

第2章 放射線測定方法の選択

(1) 放射線測定器の選択

除染効果の判定のためには除染前後に除染面の汚染状況を測定する。放射線測定の手法として、測定対象表面からの β 線を評価する表面汚染測定と、表面及び表面から深い位置からの γ 線を評価する測定がある。

① 選択する測定器

a) 表面汚染を測定する場合：GMサーベイメータ

表面汚染測定には原則としてGMサーベイメータを使用する。

b) 表面より深い位置の汚染（浸透汚染）を確認する場合：NaIシンチレーションサーベイメータ

汚染が対象物に浸透している場合は、 β 線は透過力が弱く対象物内部で遮へいされてしまい表面まで到達しないため、GMサーベイメータは適さず、NaIシンチレーションサーベイメータ（原則としてエネルギー補償型とする）を使用する。

② その他の測定器

本手引書では除染効果の判定を目的としてGMサーベイメータとNaIシンチレーションサーベイメータの利用を記しているが、広域な対象を面的に把握できる測定器を参考として紹介する。

【解説】

除染効果の判定のためには、除染作業開始前と除染作業終了後における除染対象場所の放射線測定を実施する。

測定では、測定対象表面からの β 線を評価する表面汚染測定と、表面及び表面より深い位置からの γ 線を評価する測定方法がある。表面汚染を測定する場合には、表面汚染から放出される β 線を特化して測定するためにGMサーベイメータを使用する。なお、表面及び表面より深い位置の汚染を測定する場合には、 γ 線を特化して測定するためにNaIシンチレーションサーベイメータを用いる（図2-1参照）。これは、表面より深い位置からの β 線は、透過力が弱く対象物内部により遮へいされてしまい表面まで到達しないため、 β 線を測定できるGMサーベイメータは適さないためである。なおNaIシンチレーションサーベイメータはエネルギー補償機能のあるものを用いる。同様の理由で、天地返し、客土等、除染前に土壌表面にあった放射性物質が、除染後に土壌内部に移行する除染方法を適用した場合、GMサーベイメータを使用した測定は除染効果の判定に適さないため、NaIシンチレーションサーベイメータを用いる。

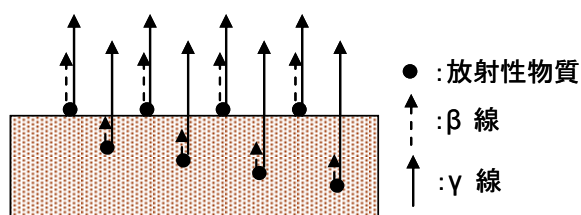


図 2-1 表面から深い位置の汚染

測定対象と汚染形態に応じた測定器区分を表 2-1 に示す。

① 選択する測定器

測定には、JIS 規格又は IEC 規格に準じた測定器を使用することを推奨する。以下に国内で広く流通している測定器を紹介する。

a) 推奨 GM サーベイメータ

JIS Z 4329 放射線表面汚染サーベイメータ 準拠品

名称：GM サーベイメータ

形名：TGS-146B 日立アロカメディカル株式会社製

名称：GM 管式表面汚染測定用サーベイメータ

形名：NHJ120 富士電機株式会社製

b) 推奨 NaI シンチレーションサーベイメータ

JIS Z 4333 X線及びγ線用線量当量率サーベイメータ EIII型準拠品

名称：エネルギー補償型γ線用シンチレーションサーベイメータ

形名：TCS-172B 日立アロカメディカル株式会社製

名称：エネルギー補償型γ線用シンチレーションサーベイメータ

形名：TCS-171B 日立アロカメディカル株式会社製

名称：エネルギー補償型γ線測定用シンチレーションサーベイメータ

形名：NHC7 富士電機株式会社製

※：上記以外の測定器の使用を妨げるものではない。

表 2-1 汚染形態に応じた測定器区分

| 使用測定器 | 汚染形態 | 部材、材質、地表面の状況 |
|-------------------------|------|--------------|
| GM サーベイメータ | 表面汚染 | アスファルト（不透水性） |
| | | 金属 |
| | | プラスチック |
| | | ガラス |
| | | タイル |
| | | 植栽 |
| NaI シンチレーション サーベイメータ | 浸透汚染 | コンクリート※ |
| | | アスファルト（透水性） |
| | | セメント瓦 |
| | | 木材 |
| | | 土壁 |
| | | 生垣 |
| | | 砂利・砂 |
| | | 土壌 |
| | | 草地・芝地 |
| | | 落葉・下草 |

※：経年劣化等により汚染が浸透するか否か判断し難い場合があるため、浸透汚染に分類し、NaI シンチレーションサーベイメータで測定を行うこととした。

② その他の測定器

本手引書では除染効果の判定を目的としてGMサーベイメータとNaIシンチレーションサーベイメータの利用を記しているが、1m高さの空間線量率測定のための測定器と広域な対象を面的に把握できる測定器を参考として紹介する。

a) 1m 高さの空間線量率の測定

1m 高さの空間線量率を測定する場合には、 γ 線を測定できるNaIシンチレーションサーベイメータ等の測定機器を使用する⁵。なおNaIシンチレーションサーベイメータの測定範囲を超えるような場所では、電離箱式線量計の使用を推奨する。

⁵ シンチレーション式サーベイメータ（または電離箱式線量計）等を用いて空間線量率を $\mu\text{Sv/h}$ 単位の被ばく線量評価に使用する場合は、コリメータ（周囲からの放射線の影響を低減した状態にするために、検出器の周囲を囲む鉛ブロックなどの遮へい体）を使用しない。これは、コリメータを使用しない条件でのみ空間線量率（周辺線量当量率： $H^*(10)$ ）が正しく測定できるからである。

・推奨電離箱式線量計

JIS Z 4333 X線及びγ線用線量当量率サーベイメータ EI 型準拠品

名称：電離箱式サーベイメータ

形名：ICS-323C 日立アロカメディカル株式会社製

名称：電離箱式サーベイメータ

形名：ICS-331B 日立アロカメディカル株式会社製

名称：1cm 線量当量率電離箱式サーベイメータ

形名：NHA1 富士電機株式会社製

b) 補完して利用できる測定器

汚染状況を面的・効率的・合理的に確認するために有効である、現在実用化されている新型測定器の例を提示する。

■ シンチレーションファイバーを用いた測定器

放射線で発光する特殊な光ファイバーを検出部として用いた測定器で、検出部が長くひも状で軽量なため、狭隘部、水分の多い場所、水中、高所、湾曲した対象を線状に短時間で測定することができる。

測定対象を連続的に測定できるので、ホットスポットの確認には有効。

本手引書の実証試験で使用し、通常の測定では見落としていたホットスポットを確認できた。

■ ガンマカメラ

ガンマカメラは、測定されたガンマ線がどの方向からどれだけ飛来したか判別することができるため、カメラを測定対象に向けることで、測定対象の表面汚染状態を離れた場所から知ることができる。

除染対象表面を直接測るものではないため除染効果の判定には使用できないが、除染の見える化としては有効な装置である。

■ 歩行サーベイ

γ線の測定器、位置確認のGPS、データ記録のPCを組み合わせたシステムが実用化されている。システムは車載型のものや人が背負う型のものなどがある。人が背負う型を本手引書の実証試験で使用した。

歩行サーベイでは歩行に応じて連続的にデータが集約できるので、汚染レベルの傾向や、ホットスポット確認に有効である。

(2) 除染対象場所のアクセス性に応じた放射線測定方法の選択

GM サーベイメータ、NaI シンチレーションサーベイメータを使用しない場合の測定方法例を示す。

① スミア法

表面が円滑な材質の対象物に対して遊離性の汚染を確認するために有効。
屋内の汚染測定にも有効。

② サンプルング法

土壌や水等を試料採取して汚染濃度を測る方法である。
時間とコストに係るが、正確な汚染濃度を知ることができる。

【解説】

① スミア法

スミア法は測定対象の表面をふき取りろ紙等でふき取って、ふき取りろ紙に付着した放射性物質を測定することで表面汚染密度を調べる間接的な方法である⁶。

遊離性の汚染を測定することができるが、測定対象に放射性物質が固着している場合は不向きである。

放射性物質がふき取りで収集できる効率はふき取り効率と定義され、対象物表面の性状で大きく異なる。JIS ではエポキシ樹脂 塗装面やビニール床シート等で 0.5、それ以外の面や実験的に評価されていないときは 0.1 をふき取り効率に用いることになっているが、今回のように屋外を対象にした事例ではさらに効率が下がる場合も想定すべきである。

除染対象場所の比較に用いるのではなく、個々の除染場所において遊離性の汚染が除去できたかの判断には使用可能である。

スミア法を使用して判定しやすい対象としては、ガラス面、塗装面、プラスチック・樹脂面、ビニール面等が考えられる。

建物のガラス窓(屋外面)、円滑な材質の外壁、円滑な材質の屋根には適用が可能である。屋内は空間線量率で除染後の測定をしている場合が多い。しかし、内部被ばくの観点から屋内のスミア測定は意味があると考えられる。

現在本格除染が実施されている場所では、スミア法はあまり利用効果がないと思われるが、高汚染エリアの除染が行われる場合に屋内の汚染検査として利用可能な方法である。

② サンプルング法

土壌等をサンプルングして放射性物質濃度を測定することもできる。

⁶ JISZ4504「放射性表面汚染の測定方法」

土壤に限らず、測定器で直接測定できない状態において、試料をサンプリングしての測定を代替措置として使用できる場合がある。

土壤におけるサンプリングによる放射性物質測定は次のように行われている。

(a) 簡易測定

除染場所の汚染土壤レベルが除染電離則に示す基準を超えているかを判断するために簡易測定法で判定する。

土壤等の簡易放射性物質濃度測定⁷（放射線障害防止上の判断）

| | |
|---------------------------------|------------------|
| V 5 容器 ⁸ に土壤等を収納した質量 | C kg |
| 容器表面の放射線量率 | A μ Sv/h |
| 測定日に応じた係数 | X ガイドライン表 1 |

次式で簡易的に 1 万 Bq/kg か 50 万 Bq/kg を超過しているかを判定する。

$$(\text{容器表面放射線量率 } A) \times (\text{係数 } X) / (\text{収納した容器質量 } C) \quad \text{Bq/kg}$$

(b) 精密測定

土壤の除染において、除染前後に土壤をサンプリングし放射能分析をすることで、土壤の放射性物質を評価する。

Ge 半導体検出器による放射性物質濃度測定

U-8 容器（100ml）に資料を充填し測定する。

検出限界は 水 ~ 2 Bq/kg

 土壤 数十 \sim 数百 Bq/kg

測定手順は、日本分析センターの放射能測定シリーズ⁹に従って実施する。

(c) 適用可能な場所

・土壤面の除染効果

土壤面の除染効果を判断するためには有効である。

除染前後で土壤をサンプリングして放射性物質を測定することで除染効果を判断できる。

ただし、天地返しの場合は、放射性物質を除去しておらず、放射性物質を希釈する工法なので、除染前の表層の土壤における放射性物質を確認し記録しておくことは、将来の追跡確認を行うために意味がある。

⁷ 厚労省：除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン
<http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anzen/dl/120118-01.pdf>

⁸ V 5 容器：丸型 V 容器（128mm ϕ \times 56mm H のプラスチック容器）

⁹ 財団法人日本分析センター 放射能測定シリーズ <http://www.jcac.or.jp/series.html>

(3) バックグラウンド影響の考え方

広範囲な環境汚染では、バックグラウンドと環境汚染に起因する放射線との区別が困難である。

① 除染評価のために

バックグラウンドは測定対象物以外からの放射線の影響を意味しており、環境汚染前にも存在しているものである。広範囲の環境汚染がバックグラウンドに加わって、除染効果を確認する測定に影響を与えている。コリメータ等の使用によって、バックグラウンドの影響を軽減することを推奨する。

② ホットスポットに対して

環境汚染の中で局所的に高い放射線量率となるホットスポットが存在する。除染評価に使用する測定場所がこのホットスポットの影響を受けることは避けるべきである。したがって、バックグラウンド影響については、測定場所がホットスポットの付近で無いことを確認するために使用する。

【解説】

バックグラウンド

一般的にバックグラウンド (BG) は、放射線測定器自身の持つ放射性物質や電氣的なノイズによる計数と周囲から入射する放射性物質からの計数がある。前者については、時間的な変化はほとんど無いと考えられるが、後者は、周囲の状況により大きく変化する。

周囲の状況とは、測定場所における雨、雪等の自然現象に伴う変化と測定対象物の配置が変わることなどが考えられる。また、広範囲の環境汚染の中では、周囲の状況にこの環境汚染よりの放射線も含まれている。

一般的に、放射線測定器は、使用する前に測定場所のバックグラウンド測定を行い、その値を差し引いて正味の測定値として取り扱う必要がある。

広範囲に放射性物質が拡散しているような環境下においては、バックグラウンドと、環境汚染による放射線が加算された状態で測定されている。

ホットスポットのように一部が高放射線量を示す場所での測定値をバックグラウンドとして取扱うと大きな誤差を発生させる。周囲との放射線量の差が無く、付近にホットスポットが存在しないことをバックグラウンド測定によって確認することが必要となる。

また、放射性物質による広範囲な環境汚染が生じていない一般的な状況下においては、バックグラウンドは、できるだけ低い放射線量であることが望ましく、ホットスポットなどがあつた場合、除染を行うか若しくは測定場所を変更することが必要となる。

広範囲の環境汚染の中でのバックグラウンド影響は、その測定値が汚染の状況を示した数値となっており、測定対象よりの影響が大きいのか、それとも周囲からの（たとえばホ

ットスポット) 影響なのかを確認することに使用する。

上記内容を模式的に示す。

放射性物質による汚染が無いエリアを考えてみる (図 2-2)。

バックグラウンドの測定を 5 回実施し、平均値が $0.12 \mu\text{Sv/h}$ 、ばらつき (バックグラウンドの標準偏差 $\times 3$) が $0.03 \mu\text{Sv/h}$ であった場合を例にとる。

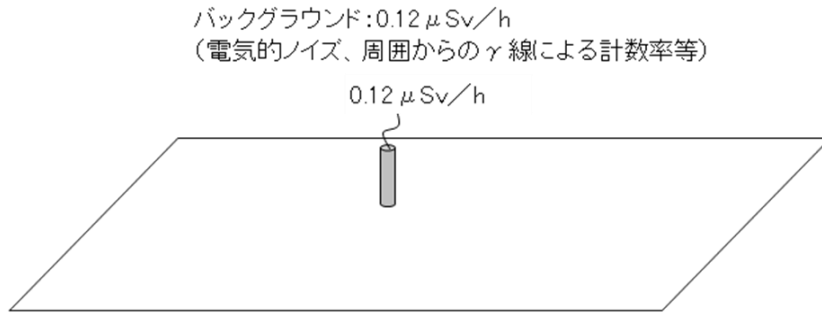


図2-2放射性物質による汚染の無いエリア

この場所に広範囲な放射性物質の汚染がある場合は、除染対象場所以外からの影響を取り除くことが難しいので、測定値をそのまま評価に使用する (図 2-3)。

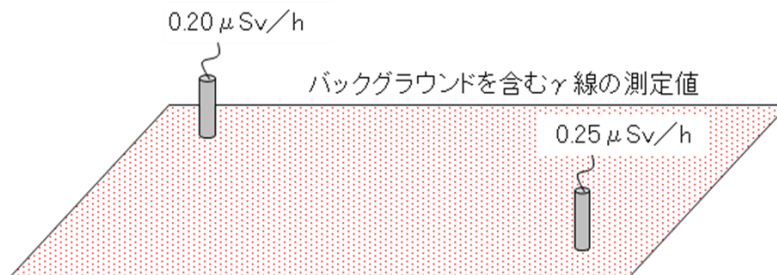


図2-3. 広範囲な汚染のあるエリア(汚染をドットで示す)

この場所に部分的汚染があった場合はバックグラウンドと比較して汚染が有意か否かを判断することは可能である (図 2-4)。

バックグラウンド ($0.12 \mu\text{Sv/h}$) + ばらつき ($0.03 \mu\text{Sv/h}$) を超える測定が汚染と判定できる。図 2-4 の場合は、 $0.16 \mu\text{Sv/h}$ の測定点が汚染していると見なせる。

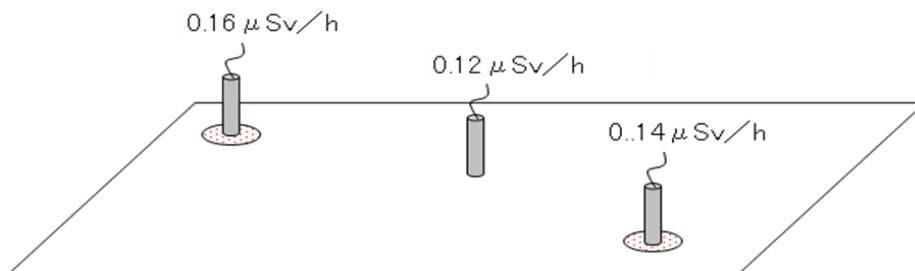


図2-4局所的な汚染の有るエリア(汚染をドットで示す)

GM サーベイメータ等で、 β 線を対象として測定する場合などでは、測定場所周囲での影響について情報として使用する。

バックグラウンドは、計数率が低く、放射線測定器の最高感度のレンジで測定されることが通常であるが、環境汚染により高い線量となっている場合は、測定される線量に対応したレンジとする。

放射線測定器は、測定値を読み取りやすくするために、時定数により計数を平滑化している。時定数を選択できる放射線測定器もあるが、使用するレンジに合わせて自動的に設定される放射線測定器もある。時定数は、取扱説明書等に記載されているので参照願いたい。

放射線測定器には計数率計が使用されており、大きな時定数（秒）を選択すると指示値のふらつきは安定するが、計数率の変化に対する応答速度が遅くなる。

計数率の変化に対する応答は、時間を t とすれば計数率が増加するとき $1 - e^{-t/\tau}$ となるため、選択した時定数（秒）の3倍（約95%）～5倍（約99%）程度の時間をおいてから測定値を読取らないと大きな誤差を生じることになる。図 2-5 に時定数 30 秒の場合の指示値の応答性を示す。

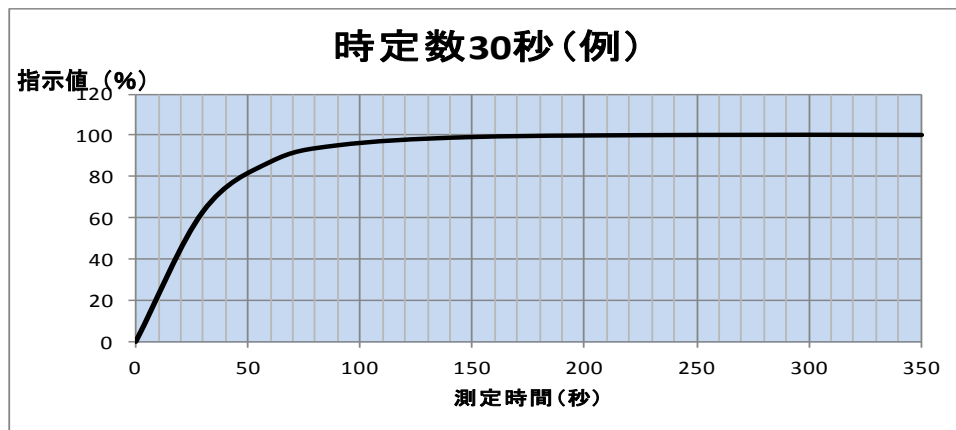


図 2-5 時定数 30 秒の場合の指示値の応答性

(4) 周辺影響の低減方法

放射線測定時に周辺からの放射線の影響を低減するため、以下の方法を推奨する。なお、同一の測定点では同一の低減方法を行うことが重要である。

① GM サーベイメータ使用時の周辺影響低減方法

コリメータを使用せず、GM サーベイメータの検出器と測定対象間にアクリル板を置き測定を行う。アクリル板の有無の差をとることにより、周辺からの放射線の影響を除外する。

② NaI シンチレーションサーベイメータ使用時の周辺影響低減方法

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。

【解説】

福島第一原子力発電所の事故によって、当該原子力発電所周辺には放射性物質が広く拡散しているため、対象地点の汚染の程度をより特化して確認する方法として、検出器の周囲をコリメータ（鉛ブロックなどの遮へい体）で囲み、周辺からの放射線の影響を低減した状態で測定し除染効果（除染作業前後の相対値）を評価する方法が紹介されているが、本手引書では実証試験の結果から下記の方法を提案する。なお除染作業前後における評価の整合性を得るためには、同一の測定点で同一の測定方法を行い、その測定結果の比率から除染効果を求めることが重要である。

① GM サーベイメータ使用時の周辺影響低減方法

コリメータを使用せず、GM サーベイメータの検出器と測定対象間に、測定対象からの β 線をカットする2mm以上の厚さのアクリル板を置き測定を行う。これにより、アクリル板を置いていないときの測定値と、アクリル板を置いたときの測定との差をとることで、測定対象からの β 線のみを評価できる（図2-4）。

アクリル板は測定面を覆える大きさで厚みが2mm以上のものを用意すること。

ただし、今後の知見により高線量率下においてはGM サーベイメータにコリメータを使用することは考えられる。

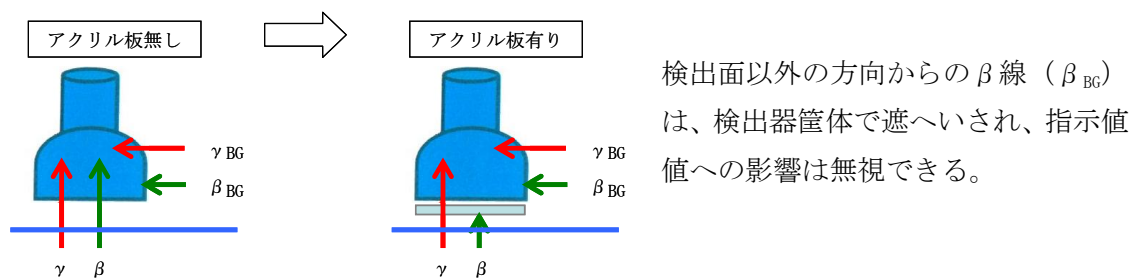


図2-4 アクリル板の使用

正味の指示値（測定対象からのβ線）＝アクリル板なしの測定値（ $\gamma + \beta + \gamma_{BG} + \beta_{BG}$ ）
 －アクリル板ありの測定値（ $\gamma + \gamma_{BG} + \beta_{BG}$ ）

② NaI シンチレーションサーベイメータ使用時の周辺影響低減方法

コリメータを使用し、NaI シンチレーションサーベイメータの検出器の周囲を鉛で囲うことにより、周辺からのγ線の影響を少なくして測定を行うことができる。ただし、その際には、指示値は $\mu\text{Sv/h}$ の単位等で得られるが、除染効果の比較としてのみ使用し、被ばく線量評価には用いないこと。

なお、コリメータを使用せずに測定を行うことも可能であるが、コリメータを使用した測定と得られる結果が異なるため、除染前後の同一の測定点ではコリメータの使用有無を統一する。また、コリメータ使用時には同一のコリメータを使用する。

また、コリメータ使用時には、周辺からのγ線の影響が少なくなり、測定対象に特化した評価が可能であることから、除染開始前における測定対象の汚染の有無を確認するために利用することができる。

使用するアクリル板やコリメータは放射性物質が付着すると測定誤差になるので、適時に紙ウエス等でふき取りを行うことが望ましい。

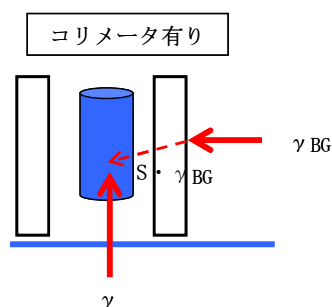


図 2-5 コリメータの利用



仕様：エネルギー補償型γ線用シンチレーションサーベイメータ（TCS-171B、TCS-172B）用

寸法：約 W 255×D 89.1φ×H 129.1 mm

鉛厚：10 mm

重量：10.8 kg

図 2-6 コリメータ例

表 2-2 鉛厚毎の ^{137}Cs γ 線透過率 (参考)

| | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 鉛厚(mm) | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 20 |
| 透過率 | 0.91 | 0.82 | 0.74 | 0.61 | 0.50 | 0.37 | 0.14 |

半価層 (透過率=0.5) を 7 mm として以下の式から透過率を算出

$$\text{透過率} = 0.5^{(t/7)} \quad , \quad t : \text{厚さ(mm)}$$

なお、上記の値は理論値であるため、実測値での確認を十分行って使用すること。

表 2-3 舗装面 (コンクリート) における遮へい方法の違いによる測定結果
(NaI シンチレーションサーベイメータ)

| 遮へい方法 | 測定タイミング | 測定ポイント | | | | | | |
|---------|---------|--------|------|------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ |
| コリメータ無し | 除染前 | 0.37 | 0.19 | 0.23 | 0.21 | 0.19 | 0.24 | 0.19 |
| | 後除染 | 0.18 | 0.14 | 0.18 | 0.16 | 0.15 | 0.16 | 0.14 |
| コリメータ有り | 除染前 | 0.13 | 0.06 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.07 |
| | 除染後 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |

※：コリメータを使用すると、測定ポイント②～⑦において、バックグラウンドレベルの指示値 (0.05～0.08) となり、除染対象から外すことができる。

※：コリメータ 鉛厚：10 mm