

# 開発した詳細測定器の第三者評価について

## 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

国立研究開発法人  
産業技術総合研究所  
柚木 彰

# 事業概要

第三者評価として下記項目を実施した。併せて改善案を検討した。

| 試験種別                                     | 試験番号      | 評価項目               |   |
|--|-----------|--------------------|---|
| JIS試験方法に基づく基本性能試験                        | 7.2.3     | 直線性                | 様々な数量のBa-133線源からのガンマ線に対するピーク計数効率の変化を評価する。             |
|  | 7.2.5     | 測定エネルギー範囲          | 測定器の表示フルスケールの80~90 %に相当するガンマ線エネルギー範囲を求める。             |
|  | 7.2.6     | 積分非直線性             | ガンマ線エネルギーとそれに相当する読み取りピーク中心チャンネルの直線性を評価する。             |
|  | 7.2.9     | 検出効率               | 線源からのガンマ線を照射し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。         |
|  | 7.2.10    | バックグラウンド           | 試験用線源から放射線を照射しない状態で得られる計数率を求める。                       |
|  | 7.2.11    | 決定閾値               | バックグラウンドとの差が有意とみなせる最小の指示値(計数値、検出効率及び測定時間より求める)。       |
|  | 7.2.12    | 最大計数率              | 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。                |
|  | 7.2.13    | 安定性                | Co-57及びY-88からのガンマ線を照射し、そのピークの変動を24時間以上にわたり評価する。       |
|  | 7.2.19/20 | 温度特性試験・湿度特性試験      | 7.2.6に記した積分非直線性を温度環境・湿度環境を変えて評価する。                    |
| 特性試験                                     | A-1       | 計数効率のエネルギー特性       | Co-57、I-131、Cs-137、Mn-54からのガンマ線光電ピークについてピーク計数効率を求める。  |
|  | A-2       | 他の放射線の影響           | Sr-90/Y-90からのベータ線を照射し、ベータ線に対する応答を評価する。                |
|  | A-3       | 他の放射性核種の影響         | Cs-137からのガンマ線を照射し、I-131の365 keVピークに対するピーク計数効率の変化を求める。 |
|  | A-4       | 核種同定能力             | I-131からのガンマ線を照射し、核種同定に必要な積算計数値を試験する。                  |
| 外的要因依存性試験(原子力災害を想定した環境及び被検者の年齢や体格の違いの影響) | B-1       | 高バックグラウンドでのピーク計数効率 | バックグラウンド放射線の線量を20 μSv/hまで高とした場合のピーク計数効率の変化を評価する。      |
|  | B-2       | 高バックグラウンドでの検出限界    | バックグラウンド放射線の線量を20 μSv/hまで高とした場合の検出限界を評価する。            |
|  | B-3       | 年齢・体格の違いと効率の関係     | 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)を用いてピーク計数効率を求める。       |
|  | B-4       | 検出器と線源の間隔と効率の関係    | 検出器と甲状腺模擬線源の間隔を変えてピーク計数効率の変化を評価する。                    |
|  | B-5       | 2本の線源の間隔と効率の関係     | 甲状腺を模擬した2本の円筒型線源の間隔を変えて機器効率の変化を評価する。                  |
|  | B-6       | 線源の左右・上下へのずれと効率の関係 | 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機器効率の変化を評価する。       |
|  |           | 改善提案               | 製品開発に向けての課題点を抽出し、改善案を提案する。                            |

# 試験対象及び試験環境

## 1. 試験対象

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）で開発された以下の測定器

○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 (LaBr<sub>3</sub>(Ce))、(以下LaBr<sub>3</sub>)
- ・ 作業員用甲状腺モニタシステム (CdZnTe)、(以下CZT)

○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)、(以下QST-10ch)
  - ・ 甲状腺モニタ (子供用)、(以下QST-8ch)
  - ・ 甲状腺モニタ (乳幼児用)、(以下QST-4ch)
- 検出素子は全てGAGG

## 2. 試験環境

試験は国立研究開発法人産業技術総合研究所において令和2年度に実施した。



LaBr<sub>3</sub>、CZTを試験治具に取り付けた様子



QSTを試験治具に取り付けた様子



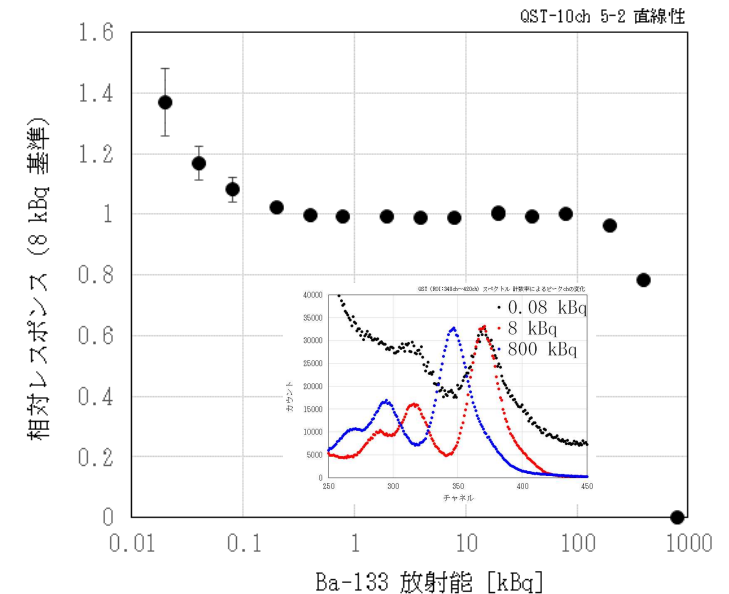
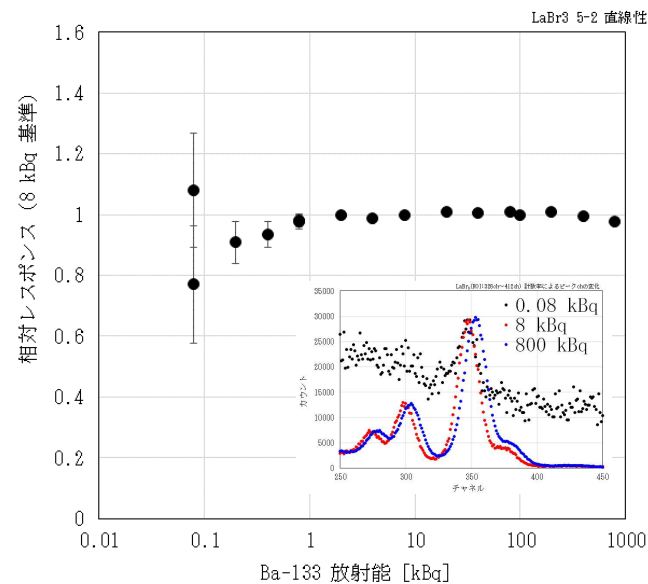
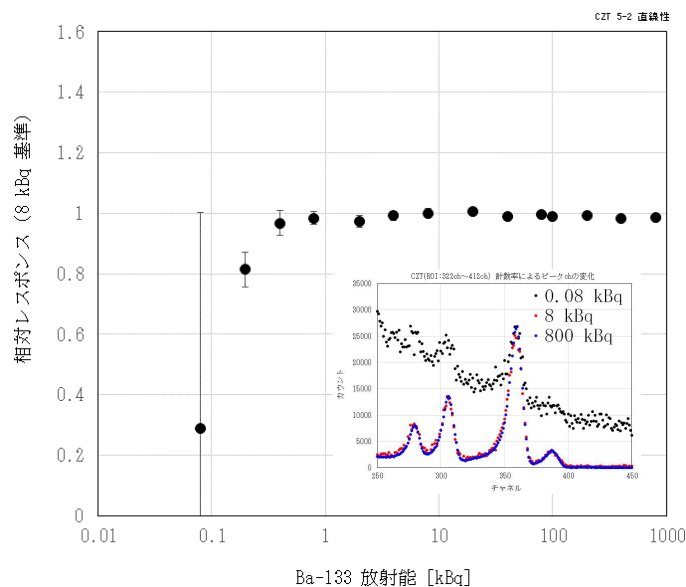
環境試験装置（エスペックLHU-114）に測定器（LaBr<sub>3</sub>遮蔽なし）を設置した様子



線源及びファントム

## 直線性試験（JIS Z 4343 7.2.3項、成果報告書4.3.1）

20 mlバイアル容器に数量の異なる（0.02 kBq～800 kBq）Ba-133溶液を充填し、検出器表面～線源容器中心が49 mmとなる場所に置いて線源からのガンマ線を測定する。そして、ピーク領域の正味計数率を放射能で除した検出効率[s<sup>-1</sup>/Bq]を求め、Ba-133溶液の放射能との関係を記録する。その結果を下図に示す。プロット上下に計数統計による測定の標準不確かさを付している。



- ・ 高計数率でのレスポンス減少はスペクトルピークの変動による。特にQST検出器。
- ・ 低計数率でのレスポンス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。

## 決定しきい試験（JIS Z 4343 7.2.11項、成果報告書4.3.6）

バックグラウンドはファントム（JAEA開発）を検出器前面に置いて測定した。検出効率 $\epsilon$ はCZT及びLaBr<sub>3</sub>についてはIRSN製ファントムを測定用治具に密着、QSTについては検出器に密着して評価した。

決定閾値は右の式による。試験環境の線量は0.06~0.07  $\mu$ Sv/h。

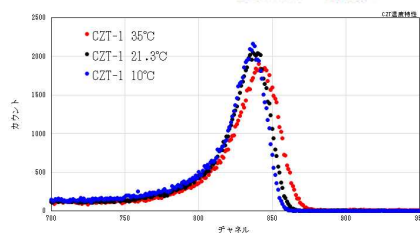
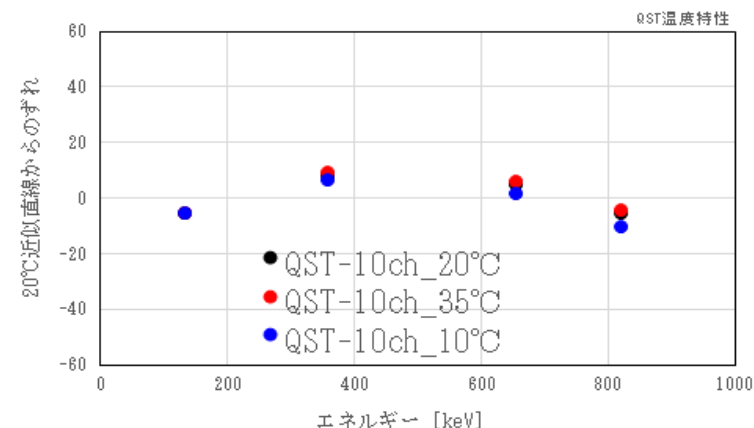
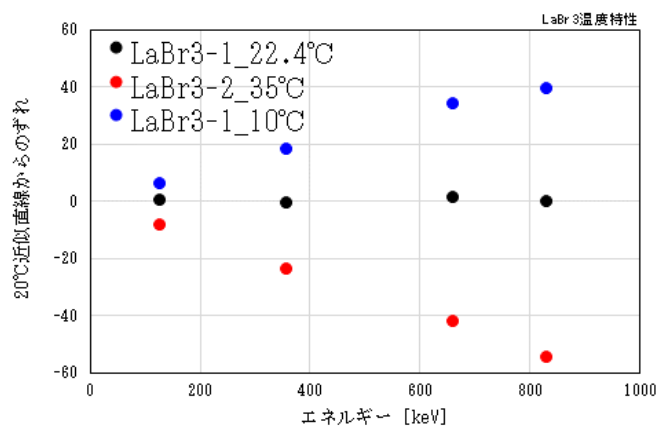
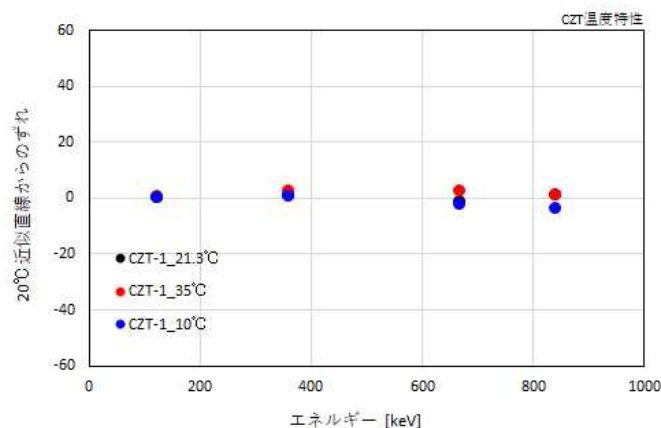
$$R_{DT} = \frac{1}{2t_0} k_{1-\alpha}^2 \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4R_b t_0}{k_{1-\alpha}^2} \left( 1 + \frac{t_0}{t_b} \right)} \right]$$

| 検出器                                      | CZT              | LaBr <sub>3</sub> | LaBr <sub>3</sub> | LaBr <sub>3</sub> | 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 <sup>-1</sup> ]                  | 0.18             | 1.36              | 1.39              | 1.42              | 1.32             | 0.85             | 0.49             |
| t <sub>0</sub> [s]                       | 180              | 180               | 180               | 180               | 180              | 180              | 180              |
| t <sub>b</sub> [s]                       | 600              | 600               | 600               | 600               | 600              | 600              | 600              |
| k <sub>1-<math>\alpha</math></sub>       | 1.64             | 1.64              | 1.64              | 1.64              | 1.64             | 1.64             | 1.64             |
| 決定閾値(R <sub>DT</sub> )[s <sup>-1</sup> ] | 0.068            | 0.170             | 0.172             | 0.174             | 0.168            | 0.136            | 0.106            |
| 検出効率[s <sup>-1</sup> /Bq]                | 0.0012           | 0.0067            | 0.0079            | 0.0091            | 0.0104           | 0.0120           | 0.0083           |
| 決定閾値(A <sub>DT</sub> )[Bq]               | 57 <del>69</del> | 25 <del>31</del>  | 22 <del>27</del>  | 19 <del>23</del>  | 16 <del>20</del> | 11 <del>14</del> | 13 <del>16</del> |

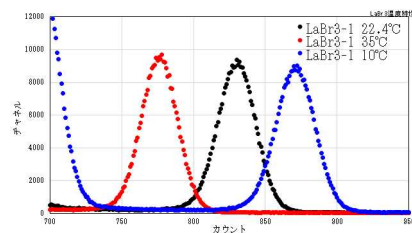
- ・ 検出効率はIRSN製ファントム（成人用、10歳用、5歳用）にI-131溶液を充填して評価した。
- ・ CZT及びLaBr<sub>3</sub>が測定治具を用いるのに対しQSTはファントムを検出器前面に密着するので検出効率は有利。
- ・ 決定閾値に相当する放射能の定量測定は難しい（4頁 直線性参照）。

## 温度特性試験 (JIS Z 4343 7.2.19項、成果報告書4.3.9)

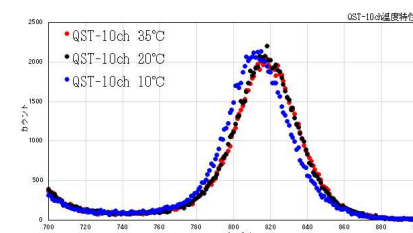
検出器を35°C及び10°Cの環境中で4時間以上動作させ、Co-57(122 keV)、Ba-133(356 keV)、Cs-137(662 keV)及びMn-54(835 keV)からのガンマ線に対するピークチャネルの変動を、20°Cでのエネルギー対ピークチャネル近似直線からのずれ(～エネルギー)として評価する。結果は下図の通り。LaBr<sub>3</sub>のみROIをずらして計数した。



Mn-54  
ピーク計数の変化は  
10°C : -4%  
35°C : +2%



Mn-54  
ピーク計数の変化は  
10°C : +0.3%  
35°C : -1.2%

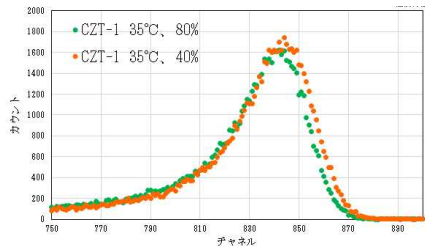
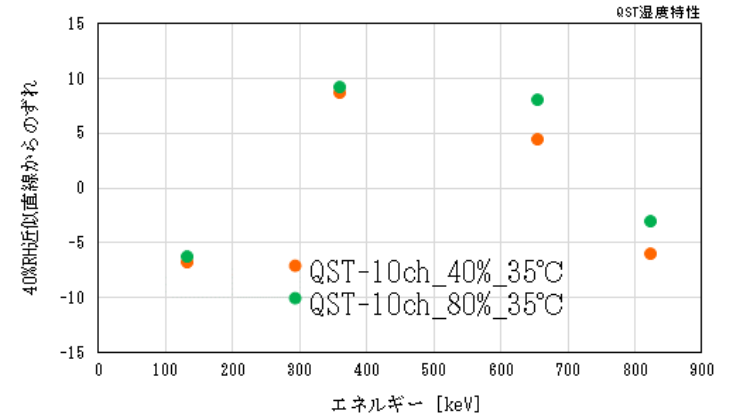
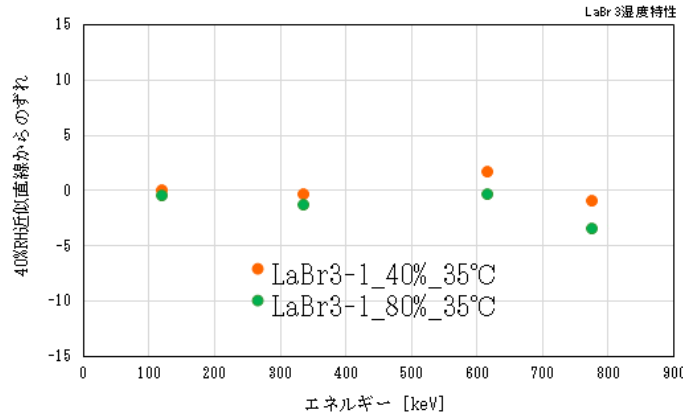
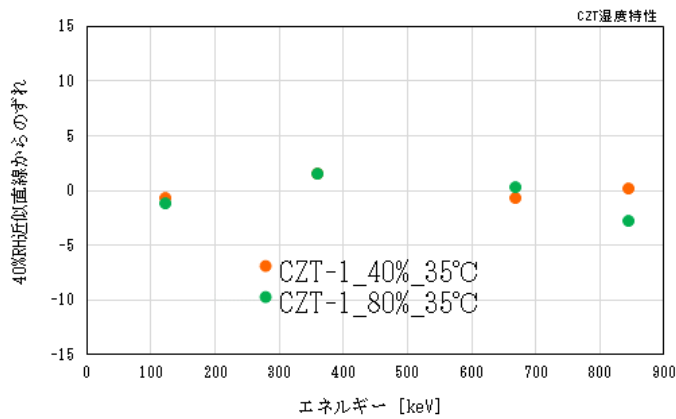


Mn-54  
ピーク計数の変化は  
10°C : +0.3%  
35°C : -1.7%

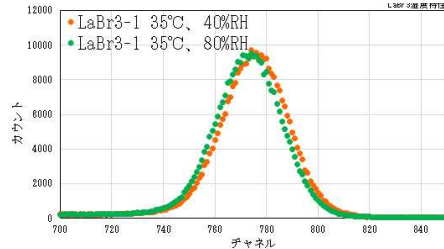
- ・ CZTは半導体検出器のため温度特性は良好。
- ・ LaBr<sub>3</sub>はシンチレーション検出器のため温度により発光量に変化し、ピーク変動の原因となっている。
- ・ QSTは温度補正機能が備えられており温度変化は抑えられている。

# 湿度特性試験 (JIS Z 4343 7.2.20項、成果報告書4.3.10)

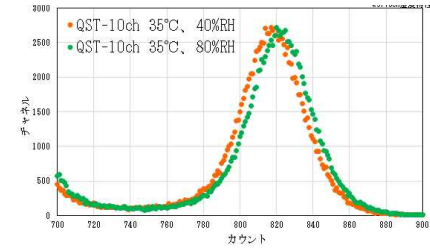
検出器を35°C/80%RHの環境中で48時間以上動作させ、Co-57(122 keV)、Ba-133(356 keV)、Cs-137(662 keV) 及びMn-54(835 keV)からのガンマ線に対するピークチャネルの変動を、35°C/40%RHでのエネルギー対ピークチャネル近似直線からのずれ(～エネルギー)として評価する。結果は下図の通り。



Mn-54  
ピーク計数  
の変化は  
80%RH:-7%



Mn-54  
ピーク計数  
の変化は  
80%RH:-0.4%

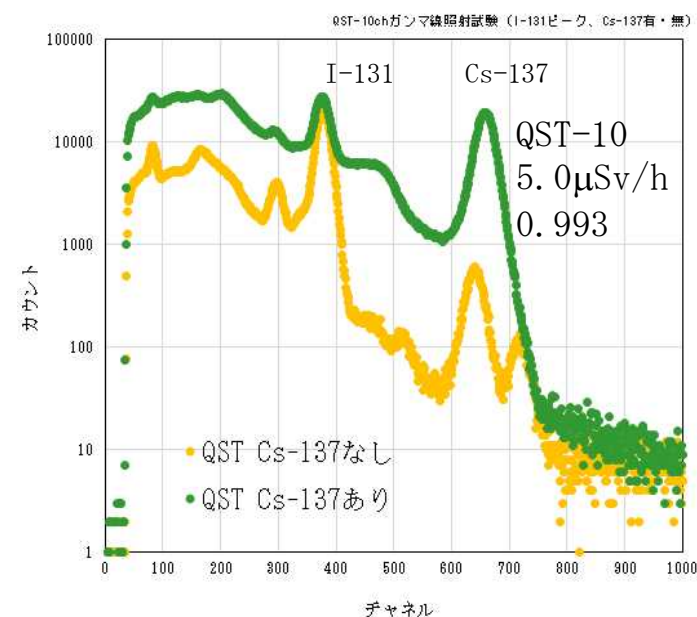
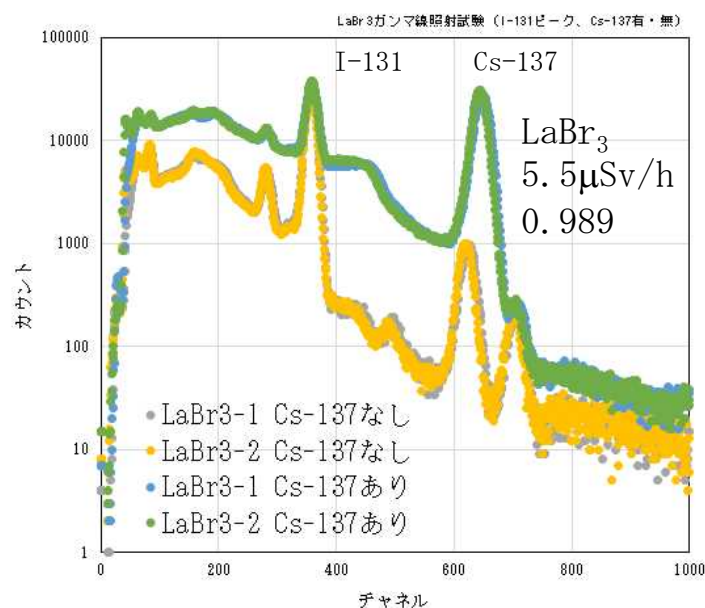
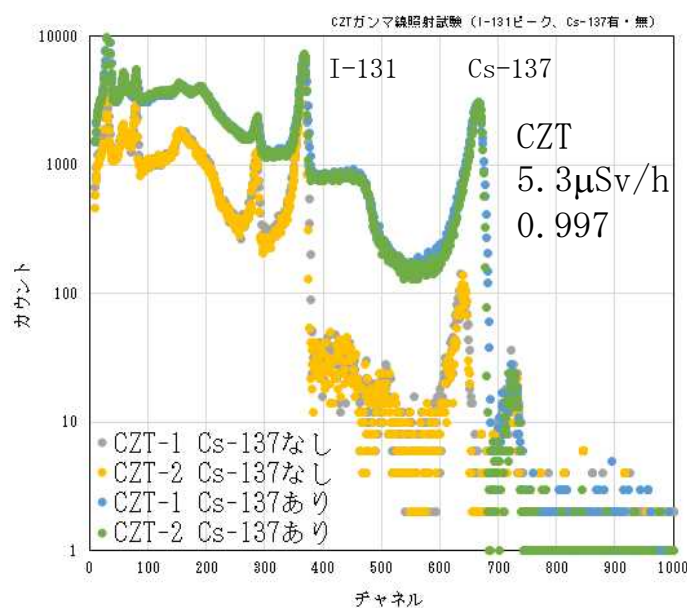


Mn-54  
ピーク計数  
の変化は  
80%RH:-0.9%

- ・ CZTでは湿度の影響の恐れがある。
- ・ LaBr<sub>3</sub>及びQSTでは湿度の影響は現れていない。

## 他の光子放出核種の影響 (A-3項、成果報告書4.4.3)

I-131ピークと同程度の計数となるようにCs-137からのガンマ線を検出器正面から照射し、照射なしのI-131ピークでの検出効率に対する、照射ありでの検出効率の比の値を求める。その結果を下図に示す。検出効率の比はCZT: 0.997、LaBr<sub>3</sub>: 0.989、QST: 0.993となった。



- ・ 本試験程度の照射ならばI-131に対する検出効率の変化は1%程度である。
- ・ ピークが埋もれる程の高線量 (正面照射で18  $\mu$ Sv/h) になると検出効率は14%以上変化する。
- ・ CZT及びLaBr<sub>3</sub>は正面以外は鉛遮蔽があるため記載の線量は設置場所の場の線量とはならない。



# 総評及び改善提案

## 1. 総評

### (1) 試験結果

- ・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、LaBr<sub>3</sub>、QSTは想定する使用環境が異なり、優劣を試験によって判断するのは困難。
- ・JIS Z 4343 に記載された試験のうち、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、LaBr<sub>3</sub>、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い。

### (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

- ・LaBr<sub>3</sub>は信号伝送系が不安定で、しばしば測定不能となった。改善要である。
- ・LaBr<sub>3</sub>検出器はシンチレーション発光量の温度変化が原因となり計数が変化している。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、温度補正等、装置側で対応できることが望ましい。
- ・繰り返し使用に耐える構造にして欲しい（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。
- ・身体的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。
- ・CZT及びLaBr<sub>3</sub>は測定を中断すると再開できない、QSTはプリセットを変えて再開も可能。測定を間違わない範囲で使いやすい方が望ましい。