

除染効果確認のための放射線測定手引書 概要

除染・廃棄物技術協議会

除染分科会

線量評価ワーキンググループ

http://tacrw.jp/03_techinfo/03_01_techinfo.html

手引書作成の目的

- 除染箇所の放射線を正確に測定し、除染効果を適切に評価すること

問題点

- 現在広く行われている測定方法では、除染対象外エリアからの放射線の影響を受けて、除染対象箇所の除染効果を適切に評価できない
- 測定条件が統一されていないため、除染効果を異なるエリア間で比較することが困難
- 除染効果を適切に評価するために、どの程度の測定点数が必要か明らかでない場合がある

手引書のポイント

- 第1章 放射線測定場所の選定
 - 除染エリアを「土地利用区分」でエリア分けし、さらに「測定対象」、「部材、材質、地表面の状況」で分類
 - 放射線測定的位置、測定点数をエリア毎に設定
- 第2章 放射線測定方法の選択
 - 局所的汚染箇所での測定値（または影響を受けている測定値）は除染効果とは分けて個別に評価
 - 汚染状況（表面、浸透）に応じた放射線測定器を選定
- 第3章 放射線測定の実施
 - 周辺からの放射線影響を低減する方法
 - 除染の前後で放射線測定条件を統一する（測定器、測定位置、記録）
- 第4章 除染効果の確認
 - 除染効果を確認するための指標を例示
 - 除染効果が小さいと判断された場合の対応

手引書作成フロー

- 手引書は、各社の除染経験、国・県の指針、JAEAモデル実証事業データ、独自に実施した実証試験データに基づき作成

各社の除染経験に基づく課題の抽出

国・県の指針の確認

JAEAモデル実証事業データの分析

手引書素案の作成

各所への意見照会

独自の実証試験で手引書内容を検証

手引書の完成

追加実証試験や除染進展に伴うデータ蓄積

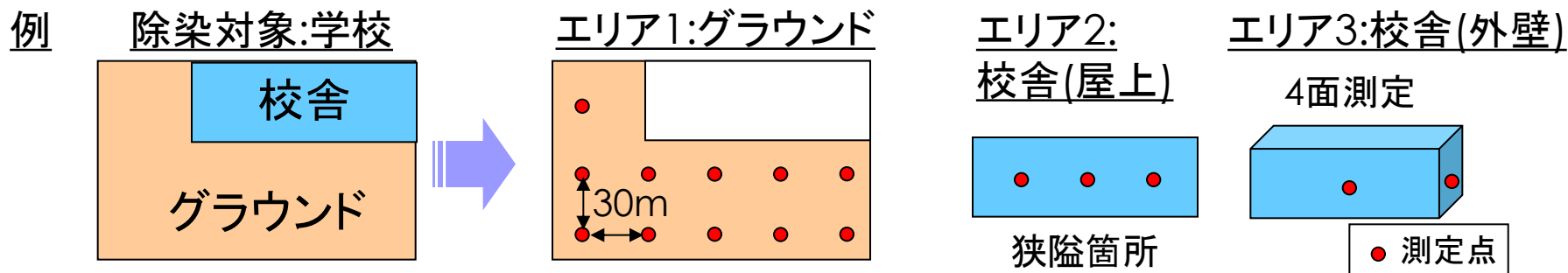
手引書の改訂(予定)

今後、実施予定

手引書の構成(全体の流れ)1・2章

● 第1章 放射線測定場所の選定

- 測定対象エリアの区分
- 各エリアごとに測定位置・測定点数を設定



● 第2章 放射線測定方法の選択

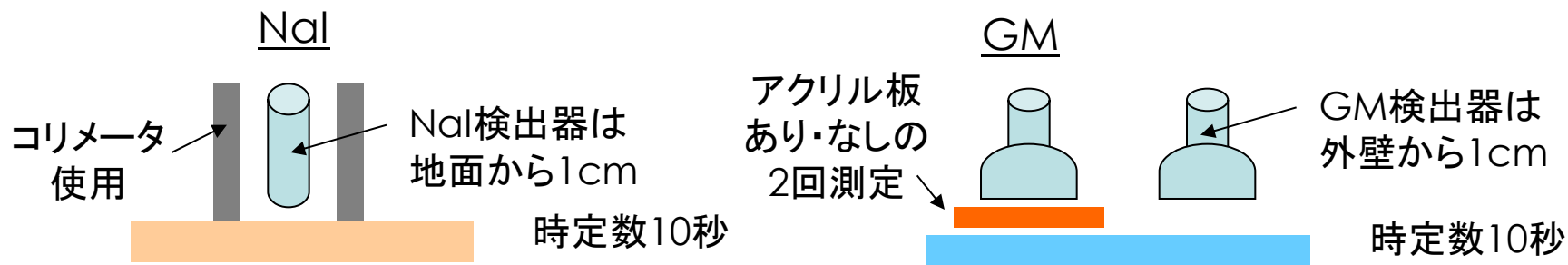
- GMサーベイメータ(表面汚染)、NaIシンチレーションサーベイメータ(浸透汚染)の選択
- 周辺影響の低減方法の選択

測定器	汚染形態	周辺からのγ線の低減
NaI	浸透汚染	コリメータの使用
GM	表面汚染	アクリル板あり・なしの2回測定

手引書の構成(全体の流れ)3・4章

• 第3章 放射線測定の実施

- 測定のタイミング、放射線測定の状態、具体的測定方法
- 記録の作成、データの信頼性の確認



• 第4章 除染効果の確認

- 除染効果の評価方法
- 除染効果が小さいと判断された場合の対応

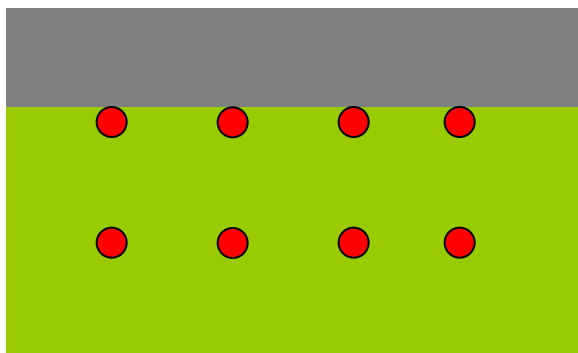
- 除染効果の評価指標の例示
- 測定対象エリアごとに除染効果の評価指標を満足しているか確認
- 評価指標を満足していない場合、原因を検討

第1章 放射線測定場所の選定

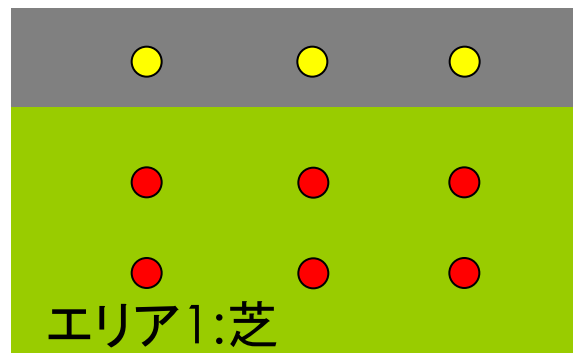
ポイント1: エリア分けは対象物・材質も考慮

- 同一の指標で除染効果を判定できる範囲(土地利用区分、除染対象物、除染方法)ごとに測定対象エリアを区分・設定する

例) 土地利用区分: 住宅地の庭の場合



従来の考え方
土地利用区分ごとに測定点を設定



エリア2:
アスファルト

手引書の考え方
対象物・材質も考慮してエリア設定し、各エリアに測定点を設定

第1章 放射線測定場所の選定

ポイント2-1: 広域箇所での測定点は30mメッシュ

- 広域箇所(2,000m²以上または延長100m以上のエリア)の測定点数は、除染効果の確認のための統計的な処理等も見据えて以下に設定
 - 面的エリア: 30mメッシュ※1
 - 細長いエリア: 50mピッチ(延長200m以上)、20mピッチ(延長200m未満)の直線状

※1 JAEA警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業基に測定間隔を評価

第1章 放射線測定場所の選定

ポイント2-2: 狭隘箇所は代表点を3点以上

- 狭隘箇所(2,000m²未満または延長100m未満のエリア)でも、除染効果の確認が重要な場合はエリア内に3点以上の測定点を設定する

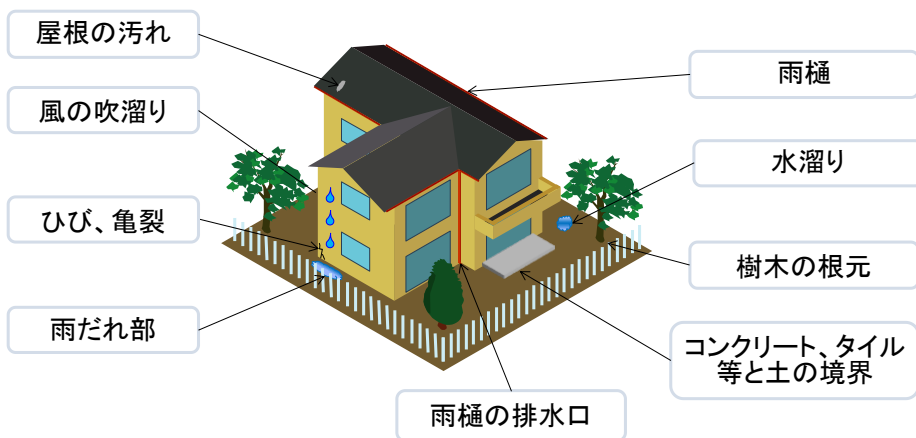
基本的な考え方:

- 放射線測定では、データのばらつきやヒューマンエラーなど測定結果に不確かさを生じる原因がある
- 代表測定点数が1点の場合、その点の測定結果が正しいかどうか判断できないため、3点以上とした
- 代表測定点の位置は、庭の場合は中央付近3点、建物側面の場合は各面の地表から1m高さに1点(4面)以上とした

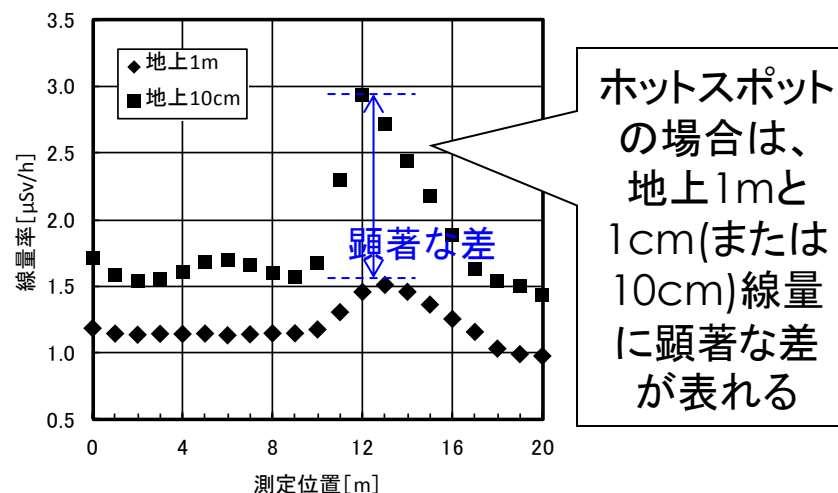
第1章 放射線測定場所の選定

ポイント3: ホットスポットは評価点から除外する

- ホットスポットは周囲の線量との差から、他の測定点とは除染効果が異なる。除染効果の確認のための評価点から除外し、個別に評価を行う
- ホットスポットと疑われるような線量の上昇が見られた場合、高さを変えて測定することにより、ホットスポットかどうかの判断が可能



ホットスポットが疑われる場所は評価点から除外

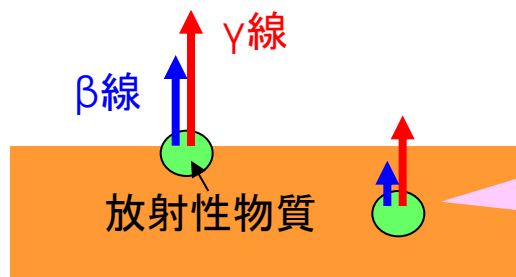


第2章 放射線測定方法の選択

ポイント1: 汚染形態に応じた測定器を選択

- 除染効果の評価のためには、除染前後に除染箇所の放射線を同一方法で測定する
- 汚染形態に応じて測定器を選択する
 - 表面汚染の場合: GMサーベイメータ
 - 表面より深い位置の汚染(浸透汚染)の場合: NaIシンチレーションサーベイメータ

表面汚染と浸透汚染の違い



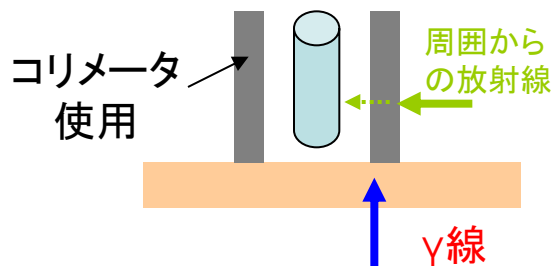
表面汚染の場合、β線での測定が可能 ⇒GM
浸透汚染の場合、β線が遮へいされるため、
γ線での測定が必要 ⇒NaI

第2章 放射線測定方法の選択

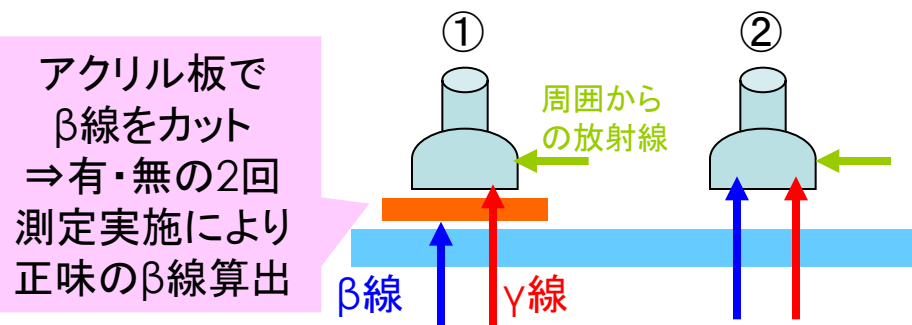
ポイント2: 周辺からの放射線影響を低減・除去

- NaIシンチレーションサーベイメータ
 - コリメータを使用することにより、周辺からの放射線の影響を低減する
- GMサーベイメータ
 - 検出器と測定対象間にアクリル板を置き測定する
 - アクリル板の有無の差をとることにより、 γ 線の影響を除外する

NaIシンチレーションサーベイメータ



GMサーベイメータ



第3章 放射線測定の実施

ポイント1: 正確な測定は気象・機器状態に留意

- 測定時のばらつきを抑えるために、以下に留意して測定を実施
 - 測定タイミング: 除染前と除染後
 - 測定機器: 除染前後で同一のものを使用
汚染防止のための措置を施す
 - 気象条件: 降雨・降雪・測定面が濡れているときは測定を行わない
 - マーキング: 測定ポイントが除染前後で変わらないようマーキングする

第3章 放射線測定の実施

ポイント2: 測定の時定数は10秒

- 具体的測定方法は以下とする
 - 時定数10秒で測定を行う
 - 指示値の読取開始は時定数の3倍(30秒)経過後から
 - NaI: 検出器を測定対象と垂直にし、1cm高さで測定。コリメータを使用する
 - GM: 検出面を測定対象と平行にし、1cm高さで測定。2mm厚さの亚克力板の有り無しで2回測定し、その差を正味の指示値とする

第3章 放射線測定の実施

ポイント3: 測定記録には測定状況も記録する

- 記録に要求される項目は、以下の事項:
 - 除染前後で同じ測定が可能となる情報があること
 - 測定値の評価をする上での情報があること
 - 集計の効率化を図るため、表計算ソフト等への入力ができること

記録用紙の例(GMサーベイメータの場合)

測定時期	除染前・除染後	測定器型式	GM	
測定者名			シリアル番号	
測定日時	平成 年 月 日	時定数		秒
	: ~ :	GM用アクリル板	厚み	mm
天候		測定面の状態		
気温、湿度	°C %	測定の高さ		cm

測定ポイント	①測定値(cpm) アクリル板 無	②測定値(cpm) アクリル板 有	①-②測定値(cpm) 正味の指示値

測定ポイント図

第3章 放射線測定の実施

ポイント4: 測定データの信頼性はばらつきから確認

- 測定データのばらつきの原因が「放射線測定の特
性上取り除けないもの」か「ヒューマンエラー」か確
認し、ヒューマンエラーの場合は除外するか再測定
を行う

放射線測定の特性上取り除けないばらつきと本手引書での低減策

- ✓測定値そのものの不確かさ
⇒最低3点以上の測定点を確保
- ✓放射線レベルによるばらつき
⇒時定数の3倍以上の測定時間とする
- ✓測定器の特性によるばらつき
⇒除染前後に同一機種を使用する

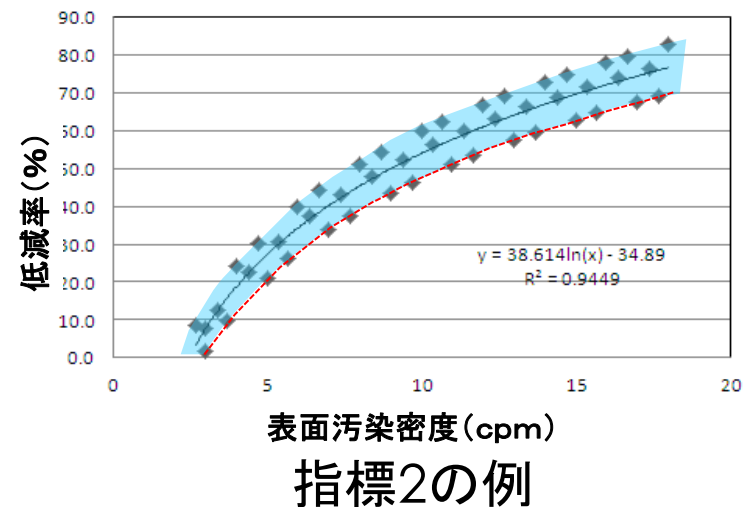
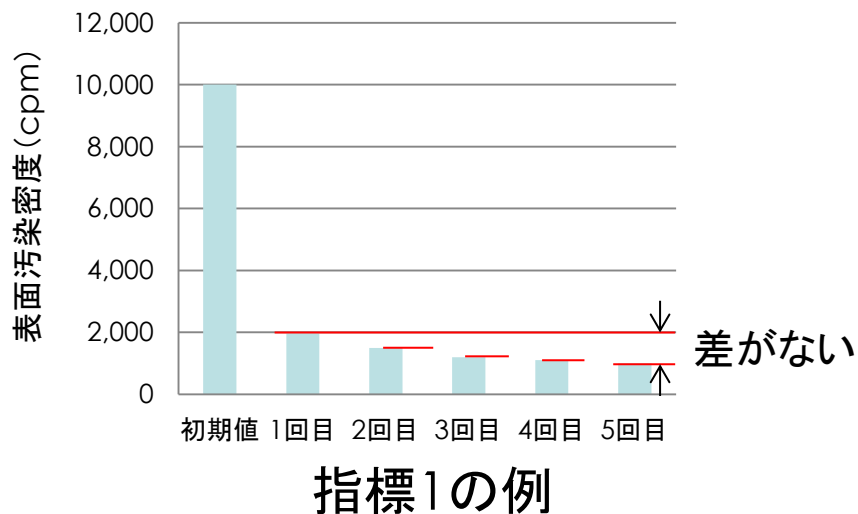
ヒューマンエラーによるばらつきと本手引書での回避策

- ✓測定位置のずれ
⇒測定位置のマーキングの実施
- ✓読み取り時のミス
⇒最低 3点以上の測定点を確保し判断
- ✓測定条件の相違
⇒対象面が濡れている場合は測定しない
など、測定条件を統一

第4章 除染効果の確認

ポイント1: 除染効果の確認のための指標

- 指標1: 「除染を追加的に実施した場合の前後における低減率の標準的な差」(管理値)を設定
→ 除染結果が管理値満足
- 指標2: 「低減率」(目標)を設定
→ 除染結果が目標満足



第4章 除染効果の確認

ポイント2: 除染効果が小さい場合の対応

- 除染結果が評価指標を満足しない場合、除染作業に起因しているか否かを検討する

要因例

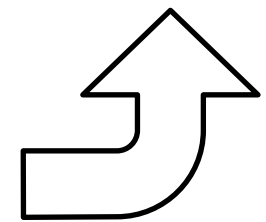
- a) 敷地境界で、未除染の隣接区間の影響
- b) 想定より浸透性の高い材料
- c) 放射線量が小さく、除染しても変化なし

除染は
適切と
判断

追加的な除染で
大きく低減しない



除染対象に対して
その工法の限界



何故、広域箇所での測定間隔は30mメッシュとするのか？

- グラウンドの測定データを基に、2つのグループ（10mと20m間隔、10mと30m間隔）の有意差を判定するWilcoxonの符号付順和検定を実施
- 「平均値に差が無い可能性が高い」と判定

場 所	比較対象	除染前の1cm高さの空間線量率 (μ Sv/h)		除染後の1cm高さの空間線量率 (μ Sv/h)	
		P値	判定	P値	判定
A町 運動場	10mと20m	0.978	>0.05	0.339	>0.05
	10mと30m	0.280	>0.05	0.156	>0.05
B町 グラウンド	10mと20m	0.690	>0.05	0.513	>0.05
	10mと30m	0.202	>0.05	0.934	>0.05
C町 グラウンド	10mと20m	0.753	>0.05	0.669	>0.05
	10mと30m	0.237	>0.05	0.701	>0.05
D町 グラウンド	10mと20m	0.438	>0.05	0.955	>0.05
	10mと30m	0.134	>0.05	0.069	>0.05

P<0.01: 有意水準1%で平均値に差がある。

P<0.05: 有意水準5%で平均値に差がある。

P>0.05: 平均値に差がない可能性が高い。

何故、広域箇所での測定間隔は30mメッシュとするのか？

- グラウンドの測定データを基に、3つのグループ（10m,20m,30m間隔）の有意差を判定するKruskal-Wallis検定を実施
- 「平均値に差が無い可能性が高い」と判定

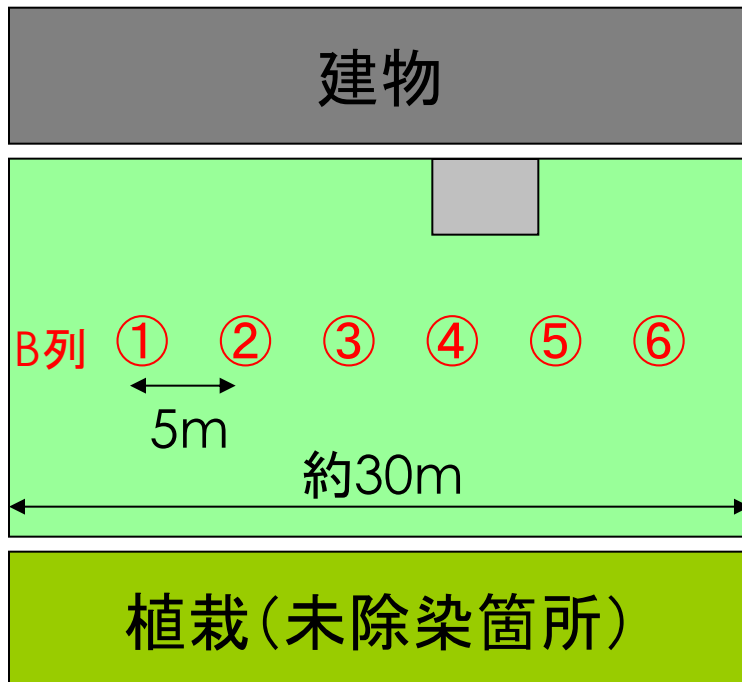
場 所	比較対象	除染前の1cm高さの空間線量率 (μ Sv/h)		除染後の1cm高さの空間線量率 (μ Sv/h)	
		P値	判定	P値	判定
A町 運動場	10mと20m	1.00	>0.05	0.64	>0.05
	10mと30m	0.56	>0.05	0.36	>0.05
	20mと30m	0.64	>0.05	0.84	>0.05
B町 グラウンド	10mと20m	0.92	>0.05	0.81	>0.05
	10mと30m	0.43	>0.05	1.00	>0.05
	20mと30m	0.37	>0.05	0.95	>0.05
C町 グラウンド	10mと20m	0.95	>0.05	0.91	>0.05
	10mと30m	0.50	>0.05	0.93	>0.05
	20mと30m	0.47	>0.05	1.00	>0.05
D町 グラウンド	10mと20m	0.75	>0.05	1.00	>0.05
	10mと30m	0.31	>0.05	0.18	>0.05
	20mと30m	0.72	>0.05	0.26	>0.05

P<0.01: 有意水準1%で平均値に差がある。
 P<0.05: 有意水準5%で平均値に差がある。
 P>0.05: 平均値に差がない可能性が高い。

何故、狭隘箇所(芝地)の代表点を3点設定するか？

- 狭隘箇所(芝地)での検証。ヒューマンエラーによる指示値の読み違いや測定結果のばらつきを考慮し、エリアの中央付近の3点を代表点として設定

測定方法: NaI+コリメータ



B①	B②	B③
68.4	62.5	62.5

B④	B⑤	B⑥
56.3	60.0	53.9

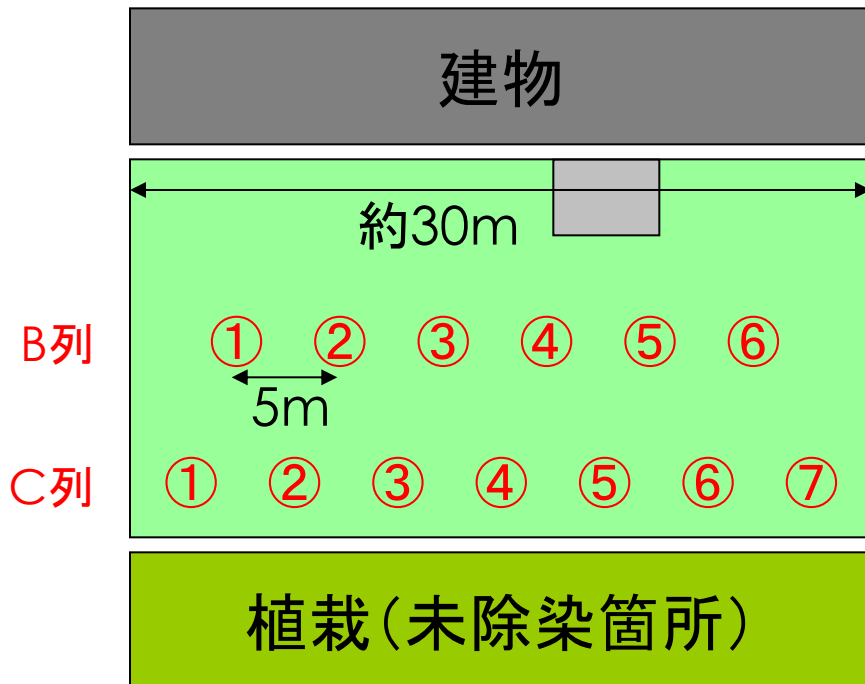
平均	標準偏差	変動係数
62.5	5.2	0.1

エリアの中央付近に代表点3点を設定

B列	除染率	標準偏差	変動係数
①③⑤	64.7	4.3	0.1
②④⑥	60.0	4.5	0.1

何故、未除染箇所境界を評価点から除外するか？

- 芝地の剥ぎ取りにおいて、周辺からの γ 線の影響を受けている未除染箇所境界の測定値を除外すると、より正確な除染率となる



項目	除染率	標準偏差	変動係数
B列	62.50	5.16	0.09
C列	36.10	18.36	0.51

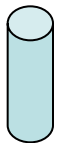
測定方法: NaI+コリメータ

手引書で検証した放射線測定

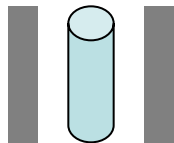
- NaIシンチレーションサーベイメータでは、
 - ①NaIのみ、②NaI+コリメータ、
 - ③NaI+コリメータ+前方鉛差し引き
 - GMサーベイメータでは、
 - ①GMのみ、②GM+アクリル板差し引き、
 - ③GM+コリメータ、④GM+コリメータ+アクリル板差し引き
- の計7種類の測定方法を検証した

NaIシンチレーションサーベイメータ

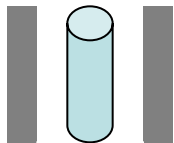
①



②



③



GMサーベイメータ

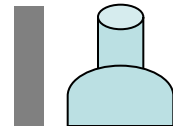
①



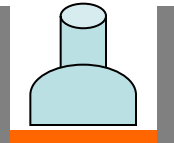
②



③



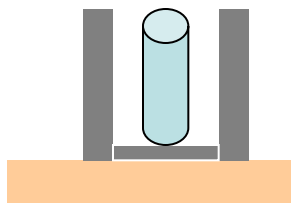
④



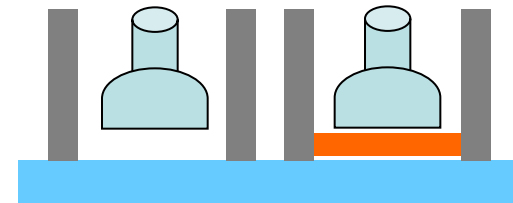
高線量地域での放射線測定(案)

- NaI+コリメータ+前方鉛差し引き
汚染の高い測定場所では、NaI+コリメータ+前方鉛あり・なしの2回測定で、周辺からの γ 線の影響を除外する
- GM+コリメータ+アクリル板差し引き
汚染の高い測定場所では、GMサーベイメータも γ 線の影響を受けるため、コリメータで周辺からの γ 線の影響を低減し、GM+コリメータ+アクリル板あり・なしの2回測定する

NaIシンチレーションサーベイメータ



GMサーベイメータ

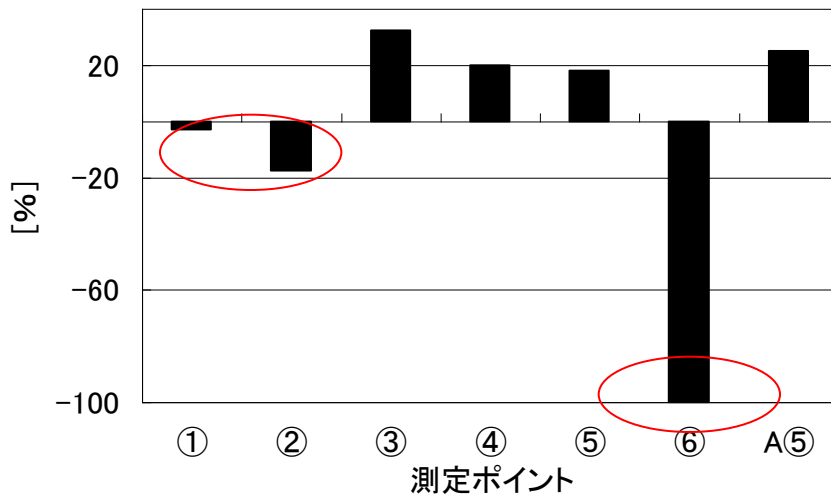


何故、浸透性の汚染の測定にNaIを使用するか？

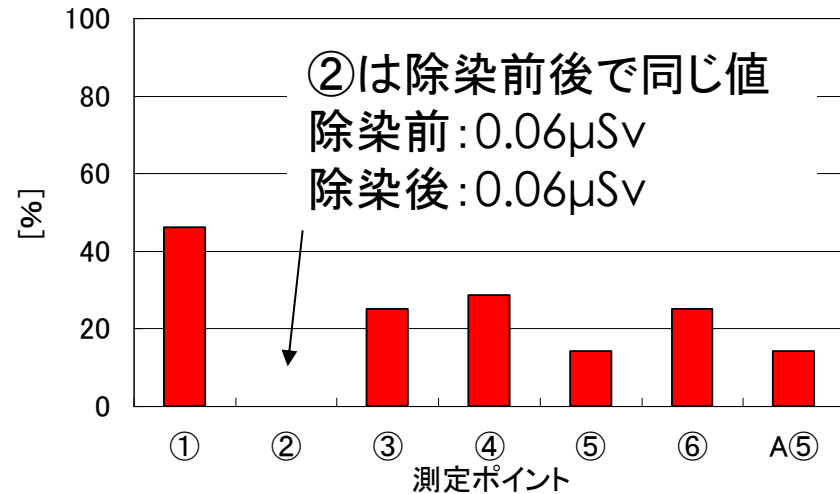
(1) コンクリートの測定結果

- 実証試験において、コンクリートをGMで測定した結果、除染後の計数率の方が高くなる現象が確認され、マイナスの除染率が確認された
- NaIでは、除染後の計数率の方が高くなる事象は確認されなかった(②は除染前後で、同じ値(0.06 μ Sv/h)を示した)

GM除染率(コンクリート) ■ GM(β 線計算値)



NaI除染率(コンクリート) ■ NaI+コロメータ



コンクリート	平均	標準偏差	変動係数
GM+コロメータ	-6.4	37.3	-5.8

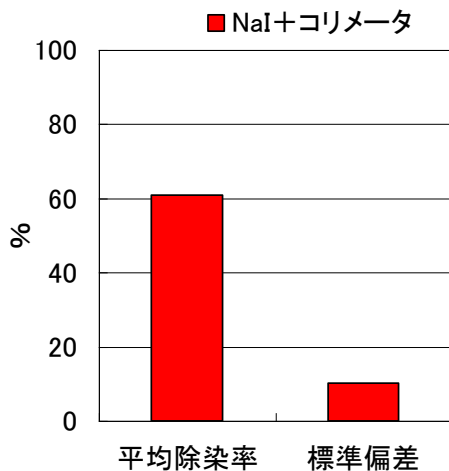
コンクリート	平均	標準偏差	変動係数
NaI+コロメータ	21.9	14.4	0.7

何故、浸透性の汚染の測定にNaIを使用するか？

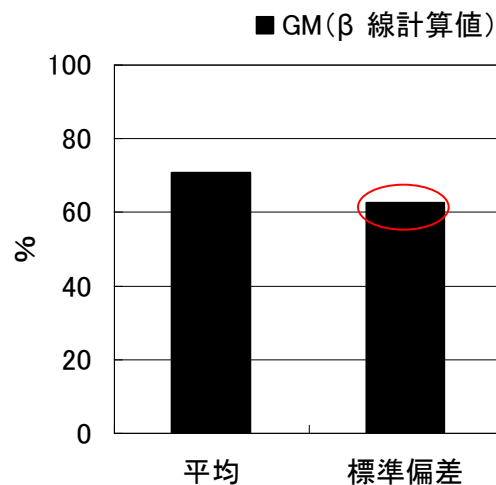
(2) 芝の測定結果

- 実証試験において、芝をGMとNaIで測定した結果、平均除染率の差は10%程度であることが確認された
- GMではコンクリートの測定時と同様に除染後の計数率の方が高くなる現象が確認され、マイナスの除染率が確認された
- GMはNaIに比べて、標準偏差が大きくばらつきが多いことが確認された

NaI(平均除染率と標準偏差)

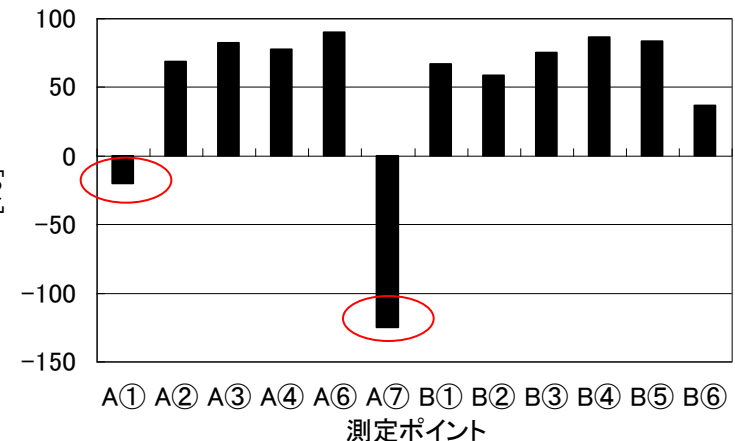


GM平均除染率と標準偏差



[%]

GM除染率(コンクリート) ■ GM(β 線計算値)

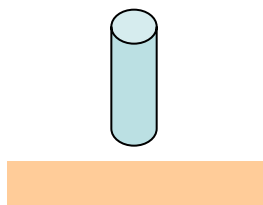


コリメータを使用できない場合の放射線測定は？

- 住宅の壁面等では、作業効率や安全上の問題からコリメータを使用した測定は困難
- NaIシンチレーションサーベイメータでは、
 - ①NaIのみ
- GMサーベイメータでは、
 - ①GMのみ、②GM+アクリル板差し引き、
の3種類の測定方法による除染率を検証した

NaIシンチレーションサーベイメータ

①

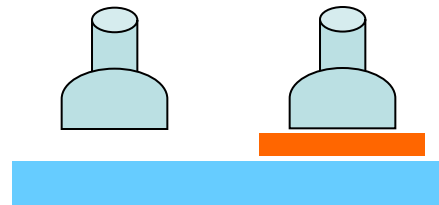


GMサーベイメータ

①



②

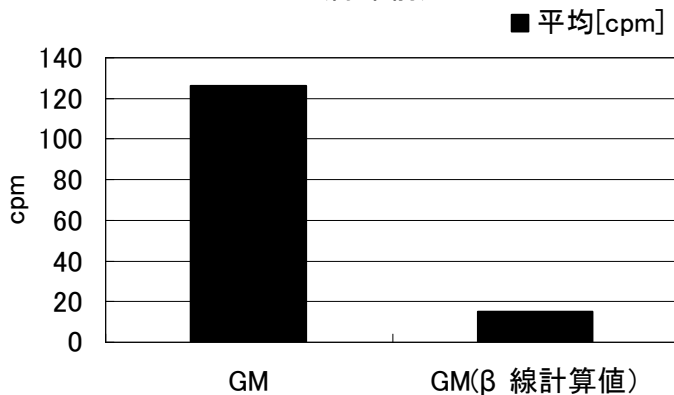


コリメータを使用できない場所の放射線測定は？

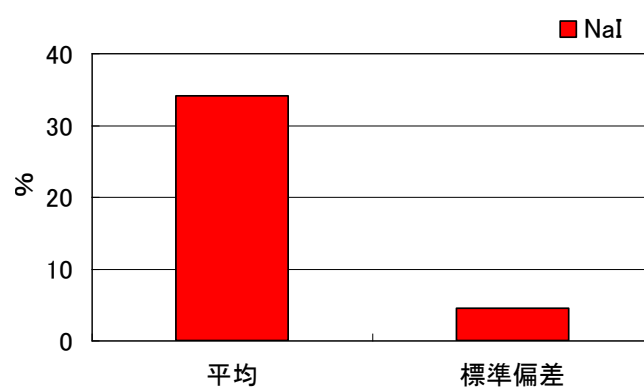
(1) 壁面(塗装有り)の放射線測定結果

- GMとアクリル板を使用して、壁面の放射線測定を実施した結果、壁面の汚染はほとんど無いことが分かった
- NaIの放射線測定結果は、コリメータを使用していないため、土壌の剥ぎ取りによる空間線量率の影響を受けて、あたかも除染効果が有ったような誤った評価をしてしまう
- コリメータを使用できない壁面等では、アクリル板を使用しβ線計算値から汚染の有無を確認することが重要

GM(除染前)



NaI 壁面の平均除染率



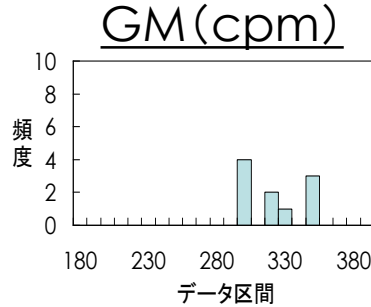
除染前	平均[cpm]
GM	126
GM(β線計算値)	15

除染率	平均	標準偏差
NaI	34	4.4

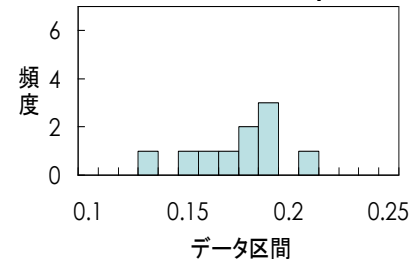
何故、時定数を10秒としたか？

- 3, 10, 30秒の時定数で繰り返し測定を実施。低線量下(1m空間線量率 $0.3\mu\text{Sv/h}$ 前後)においても、時定数10秒で十分な測定が可能と確認された。

時定数3秒



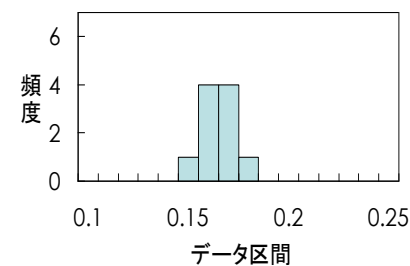
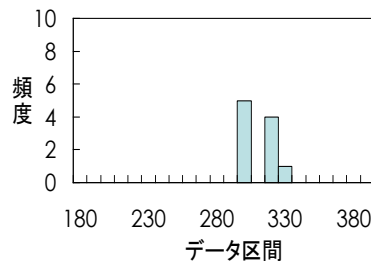
NaI+コリメータ($\mu\text{Sv/h}$)



データ数: 10

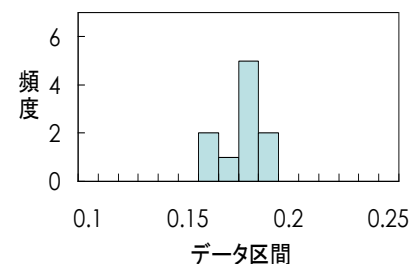
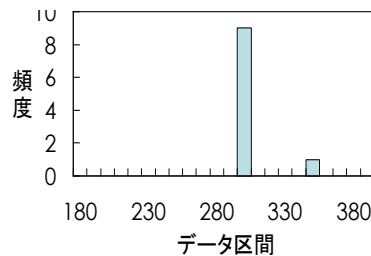
測定ケース	標準偏差	変動係数
GM	22.01	0.07
NaI+コリメータ	0.02	0.13

時定数10秒



測定ケース	標準偏差	変動係数
GM	11.97	0.04
NaI+コリメータ	0.01	0.05

時定数30秒



測定ケース	標準偏差	変動係数
GM	15.81	0.05
NaI+コリメータ	0.01	0.06