

令和2年度放射線対策委託費事業

甲状腺内部被ばくの線量評価における
新型測定器の実効性評価

令和2年度 事業成果報告書

令和3年3月

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

本報告書は、国立研究開発法人 産業技術総合研究所が実施した「令和2年度放射線対策委託費（甲状腺内部被ばくの線量評価における 新型測定器の実効性評価）事業」の成果をまとめたものです。

目次

1. はじめに	1
2. 事業概要	1
3. 実施体制	1
4. 実施報告書	2
4. 1 試験設備	2
4. 2 仕様の比較・整理	5
4. 3 JIS Z 4343: 2015 に基づく試験	9
4. 3. 1 直線性試験	9
4. 3. 2 測定エネルギー範囲試験	15
4. 3. 3 積分非直線性試験	18
4. 3. 4 ¹³¹ I 検出効率試験	19
4. 3. 5 バックグラウンド試験	21
4. 3. 6 決定閾値試験	23
4. 3. 7 最大計数率試験	24
4. 3. 8 安定性試験	25
4. 3. 9 温度特性試験	31
4. 3. 10 湿度特性試験	36
4. 4 特性試験	42
4. 4. 1 エネルギー特性試験	42
4. 4. 2 他の放射線の影響	45
4. 4. 3 他の放射性核種の影響	47
4. 4. 4 核種同定能力	51
4. 5 外的要因の依存性評価	52
4. 5. 1 高バックグラウンドでのピーク計数効率	52
4. 5. 2 高バックグラウンドでの検出限界	58
4. 5. 3 年齢・体格の違いと効率の関係	61
4. 5. 4 検出器と線源の間隔と検出効率の関係	69
4. 5. 5 2本の線源の間隔と検出効率の関係	71
4. 5. 6 線源の位置のずれと検出効率の関係の試験	74
4. 5. 7 線源の位置のずれが測定に与える影響について	78
5. 総評及び改善提案	79
6. まとめ	80
7. 令和2年度事業の実績	80
資料	82

1. はじめに

令和2年度放射線対策委託費（甲状腺内部被ばくの線量評価における新型測定器の実効性評価）事業（以下、本事業）において、「平成29～31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）」で開発された新型測定器の、国際規格に基づいた機器効率試験を行い、適正な方法で甲状腺モニタリングが確実に行うことができるかを検証するとともに、製品化・工業標準化されることを念頭に第三者による技術的課題の抽出・評価を行ったので報告する。

2. 事業概要

(1) 仕様の比較・整理

平成29～31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）において開発された新型測定器について、仕様を比較・整理した。

(2) 特性試験及び外的要因の依存性評価の実施

・特性試験

エネルギー特性試験、検出効率試験、温度安定性試験等の特性試験を、国家計量標準もしくは国家計量標準レベルの同等性が確保されている標準線源を備えた校正場にて実施した。

・外的要因依存性の評価

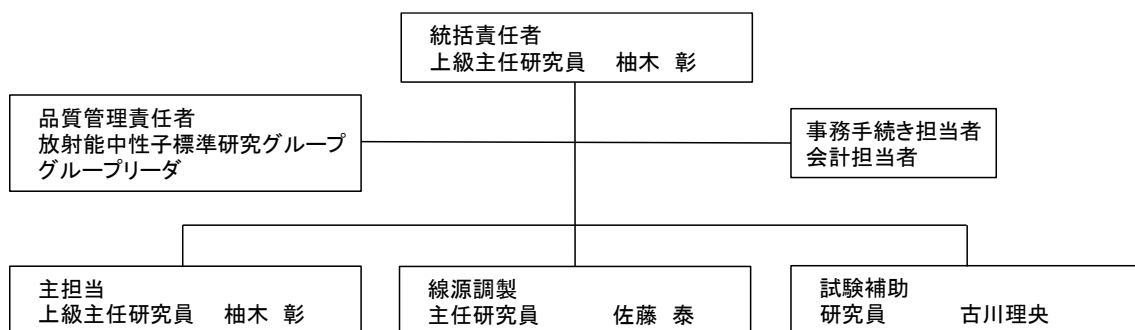
原子力災害を想定した環境及び被検者の年齢や体格等がもたらす測定のばらつきについてファントム等を利用し評価した。

・改善提案

製品開発に向けての課題点を抽出し、改善案を提案した。

3. 実施体制

本事業は図3.1に示す体制で実施した。



- ・線源溶液調製作業は（公社）日本アイソトープ協会に外注した

図3.1 甲状腺内部被ばくの線量評価における新型測定器の実効性評価事業実施体制

4. 実施報告書

4. 1 試験設備

(1) 試験設備

本事業費で整備した試験設備は図 4. 1. 1 に示す、線源位置決め治具一式である。線源位置決め治具に JAEA 開発の検出器を取り付けた様子、及び QST 開発の検出器を取り付けた様子を、それぞれ図 4. 1. 2 及び図 4. 1. 3 に示す。



図 4. 1. 1 線源位置決め治具一式外形図



図 4. 1. 2 線源位置決め治具に JAEA 開発の検出器を取り付けた様子
JAEA 検出器を矢印で示している



図 4. 1. 3 線源位置決め治具に QST 開発の検出器を取り付けた様子
QST 検出器を矢印で示している

(2) 消耗品

本事業において、放射線源及び照射試験器具を消耗品として購入し試験に使用した。図 4. 1. 4 及び図 4. 1. 5 にその外形を示す。また、試験には仏 IRSN（放射線防護・原子力安全

研究所、Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) 製ファントムを用いた。その外観を図 4.1.6 に示す。

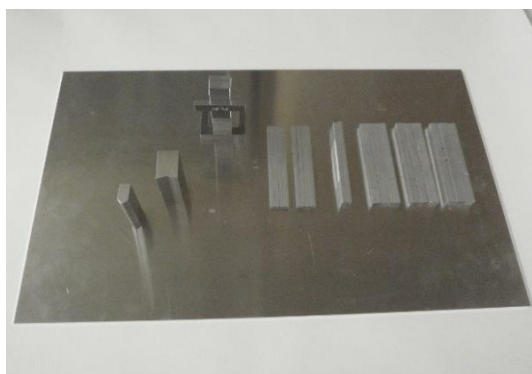


図 4.1.4 消耗品 (照射試験器具)

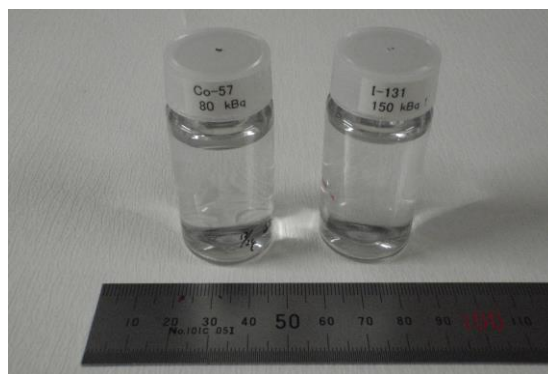
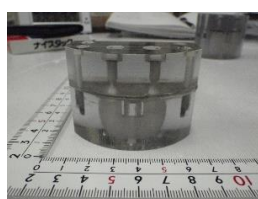


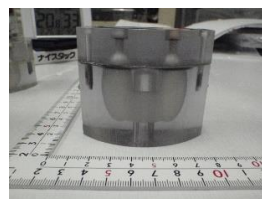
図 4.1.5 消耗品 (放射性溶液の例)



5 歳児用



10 歳児用



15 歳児用



成人用

図 4.1.6 IRSN 製ファントム外形

(3) レンタル品

本事業で実施する温度試験及び湿度試験のため、環境試験装置 (恒温恒湿槽) としてエスペック株式会社ライトスペック恒温 (恒湿) 器 (卓上恒温恒湿器) 型式 LHU-114 をレンタルした。環境試験装置を用いた試験の様子を図 4.1.7 に示す。

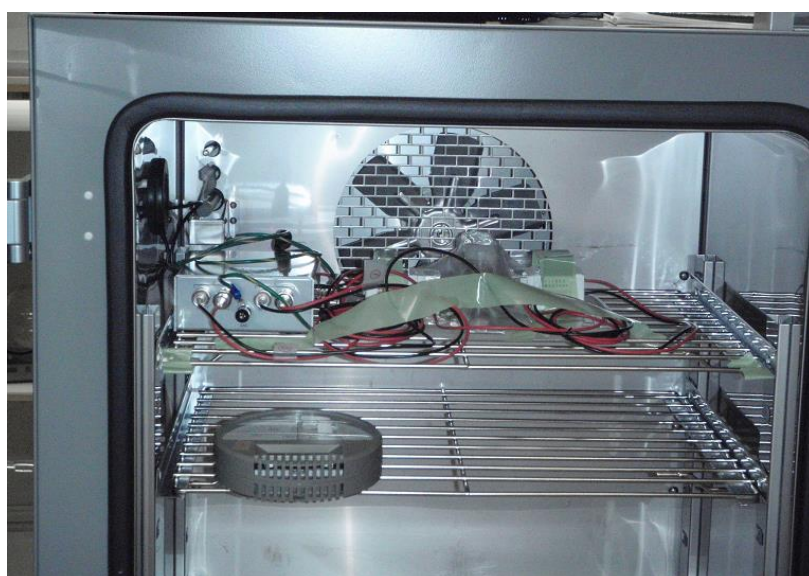


図 4.1.7 環境試験装置を用いた試験の様子

(3) 借用設備

本事業費では、令和2年11月10日付原規放発第2011104号に基づき、令和2年11月10日～令和3年3月31日の期間、表4.1.1に示す物品の無償貸し付けを受け、試験に使用した。

表4.1.1 借用物品一覧用(1/2)

取得委託事業名	品名	規格・品質	数量	引渡し場所	保管場所
平成29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被ばくモニタリングの確立)事業	GAGGシンチレーション検出器	80405型8入力 GAGGシンチレータ	1式	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子医学・医療部門被ばく医療共同研究施設6F(千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
平成29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被ばくモニタリングの確立)事業	検出器用信号処理モジュール	80406型信号処理モジュール	1式	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子医学・医療部門被ばく医療共同研究施設6F(千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人被ばくモニタリングの確立)事業	GAGGシンチレーション検出器	クリアパルス製80415型	1式	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子医学・医療部門被ばく医療共同研究施設6F(千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
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被ばくモニタリングの確立)事業	甲状腺検出器固定用治具	大人用検出素子及び小児用検出素子を固定する治具	1式	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子医学・医療部門被ばく医療共同研究施設6F(千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
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被ばくモニタリングの確立)事業	甲状腺検出器とモジュールの一体化フレーム	甲状腺検出器とモジュールを一体化するためのもの	1式	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子医学・医療部門被ばく医療共同研究施設6F(千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)

表4.1.1 借用物品一覧用(2/2)

取得委託事業名	品名	規格・品質	数量	引渡し場所	保管場所
平成29年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究)事業	CdZnTe半導体スペクトロメータ	RITEC社製µspec1500	1台	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構放射線標準施設棟(茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究)事業	照射用回転台	エヌエス工研製 電源駆動式ターンテーブル(RTT-II)	1個	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構放射線標準施設棟(茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究)事業	検出器用遮蔽体	検出器用遮蔽体	1式	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構放射線標準施設棟(茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究)事業	CdZnTe半導体スペクトロメータ	RITEC社製µspec1500	1台	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構放射線標準施設棟(茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
平成31年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究)事業	甲状腺モニタ用測定システム	アドフューテック製 ・LaBr3シンチレーション検出器結晶 サイズ25mmx25mmx25mm 光電子増倍管付き:2式 ・2チャンネル信号処理装置:1台 ・検出器制御ソフトウェア:1式 ・操作マニュアル:1式	1式	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構放射線標準施設棟(茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)
平成31年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究)事業	甲状腺モニタ用遮蔽体	・甲状腺モニタ用遮蔽体:1式 ・甲状腺モニタ持運び用取手及び傾斜用足:1式 ・バックグラウンド測定用追加ファントム:1式	1式	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構放射線標準施設棟(茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4)	国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター つくば中央第二事業所 2-3棟C-114-1室(茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2)

4. 2 仕様の比較・整理

平成 29～31 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）」において開発された以下の新型測定器について、その仕様を比較した。その結果を次に示す。

- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が開発した甲状腺モニタ測定器
 - ・公衆用甲状腺モニタシステム (LaBr₃(Ce))
 - ・作業用甲状腺モニタシステム(CdZnTe)
- 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構が開発した甲状腺モニタ測定器
 - ・甲状腺モニタ（一般用）
 - ・甲状腺モニタ（子供用）
 - ・甲状腺モニタ（乳幼児用）

(1) 検出器の種類

検出器の種類について調査した結果を表 4. 2. 1～表 4. 2. 7 及び図 4. 2. 1～図 4. 2. 2 に示す。

表 4. 2. 1 新型測定器の種類と検出器の種類

新型測定器の種類	検出器の種類
公衆用甲状腺モニタシステム (LaBr ₃ (Ce)、JAEA) ¹⁾	素子：LaBr ₃ (Ce) シンチレータ 寸法：2.54cm×2.54cm×2.54cm 光検出器：Hamamatsu H11934 エネルギー分解能：5.5% (356 keV における半値幅) 検出器実装数：2 個
作業用甲状腺モニタシステム (CdZnTe、JAEA) ¹⁾	素子：CdZnTe 結晶 寸法：1.5cm×1.5cm×0.75cm エネルギー分解能：2.8% (356 keV における半値幅) 検出器実装数：2 個
甲状腺モニタ (一般用、QST) ²⁾³⁾	素子：GAGG シンチレータ 寸法：10mm×10mm×10mm 光検出器：SiPM エネルギー分解能：6% (356 keV における半値幅) 検出器実装数：10 個
甲状腺モニタ (子供用、QST) ²⁾³⁾	素子：GAGG シンチレータ 寸法：10mm×10mm×10mm 光検出器：SiPM エネルギー分解能：6% (356 keV における半値幅) 検出器実装数：8 個
甲状腺モニタ (乳幼児用、QST) ²⁾³⁾	素子：GAGG シンチレータ 寸法：10mm×10mm×10mm 光検出器：SiPM エネルギー分解能：6% (356 keV における半値幅) 検出器実装数：4 個

表 4.2.2 新型測定器の寸法（実測値）

新型測定器の種類	測定器の寸法
公衆用甲状腺モニタシステム (LaBr ₃ (Ce)、JAEA)	検出器外形：31mm×31mm×66mm 遮蔽体：222mm×82mm×69mm 遮蔽体開口部：182mm×52mm (検出器取り付け用) 遮蔽体固定板：302mm×88mm×74mm 突起部含む高さ：103mm 信号処理回路：115mm×143mm×53mm (コネクタ含む)
作業員用甲状腺モニタシステム (CdZnTe、JAEA)	検出器外形：25mm×25mm×80mm 遮蔽体：272mm×82mm×69mm 遮蔽体開口部：233mm×50mm (検出器取り付け用) 遮蔽体固定板：353mm×88mm×75mm 突起部含む高さ：103mm
甲状腺モニタ (一般用、QST)	最大寸法：370mm×130mm×150mm 信号処理回路：60mm×60mm×230mm (取っ手別、コネクタ突起なし)
甲状腺モニタ (小児用、乳幼児用、QST)	最大寸法：360mm×125mm×117mm 信号処理回路 50mm×50mm×230mm (取っ手別、コネクタ突起なし)

表 4.2.3 新型測定器の種類と質量（実測値）

新型測定器の種類	質量
公衆用甲状腺モニタシステム (LaBr ₃ (Ce)、JAEA)	本体：0.43kg (検出器+信号処理回路) 遮蔽体：13.88kg 測定治具：0.10kg
作業員用甲状腺モニタシステム (CdZnTe、JAEA)	本体：0.20kg (検出器+信号処理回路) 遮蔽体：16.35kg 測定治具：0.10kg
甲状腺モニタ (一般用、QST)	本体：1.49kg (検出器+信号処理回路)
甲状腺モニタ (小児用、乳幼児用、QST)	本体：1.01kg (検出器+信号処理回路)

表 4.2.4 新型測定器の種類と測定可能線量率範囲（実測値）

新型測定器の種類	測定可能線量率範囲（計数範囲）
公衆用甲状腺モニタシステム (LaBr ₃ (Ce))	決定閾値：0.171 [s ⁻¹] 最大計数率：22567 [s ⁻¹]
作業用甲状腺モニタシステム (CdZnTe)	決定閾値：0.0679 [s ⁻¹] 最大計数率：8541 [s ⁻¹]
甲状腺モニタ（一般用）	決定閾値：0.168 [s ⁻¹] 最大計数率：6247 [s ⁻¹]
甲状腺モニタ（子供用）	決定閾値：0.137 [s ⁻¹] 最大計数率：4228 [s ⁻¹]
甲状腺モニタ（乳幼児用）	決定閾値：0.106 [s ⁻¹] 最大計数率：4466 [s ⁻¹]

表 4.2.5 新型測定器の種類と測定対象エネルギー範囲（実測値）

新型測定器の種類	測定対象エネルギー範囲
公衆用甲状腺モニタシステム (LaBr ₃ (Ce))	エネルギー下限：100 keV エネルギー上限：944 keV
作業用甲状腺モニタシステム (CdZnTe)	エネルギー下限：100 keV エネルギー上限：913 keV
甲状腺モニタ（一般用）	エネルギー下限：100 keV エネルギー上限：931 keV
甲状腺モニタ（子供用）	エネルギー下限：100 keV エネルギー上限：931 keV
甲状腺モニタ（乳幼児用）	エネルギー下限：100 keV エネルギー上限：931 keV

表 4.2.6 新型測定器の種類と電源仕様（仕様値）

新型測定器の種類	電源仕様
公衆用甲状腺モニタシステム (LaBr ₃ (Ce)) ⁴⁾	定格電圧：直流 5[V] 定格電流：最大 900[mA]
作業用甲状腺モニタシステム (CdZnTe) ⁵⁾	定格電圧：直流 5[V] 定格電流：最大 100[mA]
甲状腺モニタ（一般用）	定格電圧：直流 5[V]
甲状腺モニタ（子供用）	定格電圧：直流 5[V]
甲状腺モニタ（乳幼児用）	定格電圧：直流 5[V]

表 4.2.7 新型測定器の種類とファイル出力可否

新型測定器の種類	データ出力可否及びデータフォーマット
公衆用甲状腺モニタシステム (LaBr ₃ (Ce)) 作業員用甲状腺モニタシステム (CdZnTe)	データ出力可否：可 ・拡張子 csv 図 4.2.1 に示す ・拡張子 Xcnt 専用ソフトが必要
甲状腺モニタ (一般用) 甲状腺モニタ (子供用) 甲状腺モニタ (乳幼児用)	データ出力可否：可 ・拡張子 cnt 図 4.2.2 に示す (テキストファイル)

スペクトル MCA - CZT(uSPEC)
 検出器 CZT(uSPEC)
 測定開始時刻 2021/03/27 16:45:06
 ライブタイム(s) 2000
 リアルタイム(s) 2001.46
 被検者 ID
 (中略) (中略) (中略)
 Pole Zero (mV) 1790

スペクトル (ch)	<Detector No.1> (count)	<Detector No.2> (count)
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
中略)	(中略)	(中略)
1020	23	23
1021	23	16
1022	23	23
1023	19	15

図 4.2.1 拡張子 csv のデータ内容 (数値は例示)

ライブタイム	60000.000
リアルタイム	60158
測定開始時刻	2021-03-26 22:11:39
コメント	Append spectrum by MCA Manual operation
MCA の 4ch 目	3
	4
	2
	3
	5
	6
	(中略)
	0
	0
MCA の 1024ch 目	0

図 4.2.2 拡張子 cnt のデータ内容 (数値は例示)

4. 3 JIS Z 4343: 2015⁽⁶⁾に基づく試験

4. 3. 1 直線性試験

(1) 試験方法

直線性試験は、20mL 円筒容器に充填した ^{133}Ba 線源からの γ 線を検出器に照射しスペクトル測定を行い、356keV ピークの正味計数を読み取る。それを線源の放射能で除して検出効率を求め、さらに放射能 8kBq での検出効率を基準として各放射能での相対効率を求める。試験は装置の有効測定範囲の各デカードの最大値のおよそ 20%、40%及び 80%の点で実施した。

なお、線源位置は CZT 及び LaBr_3 については検出器前面から線源容器の中心まで 50mm とし、QST-10ch については検出器前面から線源容器の中心まで 18.5mm とした。

また、正味計数を読み取る ROI 範囲を表 4.3.1.1 に示す。ベースライン計数は ROI の最小チャンネルから低チャンネル側に 3 チャンネルをとった平均計数、及び ROI の最大チャンネルから高チャンネル側に 3 チャンネルをとった平均計数をそれぞれ上底、下底とする台形の面積として計算より求めた。

表 4.3.1.1 直線性測定での ROI

検出器	ROI 設定チャンネル	備考
CZT	322 ch ~ 412 ch	
LaBr_3	326 ch ~ 412 ch	
QST-10ch	340 ch ~ 420 ch	800kBq のみ 318 ch ~ 398 ch

(2) 試験結果

CZT、 LaBr_3 及び QST-10ch の線源放射能と相対効率の関係を、それぞれ図 4.3.1.1、図 4.3.1.3 及び図 4.3.1.7 に示す。また、代表的な波高分布スペクトルを、それぞれ図

4.3.1.2、図4.3.1.4及び図4.3.1.8に示す。波高分布スペクトルは比較が容易になるようにピーク高さを揃えて表示している。線源の配置及び検出器固有の効率の違いにより計数が異なるので、比較が容易なように表4.3.1.2～表4.3.1.4にCZT、LaBr₃及びQST-10chのRT/LT (=Real time ÷ Live time)、ピーク計数率[s⁻¹] (正味計数) 及び全チャンネル計数率[s⁻¹] (グロス計数) と線源の放射能との関係を示す。表4.3.1.5にはQST-10chの各素子のピーク計数率と全計数率を示している。

図4.3.1.1、図4.3.1.3及び図4.3.1.7において、プロットにはピーク正味計数の計数統計に基づく標準不確かさを付している。

図4.3.1.5及び図4.3.1.6に測定の様子を示す。

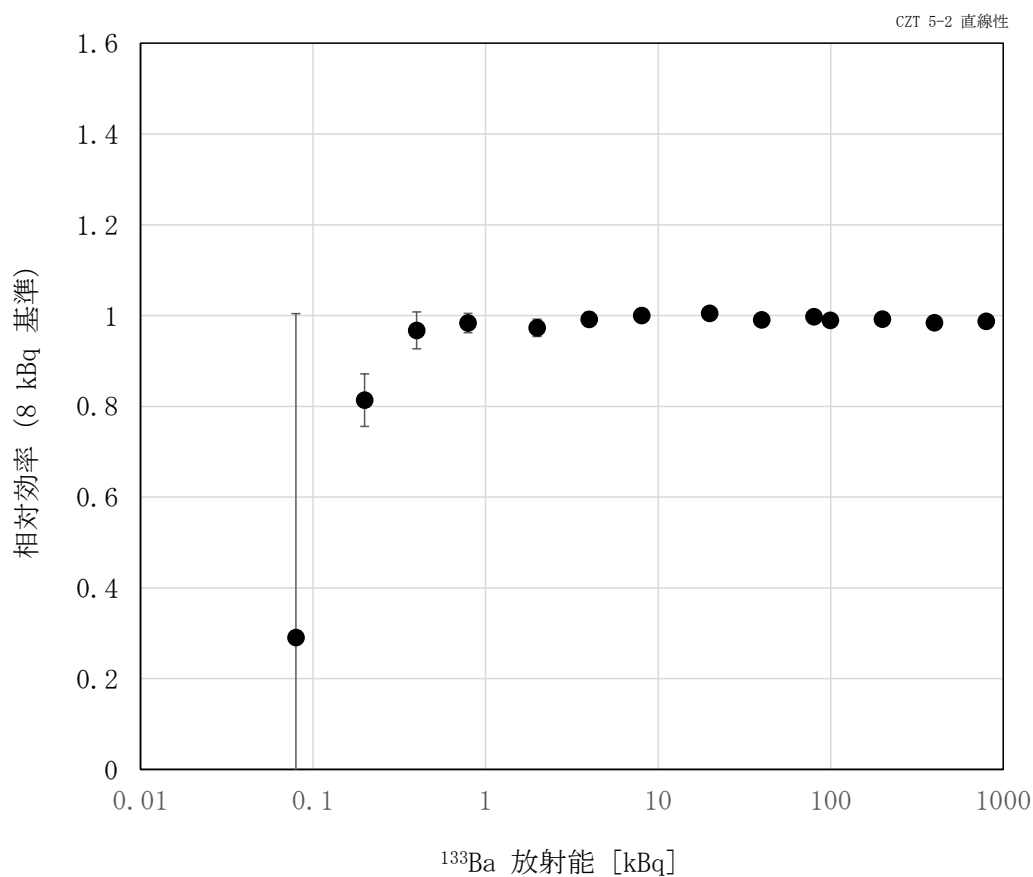


図4.3.1.1 CZT直線性

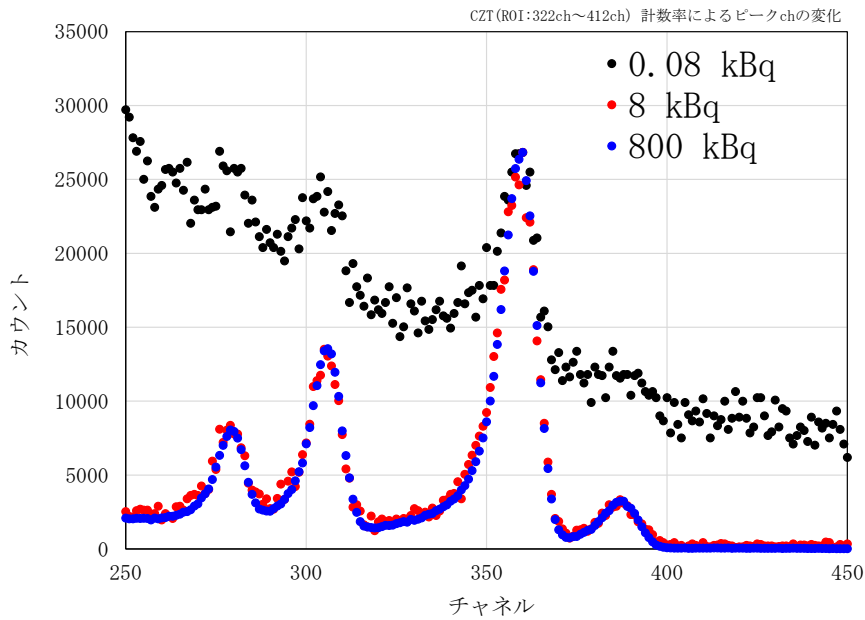


図 4.3.1.2 CZT 計数率によるピークチャンネルの変化

表 4.3.1.2 CZT の不感時間補正、ピーク計数率及び全計数率と線源の放射能との関係

	CZT-1	CZT-2	CZT-1	CZT-2	CZT-1	CZT-2	CZT-1	CZT-2	CZT-1	CZT-2
放射能	0.08 kBq		0.8 kBq		8 kBq		80 kBq		800 kBq	
RT/LT	1.0006		1.0006		1.0009		1.0039		1.0344	
ピーク計数率 (正味計数)	0.009	0.012	0.369	0.336	3.79	3.48	38.4	33.9	380.5	332.2
全 ch 計数率 (グロス計数)	8.1	2.7	12.7	8.5	77.9	67.6	710.9	657.8	7088	6605

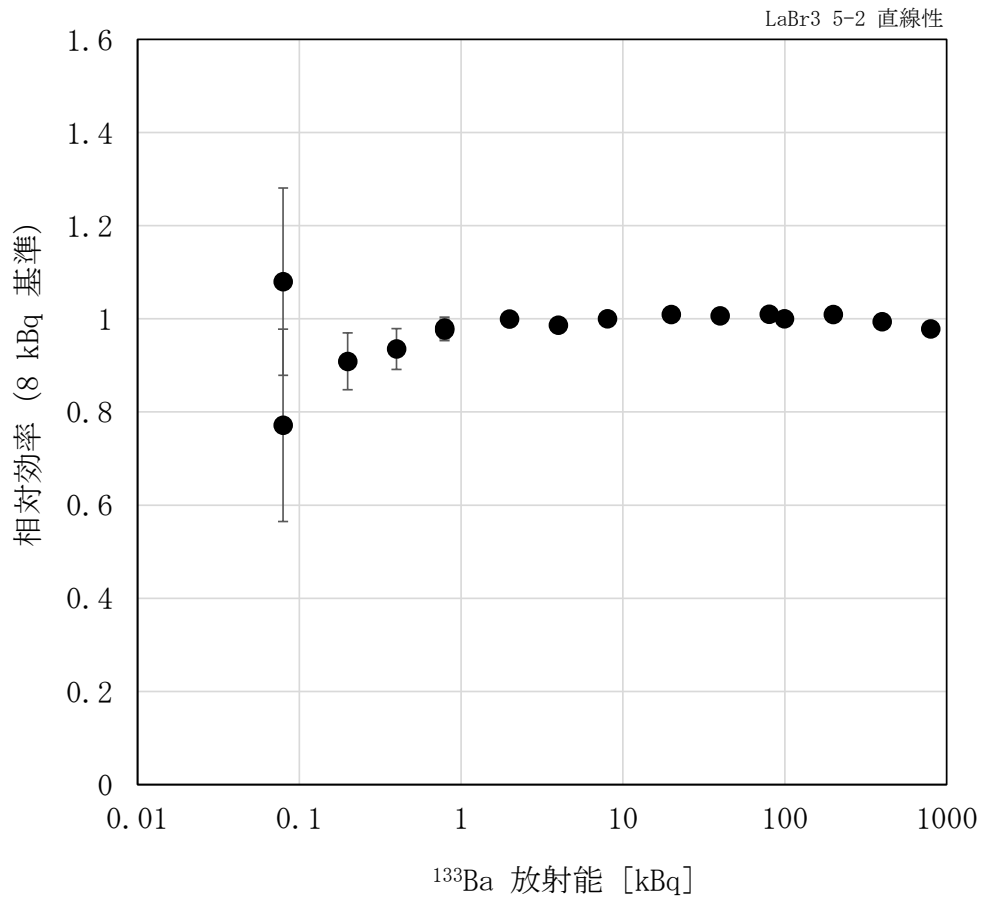


図 4. 3. 1. 3 LaBr₃直線性

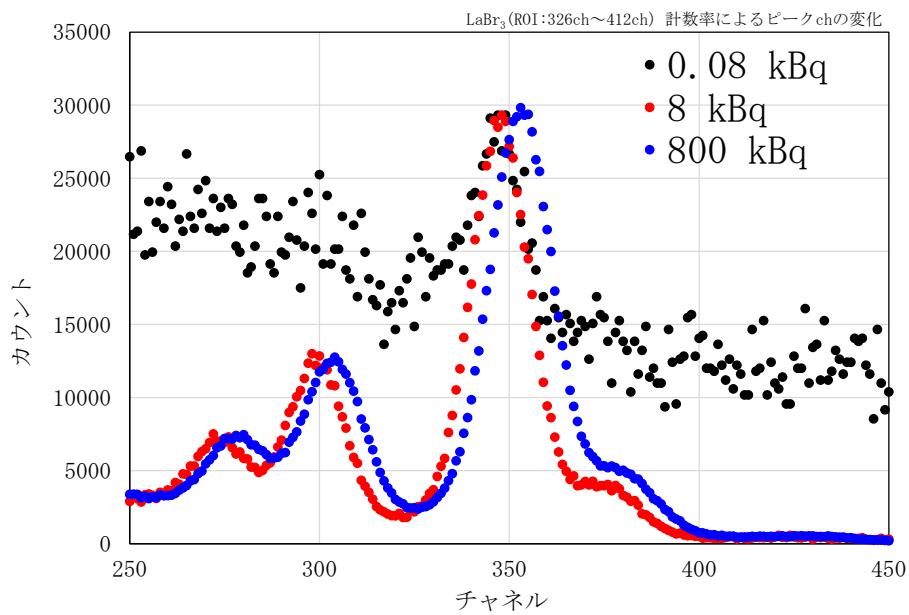


図 4. 3. 1. 4 LaBr₃計数率によるピークチャンネルの変化

表 4.3.1.3 LaBr₃の不感時間補正、ピーク計数率及び全計数率と線源の放射能との関係

	LaBr ₃ - 1	LaBr ₃ - 2	LaBr ₃ - 1	LaBr ₃ - 2	LaBr ₃ - 1	LaBr ₃ - 2	LaBr ₃ - 1	LaBr ₃ - 2	LaBr ₃ - 1	LaBr ₃ - 2
放射能	0.08 kBq		0.8 kBq		8 kBq		80 kBq		800 kBq	
RT/LT	1.0002		1.0002		1.0006		1.0050		1.0490	
ピーク計数率 (正味計数)	0.16	0.31	2.01	2.27	22.4	21.9	224.6	221.6	2164	2140
全ch計数率 (グロス計数)	32.0	27.9	44.7	41.1	167.8	170.8	1404	1467	13573	14294

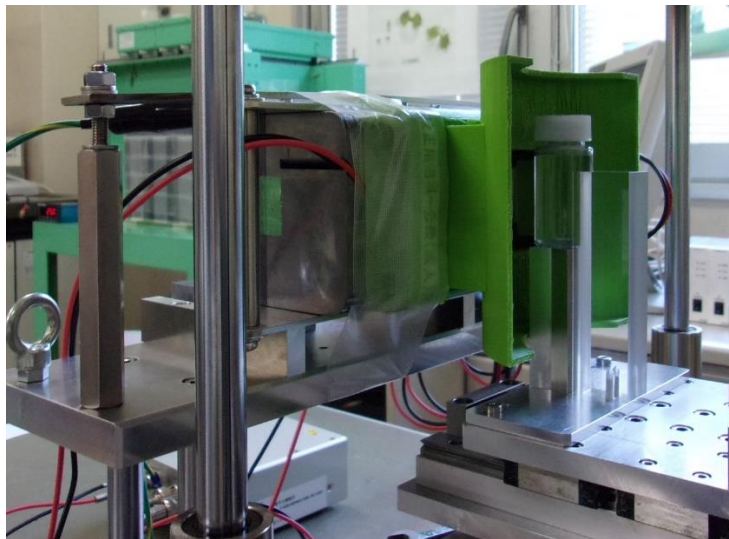


図 4.3.1.5 LaBr₃直線性試験の様子

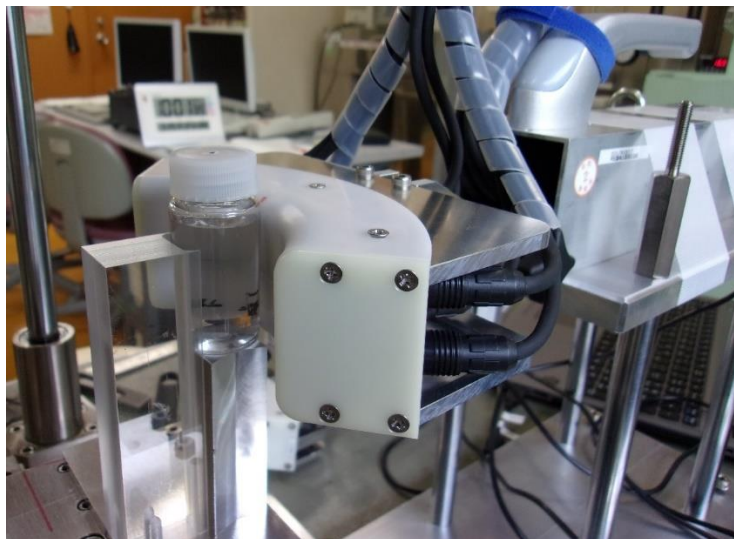


図 4.3.1.6 QST直線性試験の様子

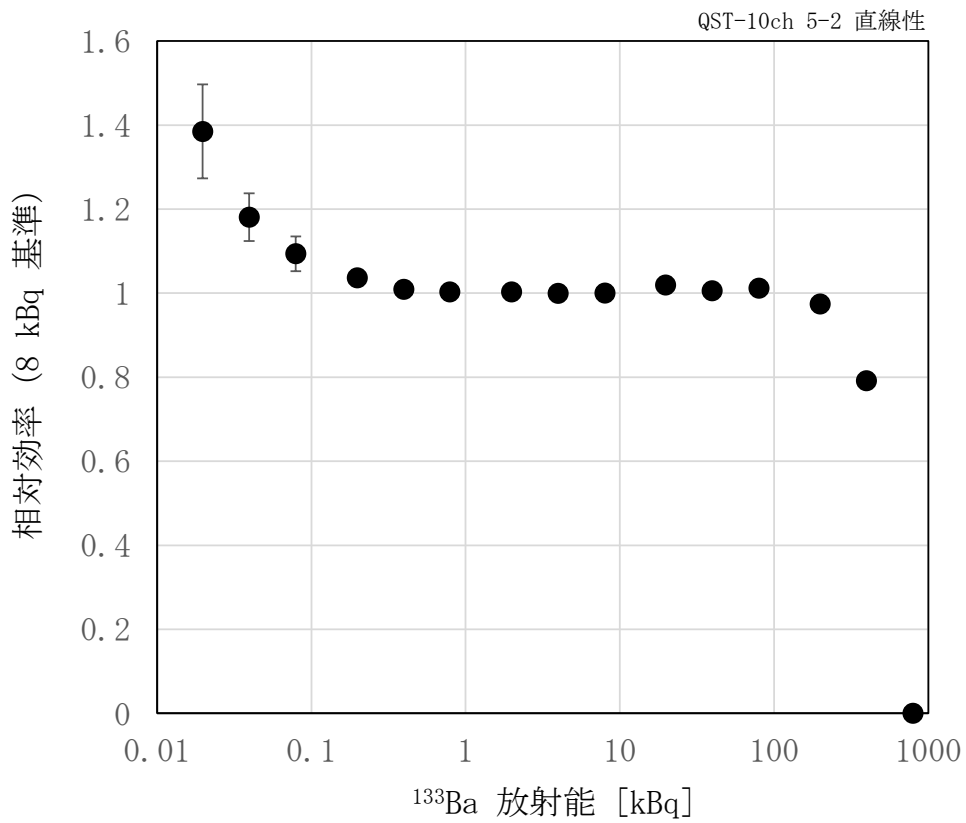


図 4. 3. 1. 7 QST-10ch 直線性

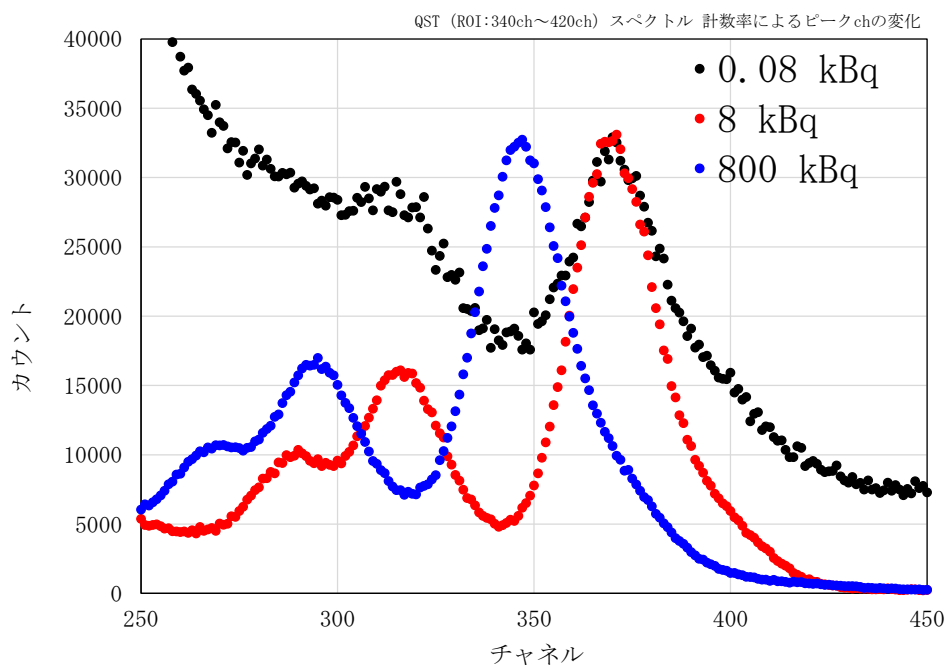


図 4. 3. 1. 8 QST スペクトル 計数率によるピークチャンネルの変化

表 4.3.1.4 QST-10ch の不感時間補正、ピーク計数率及び全計数率と線源の放射能との関係

	QST-10	QST-10	QST-10	QST-10	QST-10	QST-10
放射能	0.008 kBq	0.08 kBq	0.8 kBq	8 kBq	80 kBq	800 kBq
RT/LT	1.000	1.001	1.001	1.006	1.062	1.57
ピーク計数率 (正味計数)	0.153	0.805	7.34	74.2	748.8	6718(*)
全 ch 計数率 (グロス計数)	43.6	48.7	100.6	632.4	5893	55188

注(*)ROI=800kBqのみ318ch ~ 398ch

表 4.3.1.5 線源放射能 8kBq での QST-10ch の各素子の計数率

素子番号	ピーク計数率[s ⁻¹] (正味計数)	全 ch 計数率[s ⁻¹] (グロス計数)
1	5.0	61.5
3	4.9	61.7
4	8.0	84.4
5	8.3	86.2
6	10.9	105.0
7	5.0	60.8
8	8.6	89.5
9	4.8	61.4
10	8.5	86.4
12	10.4	103.0
1-10 合計	74.2	632.4

注) 試験の対象とした QST-10ch の素子番号は 12 番までであり、2 番と 11 番が欠番となっている。

(3) 考察

CZT 及び LaBr₃ の直線性が計数が低い場合に大小にばらついているが、測定時間の制限により計数統計に基づく測定の不確かさが大きい事による。高計数率での相対効率の減少はスペクトルピークの変動が影響している。特に QST はピーク変動が主な要因となっている。低計数率での相対効率の変化はピーク面積算出時のベースライン減算の影響が大きくなることによる。

4. 3. 2 測定エネルギー範囲試験

(1) 試験方法

測定エネルギー範囲試験は、標準試験条件で、表 4.3.2.1 に示す核種からの γ 線を、計数率の平均が $1 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ を超えないよう照射し、少なくとも 2×10^3 カウントになるまで測定し、全エネルギー吸収ピークの中心チャンネルを読み取る。これらの値の直線近似によつ

て波高分析器のフルスケールの90%に相当する γ 線エネルギーを計算し、100keVとの差を求める。

なお、JIS Z 4343: 2015 では全身モニタの試験を前提として測定エネルギー範囲を3000keVまでとしているが、今回は甲状腺モニタを対象としているので、1000keV程度まで測定出来れば良いとした。

表 4.3.2.1-測定エネルギー範囲試験に用いる核種

核種	半減期	γ 線のエネルギー
^{57}Co	271.74日	122keV
^{133}Ba	10.51年	356keV
^{131}I	8.02070日	365keV
^{137}Cs	30.1671年	662keV
^{54}Mn	312.03日	835keV

(2) 試験結果

(2-1) CZT 検出器

図 4.3.2.1 に示すように、波高分析器のフルスケールの90%に相当するエネルギーは913keVとなるため、測定エネルギー範囲は813keVとなった。

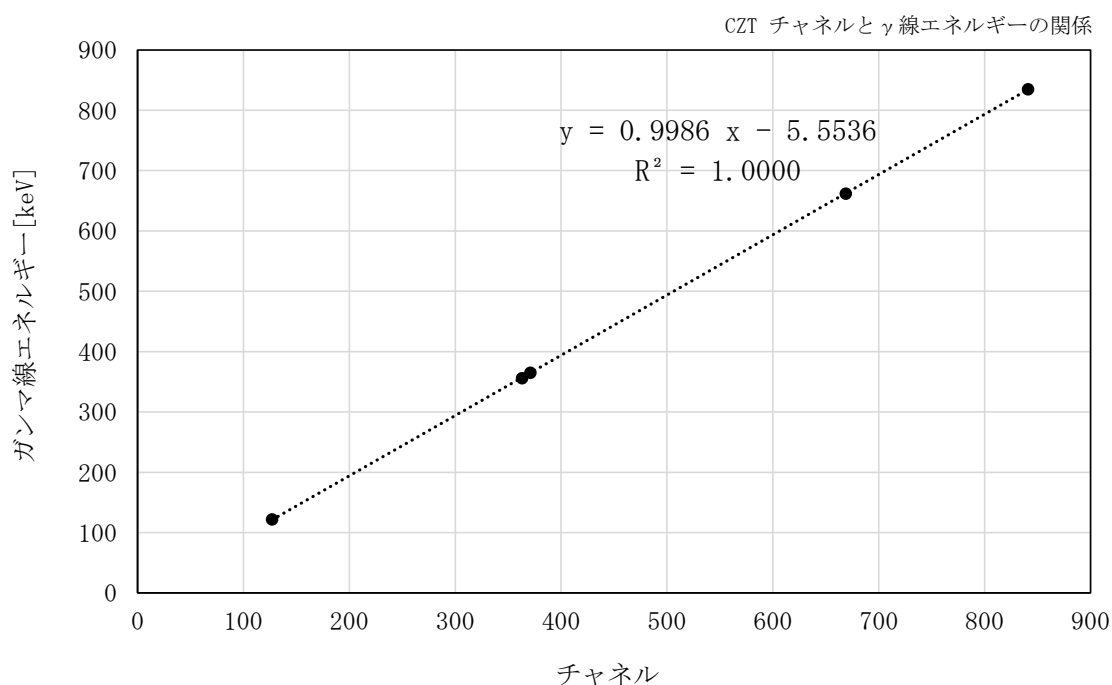


図 4.3.2.1 CZT 検出器チャンネルと γ 線エネルギーの関係

(2-2) LaBr₃ 検出器

図 4.3.2.2 に示すように、波高分析器のフルスケールの 90% に相当するエネルギーは 944 keV となるため、測定エネルギー範囲は 844 keV となった。

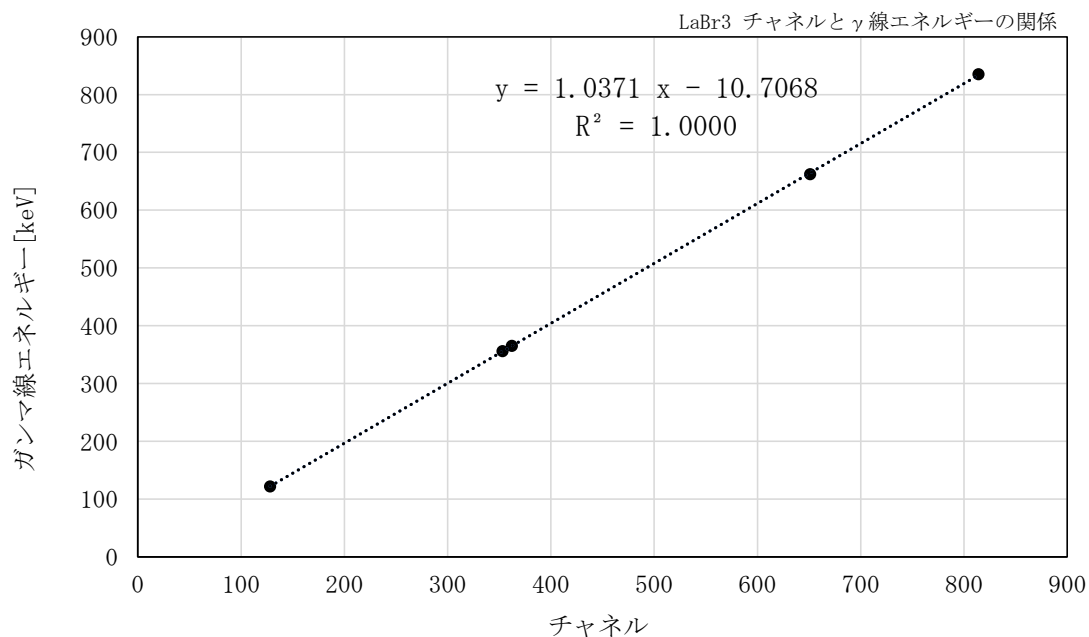


図 4.3.2.2 LaBr₃ 検出器 チャンネルと γ 線エネルギーの関係

(2-3) QST 検出器

図 4.3.2.3 に示すように、波高分析器のフルスケールの 90% に相当するエネルギーは 931 keV となるため、測定エネルギー範囲は 831 keV となった。

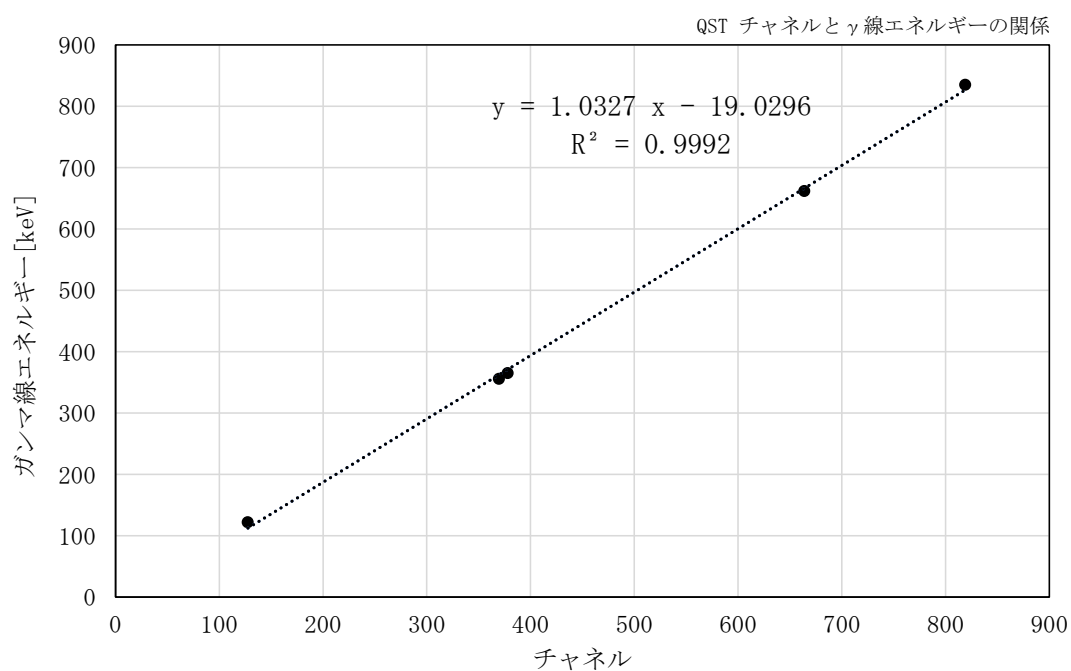


図 4.3.2.3 QST 検出器チャンネルと γ 線エネルギーの関係

(3) 考察

今回試験対象としたモニタは甲状腺モニタリングを目的としており、¹³¹I が主たる測定核種となる。そのため測定エネルギー範囲は低エネルギー領域に限定されている。JIS Z 4343 対象とする全身モニタリングとは測定目的が異なるので、測定エネルギー範囲も異なっていて良い。試験結果いずれも 800keV 程度の測定エネルギー範囲を有しており、¹³¹I のモニタリングに対しては十分である。

4. 3. 3 積分非直線性試験

(1) 試験方法

積分非直線性試験は、標準試験条件で求めた光子エネルギー $E_{\gamma i}$ とそれに相当する読み取りピーク中心チャンネル n_{i0} の関係を直線近似によって求める。この直線から求められる各 n_{i0} に相当するエネルギーと $E_{\gamma i}$ との差 $\Delta E_{\gamma i}$ を求め、その最大値を $\Delta E_{\gamma i \max}$ とする。積分非直線性 η は、式(4.3.3.1)によって求める。

$$\eta(\%) = \frac{\Delta E_{\gamma i \max}}{E_{\gamma \max}} \times 100 \dots \dots \dots (4.3.3.1)$$

ここに、 $E_{\gamma \max}$ は、測定エネルギー範囲の上限で、4.3.2 項で求めた波高分析器のフルスケールの 90 %に相当するエネルギーとする。JIS Z 4343: 2015 では $E_{\gamma \max}$ は、⁸⁸Y の 1.836 MeV とされていたが、甲状腺モニタを対象としているので、1000keV 程度まで測定出来れば良いとした。

(2) 試験結果

(2-1) CZT 検出器

実際の γ 線エネルギーと近似直線により計算されるエネルギーの差の最大値は表 4.3.3.1 より 0.94keV となる。積分非直線性は式 (4.3.3.1) より 0.11%となる。

表 4.3.3.1 CZT 検出器のエネルギー近似直線に対する残差

γ 線エネルギー-A [keV]	近似直線によるエネルギー-B [keV]	A-B [keV]
122	121.27	0.74
356	356.94	-0.94
365	364.93	0.08
662	662.51	-0.51
835	834.27	0.74

(残差 A-B は最小桁を切り上げている)

(2-2) LaBr₃ 検出器

実際の γ 線エネルギーと近似直線により計算されるエネルギーの差の最大値は表 4.3.3.2 より 2.45keV となる。積分非直線性は式 (4.3.3.1) より 0.26%となる。

表 4.3.3.2 LaBr₃ 検出器のエネルギー近似直線に対する残差

γ 線エネルギーA [keV]	近似直線によるエネルギーB [keV]	A-B [keV]
122	122.04	-0.05
356	355.39	0.62
365	364.72	0.28
662	664.45	-2.45
835	833.49	1.51

(残差 A-B は最小桁を切り上げている)

(2-3) QST 検出器

実際の γ 線エネルギーと近似直線により計算されるエネルギーの差の最大値は表 4.3.3.3 より 9.37keV となるので、積分非直線性は式 (4.3.3.1) より 1.01%となる。

表 4.3.3.3 QST 検出器のエネルギー近似直線に対する残差

γ 線エネルギーA [keV]	近似直線によるエネルギーB [keV]	A-B [keV]
122	112.64	9.37
356	362.55	-6.56
365	371.33	-6.34
662	666.68	-4.69
835	826.75	8.25

(残差 A-B は最小桁を切り上げている)

(3) 考察

CZT 検出器及び LaBr₃ 検出器のチャンネルと γ 線エネルギーの関係は直線で十分近似可能であった。QST 検出器の結果は JIS Z 4343: 2015 で定められた許容値 1.0%を僅かに満足していないが、甲状腺モニタリングとして対象核種が限定されているので、実用上の問題はないと考えられる。

4. 3. 4 ¹³¹I 検出効率試験

(1) 試験方法

¹³¹I 検出効率試験は、放射能が既知の ¹³¹I 溶液を 20mL 円筒容器に充填し、キャンベラトランスファファントムの頸部に収納して線源とする。CZT、LaBr₃、QST いずれの場合も、検出器前面から線源中心までの距離は 49mm とした。49mm は CZT 及び LaBr₃ については標準的な距離であるが、QST は線源を検出器に密着した場合の検出器前面から線源中心までの距離は 18.5mm とした。線源の放射能 A_0 は、少なくとも、バックグラウンドによって与えられる計数値の 2 倍以上の計数値が得られるものとする。また、測定時間は全エネルギー吸収ピークにおいて少なくとも 1×10^4 カウント得られる時間 (T_m) とする。この状態で、全エネルギー

一吸収ピークにおける正味計数率 ($C - B$) を測定し、式 (4.3.4.1) により検出効率、及び式 (4.3.4.2) により計数効率を求める。ただし、 P は ^{131}I からの 365 keV の γ 線、及び分離測定が困難な 358 keV の γ 線に対する光子放出割合 ($0.812 + 0.00017 = 0.81217$)⁷⁾ である。なお、JIS Z 4343: 2015 では同じ測定をファントムを置き直しながら 5 回行うよう規定されているが、十分な計数が得られるため 1 回の測定で評価する。正味計数率を求める ROI は表 4.3.4.1 に示す範囲とした。

$$\text{検出効率} = \frac{C - B}{A_0} \dots\dots\dots (4.3.4.1)$$

$$\text{計数効率} = \frac{C - B}{A_0 P} \dots\dots\dots (4.3.4.2)$$

表 4.3.4.1 ^{131}I 検出効率試験での ROI

検出器	ROI 設定チャンネル	ピークチャンネル
CZT-1	330 ch ~ 384 ch	368.5 ch
CZT-2	338 ch ~ 381 ch	368 ch
LaBr ₃ -1	337 ch ~ 389 ch	362.5 ch
LaBr ₃ -2	340 ch ~ 386 ch	360 ch
QST-10ch	346 ch ~ 410 ch	378 ch
QST-8ch	347 ch ~ 407 ch	378 ch
QST-4ch	349 ch ~ 407 ch	379 ch

(2) 試験結果

試験結果は表 4.3.4.2 による。図 4.3.4.1 にキャンベラトランスファファントムを用いた測定の様子を示す。

表 4.3.4.2 キャンベラトランスファファントムの頸部を用いて得た検出効率

検出器	CZT	LaBr ₃	QST-10ch	QST-8ch	QST-4ch
測定時間 [秒]	2000	1000	2000	1000	6000
放射能 [kBq]	69.2	83.6	49.2	40.4	31.4
正味計数	187222	651660	383978	118623	323781
測定中の減衰補正項	0.999	1.000	0.999	1.000	0.997
検出効率 [s^{-1}/Bq]	0.00135	0.00780	0.00391	0.00294	0.00173
計数効率 [s^{-1}/s^{-1}]	0.00167	0.00960	0.00481	0.00361	0.00213

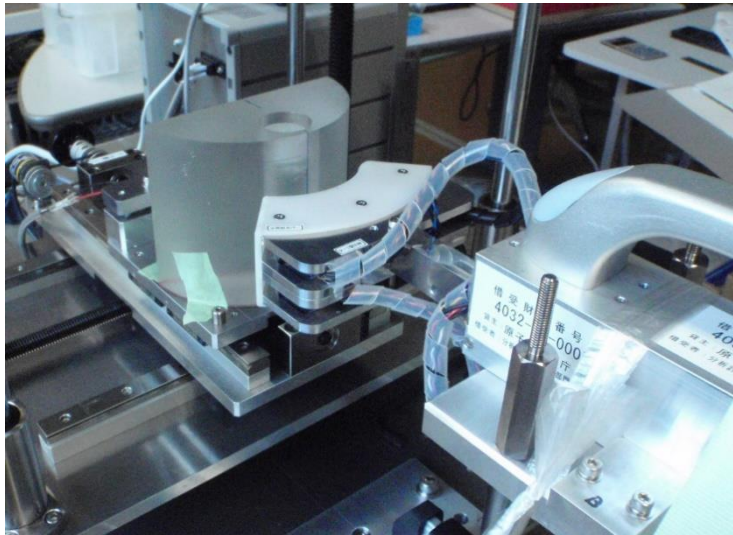


図 4.3.4.1 キャンベラトランスファファントムを用いた測定の様子

(3) 考察

機器効率は測定器の検出部分と線源の幾何学的配置に大きく依存する。本試験では検出器の比較を可能にするため、検出器前面から線源中心までの距離を 49mm に統一した。QST の場合、線源を検出器前面に密着させた場合の検出器前面から線源中心までの距離が 18.5mm であるため、今回の条件では検出効率は過小評価となる。4.5.3 項に IRSN ファントムを密着した条件での効率評価の結果を示している。

4.3.5 バックグラウンド試験

(1) 試験方法

バックグラウンド試験は、標準試験条件で、製造業者が指定した位置に、線源を装着しないファントムを配置し、全エネルギー吸収ピークに相当する領域の計数率とする。測定時間は 10 分以上とし、測定は 3 回行いそれぞれの計数率の平均を求める。ROI は表 4.3.4.1 に示した ^{131}I 検出効率試験と同じにした。

(2) 試験結果

測定によって得られた波高分布スペクトルを図 4.3.5.1～図 4.3.5.3 に示す。各条件でレスポンスを求めた際と同じチャンネル範囲の計数の合計を求めた結果を表 4.3.5.1 に示す。

表 4.3.5.1 測定器及びファントムによるバックグラウンド計数率の違い

検出器	CZT	LaBr ₃	LaBr ₃	LaBr ₃	QST-10ch	QST-8ch	QST-4ch
ファントム	JAEA 成人	JAEA 成人	JAEA 小児	JAEA 幼児	JAEA 成人	JAEA 小児	JAEA 幼児
BG 計数率 [s^{-1}]	0.185	1.36	1.39	1.42	1.32	0.851	0.493

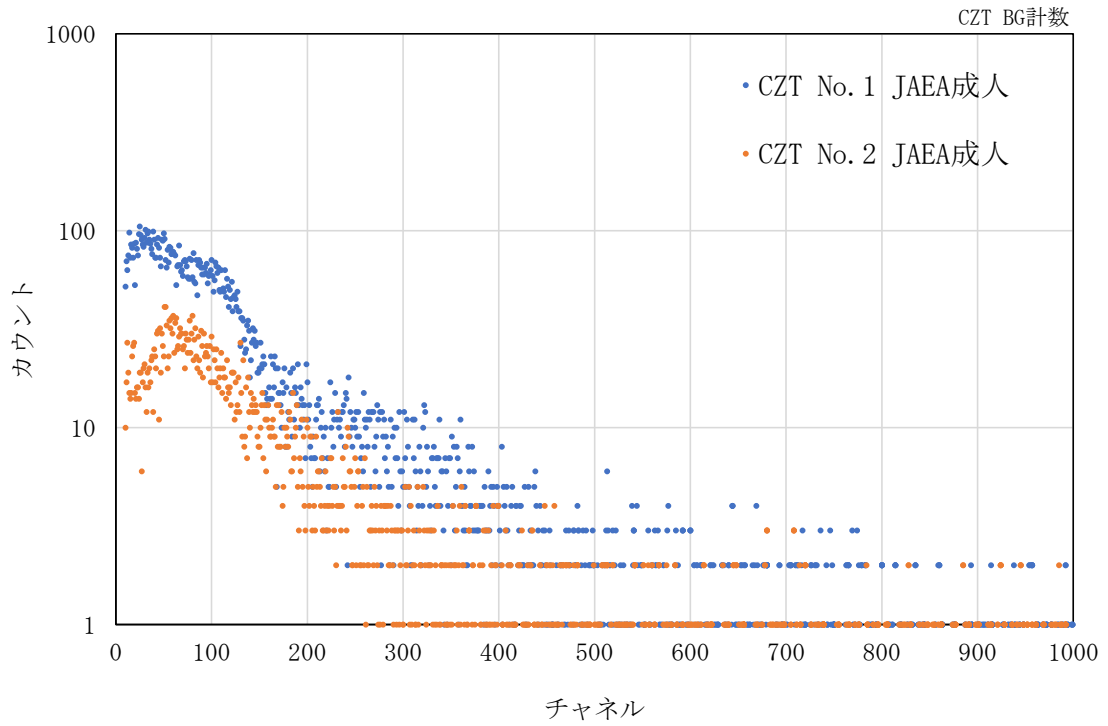


図 4.3.5.1 CZT 検出器のバックグラウンドスペクトル

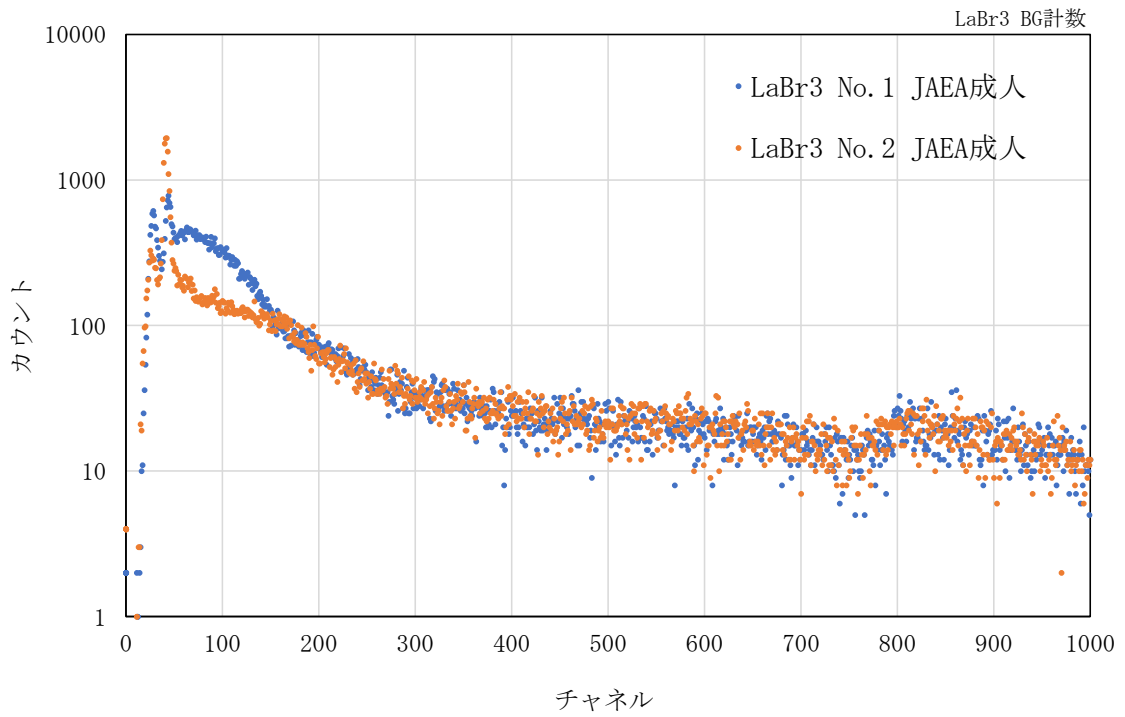


図 4.3.5.2 LaBr₃ 検出器のバックグラウンドスペクトル

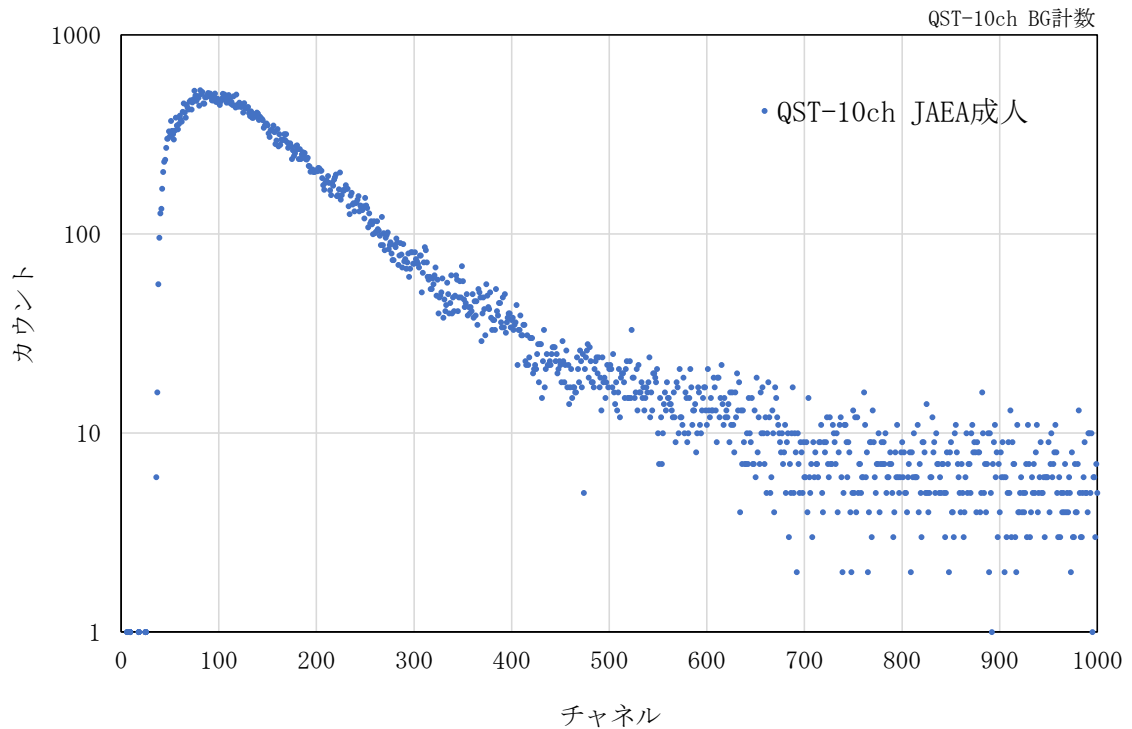


図 4.3.5.3 QST 検出器のバックグラウンドスペクトル

(3) 考察

CZT 検出器は二つの検出器で BG 計数の波高分布が異なる。LaBr₃ 検出器は結晶内に天然に存在する放射性物質が同位体として微量混入しているため、スペクトル上にその信号の混入が避けられない。

4. 3. 6 決定閾値試験

(1) 試験方法

決定閾値試験は、次による。

- a) 計数率の決定閾値 R_{DT} は、式(4.3.6.1)によって求める。

$$R_{DT} = \frac{1}{2t_0} k_{1-\alpha}^2 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4R_b t_0}{k_{1-\alpha}^2} \left(1 + \frac{t_0}{t_b} \right)} \right] \dots\dots\dots (4.3.6.1)$$

ここに、
 R_b : バックグラウンド計数率 (s⁻¹)
 t_b : バックグラウンド測定時間 (s) : 600 (s)
 t_0 : 測定時間 (s) : 180 (s)
 $k_{1-\alpha}$: 第1種過誤が生じる確率 α を 5%とした場合の係数で 1.64 とする。

- b) 決定閾値に相当する放射能 (A_{DT}) [Bq] は、決定閾値 (R_{DT}) [s⁻¹] を検出効率 [s⁻¹/Bq] で除して求める。

(2) 結果

(2-1) 決定閾値

得られた決定閾値を表 4.3.6.1 に示す。効率はキャンベラトランスファファントムを用い、検出器前面～線源中心を 49mm とした測定で決定した。

表 4.3.6.1 測定器及びファントムによる決定閾値の違い

検出器	CZT	LaBr ₃	LaBr ₃	LaBr ₃	QST-10ch	QST-8ch	QST-4ch
ファントム	JAEA 成人	JAEA 成人	JAEA 小児	JAEA 幼児	JAEA 成人	JAEA 小児	JAEA 幼児
BG 計数率 [s ⁻¹]	0.185	1.36	1.39	1.42	1.32	0.851	0.493
t ₀ [s]	180	180	180	180	180	180	180
t _b [s]	600	600	600	600	600	600	600
k _{1-α}	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
決定閾値 (R _{DT}) [s ⁻¹]	0.0679	0.171	0.172	0.174	0.168	0.137	0.106
検出効率 [s ⁻¹ /Bq]	0.00135	0.00780	—	—	0.00391	0.00294	0.00173
決定閾値 (A _{DT}) [Bq]	50.1	21.9	—	—	43.0	46.5	61.2

(3) 考察

本試験では、検出器の比較が出来るように、検出器前面から線源中心までの距離を 49mm に統一して評価している。QST については実際の測定時は検出器を頸部に密着させているので、今回の評価はで実際の測定条件での放射能よりも大きく評価されている。実際の測定条件での値は 4.5.3 項による。

4. 3. 7 最大計数率試験

(1) 試験方法

最大計数率試験は、標準試験条件で、同一核種の試験用線源 2 個を用いて行い、次による。ただし、これらによって与えられる指示値は、それぞれ有効測定範囲の最大値の 10% 程度とする。

- 全計数に相当する領域のバックグラウンド計数率 B を取得する。ROI は 10ch ~ 1023ch とする。バックグラウンドの測定時間は計数値が、 1×10^4 となるのに要する時間又は 3000 秒のいずれか短い方とする。
- 製造業者が規定した位置に上記の試験用線源 1 個を設置し、計数率 G_1 を得る。測定時間は、線源測定の場合は計数値が 1×10^5 となるのに要する時間とする。続いてもう一つの試験用線源を設置し、計数率 G_2 を得る。2 個の試験用線源は、それぞれ一方の試験用線源が検出器を見込む立体角の外に他方が設置されるようにしなければならない。さらに、最初に置いた試験用線源を取り外し、後で設置した試験用線源だけによる計数率 G_2 を得る。
- 上記条件による不感時間 μ (s) は、式(4.3.7.1)によって求める。

$$\mu = \frac{C_1 + C_2 - C_{12} - B}{C_{12} + B^2 - (C_1^2 + C_2^2)} \dots\dots\dots (4.3.7.1)$$

ここに、 C_1 、 C_2 、 C_{12} 及び B の単位は、 (s^{-1}) とする。

d) 最大計数率 C_{max} は、式(4.3.7.2)によって求める。

$$C_{max} = \frac{0.1}{1.1\mu} \dots\dots\dots (4.3.7.2)$$

(2) 試験結果

試験結果は表 4.3.7.1 による。

表 4.3.7.1 測定器による不感時間及び最大計数率の違い

検出器	CZT	LaBr ₃	QST-10ch	QST-8ch	QST-4ch
不感時間[μs]	10.6	4.03	14.6	21.0	20.4
最大計数率[s^{-1}]	8541	22567	6247	4328	4466

4.3.8 安定性試験

(1) 試験方法

安定性試験は、検出器の近傍に ⁵⁷Co 線源及び ⁸⁸Y 線源を試験中に動かないように設置する。ここで、ファントム又は試験用線源の放射能は、1時間以内にそれぞれの全エネルギー吸収ピークにおいて 1×10^4 以上の計数値が得られるものでなければならない。この状態で γ 線の波高スペクトルを取得し、122keV (⁵⁷Co) のピーク中心チャンネル ($X1$) 及び 898keV (⁸⁸Y) のピーク中心チャンネル ($X2$) を、式(4.3.8.1)によって計算し、記録する。ROI は表 4.3.8.1 の通りとする。

$$X = \frac{\sum_{i=n}^m i \times C_i}{\sum_{i=n}^m C_i} \dots\dots\dots (4.3.8.1)$$

ここに、
 X : $X1$ 又は $X2$
 n : ⁵⁷Co 又は ⁸⁸Y の全エネルギー吸収ピークの最小チャンネル
 m : ⁵⁷Co 又は ⁸⁸Y の全エネルギー吸収ピークの最大チャンネル
 C_i : i 番目のチャンネルにおける計数値

上記の測定及び24時間にわたり、1時間間隔で行う。24時間連続の試験が難しい場合は、1時間以上の間隔で24回以上の測定を実施してもよいこととした。ただし、全ての測定及び記録が終了するまで、装置の電源を切ってはならず、試験用線源を動かしていない。ピークの中心チャンネル $X1$ 及び $X2$ それぞれの平均は、式(4.3.8.2)によって求める。

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^j X_i}{j} \dots\dots\dots (4.3.8.2)$$

ここに、
 \bar{X} : $X1$ 又は $X2$ の平均値
 X_i : i 回目の測定で取得した $X1$ 又は $X2$

j : $X1$ 又は $X2$ を取得した回数

次にそれぞれのピーク中心チャンネルに対する標準偏差 $S1$ 、 $S2$ は、式(4.3.8.3)によって求める。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (X_i - \bar{X})^2}{j-1}} \dots\dots\dots (4.3.8.3)$$

最後に、装置の不安定性 F (%) は、式(4.3.8.4)によって求める。

$$F = \frac{\sigma K}{E_2} \times 100 \dots\dots\dots (4.3.8.4)$$

ここに、
 σ : $S1$ 、 $S2$ のうち大きい方
 K : 1チャンネルに相当するエネルギー (keV)
 E_2 : ^{88}Y のエネルギー [898 (keV)]

注) JIS Z 4343: 2015 では $E2$ として ^{88}Y の 1.836MeV としているが、本試験の対象は甲状腺モニタであるので ^{88}Y の 898keV を用いることとしている。

表 4.3.8.1 安定性試験での ROI 設定チャンネル

検出器	^{57}Co	^{88}Y
CZT-1	101 ch ~ 150 ch	840 ch ~ 940 ch
CZT-2	101 ch ~ 150 ch	840 ch ~ 940 ch
LaBr ₃ -1	101 ch ~ 150 ch	840 ch ~ 940 ch
LaBr ₃ -2	101 ch ~ 150 ch	840 ch ~ 940 ch
QST-10ch	111 ch ~ 150 ch	821 ch ~ 940 ch

(2) 試験結果

得られた安定性を表 4.3.8.2~表 4.3.8.4 に示す。また、それぞれの検出器においてピークの時間変動を図 4.3.8.1、図 4.3.8.3 及び図 4.3.8.5 に示す。代表的なスペクトルは図 4.3.8.2、図 4.3.8.4 及び図 4.3.8.6 に示す。

表 4.3.8.2 CZT 安定性指標

検出器	CZT-1	CZT-2	CZT-1	CZT-2
核種	^{57}Co	^{57}Co	^{88}Y	^{88}Y
X : 平均ピークチャンネルの平均	121.8	121.0	889.1	889.8
S : 平均ピークチャンネルの実験標準偏差	0.037	0.029	0.200	0.206
^{88}Y ピークに対する相対標準偏差[%]	0.004	0.003	0.023	0.023
F : 安定性指標	0.023 %			

注) CZT 安定性試験中の周囲温度は、19.5℃~20.4℃

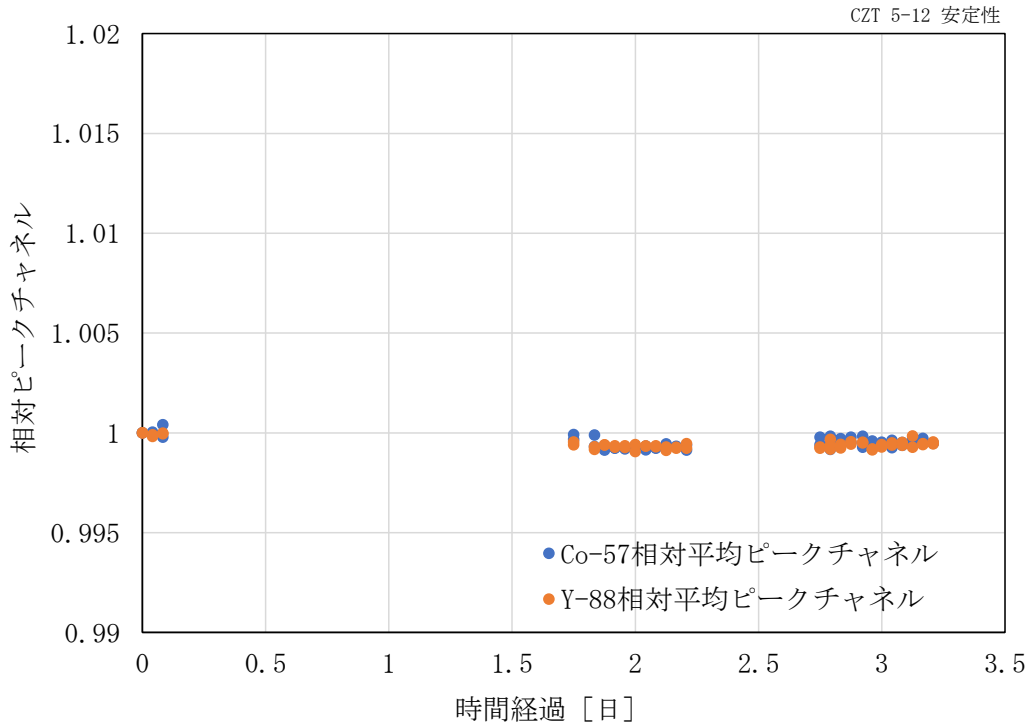


図 4.3.8.1 CZT 検出器の安定性

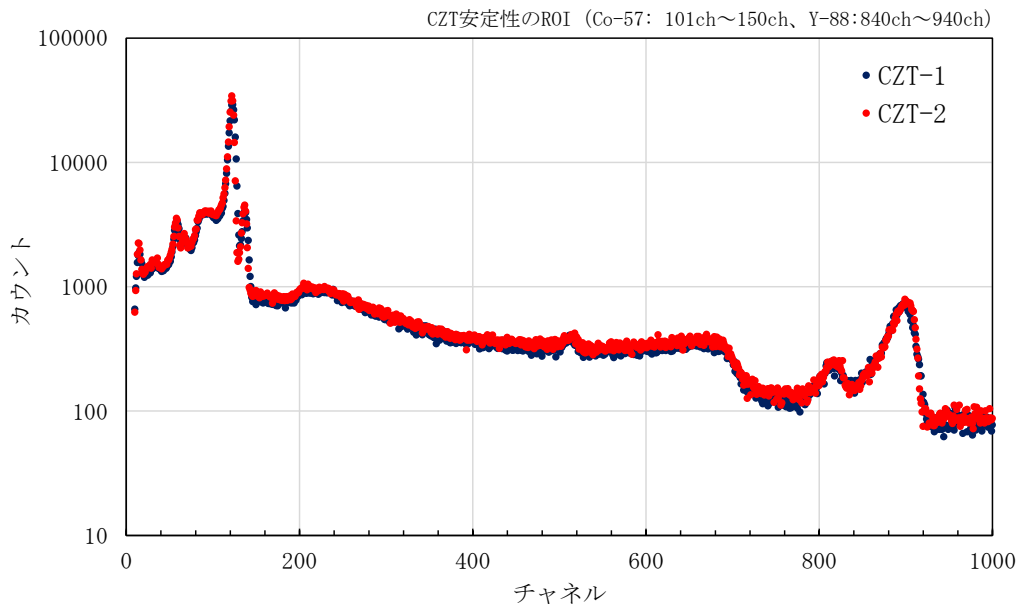


図 4.3.8.2 CZT 安定性のROI (^{57}Co : 101ch~150ch、 ^{88}Y :840ch~940ch)

表 4.3.8.3 LaBr₃ 安定性指標

検出器	LaBr ₃ -1	LaBr ₃ -2	LaBr ₃ -1	LaBr ₃ -2
核種	⁵⁷ Co	⁵⁷ Co	⁸⁸ Y	⁸⁸ Y
<i>X</i> : 平均ピークチャンネルの平均	126.2	126.0	893.6	889.3
<i>S</i> : 平均ピークチャンネルの実験標準偏差	0.246	0.244	2.457	2.283
⁸⁸ Y ピークに対する相対標準偏差[%]	0.028	0.027	0.275	0.257
<i>F</i> : 安定性指標	0.275 %			

注) LaBr₃ 安定性試験中の周囲温度は、18.9℃～20.9℃

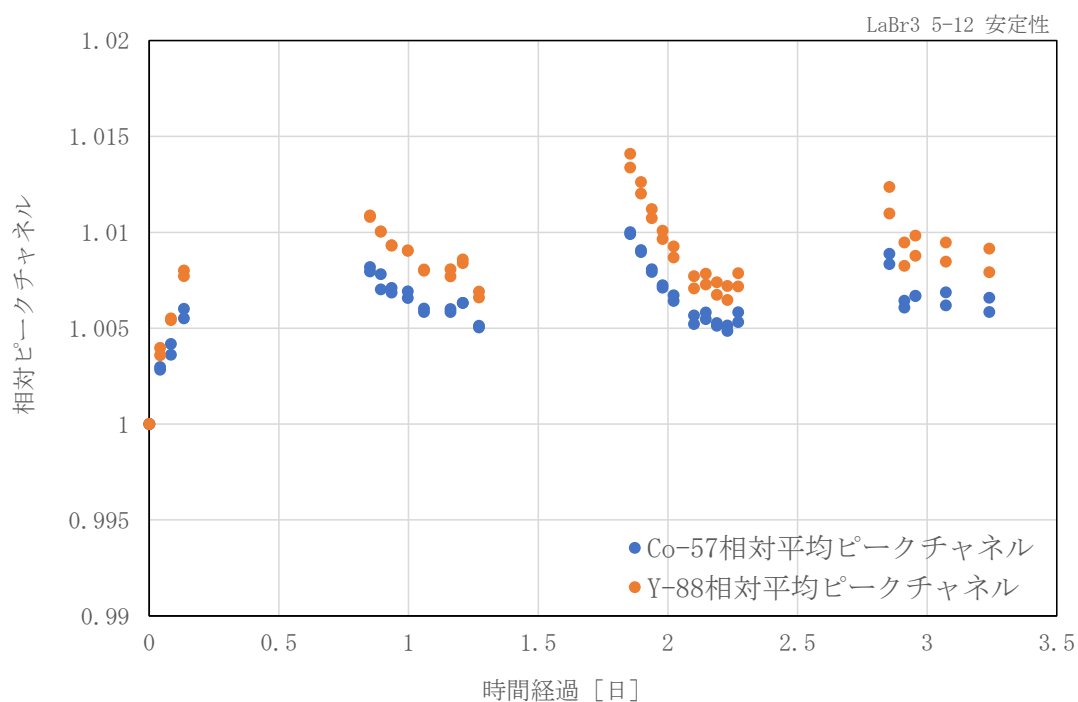


図 4.3.8.3 LaBr₃ 検出器の安定性

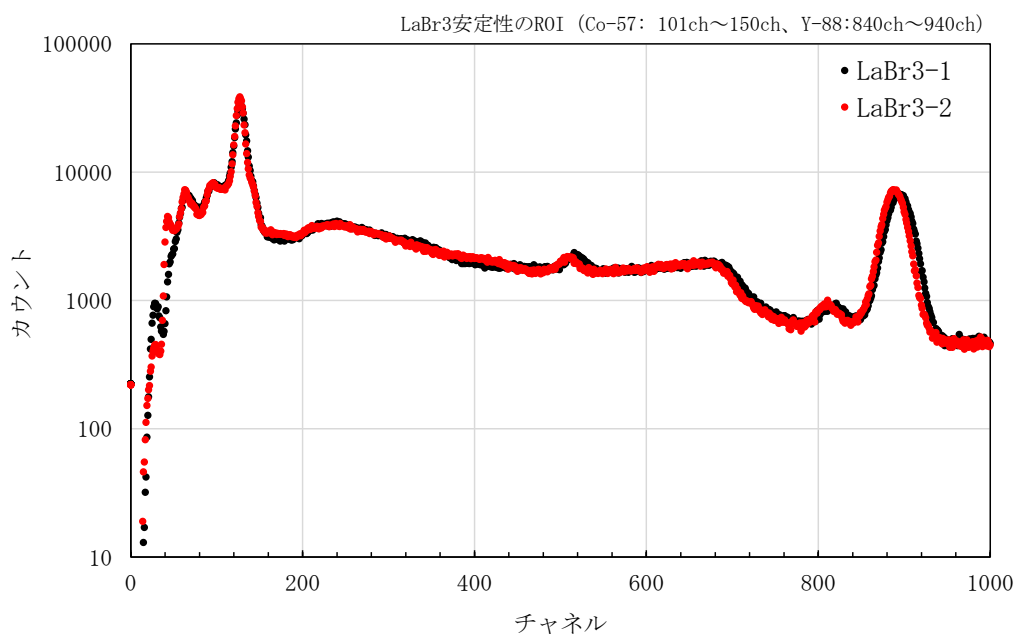


図 4.3.8.4 LaBr₃安定性のROI (⁵⁷Co: 101ch~150ch、⁸⁸Y:840ch~940ch)

表 4.3.8.4 QST 安定性指標

検出器	QST	QST
核種	⁵⁷ Co	⁸⁸ Y
<i>X</i> : 平均ピークチャンネルの平均	127.1	870.5
<i>S</i> : 平均ピークチャンネルの実験標準偏差	0.286	2.280
⁸⁸ Y ピークに対する相対標準偏差[%]	0.033	0.262
<i>F</i> : 安定性指標	0.262 %	

注) QST 安定性試験中の周囲温度は、21.0°C~21.4°C

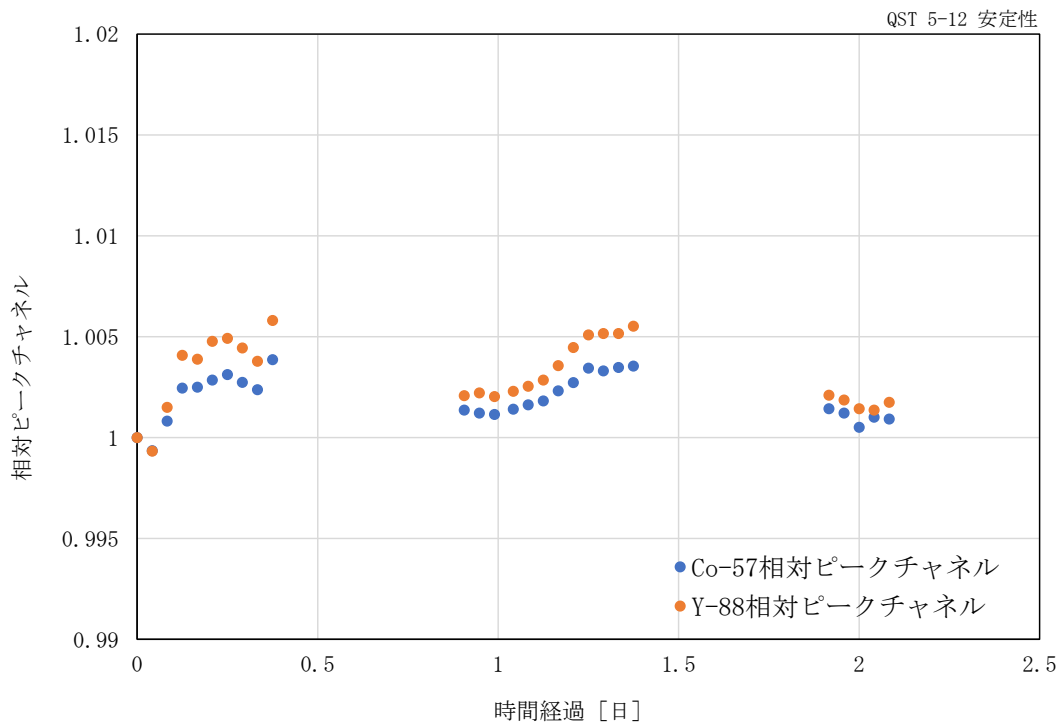


図 4. 3. 8. 5 QST 検出器の安定性

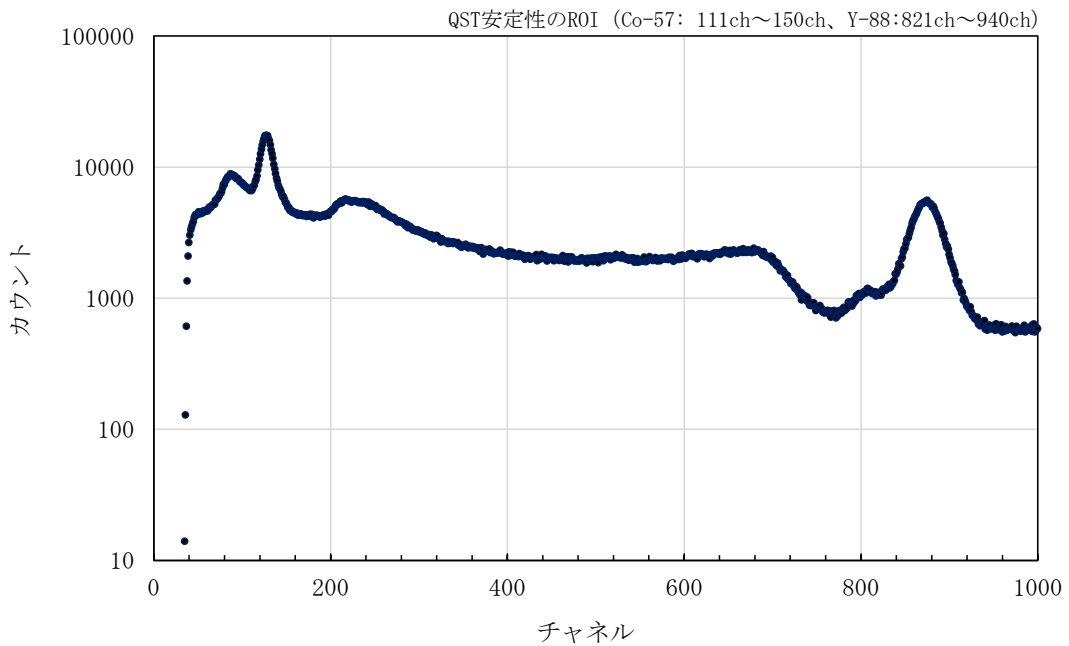


図 4. 3. 8. 6 QST 安定性の ROI (^{57}Co : 111ch~150ch、 ^{88}Y :821ch~940ch)

(3) 考察

CZT の安定性は良好だった。LaBr₃ は装置の伝送異常が発生するため、夜間は電源供給を止めていたので、変動が大きく見える原因になっている。CZT が半導体検出であるのに対し、LaBr₃ と QST はシンチレーション検出器である点が安定性に関係していることも考えられる。

測定は室内環境で行った。室温の変動幅は CZT 試験で 19.4 °C ~ 20.4 °C、LaBr₃ 試験で 21.7 °C ~ 22.4 °C、QST 試験で 21.0 °C ~ 21.4 °C であった。

4. 3. 9 温度特性試験

(1) 試験方法

温度特性試験は、次による。なお、計測部のうちデータ処理ユニットは試験から除外する。

- 1) 装置を恒温槽内に設置し、標準試験条件で動作させた。
- 2) ⁵⁷Co、¹³³Ba、¹³⁷Cs 及び ⁵⁴Mn からの γ 線を照射してスペクトル測定を行った。
- 3) 恒温槽の温度を温度勾配 10 °C/h 以下で 35 °C まで上昇させ、35 ± 2 °C に 4 時間保持した後に 2) と同様のスペクトル測定を行った。
- 4) 恒温槽の温度を 10 °C まで低下させ、10 ± 2 °C で 4 時間保持した後に 2) と同様のスペクトル測定を行った。
- 5) 標準試験条件でのスペクトルを基準とし、35 °C 及び 10 °C でのスペクトルの変化を記録した。
- 6) 標準試験条件での測定に基づき γ 線エネルギー対ピークチャンネルの関係を求め、近似直線を作成した。各エネルギーにおいて実測によるチャンネルと近似直線で示されるチャンネルの差を求めた。35 °C 及び 10 °C で同じ測定を行い、標準試験条件での近似直線に対してチャンネルの差の最大値を求めた。

なお、⁵⁴Mn の正味計数率を求めるための ROI 設定は表 4. 3. 9. 1 の通りとした。

表 4. 3. 9. 1 ⁵⁴Mn 正味計数評価のための ROI

検出器	試験条件	ROI 設定チャンネル
CZT-1、CZT-2	全ての試験温度	740 ch ~ 890 ch
LaBr ₃ -1	10 °C	822 ch ~ 922 ch
	22.4 °C	782 ch ~ 878 ch
	35 °C	731 ch ~ 821 ch
LaBr ₃ -2	10 °C	811 ch ~ 911 ch
	22.4 °C	775 ch ~ 871 h
	35 °C	723 ch ~ 813 ch
QST-10ch	全ての試験温度	740 ch ~ 880 ch

(2) 試験結果

(2-1) CZT 検出器

スペクトルの変化を図 4. 3. 9. 1 に示す。全体として大きなずれはない。⁵⁴Mn のピークを拡大したものを図 4. 3. 9. 2 に示す。10 °C ⇒ 20 °C ⇒ 35 °C でピークチャンネルの変化は 1% 未満、20 °C に対するピーク正味計数率の変化は 35 °C で +4%、10 °C で -2% であった。(1) の 6) で求めたピークチャンネルの変化を図 4. 3. 9. 3 に示す。

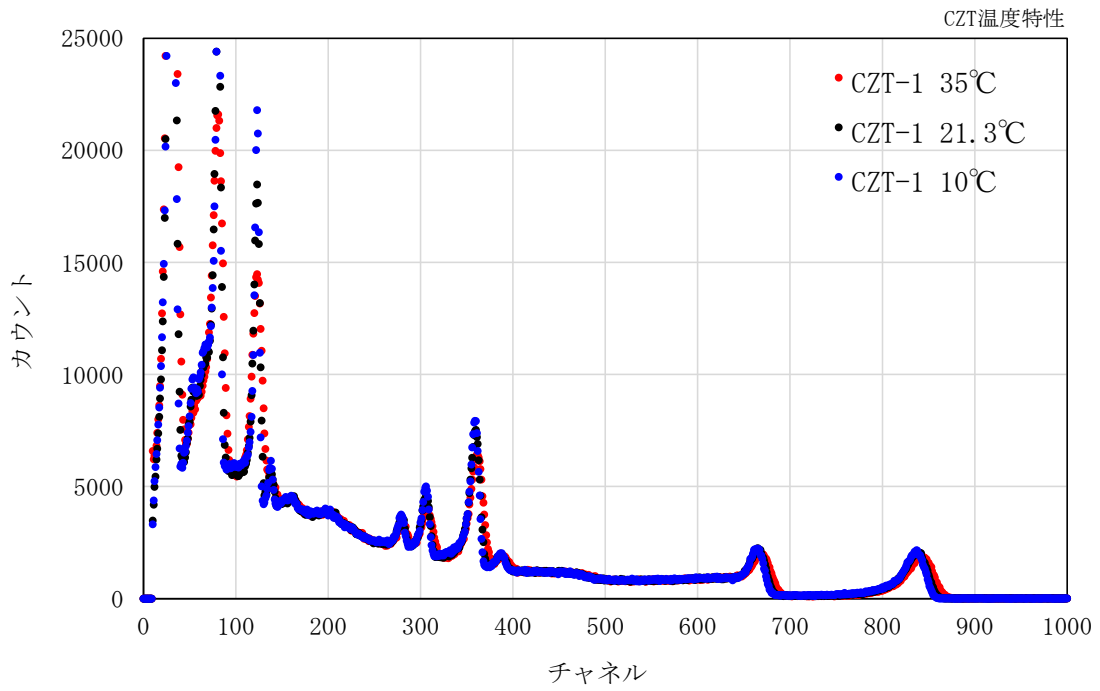


図 4.3.9.1 CZT 検出器温度特性

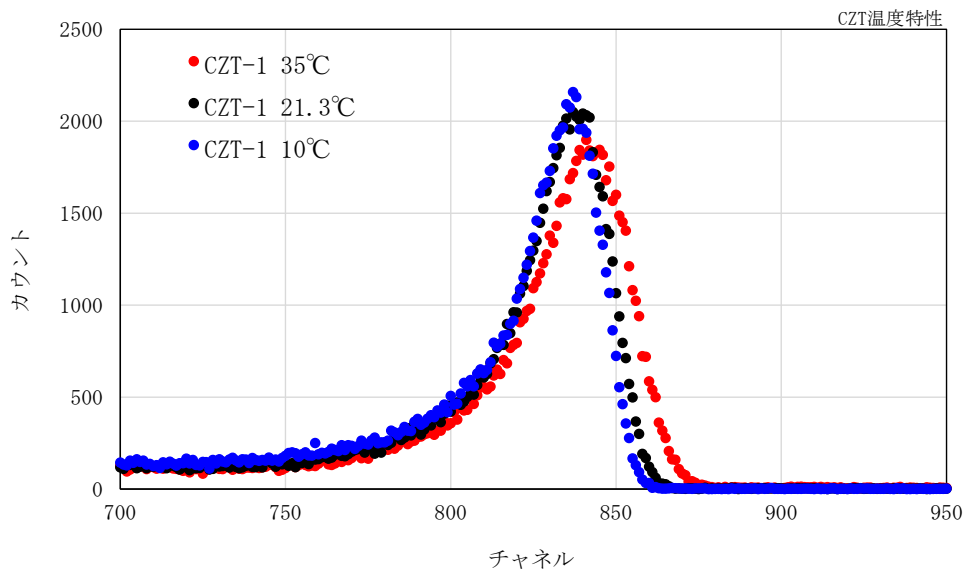


図 4.3.9.2 CZT 検出器温度特性 (スペクトル拡大)

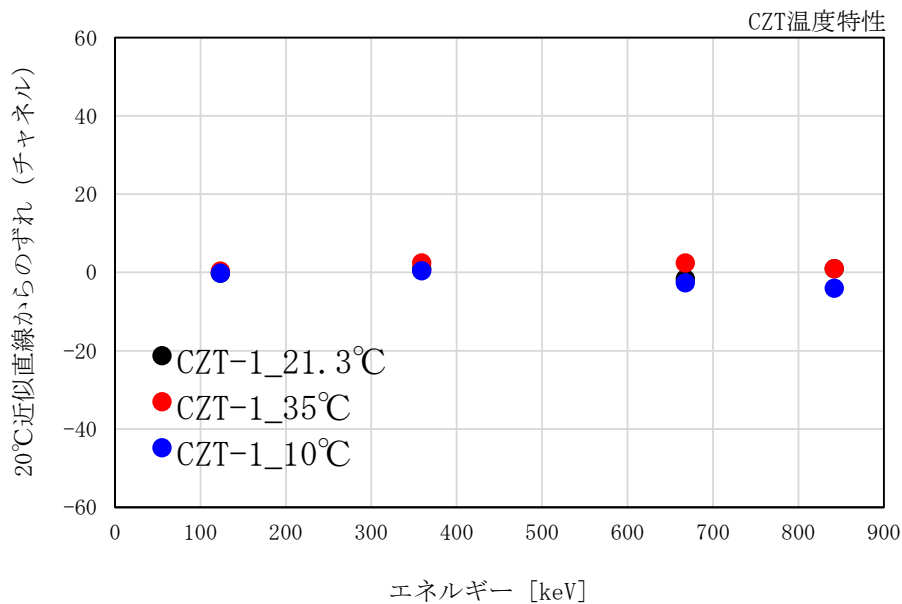


図 4.3.9.3 CZT 検出器ピークチャンネルの温度変化

(2-2) LaBr₃ 検出器

スペクトルの変化を図 4.3.9.4 に示す。全体的なピークのずれがある。⁵⁴Mn のピークを拡大したものを図 4.3.9.5 に示す。ピークチャンネルの変化は、20°C に対して 10°C は +5%、35°C は -6.5% であった。また、ピーク正味計数率の変化は、20°C に対して 10°C は +0.3%、35°C は -1.25% であった。(1) の 6) で求めたピークチャンネルの変化を図 4.3.9.6 に示す。

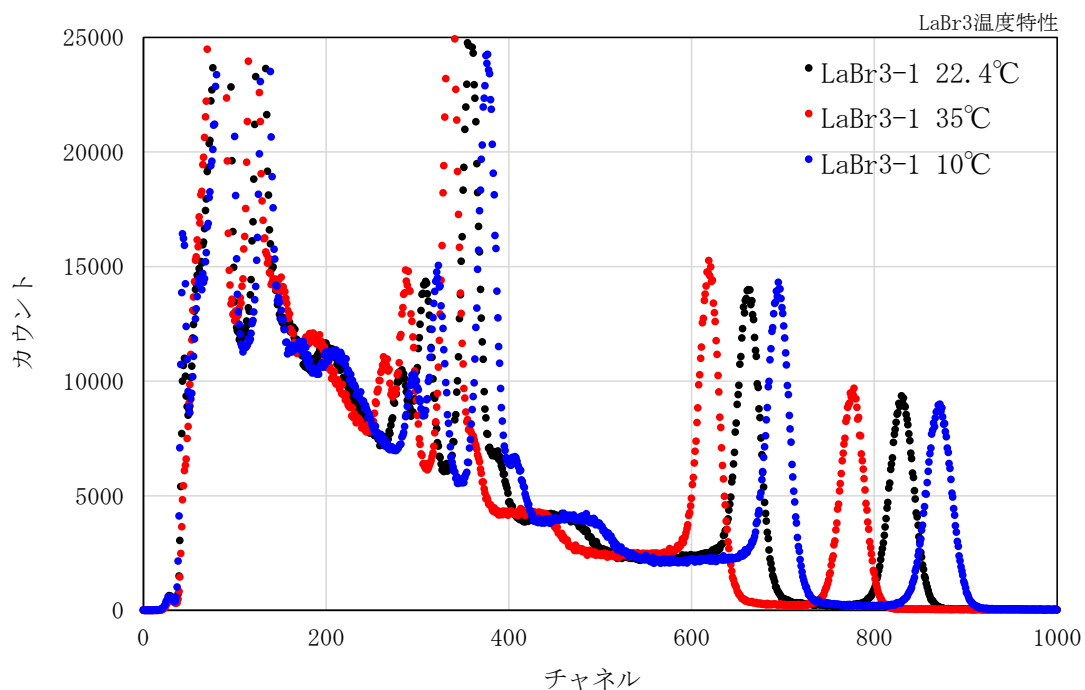


図 4.3.9.4 LaBr₃ 検出器温度特性

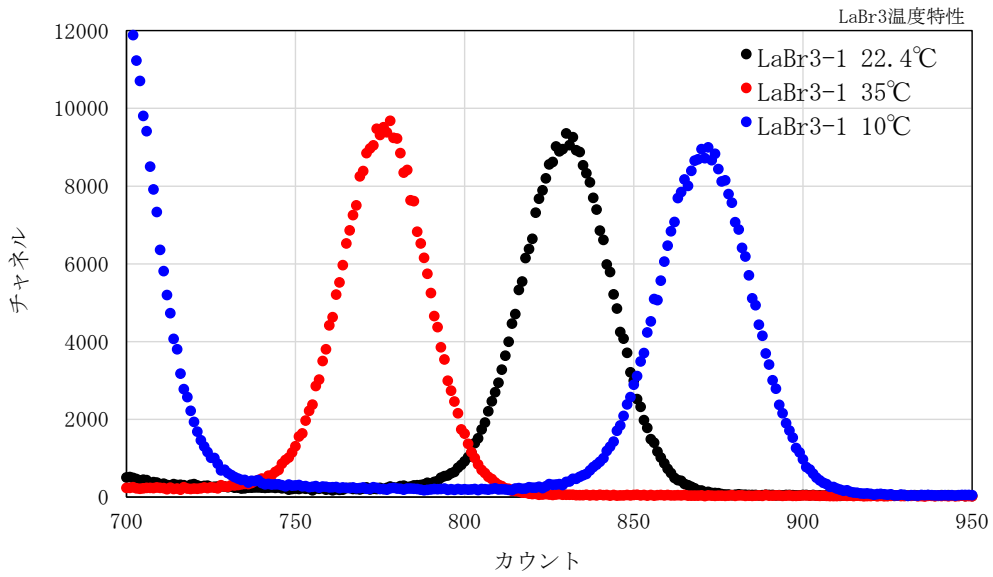


図 4.3.9.5 LaBr₃ 検出器温度特性 (スペクトル拡大)

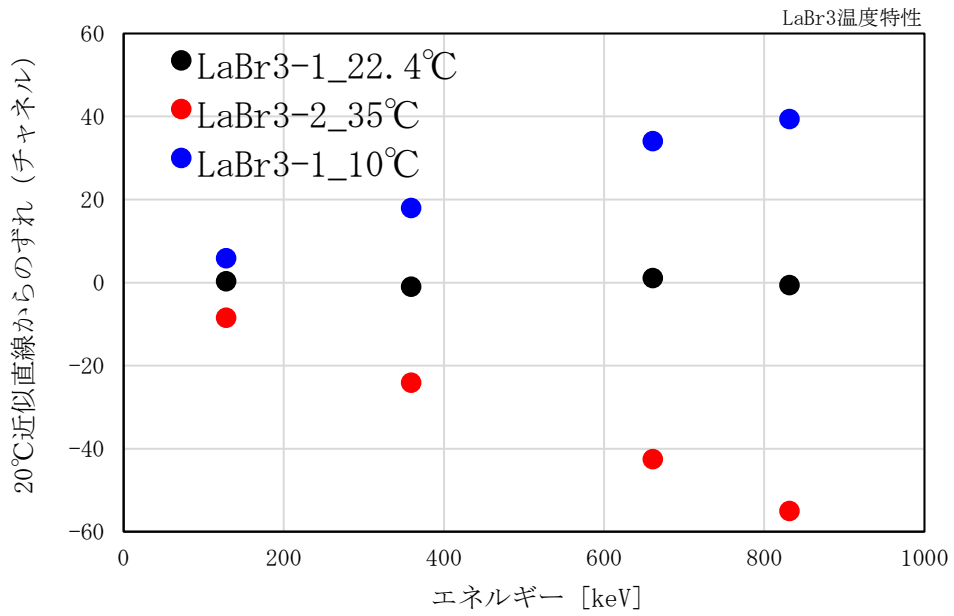


図 4.3.9.6 LaBr₃ 検出器ピークチャネルの温度変化

(2-3) QST 検出器

スペクトルの変化を図 4.3.9.7 に示す。全体として大きなずれはない。 ^{54}Mn のピークを拡大したものを図 4.3.9.8 に示す。ピークチャンネルの変化は、 20°C に対して 10°C は -0.8% 、 35°C は $+0.1\%$ であった。ピーク正味計数率の変化は 20°C に対して 10°C は $+0.3\%$ 、 35°C は -1.7% であった。(1) の 6) で求めたピークチャンネルの変化を図 4.3.9.9 に示す。

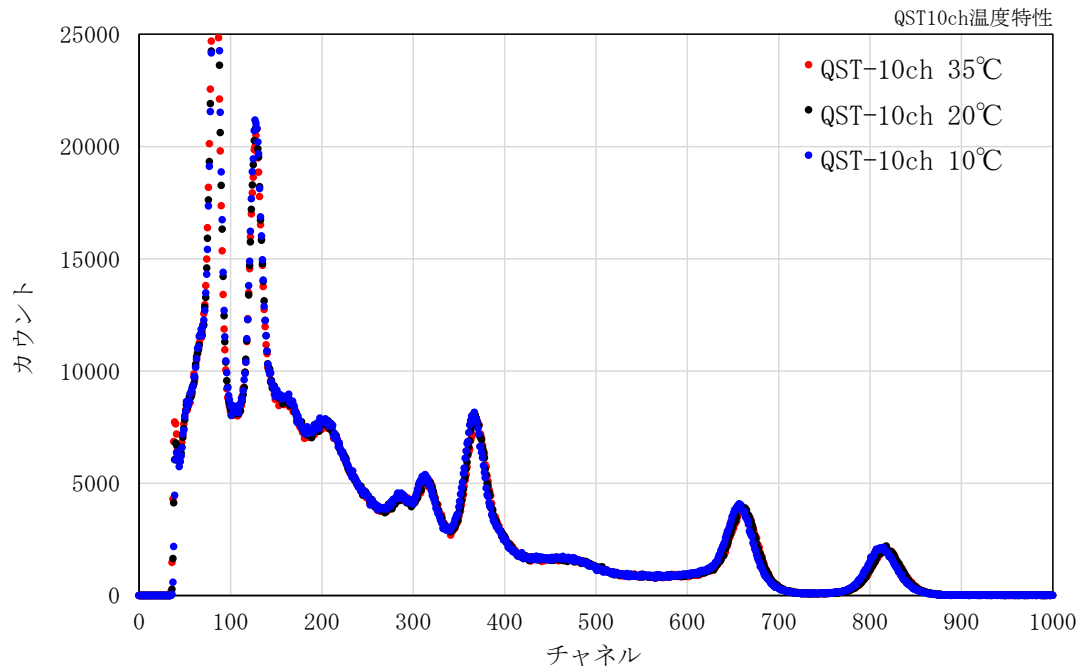


図 4.3.9.7 QST 検出器温度特性

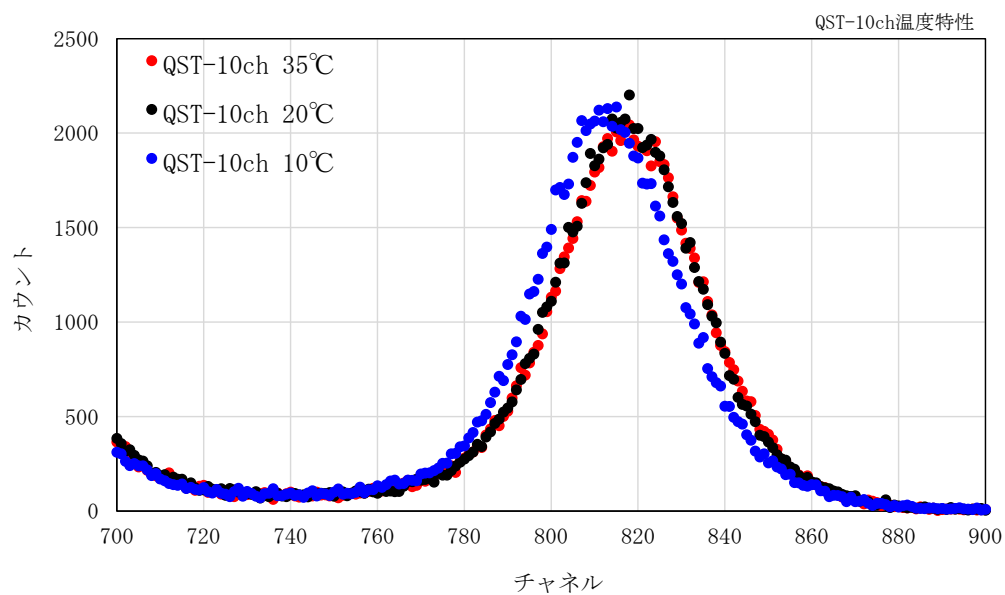


図 4.3.9.8 QST 検出器温度特性 (スペクトル拡大)

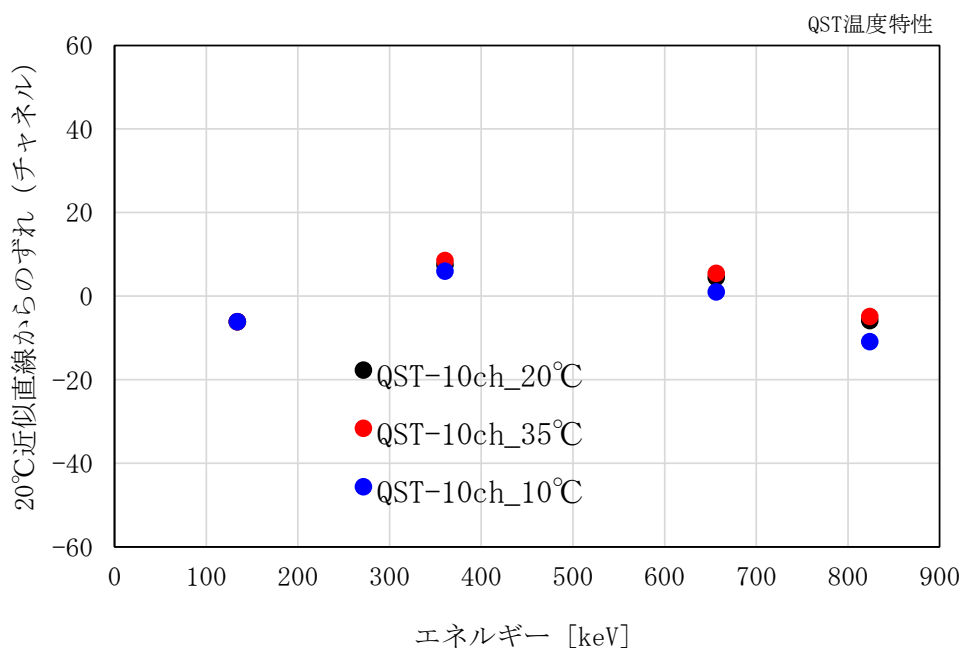


図 4.3.9.9 QST 検出器ピークチャンネルの温度変化

(3) 考察

CZT は半導体検出器であるため、電荷収集が適正ならば、その効率が温度変化の影響を大きく受けることがなく温度特性は良好であった。35℃では暗電流が大きく増えることはなく、温度による変化はあまりなかったと考えられる。一方、LaBr₃はシンチレーション検出器であるため、発光量の温度依存性は避けられず、スペクトルピークチャンネルが大きく変動した。しかし機器効率は変動していないので、スペクトル解析の際の対象チャンネル (ROI 領域) を、温度を考慮して適切に選ぶことが出来れば、安定した結果が得られると考えられる。QST もシンチレーション検出器を用いているが、各素子に温度センサを取り付けて増幅率を補正し、ピークチャンネルの変動を防いでいるため、スペクトル上で大きなピークの変動は観察されなかった。

4. 3. 10 湿度特性試験

(1) 試験方法

湿度特性試験は、次による。なお、計測部のうちデータ処理ユニットは試験から除外する。

- 1) 装置を恒温槽内に設置し、35±2℃の温度で40%RHの相対湿度に保つ。
- 2) ⁵⁷Co、¹³³Ba、¹³⁷Cs 及び ⁵⁴Mn からのγ線を照射してスペクトル測定を行う。
- 3) 相対湿度レベルを3時間を超えない時間、一定の速度で80%RHに上昇させる。48時間経過後に2)と同様のスペクトル測定を行う。
- 4) 相対湿度レベルを一定の速度で40%RHまで低下させ、恒温槽が安定した後に2)と同様のスペクトル測定を行う。
- 5) 相対湿度40%RHでのスペクトルを基準とし、相対湿度80%でのスペクトルの変化を記録する。
- 6) 相対湿度40%RHでの測定に基づきγ線エネルギー対ピークチャンネルの関係を求め、近似直線を作成する。各エネルギーにおいて実測によるチャンネルと近似直線で示されるチャンネルの差を求める。相対湿度80%RHで同じ測定を行い、標準試験条件での近似直線に対してチャンネルの差の最大値を求める。

なお、⁵⁴Mnの正味計数率を求めるためのROI設定は表4.3.10.1の通りとした。

表 4.3.10.1 ^{54}Mn 正味計数評価のための ROI

検出器	試験条件	ROI 設定チャンネル
CZT-1、CZT-2	全ての試験湿度	740 ch ~ 890 ch
LaBr ₃ -1	40%RH	822 ch ~ 922 ch
	80%RH	782 ch ~ 878 ch
LaBr ₃ -2	40%RH	731 ch ~ 821 ch
	80%RH	811 ch ~ 911 ch
QST-10ch	全ての試験湿度	740 ch ~ 880 ch

(2) 試験結果

(2-1) CZT 検出器

スペクトルの変化を図 4.3.10.1 に示す。全体として大きなずれはない。 ^{54}Mn のピークを拡大したものを図 4.3.10.2 に示す。相対湿度 40%RH から 80%RH への変化に対し、ピークチャンネルの変化はなし。ピーク正味計数率の変化は-5%であった。(1) の 6) で求めたピークチャンネルの変化を図 4.3.10.3 に示す。

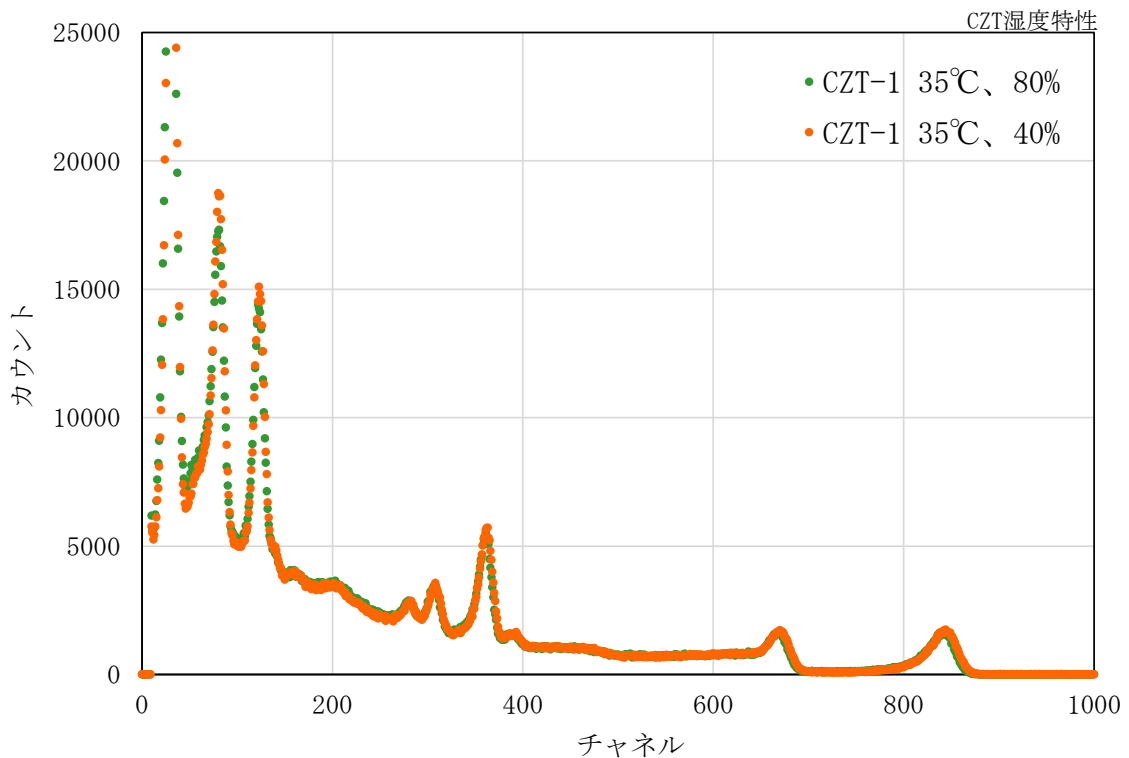


図 4.3.10.1 CZT 検出器湿度特性

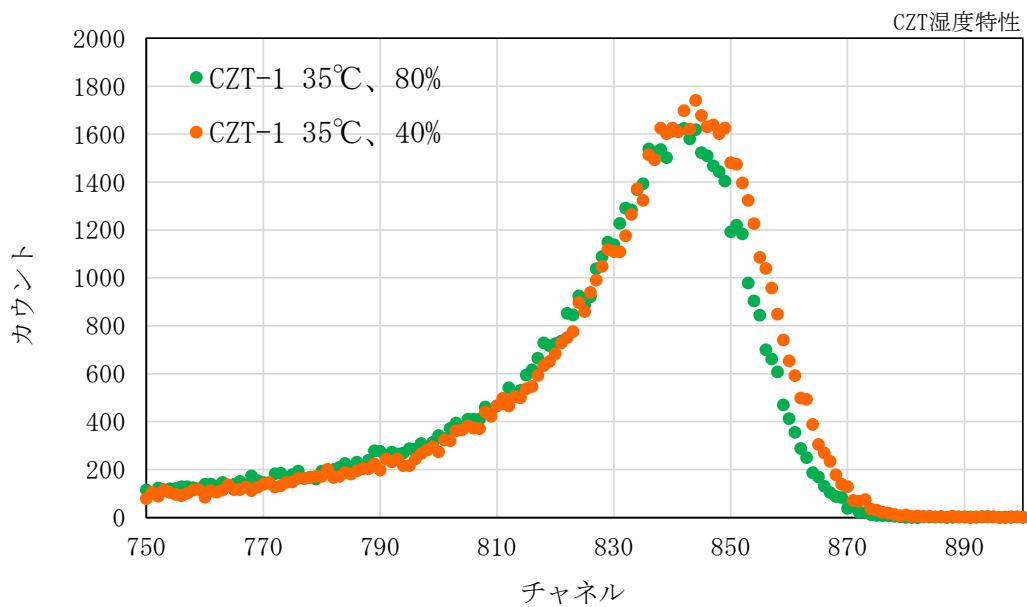


図 4.3.10.2 CZT 検出器湿度特性 (スペクトル拡大)

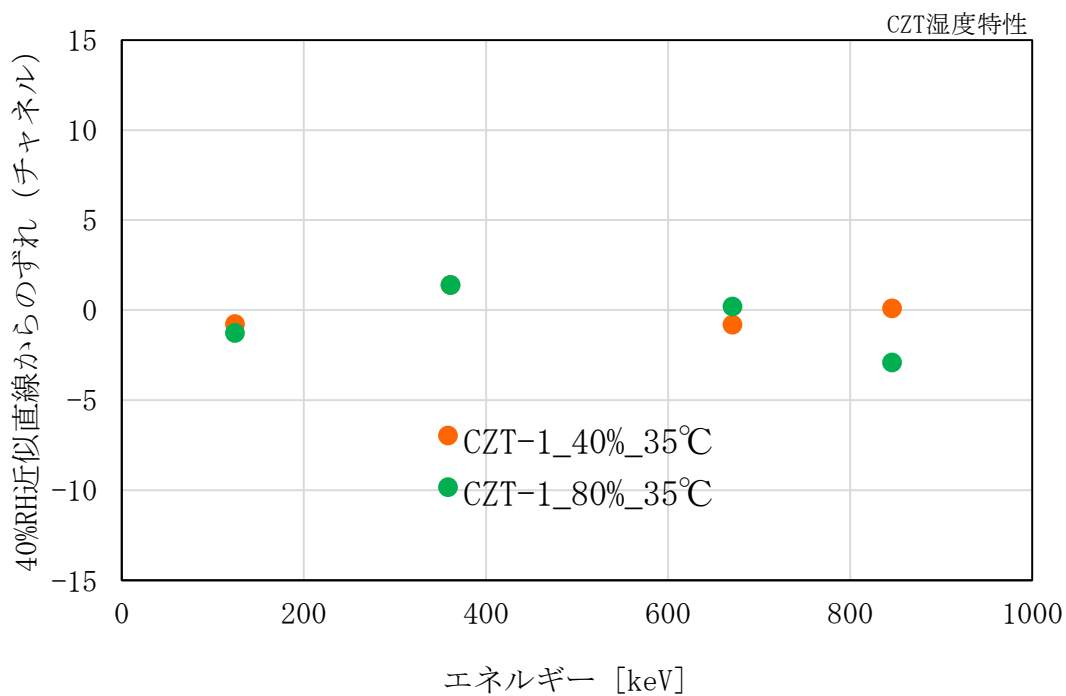


図 4.3.10.3 CZT 検出器ピークチャンネルの湿度変化

(2-2) LaBr₃ 検出器

スペクトルの変化を図 4.3.10.4 に示す。全体として大きなずれはない。⁵⁴Mn のピークを拡大したものを図 4.3.10.5 に示す。相対湿度 40%RH から 80%RH への変化に対し、ピークチャンネルの変化は-0.3%、ピーク正味計数率の変化は-0.4%であった。(1)の6)で求めたピークチャンネルの変化を図 4.3.10.6 に示す。

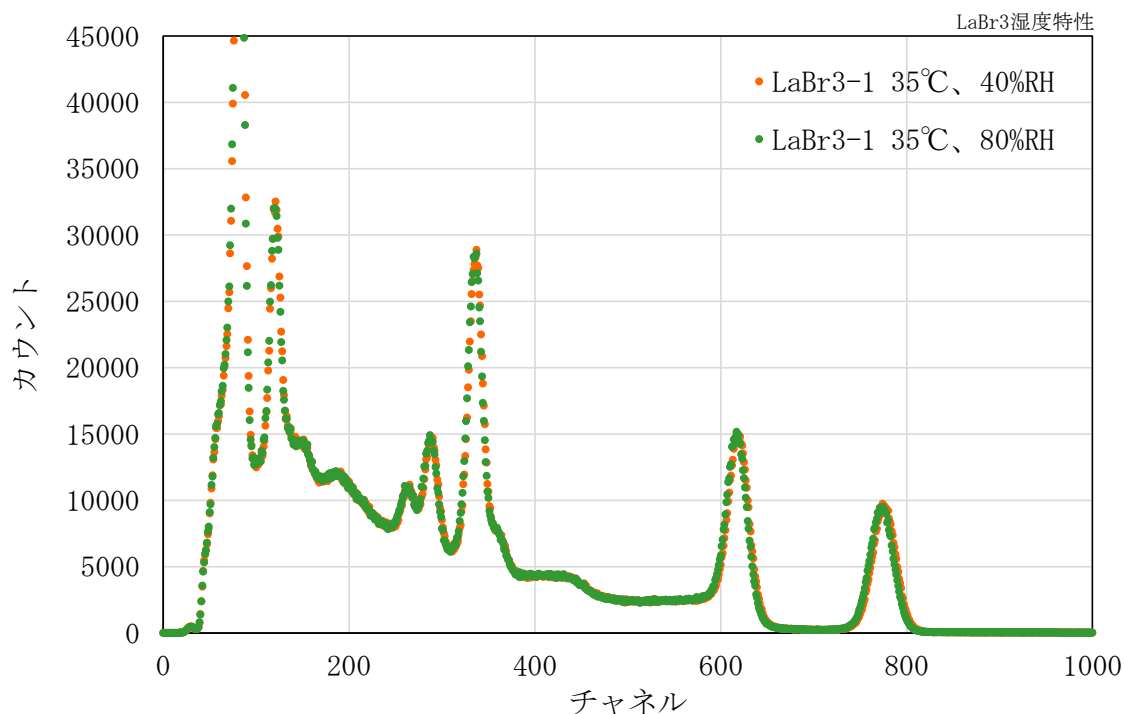


図 4.3.10.4 LaBr₃ 検出器湿度特性

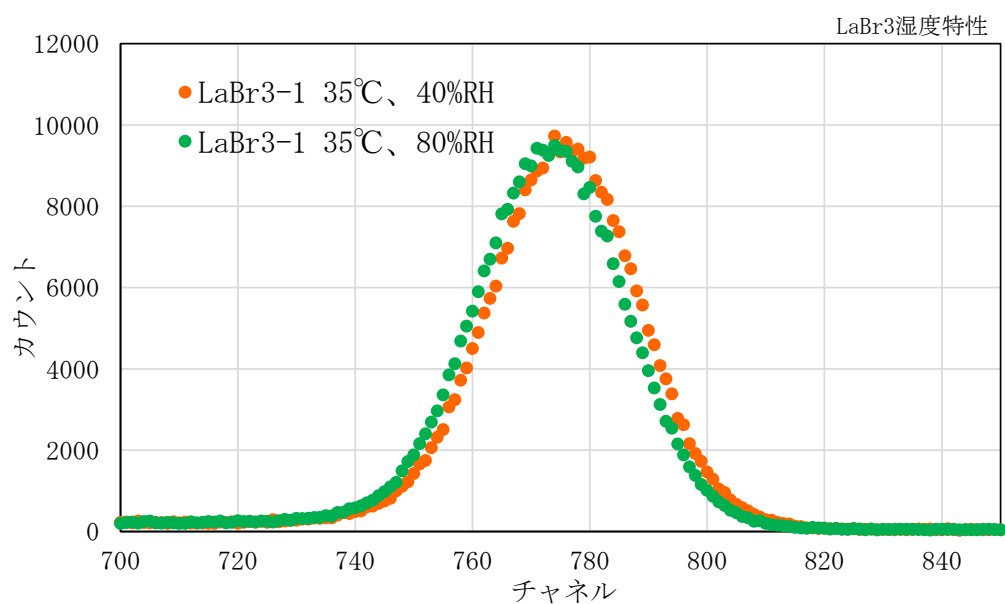


図 4.3.10.5 LaBr₃ 検出器湿度特性 (スペクトル拡大)

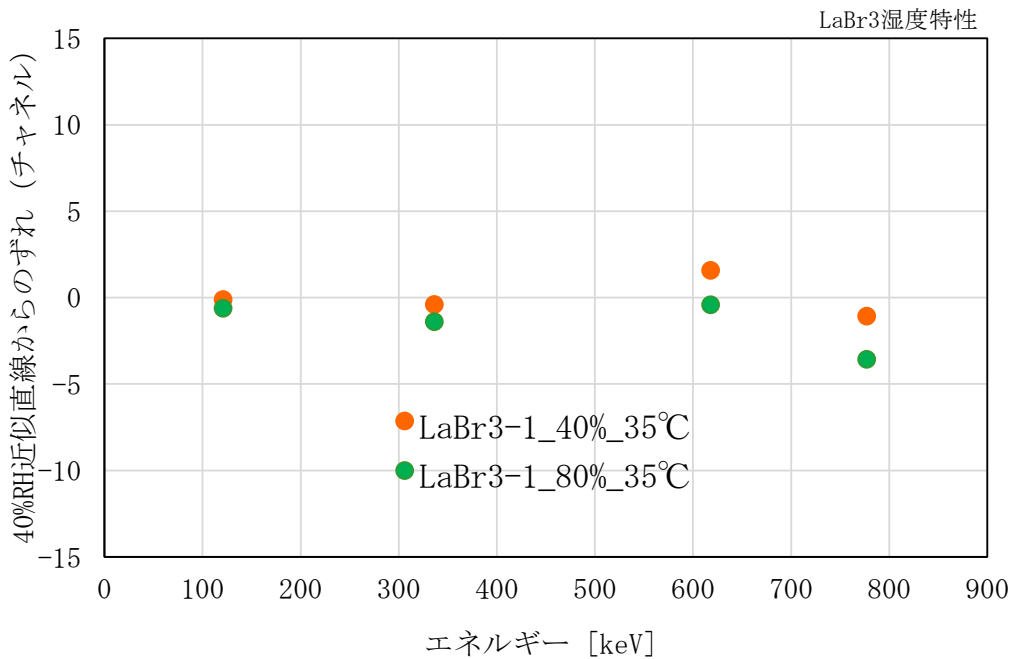


図 4.3.10.6 LaBr₃ 検出器ピークチャンネルの湿度変化

(2-3) QST 検出器

スペクトルの変化を図 4.3.10.7 に示す。全体として大きなずれはない。⁵⁴Mn のピークを拡大したものを図 4.3.10.8 に示す。相対湿度 40%RH から 80%RH への変化に対し、ピークチャンネルの変化は+0.5%、ピーク正味計数率の変化は-0.2%であった。(1) の 6) で求めたピークチャンネルの変化を図 4.3.10.9 に示す。

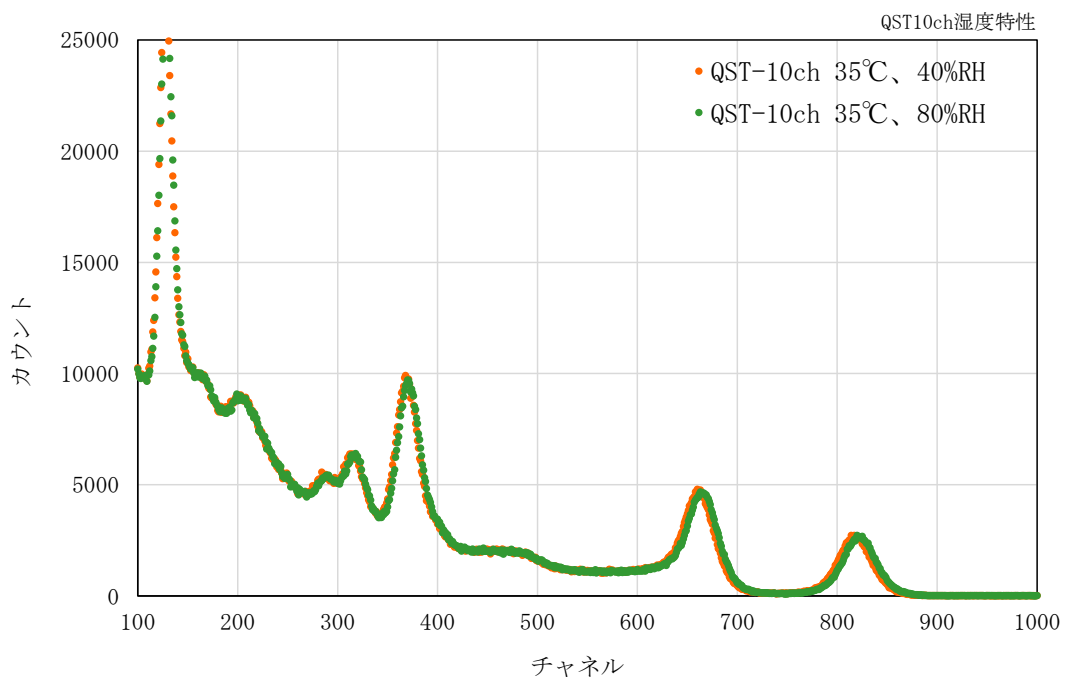


図 4.3.10.7 QST 検出器湿度特性

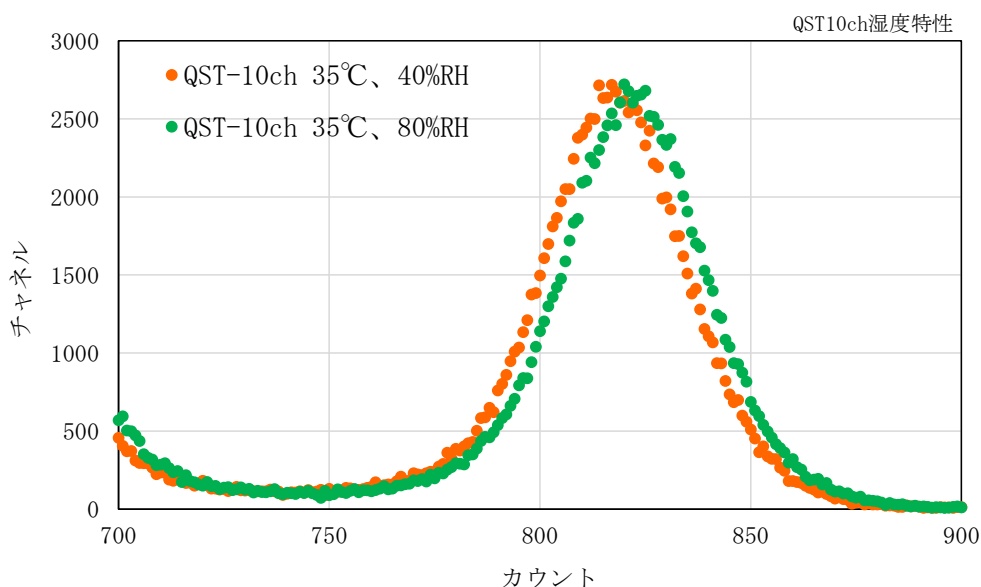


図 4.3.10.8 QST 検出器湿度特性 (スペクトル拡大)

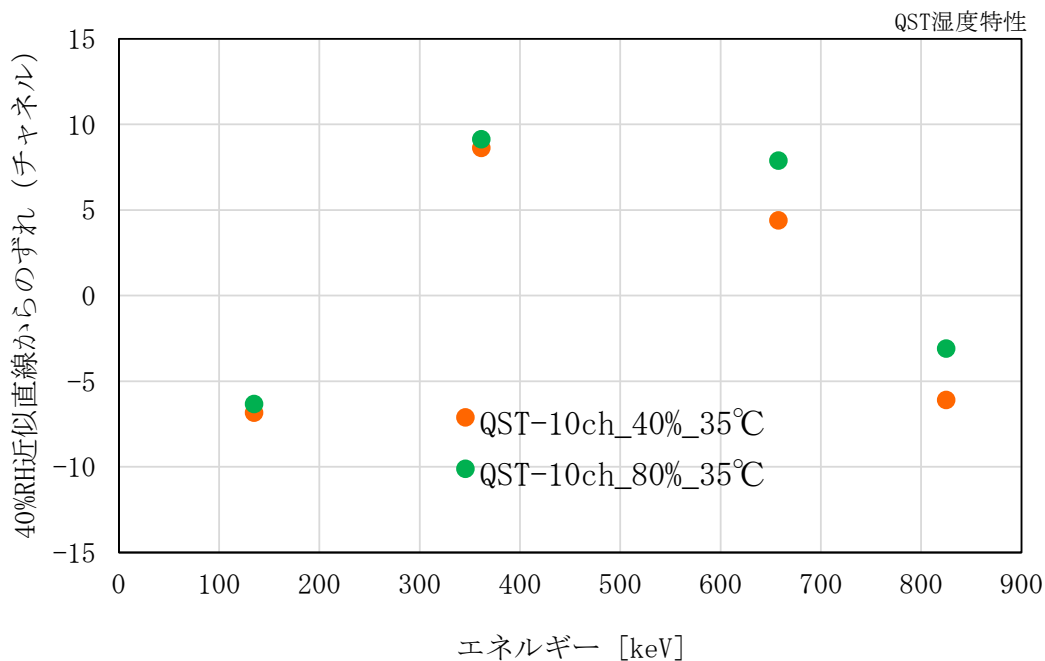


図 4.3.10.9 QST 検出器ピークチャンネルの湿度変化

(3) 考察

何れの検出器も湿度の影響は小さかった。ただし、CZT が試験途中で計数を喪失する事象があった。湿度 80%RH 到達から 14 時間後の測定で、CZT-1 からの計数がほとんど無くなり検出器としての出力は 2 分の 1 になった。伝送回路は正常、アナログ回路は不明。データ処理装置と検出器の接続をデータ処理装置上で 10 数秒間断とした後、徐々に計数率が上がり元に戻った。この事象前後の測定では 100 チャンネル以下の計数が多かった。ただし、その後 48 時間経過して試験を終了するまで、事象は再現しなかった。

4. 4 特性試験

国家計量標準もしくは国家計量標準レベルの同等性が確保されている標準線源を用いて校正用線源を準備し、次に示す試験を実施して、結果の分析・考察を行う。

4. 4. 1 エネルギー特性試験

(1) 試験方法

^{57}Co 、 ^{131}I 、 ^{137}Cs 及び ^{54}Mn の標準線源 (80 kBq～100 kBq) をそれぞれ 20 mL バイアル容器に充填して標準線源とし、これをキャンベラトランスファファントムの頸部に収めて、検出器に γ 線を照射し、主要なエネルギーの γ 線光電ピークについてピーク計数効率を求める。CZT 及び LaBr_3 については、作業用校正器具にトランスファファントムを密着して測定し、QST-10ch については検出器前面からファントム前面まで 29mm (線源中心まで 49mm) に保って測定した。 ^{54}Mn の正味計数率を求めるための ROI 設定は表 4. 4. 1. 1 の通りとした。また、ピーク計数効率を求める際に用いる光子放出割合は DDEP (仏 Laboratoire National Henri Becquerel が運営する Decay Data Evaluation Project) ⁽⁷⁾ に従い、表 4. 4. 1. 2 の通りとした。

表 4. 4. 1. 1 安定性試験での ROI 設定チャンネル

検出器	^{57}Co	^{131}I	^{137}Cs	^{54}Mn
CZT-1	105 ch～147 ch	360 ch～414 ch	598 ch～695 ch	749 ch～875 ch
CZT-2	105 ch～145 ch	368 ch～411 ch	608 ch～692 ch	785 ch～864 ch
LaBr_3 -1	108 ch～150 ch	336 ch～384 ch	617 ch～687 ch	773 ch～855 ch
LaBr_3 -2	109 ch～150 ch	337 ch～383 ch	616 ch～678 ch	777 ch～846 ch
QST-10ch	110 ch～160 ch	344 ch～412 ch	620 ch～708 ch	770 ch～868 ch

表 4. 4. 1. 2 光子放出割合⁽⁷⁾

核種	光子放出割合	内訳
^{57}Co	0. 962	0. 8549 (122 keV) + 0. 1071 (136 keV)
^{131}I	0. 81217	0. 812 (365 keV) + 0. 00017 (358 keV)
^{137}Cs	0. 8499	–
^{54}Mn	0. 999752	–

(2) 試験結果

試験結果は図 4. 4. 1. 1 及び表 4. 4. 1. 3 による。また、波高分布スペクトルを図 4. 4. 1. 2～図 4. 4. 1. 4 に示す。

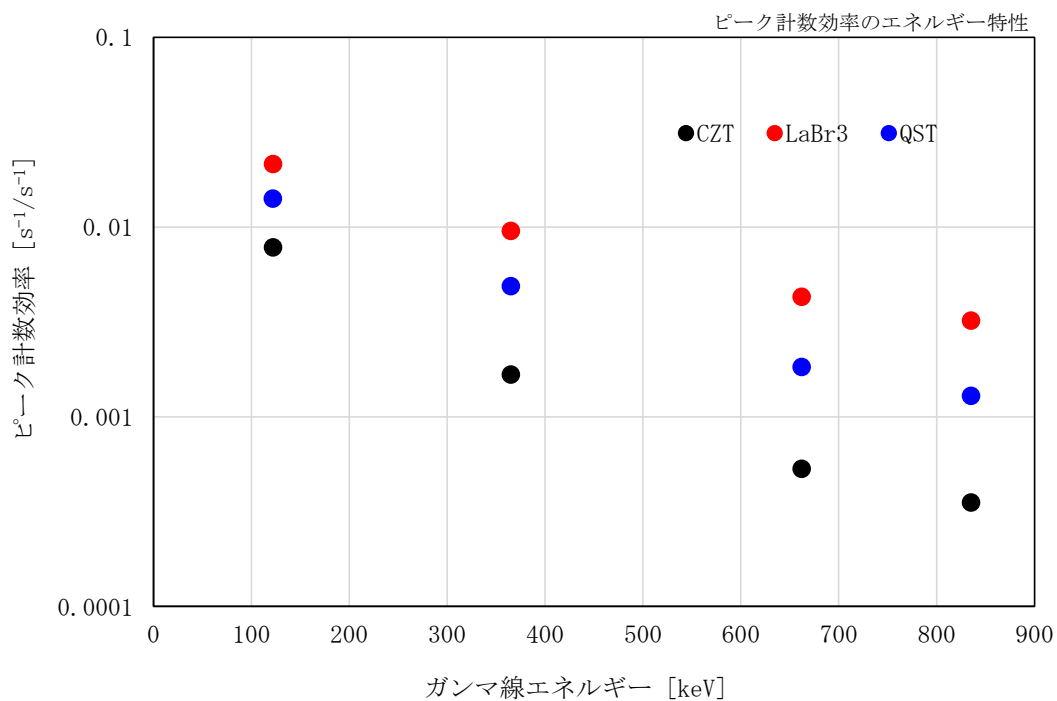


図 4.4.1.1 ピーク計数効率のエネルギー特性

表 4.4.1.3 検出効率及びピーク計数効率のエネルギー特性

核種		⁵⁷ Co	¹³¹ I	¹³⁷ Cs	⁵⁴ Mn
エネルギー [keV]		122 及び 136	365	662	835
CZT	検出効率 [s ⁻¹ /Bq]	2.07%	0.775%	0.364%	0.321%
	計数効率 [s ⁻¹ /s ⁻¹]	2.15%	0.954%	0.429%	0.321%
LaBr ₃	検出効率 [s ⁻¹ /Bq]	0.751%	0.136%	0.0452%	0.0353%
	計数効率 [s ⁻¹ /s ⁻¹]	0.781%	0.167%	0.0532%	0.0353%
QST	検出効率 [s ⁻¹ /Bq]	1.36%	0.397%	0.156%	0.129%
	計数効率 [s ⁻¹ /s ⁻¹]	1.41%	0.488%	0.183%	0.129%

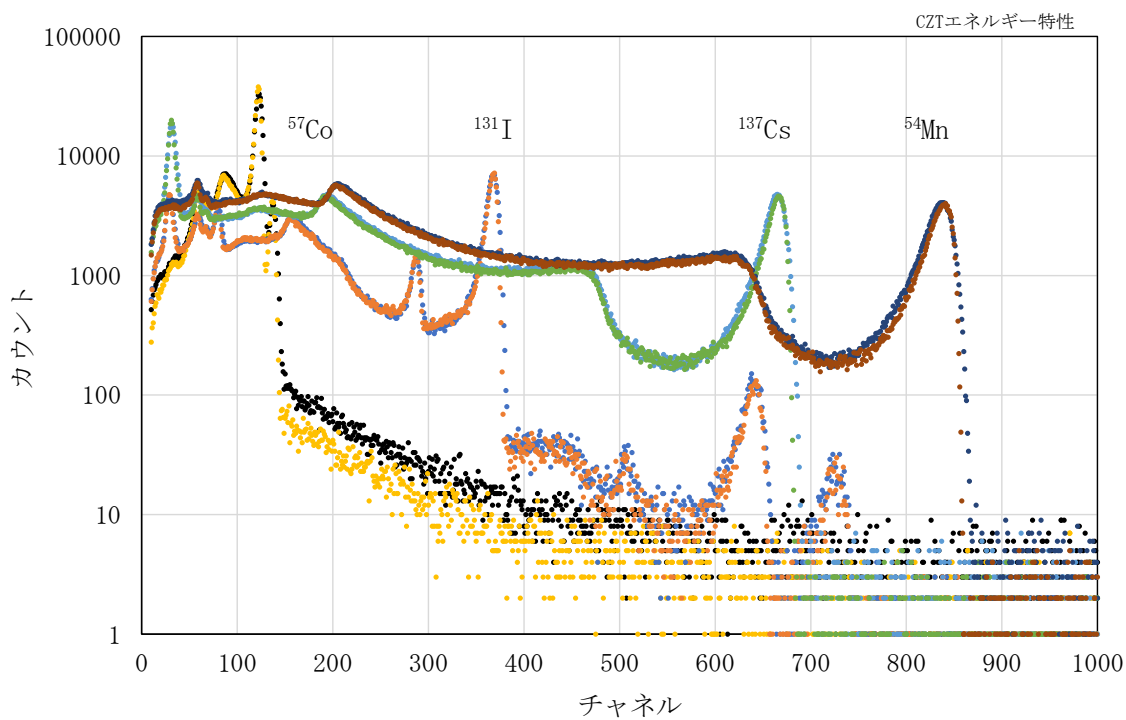


図 4. 4. 1. 2 CZT 検出器の波高分布スペクトル

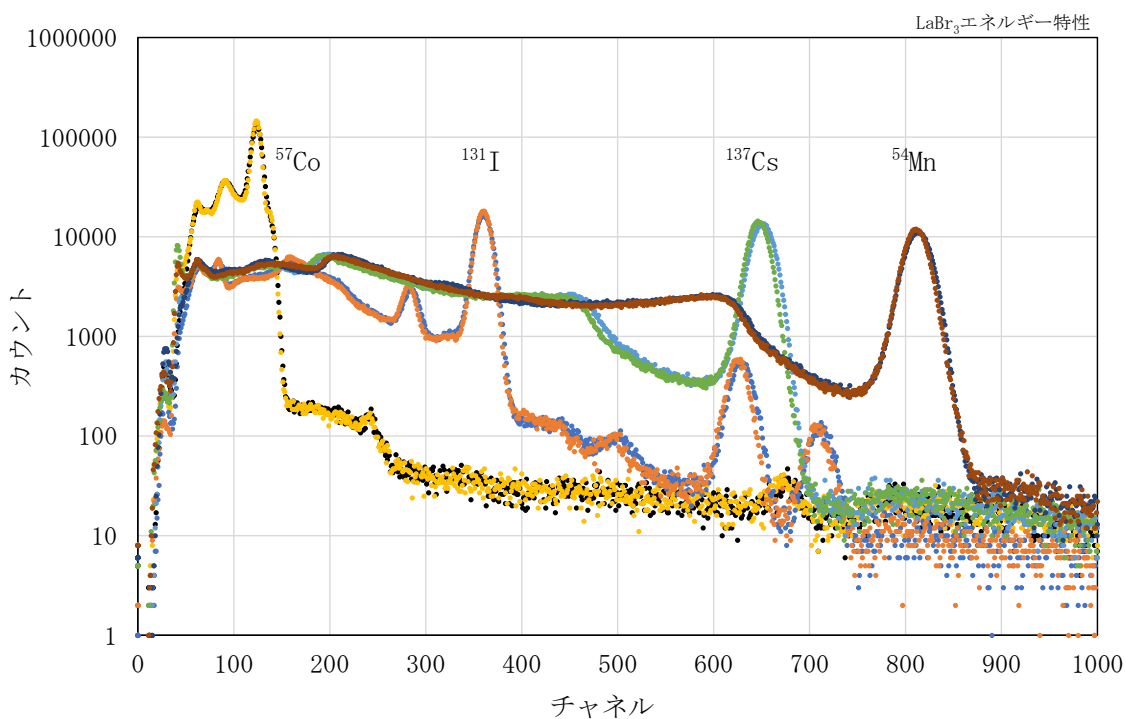


図 4. 4. 1. 3 LaBr₃ 検出器の波高分布スペクトル

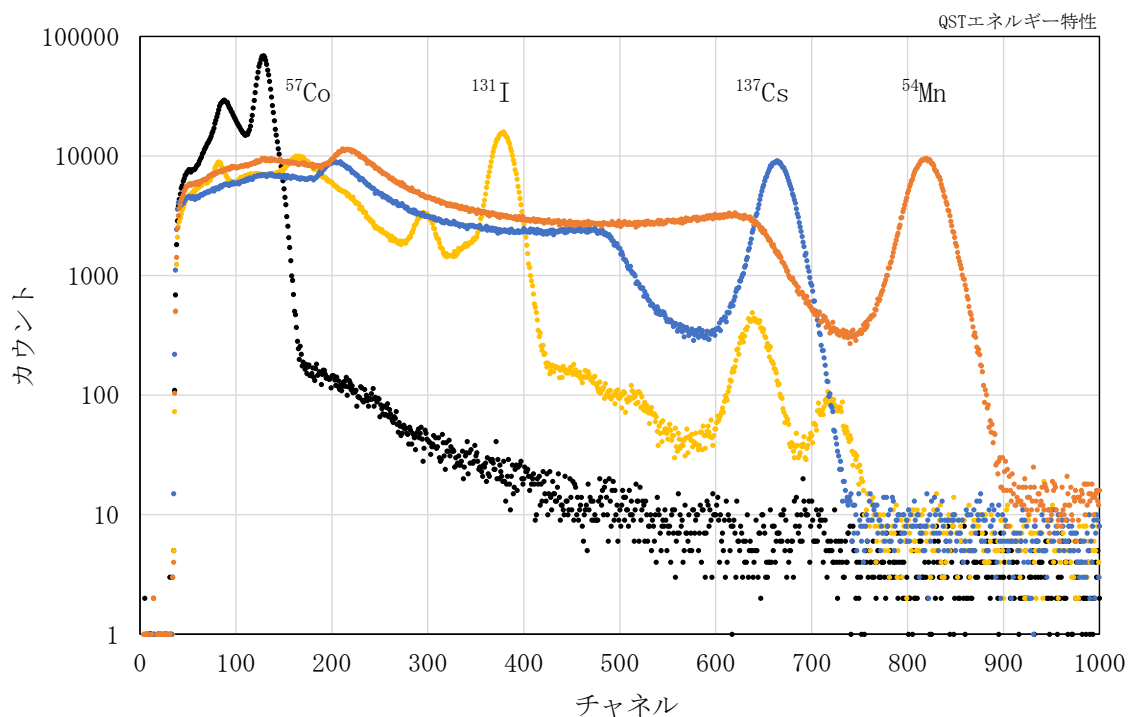


図 4.4.1.4 QST-10ch 検出器の波高分布スペクトル

(3) 考察

¹³³Ba 及び ⁸⁸Y はカスケードサムの影響により効率評価が不正確になるため、エネルギー特性評価には用いていない。⁵⁷Co については、122keV ピークと 136keV ピークの分離測定が難しいため両者の和に対して効率を評価している。CZT、LaBr₃、QST はどれもエネルギーが高くなるほど効率が小さくなる、一般的な傾向に従っている。

4. 4. 2 他の放射線の影響

(1) 試験方法

数量 5kBq ± 20% の ⁹⁰Sr/⁹⁰Y チェック用線源(日本アイソトープ協会製、線源コード:SR301、線源番号:0981) から β 線を照射し、β 線に対する応答を評価する。

(2) 試験結果

試験結果は表 4.4.2.1 及び図 4.4.2.1～図 4.4.2.3 による。

表 4.4.2.1 ⁹⁰Sr/⁹⁰Y からの β 線に対する応答

検出器	CZT	LaBr ₃	QST
検出器～線源間隔[mm]	22	22	5
測定時間[秒]	2000	1000	2000
正味計数[s ⁻¹]	58.1	80.1	105.3
正味計数/放射能[s ⁻¹ /Bq]	0.012	0.016	0.021

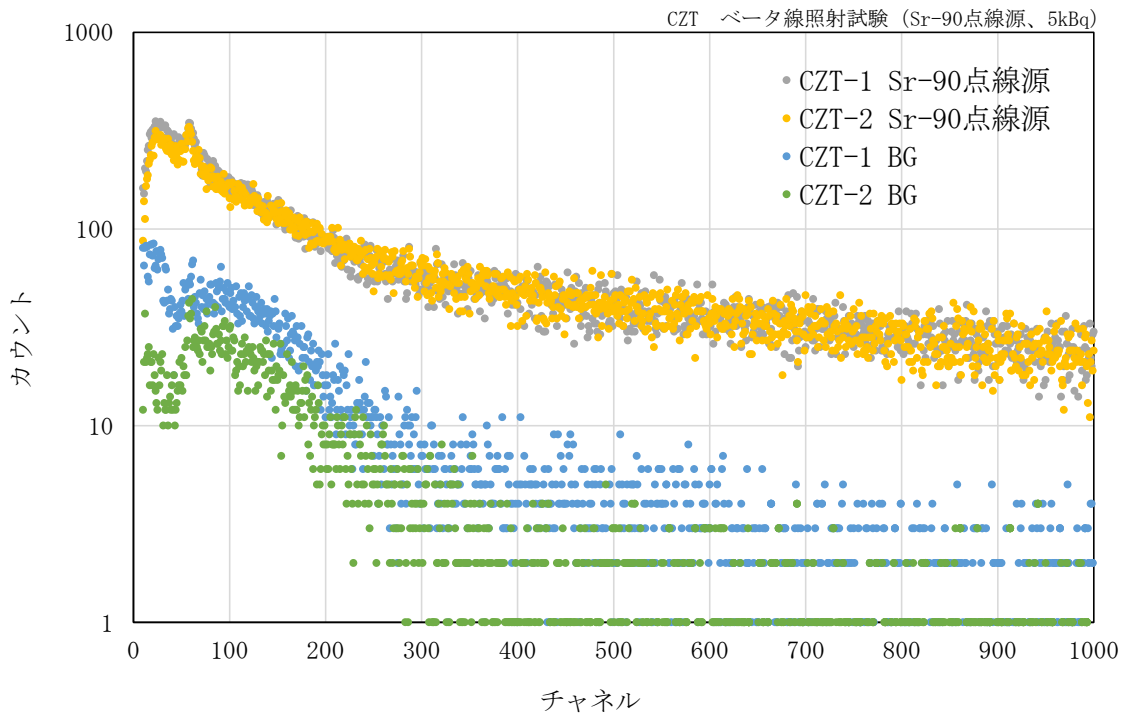


図 4. 4. 2. 1 CZT 検出器の $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ からの β 線に対する応答

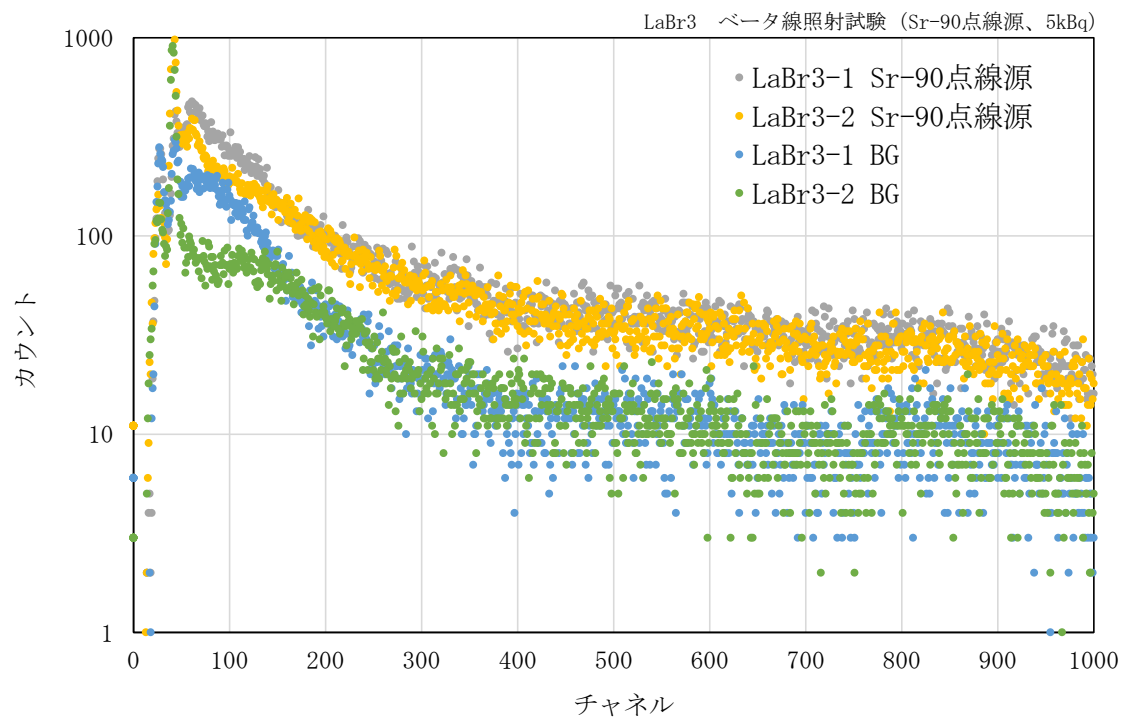


図 4. 4. 2. 2 LaBr₃ 検出器の $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ からの β 線に対する応答

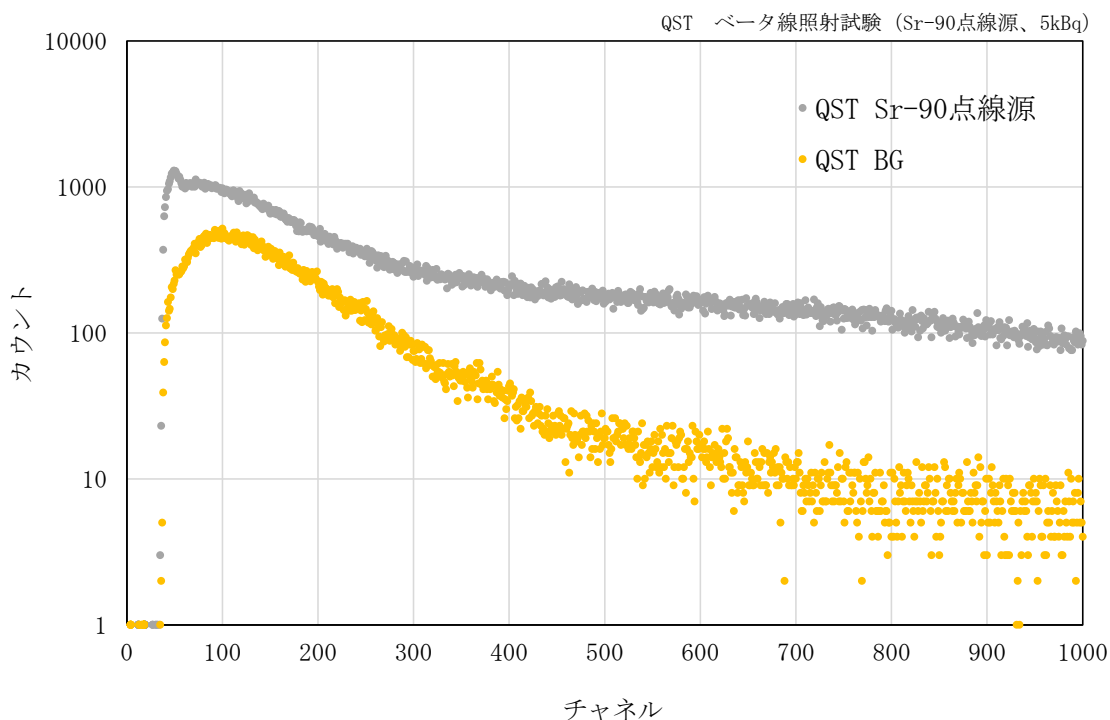


図 4.4.2.3 QST 検出器の $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ からの β 線に対する応答

(3) 考察

何れの検出も γ 線に対するのと同程度の効率で、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ からの β 線に感度を有する事を確認した。身体表面が汚染している場合など、測定に影響する恐れがある。

4. 4. 3 他の放射性核種の影響

(1) 試験方法

^{131}I 線源の背面に ^{137}Cs 線源を置き、 ^{131}I からの γ 線に加えて ^{137}Cs からの γ 線を照射し、 ^{131}I の 365keV ピークに対するピーク計数効率の変化を求める。 ^{137}Cs 線源は、 ^{131}I のピークとほぼ同じ計数率が得られるような距離に設置した。

(2) 試験結果

試験結果は表 4.4.3.1 及び図 4.4.3.1～図 4.4.3.6 による。機器効率の変化は、 ^{137}Cs からの γ の照射がある場合の ^{131}I からの γ 線に対する機器効率を、 ^{137}Cs からの照射がない場合の機器効率で除して得た比の値である。表 4.4.3.1 に記した線量は 4.5.1 項で得られた ^{137}Cs からの γ 線のスペクトルの正味計数から 4.4.3 項の試験における線量を評価した結果である。

表 4.4.3.1 ^{137}Cs からの γ 線照射による機器効率の変化

検出器	CZT	LaBr ₃	QST
照射線量 [$\mu\text{Sv/h}$]	5.3	5.5	5.0
機器効率の変化	0.997	0.989	0.993

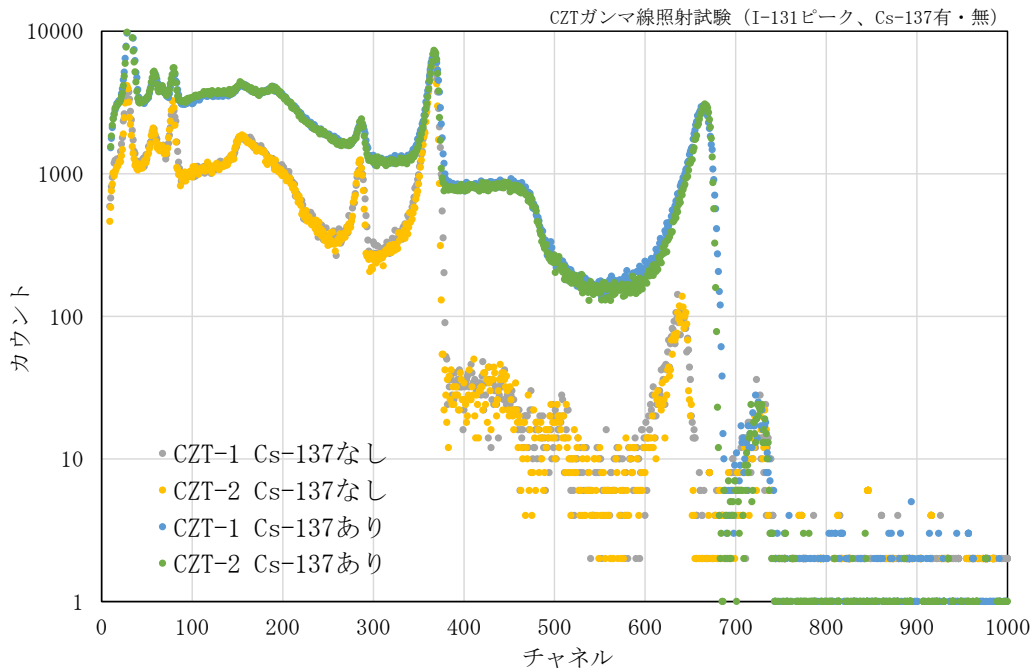


図 4. 4. 3. 1 ^{137}Cs からの γ 線を照射した際の CZT 検出器のスペクトルの変化

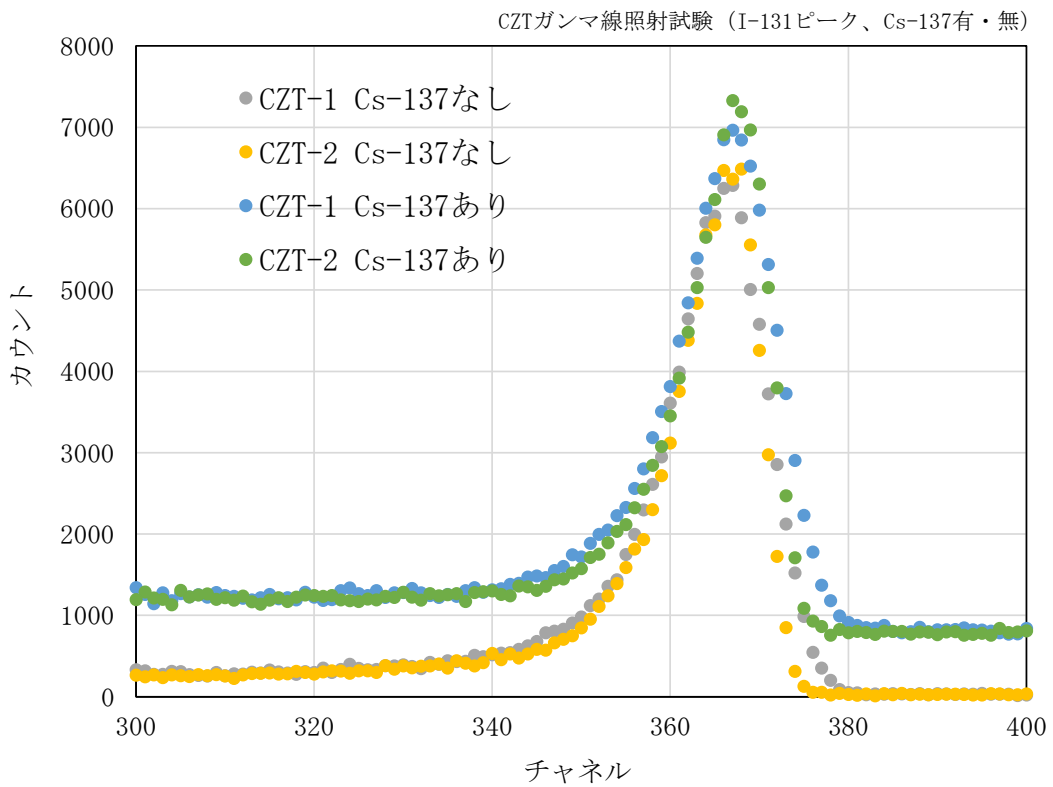


図 4. 4. 3. 2 ^{137}Cs からの γ 線を照射した際の CZT 検出器のスペクトルの変化 (^{131}I 拡大)

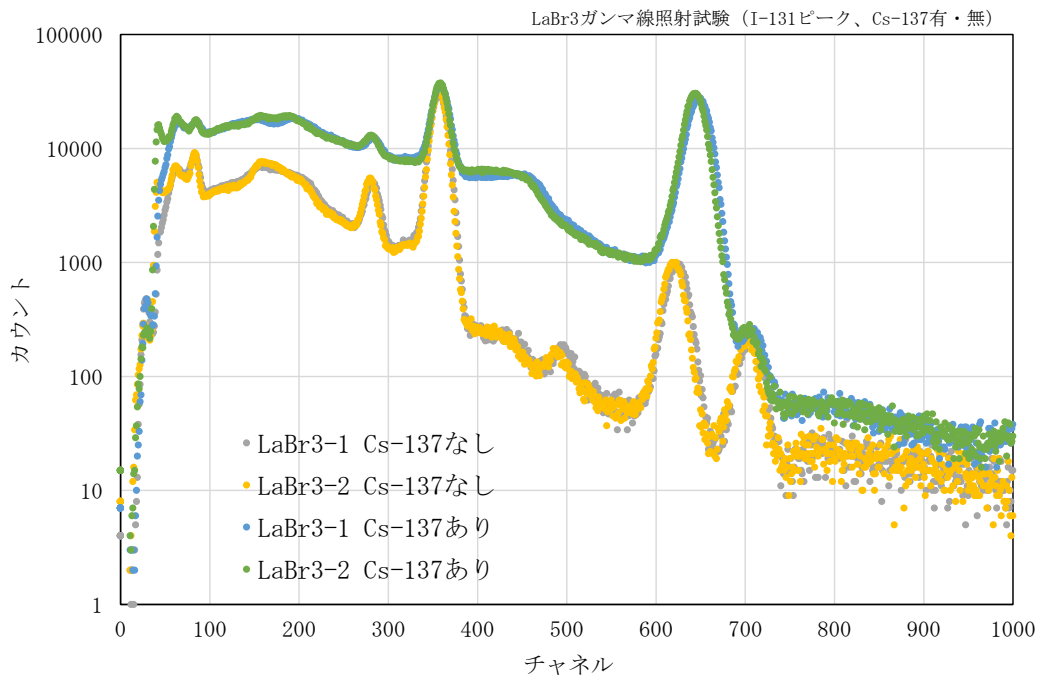


図 4. 4. 3. 3 ^{137}Cs からの γ 線を照射した際の LaBr₃ 検出器のスペクトルの変化

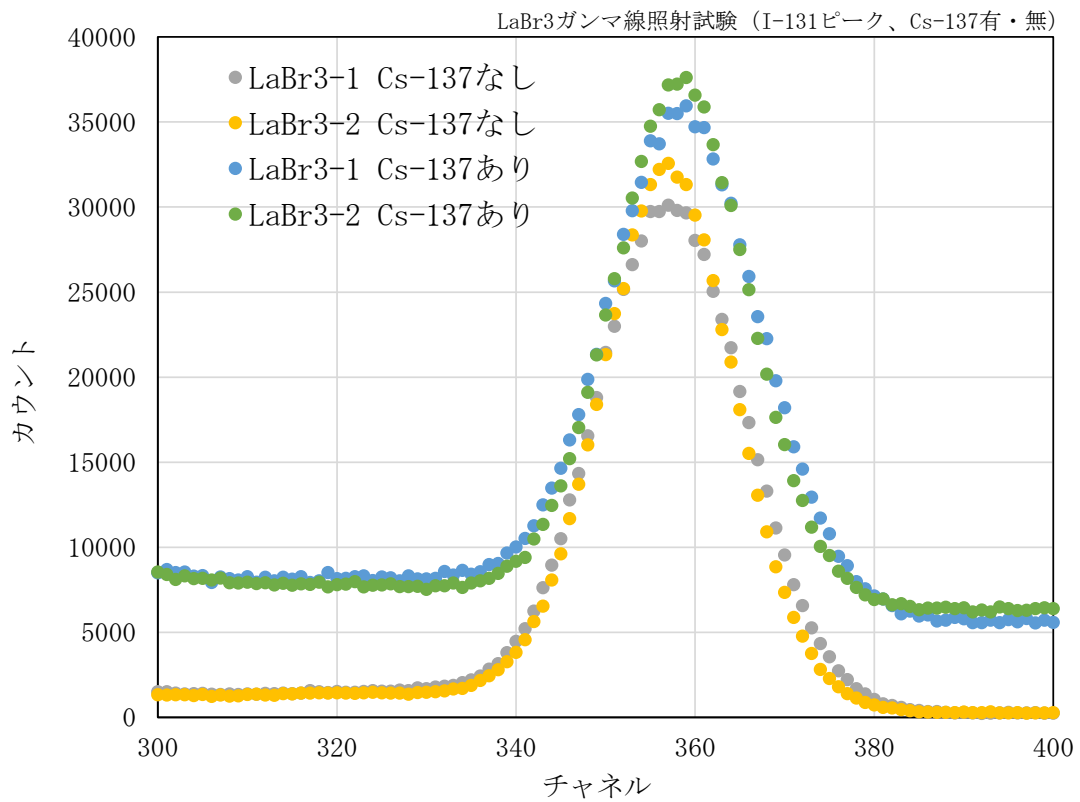


図 4. 4. 3. 4 ^{137}Cs からの γ 線を照射した際の LaBr₃ 検出器のスペクトルの変化 (^{131}I 拡大)

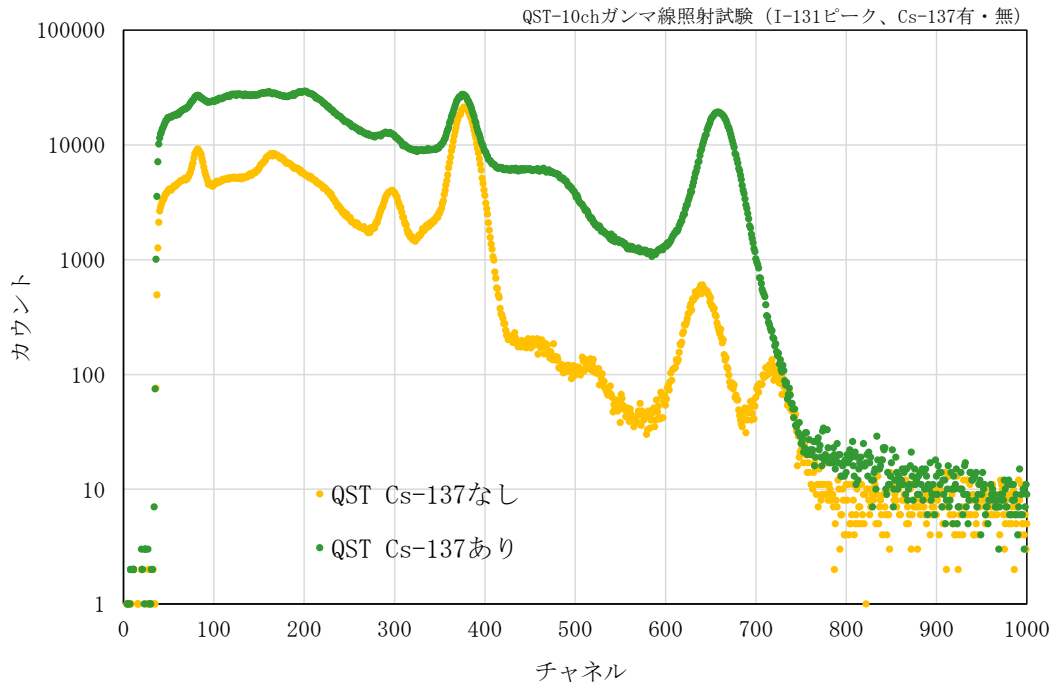


図 4. 4. 3. 5 ^{137}Cs からの γ 線を照射した際の QST 検出器のスペクトルの変化

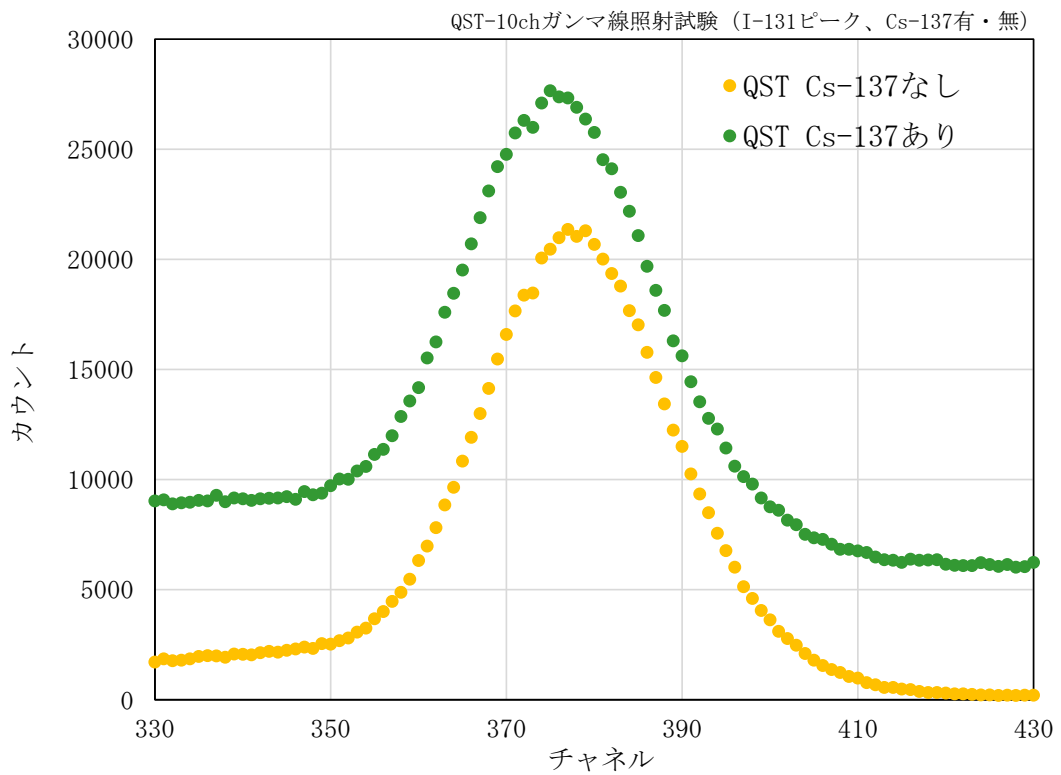


図 4. 4. 3. 6 ^{137}Cs からの γ 線を照射した際の QST 検出器のスペクトルの変化 (^{131}I 拡大)

(3) 考察

^{131}I のピークとはほぼ同じ計数率が得られるような条件で、 ^{137}Cs からの γ 線を照射した条件では、 ^{131}I からの γ 線に対する機器効率の変化は無視できる程度であった。今回の試験では、 ^{137}Cs 線源を用いて約 $5\mu\text{Sv/h}$ で検出器に照射しながら、数キロベクレル～数十キロベクレルの ^{131}I 線源からの γ 線による信号を測定して、ピーク計数率の変動はほぼなかったという結果が得られた。しかし、 ^{131}I 線源の数量が弱い場合には $5\mu\text{Sv/h}$ でも影響は強くなりピーク計数率の変動が大きくなると考えられる。決定閾値程度の数十 Bq では、 $5\mu\text{Sv/h}$ よりももっと小さい線量でも影響が出ると予想される。

4. 4. 4 核種同定能力

(1) 試験方法

核種同定能力試験は、 ^{131}I からの γ 線を照射し、核種同定に必要な積算計数值 N (グロス及びネット) を試験する。IEC 62618 の 6.9 項で、製品仕様で N が述べられている場合は、その条件で試験して 10 回の連続試験中、核種同定が正しく行われる回数が 8 回以上であることを確認する試験が規定されている。その方法に準拠し、得られる計数を変えながら繰り返し核種同定操作を行い、10 回の測定で 6 回～8 回正しく同定される際の計数を求めた。

(2) 試験結果

CZT 検出器及び LaBr_3 検出器では各種同定機能は備えられていないため、QST のみで実施した。QST 成人用検出器の場合、平均計数率 $2.7[\text{s}^{-1}]$ に対して、表 4.4.4.1 に示すように 60 秒測定で 10 回の測定中 7 回で核種同定に成功した。図 4.4.4.1 に核種同定能力試験の際の ^{131}I からの γ 線による波高分布スペクトルを示す。

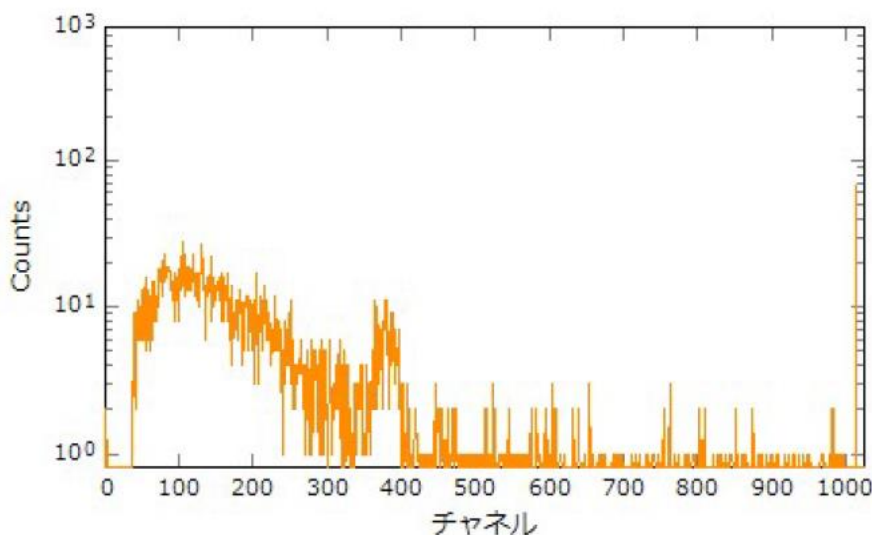


図 4.4.4.1 核種同定能力試験の際の ^{131}I からの γ 線による波高分布スペクトル

表 4.4.4.1 繰り返し測定による核種同定能力の評価結果 (QST 成人用)

測定回数	核種同定成否	正味計数 (60 秒)	検出限界計数 (60 秒)
1 回目	成功	184.0±27.3	
2 回目	成功	127.0±35.4	
3 回目	成功	128.0±39.2	
4 回目	失敗		90.3
5 回目	成功	127.0±39.2	
6 回目	成功	94.6±39.2	
7 回目	失敗		99.9
8 回目	成功	169.5±25.7	
9 回目	失敗		79.1
10 回目	成功	171.4±33.7	

注) 核種判定に成功した場合は正味計数を記し、核種判定に失敗した場合は検出限界計数を記す。

(3) 考察

スペクトル解析コードではベースライン計数から検出限界を定めて、核種を同定しているので、核種同定成否は実際の計数のばらつきによる。従って、使用前に現場での測定時間に合わせた個別の評価を実施するのが良い。

4. 5 外的要因の依存性評価

原子力災害を想定した環境及び被検者の年齢や体格等、外的要因がもたらす測定のばらつきについて、¹³⁷Cs からの γ 線の照射や、サイズの異なるファントムの利用等により評価した。

4. 5. 1 高バックグラウンドでのピーク計数効率

(1) 試験方法

国立研究開発法人産業技術総合研究所計量標準総合センターの γ 線標準照射場にて ¹³⁷Cs から 17.9 μ Sv/h の γ 線を照射して、ピーク計数効率の変化を評価した。照射方向は検出器の正面を見る方向とした。ピーク計数効率の測定のために 100 kBq の ¹³³Ba 点線源 (日本アイソトープ協会製、線源コード: BA401、線源番号: 1000) を用い、200 [s⁻¹] 程度の計数率が得られる場所から γ 線を照射する。

(2) 試験結果

(2-1) CZT 検出器

¹³³Ba からの γ 線による 356 keV ピークでの計数効率は、照射がない時に比べて 17.9 μ Sv/h の照射下では 7.5% 減少した。スペクトルの変化を図 4.5.1.1 及び図 4.5.1.2 に示す。

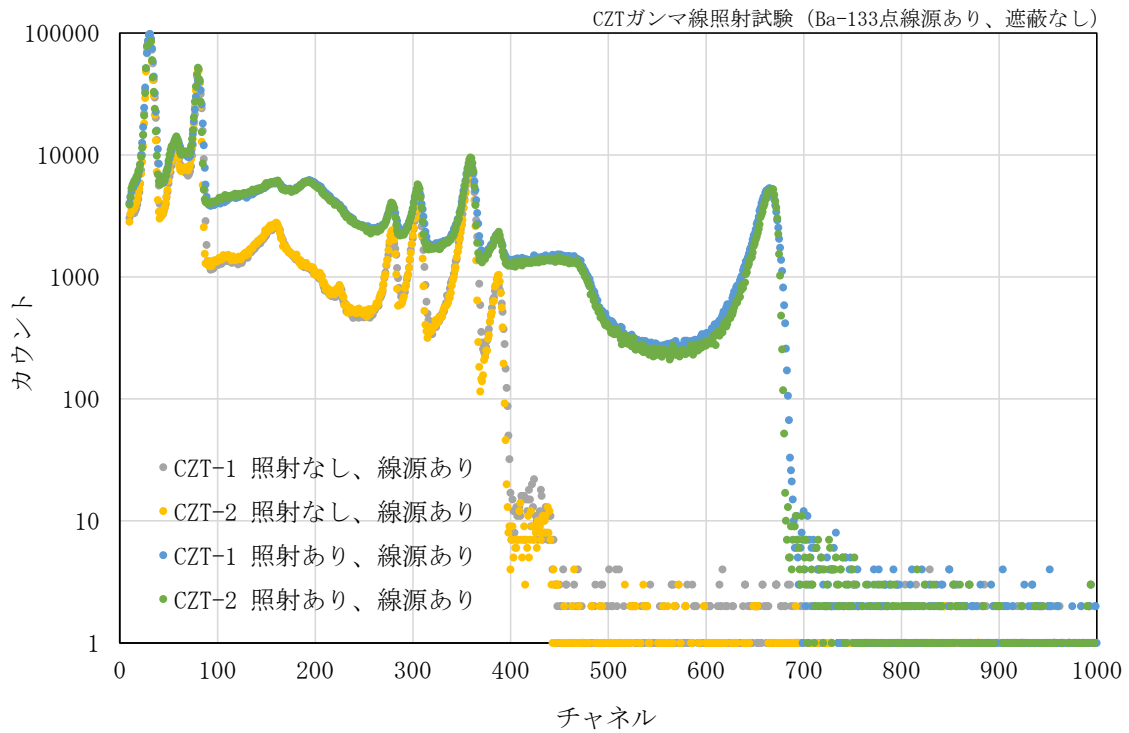


図 4.5.1.1 CZT 検出器の高バックグラウンドでの ^{133}Ba スペクトル

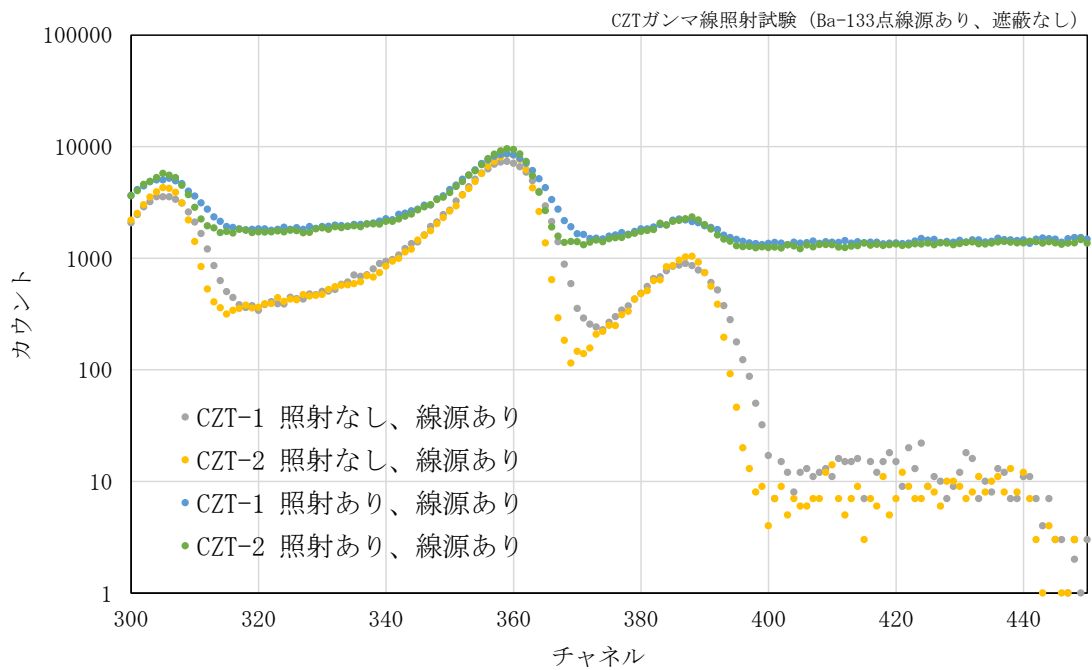


図 4.5.1.2 CZT 検出器の高バックグラウンドでの ^{133}Ba スペクトル (拡大)

(2-2) LaBr₃ 検出器

¹³³Ba からの γ 線による 356 keV ピークでの計数効率、照射がない時に比べて 15 μ Sv/h の照射下では 25%減少した。スペクトルの変化を図 4.5.1.3 及び図 4.5.1.4 に示す。

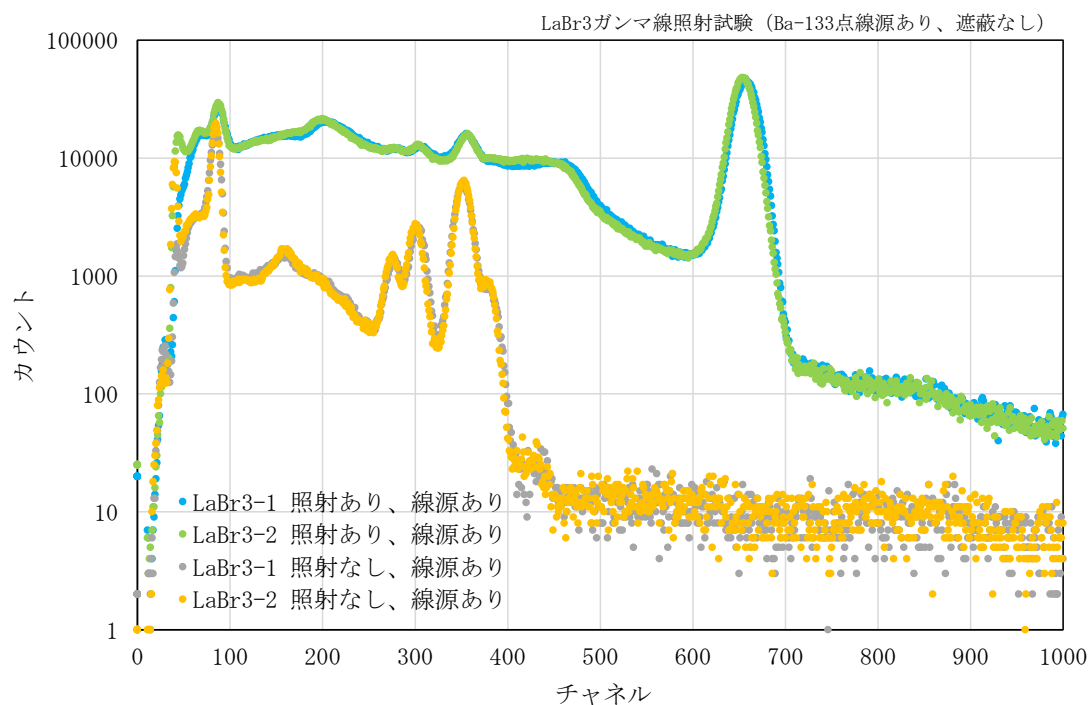


図 4.5.1.3 LaBr₃ 検出器の高バックグラウンドでの ¹³³Ba スペクトル

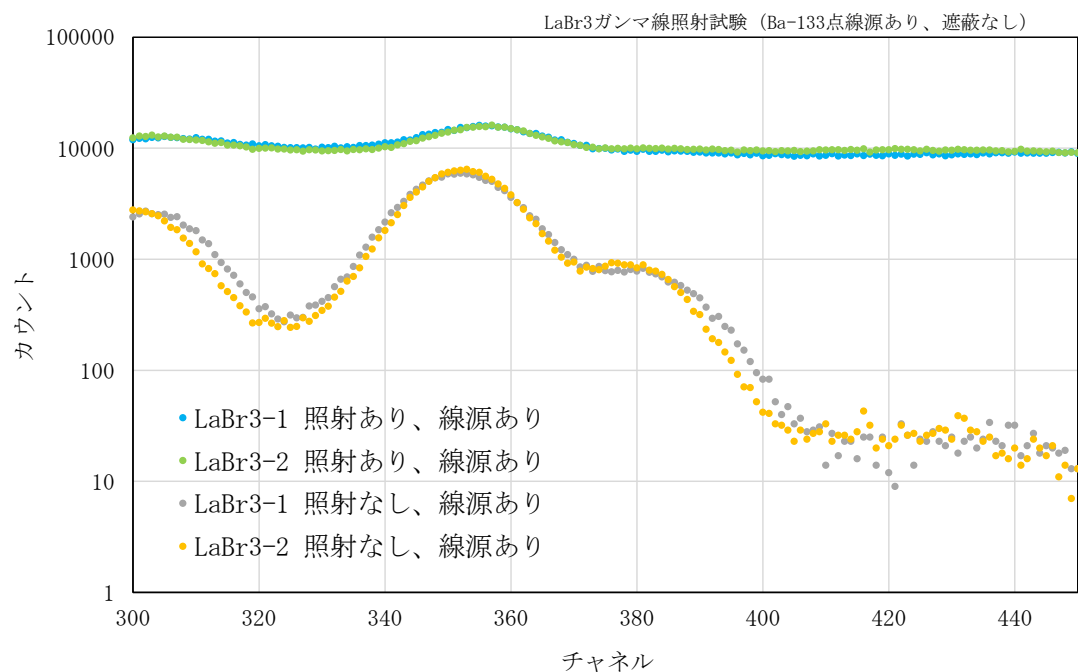


図 4.5.1.4 LaBr₃ 検出器の高バックグラウンドでの ¹³³Ba スペクトル (拡大)

(2-3) QST 検出器 (10 チャンネル、成人用)

^{133}Ba からの γ 線による 356keV ピークでの計数効率は、照射がない時に比べて 17.9 $\mu\text{Sv/h}$ の照射下では 14%減少した。スペクトルの変化を図 4.5.1.5 及び図 4.5.1.6 に示す。

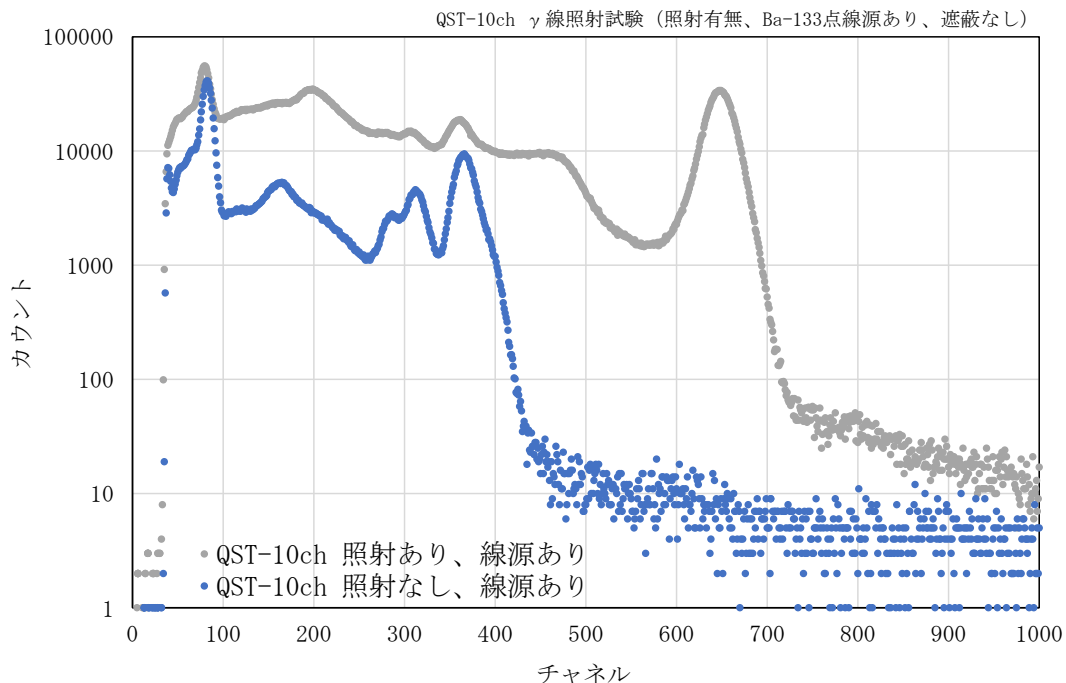


図 4.5.1.5 QST-10ch 検出器の高バックグラウンドでの ^{133}Ba スペクトル

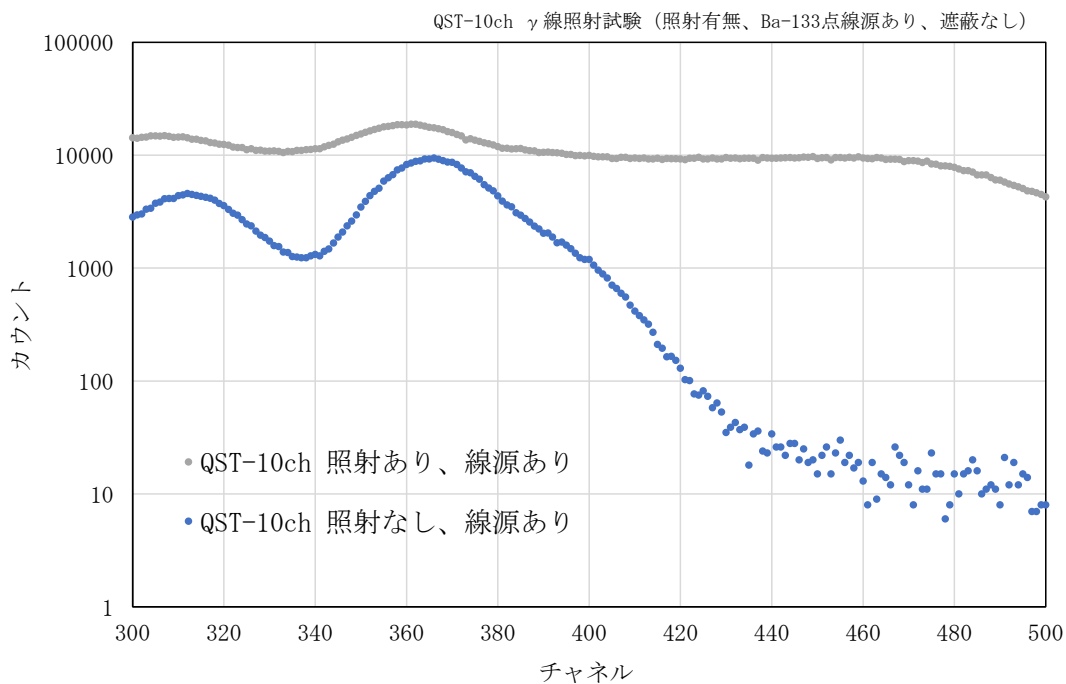


図 4.5.1.6 QST-10ch 検出器の高バックグラウンドでの ^{133}Ba スペクトル (拡大)

(2-4) QST 検出器 (8 チャンネル、小児用)

^{133}Ba からの γ 線による 356keV ピークでの計数効率は、照射がない時に比べて 17.9 $\mu\text{Sv/h}$ の照射下では 10%減少した。スペクトルの変化を図 4.5.1.7 及び図 4.5.1.8 に示す。

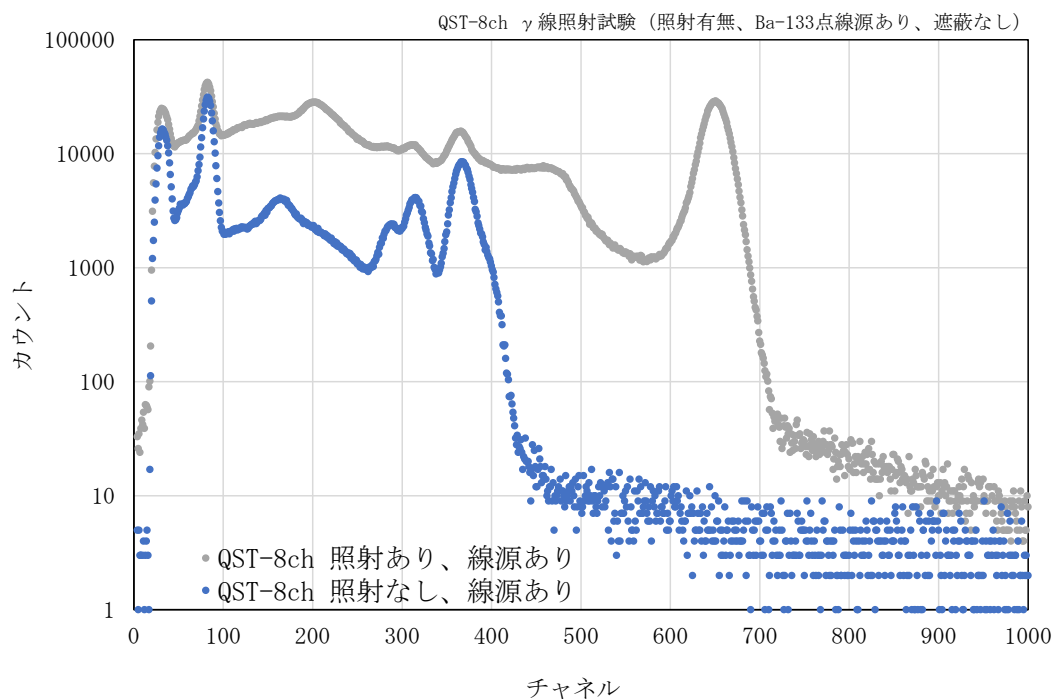


図 4.5.1.7 QST-8ch 検出器の高バックグラウンドでの ^{133}Ba スペクトル

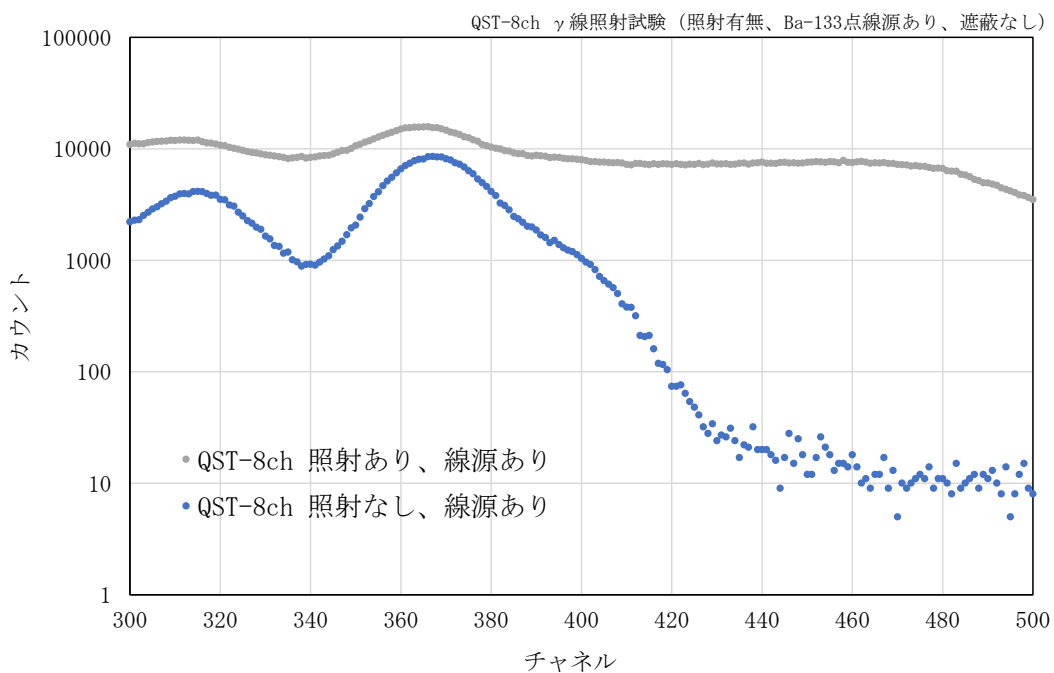


図 4.5.1.8 QST-8ch 検出器の高バックグラウンドでの ^{133}Ba スペクトル (拡大)

(2-5) QST 検出器 (4 チャンネル、幼児用)

^{133}Ba からの γ 線による 356 keV ピークでの計数効率は、照射がない時に比べて $18 \mu\text{Sv/h}$ の照射下では 3% 減少した。スペクトルの変化を図 4.5.1.9 及び図 4.5.1.10 に示す。

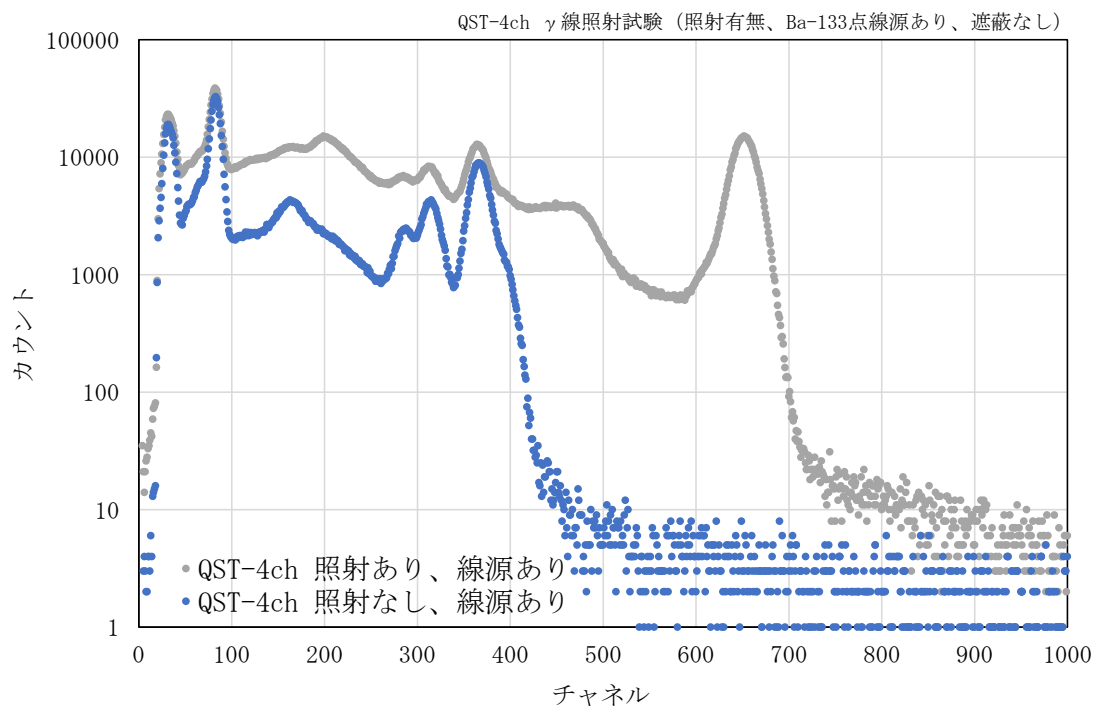


図 4.5.1.9 QST-4ch 検出器の高バックグラウンドでの ^{133}Ba スペクトル

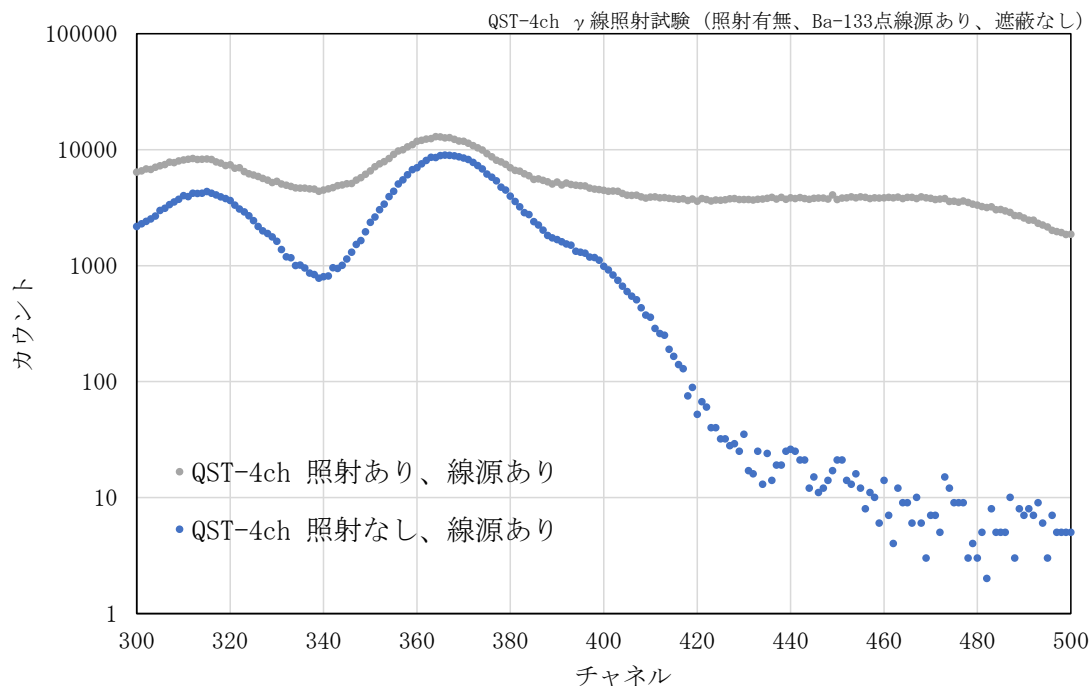


図 4.5.1.10 QST-4ch 検出器の高バックグラウンドでの ^{133}Ba スペクトル (拡大)

(3) 考察

装置評価としては、バックグラウンド γ 線の影響を最も受けやすい方向から照射するのが一般的である。しかし甲状腺モニタリング装置のように、被測定者の方向には遮蔽がない構造の検出器の場合は、影響が過大評価になる。従って測定現場の線量に合わせて見積もる必要がある。また、被測定者からの計数にも依存する事に注意が必要である。

4. 5. 2 高バックグラウンドでの検出限界

(1) 試験方法

γ 線標準照射場にて ^{137}Cs から $17.9\ \mu\text{Sv/h}$ の γ 線を照射して、バックグラウンド測定を行い、 ^{131}I からの 365keV の γ 線のピーク領域における、高バックグラウンドでの決定閾値を評価する。

線量は、検出器前面を基準とした。QSTは遮蔽を持たないため照射した線量は、装置が受けるバックグラウンド放射線の線量と同様と考えられる。しかしながら CZT 及び LaBr_3 は検出器に固有の遮蔽が設けられており、入射方向以外のバックグラウンド放射線は低減されている。一方、 γ 線標準照射場は一方方向の照射に対して線量が定められているので今回の照射は遮蔽のない入射方向から照射している。そのため、バックグラウンド放射線の影響は照射線量に比べてより厳しいものになる。

また、 LaBr_3 はデータ収集・制御用計算機と検出器の距離を数メートルまで離すと動作しなくなるため、 LaBr_3 を照射室内に設置して遠隔操作が出来なかった。そこで、操作者があらかじめ照射室内で測定動作を開始させてから照射室外へ出て照射を開始することとした。照射されない時間があるため、測定時間にわたる平均線量は $15\ \mu\text{Sv/h}$ となった。

なお、バックグラウンドを計数する ROI は表 4.3.4.1 に示す ^{131}I 検出効率試験での ROI とした。

(2) 測定結果

各検出器で得られた決定閾値を表 4.5.2.1 に示す。また、各測定での波高スペクトルを図 4.5.2.1～図 4.5.2.5 に示す。

表 4.5.2.1 高バックグラウンド放射線下での測定による決定閾値の違い

検出器	CZT	LaBr_3	QST-10ch	QST-8ch	QST-4ch
BG 計数率 [s^{-1}]	127.4	732.4	580.2	440.2	204.0
t_0 [s]	180	180	180	180	180
t_b [s]	600	600	600	600	600
$k_{1-\alpha}$	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
決定閾値 [s^{-1}]	1.58	3.78	3.37	2.94	2.00

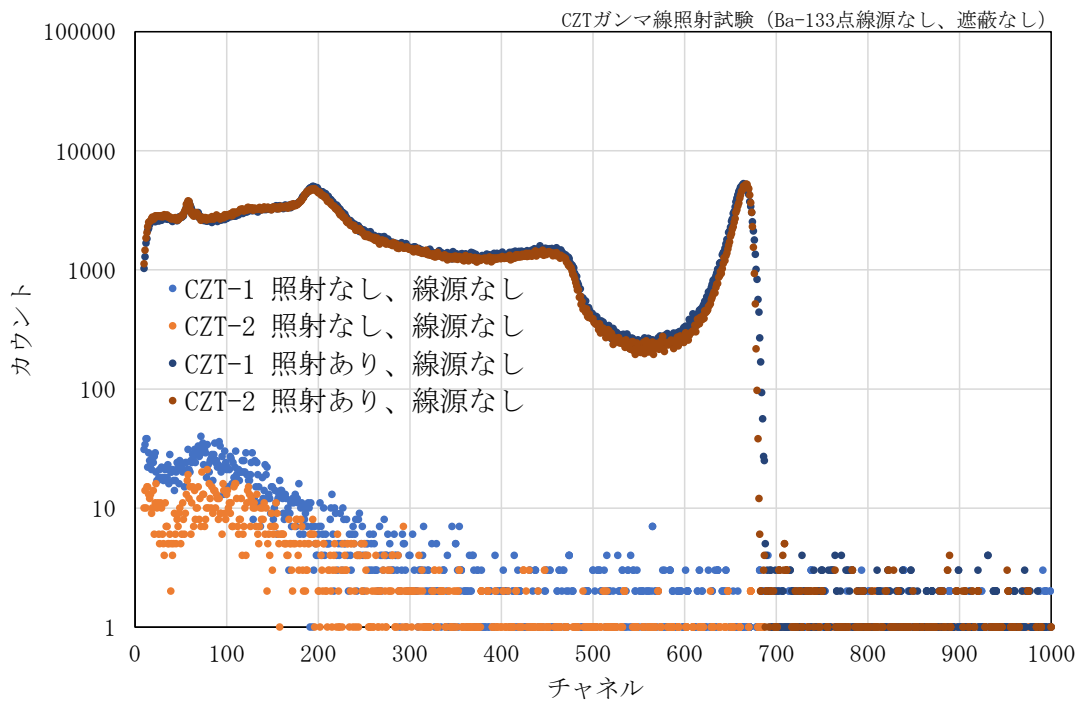


図 4.5.2.1 CZT 検出器の高バックグラウンドでのスペクトル

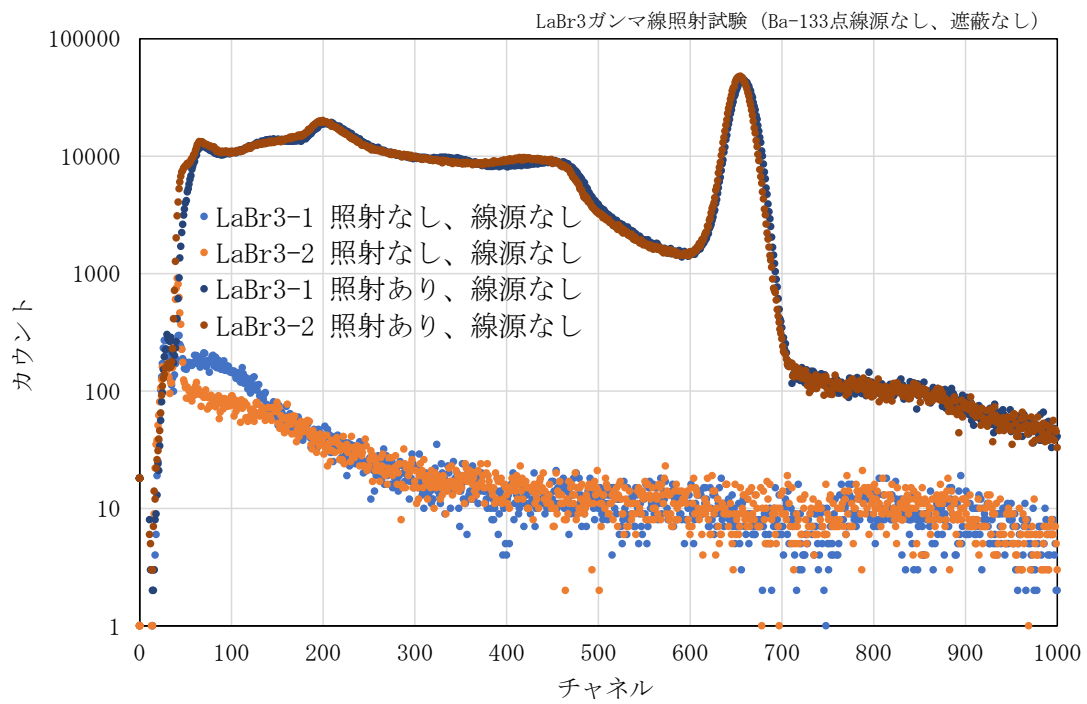


図 4.5.2.2 LaBr₃ 検出器の高バックグラウンドでのスペクトル

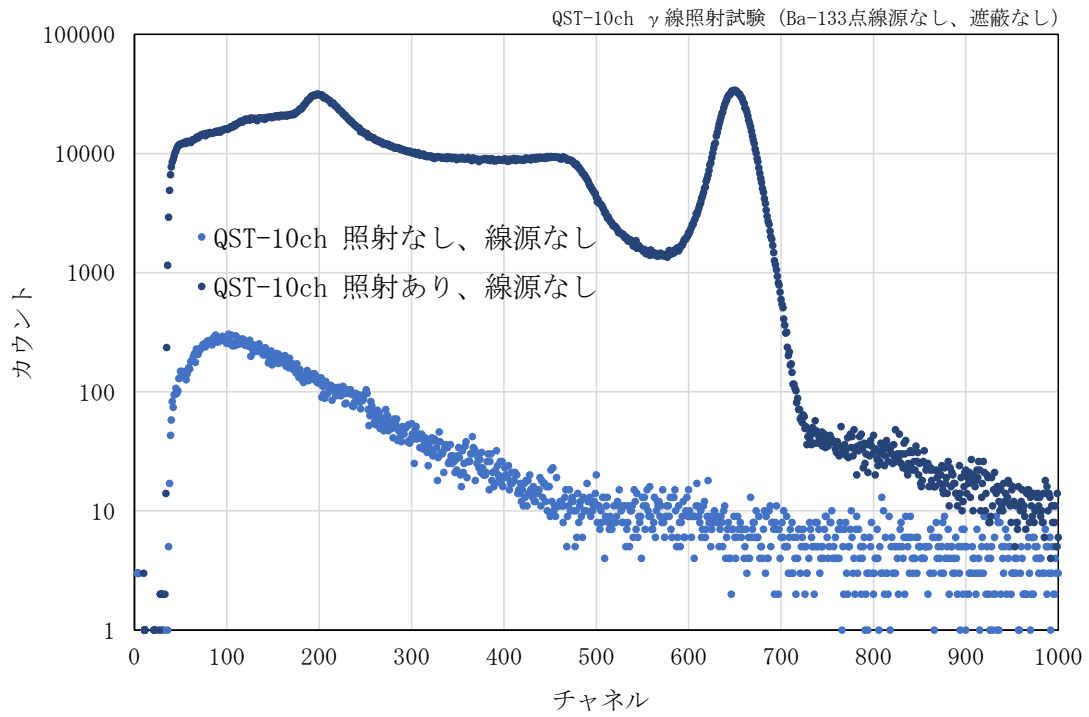


図 4.5.2.3 QST-10ch 検出器の高バックグラウンドでのスペクトル

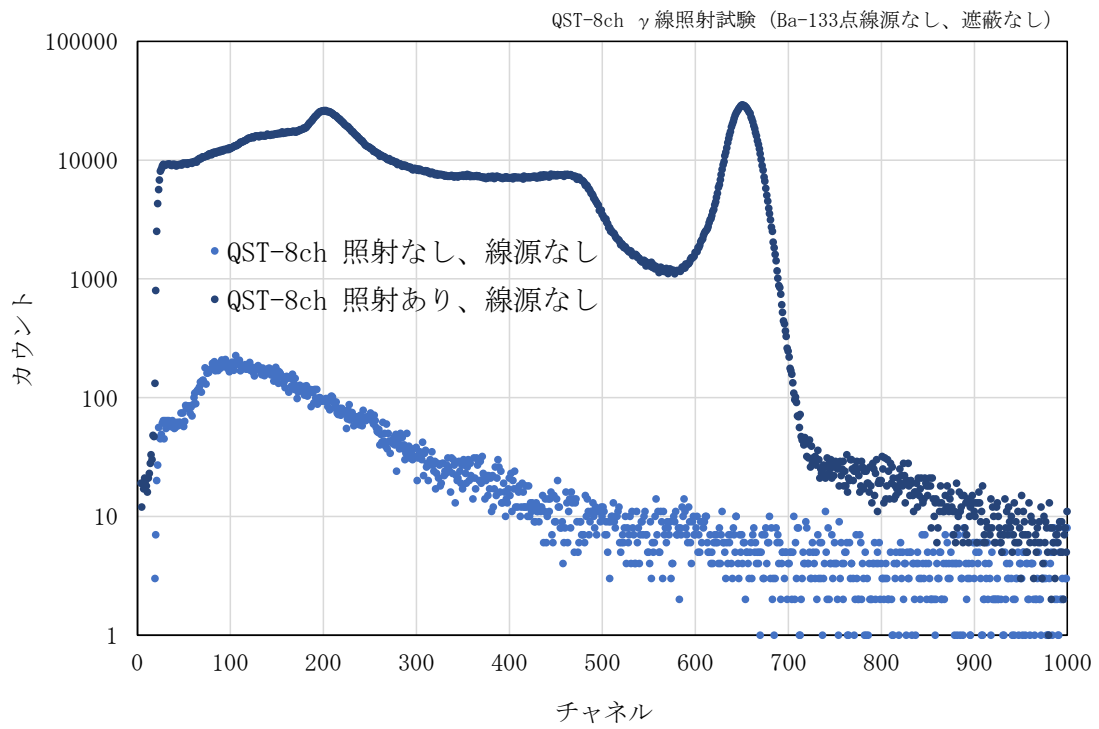


図 4.5.2.4 QST-8ch 検出器の高バックグラウンドでのスペクトル

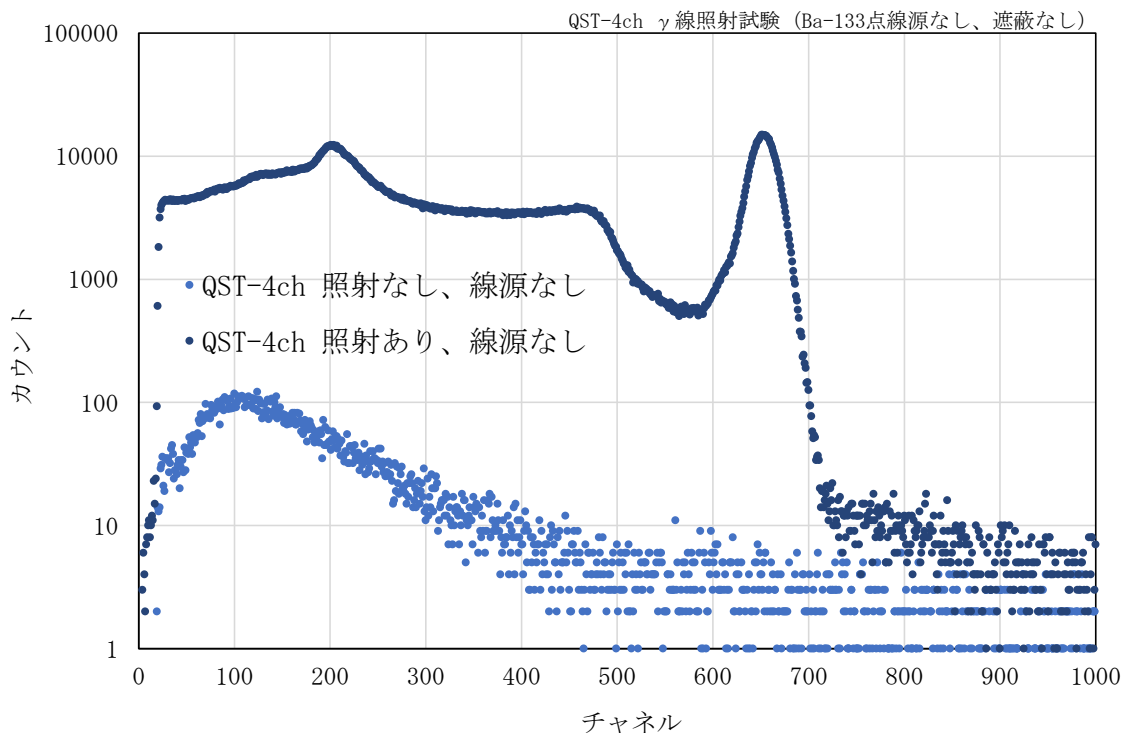


図 4.5.2.5 QST-4ch 検出器の高バックグラウンドでのスペクトル

(3) 考察

17.9 μ Sv/h 照射下では決定閾値が 20 倍以上大きくなっている。QST 検出器の場合はピーク計数効率が変動する事も考慮し、適切な遮蔽を設ける必要がある。QST が提案している鉛遮蔽板 1 枚を入れた場合はバックグラウンド計数が約 1/4 になり、決定閾値は約 1/2 となった。測定の時期によってバックグラウンド放射線と測定の要求精度が変わるので、適切な遮蔽を設けた測定が求められる。CZT 検出器及び LaBr₃ 検出器については被測定者の方向以外は鉛で遮蔽されている。検出器背面からの照射では、バックグラウンド計数は被測定者の方向からの照射に比べて 1/15 以下になっている。

4. 5. 3 年齢・体格の違いと効率の関係

(1) 試験方法

年齢別の頸部及び甲状腺を模擬したファントム (仏 IRSN 開発品、Tiffany Beaumont 他、Development and test of sets of 3D printed age-specific thyroid phantoms for ¹³¹I measurements, Phys. Med. Biol. 62 (2017) 4673-4693)⁸⁾ を用いてピーク計数効率を求め、年齢・体格の違いの影響を評価する。

¹³¹I 検出効率試験は、放射能が既知の ¹³¹I 溶液を IRSN ファントムの線源容器に充填し、IRSN ファントムに収納して線源とする。充填量は表 4.5.3.1 に示す量とした。CZT 及び LaBr₃ の場合はファントムを測定治具に密着させ、QST の場合は検出器前面に密着させて測定する。線源の放射能は、測定時の放射能として 40kBq ~ 100kBq であった。式

(4.3.4.1) により検出効率、及び式 (4.3.4.2) により計数効率を求めた。ただし、 P は ¹³¹I からの 365keV の γ 線、及び分離測定が困難な 358keV の γ 線に対する光子放出割合 (0.812+0.00017=0.81217)⁽⁷⁾ である。正味計数を求める ROI は表 4.3.4.1 に示す範囲とした。表 4.5.3.8 には IRSN ファントムで求めた効率で評価した決定閾値を示す。

次に、IRSN ファントムの線源容器の左右の接続部の中央の上端部分を線源中心とし、それを検出器中心の高さに合わせた場合を基準の高さ（0mm）とした。IRSN ファントムを治具あるいは検出器前面に密着させた場合を基準の間隔（0mm）とした。IRSN ファントムを基準の高さあるいは基準の間隔からずらしてレスポンスの変化を記録した。

表 4.5.3.1 IRSN ファントムの線源充填量

ファントム種類	核種	溶液充填量 [g]	基準日放射能 [kBq]
5 歳児用	¹³¹ I	2.692	123.9
10 歳児用	¹³¹ I	7.010	140.1
15 歳児用	¹³¹ I	10.974	145.1
成人用	¹³¹ I	18.348	145.7

(2) 試験結果

(2-1) CZT 検出器

表 4.5.3.2 及び図 4.5.3.1 による。

表 4.5.3.2 CZT 検出器での効率比較結果

検出器	CZT	CZT	CZT	CZT
測定治具	作業用	作業用	作業用	作業用
IRSN ファントム	成人用	15 歳用	10 歳用	5 歳用
核種	I-131	I-131	I-131	I-131
検出効率 [s ⁻¹ /Bq]	0.120 % (左右の合計)	0.129 % (左右の合計)	0.143 % (左右の合計)	0.169 % (左右の合計)
計数効率 [s ⁻¹ /s ⁻¹]	0.148 % (左右の合計)	0.159 % (左右の合計)	0.177 % (左右の合計)	0.209 % (左右の合計)

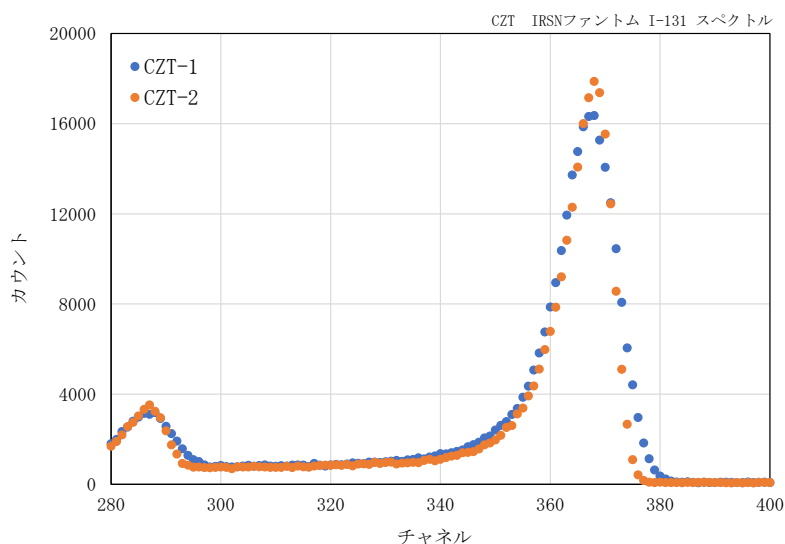


図 4.5.3.1 CZT の ^{131}I スペクトル (365keV ピーク拡大)

(2-2) LaBr_3 検出器

表 4.5.3.3、表 4.5.3.4 及び図 4.5.3.2 による。測定の様子を図 4.5.3.3 に示す。

表 4.5.3.3 LaBr_3 検出器で一般成人用の測定治具を用いた場合の効率比較結果

検出器	LaBr_3	LaBr_3	LaBr_3	LaBr_3
測定治具	一般成人用	一般成人用	一般成人用	一般成人用
IRSN ファントム	成人用	15 歳用	10 歳用	5 歳用
核種	I-131	I-131	I-131	I-131
検出効率 [s^{-1}/Bq]	0.671 % (左右の合計)	0.714 % (左右の合計)	0.786 % (左右の合計)	0.908 % (左右の合計)
計数効率 [$\text{s}^{-1}/\text{s}^{-1}$]	0.826 % (左右の合計)	0.879 % (左右の合計)	0.967 % (左右の合計)	1.12 % (左右の合計)

表 4.5.3.4 LaBr_3 検出器でファントムに合わせた測定治具を用いた場合の効率比較結果

検出器	LaBr_3	LaBr_3	LaBr_3
測定治具	小児用	小児用	幼児用
IRSN ファントム	15 歳用	10 歳用	5 歳用
核種	I-131	I-131	I-131
検出効率 [s^{-1}/Bq]	0.735 % (左右の合計)	0.779 % (左右の合計)	0.735 % (左右の合計)
計数効率 [$\text{s}^{-1}/\text{s}^{-1}$]	0.906 % (左右の合計)	0.959 % (左右の合計)	0.905 % (左右の合計)

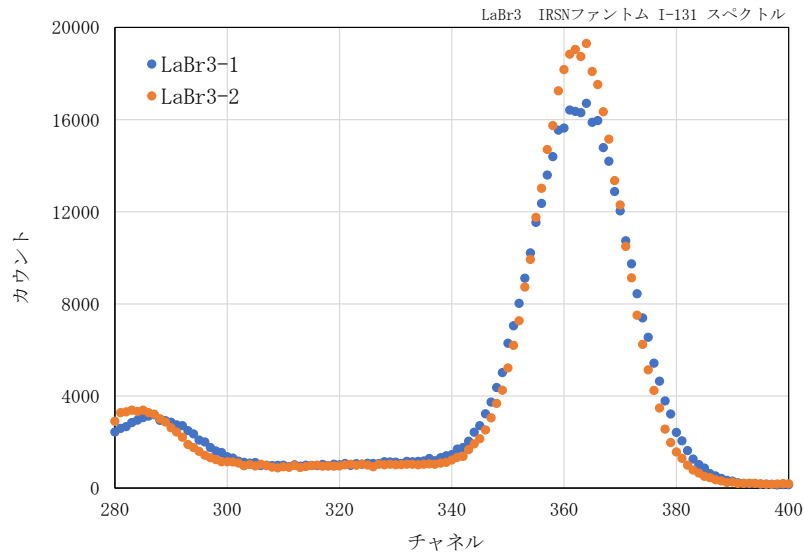


図 4.5.3.2 LaBr₃ の ¹³¹I スペクトル (365keV ピーク拡大)

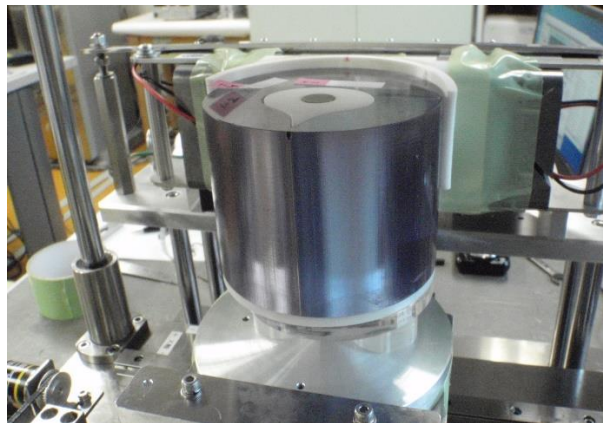


図 4.5.3.3 LaBr₃による IRSN ファントム測定の様子

(2-3) QST 検出器

表 4.5.3.5~表 4.5.3.7、及び図 4.5.3.4 による。測定の様子を図 4.5.3.5 に示す。

表 4.5.3.5 QST 検出器 (10 チャンネル合計、成人用) での効率比較結果

検出器	QST 10ch	QST 10ch	QST 10ch	QST 10ch
測定治具	なし (密着)	なし (密着)	なし (密着)	なし (密着)
IRSN ファントム	成人用	15 歳用	10 歳用	5 歳用
核種	I-131	I-131	I-131	I-131
検出効率 [s^{-1}/Bq]	1.04 %	1.14 %	1.21 %	1.38 %
計数効率 [s^{-1}/s^{-1}]	1.28 %	1.40 %	1.49 %	1.69 %

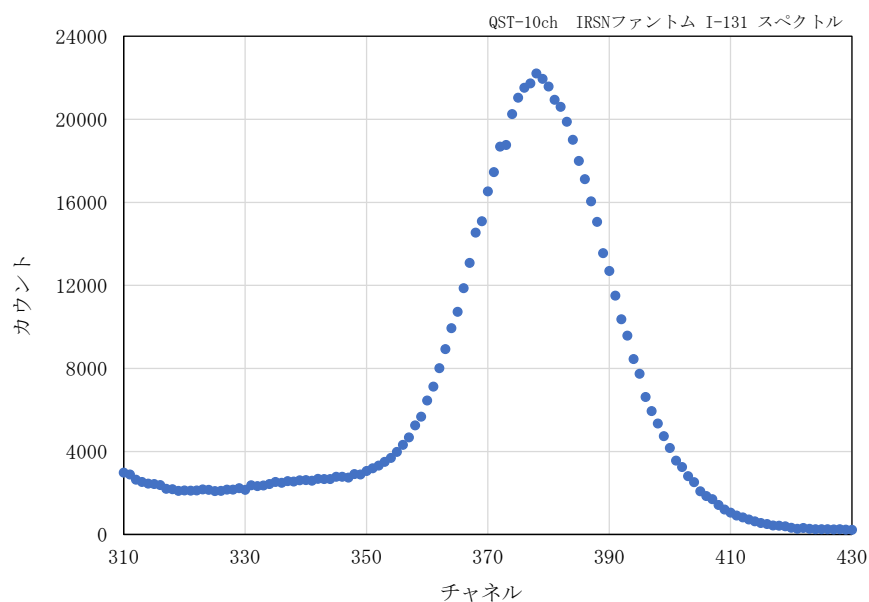


図 4.5.3.4 QST-10ch の ^{131}I スペクトル (365keV ピーク拡大)

表 4.5.3.6 QST 検出器 (8 チャンネル合計、小児用) での効率比較結果

検出器	QST 8ch	QST 8ch
測定治具	なし (密着)	なし (密着)
IRSN ファントム	10 歳用	5 歳用
核種	I-131	I-131
検出効率 [s^{-1}/Bq]	1.20 %	1.45 %
計数効率 [$\text{s}^{-1}/\text{s}^{-1}$]	1.48 %	1.79 %

表 4.5.3.7 QST 検出器 (4 チャンネル合計、幼児用) での効率比較結果

検出器	QST 4ch	QST 4ch
測定治具	なし (密着)	なし (密着)
IRSN ファントム	10 歳用	5 歳用
核種	I-131	I-131
検出効率 [s^{-1}/Bq]	0.666 %	0.827 %
計数効率 [$\text{s}^{-1}/\text{s}^{-1}$]	0.820 %	1.02 %

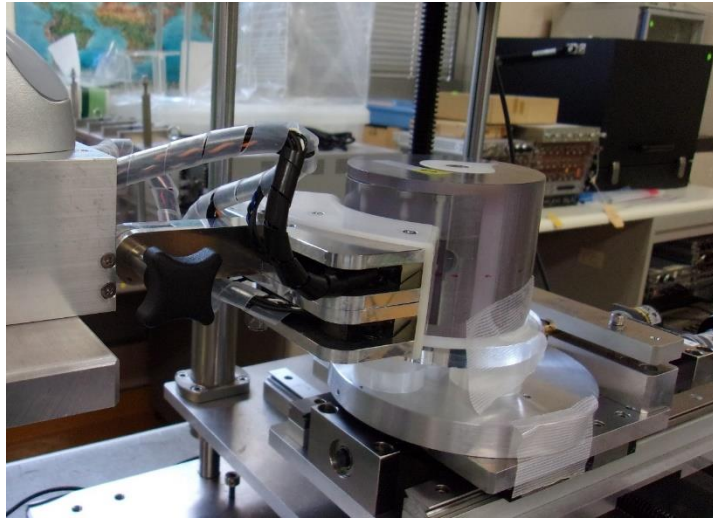


図 4.5.3.5 QST-10ch 検出器による IRSN ファントム測定の様子

表 4.5.3.8 IRSN ファントムで求めた効率で評価した決定閾値

検出器	CZT	LaBr ₃	LaBr ₃	LaBr ₃	QST-10ch	QST-8ch	QST-4ch
BG 測定時ファントム	成人	成人	小児	幼児	成人	小児	幼児
BG 計数率[s ⁻¹]	0.185	1.36	1.39	1.42	1.32	0.851	0.493
t ₀ [s]	180	180	180	180	180	180	180
t _b [s]	600	600	600	600	600	600	600
k _{1-a}	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
決定閾値(R _{DT}) [s ⁻¹]	0.0679	0.171	0.172	0.174	0.168	0.137	0.106
検出効率[s ⁻¹ /Bq]	0.00120	0.00671	0.00786	0.00908	0.0104	0.0120	0.00827
決定閾値(A _{DT}) [Bq]	56.6	25.4	21.9	19.1	16.2	11.3	12.8

試験環境の線量は0.06~0.07 μSv/hであった。

(2-4) 基準位置からのずれによる検出効率の変化

図 4.5.3.6~図 4.5.3.10 による。

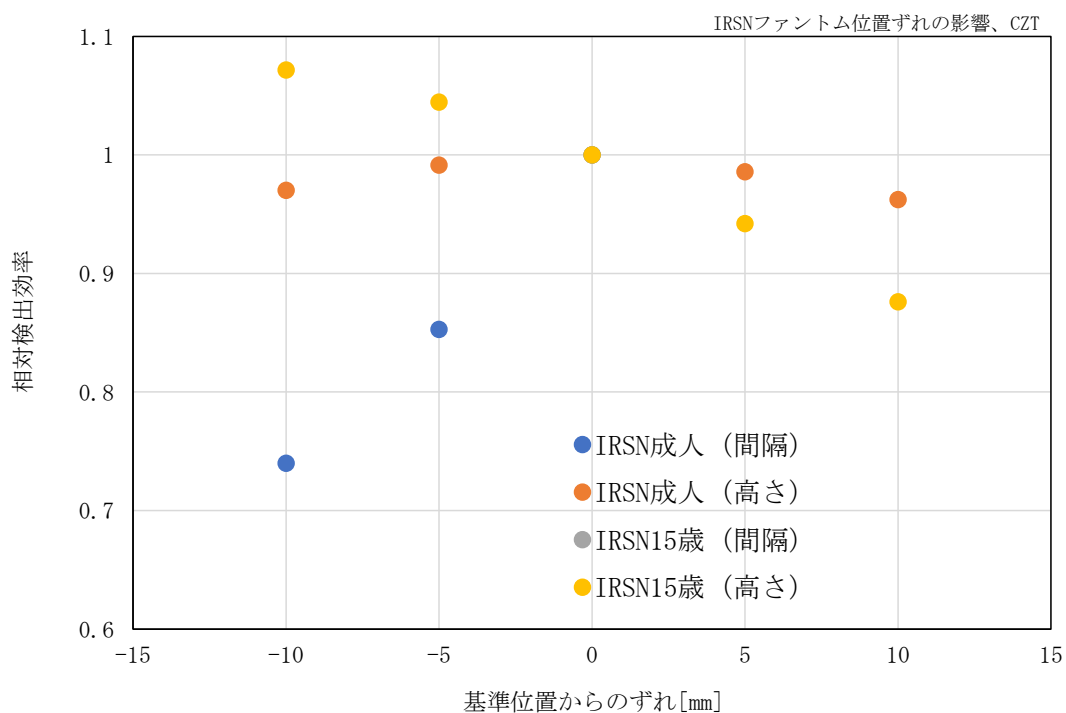


図 4.5.3.6 CZT 検出器での IRSN ファントム位置ずれと検出効率の関係

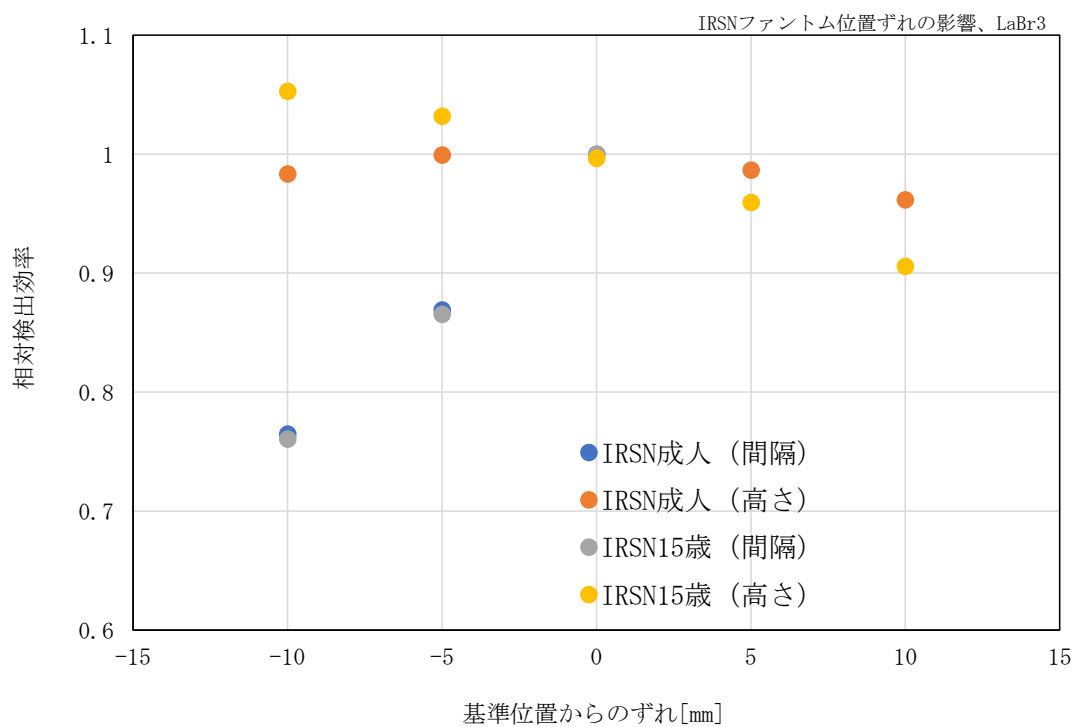


図 4.5.3.7 LaBr₃ 検出器での IRSN ファントム位置ずれと検出効率の関係

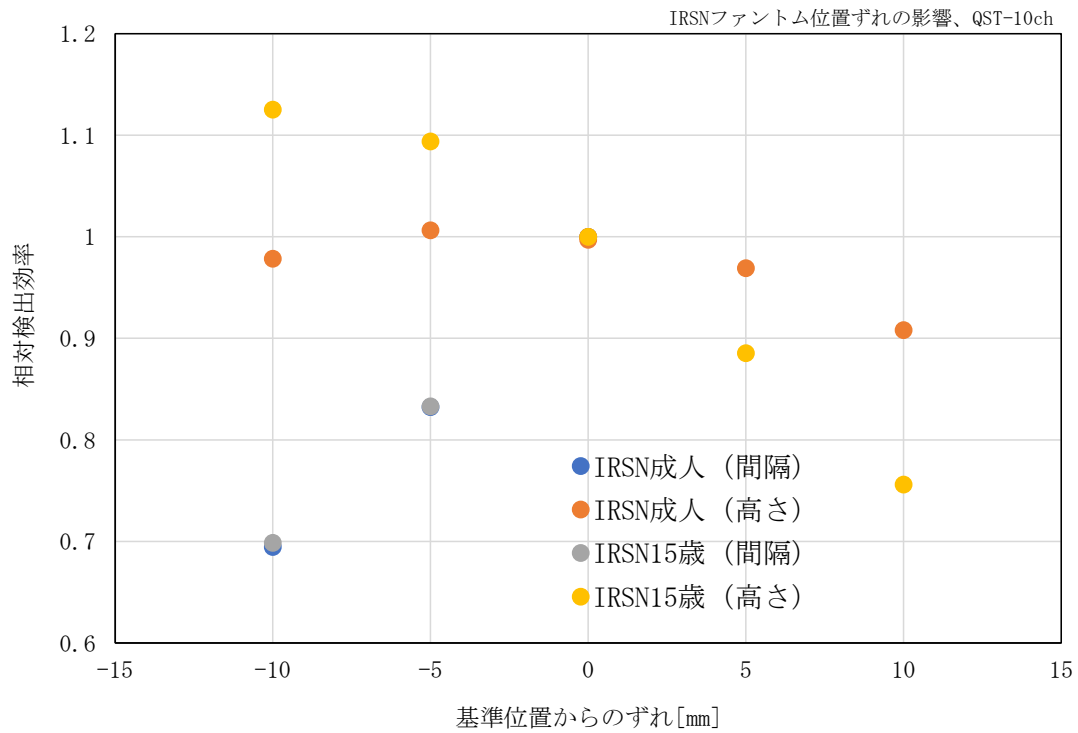


図 4. 5. 3. 8 QST-10ch 検出器での IRSN ファントム位置ずれと検出効率の関係

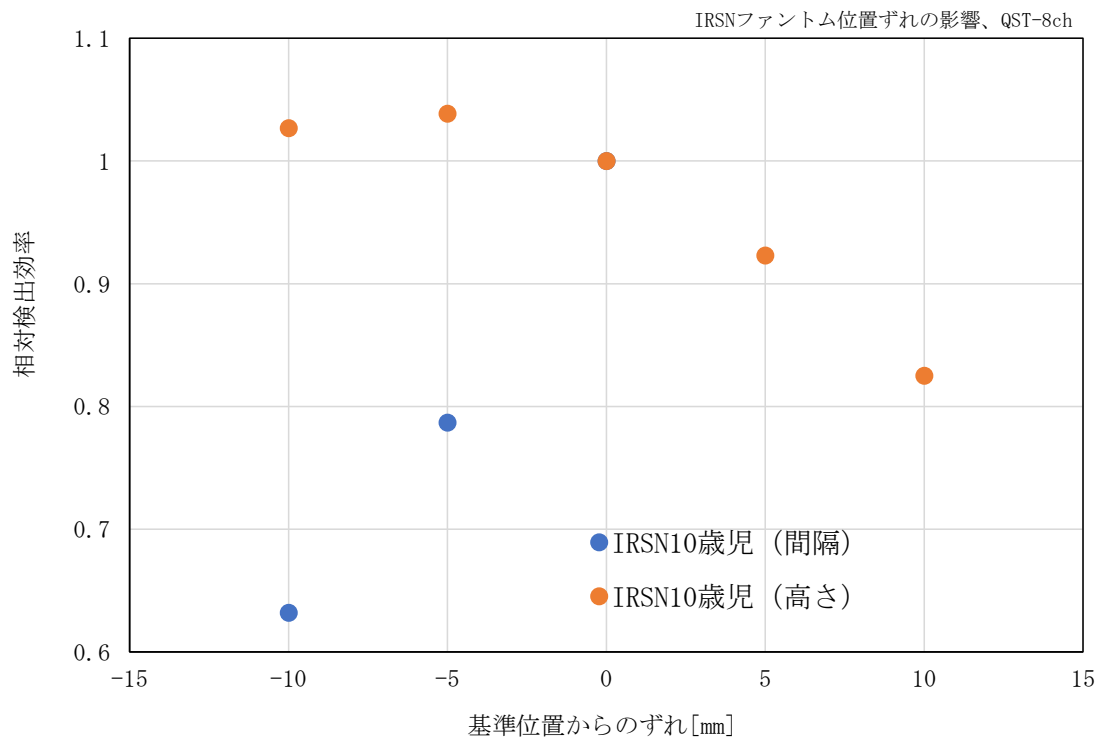


図 4. 5. 3. 9 QST-8ch 検出器での IRSN ファントム位置ずれと検出効率の関係

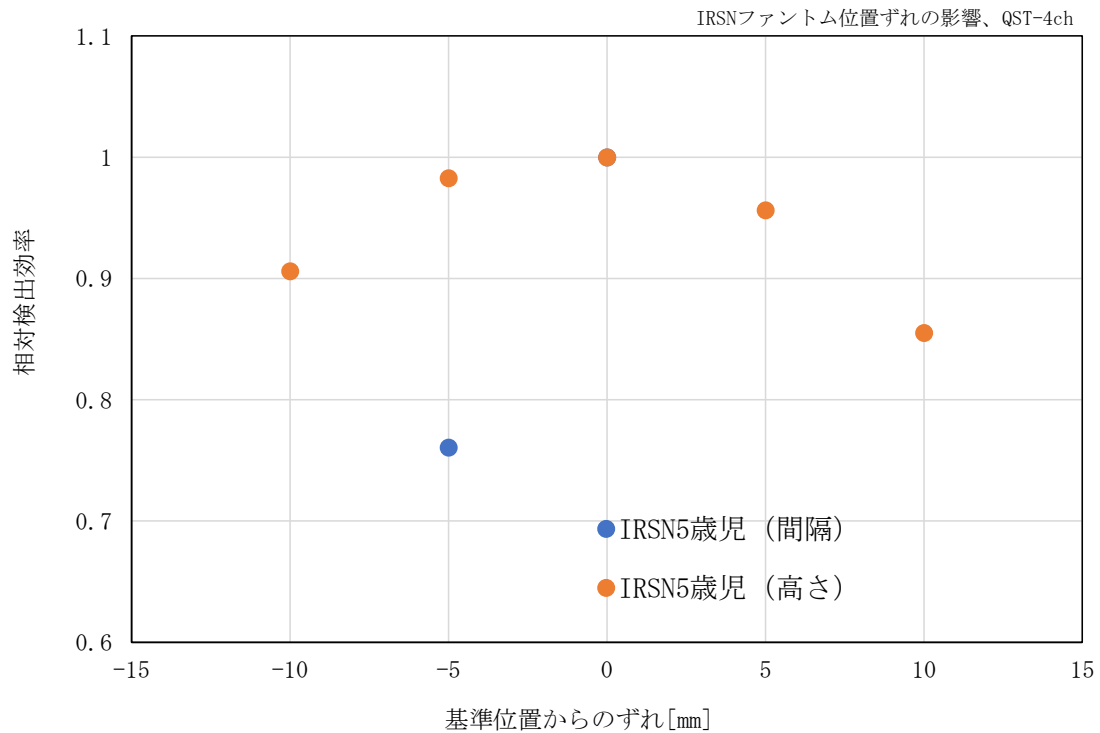


図 4.5.3.10 QST-4ch 検出器での IRSN ファントム位置ずれと検出効率の関係

(3) 考察

CZT 検出器、 LaBr_3 検出器、QST 検出器のいずれも、IRSN ファントムが小さくなるほど効率が大きくなっており、成人ファントムと 5 歳児ファントムでは 1.3 倍～1.4 倍の違いがある。理由としては、小さいファントムほど、検出器と線源間の距離が小さくなるので検出効率が大きくなる事、及び線源が小さくなるほど線源が検出器を見込む立体角が大きくなることにより効率が大きくなる事があげられる。

図 4.5.3.6～図 4.5.3.8 に示す IRSN ファントム位置ずれの影響において、IRSN の 15 歳児用ファントムの高さを変えた場合、ファントムを基準の高さから下げても相対レスポンスが大きくなっている。小口径の γ 線測定用サーベイメータの場所を変えながら測定しても同様の結果が得られたので、ファントムの準備に起因していると考えられる。

4. 5. 4 検出器と線源の間隔と検出効率の関係

(1) 試験方法

円筒形状の線源を頸部模擬ファントムに装着し、検出器との間隔を変えながら検出効率を求める。検出器前面から線源中心までの間隔の基準は、JAEA の成人用測定治具で定まる、25mm に、JAEA での評価中心である表面から 24mm を加えた 49mm とした。

(2) 試験結果

(2-1) CZT 検出器

図 4.5.4.1～図 4.5.4.3 による。

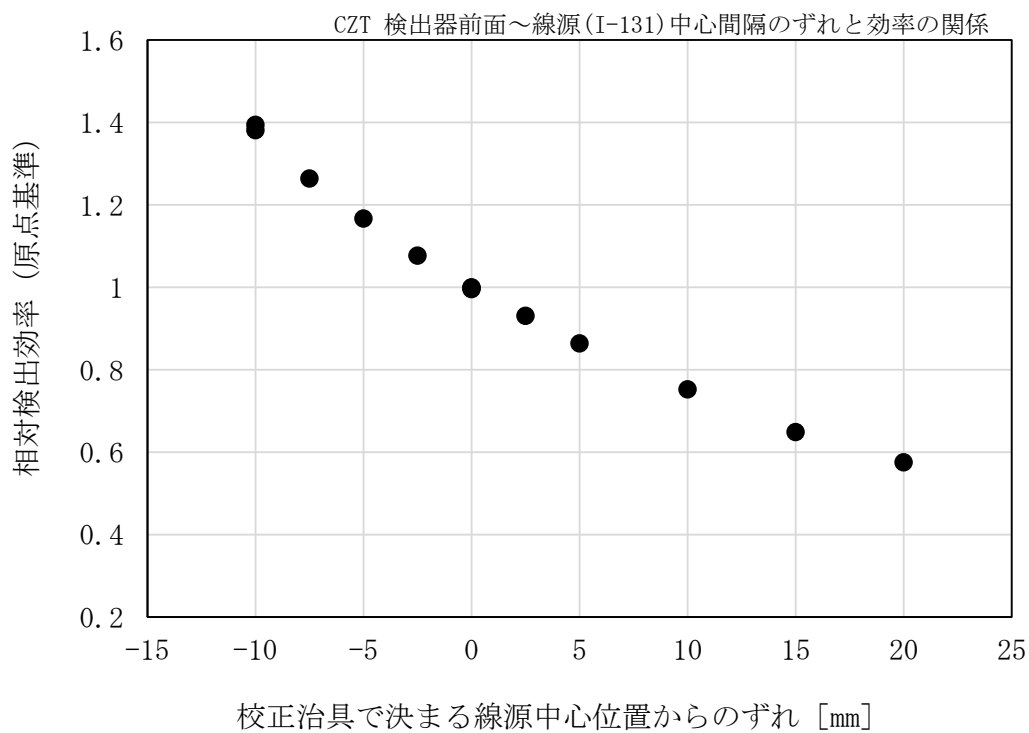


図 4.5.4.1 CZT 検出器の検出器前面～線源中心のずれと検出効率の関係

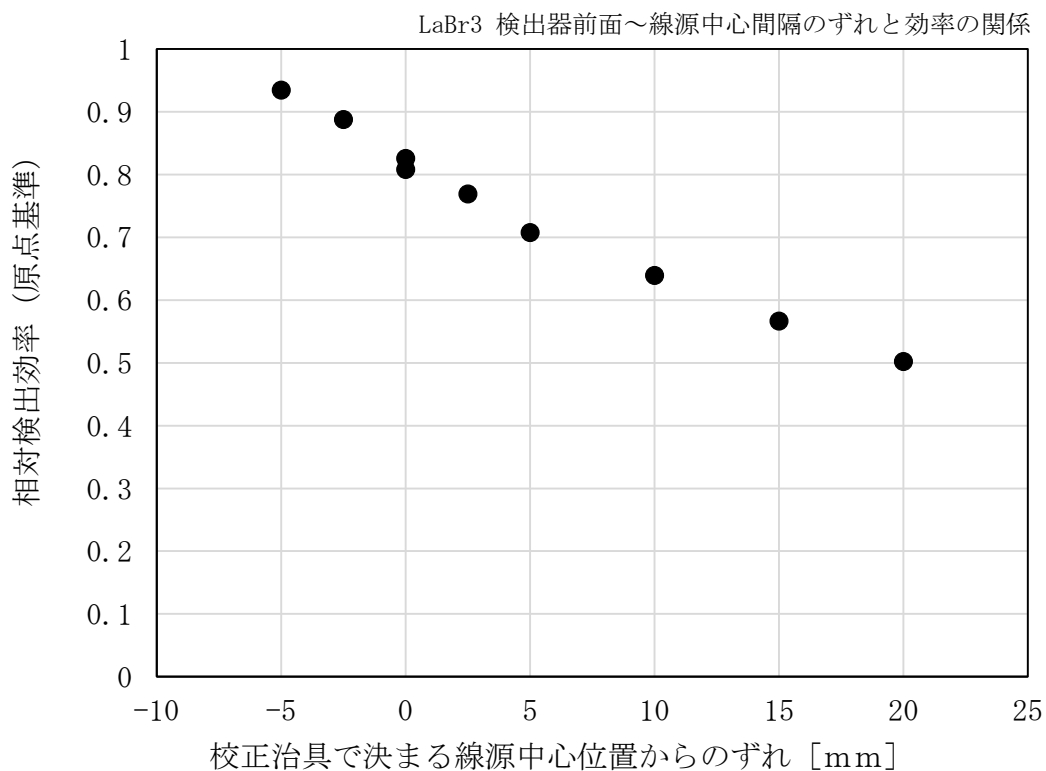


図 4.5.4.2 LaBr₃ 検出器の検出器前面～線源中心のずれと検出効率の関係

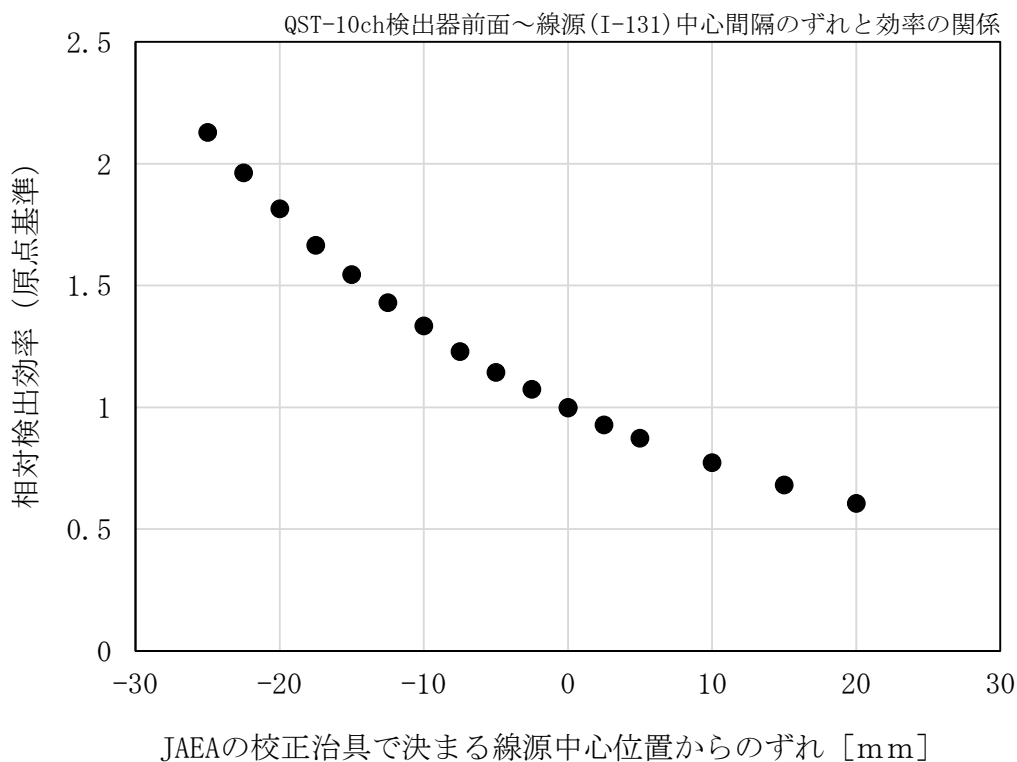


図 4.5.4.3 QST-10ch 検出器の検出器前面～線源中心のずれと検出効率の関係

(3) 考察

間隔が負の値となる試験点は、基準の位置より線源を検出器に近づけた場合の結果である。何れの検出器も、20mm 離すと効率が 0.6 倍になるように、ほぼ同じ傾向を示している。線源を検出器間隔のばらつきは様々な測定条件の中で不確かさに大きく寄与する。さらに、実際の測定において、被測定者の甲状腺位置は分からないため、放射能評価においても不確かさ要因となる。なお、QST 検出器は実際には検出器を頸部に密着させ測定するので、影響は大きくなるが、その程度は線源～検出器間隔を 20mm 離すと検出効率が 0.55 倍になる程度で、あまり変わらない。

4. 5. 5 2本の線源の間隔と検出効率の関係

(1) 試験方法

甲状腺を模擬した 2 本の 20mL バイアル容器に放射能がほぼ等しくなるよう ^{133}Ba 標準溶液を充填して線源とする。その線源の間隔を変えながら検出効率を試験する。検出器表面からの距離は、JAEA の成人用測定治具で定まる 25mm に、JAEA での評価中心である表面から 24mm を加えた 49mm とした。2 本の線源の間隔は 15mm、25mm、35mm とした。

(2) 試験結果

図 4.5.5.1～図 4.5.5.4 による。

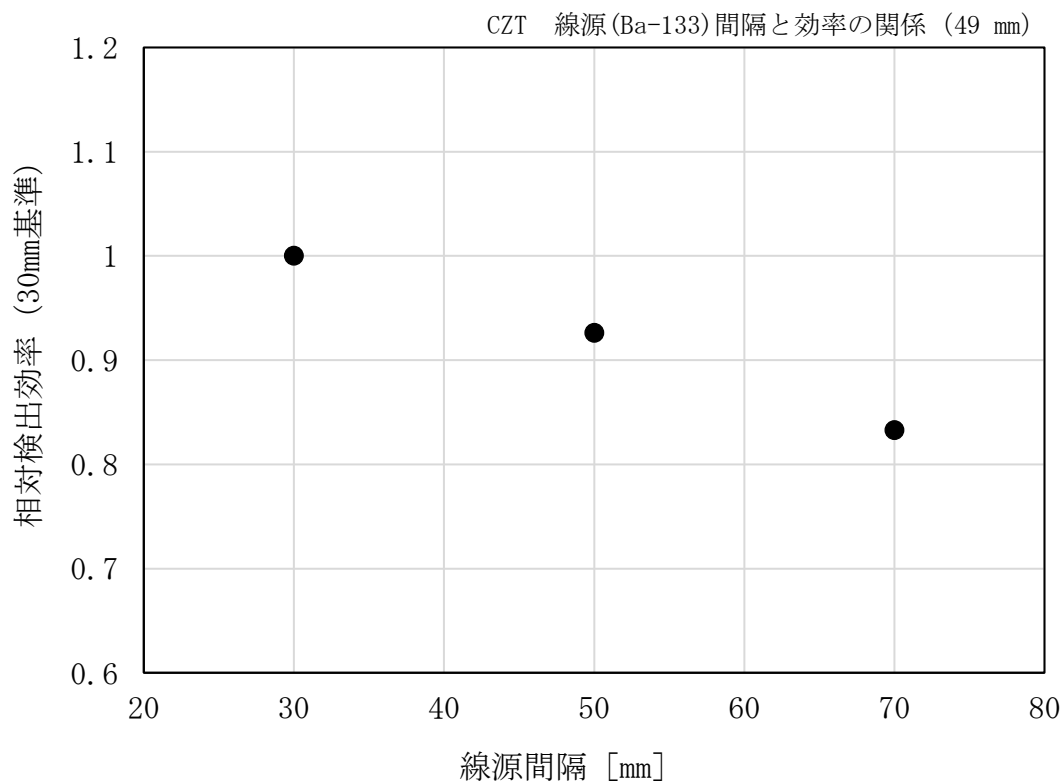


図 4.5.5.1 CZT 検出器の線源間隔と検出効率の関係

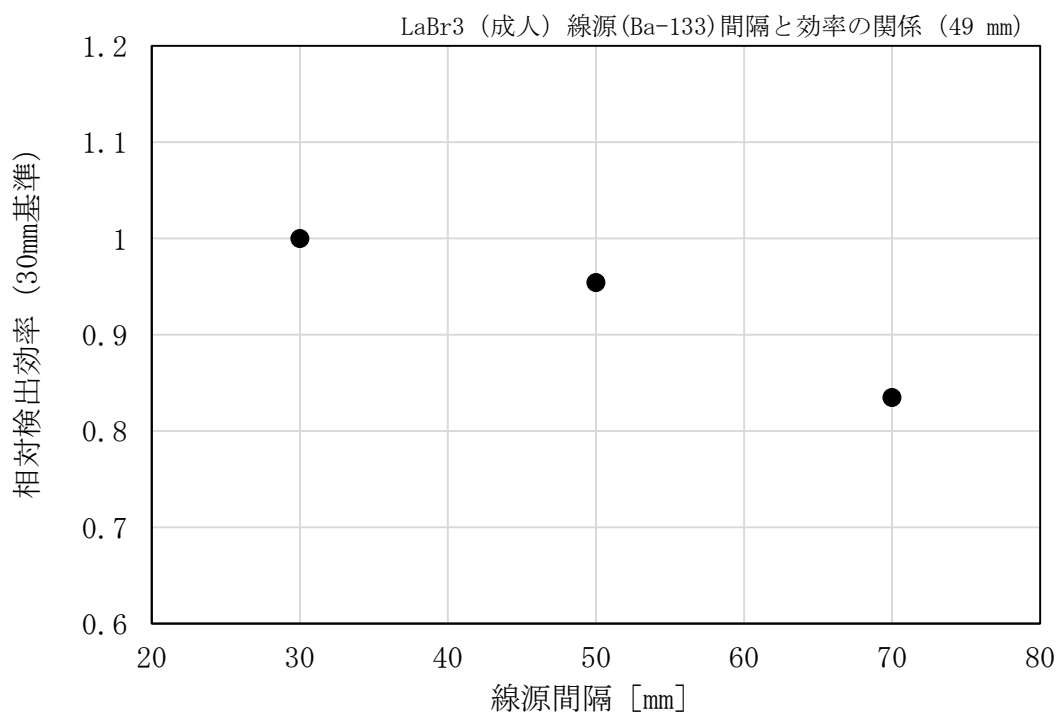


図 4.5.5.2 LaBr₃ 検出器 (成人) の線源間隔と検出効率の関係

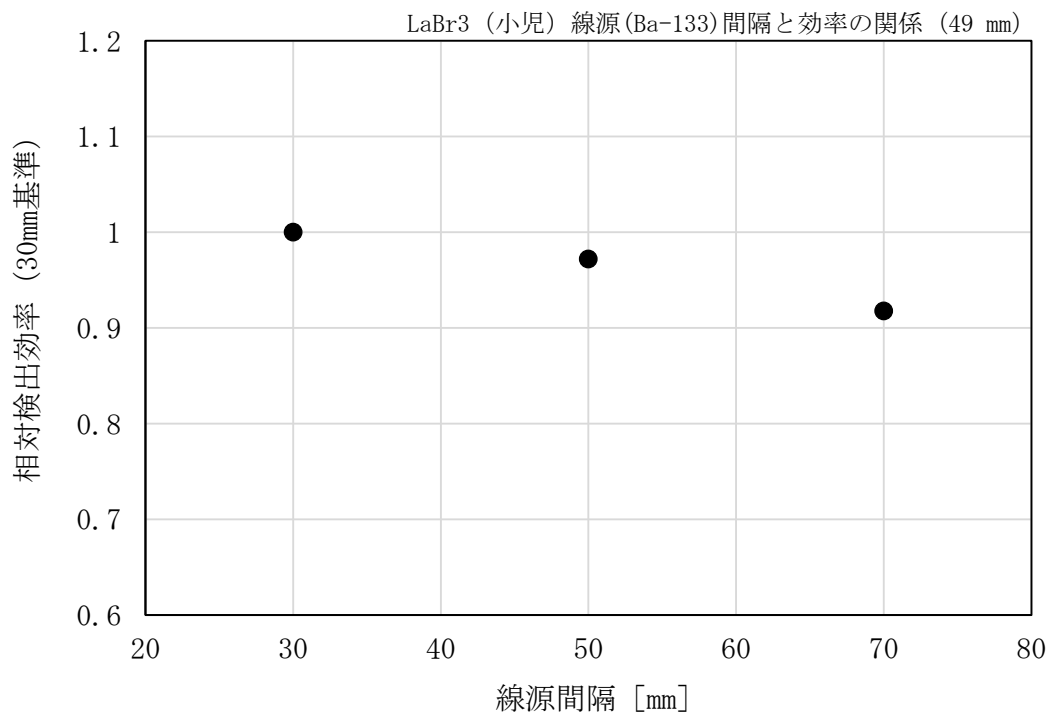


図 4.5.5.3 LaBr₃ 検出器 (小児) の線源間隔と検出効率の関係

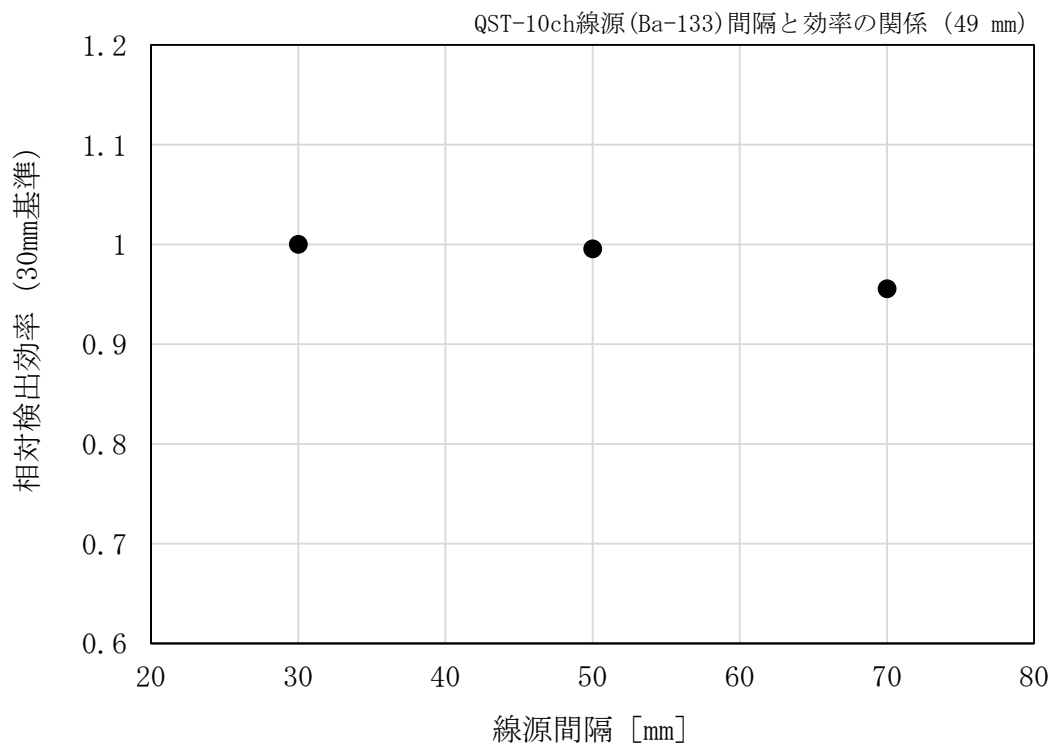


図 4.5.5.4 QST-10ch 検出器の線源間隔と検出効率の関係

(3) 考察

LaBr₃ の二つの図を比較すれば明らかなように検出器の間隔が広い方が、線源間隔のばらつきに対してロバストである。QST は検出器が横に広がって並べられているので、さらに影響を受けにくくなっている。

4. 5. 6 線源の位置のずれと検出効率の関係の試験

(1) 試験方法

円筒形状の線源を頸部模擬ファントムに装着し、甲状腺模擬線源の線源中心と検出器中心を結ぶ直線に垂直な面内での線源の位置を変えながら検出効率を試験する。検出器前面と線源中心の間隔は、JAEA の成人用測定治具で定まる 25mm に JAEA での評価中心である表面から 24mm を加えた 49mm とした。

なお、検出器前面と線源中心の間隔が変わることによる効率変化は補正していない。

(2) 試験結果

(2-1) CZT 検出器

図 4.5.6.1 及び図 4.5.6.2 による。

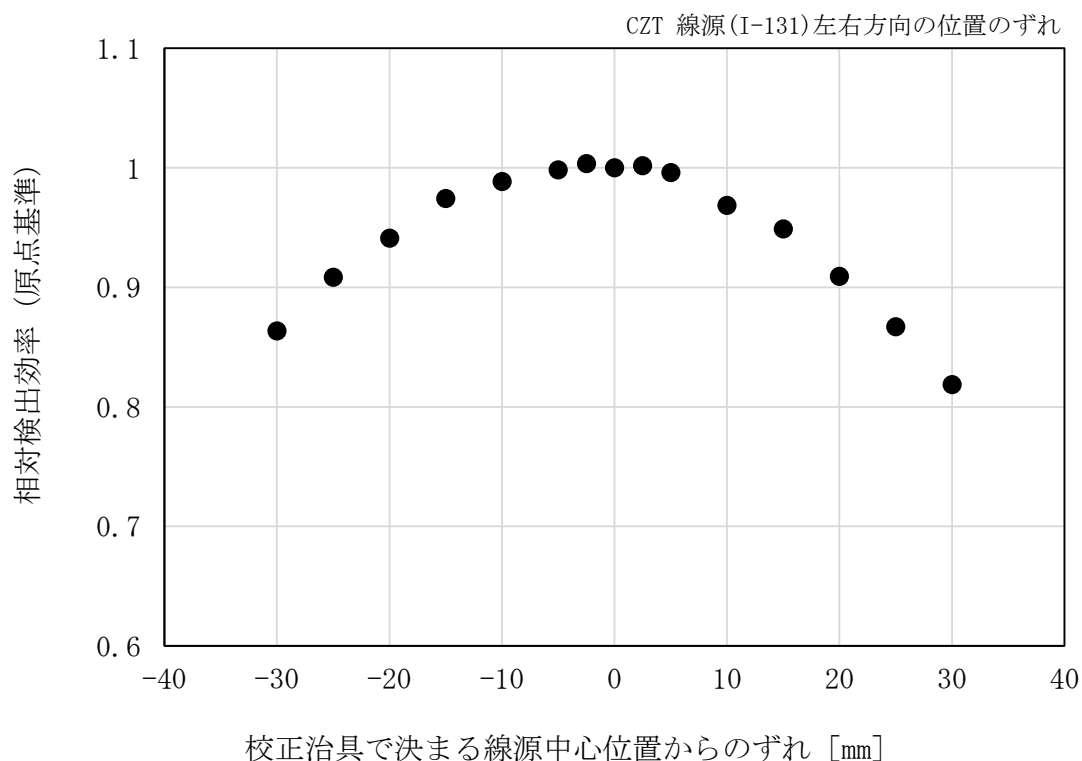


図 4.5.6.1 線源左右方向のずれに対する CZT 検出器の検出効率の変化

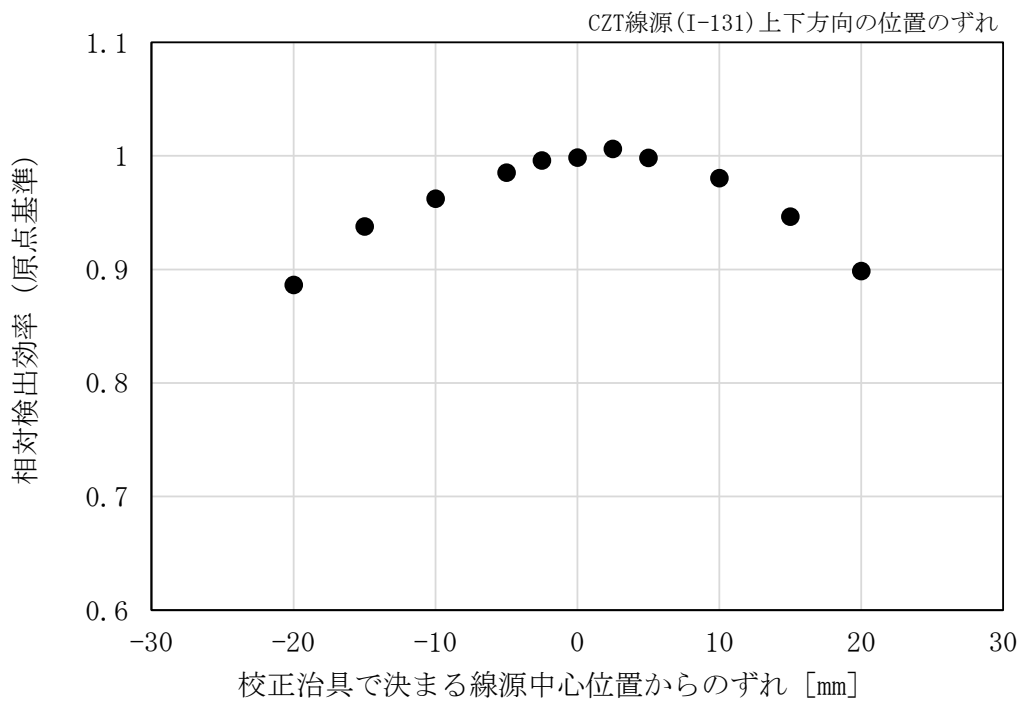


図 4.5.6.2 線源上下方向のずれに対する CZT 検出器の検出効率の変化

(2) 試験結果

(2-2) LaBr₃ 検出器

図 4.5.6.3 及び図 4.5.6.4 による。

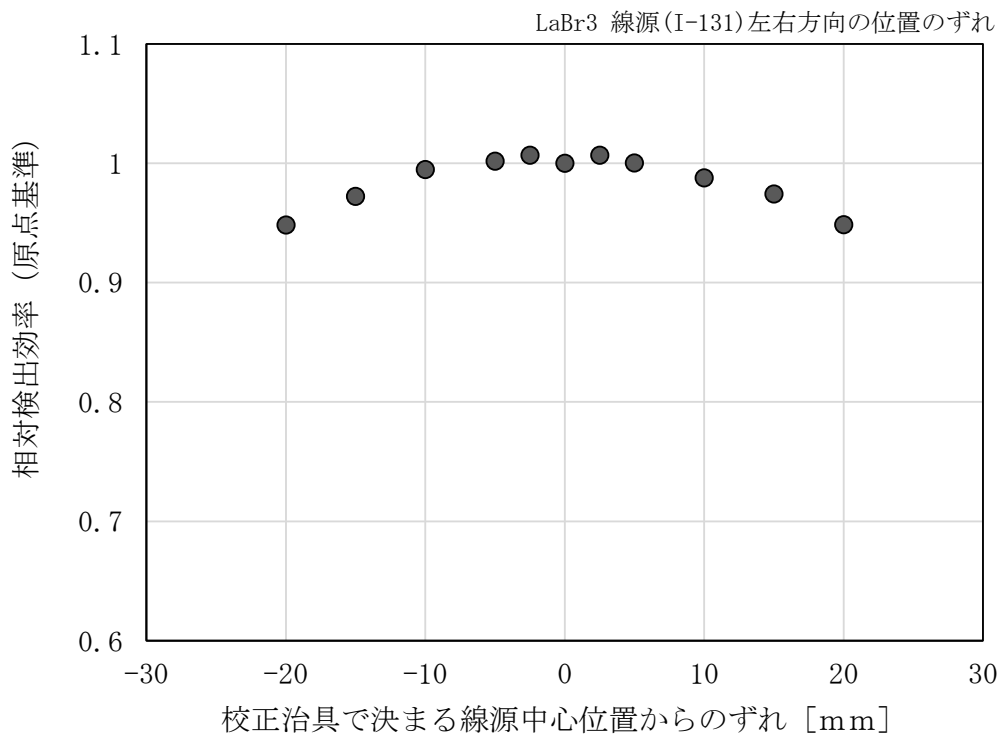


図 4.5.6.3 線源左右方向のずれに対する LaBr₃ 検出器の検出効率の変化

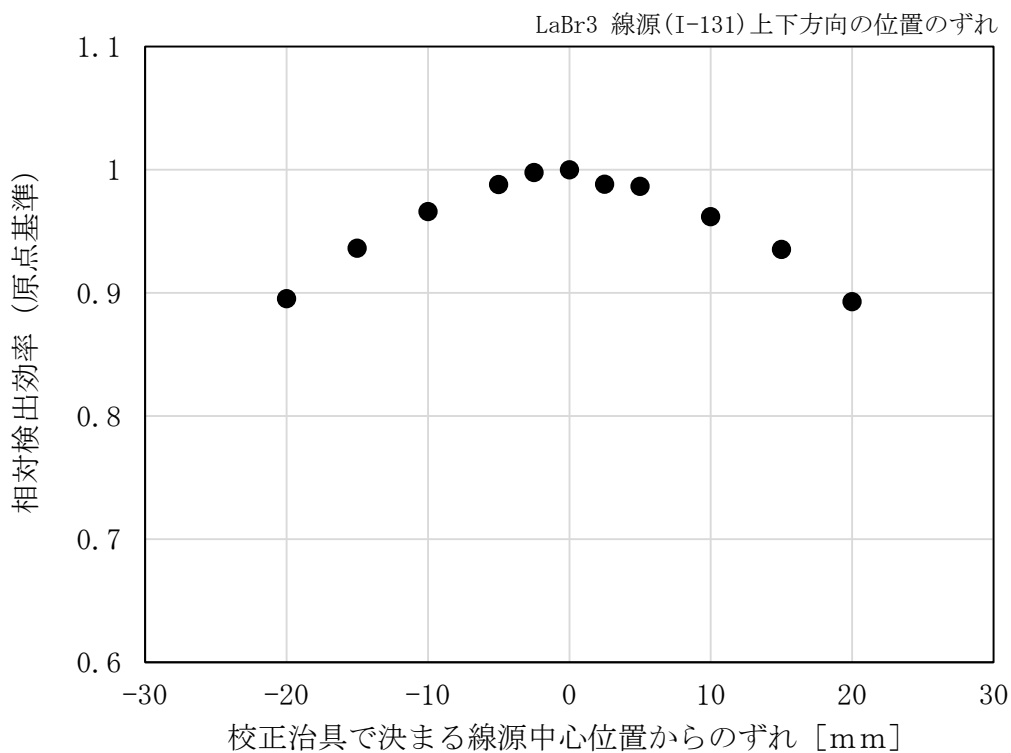


図 4.5.6.4 線源上下方向のずれに対する LaBr₃ 検出器の検出効率の変化

(2-3) QST 10ch 検出器

図 4.5.6.5~図 4.5.6.8 による。

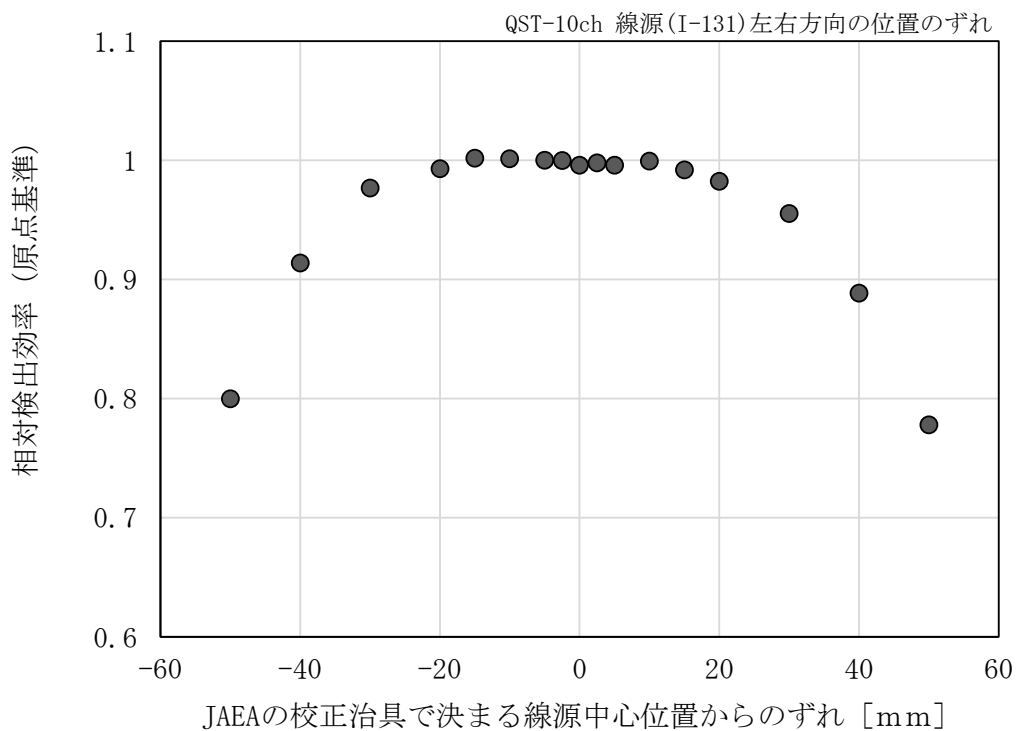


図 4.5.6.5 線源左右方向のずれに対する QST-10ch 検出器の検出効率の変化

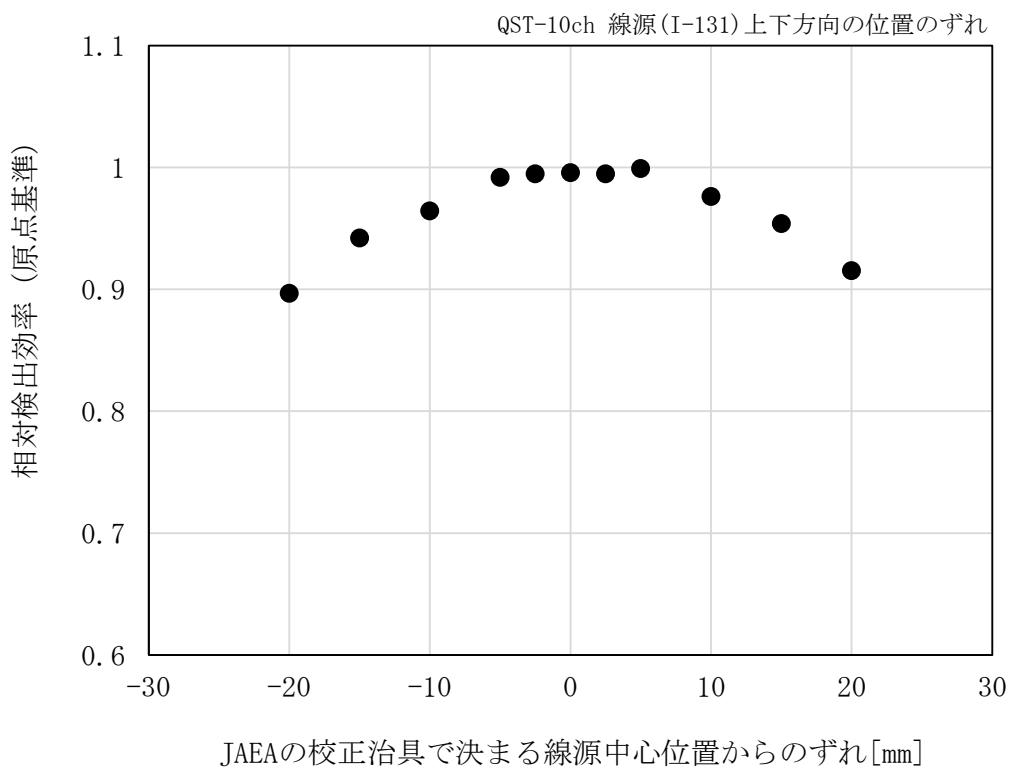


図 4.5.6.6 線源上下方向のずれに対する QST-10ch 検出器の検出効率の変化

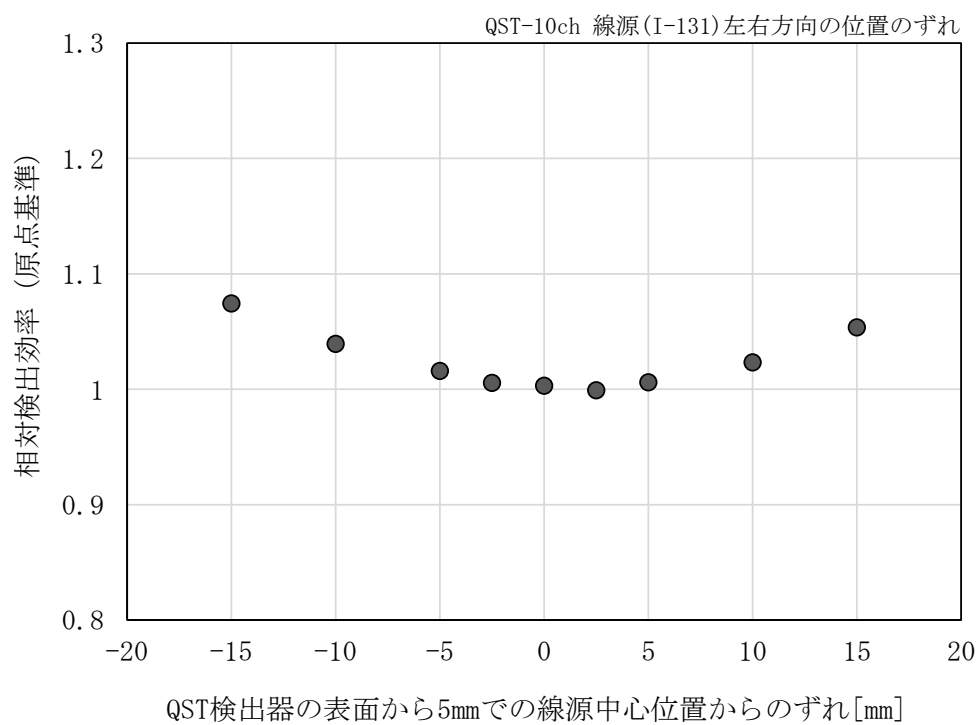


図 4.5.6.7 線源左右方向のずれに対する QST-10ch 検出器の検出効率の変化 (検出器前面と線源容器までの隙間が 5mm の場合)

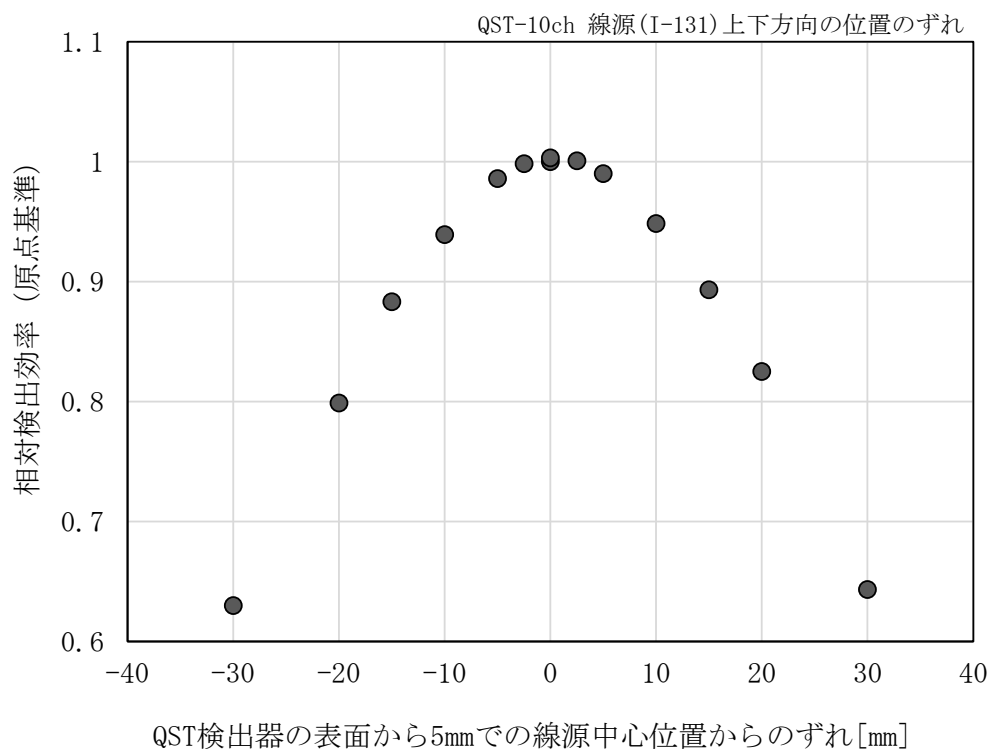


図 4.5.6.8 線源上下方向のずれに対する QST-10ch 検出器の検出効率の変化
(検出器前面と線源容器までの隙間が 5mm の場合)

(3) 考察

検出器前面と線源中心の間隔を 49mm とした場合は、CZT、LaBr₃、QST-10ch の順に、線源位置のばらつきに対する機器効率のロバスト性が高くなる。QST について、検出器前面と線源容器壁の間隔を 5mm になるまで近付けた場合は、上下方向の位置のずれに対する機器効率の変化は大きくなるが、左右方向は、中心位置よりずれた方が機器効率が高くなるという特徴的な変化を見せている。

4. 5. 7 線源の位置のずれが測定に与える影響について⁽⁹⁾

本試験で検出効率や計数効率を求める際の測定の不確かさの要因としては、線源の放射能の不確かさが相対標準不確かさで 0.8%~0.9%、校正時の計数統計が標準不確かさで 0.2%~0.4%、ピーク面積算出の ROI 設定に関わる不確かさが標準不確かさで 1%~2%、¹³¹I の 365keV ピークの光子放出割合は国際度量衡局が核データとして採用している DDEP⁽⁷⁾では 0.812 でその相対標準不確かさは 0.6%、今回評価していないが、溶液量に起因する不確かさも 0.1%程度影響する。これ以外に、線源の位置のずれに基づく不確かさ要因が存在する。最大となるのは線源~検出器間隔の設定のずれに基づく不確かさで 2%~4%になる。これらを合成することで不確かさを評価できる。上記の二乗和の平方根をとって得られる合成標準不確かさは 2.5%~7.5%と見積もられた。

5. 総評及び改善提案

本事業による試験を実施した経験に基づき、装置に対する改善項目を抽出した。

(1) 総評

- ・測定装置の基本性能を一通り試験した。試験した範囲では甲状腺モニタとして問題となることはなかった。
- ・CZT、LaBr₃、QSTは想定する使用環境が異なり、性能あるいは使いやすさの優劣を試験によって判断するのは困難である。
- ・JIS Z 4343: 2015に規定された試験のうち、相対基準誤差、エネルギー分解能、電磁両立性、外部磁界特性、耐温度衝撃、耐振動、耐衝撃は実施していない。これらは製品として完成した際に評価が必要になる。
- ・CZT、LaBr₃、QSTいずれも線源の左右方向への位置変化に対する検出効率の変動は小さかった。線源位置のずれに対してレスポンスが変化しにくい検出器構造となっており、設計上の配慮の効果があったと考えられる。

(2) 懸念事項

- ・CZTは湿度試験の際中に、一度だけ一時的に検出効率が半分になった。原因究明と改善が必要である。

2. 改善提案

- ・繰り返し使用に耐える構造への改善が必要（コネクタ抜け、検出器固定、突起物、ケーブルむき出し等）。
- ・防滴・防水構造への配慮が必要である。
- ・身体の位置決めが適正になっていることが容易に分かる構造であることが望ましい。
- ・正味計数の読み取りに関わる不確かさが大きい。ROI設定の最適化が容易であることが望ましい。
- ・試験作業中に制御用計算機による設定が上手く出来ることがあった。また、測定結果の取り込みに失敗することがあった。ソフトウェア見直しの際に併せて修正するのが望ましい。
- ・CZT及びLaBr₃は測定を中断すると再開できない、QSTは測定のプリセット時間を変えて再開可能。測定を間違わない範囲で使いやすい方が望ましい。
- ・LaBr₃検出器は伝送系が弱く、日常的に動作が不安定になることが多く、終夜運転が出来なかった。また、10m程度のUSBケーブルを用いると動作しなかった。現場での利用を考慮した改善が必要である。
- ・LaBr₃検出器は発光量の温度依存性が、そのまま計数変化になっている。ROIを変えながらの測定を現場で徹底するのは無理なので、装置側で対応できるよう工夫して欲しい。温度センサを付けての補正には効果があるはずである。

6. まとめ

平成 29～31 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）」において JAEA 及び QST で開発された新型測定器について、その仕様を比較し、JIS Z 4343: 2015「体内放射能測定装置— γ 線放出核種（エネルギー100keV 以上 3000keV 以下）」に基づき、その趣旨を酌んだ方法で試験を行い、製品としての性能・特性を評価した。さらに実際の測定の現場で遭遇する、高バックグラウンド環境や、被測定者の体格、年齢等の違いによる測定性能の変化について追加の試験を行い評価した。今後、本結果を参考に、改良を加え、さらに使いやすく信頼性の高い測定器として頂けるよう期待する。

7. 令和 2 年度事業の実績

○甲状腺内部被ばくの線量評価における 新型測定器の実効性評価事業 打ち合わせ

日時：令和 2 年 10 月 14 日

場所：原子力規制庁

議題：試験項目及び試験内容確認、並びにスケジュール確認

○甲状腺内部被ばくの線量評価における 新型測定器の実効性評価事業 中間報告

日時：令和 3 年 2 月 26 日

場所：オンライン

議題：試験結果の中間報告及びスケジュール確認

○甲状腺内部被ばくの線量評価における 新型測定器の実効性評価事業 結果報告

日時：令和 3 年 3 月 22 日

場所：オンライン

議題：原子力科学研究所殿開発品の試験結果の情報共有

○甲状腺内部被ばくの線量評価における 新型測定器の実効性評価事業 結果報告

日時：令和 3 年 3 月 23 日

場所：オンライン

議題：量子科学技術研究開発機構殿開発品の試験結果の情報共有

参考文献

- 1) 平成 30 年度放射線安全規制研究戦略推進事業費（事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究）事業成果報告書、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構安全研究センター、平成 31 年 3 月 29 日。
平成 29 年度放射線安全規制研究戦略推進事業費（事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究）事業成果報告書、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構安全研究センター、平成 30 年 3 月 30 日。
- 2) 平成 31 年度放射線安全規制研究戦略推進事業（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。
平成 30 年度放射線安全規制研究戦略推進事業（原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立 平成 30 年度 事業成果報告書、平成 31 年 3 月、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構。
- 3) Kazuaki Yajima, Eunjoo Kim, Kotaro Tani and Osamu Kurihara, 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 133(2020)106272.
- 4) シンチレーション検出器用信号処理装置 Model: 80404 取扱説明書 rev.0.3 2020/1/21、クリアパルス株式会社
- 5) μ SPEC1500 カタログ、Ritec 社ホームページ、<http://www.ritec.lv/html/uspec.html>、2021 年 3 月確認。
- 6) JIS Z 4343: 2015、体内放射能測定装置－ γ 線放出核種（エネルギー100 keV 以上 3000 keV 以下）、日本産業標準
- 7) DDEP Recommended data、http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm、(2021 年 3 月 29 日確認)
- 8) Tiffany Beaumont, Pedro Caldeira Ideias, Maeva Rimlinger David Broggio and Didier Franck, Development and test of sets of 3D printed age-specific thyroid phantoms for ^{131}I measurements, Phys. Med. Bio. 62(2017)4673-4693.
- 9) Akira Yunoki, Uncertainty of measurement in the response test of a thyroid monitor, Radiation Protection Dosimetry (2019), Vol. 184, No.3-4, pp. 531-534.

資料 JIS Z 4343: 2015 試験項目の概要について

◆ 直線性試験 (7.2.3 項)

ファントム又は試験用線源を測定したときの正味の指示値と校正証明書等から求めた線源放射能との差の、線源放射能に対する比の百分率 (%) で与えられる相対指示誤差 I 、及び任意の 2 測定点の相対指示誤差 I の差がそれぞれ許容範囲内にある事を確認する試験。

◆ 測定エネルギー範囲試験 (7.2.5 項)

100keV 及び 3000keV に相当する γ 線の全エネルギー吸収ピークの中心チャネルの差が、測定器の表示フルスケールの 80~90% になるように調整できることを確認する試験。

◆ 積分非直線性 (7.2.6 項)

光子エネルギー $E_{\gamma i}$ とそれに相当する読み取りピーク中心チャネル n_0 の関係を直線近似によって求め、この直線から求められる各 n_0 に対応するエネルギーと $E_{\gamma i}$ との差 $\Delta E_{\gamma i}$ を求めて、その最大値を $\Delta E_{\gamma i \max}$ とする。これを測定エネルギー範囲の上限で除した値が予め定められた許容範囲を超えない事を確認する試験。

◆ 検出効率試験 (7.2.8 項)

線源からの放射線を測定器に照射して得られる計数率から、線源なしでの計数率を差し引いて得られる正味計数率を、線源の放射能で除す事で検出効率を求める試験。

◆ バックグラウンド試験 (7.2.10 項)

バックグラウンドは実際の測定においては被験者がいない状態の事、試験においては試験用線源から放射線を照射しない状態の事で、その時に得られる計数率を求める試験がバックグラウンド試験。

◆ 決定閾値試験 (7.2.11 項)

決定閾値はバックグラウンドとの差が有意であるとみなせる最小の指示値のこと。試験で求めたバックグラウンド及び検出効率、並びに試験の際の測定時間及び、バックグラウンド測定時間から計算で求める。

◆ 最大計数率試験 (7.2.12 項)

不感時間補正によって計数率が 1.1 倍になるよう補正される計数率を求める試験。

◆ 安定性試験 (7.2.13 項)

^{57}Co 又は ^{88}Y からの放射線を装置に照射し、その計数を 1 時間ごとに 24 時間以上にわたり測定して、ばらつきの標準偏差を求める。 ^{57}Co 又は ^{88}Y のばらつきの大きい方の標準偏差をエネルギーに換算して 1836 keV で除した値を安定性の指標として求める試験。

◆ 温度特性試験 (7.2.19 項)

20°C での積分非直線性に対して、5°C 及び 40°C での積分非直線性の変化を求める試験、及び 5°C 及び 40°C において 16 時間にわたって動作が正しく行われることを確認する試験。

◆ 湿度特性試験 (7.2.20 項)

35°C、40%RH での積分非直線性に対して、35°C、85%RH の積分非直線性の変化を求める試験。