

# 環境モニタリング線量計の 現地校正に関する研究

産業技術総合研究所  
黒澤忠弘

## 背景

- 2016年に原子力規制庁がIAEAによるIRRSを受け、環境モニタリング機器の品質保証が重要となった
- 原子力施設周辺の環境モニタリング線量計は、事故時の避難の判断に用いられる重要な機器であり、指示値そのものの他に、その不確かさも考慮する必要がある



### 不確かさ評価も含めた現地校正技術の確立

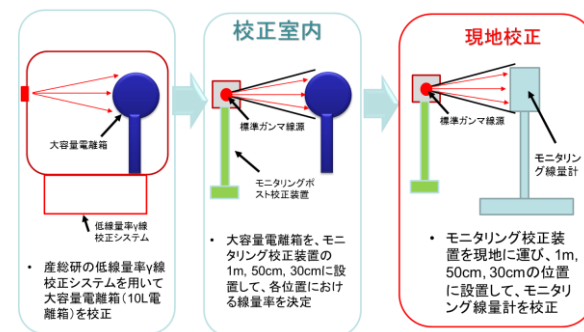
## 環境モニタリング線量計の現地校正の課題点

- 散乱線の寄与
  - 環境モニタリング線量計の周辺は、様々な装置が付帯しており、照射状況によって散乱線の寄与が変わってくる
- 設置後のエネルギー特性の評価
  - 線量計の開発や出荷段階では試験がされているが、設置後年数が経過した後の現地試験が困難
- 不確かさの評価
  - 線量計の特性も含めた校正定数の不確かさ評価は、非常に困難でありトレーサビリティ確保のネックになっている



# 研究開発の目的

- 環境モニタリング線量計の簡便な校正手法の確立
  - 表示付き認証機器線源を用いた校正
  - 設置環境や周辺装置に依存しないコリメート照射
  - Cs-137だけでなく、低エネルギー光子に対する応答が確認できるようAm-241, Co-57, Ba-133線源も設定



- 環境モニタリング線量計の現地校正における不確かさの評価
  - 検討すべき不確かさ要因の抽出
  - 照射距離、また線量計の大きさ、構造による不均一照射の不確かさ
  - 検出器の特性(エネルギー特性、温度特性)に起因する不確かさ

- 高バックグラウンド環境下での現地校正技術の開発
  - 簡易遮蔽体によるバックグラウンドの低減
  - コリメート照射による散乱線を低減させた校正

# 国内の状況について

- 国内の環境モニタリング線量計の状況について
  - 代表的な地域として3県(青森県、福井県、鹿児島県)を調査
  - 検出器としては、「電離箱」「NaI(Tl)シンチレーション」「半導体」の3タイプ

	ステーションタイプ(局舎上)	地上設置タイプ	半導体検出器タイプ	特徴
青森県	4局	38局	9局(今後増やす予定)	地上タイプは高さ1.5mに実効中心電離箱とシンチはほとんどペアで設置
福井県	44局	5局	55局(今後の予定も含む)	半導体以外はほとんど局舎上タイプ事業者が設置している分も多い
鹿児島県	7局	60局	7局(今後+33局)	地上設置タイプは電離箱のみが多い



- 自治体における機器の管理について
  - 少なくとも年に1回は線源を使ったメーカーのメンテナンスを行っている。
    - 実情は校正ではなく、現行のJISにならった確認校正
  - その他に線源は用いない定期点検(外観検査等による機器が正常に動いているかどうかの確認)

## • 各種線量計の校正方法について

	電離箱	シンチレーション	半導体	メリット・デメリットほか
取り外して照射ラボで校正	×	×	○?	○センサーと回路系込みで取り外せるのは半導体のみ ×ケース等を含めた校正をしなくて良いのか?
基準電離箱を現地に設置して比較測定	△	△	△	○「校正」(不確かさ評価も含む)が可能 ×セットアップ、ウォーミングアップに時間がかかる
値付けされた線源を用いたコリメートなしでの校正	○	◎	△	○線量計の配置によってはある程度の不確かさの中で校正が可能と考えられる ×現状では不確かさ評価まで行われていない
本研究で開発中の手法	○	◎	◎	○時間はセットアップのみ、様々な設置タイプでも照射可能 ×重量を軽減させる必要あり

- 値付けされた線源を用いた校正も有用な手法の一つ(POからのご意見)



- **校正の不確かさについて検討を行いたい(次年度以降)**
  - ある条件内(機器周辺の配置や距離、検出器タイプ)であれば、○○%の不確かさで校正が可能である

## • 海外における環境モニタリング線量測定について

### – イギリスでの環境モニタリングについて

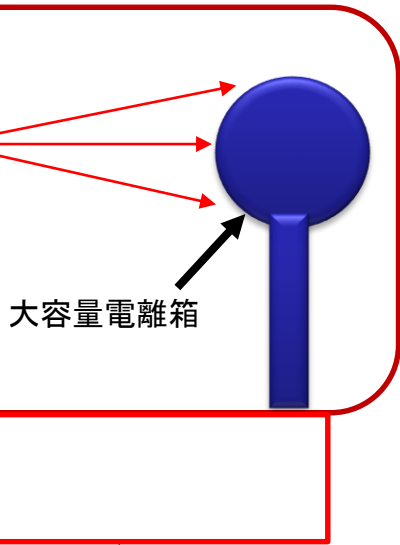
- Public Health England (PHE) が、放射線施設境界の線量測定を行っている。
- 初回は施設境界をサーベイして、もっとも線量が高くなる場所(ただし住民の生活エリアを考慮)で、積算型線量計、またGM線量計による計測を行っている。
- 光子だけでなく中性子も含めて線量測定を行っており、追加被ばく線量として、1mSv/year 以下となることを確認している。
- バックグラウンドの評価が重要(追加被ばく線量を評価する必要があるため)であり、また困難であるとのことであった。(ドイツでも同様の意見)
- いわゆる緊急時に用いられるであろう環境モニタリング機器は所管外とのことで、PHEでは校正事業も行っているがこれらの線量計の校正実績はないとのことであった。

### – ドイツでの環境モニタリングについて

- 施設境界の線量測定には、積算型線量計が用いられている。(補助的にGM管による線量率測定も行われている) 測定しているのはイギリスとは異なり、光子のみ(X線、ガンマ線)とのことであった。
- 環境モニタリング機器については、2年に1度の校正が必要とされているが、半年に1回の出力確認(verification/校正事業者が行っている)である範囲内に入っていれば校正時期を延ばせる(最長で6年)

# 校正手法の概要 (H29年度実施)

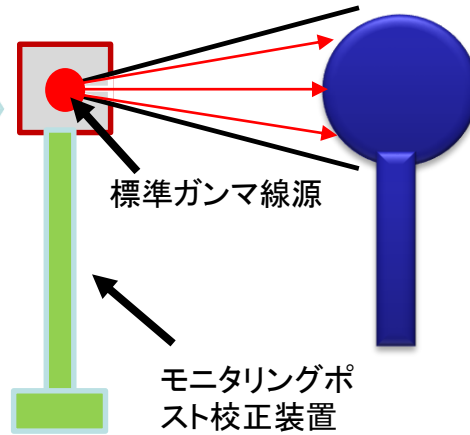
## 校正室内



低線量率 $\gamma$ 線  
校正システム

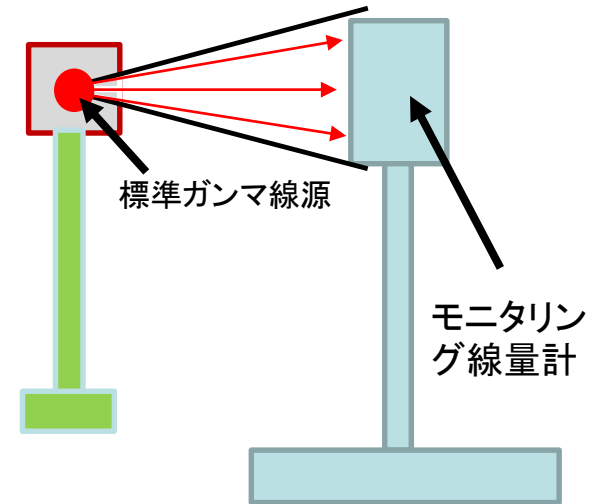
- 産総研の低線量率 $\gamma$ 線校正システムを用いて大容量電離箱(10L電離箱)を校正

## 校正室内



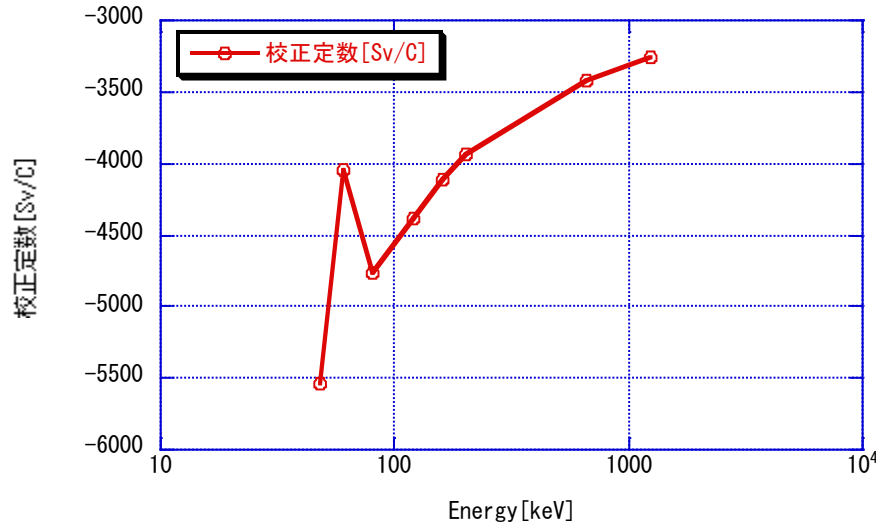
- 大容量電離箱を、モニタリング校正装置の1m, 50cm, 30cmに設置して、各位置における線量率を決定

## 現地校正



- モニタリング校正装置を現地に運び、1m, 50cm, 30cmの位置に設置して、モニタリング線量計を校正

# 仲介電離箱10Lチェンバーの校正について



- Co-60, Cs-137とX線場において周辺線量当量に対する校正定数を評価



## 各種ガンマ線に対する校正定数(平行ビームに対して)

ガンマ線源	Co-60	Cs-137	Ba-133	Co-57
校正定数 (Sv/C)	-3259	-3420	-4215	-4640

## 各種線源に対する不均一補正

	Co-60	Cs-137	Ba-133	Co-57
100 cm	0.996	0.997	0.994	1.000
50 cm	0.974	0.979	0.982	0.986
30 cm	0.935	0.940	0.947	0.963

近距離で線量率を測定するため、照射の不均一補正が必要となる。これらの評価はEGS5コードによって求めた

- 本事業で設計・製作したコリメート照射装置について
  - 各種線源について線量率を測定(産総研の照射場で校正したPTW 10Lチェンバーを使用)

	100 cm	50 cm	30 cm
Co-60	3.79 $\mu\text{Sv/h}$	14.0 $\mu\text{Sv/h}$	28.4 $\mu\text{Sv/h}$
Cs-137	1.13 $\mu\text{Sv/h}$	4.36 $\mu\text{Sv/h}$	11.7 $\mu\text{Sv/h}$
Ba-133	0.69 $\mu\text{Sv/h}$	2.53 $\mu\text{Sv/h}$	4.57 $\mu\text{Sv/h}$
Co-57	0.224 $\mu\text{Sv/h}$	0.90 $\mu\text{Sv/h}$	1.67 $\mu\text{Sv/h}$



# 基準線量率の不確かさ

距離100cmにおける各種線源に対する線量率の不確かさ

		Cs-137		Co-60		Ba-133		Co-57
校正定数		1.4	%	1.2		1.8		1.8
電流測定		0.9		0.3		1.1		6.1
環境	温度	0.2		0.2		0.2		0.2
	気圧	0.1		0.1		0.1		0.1
	湿度	0.2		0.2		0.2		0.2
位置	100cm	0.2		0.2		0.2		0.2
不均一補正		0.1		0.1		0.1		0.1
合成相対標準不確かさ		1.7		1.3		2.2		6.4

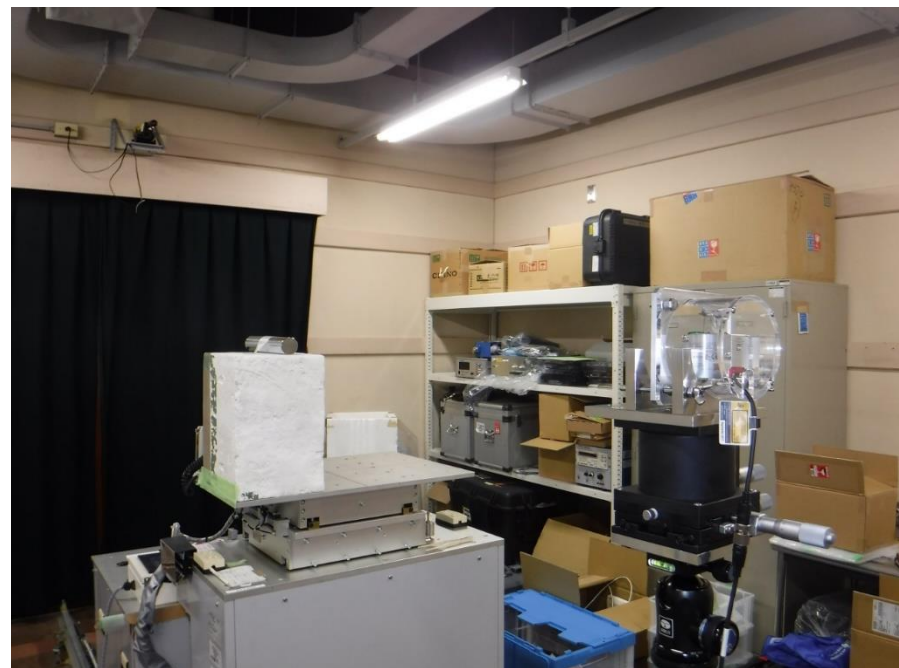
# 距離50cm及び30cmにおける基準線量率の不確かさ

		Cs-137	%	Co-60	Ba-133	Co-57
校正定数		1.4		1.2	1.8	1.8
電流測定		0.2		0.1	0.3	1.2
環境	温度	0.2		0.2	0.2	0.2
	気圧	0.1		0.1	0.1	0.1
	湿度	0.2		0.2	0.2	0.2
位置	50cm	0.5		0.5	0.5	0.5
不均一補正		0.4		0.5	0.4	0.3
合成相対標準不確かさ		1.6		1.4	1.9	2.2

		Cs-137	%	Co-60	Ba-133	Co-57
校正定数		1.4		1.2	1.8	1.8
電流測定		0.1		0.1	0.2	0.5
環境	温度	0.2		0.2	0.2	0.2
	気圧	0.1		0.1	0.1	0.1
	湿度	0.2		0.2	0.2	0.2
位置	30cm	0.8		0.8	0.8	0.8
不均一補正		1.2		1.3	1.1	0.7
合成相対標準不確かさ		2.0		1.9	2.3	2.2

# NaI(Tl)サーベイメータの校正結果

	従来の照射場(距離5m)		開発した照射装置		
	28.5 $\mu\text{Sv/h}$	2.95 $\mu\text{Sv/h}$	100 cm	50 cm	30 cm
校正定数	1.27	1.26	1.25	1.27	1.26



# 半導体モニタリング線量計の校正風景



照射条件	従来照射場での校正		コリメート照射装置での校正	
	1.85 GBq	18.5 GBq	100 cm	50 cm
線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	2.42	19.5	1.13	4.35
校正定数	1.07	1.06	1.06	1.04

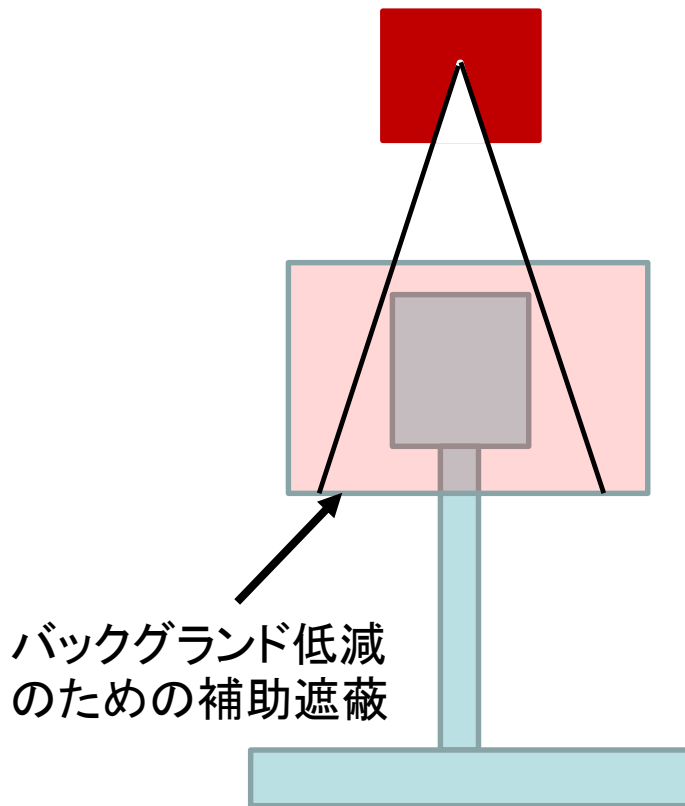
線源	Co-60	Cs-137	Ba-133	Co-57
線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1.13	3.76	0.69	0.21
校正定数	1.25	1.06	0.83	1.20

# 半導体モニタリング線量計の校正における不確かさ

		Cs-137 100cm	Cs-137 50cm
照射装置の不確かさ			
	基準線量率	1.4	1.2
線量計測定時における不確かさ			
	位置設定	1	2
	指示値のばらつき	2.5	1
	温度、気圧、湿度		
	不均一		
	散乱線	1	1
	合成相対標準不確かさ	3.2	2.7
	相対拡張不確かさ(k=2)	7	6



# 上方からのコリメート照射 (高バックグラウンド環境下、H30年度に実施予定)



- 福島県内の一部地域など、高バックグラウンド環境下で数 $\mu\text{Sv/h}$ の校正ができるよう、モニタリング線量計の検出器周辺を鉛の遮へい板で囲む
- コリメート照射により、遮へい板には直接照射されない
- 遮へい体の重量と遮へい効果について最適化を検討