

平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進
事業費（環境モニタリング線量計の現地校
正に関する研究）事業

成果報告書

平成31 年3 月

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

内容

1	本研究の目的.....	3
1-1	はじめに	3
1-2	研究の目的.....	3
2	高線量地域（福島県内）に設置されている環境モニタリング線量計の設置状況について.....	5
2-1	MPの仕様について	5
2-2	MPの設置状況の確認.....	10
2-3	高線量地域の実証実験のためのMPの選定.....	18
3	バックグラウンド低減のための遮へい効果の検証.....	23
3-1	高バックグラウンド地域に設置されているモニタリングポストの選定.....	23
3-2	サーベイメータによるモニタリングポスト周辺の線量率分布.....	23
3-3	スペクトル測定	26
3-4	遮へいの効果について	27
4	コリメート照射装置及びモニタリングポスト遮へい体の製作.....	31
4-1	照射装置及び遮へい体の製作	31

4-2 照射装置の線量率の決定.....	32
5 従来手法との比較.....	34
5-1 日本分析センターによる現地校正結果.....	34
5-2 本研究による現地校正手法.....	36
5-3 校正結果の比較.....	37
6 まとめ.....	39

1 本研究の目的

1-1 はじめに

現在、我が国では原子力施設を中心に環境の放射線量を連続的に測定するためのモニタリングポストに代表される放射線計測機器（以下「連続モニタ」という。）が多数設置・運用されている。連続モニタは、検出器及び演算処理部が建屋等に強固に固定されていることが多く、装置を取り外して校正施設等で校正することが困難である。また、連続測定が義務づけられている場合もあることから、欠測期間を最小限にできる現地校正が行われている。しかしながら、東京電力福島第一原子力発電所事故以降、福島県内を中心に多くの連続モニタが配置されているが、一部の地域では、校正に用いる照射線量に対して無視できないレベルのバックグラウンド線量が存在し、現地校正を容易に行うことができない状況にある。このため高バックグラウンド線量下における現地校正技術の開発が喫緊の課題となっている。本研究では、既存の校正手法では不得意な高バックグラウンド線量下においても精度よく校正を行うため、散乱線を低減させるためのコリメータ及び簡易遮へいを組み合わせた現地校正手法を確立し、高バックグラウンド線量下に設置している連続モニタ測定値の品質を適切に維持するための手法を構築することを目的とする。さらに、本校正手法は、コリメータを用いて散乱線を抑制できるため、現行広く行われている既存の校正手法では見積もることができない校正における不確かさを評価できる可能性がある。このため、校正における不確かさの評価手法及びその妥当性についても合わせて検討する。

1-2 研究の目的

現在、我が国では原子力施設を中心に環境の放射線量を連続的に測定するためのモニタリングポストに代表される連続モニタが多数設置・運用されている。

我が国における連続モニタの測定値の品質を保証するための取り組みについては、原子力規制委員会が開催している「環境放射線モニタリング技術検討チーム」の第5回会合において議論され、「平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）」の中に取りまとめられている。当該資料では、「モニタリングポスト等による空間放射線量率の測定に関しては、測定器について定期的な校正又は確認校正により健全性を確認する必要がある。」とされ、連続モニタの測定値の品質の保証には、定期的な校正が必須であることが明記されている。

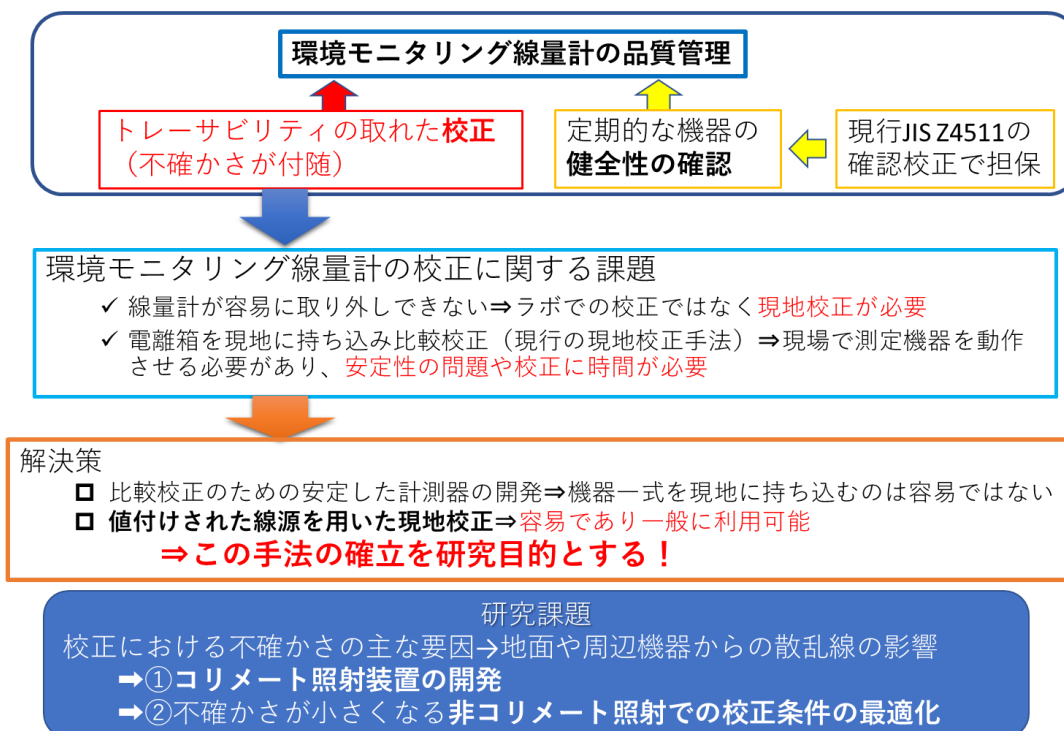
我が国における連続モニタは、検出器及び演算処理部が建屋等に強固に固定されていることが多く、装置を取り外して校正施設等で校正することが困難である。また、連続測定が義務づけられている場合もあることから、欠測期間を最小限にできる現地校正が行われている。

一方、東京電力福島第一原子力発電所事故以降、福島県内を中心に多くの連続モニタが配置されているが、一部の地域では、校正に用いる照射線量に対して無視できないレベルのバックグラウンド線量が存在し、現地校正を容易に行うことができない状況にある。しかしながら、この課題を解決するための系統的な研究はなされていないのが現状である。このため高バックグラウンド線量下における現地校正技術の開発が喫緊の課題となっている。

本研究では、既存の校正手法では不得意な高バックグラウンド線量下においても精度よく校正を行うため、散乱線を低減させるためのコリメーター及び簡易遮へいを組み合わせた現地校正手法を確立することを目的とする。さらに本校正手法は、コリメート照射による校正となっており、モニタリングポストの周辺機器からの散乱線を無視できる程度に低減することが可能である。線量率が付与された線源を用いる既存の校正手法では、周辺機器からの散乱線の影響があり、またこれらの影響の度合いも周辺機器の配置に大きく依存してしまう。このため、従来手法では校正の不確かさ評価が非常に困難であるが、本手法は周辺機器の配置に依存せず不確かさ評価が可能である。このため、校正における不確かさの評価手法及びその妥当性についても合わせて検討する。

H30 年度では、高バックグラウンド線量下において現地校正できるよう、既存の照射装置を改良し、下方向に向けたコリメート照射装置を開発した。本手法と基準電離箱による現地校正手法との比較を行い、その妥当性を確認した。

環境モニタリング線量計の品質管理に関する課題



環境モニタリング線量計の品質管理に関する課題点と本研究の位置づけ

2 高線量地域（福島県内）に設置されている環境モニタリング線量計の設置状況について

（本章は、平成 29 年度実施計画別添 1 の(3)現在利用されているモニタリング線量計の調査に対する報告内容である）

福島県内には環境モニタリング線量計（以下「MP」という。）が可搬型、固定型及びリアルタイム型が約 4000 基設置されている。これらの MP について、機器仕様及び設置状況の整理を行った。

2-1 MP の仕様について

福島県内には約 4000 基の MP が設置されており、内訳は次のとおりである。

- ・可搬型モニタリングポスト
- ・固定型モニタリングポスト
- ・リアルタイム線量測定システム

これらの MP について、主な仕様を以下に示す。

①可搬型モニタリングポスト

可搬型モニタリングポストは、富士電機製が 2 種類、日立製作所製が 1 種類、福島県内に設置されている。富士電機製の可搬型モニタリングポストは、検出器に半導体検出器のみが使われている型（以下、「富士電機製 半導体型」という。）、NaI (TI) シンチレーション式及び半導体検出器が使われている型（以下、「富士電機製 NaI/半導体型」という。）が設置されている。また、日立製作所製は、検出器に NaI (TI) シンチレーション式及び半導体検出器が使われている型（以下、「日立製作所製 NaI/半導体型」という。）が設置されている。可搬型モニタリングポストの仕様の一例を表 1～表 3 に示す。

表1 可搬型モニタリングポスト（富士電機製 半導体型）の仕様の一例

項目	性能等
検出器	シリコン半導体検出器
測定線種	γ 線
測定範囲	$10^2 \sim 10^8$ nGy/h
線量率測定精度	$\pm 20\%$ (0.1 μ Gy/h 以上, ^{137}Cs 基準)
エネルギー範囲	60 keV \sim 6 MeV
エネルギー特性	$\pm 30\%$, 60 keV \sim 3 MeV (^{137}Cs 基準)
方向特性	$\pm 20\%$, ($0 \sim \pm 90^\circ$)
表示器	12.1 インチ TFT カラーLCD
点検校正時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して横（水平）方向
データ記録	線量率 1 分値を 1 か月保存可能
本体外径	500(W) \times 300(D) \times 700(H)mm

【富士電機取扱説明書、Website 他】

表2 可搬型モニタリングポスト（富士電機製 NaI/半導体型）の仕様の一例

項目	性能等	
	NaI(Tl)シンチレーション式検出器 (低線量域)	半導体検出器 (高線量域)
測定線種	γ (X) 線	
測定範囲	BG ~100 mGy/h	
表示範囲	0.000 ~ 999.9 μGy/h 1.000 ~ 99.99mGy/h	
方向特性	方向特性 ±20%, (-90 ~+90° の範囲において、 ¹³⁷ Cs)	
エネルギー特性	許容範囲 (¹³⁷ Cs に対して)	
	60~100 keV 未満 : 0.5~1.25 100~400 keV 未満 : 0.9~1.2 400~1500 keV 以下 : 0.9~1.1	60~100 keV 未満 : 0.5~1.3 100~400 keV 未満 : 0.7~1.3 400~1500 keV 以下 : 0.7~1.3
使用温度・湿度範囲	-10~+40°C 100%RH (相対湿度) 以下 (結露なきこと)	
点検校正時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して上 (垂直) 方向	
電源	AC85~110V 及び太陽電池(最大 70W×2 個)、 二次電池(105Ah×2 個)、バックアップ用一次電池(22Ah×2 個)	
本体外径	約 400(W)×300(D)×700(H)mm	

【富士電機取扱説明書】

表3 可搬型モニタリングポスト（日立製作所製 NaI/半導体型）の仕様の一例

項目	性能等	
	検出器	NaI(Tl)シンチレーション式検出器 (低線量域)
計数方式	測定部：デジタルレートメータ方式、記録部：積算平均方式	
測定範囲	バックグラウンド～11 μ Gy/h	9 μ Gy/h～100mGy/h
エネルギー測定範囲	50 keV ～ 3 MeV	50 keV ～ ∞
時定数	100秒または10秒	
積算平均値	10分、2分または1分	
γ 線スペクトル測定	あり	
指示精度	±20%以内	
点検時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して上（垂直）方向	
使用温度・湿度範囲	-10°C～+40°C、90%以下（但し、結露しないこと）	

【提供：福島県】

②固定型モニタリングポスト

固定型モニタリングモニタリングポストの仕様の一例を表4に示す。

表4 固定型モニタリングポストの仕様の一例

項目	性能等	
	低線量率ポスト	高線量率ポスト
測定線種	γ線及びX線	
検出器	温度補償型 NaI(Tl)シンチレーション式検出器 (2インチφ×2インチ)	加圧型電離箱式検出器 (約14L)
測定範囲	バックグラウンド～10μGy/h	バックグラウンド～100mGy/h
測定エネルギー範囲	50keV～3MeV	50keV～∞
γ線スペクトル測定	あり(5MeV以上の計数を 5MeV相当のchに記録)	なし
検出部温度制御	加温・送風	
表示器	タッチパネル式6.5インチカラーTFT液晶	
表示項目	線量率、計数率、SCA線量率、 SCA計数率、スペクトル	線量率
指示精度	±1%±1digit	±2%±1digit
使用温度・湿度範囲	+5℃～+35℃、80%以下	
点検校正時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して上(垂直)方向	
検出器設置高さ	地面より1mまたは局舎上約1m	
メーカー名	株式会社日立製作所	

【提供：福島県】

③リアルタイム線量測定システム

リアルタイム線量測定システム（富士電機製）の仕様の一例を表5に示す。

表5 リアルタイム線量測定システム（富士電機製）の仕様の一例

項目	性能等
検出器	シリコン半導体検出器
測定線種	γ (X) 線
測定範囲	バックグラウンド～99.99 μ Sv/h
エネルギー依存性	60 keV ～ 1.25 MeV について $\pm 25\%$ (Cs-137 基準)
電源	AC85～110V 及び太陽電池（最大 50W）、 二次電池（105 Ah）
点検校正時の線源照射方向	検出器の軸方向に対して横（水平）方向
通信機能	携帯電話回線によるデータ送信が可能

【提供：福島県】

2-2 MP の設置状況の確認

福島県内には(1)のとおり、幾つかの MP が設置されている。MP の種類毎に設置状況を確認した。

①可搬型モニタリングポスト

可搬型モニタリングポストは、富士電機製の半導体型、NaI/半導体型及び日立製作所製の NaI/半導体型が約 600 基設置されている。それぞれの可搬型モニタリングポストの設置状況の一例を以下に示す。

a) 富士電機製 半導体型

富士電機製 半導体型の設置の様子を図 1～2 に示す。



図1 富士電機製 半導体型
(設置地点：葛尾村 柏原地区 (原子力規制庁所有))



図2 富士電機製 半導体型
(設置地点：双葉町 石熊公民館 (原子力規制庁所有))

富士電機製 半導体型の設置状況を表6に示す。

表 6 富士電機製 半導体型の設置状況

検出器	設置状況
半導体型	検出器中心が地上高 1m の高さになるように設置
	約 1m × 約 1m の鉄板の上に MP が設置
	MP の側面に衛星通信のアンテナ及び支柱が設置
	AC 電源が確保できない地域は、検出器上部付近にソーラーパネルが設置
	測定値表示は測定器本体に内蔵
	検出器の周囲にフェンスが取り付けられている地点、フェンスの無い地点がある
	検出器は半導体のみ、低線量率から高線量率まで対応
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して横（水平）方向
	検出器中心を表す印が外（断熱）カバーに記されている

b) 富士電機製 NaI/半導体型

富士電機製 NaI/半導体型の設置の様子を図 3~4 に示す。



図 3 富士電機製 NaI/半導体型（設置地点：浪江町 小丸多目的集会所（原子力規制庁所有）



図4 富士電機製 NaI/半導体型（設置地点：飯舘村 大倉体育館*（原子力規制庁所有）

*ここで示したMPは、一例として環境場に設置されているMPを示したものであり、高線量率地域に設置されているMPではない。

富士電機製 NaI/半導体型の設置状況を表7に示す。

表7 富士電機製 NaI/半導体型の設置状況

検出器	設置状況
NaI/ 半導体型	検出器中心が地上高1mの高さになるように設置
	約1m×約1mの鉄板の上にMPが設置
	衛星通信を利用している地点では、MPの側面に衛星通信のアンテナ及び支柱が設置
	AC電源が確保できない地域は、検出器上部付近にソーラーパネルが設置
	検出器上部付近に測定値表示板が設置
	検出器の周囲にフェンスが取り付けられている地点、フェンスの無い地点がある
	検出器には低線量率用にNaI(Tl)シンチレーション、高線量率用に半導体検出器が取り付けられている
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して上（垂直）方向
検出器中心を表す印が外（断熱）カバーに記されている	

c) 日立製作所製 NaI/半導体型

日立製作所製 NaI/半導体型の設置の様子を図5に示す。



図5 日立製作所製 NaI/半導体型（設置地点：浪江町 請戸局*（福島県所有）

*ここで示したMPは、一例として環境場に設置されているMPを示したものであり、高線量率地域に設置されているMPではない。

日立製作所製 NaI/半導体型の設置状況を表8に示す。

表8 日立製作所製 NaI/半導体型の設置状況

検出器	設置状況
NaI/ 半導体型	検出器中心が地上高1mの高さになるように設置
	ソーラーパネル、バッテリー等の付属物を載せているフレームが設置
	AC電源が確保できない地域は、検出器上部付近にソーラーパネル、バッテリーが設置
	検出器上部付近に測定値表示板が設置
	原則、検出器の周囲にフェンスが取り付けられている
	検出器には低線量率用にNaI(Tl)シンチレーション、高線量率用に半導体検出器が取り付けられている
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して上（垂直）方向
	検出器の外（断熱）カバーに検出器中心を示す印が付されている

②固定型モニタリングポスト

固定型のモニタリングポストは福島県内に約 50 基設置されており、建物屋上に検出器が取り付けられているタイプ（以下「局舎上」という。）、地面に取り付けられているタイプ（以下「路地上」という。）がある。

a) 局舎上

局舎上に取り付けられている固定型モニタリングポストの設置の様子を図 6 に示す。



図 6 局舎上の固定型モニタリングポスト（設置地点：富岡町 富岡局*（福島県所有）

*ここで示した MP は、一例として環境場に設置されている MP を示したものであり、高線量率地域に設置されている MP ではない。

舎上の固定型モニタリングポストの設置状況を表 9 に示す。

表 9 局舎上の固定型モニタリングポストの設置状況

検出器	設置状況
NaI(Tl) 及び 電離箱 検出器	主にコンクリート製の建物（局舎）の屋上に設置
	低線量率計が NaI、高線量率計が電離箱の検出器が設置
	検出器中心が局舎上面から 1m 程度の高さに設置
	NaI 及び電離箱検出器が各々外（断熱）カバーに覆われて設置
	局舎によっては、気象観測装置、ダストサンプラーの吸入口が屋上付近に取り付けられている
	検出器の上（垂直）方向、横（水平）方向に障害となる物は置かれていない（局舎によっては、雨量計、大型水盤等の機器が設置されている）
	検出器が局舎の端に設置されている測定地点がある
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して上（垂直）方向

b) 路地上

地面上に取り付けられている固定型モニタリングポストの設置の様子を図7に示す。



図7 路地上の固定型モニタリングポスト

(南相馬市 萱浜局* (福島県所有))

*ここで示したMPは、一例として環境場に設置されているMPを示したものであり、高線量率地域に設置されているMPではない。

路地上の固定型モニタリングポストの設置状況を表10に示す。

表10 路地上の固定型モニタリングポストの設置状況

検出器	設置状況
NaI(Tl) 及び 電離箱 検出器	検出器中心が地面から1mの高さになるよう設置
	低線量率計がNaI、高線量率計が電離箱の検出器が設置
	検出器の近くに測定部等を収納する局舎等が設置
	NaI及び電離箱検出器が各々外(断熱)カバーに覆われて設置
	検出器の周囲にフェンスが取り付けられている
	検出器の上(垂直)方向、横(水平)方向に校正の支障となる物は置かれていない
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して上(垂直)方向
	気象観測装置等の装置が取り付けられている測定地点がある

③リアルタイム線量測定システム

リアルタイム線量測定システムは、福島県内に約 3000 基が設置されている。リアルタイム線量測定システムの様子を図 8 に示す。



図 8 リアルタイム線量測定システム

(設置地点：富岡町 エスバイエル公園* (福島県所有))

*ここで示した MP は、一例として環境場に設置されている MP を示したものであり、高線量率地域に設置されている MP ではない。

リアルタイム線量測定システムの設置状況を表 11 に示す。

表 11 リアルタイム線量測定システムの設置状況

検出器	設置状況
半導体	検出器中心が地面から 1m の高さになるよう設置
	AC 電源が確保できない地域は、検出器上部付近にソーラーパネルが設置されている
	検出器上部付近に測定値表示板が設置
	フェンスはほぼ取り付けられていない
	校正時の照射の向きは検出器の軸に対して横（水平）方向

2-3 高線量地域の実証実験のための MP の選定

福島県内に設置されている約 4000 基の MP について、高線量地域に設置されている線量計の選定（抽出）を行った。また、現地校正が可能な線量計の選定を行った。選定（抽出）は原子力規制委員会ホームページ“放射線モニタリング情報”により検索した。選定（抽出）した結果を表 12 に示す。なお、高線量地域は、 $1\mu\text{Sv/h}$ ($=1\mu\text{Gy/h}$) 以上とした。

表 12 福島県内の高線量地域 ($1\mu\text{Sv/h}$ 以上) に設置されている MP

市町村	設置場所	線量率	単位	ポスト 種類
浪江町	小丸多目的集会所	8.37	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	やすらぎ荘<平成25年12月に新規設置>	7.37	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	大柿簡易郵便局（葛尾村営バス停脇）	4.442	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	昼曾根屯所	3.948	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	南津島下冷田 2（環境省設置）	3.708	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	福島県立浪江高等学校津島校	3.587	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	大字下津島字大和久地内<平成25年12月に新規設置>	3.43	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	陶芸の杜おおぼり	3.43	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	赤字木字白石森地内（環境省設置）	3.243	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	手七郎集会所	2.956	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	葛久保集会所	2.928	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	賀老集会所	2.692	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	南津島下冷田 1（環境省設置）	2.595	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	赤字木集会所	2.529	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	室原上組集会所<平成25年12月に新規設置>	2.309	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	南下コミュニティーセンター	2.12	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	南津島上集会所<平成25年12月に新規設置>	1.895	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	末森集会所<平成25年12月に新規設置>	1.808	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	下津島集会所<平成25年12月に新規設置>	1.604	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	室原公民館	1.568	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	赤字木字白追地内（環境省設置）	1.547	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	浪江町立津島小学校	1.492	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	室原北向集会所<平成25年12月に新規設置>	1.35	$\mu\text{Sv/h}$	○
浪江町	酒井集会所	1.288	$\mu\text{Sv/h}$	◇
浪江町	南津島広谷地（環境省設置）	1.244	$\mu\text{Sv/h}$	◇

浪江町	末森中継ポンプ場<平成25年12月に新規設置>	1.235	μ Sv/h	○
浪江町	南津島局	1.106	μ Sv/h	■
富岡町	国道6号線富岡町新夜ノ森地内	2.066	μ Sv/h	○
富岡町	夜の森つつみ公園<平成25年12月に新規設置>	2.035	μ Sv/h	○
富岡町	小良ヶ浜多目的運動広場<平成25年12月に新規設置>	1.751	μ Sv/h	○
富岡町	桜2丁目公園<平成25年12月に新規設置>	1.732	μ Sv/h	○
富岡町	新田第三なかよし広場（福島県設置）	1.652	μ Sv/h	○
富岡町	小良ヶ浜多目的集会所	1.596	μ Sv/h	◇
富岡町	新田多目的集会所	1.342	μ Sv/h	■
飯舘村	長泥字曲田地内（福島県設置）	1.853	μ Sv/h	○
飯舘村	村道長泥曲田線（環境省設置）	1.787	μ Sv/h	○
飯舘村	比曾字下比曾地内（福島県設置）	1.506	μ Sv/h	○
南相馬市	鉄山ダム	1.129	μ Sv/h	◇
大熊町	夫沢三区地区集会所	8.923	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町 夫沢	7.937	μ Sv/h	■
大熊町	小入野地区公民館	6.324	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町水産振興公社（福島県設置）	5.346	μ Sv/h	○
大熊町	大熊町 南台	5.294	μ Sv/h	■
大熊町	夫沢二区地区集会所	4.498	μ Sv/h	◇
大熊町	熊町小学校	4.329	μ Sv/h	◇
大熊町	小入野東平2（環境省設置）	4.233	μ Sv/h	○
大熊町	小入野東平1（環境省設置）	3.87	μ Sv/h	○
大熊町	下野上一区地区集会所	3.728	μ Sv/h	◇
大熊町	町区集落センター	3.541	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町保健センター<平成25年12月に新規設置>	2.92	μ Sv/h	○
大熊町	大熊町図書館<平成25年12月に新規設置>	2.627	μ Sv/h	○
大熊町	ふれあいパーク<平成25年12月に新規設置>	2.612	μ Sv/h	○
大熊町	大熊町スポーツセンター<平成25年12月に新規設置>	2.576	μ Sv/h	○
大熊町	野馬形地区集会所<平成25年12月に新規設置>	2.484	μ Sv/h	◇
大熊町	大和久区地区集会所<平成25年12月に新規設	2.28	μ Sv/h	◇

	置>			
大熊町	国道6号線大熊町西大和久地内	2.203	μ Sv/h	○
大熊町	駅前地区集会所<平成25年12月に新規設置>	2.084	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町文化センター<平成25年12月に新規設置>	2.043	μ Sv/h	○
大熊町	大熊町保育所<平成25年12月に新規設置>	1.911	μ Sv/h	○
大熊町	旭台公園<平成25年12月に新規設置>	1.848	μ Sv/h	○
大熊町	下野上二区地区集会所<平成25年12月に新規設置>	1.818	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町 熊川	1.79	μ Sv/h	■
大熊町	大熊中学校	1.637	μ Sv/h	◇
大熊町	夫沢一区地区集会所	1.634	μ Sv/h	◇
大熊町	小入野東平3 (環境省設置)	1.494	μ Sv/h	○
大熊町	熊三区地区集会所<平成25年12月に新規設置>	1.4	μ Sv/h	◇
大熊町	熊川区地区集会所	1.395	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町 向畑	1.339	μ Sv/h	■
大熊町	野上二区地区集会所<平成25年12月に新規設置>	1.263	μ Sv/h	◇
大熊町	大熊町 大野	1.113	μ Sv/h	■
大熊町	野上一区地区集会所	1.05	μ Sv/h	◇
双葉町	谷沢町集会所 (福島県設置)	5.402	μ Sv/h	○
双葉町	JA双葉北部営農センター<平成25年12月に新規設置>	5.333	μ Sv/h	○
双葉町	双葉町 山田(山田農村広場)	4.578	μ Sv/h	■
双葉町	石熊公民館	1.95	μ Sv/h	◇
双葉町	双葉町青年婦人会館<平成25年12月に新規設置>	1.75	μ Sv/h	○
双葉町	双葉町 新山(双葉町体育館)	1.325	μ Sv/h	■
双葉町	双葉幼稚園<平成25年12月に新規設置>	1.323	μ Sv/h	○
葛尾村	木取場入口バス停付近 (福島県設置)	3.122	μ Sv/h	○
葛尾村	野行集会所近傍<平成25年12月に新規設置>	1.789	μ Sv/h	○
葛尾村	葛尾村柏原地区	1.709	μ Sv/h	◇

○：リアルタイム線量測定システム ◇：可搬型モニタリングポスト ■：固定型モニタリングポスト

注) 原子力規制委員会ホームページ “放射線モニタリング情報”により検索した結果。

検索は平成 30 年 9 月 4 日 0:00 のデータを用いた（富岡町 南津島局は平成 30 年 9 月 5 日 0:00 の測定データ）。

検索した時間において、機器調整等による調整中が行われていた測定地点のデータは含まれていない。

原子力規制委員会ホームページ“放射線モニタリング情報”により検索した結果、 $1\mu\text{Sv/h}$ 以上の測定場所は、平成 30 年 9 月 4 日 0:00 現在 81 地点であった。最も高い測定値を示している場所は、大熊町の夫沢三区地区集会所の $8.9\mu\text{Sv/h}$ 、次いで浪江町の小丸多目的集会所の $8.4\mu\text{Sv/h}$ であった。市町村別では、浪江町が 27 場所、富岡町が 7 場所、南相馬市が 1 場所、大熊町が 33 場所、双葉町が 7 場所、飯館村が 3 場所、葛尾村が 3 場所であった。ポストの種類別では、固定型モニタリングポストが 9 場所、可搬型モニタリングポストが 34 場所、リアルタイム線量計システムが 38 場所であった。

$1\mu\text{Sv/h}$ 以上の高線量地域の 34 場所に設置されている主な可搬型モニタリングポストについて、特徴を表 13 に示す。また、設置場所で採寸した可搬型モニタリングポストを図 9 及び 10 に示す。

表 13 高線量地域に設置されている主な可搬型モニタリングポストの特徴

設置場所		線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	特徴			
			A	B	C	D
浪江町	小丸多目的集会所	8.37	無	有 約 1m	上	NaI/ 半導体型
大熊町	夫沢二区地区集会所	4.50				
浪江町	大柿簡易郵便局 (葛尾村営バス停脇)	4.44				
大熊町	熊町小学校	4.33				
浪江町	昼曾根屯所	3.95				
浪江町	手七郎集会所	2.96				
浪江町	賀老集会所	2.69				
浪江町	赤宇木集会所	2.53				
双葉町	石熊公民館	1.95	有	※	横	半導体型
葛尾村	葛尾村柏原地区	1.71	無	無		
大熊町	野上一区地区集会所	1.05		有 約 1m	上	NaI/ 半導体型

A：フェンスの設置

B：ソーラーパネル等、線源照射に影響の可能性がある検出器上部の付属物の有無
(表中の数字は検出器と付属物の距離)

※双葉町石熊公民館は検出器の横方向に線源を設置する際に、線源の設置位置によりフェンスが影響

C：校正時の検出器に対する線源設置方向

上：検出器の軸に対して垂直方向

横：検出器の軸に対して水平方向

D：検出器（富士電機製（原子力規制庁所有））

注) 線量率は原子力規制委員会ホームページ“放射線モニタリング情報”により検索した結果である。検索は平成30年9月4日0:00のデータを用いた。

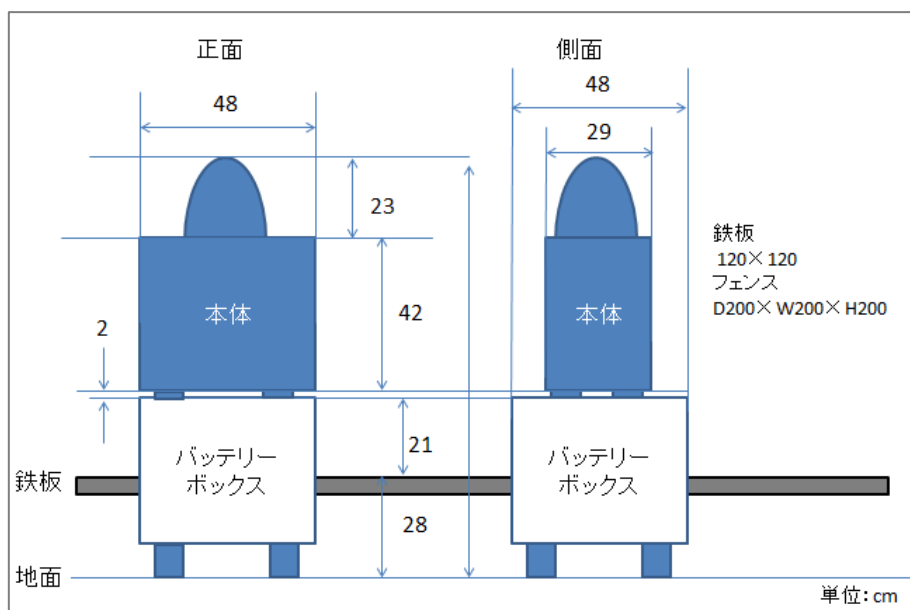


図9 設置場所で採寸した可搬型モニタリングポストの寸法（富士電機製 半導体型）

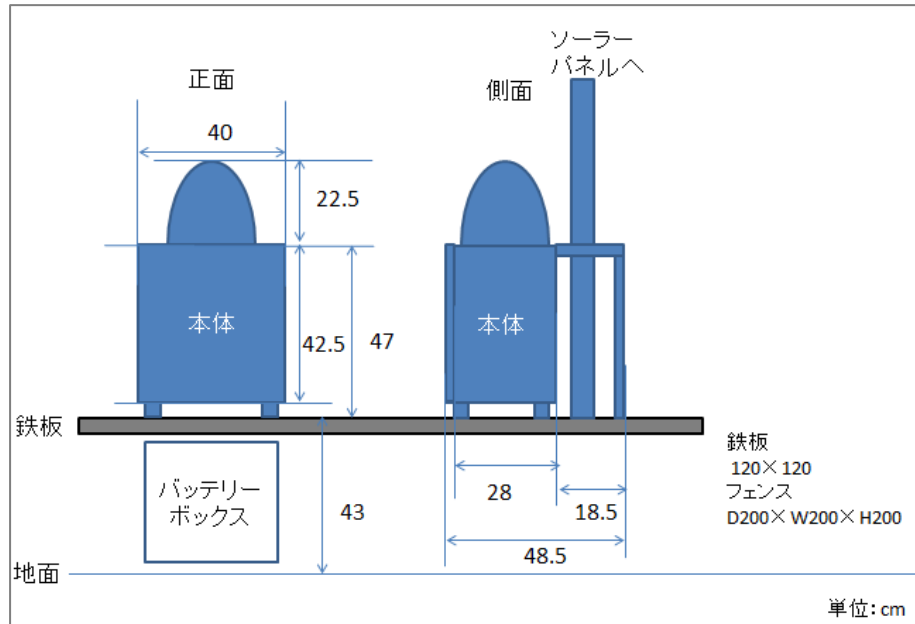


図 10 設置場所で採寸した可搬型モニタリングポストの寸法

(富士電機製 NaI/半導体型)

3 バックグラウンド低減のための遮へい効果の検証

3-1 高バックグラウンド地域に設置されているモニタリングポストの選定

1 $\mu\text{Sv/h}$ 以上の線量率となっているモニタリングポストを2か所選定し、線量率測定、スペクトル測定、遮へい効果の検証を行った。調査を行った地点は以下の通りである。

- ・福島県双葉郡双葉町

同町内の石熊公民館敷地内に設置されている可搬型モニタリングポスト (図 1 1)

- ・福島県双葉郡大熊町

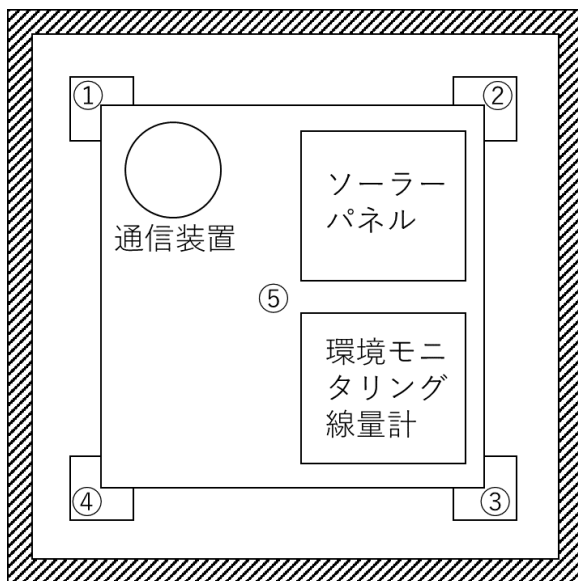
同町内の夫沢二区地区集会所敷地内に設置されている可搬型モニタリングポスト (図 1 2)

3-2 サーベイメータによるモニタリングポスト周辺の線量率分布

(1) 双葉町モニタリングポスト



図 1 1 調査を行った双葉町に設置されている可搬型モニタリングポスト



※斜線部はフェンス

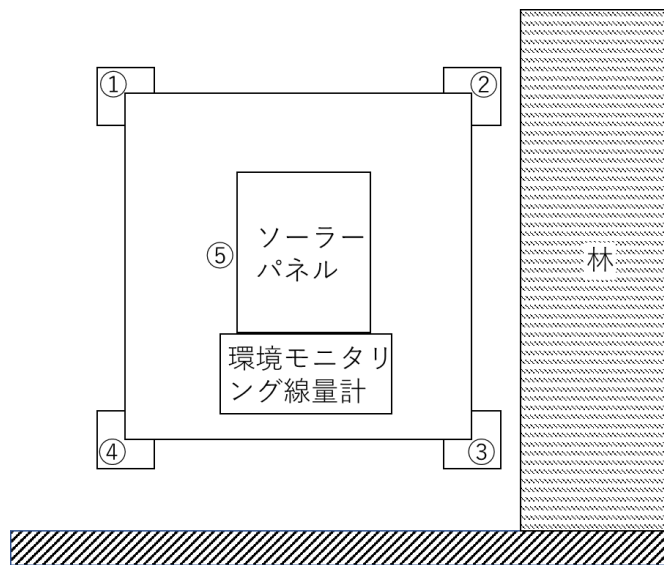
- ① 2.28 $\mu\text{Sv/h}$
- ② 2.24 $\mu\text{Sv/h}$
- ③ 2.28 $\mu\text{Sv/h}$
- ④ 2.37 $\mu\text{Sv/h}$
- ⑤ 1.97 $\mu\text{Sv/h}$

- ・ 中心では鉄板の影響のせいか、線量率が減少。地面付近で線量率が高い。
- ・ モニタリング装置とソーラーパネル間の距離は約 50 cm

(2) 大熊町モニタリングポスト



図 1 2 調査を行った大熊町に設置されている可搬型モニタリングポスト



① 4.72 $\mu\text{Sv/h}$

② 5.57 $\mu\text{Sv/h}$

- ③ 5.32 $\mu\text{Sv/h}$
- ④ 4.24 $\mu\text{Sv/h}$
- ⑤ 4.50 $\mu\text{Sv/h}$

- ・ 駐車場（アスファルト上）に設置されたモニタリングポスト
- ・ 土の多い林に近いほど線量率が上昇

2か所のモニタリングポスト周辺はまだ除染が行われておらず、周辺の地形や設置されている地面の状況により、線量率に大きな分布があることが分かった。

3-3 スペクトル測定

それぞれのモニタリングポストそばで、CdZnTe 検出器によるスペクトル測定を行った。測定された波高分布データと応答関数をもとに、アンフォールディングにより光子スペクトルを求めた。（図13、14）

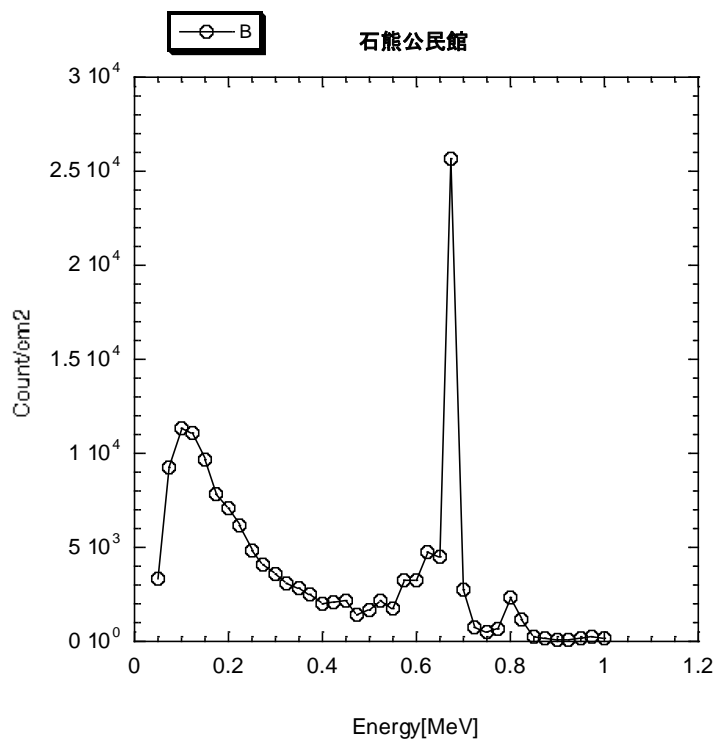


図13 双葉町に設置されている可搬型モニタリングポスト付近の光子スペクトル

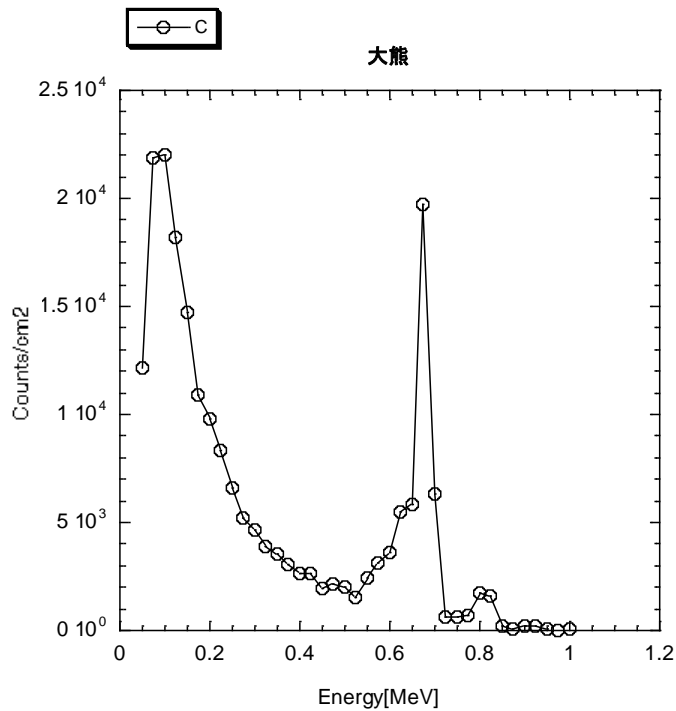


図1 4 大熊町に設置されている可搬型モニタリングポスト付近の光子スペクトル

両者のスペクトルを見て明らかなように、Cs-137 からの 0.6 MeV ガンマ線のピークが確認された。また 0.8 MeV 付近にも小さなピークが確認され、Cs-134 が存在していることが分かった。研究代表者が以前から行っている福島県内のスペクトル測定の結果からも同様のスペクトルデータが得られており、これは未除染で測定位置のすぐそばに放射性物質が沈着していることを意味している。また双葉町と大熊町のスペクトルを比較すると、大熊町の散乱線成分が多いことが分かった。双葉町のモニタリングポストは広い平地に設置されていたが、大熊町はモニタリングポストのすぐ脇に林があり、サーベイメータの計測でも林の中の線量が大きく、放射性物質が多く沈着していることが確認できた。大熊町でのこの散乱線成分が多いのは、この隣接する林から飛来しているためだと推測される。

3-4 遮へいの効果について

CdZnTe 検出器の周りに銅板を配置し、どれくらい線量率が減少するか検討を行った。以下に測定時の写真を示す。

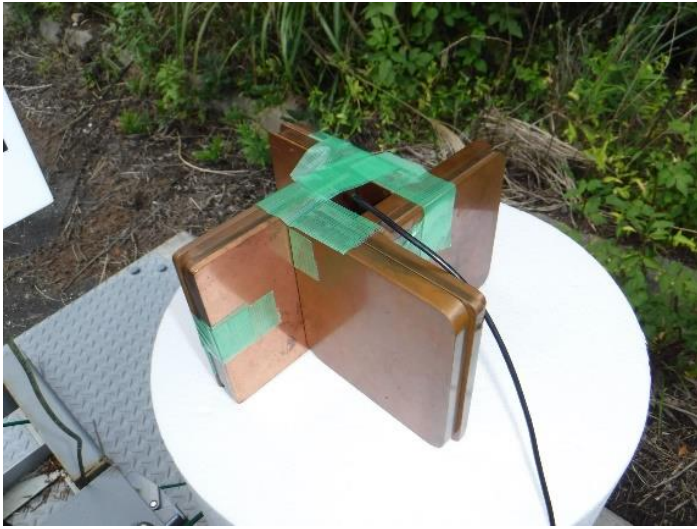


図15 側面4方向を遮へいした場合



図16 下方向及び屋根による側面2方向、上方方向を遮へいした場合



図17 下方方向のみを遮へいした場合

以下に測定された線量率及び減少率を示す。

石熊公民館結果

遮へいなし	下のみ Cu19mm	屋根のみ 19mm	屋根+下 19mm	側面 19mm
1.88 $\mu\text{Sv/h}$	1.01 $\mu\text{Sv/h}$	1.30 $\mu\text{Sv/h}$	0.7 $\mu\text{Sv/h}$	0.59 $\mu\text{Sv/h}$
減少率	0.54	0.69	0.37	0.31

大熊町

遮へいなし	下のみ Cu19mm	屋根のみ 19mm	屋根+下 19mm	側面 19mm
3.85 $\mu\text{Sv/h}$	3.16 $\mu\text{Sv/h}$	3.33 $\mu\text{Sv/h}$	1.92 $\mu\text{Sv/h}$	1.49 $\mu\text{Sv/h}$
減少率	0.82	0.86	0.50	0.39

減少率から、Cs137 の 662keV ガンマ線の減弱係数とほぼ同じであることが分かった。Pb

を遮へい体とした場合、厚さ 10mm で Cu20mm と同等の遮へい効果となり、Pb20mm であれば、減弱率が 0.3 から 0.1 となる。ただしこれは理想的に検出器周りを覆った場合で、実際のモニタリングポストを考えると、検出器の上部に保護用のケースがあることから、検出器と遮へい体の間に空間が生じ、遮へい効果が低下することが想定される。

この測定結果から、鉛の遮へい体を 20 mm 厚とすることとした。

4 コリメート照射装置及びモニタリングポスト遮へい体の製作

高バックグラウンド地域に多く設置されているモニタリングポストは、可搬型モニタリングポストを固定して使用されている。これらのモニタリングポストを製作している主要なメーカーに問い合わせしたところ、顧客からの特段の要請がない限り、上方からの照射による校正を行っているという回答を得た。そこで本研究でも、上方から照射する方法で校正が行える装置の開発を行った。

4-1 照射装置及び遮へい体の製作

図18に、設計した照射装置及び遮へい体の設計図を示す。コリメータは、なるべく検出器周りに近い位置に配置できるように設計している。鉛のリングを重ねる形となっており、リングの厚さは20 mmである。リングの重量は1個約2 kgとなっており、リングを5個重ねて使用する。線源部分は、下方向に照射できるよう、リメータ付きの照射装置となっている。また線源周りも周囲からの散乱線低減のため線源部分を遮へいしている。コリメータ部分の重量は、約10 kgである。このコリメータ部分は、レーザー距離計と入れ替えることが可能となっており、これにより線源からモニタリングポストまでの距離を精度よく計測することが可能となっている。

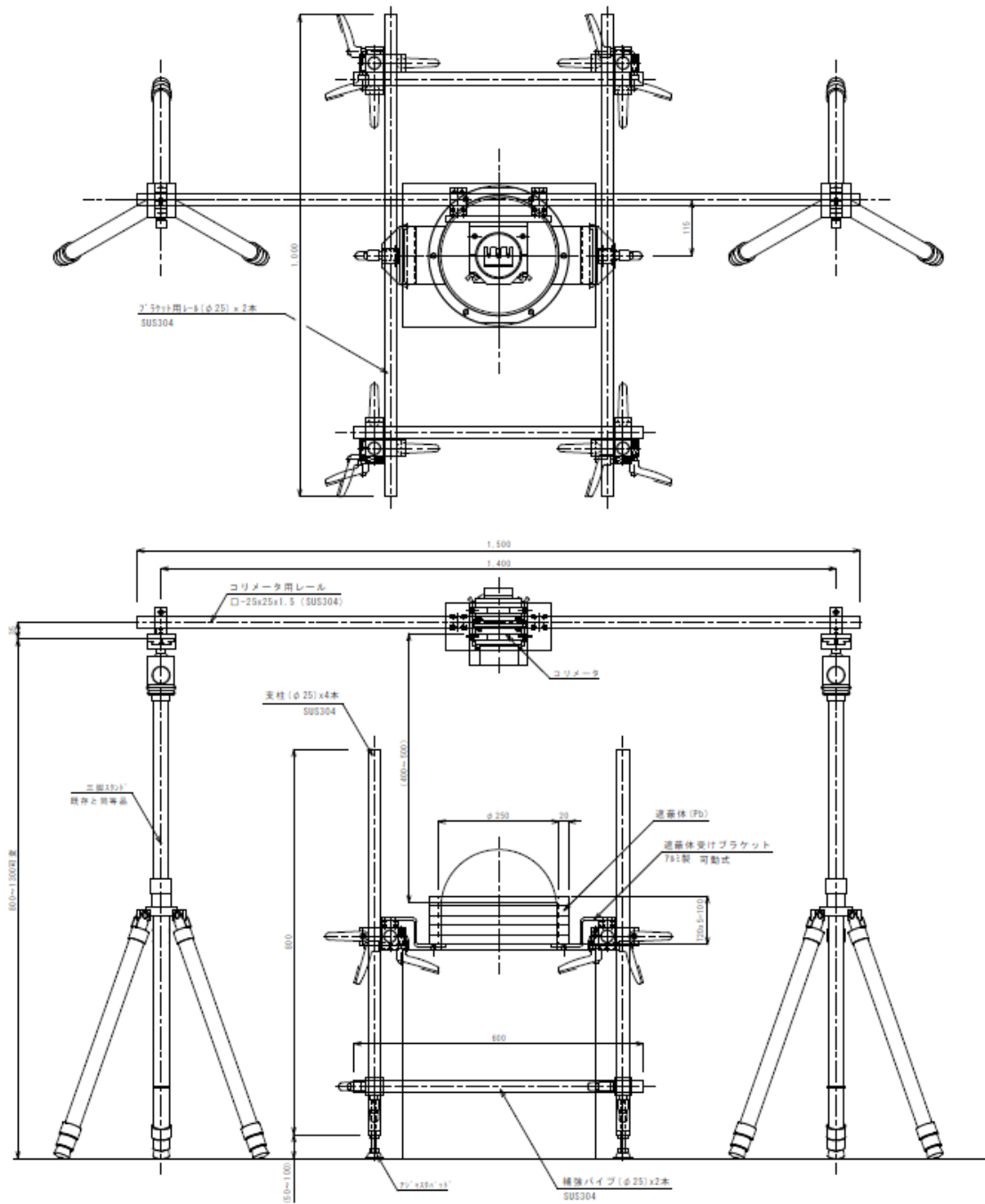


図 1 8 下方向照射装置及びモニタリングポスト遮へい体の設計図

4-2 照射装置の線量率の決定

現地校正において、線源と検出器の距離合わせが最も時間を要する作業となる。そこで本研究では、実験室内において複数の線源間距離における線量率を実測により求め、この値を内挿することにより、任意の距離における線量率を求められる方法を採用した。これにより、

セットアップの時間を大幅に短縮することが可能となった。図19に測定した各距離における線量率を示す。

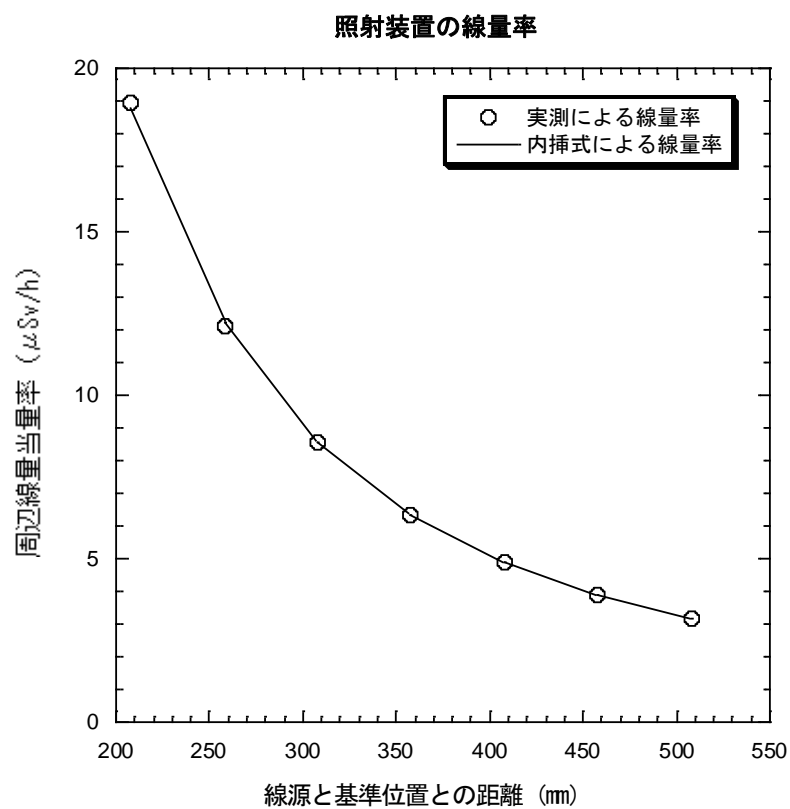


図19 線源と各評価点における線量率の変化

5 従来手法との比較

日本分析センターでは、基準電離箱を現地に持ち込み、比較測定を行うことによりモニタリングポストの現地校正を行っている。そこでこの従来の手法と、今回開発した手法との比較を行った。

5-1 日本分析センターによる現地校正結果

(1) 比較正器

屋外（受託事業者敷地内）に受託者が所有する被校正器を設置し、検出器の中心位置から1.5mの距離で ^{137}Cs の γ 線源を約 $1\mu\text{Gy/h}$ の線量率で照射し、1分間隔で10回の繰り返し測定を行った。 γ 線源を撤去し、バックグラウンドの測定を γ 線源と同様の時間及び回数で行った。10回の測定値から平均値を求め、 γ 線源の平均値からバックグラウンドの平均値を差し引き正味の値を求めて被校正器の値とした。被校正器の仕様を表14に示す。

表14 被校正器の仕様

品名	可搬型モニタリングポスト
メーカー	富士電機株式会社
型式	NAJ51001-01 型
検出器	2inch ϕ \times 2inch NaI(Tl)検出器 ワイドレンジタイプ
測定線量率範囲	10nGy/h \sim 100mGy/h

(2) 実用標準

被校正器の近傍に国家標準とトレーサビリティのとれた実用標準（基準電離箱線量計）を設置し、被校正器と同一に検出器中心位置から1.5mの距離で ^{137}Cs の γ 線源を約 $1\mu\text{Gy/h}$ の線量率で照射し、200秒間隔で5回の繰り返し測定を行った。 γ 線源を撤去し、バックグラウンドの測定を γ 線源と同様の時間及び回数で行った。繰り返しの測定値から平均値を求め、 γ 線源の平均値からバックグラウンドの平均値を差し引き正味の値を求めて校正定数（二次標準から供給）を乗じ、空気密度補正を行い、基準の値とした。実用標準（基準電離箱線量計）の仕様を表15に示す。

表15 実用標準（基準電離箱線量計）の仕様

品名	空気等価電離箱線量計
メーカー	株式会社ネスコ

型式	808-MR20 STD/V 型
検出器	フェノール樹脂製 21L 円筒形
測定線量率範囲	バックグラウンド～200 μ Gy/h

現地校正の様子を図 2 0 及び図 2 1 に示す。



図 2 0 比較正器への照射風景



図 2 1 基準電離箱への照射風景

5-2 本研究による現地校正手法

現地校正手法による校正を行った場所において同じ被校正器（受託者所有）を用いて、産総研開発手法による校正が行われた。産総研により行われた校正の概要を以下に示す。

検出器上方にコリメート式照射装置をセットし、検出器との距離が一定になるよう位置調整を行った。コリメート式照射装置に ^{137}Cs の γ 線源を取り付け、検出器の中心位置から約 0.4m の距離（距離は任意で設定）で約 $4\mu\text{Gy/h}$ の線量率で照射し、1 分間隔で 10 回の繰り返し測定を行った。 γ 線源を撤去し、バックグラウンドの測定を γ 線源と同様の時間及び回数で行った。10 回の測定値から平均値を求め、 γ 線源の平均値からバックグラウンドの平均値を差し引き正味の値を求めて被校正器の値とした。

γ 線源の基準値は、予め求めた γ 線源の線量率を基に距離の逆二乗法により今回校正を行った距離における線量率を算出して基準値とした。

なお、コリメート式照射装置及び γ 線源は産総研が持参したものである。校正の様子を図 2 2 に示す。



図 2 2 本研究で開発した照射装置による校正風景

5-3 校正結果の比較

(1) 日本分析センターによる校正結果

現地校正手法による校正結果を表 16 に示す。

表 16 現地校正手法による校正の結果

核種	γ 線エネルギー (keV)	校正距離 (m)	線量率 (μ Gy/h)	校正定数	不確かさ* (%)
^{137}Cs	660	1.5	0.84	1.03	6.7

*校正の不確かさは、拡張不確かさ(k=2)を表す。

拡張不確かさは、ISO 国際文書”Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (1995)” (「計測における不確かさの表現ガイド」)に基づき、合成標準不確かさと包含係数 k=2 とから決定されたもので、約 95%の信頼の水準を持つと推定される区間を定めたものである。

(2) 本研究手法による校正結果

産総研開発手法による校正の結果を表 17 に示す。なお、日本分析センターの校正条件と合わせるために、モニタリングポストの検出器周りの遮へい体はない状態で校正を行っている。

表 17 産総研開発手法による校正の結果

核種	γ 線エネルギー (keV)	校正距離 (m)	線量率 (μ Gy/h)	校正定数
^{137}Cs	660	0.4	3.5	1.01

日本分析センターの現地校正手法による校正定数は 1.03、同じ被校正器に対して校正を行った産総研開発手法による校正定数は 1.01 であった。日本分析センターの現地校正手法による校正定数を基準にして産総研開発手法による校正定数を比較した結果は、0.98(−2%) であり±3%以内で一致した結果であった。

また本手法によるモニタリングポストの検出器周りの遮へい体の有無による校正結果の影響についても検証を行った。結果を表 18 に示す。

校正手法	本研究での校正結果 (遮へい体なし)	本研究での校正結果 (遮へい体あり)
校正定数 (空気吸収線量)	1.01	1.03

2%程度の違いが見られたが、本校正手法の相対標準不確かさはおよそ3%程度あると考えられることから、不確かさの範囲内で一致していることが確認できた。

6 まとめ

今年度は、高バックグラウンド地域のモニタリングポストの設置状況調査、それを踏まえた高バックグラウンド線量下において現地校正できるよう、既存の照射装置を改良し、下方向に向けたコリメート照射装置を開発した。本手法と基準電離箱による現地校正手法との比較を行い、その妥当性を確認した。本研究で開発された校正手法は、基準電離箱といった電氣的な機器を屋外で使用する必要がないことから、ウォーミングアップ等の時間が不要となっている。また位置合わせも、線源からモニタリングポストの距離を正確に合わせる必要がなく任意の距離で校正が行えるため、セットアップの作業が容易のとなり大幅な時間短縮となっている。従来の基準電離箱を用いた校正は、約5時間程度必要となるが、本手法であれば1時間程度で校正が行える。また現地に設置されているモニタリングポスト周辺には、通信機器や電源供給のためのソーラーパネル、蓄電池などが配置されてるが、コリメート照射による校正のため、周辺機器からの散乱線の影響を非常に小さくすることが可能となった。線量率が付与された線源を用いる従来手法では、周辺機器の配置により散乱線による影響を評価することが非常に困難であるが、本手法では容易に不確かさ評価を行うことが可能である。

来年度は、本手法を現地に設置されているモニタリングポストに対して適応し、不確かさの評価、また手法の文書化を行う予定である。