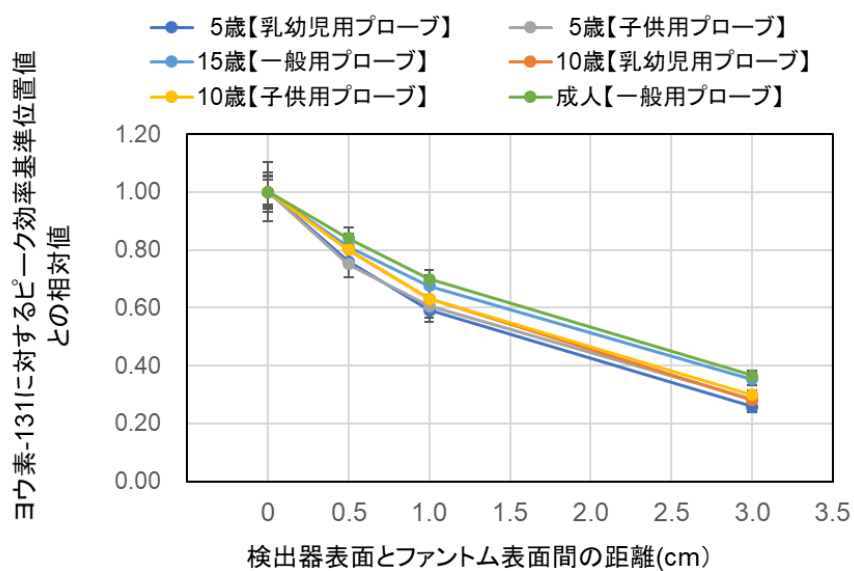


図 21 プローブとファントム間の距離の変化に伴う ¹³¹I ピーク効率の変化

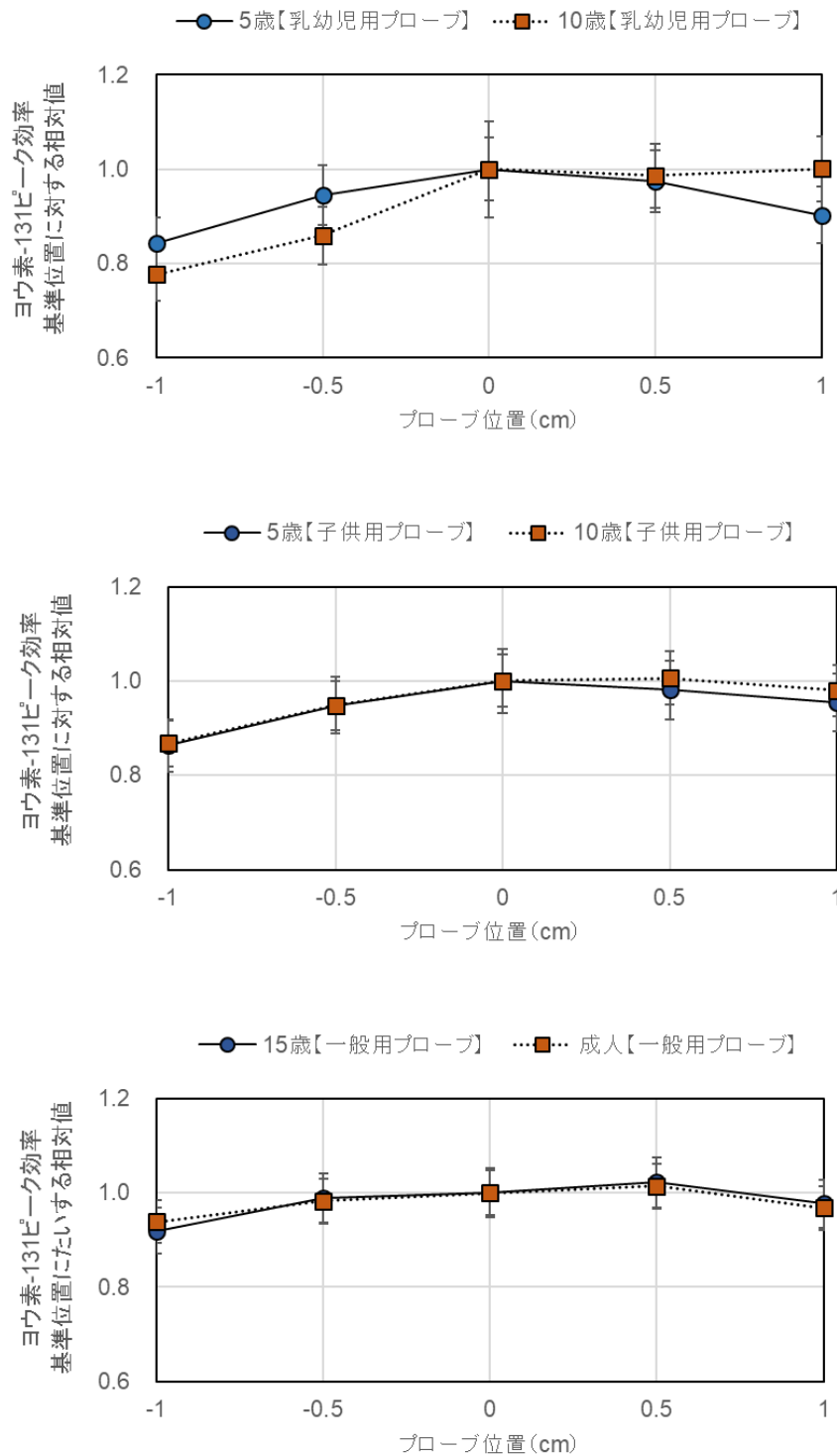


図 22 プローブを基準位置から上下に移動した場合の ^{131}I ピーク効率の変化
(横軸が正の数値はプローブを基準位置から上方に移動, 負の数値は下方に移動)

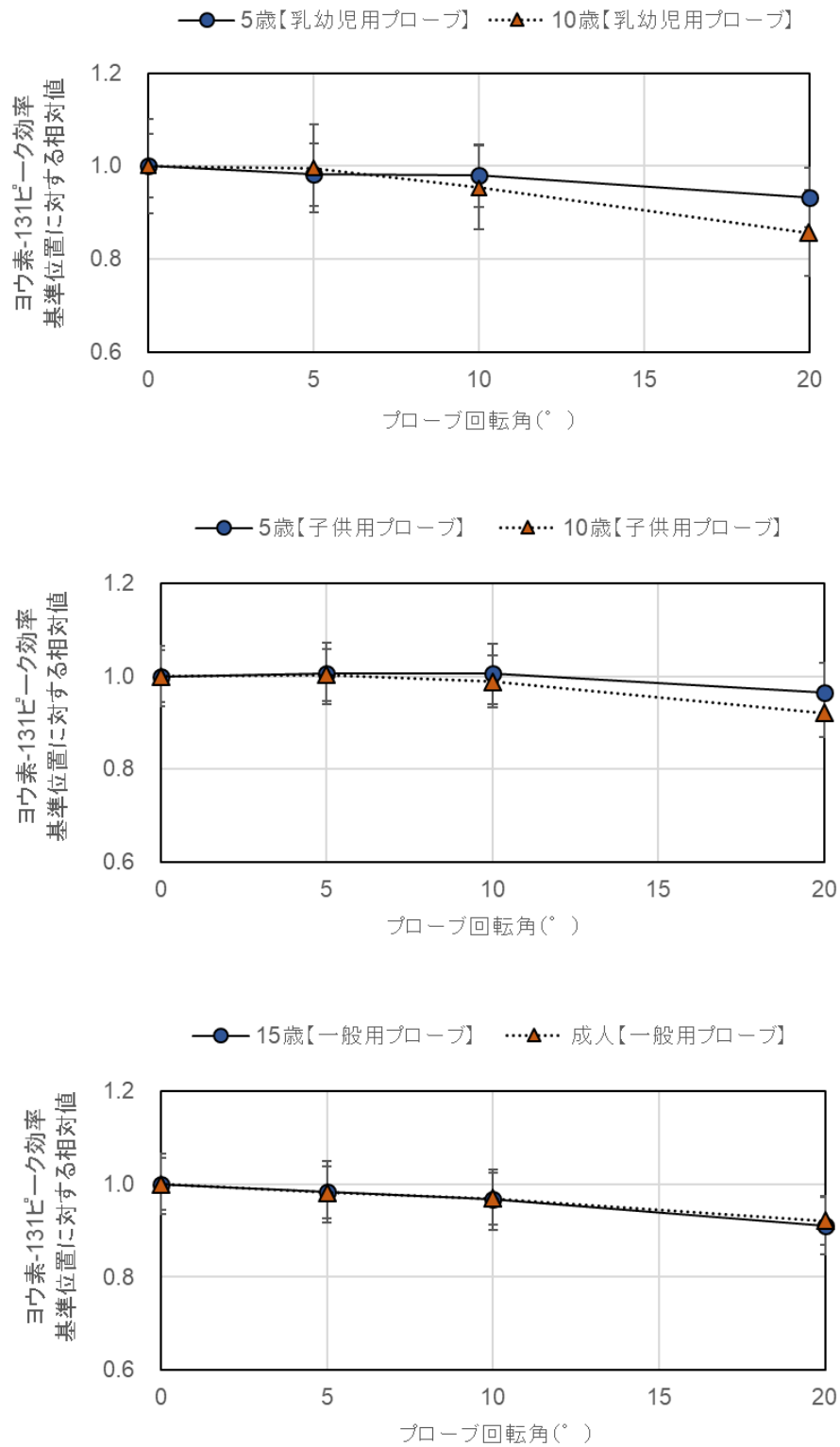


図 23 プローブを回転させたときの ^{131}I ピーク効率の変化

4.3.6 プローブ支持機構の製作

新モニターを用いた被検者の測定方法については4.3.2で検討したとおりであるが、測定者がプローブを持ち続けるのは、軽量化されたプローブ（乳幼児・子供用で約1kg, 成人用で約1.5kg）であっても、被検者が多数いる場合には、測定者の負荷が相応に大きくなることが予想される。そこで、新モニターのプローブを任意の位置で固定することのできる支持機構を2種類製作した。この支持機構は測定台に設置され、被検者は測定台に対面した椅子に座った状態で測定を受ける形を想定している（図24）。2種類の支持機構は簡易式とアーム式であり、前者がプローブの傾斜角と高さのみを調節できるのに対し、後者では複数のヒンジを設けることで、より自由度の高いプローブ位置の調整を可能している。いずれの支持機構も被検者自身がプローブに頸部を乗せる形となるが、アーム式ではプローブを測定台から離すことができるため、乳幼児の甲状腺測定に使用することも考えられる。図25にはアーム式支持機構に固定されたモニター（一般用）による使用例を示す。

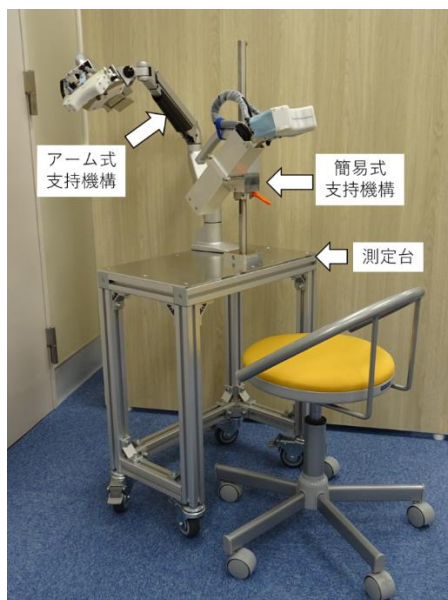


図24 製作した新モニタープローブ用支持機構

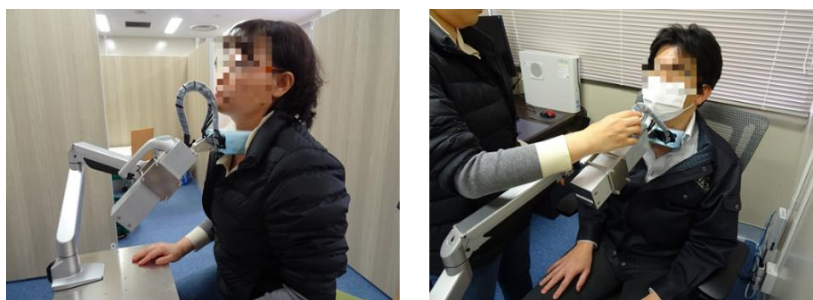


図25 アーム式支持機構の使用例

4.3.7 新モニタ制御用ソフトウェアの開発

原子力災害時、甲状腺検査が実施される会場においては、放射線に対する専門的な知識や熟練した測定技術を持っていない一般の現場担当者（事務職員または自治体職員等）が甲状腺検査を行う場合があり得る。そこで、本年度は、本研究で開発した新モニタによる甲状腺モニタリングの実用化のために、平成30年度に製作した新甲状腺モニタ制御用ソフトウェアに1) 動作モードの追加、2) 測定系の改良、3) MONDAL3⁽²³⁾へのアクセス機能、4) 情報収集支援システムでのデータ共有機能を追加した。各改良内容は下記の通りである。

1) 動作モードの追加

新モニタ制御用ソフトウェアに甲状腺測定に必要な基本機能だけを有効にしたルーチンモードを追加した。表5は各動作モードで有効な機能を示している、ルーチンモードは被検者測定と測定結果管理機能だけが有効である。そのために、ルーチンモードでは、①甲状腺モニタの測定系選択、②被検者のID及びコメント入力、③測定時間設定、④測定開始すれば、甲状腺検査の測定結果のレポート作成から測定データの保存が自動的に行われる。一方、管理者モードは、ルーチンモードに加え、甲状腺モニタの初期設定（各測定系の検出素子登録、エネルギー校正及び効率校正、ゲイン微調整等）を含むメンテナンス機能が有効である。管理者モードで操作するためには事前に管理者登録が必要である。図26は各モードで操作可能なMCA操作画面を示しており、ルーチンモードで制限されている機能は画面上で選択できない。

表5 各動作モードでの実施可能機能

	ルーチンモード	管理者モード
MCA 設定及びコマンド実行、検出素子の指定、ゲイン微調整	×	○
エネルギー/半値幅校正、効率校正	×	○
BG 測定、被検者測定	○	○
核データライブラリ作成・編集	×	○
測定系の指定、スペクトルモニタ、結果出力等の基本機能	○	○
被検者のデータ管理(既存結果の検索、再分析、再出力)	○	○
MONDAL 起動	○	○



図26 ルーチンモード及び管理者モードのMCA操作画面

2) 測定系の追加

本年度、新モニタの開発(4.3.3)では、測定精度をあげるために、乳幼児・子供用及び一般用の2種類のモニタを製作した。そこで、本年度製作した新モニタの測定系に合わせて、既存の2測定系(子供用と一般用)を、乳幼児用(検出素子4個)、子供用(検出素子8個)、一般用(検出素子10個)、その他(検出素子2個)と4つの測定系に改良した。この機能により、図27に示す測定系リストから使用する測定系の選択が容易になった。他に、新甲状腺モニタ以外に4.2.2候補検出器のMCA制御(ORTEC社製及びGBS社製)機能及び管理機能を追加した。

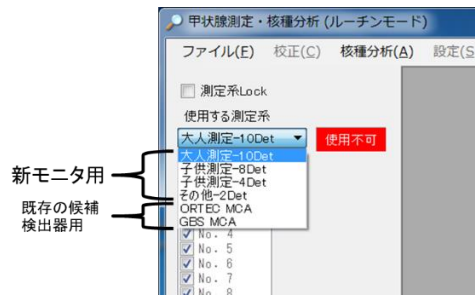


図27 制御可能な甲状腺モニタの測定系

3) MONDAL3 へのアクセス機能追加

甲状腺検査会場で、得られて検査結果から簡易的な甲状腺線量評価ができるように、MONDAL3へのアクセス機能を追加した。図28は新モニタによる測定結果(甲状腺中放射性ヨウ素残留量, Bq)を用いて、MONDAL3で行った内部被ばく線量評価結果を示している。本機能は、ルーチンモード、管理者モードいずれも使用可能である。

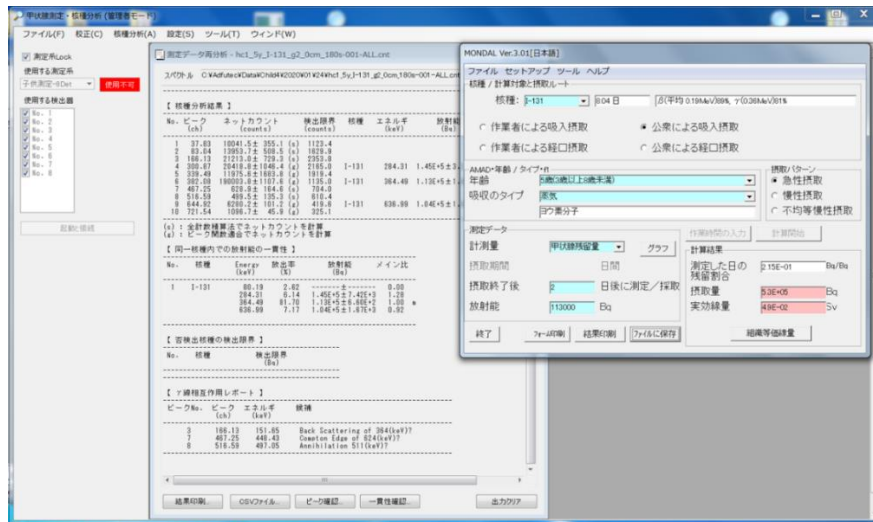


図28 新モニタによる測定結果を用いた MONDAL3 による内部被ばく線量評価例

4) 情報収集支援システムへのデータ共有機能

情報収集支援システムから新モニタ制御ソフトウェアへアクセスして、被検者の測定結果を一覧できるように情報収集支援システムへのデータ共有機能を追加した。図29は情報収集支援

システムから読み出した被検者の甲状腺検査結果（例）を示しており、内部被ばく線量評価に必要な個人の行動情報と甲状腺検査結果（実測データ）を連携できる。

被検者の測定結果を情報支援システムから確認、再解析可能

情報支援システムから測定結果出力

スペクトルデータ確認

No.	ピーク	ネットカウント	検出限界	種類	エネルギー (keV)	放射能 (Bq)
1	31.37	2597.4 ± 105.1 (s)	304.9			
2	87.17	5870.4 ± 177.8 (s)	339.9			
3	102.81	580.1 ± 82.6 (s)	257.4	Ba-139	276.40	3.42E+3 ± 8.88E+2
4	112.18	1299.5 ± 73.5 (s)	221.4	Ba-139	302.05	3.81E+3 ± 8.93E+2
5	104.31	2223.1 ± 79.1 (s)	231.5	Ba-139	256.31	2.95E+3 ± 5.74E+2
6	100.89	840.5 ± 45.8 (s)	219.3	I-131	365.00	2.31E+3 ± 4.58E+2
				Ba-139	302.05	5.77E+3 ± 1.39E+3

図 29 情報収集支援システム上で測定結果一覧例

4.4 情報収集支援システムの改良

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（図 30）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。図 31 には本システムの概要を示しており、昨年度は甲状腺検査会場で収集された避難者の情報を、個人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（図 31 平成 30 年度_構築）。本年度は、情報収集支援システムへの入力作業を簡易化するため、①入力機能の改良及び②複数の検査会場で作成された分散データベースの統合機能を追加した（図 31 平成 31 年_追加）。

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 (ふりがな) 氏名

② 生年月日 年 月 日

③ 性別 男・女

④ 住所 県 道 市 町 丁目 番 号

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（ ） / / : ~ / :		
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。

2. 検査結果（測定担当者記入欄）

① 体表面汚染検査

測定者名： 測定員： 記録員：

管理番号：

BG： cpm 測定場所の空間線量率： μSv/h

(前面)

(背面)

(足裏)

部位	測定結果 cpm

表面汚染：有・無
 除染実施：済み・未実施
 甲状腺検査時の汚染： 有・無

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 服用回数：

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

② 甲状腺簡易検査

・NaIサーベイメータ測定（μSv/h）

測定者名： 測定員： 測定場所の空間線量率： μSv/h

・スペクトロメータ測定

測定者名： 測定員： 測定場所の空間線量率： μSv/h

	A 大腸部 (Bc)	B 甲状腺部	正味 (B-A)
1			
2			
3			

ファイル名

ピーク 有・無 チャンネル ch

その他

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くださる方は自筆（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)

ご協力ありがとうございました。

図 30 避難者検査記録カード（更新版）

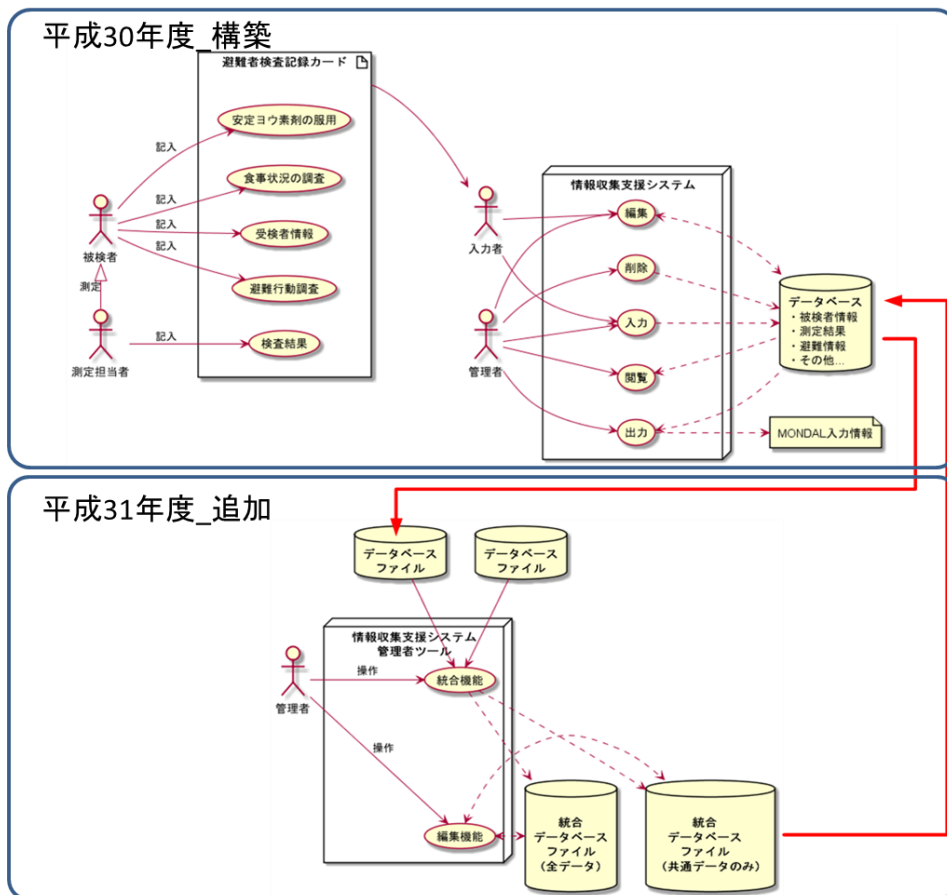


図 31 システムの概要

①入力機能の改善

体表面汚染測定部位のグループ化機能，スペクトル測定ファイルの登録機能，読み仮名入力機能，避難経路表示機能の改善を行った。体表面汚染測定部位のグループ化機能では，図 32 に示すように人体図を複数の部位に分け，クリックした位置に該当する測定部位の分類情報をデータベースへ保存して，測定部位毎にグループ化する機能を追加した。そして，体表面検査結果の入力の際，図 32 の人体図の GUI でクリックすることで測定部位の名称が体表面汚染結果表に自動的に入力される。本改良により，体表面汚染結果表上で，汚染部位とその数値は，人体図を確認せずに直接，確認することができる。図 33 は，人体図 GUI で入力時の体表面汚染測定結果表示例を示す。

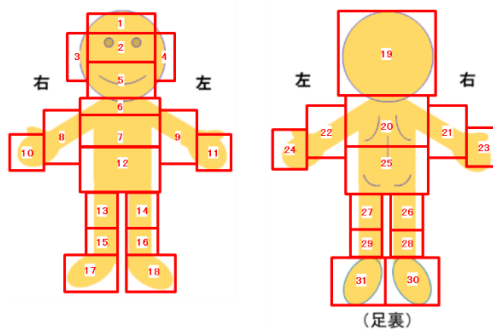


図 32 グループ化した人体図

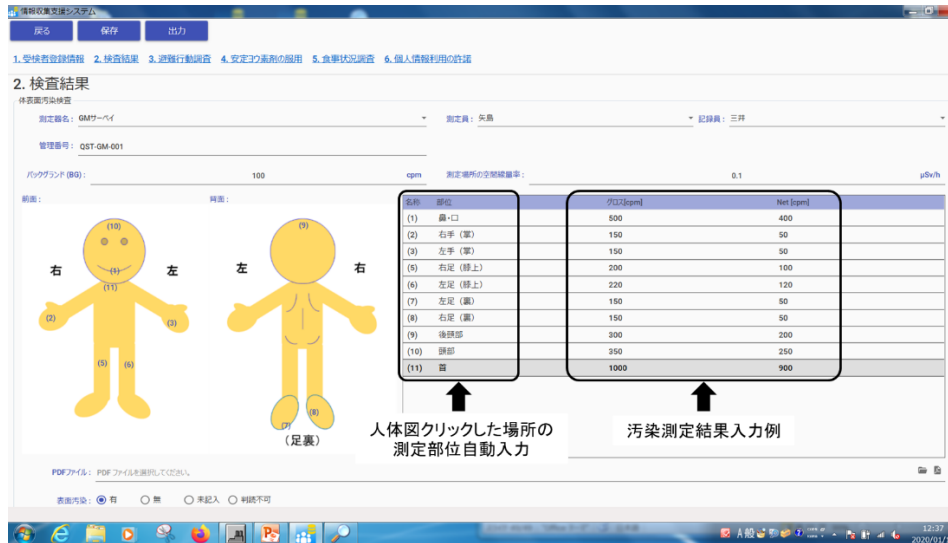


図 33 人体図 GUI 上入力時の体表面汚染測定結果の例

他に、個人の情報入力時には、被検者氏名入力時日本語の読み仮名が自動入力できるように Windows 10 に追加されている UWP(Universal Windows Platform)API を用いて読み仮名入力機能の追加、甲状腺測定結果の登録では、複数の測定結果を選択できるようにリスト型入力へ変更(図 34)を行い、リストの追加ボタン(+)と削除ボタン(-)で測定データの追加・削除ができる機能を追加した。さらに、避難経路表示機能では、避難経路項目に入力された避難経路を地図上に道路に沿った表示(図 35)ができるように改良しており、本システムに格納されている地域防災計画に含まれている全サイトの避難所への移動経路を道路上で推定できるようにした。

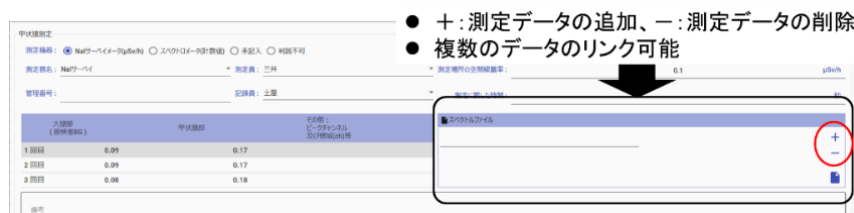


図 34 甲状腺測定結果の登録画面(リスト型入力法, +: 追加ボタン, -: 削除ボタン)

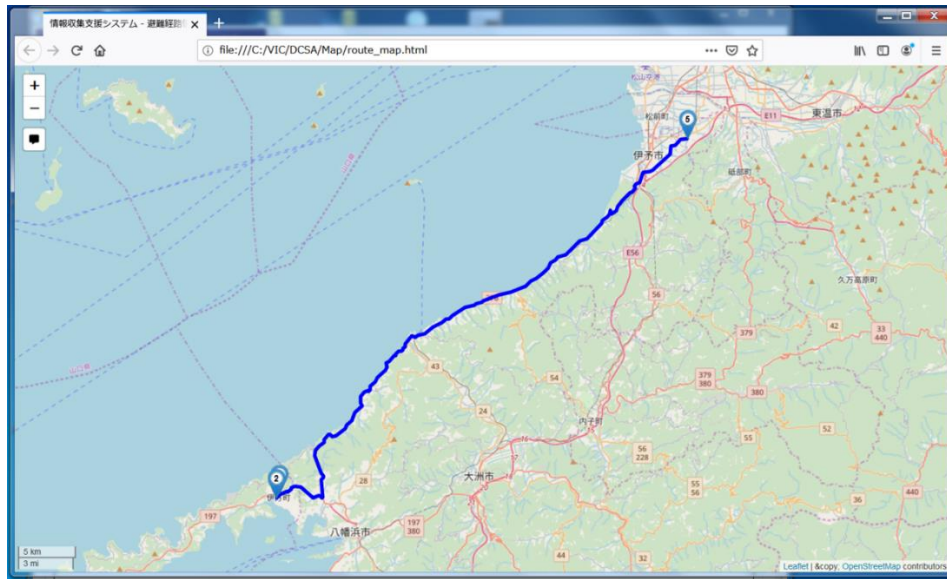


図 35 道路に沿った避難経路表示例

②分散データベースの統合機能

図 36 は、分散データベース統合例を示しており、PC 毎に作成されたデータベースを一つのデータベースへの統合機能（図 36）、避難所や測定員等の入力の際に参照する情報を共通化してシステムを運用するため、各 PC へ分散させる機能（情報収集支援システム管理者ツール：図 37）を追加した。本機能の追加により、統合化された測定データを抽出することにより、収集した情報を統計処理に適用することが可能となる。図 38 にはデータベースへ情報を統合例(a)及び分散例(b)の概念図を示しており、本統合機能の追加により PC1~3 で入力した情報を、PC4 のデータベースへ情報を統合したり、避難所や測定員等の共通化したい情報を統合したデータベースから各 PC に分散させることができる。

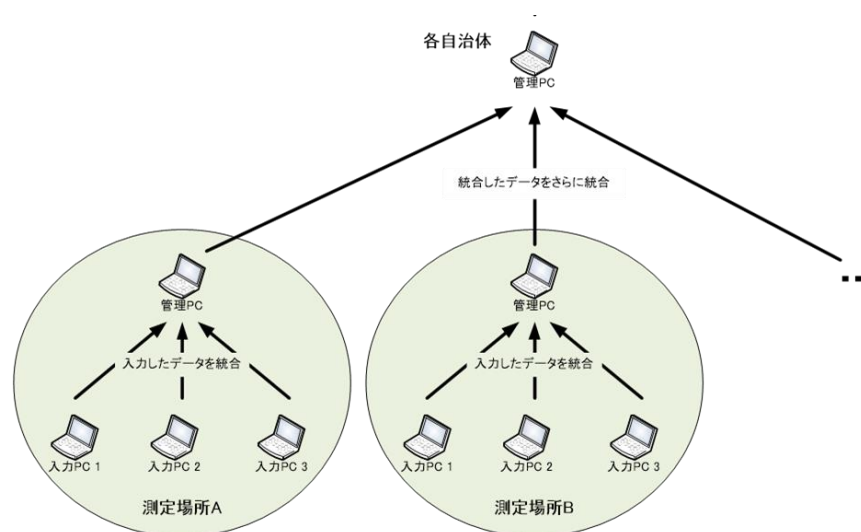


図 36 データ統合のイメージ



図 37 情報収集支援システム管理者ツール

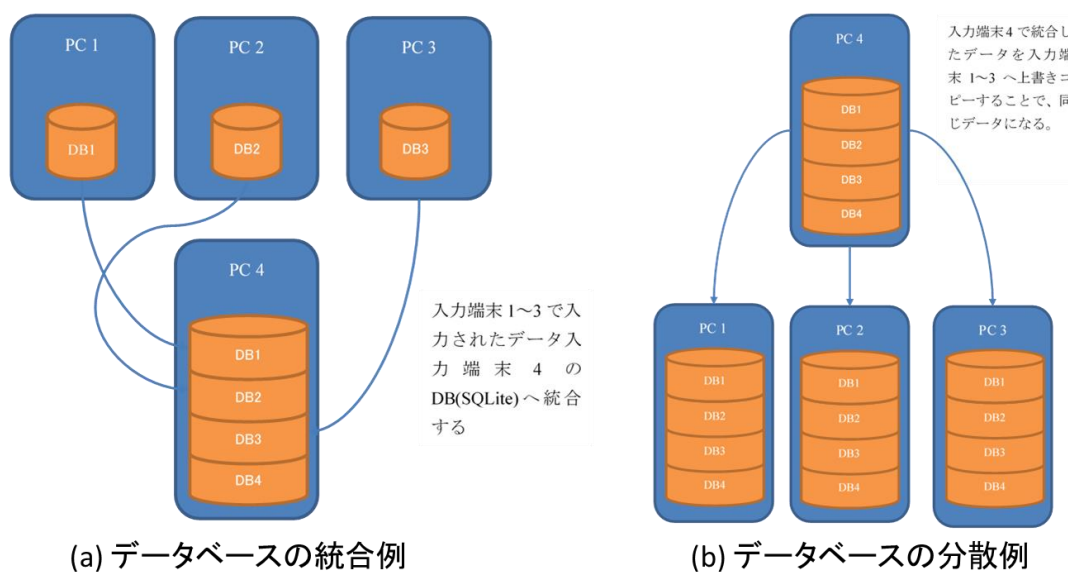


図 38 分散データベース統合及び分散の概念図

4.5 研修会

量研機構にて開催した 2019 年度甲状腺簡易測定研修（2019 年 10 月 21 日開催）において、新モニタのデモンストレーションを行い（図 39）、オブザーバーを含む研修参加者から、新モニタの操作性や今後の改良点などについてアンケートを行った。表 6 に主要な意見（一部要約）とともに、現時点での対応状況及び検討結果について示した。本研究は今年度で終了するが、次年度以降も可能な範囲で新モニタの改良を継続してゆく予定である。

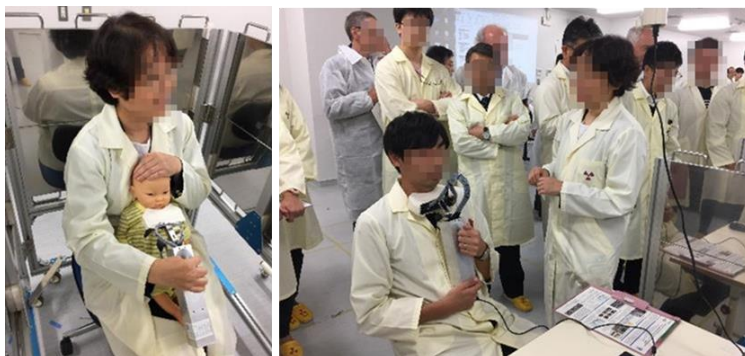


図 39 甲状腺簡易測定研修でのデモンストレーション様子

表 6 新モニタのアンケート結果及び対応状況等

コメント	対応状況等
<ul style="list-style-type: none"> ● 可搬型とするのであれば PC も無くして、電池でも稼働できるようにした方が良い。表示部分をモニタ本体に付属させることや、複数素子を使用しているのであれば画像化することも考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 電池式とすることでプローブ自体の重量が増えるので、プローブ筐体（アルミ材料）の軽量化と併せて考える必要がある。 ● 各検出素子（GAGG）からの波高スペクトルは測定時に取得できるので、必要に応じて検出素子間のピークエリアカウントの違いは確認できる。ただし、自動では行えないため、ソフトウェアの改造が必要である。今後の新モニタの運用状況と併せて対応を検討してゆく。
<ul style="list-style-type: none"> ● 測定時間が一般の方々には長く感じられると思うので、音声ガイダンスなどの工夫もあると良い。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 実際の測定では、測定者が被検者と対面して声掛けすることが出来る。リラックスして測定を受けられるような工夫も考えていきたい。
<ul style="list-style-type: none"> ● 成人用で測定する場合には、測定時に被検者がリラックス出来る形状の椅子があると良い。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 製作したアーム式支持機構（報告書 4.3.6）を用いることで、リクライニングチェアでの測定も行える。
<ul style="list-style-type: none"> ● 取っ手を外してハンディタイプにすると良い。例えば、プローブの外枠部分を持ちやすい形状にするなどの工夫が考えられる。プローブ自体をより小型化することや、バッテリー駆動で無線にすることも考えられる。専用の養生用のカバーも製作すると良いと思う。 	<ul style="list-style-type: none"> ● プローブの取っ手部分については小さく持ちにくかったため、大きなパーツに変更した。バッテリー駆動については上述のとおり。 ● 専用の養生カバーについては、市販品で代用できるものを検討する。

5. まとめ

5.1 今年度の成果

新モニタについては、昨年度に実施した検出素子配置の検討結果を踏まえ、今年度は実用機としての開発を進めた。開発にあたり、模擬被検者（子供）によるプローブ適合試験、医療関係者からの測定体位についての助言、研修会参加者からの操作性に関する意見聴取などを参考にした。新モニタは、乳幼児・子供兼用と一般用の2種類を製作し、幅広い年齢の公衆の甲状腺測定に用いることができる。乳幼児プローブの厚さは25 mmであり、被検者頸部に容易にプローブを近接させることができ、さらに、被検者の測定中の動きに対しても影響を受けにくい構造となっている。このため、既存測定器では困難であった乳幼児の甲状腺測定を、高感度かつ安定して行うことが可能である。また、新モニタを制御するソフトウェアについても改良を行い、測定者用と管理者用の2種類のモード設定を追加するなど、操作性の改善を行った。

情報収集支援システムについては、昨年度までに開発したものに、測定データファイルの読み出し機能や避難経路の探索機能などを追加した。その他、年齢別頸部ファントムを用いて、既存測定器の甲状腺中¹³¹Iに対する校正データを整備した。

5.2 3カ年の成果（2017 - 2019年度）

万一の原子力事故に際し、乳幼児を含む様々な年齢の公衆を対象とした甲状腺測定を高感度かつ高精度に行うことのできるモニタを開発し、実用化の段階に至った。既存の測定器では乳幼児の甲状腺測定は困難であり、開発したモニタはそのギャップを埋めるものと期待される。その他、本研究で提案した原子力災害時の公衆の内部被ばくモニタリング手法に関連して、福島第一原発事故の際にも実施された甲状腺簡易測定の標準化、既存測定器の性能評価、及び、内部被ばく線量評価に必要となる種々の情報を効率的に収集するシステムの開発などを実施した。以上から、本研究の当初の目的はほぼ達成できたと考える。

なお、3カ年の研究成果概要（詳細版）は付録Aにまとめた。

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 et al. The Fukushima Health Management Survey: Estimation of external doses to residents in Fukushima Prefecture. Sci Rep. 5: 12712; 2015.
- 4) Tokonami S et al. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident. Sci Rep. 2: 507; 2012.
- 5) Matsuda N 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.
- 6) Kim E et al. 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 et al. Development and test of sets of 3D printed age-specific thyroid phantoms for 131I measurements. Phy Med Biol. 62: 4673-4693; 2017.
- 9) Ulanovsky A V and Eckerman K F. Modification to the ORNL phantom series in simulation of the response of thyroid detectors. Radiat Prot Dosim. 79(1-4) : 429-431; 1998.
- 10) Broggio D et al. Child and adult thyroid monitoring after a reactor accident (CATHyMARA): Technical recommendations and remaining gaps. Radiat Meas. 128: 106096; 2019.
- 11) Isaksson M et al. Assessing ^{131}I in the thyroid by non-spectrometric instrument – A European intercomparison exercise. Radiat Meas. 128: 106115; 2019.
- 12) Currie L A. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Anal Chem. 40(3): 586-593; 1968.
- 13) Kramer G.H and Crowley P. The assessment of the effect of thyroid size and shape on the activity estimate using monte carlo simulation. Health Phys. 78(6): 727-738; 2000.
- 14) 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.
- 15) 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. 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ. 9(1): ISSN: 1881-7297; 2016.
- 16) Kurihara O et al. Experiences of population monitoring using whole body counters in response to the Fukushima nuclear accident. Health Phys. 115(2): 259-274; 2018.
- 17) Canberra HP. <https://www.mirion.com/products/2250-fastscan-high-throughput-whole-body-counter> (accessed on 2020/2/20).

- 18) Werner C J (editor). MCNP User's Manual: LA-UR-17-29981; 2017.
- 19) Cristy M. Mathematical phantom representing children of various age for use in estimates of internal dose: ORNL/NUREG/TM-367; 1980.
- 20) Momose T et al. S. Whole-body counter of Fukushima residents after the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident. NIRS-M-252: 67-82; 2012.
- 21) Kurihara O 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(1-4): 420-424; 2016.
- 22) International Commission on Radiological Protection (ICRP). Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides – part 4 inhalation dose coefficients. ICRP Publ. 71 Ann. ICRP 25(3-4); 1995.
- 23) Ishigure N et al. Development of software for internal dose calculation from bioassay measurements. Radiat Prot Dosim. 109(3): 235-242; 2004.
- 24) Yajima K et al. A new thyroid monitor using multiple high resolution $Gd_3(Al,Ga)_5O_{12}(Ce)$ detectors for direct thyroid measurements of small children following a nuclear accident. Radiat Meas: DOI:10.1016/j.radmeas.2020.106272; 2020.

7. 成果発表

学会発表

- Yajima K et al. A reliable and robust method for monitoring large populations to assess thyroid internal exposure in a nuclear accident. 12th International conference on the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR). 8-11 October 2018, Fontenay-aux-Roses, Paris, France. BIO Web of Conference 14, 03010 (2019).
- Yajima K et al. the same presentation as the above. 4th ARADOS annual meeting. 17-19 October 2018, Seoul, Korea.
- Tani K et al. Monte Carlo simulation with computational phantom to investigate the effectiveness of a whole-body counter for thyroid measurement. 19th International conference on Solid State Dosimetry (SSD). 15-20 October 2019, Hiroshima, Japan.
- Yajima K et al. A new concept thyroid monitor using multiple GAGG detectors for population monitoring in a nuclear accident. 19th International conference on Solid State Dosimetry (SSD). 15-20 October 2019, Hiroshima, Japan.
- Yajima K et al. the same presentation as the above. 5th ARADOS annual meeting. 6-8 November 2019, Beijing, China.

論文

- Yajima K et al. A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident. Radiat Prot Dosim. 183: 483-488; 2018.
- Yajima K et al. A new thyroid monitor using multiple high resolution GAGG detectors for direct thyroid measurements of small children following a nuclear accident. Radiat Meas. DOI:10.1016/j.radmeas.2020.106272; 2020.

付録

A 研究成果概要（2017-2019 年度）

原子力規制庁放射線安全規制研究戦略的推進事業費
原子力災害時における近隣住民の確実な初期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
－研究成果概要（2017-2019 年度）－

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に起因して発生した東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、福島第一原発事故）により、東日本の広い範囲において放射能汚染を生じることとなった。これまで、福島第一原発事故により周辺住民が受けた被ばく線量の推計が国内の専門家により続けられているが^(1,2)、放射性ヨウ素、特にヨウ素-131 (^{131}I) の内部取り込みによる甲状腺被ばく線量については、その推計に必要となる実測データが限定的であることから、推計結果に大きな不確かさを有している⁽³⁾。この反省に立ち、本研究では、福島第一原発事故後に見直しがなされた我が国の原子力災害対応に係る指針類⁽⁴⁾との整合性を考慮しつつ、現時点で最も確実と考えられる公衆の内部被ばくモニタリングの方法を提案するとともに、それに必要な技術的課題について検討を行ったものである。この検討の中には、本研究の中心となる、様々な年齢の被検者の内部被ばくモニタリングに提要可能な新しい甲状腺モニタ（以下、新モニタ）の開発も含まれており、以下に3年間（2017-2019年度）の研究成果の概要を述べる。

2. 本研究で提案する個人内部被ばくモニタリング

図1に本研究で提案する内部被ばくモニタリングを示す。この方法は、複数種類の測定を組み合わせることにより、公衆に対する内部被ばくモニタリングの実行性の向上を図りつつ、可能な限り多くの被検者に対して甲状腺線量を実測するための方法として考案した⁽⁵⁾。以下に補足する。

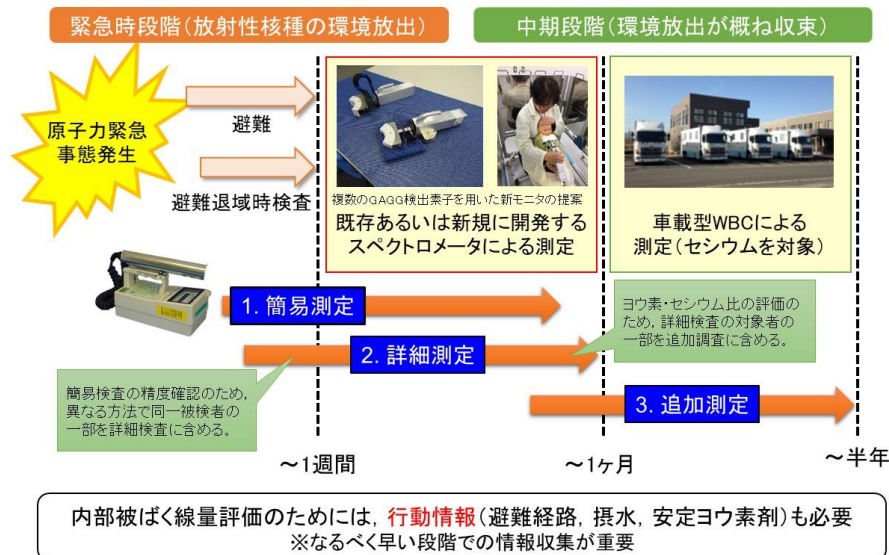


図1 提案する原子力災害時の内部被ばくモニタリング

※図中に示す時刻スケールはおおよその目安

福島第一原発事故以降に改訂された指針類では、区域の放射線量に応じた住民の段階的避難及び避難退域時検査について記述されている。また、防災基本計画（原子力災害対策編）⁽⁶⁾

には、原子力緊急事態宣言の発出後、約1週間以内を目途に放射性ヨウ素の吸入による内部被ばくの把握を行うとともに、速やかに外部被ばく線量の推計等を行うための行動調査を行うことが記述されている。これらを踏まえると、内部被ばくモニタリングは、円滑な住民避難を妨げることなく、可能な限り速やかに開始することが要件となる。しかしながら、大規模な原子力事故時においては、自然災害の対応等により十分な資機材や人員が確保できない場合も想定され、また、事故直後に優先されるべきは正確な線量測定よりも、被ばく医療の対象となる高線量被ばく者を迅速に識別するためのトリアージである。この目的に適した測定は、福島第一原発事故の際にも行われた NaI(Tl)サーベイメータを用いる甲状腺簡易測定（図1中に示す1.簡易測定）である⁽⁷⁾。この測定手法は、核種同定が行えない、また、バックグラウンドの影響を受けやすいといった欠点はあるものの、放射線計測の経験が少ない者でも簡便に行うことができる長所がある。研究代表者らが所属する量子科学技術研究開発機構（以下、量研）では、主に原発立地県における初動対応者を対象とした甲状腺簡易測定の研修会を定期的に開催しており、測定者の拡充に努めている。第二の測定法は、既存あるいは新規に開発するスペクトロメータを用いる測定である（図1中に示す2.詳細測定）。甲状腺簡易測定と同様にプローブを被検者の頸部前面に近接させることで、甲状腺中の¹³¹Iから放出されるγ線（主に放出率81.7%の365 keVのγ線）を測定する。NaI(Tl)サーベイメータと異なりスペクトロメータではエネルギースペクトル解析によって核種同定が行えるため、他核種と弁別して正確な線量測定が可能である。ただし、測定時間は甲状腺簡易測定に比べて長くなることや、放射線計測に関する一定の知識や経験を必要とするため、モニタリングのキャパシティーは甲状腺簡易測定に比べて劣ることが欠点である。したがって、甲状腺簡易測定とスペクトロメータを用いた詳細測定を目的に応じて併用することが有効であり、例えば、甲状腺簡易測定においてOIL8⁽⁸⁾などの一定の基準を超えた被検者に限定して、詳細測定を行うことなども考えられる。第三の測定法は、車載型ホールボディカウンタ（WBC）等を用いた全身中セシウム（¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs）の測定である。公衆のセシウムによる内部被ばく線量の測定は防災基本計画（原子力災害対策編）にも記載があるが、提案した内部被ばくモニタリングでは、甲状腺中¹³¹Iが物理学的半減期等により検出が困難となった以降の追加測定（図1）に位置付けている。福島第一原発事故の際に実施された内部被ばくモニタリングの経験では、甲状腺中¹³¹Iが検出できるのは事故発生から概ね1カ月程度であった⁽⁹⁾。したがって、福島第一原発事故と同規模程度の事故が想定される場合には、事故発生から1カ月以内に甲状腺中¹³¹I及び全身中Csの測定を一定数の被検者に対して実施し、両核種の摂取量比を評価することが追加測定の結果をより有効に活用する上でも重要である⁽¹⁰⁾。（甲状腺）簡易測定と詳細測定、及び、追加測定と詳細測定を同一被検者に対して行い、双方の測定結果を比較することにより、簡易測定の測定精度の担保と追加測定からの甲状腺被ばく線量評価が可能となる。なお、事故初期の主として放射性ヨウ素による内部被ばく線量の推計に利用できる追加測定は、セシウムの実効半減期や偶発的な追加摂取の可能性のために、成人では事故発生から概ね半年以内（小児では数カ月以内）に行われたものに限られる⁽¹¹⁾。この他、提案する内部被ばくモニタリングでは、測定と併せて被検者の避難行動に係る情報（具体的には、避難経路、同行者、安定ヨウ素剤の服用状況、摂食（水）状況など）を取得することも必須事項としている。

3. 研究成果

3.1 甲状腺簡易測定

場の空間線量率の測定に広く用いられる NaI(Tl)サーベイメータを使用した甲状腺簡易測定は福島第一原発事故以前にも考案されていたが⁽¹²⁾、小児から成人までの幅広い年齢の被検者を対象とした測定について十分な検討がなされていなかった。そのため、福島第一原発事故直後に実施された小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の際、15歳以下の被検者の年齢群に応じた NaI(Tl)サーベイメータの換算係数（機器の正味値【 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ 】から甲状腺中 ^{131}I 量【Bq】への換算係数）が事前に評価されていなかった。そこで、本研究では、フランス放射線防護原子力安全研究所（IRSN）で近年製作された年齢別頸部ファントム⁽¹³⁾を用いて、NaI(Tl)サーベイメータや後述する新モニタなどの種々の測定器に対する換算係数を整備した（詳細は 4.2.1, 4.2.2 及び付録 B）。年齢別頸部ファントムは、5歳児、10歳児、15歳児（成人女性）及び成人男性の4種類で構成されるが、NaI(Tl)サーベイメータの換算係数は上側に丸めた数値として、それぞれ 20（5歳児）、25（10歳児）、30（15歳児）及び 35（成人男性）（単位は ^{131}I kBq per $\mu\text{Sv h}^{-1}$ ）と決定し、甲状腺等価線量 100 mSv に相当する正味値を導出した（別添参照）。

その他、量研で開催した甲状腺簡易測定に係る研修会において、未経験者を含む参加者に対して測定実習を行った。測定実習では異なる線源強度の密封線源を内部に収めたマネキン頭部を複数用意し（図 2）、参加者が読み取った NaI(Tl)サーベイメータの正味値のばらつきを調べた。その結果、甲状腺簡易測定の精度としては、正味値が $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 以下ではファクター2程度、 $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 以上では 20%程度が見込まれることを確認した（図 3）⁽¹⁴⁾。IAEA 安全文書にある OIL8 は $0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であり、同じ数値を甲状腺簡易測定に用いる場合には必要十分な精度と言える。ただし、使用する機器の年次校正を適切に行うことが必須である他、実際の事故対応の場合においては、使用した機器を事後に回収し、検出感度の再確認を行う必要性が認識された。なお、上記の実習を含む甲状腺簡易測定研修会は 2017, 2018 及び 2019 年度に 1 回ずつ開催しており、受講生の合計は約 60 名であった。また、本研究の成果（測定精度）は、小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の再評価において参考とした⁽⁷⁾。



図 2 甲状腺簡易測定実習の様子

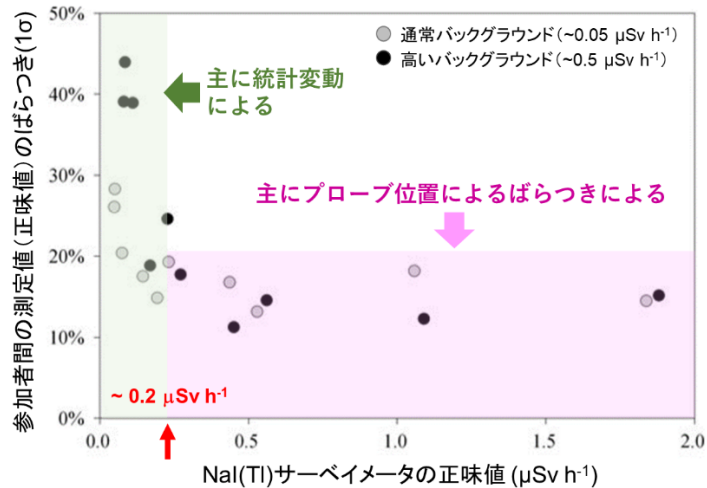


図3 甲状腺簡易測定実習で得られた参加者間の測定値（正味値）のばらつき

3.2 新モニタの開発

新モニタの開発要件としては、公募要項にも記載のあったように、①高バックグラウンド環境下での測定が可能であることと、②乳幼児から成人までの幅広い年齢群の被検者に対する甲状腺測定が可能であることの二つであった。そこで本研究では、複数の小型 GAGG 検出素子を被検者頸部周囲に配置する測定ジオメトリを着想し、乳幼児の甲状腺測定においても高い検出感度が得られる新モニタの開発に着手した⁽¹⁵⁾。

新モニタに使用した GAGG 検出素子は、市販品（5640-HRGAGGG1C1C1C 型、クリアパルス、日本）をベースとして一部改良を行ったものである。GAGG 検出素子に内蔵されるシンチレータは 1 cm 角の大きさであり、シンチレータはシリコン光電子増倍管（SiPM）と光学接合された構造であるために、光電子増倍管を用いる従来型のシンチレータ検出器と比べ小型かつ軽量である（図 4）。このため、複数の GAGG 検出素子を用いても、乳幼児の頸部に近接できるプローブの製作が可能である。前述の年齢別頸部ファントムを用いた予備試験により、検出素子の最適配置を決定し、プローブを製作した。

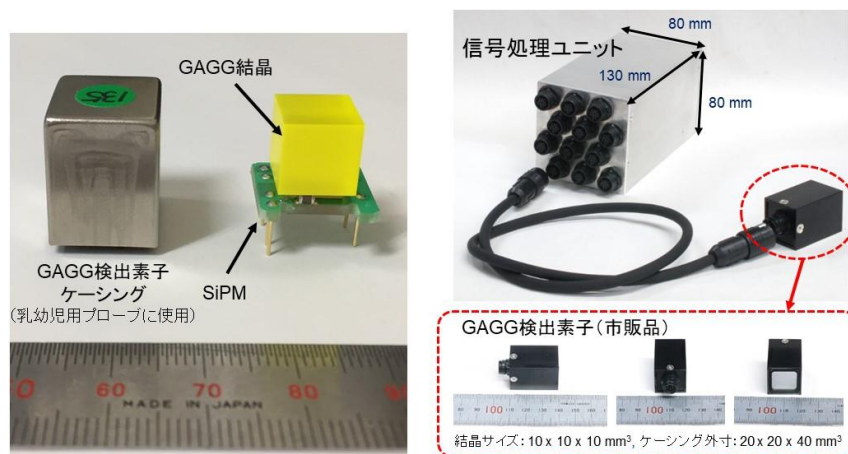


図4 新モニタに使用した GAGG 検出素子

GAGG 検出素子の優れた点としては、内蔵する温度センサーにより、シンチレータ特有のゲインの温度変化を補償する回路を揃えていることである。そのため、事前にエネルギー校正を一度行えば、温度の異なる環境でもピークチャンネルの変化はほとんどない。また、複数の GAGG 検出素子から得られる波高スペクトルを合算しても、検出素子間の個体差が少ないことから、分解能の劣化は単体素子の分解能（662keV において約 7.5%）と比較して大きく変わらないことを実験で確認した。

新モニタ実用機の開発にあたっては、特に被検者が乳幼児である場合の甲状腺測定の方法について外部有識者（医療者）から意見聴取を行った。また、プローブについては、マネキンや子供のボランティアによる実験的検討を踏まえて、被検者の体格に応じて、乳幼児用、子供用（小学生高学年まで）及び一般用（中高生以降、成人まで）の 3 種類を製作した。図 5 に新モニタ実用機の外観を示す。なお、同機を制御し、波高スペクトルの解析から検出核種の甲状腺残留量の定量までを行える専用のソフトウェアの開発も完成している（詳細は 4.3.7）。

高バックグラウンド環境下での測定については、プローブ本体に遮へいを施すことが難しいことから、脱着式の鉛プレートを備えた可搬型遮へい体を別途製作した。 ^{137}Cs 線源を用いた試験を行い、可搬型遮へい体により周辺線量当量率を約 1/4 に低減できることを確認した。新モニタ実用機の乳幼児の甲状腺中 ^{131}I に対する検出限界値は、通常のバックグラウンドレベル（ $\sim 0.05 \mu\text{Sv h}^{-1}$ ）で約 30 Bq、周辺線量当量率 $2.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 程度の環境において約 300 Bq であった（いずれも測定時間は 3 分間）。約 300 Bq は、1 歳児の甲状腺等価線量が 100 mSv に相当する ^{131}I 吸入摂取量に対する 1 週間後の甲状腺残留量に相当する（詳細は 4.3.4）。

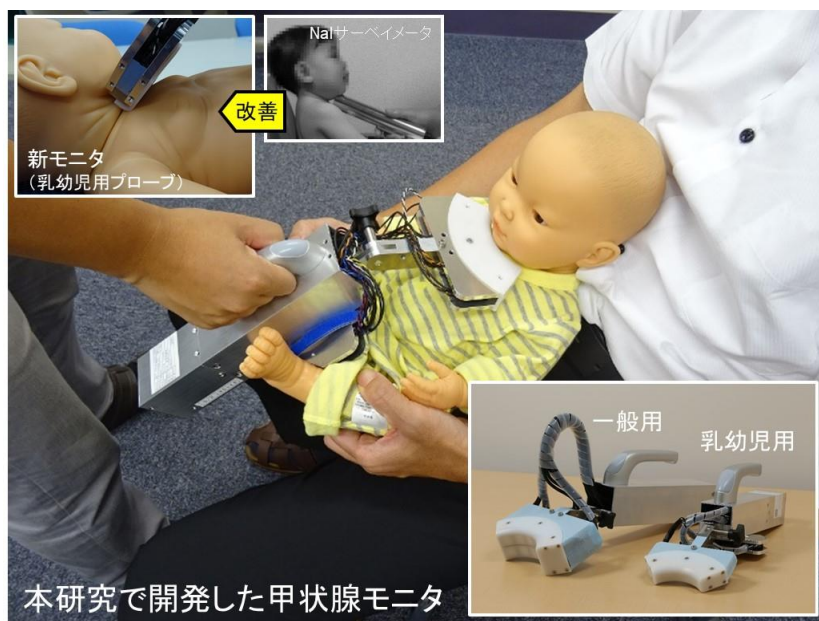


図 5 新モニタ実用機の外観

3.3 その他の既存測定器の性能評価

甲状腺中 ^{131}I を測定するためのその他の機器として、表 1 に示す市販の γ 線スペクトロメータを数種類選定し、年齢別頸部ファントムに対する検出感度等を評価した（詳細は 4.2.2）。プ

ローブがファントムに密着した条件での検出下限値は、いずれの機器も3分間測定で50 Bq未満であり、結晶サイズが大きいほど、また、ファントムが小さくなるほど検出下限値は低い結果となった。検出下限値に関しては市販のγ線スペクトロメータと新モニタとで大きな差はないが、結晶サイズが1.5インチ以上のものはプローブ径が大きくなるため、プローブを頸部に近接させた状態での乳幼児の測定は困難になる。新モニタの乳幼児用プローブの厚さは25 mmであり、1インチ NaI(Tl)スペクトロメータのプローブ径よりも薄い。一方、乳幼児用プローブに内蔵されるGAGG検出素子は4式で結晶体積の合計は4 cm³しかないが、より大きい結晶を有する1インチ NaI(Tl)スペクトロメータ(結晶サイズ:12.9 cm³)と比べて検出下限値は同等である。なお、本研究で取得した各機器の検出効率等のデータは、甲状腺中¹³¹Iの定量に必要な基礎データとして用いることができる。

表1 試験を行った市販のγ線スペクトロメータ

測定器	結晶サイズ(円柱):高さ×径 ※プローブ径	製造メーカ(型式)
1インチ NaI(Tl)	25.4 mm×25.4 mm ※30 mm	SCIONIX (25B25/1.5)
1.5インチ NaI(Tl)	38 mm×38 mm ※45 mm	SCIONIX (38B38/1.5)
2インチ NaI(Tl)	51 mm×51 mm ※58 mm	SCIONIX (51B51/2)
1.5インチ CeBr ₃	38 mm×38 mm ※42 mm	SCIONIX (38B38/2M-CEBR-X)

追加測定に用いる車載型WBCに搭載されている立位式WBC(FASTSCAN, ミリオンテクノロジーキャンベラ)についても、甲状腺中¹³¹Iに対する応答を放射線輸送シミュレーションによって評価した。

FASTSCANは元々、放射線業務従事者の内部被ばくモニタリングを目的に設計された装置であるが、福島第一原発事故後の住民の内部被ばく線量測定のために導入され、現在でも福島県を中心に利用されている⁽¹⁴⁾。FASTSCANは2式の直方体形状のNaI(Tl)検出器を備えており、それらは被検者前方にある支柱内の上下に収められている。図6にシミュレーションの結果を示す。シミュレーションの計算体系にはFASTSCANの支柱部分と年齢別数学ファントム(5歳, 10歳, 15歳及び成人)⁽¹⁵⁾を組み込んでいる。甲状腺と両検出器の位置関係から、成人及び15歳児では上検出器が下検出器に比べて感度が高く、365 keVに対するピーク効率の差は約10倍である。一方、10歳と5歳では下検出器の感度が増加し、5歳では逆に下検出器の方が上検出器よりも感度が高くなる。したがって、15歳以上であれば、上下の検出器のピークエリア計数の違いから、甲状腺中に集積したヨウ素か、それ以外かの判別が容易であるが、10歳以下の子供については甲状腺位置(床からの高さ)を確認しながら、体表面汚染の可能性を判断する必要がある。福島第一原発事故の経験では、緊急作業員や住民のWBC測定において体表面汚染を計測する事例が報告されており^(16, 17)、事前の身体サーベイでも体表面汚染を見落とす可能性が指摘されている。

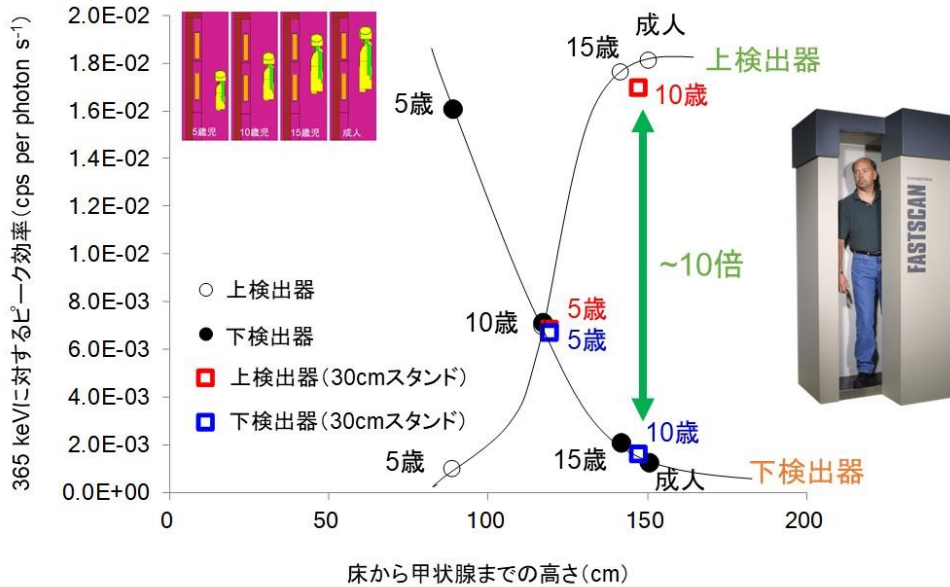


図 6 FASTSCAN の甲状腺 ^{131}I に対する応答

3.4 情報収集支援システムの開発

原子力災害時の住民に対する内部被ばくモニタリングにおいて、測定と同様に重要なのは被検者の避難行動情報の収集である。避難行動情報には、避難経路及び避難開始時刻、安定ヨウ素剤の服用状況、甲状腺測定を受けるまでの摂食（摂水）状況、同行者等の情報が含まれる。これらの情報は、緊急時環境モニタリングで得られる大気中放射性物質濃度の時空間分布や放射性物質の地表面分布などのデータと突合することにより、内部被ばく線量評価に必須となる放射性核種の摂取シナリオの設定に用いられる。

現行の原子力防災指針類では、場の空間線量率に基づき住民の段階的避難が規制当局または地方自治体により指示されるとしている⁽⁴⁾。OIL1 または OIL2 を超過した地域の住民は居住地からの UPZ 圏外への避難を行い、その途中で避難退域時検査を受けることになる。同検査は、被検者が検査会場まで乗車してきた車両の指定箇所を先ずサーベイし、OIL4 に相当する汚染が検出された場合に被検者の身体サーベイを行う手順となっている⁽¹⁸⁾。これは、避難退域時検査が、迅速な住民避難の妨げにならないための考えに基づくものである。したがって、避難住民の甲状腺測定は、その運用や手順が関係機関において未だ検討中の段階にあるものの、おそらく避難退域時検査の後に内部被ばくモニタリングに適した施設（例えば、地域の被ばく医療拠点病院や比較的多数を収容可能な施設など）において実施されるものと考えられる。また、甲状腺測定を行う会場では、受付、体表面検査（身体サーベイ）、甲状腺測定、結果説明、除染などの対応者を配置する必要がある。

図 7 に本研究において整備した情報収集支援システムの概要を示す。（詳細は 4.4 及び付録 E）同システムは、甲状腺測定会場において使用することを想定しており、受付にて被検者から回収した避難行動に関するアンケート、身体サーベイ結果及び甲状腺測定結果などのデータを登録する。アンケートは、体表面検査及び甲状腺測定の記録用紙を兼ねており、被検者の負担を考慮し、なるべく簡便に回答できるように工夫している（図 8）。情報収集支援システ

ムは、原発立地県が公開している地域防災計画に定められた避難所の所在地などのデータを格納しており、避難経路の可視化を行うことができる他、測定データファイル（波高スペクトル、分析レポートなど）の読出し機能を持たせている。

手順1: 所定の様式に検査結果や避難行動などに係る事項を記入

手順2: 情報収集システムにデータ格納

各サイトの避難計画にある避難所情報を元に避難経路を別画面で可視化

各サイトの広域避難計画の調査を基に、指定避難所のデータベースを構築（システムに格納）

原子力事故直後に避難住民に対して行われる体表面検査(身体サーベイ)や甲状腺簡易測定等のデータとともに、避難行動情報を散逸することなく収集・格納するシステムを構築

図7 情報収集支援システムの概要
(赤点線で囲んだ箇所が情報収集支援システムに該当する部分)

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

作成日	20 年 月 日	原子力災害時 避難者検査記録カード	個人識別ID
検査種別			
1. 被検者情報			
3. 避難行動情報			
2. 体表面検査			
4. 安定ヨウ素剤			
5. 食事状況			
6. 個人情報利用の許諾			

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

図8 避難行動に関するアンケート用紙

4. まとめと今後の検討課題

本研究では、万一の原子力災害に際し、近隣住民の内部被ばくモニタリングを確実に行うための手順を提案するとともに、福島第一原発事故対応において顕在化した技術的課題、特に乳幼児を含む様々な年齢の被検者の甲状腺測定に対応可能な測定器の開発を実施し、さらにはNaI(Tl)サーベイメータを用いる甲状腺簡易測定 of 標準化、既存測定器の性能評価、情報収集支援システムの整備などを行った。本研究で開発した甲状腺モニタは、被検者の体格に応じた複数のプローブを備えており、既存測定器では困難であった乳幼児の甲状腺測定において十分な検出感度を有し、また、幼児への適用試験によって問題なく測定が行えることを確認した。高バックグラウンド環境下での測定に対しては、可搬型遮へい体を製作することで対処を図った。以上のことから、本研究の当初の目的は、ほぼ達成されたと考える。

今後の課題として、開発した甲状腺モニタについては、模擬被検者（乳幼児）への適用試験を重ね、被検者がより安心して測定を受けられるための検討を行うとともに、操作性の向上やプローブの小型・軽量化などの改良を行うことが考えられる。また、多数の一般公衆を対象とする甲状腺測定については、会場の選定条件や設営、各対応項目（受付、体表面検査、甲状腺測定、結果説明）に要する人員数や時間、対応者のスキルを習得するための研修など、様々な検討課題があると思われる。会場設営や被検者への結果説明などを含む実際の甲状腺測定を模擬したシミュレーションを行うことも、新たな課題抽出には有効であろう。

参考文献

- 1) Ishikawa T. Radiation doses and associated risk from the Fukushima nuclear accident: a review of recent publications. *Asia Pacific J. Public Health*. 29(2S): 18S–28S; 2017.
- 2) Kurihara O. External and internal dose assessments of Fukushima residents after the 2011 nuclear disaster. *J. Natl. Inst. Public Health*. 67: 11–20; 2018.
- 3) Kim E et al. Internal thyroid doses to Fukushima residents—estimation and issue remaining. *J. Radiat. Res*. 57(S1): i118–i126; 2016.
- 4) 原子力規制委員会. 原子力災害対策指針 令和元年 7 月改正 (2019).
- 5) Yajima K 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. *BIO Web Conference* 14: 03010; 2019.
- 6) 中央防災会議. 防災基本計画. 平成 26 年 1 月 17 日 (2014).
- 7) Kim E et al. Reassessment of internal thyroid doses to 1,080 children examined in a screening survey after the 2011 Fukushima nuclear disaster. *Health Phys*. 118: 36–52; 2020.
- 8) IAEA, Actions to protect the public in an emergency due to severe conditions at a light water reactor. *EPR-NPP PUBLIC PROTECTIVE ACTIONS*; 2013.
- 9) Matsuda N et al. Internal radioactivity of temporal residents in Fukushima within one year after the radiological accident. *J. Environ. Occup. Sci*. 2: 123–130; 2013.
- 10) Hosoda M et al. Estimation of internal exposure of the thyroid to ^{131}I on basis of ^{134}Cs accumulated in the body among evacuees of the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. *Environ. Inter*. 61: 73–76; 2013.
- 11) Kurihara O et al. Experiences of population monitoring using whole-body counters in response to the Fukushima nuclear accident. *Health Phys*. 115: 259–274; 2018.
- 12) 日本原子力研究所. 保健物理—管理と研究—No. 35. *JAERI-M*: 93-172; 1992.
- 13) Beaumont T et al. Development and test of sets of 3D printed age-specific thyroid phantoms for ^{131}I measurements. *Phy. Med. Biol*. 62: 4673–4693; 2017.
- 14) 日本保健物理学会. 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ Vol.9 (1). 体外計測に関する標準測定法の策定に関する専門研究会. 2016 年 3 月 (2016).
- 15) Ulanovsky A V and Eckerman K F. Modification to the ORNL phantom series in simulation of the response of thyroid detectors. *Radiat Prot Dosim*. 79: 429–431; 1998.
- 16) Kurihara O et al. Direct measurements of employees involved in the Fukushima Daiichi nuclear power station accident for internal dose estimates: JAEA's experiences. In: *Proceedings of the first NIRS symposium on the reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident*. Chiba, Japan: National Institute of Radiological Sciences. *NIRS-M-252*:13–25; 2012.
- 17) Momose T et al. Whole-body counting of Fukushima residents after the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident. *ibid* 67–82; 2012.
- 18) 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).

本研究の成果発表

○論文

- 1) Yajima K et al. A new thyroid monitor using multiple high resolution $Gd_3(Al,Ga)_5O_{12}(Ce)$ detectors for direct thyroid measurements of small children following a nuclear accident. Radiation Measurements. Radiat Meas, DOI:10.1016/j.radmeas. 106272; 2020.
- 2) Yajima K et al. A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident. Radiat Prot Dosim. 183: 483-488; 2018.

○学会発表

- 1) Yajima K et al. A new concept thyroid monitor using multiple GAGG detectors for population monitoring in a nuclear accident. 19th International conference on Solid State Dosimetry (SSD). 15-20 October 2019, Hiroshima, Japan.
- 2) Tani K et al. Monte Carlo simulation with computational phantom to investigate the effectiveness of a whole-body counter for thyroid measurement. 19th International conference on Solid State Dosimetry (SSD). 15-20 October 2019, Hiroshima, Japan.
- 3) Yajima K et al. A reliable and robust method for monitoring large populations to assess thyroid internal exposure in a nuclear accident. 12th International conference on the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR). 8-11October 2018, Fontenay-aux-Roses, Paris, France.
(BIO Web of Conference 14, 03010 (2019).)

NaI(Tl)サーベイメータを用いた
甲状腺簡易測定マニュアル

第2版（2020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-----	56
2. 甲状腺簡易測定の概要-----	57
3. 甲状腺中ヨウ素の測定に用いる機器-----	58
4. NaI(Tl)サーベイメータの操作方法-----	59
5. 甲状腺簡易測定の手順-----	62
6. 適用条件-----	67
7. おわりに-----	69
8. 引用文献等-----	70
別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(1)-----	71
別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(2)-----	72
別添 甲状腺等価線量の計算等に必要データ(I-131)(3)-----	73

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、成人よりも子どもに出やすい。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、甲状腺簡易測定）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、甲状腺簡易測定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、甲状腺簡易測定についても具体的な運用方針が今後策定されることが望まれる。

2. 甲状腺簡易測定の概要

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³。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 γ 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測定では、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。

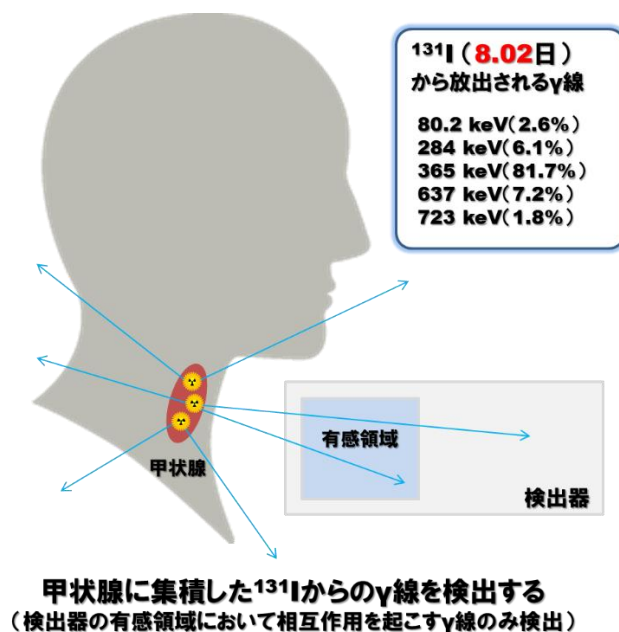


図1 甲状腺中ヨウ素の測定原理

³ ^{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必要がある。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の測定例⁽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-172B⁴（図3）である。機器の仕様はカタログに示されているが、甲状腺簡易測定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、甲状腺簡易測定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）

⁴ 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）を使用することが想定される。

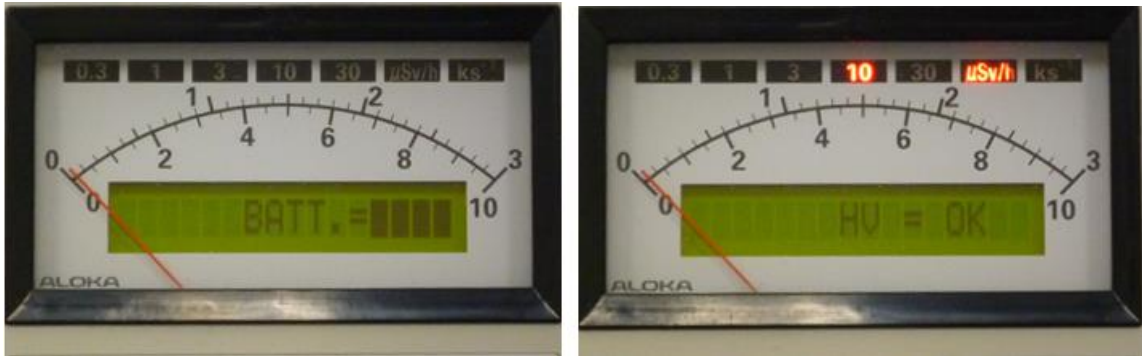


図4 TCS-172 起動時の自己点検

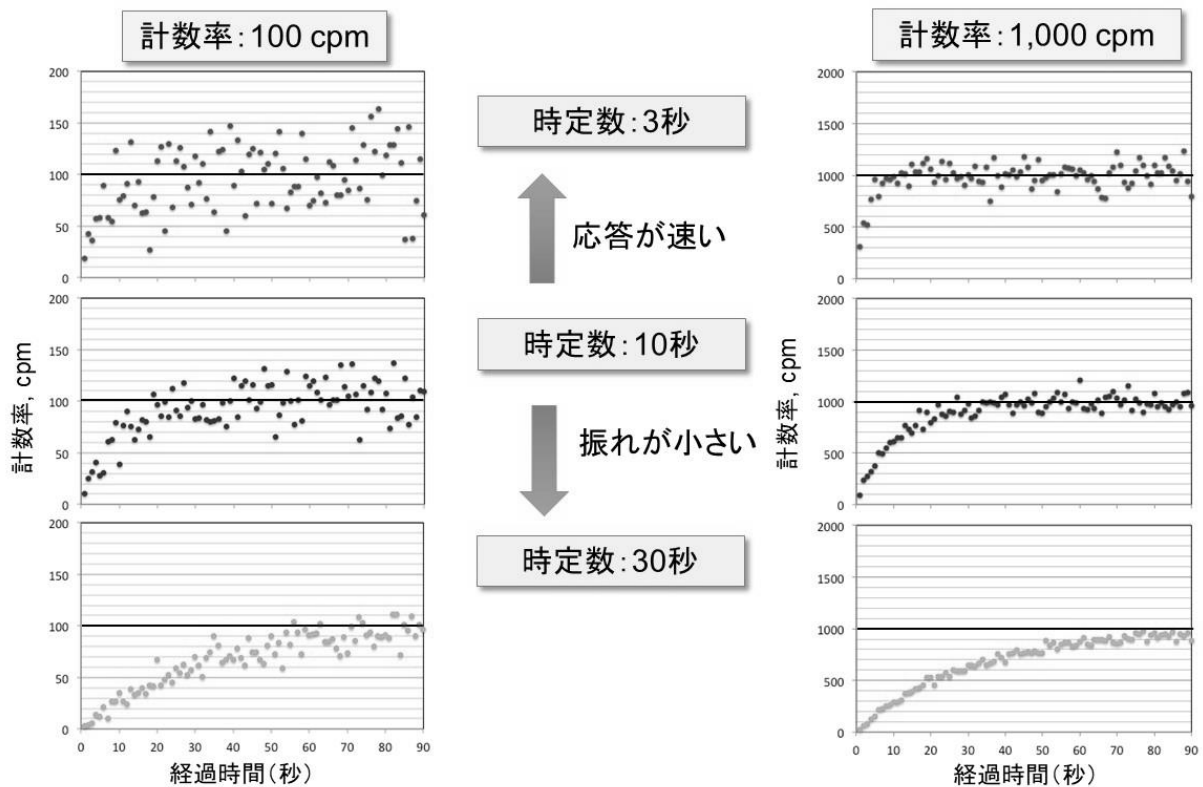
(左：バッテリーチェック ※メモリが2/4になったら電池交換,
右：HV チェック ※OK でない場合は使用しない)



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、一定の指示値に落ち着くことが無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、甲状腺簡易測定では時定数を 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. 甲状腺簡易測定の手順

図6は甲状腺簡易測定の手順を示している。各手順について以下に説明する。

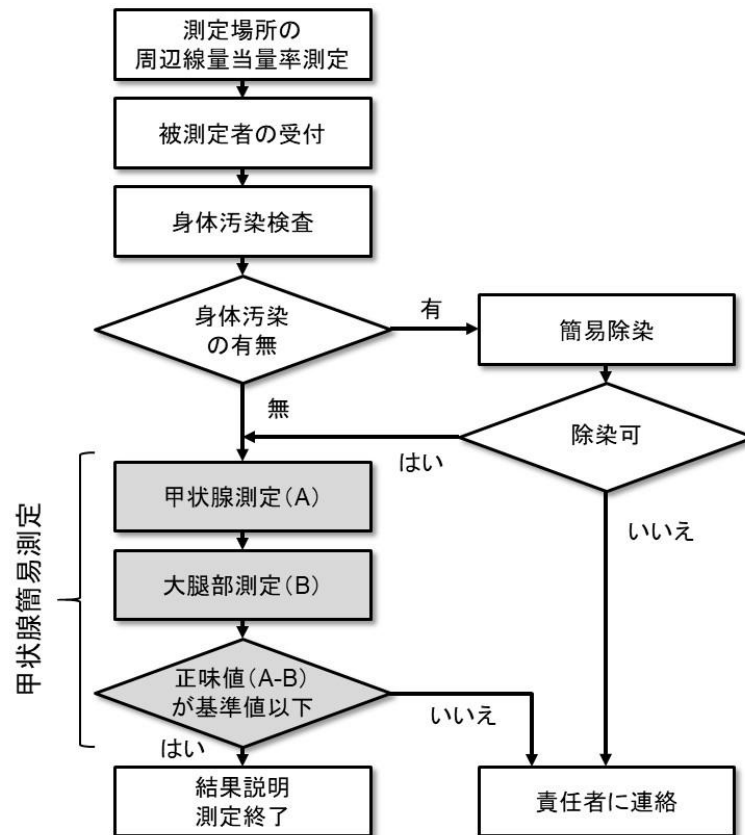


図6 甲状腺簡易測定の手順

(1) 測定場所の周辺線量当量率測定

現時点で甲状腺簡易測定を行う場所は決まっていないものの、避難退域時検査⁵⁾と併せて行うことは困難⁵⁾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。甲状腺簡易測定の対象者としては、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⁶⁾。

(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。

⁵⁾ 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測定を行うのは難しい。

⁶⁾ 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⁷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

Nal(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（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測定の実行者に連絡する。

⁷ 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。甲状腺簡易測定を行う前は，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。

基準値（甲状腺等価線量 100 mSv）

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

(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⁸、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⁹。

⁸ 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、甲状腺簡易測定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。

⁹ 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、被検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¹⁰

3. 避難行動調査

① 避難準備指示： 屋内避難指示、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。
 避難準備指示： 自宅・自宅外（場所・住所） / 屋内・屋外
 屋内避難指示： 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 / 人数（ ） / 代表者（ ）人 / 人数（ ）

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

行動	移動手段	期間	場所（移動元・先、滞在）
1 移動・滞在	車・徒歩・その他（ ）	/ : ~ / :	
2 移動・滞在	車・徒歩・その他（ ）	/ : ~ / :	
3 移動・滞在	車・徒歩・その他（ ）	/ : ~ / :	
4 移動・滞在	車・徒歩・その他（ ）	/ : ~ / :	
5 移動・滞在	車・徒歩・その他（ ）	/ : ~ / :	
6 移動・滞在	車・徒歩・その他（ ）	/ : ~ / :	

⑤ 避難中の出来事や気づいた点があればご記入ください。

1. 受検者登録情報

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 氏名 (ふりがな) ② 生年月日 年 月 日 ③ 性別 男・女

④ 住所 市 区 町 丁目 番 号 住 所 番 号

2. 検査結果（測定担当者記入欄）

① 体表面汚染検査

測定器名： 測定員： 記録員：

管理番号： BG： cpm 測定場所の空間線量率： $\mu\text{Sv/h}$

(前面)

(背面)

測定結果 cpm

部位	測定結果 cpm

表面汚染： 有・無

除染実施： 済み・未実施

甲状腺検査時の汚染： 有・無

② 甲状腺検査

・NaIサーベイメータ測定 ($\mu\text{Sv/h}$)

測定器名： 測定員： 記録員：

管理番号： 測定場所の空間線量率： $\mu\text{Sv/h}$

・スペクトロメータ測定

測定器名： 測定員： 記録員：

管理番号： 測定場所の空間線量率： $\mu\text{Sv/h}$

測定場所	空間線量率
A 大腿部 (BG)	B 甲状腺部 正味 (B-A)
1	
2	
3	

ファイル名

ビーク	有・無	チャンネル

備考

(上：表面，下：裏面)

5. 食事状況調査

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

服用回数	服用時期	服用日時	服用量
1回目	避難前・避難後	月 日 : 月 日	mg・錠
2回目	避難前・避難後	月 日 : 月 日	mg・錠
3回目	避難前・避難後	月 日 : 月 日	mg・錠

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

④ 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

⑤ ④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、個人向け可能な情報を除いて、放射線によるばく露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白筆（未成年者の場合は保護者）に
 白筆署名をお願いします。

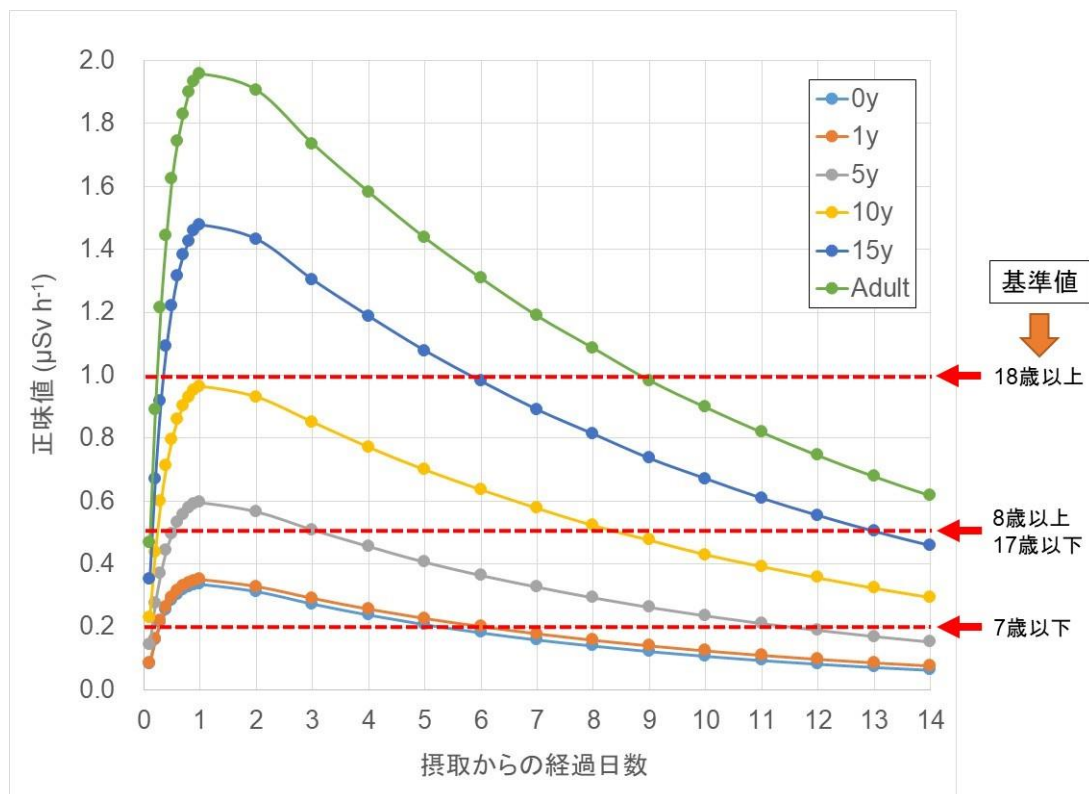
氏名（白筆） _____

ご協力ありがとうございました。

¹⁰ 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¹¹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 ¹³¹I 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。¹³¹I 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。¹³¹I 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考えられる¹²。

¹¹ 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)

¹² 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

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



図8 1歳児にNaI(Tl)サーベイメータのプローブを近接させた状況

(3) 機器

使用するNaI(Tl)サーベイメータは、メーカー等による点検・校正を少なくとも年1回は行うこと。ただし、年1回の点検・校正でも感度が変わる場合があるので、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。量子科学技術開発研究開発機構が主催する甲状腺簡易測定研修を受講すれば、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¹³。

(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。

¹³ ¹³¹I 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 名の被検者の内, 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, 被検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、受講生も増えてきている。ただし、甲状腺線量測定の運用面に関しては、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、本マニュアルの次の改訂版では、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 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: NIRS-M-252: ; 2012.
- 2) Tokonami S et al. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident. *Sci Rep* 2: 507; 2012.
- 3) Matsuda N 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 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 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 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 et al. Child and adult thyroid monitoring after a reactor accident (CATHyMARA): Technical recommendations and remaining gaps. *Radiat Meas.* 128; 106115: 2019.
- 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 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 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 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 et al. A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident. *Radiat Prot Dosim.* 183: 483-488; 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	3.3×10^{-06}	3.2×10^{-06}	1.9×10^{-06}	9.5×10^{-07}	6.2×10^{-07}	3.9×10^{-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	3.0×10^04	3.1×10^04	5.3×10^04	1.1×10^05	1.6×10^05	2.6×10^05

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	1.5×10^03	8.7×10^02	8.6×10^02	9.8×10^02	1.1×10^03	1.7×10^03

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

経過日数	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
0.1	8.3×10^{-02}	8.5×10^{-02}	1.4×10^{-01}	2.3×10^{-01}	2.9×10^{-01}	4.0×10^{-01}
0.2	1.6×10^{-01}	1.6×10^{-01}	2.7×10^{-01}	4.4×10^{-01}	5.6×10^{-01}	7.6×10^{-01}
0.3	2.1×10^{-01}	2.2×10^{-01}	3.7×10^{-01}	6.0×10^{-01}	7.6×10^{-01}	1.0×10^{00}
0.4	2.5×10^{-01}	2.6×10^{-01}	4.4×10^{-01}	7.1×10^{-01}	9.1×10^{-01}	1.2×10^{00}
0.5	2.8×10^{-01}	2.9×10^{-01}	4.9×10^{-01}	8.0×10^{-01}	1.0E+00	1.4×10^{00}
0.6	3.0×10^{-01}	3.1×10^{-01}	5.3×10^{-01}	8.6×10^{-01}	1.1E+00	1.5×10^{00}
0.7	3.2×10^{-01}	3.3×10^{-01}	5.6×10^{-01}	9.0×10^{-01}	1.2E+00	1.6×10^{00}
0.8	3.3×10^{-01}	3.4×10^{-01}	5.8×10^{-01}	9.3×10^{-01}	1.2E+00	1.6×10^{00}
0.9	3.3×10^{-01}	3.5×10^{-01}	5.9×10^{-01}	9.5×10^{-01}	1.2E+00	1.7×10^{00}
1	3.3×10^{-01}	3.5×10^{-01}	5.9×10^{-01}	9.6×10^{-01}	1.2E+00	1.7×10^{00}
2	3.1×10^{-01}	3.3×10^{-01}	5.7×10^{-01}	9.3×10^{-01}	1.2E+00	1.6×10^{00}
3	2.7×10^{-01}	2.9×10^{-01}	5.1×10^{-01}	8.5×10^{-01}	1.1E+00	1.5×10^{00}
4	2.4×10^{-01}	2.6×10^{-01}	4.6×10^{-01}	7.7×10^{-01}	9.9×10^{-01}	1.4×10^{00}
5	2.1×10^{-01}	2.3×10^{-01}	4.1×10^{-01}	7.0×10^{-01}	9.0×10^{-01}	1.2×10^{00}
6	1.8×10^{-01}	2.0×10^{-01}	3.6×10^{-01}	6.4×10^{-01}	8.2×10^{-01}	1.1×10^{00}
7	1.6×10^{-01}	1.8×10^{-01}	3.3×10^{-01}	5.8×10^{-01}	7.4×10^{-01}	1.0×10^{00}
8	1.4×10^{-01}	1.6×10^{-01}	2.9×10^{-01}	5.2×10^{-01}	6.8×10^{-01}	9.3×10^{-01}
9	1.2×10^{-01}	1.4×10^{-01}	2.6×10^{-01}	4.8×10^{-01}	6.1×10^{-01}	8.4×10^{-01}
10	1.1×10^{-01}	1.2×10^{-01}	2.3×10^{-01}	4.3×10^{-01}	5.6×10^{-01}	7.7×10^{-01}
11	9.4×10^{-02}	1.1×10^{-01}	2.1×10^{-01}	3.9×10^{-01}	5.1×10^{-01}	7.0×10^{-01}
12	8.3×10^{-02}	9.8×10^{-02}	1.9×10^{-01}	3.6×10^{-01}	4.6×10^{-01}	6.4×10^{-01}
13	7.2×10^{-02}	8.6×10^{-02}	1.7×10^{-01}	3.2×10^{-01}	4.2×10^{-01}	5.8×10^{-01}
14	6.3×10^{-02}	7.7×10^{-02}	1.5×10^{-01}	2.9×10^{-01}	3.8×10^{-01}	5.3×10^{-01}
15	5.6×10^{-02}	6.8×10^{-02}	1.4×10^{-01}	2.7×10^{-01}	3.5×10^{-01}	4.8×10^{-01}
16	4.9×10^{-02}	6.0×10^{-02}	1.2×10^{-01}	2.4×10^{-01}	3.2×10^{-01}	4.4×10^{-01}
17	4.3×10^{-02}	5.3×10^{-02}	1.1×10^{-01}	2.2×10^{-01}	2.9×10^{-01}	4.0×10^{-01}
18	3.7×10^{-02}	4.7×10^{-02}	9.8×10^{-02}	2.0×10^{-01}	2.6×10^{-01}	3.6×10^{-01}
19	3.3×10^{-02}	4.2×10^{-02}	8.8×10^{-02}	1.8×10^{-01}	2.4×10^{-01}	3.3×10^{-01}
20	2.9×10^{-02}	3.7×10^{-02}	7.9×10^{-02}	1.7×10^{-01}	2.2×10^{-01}	3.0×10^{-01}

¹⁴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 kBq per $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (0y, 1y, 5y), 25 kBq per $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (10y), 30 kBq per $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (15y), 35 kBq per $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (Adult)

C 新甲状腺モニタ用ソフトウェアの取扱説明書

本ソフトウェア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 MCA(80406 後継機) ORTEC 社 MCA (digiBASE) GBS 社 MCA (MCA527)
その他	: Microsoft .Net framework 4.0 以上及び, 同 Language Pack 4.0 以上 クリアパルス社製 MCA 制御ソフトウェア ORTEC 社製 A11-BW(Connections 32) GBS 社 WinSPEC

ここでは新モニタ用制御・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. 管理者モードの操作方法
2. ソフトウェア機能毎の操作方法

1. 管理者モードの操作方法

1.1 ソフトウェア起動

ディスプレイ上のアイコン（図1）「甲状腺モニタ」をダブルクリックする。クリックするとソフトウェア（図2）が起動する。



図1 アイコン

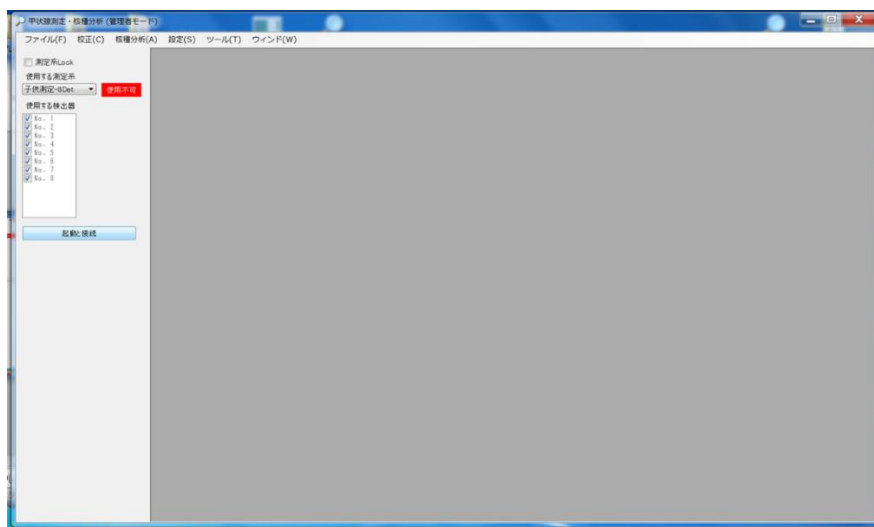


図2 起動したソフトウェアのメイン画面

（ルーチンモードで起動した場合はメニュー項目の「校正」「設定」が使用できなる。）

1.2 MCA 起動

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

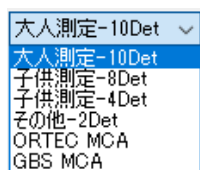


②使用する測定系を選択する。

一般用測定系 : 「大人測定-10 検出器」

子供用測定系 : 「子供測定-8 検出器」

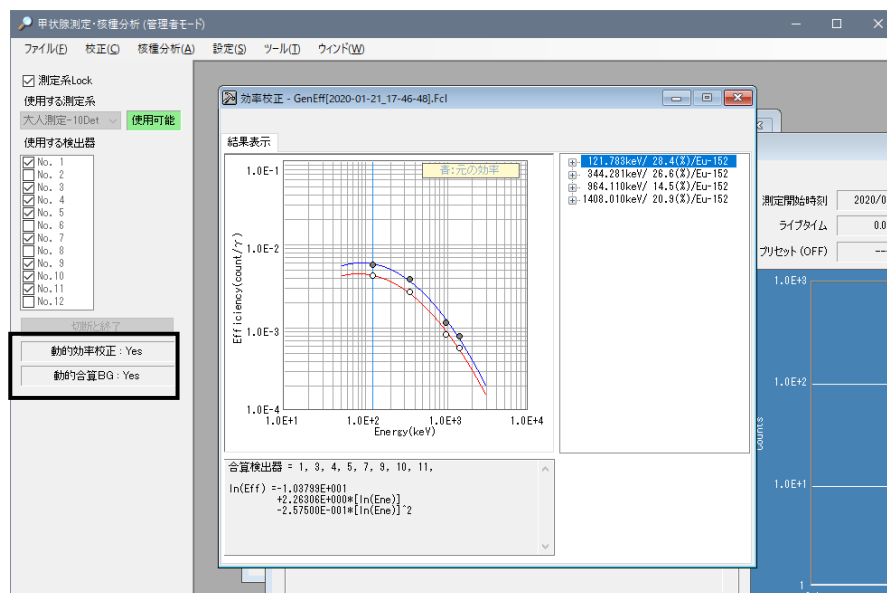
乳幼児用測定系 : 「子供測定-4 検出器」



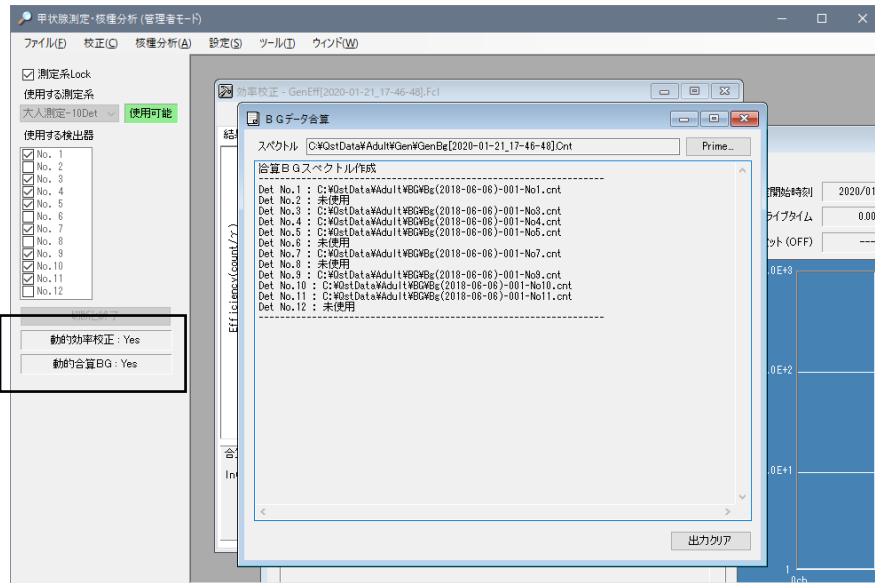
下記は「大人測定-10Det」が選択された場合で、1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 の10個の検出器が指定されている。個々の検出器を使用するか否かの指定は事前に測定系毎に登録しておく。



- 「大人測定-10Det」測定系の場合、クリアパルス社のMCA制御ソフトウェア(81416)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。
- 「大人測定-10Det」で使用する検出器が10個に満たない場合、使用する検出器に対応する効率校正データ、使用する検出器に対応するBGデータを動的に生成する。
 ※検出器数が指定数の場合、動的生成は行われず、設定した効率データ、BGデータがそのまま使用される。



動的生成した場合：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



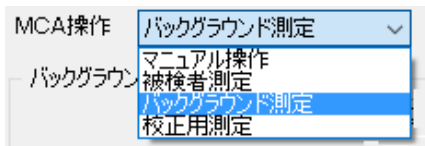
動的生成した場合：指定した検出器だけのデータによる合算BGデータ確認表示

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なため、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を設ける。

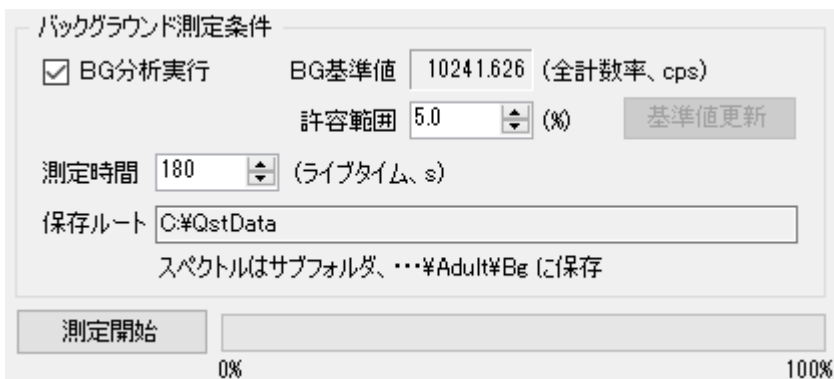
1.3 バックグラウンド測定

被検者測定を行う前にバックグラウンド（BG）を測定する。

①検出器周辺に試料や線源がないことを確認してから、コンボボックス「MCA操作」で「バックグラウンド測定」を選ぶ。



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。



※この画面は「大人測定-10 検出器」の場合

②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 分析を実行するかどうかを指定する。
(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 回目のバックグラウンド測定では BG 基準値が自動登録される。
- 測定時間：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。範囲 = 1 ~ 99999 秒
測定した BG スペクトルデータは、保存ルートの下層に

大人測定-10 検出器：・・・¥Adult¥BG

子供測定-8 検出器：・・・¥Child¥BG

子供測定-4 検出器：・・・¥Child4¥BG

その他-2 検出器：・・・¥OTHER¥BG

ORTEC MCA：・・・¥ORTEC¥BG

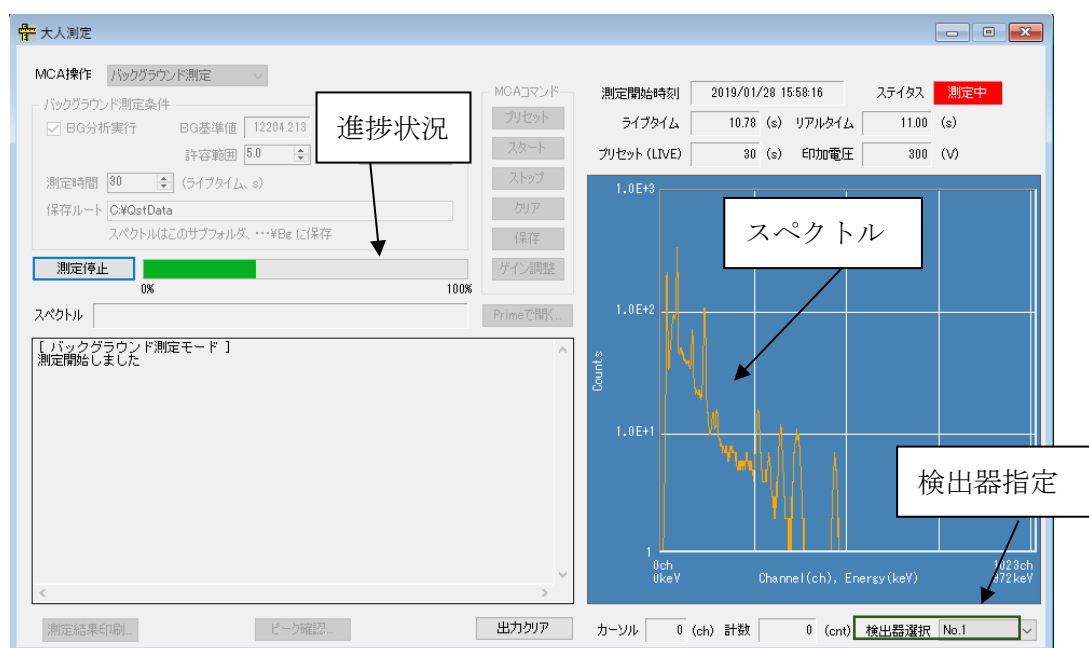
GBS MCA：・・・¥GBS¥BG

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。

③「測定開始」を押す。

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、各検出器での BG を確認したいときは、検出器選択のコンボボックスから表示したい検出器(またはスペクトルの合算)を選択する。ただし、ORTEC MCA、GBS MCA の場合には検出器の選択はできない。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



④BG 測定後、結果は出力画面に表示される。

「Prime で開く...」 で合算スペクトルを確認することができる。

バックグラウンド測定条件

BG分析実行 BG基準値 12204.213 (全計数率、cps)
許容範囲 5.0 (%) 基準値更新

測定時間 30 (ライブタイム、s)

保存ルート C:\QstData
スペクトルはこのサブフォルダ、...%Be に保存

測定開始 0% 100%

スペクトル C:\QstData\Adult%Be%Be(2019-01-28)-001-ALL.cnt

Primeで開く...

【バックグラウンド測定情報】

測定開始時刻：2019/01/28 15:58:16
ライブタイム：30.4(秒)
リアルタイム：31.0(秒)
スペクトル名：C:\QstData\Adult%Be%Be(2019-01-28)-001-ALL.cnt
エネルギー校正：C:\QstData\Adult%Eng%EneCal(3MeV).Ecl

【バックグラウンドテスト】

BG計数率：8135.879(cps) ... 許容範囲外
BG基準値：12204.213(cps)

【バックグラウンド分析結果】

測定結果印刷... ピーク確認... 出力クリア

カーソル 0 (ch) 計数 0 (cnt) 検出器選択 No.1

なお、BG 測定中はソフトウェア終了できない。下記のメッセージが出力される。

確認

測定が終了するか、測定停止させるまで終了できません

OK

⑤BG 測定結果は更新可能で、「基準値更新」ボタンを押すとシステムデータとして保存される。

バックグラウンド測定条件

BG分析実行 BG基準値 10241.626 (全計数率、cps)
許容範囲 5.0 (%) 基準値更新

測定時間 120 (ライブタイム、s)

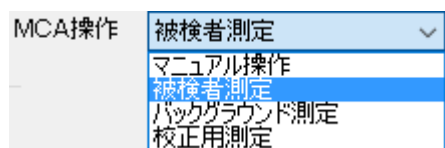
保存ルート C:\QstData
スペクトルはサブフォルダ、...%Adult%Be に保存

測定開始 0% 100%

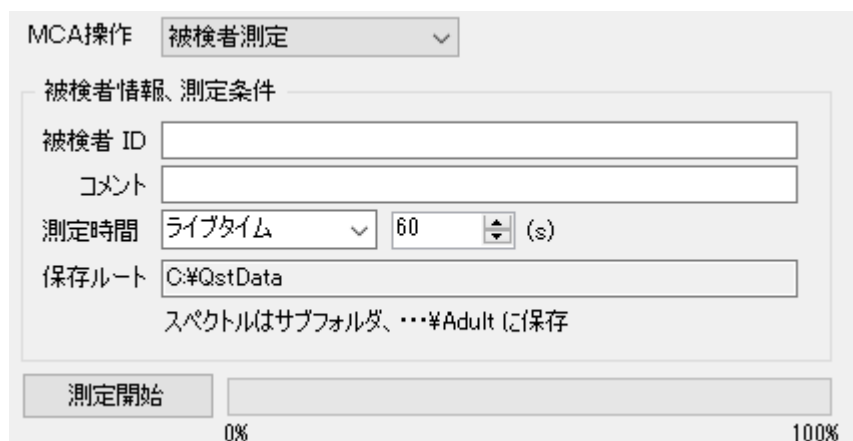
※システム導入の段階ではBG 基準値が未登録なので、1回目のバックグラウンドテストではBG 基準値が自動登録される。

1.4 被検者測定

①コンボボックス「MCA 操作」から「被検者測定」を選択する。



画面の一部が被検者測定の情報入力画面に切り替わる。

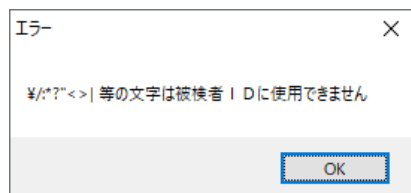
A screenshot of the '被検者測定' (Subject Measurement) information input screen. The 'MCA操作' dropdown is set to '被検者測定'. The screen contains several input fields: '被検者 ID' (Subject ID), 'コメント' (Comment), '測定時間' (Measurement Time) with a dropdown set to 'ライブタイム' (Live Time) and a numeric input set to '60' (s), and '保存ルート' (Save Path) set to 'C:\%QstData'. Below the save path, it says 'スペクトルはサブフォルダ、・・・%Adult に保存' (Spectra are saved in subfolders, ...%Adult). At the bottom, there is a '測定開始' (Start Measurement) button and a progress bar showing 0% to 100%.

②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。

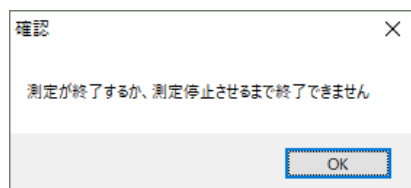
¥/:*?¥"<>| …… これらの禁止文字は、測定開始時にチェックされる。



③コメント：必要に応じて入力する。

④測定時間：測定のプリセットモードでライブタイムを選択し、プリセット時間を指定する
(範囲 = 1 ~ 99999 秒)。

④「測定開始」ボタンで測定を行う。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、被検者測定中はソフトウェア終了できず、以下のメッセージが出力される。



⑤測定が終了後、スペクトルの合算、合算スペクトルは、保存ルートの下層に自動的にされ、合算スペクトルに対して核種分析結果が画面表示される。

保存ルート

大人測定-10 検出器 : ...¥Adult
 子供測定-8 検出器 : ...¥Child
 子供測定-4 検出器 : ...¥Child4
 その他-2 検出器 : ...¥OTHER
 ORTEC MCA : ...¥ORTEC
 GBS MCA : ...¥GBS

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

ここで、&&&&&&& : 保存ルート (ユーザ指定)

Adult : 「大人測定-10 検出器」 ...測定系キーワード, フォルダは自動生成
 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"

結果画面

「Prime で開く...」 ボタンで、合算したスペクトルを確認できる。

⑥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。印刷内容は次の画面で指定する。

出力内容の指定

被検者情報

スペクトル

核種分析結果

放射能の一貫性

否検出核種の検出限界

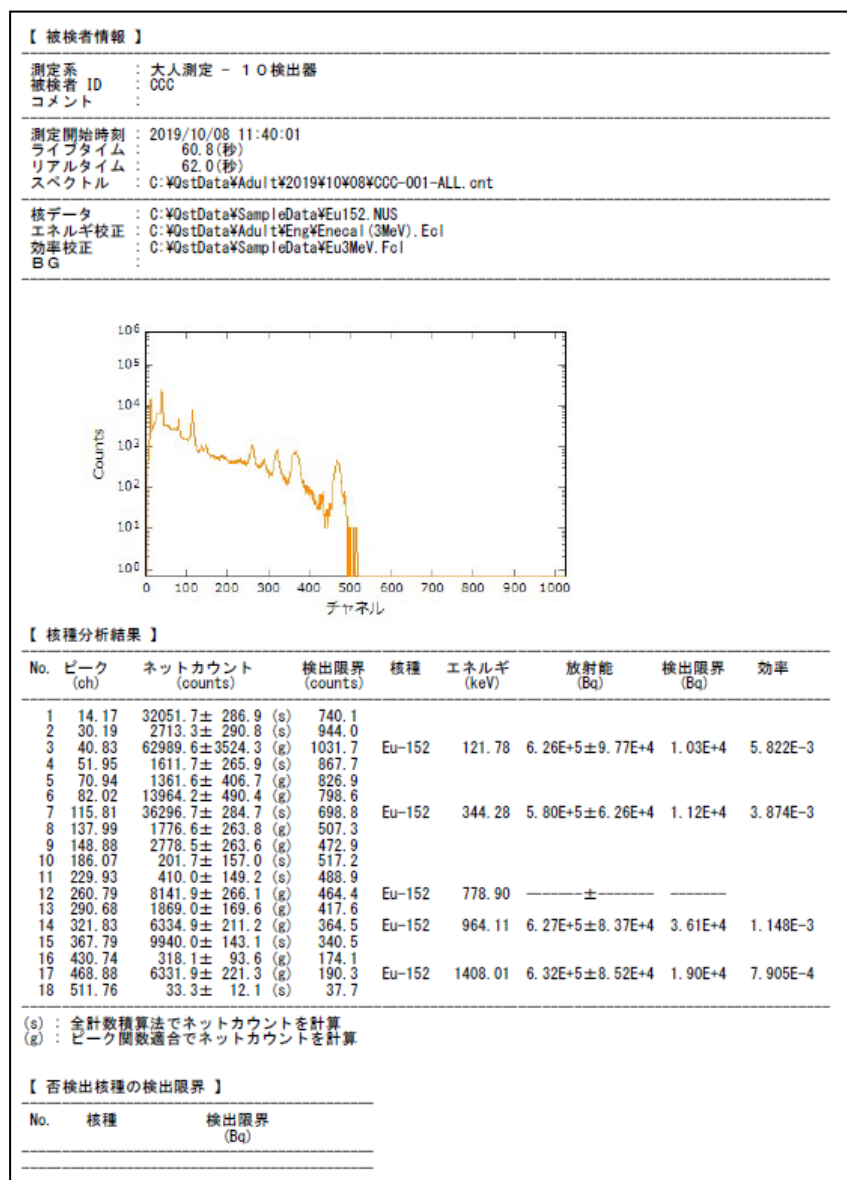
γ 線相互作用レポート(※)

(※)該当データがなければ出力しない

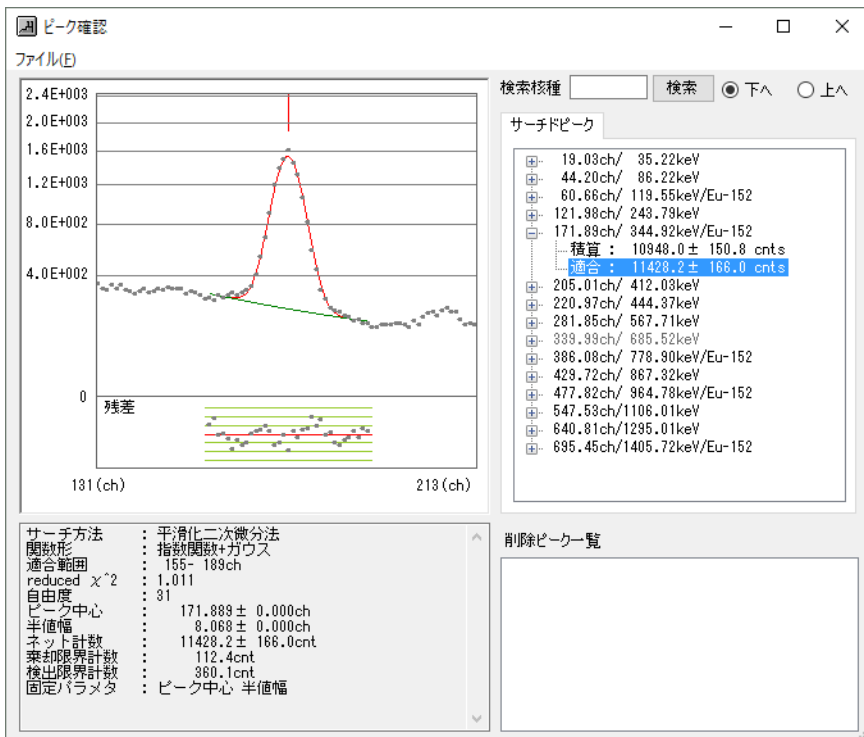
OK Cancel

スペクトルを出力する場合、「放射能の一貫性」「 γ 線相互作用レポート」は出力できない。

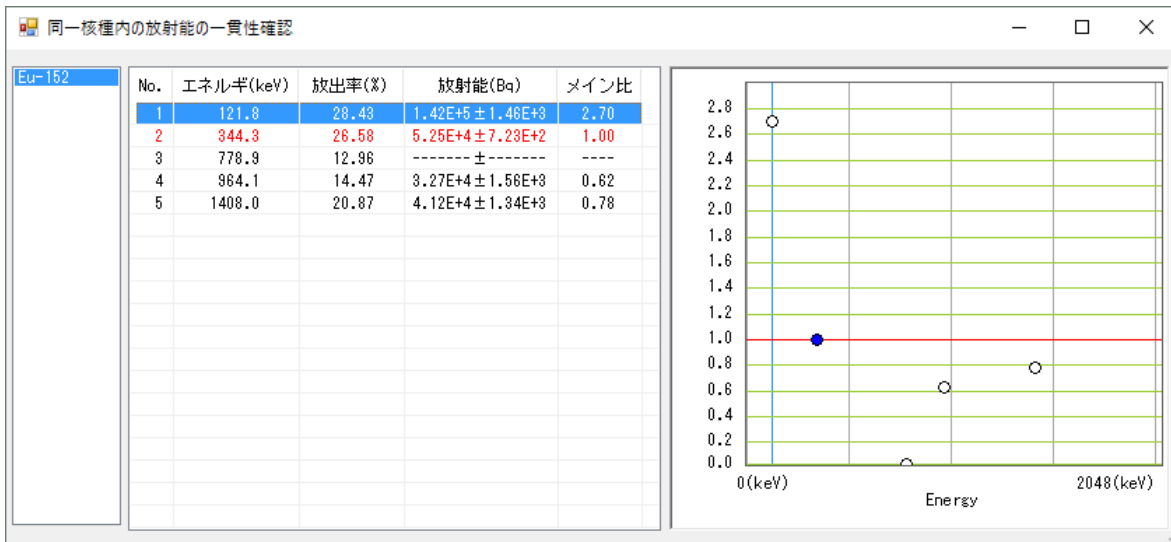
下記の図は測定結果印刷イメージである。



- 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：本ソフトウェアで処理した γ 線ピークの処理情報詳細を画面出力する。



- 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

本ソフトウェアは各測定系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。

本ソフトウェアでは、

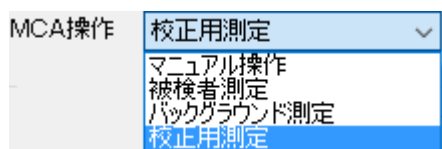
- ・ BG 測定
- ・ エネルギー校正
- ・ 効率校正

に対して、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。

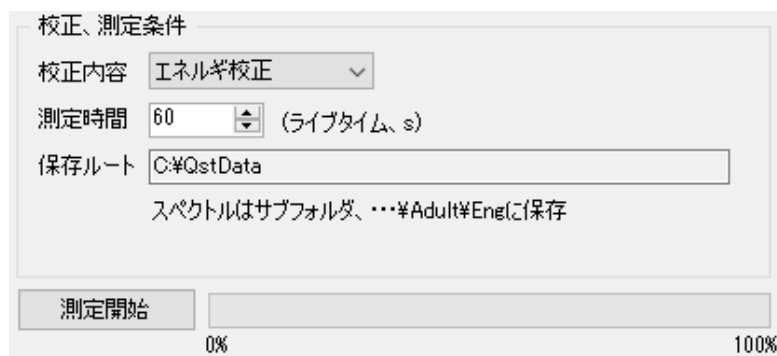
BG 測定は 1.3. バックグラウンド測定を参照し、以下はエネルギー校正、効率校正について説明する。

①エネルギー校正用測定

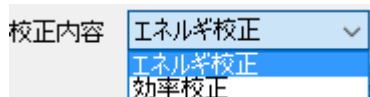
- ・ 予めエネルギー校正に使用する線源を所定の位置にセットする。
- ・ コンボボックス" MCA 操作" 「校正用測定」を選択する。



入力画面が切り替わる。

A screenshot of a dialog box titled '校正、測定条件'. It contains several fields: '校正内容' is a dropdown menu with 'エネルギー校正' selected; '測定時間' is a numeric input field with '60' and '(ライブタイム、s)'; '保存ルート' is a text input field with 'C:\QstData' and a note below it: 'スペクトルはサブフォルダ、...*\Adult*\Engに保存'. At the bottom, there is a '測定開始' button and a progress bar showing 0% to 100%.

- ・ 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。
- ・ ボタン「測定開始」で測定を開始する。

測定中、スペクトルはリアルタイムモニタされて、測定終了後、スペクトルデータは自動的に合算、既出のフォルダに保存ルートで保存され、エネルギー校正ソフトウェアが自動的に起動する。

測定したスペクトルデータの保存ルート

大人測定-10 検出器 : ...¥Adult¥Eng

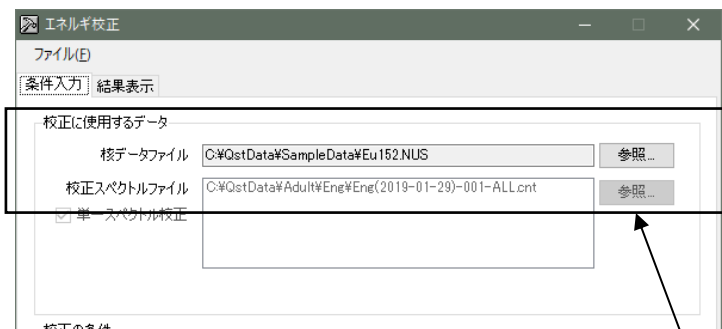
子供測定-8 検出器 : ...¥Child¥Eng

子供測定-4 検出器 : ...¥Child4¥Eng

その他-2 検出器 : ...¥OTHER¥Eng

ORTEC MCA : ...¥ORTEC¥Eng

GBS MCA : ...¥GBS¥Eng

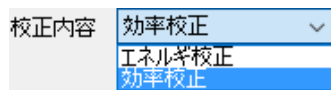


スペクトルファイルは自動的に指定されてため、変更する必要はない。

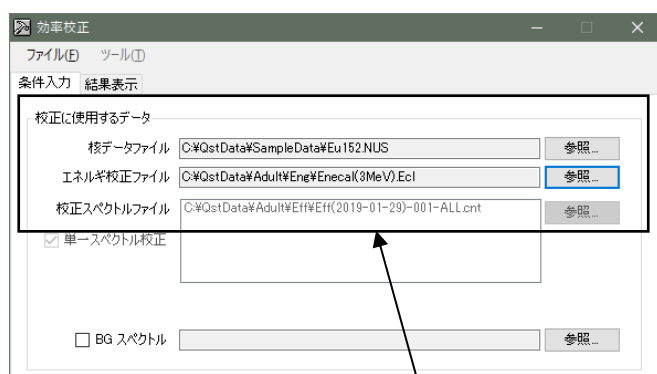
- ・以降の操作はメニューから実行する通常の「2.2.エネルギー校正」と同一である。

②効率校正用測定

- ・「MCA 操作」で「校正用測定」を選択後、コンボボックス「校正内容」で「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」する。
- ・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、効率校正ソフトウェア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る。

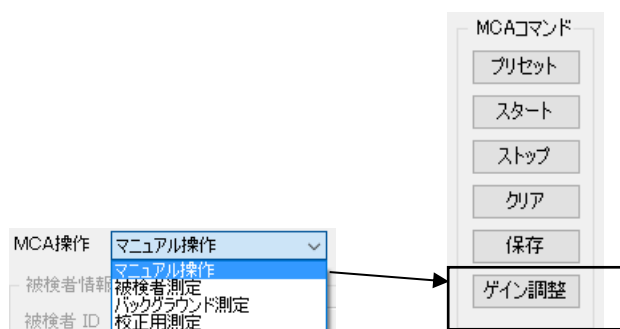
- ・これ以降の操作はメニューから実行する通常の「2.3 効率校正」と同一である。

1.6 ゲイン微調整

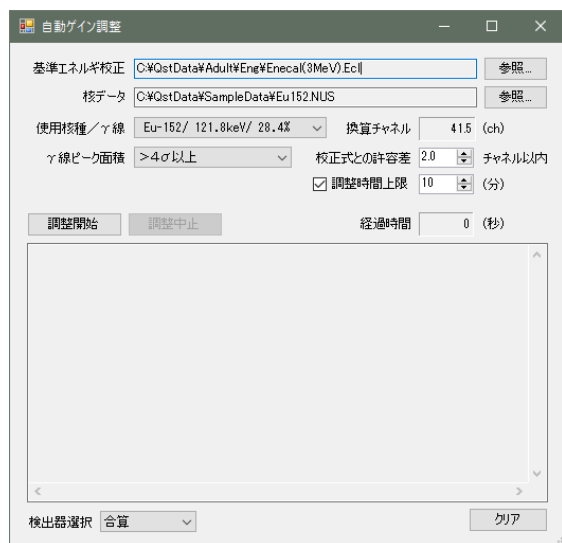
※本機能は、乳幼児・子供用及び一般用新モニタで使用するクリアパルス社製 80406 及び 80416 専用である。ORTEC 社製 digiBASE, GBS 社製 MCA527 に対する調整は後述する。

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、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、80406 及び 80416 の制御ソフトウェアで再調整する。

- ①コンボボックス「MCA 操作」で「マニュアル操作」を選択して、MCA コマンドを有効にする。
- ②MCA コマンドの「ゲイン調整」をクリックする。



- ③表示された画面で下記の項目を指定する。



- ・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だが、「参照...」で変更できる。
- ・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が、「参照...」で変更できる。
- ・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	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。

γ線ピーク面積 >4σ以上
>4σ以上
>指定計数以上

・「>指定計数以上」選択した場合は続けて計数（100～）を数値入力する。

γ線ピーク面積 >指定計数以上
1000 カウント以上

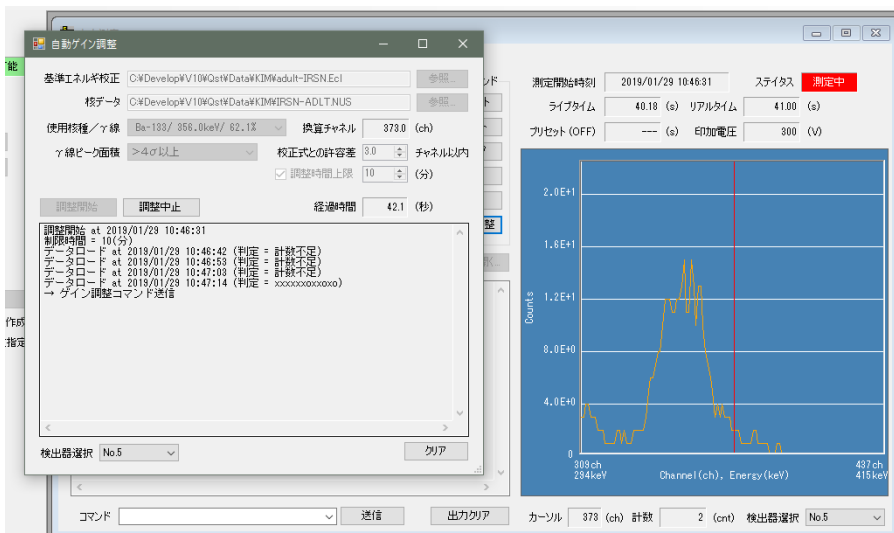
・校正式との許容差：調整後のピーク ch と既出の"換算チャンネル"を比較し，"一致"したと判断するための許容差を指定する。

※全検出器のピーク ch が 1.0ch 未満で一致することが理想だが，計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。

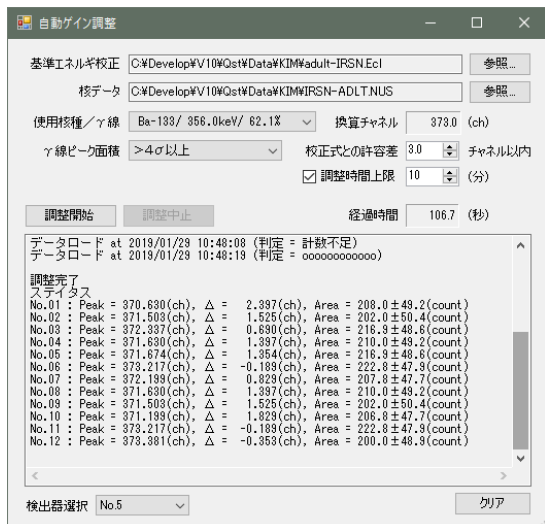
・調整時間上限：ゲイン調整時間を制限するか否かを指定する。チェック()時，上限時間が入力可能になり，この上限時間内に許容差内に収斂しなかった場合は調整処理を打ち切る。

調整時間上限 10 (分)

④「調整開始」で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。



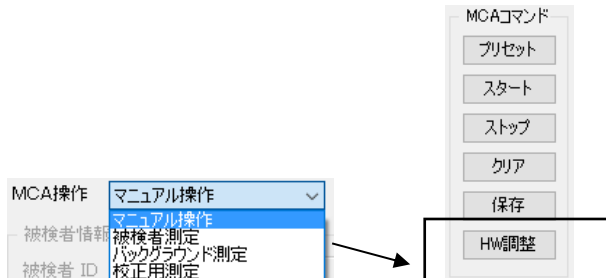
検出器毎のピーク ch, 指定エネルギーによる換算 ch との差, ネット面積等が表示される。

1.7 HW 調整 (ORTEC MCA, GBS MCA 用)

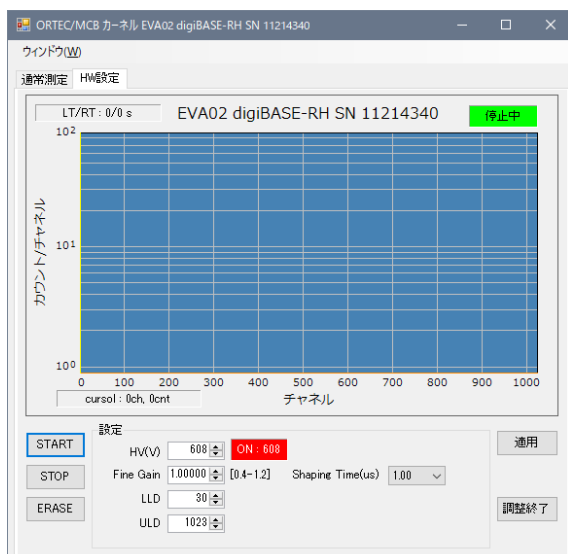
本機能は ORTEC 社製 digiBASE, GBS 社製 MCA527 の簡単な HW 調整を行うためである。DSO 機能や Threshold 設定は専用のアプリケーション (Maestro or WinSPEC) を使用する。

<ORTEC MCA>

①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。



②「HW 調整」をクリックすると ORTEC 社製 MCA の 調整画面が起動する。



現在の設定値が表示される。設定で、

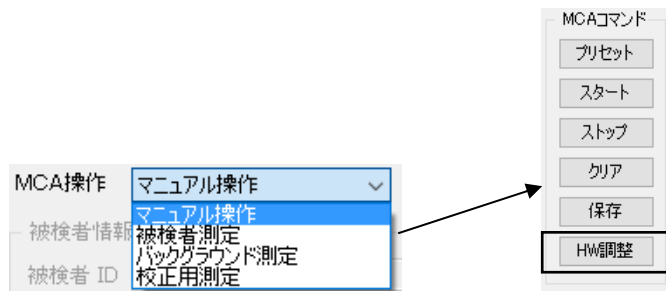
HV(V), Fine Gain, Shaping Time(μ s), LLD, ULD を入力する。

詳しい設定値は ORTEC 社 digiBASE 等の取扱説明書を参照する。

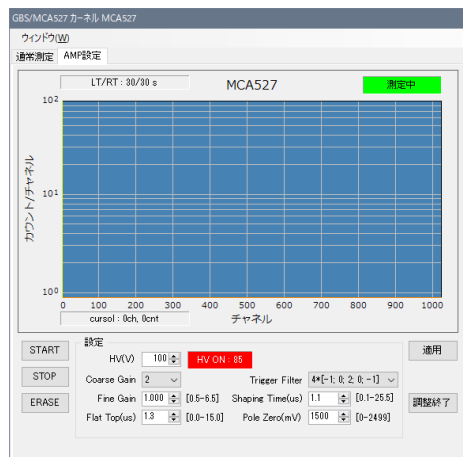
- ③ 「適用」で MCA に反映させる（次回の起動時にも適用される）。
- ④ 「調整終了」で元の画面に戻る。

<GBS MCA>

① 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。



② 「HW 調整」 をクリックする。GBS 社製 MCA の調整画面が起動する。



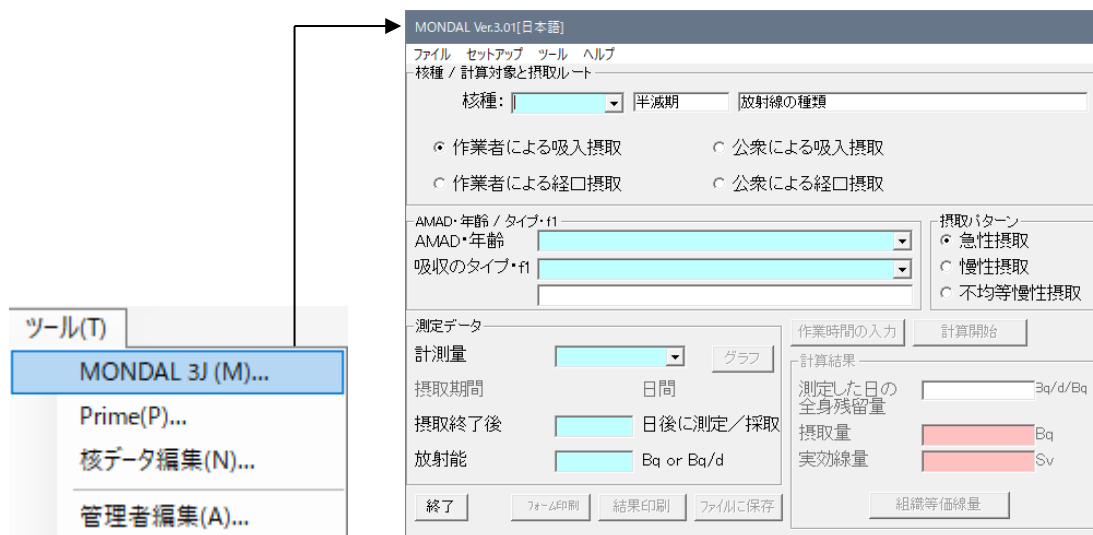
現在の設定値が表示される。設定で、HV(V), Coarse Gain, Fine Gain, Trigger Filter, Shaping Time, Flat Top, Pole Zero を入力する。詳しい設定値は GBS 社製 MCA の取扱説明書を参照する。

- ③ 「適用」で MCA に反映させる（次回の起動時にも適用される）。
- ④ 「調整終了」で元の画面に戻る。

1.8 MONDAL 3J

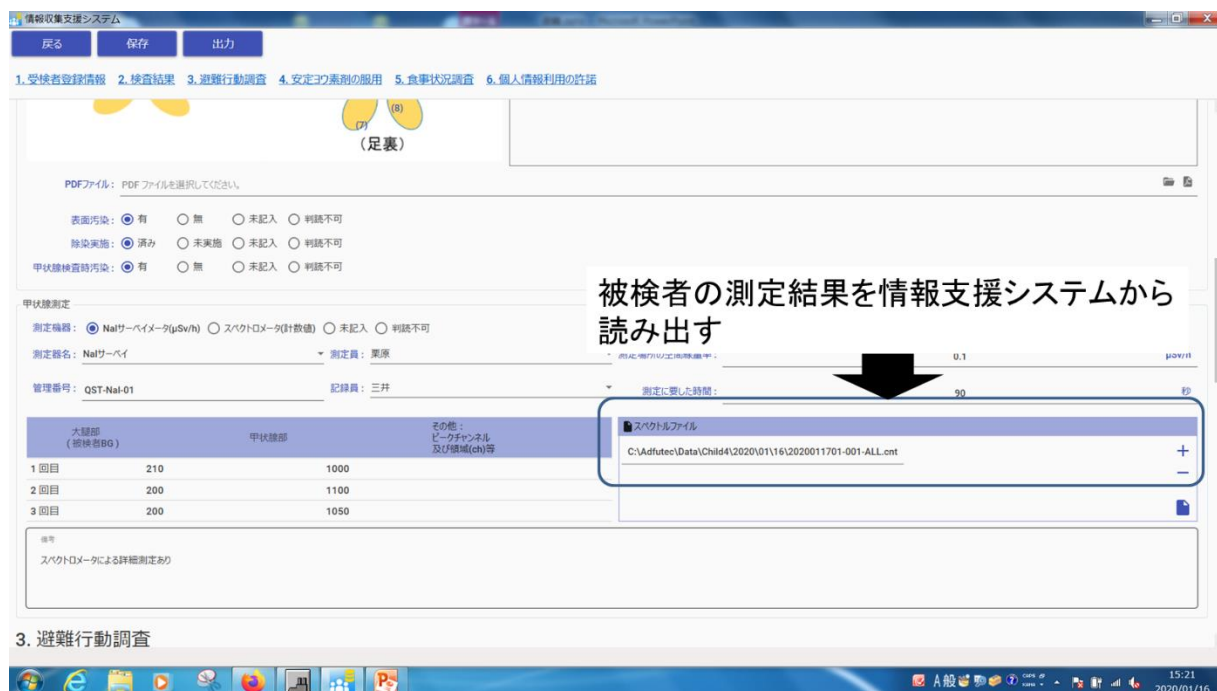
メニュー「ツール／MONDAL-3J」で、MONDAL が起動する。

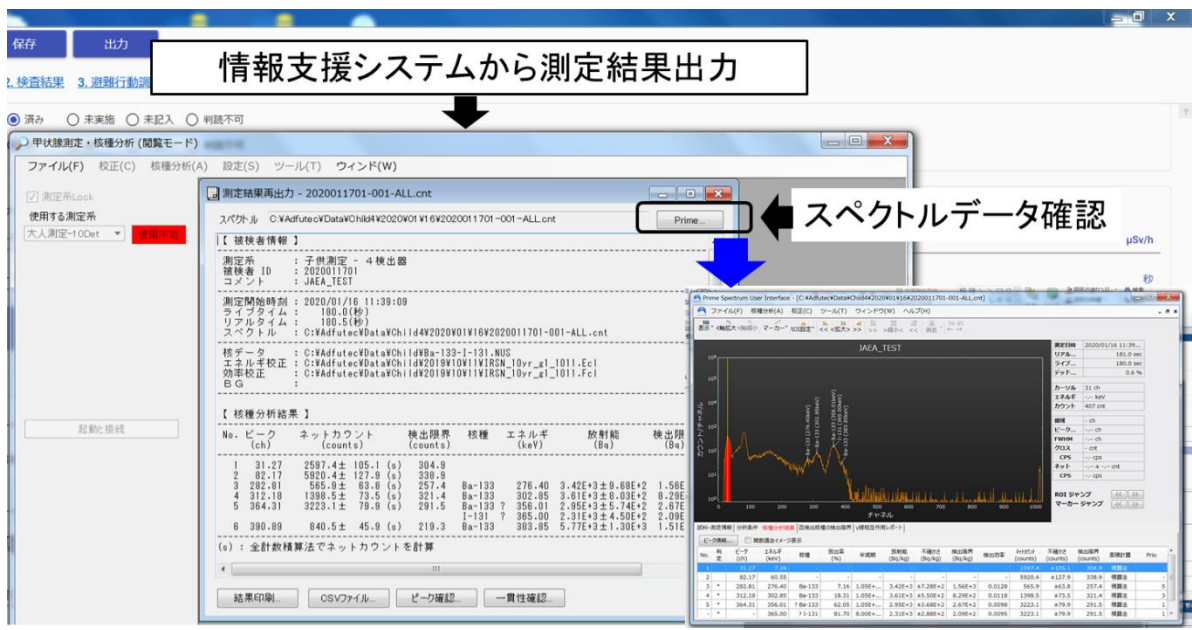
測定結果（数値入力等）は全てマニュアルで行う。MONDAL の操作方法は MONDAL の取扱説明書を参照する。



1.9 情報収集支援システムからの測定結果読み出し

情報収集支援システムが本ソフトウェアと同一コンピュータ上で構築されている場合、情報収集支援システムから本プログラムを起動させることで測定結果が読み出して表示できる。





上記の図のように、起動時の動作は閲覧モードで、測定や校正、MCA 操作はできないが、Prime によるスペクトル表示、測定結果の印刷、測定結果の CSV ファイル作成、ピーク確認、一貫性確認ができる。

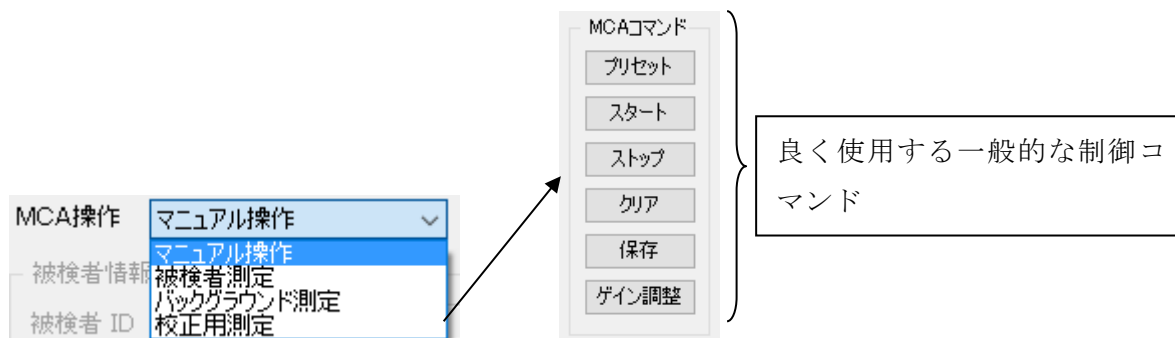
2. ソフトウェア機能毎の操作方法

2.1 マニュアル操作モード

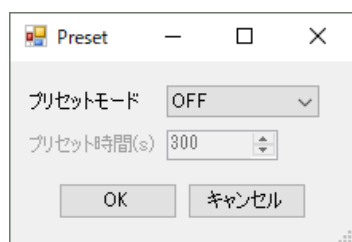
MCA に対する単一のコマンドを実行する。

※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。

①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。



・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。

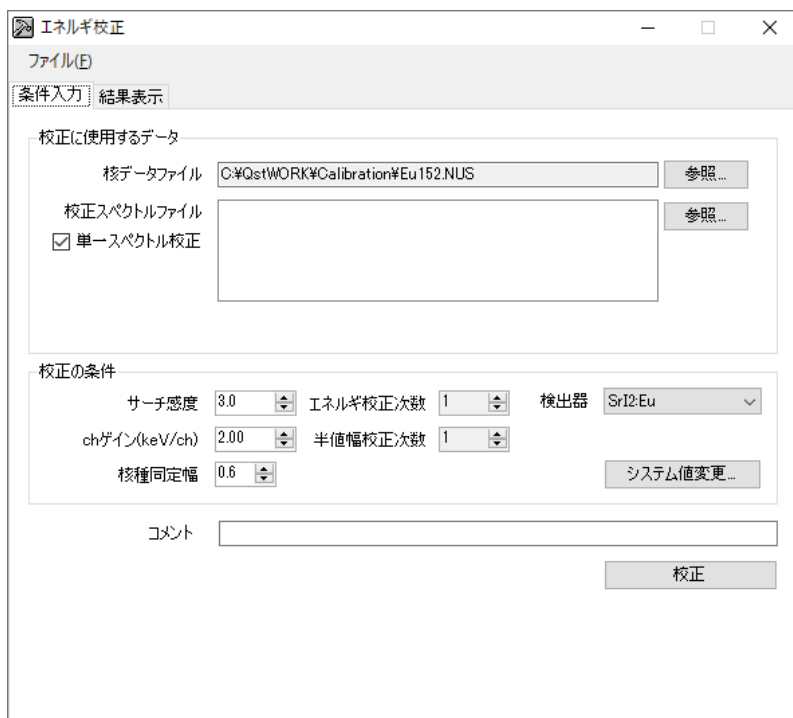


- ・スタート：MCA をスタートする（全ての検出器に対して同時に実行する。）
- ・ストップ：MCA をストップする（全ての検出器に対して同時に実行する。）
- ・クリア：MCA 上の全検出器の測定データ（測定時間情報，スペクトル）をクリアする。
- ・保存：検出器毎のスペクトル及び合算スペクトルをファイル保存する。
※ファイル名は自動ではなく，Windows 標準のファイル名入力ウィンドで行う。
- ・ゲイン調整：MCA に対してゲイン調整等を実行する。
(詳細は 1.6 ゲイン調整または 1.7 HW 調整参照)

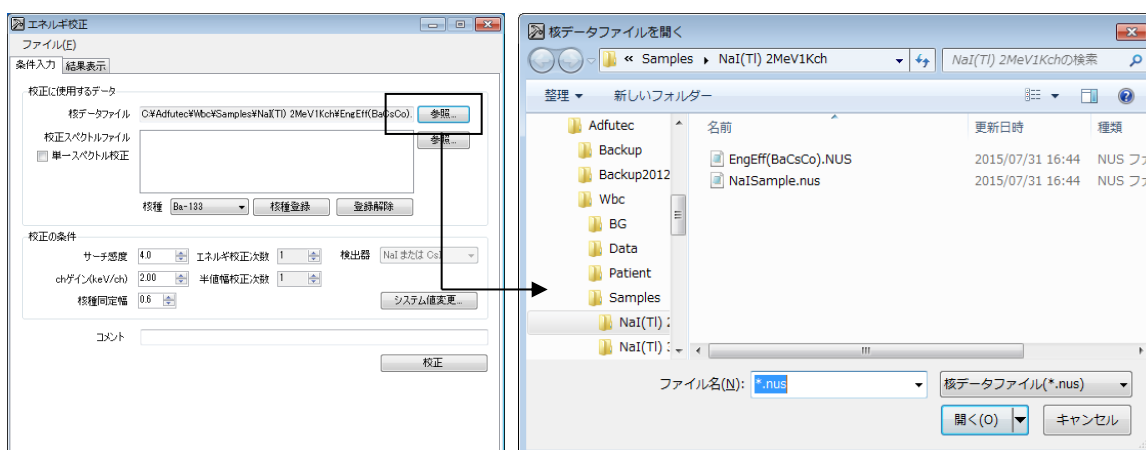
2.2 エネルギー校正

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、ファイル保存して置く必要がある。

- ①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／半値幅校正ソフトウェアが起動する。



- ・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」で選択する。



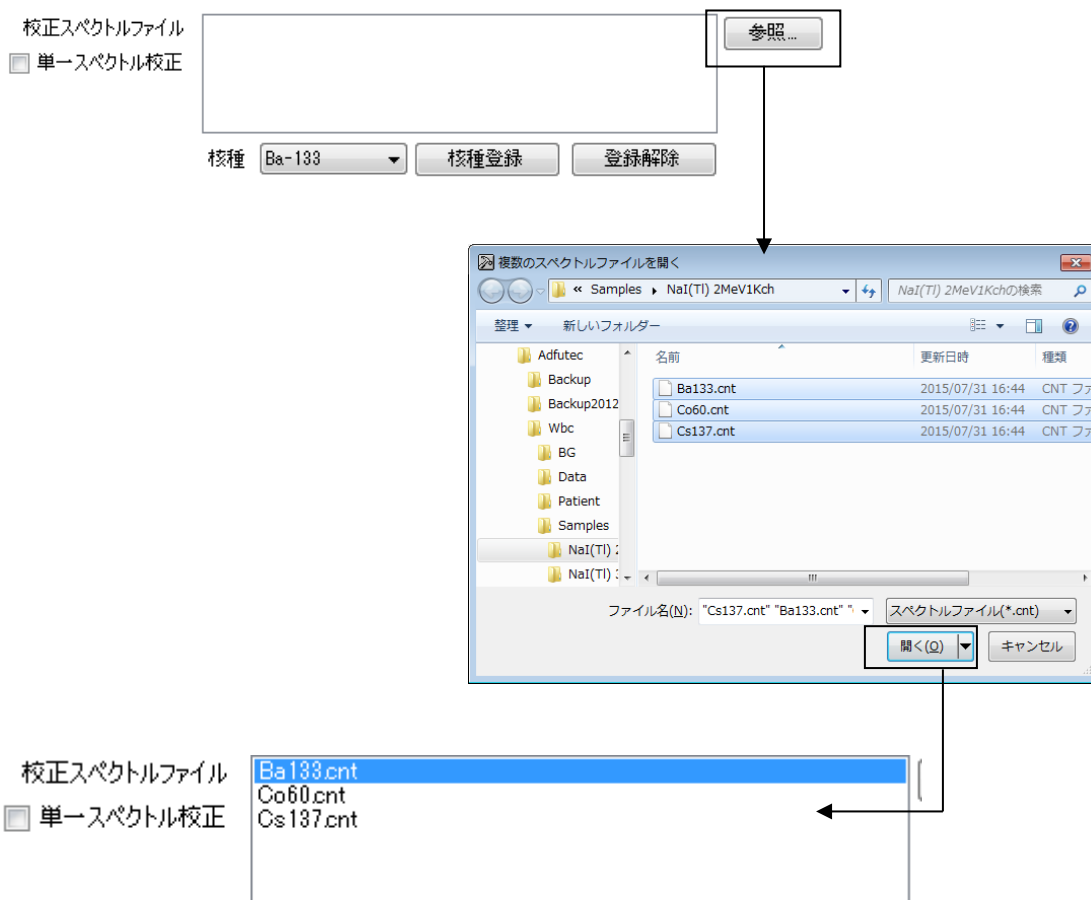
- ・エネルギー校正に使用するスペクトルを選ぶ。核種／線源によって次の2タイプがある。

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

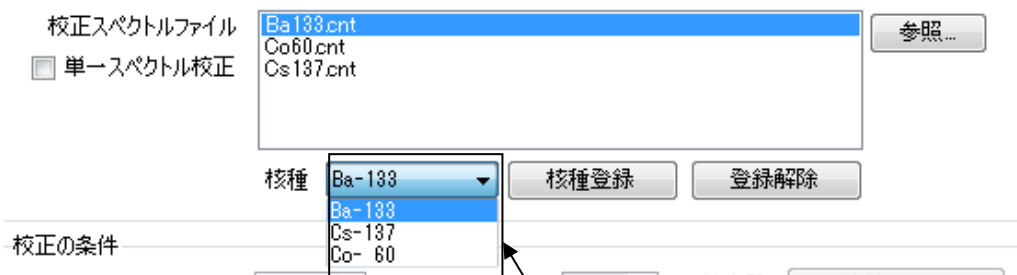
- ✓ 「単一スペクトル校正」を (チェックなし)で画面が切り換わる。



- ✓ 校正スペクトルファイルを「参照」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。



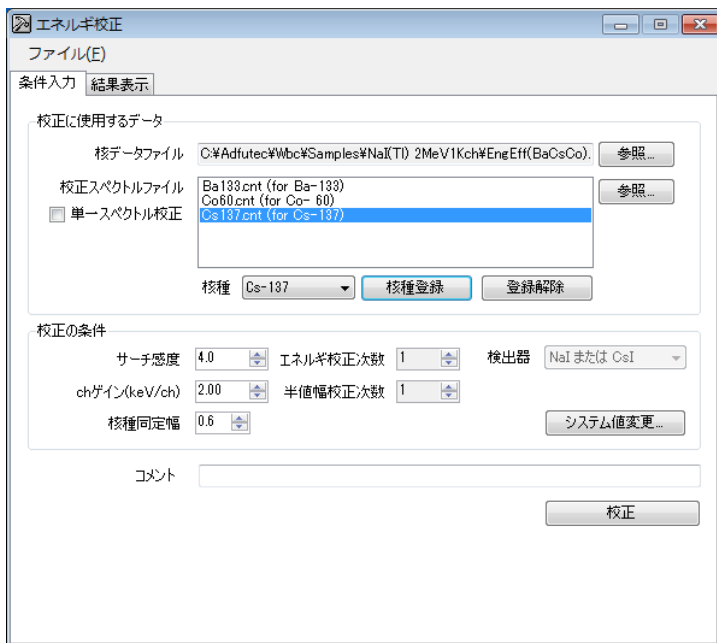
核データファイルを選択すると核種がコンボボックスで選択できる。核種を選択後、「核種登録」をクリックして校正スペクトルと対応させる。

※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」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)

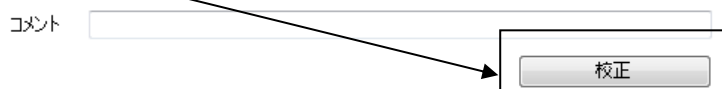
- 半値幅校正次数 (1 or 2) ...

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...」で行う。

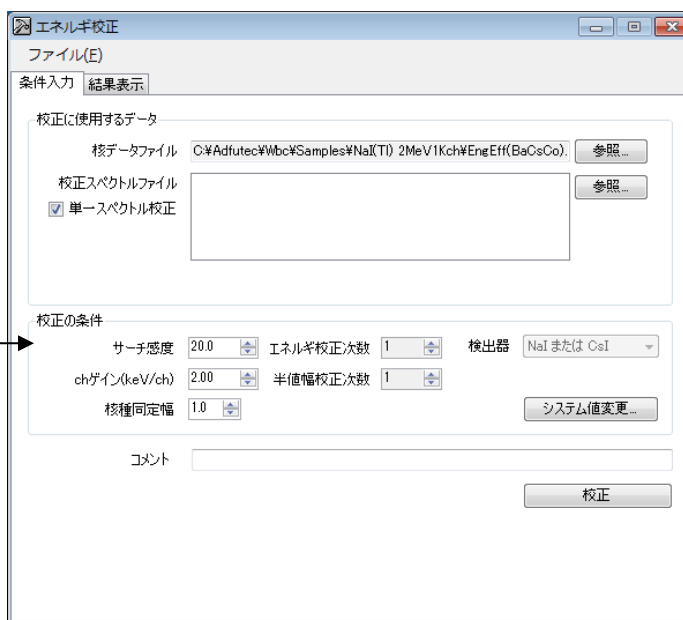
※「システム値変更...」は「設定」メニュー、「核種分析条件設定」を参照する。

条件入力後、「校正」をクリックするとエネルギー校正を開始する。

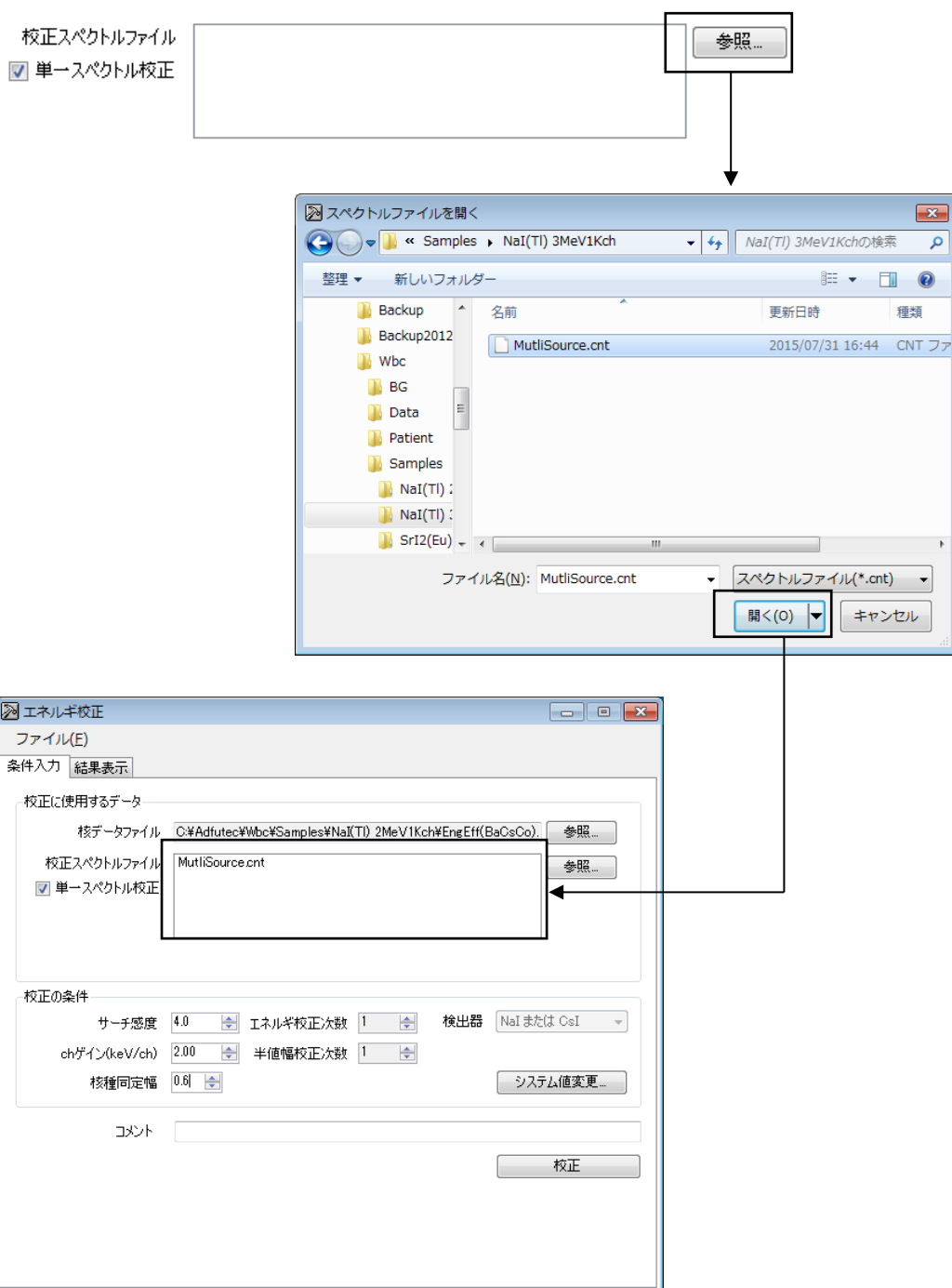


タイプ 2 : 1つの線源に複数核種 (Ba-133 + Cs-137 + Co-60 等) が含まれており、スペクトルでエネルギー校正を行う。

- ✓ 「 単一スペクトル校正」を (チェックあり) とする。

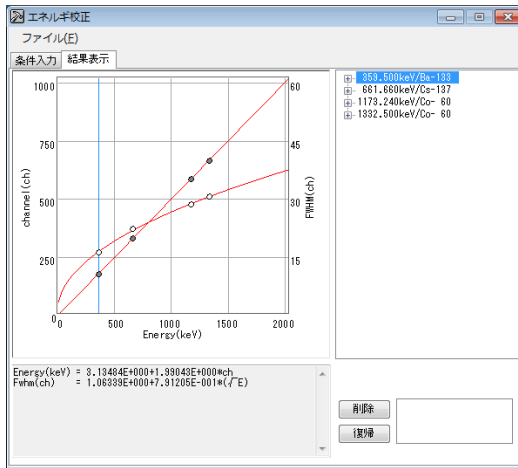


- ✓ 校正スペクトルファイルを「参照」する(複数選択不可)



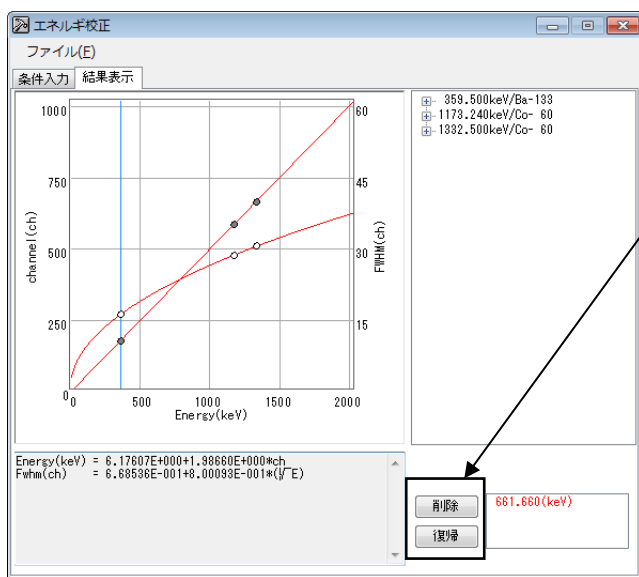
※タイプ 2 では、核種同定は自動的に行うため、タイプ 1 のような「核種指定」は行わない。

- ✓ 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。
次のエネルギー校正後の画面は表示される (タイプ 1, タイプ 2 で共通)。



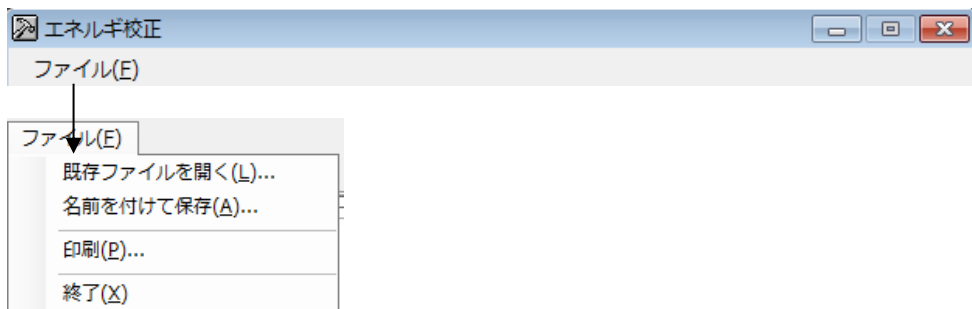
- ✓ 必要に応じて、エネルギー校正に使用したデータを「削除」、削除したデータを「復帰」する。

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」をクリックする。削除後は、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。

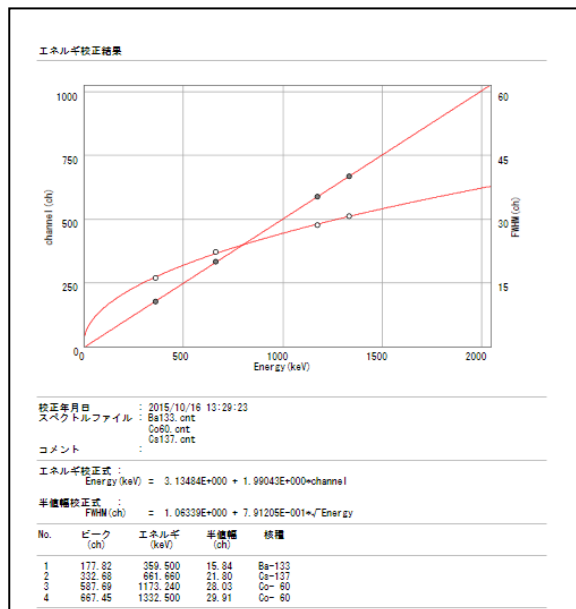


復帰：削除データ一覧のデータを選択して「復帰」をクリックする。復帰後は直ちに再校正され、また復帰したデータは削除データ一覧から除かれる。

- ✓ 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。

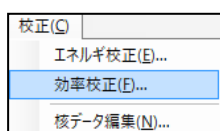


○終了：「エネルギー校正」を終了して起動画面に戻る。

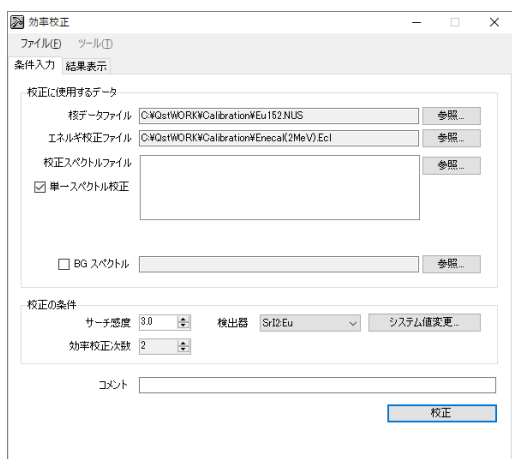
2.3 効率校正

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、ここでは全検出器の合算スペクトルを使用する。

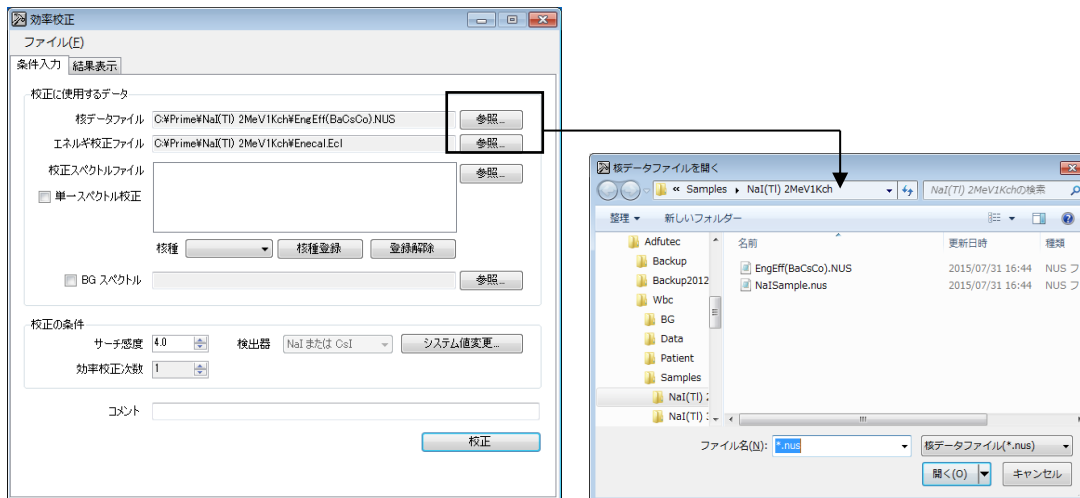
①メニュー「校正／効率校正」を実行する。



下記の効率校正ソフトウェアが起動する。



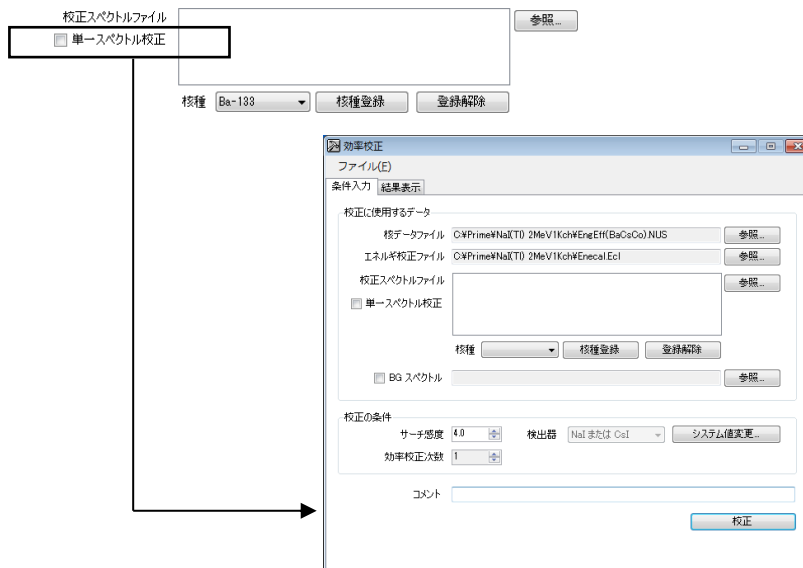
②効率校正に使用する核データファイルとエネルギー校正ファイルを「参照」で選択する。
 なお、予め、核データファイルには使用する核種の検定強度、検定日を登録しておく。



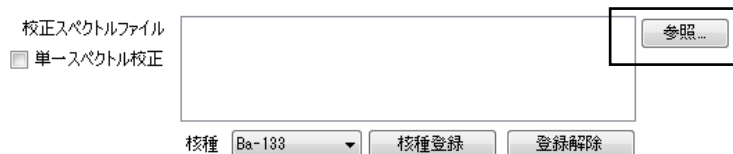
効率校正に使用するスペクトルは核種／線源によって次の3タイプがある。

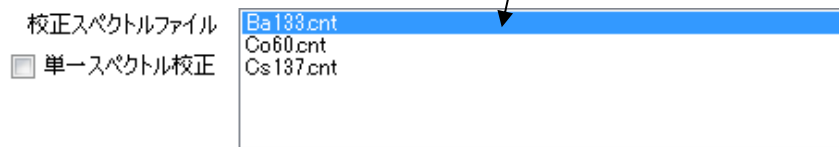
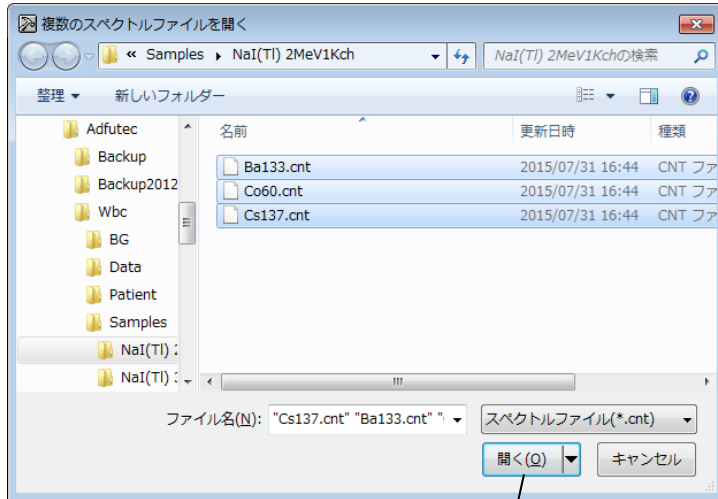
タイプ1：単一核種毎の線源を個別測定し、複数のスペクトルで効率校正するもの

✓ 「単一スペクトル校正」を (チェックなし)にする。



✓ 校正スペクトルファイルを「参照」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。



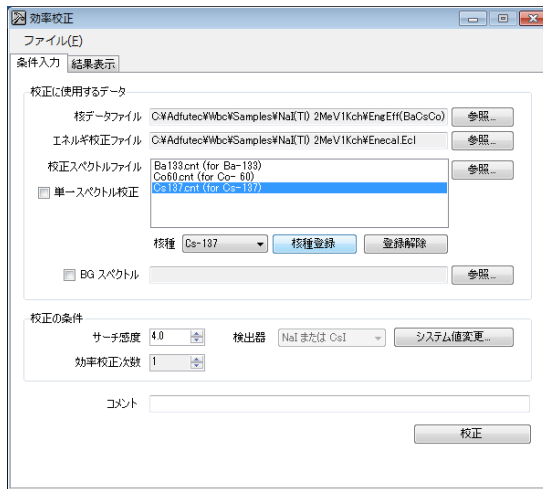
核データファイルを選択すると核種がコンボボックスで選択できる。核種を選択後、「核種登録」をクリックして校正スペクトルに対応させる。

※参照した全ての校正スペクトルに対する対応付けを行う。

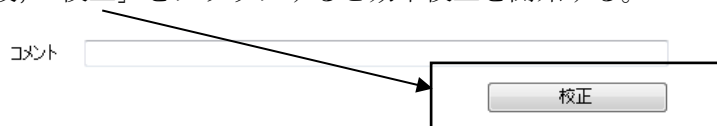
全ての校正スペクトルに対応する対応付けが完了しない状態で「校正」を実行すると、以下の確認メッセージが出力される。



- ✓ 「OK」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。

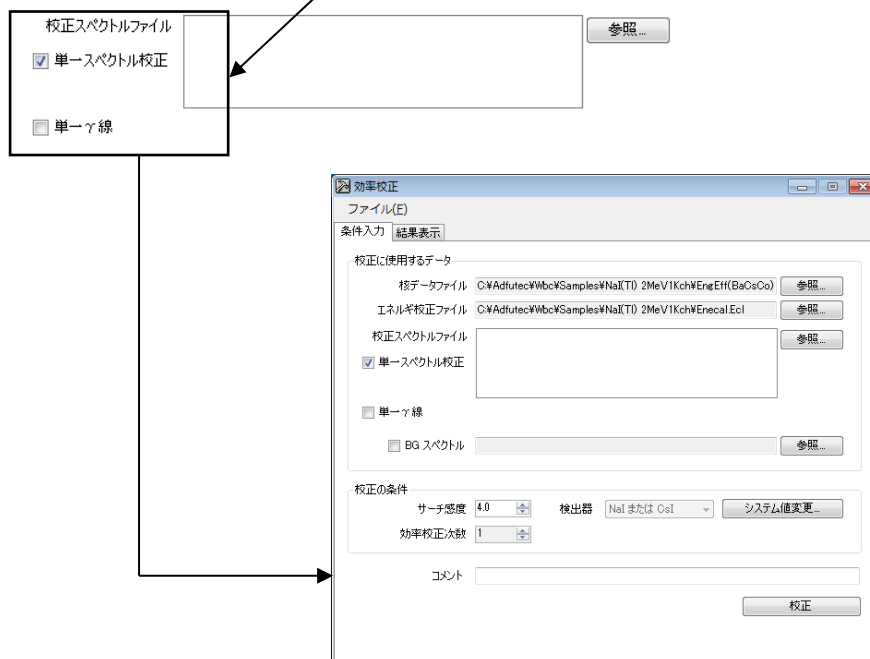


- ✓ 校正の条件として、サーチ感度 (2.5~20.0)、効率校正次数 (1 or 2)、またスペクトル処理の詳細な条件は「システム値変更...」で行う。
※「システム値変更...」は「設定」メニュー、「核種分析条件設定」を参照する。
- ✓ 条件入力後、「校正」をクリックすると効率校正を開始する。

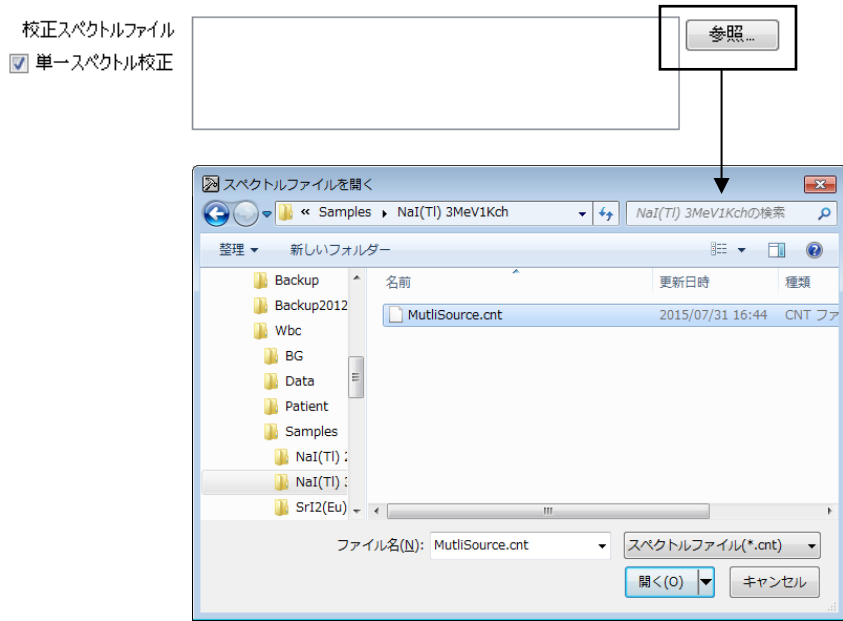


タイプ2: 1つの線源に複数核種 (Ba-133 + Cs-137 + Co-60 等) が含まれており、1本のスペクトルだけで効率校正するもの

- ✓ 「単一スペクトル校正」を (チェックあり)に切り換える。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を「参照」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」は行わない。

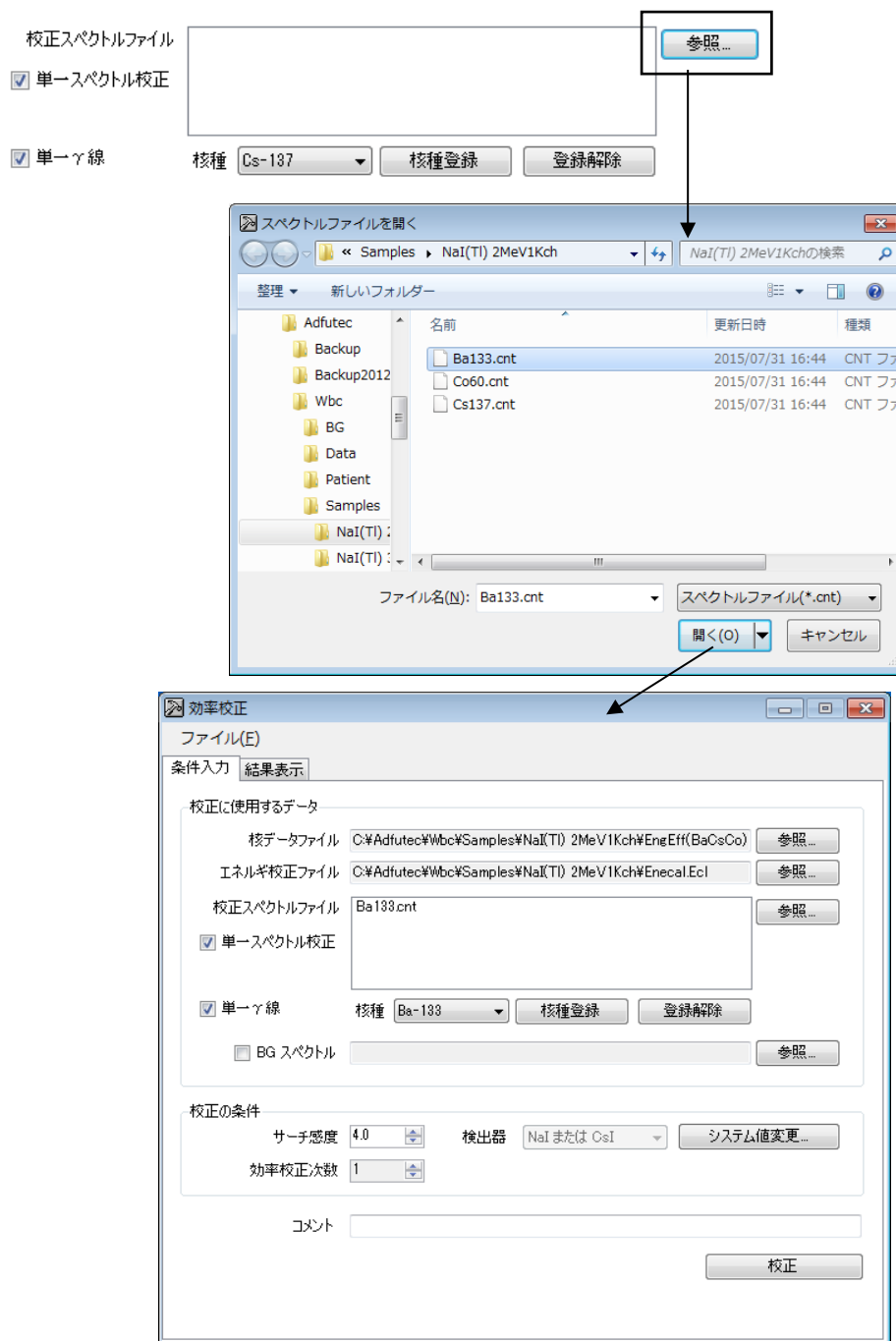
- ✓ タイプ 1 同様にサーチ感度等の校正の条件を設定して、効率校正を開始する。

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。

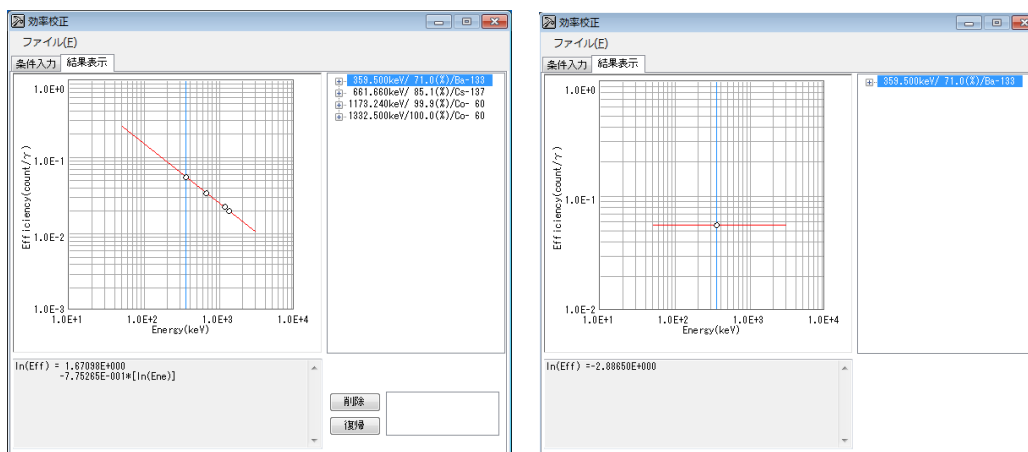


- ✓ 校正スペクトルファイルを「参照」する（複数選択可能）。



- ✓ 校正スペクトル中の核種の指定手順はタイプ 1 と同じなのでタイプ 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、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。

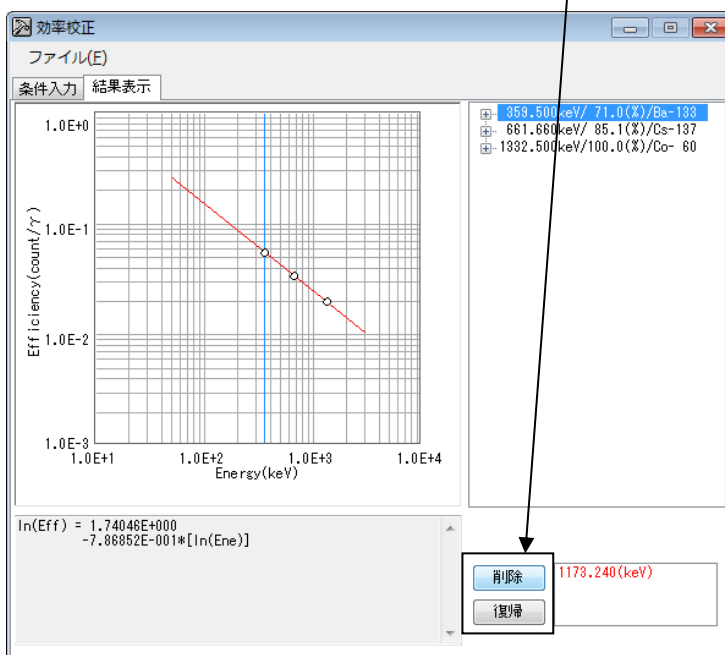


タイプ 1,2 : 複数 γ 線による効率校正結果 タイプ 3 : 1 本の γ 線による効率校正結果

タイプ 1, タイプ 2 の場合は必要に応じて、効率校正に使用したデータを「削除」、削除したデータ「復帰」できる。

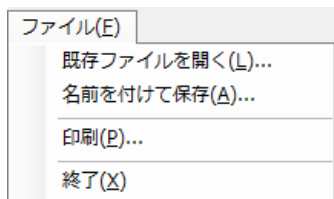
※効率データが 1 点しかないタイプ 3 は「削除」「復帰」できない。

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」をクリックすると直ちに再校正され、削除したデータは削除データ一覧に登録される。

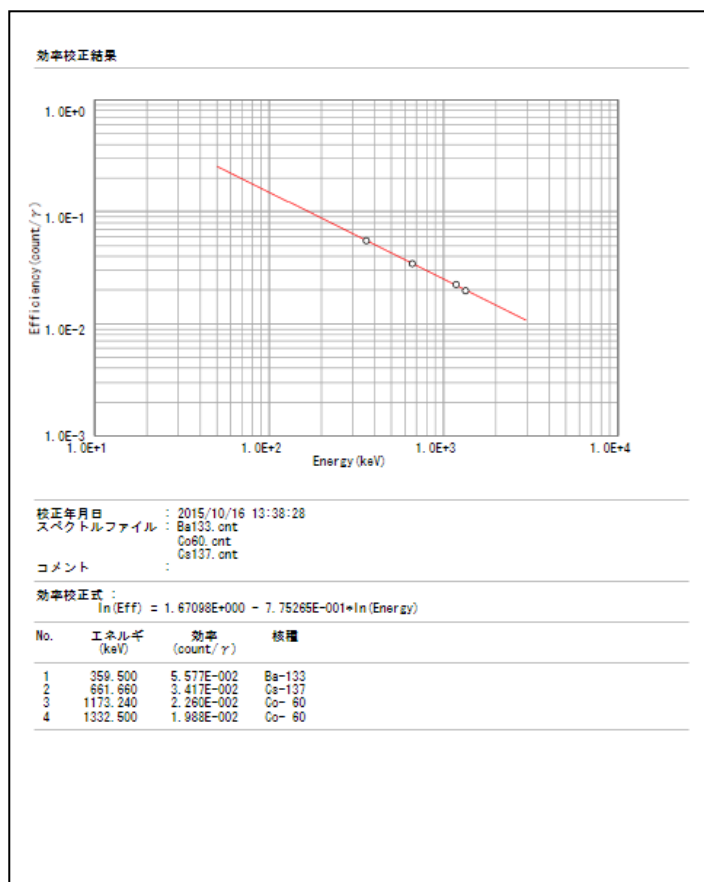


復帰 : 削除データ一覧のデータを選択して「復帰」をクリックすると直ちに再校正され、また復帰したデータは削除データ一覧から除かれる。

- ✓ 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。

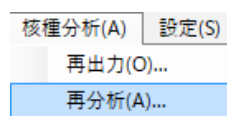


- 終了：「効率校正」を終了して起動画面に戻る。

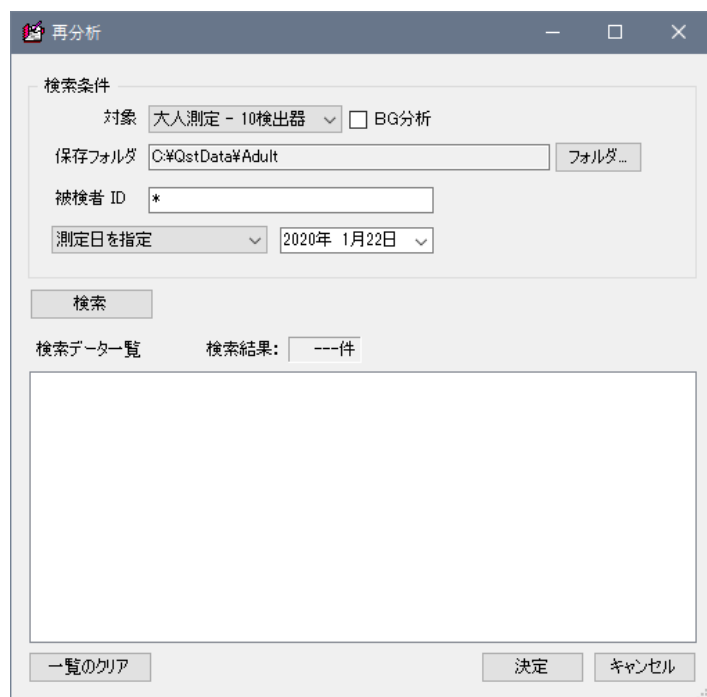
2.4 再分析

測定済みの被検者スペクトルを再分析する。

①メニュー「核種分析／再分析」を実行する。



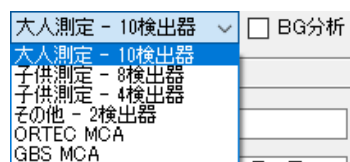
再分析対象を指定する画面が起動する。



②検索条件を指定する。

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 : 測定系を選択する。



BG 分析をチェック () 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、測定系毎のフォルダが切り替わる。「フォルダ..」で変更できる。

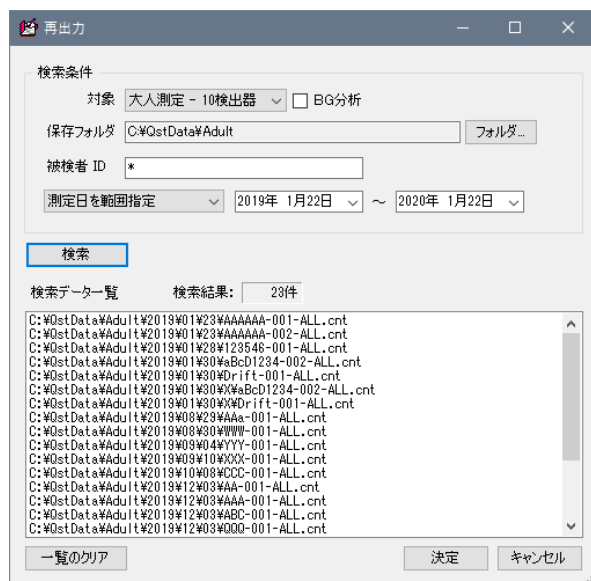
被検者 ID : 被検者識別の ID を入力する (起動時の初期表示は常に '*')。

※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。※測定日は範囲入力できる。

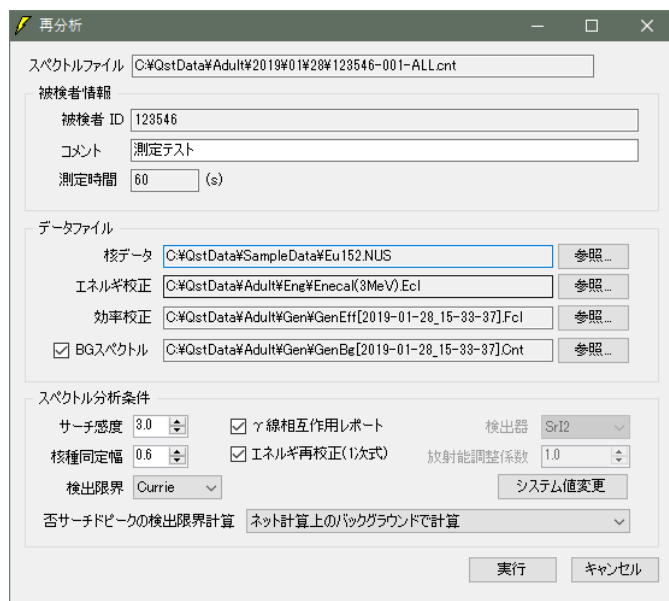
③以上の検索条件を入力して「検索」で条件に合う被検者データを検索する。
 検索条件に合致する測定データがある場合は一覧表示される。



上記は、「大人測定」、「測定日が 2019/01/22~2020/01/22」の条件で検索した結果である。
 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。

④一覧から測定データを選択し、「決定」で次の条件入力に進む。

測定データを選択、「決定」すると被検者情報、条件設定画面が起動する。

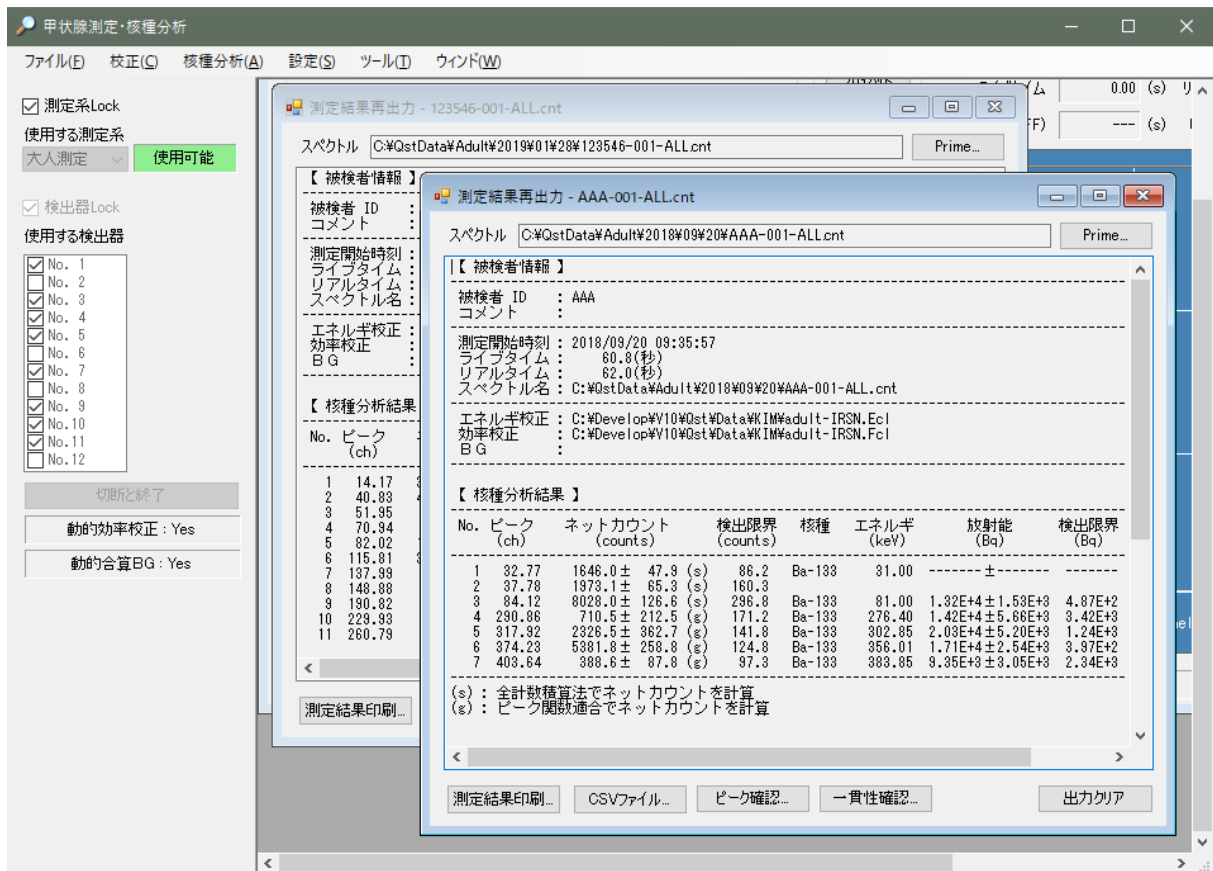


⑤スペクトルファイル、被検者 ID と測定時間を除いた全ての項目が変更可能で、必要に応じて再設定し、「実行」で再分析する。なお、前回の核種分析結果は今回の核種分析結果によって上書きされるので、必要ならコピー等によってバックアップを行う。

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。



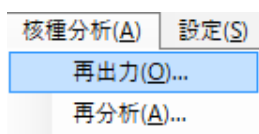
なお、再分析結果は別ウィンドウのため、複数の結果を並べて表示できる。



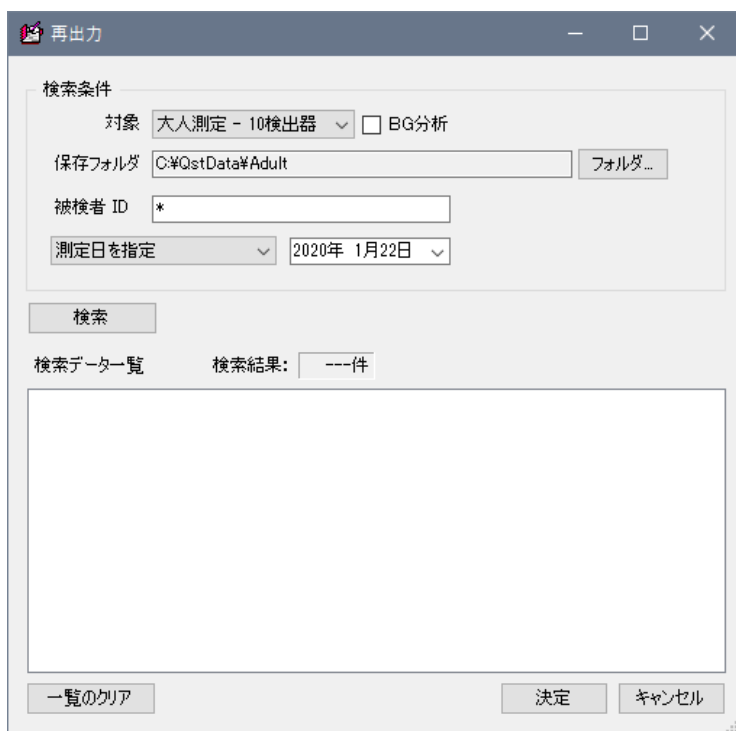
2.6 再出力

測定済みの被検者測定結果を再出力する。

①メニュー「核種分析／再出力」を実行する。

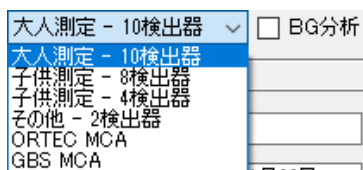


再出力対象を指定する画面が起動する。



②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 : 測定系を選択する。



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...」で変更できる。

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 '*'）。

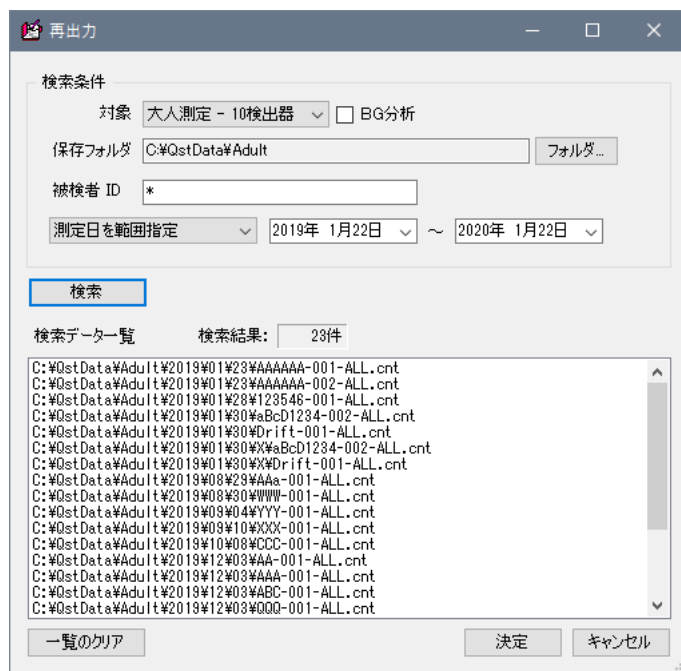
※ワイルドカード'*', '?' が使用できる。

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できる。

③②での検索条件で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。



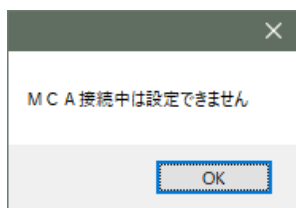
④一覧から測定データを選択し、「決定」で再出力する。

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、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できる。



2.6 設定

本ソフトウェアの設定を行う。設定は MCA と切断状態で行う。接続中に設定しようとするると以下のメッセージが出力される。



設定項目は以下の通りである。

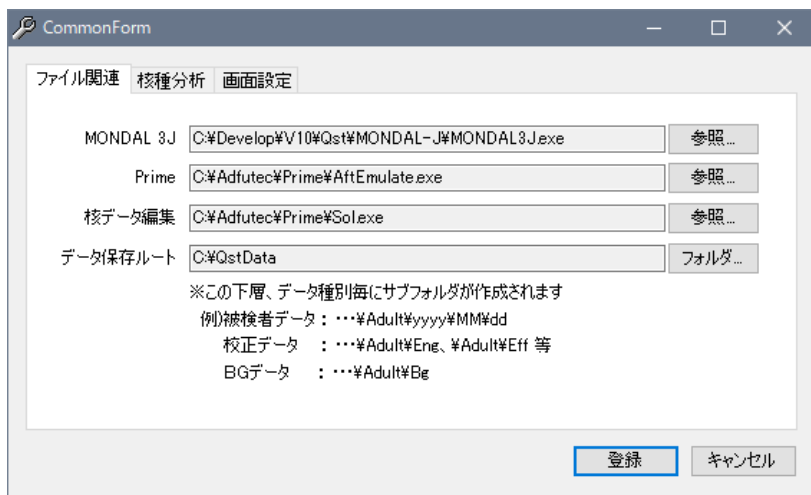
- 全ての測定系で共通の設定
- 「大人測定-10 検出器」専用の設定（一般用測定系）
- 「子供測定-8 検出器」専用の設定（子供用測定系）
- 「子供測定-4 検出器」専用の設定（乳幼児用測定系）
- 「その他-2 検出器」専用の設定
- 「ORTEC MCA」専用の設定
- 「GBS MCA」専用の設定

① 共通の設定

メニュー「設定／共通」を実行する。



次の画面が表示される。



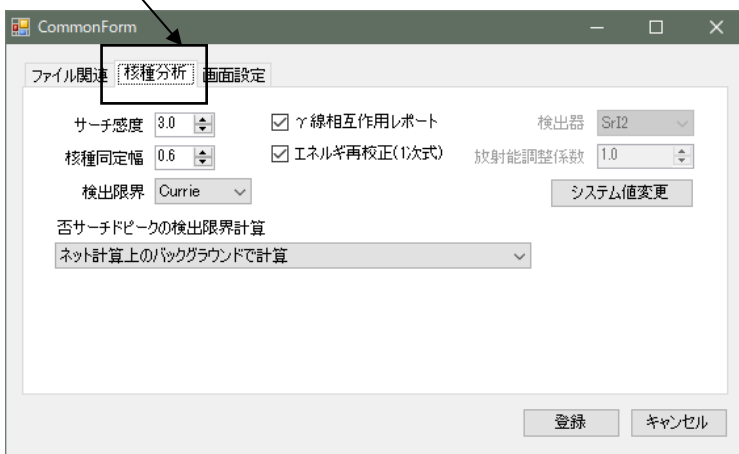
「ファイル関連」

- MONDAL 3J : MONDAL 3J を「参照」で指定する。
- Prime : Prime を「参照」で指定する。
- 核データ編集ソフトウェア : Prime 附属の核データ編集ソフトウェアを「参照」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
---- XXXXX 測定系キーワード
---- yyyy yyyy 年の被検者データフォルダ(この下層に MM¥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
保存フォルダ, 測定系キーワード 「 XXXXX 」は,
・「大人測定-10 検出器」 ... Adult
・「子供測定-8 検出器」 ... Child
・「子供測定-4 検出器」 ... Child4
・「その他-2 検出器」 ... Other
・「ORTEC MCA」 ... ORTEC
・「GBS MCA」 ... GBS
である。

「核種分析」



- 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。しかし本ソフトウェアは 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。本ソフトウェアでは 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」をクリックする。

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

系統的な不確かさを加味

系統的な不確かさ 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 midpoint 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。

アンチェック()すると、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、本ソフトウェアは棄却限界、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する(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。

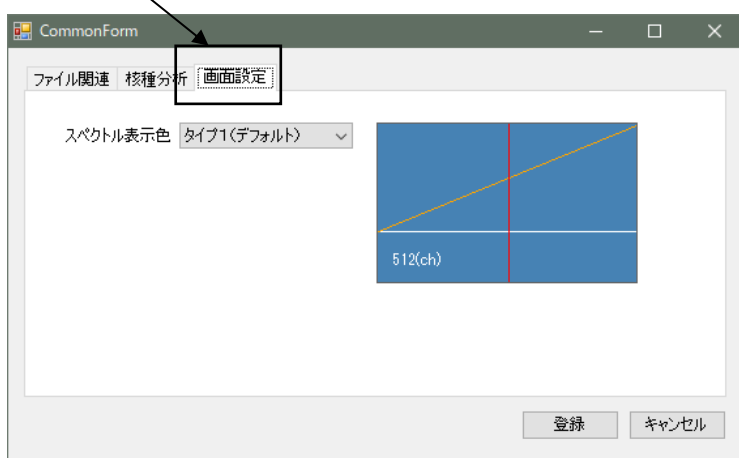
例) 放射能測定で得られた不確かさ = 15%

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」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。

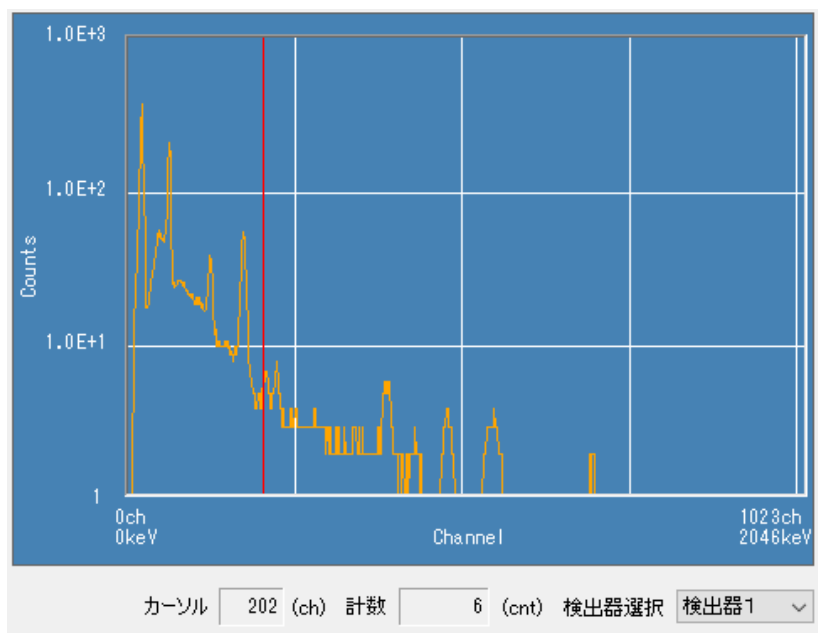
「画面設定」



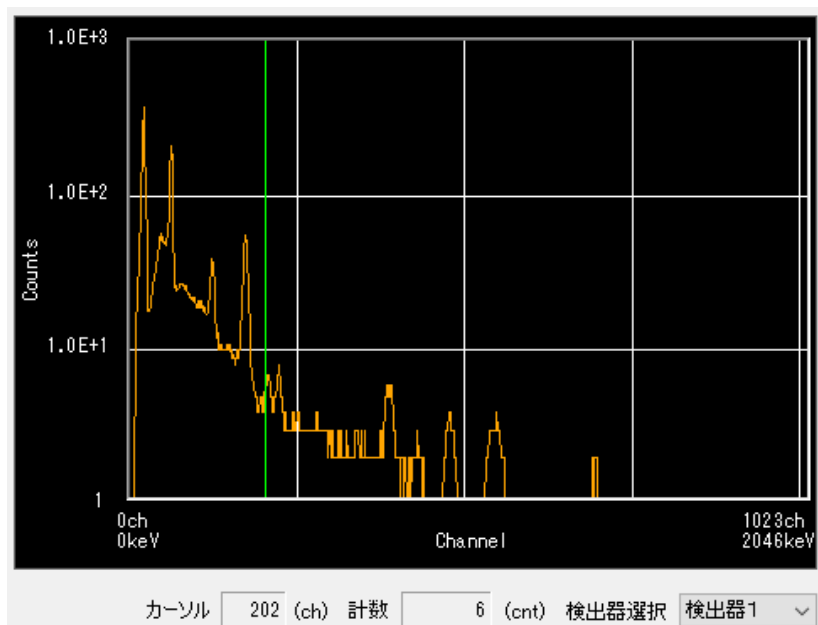
・スペクトル表示色

画面中のスペクトル表示色を選択する。

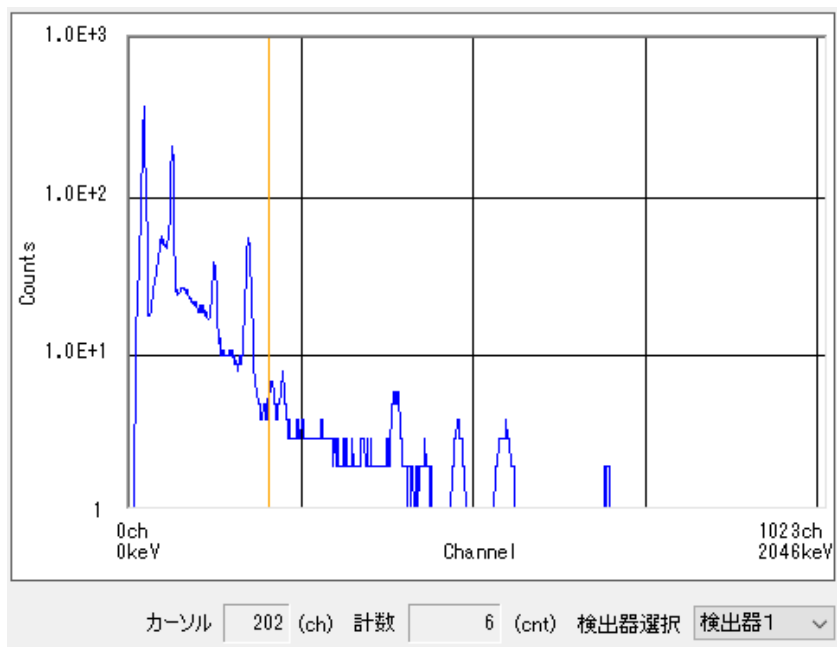
タイプ1：背景色=青，スペクトル色=橙，軸スケール値の表示色=白，カーソル色=赤



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

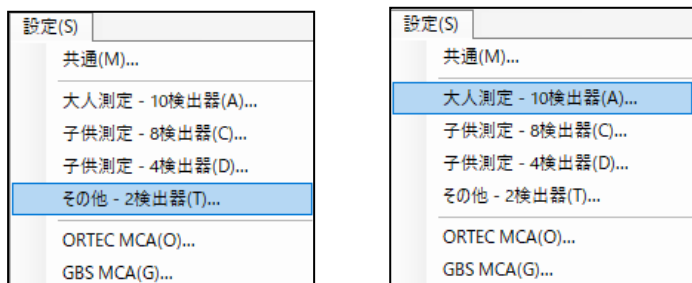


「登録」で、入力した設定値を保存して通常画面に戻り、「キャンセル」で、入力した設定値を破棄して通常画面に戻る。

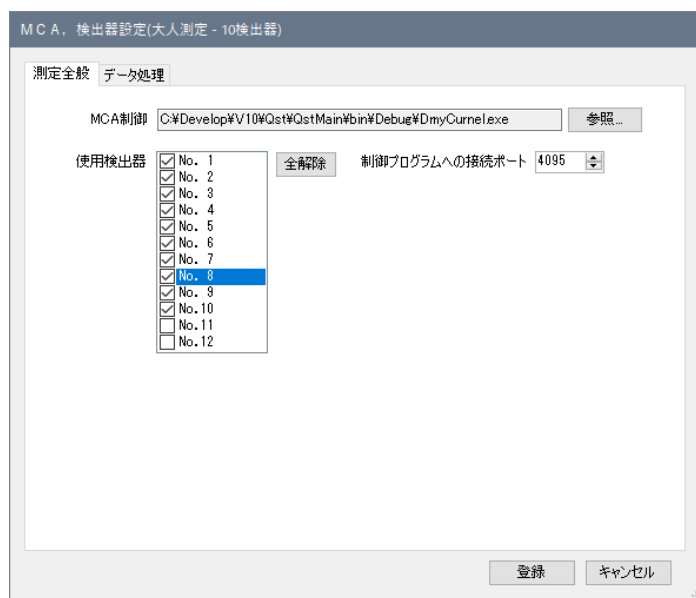
② 大人測定-10 検出器（一般用測定系），その他-2 検出器

※両測定系は共に MCA : 80416 を使用する。検出器の指定数のみ異なる。

メニュー「設定／大人測定-10 検出器」または「設定／その他-2 検出器」を実行する。



次の画面が起動する（画面は「大人測定-10 検出器」）。



MCA 制御：下記の実行ファイルを「参照...」で指定する。

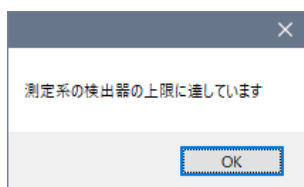
※C:\Program Files (x86)\CP¥80416.EXE

制御ソフトウェアへの接続ポート：MCA 制御ソフトウェアと通信するためのポート番号を指定する。もし、本ソフトウェア側だけ設定変更した場合は MCA 制御できなくなる。

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必要がある。

使用検出器：測定に使用する検出器をチェックボックスで指定する。「全解除」機能が有効。

※測定系毎に指定できる検出器数の上限を超過すると確認メッセージが出力される。



「データ処理」で、測定に使用するデータファイルを指定する。
この画面は「大人測定 - 10 検出器」の場合である。



測定系固有の情報を指定する。

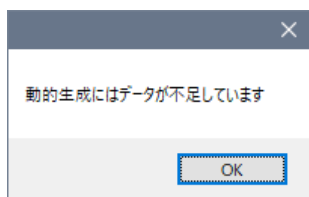
- ・核データ : 核種分析に使用する核データファイル(.Nus)を「参照...」で指定する
- ・エネルギー校正 : 測定系のエネルギー校正ファイル(.Ecl)を「参照...」で指定する
- ・効率校正 : 測定系の効率校正ファイル(.Fcl)を「参照...」で指定する
- ・BG スペクトル : バックグラウンドピーク補正用の BG スペクトルを指定する。
※エネルギー校正, 効率校正, BG スペクトルは何れも通常の検出器数(=10 or 2)で作成されているものとする。

「大人測定-10 検出器」の通常の検出器数は 10 個だが、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、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。(例:No.1～No.10)。

必要数 (=指定した検出器数) に満たない場合はメッセージが出力される。



動的な効率校正／校正用核データ：

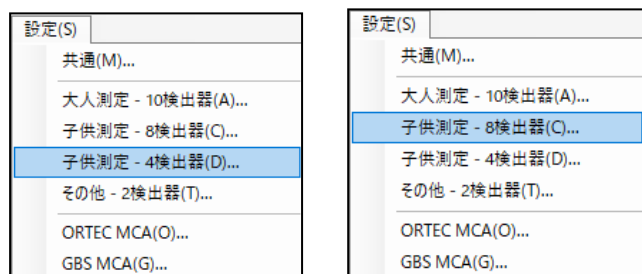
先に指定した効率校正で使用した核データファイル(.Nus)を指定する。

「登録」で保存して、「キャンセル」で入力値を破棄して元の画面に戻る。

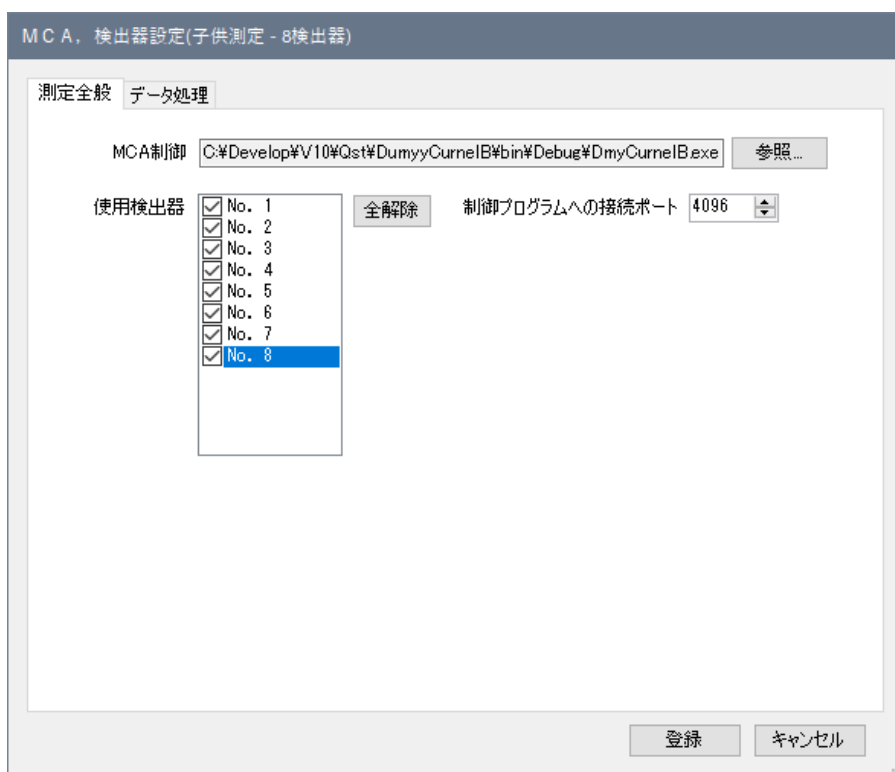
③子供測定-8 検出器（子供用測定系）、子供測定-4 検出器（乳幼児用測定系）

子供用測定系は MCA 80406 を使用する。検出器の指定数のみ異なる。

メニュー「設定／子供測定-8 検出器」または「設定／子供測定-4 検出器」を実行する。



次の画面が起動する（画面は「子供測定-8 検出器」の場合）。



MCA 制御：下記の実行ファイルを「参照...」で指定する。

※C:\Program Files (x86)\CP¥80406.EXE

制御ソフトウェアへの接続ポート：MCA 制御ソフトウェアと通信するためのポート番号を指定する。もし、本ソフトウェア側だけ設定変更した場合は MCA 制御できなくなる。

これら 2 つの設定は大人測定-10 検出器，その他-2 検出器と重複しないように設定する必要がある。これ以降の操作は「大人測定 - 10 検出器」，「その他-2 検出器」と同様である。

④ORTEC MCA

メニュー「設定／ORTEC MCA」を実行する。



次の画面が起動する。



MCA 制御：ORTEC 社製 MCA(digiBASE)を制御するための，制御ソフトウェアを「参照...」で指定する。

※C:\Adfutec\Qst\MSR\OrtecCurnel.EXE

検出器名：ORTEC 社製 MCA 検出ソフトウェア(*)で検出，登録する ORTEC 社 MCA の名称を入力する。

(*)C:\Program Files (x86)\Common Files\ORTEC Shared\UMCBI\mcbCon32.EXE

ソフトウェアの操作方法は ORTEC 社 A11-BW の取扱説明書を参照する。

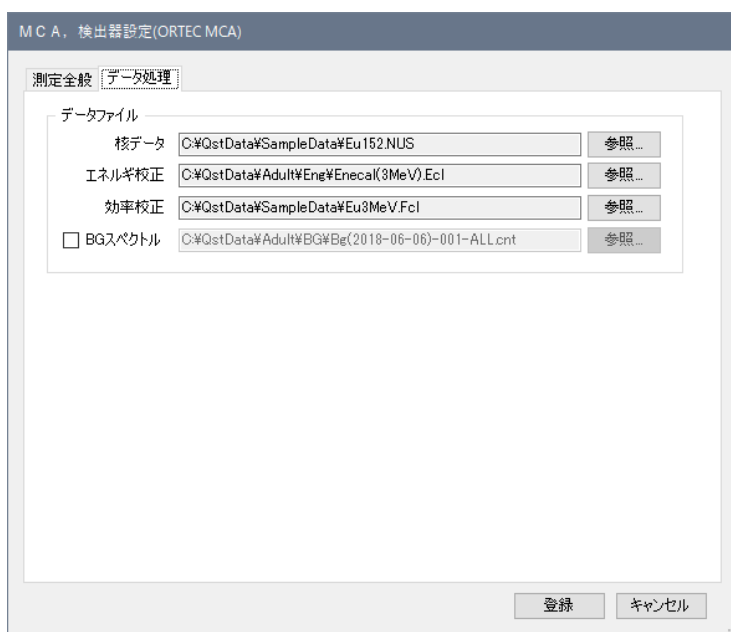
制御ソフトウェアへの接続ポート：

本ソフトウェアと通信するためのポート番号を指定する。

- 設定 : 前回の設定値が表示される。
HV(V) : 定格値を入力する
Fine Gain : 0.4～1.2 の範囲で設定する
Shaping Time(μs) : 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00 から選択する
LLD : 0～の値を設定する
ULD : ～1023 の値を設定する

詳しい内容は ORTEC 社 MCA の取扱説明書を参照する。

「データ処理」で、測定に使用するデータファイルを指定する。



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「参照...」で指定する
- ・エネルギー校正 : 測定系のエネルギー校正ファイル(.Ecl)を「参照...」で指定する
- ・効率校正 : 測定系の効率校正ファイル(.Fcl)を「参照...」で指定する
- ・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。

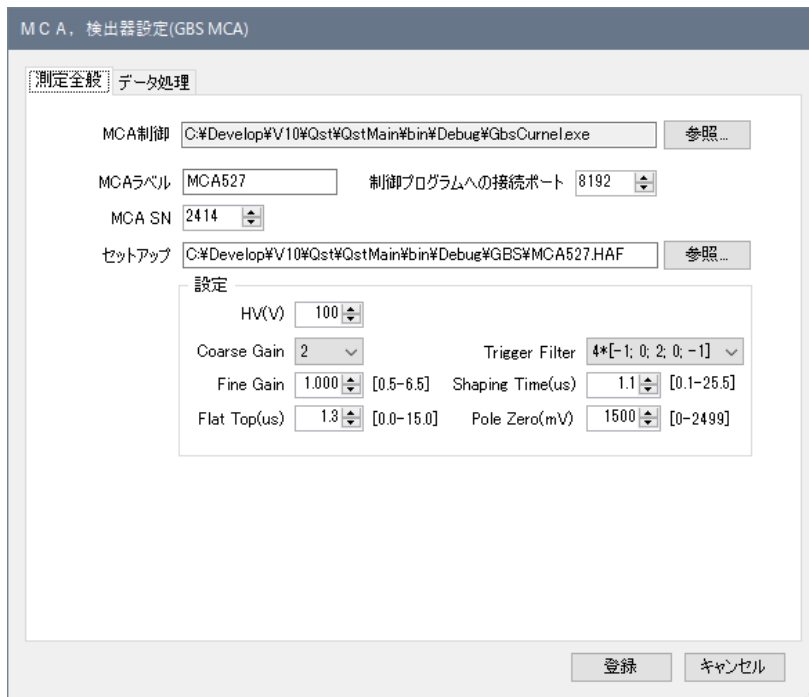
「登録」で保存して、「キャンセル」で入力値を破棄して元の画面に戻る。

⑤ GBS MCA

メニュー「設定／GBS MCA」を実行する。



次の画面が起動する。



MCA 制御 : GBS 社製 MCA(MCA527)を制御するための、制御ソフトウェアを「参照...」で指定する。※C:\¥Adfute¥QstMSR¥GbsCurnel.EXE

MCA ラベル : GBS 社製 MCA の名称を登録する(任意名)。

MCA SN : GBS 社製 MCA のシリアル番号を指定する。

制御ソフトウェアへの接続ポート

: 本ソフトウェアと通信するためのポート番号を指定する。

設定 : 前回の設定値が表示される。

HV(V) : 定格値を入力する

Coarse Gain : 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 から選択する

Fine Gain : 0.5～6.5 の範囲で設定する

Trigger Filter : 「-1;0;2;0;-1」, 4* 「-1;0;2;0;-1」 から選択する

Shaping Time(ms) : 0.1～25.5 の範囲で設定する

Flat Top : 0.0～15.0 の範囲で設定する

Pole Zero : 0～2499 の範囲で設定する

詳しい内容は GBS 社 MCA の取扱説明書を参照する。

タブ「データ処理」で、測定に使用するデータファイルを指定する。

The screenshot shows a software window titled "MCA, 検出器設定(GBS MCA)". Inside, there is a tabbed interface with "測定全般" and "データ処理" tabs. The "データ処理" tab is active and contains a section titled "データファイル". This section has four rows, each with a label, a text input field containing a file path, and a "参照..." button. The rows are: "核データ" with path "C:\QstData\SampleData\Eu152.NUS"; "エネルギー校正" with path "C:\QstData\Adult\Eng\Eneca(3MeV).Ecl"; "効率校正" with path "C:\QstData\SampleData\Eu3MeV.Fcl"; and "BGスペクトル" with path "C:\QstData\Adult\BG\Bg(2018-06-06)-001-ALL.cnt". There is an unchecked checkbox to the left of the "BGスペクトル" row. At the bottom of the window, there are two buttons: "登録" and "キャンセル".

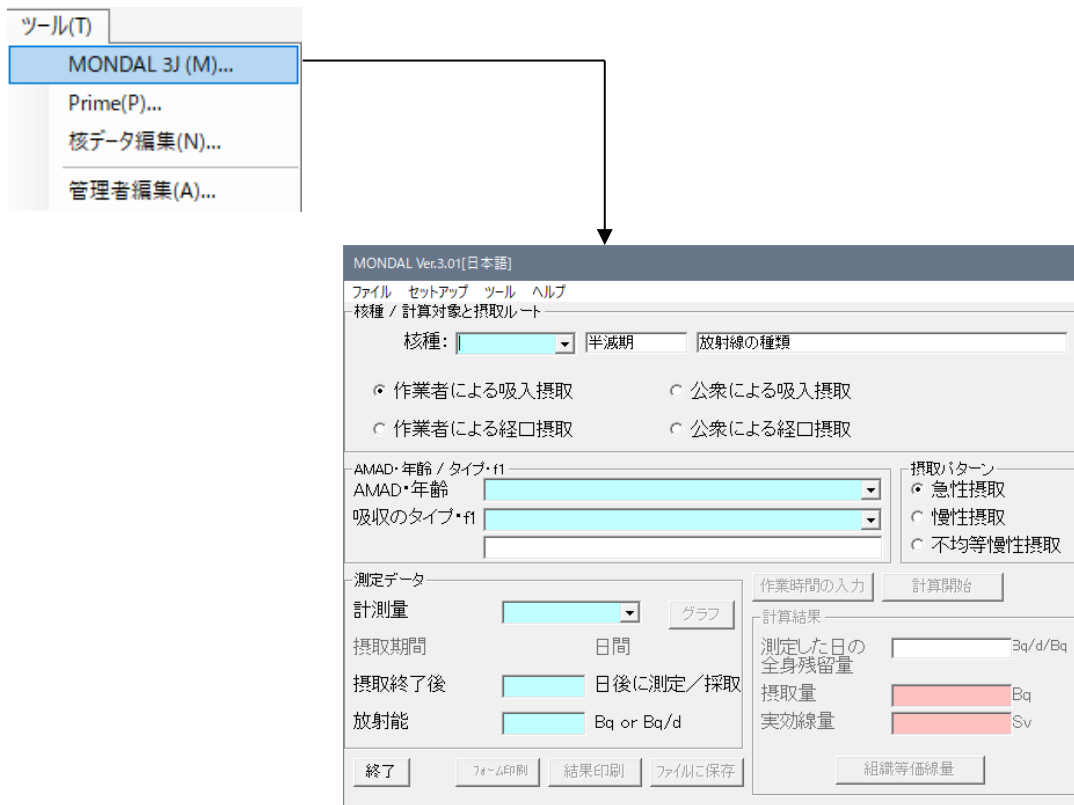
測定系固有の情報を指定する。

- ・核データ : 核種分析に使用する核データファイル(.Nus)を「参照...」で指定する
- ・エネルギー校正 : 測定系のエネルギー校正ファイル(.Ecl)を「参照...」で指定する
- ・効率校正 : 測定系の効率校正ファイル(.Fcl)を「参照...」で指定する
- ・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。

「登録」で保存して、「キャンセル」で入力値を破棄して元の画面に戻る。

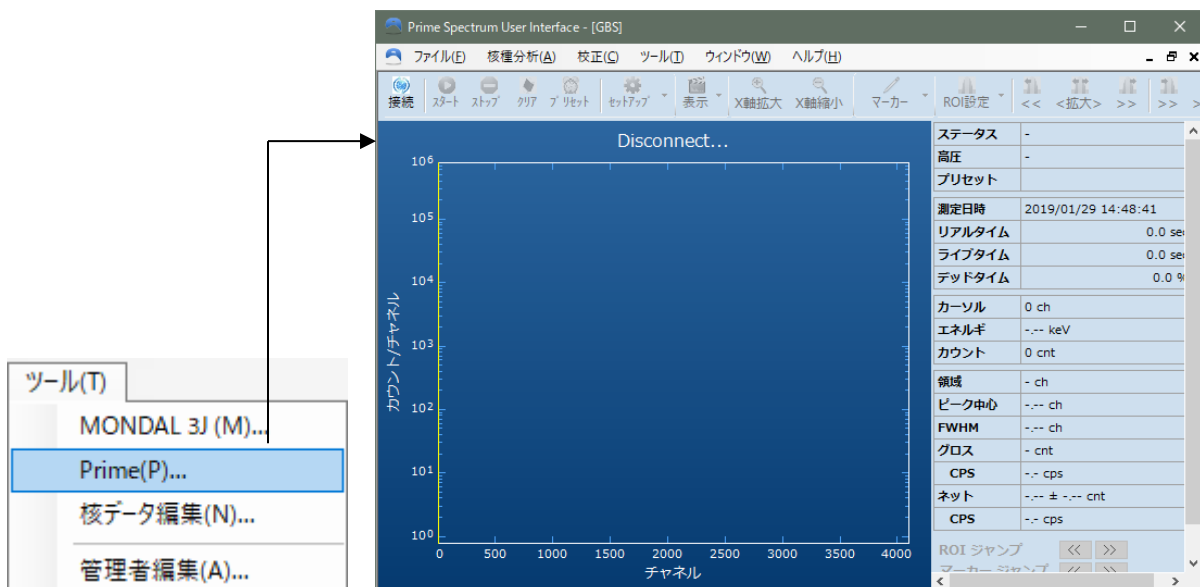
2.7 ツール

①メニュー「ツール／MONDAL-3J」で、MONDAL が起動する。



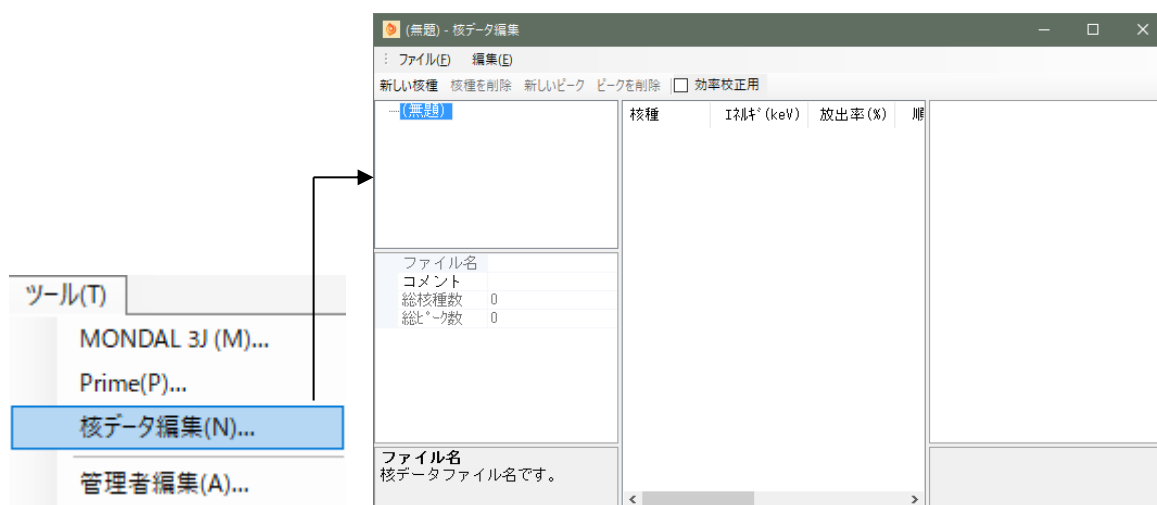
MONDAL の操作方法は MONDAL の取扱説明書を参照する。

②メニュー「ツール／Prime」で、Prime が起動する。



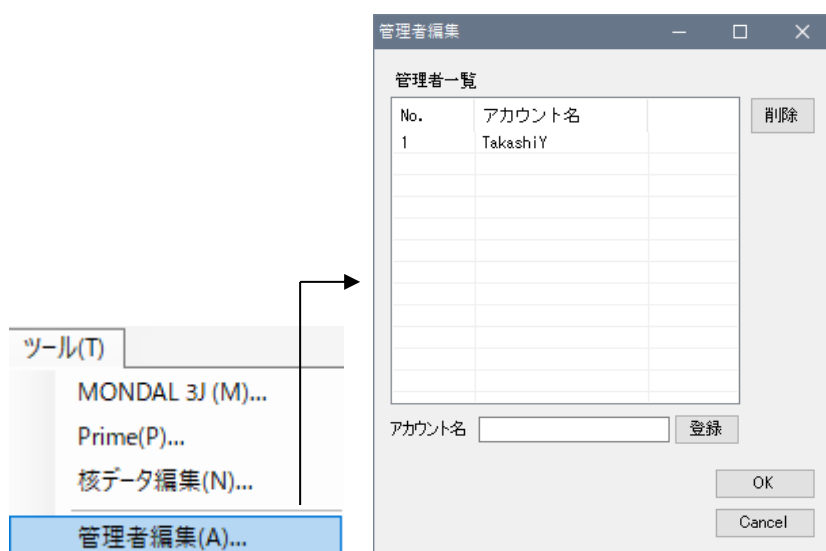
Prime の操作方法は Prime の取扱説明書を参照する。

③メニュー「ツール／核データ編集」で、標準ソフトウェア 核データ編集が起動する。



操作方法は Prime の核データ編集ソフトウェアの取扱説明書を参照する。

④メニュー「ツール／管理者編集」で、本ソフトウェアの管理者編集機能が起動する。



ここで事前に「管理者」の Login アカウント名を登録して置く。

登録された管理者は本ソフトウェアの全ての機能が使用できるが、それ以外のアカウントで Login したユーザは「現場担当者」としてルーチンモードでの使用となり、通常の測定は実行可能だが、各種校正や MCA 設定が制限される。

アカウント名 : Login アカウント名を入力する

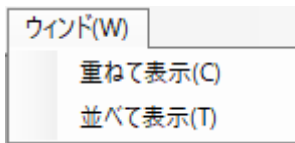
「登録」 : 入力したアカウントを管理者として登録する。

「OK」 : 管理者情報を登録して元の画面に戻る

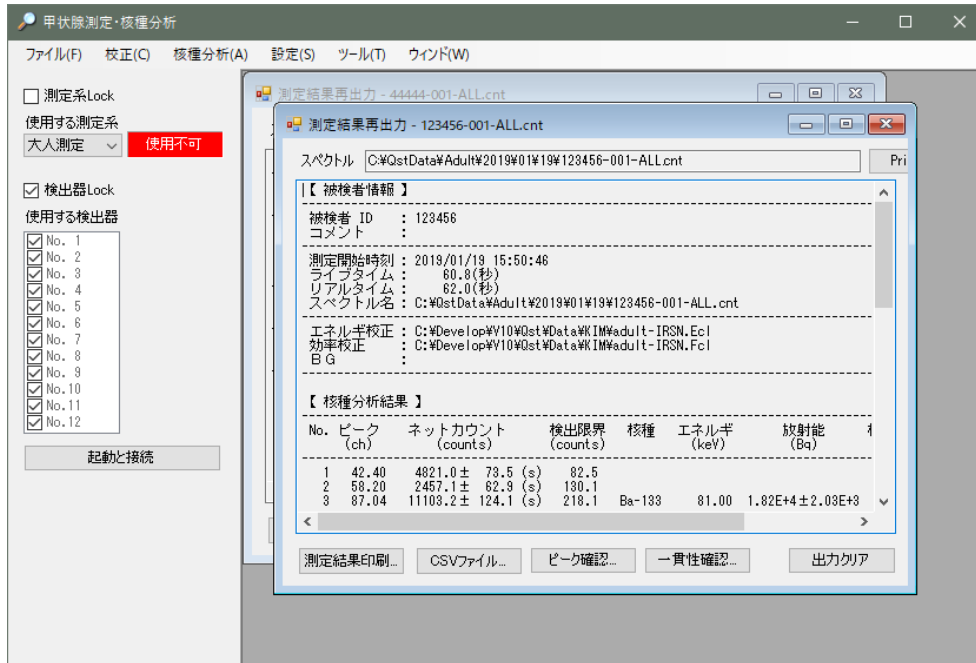
「Cancel」 : 入力した管理者情報を破棄して元の画面に戻る

2.8 ウィンド

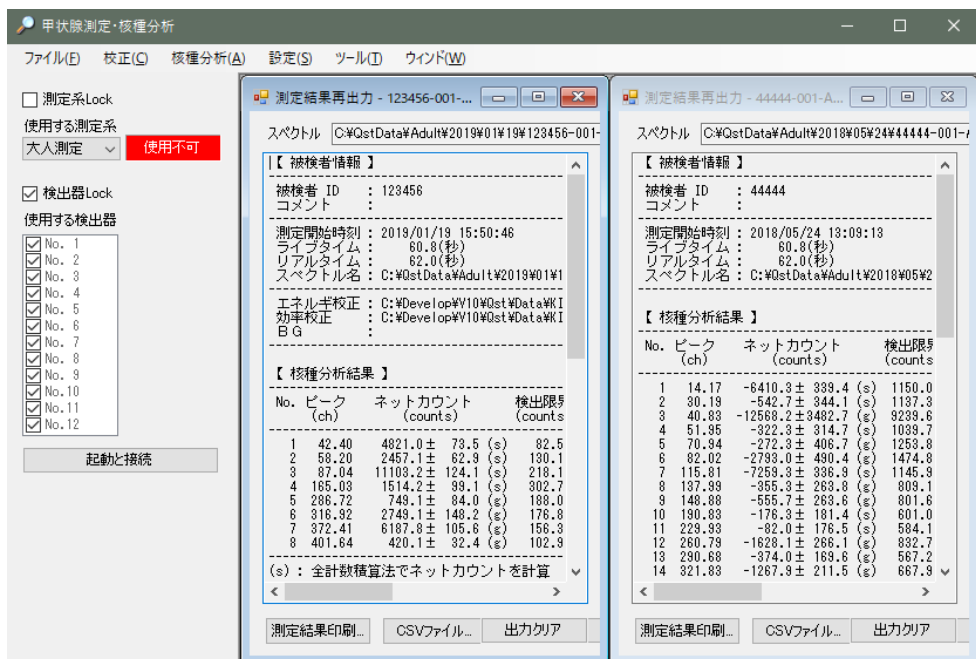
本ソフトウェアは複数のウィンド表示が可能な MDI (MultiDocument Interface) で、複数の Window を同時表示している場合は整列表示できる。



重ねて表示



並べて表示



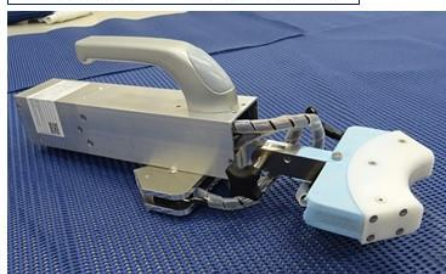
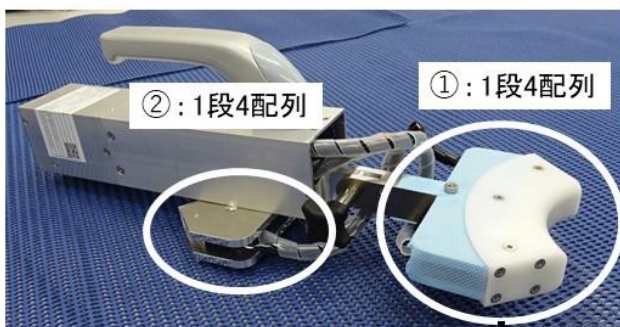
新甲状腺モニタ簡易使用法



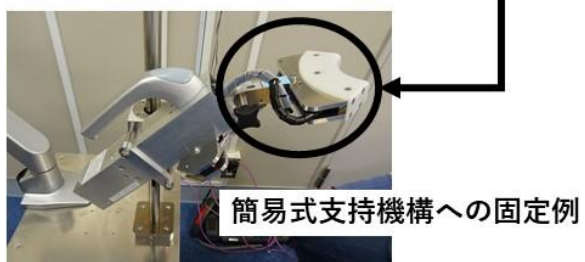
新甲状腺モニタ: 子供(乳幼児)用

子供検査時、測定対象の年齢に合わせて設定

乳幼児用 ⇒ ① 1段4配列



子供用 ⇒ ①+② 2段4配列



新甲状腺モニタ: 一般用



2段5配列



アーム式支持機構への固定例

測定対象：一般用（中高生以上）



新甲状腺モニタ一式



制御用パソコン

接続用
USBケーブル
(mini-B type)

新甲状腺モニタ



新甲状腺モニタ簡易使用法

1. 制御用パソコンと新甲状腺モニタを接続用USBケーブルでつなぐ。



①USB(A)オスを制御用パソコンのUSBポートに差し込む



②USB(mini-B)オスを甲状腺モニタの信号処理ユニットのUSBポートに差し込む



新甲状腺モニタ簡易使用法

2. 新甲状腺モニタ制御用ソフトウェアを起動する。

- ディスプレイ上のアイコン、甲状腺モニタをダブルクリックする。



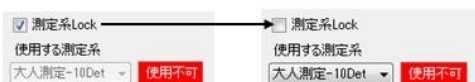
起動したソフトウェアのメイン画面



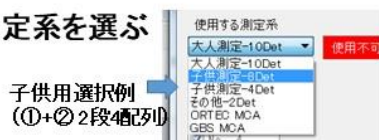
新甲状腺モニタ簡易使用法

3. 甲状腺モニタ制御用MCAを起動する。

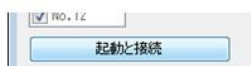
①測定系Lockを外す(アンチェック)



②使用する測定系を選ぶ



③起動と接続ボタンをクリックする



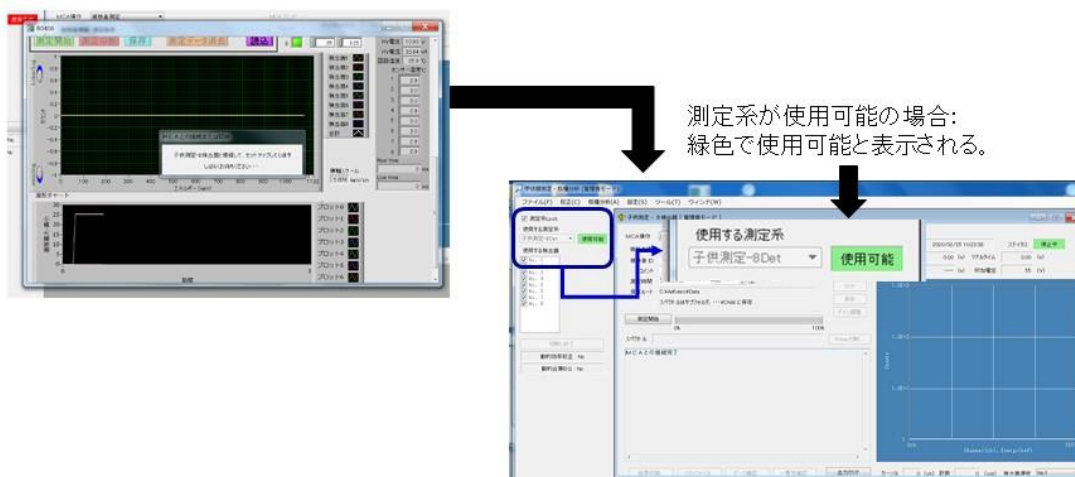
- MCA制御ソフトウェア(80406)が起動し、以降、測定が可能になる。なお、MCA起動後はインタロックが有効(“測定系Lock”と“検出器Lock”が☑)になり、使用する測定系の選択、起動と接続機能が無効になる。



新甲状腺モニタ簡易使用法

起動と接続ボタンをクリックすると

- MCA制御用ソフトウェア(80406又は80416)が起動される。



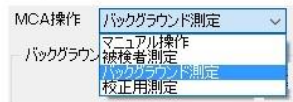
- 高圧印加後、しばらくの間は検出器の出力信号が不安定なため、信号が安定するまで**30分程度のウォームアップ時間を設ける。**



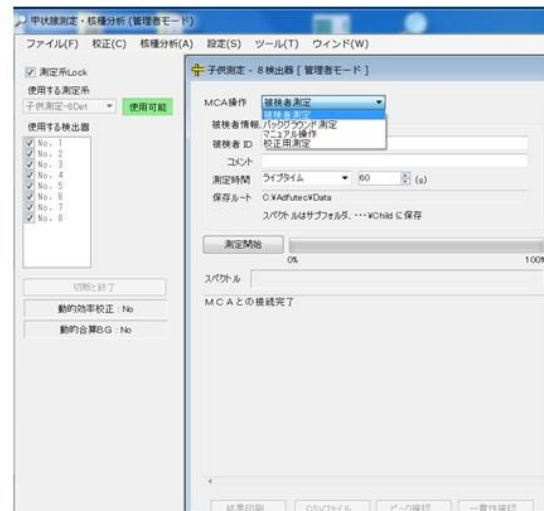
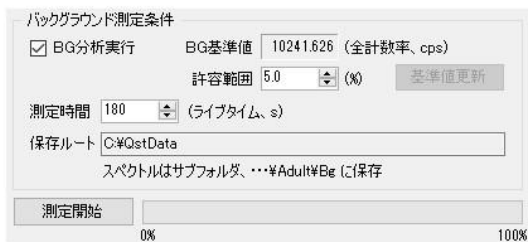
新甲状腺モニタ簡易使用法

4. バックグラウンド(BG)測定を行う。

①コンボボックス“MCA操作”で「バックグラウンド測定」を選択する



②バックグラウンド測定時間等を入力する。



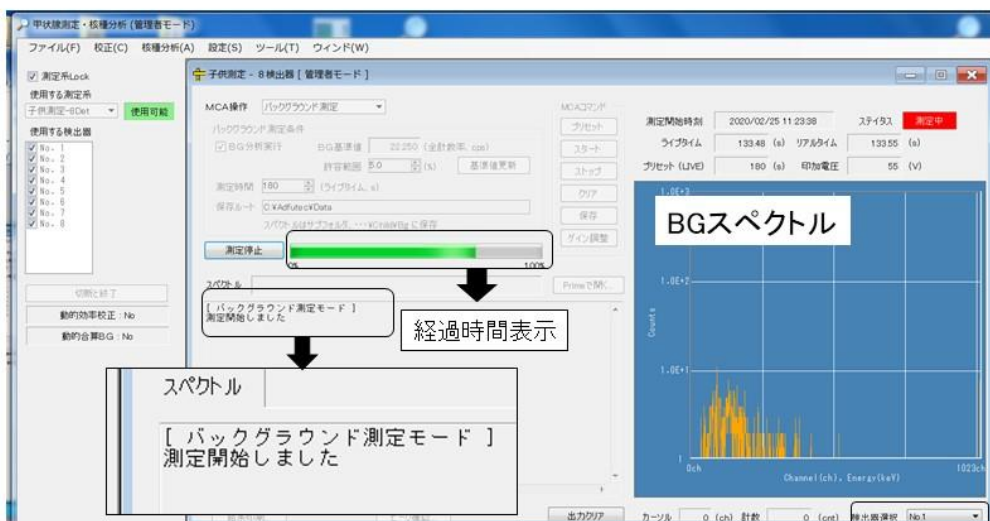
③「測定開始」ボタンを押して、測定開始する。



新甲状腺モニタ簡易使用法

BG測定を開始すると

- 下記のBG測定中画面が表示される。
- 測定中はソフトウェアの終了ができないため、ソフトウェアを終了したい場合は測定停止してからソフトウェアを終了すること。



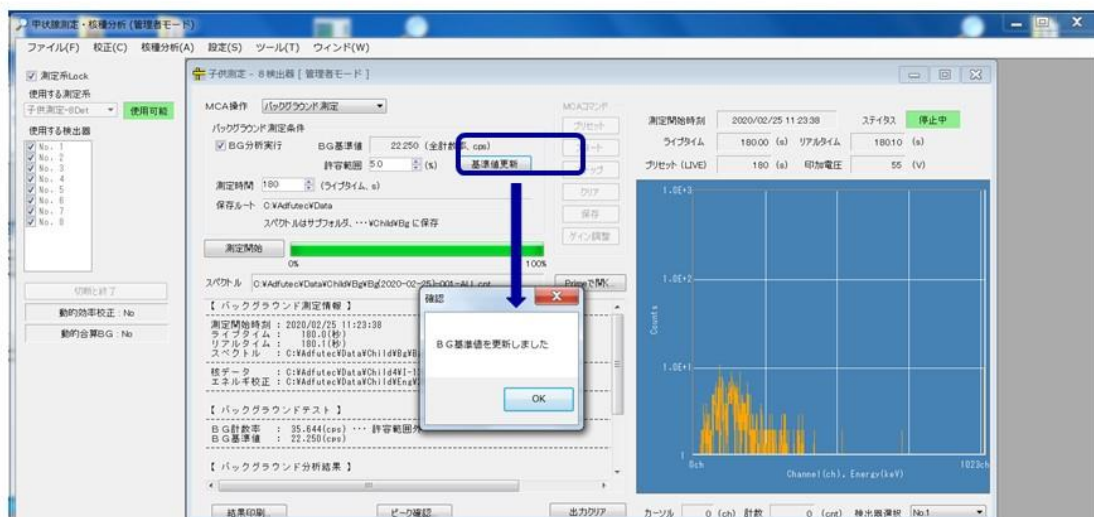
No.1 検出素子からのスペクトルを示す。検出器選択で「合算」を選ぶと8個の検出素子からのスペクトルが合算されたスペクトルが表示される。



新甲状腺モニタ簡易使用法

BG測定が終了すると

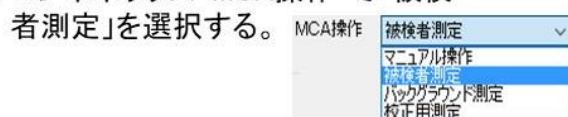
- 下記のBG終了後画面が表示される。
- BG測定結果を更新したい場合は、「基準値更新」ボタンをクリックする。



新甲状腺モニタ簡易使用法

5. 被検者の甲状腺測定を行う。

① コンボボックス“MCA操作”で「被検者測定」を選択する。



② 被検者測定の入力条件を入力する



- 被検者のIDは、測定結果を保存するファイル名になる。
(※/*?*<>文字はファイル名として使用できない。)

③ 「測定開始」ボタンを押して、測定開始する。



新甲状腺モニタ簡易使用法

被検者測定を開始すると

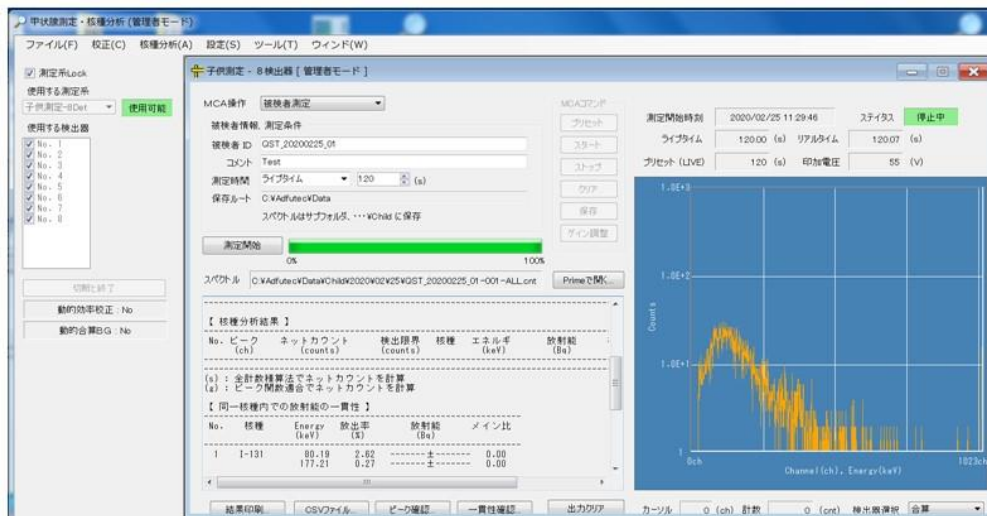
- 下記の測定モードが表示される。
- 測定途中で測定を停止すると測定データは保存されない。



新甲状腺モニタ簡易使用法

被検者測定が終了すると

- 測定データは保存ルートの下層に自動的に保存され、合算スペクトルに対して核種分析結果が下記のようにメイン画面に表示される。



新甲状腺モニタ簡易使用法

被検者測定結果の見方

被検者情報

- ID及び測定時間が確認できる。

ファイル名

- 測定データは自動保存される。
- 保存ルート及びファイル名が確認できる。

核種分析結果

核種が確認されていない例

スペクトル表示

- 検出素子毎及び合算のスペクトル表示

「Primeで開く」でスペクトル確認及び解析可能

もし、核種が確認された場合

- 核種及び放射能(Bq)が表示される。

No.	ICID	ICID名	検出率	検出率誤差	放射能	放射能誤差
1	81.00	81000.0 (a)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	81.00	81000.0 (a)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	81.00	81000.0 (a)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	81.00	81000.0 (a)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	81.00	81000.0 (a)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	81.00	81000.0 (a)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	81.00	81000.0 (a)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	81.00	81000.0 (a)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



新甲状腺モニタ簡易使用法

6. 使用する測定系を変更する場合

①測定系Lockを外す(アンチェック)



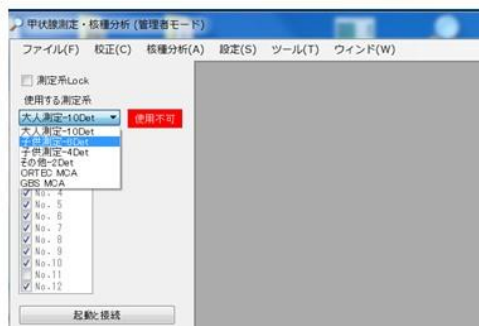
②「切断と終了」ボタンをクリックする



③測定系Lockがアンチェック表示になっていることを確認してから使用する測定系を選択する。



④「起動と接続」ボタンをクリックする



- MCA制御用ソフトウェア(80406又は80416)が自動に起動される。



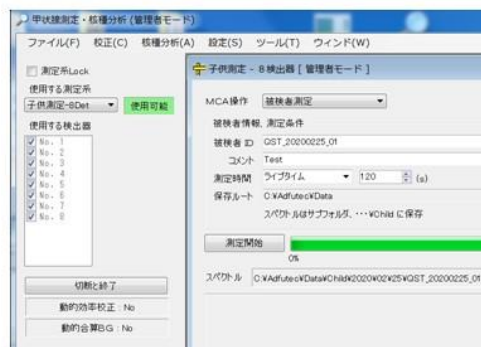
新甲状腺モニタ簡易使用法

7. 新甲状腺モニタの電源を落とす

①測定系Lockを外す(アンチェック)



②「切断と終了」ボタンをクリックする



③ メイン画面の左上「×」を押して制御用ソフトウェアを終了する。



- MCA制御用ソフトウェアを終了(①、②)してからソフトウェア(③)を終了する。



新甲状腺モニタ簡易使用法

参考

基本となる測定体位

子供測定の場合

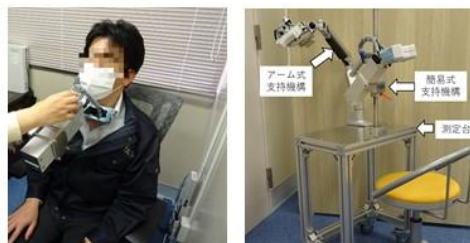
- 2歳未満: 母親が抱きかかえて測定
- 2~5歳 : 椅子に座らせるかベットに寝かせて測定
- 5歳以上: 椅子に座って測定



一般人測定の場合



支持機構がない場合



支持機構に固定した場合



E 情報収集支援システム取扱説明書

本システムが想定している動作環境を表 1 に示す。

表 1 動作環境

分類	構成
OS	October 2018 Update (バージョン 1809) 以降のアップデートを適用した, 64bit 版 Windows10 Pro
CPU	第 6 世代 Intel Core i5 以降のプロセッサ
メモリ	8GB 以上
ハードディスク	1TB 以上
ディスプレイ	XGA (1024×768) 以上の解像度
ネットワーク	100BASE-TX 以上に対応したネットワーク環境

1. セットアップ

1.1 情報収集支援システムのセットアップ

セットアップディスク内の「¥Setup¥DataCollectionSupportApp」フォルダの「Setup.exe」(図 1)をダブルクリックすると、セットアップウィザードソフトウェアが起動する。



図 1 Setup.exe

セットアップウィザード (図 2) の指示に従って、PC へインストールする。

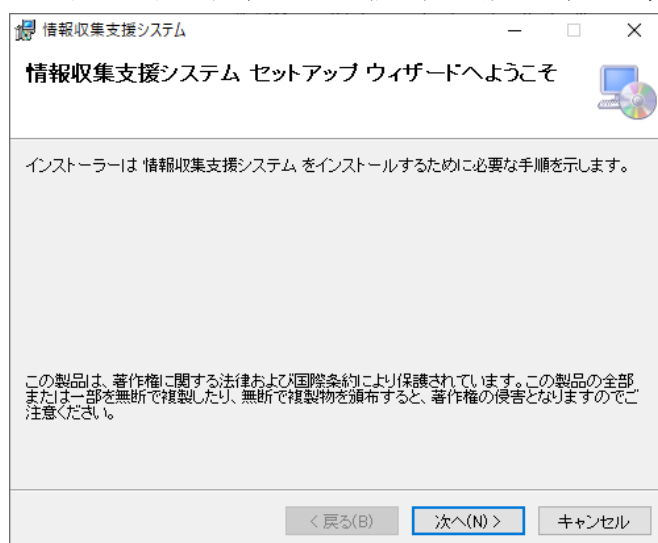


図 2 セットアップウィザード

インストール終了後は、デスクトップとスタートメニューに「情報収集支援システム」のショートカット (図 3) が登録される。



図 3 情報収集支援システムのショートカット

記録カード

本システムの入力画面は、原子力事故において受検者が記入する避難者検査記録カード (4.4 情報収集支援システム 図 30 避難者検査記録カード) を元に、入力者が違和感なく作業できるようにデザインされている。

1.2 情報収集支援システム管理者ツールのセットアップ

セットアップディスク内の「¥Setup¥DcsaAdministrator」フォルダの「Setup.exe」(図 4) をダブルクリックすると、セットアップウィザードソフトウェアが起動する。



setup.exe

図 4 Setup.exe

セットアップウィザード(図 5)の指示に従って、PCへインストールする。

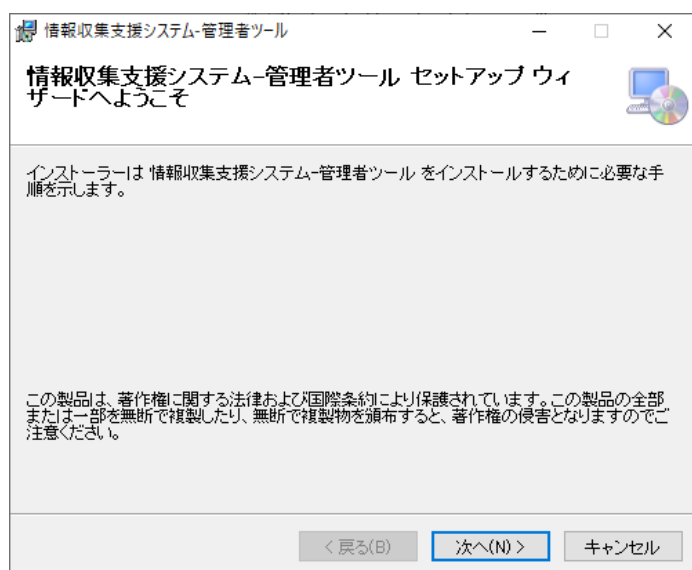


図 5 セットアップウィザード

インストール終了後は、デスクトップとスタートメニューに「情報収集支援システム-管理者ツール」のショートカット(図 6)が登録される。



図 6 情報収集支援システム-管理者ツールのショートカット

1.3 メイン画面

メイン画面の機能について解説する。

本システムを起動すると、最初にユーザーID とパスワードの入力を促す画面（図 7）が表示される。表 2 に示すユーザー名とパスワードでログインする。また、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 3）。



図 7 メイン画面（ログイン）

表 2 ユーザー情報

権限	ユーザーID	パスワード
管理者	admin01	admin01
入力者	user01	user01

表 3 使用できる機能の違い

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	○	

ログインに成功するとメインメニューが表示される。

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り（図 8）。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 9）。



図 8 メイン画面（管理者）



図 9 メイン画面（入力者）

1.4 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や編集対象データへ選択を行うことができる。管理者権限のユーザーは全機能が使用できるが、一般権限ユーザーでは、機能が制限される。(表 4)

表 4 ユーザー権限別の使用可能機能

機能	機能の概要	管理者権限	一般権限
戻る	メインメニューに画面に戻る。	○	○
新規登録	新規登録を行う。	○	○
検索	登録済みの受検者データを検索する。	○	機能制限有り
編集	登録済みの受検者データを編集する。	○	○
出力	一覧表に表示しているユーザーを CSV ファイルへ出力する。	○	-
削除	選択したユーザー情報と関連情報を削除する。	○	-

①メイン画面に戻る

「戻るボタン」(図 10) を押すと、メイン画面 (図 8 又は図 9) に戻ることができる。

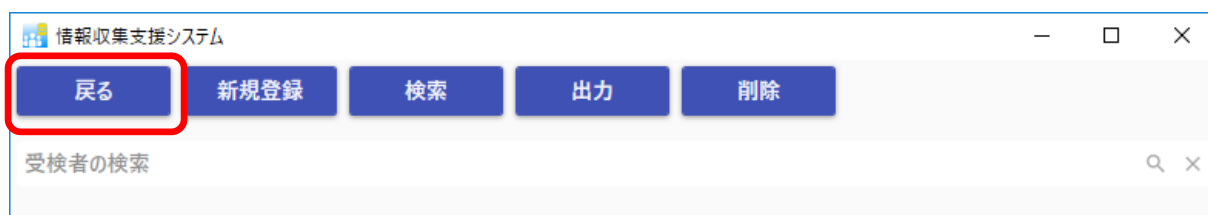


図 10 戻るボタン

②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、「新規登録ボタン」(図 11) 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。



図 11 新規登録ボタン

③受検者情報の検索

「検索ボックス」に単語を入力し「検索ボタン」(図 12) 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 13）。

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 14）。

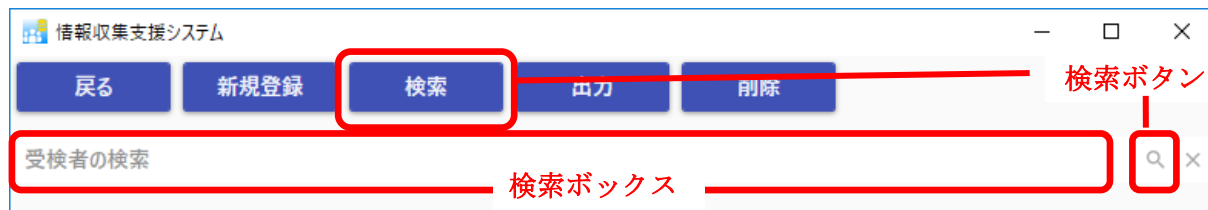


図 12 検索ボックスと検索ボタン



図 13 管理者ユーザーの検索

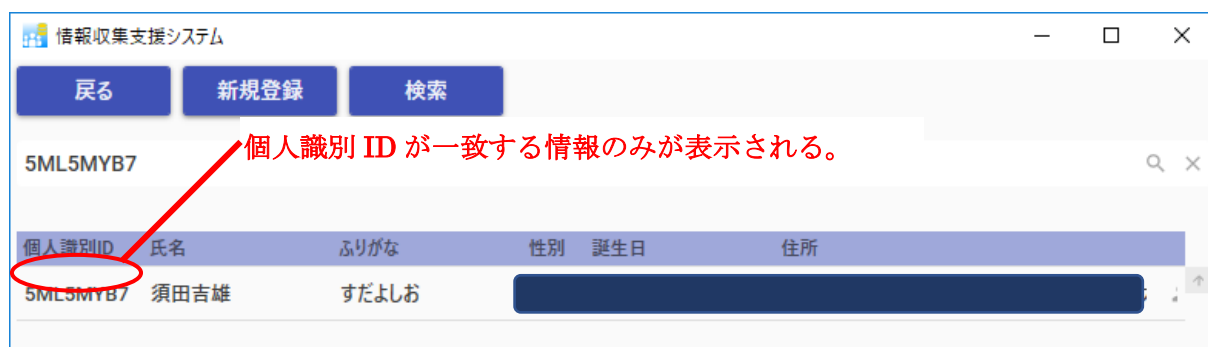


図 14 入力者ユーザーの検索

④受検者情報の編集ボタン

受検者情報の右端にある、「編集ボタン」（図 15）を押すと受検者情報の編集画面に移動する。



図 15 編集ボタン

⑤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 16)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 16 チェックボックスと出力ボタン

⑥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17)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17 チェックボックスと削除ボタン

1.5 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・確認を行うことができる。

①メイン画面，一覧画面に戻る

「戻るボタン」(図18)を押すと、メイン画面または受検者情報一覧画面に戻る。

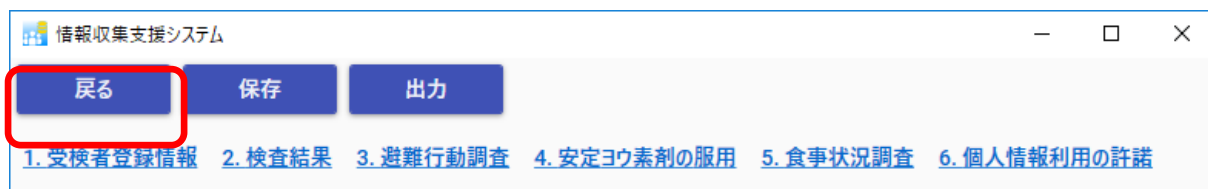


図18 戻るボタン

②保存

「保存ボタン」(図19)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。

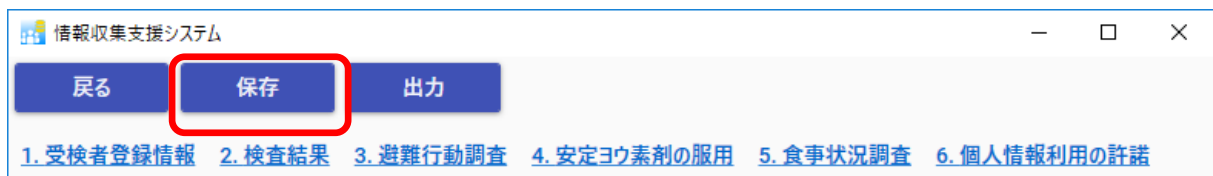


図 19 保存ボタン

③出力

「出力ボタン」(図 20) 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。

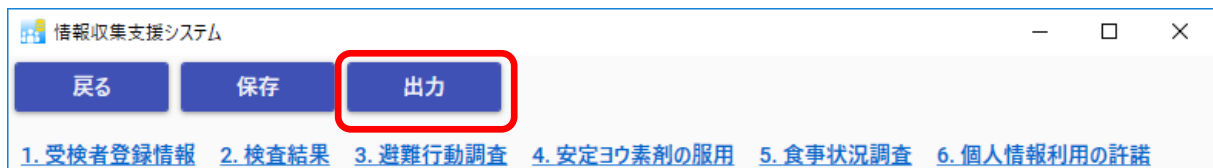


図 20 出力ボタン

④ハイパーリンク

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。(図 21)

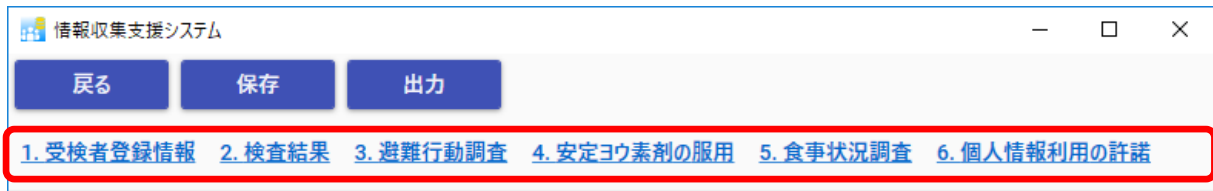


図 21 ハイパーリンク

⑤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。(図 22)

図 22 日付・時間の入力項目

⑥選択項目

「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。(図 23)

図 23 「性別」から選択する入力項目

⑦受検者登録情報

検査記録カードの「1.受検者登録情報」の項目を入力する(図 24)。

「氏名」: 氏名を入力すると、「ふりがな」が自動で入力される。

「測定時の年齢」: 「誕生日」と「作成日」から「測定時の年齢」が自動計算される。

年齢は、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。

図 24 受検者登録情報

⑧検査結果

検査記録カードの「2. 受検者登録情報」の項目を入力する(図 25, 図 27)。

- 「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、保存時に新規の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。また、クリックした位置(図 26 エラー! 参照元が見つかりません。)によって、グループ分け(表 4)が行われる。
- 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。

2. 検査結果

体表面汚染検査

① 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: _____ μSv/h

②

前面:

右 左

背面:

左 右

(足裏)

③

名称	部位	グロス[cpm]	Net [cpm]
(1)	右手 (掌)	500	350
(2)	左手 (掌)	500	350

④ PDFファイル: PDF ファイルを選択してください。

図 25 検査結果 (体表面汚染)

表 4 部位グループ

図	No.	部位グループ	図	No.	部位グループ		
前面図	1	頭部	背面図	19	後頭部		
	2	目					
	3	右耳					
	4	左耳					
	5	鼻・口					
	6	首					
	7	胸部					
	8	右腕					
	9	左腕					
	10	右手 (甲)					
	11	左手 (甲)					
	12	腹部					
	13	右足 (膝上)					
	14	左足 (膝上)					
	15	右足 (膝下)					
	16	左足 (膝下)					
	17	右足 (甲)				20	胸部 (裏)
	18	左足 (甲)				21	右腕 (裏)
		22	左腕 (裏)				
		23	右手 (掌)				
		24	左手 (掌)				
		25	腹部 (裏)				
		26	右足 (裏・膝上)				
		27	左足 (裏・膝上)				
		28	右足 (裏・膝下)				
		29	左足 (裏・膝下)				
		30	右足 (裏)				
		31	左足 (裏)				

前面

背面

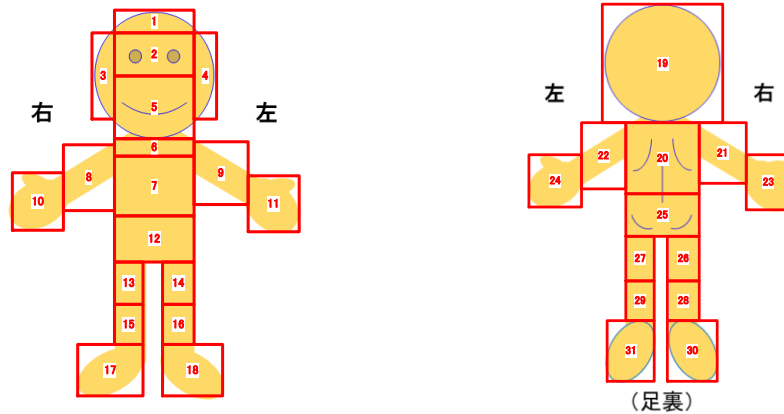


図 26 部位グループ

- NaI サーベイメータ測定による甲状腺検査の結果入力：「A.大腿部 (BG)」と「B.甲状腺部」を入力すると「正味 (B-A)」が自動計算される。
- スペクトロメータ測定によるスペクトルファイルの保存
添付ファイルとして、複数のスペクトルファイルをデータベースに保存することができる。

甲状腺簡易検査

NaIサーベイメータ測定 (μSv/h)				スペクトロメータ測定	
測定器名: NaIサーベイ	測定員: 三井	測定器名:	測定員:	測定器名:	測定員:
管理番号:	記録員: 土屋	管理番号:	記録員:	管理番号:	記録員:
測定場所の空間線量率: 0.1 μSv/h		測定場所の空間線量率: μSv/h		測定場所の空間線量率: μSv/h	
A 大腿部 (BG)	B 甲状腺部	正味 (B-A)	⑥ スペクトルファイル		
1 回目	0.09	0.17	D:\MyDocuments\TEST2.csv		
2 回目	0.09	0.17			
3 回目	0.08	0.18			

ピーク: 有 無 未記入 チャンネル: _____ ch
 判読不可

図 27 検査結果 (甲状腺測定)

⑨避難行動調査

検査記録カードの「3.避難行動調査」の項目を入力する (図 28)。

- 避難経路のコピーボタン：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経路を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 29) が表示されるので、入力者が正しい同行者を判断し選択する。
- 避難経路の確認ボタン：ボタンをクリックすると避難場所の地図表示を行う (図 30)。

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~	伊方町民会館
2	滞在		~	伊方町民会館
3	移動	車	2018/06/14 09:00~2018/06/14 19:00	伊方中学校体育館
4	滞在		~	伊方中学校体育館
5	未記入		~	
6	未記入		~	

避難経路の確認...

図 28 避難行動調査

避難経路のコピー

複数の受検者が見つかりました。
同行者に該当する人物を選択してください。

個人識別ID	氏名	住所
AGZ51HL2	山本金次	島根県出雲市高松町43134高松町ハウス204
ABCD	山本金次	

OK Cancel

図 29 同行者選択ダイアログ



図 30 避難経路の地図表示

⑩安定ヨウ素剤の服用

検査記録カードの「4. 安定ヨウ素剤の服用」の項目を入力する（図 31）。

- 「服用回数」、「服用時期」、「服用日時」、「服用量」:「安定ヨウ素剤の服用の項目」が“はい”のとき入力可能になる。

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

① 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 ▼

図 31 安定ヨウ素剤の服用

⑪食事状況調査

検査記録カードの「5.食事状況調査」の項目を入力する（図 32）。

- 食事状況の詳細：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 可能性あり いいえ 未記入 判断不可

放射能汚染の可能性のある食品等の摂取： はい 可能性あり いいえ 未記入 判断不可

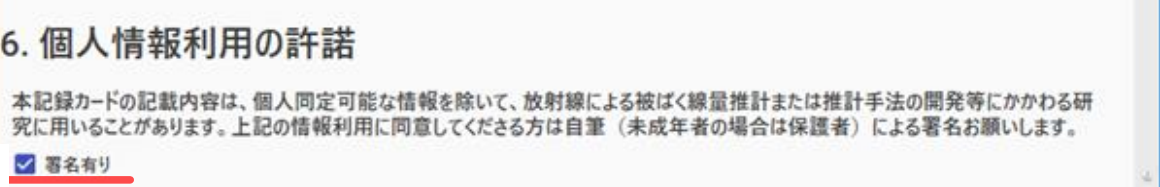
① 状況の詳細

図 32 食事状況調査

⑫個人情報利用の許諾

検査記録カードの「6.個人情報利用の許諾」の項目を入力する（図 33）。

個人情報利用の許諾：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。

① 署名有り

図 33 個人情報利用の許諾

1.6 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 34）。

編集したいテーブル（表 6）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 35）。



図 34 管理機能画面

表 6 編集可能テーブル

テーブル名	
1	検査場
2	測定器
3	職員
4	移動手段
5	避難所

	A
1	Name
2	栗原
3	三井

1行目はヘッダ行

図 35 CSV ファイルの例

1.7 避難経路の地図表示

「避難経路の確認ボタン」を押すと地図ファイル（HTML 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 36）が表示される。地図データはオープンストリートマップ（OpenStreetMap, OSM）を使用している。タイル地図は必要な地図情報をオープンストリートマップ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（表 7）。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（図 37, 図 38）。

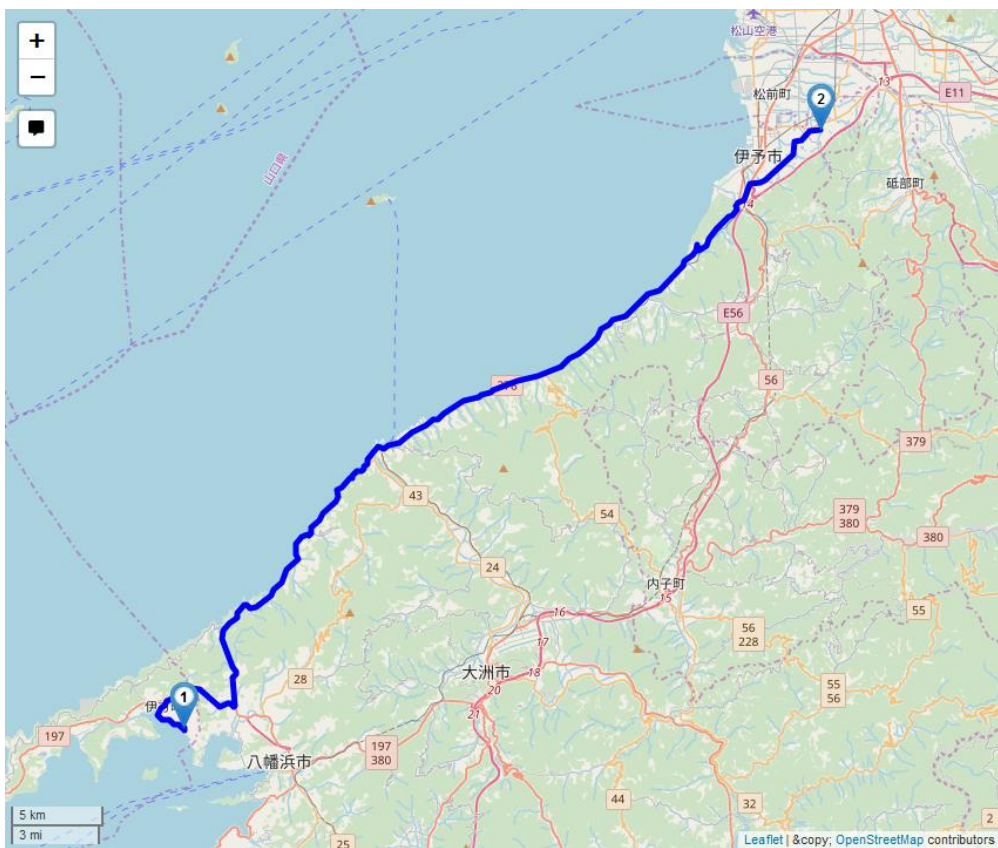


図 36 避難経路の地図

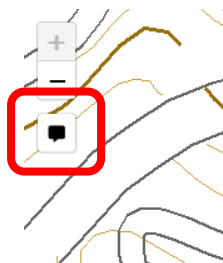


図 37 メッセージボタン



図 38 検索結果のメッセージ

表 7 地図表示機能で正在しているライブラリ

名称	プロジェクト URL
Leaflet	https://leafletjs.com/
Font Awesome	https://fontawesome.com/
Bouncemarker plugin for Leaflet	https://github.com/maximeh/leaflet.bouncemarker
leaflet-control-window	https://github.com/mapshakers/leaflet-control-window
L.EasyButton	https://github.com/CliffCloud/Leaflet.EasyButton
Leaflet Routing Machine	http://www.liedman.net/leaflet-routing-machine/
Leaflet.Polyline.SnakeAnim	https://github.com/IvanSanchez/Leaflet.Polyline.SnakeAnim
OpenStreetMap	https://www.openstreetmap.org/

1.8 CSV ファイル

CSV ファイルの出力項目と出力例を表 8 に示す。

表 8 CSV ファイルの出力項目

No	項目	出力例	備考
1	個人識別 ID	AHM1806198	
2	年齢	46 歳 2 ヶ月	
3	性別	男性	
4	自宅住所	島根県出雲市高松町 43134 高松町ハウス 204	
5	体表面汚染	有	
6	体表面汚染検査の測定結果 (cpm)	(1) 500, (2) 500	部位名と測定結果 (グロス値) 複数ある時は, カンマ区切りで結合
7	甲状腺汚染	有	
8	甲状腺汚染検査の測定結果 (大腿部)	0.09,0.09,0.08	複数ある時は, カンマ区切りで結合
9	甲状腺汚染検査の測定結果 (甲状腺部)	0.17,0.17,0.18	
10	甲状腺汚染検査の測定結果 (その他)		
11	スペクトルファイル	2018061501.chn	ファイル名を出力.
12	避難準備指示時	自宅外 (島根県出雲市) / 屋外	自宅外の際は住所を出力
13	屋内退避指示時	自宅 / 屋内	
14	避難指示時	自宅 / 屋外	
15	避難開始時期	2018 年 6 月 15 日 10 時 00 分	
16	避難経路	自宅 → 伊方町民会館 → 伊方町民会館 (滞在) → 伊方中学校体育館 → 伊方中学校体育館 (滞在)	行動が滞在のときは, 場所名の後に“ (滞在) ”
17	安定ヨウ素剤の服用回数	2	
18	安定ヨウ素剤の服用時期	2018 年 6 月 15 日 10 時:00 分, 2018 年 6 月 16 日 10 時:00 分	複数ある時は, カンマ区切りで結合
19	安定ヨウ素剤の服用量	2 錠, 2 錠	
20	摂取制限指示がある食物の摂取	可能性あり	
21	放射能汚染の可能性のある食物の摂取	可能性あり	
22	食事状況の詳細	水道水を飲んだ。	
23	個人情報利用の許諾	同意有り	

2. 情報収集支援システム管理者ツール

情報収集支援システムは、入力された情報をシステムがインストールされた PC 毎に専用のデータベース（DB ファイル）へ登録している。

情報収集支援システム管理者ツール（図 39）は、複数の PC で本システムを用いて入力作業を行った後、PC 毎に作成されたデータベースを一つのデータベースへ統合し、避難所や測定員等の共通化したい情報は各 PC へ分散させることができる。図 40 では、PC1～3 で入力した情報を本作業で追加した機能を用いて、PC4 のデータベースへ情報を統合した例を示す。



図 39 情報収集支援システム管理者ツールの初期画面

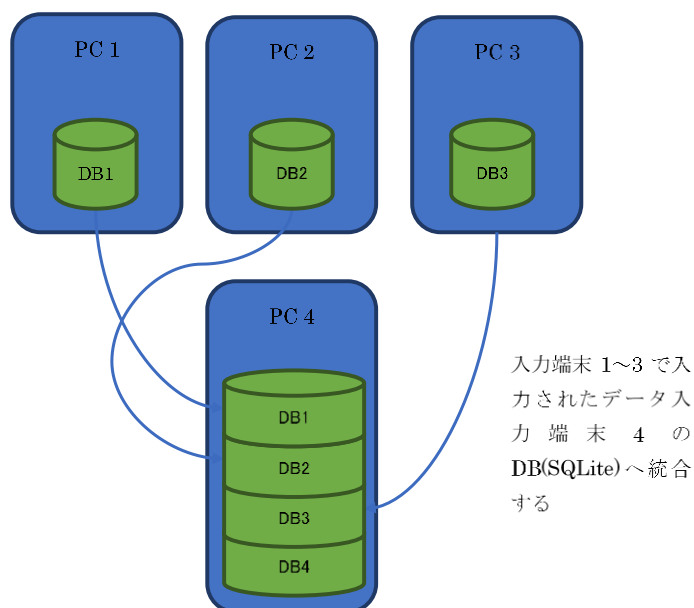


図 40 データベースへ情報を統合した例

2.1 統合機能

情報収集支援システム管理者ツールを起動すると、統合機能の画面（図 40）が表示される。

①保存先データベース

保存先データベース（図 41）では、統合したデータの保存先となるデータベースファイルを選択する。ファイルを選択するとコメント欄には、Windows にログインしているユーザー名、PC 名とファイル選択した日時が自動入力される。

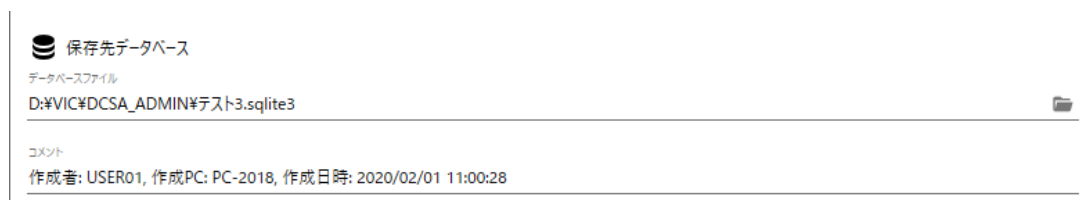


図 41 保存先データベース

②統合する情報

統合対象の情報を選択できる。

- 全ての情報：避難者検査情報を含めたすべての情報を「保存先データベース」へ統合する。
- 共通情報のみ：避難者検査情報を除いた、「避難所情報」、「職員情報」、「測定所情報」、「測定機情報」を「保存先データベース」へ統合する（図 42）。

また、共通情報は統合処理の際、同じデータと判断された場合（表 9）、先に選択されたデータベースファイルのデータを優先して保存する。



図 42 統合する情報

表 9 同一データの判断基準

データ	判断基準
避難所情報	名称と住所
職員情報	氏名と所属
測定所情報	名称
測定機情報	名称

③データベースファイル

統合元になるデータを収録したデータベースファイルを選択する（図 43）。複数のファイルを選択できる。

データベースファイル							
名前	更新日時	登録	避難所	職員	測	測	
D:\VIC\DCSA_ADMIN\テスト1.sqlite3	2020-01-31 12:03	1	11325	4	2	1	+
D:\VIC\DCSA_ADMIN\テスト2.sqlite3	2020-01-31 01:31	1	11325	4	2	1	-

図 43 データベースファイル

2.2 テーブルの統合

「テーブルの統合」をクリックするとテーブルの統合が行われ、統合処理が終了すると結果が表示される（図 44，図 45）。



図 44 「テーブルの統合」ボタン



図 45 統合結果の表示

2.3 データベース編集機能

情報収集支援システム管理者ツールでは、共通データの簡易編集を行うことができる（図 46）。操作方法は各テーブル共通である。



図 46 編集画面（避難所）

① データベースファイルの読み込み

統合機能の保存先データベースで選択したファイル名が表示される。「読み込み」ボタンをクリックすると、データベースファイルを読み込む（図 47）。



図 47 データベースファイルと読み込みボタン

②登録データの一覧

データが読み込まれると、画面左の登録データ一覧（図 48）に表示される。

避難所データは「住所」フィールドを元に「都道府県」-「市区町村」で分類されたツリー形式で表示される。



図 48 登録データ一覧

③保存

「保存」ボタンをクリックすると、データの編集内容（新規登録・修正・削除）が、データベースファイルに保存される。（図 49）



図 49 保存ボタン

④新規登録

データを新規に登録するときは、「新規」ボタン（図 50）をクリックし、新規登録ダイアログ（図 51）を開く。新規登録ダイアログの各項目に値を入力し、「OK」ボタンをクリックするとデータが追加される。なお、「OK」ボタンをクリックした時点ではデータベースファイルへの保存は行われないので、データベースファイルへ保存するには、「保存」ボタンをクリックする。避難所データの新規登録または、修正を行う場合は「都道府県名」、「(群) 市区町村」まで記入する。



図 50 「新規」ボタン

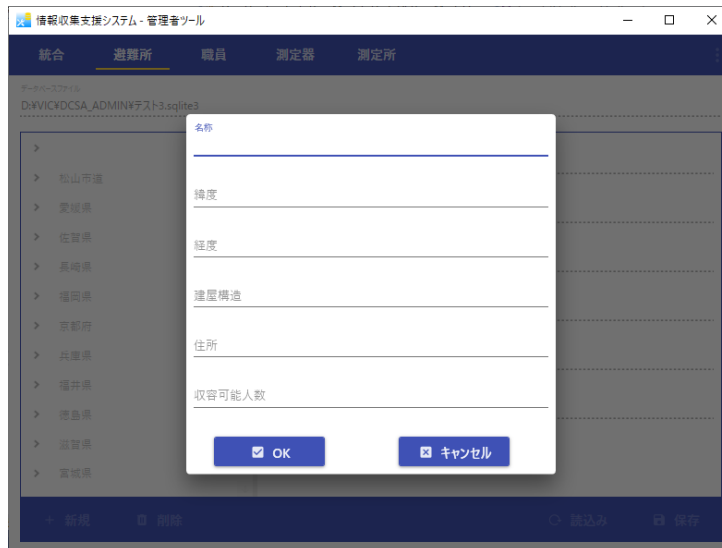


図 51 「新規登録」ダイアログ

⑤修正

登録データ一覧から修正したいデータを選択し、「修正」パネル（図 52）でデータの修正を行う。修正したデータは「保存」ボタンをクリックすると、データベースファイルへ保存される。



図 52 修正パネル

⑥削除

削除ボタン（図 53）をクリックすると、登録データ一覧で選択したデータが削除される。削除した内容をデータベースファイルへ反映するには、「保存」ボタンをクリックする。



図 53 削除ボタン