

3.2 モニタリングに関する手引き

3.2.1 計画策定

(1) 段階

モニタリングは、除染作業の進捗に応じ、概ね3段階に分けて行う（図3.2-1）。モニタリングの計画段階においては、各種測定および得られた測定値の評価方法についての要領書を策定する。

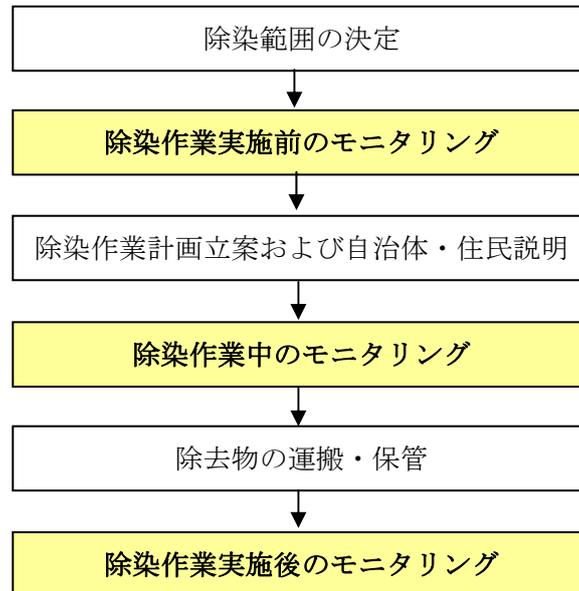


図 3.2-1 除染におけるモニタリング

(2) 除染作業開始前

- 除染方法および使用機械の選定，除去物発生量の推定等に反映することを目的とする。既に文部科学省，内閣府，福島県などで測定・公表されているデータがあれば参照し，重点的に測定すべき箇所や既存のデータで代用できる箇所の設定に活用する。測定項目例として，地表面の表面線量率および表面密度，家屋や大型構造物の屋根・壁の表面密度，地表面等の放射性物質濃度がある。
- 除染作業中および除染作業終了後のモニタリング結果との比較を行うため，測定値だけでなく，測定機器，測定場所等の測定条件も正確に記録する。
- 除染作業の前後の測定値を比較する場合には，測定箇所にマーキング等の工夫を行い，同一場所で測定できるようにすること。

(3) 除染作業中

- 除染が適切に行われて効果を上げているか，追加の除染が必要か等の評価および判断を目的とし，除染作業の進展に合わせて測定する。
- 必要に応じて除去した土壌・草木等の放射性物質濃度を測定すると，除染効果の確認に有効である。
- 除染作業による周辺への影響を確認することを目的に，除染実施区域内もしくはその周辺における空間線量率を定期的に測定する（定点モニタリング）。

- 定点モニタリングによって継時的変動を確認し、除染の影響の波及や再汚染等の有無の確認を行い、再汚染の可能性が見られた場合は、必要な対策を提示する。
- 作業員の内部被ばくを抑制しながら作業性の改善や適切な保護具の選択に資することを目的として、作業場所の大気中放射性物質濃度（ダスト濃度）を測定する。

(4) 除染作業終了時

- 除染の効果を確認することを目的とする。除染効果の評価を容易にするためには、除染作業開始前と同一地点において、かつ、同一の測定器を用いて測定するのが有効である。

3.2.2 仕様書作成

仕様に盛り込むべき事項は以下のとおりである。

(1) 測定項目

除染におけるモニタリングは、空間線量率・表面線量率・表面密度を基本とする。想定している除染の方法によって、土壌等の放射性物質濃度、大気中放射性物質濃度も行うことも可能である（表 3.2-1）。

表 3.2-1 測定項目と測定時期

測定項目	除染作業開始前	除染作業中	除染作業終了時
空間線量率・表面線量率・表面密度	○	○	○
土壌等の放射性物質濃度	△	△	△
大気中放射性物質濃度	△	△	△

○：必須，△：必要に応じて

(2) 空間線量率等の測定方法

除染事業における空間線量率等（空間線量率と表面線量率を指す）の測定は、放射線測定に関するガイドライン及び学校等における放射線測定の手引き（文部科学省・日本原子力研究開発機構, 2011）並びに除染関係ガイドライン（環境省, 2011）に準じる。実施における留意点について以下にまとめる。

① 使用機器

- エネルギー補償型 NaI シンチレーション式サーベイメーター， また，線量率が $30 \mu\text{Sv/h}$ 以上の場所は電離箱式サーベイメーターの使用を基本とする。
- 上記以外の測定器（例，CsI シンチレーション式サーベイメーター，半導体検出器，エネルギー補償機能を持たない NaI シンチレーション式サーベイメーター）を使用する場合は，エネルギー補償型 NaI シンチレーション式サーベイメーターあるいは電離箱式サーベイメーターと測定値を比較し，妥当性を確認した上で使用する。
- 測定機器は，機器に定められている要領に従い，適切に校正されたものを使用する。

測定方法

空間線量率等の測定にあたっては、計画段階において策定した要領書に基づき実施する。さらに、以下の点に留意する。

a. 時定数・回数

- 時定数を 10 秒とする場合、測定開始から 30 秒程度待ち、数値を読み取るのが標準的な方法である。繰り返し測定を行う場合も同様である。
- 測定値の変動が大きく、読み取りが難しい場合もある。その場合は測定開始の 60 秒後から 15 秒程度の間隔で複数回（たとえば 5 回）読み取り、それらの平均値を測定値とする方法がある。標準偏差が大きい場合（除染モデル実証事業の経験では 5%程度）は、外乱による誤差が大きいとみなせるため、測定の信頼性の確認にも役立つ。

b. 表記方法

- 単位は $\mu\text{Sv/h}$ で有効数字 2 桁にて記載する。複数回測定した場合は、2 桁を読んで平均値および標準偏差を算出する。

c. 記録方法

- 測定場所、時間、気象条件、測定者、使用機器の種類・型式・シリアル番号、使用レンジ、測定値及びコリメータ使用の有無（有の場合、遮へい厚さ）等を記載する。特に、水（雨、雪）による遮へい効果があるため、測定地点の地表面の湿潤乾燥状態、降雨や積雪の有無、積雪深等も記載する。

d. その他

- 積雪時には雪（水）の遮へい効果があり、空間線量率等の測定値は積雪がない場合よりも低下する傾向にある。そのため、測定は消雪後に行うか、積雪時に敢えて測定を行う場合は積雪があることを明記し、必要に応じて積雪深を記録する。
- 測定値は風による埃等の巻き上げによる変動を受けるため、風向風速の急変時には測定を一時中断するなどの配慮を行う。
- 測定機器には、汚染を付着させないために保護ビニール等を用いて適切な養生を行う（図 3.2-2）。また、適宜、保護ビニール等に汚染がないか確認する。保護ビニール等に汚染の可能性があれば紙ワイプ、ウエス等によるふき取りやビニールの交換を行う。
- NaI シンチレーション式サーベイメーターの検出部は、湿度が高い状態が続くとカビが発生し性能の低下または故障の原因になるため、使用する時に養生を行う。



図 3.2-2 線量率計の養生の例（右が養生後）

(3) 表面密度の測定方法

除染事業における表面密度の測定は、放射線測定に関するガイドライン（平成 23 年 10 月 21 日 文部科学省、日本原子力研究開発機構）、学校等における放射線測定の手引き（平成 23 年 8 月 26 日、同）、除染関係ガイドライン（平成 23 年 12 月 環境省）に準じる。実施における留意点について以下にまとめる。

① 使用機器

GM 計数管型サーベイメーターを使用することを基本とする。なお、測定機器は、機器に定められている要領に従い、適切に校正されたものを使用する。

② 測定方法

表面密度の測定にあたっては、計画段階において策定した要領書に基づき実施する。さらに、以下の点に留意する。

a. 時定数、回数

- 時定数を 10 秒とする場合、測定開始から 30 秒程度待ち、数値を読み取るのが標準的な方法である。繰り返し測定を行う場合も同様である。
- 測定値の変動が大きく、読み取りが難しい場合もある。その場合は測定開始の 60 秒後から 15 秒程度の間隔で複数回（たとえば 5 回）読み取り、それらの平均値を測定値とする方法がある。標準偏差が大きい場合は、外乱による誤差が大きいとみなせるため、測定の信頼性の確認にも役立つ。

b. 表記方法

- 単位は cpm で有効数字 2 桁にて記載する。複数回測定した場合は、2 桁を読んで平均値・標準偏差を算出する。

c. 記録方法

- 測定場所、時間、気象条件、測定者、使用機器の種類・型式・シリアル番号、使用レンジ、測定値、コリメータ使用有無（遮へい厚さ）等を記載する。

d. その他

- GM 計数管型サーベイメーターには β 線と γ 線の両方を測定する機能があるが、測定対象の表面が湿潤状態である場合や積雪がある場合、 β 線は γ 線に比べて障害物による遮へいを受けやすく、正確な測定ができなくなる。このような場合は、測定対象物の表面が乾燥するまで測定を見合わせる。
- 測定値は風による埃等の巻き上げによる変動を受けるため、風向風速の急変時には測定を一時中断するなどの配慮を行う。
- 測定機器には保護ビニール等を用いて適切な養生を行い、保護ビニール等の汚染がないか適宜確認し、汚染の可能性があれば紙ワイプ、ウエス等によるふき取りやビニールの交換を行う。なお、除染の効果は空間線量率の低下が望まれるものであるが、除染対象ではない周囲の影響により、空間線量率が期待通り下がらない場合がある。このような時は、コリメータを利用した表面密度の除染前後の値と、空間線量率の除染前後の値とを比較し除染対象でない周囲の影響の程度を把握する。
- GM 計数管型サーベイメーターの検出部は、非常に薄い膜でできているため、使用しない時は保護キャップを取り付け、使用時も測定対象物に接触しないよう注意する。

(4) 環境サンプルの採取および分析の方法

除染が必要とされている範囲には、多様な環境媒体（土壌、樹木等）に放射性物質が付着しており、これらの環境媒体中の放射線物質濃度の測定の際には、下記（表 3.2-2）に基づき実施する。

表 3.2-2 環境サンプリング方法

作業項目	依拠・準拠方法
サンプル採取	樹皮・枝： 「環境採取法」（昭和58年，文部科学省） 土壌・落葉： 「空間線量率（1センチメートル線量当量率）の測定及び土壌試料の採取に係る要領書」（平成23年6月1日，文部科学省）を参考
試料の調整	「緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーの為の試料前処理法 第7章 葉菜類，第11章 土壌」（平成4年，文部科学省）
試料の放射能濃度測定	「緊急時における食品の放射能測定マニュアル 第2章 2 ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる核種分析法」（平成14年，厚生労働省）または「放射能測定法シリーズ 6 NaI (Tl) シンチレーションスペクトロメータ機器分析法」に準拠

なお、測定は乾燥重量ベースで行う。結果は誤差も同時に併記し、適切な有効数字の桁数で表記する。さらに、以下の点にも留意する必要がある。

① 地表面

- 落葉については、樹種（落葉樹・常緑樹）を区別し、測定結果に記録し、解析時に参考にする。
- 腐植土層については、落葉の分解状態から落葉後の時間が判別できる場合がある。どの層にあたるかも確認できれば記録して解析の参考にする。

② 舗装面（アスファルト舗装，コンクリート舗装）

- 舗装に付着した放射性物質は、一般的な密粒度舗装ではほとんど表面に占めるが、透水性舗装など雨水等が表面に溜まらないよう舗装面の深部に浸透させる機能を持つものもある。このような場合は、舗装面をコアボーリングしてサンプリングすると、深度方向の分布を調査できる。

③ 樹木（葉，樹皮）

- 樹木の枝葉や樹皮については、1か所からまとめて採取すると樹木を痛めるため、必要に応じて複数の樹木から少量ずつ平均的に集めることが必要である。

(5) ダスト濃度

除染作業の方法としては、表土除去や舗装路面切削、高圧水洗浄など、放射性物質を含んだ粉じんや飛沫が作業場所周囲に飛散する場合がある。これらの飛散状況を確認し、適切な防護装備を選択することを通じ作業員の内部被ばくを防止するため、作業中の大気環境中のダスト濃度を測定する。

測定手法は除染電離則に定められた方法に基づいて行う。

(6) 除染作業開始前に行う測定

① 空間線量率・表面線量率・表面密度

- 測定点ごとに、空間線量率・表面線量率・表面密度の3種類をあわせて測定することを推奨する。なお、バックグラウンドの影響が有意な場所に対しては、表面密度の測定にあたり、コリメータを組み合わせた測定を行うと、除染効果の評価に有効である(3.2.8参照)
- 除染作業開始前の空間線量率・表面密度は、「除染対象範囲における面的分布状況の把握」および「家屋周りなど人の往来の多い場所で局所的に線量が高くなる可能性がある場所(ホットスポット)の把握」の2つに大別して行う。
- 面的分布状況については、概ね等間隔で測定することとし、対象範囲の面積によるが、森林、農地、グラウンド・公園、道路とも、たとえば30m程度の間隔で行う。当該箇所面積が小さい場合は、敷地内をサイコロの5の目の測定点配置で行うなどの工夫を施すこと。また、周辺からの線量の寄与を評価するため、除染対象エリアに隣接する区域で、容易に立ち入れる道路等(除染対象エリア境界から100m程度の範囲を目途)についても測定する。
- ホットスポットについては、各敷地内で樹木の根元、雨樋、排水溝付近、たたき、吹き溜まり箇所などにおいて代表的な場所の測定を行う。これに加え、玄関等の人が良く出入りする場所についても測定を行う。なお、屋根・壁について周辺の空間線量率と異なることが予想される場合、作業安全が確保できれば1軒当たり各々1点程度行う。

② 土壌等の放射性物質濃度

- 土壌については、除染対象となった範囲における土地利用区分(森林、農地、宅地、大型構造物、道路)ごとに1点以上表層を採取、分析する。この際、腐植土層があれば、土壌と分けて採取し、個々に分析すること。また、放射性物質濃度の高そうなもの(例:コケ)も合わせて測定しておくことで以降の解析の際に参考になる。

(7) 除染作業中に行う測定

① 空間線量率・表面線量率・表面密度

- 測定点ごとに、空間線量率・表面線量率・表面密度の3種類をあわせて測定することを推奨する。なお、バックグラウンドの影響が有意な場所に対しては、表面密度の測定にあたり、コリメータを組み合わせた測定が除染効果の評価に有効である(3.2.8参照)。
- 除染作業開始前のモニタリング箇所を参考とし、農地など十分な広がりのある場所については30m間隔もしくはサイコロの5の目の配置で行うことが望ましい。
- 同一地点の監視測定については、土地利用区分(森林・農地・宅地・大型構造物・道路)ごとに各1点以上について週1~2回程度測定する。
- 発生除去物(土壌等)の表面線量率測定については、除去土壌等を収納したフレキシブルコンテナ等の表面で可燃物/不燃物ごとに20個/ha(除染面積)程度測定することが望ましい。
- 除染係数(Decontamination Factor)は、「除染前の表面密度(cpm)」を「除染後の表面密度(cpm)」で除した値として定義する(コリメータを組み合わせた場合の計算方法は3.2.8を参照)。

② 大気中放射性物質濃度

除染方法ごとにダストモニタリングを行い、作業員の内部被ばく防止のための保護具の装備の安全性について確認する。粉塵の発生が予想される除染作業（ブラスト、切削、土壌剥ぎ取りなど）については、作業ごとに大気中放射性物質濃度を測定することが望ましい。

(8) 除染作業終了後に行う測定

① 空間線量率・表面線量率・表面密度

- 測定点ごとに、空間線量率・表面線量率・表面密度の3種類をあわせて測定することを推奨する。なお、バックグラウンドの影響が有意な場所に対しては、表面密度の測定にあたり、コリメータを組み合わせた測定が除染効果の評価に有効である（3.2.8参照）。
- 除染作業終了後には、除染作業開始前と同じ場所の測定を行い、除染作業前後の値を比較して効果を評価する。

② 土壌等の放射性物質濃度

- 除染作業終了後には、除染作業開始時と同じ場所の土壌を採取し分析すると、除染効果を把握できる。

3.2.3 作業監理

モニタリングの実施において、作業前は当日のモニタリング実施内容を明確にし、作業分担、作業に必要な測定機器の準備を進める。モニタリング実施中は、所要の測定方法に基づき確実な作業を行い、測定値の記録を確実に実施する。作業後は、測定に要した測定機器の後片付けや測定記録の整備を行う。これらの作業が着実に進められるように、作業監理を行う。

3.2.4 結果報告書

測定結果は、速やかに整理し、除染方法の選択や評価に供する。その際、下記に留意して行うこと。

- 表計算ができるソフトウェアを使用し、電子ファイル化しておくこと。また除染前後での比較ができる表形式にしておくこと。
- 数値は有効数字に注意し、記載すること。
- 数値の表以外に、除染範囲等の図面を表示し、その上に数値、もしくは数値を色分けして表示すること。

3.2.5 情報管理

モニタリングに関連した記録や情報において個人情報等、管理の必要とするものは取り扱う人を限定するなどして管理するとともに、さらに情報の所在する場所を一元的な場所に置くなどとして管理する。

3.2.6 ホットスポットの探知方法

(1) ホットスポットになりやすい場所

ホットスポットとしては、雨水が集まる箇所およびその出口、植物およびその根元、雨水・泥・土が溜まりやすい箇所、微粒子が付着しやすい表面が荒い構造物が既存の知見として挙げられている。

本事業においても雨樋の下、水路周辺、コケ、腐植土が局所的に高い線量を有しており、既存の知見を改めて確認した結果となった。

(2) ホットスポットの確認方法

上記のホットスポットになりやすい場所を参考に、「放射線測定に関するガイドライン」2(2) 3「汚染ポイント周辺の空間線量率の測定」に準じて確認を行う。

その他、ホットスポットを見つけるために、放射線測定器を携帯し測定値をリアルタイムで視認しながら除染対象エリアを徒歩で巡回して、周辺より放射線量が高い値を示す場所を特定する。必要に応じ二次元の視認データを得ることができるガンマプロッター等を有効に利用するなどにより、ホットスポットを探索する。

3.2.7 他調査実績の活用

除染対象面積あたりの測定点数を増やすことによって面的分布の測定精度向上に有効であるが、点数の増量には現実的には限界がある。そこで、他で行われている調査による知見を活用していくことが広域除染計画策定や評価に対して効果的である。例としては以下が挙げられる。

- 無線ヘリコプターやモニタリングカーによる測定結果の活用

無線ヘリコプターは、本体に大型プラスチックシンチレーション検出器を搭載し、地上局（ワンボックスカー）から無線で遠隔操作するもの。1秒ごとに計数率データとGPSデータを採取し、換算係数(Cd)を使用して地上1mにおける空間線量率に換算する。迅速に広範囲を測定することができる上、プログラム飛行が可能のため、同一ルートでの飛行により除染効果の確認、経年変化による変動追跡等が可能である。また、人が容易に立ち入れない田畑の中や、森林、山の斜面等でも測定可能である。

モニタリングカーは、NaIシンチレーション式サーベイメーターおよび電離箱式サーベイメーターを搭載し、道路上を走行しながら、測定値とGPSによる位置を記録する。データ採取終了後、予め実測により定めた補正式を用いて、車内で計測した線量率を地上1mの空間線量率に換算する。

3.2.8 バックグラウンドの影響の考慮方法（事例）

放射性物質が面的に分布しているため、GM計数管型サーベイメーターを用いて表面密度を測定する場合、検出部の端窓面直下の測定対象面以外から放射線が入射することが避けられない。本報告書では測定対象面以外から検出器に入射する放射線による寄与分をバックグラウンドと呼ぶ。

除染作業により当該地点の表面密度が低下しても、未除染の地域に由来するバックグラウンドが計測されてしまうため、除染前後の表面密度の低減率あるいは除染係数が実際より小さく算出されることがある可能性に注意する必要がある（図3.2-3参照）。

そこで、除染効果を評価するためには、バックグラウンドの影響を考慮する必要があり、それにはコリメータを組み合わせた測定もある（図 3.2-4）。なお、一般環境中では、コリメータを使用しても外部からの影響を全て排除できるものではなく、緩和できる程度であることに留意が必要である。

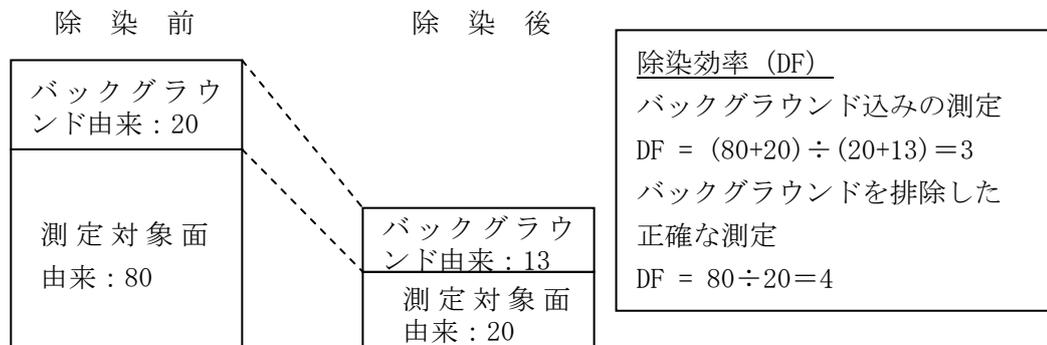


図 3.2-3 除染前後のバックグラウンド



図 3.2-4 コリメータを使用した測定作業の例

① コリメータ仕様

- コリメータは、GM 計数管型サーベイメーターの検出器が十分に隠れる大きさの鉛製の円筒管形状のものがよく使用される。
- 除染作業前後の表面密度を比較し、除染効果を評価する場合はコリメータ仕様（外径、肉厚、高さ、材質等）を統一しておく必要がある。

② バックグラウンドを考慮した計算方法

- GM 計数管型サーベイメーターを使用し、コリメータなしとコリメータありの2種類の測定を行う（図 3.2-5）。
- バックグラウンドは、測定対象面以外からのβ線およびγ線に由来する。β線は厚さ 3mm 程度のアクリル板 1 枚で遮へいできるため、通常使用されるコリメータを使用した場合、ほぼ全量が遮へいされる。一方、γ線は、コリメータによって一部遮へいされるが、残りは検出器に入射する。コリメータを透過する割合を透過率と呼ぶ。
- 透過率は、放射線のエネルギー、透過層の厚さ（遮へい材厚さ）、材質により決定される。

例えば、鉛板の Cs-137 半価層 (ガンマ線が半分になる厚さ) は 7mm である。なお、遮へい材が十分に厚いと、透過率をゼロとみなせる場合がある。

- 測定対象面からの β 線と γ 線による寄与をそれぞれ β と γ 、バックグラウンド (測定対象面以外から) の β 線と γ 線による寄与をそれぞれ β_{BG} と γ_{BG} と定義する。また、透過率を S とする。さらに、コリメータなしの場合の計数値を X_1 (cpm)、コリメータありの場合の計数値を X_2 (cpm)、バックグラウンドのと定義する。
- バックグラウンドの計数値は、下式により計算できる。

$$\beta_{BG} + \gamma_{BG} = \frac{X_1 - X_2}{1 - S}$$

- バックグラウンドの寄与を考慮した正味の計数値 X_0 (cpm) は、下式により計算できる。

$$X_0 = X_1 - \frac{X_1 - X_2}{1 - S}$$

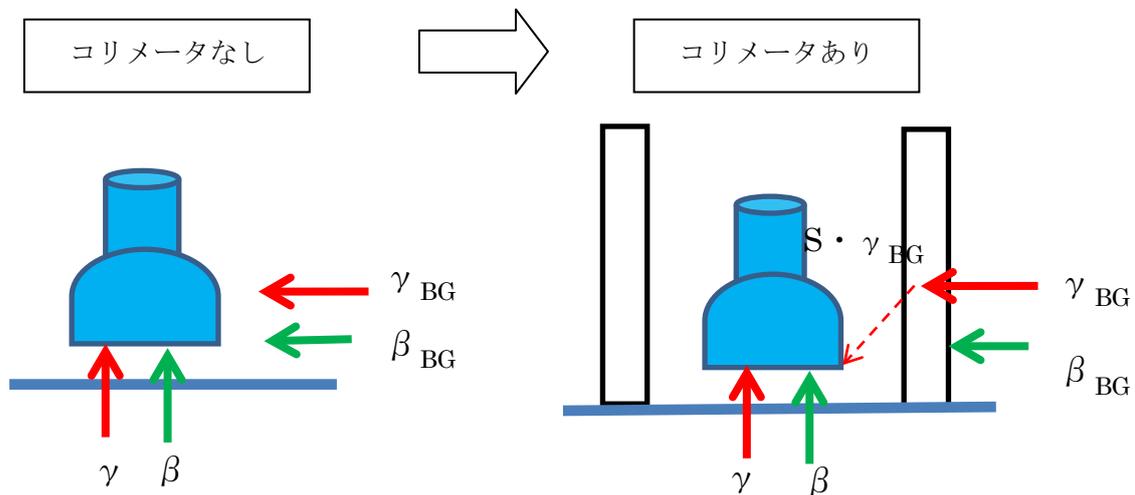


図 3.2-5 コリメータによる遮へい効果概念図

③ その他

- コリメータの測定対象面への接触によって汚染する可能性があるため、養生と除染を適宜行う必要がある。
- コリメータで推定したバックグラウンド値は、 β 線寄与分に関する情報は地表面材質など未だ検討の余地があること、セシウム 134 から発する γ 線のエネルギーはセシウム 137 とやや異なること、コリメータ上部方向からの回り込みの程度など、なお誤差を含むものであることに留意する。

3.2.9 測定対象の特徴に応じた測定（事例）

(1) 建物壁等

建物壁や屋根にコリメータを固定することは難しいため、測定に際しては工夫が必要である。例えば、空間線量率が $3\mu\text{Sv/h}$ 程度だと、GM計数管型サーベイメーターによる計数値は1000cpm程度あるため、汚染していない場所や十分な除染効果が得られている場合でも汚染の有無の確認すら難しい場合もありえる。そのような場合の対応例として下記（図3.2-6）がある。

GM計数管型サーベイメーターは β 線と γ 線を計測するが、アクリル板を検出部に当てると β 線は遮へいされる。このためアクリル板の有無の計測値の差が β 線由来と言える。アクリル板を使つての対象物の β 線の量と、汚染源が至近にない周辺の場所での β 線の量が大きく異なれば汚染の可能性が濃く、大差なければ可能性が薄いことが分かる。

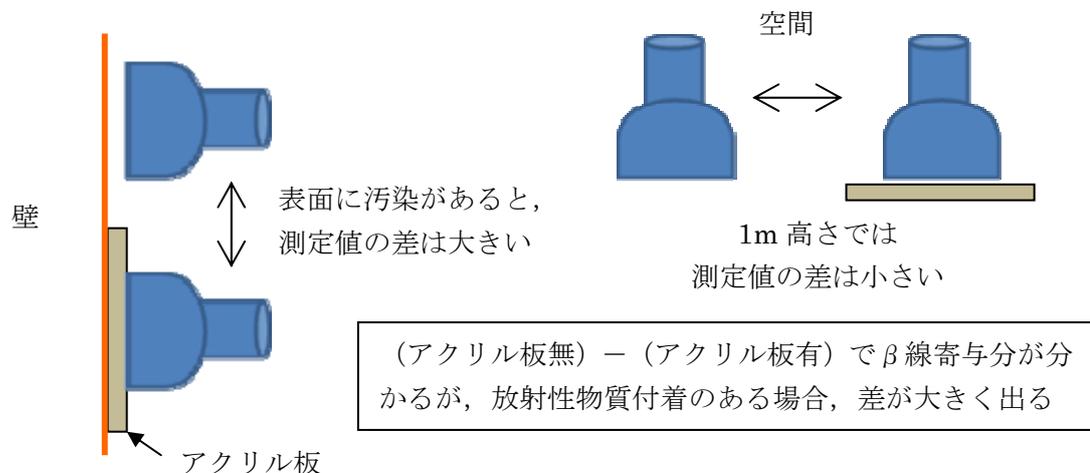


図3.2-6 汚染の有無を判別する方法（壁の例）

窓について、ガラス面は壁と同様、直接GM計数管型サーベイメーターによる測定が可能であるが、棧はスミアろ紙によりふき取った後、GM計数管型サーベイメーターによる測定を行うことで放射性物質の付着状況を確認できる。

(2) 屋根・雨樋

屋根への放射性物質付着状況は高所作業となり、実施が難しい場合も多いため、以下の工夫が必要である。

- エリアモニターなど、検出器と測定値表示盤間のケーブルが長い測定器を使用する。支持棒に検出器を結び付けて地上から位置操作・測定値確認を行うことにより、安全に測定が可能となる（図3.2-7）。
- 雨樋についても同様に高所作業への対応を行う方法があるが、検出器部分が雨樋の中に極力入るようにすることが望ましい（図3.2-8）。



図 3.2-7 エリアモニターによる測定の例



図 3.2-8 サーベイメーターによる測定の例

(3) 室内

室内におけるモニタリングを行う場合、室内の放射性物質の付着によるものと屋外の放射性物質の影響によるものが計測されることになるため、測定に際しては以下の工夫が必要である。

- 放射性物質の付着の有無を確認するためには、部屋中央と窓際で測定を行い、その差を確認する方法、また、屋内でスミアろ紙による床の一定面積をふき取り、GM 計数管型サーベイメーターで測定する方法がある。

(4) 森林

森林におけるモニタリング値は、落葉状況や下草繁茂状況、樹種等によってその意味合いが異なり、除染方法等に影響を及ぼすため、以下の点に留意する必要がある。

- 測定結果とともに測定場所における下草や広葉樹・針葉樹の落葉状況を備考欄等に追記しておく。
- 樹木の根元はホットスポットとなっていることも多いため、地域の平均的な線量率を測定する場合はこのような場所を避けるようにする。
- 森林内は傾斜地である場合が多く、転倒・滑落等に対する安全対策をとること。また、写真撮影や樹木へのマーキング等を行い、測定場所を確認できるようにしておく。