

放射能測定法シリーズ

No. XX

大気中放射性物質測定法  
(策定案)

令和 4 年 3 月

Blank Paper

## はじめに

大気中放射性物質測定は、原子力施設から放出された放射性物質の早期検出、環境中への放射性物質の拡がりの確認及び大気の吸入による被ばく線量評価等のために重要である。

放射能測定法シリーズ No. XX「大気中放射性物質測定法」は、原子力災害対策指針（原子力規制委員会、令和3年7月21日一部改正）[1]において記載されている「大気中の放射性物質の濃度」（以下「大気中放射性物質濃度」という。）を測定するために策定されたマニュアルである。

大気中放射性物質濃度の測定には、粒子状放射性物質を含む大気浮遊じん（以下「大気浮遊じん」という。）を採取しながら連続測定を行うダストモニタ及び大気モニタ、大気浮遊じんを採取するダストサンプラ、大気中の放射性ヨウ素（粒子状及びガス状）を採取するヨウ素サンプラ、大気中の放射性希ガス等のガス状放射性物質を連続測定するガスモニタを使用する。

ダストモニタは一般的な機器名称であるが、本測定法では、原則として平常時に使用する機器をダストモニタ、緊急時のみに使用する機器を大気モニタと定義して区別している。測定原理は両者とも同じであるが、大気モニタは緊急時のために増設した当該機器を言い、短い時間間隔で迅速に大気中放射性物質濃度を測定することができる仕様となっている。ダストモニタは、原則として平常時に使用する機器であるが、緊急時においては大気モニタと同等の機能を有する緊急時モードで追加運用してモニタリング体制を強化することとしている。

本測定法は、平常時と緊急時の両方において測定を実施するための手順を定めている。

平常時と緊急時では、大気中放射性物質濃度を測定するという基本的な目的及び使用する機器には共通点があるものの、モニタリングの目的やデータ評価の考え方は異なる部分があることから、第1部を平常時における大気中放射性物質測定、第2部を緊急時における大気中放射性物質測定とする2部構成としており、各部を独立したマニュアルとしても使用できるように策定している。

平常時における大気中放射性物質測定（第1部）では、ダストモニタによる連続測定、ダストサンプラ等による大気試料の採取から分析、ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析、ガスモニタによる連続測定についての測定手順を記載している。

緊急時における大気中放射性物質測定（第2部）では、大気モニタによる連続測定、大気モニタにより採取した大気試料の分析、ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析、ダストサンプラによる大気試料の採取から分析の測定手順を記載している。

放射能測定法シリーズは、各機関による測定データが信頼性のあるものとなるよう標準的な測定方法を示しているものである。本測定法は、策定時点における最新の技術的な水準と知見を反映しているが、日々新しい技術が検討されていく中で開発された、より信頼性が高く、より適切な方法を否定するものではない。本測定法を活用するにあたっては、放射能測定法シリーズの趣旨を踏まえ、記載内容を基本としつつ、大気中放射性物質濃度の測定を適切に実施する上で最適な方法を選択するための一助としていただきたい。

# 構 成

## 第 1 部 平常時における大気中放射性物質測定

- |       |                        |
|-------|------------------------|
| 第 1 章 | 序論                     |
| 第 2 章 | 基本事項及び適用範囲             |
| 第 3 章 | ダストモニタによる連続測定          |
| 第 4 章 | ダストサンプラ等による大気試料の採取     |
| 第 5 章 | ダストサンプラ等により採取した大気試料の分析 |
| 第 6 章 | ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析  |
| 第 7 章 | ガスモニタによる連続測定           |
| 解 説   |                        |

## 第 2 部 緊急時における大気中放射性物質測定

- |       |                       |
|-------|-----------------------|
| 第 1 章 | 序論                    |
| 第 2 章 | 基本事項及び適用範囲            |
| 第 3 章 | 大気モニタによる連続測定          |
| 第 4 章 | 大気モニタにより採取した大気試料の分析   |
| 第 5 章 | ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析 |
| 第 6 章 | ダストサンプラによる大気試料の採取から分析 |
| 解 説   |                       |

## 第 1 部、第 2 部共通

- |      |
|------|
| 参 考  |
| 付 録  |
| 参考文献 |

## 第 1 部 平常時における大気中放射性物質測定

Blank Paper

# 目 次

## **第 1 部 平常時における大気中放射性物質測定**

第 1 章 序論.....	7
第 2 章 基本事項及び適用範囲.....	8
2.1 測定.....	8
2.2 使用機器及び使用の流れ.....	9
第 3 章 ダストモニタによる連続測定.....	16
3.1 機器.....	16
3.2 大気捕集材.....	26
3.3 設置、校正、点検.....	28
3.4 測定.....	36
3.5 測定結果の評価.....	41
第 4 章 ダストサンプラ等による大気試料の採取.....	52
4.1 機器.....	52
4.2 大気捕集材.....	56
4.3 設置、点検.....	58
4.4 採取.....	59
第 5 章 ダストサンプラ等により採取した大気試料の分析.....	61
5.1 前処理.....	63
5.2 分析.....	70
5.3 分析結果の評価.....	71
5.4 試料保管.....	72
第 6 章 ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析.....	73
6.1 採取から分析.....	73
第 7 章 ガスモニタによる連続測定.....	75
7.1 機器.....	75
7.2 設置、校正、点検.....	79
7.3 測定.....	81
7.4 測定結果の評価.....	82
解説.....	81
解説 A 大気中放射性物質測定の有効性.....	83
解説 B 検出可能レベル.....	86
解説 C ダストモニタの測定条件設定の考え方.....	89
解説 D ダストモニタの効率.....	101
解説 E ダストモニタ測定値へのラドン・トロン壊変生成物の影響.....	106
解説 F ダストモニタ測定値における施設起因の放射性物質寄与分の弁別方法.....	109

Blank Paper



## 第 1 章 序 論

平常時モニタリングは、原子力施設の平常時の周辺環境における空間放射線量率及び放射性物質の濃度を把握しておくことにより、緊急時モニタリングに備えておくとともに、原子力施設の異常を早期に検出し、その周辺住民及び周辺環境への影響を評価するためのモニタリングとして、「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）」（原子力規制庁監視情報課、令和3年12月21日改訂）[2]（以下「平常時補足参考資料」という。）に定義されている。

平常時モニタリングにおける大気中放射性物質濃度の測定は、(1)周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価、(2)原子力施設からの予期しない放射性物質の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価のために実施する。

第 1 部では、平常時モニタリングとして実施する、ダストモニタによる連続測定、ダストサンプラ等による大気試料の採取から分析、ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析、ガスモニタによる連続測定についての測定手順を記載している。

## 第 2 章 基本事項及び適用範囲

### 2.1 測定の実施目的

平常時モニタリングでは、平常時補足参考資料に基づき、以下の 2 つの目的で大気中放射性物質濃度の測定を実施する。

#### (1) 周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価

原子力施設の周辺住民等の健康と安全を守るため、平常時から、環境における原子力施設起因の放射性物質による周辺住民等の被ばく線量を推定し、評価する。

#### (2) 原子力施設からの予期しない放射性物質の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価

原子力施設から敷地外への予期しない放射性物質の放出を検出することにより、原子力施設の異常の早期発見に資する。また、原子力施設から予期しない放射性物質の放出があった場合に、その影響を的確かつ迅速に評価するため、平常時モニタリングの結果を把握しておく。

## 2.2 使用機器及び使用の流れ

平常時モニタリングで使用する機器を示す。なお、各機器の詳細については、各章を参照すること。

### 2.2.1 ダストモニタ

#### (1) 機器の概要

ダストモニタは、大気浮遊じんをろ紙に採取しながら、大気浮遊じん中の放射能濃度を、大気中放射性物質濃度として連続測定するための機器である。ダストモニタは一般的な機器名称であるが、本測定法では、ダストモニタを原則として平常時に使用する機器として定義する。ただし、緊急時にモニタリング体制を強化するために、ダストモニタを緊急時モードで追加運用する。

また、ダストモニタをダストサンプラ（2.2.2 参照）として使用することを本測定法の範囲に含むものとする。

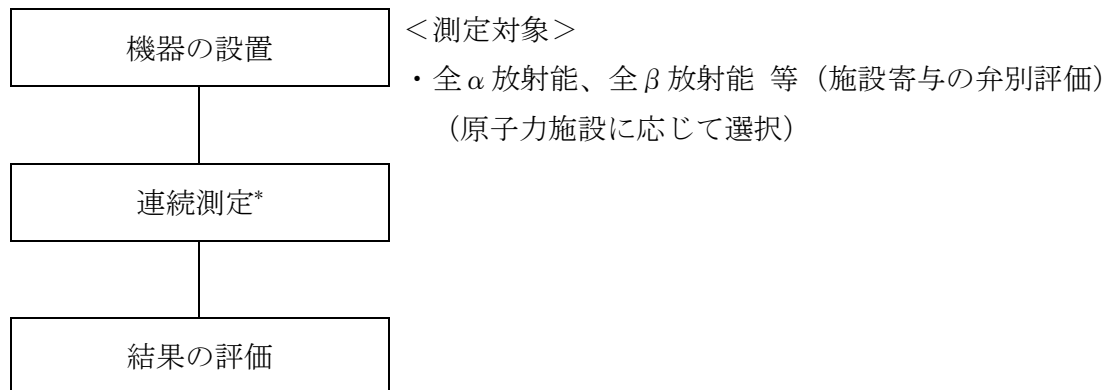


図 2-1 ダストモニタの例

(2) 使用の流れ

ダストモニタの使用の流れを示す。また、参照する主要な放射能測定法シリーズを示す。

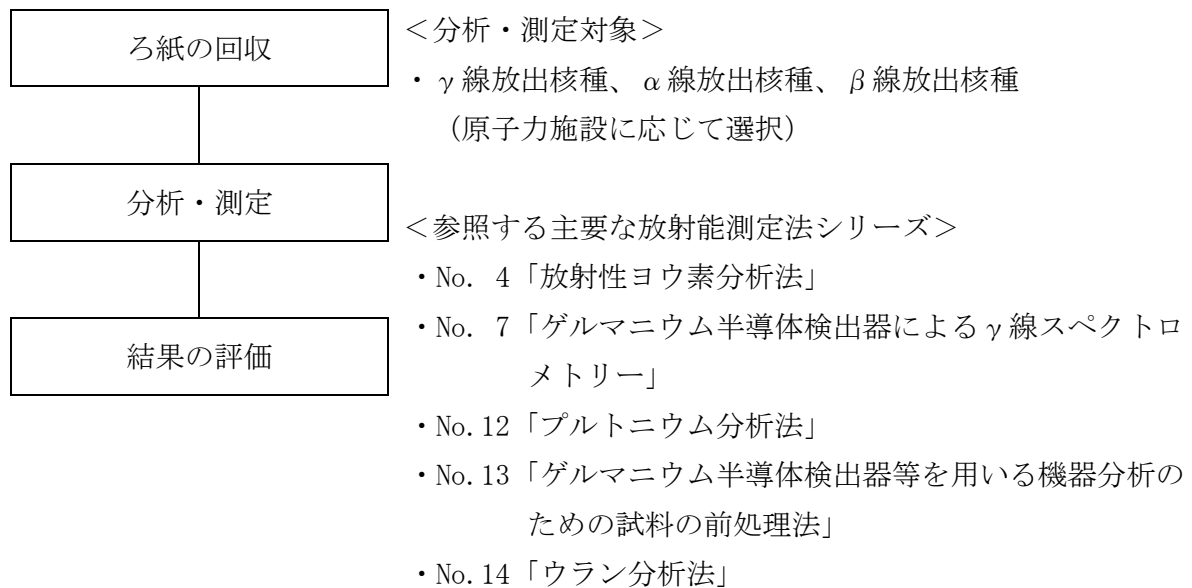
① 大気中放射性物質濃度の連続測定



\* 大気浮遊じんをろ紙へ連続採取しながらの1時間の連続測定又は1時間の連続採取及びその後10分程度の測定のことをいう。以下同じ。

また、ダストサンプラとしても使用する場合には大気浮遊じんの採取の目的も含んでいる。

② 大気試料の分析（必要に応じて）



## 2.2.2 ダストサンプラ

### (1) 機器の概要

ダストサンプラは、大気浮遊じんをろ紙に採取するための機器である。

ダストモニタも大気浮遊じんを採取することができる機器という観点から、ダストサンプラとしても使用することができる。

#### ハイボリウムエアサンプラ



#### ロウボリウムエアサンプラ

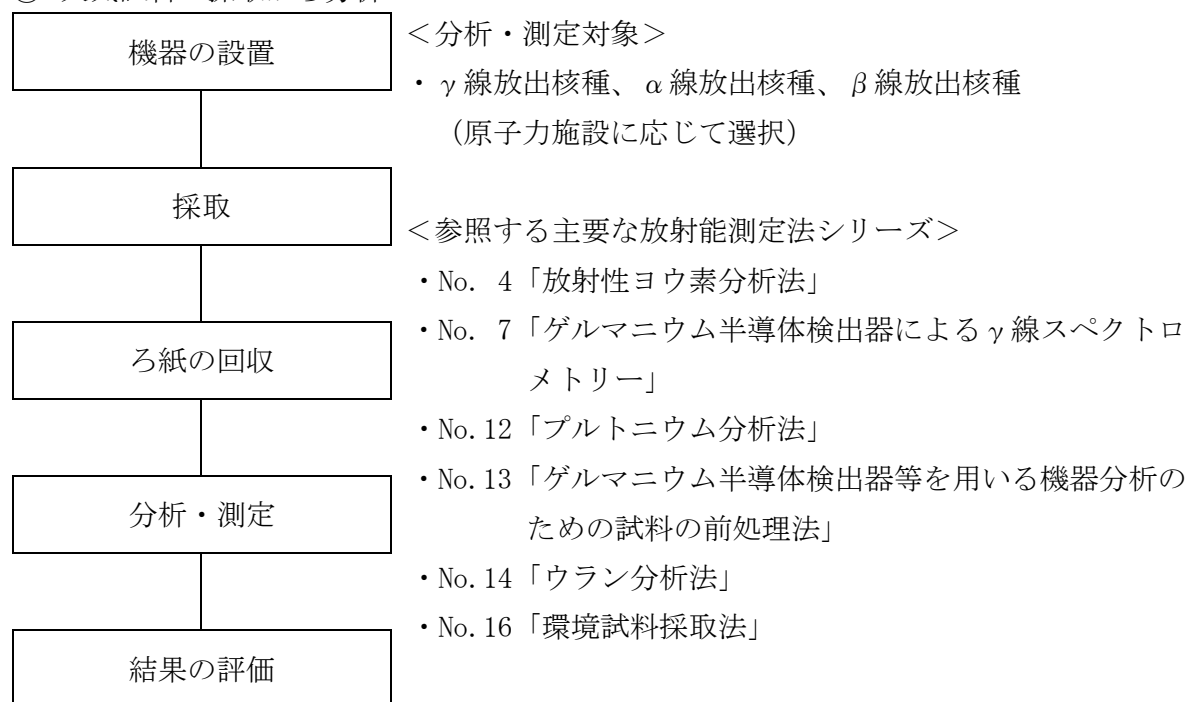


図 2-2 ダストサンプラの例

(2) 使用の流れ

ダストサンプラの使用の流れを示す。また、参照する主要な放射能測定法シリーズを示す。

① 大気試料の採取から分析



### 2.2.3 ヨウ素サンプラ

#### (1) 機器の概要

ヨウ素サンプラは、大気中の放射性ヨウ素（粒子状及びガス状）をろ紙及び活性炭カートリッジに採取するための機器である。

#### 可搬型



#### 固定型

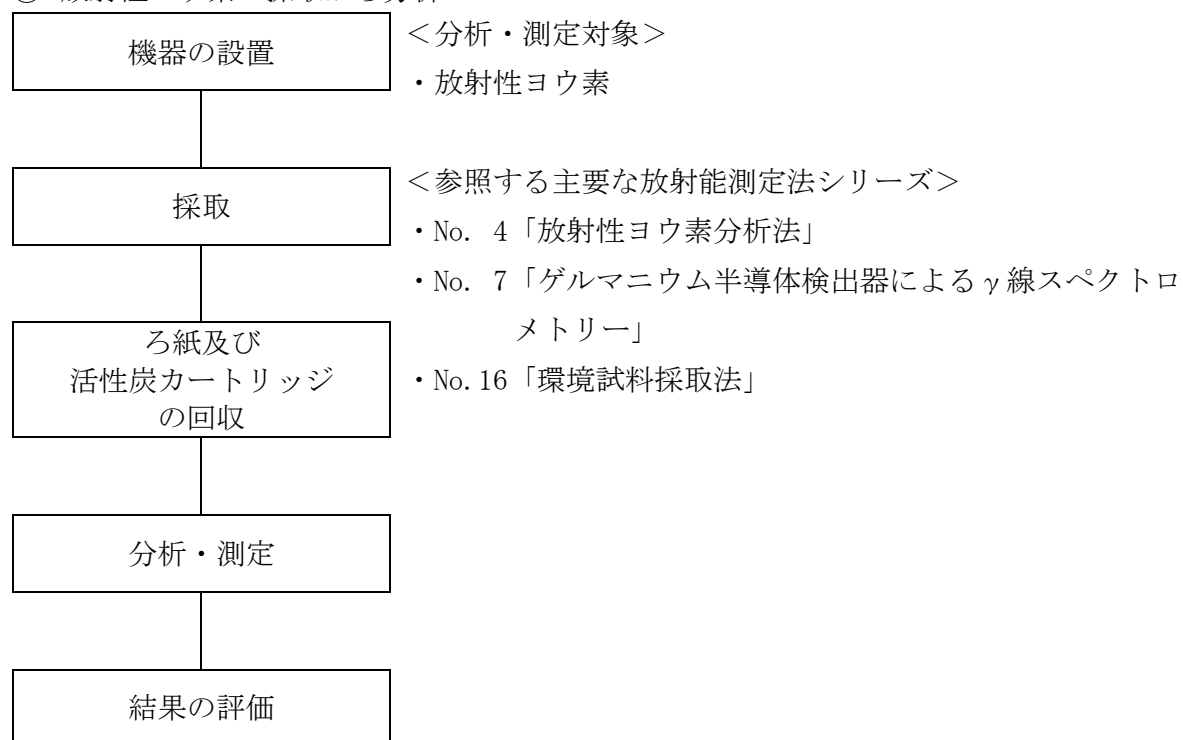


図 2-3 ヨウ素サンプラの例

## (2) 使用の流れ

ヨウ素サンプラの使用の流れを示す。また、参照する主要な放射能測定法シリーズを示す。

### ① 放射性ヨウ素の採取から分析





## 2.2.4 ガスモニタ

### (1) 機器の概要

ガスモニタは、大気中の放射性希ガス等のガス状放射性物質を連続測定する機器である。

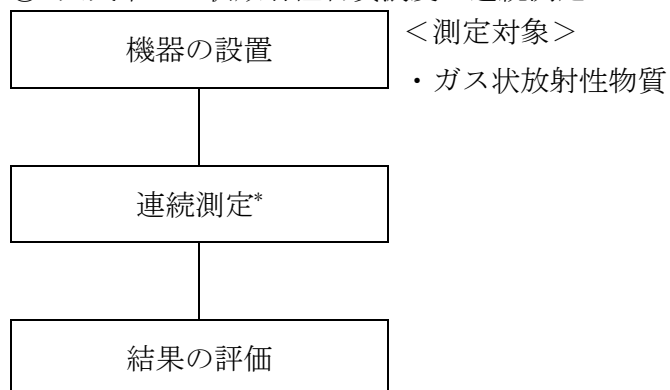


図 2-4 ガスモニタの例

### (2) 使用の流れ

ガスモニタの使用の流れを示す。

#### ① 大気中ガス状放射性物質濃度の連続測定



\* 大気を検出部に導入しながらの連続測定のことをいう。

## 第 3 章 ダストモニタによる連続測定

ダストモニタによる連続測定は、原子力施設からの予期しない放射性物質の放出を早期検出するために、大気浮遊じんから放出される $\alpha$ 線、 $\beta$ 線及び $\gamma$ 線の計数率をエネルギー区分無しに測定し、大気浮遊じん中の放射能濃度を大気中放射性物質濃度として、迅速に評価することを基本としている。

大気中放射性物質測定の有効性については、解説 A を参照すること。

大気浮遊じんに含まれる放射性核種の濃度を定量する場合には、ダストモニタのろ紙を回収して、 $\gamma$ 線スペクトロメトリー又は放射化学分析による精密分析により評価する。精密分析の手順については、第 5 章を参照すること。

### 3.1 機器

本節で記載しているダストモニタの基本事項については、JIS Z 4316:2013「放射性ダストモニタ」[4]を参考としている。

#### 3.1.1 機器の分類

ダストモニタは、表 3-1 に示す(1)～(5)に分類される。

表 3-1 ダストモニタの分類

分類	定義
(1) $\alpha$ 線ダストモニタ	大気浮遊じんからの $\alpha$ 線を測定するダストモニタ
(2) $\beta$ 線ダストモニタ	大気浮遊じんからの $\beta$ 線を測定するダストモニタ
(3) $\gamma$ 線ダストモニタ	大気浮遊じんからの $\gamma$ 線を測定するダストモニタ
(4) $\alpha \cdot \beta$ 線ダストモニタ	1つの検出部を用いて大気浮遊じんからの $\alpha$ 線及び $\beta$ 線を同時に測定するダストモニタ
(5) (1)～(4)を組み合わせたダストモニタ	(1)～(4)のいずれか 2 つ以上の検出部を装着したダストモニタ

#### 3.1.2 測定対象

##### ① 全 $\alpha$ 放射能濃度

大気浮遊じんに含まれる $\alpha$ 線放出核種からの $\alpha$ 線をエネルギー区分無しに測定し、ダストモニタの効率校正(3.3.2 参照)で使用した 1 種類の $\alpha$ 線標準線源により評価された放射能濃度( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )として算出する。

##### ② 全 $\beta$ 放射能濃度

大気浮遊じんに含まれる $\beta$ 線放出核種からの $\beta$ 線をエネルギー区分無しに測定し、ダストモニタの効率校正(3.3.2 参照)で使用した 1 種類の $\beta$ 線標準線源により評価された放射能濃度( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )として算出する。

### ③ $\gamma$ 線全計数率

大気浮遊じんからの $\gamma$ 線全計数率 ( $s^{-1}$ ) を測定する。

ダストモニタの測定値は、自然放射性物質（主にラドン・トロン壊変生成物）による寄与を含んでおり、平常時のバックグラウンドレベルではその変動が測定値の変動に大きく影響することから、原子力施設からの予期しない放射性物質の放出の早期検出の妨げとなる。ラドン・トロン壊変生成物による影響については、解説Eを参照すること。

測定値に含まれる原子力施設起因の放射性物質による寄与を評価する場合には、①～③を組み合わせる、又は、スペクトル解析を使用する方法等がある。測定結果の評価については3.5を、施設起因分の弁別方法については解説Fを参照すること。

ただし、ダストモニタによる連続測定では、施設起因の放射性物質による寄与を評価することはできるが、各放射性核種濃度の定量は困難であることに留意する必要がある。

#### 3.1.3 機器の選定

表3-1を参照し、測定対象となる放射線の種類に応じたダストモニタを選定する。平常時補足参考資料に記載されている原子力施設に応じたダストモニタの測定対象を表3-2に示す。

平常時補足参考資料では、表3-2の全ての原子力施設において、原子力施設からの予期しない放射性物質の放出を早期検出するために、ダストモニタ測定値に含まれる施設起因の放射性物質の寄与分を弁別評価することとしている。

その目的を考慮し、本測定法では $\alpha$ ・ $\beta$ 線ダストモニタの選定を基本としている。

表3-2 原子力施設に応じたダストモニタの測定対象

原子力施設	測定対象
発電用原子炉施設 (PAZ及びUPZ設定を要する)	施設起因の人工放射性核種
冷却告示に定める発電用原子炉施設	施設起因の人工放射性核種
発電用原子炉施設 (UPZ設定を要しない)	施設起因の人工放射性核種
試験研究用等原子炉施設 (UPZ設定を要する)	施設起因の人工放射性核種
ウラン加工施設* (UPZ設定を要する)	全 $\alpha$
プルトニウムを取り扱う加工施設*	全 $\alpha$
再処理施設*	全 $\alpha$ 、全 $\beta$

\* 測定対象を、ウラン加工施設（UPZ設定を要する）及びプルトニウムを取り扱う加工施設では全 $\alpha$ 、再処理施設では全 $\alpha$ 、全 $\beta$ としているが、どの施設においても施設起因の放射性物質を弁別評価することが必要である。

### 3.1.4 機器構成

ダストモニタは、図 3-1 のようにサンプラ、検出部、指示部、警報部、データ伝送部で構成される。各部の構成及び機能について(1)～(6)に示す。

#### 一般事項

- ① 連続運転に耐え得るように、堅牢かつ操作及び保守が容易なものとする。
- ② 振動、衝撃、腐食ガス等の影響を受けにくい構造とする。
- ③ 電磁誘導、静電気等の影響を受けにくい構造とする。また、他の機器に対して電磁誘導等の影響を与えにくい構造とする。
- ④ 故障に対する自己診断機能を持っていることが望ましい。

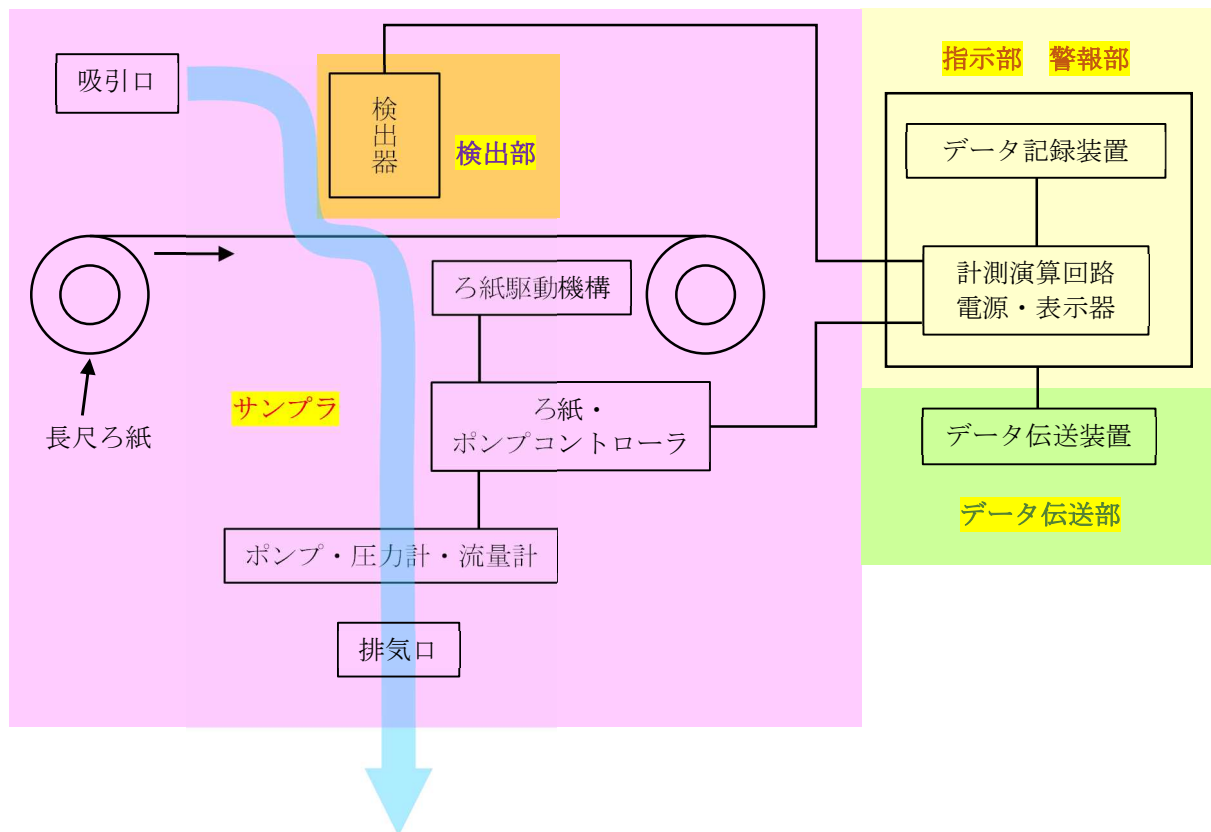


図 3-1 ダストモニタの機器構成例

#### (1) サンプラ

サンプラは、大気を吸引するポンプ、流量計及びろ紙を装着して大気浮遊じんを捕集する集じん部等で構成される。

ポンプ及び流量計の仕様等については、第 4 章を参照すること。

#### ① 集じん部

集じん部は気密性を保持し、捕集した大気浮遊じんから放出される放射線を適切に測定することができる構造とする。

流量は、集じん時間と要求される検出下限値等の関係で決められるが、大気浮遊じんのみ

を対象とする場合は100～250 L/minに、放射性ヨウ素のみを対象とする場合は約50 L/minに、大気浮遊じんと放射性ヨウ素の両方を対象とする場合は約50 L/minに設定することができるポンプを使用する。流量計には、圧力変動を補正できる質量流量計が推奨される。測定条件の設定については3.4(3)を参照すること。

集じん部の仕様例及び留意事項を表3-3に示す。

表3-3 集じん部の仕様例及び留意事項

項目	仕様例及び留意事項
集じん方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・集じんは連続とし、ろ紙捕集方式とする。</li> <li>・集じんは、起動した瞬間から吸引を開始し、以後は設定した時間ごとに繰返し積算流量の測定を実施すること。</li> </ul>
流量調整範囲	50～250 L/min 程度
流量計	10～300 L/min
圧力計（真空計）	-101.3～0 kPa[gage]
吸引口	<ul style="list-style-type: none"> <li>・吸引口の高さは空間放射線量率の測定高さに合わせ、地上1 m程度を基本とする。ただし、周辺土壌等の舞い上がりによる吸引を防止するため、又は、積雪で吸引口が雪に埋まり大気を吸引することができなくなることを防止するため等の特段の理由がある場合には、地上1 mよりも高い場所に設置することを否定するものではない。</li> <li>・壁の側面等に取り付ける。</li> <li>・水やごみ、虫等の侵入を防ぐ構造（例えば金網装着等）とする。</li> </ul>
排気口	<ul style="list-style-type: none"> <li>・局舎壁面等を貫通して局舎外へ排気すること。</li> <li>・排気を吸引口から再度吸引してしまわないように、吸引口から極力離れた場所で排気すること。</li> </ul>
湿度・結露対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・結露等によるろ紙への影響を避けるため、加温管により大気の相対湿度を下げる又は断熱材を使用することが望ましい。</li> <li>・加温制御が高温暴走することを防止するため、温度モニタを設けるとともに、高温暴走した場合に安全装置により加温制御を停止する機構を有していること。</li> </ul>

## ② ろ紙

ろ紙の仕様例を以下に示す。ろ紙の材質等については3.2を参照すること。

- ・固定ろ紙式サンプラには円形又は角形ろ紙、移動ろ紙式サンプラにはロール状（長尺）ろ紙を用いる。
- ・1ヶ月以上の連続した測定が可能な量のろ紙を装着できること。
- ・ろ紙は安全、迅速かつ容易に交換できる構造とする。
- ・装着したろ紙について、カバー等で覆う又は当該部分の密閉性を高める等して、周辺空気によるろ紙の汚染防止を図る。

### ③ ろ紙送り方式

ダストモニタのろ紙は、目詰まりを防ぐために一定の周期でろ紙を交換又は移動させる必要がある。

移動ろ紙式サンプラの場合、一定時間間隔でろ紙を移動させる「間欠送り」と、一定速度でろ紙を連続的に移動させる「連続送り」がある。本測定法では、間欠送り方式を採用している（3.4(3)参照）。

ろ紙送り方式の仕様例を以下に示す。

- ・ろ紙送りは遠隔制御ができ、任意の時間設定が可能であること。
- ・ろ紙送りに伴う連続測定の間欠送りの空白時間を短くするために、ろ紙送り動作の時間は極力短くすること。
- ・大気中放射性物質濃度が設定値を超えた場合、流量が設定値を下回った場合及びろ紙前後の圧力差が設定値を超えた場合等にも、自動的にろ紙送りできること。
- ・手動（現場での操作と遠隔制御の両方）によるろ紙送りも可能であることが望ましい。

### (2) 検出部

検出部は、大気浮遊じんから放出される放射線を検出する部分である。

検出部における留意事項を以下に示す。

- ・測定時に、捕集した大気中に存在する放射性希ガス等が検出部付近に留まることによって測定値に影響を受けないように、検出部付近の間隙を小さくした構造とする。
- ・汚染しにくく、除染又は交換が容易な構造とする。

検出器の仕様例を以下に示す。

- ・検出器の有効面の形状は、集じん面の形状と同一又は大きくする。
- ・検出器表面（吸引した大気に接する部分）は難吸着材料の使用等により、放射性物質の吸着の防止を図る。
- ・検出器は、外部からの放射線によるバックグラウンドを低減するため、厚さ3～5 cm程度の鉛により遮へいする。

検出器の測定原理等の詳細については3.1.5を参照すること。

### (3) 指示部

指示部は、サンプラ及び検出部からの信号を計測し、指示値を表示するとともにデータ伝送部に出力する部分である。

指示部における大気中放射性物質濃度の演算や、警報部における警報の発報等の各機能について、テレメータシステム等においてその機能を有していれば、必ずしもダストモニタ本体においてその機能を有している必要はない。指示部の仕様例を表3-4に示す。

表 3-4 指示部の仕様例

項目	仕様例
測定項目	放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> ) * 放射能濃度を評価できない場合は、計数率のみとする。
	計数率 (s <sup>-1</sup> )、積算計数 (count)
	流量 (L/min)、積算流量 (L)
	測定時間 (秒)
表示項目	測定日時：○年○月○日○時○分○秒
	直近の放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
	計数率 (s <sup>-1</sup> )、積算計数 (count)
	流量 (L/min)、積算流量 (L)
	測定時間 (秒)
	圧力 (kPa)
データ保存機能	測定値等及び状態信号をデータ記録装置に保存できること。
	(ア) 測定値等 ①地点名、②機器番号、③位置情報、④測定日時、 ⑤放射能濃度、⑥計数率、⑦積算計数、⑧積算流量、⑨測定時間 (イ) 状態信号 (警報を含む) ①測定中、②校正中、③調整中、④通信異常、⑤放射能濃度高、 ⑥サンプラ異常、⑦検出器異常、⑧HV 電源異常、⑨LV 電源異常、 ⑩圧力高、⑪ポンプ流量低、⑫ろ紙切れ、⑬ろ紙送中、 ⑭ろ紙残量少
	(ウ) 保存容量 (ア) は1時間ごと (緊急時には10分ごとの保存ができること)、 (イ) は事象発生時に記録する。 保存件数は1ヶ月以上を本体内に確保する。 また、保存されたデータは、USBメモリやPC等を本体に接続することにより、出力することが可能なこと。
外部出力	測定値等及び状態信号を、データ伝送装置を介してテレメータシステム等に出力できること。
制御入力	制御信号を、データ伝送装置を介してテレメータシステム等より入力できること。 制御信号：起動 (測定開始)、停止 (測定停止)、ろ紙送り、ろ紙送り間隔変更 (緊急時モードへ変更)
時刻同期	起動時にテレメータシステム等のタイムサーバーにアクセスし、時刻同期を図るとともに、毎日1回以上定時に時刻同期を行うこと。

#### (4) 警報部

警報部は、指示値がある設定値を超えたこと等を検知及び通知するための部分である。警報の内容により、指示部、又はテレメータシステム等に発報されるように設定する。

警報部の仕様例を以下に示す。また、警報事象例を表 3-5 に示す。

- ・測定値が警報設定値を超えたときには、ランプ、ブザー等によって警報を発報すること。
- ・警報発生時は、警報内容が本体表示画面又はテレメータシステム等に表示されること。
- ・警報は、リセット又は原因の解消まで維持し、警報内容を記録すること。
- ・警報設定値を確認でき、警報が正常に動作することを確認できること。
- ・故障又は異常を、原因ごとに個別に表示できることが望ましい。

表 3-5 警報事象例

	項目
警報事象	放射能濃度高、検出器異常、サンプラ異常、電源異常、圧力高、ポンプ流量低、ろ紙切れ、ろ紙送り異常

#### (5) データ伝送部

指示部で収集したデータを、通信機器を介してテレメータシステム等に出力し、また、テレメータシステム等より制御信号を受信してダストモニタを制御する部分である。

データ伝送項目例については、3.4(5)を参照すること。

データ通信には、モニタリング局舎内の設備が利用している通信回線があればそれを利用する。データ通信が停止することを防止するため、通信回線は多重化されていることが望ましい。

#### (6) その他

必要に応じて、大気の流れやろ紙の結露防止のための加温管や水トラップを吸気側に、ポンプから発生する騒音防止のための消音器を排気側に設置する。

#### 3.1.5 検出器の種類と測定原理

ダストモニタに使用される検出器の種類を表 3-6 に示す。

ただし、これと同等以上の性能を有する検出器があれば、これに限定するものではない。検出器の性能については、解説 B の検出可能レベルを参考にすること。



表 3-6 ダストモニタに使用される検出器の種類

	検出器の種類
α 線検出器	ZnS(Ag) シンチレーション検出器
	シリコン半導体検出器
β 線検出器	プラスチックシンチレーション検出器
	シリコン半導体検出器
γ 線検出器	NaI(Tl) シンチレーション検出器
α・β 線検出器	ZnS(Ag) シンチレーション検出器
	+プラスチックシンチレーション検出器
	シリコン半導体検出器

(1) α 線検出器

① ZnS(Ag) シンチレーション検出器

放射線の入射に伴って、ZnS(Ag) シンチレータより発生した光を光電子増倍管にて光電子に変換、増幅してパルス信号として出力し、計測する。

ZnS(Ag) シンチレータは 0.1 mm 径程度の微粒子の ZnS(Ag) を透明ガラス板の表面等に塗布したものであり、ZnS は白色の粉末であるため光の透過度は低い、β 線及びγ 線による発光強度に比べて、飛程の小さい α 線は発光強度が大きいため、α 線出力パルスを弁別した検出が容易である。

ZnS(Ag) は無機結晶シンチレータの一つであり、以下の物性を有する。

- ・ α 線に感度を有する白い粉末である。
- ・ 最大発光波長 450 nm で、一般的な光電子増倍管の感度最大波長に近い。
- ・ 減衰時間 200 ns で、NaI(Tl) の 230 ns と同程度である。
- ・ β 線に感度を有するプラスチックシンチレータの表面に塗布することにより、α 線及び β 線を同時に測定することができる。

② シリコン半導体検出器

入射放射線とシリコン結晶との相互作用の結果、二次電子が発生する。

この二次電子の電離作用によって電子正孔対が生成され、高電圧を印加することによって、それぞれを陽極と陰極に集荷して電流が流れる。信号はパルスとして出力される。

## (2) $\beta$ 線検出器

### ① プラスチックシンチレーション検出器

シンチレーション検出器としての測定原理については ZnS(Ag)シンチレーション検出器と同様であり、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線及び高速中性子の測定に使用されている。ただし、 $\alpha$ 線のような電離密度の高い放射線に対しては発光効率が低いため、ダストモニタでは $\beta$ 線測定用として使用されている。プラスチックシンチレータは有機シンチレータを溶媒に溶かした後、これを高分子化して固体プラスチックにする。母材としてはポリスチレン、ポリビニルトルエン、ポリメチルメタクリレート等がある。

### ② シリコン半導体検出器

(1)  $\alpha$ 線検出器と同様

## (3) $\gamma$ 線検出器

### ① NaI(Tl)シンチレーション検出器

放射線の入射に伴って、NaI(Tl)結晶中で発生する励起発光（蛍光）を光電子増倍管にて光電子に変換、増幅して光の強さに比例したパルスを出力する。出力されるパルス信号の大きさには入射放射線のエネルギーとの比例関係があることから、 $\gamma$ 線スペクトルを解析することによって、放射性核種の定性又は定量が可能となる。

検出器としての特徴として、放射線の吸収反応を電離又はエネルギーの形で直接的に測定するものではなく、光による間接的な測定である点にあり、光-電子変換効率の低さから発生する光電子の数が少ないため、エネルギー分解能が高くないという特性がある。その反面、光電子増倍管の電子増倍率が非常に高いことによって、極めてレベルの低い信号にもかかわらず波高弁別器でシグナルとノイズを識別・分離できるため、高く安定した放射線検出を行える特徴がある。

詳細は、放射能測定法シリーズ No. 6「NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ機器分析法」を参照すること。

## (4) $\alpha$ ・ $\beta$ 線検出器

### ① ZnS(Ag)シンチレーション検出器+プラスチックシンチレーション検出器

$\alpha$ 線と $\beta$ 線を同時に検出するため、プラスチックシンチレータに ZnS(Ag)シンチレータが塗布された一体型の検出器が使用されている。測定原理は、上述した各検出器と同様である。 $\alpha$ ・ $\beta$ 同時計数機能を用いて、施設起因の放射性物質による寄与を評価する手法もある（解説 F 参照）。

### ② シリコン半導体検出器

(1)  $\alpha$ 線検出器及び(2)  $\beta$ 線検出器と同様

### 3.1.6 機器仕様例

ダストモニタの機器仕様例を表 3-7 に示す。大気捕集材については 3.2 を参照すること。なお、求められている性能を有している場合は、仕様例に記載していない機器等を使用しても差し支えない。ダストモニタの性能については、解説 B の検出可能レベルを参考にすること。

表 3-7 ダストモニタの機器仕様例

項目	タイプ A	タイプ B	タイプ C	タイプ D	タイプ E
測定対象	α線	β線	α・β線		γ線
検出器	ZnS (Ag) シンチレータ	プラスチック シンチレータ	ZnS (Ag) シンチレータ + プラスチック シンチレータ	シリコン 半導体	NaI (Tl) シンチレータ
大気 捕集材	メンブレン ろ紙	セルロース・ ガラス繊維 ろ紙	メンブレンろ紙、又は、 セルロース・ガラス繊維ろ紙 <sup>*1</sup>		セルロース・ ガラス繊維 ろ紙
検出器 サイズ	50 mm φ	50 mm φ	50 mm φ	25 mm φ	2 inch φ × 2 inch
流量	50~250 L/min				
ろ紙送り 方式	間欠送り、又は、一定時間で交換 <sup>*2</sup>				

\*1 α線を主に測定する場合はメンブレンろ紙等、β線を主に測定する場合はセルロース・ガラス繊維ろ紙等を使用する。

\*2 長尺ろ紙の場合は間欠送り、固定ろ紙の場合は一定時間で交換する。

## 3.2 大気捕集材

### 3.2.1 大気捕集材の選択

ダストモニタは一定時間間隔で大気捕集材を自動で交換する必要があることから、長尺ろ紙を使用することを基本とする。円形又は角形のろ紙を使用する場合には、一定時間間隔で大気捕集材を自動で交換することができる必要がある。

材質は、 $\alpha$ 線を測定対象とする場合には、大気浮遊じんがろ紙の内部に入り込むことによる測定結果の過小評価を避けるために、メンブレンろ紙等を使用する。 $\beta$ 線及び $\gamma$ 線を測定対象とする場合には、 $\alpha$ 線のような大気浮遊じんのろ紙への入り込みによる影響は小さいため、ろ紙の圧力損失や強度等を優先して、セルロース・ガラス繊維ろ紙等を使用する。

第5章に記載している $\alpha$ 線放出核種の放射化学分析において、メンブレンろ紙の分析が困難である場合には、セルロース・ガラス繊維ろ紙等の放射化学分析を適切に実施することができるろ紙を使用する。また、別途採取したダストサンプラ又はヨウ素サンプラのセルロース・ガラス繊維ろ紙を分析することでも良い。

ダストモニタの分類に応じて選定する大気捕集材例を表3-8に示す。各大気捕集材の特性は、4.2及び参考Aを参照すること。

表3-8 大気捕集材の選定例

分類	大気捕集材の選定例
$\alpha$ 線ダストモニタ	メンブレンろ紙
$\beta$ 線ダストモニタ	セルロース・ガラス繊維ろ紙
$\gamma$ 線ダストモニタ	セルロース・ガラス繊維ろ紙
$\alpha$ ・ $\beta$ 線ダストモニタ	メンブレンろ紙（ $\alpha$ 線を主に測定する場合） セルロース・ガラス繊維ろ紙（ $\beta$ 線を主に測定する場合）

### 3.2.2 大気捕集材の仕様例

ダストモニタに使用する大気捕集材の仕様例を表 3-9 に示す。なお、求められている性能を有している場合は、仕様例に記載していない大気捕集材を使用しても差し支えない。

表 3-9 大気捕集材の仕様例

項目	タイプ A	タイプ B	タイプ C
材質	セルロース・ガラス繊維		メンブレン
形状	ロール状 (長尺)	円形	ロール状 (長尺)
孔径	—		3.0 $\mu\text{m}$
厚さ	0.41 mm		0.13 mm
寸法	75 mm×10~90 m	60 mm $\phi$	35 mm×12 m
捕集効率	99.7 %以上 (0.31 $\mu\text{m}$ のポリスチレンラテックス粒子、 通気速度 55~135 cm/s)		99.7 % ( $>0.15 \mu\text{m}$ の微粒子、 通気速度 878 cm/s)
圧力損失	0.27 kPa		8~15 kPa
物理的性質	強度を高めるために布 (寒冷紗) を裏打ち、 はっ水性あり		強度を高めるために PTFE を ポリエチレン等で裏打ち
耐熱性	130 $^{\circ}\text{C}$		130 $^{\circ}\text{C}$

### 3.3 設置、校正、点検

設置地点を代表する測定値を取得するために、ダストモニタを適切な場所に設置し、校正及び点検により機器の健全性を担保することが重要である。

#### 3.3.1 設置

##### (1) 設置場所の選定

設置に際し、以下の①～③を考慮した上で設置場所を選定する。

原則として、モニタリングポスト等が設置されているモニタリング局舎内に固定して設置することがよいが、新設する場合も考慮して選定条件を以下に示す。

##### ① 社会環境

項目	選定条件
原子力施設からの距離	5 km 圏内 <sup>*1</sup> に設置する。
原子力施設からの方角	原子力施設を中心として、設置場所の方位が偏らないように設置する。
人口分布	人口の多い地域を優先して設置する。

\*1 平常時補足参考資料において、「炉規法に基づく原子力施設の設置許可申請書等においては、通常運転時に環境に放出される放射性物質によって施設周辺の公衆の受ける線量を評価するため、施設の特성에応じて、放射性希ガスによる実効線量については最大の線量を与える地点を、放射性ヨウ素、粒子状の放射性物質等による実効線量については最大濃度を与える地点をそれぞれ評価地点として設定している。当該地点が施設から5 km 圏内に設定されていることを踏まえ、原子力施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価のために必要な平常時モニタリングについては、原子力施設から5 km 圏内を対象とし、この範囲内の適切な地点を選定して実施することとする。」としているため。

② 自然環境

項目	選定条件
地形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周囲が開けていて、立ち入りが容易である場所を選定する。</li> <li>・平坦で周囲が数十 m 以上開けた場所を選定することが理想である。既存のモニタリング局舎内に設置する場合でも、木々や崖等の影響により大気浮遊じんの吸引を妨げる可能性がある場所を避ける。</li> </ul>
過去の風況実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力施設からの放射性物質の放出を早期に検出しやすくするため、卓越風等の過去の風況実績を調査し、原子力施設の風下方向を優先して設置する。</li> <li>・過去の風況実績に加えて、過去の気象データを用いた長期間の大気拡散計算等に基づき、原子力施設周辺特有の拡散傾向を把握しておく参考になる。</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高温、多湿等の悪環境の場所を避ける。</li> <li>・東日本大震災の際には、大規模地震後の津波による被害が甚大であったことから、海に近い地点に設置する場合には、津波の影響がない高台への設置を検討する必要がある。</li> </ul> <p>しかし、一方では海岸沿いに集落がある場合には、海に近い地点に設置せざるを得ない。よって、万が一使用不能となった場合には、可搬型の機器での代用等を行い対応する必要がある。</p>

③ その他、地域の実情

項目	選定条件
電源	局舎等から安定して電源を供給できる場所を選定する。
通信網	災害時を考慮して、複数のデータ通信手段を整備することができる場所を選定する。
設置場所へのアクセス	<p>定期的な紙交換や機器調整を実施する必要があるため、アクセスが困難な場所を避ける。</p> <p>また、緊急時モニタリングでも使用する可能性があるため、災害時の道路の寸断等も考慮する必要がある。</p>
その他	交通量の多い道路脇や工場に近い場所等では、排気ガスや粉じんの影響により、ダストモニタのろ紙が短い時間で詰まってしまう可能性があるため、影響が少ない場所を選定する。

(2) 屋内への設置条件

屋内への設置に際し、以下の①～⑨を考慮した上で設置場所を選定する。

項目	設置条件
① 局舎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・局舎は、機器の搬入を考慮した入口の広さを確保することが望ましい。</li> <li>・保守点検等をしやすいように、機器の設置面積に対して余裕のある広さ及び天井の高さとするのが望ましい。</li> <li>・床に防じん塗装を行うことが望ましい。</li> <li>・床にケーブル等の配線に対応する配管ピットが必要である。</li> </ul>
② 吸引口	<ul style="list-style-type: none"> <li>・吸引口の高さは、空間放射線量率の測定高さに合わせ、地上 1 m 程度を基本とする。ただし、周辺土壌等の舞い上がりによる吸引を防止するため、又は、積雪で吸引口が雪に埋まり大気を吸引することができなくなることを防止するため等の特段の理由がある場合には、地上 1 m よりも高い場所に設置することを否定するものではない。</li> <li>・空調の送風機と同じ側に設置しない。</li> <li>・雨、雪の侵入を防ぐため、下方又は下方斜め方向とし、昆虫等の異物の侵入を防止する金網等を設ける。</li> <li>・大気吸引口の周辺における障害物を最小にする。</li> <li>・吸引口から集じん部までの配管は、粒子状物質の配管内沈着の低減を考慮すると、できる限り配管の長さを短くし、曲管（エルボ）を避け、ステンレス鋼のような耐腐食性の金属を用いることが望ましい。</li> </ul>
③ 排気口	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排気を吸引口から再度吸引してしまわないように、吸引口と同じ壁面での設置を極力避ける等、吸引口と排気口の位置関係に留意する。</li> </ul>
④ 電源	<p>大規模な自然災害を伴う原子力災害の場合は、供給電源等のインフラが断たれてしまう可能性がある。このような場合を想定し、自家発電機、バッテリー又は太陽光発電設備等によって電源供給方法を多重化しておく。ただし、発電機は継続して供給可能な燃料（軽油、LPG 等）を確保する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・メンテナンスを容易に実施できる構造とすることが望ましい。</li> <li>・電源回路には、保護装置又は保護回路を設ける。</li> <li>・切替部や接続部等は、多数回繰り返し動作させても、電氣的性能が低下しないようにする。</li> <li>・予期せぬ落雷によって AC 電源を介して測定器の電気系統が故障してしまう原因となることがある。このような事態を回避するためには、アレスタ等の避雷器を設置しておくことが望ましい。</li> <li>・ノイズ低減のためにアースを取る。</li> </ul>



⑤	空調	機器の安定運転のために、局舎内に空調設備を設ける。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーがダストモニタの正常動作を保証する温度及び湿度の範囲を維持する。</li> <li>・室温を一定に保つため、局舎の内壁に断熱材を張ると効果的である。</li> </ul>
⑥	結露防止対策	結露によるろ紙への影響を避けるため、結露防止対策を行う。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・吸引口と集じん部間にヒータを内蔵した加温管を取り付け、吸引した大気を加熱し相対湿度を下げる。10℃程度加温すると相対湿度を90%から35～55%に低下できる。</li> <li>・配管並びに集じん部を断熱材で被覆する。</li> </ul>
⑦	耐震性	建築基準法における耐震基準のSクラス又はSクラス相当程度の耐震性を有するよう局舎、機器及び配管等の地震対策を講じる。
⑧	通信	データ伝送の手段が断たれることを想定し、比較的災害の影響を受けない衛星通信等も整備する等、通信方法を多重化しておくことが望ましい。
⑨	その他	設置場所周辺はフェンス等で囲み、外部からの侵入やいたずら等の防止措置を取る。

### 3.3.2 校正

ここではダストモニタで使用する検出器の校正について記載するが、大気吸引量の適切な評価のために、流量計の校正も定期的にも実施することが望ましい。

#### (1) 校正に用いる標準線源

測定する放射線の種類に応じて、表 3-10 の標準線源を使用する。

標準線源は図 3-2 のような面線源とし、集じん面と同じ形状の標準線源を使用する。また、国家標準とのトレーサビリティが明確であり、表面放出率又は放射能の相対拡張不確かさ  $U$  は 10 %以下 ( $k=2$ ) とする。

表 3-10 校正に用いる標準線源

線種	標準線源
$\alpha$ 線	Am-241
$\beta$ 線	Cl-36 又は Tl-204
$\gamma$ 線	Cs-137



図 3-2 標準線源の例 (C1-36、2 inch φ)

## (2) 校正方法

大気捕集材と検出器の幾何学的関係と同一になるように、大気捕集材の位置に図 3-3 のように標準線源を設置して校正を実施し、3.1 式により機器効率を測定する。機器効率は、放射線源の表面放出率（標準線源の表面から放出する単位時間当たりの放射線の数）に対する、決められた幾何学的条件で測定したときの測定器の正味計数率の比を表す。

校正の度に設置条件が変わらないように、線源設置のための専用の治具をあらかじめ準備しておくといよい。

$$\varepsilon = N / \phi \quad (3.1 \text{ 式})$$

$\varepsilon$  : 機器効率

$N$  : 正味計数率 ( $s^{-1}$ )

(あらかじめ測定したバックグラウンド計数率を差し引いて算出する。)

$\phi$  : 放射線源の表面放出率 ( $s^{-1}$ )

ダストモニタにより測定された大気中放射性物質濃度は、効率校正に使用された 1 種類の標準線源により評価された放射能濃度として計算されており、それを全放射能濃度としている。

ダストモニタの効率の詳細については解説 D を参照すること。



治具及び線源



線源設置位置



治具に設置した線源



図 3-3 校正時の標準線源設置例

### (3) 校正頻度

校正は機器導入時に、設置場所において実施する。

その後は、点検等の際に年 1 回程度、標準線源を用いて機器効率に変化がないことを確認する。

計算に使用している機器効率に対して  $\pm (10 + U) \%$  の幅から外れた場合には、再校正を実施して機器効率を変更する、又は機器異常の可能性がある場合には検出器を中心とした機器点検を実施する。なお、 $U$  は校正作業に伴う相対拡張不確かさ ( $k=2$ ) である。

### 3.3.3 点検

#### (1) 日常点検

日常点検は、テレメータシステム等によりリモートで実施する項目と、設置場所で行う項目がある。

日常点検項目例を示す。

#### ① テレメータシステム等によりリモートで実施する項目例

日常点検項目例	
動作確認	正常に動作及び通信しているか
	流量、積算流量に異常はないか
	圧力の値が通常の範囲内かどうか
異常値の有無	警報が発報していないか
	放射能濃度、計数率に異常はないか

#### ② 設置場所で行う項目例

日常点検項目例	
動作確認	正常に動作及び通信しているか
	流量、積算流量に異常はないか
	ポンプの動作音に異常はないか
	ろ紙送りが正常に行われているか
	吸気口に詰まりがないか
	圧力の値が通常の範囲内かどうか
異常値の有無	警報が発報していないか
	放射能濃度、計数率に異常はないか
動作環境	局舎の空調は正常に動作しているか
ろ紙残量	ろ紙残量は十分であるか（次回の点検時等まで）

(2) 定期点検

メーカーによる定期点検項目例を示す。

定期点検項目例		
① 外観検査	サンプラ	
	検出部	
	指示部	
	データ伝送部	
	ケーブル、コネクタ部	
② 単体動作、性能検査		
サンプラ	外部出力信号確認	
	リーク試験	
	停電対策動作確認	
	ろ紙	ろ紙送り動作確認
		制御動作確認
	流量計	動作確認
		流量指示精度
	ポンプ	動作確認（発熱、異音、振動、異臭等）
		摩耗品の定期的交換
	結露防止ユニット	加温制御の確認
		温度指示精度
	検出部	機器効率確認
	指示部	動作確認
		外部出力信号確認
計数率指示精度		
流量指示精度		
スケーラ動作確認		
記録計指示精度		
警報部	警報動作確認	
データ伝送部	データ伝送確認	

(3) 点検頻度

日常点検はテレメータシステム等で行う点検は1日1回、設置場所で行う点検は月1回程度実施する。

定期点検は年1回以上実施する。

### 3.4 測定

#### (1) 機器の起動

平常時から連続測定を実施するため、常時起動しておく。

#### (2) 大気捕集材の取り付け

ダストモニタの取扱説明書に従って、大気捕集材を取り付ける。

\* 大気捕集材の取り付けの際には、ろ紙の表裏を間違えないように注意する。また、長尺ろ紙は取り付けが緩んでいると、ろ紙送りがうまくできずに機器が停止してしまうことがあるので注意する。

#### (3) 測定条件の設定

原子力施設からの予期しない放射性物質の放出による影響を早期検出することを基本とした測定条件を設定する。

測定条件例を表 3-11 に示し、各項目における留意事項を①～⑤に記載する。

測定条件の変更については、テレメータシステム等により遠隔操作で実施できること。

表 3-11 ダストモニタによる連続測定のための基本の測定条件

項目	測定条件
① 採取流量	50～250 L/min 程度
② ろ紙送り方式 (長尺ろ紙の場合)	間欠送り
③ 採取時間 (ろ紙送り時間)	6 時間
④ 測定位置	集じん位置
⑤ 測定時間	連続 (少なくとも 1 時間ごとに測定値を取得)

##### ① 採取流量

50～250 L/min 程度とする。

ダストモニタのろ紙を回収して、放射性核種濃度を精密分析する場合には、解説 B に示す検出可能レベルを考慮して流量を設定する。

\* 解説 B の検出可能レベルとして記載している 10,000 m<sup>3</sup> の供試量を 1 ヶ月間 (30 日間) で得るためには約 230 L/min の流量が、3,000 m<sup>3</sup> の供試量を 1 ヶ月間 (30 日間) で得るためには約 70 L/min の流量が必要となる。放射性ヨウ素を同時に採取する場合は、ヨウ素の捕集効率を低下させないために 50 L/min 程度とする。

\* ろ紙の目詰まりによる流量低下が 10 % 以上にならないように注意する。流量低下の評価例については解説 C を参照すること。

## ② ろ紙送り方式

長尺ろ紙を使用する場合は、間欠送り方式とする。連続送り方式は、本測定法においては採用しない。

## ③ 採取時間（ろ紙送り時間）

原則として6時間とする。ただし、原子力施設から放出された施設起因の放射性物質を早期検出することに影響がなければ、6時間より長くすることを妨げるものではない。ろ紙送り時間を長くすればするほど、捕集された大気浮遊じんの量及びそれに含まれる自然放射性物質が増加するため、施設起因の放射性物質の検知が困難になる可能性がある。

ろ紙送り時間を6時間より短くする場合には、ろ紙の交換頻度が多くなる\*ため、ろ紙の残量に留意する必要がある。

緊急時には、大気モニタに合わせて1時間ごとのろ紙送りが必要となるため、緊急時モードへの切り替え等により、ろ紙送り時間を1時間ごとに切り替えることができることとする。

\* 長さ90 mの長尺ろ紙を使用し、ろ紙送り距離が20 cmの場合、約4ヶ月間隔での交換が必要となる。

## ④ 測定位置

大気浮遊じんを捕集しながら、捕集した大気浮遊じんから放出される放射線を、集じん位置に設置した検出器で測定する。

## ⑤ 測定時間

測定時間は連続とするが、少なくとも1時間ごとに測定値を取得する。ろ紙送り時間を6時間とする場合、1回のろ紙送り間隔において、少なくとも1時間ごとに6個の測定値を取得することになる。

緊急時には、大気モニタに合わせて10分ごとの測定が求められるため、緊急時モードへの切り替え等により、10分ごとの測定値の取得に切り替えることができることとする。

### (4) 測定開始

測定開始ボタン等により測定を開始する。

測定データを評価しやすくするため、ろ紙送り時間を0時、6時、12時、18時のように設定し、1時間ごとの測定値も正時ごとに取得できるよう設計しておくことよい。

テレメータシステム等により、遠隔操作で測定の開始及び停止を制御できることが望ましい。

(5) データ伝送

少なくとも1時間に1回、テレメータシステムにデータ伝送する。緊急時には、10分間ごとのデータ伝送に切り替えることができることとする。警報等の監視情報については、異常発生後速やかにテレメータシステムに伝送する。データ伝送項目例を表3-12に示す。

表 3-12 テレメータシステムへのデータ伝送項目例

区分	構成部	出力項目		
測定値	指示部	測定日時		
		測定地点		
		測定時間		
		放射能	計数率 (s <sup>-1</sup> )	
	積算計数 (count)			
	放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )			
サンプラ	流量	平均流量 (L/min)		
		積算流量 (m <sup>3</sup> )		
状態信号	指示部	検出部異常		
		測定部異常		
		放射能濃度高		
		放射能濃度低		
		計数率高		
		計数率低		
	サンプラ	集jin中		
		ろ紙送り中		
		ポンプ流量異常		
		圧力異常		
		ろ紙送り異常		
		ろ紙切れ		
		集jin部異常		
		ポンプ過負荷		
		サンプラ電源断		
		加温部異常		
		制御信号 (受信情報)	全般	起動又は停止
			指示部	調整中
				調整中リセット
サンプラ	ろ紙送り			



(6) 放射能濃度の計算

① α線又はβ線を測定するダストモニタ

1時間ごとの全α放射能濃度又は全β放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) を、3.2式を用いて、ろ紙送りからの経過時間までの平均放射能濃度を算出する。必要に応じて、捕集効率等の測定値に影響を及ぼすファクターを考慮した補正を行う。

6時間ろ紙送りの場合に計算に使用する1時間ごとの正味計数率と積算流量の考え方を、図3-4に示す。

$$C_t = \frac{N_t}{\varepsilon \times V_t} \quad (3.2 \text{ 式})$$

$C_t$  : ろ紙送りから t 時間後の全 α 放射能濃度又は全 β 放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$N_t$  : ろ紙送りから t 時間後の時点での正味計数率 (s<sup>-1</sup>)

$\varepsilon$  : 機器効率

$V_t$  : ろ紙送りから t 時間後までの積算流量 (m<sup>3</sup>)

正味計数率の求め方に関する補足事項

正味計数率は、あらかじめ測定したバックグラウンド計数率を差し引いて算出する。

ろ紙送りから t 時間後の時点における正味計数率をできるだけ正確に評価することが原則である。

本測定法では、集じんしながらの測定を基本としていることから、ろ紙上に捕集されていく大気浮遊じんに対し、ろ紙送りから t 時間後の時点における計数率 (瞬時値) が得られる計数率計を使用することを基本とする。

なお、計数率をスケーラにより測定した積算計数から算出する場合には注意が必要であり、その考え方については解説Cを参照すること。

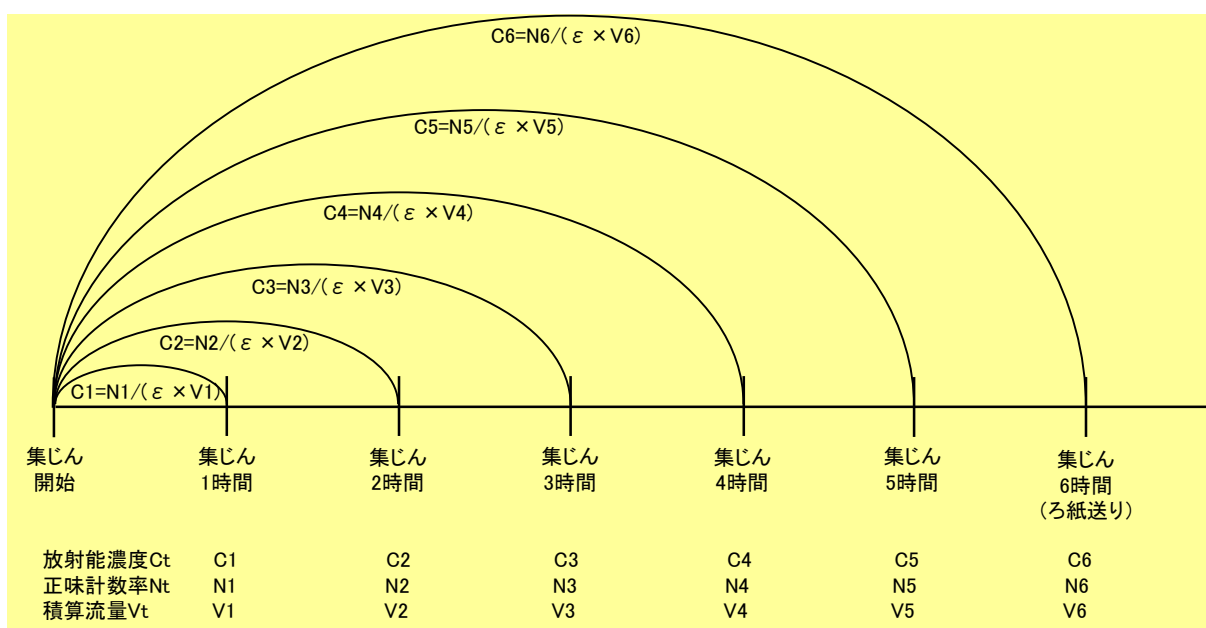


図3-4 計算に用いる正味計数率と積算流量 (6時間ろ紙送りの場合)

ダストモニタ測定値は、ろ紙送りからの平均濃度として計算しているが、緊急時に使用する大気モニタでは10分ごとの計数率（ろ紙送りから10分ごとの時点におけるろ紙上に捕集された大気浮遊じん中の放射能からの計数率）の差分から評価した10分ごとの平均濃度を使用する。両者の計算方法の違いについては解説Cを参照すること。

なお、単位時間ごとの平均濃度の評価を平常時に使用する場合は、ラドン・トロン壊変生成物の半減期が短いため、適切に差分評価を行うことは困難であると考えられるが、施設起因の放射性物質の寄与を評価する目的として、適切な評価が可能であるなら単位時間ごとの平均濃度による評価を否定するものではない。

## ② $\gamma$ 線ダストモニタ

1時間ごとの全計数を記録する。放射性核種濃度を定量できる場合には、1時間ごとの施設起因の $\gamma$ 線放出核種濃度（Bq/m<sup>3</sup>）を計算する。

解析方法は、放射能測定法シリーズNo.6「NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ機器分析法」を参照すること。

## (7) ろ紙の回収

ダストモニタのろ紙を精密分析する場合には、定期的にもろ紙を回収する。

長尺ろ紙を途中で切り取って再取り付けする場合には、取り付け操作の不備により、ろ紙送り異常が発生しやすくなるため注意を要する。

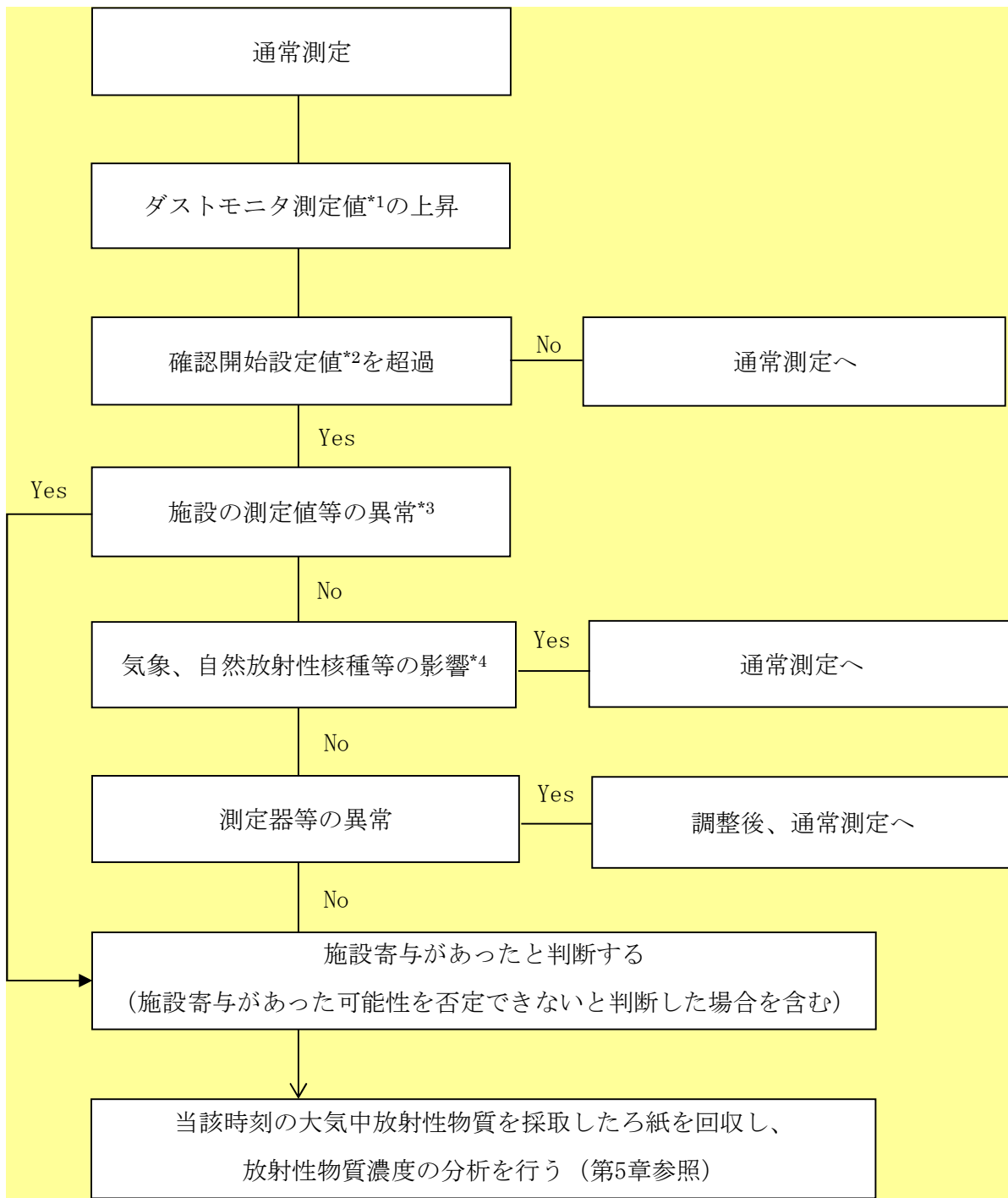
ろ紙の回収手順については4.4を、その後の分析手順については第5章を参照すること。

## 3.5 測定結果の評価

### 3.5.1 評価の流れ

ダストモニタ測定値の評価の目的の一つは、原子力施設からの予期しない放射性物質の放出による影響を早期検出することである。そのためには、確認開始設定値を適切に定め、その値を超過した場合に、施設寄与の有無を判断するための要因調査を開始する必要がある。施設寄与を弁別するためのフローチャート例を図3-5に示す。

確認開始設定値について、平常時補足参考資料では、現在の技術水準に照らして、施設寄与分推定評価後の測定値に関して、 $5\text{Bq/m}^3$ （全 $\beta$ 放射能濃度又は $\gamma$ 線放出核種濃度）又は $1\text{Bq/m}^3$ （全 $\alpha$ 放射能濃度）程度を最大として、個別装置の変動や過去の最高値を考慮して設定することとしている。測定値は、自然要因によっても変動する（3.5.3参照）ため、施設寄与がない場合でも確認開始設定値を超過することが起こり得る。確認開始設定値は、確認行為のトリガーとなるものであることから、現在の技術水準に照らして少なくとも上記レベルの施設寄与が検知できることが求められるが、機器の性能や自然変動、行政上の要求等を勘案して、より低い数値を確認開始設定値としてもよい。



\*1 施設寄与弁別後の測定値

\*2 確認開始設定値は、ダストモニタ測定値に含まれる施設寄与分を評価し、5 Bq/m<sup>3</sup> (全β放射能濃度又はγ線放出核種濃度) 又は1 Bq/m<sup>3</sup> (全α放射能濃度) 程度を最大として、個別装置の変動や過去の最大値を考慮して設定する値とする。確認開始設定値の設定については3.5.2を参照すること。

\*3 施設の中のエリアモニタリング設備等の異常値又は施設外への放出 (管理放出含む) の状況

\*4 β/α比 (全β放射能濃度を全α放射能濃度で除した比)、スペクトル等の解析実施 (降雨、降雪、雷等の気象データも勘案)

図 3-5 大気中放射性物質濃度の連続測定結果における施設寄与 (施設寄与である可能性を否定できない場合を含む) を弁別するためのフローチャート例

### 3.5.2 確認開始設定値の超過の監視

#### (1) 評価方法

確認開始設定値は、施設寄与弁別後のダストモニタ測定値が上昇した場合、その測定値に施設寄与があったかどうかを判断する（施設寄与があった可能性を否定できないと判断した場合を含む）ために、要因調査を開始するための設定値である。

平常時補足参考資料では、現在の技術水準に照らして5 Bq/m<sup>3</sup>（全β放射能濃度又はγ線放出核種濃度）又は1 Bq/m<sup>3</sup>（全α放射能濃度）程度を最大として、個別装置の変動や過去の最大値を考慮して設定することとしており、施設寄与弁別後の測定値を用いて設定する。

確認開始設定値は、確認行為のトリガーとなるものであることから、現在の技術水準に照らして少なくとも上記レベルの施設寄与が検知できることが求められるが、機器の性能や自然変動、行政上の要求等を勘案して、より低い数値を確認開始設定値としてもよい。

確認開始設定値を設定する上では以下の点について留意する。

- ・ 設定のために使用するデータは、施設寄与弁別後の測定値とし、その最大値を確認開始設定値とする。最大値が5 Bq/m<sup>3</sup>（全β放射能濃度又はγ線放出核種濃度）又は1 Bq/m<sup>3</sup>（全α放射能濃度）より大きい場合には、5 Bq/m<sup>3</sup>（全β放射能濃度又はγ線放出核種濃度）又は1 Bq/m<sup>3</sup>（全α放射能濃度）を確認開始設定値とする。
- ・ 上記よりも低い確認設定値を過去の測定値を考慮して設定する場合には、次の点に留意する。
  - ・ 過去3～5年間程度の1時間測定値を使用する。過去3年間以上のデータがない場合には、少なくとも過去1年間以上の1時間測定値を使用する。
  - ・ 使用するデータには、機器異常等の異常値を含まないこと。
  - ・ 使用するデータには、施設寄与があったと判断された測定値を含まないこと。
- ・ 確認開始設定値を超過した測定値が観測された場合、担当者にリアルタイムで通報されるよう警報レベルを設定しておくことよい。

なお、確認開始設定値は、平常時モニタリング計画の更新、機器の更新、周辺環境の変化等に合わせて、定期的に見直すことが必要である。

施設寄与の弁別には、様々な方法が実用化されているが、監視対象施設の特性に応じて適切な方法を選択する必要がある。また、各方法の原理や測定値の意味を十分に理解した上で評価することが重要である。

以下本節では、α・β線ダストモニタを使用した場合のβ/α比（全β放射能濃度を全α放射能濃度で除した比）を用いる方法を示す。この方法は、原子力施設からの影響がない場合にβ/α比が概ね一定値をとることを基にしているため、発電用原子炉施設等の主要な放出がβ線放出核種であり、α線放出核種の影響がない場合の全β放射能濃度の施設寄与の推定にしか使用できないことに留意が必要である。

ウラン加工施設及びプルトニウムを取り扱う加工施設で施設起因のα線放出核種が放出さ

れる場合、又は再処理施設で $\alpha$ 線放出核種及び $\beta$ 線放出核種が双方とも放出される場合には、解説 F に示した $\alpha$   $\beta$  同時計数を用いた方法やスペクトル解析を用いた方法等により施設寄与を弁別して評価する必要がある。

全 $\alpha$ 放射能濃度における施設起因分の弁別評価方法や、全 $\beta$ 放射能濃度における $\beta/\alpha$ 比を用いた評価方法以外の弁別評価方法については解説 F を参照すること。

#### ① $\beta/\alpha$ 比を用いた方法

ラドン・トロン壊変生成物の影響により、全 $\alpha$ 放射能濃度及び全 $\beta$ 放射能濃度の経時的な変動は大きい、両者の比である $\beta/\alpha$ 比はほぼ一定になる。それを利用して、自然放射性物質由来の全 $\beta$ 放射能濃度を推定し、測定値から差し引くことで、施設起因の放射性物質由来の全 $\beta$ 放射能濃度を評価することができる。

この手法は、施設起因の放射性物質由来の全 $\beta$ 放射能濃度が支配的なきに有効であり、施設起因の放射性物質由来の全 $\beta$ 放射能濃度と全 $\alpha$ 放射能濃度の比が、自然放射性物質（ラドン・トロン壊変生成物）由来の比と同程度である場合は適用できない。

ろ紙送り直後のデータは、大気浮遊じんがろ紙の内部に入り込み、見かけ上相対的に全 $\beta$ 放射能濃度が全 $\alpha$ 放射能濃度に比べ高くなり、 $\beta/\alpha$ 比も高く算出される場合があること、また、放射線の計数が小さいことにより $\beta/\alpha$ 比のばらつきが大きくなる場合があることに注意が必要である。これにより、確認開始設定値を超過する頻度が多くなる場合には、ろ紙送りからの経過時間ごとに評価を行うとよい。

##### 1) 基準 $\beta/\alpha$ 比の設定

対象の測定地点における原子力施設からの影響のない過去数年間の 1 時間測定値の $\beta/\alpha$ 比の平均値を算出し、基準 $\beta/\alpha$ 比を設定する。なお、基準 $\beta/\alpha$ 比は、全 $\alpha$ 放射能濃度及び全 $\beta$ 放射能濃度の相関の傾きから求めてもよい。評価例を図 3-6 に示す。

##### 2) 施設起因全 $\beta$ 放射能濃度推定値の算出

全 $\alpha$ 放射能濃度の 1 時間測定値と基準 $\beta/\alpha$ 比の積から、自然全 $\beta$ 放射能濃度推定値を算出する。全 $\beta$ 放射能濃度の 1 時間測定値から自然全 $\beta$ 放射能濃度推定値を差し引き、施設起因全 $\beta$ 放射能濃度推定値を算出する。

#### 評価式

$$\begin{aligned} \text{全 } \alpha \text{ 放射能濃度測定値} &\times \text{ 基準 } \beta/\alpha \text{ 比} = \text{ 自然全 } \beta \text{ 放射能濃度推定値} \\ \text{全 } \beta \text{ 放射能濃度測定値} &- \text{ 自然全 } \beta \text{ 放射能濃度推定値} \\ &= \text{ 施設起因全 } \beta \text{ 放射能濃度推定値} \end{aligned}$$

##### 3) 確認開始設定値の決定

過去数年間の施設起因全 $\beta$ 放射能濃度推定値の最大値を弁別レベルとする。図 3-7 の評価例では $0.78 \text{ Bq/m}^3$ となる。

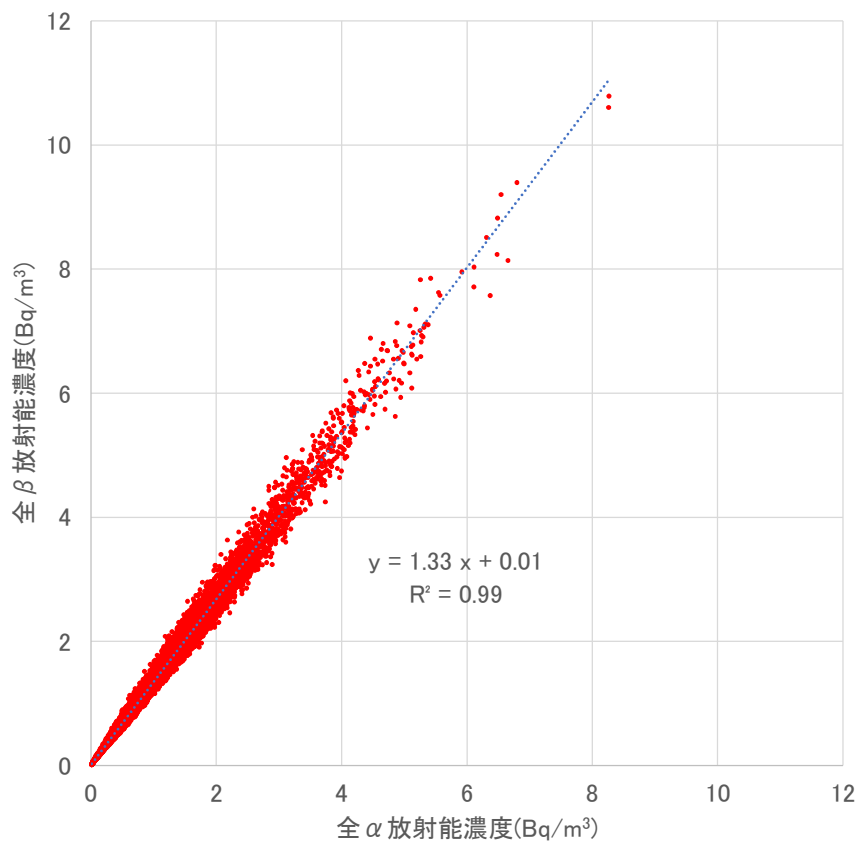
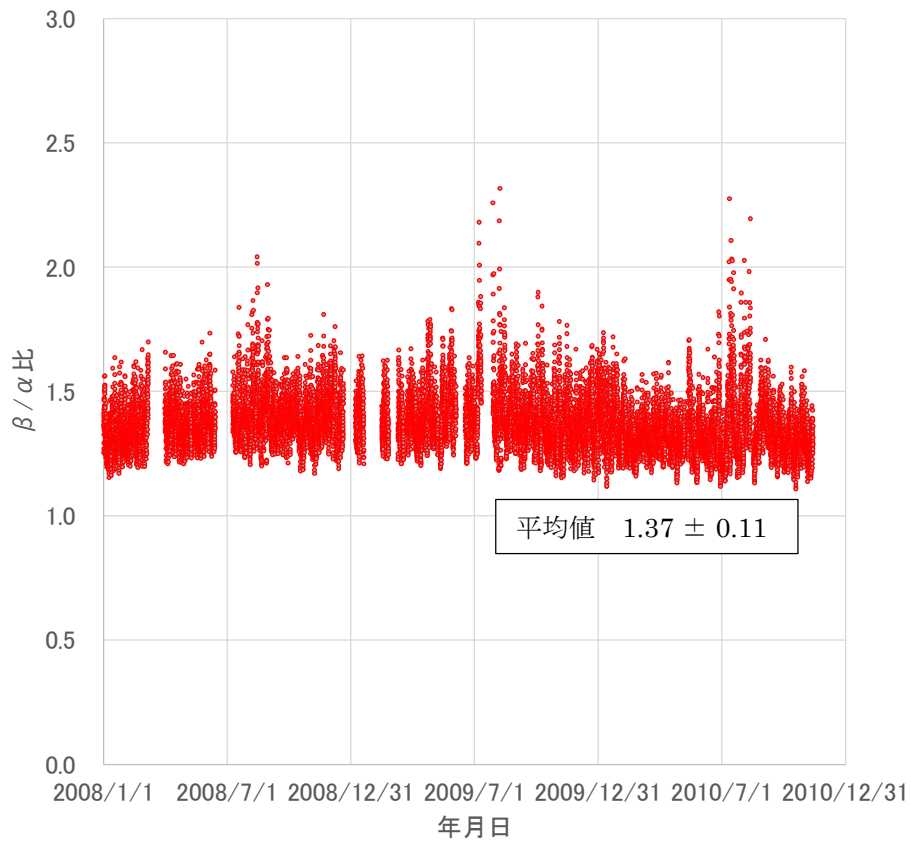


図 3-6 基準  $\beta/\alpha$  比の評価例

(上：平均値による評価例、下：相関の傾きによる評価例)

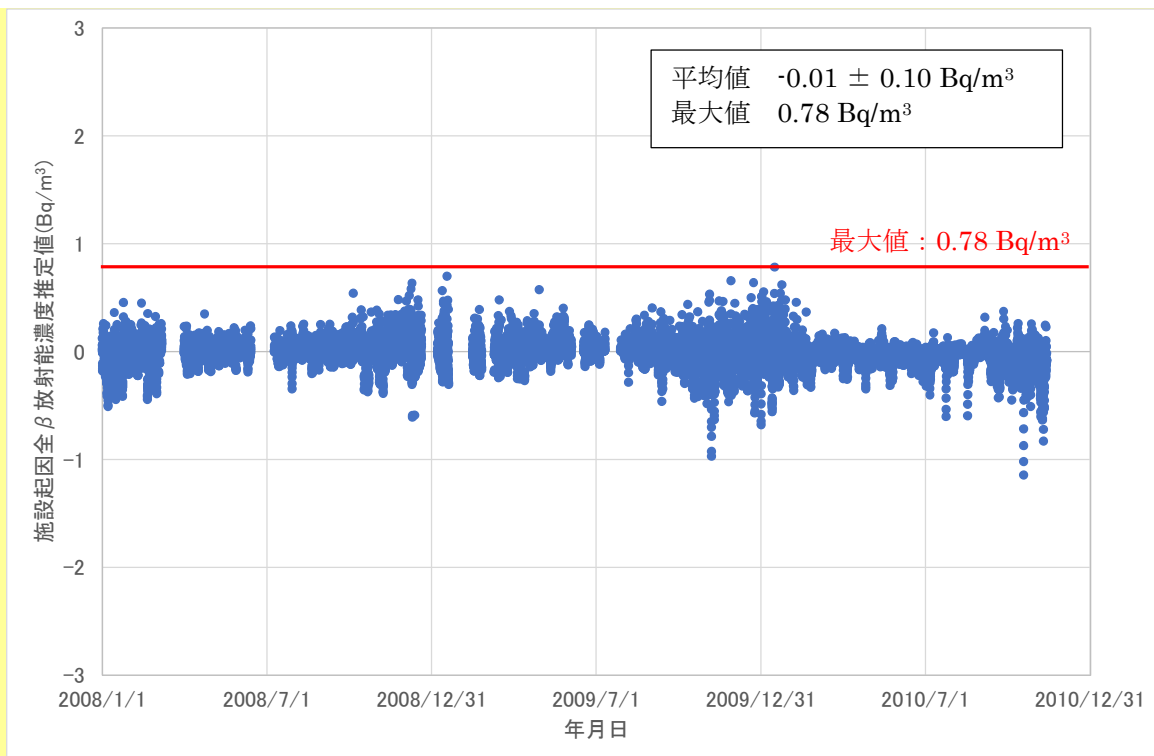


図 3-7 施設起因全β放射能濃度推定値の評価例

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故時の千葉県千葉市におけるダストモニタの測定値から、施設起因の放射性物質の寄与分を評価した例を図3-8に示す。3月15日以降の全β放射能濃度の上昇分を、施設起因全β放射能濃度推定値として概ね評価することができる。

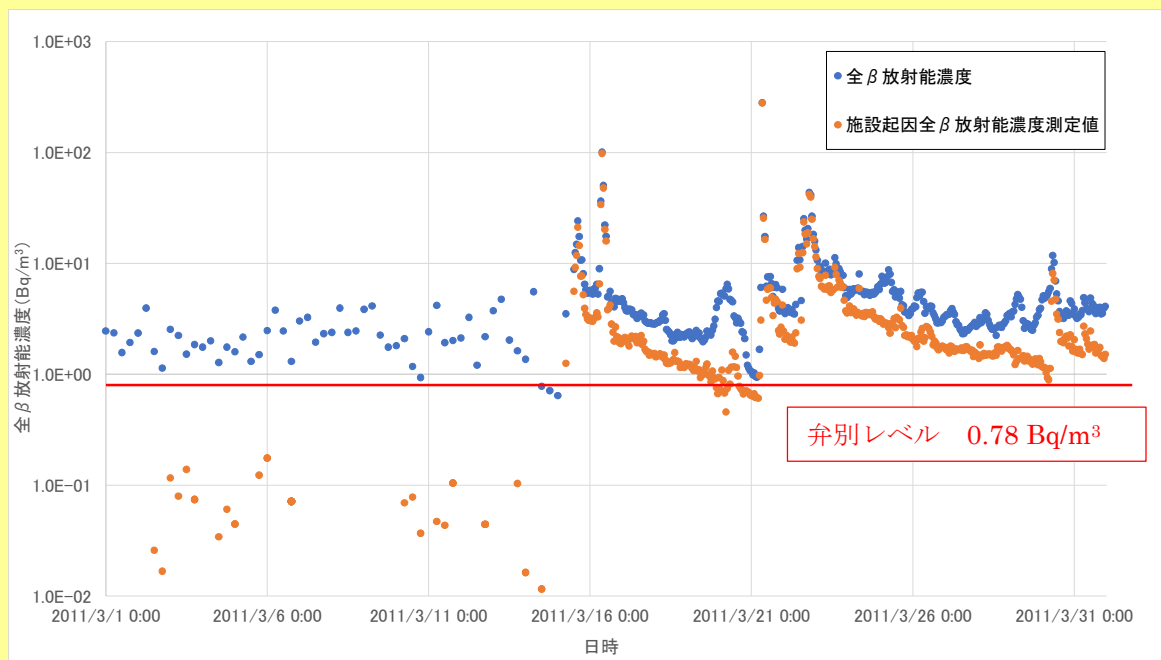


図 3-8 東京電力福島第一原子力発電所事故後における施設起因全β放射能濃度推定値の評価例

\* 2011年3月15日12:00以前はろ紙送り6時間ごとの最初の1時間測定値、以降はろ紙送り1時間ごとの1時間測定値、施設起因全β放射能濃度は正の値のみを表示



## (2) 確認開始設定値を超過した場合等の対応

1 時間測定値が確認開始設定値を超過した場合、以下の①～④の異常や影響の有無を確認する。

### ① 施設の測定値等の異常

- ・原子力施設外への放出（管理放出含む）の状況
- ・原子力施設中のエリアモニタリング設備等の異常値
- ・核爆発実験等の影響による人工放射性物質の大気中への放出及び拡散

### ② 気象、自然放射性物質等の影響

- ・降雨雪、積雪等の気象要因
  - － 降雨雪による大気浮遊じんの大気中からの洗い流し
  - － 降雨雪、積雪による大気浮遊じんの地表面からの再浮遊の抑制及びラドン・トロン壊変生成物の発散の抑制
  - － 強風時の土壌の舞い上がりや黄砂等の自然現象による大気浮遊じん量の増加
  - － 明け方の大気の安定に伴う地表面付近のラドン・トロン壊変生成物濃度の増加
  - － 雷によるノイズ
- ・自然災害等に伴う地理・地形等の自然条件の変化
- ・近隣の土木工事等の人為的な要因による周辺環境の変化

### ③ 測定器等の異常

- ・測定器の故障の有無
- ・試料採取方法、測定器の性能、測定方法等の測定条件の変化
  - － 検出器廻りの汚れによる測定値の変化
  - － 大気の採取流量の変動による測定値の変動
  - － 不適切なアースや不安定な電圧による測定値の変動
  - － 大気捕集材の性能のばらつき

### ④ 計数の不確かさによる測定値のばらつき

#### 3.5.3 平常の変動幅によるダストモニタの管理

施設寄与弁別前のダストモニタ測定値は、自然放射性物質による寄与を含んだものであり、施設寄与がない場合でも変動する。これは、降雨や積雪、風の強さ、季節風の影響等の自然要因によって大気中のラドン・トロン壊変生成物の濃度が変化すること等に起因する。このため、平常の変動幅を把握し、これを越えた場合には機器に異常等がないか確認することが管理上有効である。また、必要に応じて自然変動による超過頻度を検討し、確認開始設定値を設定することにも活用することができる。なお、平常の変動幅は、原子力施設の通常運転時かつ測定条件が適切に管理されている場合において、測定値の変動がおおむねある一

定の幅の中に収まると考えられる幅のことである。

#### (1) 平常の変動幅の設定方法

平常の変動幅の設定には、確認開始設定値を設定した際に使用したデータ（3.5.2(1)参照）と同一のデータを使用する。ただし、施設寄与分の弁別をしていない自然放射性物質の寄与を含んだデータを使用する。

平常の変動幅は、過去数年間の全 $\alpha$ 放射能濃度又は全 $\beta$ 放射能濃度の1時間測定値の算術平均値＋（3×算術標準偏差）等から設定する。

平常時におけるダストモニタ測定値の変動は、ラドン・トロン壊変生成物の濃度変化によるもので、風の強さ、季節風の影響、降雨や積雪等の自然要因により、図3-8のような季節変動が見られることが多い。また、集じんからの経過時間に応じて測定値のばらつきも変動する。

図3-9に示したような個々の測定値の頻度分布が、図3-10のように対数正規分布と見なすことができる場合には、図3-11に示したように、算術平均値ではなく、幾何平均値を用いて平常の変動幅を設定することがよい\*。幾何平均値を用いる場合には、過去数年間の全 $\alpha$ 放射能濃度又は全 $\beta$ 放射能濃度の1時間測定値の幾何平均値×（幾何標準偏差の3乗）が平常の変動幅となる。

\* 算術平均値は、測定値全ての合計を、測定値の個数で除することで求められる平均値であり、一般的に使用される。

幾何平均値は、測定値全てを掛け合わせ、測定値の個数の累乗根を取って求められる平均値であり、変化率の平均値を求める場合等に使用される。

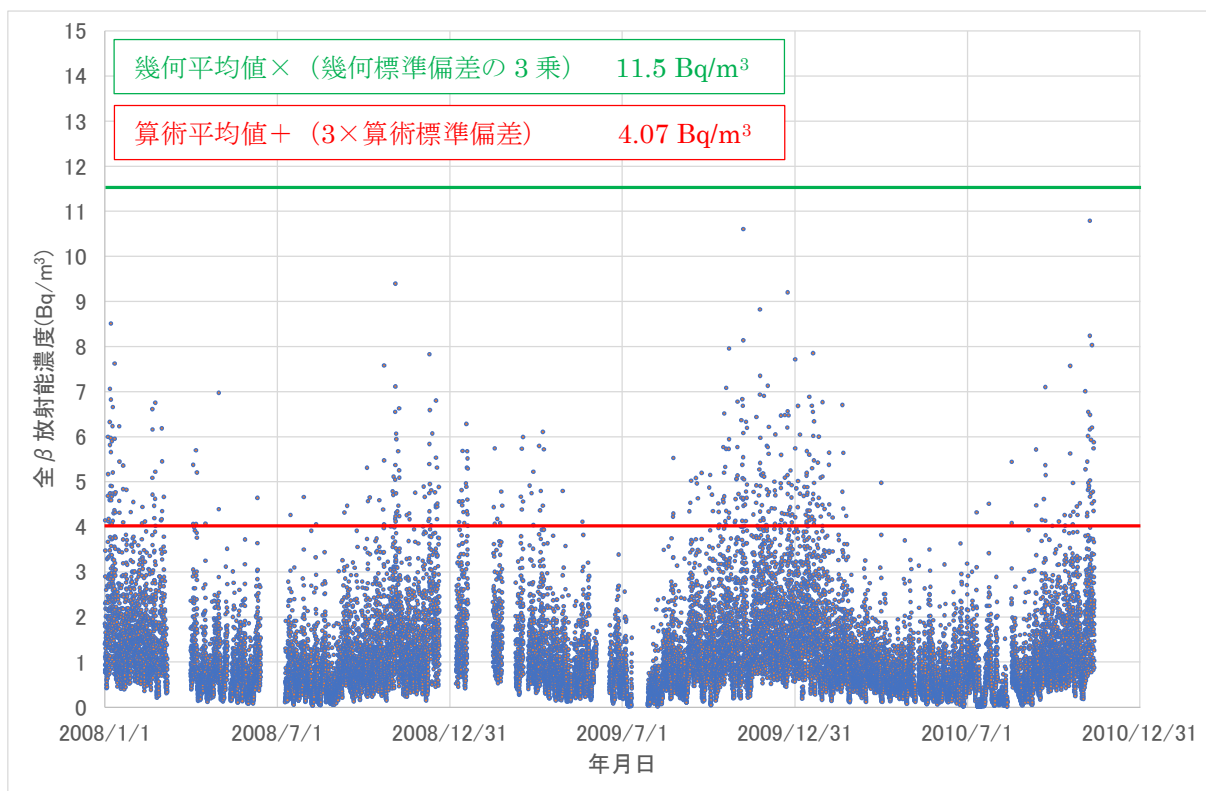


図 3-9 ダストモニタ測定値（全β放射能濃度）の経時変化例

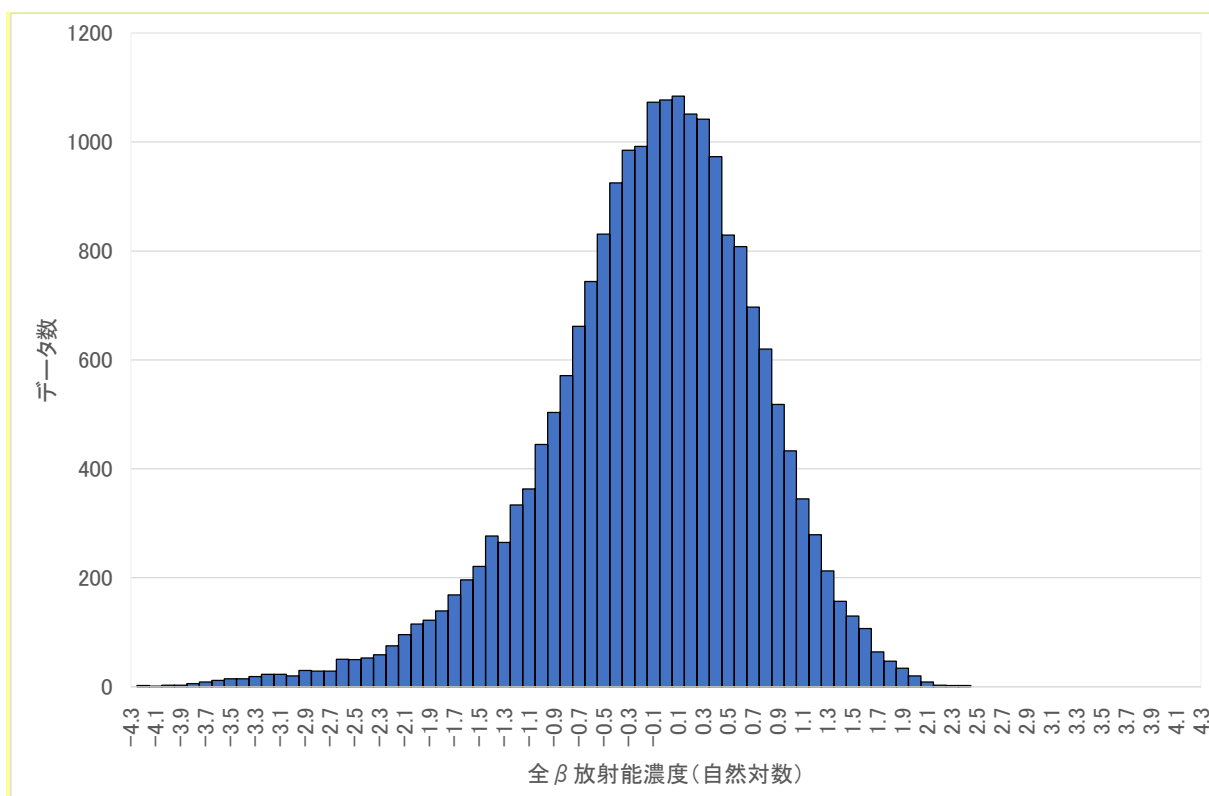


図 3-10 ダストモニタ測定値の頻度分布図（対数正規分布）

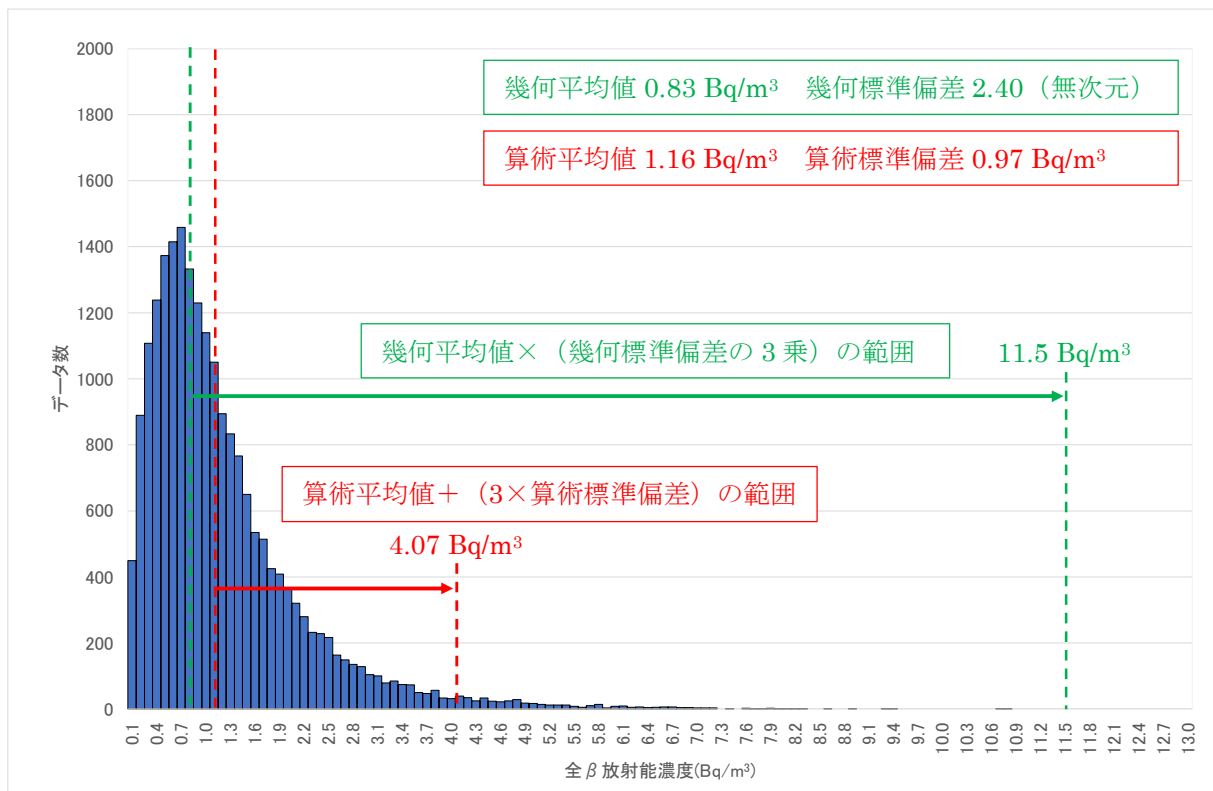


図 3-11 ダストモニタ測定値の平常の変動幅の設定例

## (2) 平常の変動幅の超過の確認

平常の変動幅を超過した場合には、その原因が自然変動によるものであるか、機器に異常等がないかを確認することが管理上有効である。

自然変動によりダストモニタの測定値が高くなる時期に、平常の変動幅を超過する頻度が多くなる場合には、過去数年間の全 $\alpha$ 放射能濃度又は全 $\beta$ 放射能濃度の最大値を使用することや、ろ紙送りからの経過時間ごと又は季節ごとの平常の変動幅を設定すること等による評価を行うとよい。

ただし、過去数年間の最大値を使用する場合は平常の変動幅としては大きくなり、判断基準としては緩くなることに留意が必要である。

### 3.5.4 施設寄与があったと判断した場合の対応

確認開始設定値を超過し、要因調査の結果、施設寄与があったと判断した場合（施設寄与があった可能性を否定できないと判断した場合を含む）、当該時刻の大气浮遊じんを採取したろ紙を回収し、周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価のため、放射性核種濃度の精密分析を行う。

ダストサンプラを併設していれば、そのろ紙を回収することでもよい。

平常時補足参考資料に記載されている原子力施設に応じた精密分析のための測定対象を表 3-13 に示す。

精密分析の手順については、第5章に示す。

表 3-13 施設寄与があったと判断した場合の精密分析のための測定対象

原子力施設	測定対象
発電用原子炉施設 (PAZ 及び UPZ 設定を要する)	γ 線放出核種、放射性ヨウ素
冷却告示に定める発電用原子炉施設	γ 線放出核種、放射性ヨウ素
発電用原子炉施設 (UPZ 設定を要しない)	γ 線放出核種、放射性ヨウ素
試験研究用等原子炉施設 (UPZ 設定を要する)	γ 線放出核種、放射性ヨウ素
ウラン加工施設 (UPZ 設定を要する)	ウラン
プルトニウムを取り扱う加工施設	プルトニウム
再処理施設	γ 線放出核種、プルトニウム

## 第 4 章 ダストサンプラ等による大気試料の採取

ダストサンプラ等による大気試料の採取及び第 5 章に記載している大気試料の分析は、周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価のために実施する。

大気試料の採取手順は、放射能測定法シリーズ No. 16「環境試料採取法」の記載を基本としている。

### 4.1 機器

大気試料の採取には、ダストサンプラ又はヨウ素サンプラが用いられている。ダストサンプラにはロウボリウムエアサンプラとハイボリウムエアサンプラがあり、その違いは吸引量によるもので、構成に大きな差は無い。ダストサンプラの機器構成を(1)に、各サンプラの特徴を(2)及び(3)に示す。第 3 章で記載したダストモニタも、ダストサンプラとして使用することが可能である。

大気試料の採取流量は、ろ紙の集じん時間と要求される検出下限濃度等との関係で決められるが、大気浮遊じんのみを対象とする場合は 100～250 L/min の範囲、ヨウ素を対象とする場合は約 50 L/min が適している。

#### (1) ダストサンプラの機器構成

ダストサンプラは、図 4-1 に示すように分粒装置、ろ過材保持具、流量制御部及び吸引ポンプで構成される。各部の機能については、①～④に示す。

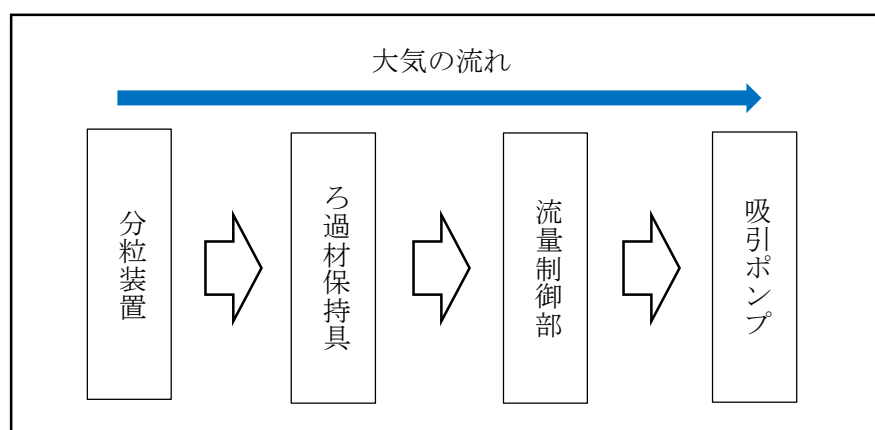


図 4-1 ダストサンプラの構成

#### ① 分粒装置（粒径選別部）

分粒装置は、捕集した大気浮遊じんから、必要とする粒径の大気浮遊じんを分離する装置で、分粒方式によって、重力沈降形（多段平行板式分粒装置）、慣性衝突形（慣性衝突式分粒装置）及び遠心沈降形（サイクロン式分粒装置）の 3 種類がある。原子力施設を対象としたモニタリングでは、大気浮遊じんの粒径選別を行わないため、原則として分粒装置を使用することはないが、大気浮遊じんの粒径別に放射能濃度を求める場合等には有効で

ある。

#### ② ろ過材保持具（捕集材（ろ紙）取付け部）

ろ過材保持具は、ろ過材（ろ紙等のような粒子状物質をろ過捕集するもの。本測定法では大気捕集材という。）を容易に交換でき、かつ、ろ過材の破損及び空気漏れを生じないような構造となっている。

#### ③ 流量制御部（吸引量調整部）

流量制御部は、気温及び大気圧を基に、分粒装置を通過する実流量を所定の流量に制御する構造となっている。

実流量の制御方法は、使用する流量計によって異なる（実流量を補正する方法については、JIS Z 8814：2012「ロウポリウム エアサンプラ」附属書 A [6]を参照のこと）。

流量計は、面積式、差圧式、容積式及び質量式が広く使用されている。

#### ④ 吸引ポンプ

吸引ポンプは、大気捕集材を通して所定の流量で大気を吸引するものであり、リニアモータ駆動型、ロータリー型、ダイヤフラム型等がある。ロータリー型は流量が大きく変動も少ない。ダイヤフラム型やピストン型は流量も変動も中程度で、ターボ型は流量も変動も大きい。

ろ紙等の圧力損失の変化に伴う流量の変動は、ポンプの種類に依存する。

(2) ローボリウムエアサンプラ

連続集じんを目的にしており、数日～1週間程度の使用に耐えられる。吸引量は20～100 L/min程度で、ろ紙ホルダーには、直径5 cm程度のろ紙を取り付けるほか、放射性ヨウ素捕集用の活性炭カートリッジ等を装着する。

ローボリウムエアサンプラの機器仕様例を表4-1に示す。なお、求められている性能を有している場合は、仕様例に記載していない機器等を使用しても差し支えない。

ダストサンプラの性能については、解説Bの検出可能レベルを参考にすること。

表4-1 ローボリウムエアサンプラの機器仕様例

項目	タイプA	タイプB	タイプC	タイプD
定格吸引量	40 L/min 以上	50 L/min 以上	120 L/min 以上	20～120 L/min
流量可変範囲	30～50 L/min	50 L/min	—	20～120 L/min
大気捕集材	セルロース・ ガラス繊維ろ紙 60 mm φ (活性炭ろ紙、活 性炭カートリッ ジ 装着可)	セルロース・ ガラス繊維ろ紙 60 mm φ (活性炭ろ紙、活 性炭カートリッ ジ 装着可)	セルロース・ ガラス繊維ろ紙 (105～110 mm φ)	セルロース・ ガラス繊維ろ紙 60 mm φ (活性炭ろ紙、活 性炭カートリッ ジ 装着可)
測定情報	流量、積算流量			
可搬性	あり			
重量	約 6 kg	約 15 kg	約 3 kg	約 8 kg
寸法 W×D×H(mm)	150×205×177	260×260×1000	200×162×262	190×323×285
電源	AC100 V 1.5 A	AC100 V 300 VA	バッテリー DC7.4 V 3200 mA	AC100 V
その他	連続運転： 最長 99 時間	—	連続運転： 60 分以上	連続運転： 1 週間程度



### (3) ハイボリウムエアサンプラ

短時間に多量の大气を吸引して大气浮遊じんを捕集するため、長時間にわたる連続集じんには適していない。

吸引量は200～2000 L/min程度で、ろ紙は直径10 cm程度又は8 inch(203 mm)×10 inch(253 mm)角程度の大型ろ紙を装着する。

可搬型の機器と、固定された大型の機器がある。

ハイボリウムエアサンプラの機器仕様例を表4-2に示す。なお、求められている性能を有している場合は、仕様例に記載していない機器等を使用しても差し支えない。

ダストサンプラの性能については、解説Bの検出可能レベルを参考にすること。

表4-2 ハイボリウムエアサンプラの機器仕様例

項目	タイプA	タイプB	タイプC
定格吸引量	650 L/min	500 L/min	1000 L/min
流量可変範囲	—	100～800 L/min	100～1200 L/min
大气捕集材	セルロース・ ガラス繊維ろ紙 105～110 mm φ	ガラス繊維ろ紙 110 mm φ	シリカろ紙 8 ×10 inch
測定情報	流量、積算流量		
重量	約4 kg	約8 kg	約31 kg
寸法 W×D×H(mm)	165×169×165	425×200×270	575×575×1420
電源	AC100 V 580 W	AC100 V 10 A	AC100 V 10 A

## 4.2 大気捕集材

JIS Z 4601:2009「放射性ダストサンプラ」[7]においてろ紙の性能は、「捕集効率は、粒径  $0.3 \mu\text{m}$  の粒子に対し 95 % 以上のものとする。」と記載されているが、実際に使用されているろ紙は、粒径  $0.1 \mu\text{m}$  の粒子に対して 99 % 程度の捕集効率を有している\*。

大気浮遊じん捕集用のろ紙は、セルロース・ガラス繊維ろ紙等があり、ガス状の放射性ヨウ素捕集用には、活性炭ろ紙、活性炭カートリッジが用いられ、それらは目的によって使い分ける。

\* 参考 A 大気捕集材の特性を参照

### (1) ローボリウムエアサンプラ用の大気捕集材

#### ① セルロース・ガラス繊維ろ紙

セルロース繊維と微細ガラス繊維から成るろ紙で、補強するために布の裏打ち、はっ水処理を行っている。

JIS Z 4601 : 2009「放射性ダストサンプラ」[7]に規定のろ紙に適合している。

#### ② ガラス繊維ろ紙

極微細なホウ珪酸塩ガラス繊維で作られ、吸湿性が小さい。また、捕集効率が高いことが特徴である。

### (2) ハイボリウムエアサンプラ用の大気捕集材

#### ① セルロース・ガラスろ繊維ろ紙

(1)①と同等品で、円形 ( $105 \text{ mm } \phi$ ) と角型 ( $8 \text{ inch} \times 10 \text{ inch}$ ) がある。

#### ② ガラス繊維ろ紙

(1)②と同等品で、角型 ( $8 \text{ inch} \times 10 \text{ inch}$ ) である。

ろ紙の捕集効率等を表 4-3 に示す。

表 4-3 ろ紙の捕集効率等の例

ろ紙の材質	セルロース・ガラス繊維			ガラス繊維	
	重量 (g/m <sup>2</sup> )	145			120
厚さ (mm)	0.41			0.40	0.38
圧力損失 (kPa)	0.27			0.32	0.30
はっ水度 (kPa)	4.9			4.9	—
通気速度 (cm/s)	55	80	135	20	—
捕集効率 (%)	99.7 <sup>*1</sup>	99.8 <sup>*1</sup>	99.9 <sup>*1</sup>	99 <sup>*2</sup>	99.99 <sup>*3</sup>

損失：通気速度

圧力損失：空気がろ紙を通過する際の上流側（通過前）と下流側（通過後）の差圧で、  
通気速度 5 cm/s の時の値

測定方法については JIS K 0901:0901「気体中のダスト試料捕集用ろ過材の形状、  
寸法並びに性能試験方法」[8]を参照すること。

はっ水度：水が通過するのに必要な圧力

通気速度：空気が通過する速度

\*1 捕集効率：0.31 μm ポリスチレンラテックス粒子を 55～135 cm/s の通気速度でろ過した時、  
上流、下流の粒子濃度より測定

\*2 捕集効率：0.3 μm ポリアルファオレフィン粒子を 20 cm/s の通気速度でろ過した時、  
上流、下流の粒子濃度より測定

\*3 捕集効率：0.3 μm フタル酸ジオクチル粒子を 5 cm/s の通気速度でろ過した時の値

### 4.3 設置、点検

ダストサンプラの屋外への設置及び点検方法について記載する。屋内への設置方法についてはダストモニタと共通であるため、3.3を参照すること。

#### 4.3.1 設置

ダストサンプラの設置場所は、周辺に立木や建造物がなく、また、特定の施設の影響を強く受けない平坦地（公園や駐車場の中央等）を選ぶ。また、電源の確保や保守点検が容易であること等も考慮して設置場所を選択する。適当な場所がない場合は、建造物の平らな屋上に設置してもよい。

設置に当たり、吸引口の高さは、空間放射線量率の測定高さに合わせ、地上1 m程度になるよう設置する。地表からの舞い上がりの影響や積雪の影響等がある場合には、1 mよりも高くしてもよい。降雨、降雪を取りこまないよう雨よけを付けるとともに、転倒防止措置を講じる。

また、複数のダストサンプラを同時併用する場合は、互いに排気が影響しない配置とし、電源に可搬型発電機を使用する場合は、その排気を吸引しないように配慮する。

#### 4.3.2 点検

ダストサンプラの性能の維持管理のため定期的な日常点検及び年1回程度の流量計の校正を行う必要がある。適切な維持・管理のためには、点検、校正を専門機関又はメーカーに依頼する。

日常点検項目例を示す。詳細な点検方法については、ダストサンプラの取扱説明書を参照する。

日常点検項目例	
(1) 外観の確認	強い衝撃が加えられたような痕跡がないこと
	汚れ（粉じんの堆積等）がないこと
	ネジや部品の欠落、破損がないこと
(2) 動作の確認	操作パネルの表示及びその動作に異常がないこと
	ろ紙を取り付けた際に漏れがないこと
	流量の設定及びスタート・ストップの動作が正常に行えること
	停電復帰機能及びその記録が正常に行えること
(3) 温度・大気圧・流量の確認	表示温度が基準温度計の表示基準範囲内にあること
	表示大気圧が基準大気圧計の表示基準範囲内にあること
	表示流量（設定流量）が表示基準範囲内にあること

メーカー等が行う主な定期点検項目例を示す。

定期点検項目例		
(1) 外観検査	サンプラ、ポンプ、記録計、ケーブル、コネクタ類	
(2) 単体動作・性能検査	サンプラ	制御動作の確認
		警報動作の確認
		集じん部のリーク試験
		流量指示精度（最大流量確認）
	ポンプ	動作確認（発熱、異音、振動、異臭等）
		摩耗品の定期的交換
記録計	指示精度	

#### 4.4 採取

##### 4.4.1 採取方法

	手順
1	ダストサンプラの動作試験を行い、性能を確認したのち所定のろ紙を装着する。
2	集じんを開始し、その時刻と開始直後の流量計の値を読み取り、記録する。
3	集じ人中、適当な時間間隔で流量計の値を読み取り、次式により全吸引量 (Vt) *を求める。 $V_t = V_1 t_1 + V_2 t_2 + \dots + V_n t_n \quad (L)$ $V_1 \sim V_n : \text{流量計の値 (L/min)}$ $t_1 \sim t_n : \text{読み取った流量に対応する時間 (min)}$
4	集じん終了直前の流量計の値を読み取り、終了時刻を記録する。 なお、積算流量計の付属しているダストサンプラでは積算流量の値を読み取る。
5	吸引が終了したろ紙は、捕集した大気浮遊じんを落とさないように所定の保存容器に収める。

\* 集じ人中の大気の吸引量は、大気浮遊じんの量の多少によって大きく変わる。

捕集時間は捕集によるろ紙の目詰まりによって、流量が吸引初期の値の 90 % 以下に低下しない範囲とする。

##### 4.4.2 採取条件の設定

大気の吸引量は、 $\gamma$  線スペクトロメトリー及び放射化学分析等の目的に応じて決められる。

通常、直径約 5 cm の円形ろ紙を装着したロウポリウムエアサンプラを用いた場合は、50～100 L/min 程度で一週間程度連続集じんを行う。円形又は長方形の大型ろ紙を装着したハイポリウムエアサンプラを用いた場合は、200～1000 L/min で数時間から最大 24 時間集じんしたものが測定対象試料となる。

#### 4.4.3 試料に関する記録

試料採取時の記録事項例を表 4-4 に示す。

表 4-4 試料採取時の記録事項例

項目	記録事項例
(1) 採取機関名	
(2) 採取者名	
(3) 試料番号	
(4) 採取日時	開始時刻～終了時刻
(5) 採取場所 (緯度、経度)	設置場所及び周辺の状態、吸引口の高さ (緯度、経度)
(6) 採取状況	採取期間の天候等
(7) 採取方法	使用機器、ろ紙の種類と大きさ、枚数等
(8) 流量	開始時            L/min                 終了時            L/min
(9) 吸引量	積算流量        L            吸引時間            min
(10) 処理状況	
(11) 処理者名	
(12) 輸送状況	輸送方法、試料の形態及び試料量等
(13) その他参考事項	

#### 4.4.4 試料の輸送

大気浮遊じんを捕集したろ紙は、集じん面を内側に折りたたんでポリエチレン製袋等の保存容器に入れ、テープ等でシールして輸送する。輸送に当たっては採取記録票の写しを添付する。

## 第 5 章 ダストサンプラ等により採取した大気試料の分析

大気試料の分析は、周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価を目的として、①原子力施設に応じて一定期間の連続採取ごとにダストサンプラ等からろ紙を回収して実施する、又は②ダストモニタ又はモニタリングポストでの連続測定により原子力施設からの放射性物質又は放射線の放出が認められた場合（大気中放射性物質濃度又は空間放射線量率の連続測定結果が上昇し、施設寄与が認められた場合（施設寄与があった可能性を否定できないと判断した場合を含む。））に、直ちにダストサンプラ等のろ紙を回収して実施する。

ダストサンプラ等から回収したろ紙の分析方法は、 $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる $\gamma$ 線放出核種の分析と、放射化学分析による $\alpha$ 線放出核種等の分析に大別される。本章では、回収したろ紙の両者における前処理及び分析方法について記載する。

平常時補足参考資料において、発電用原子炉施設等では、ゲルマニウム半導体検出器により 1 ヶ月に 1 回程度の頻度で大気中の $\gamma$ 線放出核種を測定、ウラン加工施設及びプルトニウムを取り扱う加工施設では、放射化学分析等により 3 ヶ月に 1 回程度の頻度でそれぞれ大気中のウラン又はプルトニウムを測定、再処理施設では、ゲルマニウム半導体検出器又は放射化学分析等により 3 ヶ月に 1 回程度の頻度で大気中の $\gamma$ 線放出核種及びプルトニウムを測定、することとしている（上記①）。また、ダストモニタ又はモニタリングポストでの連続測定により施設寄与が認められた場合は、ダストサンプラ等の試料を回収し、発電用原子炉施設等ではゲルマニウム半導体検出器等により $\gamma$ 線放出核種等の濃度を測定、ウラン加工施設では放射化学分析等によりウラン濃度を測定、プルトニウムを取り扱う加工施設では放射化学分析等によりプルトニウム濃度を測定、再処理施設ではゲルマニウム半導体検出器又は放射化学分析等により $\gamma$ 線放出核種、放射性ヨウ素及びプルトニウム濃度を測定することとしている（上記②）。

また、ウラン加工施設及びプルトニウムを取り扱う加工施設では、上記①の測定によってそれぞれ施設起因のウラン又はプルトニウムが検出された場合のみ、環境試料中のウラン又はプルトニウムを測定することとしているが、放射化学分析は時間を要することから、回収したろ紙の放射化学分析の実施前に全 $\alpha$ 放射能濃度を測定する等、早期に施設寄与の有無を判断することにより、速やかに環境試料の採取・測定を行うことが必要であるとしている。

放射化学分析よりも早期に施設寄与の有無を判断するため、①及び②においては、サーベイメータ等を用いて回収したろ紙上の大気浮遊じんからの放射線を簡便に測定することができる方法を採用するとよい。 $\gamma$ 線スペクトロメトリーにより、U-235 (186 keV) や Am-241 (60 keV) の $\gamma$ 線を測定することもスクリーニングとして有効である。また、②においては、大気浮遊じんに含まれる自然放射性物質（ラドン・トロン壊変生成物）の減衰を待ってから測定することも有効な場合がある。ラドン壊変生成物の見かけ上の半減期は 37 分、トロン壊変生成物の見かけ上の半減期は約 12 時間（図 5-1）であるため、それらの影響を取り除くために、集じん停止から 72 時間後（ラドン壊変生成物が卓越している場合は 5 時間後）に測定することで、放射化学分析よりは早期に施設寄与の有無を判断することができる可能性がある。

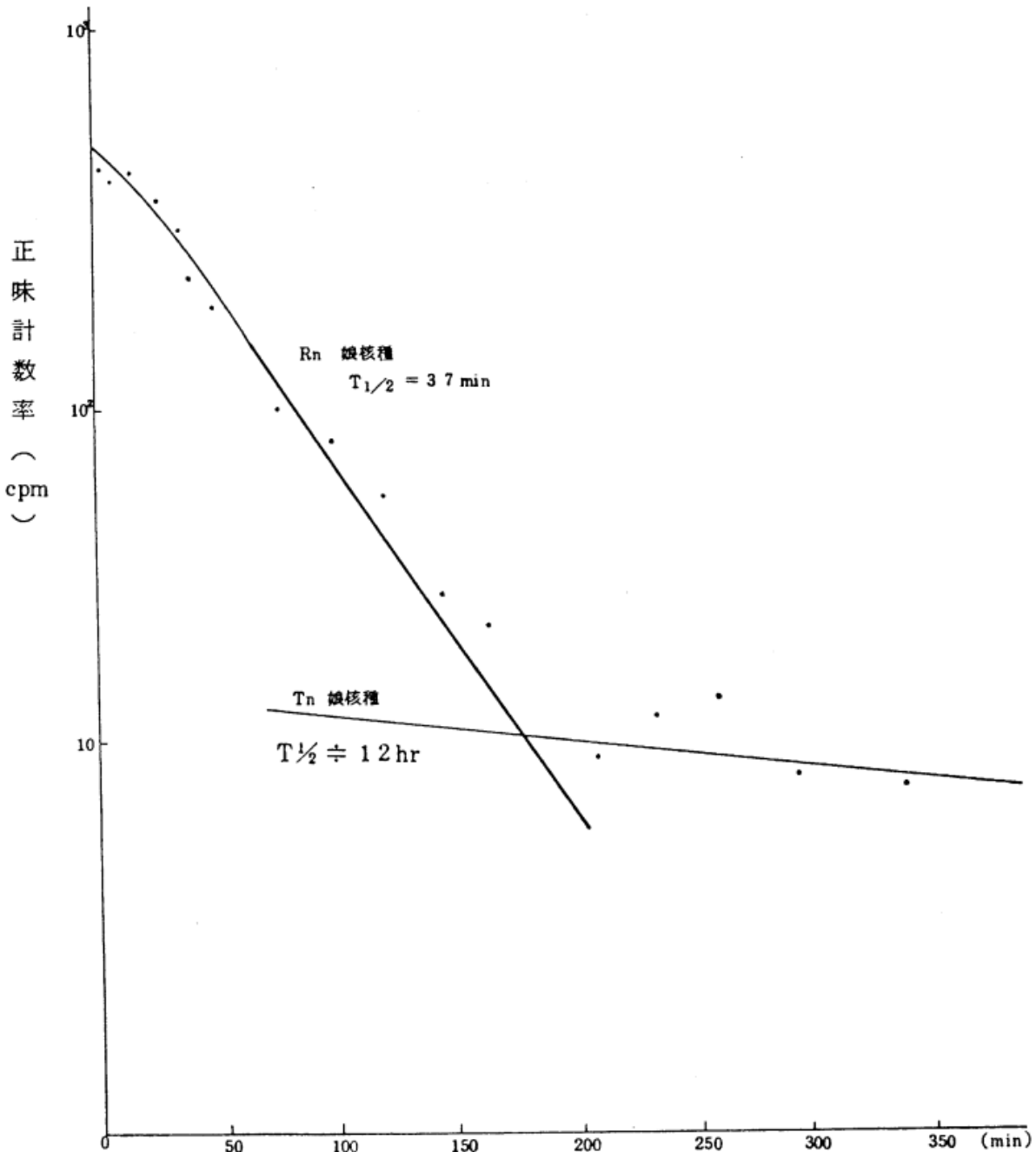


図 5-1 ラドン・トロン壊変生成物の放射能減衰

[放射能測定法シリーズ No. 1]



## 5.1 前処理

$\gamma$ 線スペクトロメトリーと放射化学分析の両方を実施する場合には、それぞれの目的のためにあらかじめ試料を分割するか、 $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる測定が終了した後の試料を用いて放射化学分析を実施する。

### (1) $\gamma$ 線スペクトロメトリーのための前処理

ろ紙を測定容器へそのまま充填する方法、切り抜いて充填する方法、灰化して充填する方法がある。

標準線源の作成が容易で、できるだけ高い計数効率が得られることと、再現性が良いこと等を考慮して、ろ紙の形により円形小型、長方形大型、円形大型及び長尺ろ紙の4種類に分類し、それぞれの場合について示す。

ろ紙の種類によっては、放射性物質が含まれていることがあるので、同一ロットのろ紙を用いてブランク試験を行い、放射性物質が含まれている場合には補正する必要がある。

#### (A) 円形小型ろ紙の場合

##### ① そのまま充填する方法

手順	
1	捕集した大気浮遊じんを落さないように注意して、ろ紙より少し大きい直径のプラスチック容器（測定容器）に入れる。
2	プラスチックの円板等で押し込んで一定体積になるようにして蓋をする（図5-2）。
3	ポリエチレンフィルムで包み測定試料とする。

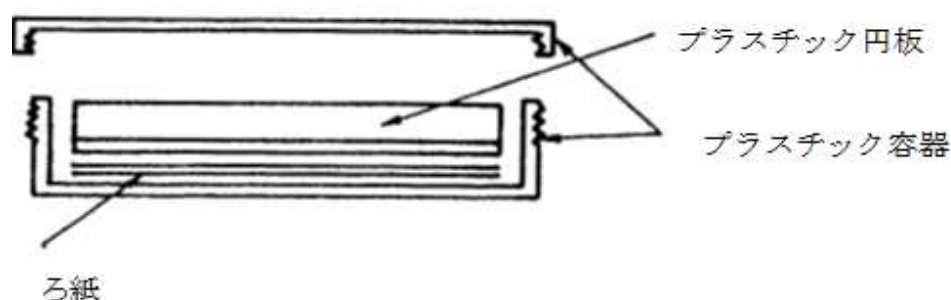


図 5-2 プラスチック容器へのろ紙試料の充填例

[放射能測定法シリーズ No. 16]

(B) 長方形大型ろ紙の場合

① 折りたたむ方法

手順	
1	集じん面が変色しているので、捕集した大気浮遊じんが落ちないように注意してこの変色した部分をはさみで切り取る。
2	集じん面を内側にして、一定寸法になるように折りたたみポリエチレンフィルムで包みシールする、又はプラスチック容器（測定容器）に入れて測定試料とする。

② 円形に打ち抜く方法

手順	
1	集じん面をいくつかの円形に打ち抜く（図 5-3）。  注）打ち抜く円の径は、プラスチック容器（測定容器）の大きさと標準線源の大きさを考慮して決める。  打ち抜く際は、木、又は鉛の台上で、コルクローラーあるいはステンレス鋼製放射能測定皿を用いて打ち抜くとよい。打ち抜いたろ紙を取り外す時には、試料がこぼれ落ちないように注意する。このため、あらかじめプラスチック製薄膜でろ紙の表面をおおい、薄膜ごと打ち抜くと試料の飛散がなくてよい。
2	打ち抜いたろ紙は(A)の場合と同様にプラスチック容器（測定容器）に詰めて測定試料とする。

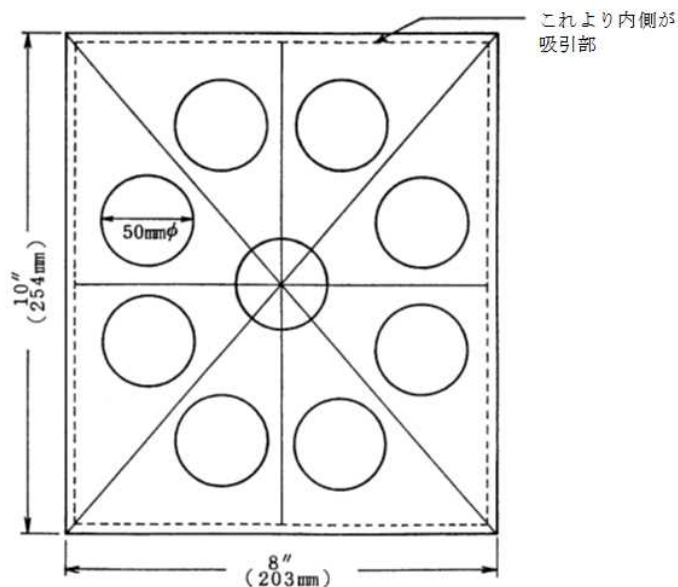


図 5-3 長方形大型ろ紙の打ち抜き例

[放射能測定法シリーズ No. 16]

### ③ 灰化

手順	
1	<p>大気浮遊じんを捕集したろ紙(セルロース・ガラス繊維ろ紙等)は、集じん面を内側に折りたたむか、はさみ等で細断して磁製蒸発皿に入れる。</p> <p>注) 使用したはさみ等を別の試料の切断に使う場合には十分洗浄する。</p>
2	<p>電気炉に入れ、500 °C*で4~5時間灰化する。</p> <p>500 °Cでセシウムの揮発が懸念されるようならば、450 °C以下で灰化するとよい。</p>
3	<p>放冷後、灰試料を、絵筆等を用いてプラスチック容器(測定容器)に移す。</p>

\* 核種によっては揮発してしまうため、適用できない。また、適用可能な核種であっても異常昇温等によって、電気炉が設定した以上に高温になると揮散する可能性もあるので、注意が必要である。

(C) 円形大型ろ紙の場合

① 折りたたむ方法

手順	
1	集じん面が変色しているので、捕集した大気浮遊じんが落ちないように注意してこの変色した部分をはさみで切り取る。
2	集じん面を内側にして、一定寸法になるように折りたたみポリエチレンフィルムで包みシールする、又はプラスチック容器（測定容器）に入れて測定試料とする。

② 円形に打ち抜く方法

手順	
1	ろ紙の吸引部分が明瞭に区別できるように、サンプルにろ紙をつけたまま鉛筆等で枠を書いた後、ろ紙を外す。
2	吸引部分のろ紙から直径 5 cm 以下の円形のもの 1 枚、又は、図 5-4 に示すように小さい円形のものを数枚打ち抜く。
3	プラスチック容器（測定容器）に重ねて入れるか、ポリエチレンフィルムで包みシールして測定試料とする。

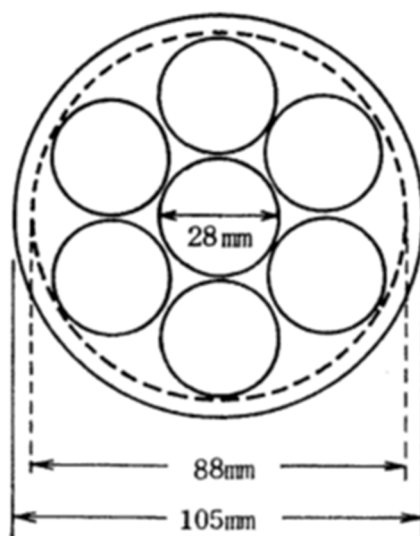


図 5-4 円形大型ろ紙の打ち抜き例

[放射能測定法シリーズ No. 16]

### ③ 灰化

手順	
1	大気浮遊じんを捕集したろ紙(セルロース・ガラス繊維ろ紙等)は、集じん面を内側に折りたたむか、はさみ等で細断して磁製蒸発皿に入れる。 注) 使用したはさみ等を別の試料の切断に使う場合には十分洗浄する。
2	電気炉に入れ、500 °C*で4~5時間灰化する。 500 °Cでセシウムの揮発が懸念されるようならば、450 °C以下で灰化するとよい。
3	放冷後、灰試料を、絵筆等を用いて測定容器に移す。

\* 核種によっては揮発してしまうため、適用できない。また、適用可能な核種であっても、異常昇温等によって、電気炉が設定した以上に高温になると揮散する可能性もあるので、注意が必要である。

(D) 長尺ろ紙の場合

① 折りたたむ方法

手順	
1	回収したろ紙を、大気浮遊じんが付着していない部分で適当な大きさに切り取る。
2	集じん面を内側にし、測定容器に入る大きさに折りたたみポリエチレンフィルムで包みシールする、又はプラスチック容器（測定容器）に入れて測定試料とする。

② 打ち抜く方法

手順	
1	ろ紙を回収後、集じん面をはさみ等で切り抜くか、専用の器具等で打ち抜く。切り抜き又は打ち抜く際に、測定容器の径に合わせることで、充填しやすくなる。  注) 使用したはさみ等を別の試料の切断に使う場合には十分洗浄する。
2	打ち抜いた（切り取った）ろ紙は、大気浮遊じんの付いた面を下にして、プラスチック容器（測定容器）に重ねて入れるか、ポリエチレンフィルムで包みシールして測定試料とする。

③ 灰化

手順	
1	大気浮遊じんを捕集したろ紙（セルロース・ガラス繊維ろ紙等）は、巻き取った状態か、集じん面を内側にして折りたたむか、はさみ等で細断して磁製蒸発皿に入れる。  注) 使用したはさみ等を別の試料の切断に使う場合には十分洗浄する。
2	電気炉に入れ、500℃*で4～5時間灰化する。 500℃でセシウムの揮発が懸念されるようならば、450℃以下で灰化するとよい。
3	放冷後、灰試料を、絵筆等を用いて測定容器に移す。

\* メンブレンろ紙等の灰化ができないろ紙もあるので注意が必要である。

核種によっては揮発してしまうため、適用できない。また、適用可能な核種であっても、異常昇温等によって、電気炉が設定した以上に高温になると揮散する可能性もあるので、注意が必要である。

## (2) 放射化学分析のための前処理

放射化学分析により、ウラン分析又はプルトニウム分析するための前処理を行う。

### ① ウラン分析

原則としてろ紙を灰化して分析する。

メンブレンろ紙等の灰化ができない場合は、ろ紙に捕集した大気浮遊じんに含まれるウランを酸抽出等により抽出することができれば、その抽出液を分析に供する。

セルロース・ガラス繊維ろ紙の場合は、灰化して分析する。

ろ紙の種類によっては、ウランが含まれていることがあるので、同一ロットの未使用のろ紙を分析してブランク値を求め、補正する必要がある。

前処理手順については、放射能測定法シリーズ No. 14「ウラン分析法」を参照すること。

### ② プルトニウム分析

原則としてろ紙を灰化して分析する。

メンブレンろ紙等の灰化ができない場合は、ろ紙に捕集した大気浮遊じんに含まれるプルトニウムを酸抽出等により抽出することができれば、その抽出液を分析に供する。

セルロース・ガラス繊維ろ紙の場合は、灰化して分析する。

前処理手順については、放射能測定法シリーズ No. 12「プルトニウム分析法」を参照すること。

## 5.2 分析

### (1) $\gamma$ 線スペクトロメトリー

5.1 で調製した測定試料をゲルマニウム半導体検出器で測定する。

検出可能レベルを解説 B に示す。

詳細な測定手順については、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器による  $\gamma$ 線スペクトロメトリー」を参照すること。

### (2) 放射化学分析

#### ① ウラン分析

灰化試料又はウラン抽出液中のウランを、溶媒抽出、イオン交換分離等により分離、精製する。精製した試料中のウランをステンレス鋼板上に電着して  $\alpha$ 線計測用試料とし、シリコン半導体検出器による  $\alpha$ 線スペクトロメトリーにより定量する。

他の測定方法として、吸光光度法、蛍光光度法、ICP 質量分析法がある。

検出可能レベルを解説 B に示す。

詳細な分析手順については、放射能測定法シリーズ No. 14「ウラン分析法」を参照すること。

#### ② プルトニウム分析

灰化試料又はプルトニウム抽出液中のプルトニウムを、溶媒抽出、イオン交換分離等により分離、精製する。精製した試料中のプルトニウムをステンレス鋼板上に電着して  $\alpha$ 線計測用試料とし、シリコン半導体検出器による  $\alpha$ 線スペクトロメトリーにより定量する。

他の測定方法として、ICP 質量分析法、液体シンチレーション測定法がある。

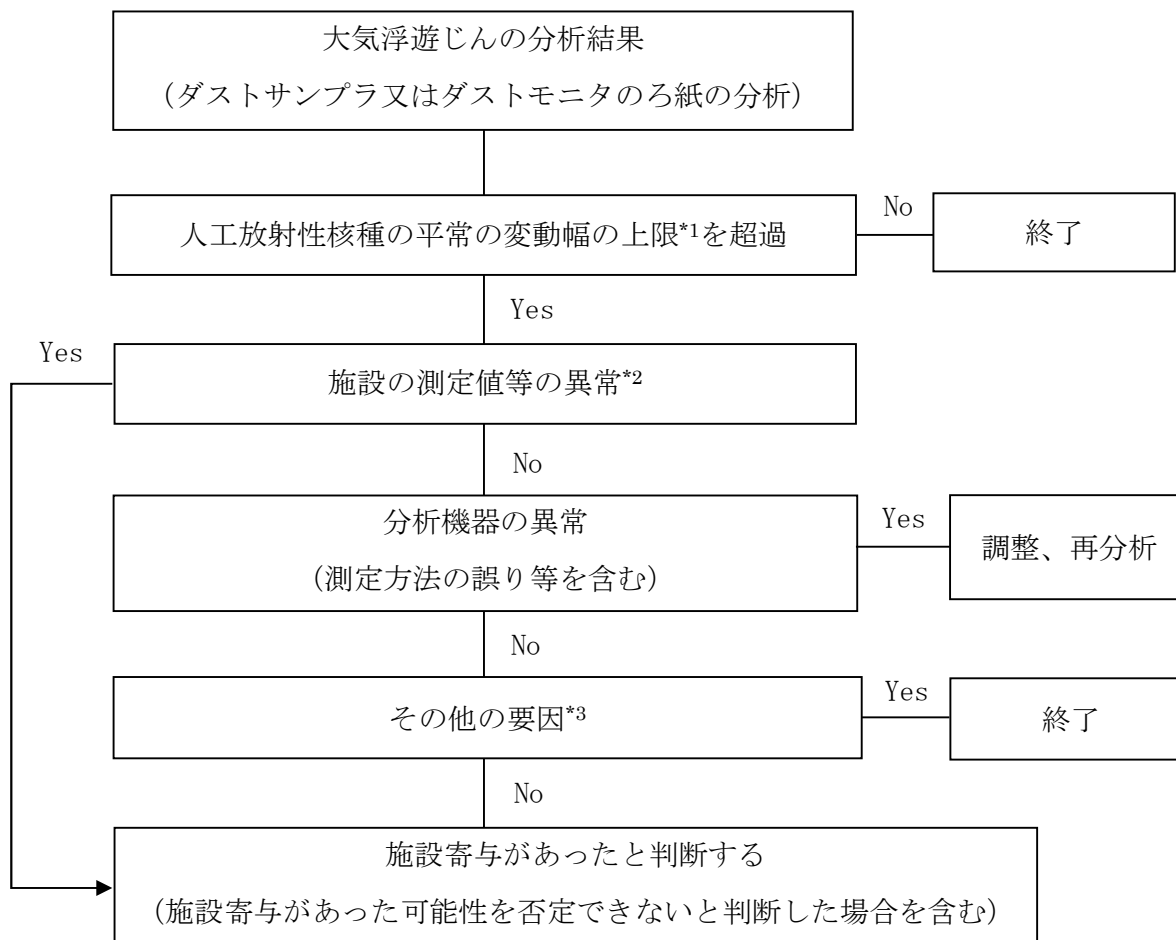
検出可能レベルを解説 B に示す。

詳細な分析手順については、放射能測定法シリーズ No. 12「プルトニウム分析法」を参照のこと。



### 5.3 分析結果の評価

ダストサンプラ等で採取した大気浮遊じんの分析結果については、過去数年間又は測定開始時からの測定値の最大値を平常の変動幅の上限として設定する。施設寄与（施設寄与である可能性を否定できない場合を含む）を弁別するためのフローチャート例を図 5-5 に示す。



\*1 過去数年間又は測定開始時からの測定値の最大値

\*2 施設の中のエリアモニタリング設備等の異常値又は施設外への放出（管理放出含む）の状況

\*3 その他の要因の調査事例

- ・ 試料採取の状況により、汚染された他試料が混入した可能性あり
- ・ 対象施設外の影響あり（核実験含む）
- ・ 施設からの影響では同時に検出されるはずの他の放射性物質が無い
- ・ 医療関係の放射性核種の影響あり

図 5-5 大気浮遊じんの分析結果における施設寄与（施設寄与である可能性を否定できない場合を含む）を弁別するためのフローチャート例

平常時モニタリングの結果、測定値が平常の変動幅等の上限値を超過した\*1 場合、まず、その原因の調査を行い、施設寄与があったと判断した場合（施設寄与があった可能性を否定できないと判断した場合を含む）においては、施設寄与分の被ばく線量を推定し、評価を行う。

周辺住民等の被ばく線量の推定は、通常、1年間の外部被ばくによる実効線量と1年間の飲食物等の摂取からの内部被ばくによる預託実効線量に分けて別々に算出し、その結果を総合することによって行う。この場合、前者については空間放射線量率の測定結果から算出し、後者については大気中及び環境試料中の放射性物質の濃度と摂取量等に基づいて算出する。周辺住民等の被ばく線量の評価については、発電用原子炉施設周辺の公衆の受ける線量目標値\*2と、推定した被ばく線量を比較することにより実施することとする。

被ばく線量評価については、平常時補足参考資料を参照すること。

\*1 大気中放射性物質濃度が平常の変動幅等の上限値を超過している場合には、監視対象以外の原子力施設の事故等による放射性降下物による影響も考えられるので、これらが原因でないか検証する必要がある。

なお、過去の原子力施設の事故等による放射性降下物の性質、含まれている核種の時間変化、放射線の連続した測定値等を十分に把握しておくことにより、それらのデータとの比較対照から、施設寄与による上昇かどうかを推定することができるため、これらのデータの入手に努める。

\*2 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針において、発電用原子炉施設が通常運転時に環境に放出する放射性物質によって施設周辺の公衆の受ける線量目標値は、実効線量で年間  $50 \mu\text{Sv}$  とされている。

また、発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針において、実効線量として、気体廃棄物中の放射性希ガスからの  $\gamma$  線による実効線量、液体廃棄物中の放射性物質に起因する実効線量（放射性物質を含む海産物の摂取に伴う内部被ばくによる実効線量）及び気体廃棄物中に含まれる放射性ヨウ素に起因する実効線量（吸入摂取、葉菜摂取及び牛乳摂取に伴う内部被ばくによる実効線量）を評価することとしている。

#### 5.4 試料保管

分析前のろ紙を保管する場合、吸湿防止のため、デシケータ等で保管する。

分析後のろ紙（放射化学分析に供したものの以外）は、保管期間が完了するまでは、再分析が可能な状態を維持して保管する。

## 第 6 章 ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析

### 6.1 採取から分析

平常時補足参考資料では、発電用原子炉施設等を対象としたダストモニタの測定値に、施設寄与が認められた場合（施設寄与があった可能性を否定できないと判断した場合を含む）、ヨウ素サンプラの試料を回収し大気中の放射性ヨウ素（粒子状及びガス状）を測定することとしている。

また、再処理施設においては、大気中の放射性ヨウ素（粒子状及びガス状）を定期的に採取・測定することとしている。ヨウ素サンプラから取り外したセルロース・ガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジ等をゲルマニウム半導体検出器で測定し、放射性ヨウ素の測定を行う。

測定手順については、放射能測定法シリーズ No. 4「放射性ヨウ素分析法」を参照すること。

本測定法では、ヨウ素サンプラの機器仕様例（表 6-1）及び大気捕集材の概要（表 6-2）のみを示す。なお、求められている性能を有している場合は、仕様例に記載していない機器等を使用しても差し支えない。

ヨウ素サンプラの性能については、解説 B の検出可能レベルを参考にすること。

表 6-1 ヨウ素サンプラの機器仕様例

	タイプ A	タイプ B	タイプ C	タイプ D
流量(L/min)	40	最大 30	25 以上	40 以上
設定流量範囲 (L/min)	5~40	—	0~50	—
ろ紙の種類 大きさ	セルロース・ガラス繊維ろ紙 60 mm φ (活性炭ろ紙、活性炭カートリッジ装着可)			
寸法 W×D×H(mm)	200×200×285	150×205×117	300×200×270	260×260×100
重量(kg)	約 5 kg	約 5 kg	約 8 kg	約 15 kg
電源	AC100 V, 1 A DC24 V	AC100 V, 1 A DC24 V	AC100 V, 1 A DC12 V, 6 A	AC100 V, 3 A
機能	タイマー設定： 99 分又は 99 時 間	タイマー設定： 99 分又は 99 時 間	タイマー設定	タイマー設定： 1 分~1000 時間

表 6-2 ヨウ素サンプリングで使用する大気捕集材

	概要
活性炭カートリッジ	50 メッシュの活性炭を塩化ビニール又はステンレス容器に詰め、表裏を不織布又はステンレスメッシュで被覆している。ヨウ素の捕集効率を高めるため活性炭に TEDA(トリエチレンジアミン)を添着*したカートリッジもある。
活性炭ろ紙	吸着性の高い活性炭(50 %)とセルロース繊維等から成るろ紙で、放射性ヨウ素の捕集、揮発性放射性物質の捕集に用いられる。表裏には活性炭の脱落を防ぐために保護紙が貼ってある。5 %、10 %TEDA (トリエチレンジアミン) を添着したものもある。 JIS Z 4336 : 2010 「放射性ヨウ素サンプリング」 [9] 附属書 A [ヨウ素捕集用ろ材] に規定の、「ろ紙形」に相当する。

\* 活性炭に TEDA (トリエチレンジアミン) やヨウ化カリウム等を添着することで、ヨウ素を効率よく捕集できる。添着物質の量によって捕集効率は変化し、一定量を超えると捕集効率はむしろ低下する。一般的には 1~10 %が適量とされている[12]が、ヨウ化カリウムについては活性炭の着火点の低下を招くことから、0.1~1 %がよいという報告もある[13]。

## 第 7 章 ガスモニタによる連続測定

### 7.1 機器

ガスモニタは、放射性希ガス等のガス状放射性物質を連続測定するための機器である。主に平常運転時に放射性希ガスを放出する再処理施設周辺のモニタリングに使用される。本節で記載しているガスモニタの基本事項については、JIS Z 4317:2008「放射性希ガスモニタ」[10]を参考としている。

#### 7.1.1 機器構成

ガスモニタは、図 7-1 のように検出部、指示部、警報部、データ伝送部で構成される。各部の機能等については(1)～(4)に示す。

#### 一般事項

- ① 連続運転に耐え得るように、堅牢かつ操作及び保守が容易なものとする。
- ② 振動、衝撃、腐食ガス等の影響を受けにくい構造とする。
- ③ 電磁誘導、静電気等の影響を受けにくい構造とする。また、他の機器に対して電磁誘導等の影響を与えにくい構造とする。
- ④ 故障に対する自己診断機能を持っていることが望ましい。
- ⑤ 測定値が流量による影響を受けやすい場合は、サンプリングガスの流量を測定する機能及び制御又は調整できる機能を持っていないなければならない。また、流量測定装置は、流量の表示装置を設けること。
- ⑥ 測定値が電離箱のように圧力による影響を受けやすい場合は、警報付きの圧力計及び圧力の制御又は調整機能を備え、圧力の過度の変動に対して警報を出力できることが望ましい。また、圧力計は標準状態で校正しなければならない。

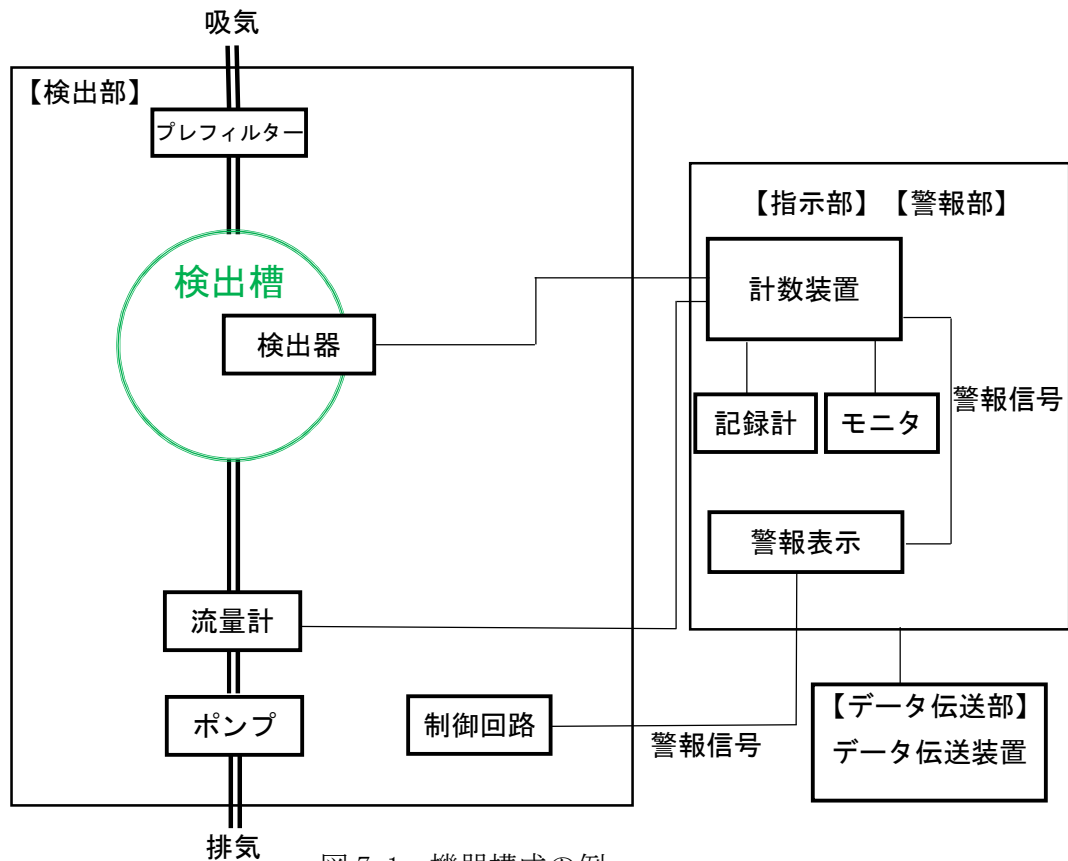


図 7-1 機器構成の例

### (1) 検出部

検出部は、粒子状物質を除去した試料空気を検出槽に流通させ、ガス状放射性物質からの放射線を検出する部分である。吸引口、フィルター、検出槽、検出器、流量計、ポンプ及びそれに附属する機能ユニットから構成される。

検出部における留意事項を以下に示す。

- ・汚染しにくく、除染又は交換が容易な構造とする。
- ・サンプラの吸引側に粒子性の自然放射性物質の影響を除去するためのフィルター等を装着できる構造とし、フィルターは捕集した放射性物質を飛散させることなく交換可能かつ希ガスを捕集又は滞留させない構造とする。電離電流を測定する方式のモニタの場合には、サンプラの吸引側にイオン除去装置を装着できる構造とする。
- ・外部γ線やノイズによる影響を低減させるため、必要に応じて遮へい体、コインシデンス機構やアンチコインシデンス機構等を付加してもよい。

### (2) 指示部

指示部は、検出部からの信号を計測し、指示値を表示するとともにデータ伝送部に出力する部分である。

指示部の仕様例を以下に示す。

- ・指示はアナログ又はデジタル式の計数率計、電流計又はスケーラによって行う。
- ・測定値の単位は  $s^{-1}$ 、A、 $kBq/m^3$  等とし、換算定数を乗じて目的の核種に応じた放射能濃度

を計算できること。

- ・流量の単位はL/min等とする。
- ・表形式又はグラフ形式で日時とともに表示する。

### (3) 警報部

警報部は、装置の異常や指示値がある設定値を超えたことを検知するための部分である。警報部の仕様例を以下に示す。

- ・指示値が警報設定値を超えたときや装置の故障又は異常時には、ランプ、ブザー等によって警報を発報する。
- ・警報は、リセット又は原因の解消まで維持する。
- ・警報動作を確認できるテスト機能を設ける。また、警報設定が可変な場合は有効測定範囲内に設定ができるとともに警報設定値を確認できること。

### (4) データ伝送部

指示部で収集したデータを、通信機器を介してテレメータシステム等に送出し、また、テレメータシステム等より制御信号を受信してガスモニタを制御する部分である。

データ伝送項目例を表 7-1 に示す。

データ通信には、モニタリング局舎内の設備が利用している通信回線があればそれを利用する。通信回線は多重化されていることが望ましい。

表 7-1 データ伝送項目例

	データ伝送項目
①測定値	計数率、放射能濃度、流量、測定時間、日時、位置情報
②状態信号	計数率高、計数率低、検出器異常、流量異常、電源異常、調整中、測定中
③制御信号 (受信情報)	起動、停止

#### 7.1.2 検出器の種類と測定原理

ガスモニタに使用される検出器の種類を表 7-2 に示す。

表 7-2 ガスモニタに使用される検出器の種類

	検出器の種類
β線検出器	プラスチックシンチレーション検出器
	GM 計数管
	通気型電離箱

(1) プラスチックシンチレーション検出器

3.1.5(2)①と同様

(2) GM 計数管

放射線の入射に伴って検出器内の気体 (Q ガス等) が電離されて発生した電子が引き起こす電子なだれによる出力パルス数を計測する。

出力パルス波高値は入射放射線による最初の電離量には無関係で一定になるので、出力パルスはエネルギー情報を持たない。

(3) 通気型電離箱

電離箱内に導入した、ガス状放射性物質から放出される放射線により発生した全電離電流を計測する。

7.1.3 機器仕様例

ガスモニタの機器仕様例を表 7-3 に示す。なお、求められている性能を有している場合は、仕様例に記載していない機器を使用しても差し支えない。

ガスモニタの性能については、解説 B の検出可能レベルを参考にすること。

表 7-3 ガスモニタの機器仕様例

項目	タイプ A	タイプ B	タイプ C
測定対象	β 線		
検出器	プラスチックシンチレータ	GM 計数管	通気型電離箱
流量	6.5 L/min	60 L/min	5 L/min
検出槽体積	約 30 L	約 0.3 L	約 14 L
測定方式	連続測定		
外部放射線の影響除去*1	鉛遮へい*2、プレフィルター		
重量	—	—	約 135 kg
電源	100 V	100 V	100 V
消費電力	500 VA	—	150 VA

\*1 ここに記載した以外に、必要に応じてアンチコインシデンス機構による宇宙線の影響除去、コインシデンス機構によるノイズ除去、イオンプリシピテータによるイオン除去 (電離箱のみ) 等のバックグラウンド低減機能を付加する。

\*2 必要に応じて厚さ 2~5cm 程度の遮蔽体を付加する。



## 7.2 設置、校正、点検

### 7.2.1 設置

ガスモニタはモニタリング局舎等の屋内に固定して設置する。

設置条件はダストモニタ（3.3.1）と同様とする。

### 7.2.2 校正

ここではガスモニタで使用する検出器の校正について記載するが、大気吸引量の適切な評価のために、流量計の校正も定期的の実施することが望ましい。

#### (1) 校正方法

機器導入時は Kr-85 による実ガス校正試験を実施する。保守点検時は  $\beta$  線及び  $\gamma$  線源（C1-36、Ba-133、Cs-137）による感度試験及びプラトー特性試験を実施する。

#### (2) 校正に用いる標準線源

校正に用いる標準線源を表 7-4 に示す。

表 7-4 校正に用いる標準線源

線種	標準線源
$\beta$ 線	Kr-85（標準放射性ガス）

#### (3) 校正頻度

校正は機器導入時に実施する。

その後は、保守点検等の際に年 1 回程度、検出感度に変化がないことを C1-36 等で確認し、真値から  $\pm 15\%$  以上外れた場合には、Kr-85 による実ガス校正試験を実施する。

### 7.2.3 点検

#### (1) 日常点検

日常点検は、テレメータシステム等によりリモートで実施する内容と、設置場所で実施する内容がある。

##### ① テレメータシステム等によりリモートで実施する内容

日常点検項目例	
動作確認	正常に動作及び通信しているか
	流量に異常はないか
異常値の有無	警報が発報していないか
	計数率及び放射能濃度に顕著な変動はないか

② 設置場所で実施する内容

日常点検項目例	
動作確認	正常に動作及び通信しているか
	流量に異常はないか（必要に応じて流量を調整）
	ポンプの動作音に異常はないか
異常値の有無	警報が発報していないか
	計数率及び放射能濃度に異常はないか
動作環境	局舎の空調は正常に動作しているか

(2) 定期点検

メーカーによる定期点検項目の例を表 7-5 に示す。

表 7-5 定期点検項目の例

定期点検項目例	
① 外観検査	検出部
	指示部
	ケーブル、コネクタ類
② 単体動作、性能検査	
検出部	動作確認
	警報動作確認
	計数率指示精度
	流量指示精度
	最大吸引流量試験
	リーク試験
	感度試験
	プラトー特性試験
	窒素ガス置換前後の BG 確認
	測定下限濃度の確認
	消耗品の定期的交換
指示部	記録計指示精度

(3) 点検頻度

日常点検はテレメータシステム等で行う点検は 1 日 1 回、設置場所で行う点検は月 1 回程度実施する。

定期点検は年 1 回程度実施する。

## 7.3 測定

### (1) 機器の起動

平常時から連続測定を実施するため、常時起動しておく。

### (2) 測定条件の設定

連続測定を実施するための測定条件を設定する。

測定条件例を表 7-6 に示し、各項目における留意事項を記載する。

表 7-6 ガスモニタの測定条件例

項目	測定条件
① 流量	検出槽の容積による
② 測定時間	連続（少なくとも 1 時間ごとに測定値を取得）

#### ① 流量

検出槽内に吸引された大気が 10 分程度で入れ替わる流量を検出槽の容積に応じて設定する。30 L の検出槽においては 5 L/min 程度とする。

#### ② 測定時間

測定時間は連続とし、少なくとも 1 時間ごとに測定値を取得する。また、異常等が発生した時に時間分解能を上げた調査を実施するために、より短い間隔の測定値を取得できるとし、その測定値を用いて、1 時間ごとの測定値を算出できること。

### (3) 測定開始

測定を開始する。テレメータシステム等により、遠隔操作で測定の開始及び停止を制御できることが望ましい。

### (4) データ伝送

測定情報については、少なくとも 1 時間に 1 回、テレメータシステムにデータ伝送する。警報等の監視情報については、異常発生後速やかにテレメータシステムに伝送する。データ伝送項目例を表 7-7 に示す。

表 7-7 テレメータシステムへのデータ伝送項目例

区分	構成部	出力項目
測定情報	検出部	計数率 ( $s^{-1}$ )
		放射能濃度 ( $kBq/m^3$ )
		平均流量 (L/min)
		積算流量 ( $m^3$ )
監視情報	検出部	測定中
		調整中
		電源異常
		流量異常
	指示部	電源異常
		計数率高
		計数率低

#### (5) 放射能濃度の計算

1時間ごとの放射能濃度 ( $kBq/m^3$ ) を 7.1 式により計算する。

$$C = N \times K \quad (7.1 \text{ 式})$$

C : 放射能濃度 ( $kBq/m^3$ )

N : 正味計数率 ( $s^{-1}$ )

(試料計数率 - バックグラウンド計数率)

K : 濃度換算定数 ( $kBq/m^3/s^{-1}$ )

## 7.4 測定結果の評価

再処理施設についても、再処理施設以外の原子力施設と同様に、平常の変動幅の上限値（過去数年間の測定値の最大値等）を超過した値が測定された際には原因調査を行い、施設寄与が認められた場合又は施設寄与を否定できない場合には、施設寄与による被ばく線量の評価を行う。

ただし、再処理施設では通常の施設稼働においても測定値に施設寄与が認められ、平常の変動幅の上限値を超過するおそれがあるため、測定値の上昇が異常事態に当たるかどうかの判断には注意を要する。

このため、異常事態かどうかを判断するために原因や調査を行う目安として、平常の変動幅とは異なる基準が必要である。

例えば、施設が通常の稼働状態であり、かつ、特異な気象条件でない場合に得られた過去の測定値（施設寄与が認められた測定値を含む）の範囲を設定し、測定結果を評価する。

## 解説

Blank Paper

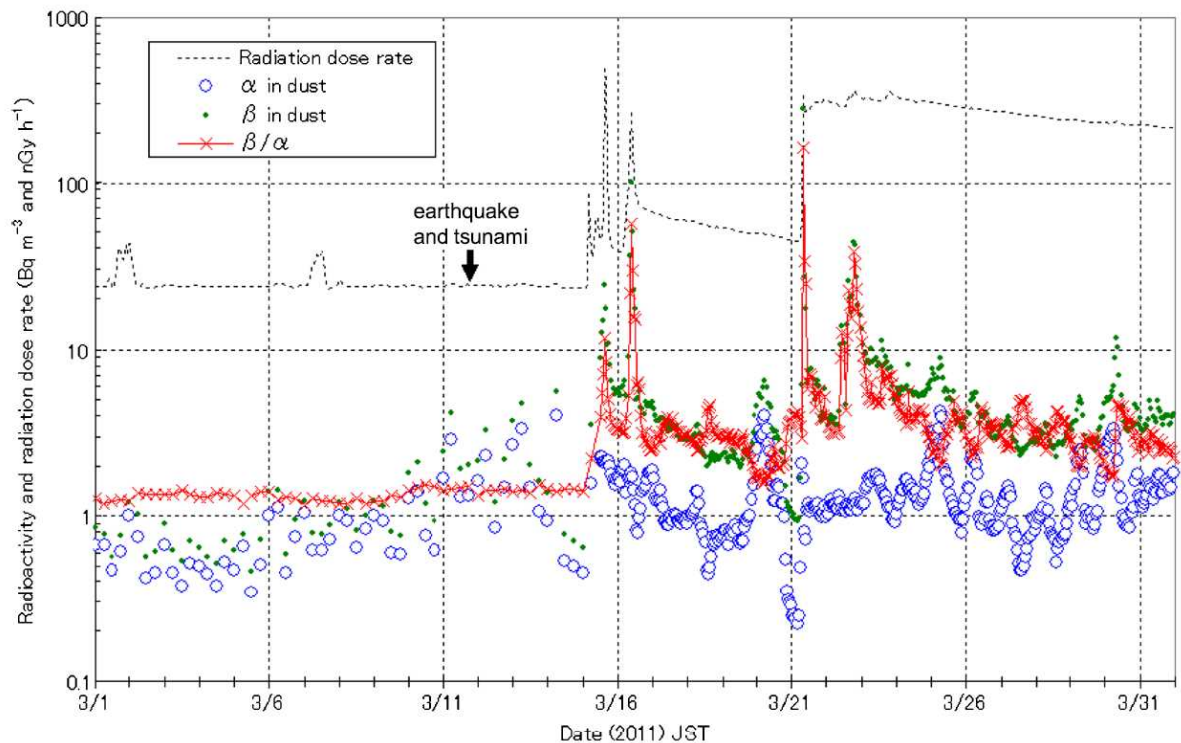
## 解説 A 大気中放射性物質測定の有効性

平常時補足参考資料では、原子力施設から放出された放射性物質の早期検出を目的として、大気中放射性物質濃度の測定を実施することとなっている。

大気中の放射性物質測定の有効性について、実測及び計算による事例を示す。

### (1) 東京電力福島第一原子力発電所事故時における観測例

千葉県千葉市において、2011年3月15日未明に、ダストモニタで測定した全 $\beta$ 放射能濃度及び $\beta/\alpha$ 比に上昇が見られた。なお、空間放射線量率の上昇もほぼ同時であった。



単位：nGy/h (Radiation dose rate)、Bq/m<sup>3</sup> ( $\alpha$  in dust,  $\beta$  in dust)

図 A-1 千葉県千葉市における観測例 [14]

- \* 3月15日まではろ紙送り6時間後のデータ、それ以降はろ紙送り1時間後のデータ
- \* 3月1日及び3月7日の空間放射線量率の上昇は、降雨に伴う自然放射性物質による影響に起因したものである。

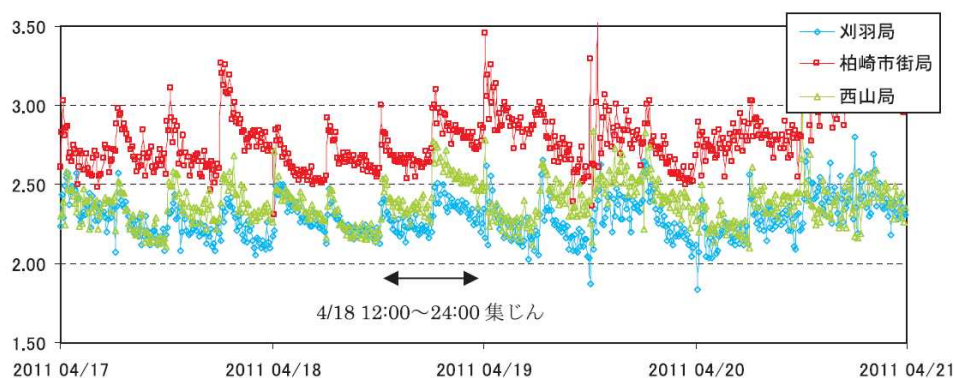
(2) ラドン・トロン壊変生成物減衰後に施設寄与を検出した例

(1)のようにリアルタイムでの観測はできなかったが、ラドン・トロン壊変生成物の減衰後に施設寄与があることを検出した例を示す。

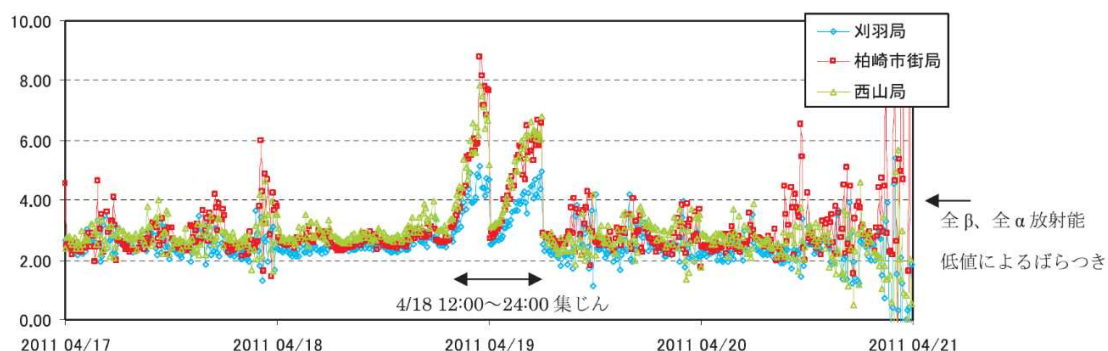
新潟県において、2011年4月18日12:00~24:00に捕集した大気浮遊じんの $\beta/\alpha$ 比について、集じん位置における測定では有意な上昇は見られなかった(図A-2(a))が、集じん6時間後の $\beta/\alpha$ 比に有意な上昇が見られた(図A-2(b))。なお、集じん6時間後の全 $\beta$ 放射能濃度には有意な上昇は見られなかった(図A-2(c))。

また、モニタリングポストの空間放射線量率は、降雨による上昇のみで、東京電力福島第一原子力発電所事故の影響による上昇は確認されなかった。

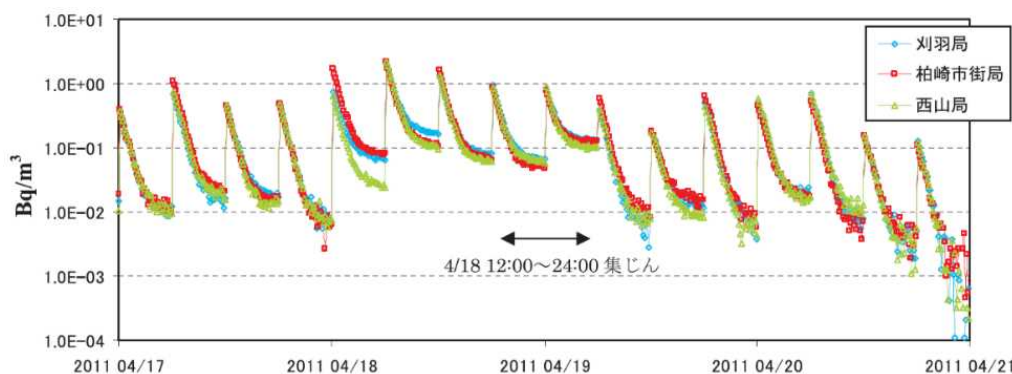
(a) 集じん位置 (リアルタイム測定) の $\beta/\alpha$ 比 (10分値)



(b) 集じん6時間後の $\beta/\alpha$ 比 (10分値)



(c) 集じん6時間後の全 $\beta$ 放射能濃度 (10分値)



\* 図(a) (b) (c)の横軸はいずれも測定時刻である。矢印は同じ集じん時刻分の測定結果を示しているが、(b) (c)は集じん6時間後の測定であるため、(a)とは位置が異なっている。

図A-2 新潟県における観測例 [15]



### (3) 計算による有効性評価

IAEA-TECDOC-1162 [16]には、大気中放射性物質濃度から空間放射線量率への放射性核種ごとの換算係数が掲載されている（表 A-1）。

この換算係数を用いて計算すると、Cs-134 の大気中放射性物質濃度が 5 Bq/m<sup>3</sup> 上昇した場合、空間放射線量率の上昇は 1.7 nSv/h となり、空間線量率を測定しているモニタリングポストではバックグラウンドの変動に埋もれてしまい検知は困難である。

そのため、ダストモニタで 5 Bq/m<sup>3</sup> の施設起因の放射性物質を弁別評価できることで、モニタリングポストよりも早期の検知は可能であると考えられる。

表 A-1 大気中放射性物質濃度から空間放射線量率への換算係数 [16]  
(放射性 Cs の換算係数のみ抜粋)

放射性核種	換算係数 (mSv/h) / (kBq/m <sup>3</sup> )
Cs-134	3.4E-04
Cs-136	4.8E-04
Cs-137/Ba-137m	1.3E-04
Cs-138	5.2E-04

## 解説 B 検出可能レベル

大気中放射性物質濃度の測定における検出可能レベルを(1)～(3)に示す。

ここで記載している検出可能レベルは、現在の技術水準に照らして合理的に達成できる数値として設定しており、大気中放射性物質濃度を測定するに当たっての機器の導入や測定条件設定の目安としてほしい。

### (1) ダストモニタによる大気中放射性物質濃度の連続測定

表 B-1 ダストモニタによる連続測定の検出可能レベル

試料	検出可能レベル		参考 (測定条件)	
	全 $\alpha$ 放射能濃度	全 $\beta$ 放射能濃度	供試量	測定時間
大気浮遊じん	0.05 Bq/m <sup>3</sup>	0.10 Bq/m <sup>3</sup>	9 m <sup>3</sup>	1 時間

#### 検出可能レベルの算出方法

JIS Z 4316:2006「放射性ダストモニタ」[5]に規定している最高検出感度から過大に見積もった値を検出可能レベルとした。

- ・ 検出器： $\alpha$  線 ZnS(Ag)シンチレータ、 $\beta$  線 プラスチックシンチレータ
- ・ 検出器サイズ：50 mm $\phi$
- ・ 機器効率：約 49 % (全  $\alpha$ )、約 35 % (全  $\beta$ )
- ・ バックグラウンド計数率： $\alpha$  線 2 cpm、 $\beta$  線 15 cpm
- ・ 流量：150 L/min、供試量：1 時間の積算流量、捕集効率：100 %として算出

### (2) ダストサンプラにより採取した大気浮遊じん中の放射性物質濃度の精密分析

表 B-2  $\gamma$  線スペクトロメトリーの検出可能レベル

試料	検出可能レベル				参考 (測定条件)		
	Co-60	I-131	Cs-134	Cs-137	供試量	測定時間	相対効率
大気浮遊 じん等	0.008 mBq/m <sup>3</sup>	0.004 mBq/m <sup>3</sup>	0.008 mBq/m <sup>3</sup>	0.008 mBq/m <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	80,000 秒 程度	20 % 程度
	0.037 mBq/m <sup>3</sup>	0.027* mBq/m <sup>3</sup>	0.035 mBq/m <sup>3</sup>	0.030 mBq/m <sup>3</sup>	約 3000 m <sup>3</sup>	70,000 秒 程度	40 % 程度

・ I-131 を除く核種は U-8 容器での前処理済み試料の測定

・ I-131 は 2 L マリネリ容器での生試料の測定

\* 相対効率 30 % 程度の検出器を用いて測定

### 検出可能レベルの算出方法（表 B-2 下段）

- ・代表的な試料について、相対効率 40 %程度（2L マリネリは相対効率 30 %程度）の検出器による過去の実測データから、検出下限値の平均値を求めた。
- ・実際の測定では、同じ検出器を用いた場合でもバックグラウンド等の条件は遮蔽体や設置環境により異なるため、バックグラウンドが高い状況下での測定を想定して上記の平均値を 3 倍し、「条件が悪くとも検出可能なレベル」という意味で、過大に見積もった値を算出して検出可能レベルとした。

[放射能測定法シリーズ No. 7]

表 B-3 ウラン分析の検出可能レベル

試料	測定方法	検出可能レベル	参考（測定条件）	
			供試量	測定時間
大気浮遊じん	α線スペクトロメトリー	1 μBq/m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	20 時間
	ICP 質量分析法	0.001 μBq/m <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	10 秒

### 検出可能レベルの算出方法

#### ① α線スペクトロメトリー：

回収率 80 %、計数効率 20 %、バックグラウンド計数率を 1 カウント/20 時間とした場合の正味計数率に伴う計数誤差の 3 倍を検出可能レベルとした。

#### ② ICP 質量分析法：

バックグラウンド計数率 5 s<sup>-1</sup>とした場合のバックグラウンド計数の標準偏差の 3 倍を検出可能レベルとした。

[放射能測定法シリーズ No. 14]

表 B-4 プルトニウム分析の検出可能レベル

試料	測定方法	検出可能レベル	参考（測定条件）	
			供試量	測定時間
大気浮遊じん	α線スペクトロメトリー	0.2 μBq/m <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	24 時間

### 検出可能レベルの算出方法

計数効率 20 %、核種からの α線の全計数値に伴う計数誤差の 3 倍を検出可能レベルとした。

[放射能測定法シリーズ No. 12]

(3) ガスモニタによるガス状放射性物質の連続測定

表 B-5 ガスモニタによる連続測定の検出可能レベル

試料	検出可能レベル	参考 (測定条件)
	全 $\beta$ 放射能濃度	測定時間
大気	1 kBq/m <sup>3</sup>	1 時間

検出可能レベルの算出方法

プラスチックシンチレーション検出器を用いたガスモニタ (検出槽約 1 L、換算定数 (Kr)  $2.8 \times 10^{-3}$  Bq/cm<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>、バックグラウンド計数率 14 s<sup>-1</sup>) の最高検出感度から過大に見積もった値を検出可能レベルとした。

## 解説C ダストモニタの測定条件設定の考え方

ダストモニタの測定条件設定の一助とするため、測定条件の違いによる測定結果への影響について記載する。

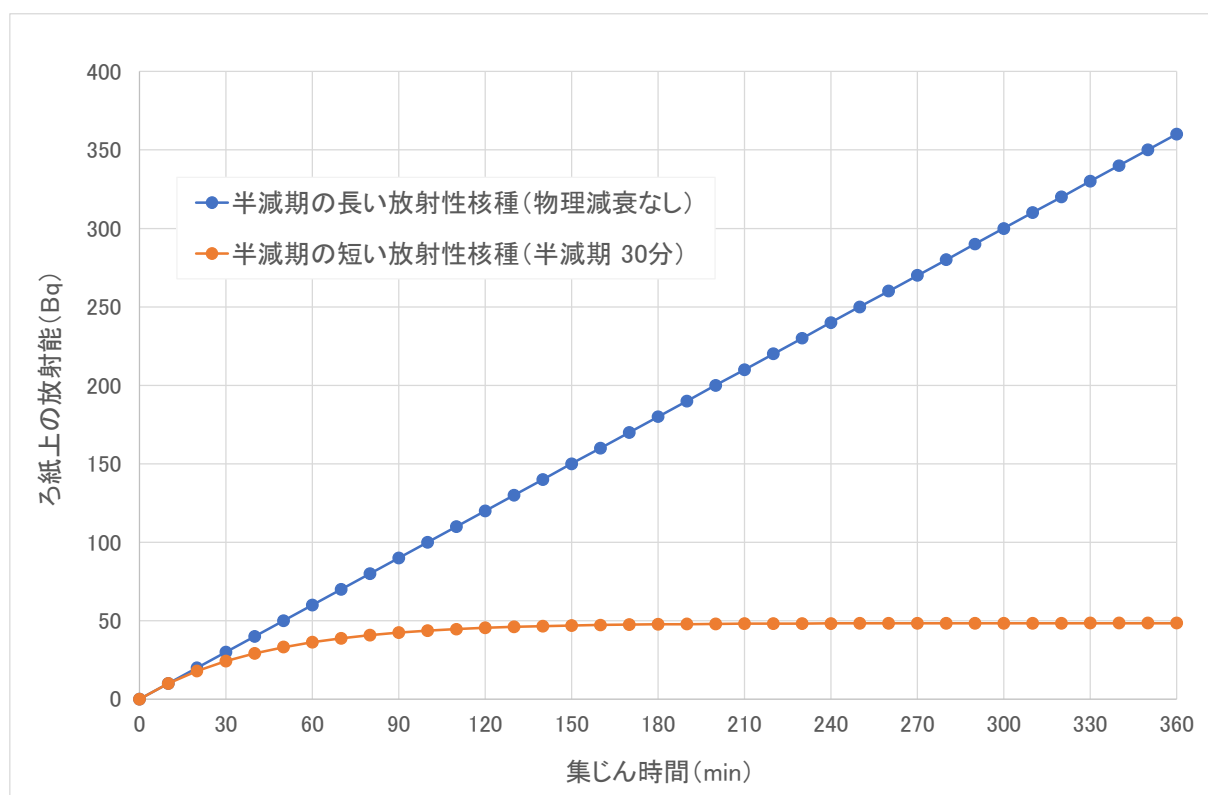
ラドン・トロン壊変生成物の影響は解説Eを参照すること。

### (1) 大気中放射性物質濃度の計算方法の違いによる測定結果への影響

大気中放射性物質濃度が  $10 \text{ Bq/m}^3$  で常に一定である場合、半減期の長い放射性核種（集じん時間における物理減衰なし）と、半減期の短い放射性核種（ラドン壊変生成物を想定して、半減期：30分とする）では、ろ紙上の放射能は図C-1のように推移する。

半減期の長い放射性核種を捕集する場合、大気中濃度が一定であれば、ろ紙上の放射能は直線的に増加する。

一方、半減期の短い放射性核種（半減期：30分）では、ろ紙上に供給される放射能は直線的に増加するが、物理減衰によるろ紙上での減少も同時に起こるため、時間の経過とともに、ろ紙上の放射能はほぼ一定になる。なお、図C-1を解釈するための便宜的な仮定として、ろ紙上の放射能の計算は10分単位で行い、10分ごとの放射能の増加分については、捕集中（当該10分間）の物理減衰を考慮していない。例えば、ろ紙送り後10～20分の間が増加した放射能について、ろ紙送り後20分の時点での減衰補正はせず、ろ紙送り後30分の時点では20～30分の間10分間の物理減衰を考慮している。



図C-1 ろ紙上の放射能の推移

ダストモニタ及び大気モニタの測定値には、集じんされた大気浮遊じん中の放射能を、①ろ紙送りからの平均濃度として測定する方法と、②経過時間ごとの計数率の差分から単位時間ごとの平均濃度として測定する方法がある。

本測定法では、ダストモニタは①ろ紙送りからの平均濃度を、大気モニタは②単位時間ごとの平均濃度を測定方法の基本としている。

それぞれの算出方法を以下に示す。

#### ① ろ紙送りからの平均濃度の算出方法

$$\text{放射能濃度 (Bq/m}^3\text{)} = \frac{\text{ろ紙送りからの経過時間における正味計数率 (s}^{-1}\text{)}}{\text{機器効率} \times \text{ろ紙送りからの経過時間までの積算流量 (m}^3\text{)}}$$

#### ② 単位時間（下の式は10分の場合）ごとの平均濃度の算出方法

$$\text{放射能濃度 (Bq/m}^3\text{)} = \frac{\text{現在の正10分の時点の計数率 (s}^{-1}\text{)} - \text{前正10分の時点の計数率 (s}^{-1}\text{)}}{\text{機器効率} \times \text{10分間の積算流量 (m}^3\text{)}}$$

図 C-1 のようなろ紙上の放射能の推移である場合について、捕集された大気浮遊じん中の放射能のろ紙送りからの平均濃度と単位時間ごとの平均濃度のそれぞれを計算した結果を図 C-2 及び図 C-3 に示す。

半減期の長い放射性核種の場合、ろ紙送りからの平均濃度と単位時間ごとの平均濃度に差は生じない。

一方、半減期の短い放射性核種（半減期：30分）の場合、時間の経過とともにほぼ一定となるろ紙上の放射能を、直線的に増加する積算流量で除するため、ろ紙送りからの平均濃度は時間の経過とともに減少する。

単位時間ごとの平均濃度では、単位時間ごとの計数率の差分を単位時間の積算流量（一定値）で除するため、時間の経過とともに0に近づく。

半減期の短い放射性核種の場合、この計算方法においては、ろ紙送りからの平均濃度と単位時間ごとの平均濃度のいずれにおいても、実際の大気中放射性物質濃度（この場合、10 Bq/m<sup>3</sup>）からは過小評価になることに留意が必要である。

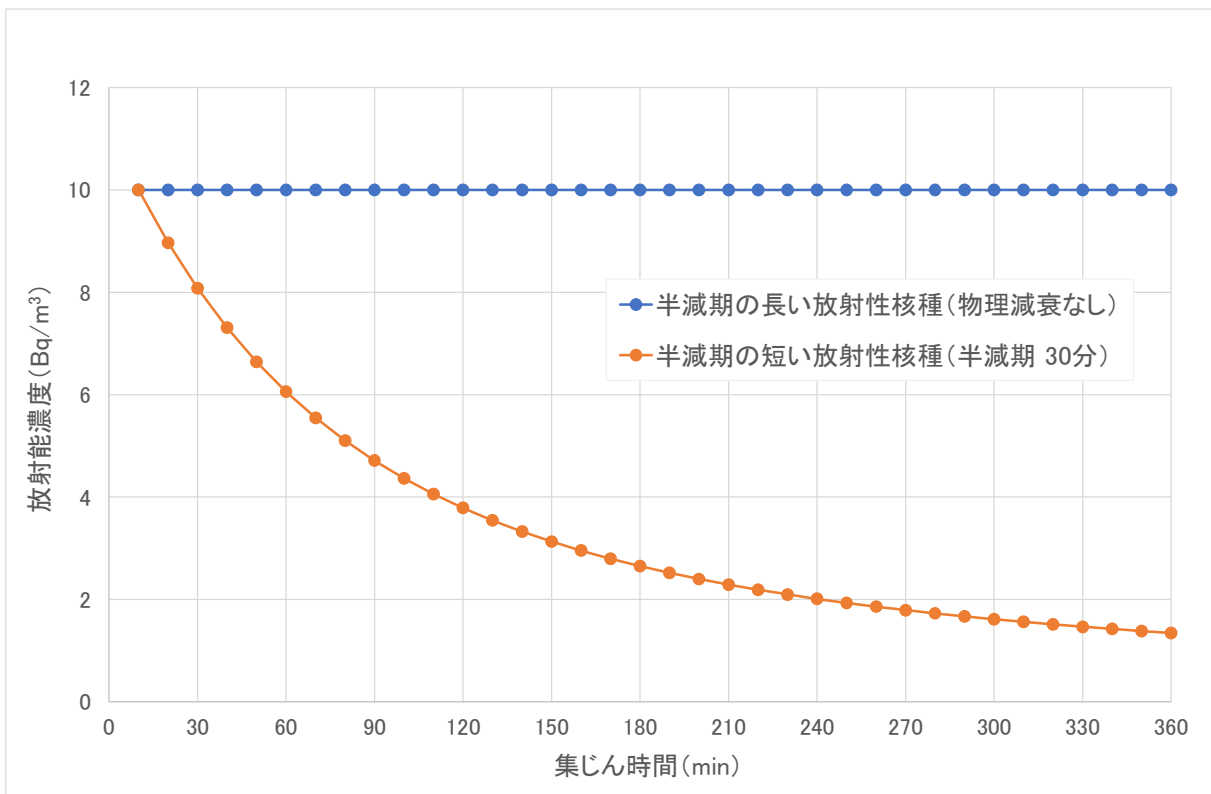


図 C-2 捕集された大気浮遊じん中の放射能濃度（ろ紙送りからの平均濃度）の推移

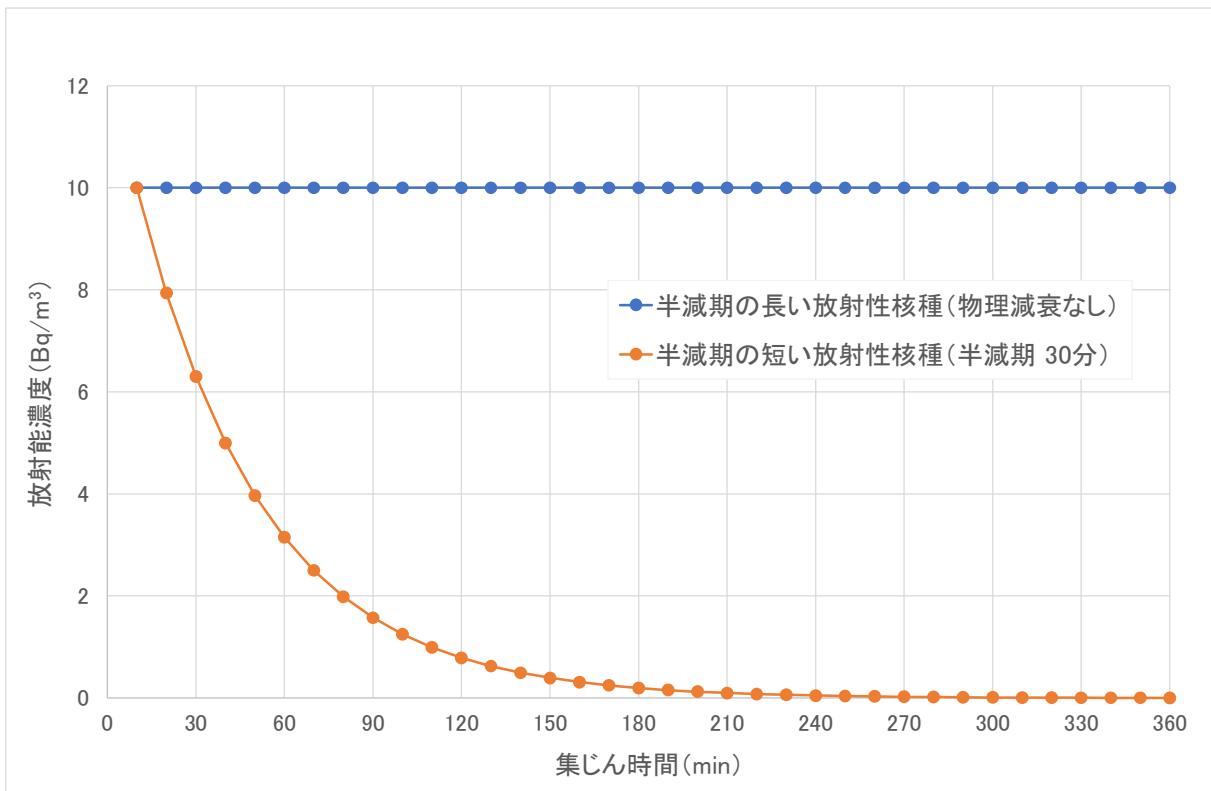


図 C-3 捕集された大気浮遊じん中の放射能濃度（単位時間ごとの平均濃度）の推移

## (2) 計数率の評価に関する留意事項

ダストモニタ又は大気モニタの測定において、集じんは大気中のある体積中に存在する粒子状の放射性物質をろ紙上に捕集する作業であり、ろ紙上の放射性物質の放射能 (Bq) と集じんした大気の体積 ( $\text{m}^3$ ) を測定することによって、大気中放射能濃度 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) を算出することができる。ろ紙上の放射能は、検出器によって測定される計数率を機器効率で除することにより求められる。

JIS Z4316 : 2013 「放射性ダストモニタ」 [4]において、ダストモニタ指示は計数率計又はスケーラによって行うことと記載されている。

本測定法では、集じんしながらの測定を基本としていることから、ろ紙上に捕集されていく大気浮遊じんに対し、ろ紙送りから t 時間後の時点における計数率 (瞬時値) が得られる計数率計を使用することを基本とする。

スケーラにより測定した積算計数から計数率を算出する場合、集じんしながらの測定では注意を要するため、留意点を(1)①及び②の算出方法に分けて示す。



① ろ紙送りからの平均濃度をスケーラにより測定する場合

本測定法におけるダストモニタ又は大気モニタによる大気中放射性物質濃度の測定では、集じん後の測定については記載していないが、b)との対比のため、集じん後の測定の際の、測定時間と計数率の関係を a) に記載する。

a) 集じん後の測定によって積算計数を得る場合

大気中放射性物質濃度を集じん後に測定する場合、集じん中のろ紙上の放射能の変化はその後の測定に関係せず、半減期が長い放射性核種であれば測定中のろ紙上の放射能は一定であるため、図 C-4 右上図のように計数率も一定になり、積算計数を測定時間  $t_a$  で除することで計数率  $n_a$  を計算することができる。

対象とする大気中放射性物質濃度が同じであっても、測定時間に対して半減期が短い放射性核種では、図 C-4 右下図のように、測定中も時間の経過とともに放射能は物理減衰して計数率が低下するため、積算計数を測定時間で除することで評価した計数率は過小評価になる。

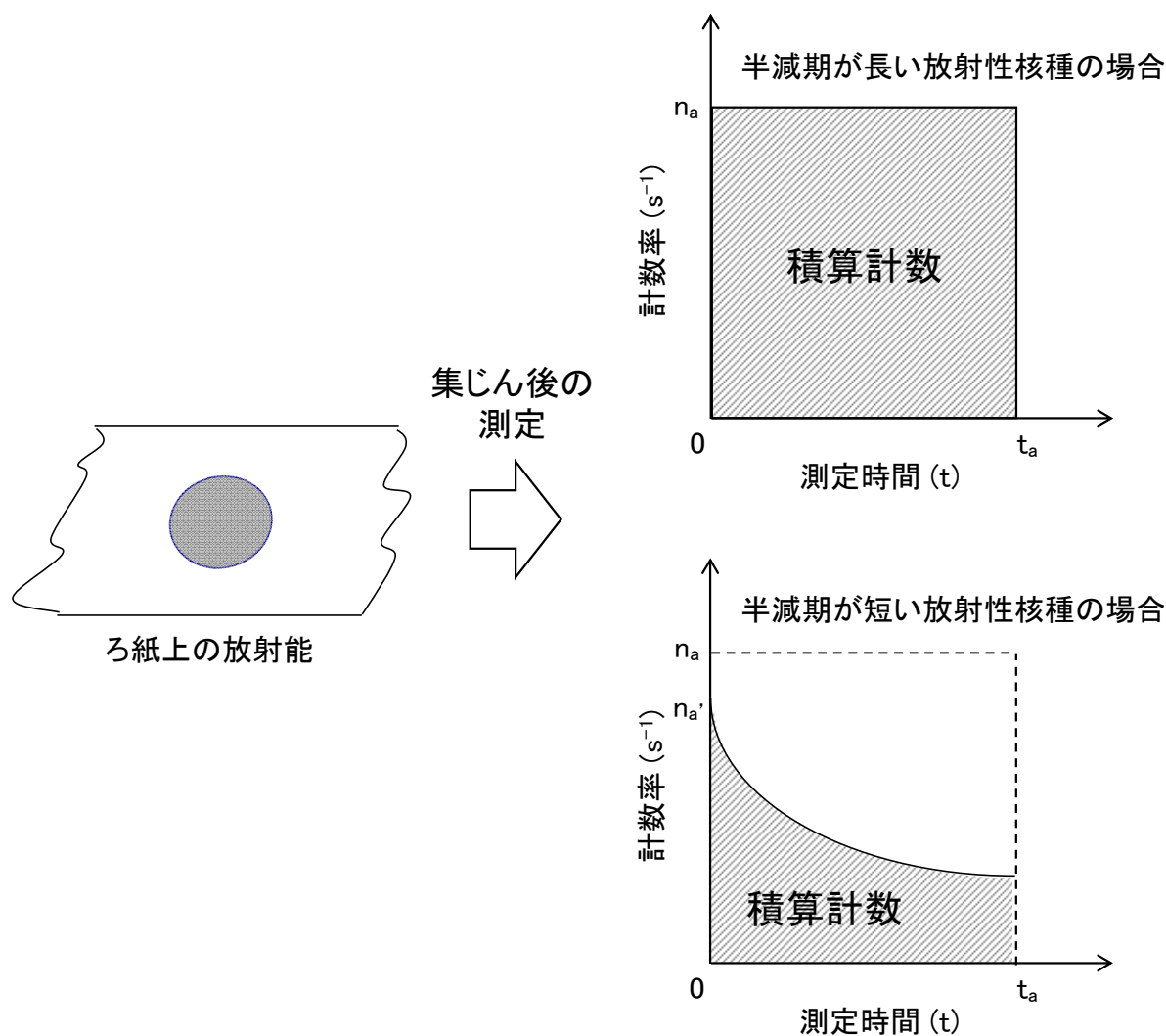


図 C-4 集じん後の測定による積算計数の評価

b) 集じんしながらの測定によって積算計数を得る場合

集じんしながらの測定によって積算計数を得る場合、集じんしたトータルの放射能が a) と同じであっても、ある時刻に集じんされた放射能は、それまでの測定時間では計数の積算に関与していないこと、また、集じん中の大気中放射性物質濃度の変化によっても積算計数に差が生じることから、計数率を算出する上では注意を要する。

大気中放射性物質濃度が a) と同じ且つ一定であると仮定し、集じんしながら測定する場合、測定中におけるろ紙上の放射能は半減期の長い放射性核種であれば直線的に増加するため、計数率は測定時間とともに上昇するが、図 C-5 のように積算計数は a) と比較して半分程度となる。そのため、積算計数を単純に測定時間で除する場合は、求めるべき計数率  $n_a$  に対し過小評価となる。

半減期が短い放射性核種についても上記と同様の理由で積算計数の過小評価が生じるが、一方で、放射能の物理減衰による過小評価の影響については、集じんしながら測定するため、集じん終了後に測定する a) と比較して小さくなる。

実際の測定において、集じん中における大気中放射性物質濃度が変化する場合には、図 C-6 のように積算計数の測定に影響を及ぼすため、データを評価する上では大気中放射性物質濃度の変化傾向に留意する必要がある。図 C-6 左図は大気中放射性物質濃度が上昇傾向である場合を示し、図 C-6 右図は大気中放射性物質濃度が低下傾向である場合を示しており、計数率の傾きの大きさが大気中放射性物質濃度に比例する。

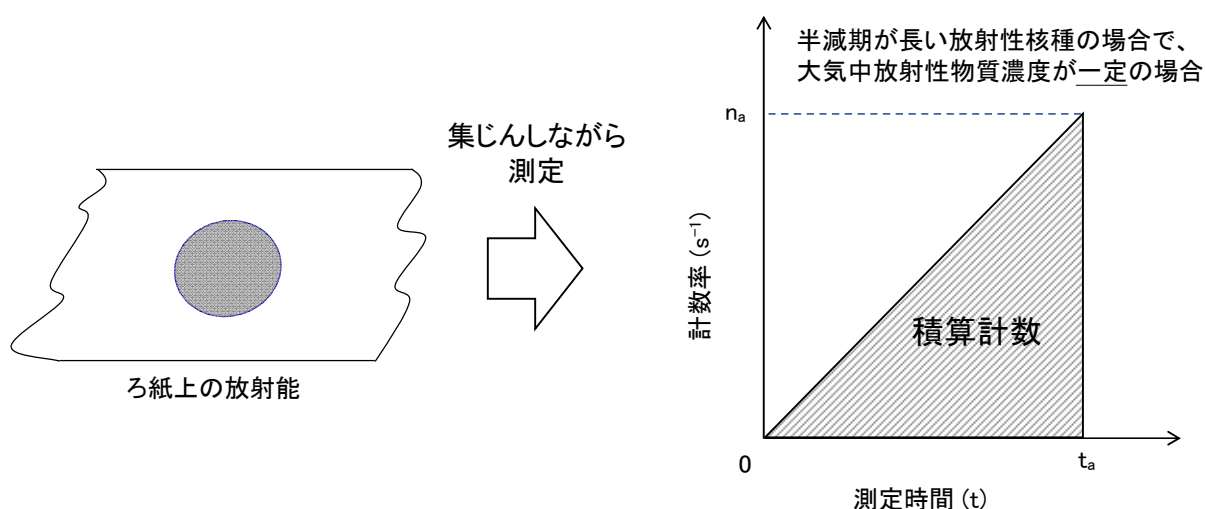
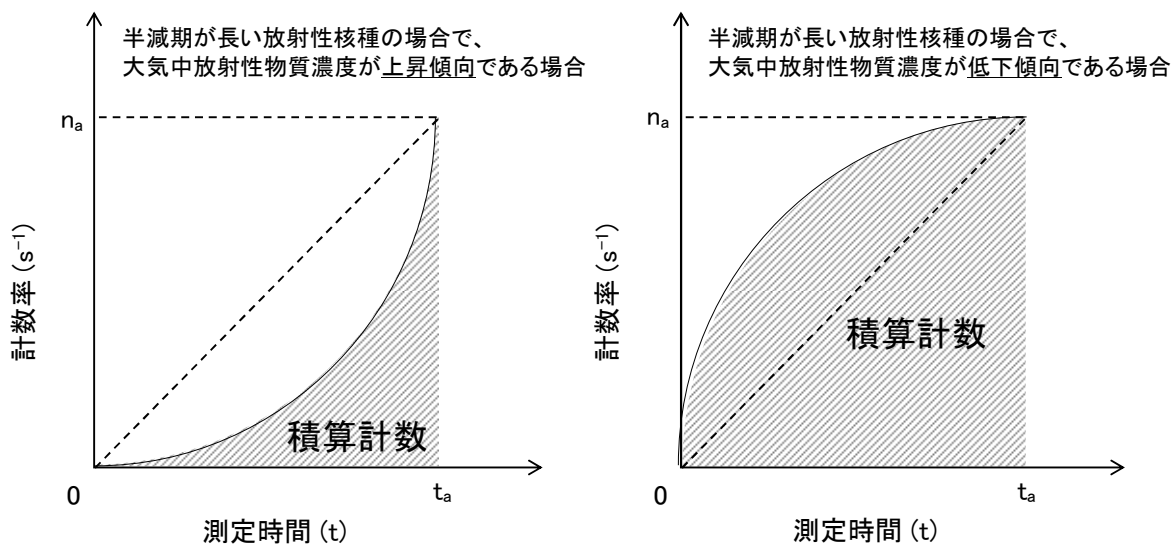


図 C-5 集じんしながらの測定による積算計数の評価



\* 計数率の傾きが大気中放射性物質濃度を表している。

図 C-6 大気中放射性物質の濃度変化による積算計数への影響

② 単位時間ごとの平均濃度をスケラにより測定する場合

計数率の差分は、計数率計で測定した単位時間ごとの計数率について前時刻からの変化量を求めることが基本である。

スケラで測定した積算計数から計算により計数率を求める場合、10分ごとの積算計数 (S1~S3) の差分を測定時間 (10分間) で除しても、正10分の時点の計数率にはならず、図 C-7 のようにその中間時刻の計数率となるため、過小評価されることになる。

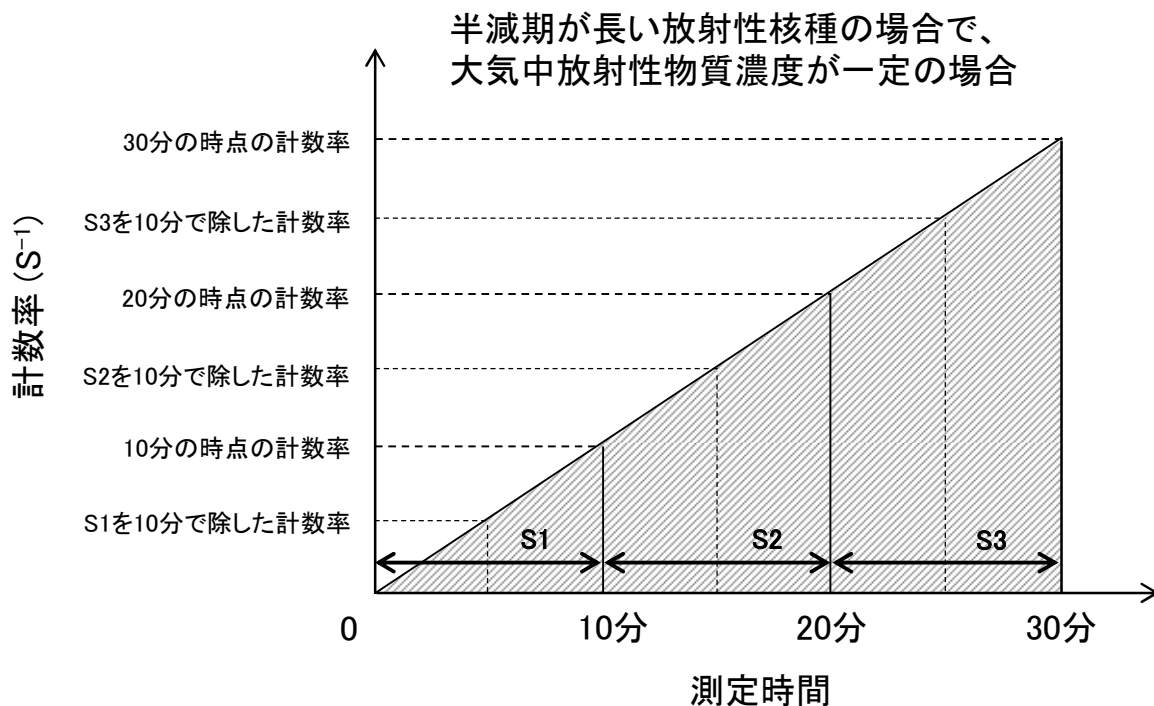


図 C-7 積算計数から計算した計数率の差分の評価例①

実際の正 10 分の時点の計数率に対し、できるだけ近い計数率を積算計数から得るための方法を以下に示す。

#### ア 当該 10 分間の積算計数から計数率を推定する方法

当該 10 分間における大気中放射性物質濃度（半減期の長い核種）が一定である場合は、計数率は直線的に増加するため、図 C-8 に示した三角形（0～10 分）や台形（10～20 分）の面積であると見なして、正 10 分時点の計数率を推定することが可能である。ただし、緊急時においては、図 C-8 の 20～30 分のように大気中放射性物質濃度が急激に変化することが想定される。この場合、この間の濃度変化を知ることはできないため、濃度一定として見なして計数率を推定する必要がある。したがって、正 10 分の計数率を算出する際には、20～30 分又は 30～40 分の積算計数（各時間の塗りつぶされた部分の面積に相当）を保持した上で、台形と見なして推定することになる。このため、正 10 分の計数率を計算で求める場合、途中の濃度変化の状況によっては、実際の正 10 分の計数率とのずれが大きくなる場合があることに留意が必要である。

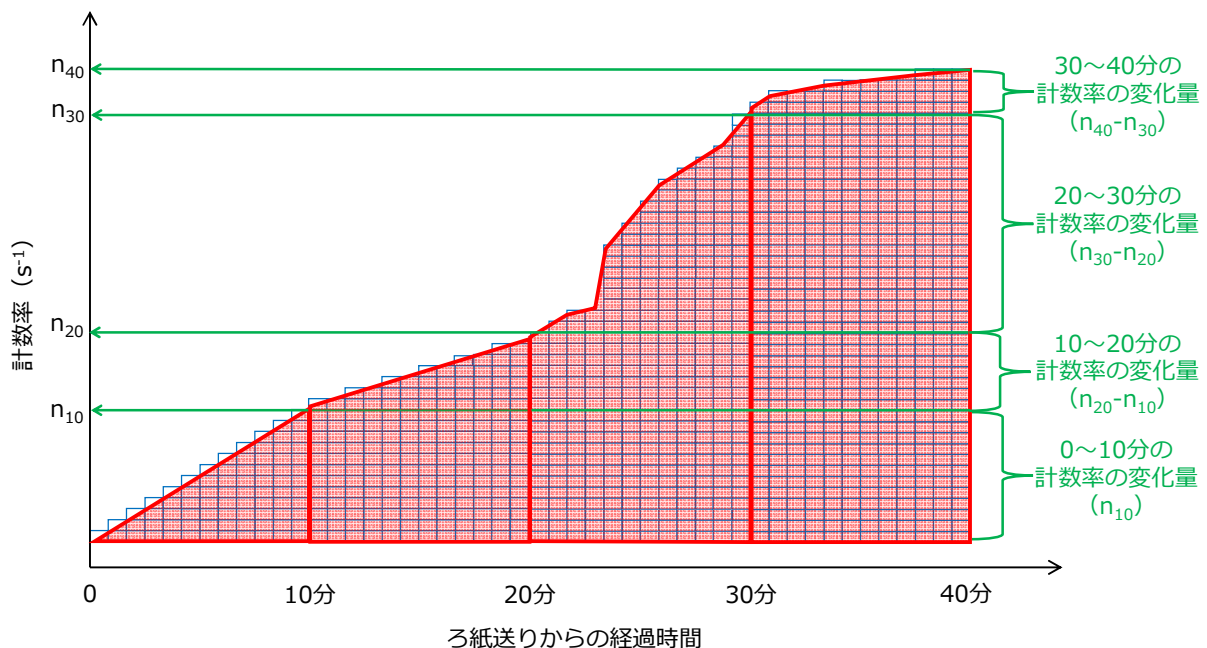


図 C-8 積算計数から計算した計数率の差分の評価例②

#### イ 積算計数の測定の分割時間を短くして計数率を評価する方法

積算計数を測定する時間を短く分割するほど、積算計数を測定時間で単純に除した場合でも、積算計数終了時点の計数率を、計数率計で測定した計数率に近づけることができる。例えば、9～10 分の積算計数を 1 分間（60 秒）で除することで求めた計数率は、図 C-9 の 10 分における計数率計で得られる計数率に近い値となる。このように、10 分間で得られる 10 個の 1 分間の積算計数から算出した計数率を用いて、正 10 分の時点での計数率を求める方法もある。ただし、積算計数が小さくなることにより、計算される計数率の不確かさが大き

くなることに留意が必要である。

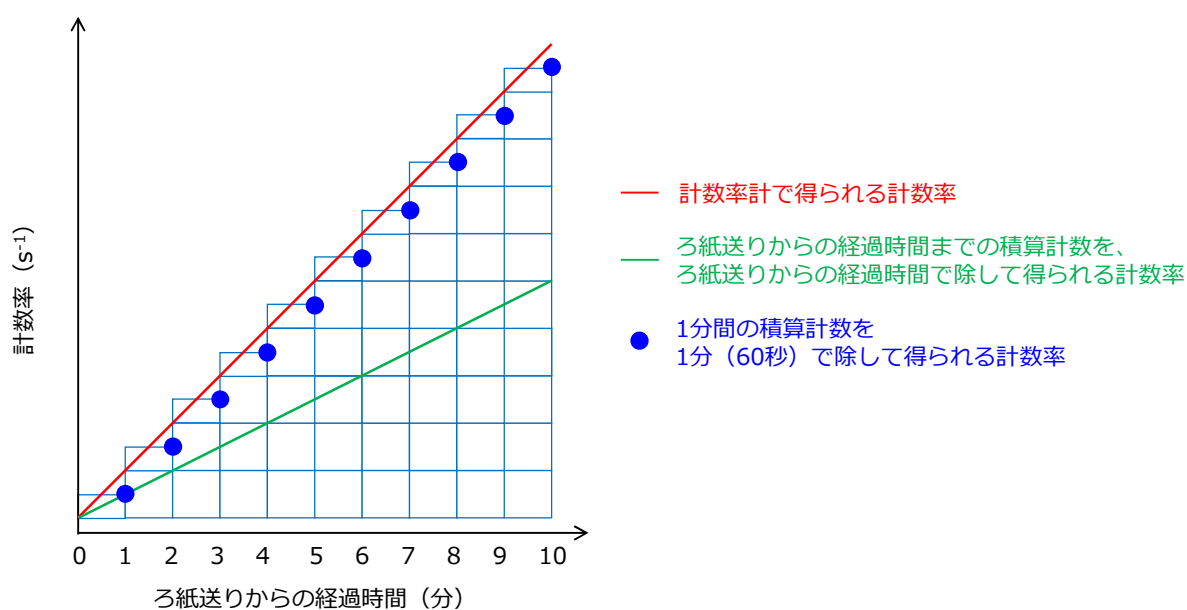


図 C-9 積算計数から計算した計数率の差分の評価例③

(3) 集じん時間と検出下限値の関係

$\alpha$ ・ $\beta$ 線ダストモニタの検出下限値の評価例を表 C-1 に示す。

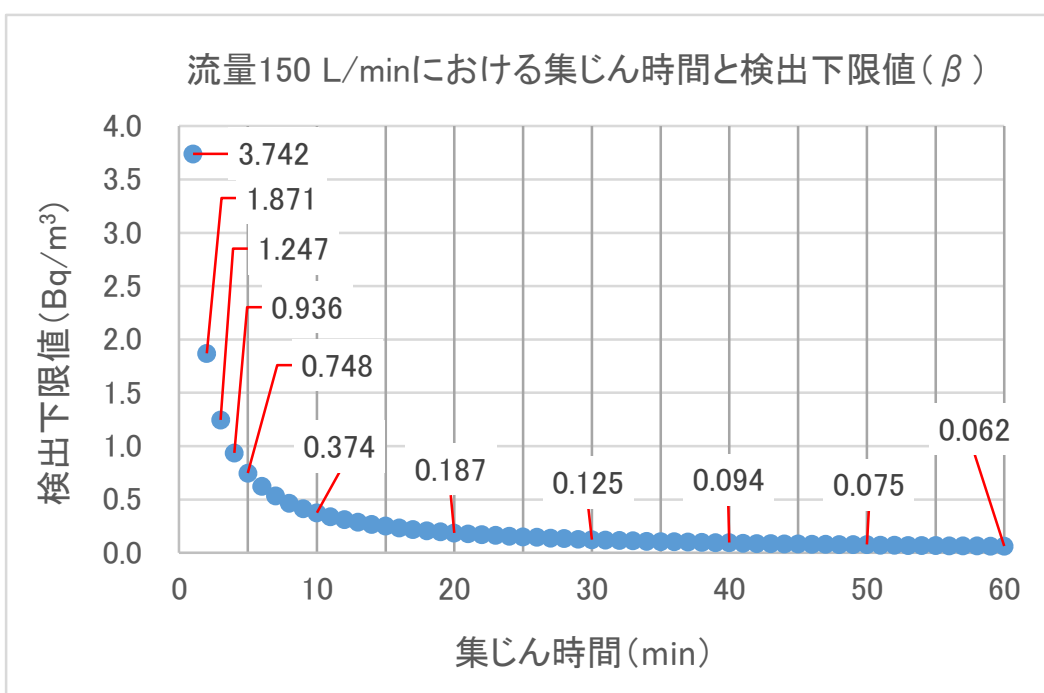
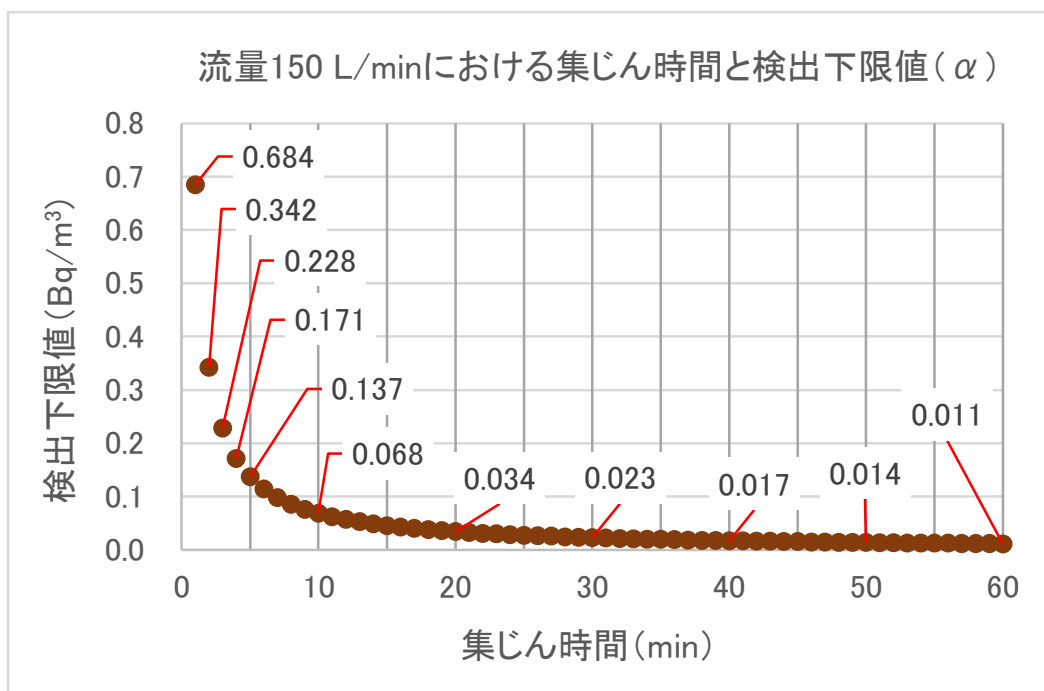
なお、JIS Z 4316:2006「放射性ダストモニタ」[5]に記載されている最高検出感度（スクエーラ方式）を検出下限値として計算した。

表 C-1  $\alpha$ ・ $\beta$ 線ダストモニタの検出下限値の評価例

集じん時間	供試量	検出下限値 (Bq/m <sup>3</sup> )	
		全 $\alpha$ 放射能濃度	全 $\beta$ 放射能濃度
10分	1.5 m <sup>3</sup>	0.07	0.4
1時間	9 m <sup>3</sup>	0.01	0.06

- ・流量：150 L/min
- ・機器効率： $\alpha$ 線 約 49 %、 $\beta$ 線 約 35 %
- ・検出器： $\alpha$ 線 ZnS(Ag)シンチレータ、 $\beta$ 線 プラスチックシンチレータ
- ・検出器サイズ：50 mm $\phi$
- ・バックグラウンド計数率： $\alpha$ 線 2 cpm、 $\beta$ 線 15 cpm

また、流量 150 L/min における、集じん時間と検出下限値の関係を図 C-10 に示す。



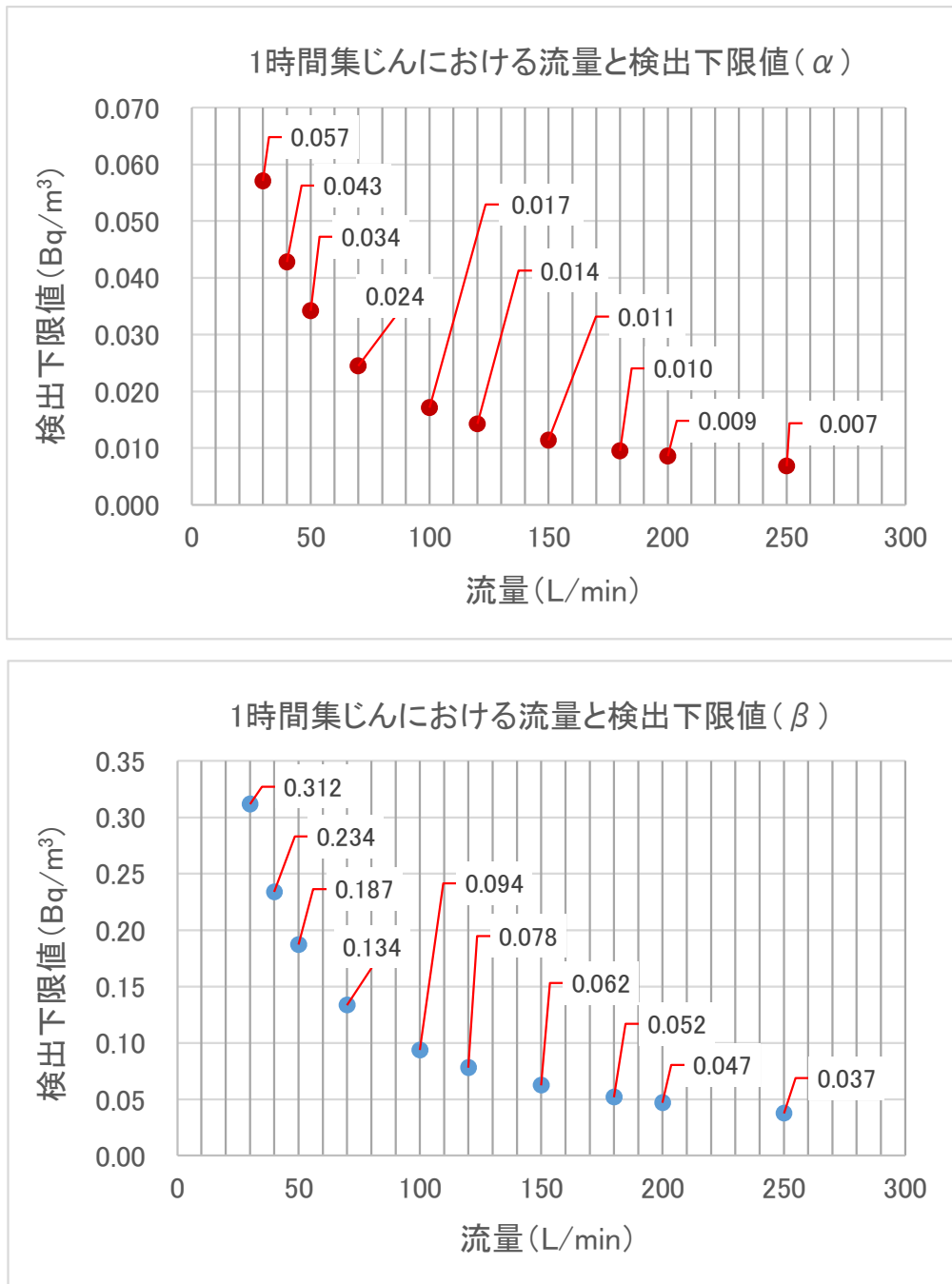
<計算条件>

- ・機器効率： $\alpha$ 線 約 49 %、 $\beta$ 線 約 35 %
- ・捕集効率：100 %
- ・検出器： $\alpha$ 線 ZnS(Ag)シンチレータ、 $\beta$ 線 プラスチックシンチレータ
- ・検出器サイズ：50 mm  $\phi$
- ・計数時間：2分
- ・2分間のバックグラウンド計数値： $\alpha$ 線 2カウント、 $\beta$ 線 30カウント

図 C-10 集じん時間と検出下限値の関係  
(上：全 $\alpha$ 放射能濃度、下：全 $\beta$ 放射能濃度)

(4) 流量と検出下限値の関係

1時間の集じんにおける、流量と検出下限値の関係を図 C-11 に示す。



<計算条件>

- ・機器効率：α線 約 49 %、β線 約 35 %
- ・捕集効率：100 %
- ・検出器：α線 ZnS(Ag)シンチレータ、β線 プラスチックシンチレータ
- ・検出器サイズ：50 mmφ
- ・計数時間：2分
- ・2分間のバックグラウンド計数値：α線 2カウント、β線 30カウント

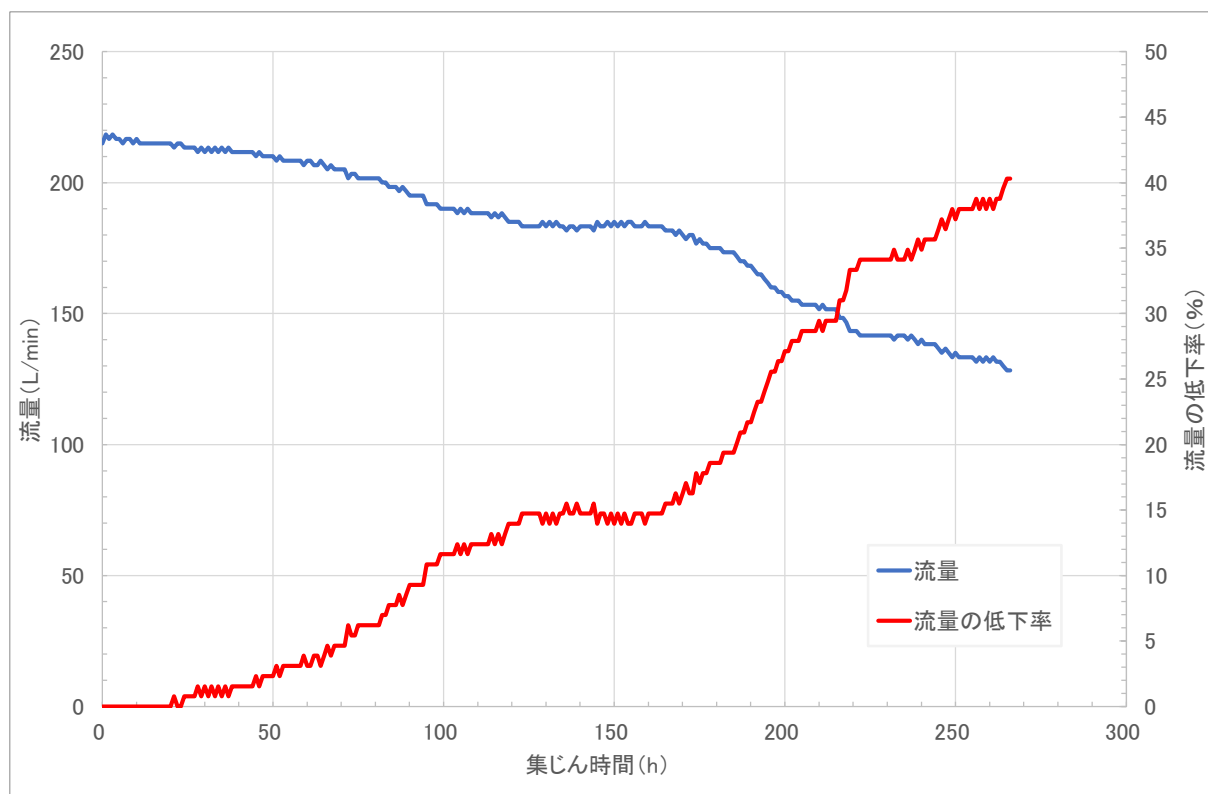
図 C-11 流量と検出下限値の関係  
(上：全α放射能濃度、下：全β放射能濃度)

### (5) 集じん時間と流量低下の関係

集じん時間を長くする程、ろ紙に捕集される大気浮遊じんの量は増加するため、流量は低下する。

セルロース・ガラス繊維ろ紙を用いて、集じん開始時の流量を約 200 L/min とし、約 10 日間吸引し続けた場合の流量の低下率を評価した例を図 C-10 に示す。流量は、3 日間で 5 % 程度、10 日間で 35 % 程度低下した。

ただし、ダストモニタの設置場所や季節によって大気浮遊じんの量は変化することに注意が必要である。



\* 流量の低下率がマイナスになった場合は 0 として表示

図 C-12 流量の低下率の評価例



## 解説D ダストモニタの効率

ダストモニタにより測定された大気中放射性物質濃度は、効率校正に使用された1種類の標準線源により評価された放射能濃度として計算されており、 $\alpha$ 線及び $\beta$ 線検出器にはエネルギー依存性があるが、それが考慮されていないことが現状である。

効率校正に使用する標準線源を変更すると測定結果も変わることから、本測定法では本文中の表3-10に記載した標準線源を使用することを原則としている。

### (1) 標準線源

JIS Z 4316:2013「放射性ダストモニタ」[4]では、試験に用いる放射線源は、 $\beta$ 線源としてCl-36及びTl-204、 $\alpha$ 線源としてAm-241、 $\gamma$ 線源としてCs-137等を用いることとしており、その他の線源については、受渡当事者間の協定によって用いてもよいこととしている。現状 $\alpha$ 線及び $\beta$ 線測定用ダストモニタの効率校正には、Am-241及びCl-36が多く使用されている。参考として、JIS Z 4316:2013に記載されている、 $\beta$ 線源として適切な放射性核種の例を表D-1に示す。

また、 $\alpha$ 線及び $\beta$ 線ダストモニタ用標準線源は表面放出率、 $\gamma$ 線ダストモニタ用標準線源は放射能について、国家標準とのトレーサビリティが確保されているものとしている。

表D-1  $\beta$ 線源として適切な放射性核種の例 [4][5]

核種	半減期	$\beta$ 線最大エネルギー (keV)
Ni-63	100.1年	67
C-14	5700年	157
Hg-203 *1	46.61日	213
Pm-147	2.62年	225
Ca-45	163日	257
Co-60 *1	5.27年	318
Cs-137 *1	30.17年	514 (94.4%)、1176 (5.6%)
W-185	75.1日	433
Tl-204	3.78年	764 (97.1%)
Cl-36	$3.01 \times 10^5$ 年	709 (98.1%)
Au-198 *1	2.695日	961 (99.0%)
Sr-89	50.53日	1495
P-32	14.26日	1711
天然ウラン *2	$4.46 \times 10^9$ 年	2269
Sr-90+Y-90 *3	28.79年	546、2280

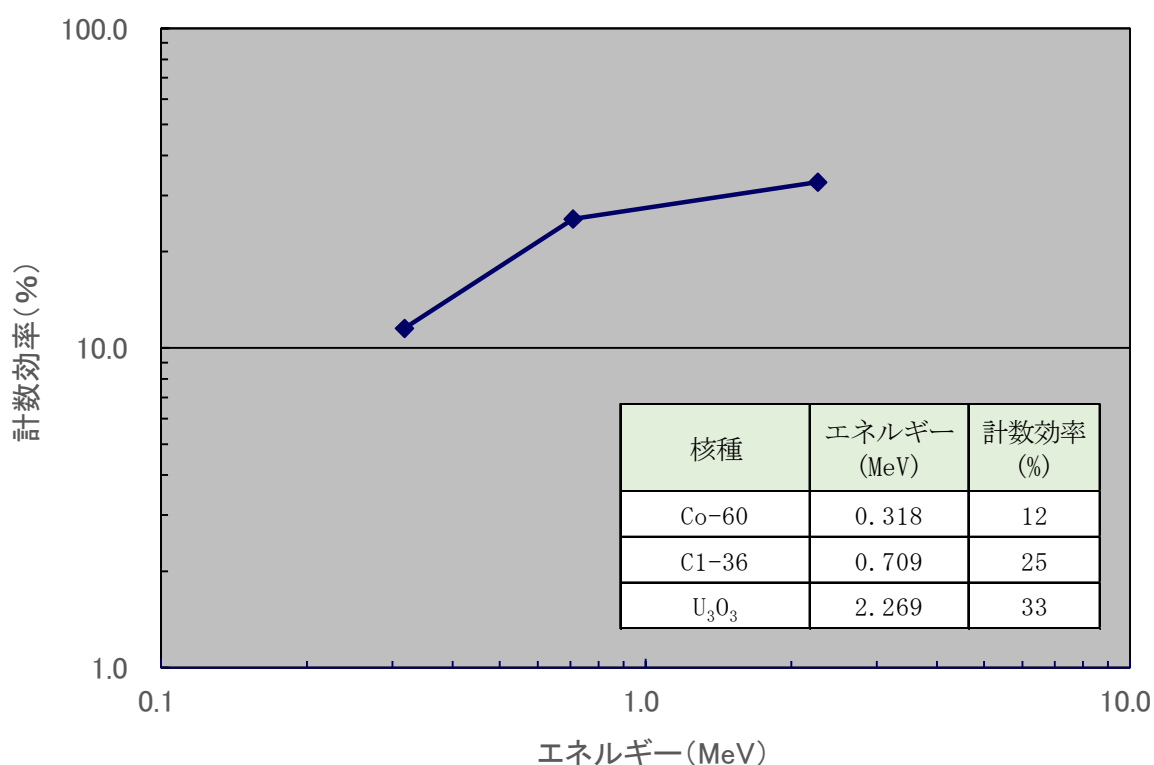
\*1 これらの核種は $\gamma$ 線も放出する。また、Cs-137及びAu-198は内部転換電子も併せて放

出るので、それらの影響を考慮する必要がある。

- \*2 半減期は主成分である U-238 の値で、 $\beta$  線最大エネルギーは系列核種の Pa-234 の値である。この他に  $\alpha$  線及び  $\gamma$  線が放出されるので、使用するときにはそれらの影響を考慮する必要がある。
- \*3 JIS Z 4329:2004「放射性表面汚染サーベイメータ」[11]に基づき、2280 keV を使用する。

## (2) 標準線源を変更した場合の影響

プラスチックシンチレーション検出器のエネルギー特性 ( $\beta$  線エネルギーに対する効率の依存性) の評価例を図 D-1 に示した。



検出器サイズ : 50 mm  $\phi$   
検出器と標準線源の距離 : 約 3.5 mm

図 D-1 プラスチックシンチレーション検出器のエネルギー特性評価例 [17]

過去に導入されたダストモニタでは U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ( $\alpha$  線及び  $\beta$  線) 線源\*を用いて効率校正がされており、その効率が引き続き使われているケースも考えられるが、表 3-10 の標準線源を使用することが原則であり、効率校正への使用は推奨しない。

なお、効率校正に使用する標準線源を変更すると効率が変わることから、その効率により計算される測定値も変わること留意する必要がある。

\* 日本アイソトープ協会では国際規制物資であるウラン (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) 線源の販売を 1997 年

に中止した。

過去に使用されていた  $U_3O_8$  ( $\alpha$  線及び  $\beta$  線) 線源と、JIS に記載されている Am-241 線源 ( $\alpha$  線) 及び C1-36 線源 ( $\beta$  線) との計数効率の差の評価例を表 D-2 に示した。

表 D-2  $U_3O_8$  ( $\alpha$  線及び  $\beta$  線) 線源と、Am-241 線源及び C1-36 線源との計数効率の差の評価例

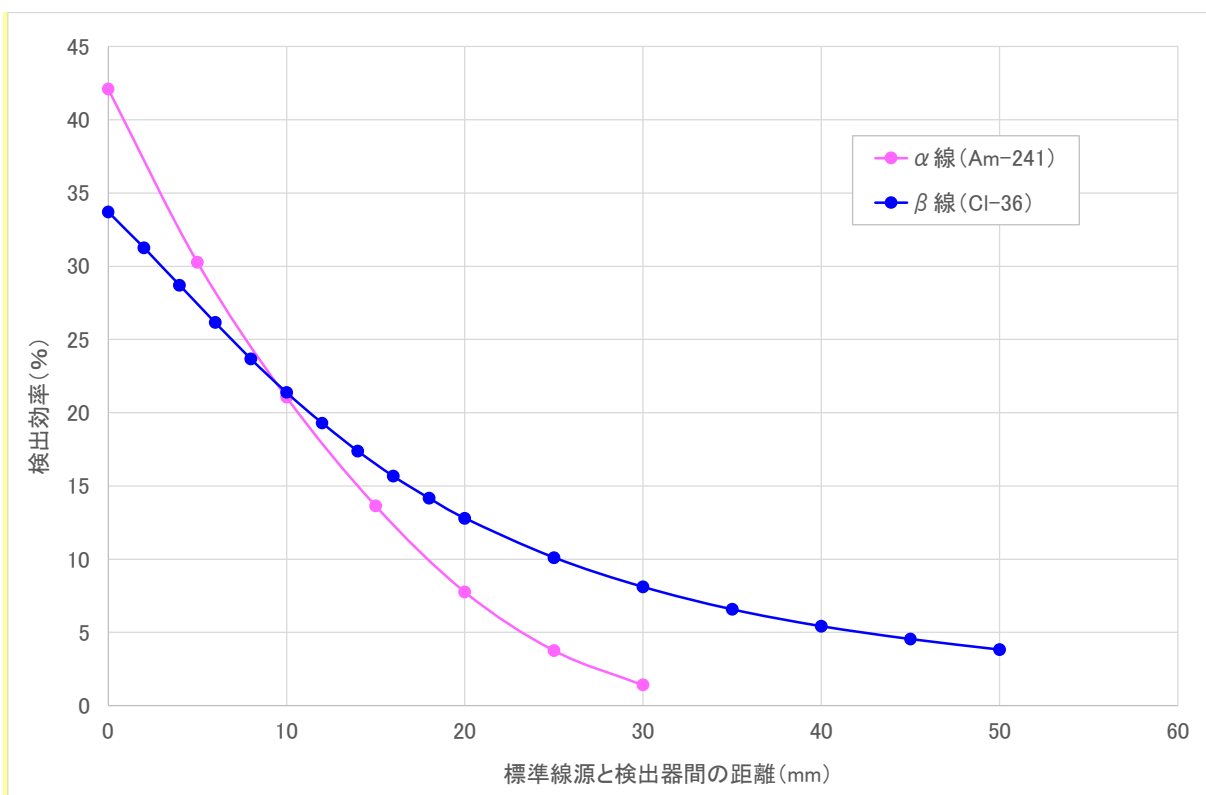
$\alpha$ 線効率		$\beta$ 線効率	
$U_3O_8$ (4.2 MeV)	Am-241 (5.5 MeV)	$U_3O_8$ (2.3 MeV)	C1-36 (0.7 MeV)
18 %	24 %	30 %	22 %

検出器： $\alpha$  線 ZnS(Ag)シンチレーション検出器  
 $\beta$  線 プラスチックシンチレーション検出器  
 両検出器とも有効面積約 50 mm  $\phi$ 、鉛遮へい約 1.5 cm

### (3) 効率校正における標準線源と検出器の距離の違いによる影響

標準線源と検出器の距離を変化させた場合における検出効率の変化の評価例を図 D-2 に示す。距離が大きくなるほど検出効率は下がり、飛程の短い  $\alpha$  線の方が変化量大きい。

このことから、ろ紙と検出器の幾何学的配置と全く同じ条件で効率校正を実施することが重要である。



\* モンテカルロシミュレーションによる評価 (シミュレーション条件は(4)と同様)

図 D-2 標準線源と検出器の距離を変化させた場合の検出効率の変化の評価例

(4) モンテカルロシミュレーションを用いた検出効率の算出

モンテカルロ法を用いて荷電粒子と検出器の相互作用を計算することで、様々なエネルギーの線源に対する検出効率をシミュレーションすることができる。

表 D-3 及び図 D-3 に示すジオメトリー（マイラ膜+ZnS (Ag) シンチレータ+プラスチックシンチレータ）を用いた Geant4 によるモンテカルロシミュレーションから検出効率を算出した。

図 D-4 に示すとおり、核種のエネルギーによって検出効率が大きく異なり、ZnS (Ag) シンチレータ及びプラスチックシンチレータ共にエネルギーの低い核種に対する検出効率が低い傾向にあった。

表 D-3 シミュレーションに用いたジオメトリーパラメータ

検出器	化学式	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	直径 (cm)	厚さ
マイラ膜	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	1.4	5	4.5 μm
ZnS (Ag) シンチレータ	ZnS	4.09	5	7.2 μm
プラスチックシンチレータ	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>	1.032	5	0.5 cm

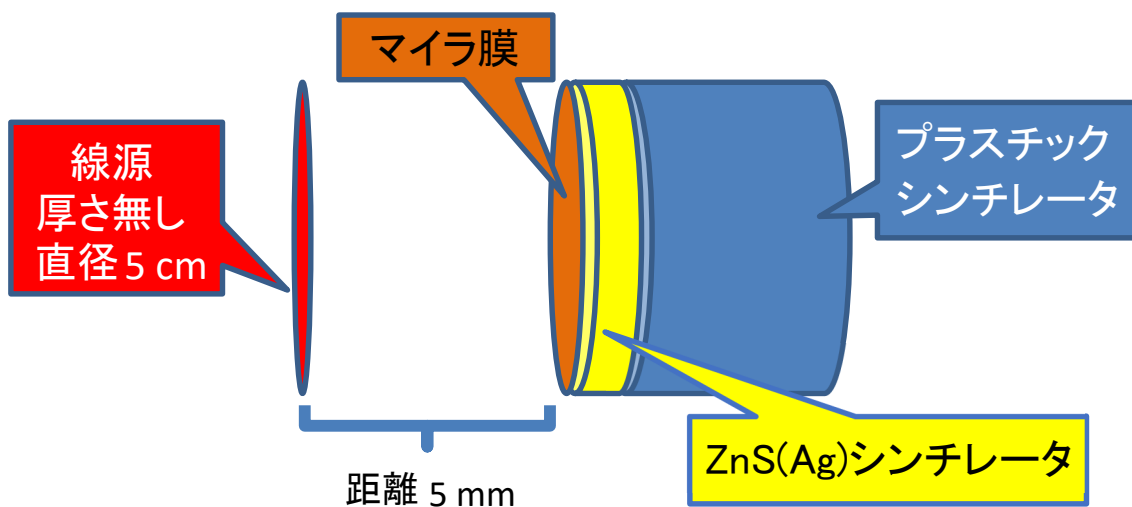


図 D-3 モンテカルロシミュレーションに用いたジオメトリー

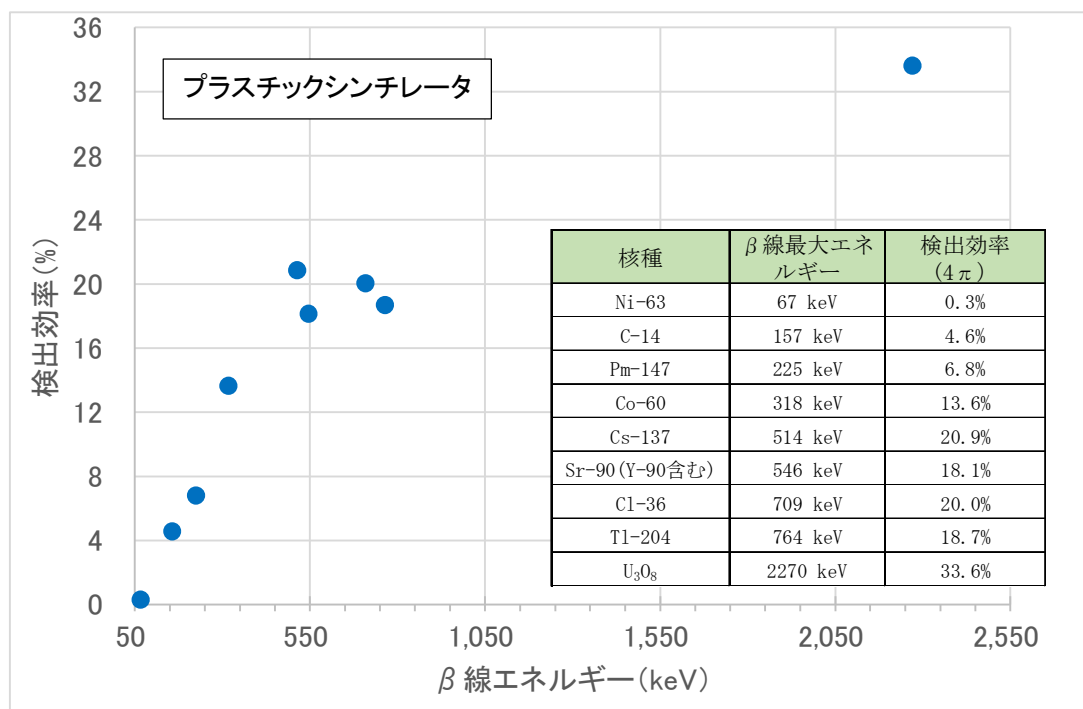
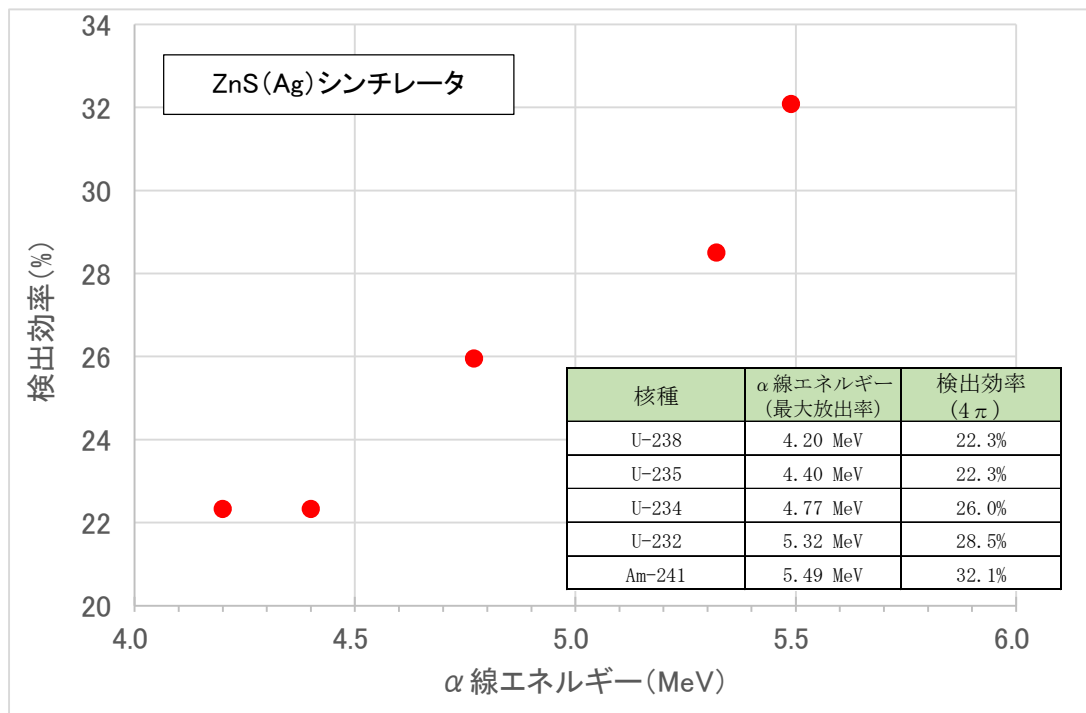


図 D-4 モンテカルロシミュレーションを用いた検出効率評価例

<検出効率算出方法>

- Geant4. 10. 06 を用いて各検出器 (ZnS (Ag) シンチレータ又はプラスチックシンチレータ) に付与されたエネルギー (エネルギースペクトル) をシミュレーション
- 各放射性核種の崩壊数 : 1, 000, 000
- エネルギースペクトルの総計数を放出数で除して検出効率を算出
- 検出効率には $\gamma$ 線等の測定対象外の放射線の影響を含んでいる。
- 線源効率及び線源の表面放出率は考慮していない。

## 解説 E ダストモニタ測定値へのラドン・トリウム壊変生成物の影響

ダストモニタの測定値は、ろ紙に捕集した大気浮遊じん中の放射能濃度として算出される。自然環境において大気浮遊じん中に存在する $\alpha$ 線又は $\beta$ 線を放出する放射性物質は、ラドン・トリウム壊変生成物が主である。

ラドンはウラン系列のRn-222、トリウムはトリウム系列のRn-220である。大気中に存在するラドン・トリウム壊変生成物の放射能濃度が一定であったとしても、ろ紙に捕集される大気浮遊じんに含まれるラドン・トリウム壊変生成物の放射能濃度は、捕集による増加と、逐次壊変による増加と減衰の影響により変動する。図 E-1 にラドン・トリウムの壊変図を示す。

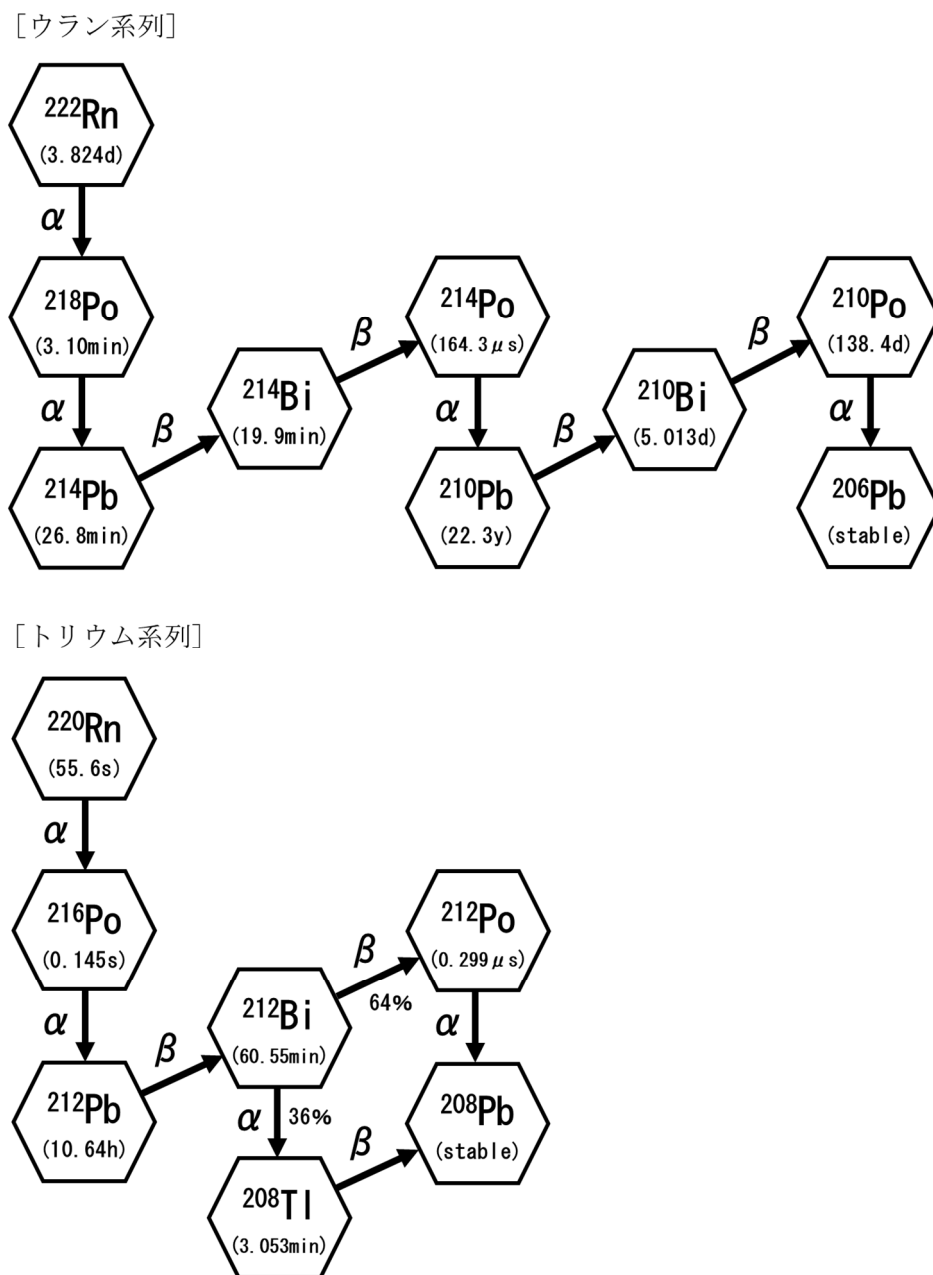


図 E-1 ラドン・トリウムの主な壊変図

(1) 実測による評価

スペクトル解析により、ラドン・トロンのおおよその放射能濃度を測定可能な A 社製ダストモニタと、全  $\alpha$  及び全  $\beta$  計数率を測定可能な B 社製ダストモニタについて、6 時間集じん後にポンプを停止した状態で測定を継続し、集じん後の放置時間とラドン・トロン壊変生成物の減衰の関係を評価した（図 E-2）。

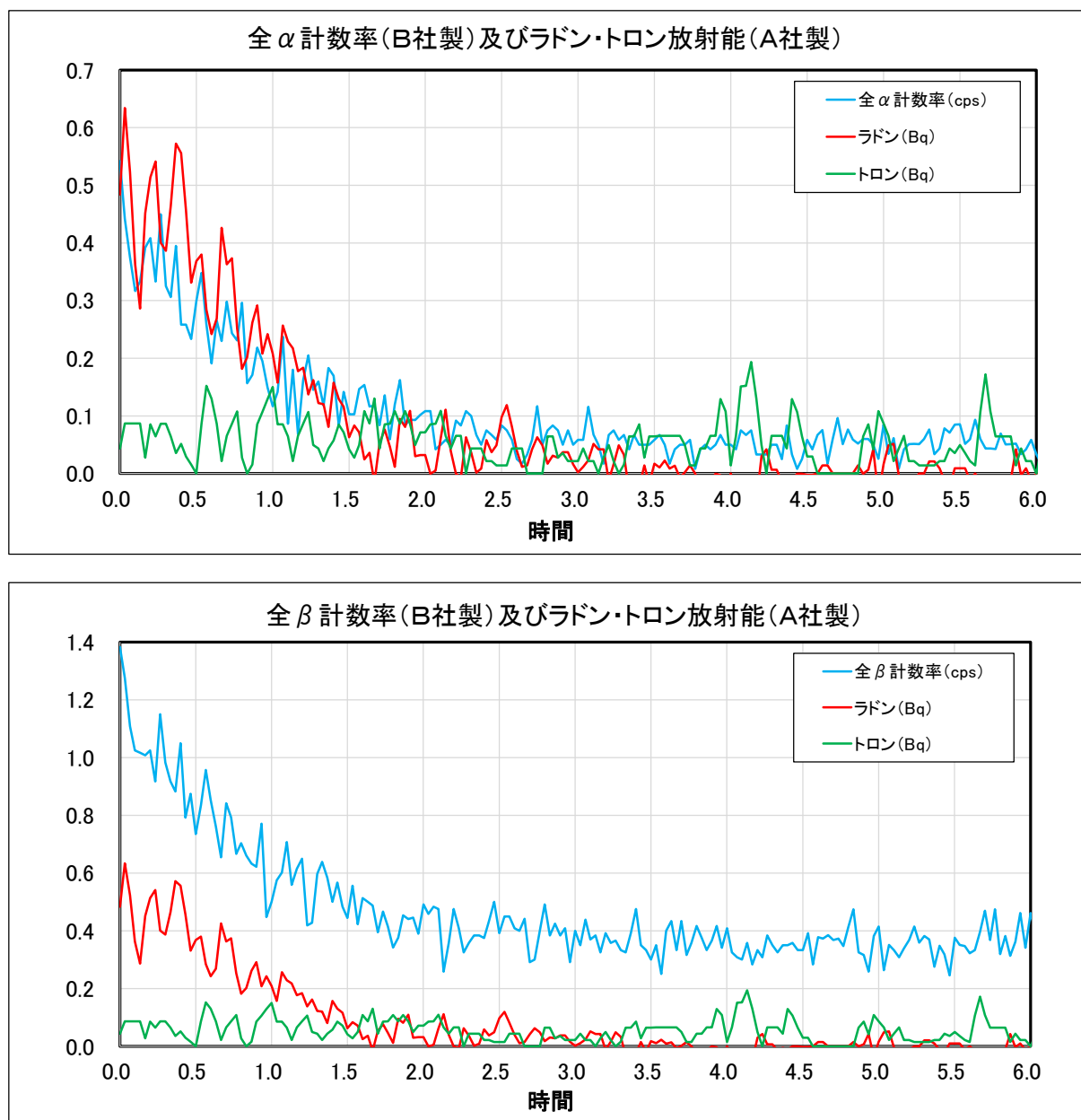


図 E-2 ダストモニタ実測値によるラドン・トロン壊変生成物の影響評価  
(上：全 $\alpha$ 、下：全 $\beta$ )

全 $\beta$ 計数率とラドンの減衰パターンはほぼ一致し、約 30 分の半減期で減衰した。全 $\beta$ 計数率は集じん停止後 2 時間程度で BG 計数率\*付近まで低下した。

\* BG 計数率（未集じんのろ紙をポンプを停止して測定）の実測値は  $\alpha$  が  $0.02 \text{ s}^{-1}$ 、 $\beta$  が  $0.3 \text{ s}^{-1}$  程度

## (2) 計算による評価

ラドン壊変生成物である Po-218、Pb-214、Bi-214、Po-214 が大気中に各 5 Bq/m<sup>3</sup> の一定濃度で存在していると仮定し、その大気を流量 100 L/min、捕集効率 100 % で集じんした時の、ろ紙上の放射能の推移を図 E-3 に示す。なお、ろ紙上の放射能計算は 1 分単位で行っている。

ろ紙上の放射能は集じんによって増加するが、一方で放射性壊変によって減衰するため、時間経過とともに放射能は一定になる。

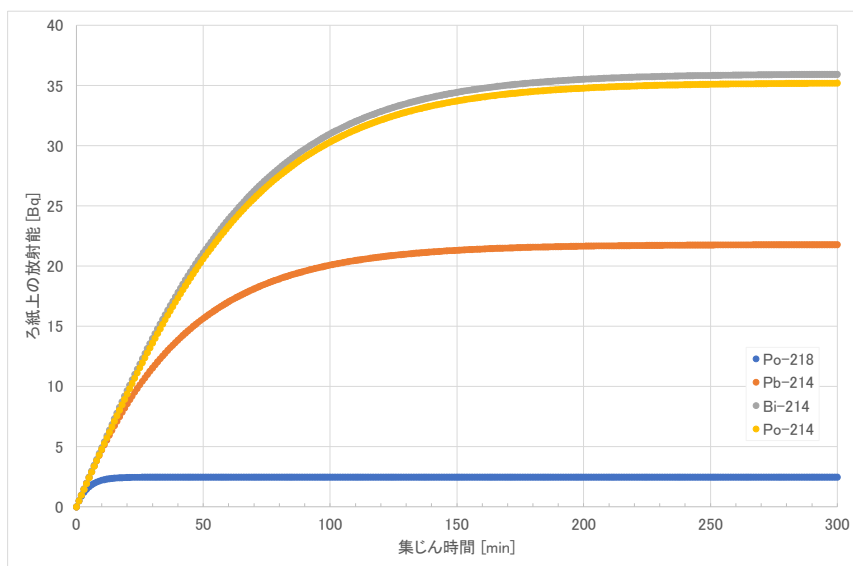


図 E-3 ろ紙上の放射能（ウラン系列）の推移

トリウム壊変生成物である Po-216、Pb-212、Bi-212 が大気中に各 0.1 Bq/m<sup>3</sup> の一定濃度で存在し、その大気を流量 100 L/min、捕集効率 100 % で集じんした時の、ろ紙上の放射能の推移を図 E-4 に示す。なお、ろ紙上の放射能計算は 1 分単位で行っている。

ろ紙上の放射能は集じんによってほぼ直線的に増加する。図 E-3 に示したウラン系列のように放射能が一定にならないのは、この中では半減期が約 11 時間と長い Pb-212 による影響である。

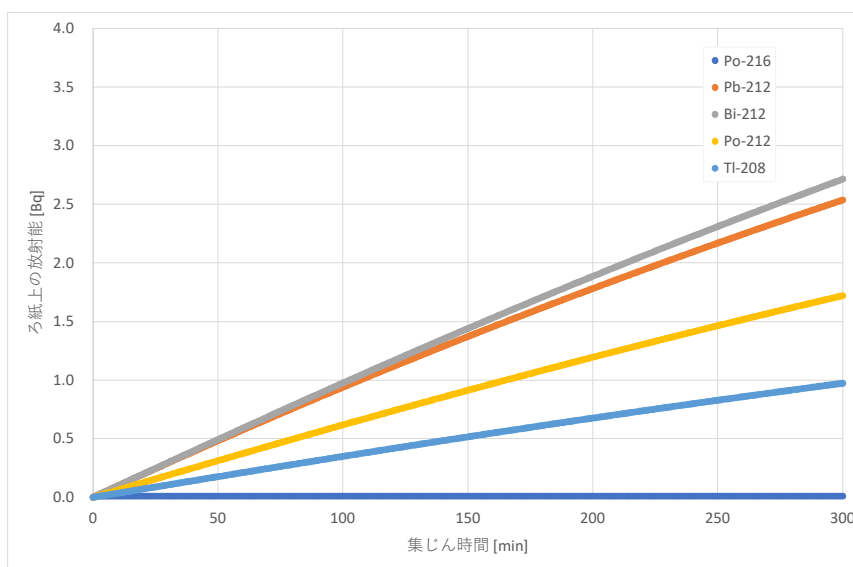


図 E-4 ろ紙上の放射能（トリウム系列）の推移



## 解説 F ダストモニタ測定値における施設起因の放射性物質寄与分の弁別方法

ダストモニタの測定値から原子力施設起因の放射性物質の寄与分を弁別するための方法を表 F-1 に示す。原子力施設に応じて、ダストモニタにおける測定対象が異なるため、表 F-1 を参考にして、適切な弁別方法を選択する。

表 F-1 施設起因の放射性物質寄与分の弁別方法と弁別対象

弁別方法	弁別対象	参照
$\beta/\alpha$ 比を用いた方法	全 $\beta$ 放射能濃度	本文
$\alpha$ $\beta$ 同時計数を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度、全 $\beta$ 放射能濃度	F.1
スペクトル解析を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度、全 $\beta$ 放射能濃度	F.2
基準化計数を用いた方法	全 $\alpha$ 放射能濃度、全 $\beta$ 放射能濃度	F.3
アンフォールディングを用いた方法	$\gamma$ 線放出核種濃度	F.4

## F.1 α β 同時計数を用いた方法

ラドンの壊変生成物である Bi-214（半減期：約 20 分）の β 壊変と、Bi-214 の壊変生成物である Po-214（半減期：約 160 マイクロ秒）の α 壊変はほぼ同時に起こるため、α 線及び β 線がほぼ同時に放出される（図 F-1）。

施設起因の放射性物質の影響がない場合、自然放射性物質による実測 α β 同時計数率と、実測 α 線計数率には強い正の相関があることを利用して、回帰式により推定自然 α 線計数率を評価することができる（図 F-2）。

実測 α 線計数率から実測 α 放射能濃度を求め、実測 α 放射能濃度から推定自然 α 放射能濃度を差し引くことにより、推定施設起因放射能濃度を求めることができ、施設起因の放射性物質寄与分を弁別することができる。ただし、トリウム系列核種からの寄与が大きい場合、同時計数されない割合が多くなることにより、弁別能力が若干低下する可能性がある。

外川らの評価 [18]によると、施設起因の放射性物質（α 線放出核種）の影響を判別できるレベルを 1.3 Bq/m<sup>3</sup>にすることができたとしている（図 F-3）。

また、実測 α β 同時計数率と実測 β 線計数率にも強い正の相関があり、この手法は推定施設起因 α 放射能濃度と同様、推定施設起因 β 放射能濃度を推定することにも有効である（図 F-4 及び図 F-5）。

### 評価方法

$$\text{推定自然 } \alpha \text{ 計数率 (s}^{-1}\text{)} = a \times \text{実測 } \alpha \beta \text{ 同時計数率 (s}^{-1}\text{)} + b$$

a, b : 回帰式により求めた定数

↓

推定自然 α 放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) を、推定自然 α 計数率 (s<sup>-1</sup>) から計算

↓

推定施設起因 α 放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$$= \text{実測 } \alpha \text{ 放射能濃度 (Bq/m}^3\text{)} - \text{推定自然 } \alpha \text{ 放射能濃度 (Bq/m}^3\text{)}$$

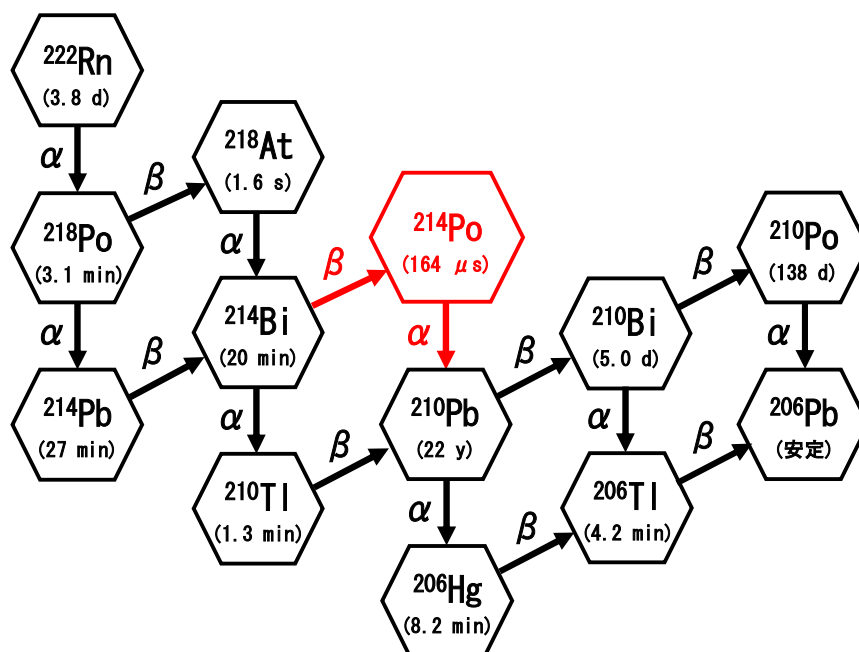


図 F-1 ラドンの壊変図

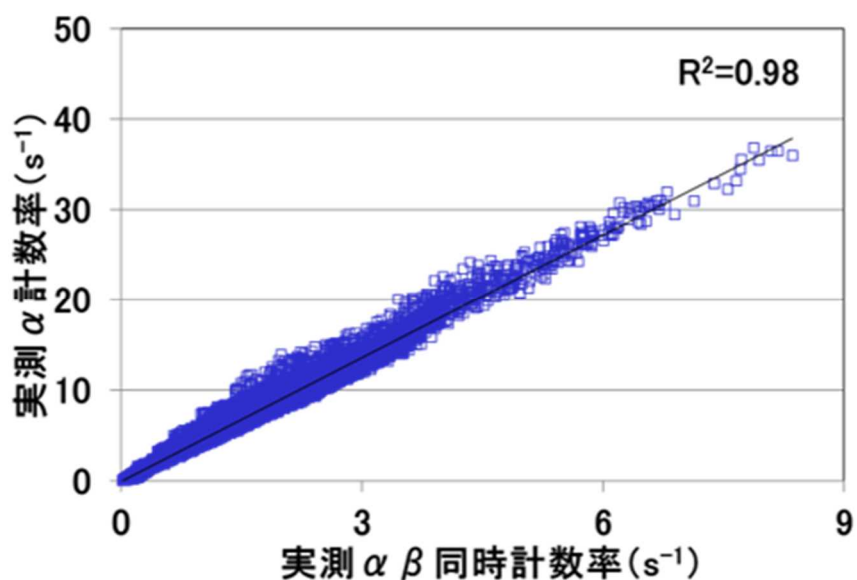


図 F-2 α β 同時計数率と全 α 計数率の相関図の評価例 [18]

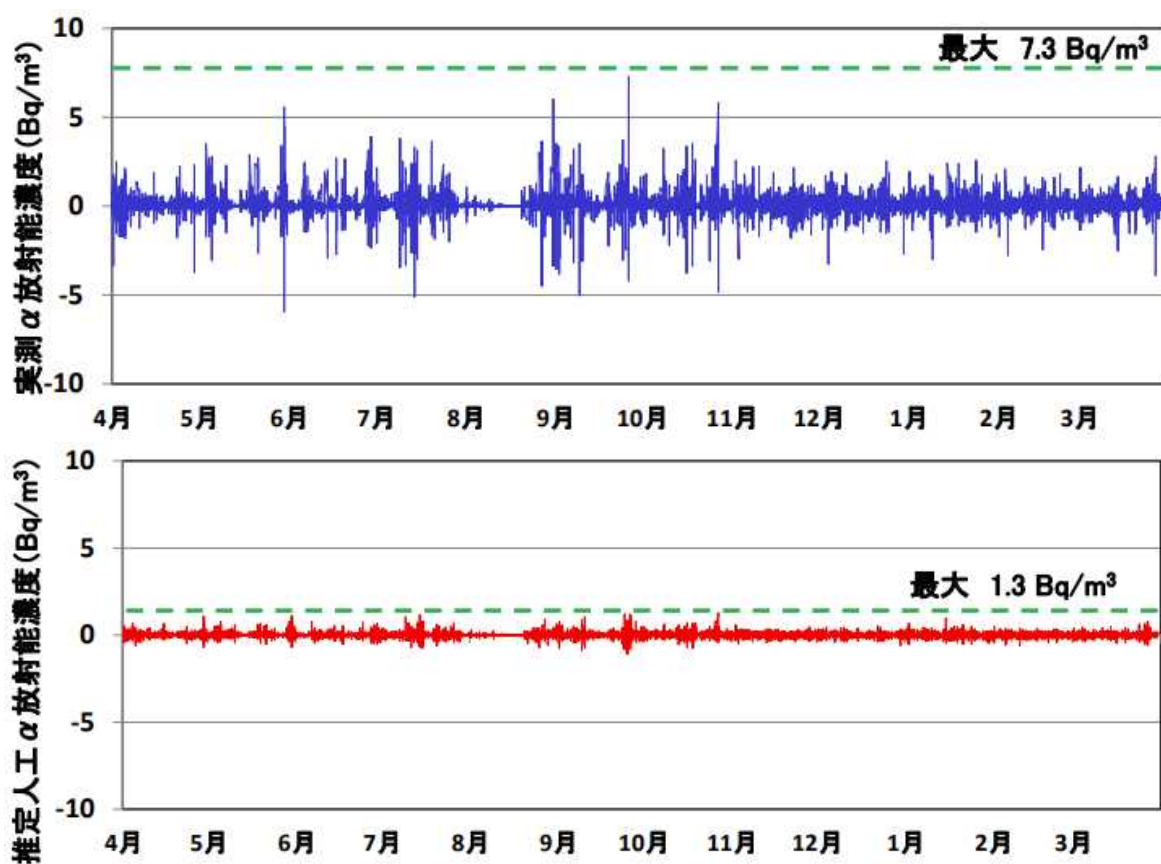


図 F-3 推定施設起因 α 放射能濃度の評価例 [18]

(上：実測 α 放射能濃度 (単位時間ごとの差分評価) の経時変化、  
下：推定施設起因 (図中では推定人工) α 放射能濃度の経時変化)

<測定条件 (図 F-2 及び図 F-3) >

- ・測定項目：α 計数率、β 計数率、α β 同時計数率 (coin ゲート：100～400 μs)
- ・検出器：ZnS (Ag) + プラスチックシンチレーション検出器
- ・大気捕集材：セルロース・ガラス繊維長尺ろ紙
- ・集じん流量：180 L/min ・吸気口高さ：地上約 3.1 m ・集じんサイクル：24 時間

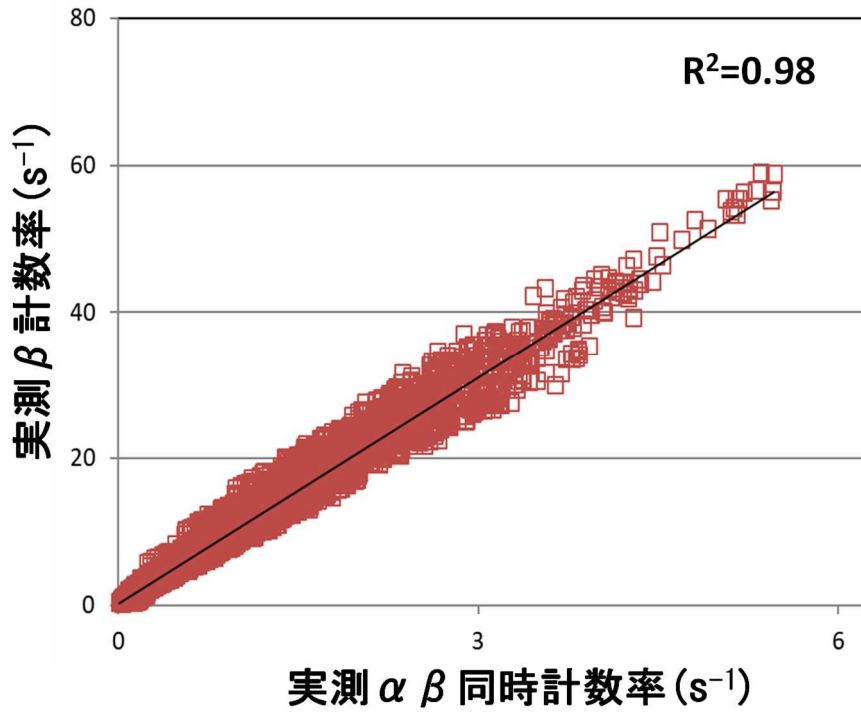


図 F-4  $\alpha$   $\beta$  同時計数率と全  $\beta$  計数率の相関図の評価例 [18]

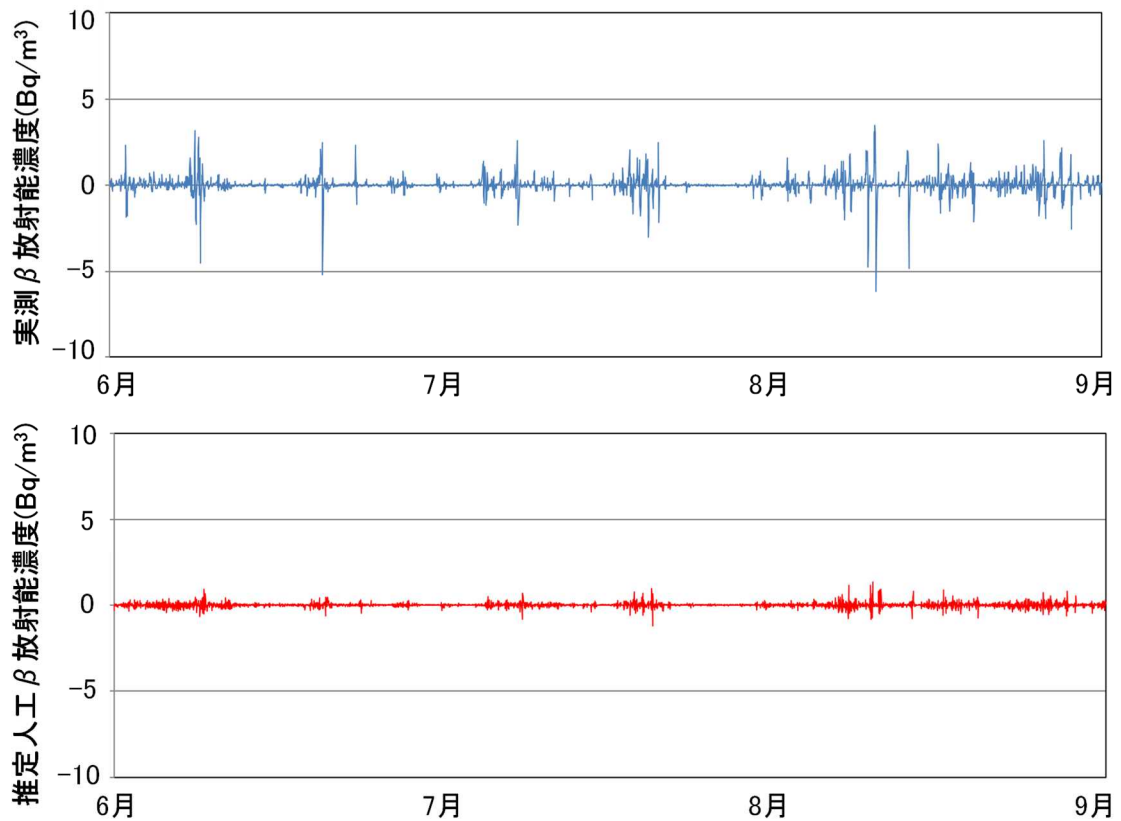


図 F-5 推定施設起因  $\beta$  放射能濃度の評価例 [18]

(上：実測  $\beta$  放射能濃度 (単位時間ごとの差分評価) の経時変化、  
下：推定施設起因 (図中では推定人工)  $\beta$  放射能濃度の経時変化)

<測定条件 (図 F-4 及び図 F-5) >  
図 F-2 及び図 F-3 と同じ

## F.2 スペクトル解析を用いた方法

シリコン半導体検出器で測定したスペクトルの解析により、ラドン・トロン壊変生成物（自然放射性物質）の影響を補正することで、施設起因の放射性物質による全 $\alpha$ 放射能濃度及び全 $\beta$ 放射能濃度を測定することが可能である。

全 $\alpha$ 放射能濃度の評価については、図 F-6 のように、ウラン及びプルトニウムと、ラドン・トロン壊変生成物では放出する $\alpha$ 線エネルギーが異なるため、スペクトル上ではピークとして弁別することが可能である。スペクトル解析により、ラドン・トロン壊変生成物の影響量を補正した結果の例を図 F-7 に示す。得られた $\alpha$ 線正味計数率から施設起因の全 $\alpha$ 放射能濃度を算出する。

全 $\beta$ 放射能濃度の評価については、図 F-6 のように $\beta$ 線と $\gamma$ 線が同じ領域に計数されるため、以下の式を用いて、そこに含まれる $\gamma$ 線の寄与と、ラドン・トロン壊変生成物の影響による $\alpha$ 線の寄与を差し引き、得られた $\beta$ 線正味計数率から施設起因の全 $\beta$ 放射能濃度を算出する。なお、 $\gamma$ 線の寄与の評価には、 $\gamma$ 線のバックグラウンドを補正するための検出器が別途必要である。

### $\beta$ 線正味計数率の評価式

$$\begin{aligned} \beta \text{線正味計数率} &= (\beta + \gamma \text{領域の計数率}) - (\alpha \text{領域の計数率} \times \beta \text{領域への寄与係数}) \\ &\quad - (\gamma \text{線バックグラウンド補正用検出器の} \gamma \text{領域の計数率} \times \text{補正係数}) \end{aligned}$$

決定しきい値の評価例を表 F-2 に示す。施設起因の放射性物質による全 $\alpha$ 放射能濃度及び全 $\beta$ 放射能濃度の弁別レベルを 1 Bq/m<sup>3</sup> 以下とすることができる製品もある。

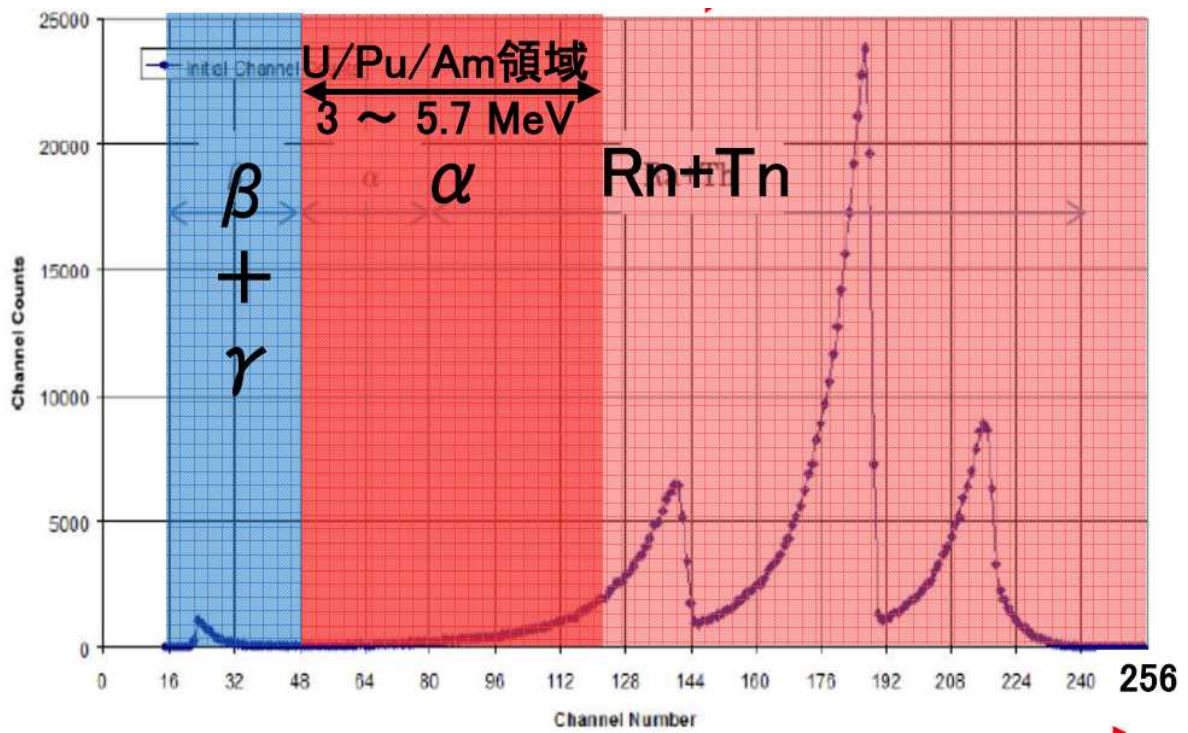
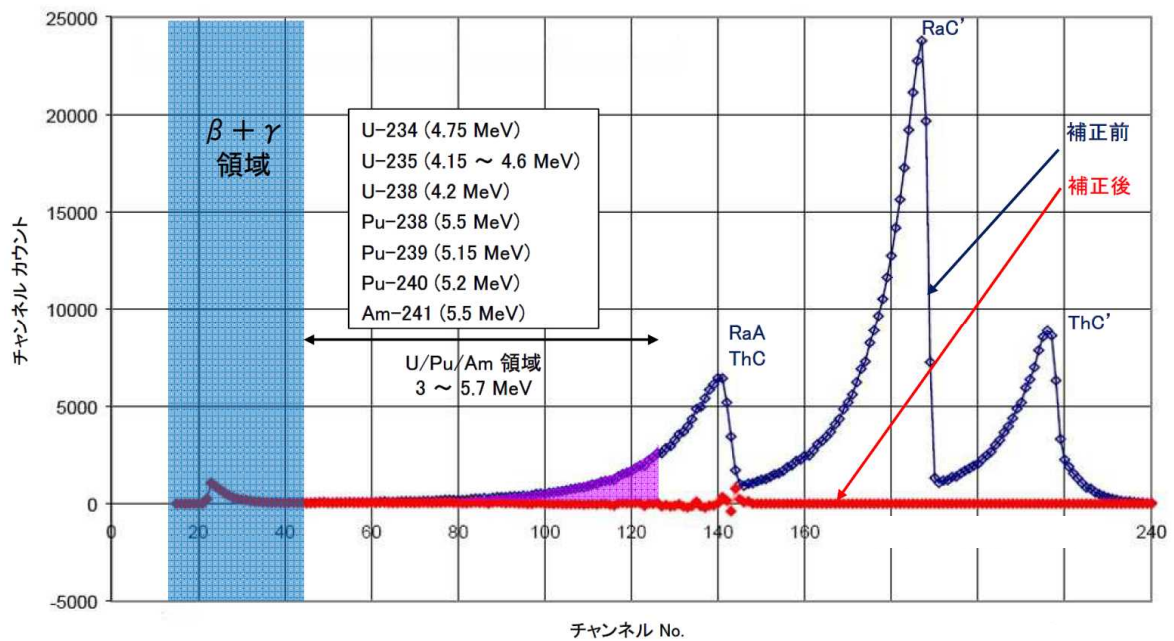


図 F-6 シリコン半導体検出器で測定したスペクトル例 [19]



RaA : Po-218 (6.0 MeV) 、 RaC' : Po-214 (7.7 MeV) 、  
 ThC : Bi-212 (6.1 MeV) 、 ThC' : Po-212 (8.8 MeV)

図 F-7 スペクトル解析による施設起因の放射性物質寄与分の評価 [19]

表 F-2 決定しきい値の評価例 [19]

α 濃度 (DT : 1 時間、流量 : 40 L/min)

<sup>222</sup> Rn 放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	CT (分)	α 濃度 標準偏差(Sb) (Bq/m <sup>3</sup> )	決定しきい値 (Bq/m <sup>3</sup> )
	5	0.127	0.295
10	20	0.071	0.165
	60	0.041	0.095
	5	0.184	0.427
20	20	0.099	0.230
	60	0.057	0.132
	5	0.226	0.524
30	20	0.113	0.262
	60	0.065	0.151
	5	0.255	0.592
40	20	0.127	0.295
	60	0.073	0.169

β 濃度 (CT : 5 分、DT : 1 時間、流量 : 40 L/min)

γ 空間線量率 (μ Sv/h)	β 濃度 標準偏差(Sb) (Bq/m <sup>3</sup> )	決定しきい値 (Bq/m <sup>3</sup> )
0.1	0.09	0.21
1	0.27	0.63
10	0.86	2.00
100	2.73	6.33

検出感度 : α 線 24 %以上 (最大 5.7 MeV まで) 、 β 線 24 %以上 (C1-36 又は Sr-90)

Sb : バックグラウンドの標準偏差

CT : 計数時間

DT : 濃度の平均値を求める時間

\* 標準偏差は、 $\sqrt{CT \cdot DT}$  に反比例

### F.3 基準化計数を用いた方法

基準化計数は、大気浮遊じん放射能中に半減期の短いラドン壊変生成物等の自然放射能が常に存在していることを前提とし、I-131 や Cs-137 等の半減期の長い人工 $\beta$ 放射能の混入をリアルタイムで監視するために考案された指標値である [20]。

基準化計数は、ダストモニタから得られる全 $\alpha$ 及び全 $\beta$ 計数値をそれぞれの過去の平均値で除して基準化することにより作成されるもので、その監視においては、大気浮遊じん放射能が自然由来のみの場合ではそれらの比がほぼ「1」になることを基に、人工 $\beta$ 放射能混入の可能性や人工全 $\beta$ 放射能濃度の推定を行う。

ここでは、福井県における導入事例を交えて、基準化計数を用いた方法について解説する。

#### 1. 福井県で使用しているダストモニタ諸元

- ・測定方式：吸引・計測同時測定（3時間間欠ろ紙送り）
- ・検出器：ZnS (Ag) +プラスチックシンチレータ
- ・捕集ろ紙：セルロース・ガラス繊維ろ紙（HE-40T）
- ・吸引流量：100 L/min（流量制御あり）
- ・測定項目：ろ紙送りからの積算計数値（全 $\alpha$ 、全 $\beta$ 、 $\alpha\beta$ 同時）、ろ紙送りからの積算流量
- ・データ収集間隔：10分ごと
- ・解析処理：収集・解析サーバにて実施

#### 2. データ解析処理の基本フロー

図 F-8 は、ダストモニタ測定において、ろ紙送りからのろ紙上放射能の変化を模式的に表したもので、①は人工放射能（I-131）を想定し半減期を8日、②はラドン壊変生成物を想定し半減期を30分としている。

ダストモニタで大気浮遊じん放射能を監視するには、①と②の違いを考慮することが必要であり、この監視方法では、まず②をベースに自然分としての大気浮遊じん放射能濃度レベルを求め、そこから余剰の $\beta$ 計数値を算出後、①をベースにした換算式で人工分の全 $\beta$ 放射能濃度を推定している。



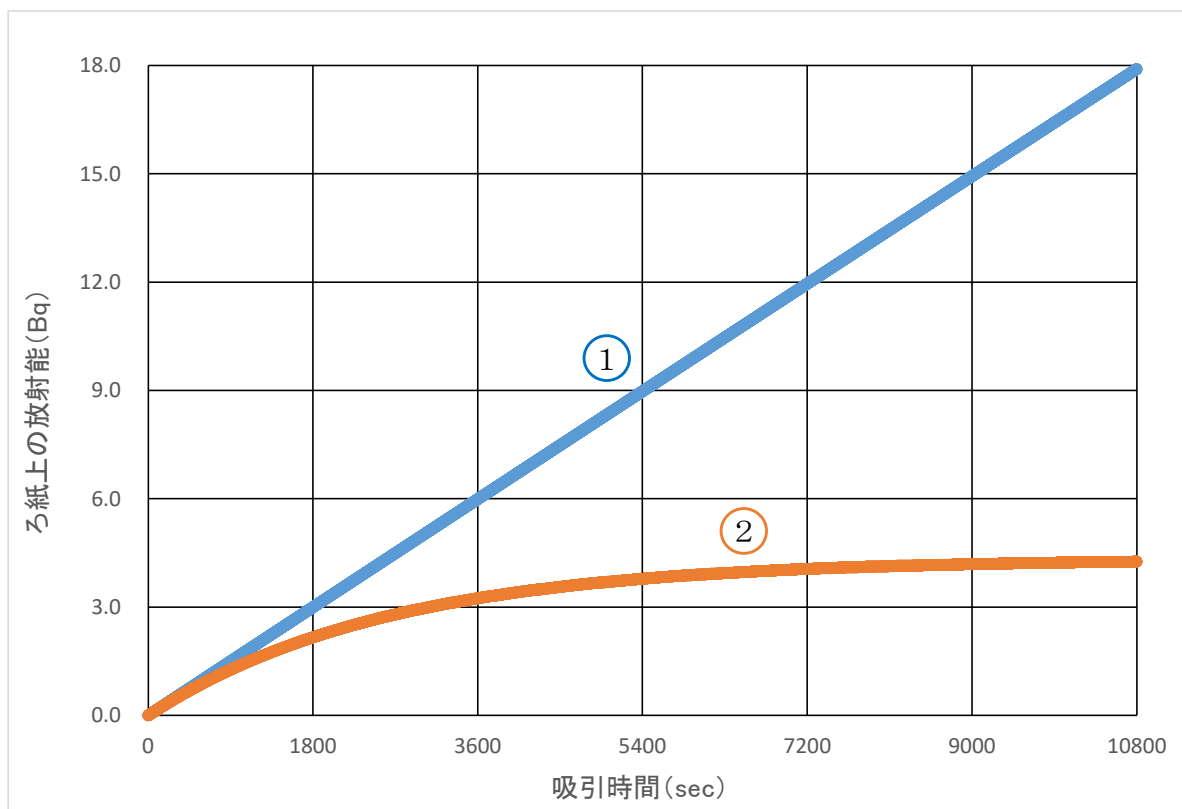


図 F-8 1 Bq/m<sup>3</sup> を吸引した際のろ紙上の放射能

### 3. 基準化計数の作成手順

自然由来の大気浮遊じん放射能濃度の状況は、ダストモニタが設置された観測局周辺の地形や地質等の違いにより異なるため、以下の手順は全て観測局ごとに実施する必要がある。

手順	操作内容	参照
①	過去の人工放射能影響のない期間について、ろ紙送りからの経過時間ごと（ここではデータ収集間隔 10 分ごと）に、全 $\alpha$ 、全 $\beta$ の積算計数値を变量 X、变量 Y の標本とし、平均値と 1 次回帰式 ( $Y=A \times X+B$ ) を求める。 * このときの積算計数値は、大気浮遊じんを採取していないときのバックグラウンド計数値を含んだ積算計数値とする。	表 F-3
②	手順①の経過時間ごとの標本に対し、变量 Y から切片 B を差し引いたものを变量 Y' として全 $\beta$ 積算計数の新たな標本とし、Y' の平均値を求める。 * 表 F-3 の切片 B には、 $\beta$ 計数のバックグラウンド計数（使用中のダストモニタでは約 20 cpm）が支配的に含まれるほか、ろ紙待機中の汚染影響も含まれる可能性があり、これらの影響をまとめて切片 B として差し引くものである。 この操作により、表 F-3 の 1 次回帰式の傾き A に変化はないが切片 B は「0」となり、变量 X と Y' の関係は原点を通る回帰直線となる。	表 F-4

③	表 F-3 の平均値 $X_m$ 及び切片 B、表 F-4 の平均値 $Y'_m$ を基準化に必要な過去データの基礎統計値とし、局ごと、ろ紙送りからの経過時間ごとに収集・解析サーバにデータベース化する。	解説 a
④	<p>過去の測定値の標本がその後の測定値の標本と同じ母集団に属することを前提とし、現在測定しているデータについて、ろ紙送りからの経過時間ごとに、手順③の基礎統計値を用い、1)～3)の処理を行う。</p> <p>1) 現時刻の全 <math>\alpha</math> 積算計数値について、過去の平均値 <math>X_m</math> で除して基準化計数 (基 C <math>\alpha</math>) を算出し、現時刻における大気中の全 <math>\alpha</math> 放射能濃度レベルとする。</p> <p>2) 現時刻の全 <math>\beta</math> 積算計数値について、過去の切片 B を差し引き後、過去の平均値 <math>Y'_m</math> で除して基準化計数 (基 C <math>\beta</math>) を算出し、現時刻における大気中の全 <math>\beta</math> 放射能濃度レベルとする。</p> <p>3) 基 C <math>\beta</math> を基 C <math>\alpha</math> で除して現時刻における基準化計数比 (基 C <math>\beta/\alpha</math> 比) を算出し、人工 <math>\beta</math> 放射能混入の評価尺度とする。</p> <p>* 解説 a より、現時刻の大気浮遊じん放射能が自然由来のみであれば、基 C <math>\beta/\alpha</math> 比は「1」前後になることが期待でき、もし人工の <math>\beta</math> 放射能が有意に混入している場合は、基 C <math>\beta/\alpha</math> 比は平常時の変動幅より高くなることが予想される。</p>	解説 b 解説 c 解説 d 解説 e
⑤	<p>基 C <math>\alpha</math> が自然由来のみであること、及び平常時の基 C <math>\beta/\alpha</math> 比の期待値が「1」になることを前提に、人工 <math>\beta</math> 放射能の混入を想定した推定の余剰 <math>\beta</math> 積算計数値 <math>ZC_\beta</math> を下式で求める。</p> $ZC_\beta = (\text{基 C } \beta/\alpha \text{ 比} - 1) \times \text{基 C } \alpha \times Y'_m$ <p><math>Y'_m</math> : ろ紙送りからの当該経過時間における表 F-3 の <math>Y'_m</math></p>	
⑥	<p><math>ZC_\beta</math> を元に、現時刻における推定の人工全 <math>\beta</math> 放射能濃度 <math>A_\beta</math> (<math>\text{Bq}/\text{m}^3</math>) を下式で求める。</p> $A_\beta = 2 \times ZC_\beta \div E_F \div E_{C1} \div E_\beta \div (t \times 60) \div (D_F/1000)$ <p>×2 : 吸引・計測同時測定の場合の積算計数の重み定数  <math>E_F</math> : ダストモニタの捕集効率 (<math>\approx 0.77</math>)  <math>E_{C1}</math> : 校正線源 C1-36 による検出器の計数効率 (<math>\approx 0.21</math>)  <math>E_\beta</math> : ろ紙の <math>\beta</math> 線発現効率 (<math>= 1.0</math>)  <math>t</math> : ろ紙送りからの経過時間 (分)  <math>D_F</math> : ろ紙送りからの積算流量 (L)</p> <p>補足 1 <math>E_F</math> = 大気浮遊じんに対する HE-40T の捕集効率 (<math>\approx 0.85</math>)  ×モニタ気密機構リーク分の損失 (<math>\approx 0.9</math>) [21]</p> <p>補足 2 校正線源 C1-36 の <math>\beta</math> 線エネルギー (0.709 MeV) は I-131 の <math>\beta</math> 線エネルギー (0.606 MeV) と近いので、<math>A_\beta</math> を I-131 と見なした濃度と捉えることができる。</p>	

表 F-3 全 $\alpha$ 積算計数値 (X) と全 $\beta$ 積算計数値 (Y) の相関関係 ( $Y=A\times X+B$ ) の例

ろ紙送りからの経過時間	10分	20分	30分	・・・	60分	・・・	180分
全 $\alpha$ 積算計数平均値 ( $X_m$ )	217.6	708.0	1460.3	・・・	5024.0	・・・	28918.6
全 $\beta$ 積算計数平均値 ( $Y_m$ )	748.0	2313.9	4679.3	・・・	15459.8	・・・	83465.8
1次回帰式の傾き (A)	2.43042	2.64910	2.76874	・・・	2.83175	・・・	2.74468
1次回帰式の切片 (B)	219.1	438.2	634.7	・・・	1233.2	・・・	4093.5
相関係数 (r)	0.9923	0.9958	0.9968	・・・	0.9973	・・・	0.9973

\* 2019年度の浦底局観測値約2900サンプルから計算したもの

表 F-4 全 $\alpha$ 積算計数値 (X) と切片を引いた全 $\beta$ 積算計数値 ( $Y'$ ) の相関関係 ( $Y'=A\times X+B'$ ) の例

ろ紙送りからの経過時間	10分	20分	30分	・・・	60分	・・・	180分
全 $\alpha$ 積算計数平均値 ( $X_m$ )	217.6	708.0	1460.3	・・・	5024.0	・・・	28918.6
切片差し引き後の全 $\beta$ 積算計数の平均値 ( $Y'_m$ )	528.9	1875.7	4044.6	・・・	14226.6	・・・	79372.3
1次回帰式の傾き (A)	2.43042	2.64910	2.76874	・・・	2.83175	・・・	2.74468
1次回帰式の切片 ( $B'$ )	0.0	0.0	0.0	・・・	0.0	・・・	0.0
相関係数 (r)	0.9923	0.9958	0.9968	・・・	0.9973	・・・	0.9973

\* 2019年度の浦底局観測値約2900サンプルから計算したもの

#### 解説 a 基準化による標本空間

変量  $X$  及び  $Y'$  について、ろ紙送りからの経過時間ごとに、変量  $X$  をその平均値  $X_m$  で除して新たな変量  $X''$ 、変量  $Y'$  をその平均値  $Y'_m$  で除して新たな変量  $Y''$  とする。

これら変量  $X''$  及び  $Y''$  の平均値を求めると、両者ともその値は完全に「1」となる。

∴統計学の定理では、ある標本の平均値でその標本を成す各変量を除した場合、各変量は必ず平均値「1」の標本となる。（ここで行う基準化の定義）

このため、この新たな変量  $X''$  と  $Y''$  の標本は、回帰直線が (1, 1) の点を通り、1次回帰式の切片が「0」であることから、どの経過時間においても  $Y'' = 1 \times X'' + 0$  の関係に置き換えられる。

∴統計学の定理では、変量  $U$  と変量  $V$  の回帰直線は、必ず変量  $U$ 、 $V$  の平均値の交点を通り、通過する。

よって、基準化された全  $\alpha$  及び全  $\beta$  積算計数は、ろ紙送りからの経過時間に依存することなく平均値は「1」であり、また非常に高い相関関係（表 F-4 の例では相関係数 0.98 以上）を保つことから、それらの比が常にほぼ「1」で推移すると期待される。

#### 解説 b 基準化計数=1の意味

平常時では、大気浮遊じん放射能の正体が主にラドン壊変生成物であると推定されるものの、その濃度は未知である。

平常時の大気浮遊じん放射能濃度について、長期間の時系列変化を 3 時間等（ダストモニタのろ紙送り間隔に対応）の短い時間のサンプルに分割し、さらにそれらサンプルを起点の時刻（同モニタのろ紙送り時刻に対応）から 10 分ごと（同モニタのデータ収集間隔に対応）にグループ分けした場合、大気浮遊じん放射能濃度のグループごとの平均値は、元の時系列期間が十分に長ければ、短期的な濃度変化、夜間の静穏気象による日周期変化、季節による濃度差等は相殺され、その期間全体の平均値に均一化されると考えられる。

さらに、ダストモニタ測定との対応を考えた場合、平常時に測定される対象が主にラドン壊変生成物であることから、全  $\alpha$  及び全  $\beta$  の積算計数平均値  $X_m$  と  $Y'_m$  のろ紙送り経過時間による変化は、図 F-8 におけるグラフ②と吸引時間軸との間の面積の変化に対応するが、データ採取期間が十分に長い  $X_m$  と  $Y'_m$  の値は、前述の均一化の理由から、当該観測地点における大気浮遊じん放射能濃度平均値に対応するろ紙送り経過時間ごとの積算計数値と見ることができる。

このため、 $X_m$ 、 $Y'_m$  で除したある時刻の全  $\alpha$ 、全  $\beta$  積算計数値は、ろ紙送りからの経過時間に依存することなく、その観測地点における過去の大気浮遊じん放射能濃度平均値の倍数（相対濃度）として扱うことができる。

よって、基準化計数の「1」は、その観測地点における過去の大気浮遊じん放射能濃度平均値に相当することを意味し、基準化計数は大気浮遊じん放射能濃度レベルを表す指標値となり得る。

### 解説 c ラドン壊変生成物の濃度換算について

手順①～③及び解説 a, b は、自然放射能が主にラドン壊変生成物であることを前提としてきたが、ラドン壊変生成物の空気中濃度への換算は以下の点で難しい。

- ・ラドン壊変生成物の各核種が放出する  $\alpha$  線、 $\beta$  線のエネルギーに合った標準線源がなく、各エネルギーに対する検出器の計数効率を得ることが難しいこと。
- ・全放射能測定を行うダストモニタでは、 $\alpha$  線や  $\beta$  線のエネルギー情報が得られないため、ラドン壊変生成物の各核種がどのような比で存在しているかを把握することが難しいこと。

### 解説 d 積算流量による補正

積算流量のばらつきが大きい場合、手順①～④の処理は積算流量で補正することが望ましい。

### 解説 e $\alpha$ $\beta$ 同時計数による全 $\alpha$ 放射能の監視

ラドン壊変生成物 Po-214 を対象にした  $\alpha$   $\beta$  同時計数の積算計数についても、手順①～④の操作で基準化計数が求められ、自然由来の放射能濃度レベルの補足情報とすることができる。

$\alpha$   $\beta$  同時の基準化計数は、平常時の確認結果において全  $\alpha$  や全  $\beta$  の基準化計数とよく一致しており（図 F-9 参照）、全  $\alpha$  計数に人工分が混入することを前提とした監視の場合では、 $\alpha$   $\beta$  同時の基準化計数が自然由来の放射能濃度レベルの指標値となり得ると考えられる。

なお、使用しているダストモニタでは、全  $\alpha$  計数と  $\alpha$   $\beta$  同時計数のバックグラウンド計数値は、捕集した大気浮遊じん放射能による計数値より十分に小さいため、両者の関係において、全  $\beta$  計数のように切片を差し引く操作は省略しても影響はない。

#### 4. 基準化計数による監視状況

以下に、2019 年度の測定値から基礎統計値を求め、2020 年度測定の基準化に適用した場合の監視結果を例として示す。

##### (1) 平常時の時系列解析結果の例

図 F-9 は、日周期変化が大きい浦底局について、基準化計数が年間最高値を記録したときの 10 分値時系列グラフである。

全  $\alpha$  (緑)、全  $\beta$  (赤) 及び  $\alpha$   $\beta$  同時 (黒) の基準化計数は、大気の状態が安定した 7 月 18 日の明け方近くに 12 を超え、濃度レベル下がった同日午後には 1 を下回ったが、お互いによく一致した変化を示している。基準化計数の変化が大きかった一方で、パーセントで示した基準化計数  $\beta/\alpha$  比 (青) は  $100 \pm 20\%$  の範囲内で安定しており、また推定の人工全  $\beta$  放射能濃度 (「ダストヨウ素等価濃度」と表示) (紫) は、ほぼ  $0 \pm 5 \text{ Bq/m}^3$  の範囲に収まっている。

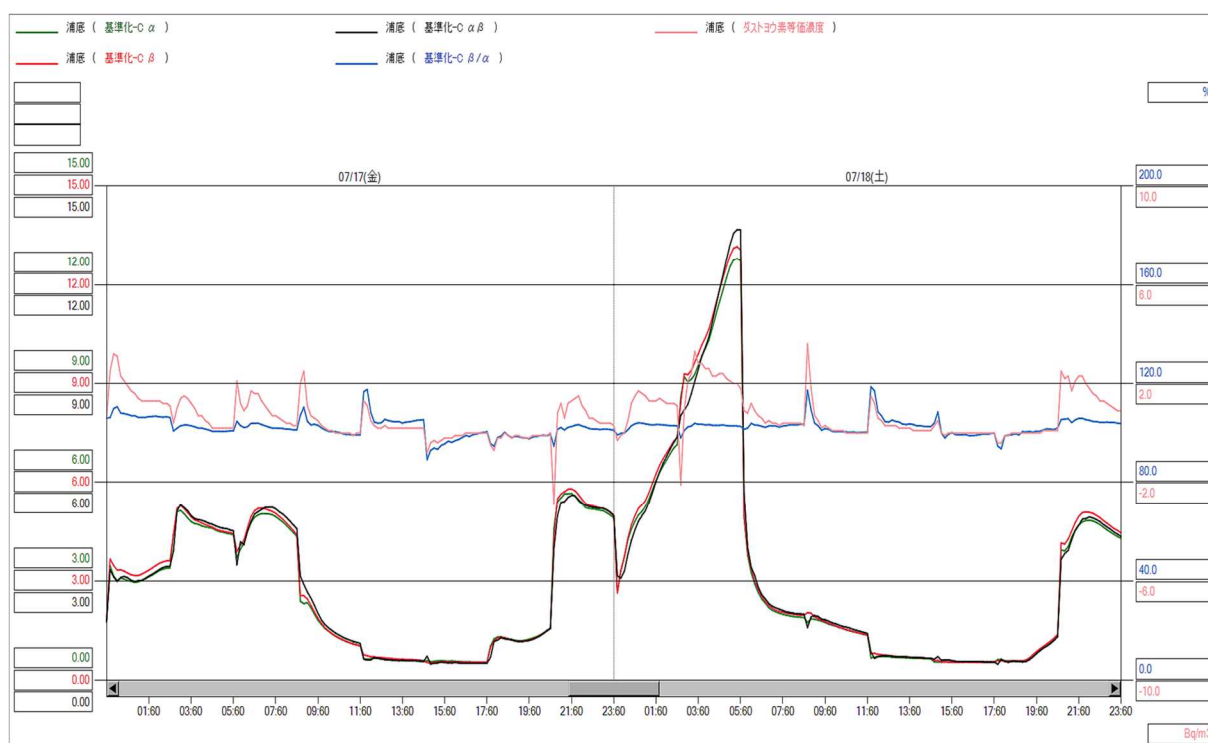


図 F-9 10 分値時系列監視データの例 (2020/7/17~7/18、浦底局)

##### (2) 監視結果統計値の例

表 F-5 は、福井県 11 観測局で監視した結果について、1 時間値 (ろ紙送りから 60 分、120 分、180 分経過における値) の年間統計値をまとめたものである。なお、表内のデータの幅は、局によるばらつきの程度を示している。

また、ろ紙送り直後では積算計数値が低いために評価値がばらつくことから、ろ紙送り後の 1 時間値 (ろ紙送りから 60 分経過の値) のみの統計値を括弧内に示す。

これらの統計結果から、人工  $\beta$  放射能混入の評価尺度となる基準化計数  $\beta/\alpha$  比及び推定の人工全  $\beta$  放射能濃度について、平常時の変動幅を「平均値  $\pm 3 \times$  標準偏差」とした場合、基準

化計数  $\beta/\alpha$  比は約  $100 \pm 20$  %、推定の人工全  $\beta$  放射能濃度は約  $0 \pm 2$  Bq/m<sup>3</sup> がその変動幅となる。

なお、個々にデータを見た場合では、推定の人工全  $\beta$  放射能濃度が 2 Bq/m<sup>3</sup> を超えた値は、全  $\alpha$  の基準化計数が 2 を超えるような比較的濃度レベルの高いときに発生していたが、同時刻の基準化計数  $\beta/\alpha$  比はほぼ 120 %以内であることを確認している。

表 F-5 基準化計数による年間監視結果統計値の例 (2020 年度)

	最大値	最小値	平均値	標準偏差
全 $\alpha$ 基準化計数	3.87~18.39	0.03~0.07	0.89~0.93	0.51~0.86
全 $\beta$ 基準化計数	3.81~18.48	0.02~0.05	0.91~0.94	0.52~0.89
$\alpha$ $\beta$ 同時 基準化計数	3.83~19.88	0.03~0.05	0.89~0.93	0.51~0.84
基準化計数 $\beta/\alpha$ 比 (%) (ろ紙送り後の 1 時間値)	121.3~133.3	56.4~82.7	99.2~103.0 (99.2~103.2)	5.2~6.7 (5.5~6.9)
推定人工全 $\beta$ 濃度 (Bq/m <sup>3</sup> ) (ろ紙送り後の 1 時間値)	2.1~6.4	-1.2~-4.6	-0.0~0.1 (-0.0~0.2)	0.3~0.5 (0.4~0.6)

#### F.4 アンフォールディングを用いた方法

放射線検出器 (NaI(Tl)シンチレーション検出器) で測定した $\gamma$ 線の波高スペクトルを、検出器の応答関数を用いてアンフォールディングすることにより、人工放射性核種の大気中放射能濃度を評価することができる。

アンフォールディングとは、検出器の応答関数を用いて、波高スペクトルからエネルギースペクトルを導出するための手法であり、放射性核種の定性及び定量の精度を向上させることができる。

アンフォールディングに用いる検出器の応答関数は、従来の空間放射線量率測定用の応答関数 (放射能測定法シリーズ No. 17「連続モニタによる環境 $\gamma$ 線測定法」参照) とは異なり、図 F-10 に示すように、線源となるろ紙上のダスト捕集部分と検出器との幾何学的関係及び材料物性を考慮したモンテカルロシミュレーションにより導出する必要がある。

本手法によるアンフォールディング結果の例を図 F-11 に、人工放射性核種の決定しきい値の評価例を表 F-6 に示す。

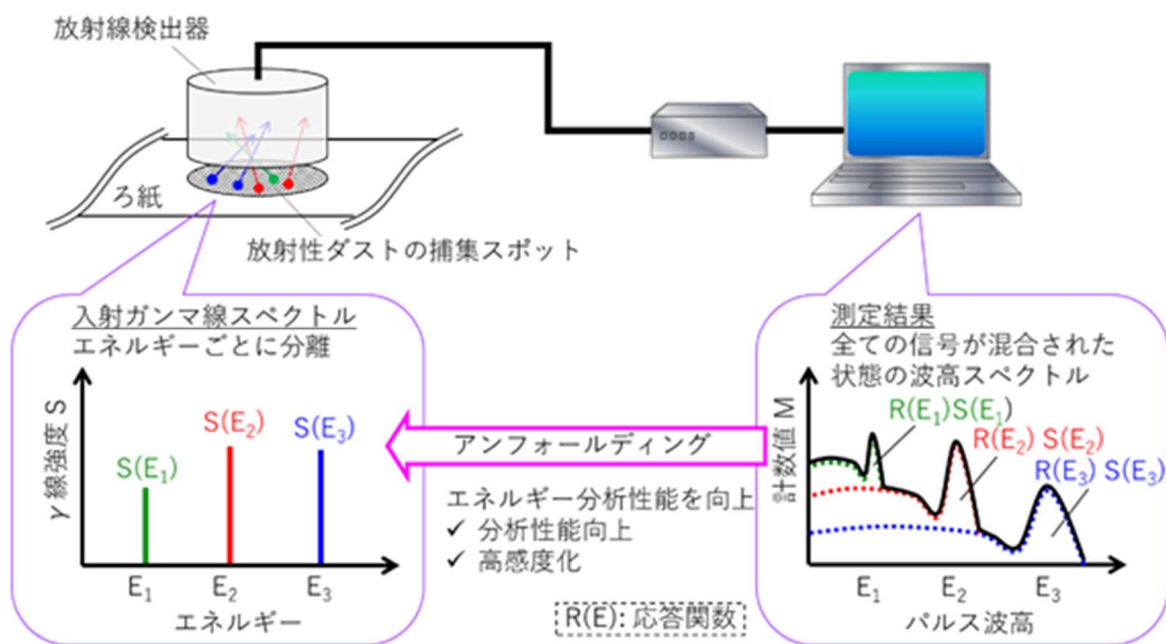


図 F-10 アンフォールディングのイメージ図 [22]



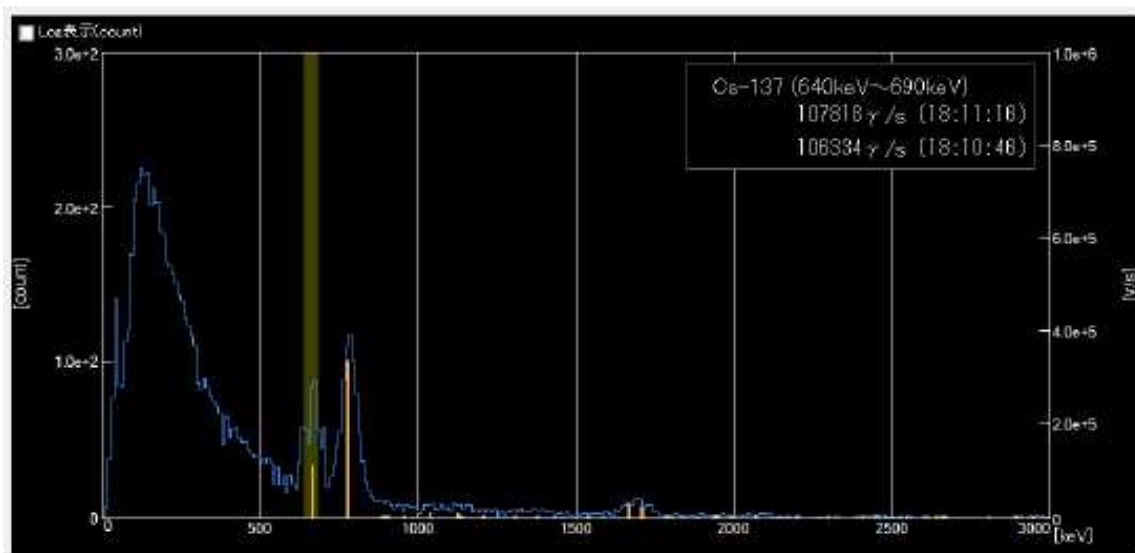


図 F-11 アンフォールディング結果の例 [22]

表 F-6 決定しきい値の評価例 [22]

核種	決定しきい値 (Bq/m <sup>3</sup> )	演算周期 (分)
Co-60	0.3	60
Cs-134	0.9	30
Cs-137	0.8	30

測定条件：流量 100 L/min、空間放射線量率 約 0.05  $\mu$  Sv/h

Blank Paper

## 第2部 緊急時における大気中放射性物質測定

Blank Paper

## 目 次

### 第2部 緊急時における大気中放射性物質測定

第1章 序論.....	131
第2章 基本事項及び適用範囲.....	132
2.1 測定のための目的.....	132
2.2 使用機器及び使用の流れ.....	133
第3章 大気モニタによる連続測定.....	139
3.1 機器.....	139
3.2 大気捕集材.....	141
3.3 設置、校正、点検.....	141
3.4 測定.....	142
3.5 測定結果の評価.....	144
第4章 大気モニタにより採取した大気試料の分析.....	145
4.1 ろ紙の回収.....	145
4.2 前処理.....	149
4.3 分析.....	152
4.4 分析結果の評価.....	154
4.5 試料保管.....	155
第5章 ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析.....	156
5.1 採取から分析.....	156
第6章 ダストサンプラによる大気試料の採取から分析.....	158
6.1 機器及び大気捕集材.....	158
6.2 設置、点検.....	158
6.3 採取.....	158
6.4 前処理.....	162
6.5 分析.....	163
6.6 分析結果の評価.....	163
6.7 試料保管.....	163
解説.....	169
解説A 大気モニタの測定範囲.....	171
解説B 東京電力福島第一原子力発電所事故の影響評価例.....	172

Blank Paper

## 第 1 章 序 論

緊急時モニタリングは、原子力災害対策指針（原子力規制委員会、令和3年7月21日一部改正）[1]において、「放射性物質若しくは放射線の異常な放出又はそのおそれがある場合に実施する環境放射線モニタリング」と記載している。

緊急時モニタリングの具体的な実施内容については、「緊急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）」（原子力規制庁監視情報課、令和3年12月21日一部改訂）[3]（以下「緊急時補足参考資料」という。）に定めており、大気中放射性物質の濃度の測定は、①原子力災害による環境放射線の状況に関する情報収集、②原子力災害による住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供を目的として行う。

第2部では、緊急時モニタリングとして実施する、大気モニタによる連続測定、大気モニタにより採取した大気試料の採取から分析、ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析（概要のみ記載）、ダストサンプラによる大気試料の採取から分析についての測定手順を記載している。

## 第 2 章 基本事項及び適用範囲

### 2.1 測定目的

緊急時モニタリングでは、緊急時補足参考資料に基づき、以下の目的で大気中放射性物質濃度の測定を実施する。

- ① 原子力災害による環境放射線の状況に関する情報収集
- ② 原子力災害による住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供

この目的のために、時間的に連続した大気中放射性物質濃度の変化の把握が可能な大気モニタやガス状及び粒子状ヨウ素について連続的にサンプリングし、一定の時間ごとにろ紙及び活性炭カートリッジを交換するオートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラによる測定体制の整備により、放射性物質の広がりを確認するとともに被ばく評価に活用する。

また、核燃料施設における事故（臨界事故及び再処理施設における使用済燃料貯蔵設備の事故を除く）の対応のためには、大気モニタ、ダストサンプラ等により、主として  $\alpha$  線放出核種について時間的に連続した大気中放射性物質濃度の変化の把握が可能な体制を整備する。

表 2-1 に緊急事態の区分に応じた緊急時モニタリングの対応を示す。

表 2-1 緊急時モニタリングの対応

緊急事態の区分	モニタリングの状況	機器の対応
情報収集事態	平常時モニタリング	機器異常等の確認
警戒事態	緊急時モニタリングの準備	機器異常等の確認
		起動準備
施設敷地緊急事態	緊急時モニタリング	起動*
全面緊急事態		

\* 施設の状態に応じて、緊急時モニタリング実施計画に基づき起動



## 2.2 使用機器及び使用の流れ

緊急時モニタリングで使用する機器を示す。各機器の詳細については、各章を参照すること。これらの機器は、日常及び定期点検を行い、緊急時に迅速に使用できるように整備しておく必要がある。また、それらを取り扱う要員は、動作確認方法について教育訓練等により、事前に習得しておく必要がある。

### 2.2.1 大気モニタ

#### (1) 機器の概要

大気モニタは、大気浮遊じんをろ紙に採取しながら、大気浮遊じん中の放射能濃度を、大気中放射性物質濃度として連続測定するための機器である。また、緊急時にモニタリング体制を強化するために、ダストモニタを緊急時用の機器として継続して使用する。

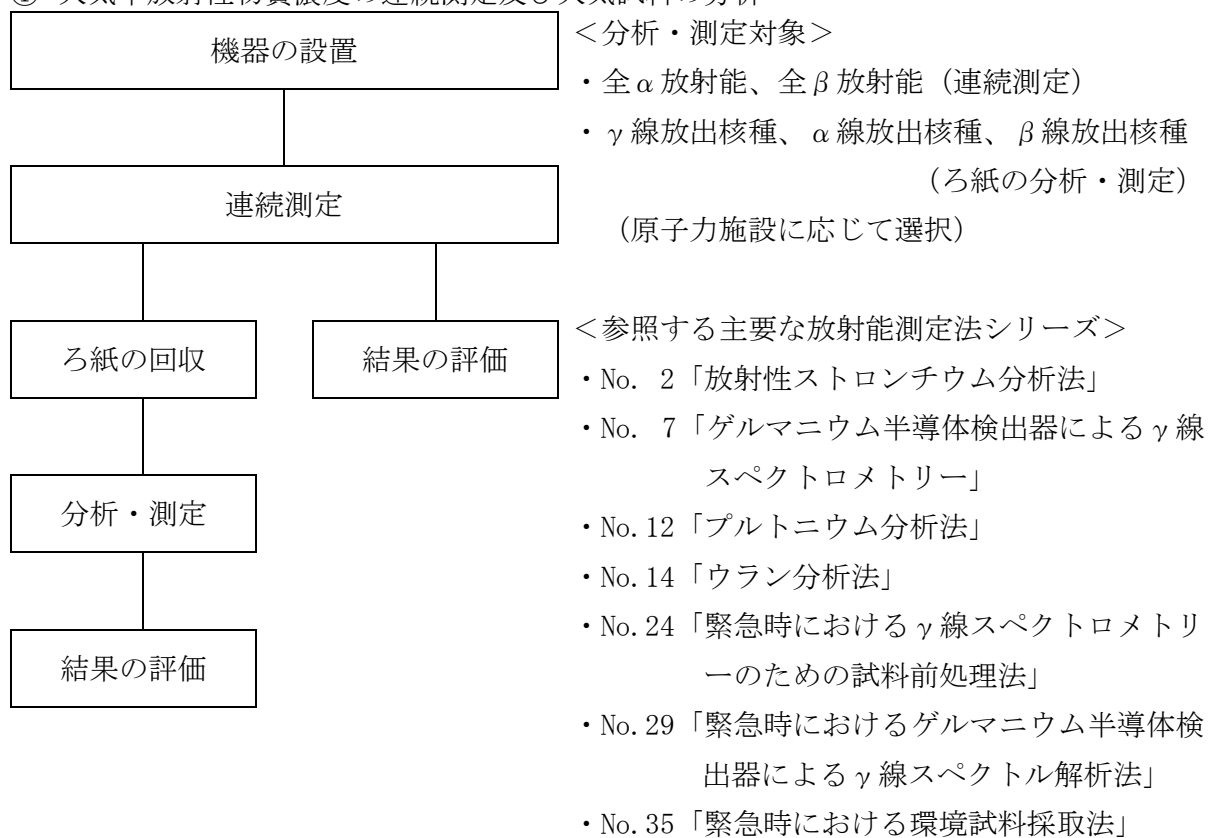


図 2-1 大気モニタの例

## (2) 使用の流れ

大気モニタの使用の流れを示す。また、参照する主要な放射能測定法シリーズを示す。

### ① 大気中放射性物質濃度の連続測定及び大気試料の分析



## 2.2.2 ヨウ素サンプラ

### (1) 機器の概要

ヨウ素サンプラは、大気中の放射性ヨウ素（粒子状及びガス状）をろ紙及び活性炭カートリッジに採取するための機器である。緊急時にはオートサンプルチェンジャー付きのヨウ素サンプラを使用する。

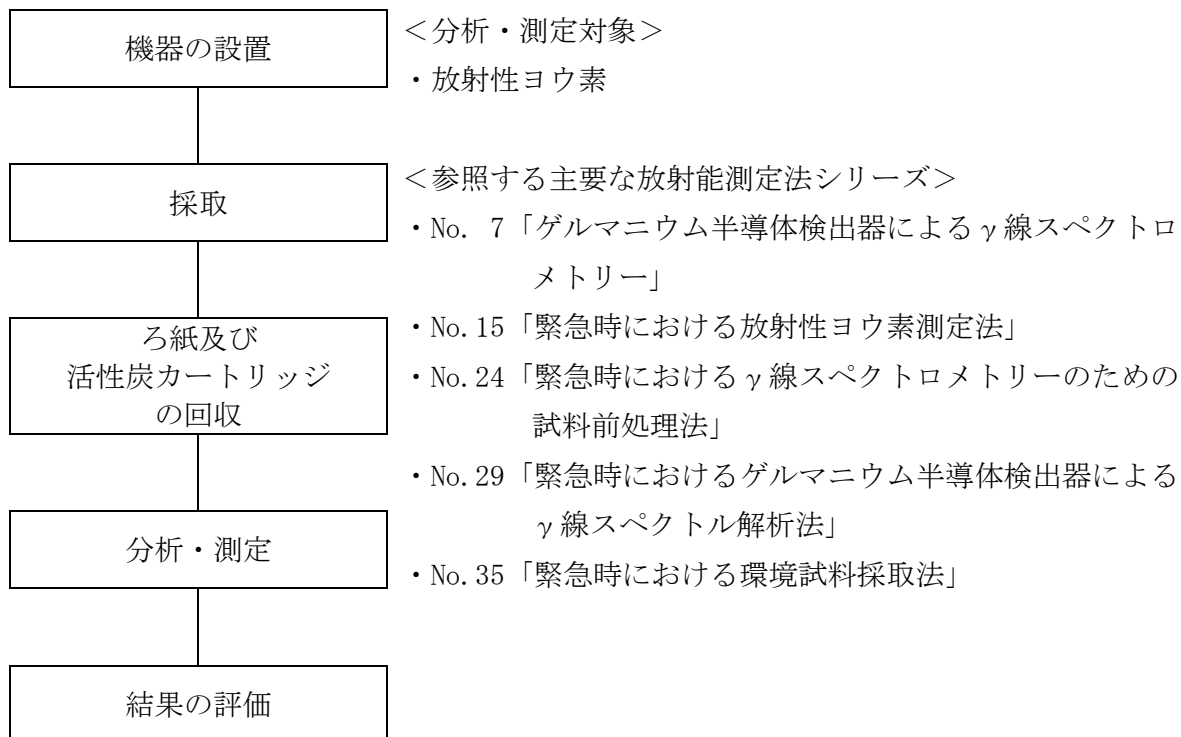


図 2-2 ヨウ素サンプラ（オートサンプルチェンジャー付き）の例

(2) 使用の流れ

ヨウ素サンプラの使用の流れを示す。また、参照する主要な放射能測定法シリーズを示す。

① 放射性ヨウ素の採取から分析



## 2.2.3 ダストサンプラ

### (1) 機器の概要

ダストサンプラは、大気浮遊じんをろ紙に採取するための機器である。

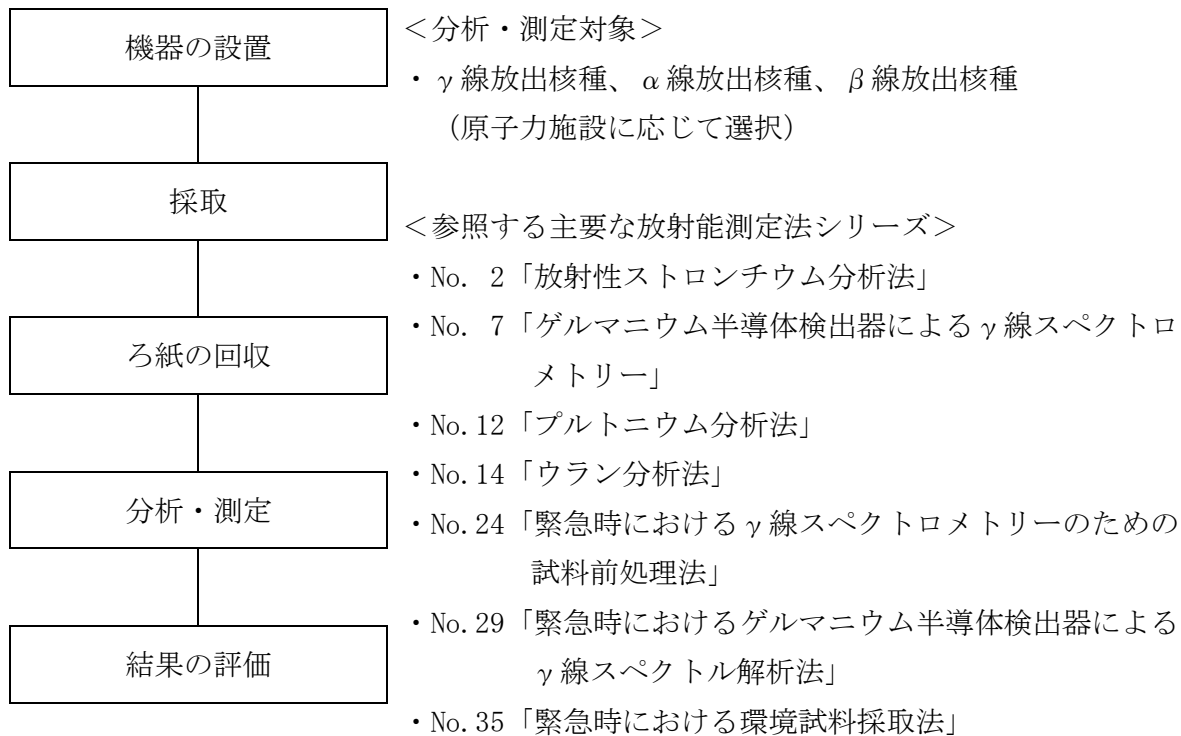


図 2-3 ダストサンプラの例

## (2) 使用の流れ

ダストサンプラの使用の流れを示す。また、参照する主要な放射能測定法シリーズを示す。

### ① 大気試料の分析



## 第 3 章 大気モニタによる連続測定

### 3.1 機器

#### 3.1.1 機器の分類

大気モニタの分類を表 3-1 に示す。

表 3-1 大気モニタの分類

分類	定義
(1) $\alpha$ 線大気モニタ	大気浮遊じんからの $\alpha$ 線を測定する大気モニタ
(2) $\beta$ 線大気モニタ	大気浮遊じんからの $\beta$ 線を測定する大気モニタ

#### 3.1.2 測定対象

全  $\alpha$  放射能濃度又は全  $\beta$  放射能濃度を測定する。大気モニタでは、 $\alpha$  線放出核種濃度又は  $\beta$  線放出核種濃度のような個別の放射性核種濃度を定量することはできない。

#### 3.1.3 機器の選定

緊急時補足参考資料に記載されている原子力施設及び事故形態に応じて選定する大気モニタを表 3-2 に示す。

表 3-2 原子力施設及び事故形態に応じて選定する大気モニタ

原子力施設	事故形態	選定する大気モニタ
発電用原子炉施設 (PAZ 及び UPZ 設定を要する)	—	$\beta$ 線大気モニタ
試験研究用等原子炉施設 (UPZ 設定を要する)	—	$\beta$ 線大気モニタ
ウラン加工施設 (UPZ 設定を要する) *	臨界事故	$\beta$ 線大気モニタ
	UF <sub>6</sub> 放出	$\alpha$ 線大気モニタ
プルトニウムを取り扱う加工施設	臨界事故	$\beta$ 線大気モニタ
	大規模火災又は爆発	$\alpha$ 線大気モニタ
再処理施設	臨界事故	$\beta$ 線大気モニタ
	大規模火災又は爆発	$\beta$ 線大気モニタ $\alpha$ 線大気モニタ
	蒸発乾固	$\beta$ 線大気モニタ

\* 核燃料施設 (UPZ 設定を要しない) についても同じ

#### 3.1.4 機器構成

大気モニタの機器構成は、ダストモニタ (第 1 部 3.1.4) と同様である。

### 3.1.5 検出器の種類と測定原理

検出器の種類を表 3-3 に示す。測定原理は、ダストモニタ（第 1 部 3.1.5）と同様であるが、高濃度測定に対応するため、平常時に使用するダストモニタと比較して機器効率が小さな検出器を使用している。

表 3-3 大気モニタの検出器

測定対象	検出器
α 線	ZnS (Ag) シンチレーション検出器
	シリコン半導体検出器
β 線	プラスチックシンチレーション検出器
	シリコン半導体検出器

### 3.1.6 機器仕様例

大気モニタの機器仕様例を表 3-4 に示す。平常時に使用するダストモニタと比較して、低流量であり、被ばく評価の材料とするため短い紙送り間隔で使用する。

なお、求められている性能を有している場合は、仕様例に記載していない機器等を使用しても差し支えない。

表 3-4 大気モニタの機器仕様例

項目	タイプ A	タイプ B	タイプ C
測定対象	α 線	β 線	α 線、β 線
検出器	ZnS (Ag) シンチレータ	プラスチックシンチレータ	シリコン半導体
測定濃度範囲*1	10 Bq/m <sup>3</sup> 以上	100~100,000 Bq/m <sup>3</sup>	α 線 : 10 Bq/m <sup>3</sup> 以上 β 線 : 100~100,000 Bq/m <sup>3</sup>
大気捕集材	メンブレン	セルロース・ガラス繊維	メンブレン
流量	50 L/min 程度		
ろ紙送り方式	間欠送り		
外部放射線の影響除去	鉛遮へい*2		

\*1 測定濃度範囲を超えた場合でも、当該濃度以上の放射性プルームが存在することを確認できることとする。

\*2 検出器は、外部放射線によるバックグラウンドを低減して高線量下における測定にも対応するため、厚さ 3~5 cm 程度の鉛により遮へいする。外部放射線の影響についての性能評価は、JIS Z 4316 : 2013 「放射性ダストモニタ」 [4] に記載された決定しきい値を参考にするるとよい。



## 3.2 大気捕集材

大気モニタで使用する大気捕集材は長尺ろ紙とし、 $\alpha$ 線大気モニタにはメンブレンろ紙等を、 $\beta$ 線大気モニタにはセルロース・ガラス繊維ろ紙等を使用する。

基本仕様については平常時に使用するダストモニタ（第1部 3.2）と同様である。

## 3.3 設置、校正、点検

### (1) 設置

設置のための基本事項は、平常時におけるダストモニタ（第1部 3.3.1）と同様であるが、大気モニタ固有の設置の考え方を以下に示す。

#### ① 原子力施設からの距離及び方位

大気モニタは、緊急時補足参考資料では、対象とする原子力施設を中心とした16方位の各方位に対し、半径5～10 km、10～20 km及び20～30 kmの各区間に1箇所配置することを基本としている（図3-1）。当該区間に固定観測局がある場合には当該局舎内に設置する。

ただし、各方位とも、同一方位の大気モニタが同一直線上に設置されないよう留意する。

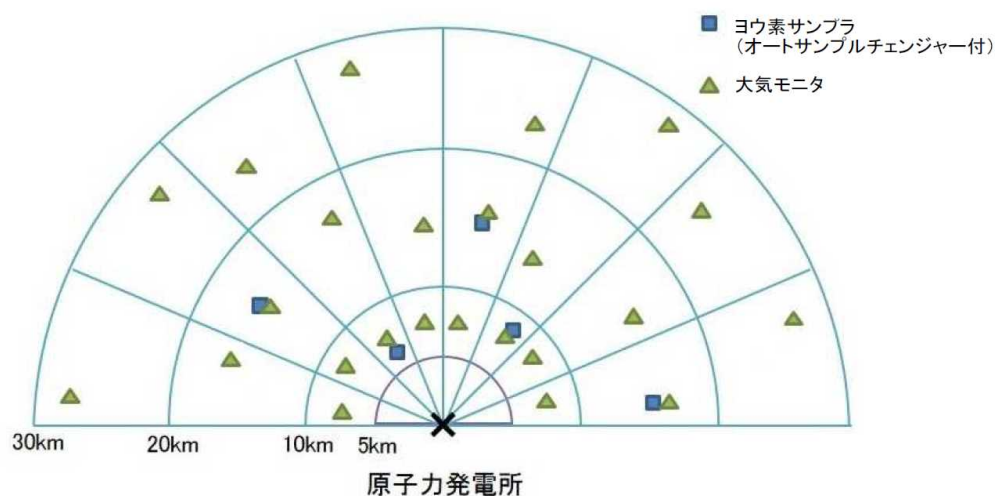


図3-1 大気モニタ及びオートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンブラの配置の例 [3]

#### ② 電源

商用電源が停電した場合を想定して、非常用発電機又はバッテリー等でバックアップ電源を確保し、大気モニタ起動後3日以上、燃料補給等をせずに連続で稼働できることとする。

### (2) 校正

校正方法については、平常時におけるダストモニタと同様である（第1部 3.3.2）。

標準線源は、表3-5に示す $\alpha$ 線源又は $\beta$ 線源を使用する。

表 3-5 校正に用いる標準線源

線種	標準線源
α線	Am-241
β線	Cl-36 又は Tl-204

### (3) 点検

大気モニタは平常時には稼働していないが、緊急時に迅速に使用することができるようにするため、月 1 回程度の日常点検及び年 1 回以上の定期点検を実施する。日常点検時にはバックグラウンドデータの取得も含めた動作確認試験を実施することが望ましい。

点検項目については、平常時におけるダストモニタ（第 1 部 3.3.3）と同様である。

## 3.4 測定

### (1) 起動

テレメータシステム等を用いた遠隔操作により、設置している全ての大気モニタを起動する。以降の操作についても、テレメータシステム等により遠隔操作する。

### (2) 測定条件設定

大気モニタの測定条件を表 3-6 のように設定する。なお、測定条件は平常時からあらかじめ設定しておくこと。

表 3-6 大気モニタの測定条件

項目	測定条件
流量*	50 L/min 程度
ろ紙送り方式	間欠送り
採取時間* (ろ紙送り時間)	1 時間
測定位置	集じん位置
測定時間	連続 (10 分ごとに測定値を取得)

\* 計数の数え落とし等の影響により測定が適切に行えない場合には、流量を小さくしたり、採取時間を短くする等の測定条件の変更が必要である。また、設定したしきい値を超過した場合、自動でろ紙送りを行うことができるように設定できることが望ましい。

### (3) 測定開始

測定を開始する。

データ評価の観点から、測定開始時刻を正時（例：10 時 00 分、15 時 00 分 等）とできることが望ましい。

#### (4) 測定開始時の確認事項

積算流量が一定のペースで上昇していること、計数率が上昇していること及び1時間ごとのろ紙送りが行われていること等を確認し、正常に動作しているか判断する。

#### (5) データ伝送

少なくとも10分間に1回、テレメータシステムにデータ伝送する。

データ伝送項目は第1部 3.4(5)と同様である。

#### (6) 放射能濃度の計算

放射能濃度の算出は、ろ紙上に捕集された大気浮遊じんからの $\alpha$ 線又は $\beta$ 線を検出部により測定し、現在の正10分の時点の計数率から、その前の正10分の時点の計数率を減じる等の方法により、大気中の放射能濃度（直近10分間の平均濃度）を算出する。

放射能濃度は以下の式により計算する。

#### 各正10分の時点の放射能濃度

放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$$= \frac{\text{現在の正10分の時点の計数率 (s}^{-1}\text{)} - \text{前の正10分の時点の計数率 (s}^{-1}\text{)}}{\text{機器効率} \times \text{10分間の積算流量 (m}^3\text{)}}$$

ただし、測定開始時又はろ紙送り後の最初の10分の時点の放射能濃度を評価する場合は、前の正10分の計数率を0 (s<sup>-1</sup>) とする。

#### 計数率の求め方に関する補足事項

本測定法では、集じんしながらの測定を基本としており、計数率は計数率計により測定することを基本とする。

なお、集じんしながらの測定では、スケーラにより測定した積算計数から計数率を算出する場合には注意が必要であり、その考え方については第1部の解説Cを参照すること。

なお、緊急時モニタリングにおいては大気モニタの測定値に含まれるバックグラウンド(ラドン・トロン壊変生成物)の影響は無視することとし、その差し引きや補正は行わない。

### 3.5 測定結果の評価

大気モニタの測定結果は、大気中放射能濃度の増減を10分ごとに確認することを目的として、(1)及び(2)の方法により評価する。緊急時における測定結果の評価のためには、平常時から大気モニタ設置場所におけるバックグラウンドデータを取得しておくことが望ましい。

#### (1) 全 $\alpha$ 放射能濃度

3.4(6)の評価方法により、当該時間の大気中の全 $\alpha$ 放射能濃度を把握し、設置地点周辺における原子力施設由来の $\alpha$ 線放出核種の有無を判断する。

#### (2) 全 $\beta$ 放射能濃度

3.4(6)の評価方法により、当該時間の大気中の全 $\beta$ 放射能濃度を把握し、放射性プルームが大気モニタ設置地点周辺にいつ飛来し、その場にどれぐらいの期間存在して通過したか等を判断するために使用する。評価例を図3-2に示す。

図3-2は、解説Bにおける図B-1のプルーム到達時のデータ(MS-4)を使用している。ろ紙送りからの平均濃度(青色のプロット)が上昇している時間帯において、10分ごとの平均濃度(オレンジ色のプロット)の上昇はピークとして表され、放射性プルームが飛来して通過した時間帯を明確に確認することができる。

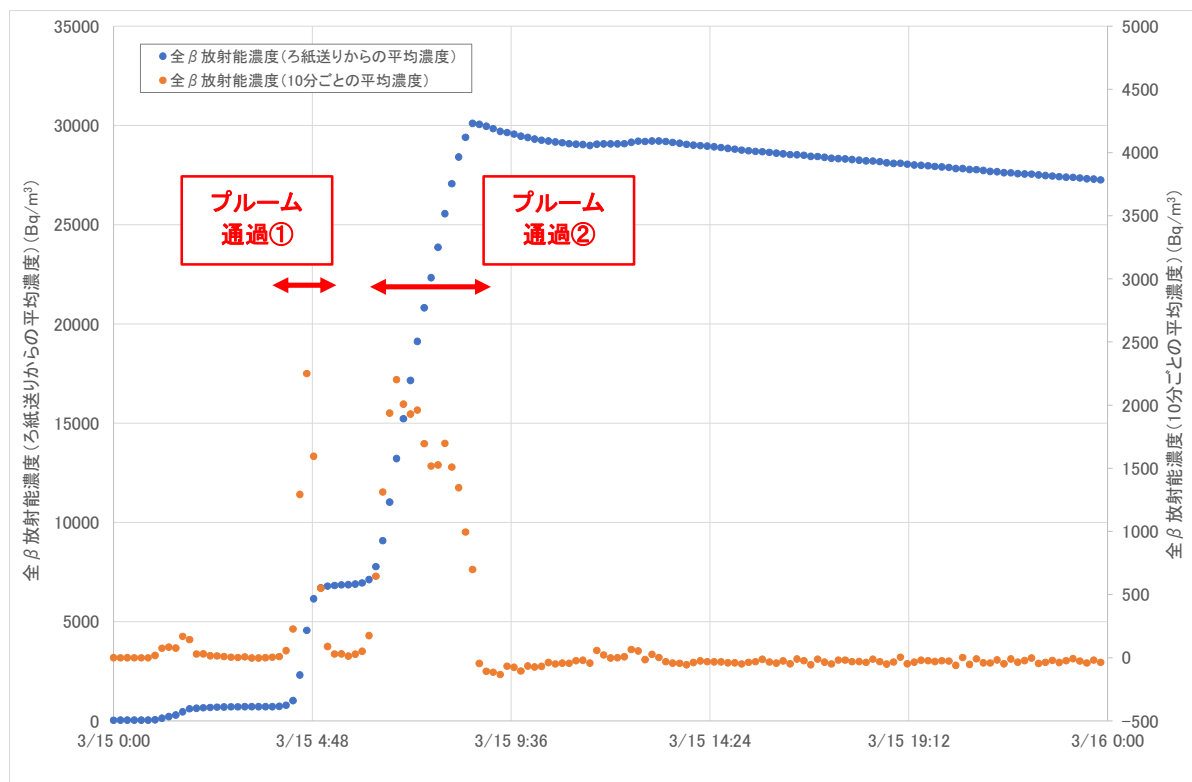


図3-2 大気モニタ設置地点周辺における放射性プルームの有無の評価例

## 第4章 大気モニタにより採取した大気試料の分析

大気モニタのろ紙をゲルマニウム半導体検出器等で分析することにより、大気中の放射性

核種濃度及びその核種組成の詳細な変化を把握し、被ばく線量評価等のためのデータとする。

緊急時にダストモニタを緊急時モードで使用する場合には、そのろ紙の分析についても本章の手順を適用する。

#### 4.1 ろ紙の回収

大気モニタのろ紙は数日分を汚染防止に配慮してまとめて回収する。短半減期の放射性核種も含めて分析するため、モニタリング要員の被ばく低減を考慮しつつ可能な限り早期に回収する。

以下に放射能測定法シリーズ No. 35「緊急時における環境試料採取法」で記載されている採取手順（ヨウ素サンプラに関する記載を除く）を転記するが、大気の採取については原則として EMC (Emergency Radiological Monitoring Center: 緊急時モニタリングセンター) が作成する緊急時モニタリングの指示書に基づいて実施する。

##### (1) 出発前の準備

	手順	参照・記録*
1	捕集材の回収及び交換を行う地点（測定局）を確認する。	
2	必要な資機材を用意する。 注 1) 交換用の捕集材は、大気モニタが設置してある測定局に常備しておいてもよい。捕集材の常備の方法は使用する捕集材の取扱説明書に従うこと。 注 2) 測定局内の汚染を抑えるために、捕集材の交換作業は素早く行う必要がある。捕集材の交換方法について、使用している装置の取扱説明書であらかじめ確認しておくこと。	
3	機材の動作チェックを行う（特に通信装備）。	
4	必要に応じて、資機材の養生を行う。	3.1 資機材の汚染防止
5	電子式個人線量計の動作確認をする。	
6	防護具（防護服、防護マスク等）の使用の指示に従い、適切な防護具を着用する。 また、指示があった場合、安定ヨウ素剤を服用する。 注) 捕集材の交換作業は大気専属の採取チームが行うか、専属チームの編成が難しい場合には、他の環境試料を採取する前に、最初に行う。	3.2 モニタリング要員の防護

\* 放射能測定法シリーズ No. 35「緊急時における環境試料採取法」の参照・記録

##### (2) 採取手順（捕集材の回収）

	手順	参照・記録*
--	----	--------

1	捕集材の回収及び設置を行う地点（測定局）に移動する。	
2	採取済みの捕集材を回収し、回収日時、捕集材のロットナンバー等を記録する。捕集材が長尺ろ紙の場合、ろ紙をロールごと回収する方法と捕集済みの部分を切り取って回収する方法がある。 指示書の発行以降は、指示書に示された期間で回収する。  注) 捕集材の回収交換方法は使用している装置の取扱説明書に従うこと。	採取記録票 B1 の d
3	回収した捕集材をポリエチレン袋に入れる。	
4	袋の口を折り曲げてビニールテープで封をし、識別コードを記入したラベルを貼る（あるいは明記する。）。	採取記録票 B1
5	更にもう一重の袋掛け(=外袋)をし、試料を梱包する。	
6	新たな捕集材をセットし、機器の動作が正常であることを確認する。	
7	梱包、記録類及び写真の確認を行う。	採取記録票 B1 の e

\* 放射能測定法シリーズ No. 35 「緊急時における環境試料採取法」の参照・記録

注) 採取地点にモニタリングポストが設置されていない場合は、手順 2 の前にサーベイメータ等により採取地点周辺の空間放射線量率の測定をする必要がある。

## 採取記録票

B1	大気
----	----

日付： \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ 開始時間： \_\_\_\_\_ 時 \_\_\_\_\_ 分

天候（当日）： \_\_\_\_\_ 天候（前日）： \_\_\_\_\_

チーム長： \_\_\_\_\_ メンバー： \_\_\_\_\_

## 採取地点情報

a	採取場所 (地点名・住所等)			
b	GPS	N (緯度)	E (経度)	
b	積雪	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	積雪深	約 _____ cm

## 採取地点の空間放射線量率

c	機器の種類	<input type="checkbox"/> NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ <input type="checkbox"/> 電離箱式サーベイメータ <input type="checkbox"/> 中性子線用サーベイメータ <input type="checkbox"/> その他： _____
c	機器名(機器番号)	
c	時定数	* 測定までの経過時間： _____
c	検出器の方角	

C	空間放射線量率 ( <input type="checkbox"/> $\mu\text{Sv} / \text{h}$ <input type="checkbox"/> $\mu\text{Gy} / \text{h}$ )
	地表 1 m (腰高位置)
1	
2	
3	
4	
5	
平均	

Hot (試料を採取する) 担当: \_\_\_\_\_

Cold (試料を採取しない) 担当: \_\_\_\_\_

d	捕集機器	<input type="checkbox"/> ハイボリウムエアサンプラ <input type="checkbox"/> ローボリウムエアサンプラ <input type="checkbox"/> その他: _____
d	捕集材の種類	<input type="checkbox"/> ろ紙: _____ <input type="checkbox"/> 活性炭カートリッジ: _____ <input type="checkbox"/> その他: _____
d	捕集開始時刻	
d	開始時の流量	[L/min]
d	捕集終了時刻	
d	終了時の流量	[L/min]
d	吸引時間	[min]
d	平均流量	[L/min] * 積算流量の表示のない機器の場合は開始時の流量と終了時の流量の平均値を平均流量とする。
d	積算流量	[m <sup>3</sup> ] * 積算流量の表示のない機器の場合は、「積算流量=平均流量[L/min]×吸引時間[min]/1000」で求める。
d	備考	

### 採取試料・記録の確認

e	試料梱包	<input type="checkbox"/> 内袋 OK <input type="checkbox"/> 外袋 OK <input type="checkbox"/> 密封 OK
e	記録漏れ	<input type="checkbox"/> 無
e	写真	<input type="checkbox"/> 全景 <input type="checkbox"/> 採取地点 <input type="checkbox"/> 採取の状況、近景

記録者: \_\_\_\_\_ 終了時間: \_\_\_\_\_ 時 \_\_\_\_\_ 分

試料の識別コード	
試料の分類	<input type="checkbox"/> 高濃度試料として扱う
受取	日時: ____ / ____ / ____ 受取者サイン: _____



## 4.2 前処理

回収したろ紙は、分析・測定対象核種に応じた前処理を行う。

### (1) $\gamma$ 線スペクトロメトリーを実施する場合

ゲルマニウム半導体検出器等で $\gamma$ 線放出核種を測定するためには、ろ紙を測定容器に充填する必要がある。大気モニタの測定中は、長尺ろ紙の巻き取りによる集じん面からの相互汚染が起こるが、分析結果への影響については計算等により補正することができないため、考慮しないこととする。ただし、大気捕集後に集じん面をポリエチレンフィルム等で自動で覆う等、相互汚染を防止する措置を講じることができることが望ましい。

ここでは、ろ紙を6時間分<sup>\*1</sup>まとめて測定容器（ろ紙の容量に応じて、小型容器又はマリネリ容器を選択）に充填する場合について記載する。その際、前処理に使用する器具の汚染防止の観点から、集じん面の形状に沿った切り取りは原則として実施せず、図4-1のように集じん面の間の境界部分を切り取る<sup>\*2</sup>。切り取ったろ紙は、後日詳細測定をするために1時間分ごとに切り分ける可能性もあるため、6つの集じん面間での相互汚染が起こらないよう、図4-3のようにポリエチレンフィルム等で包んだ上で測定容器に充填するとよい。

充填する際には、集じん面ができるだけ測定容器の底に近くなるようにし、ろ紙を折りたたんで充填する、又は1時間分ごとに切り分けて重ねて充填する。ろ紙を折りたたんで充填する例を図4-4に示す。前処理手順は、6.4及び放射能測定法シリーズNo.24「緊急時における $\gamma$ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」も参照して適切な方法を選択するとよい。

- \*1 緊急時補足参考資料で想定されているヨウ素サンプラのサンプリング周期に合わせて6時間としている。大気中放射性物質濃度の詳細な時間的変化を把握するために、1時間分等にさらに細分化することについて否定するものではない。
- \*2 大気浮遊じんの量によっては図4-2のように集じん面が目視できない場合がある。その理由により、6時間分に分けることができない場合には、大気モニタの起動開始からろ紙回収までの数日分をまとめて測定試料とする。集じん面間での相互汚染が起こらないよう、ポリエチレンフィルム等で覆った上で測定容器に充填するとよい。任意の時間間隔でろ紙を細分化できるよう、タイムスタンプ等により、長尺ろ紙に集じん開始位置や集じん日時を記録することが望ましい。

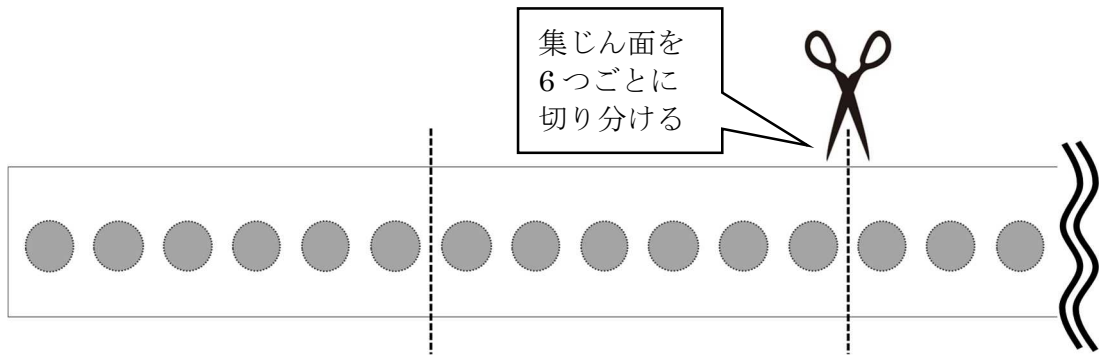


図 4-1 長尺ろ紙の切り取り例

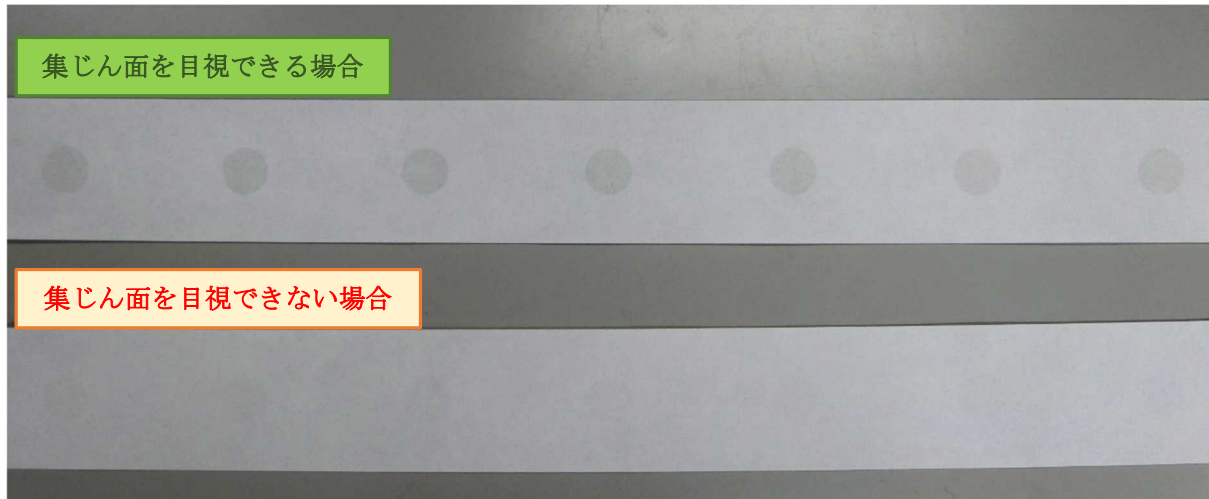


図 4-2 大気モニタの長尺ろ紙の集じん面（約 50 L/min で 1 時間集じんした場合の例）

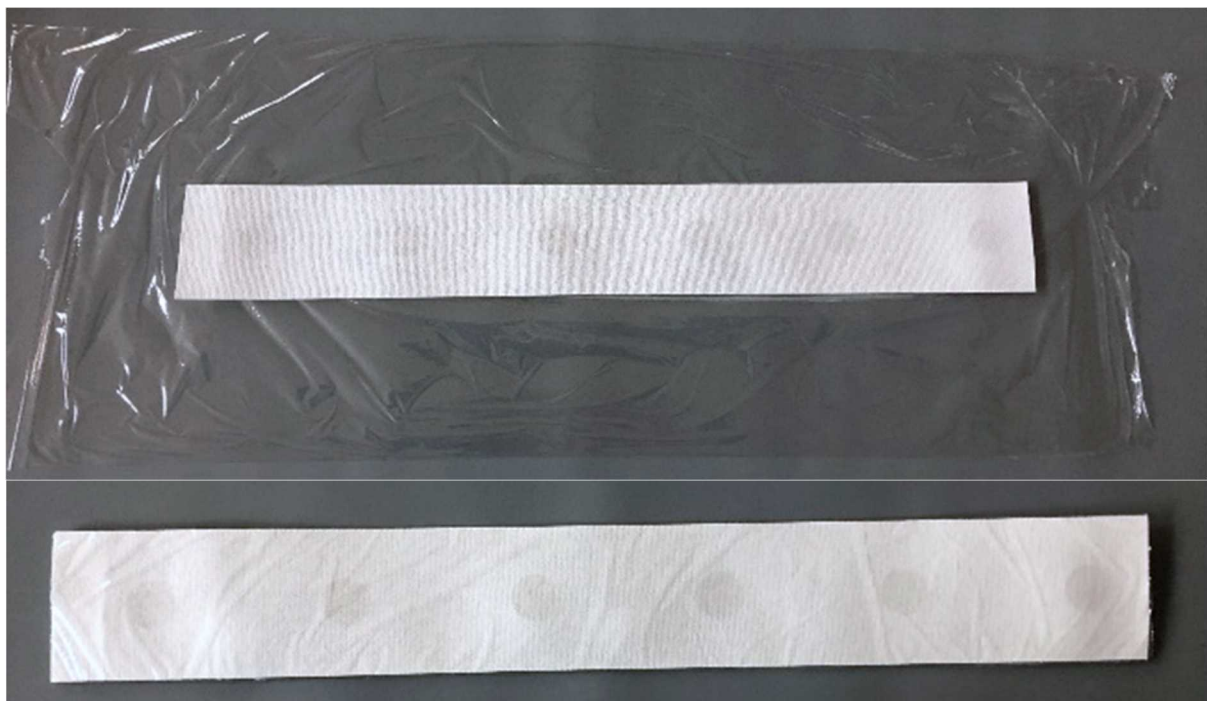


図 4-3 長尺ろ紙をポリエチレンフィルム等で包んだ例  
（上：包む前、下：包んだ後）



図 4-4 長尺ろ紙 (78 mm×700 mm) を充填した例  
 (上：集じん面が底に近づくよう細長く折ってロール状に U-8 容器に充填した例、  
 下：集じん面が中心になるよう 1 時間分ごとに重ねて折って V-9 容器に充填した例)

## (2) 放射化学分析を実施する場合

$\gamma$  線放出核種の測定が必要である場合には、その測定が終了してから  $\alpha$  線放出核種及び  $\beta$  線放出核種について放射化学分析を実施する。

測定対象核種が複数ある場合等、必要に応じて、試料の分割や系統分析を実施する必要がある。そのため、分析方法は分析を実施する前に慎重に検討して決定する。

放射化学分析を実施する際に集じん面の切り抜きを行うことは否定しないが、 $\gamma$  線スペクトロメトリーの後では、ゲルマニウム半導体検出器の測定容器内での相互汚染も生じていることから、切り抜きは行わない方がよい。

### 4.3 分析

$\gamma$ 線放出核種はゲルマニウム半導体検出器による $\gamma$ 線スペクトロメトリーを行い、 $\alpha$ 線放出核種及び $\beta$ 線放出核種は放射化学分析を実施する。

緊急時補足参考資料に記載されている原子力施設及び事故形態に応じた測定対象核種を表4-1に示す。

表 4-1 大気モニタにより採取したろ紙の分析対象核種の例 [3]

施設	事故形態	分析対象核種
発電用原子炉施設*1	—	$\alpha$ 線放出核種 (U-235、U-238、Pu-238、Pu-239+240、Am-241 等) $\beta$ 線放出核種 (Sr-89、Sr-90 等) $\gamma$ 線放出核種 (Co-58、Fe-59、Co-60、Zr-95、Nb-95、Mo-99、Tc-99m、Ru-103、Te-129、Te-129m、I-131、Te-132、I-132、I-133、Cs-134、Cs-137 等)
試験研究用等原子炉施設*2	—	$\alpha$ 線放出核種 (U-235、U-238、Pu-238、Pu-239+240、Am-241 等) $\beta$ 線放出核種 (Sr-89、Sr-90 等) $\gamma$ 線放出核種 (Co-58、Fe-59、Co-60、Zr-95、Nb-95、Mo-99、Tc-99m、Ru-103、Te-129、Te-129m、I-131、Te-132、I-132、I-133、Cs-134、Cs-137 等)
ウラン加工施設*2*3	臨界事故	$\alpha$ 線放出核種 (U-235、U-238 等) $\beta$ 線放出核種 (Sr-89、Sr-90 等) $\gamma$ 線放出核種 (I-131、I-133、Cs-134、Cs-137 等)
	UF <sub>6</sub> 放出(飛散)	$\alpha$ 線放出核種 (U-235、U-238 等)
プルトニウムを取り扱う加工施設	臨界事故	$\alpha$ 線放出核種 (U-235、U-238、Pu-238、Pu-239+240、Am-241 等) $\beta$ 線放出核種 (Sr-89、Sr-90 等) $\gamma$ 線放出核種 (I-131、I-133、Cs-134、Cs-137 等)
	大規模火災又は爆発	$\alpha$ 線放出核種 (U-235、U-238、Pu-238、Pu-239+240、Am-241 等)
再処理施設	臨界事故	$\alpha$ 線放出核種 (U-235、U-238、Pu-238、Pu-239+240、Am-241 等) $\beta$ 線放出核種 (Sr-89、Sr-90 等) $\gamma$ 線放出核種 (Co-58、Fe-59、Co-60、Nb-95、Tc-99m、Te-129、Te-129m、I-131、I-133、Cs-134、Cs-137 等)
	大規模火災又は爆発	$\alpha$ 線放出核種 (U-235、U-238、Pu-238、Pu-239+240、Am-241 等) $\beta$ 線放出核種 (Sr-90、Y-90、Tc-99、Pm-147 等) $\gamma$ 線放出核種 (Rh-106(Ru-106)、Cs-134、Cs-137、Ce-144 等)
	蒸発乾固	$\alpha$ 線放出核種 (Pu-238、Pu-239+240、Am-241、Cm-244 等) $\beta$ 線放出核種 (Sr-90、Y-90、Tc-99、Pm-147 等) $\gamma$ 線放出核種 (Rh-106(Ru-106)、Cs-134、Cs-137、Ce-144 等)

\*1 PAZ 及び UPZ 設定を要する

\*2 UPZ 設定を要する

\*3 核燃料施設 (UPZ 設定を要しない) についても同じ

(1)  $\gamma$ 線スペクトロメトリー

ゲルマニウム半導体検出器の測定時間の目安を表 4-2 に示す。

大気モニタの 6 時間あたりの試料採取による供試量は、 $18 \text{ m}^3$  ( $50 \text{ L/min} \times 360 \text{ min}$ ) 程度である。

表 4-2 事故初期時（多核種検出時）の試料を小型容器（ $50 \text{ mm} \phi \times 50 \text{ mm}$ ）を用いて測定した場合の測定時間と定量可能レベルの関係 [3]

供試量	I-131 定量可能レベル				Cs-137 定量可能レベル				単位
	測定時間				測定時間				
	10 分	30 分	1 時間	10 時間 (参考)	10 分	30 分	1 時間	10 時間 (参考)	
$1 \text{ m}^3$	6	4	3	0.8	6	3	2	0.7	$\text{Bq/m}^3$

\* 供試量が  $1 \text{ m}^3$  でないときは、定量可能レベルを供試量で除した値を用いる。

詳細は、放射能測定法シリーズ No. 29「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による  $\gamma$ 線スペクトル解析法」、放射能測定法シリーズ No. 15「緊急時における放射性ヨウ素測定法」を参照すること。

測定容器内では大気浮遊じん中の放射性核種濃度の偏在が生じる。偏在の影響評価例については、放射能測定法シリーズ No. 7「ゲルマニウム半導体検出器による  $\gamma$ 線スペクトロメトリー」の「資料 2 測定容器内における試料の不均一分布の影響 (U-8 容器の例)」を参照すること。

(2) 放射化学分析

$\gamma$ 線放出核種の測定後、 $\alpha$ 線放出核種及び $\beta$ 線放出核種の放射化学分析を実施する。

原子力施設に応じて放出される放射性核種が異なるので、分析対象核種は表 4-1 を参考にして選択する必要がある。

分析対象核種に対して参照する放射能測定法シリーズを表 4-3 に示す。 $\alpha$ 線放出核種の放射化学分析において、 $\alpha$ 線大気モニタで使用するメンブレンろ紙の分析が困難である場合には、セルロース・ガラス繊維ろ紙等の放射化学分析を適切に実施することができるろ紙を使用する。また、別途採取したダストサンプラ又はヨウ素サンプラのセルロース・ガラス繊維ろ紙を分析することでも良い。

参照する放射能測定法シリーズのない Tc-99 や Pm-147 については、液体シンチレーションカウンタによる  $\beta$ 線測定や ICP 質量分析法を適用することができる。

表 4-3 分析・測定対象核種に対して参照する放射能測定法シリーズ

分析対象核種		参照する放射能測定法シリーズ
α線放出核種	U-235、U-238	No. 14 「ウラン分析法」
	Pu-238、Pu239+240	No. 12 「プルトニウム分析法」 No. 28 「環境試料中プルトニウム迅速分析法」
	Am-241、Cm-244	No. 21 「アメリシウム分析法」 No. 22 「プルトニウム・アメリシウム逐次分析法」 No. 30 「環境試料中アメリシウム 241、キュリウム迅速分析法」
	—	No. 31 「環境試料中全アルファ放射能迅速分析法」
β線放出核種	Sr-89、Sr-90、Y-90	No. 2 「放射性ストロンチウム分析法」 No. 23 「液体シンチレーションカウンタによる放射性核種分析法」
	Tc-99、Pm-147 等	該当なし

#### 4.4 分析結果の評価

分析結果は、緊急時モニタリングの目的である①原子力災害による環境放射線の状況に関する情報収集、②原子力災害による住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供を目的として、以下の評価のために使用される。

##### (1) 大気中放射性物質濃度及びその核種組成の詳細な把握

大気中放射性物質濃度及びその核種組成の経時変化を詳細に把握することにより、原子力施設の事故の影響評価に資する。

東京電力福島第一原子力発電所事故の影響評価例を解説 B に示す。

##### (2) 被ばく線量評価材料の提供

(1) で評価した大気中放射性物質濃度を、大気浮遊じんの吸入摂取による内部被ばく線量を評価するための材料として使用する。

被ばく線量の評価方法については、平常時補足参考資料を参照すること。

大気モニタのろ紙の分析評価から全放射性ヨウ素（粒子状及びガス状）濃度を算出する場合には、ヨウ素サンプラから回収した大気試料の測定結果を用いて、以下の手順で行う。

- ① ヨウ素サンプラで採取した大気試料のゲルマニウム半導体検出器による測定結果から、粒子状の放射性ヨウ素とガス状の放射性ヨウ素との比率を算出する。
- ② 大気モニタのろ紙の分析結果から評価した粒子状の放射性ヨウ素濃度と、上記①で算出した比率から、大気モニタ設置場所における全放射性ヨウ素濃度を算出する。

#### 4.5 試料保管

分析前のろ紙、 $\gamma$ 線スペクトロメトリーの測定試料及び放射化学分析に供していない分析後のろ紙を保管する場合、吸湿防止のため、デシケータ等で保管する。

## 第 5 章 ヨウ素サンプラによる大気試料の採取から分析

ガス状及び粒子状ヨウ素について連続的にサンプリングし、一定時間ごとにろ紙及び活性炭カートリッジを交換するオートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラによる放射性ヨウ素の採取及び分析により、放射性物質の広がりを確認するとともに被ばく評価に活用する。緊急時補足参考資料においては、発電用原子炉施設及び試験研究用原子炉施設を対象としてモニタリングを実施することとしている。

詳細については、放射能測定法シリーズ No. 15「緊急時における放射性ヨウ素測定法」を参照すること。

### 5.1 採取から分析

#### (1) 機器仕様

ヨウ素サンプラには以下の要件が求められる。

- ・粒子状の放射性ヨウ素をろ紙で、ガス状の放射性ヨウ素を活性炭カートリッジで採取するため、両者を組み合わせて使用する。
- ・1組の捕集材（ろ紙及び活性炭カートリッジのセット）あたり6時間程度採取することができること。
- ・オートサンプルチェンジャーにより、20以上の捕集材（ろ紙及び活性炭カートリッジのセット）を自動で交換して、5日以上連続運転ができること。
- ・商用電源が停電した場合を想定して、非常用発電機又はバッテリー等でバックアップ電源を確保し、ヨウ素サンプラ起動後3日以上、燃料補給等をせずに連続で稼働できること。

#### (2) 設置

ヨウ素サンプラの設置にあたっては、人口分布や過去の風況実績を始めとする社会環境、自然環境等地域の実情を考慮して配置場所を検討する。

対象とする原子力施設を中心とした16方位のうち1方位又は2方位ごとに、半径5～30 kmの区間に1ヶ所配置することを基本（図3-1参照）とし、大気モニタと同様に、当該区間に固定観測局がある場合には当該局舎内に設置することが望ましい。

#### (3) 採取

大気を一定時間（6時間程度）捕集し、放射性ヨウ素をろ紙及び活性炭カートリッジに吸着させて採取を行うとともに、一定時間経過後も自動でろ紙及び活性炭カートリッジを交換することにより連続で採取を行う。

採取後のろ紙及び活性炭カートリッジについては、汚染防止に留意して回収する。短半減期の放射性核種も含めて分析するため、ろ紙及び活性炭カートリッジは、モニタリング要員の被ばく低減を考慮しつつ可能な限り早期に回収する。



#### (4) 分析

ゲルマニウム半導体検出器により、ろ紙及び活性炭カートリッジそれぞれを測定する。  
ヨウ素サンプラの6時間あたりの試料採取による供試量は、 $18 \text{ m}^3$  ( $50 \text{ L/min} \times 360 \text{ min}$ )  
程度である。

表 5-1 小型容器 (50 mmφ×50 mm) を用いて測定した場合の  
測定時間と定量可能レベルの関係 [3]

供試量	I-131 定量可能レベル				単位
	測定時間				
	10分	30分	1時間	10時間 (参考)	
$1 \text{ m}^3$	6	4	3	0.8	$\text{Bq/m}^3$

\* 供試量が  $1 \text{ m}^3$  でないときは、定量可能レベルを供試量で除した値を用いる。

#### (5) 結果の評価

ろ紙の測定結果から粒子状放射性ヨウ素濃度を、活性炭カートリッジの測定結果からガス状放射性ヨウ素濃度を評価し、これらの濃度を合算することで全放射性ヨウ素濃度を算出し、被ばく評価に活用する。

## 第 6 章 ダストサンプラによる大気試料の採取から分析

大気試料を採取する目的は、原子力災害による環境放射線の状況に関する情報を得ることと、原子力災害による放射線影響の評価をするための情報を得ることである。

大気中放射性物質濃度の分析結果は、放射性物質の吸入により起こる内部被ばくの推定に使用されるほか、地表への降下量の推定にも有用である。

ここでは、可搬型のダストサンプラによる採取手順として、放射能測定法シリーズ No. 35 「緊急時における環境試料採取法」（ヨウ素サンプラに関する記載を除く）を転記している。なお、No. 35 では、ダストサンプラの呼称を固定型と区別して可搬型サンプラとし、ロウポリウムエアサンプラ及びハイポリウムエアサンプラによる採取手順を記載している。

大気の採取については原則として EMC が作成する緊急時モニタリングの指示書に基づいて実施する。

### 6.1 機器及び大気捕集材

緊急時において使用する可搬型ダストサンプラ及び大気捕集材は、平常時（第 1 部 第 4 章）と同様である。

### 6.2 設置、点検

可搬型ダストサンプラの設置の考え方及び点検方法は、平常時（第 1 部 第 4 章）と同様である。緊急時のための機器として整備している場合には、平常時から定期的に動作確認を実施し、機器の状態を健全に保つことが必要である。

### 6.3 採取

#### 6.3.1 準備

	手順
1	指示書を受け取る。
2	チェックリスト等に従い、必要な資機材を用意する。
3	機材の動作チェックを行う（特に通信装備及び GPS）。
4	採取地点を地図上で確認する。
5	汚染防止のため、資機材の養生を行う。
6	電子式個人線量計の動作確認をする。
7	防護具（防護服、防護マスク等）の使用の指示に従い、適切な防護具を着用する。 また、指示があった場合、安定ヨウ素剤を服用する。

### 6.3.2 試料採取地点の特定

	手順
1	指示書に示された試料採取地点に移動する。
2	採取地点の情報、住所等を写真撮影も含めて記録する。
3	GPS が利用可能であれば、採取地点の緯度経度を記録する。無ければ位置を調べて、地図上にマークし記録する。

### 6.3.3 ロウボリウムエアサンプラによる採取手順

	手順
1	採取地点周辺の空間放射線量率を NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータ又は、電離箱式サーベイメータを用いて測定し、記録する。
2	<p>空気の流れに支障がないように、サンプラを設置する。</p> <p>注 1) 内部被ばく線量を評価するため、サンプラの吸引口が地上から約 1 m の高さになるように設置する。</p> <p>注 2) 雨滴を吸引すると、ろ紙の捕集性能が低下するので、雨天の場合は屋根のある場所等で捕集し、サンプラに雨滴が入らないようにする。周囲に屋根等がない場合には、傘等をさして、雨滴を吸引しないようにする。</p> <p>注 3) 電源に発電機を使用する場合は、その排気を吸引しないよう配慮する。</p> <p>注 4) 移動に使用している車から電源を確保すると排気ガスの影響を受ける可能性があるため、可能であれば避ける(車備え付け型の集じん器の場合を除く。)</p> <p>注 5) 複数のサンプラを併用する場合は、互いの排気が影響しないよう配慮する。</p>
3	<p>吸引ホルダーにろ紙をセットする。ろ紙は格子構造がない面が表であり、じん埃を捕集する面となる。</p> <p>注) ろ紙の取扱いには、ピンセットを用いる。</p>
4	<p>採取を開始し、時刻と採取量(流量)を記録する。</p> <p>注) 集じん器の流量は 50 L/min 程度に設定する(指示書に示された流量に設定する)。</p>
5	<p>指示書に示された積算流量になるまで大気を採取する。</p> <p>注 1) 流量が 50 L/min である場合、20 分間採取すると積算流量は 1000 L(=1 m<sup>3</sup>) となる。</p> <p>注 2) 集じん中に雨が降ってきた場合は吸引を止め、雨が降る前までを積算流量とした試料とする。又は、傘等をさして雨滴を吸引しないようにしながら採取を続けてもよい。</p>
6	採取終了直前に採取量(流量)を読み取り記録する。
7	集じん器を止め、その時刻を記録する。
8	<p>ろ紙をサンプラから取り外す。</p> <p>注) 放射性物質が付着し放射線量が高いことがあるので、取り扱いに注意する。</p>

9	ろ紙をポリエチレン袋 (=内袋) に入れる。
10	袋の口を折り曲げてビニールテープで封をし、識別コードを記入したラベルを貼る (あるいは明記する)。
11	更にもう一重の袋掛け (=外袋) をし、試料を梱包する。
12	梱包、記録類及び写真の確認を行う。
13	集じん器を撤収し、車に積む。 注 1) 使用した装置は拭き取り等で除染をする。 注 2) 電源コード、延長コード類は拭き取りながら巻き取り除染を行う。

#### 6.3.4 ハイボリウムエアサンプラによる採取手順

	手順
1	採取地点周辺の空間放射線量率を NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータ又は電離箱式サーベイメータを用いて測定し、記録する。
2	空気の流れに支障がないように、集じん器を設置する。 注 1) 内部被ばく線量を評価するため、サンプラの吸引口が地上から約 1 m の高さになるように設置する。 注 2) 雨滴を吸引すると、ろ紙の捕集性能が低下するので、雨天の場合には屋根のある場所等で捕集し、サンプラに雨滴が入らないようにする。 周囲に屋根等がない場合には、傘等をさして、雨滴を吸引しないようにする。 注 3) 電源に発電機を使用する場合は、その排気を吸引しないように配慮する。 注 4) 移動に使用している車から電源を確保すると排気ガスの影響を受ける可能性があるため、可能であれば避ける (車備え付け型の集じん機の場合を除く)。 注 5) 複数のサンプラを併用する場合は、互いの排気が影響しないよう配慮する。
3	吸引ホルダーにろ紙をセットする。
4	採取を開始し、時刻と採取量 (流量) を記録する。 注) 大気試料の採取に必要な時間は、空気中の放射能濃度によって変わる。
5	指示書に示された積算流量になるまで大気を採取する。 注) 流量が 1000 L/min である場合、1 分間採取すると積算流量は 1000 L (=1 m <sup>3</sup> ) となる。
6	採取終了直前に採取量 (流量) を読み取り記録する。
7	サンプラを止め、その時刻を記録する。
8	サンプラを垂直方向にしたまま、ろ紙を固定しているホルダーを取り外す。 注) ネジを用いて固定するホルダーの場合、全てのネジを取り外す。

	ろ紙をサンプラから取り外す。
9	注 1) 放射性物質が付着し放射線量が高いことがあるので、取り扱いに注意する。 注 2) 取り外した後、速やかに新しいろ紙をセットして、集じん部への異物の混入を防ぐ。ろ紙を外した吸引面は網状になっていることが多いが、小さなちり等は網の部分を通して集じん部に入ってしまうため、速やかに作業を行う。
10	$\alpha$ 線スペクトロメータで測定するろ紙は折りたたまず、吸引面を上にし、吸引面が容器の壁や蓋につかないように注意して、タッパーや箱等に入れる。その他の測定に使用するろ紙は、吸引面が内側になるように2つに折り、ポリエチレン袋内袋に入れる。
11	容器又は口を折り曲げてビニールテープで封をした内袋に、識別コードを記入したラベルを貼る(あるいは明記する)。容器の蓋をビニールテープ等で密封し、ポリエチレン袋(=内袋)に入れる。
12	更にもう一重の袋掛け(=外袋)をし、試料を梱包する。
13	梱包、記録類及び写真の確認を行う。
14	集じん器を撤収し、車に積む。 注 1) 使用した装置は拭き取り等で除染をする。 注 2) 電源コード、延長コード類は拭き取りながら巻き取り除染を行う。

### 6.3.5 留意事項

試料採取に当たり、理解しておくべき留意事項を示す。

- ・緊急時において大気中に放出される放射性物質の種類としては、(a) 粒子状物質、(b) 希ガス、(c) 揮発したハロゲン(特に放射性ヨウ素)等がある。
- ・本項では2種類の可搬型サンプラ(ロウボリウムエアサンプラ：流量 10～100 L/min、ハイボリウムエアサンプラ：流量 500 L/min 以上)を用いた大気試料の採取について記載したが、必要な検出レベルを確保できるようサンプラを選定する。
- ・モニタリング車にサンプラが設置されている場合もある。
- ・土壌中の放射能濃度に対する相対的な大気中濃度を調べるために大気試料を採取する場合には、土壌試料の採取は、大気試料が採取されたのと同時刻に、同じ場所を実施する必要がある。
- ・ろ紙は、通常セルロース・ガラス繊維ろ紙を使用する。
- ・緊急時モニタリングにおいて、サンプラの電源として使用するコンセントは、事前に決定し図面や写真で明示しておくことが望ましい。また、停電時の電源確保に関しても事前に対策を検討し、現場で速やかに対応できるよう計画する。

## 6.4 前処理

大気中の放射性物質を対象として、セルロース・ガラス繊維ろ紙を測定試料に調製する前処理方法及び保存方法について示す。測定容器としてマリネリ容器又は小型容器を用いるときの方法を示す。

前処理手順は放射能測定法シリーズ No. 24 「緊急時における  $\gamma$  線スペクトロメトリーのための試料前処理法」の手順を転記している。

### 6.4.1 試料の前処理における留意事項

	手順
1	相互汚染防止のため、試料搬入時のサーベイメータでの測定結果を参考にして、前処理作業を行う試料の順番を事前に決めておく。
2	放射線レベルの高い試料を取り扱う際には、試料を取り扱う時間を可能な限り短縮できるように、事前に作業間で作業手順等について確認する。
3	作業開始前に、室内(床、作業台等)の養生を行う。 注) 養生方法については、「緊急時における $\gamma$ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」の第2章を参照。
4	養生した作業台の上にビニールシートを敷き、その上に大型ろ紙を載せ、試料ごとに作業する。 注) 作業台や床面の養生の張替えには少なからず労力を要する。試料ごとに使い捨てできる簡易養生を施すことによって、養生の張替えの頻度を少なくできる。
5	試料からの汚染を拡大させないため、試料に直接接触するホット作業と直接接触しないクールド作業とを区別して、可能な限り、作業者と作業台を別々にすることが望ましい。

## 6.4.2 測定容器への充填

### (1) 小型容器を用いるとき

手順	
1	小型容器に、試料を識別する番号等のデータを記入又は添付した後、小型容器の風袋重量をはかり記録する。
2	均質性に留意しながら、あらかじめ折り畳み等の処理を行ったろ紙を1で用意した小型容器になるべく隙間の無いように詰める。(写真6.1) 小型ろ紙及び打ち抜いたろ紙は浮遊じんの付いている面を底に向けて詰めるようにする。(写真6.2)  注) ろ紙が複数枚ある場合は積み重ねる。
3	小型容器に蓋をして、試料の高さをはかり記録する。
4	容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取る。
5	小型容器の重量を測り、先の風袋重量を差し引き、測定試料の重量を求め、記録する。
6	測定器への汚染を防止するため、小型容器にポリエチレン袋を被せて空気を抜き、容器の底にシワがよらないように口を結んで封入し、測定試料とする。(写真6.3)



写真 6.1 小型容器への試料の充填の例  
(ガラス繊維ろ紙)

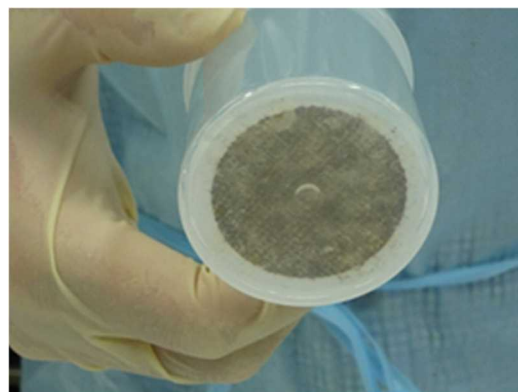


写真 6.2 付着面を底面に向けた充填の例  
(ガラス繊維ろ紙)



写真 6.3 ポリエチレン袋で覆った  
小型容器の例  
(ガラス繊維ろ紙)

[放射能測定法シリーズ No. 24]

(2) マリネリ容器を用いるとき

この方法は、大量のろ紙を迅速に測定することを目的とした方法である。集じん部分のみの測定を目的とした方法では、(1)に示すように小型容器に充填する方法がある。

	手順
1	マリネリ容器用内袋を、マリネリ容器内に隙間なく装着する(測定容器壁への汚染を極力避けるため、使い捨ての内袋を使用する)。
2	マリネリ容器に、試料を識別する番号等のデータを記入又は添付した後、マリネリ容器及び蓋並びに内袋の風袋重量をはかり記録する。
3	均質性に留意しながら、あらかじめ折り畳みや切抜き等の処理を行ったろ紙をマリネリ容器の標線までなるべく隙間の無いように詰める。(写真 6.4) 試料を詰めた後、試料とともにマリネリ容器及び蓋の重量をはかり、先の風袋重量を差し引き、測定試料の重量を求め、記録する。
4	マリネリ容器内袋の口にビニールテープを用いて封をする。(写真 6.5) 注) ビニールテープの代わりに輪ゴムや結束バンド等を用いてもよい。
5	マリネリ容器に蓋をし、蓋の接合部にビニールテープを巻いて封をする。(写真 6.6 及び写真 6.7)
6	マリネリ容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取る。 測定器への汚染を防止するため、マリネリ容器をポリエチレン袋に入れ、十分空気を抜きながら口を結んで封入し、測定試料とする。(写真 6.8)





写真 6.4 マリネリ容器への試料の充填  
(長尺ろ紙)



写真 6.5 内袋をビニールテープで閉じる  
(長尺ろ紙)

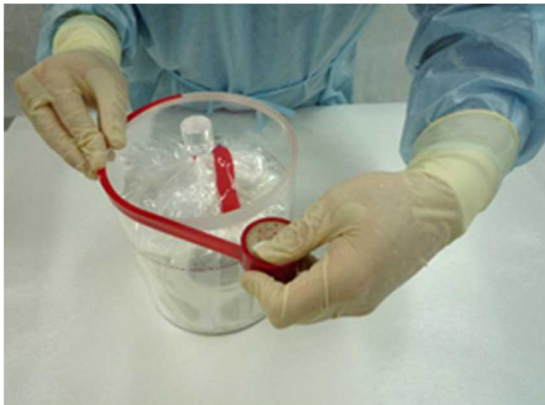


写真 6.6 ビニールテープによる蓋の固定  
(長尺ろ紙)



写真 6.7 ビニールテープによる蓋の固定  
(長尺ろ紙)



写真 6.8 ポリエチレン袋で覆った  
マリネリ容器 (長尺ろ紙)

[放射能測定法シリーズ No. 24]

### 6.4.3 試料の保存方法

#### (1) 比較的短期間の保存

	手順
1	小型容器の測定試料は、測定容器のまま、他のポリエチレン袋又は容器に入れて保存する。
2	マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま、他のポリエチレン袋又は容器に入れて保存する。

#### (2) 長期保存

	手順
1	小型容器の測定試料は、測定容器のまま、他のポリエチレン袋又は容器に入れて保存する。
2	マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま、他のポリエチレン袋又は容器に入れて保存する。
3	放射能測定法シリーズ No. 13「ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法」及び放射能測定法シリーズ No. 16「環境試料採取法」の方法によって、試料の灰化作業を行ってもよいが、器具及び装置を使用した後に洗浄・清掃する等、他試料への汚染が起こらないよう十分留意する必要がある。 灰化处理を行った試料は、デシケータ内等の低湿度の環境下、又はなるべく空気に触れないような措置をとり保管する。

### 6.5 分析

$\gamma$ 線放出核種はゲルマニウム半導体検出器による $\gamma$ 線スペクトロメトリーを行い、 $\alpha$ 線放出核種及び $\beta$ 線放出核種は放射化学分析を実施する。

内容は大気モニタでの手順（4.3）と同様である。

### 6.6 分析結果の評価

内容は大気モニタでの手順（4.4）と同様である。

### 6.7 試料保管

内容は大気モニタでの手順（4.5）と同様である。

## 解説

Blank Paper

## 解説 A 大気モニタの測定範囲

緊急時補足参考資料では、大気モニタの測定範囲として、全 $\alpha$ 放射能濃度として10 Bq/m<sup>3</sup>以上を、全 $\beta$ 放射能濃度として100~100,000 Bq/m<sup>3</sup>を測定できることが必要としている。また、100,000 Bq/m<sup>3</sup>を超えた場合でも、当該濃度以上の放射性プルームが存在することを確認できることが求められている。

緊急時において高濃度の放射性プルームが流れてくると、大気モニタの検出器に入射する、捕集した大気浮遊じんからの放射線の数が増大し、検出器の飽和による数え落とし等が起こることが懸念される。

1 inch $\phi$ プラスチックシンチレーション検出器を使用した大気モニタを想定し、仮に検出器の分解時間を10  $\mu$ secと仮定して、数え落としの割合を評価した例を図A-1に示す。上限である100,000 Bq/m<sup>3</sup>の全 $\beta$ 放射能濃度における数え落としの割合は約11%である。ただし、図A-1は10分間の集じんを想定した評価例であるため、1時間の集じんではこれよりも数え落としの割合が大きくなることについて留意する必要がある。

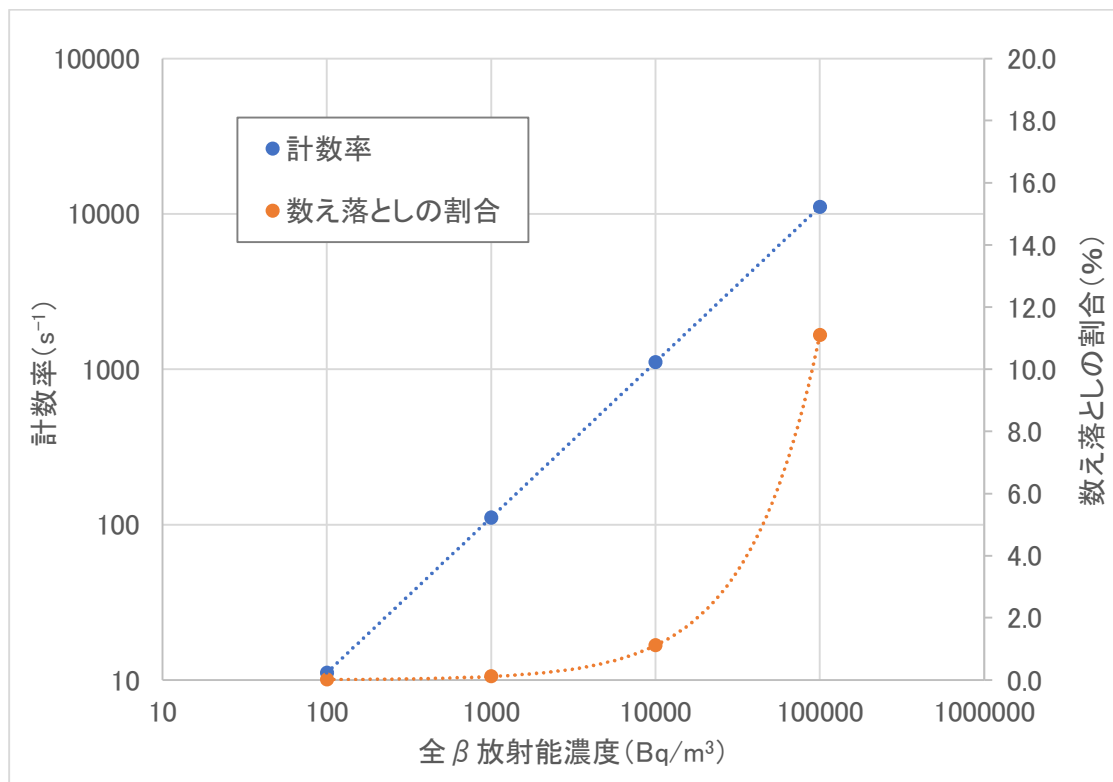


図 A-1 大気モニタにおける数え落としの割合の評価例  
(1 inch $\phi$ プラスチックシンチレーション検出器)

### <測定条件>

- ・計数効率：0.23
- ・捕集効率：0.99
- ・平均流量：50 L/min
- ・集じん時間：10 分間
- ・測定時間：10 分間

## 解説 B 東京電力福島第一原子力発電所事故の影響評価例

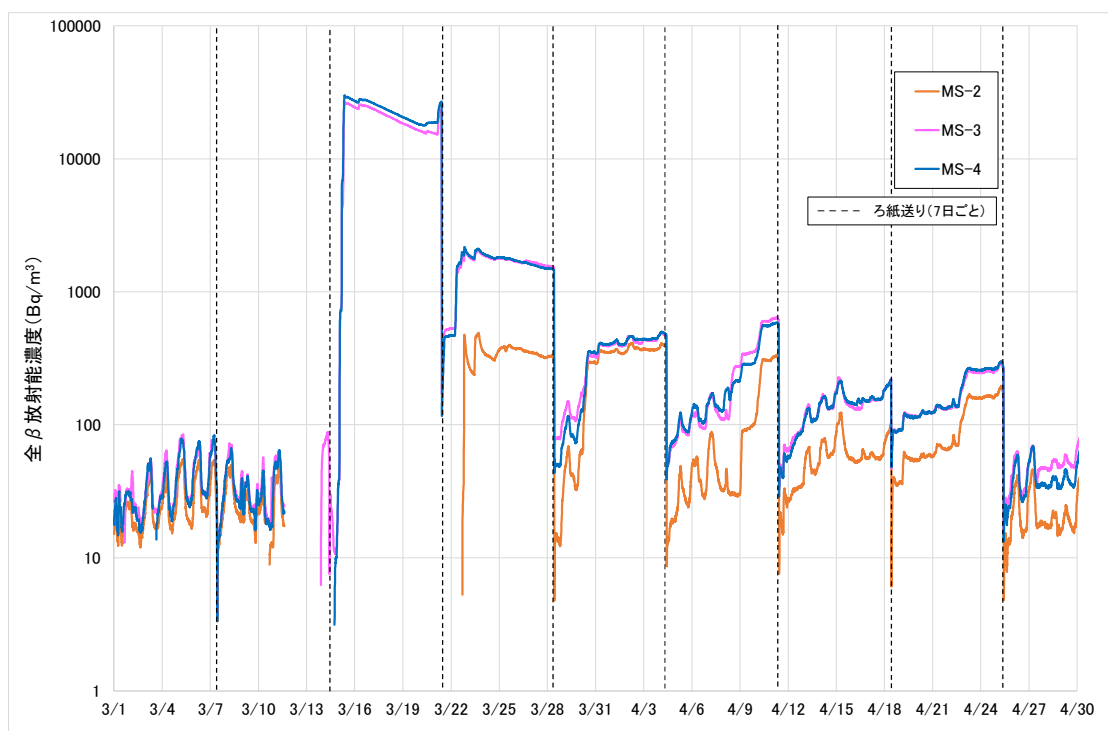
2011年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故による放射性物質の放出により、大気中放射性物質濃度の上昇が見られた。ここでは、その観測例や影響評価例を示す。

### (1) ダストモニタによる連続測定例

福島県内で連続測定していたダストモニタは、地震による停電の影響により、2011年3月の測定データを取得することができなかったが、福島第一原子力発電所から約120 kmの距離にある茨城県東海村で連続測定していたダストモニタは、事故に伴う大気中放射性物質濃度の上昇を観測した(図B-1)。

3月15日未明に放射性プルームの影響により全 $\beta$ 放射能濃度が大きく上昇した。3月11日の地震発生直後は停電により測定できていないが、MS-3及びMS-4については3月15日の放射性プルーム到達前に復旧し、MS-2については3月22日に復旧した。

その後、全 $\beta$ 放射能濃度は徐々に下降し、4月末頃には自然放射性物質による変動を観察できる水準まで低下し、9月頃に概ね年間の変動も考慮した上での元的水準に戻った。

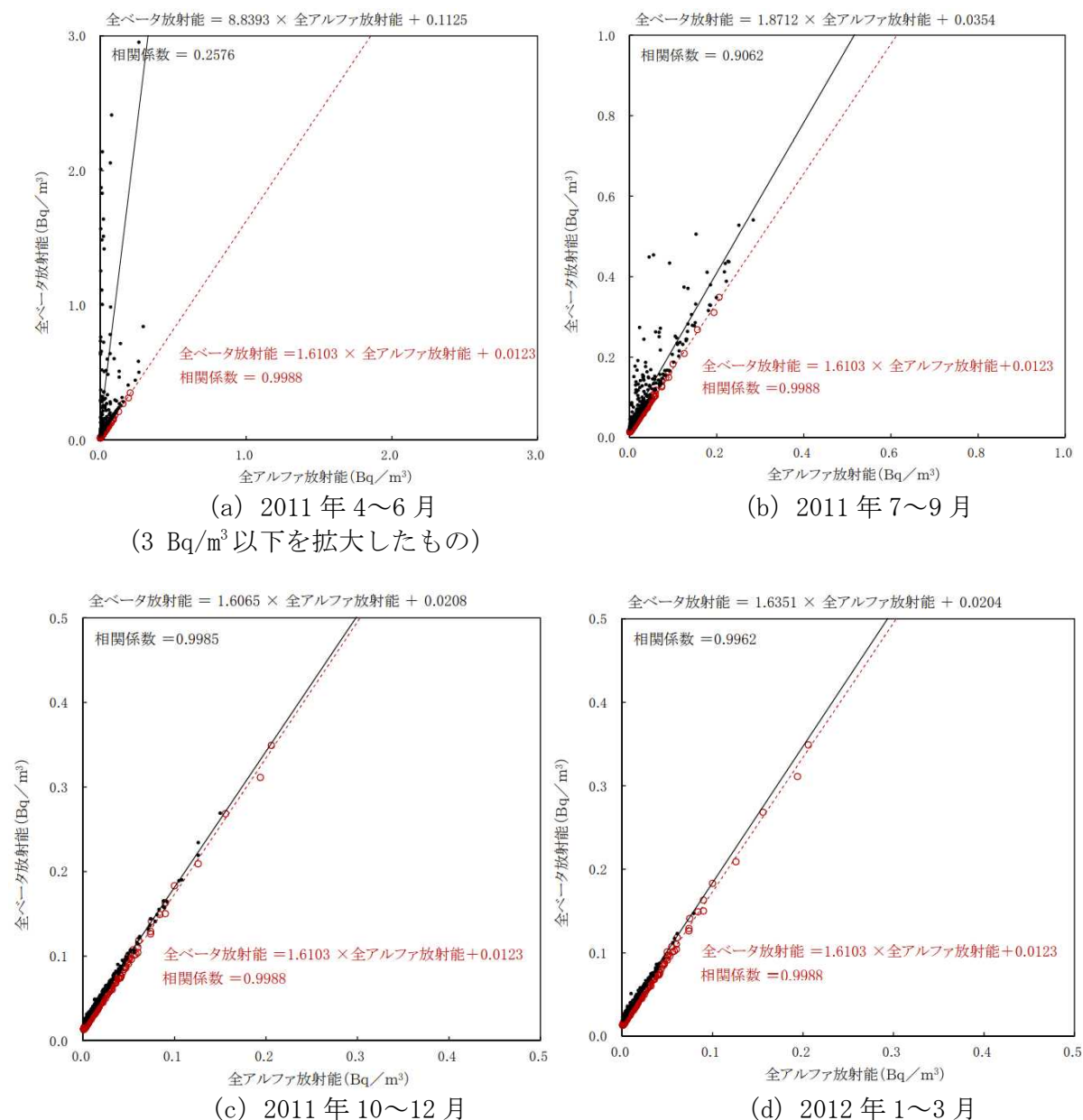


図B-1 東京電力福島第一原子力発電所事故時(2011年3月~4月)の茨城県内における全 $\beta$ 放射能濃度の経時変化 [23]

(MS-2、MS-3、MS-4は局舎の名称を示しており、それぞれの間の距離は2~3 km程度である。セルロースろ紙上に大気浮遊じんを1週間連続採取し、プラスチックシンチレーション検出器で測定している。)

福島県内におけるダストモニタの測定は2011年4月頃に再開した。2011年4月から2012年3月までの福島県楡葉町におけるダストモニタにおける全 $\alpha$ 放射能濃度と全 $\beta$ 放射能濃度の相関の推移を図B-2に示す。

時間の経過とともに、事故前の傾きに近くなり、相関も良くなっていることが確認された。2011年10月には事故前とほぼ同等の観測結果になった。



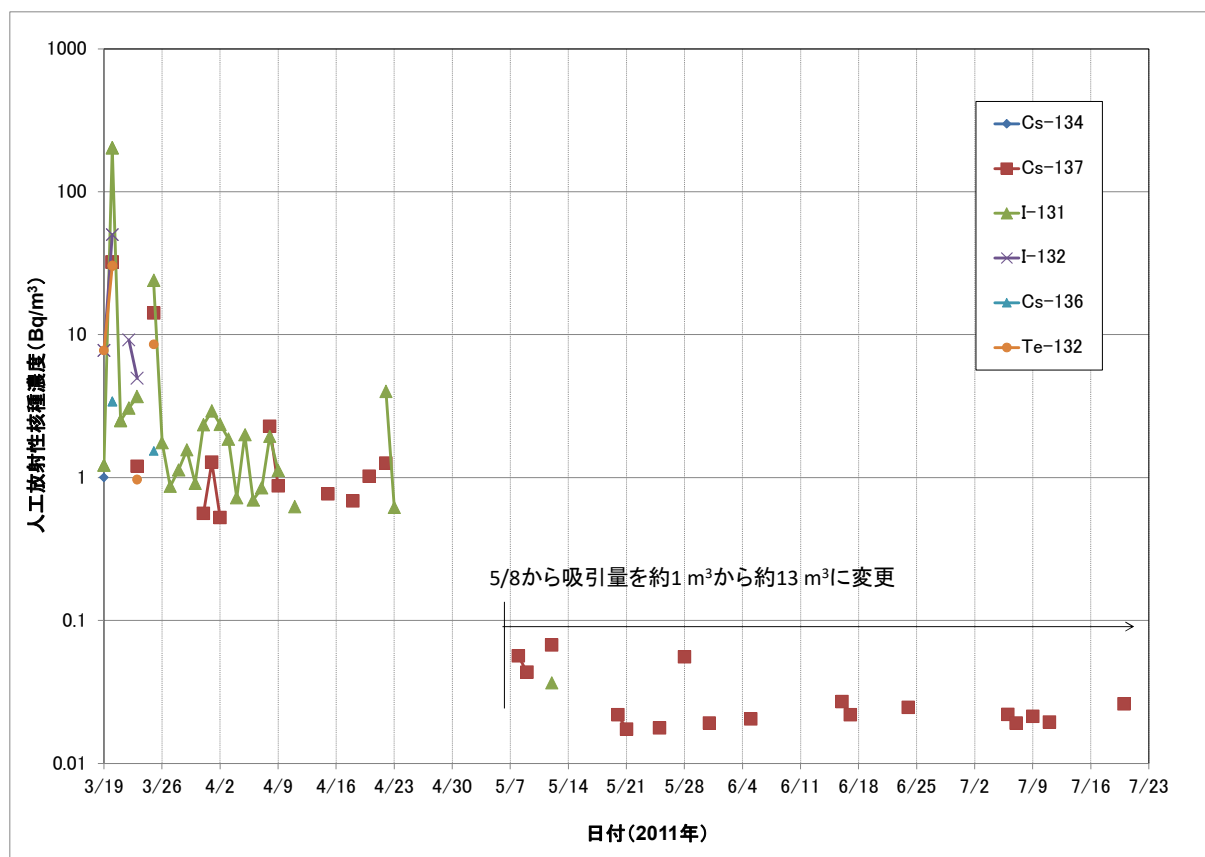
黒（プロット及び近似直線）：各期間のデータ (a) 2011年4月14日～6月30日  
 (b) 2011年7月1日～9月30日  
 (c) 2011年10月1日～12月31日  
 (d) 2012年1月1日～3月31日  
 赤（プロット及び近似直線）：2011年1月～3月10日のデータ

図B-2 東京電力福島第一原子力発電所事故後の福島県内における全 $\alpha$ 放射能濃度と全 $\beta$ 放射能濃度の相関の推移 [24]

(2) ダストサンプラで採取した大気浮遊じんの測定例

福島県福島市において採取した、大気浮遊じん中の人工放射性核種濃度の経時変化図を図B-3に示す。

2011年3月中においては、Cs-134、Cs-137、I-131、I-132、Cs-136、Te-132が検出された。5月下旬にはCs-137のみの検出となり、その放射性核種濃度は0.1 Bq/m<sup>3</sup>以下に減少した。



\* 測定は毎日実施し、検出したデータのみプロットしている。4/24～5/7は全て不検出である。

採取方法：ダストサンプラを地上約1メートルの高さに設置して1日1回採取

大気捕集材：セルロース・ガラス繊維ろ紙(HE-40T) + 活性炭カートリッジ(CHC-50-A10)

吸引量：1 m<sup>3</sup> (3/19～5/8)、約13 m<sup>3</sup> (5/8～)

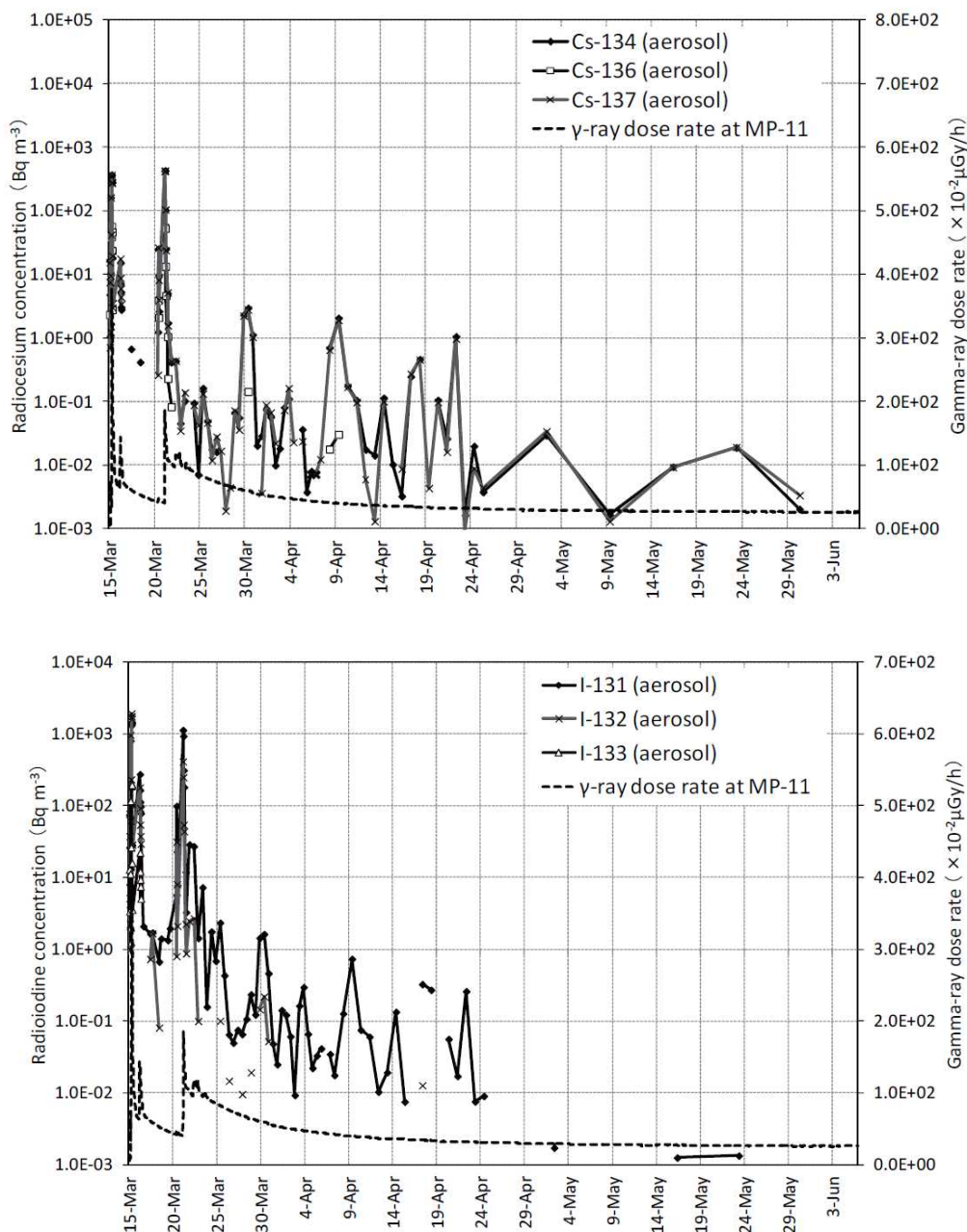
図B-3 福島県内で採取した大気浮遊じん中の人工放射性核種濃度の経時変化 [25]

茨城県東海村において採取した大気浮遊じん中の人工放射性核種濃度のうち、放射性セシウム及び放射性ヨウ素（粒子状）の経時変化図を図B-4に示す。

2011年3月中においては、Cs-134、Cs-136、Cs-137、I-131、I-132、I-133、Te-132、Te-129m、Te-129、Tc-99m、Xe-133が検出された。



Cs-134 及び Cs-137 の放射性核種濃度は、両核種とも最大値で 426 Bq/m<sup>3</sup> を観測したが、4 月下旬には 0.1 Bq/m<sup>3</sup> 以下に減少した。I-131 の放射性核種濃度は、最大値で 1430 Bq/m<sup>3</sup> を観測したが、4 月下旬にはほとんど検出されなくなった。



\* 検出したデータのみプロットしている。

\* モニタリングポスト (MP-11) の空間放射線量率を同時にプロットしている。

採取方法：モニタリングカーやモニタリング局舎に整備しているダストサンプラ（地上約 1 メートルの高さ）による採取

大気捕集材：セルロース・ガラス繊維ろ紙(HE-40TA)

吸引量：1 m<sup>3</sup> (3/15～3/21)、約 35 m<sup>3</sup> (3/21～4/7)、約 70 m<sup>3</sup> (4/7～4/25)、  
約 500 m<sup>3</sup> (4/25～6/6)

図 B-4 茨城県内で採取した大気浮遊じん中の人工放射性核種濃度の経時変化  
(上図：放射性セシウム、下図：放射性ヨウ素（粒子状）) [26]

福島県の避難指示区域内外で、大気中の Cs-137 放射能濃度を評価した例を図 B-5 に示す。避難指示区域内における事故後 2 年までのデータの 88 % は不検出（短い測定時間と少ない供試量のため）であったため、検出された 12 % のデータを示している。

大気中の Cs-137 放射能濃度は、避難指示区域内において事故後 2 年までは  $10^{-1} \sim 10^0$  Bq/m<sup>3</sup> の範囲であり、2 年後以降は  $10^{-4} \sim 10^{-1}$  Bq/m<sup>3</sup> の範囲であった。

避難指示区域外においては、事故後 5 年以降において、周辺における除染作業によるものと思われる大気中の Cs-137 放射能濃度の減少が見られた。

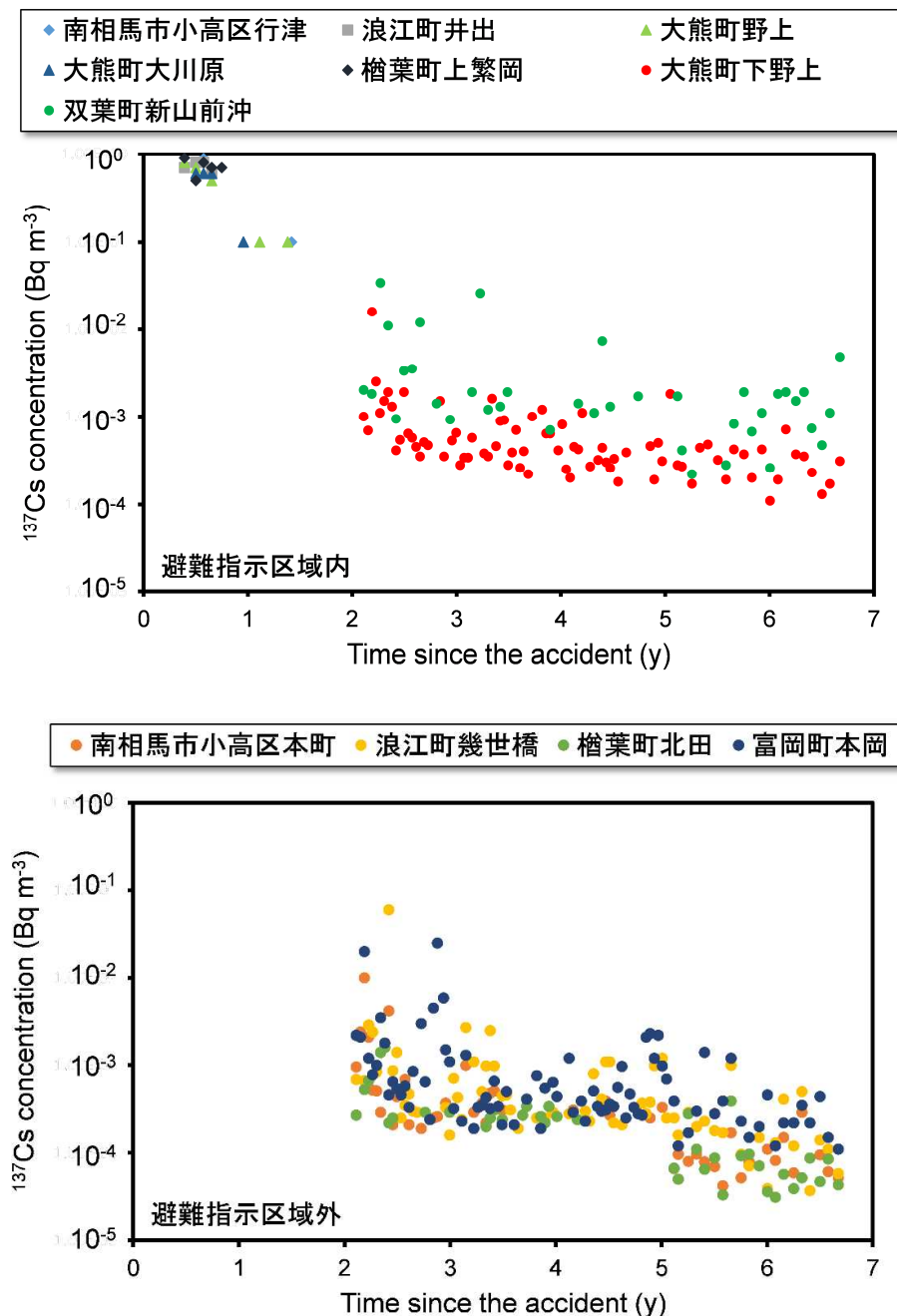


図 B-5 大気浮遊じん中の Cs-137 放射能濃度の経時変化（[27]の図を一部編集）

上：避難指示区域内、下：避難指示区域外  
 (○：都市部、△：森林、□：草地、◇：水田)

第 1 部、第 2 部共通

Blank Paper

## 目 次

### 第 1 部、第 2 部共通

参考.....	183
参考 A  大気捕集材の特性 .....	185
参考 B  ダストモニタの比較測定 .....	188
参考 C $\gamma$ 線波高スペクトルによる大気中放射性物質濃度の評価方法 .....	190
付録.....	203
付録 A  用語の解説 .....	205
参考文献.....	208

Blank Paper

## 参 考

Blank Paper



## 参考 A 大気捕集材の特性

大気試料の採取は、大気中放射性物質濃度を測定するため、放射性物質の種類、物理的・化学的な性状及び測定方法等を考慮して、適切な方法を選択しなければならない。

ここに、放射性物質の性状と試料採取方法等の関係を、粒子状及びガス状（揮発性物質）に区分して、表参 A-1 に示す。

表参 A-1 放射性物質の性状と試料採取法等の関係

放射性物質の性状	試料採取方法	捕集材	主要核種	計測方法
粒子状	ろ過捕集	・セルロース、 ガラス繊維ろ紙 ・メンブレンろ紙	Cs-137, U, Pu	・全 $\alpha$ 、全 $\beta$ 、全 $\gamma$ 計測 ・ $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 線スペクトル分析
ガス状 (揮発性物質)	固体捕集	・活性炭含浸ろ紙 ・活性炭カートリッジ ・活性炭素繊維ろ紙	I-131, I-132, I-133	・全 $\beta$ 、全 $\gamma$ 計測 ・ $\gamma$ 線スペクトル分析

大気試料の採取においては、表参 A-1 の放射性物質の性状等を考慮して、適切な大気捕集材を選択する必要がある。

大気浮遊じんは粒子状物質であり、ろ過捕集法を用いて、一般にはセルロース・ガラス繊維ろ紙が広く利用されている。形状には、丸型、角型及びロール状がある。

### (1) 大気浮遊じん捕集用ろ紙

大気浮遊じん捕集用ろ紙の種類は、セルロース・ガラス繊維ろ紙、メンブレンろ紙等がある。ろ紙を選択する場合の要素は、捕集効率、圧力損失、物理的強度等であり、特に、捕集効率は試料の粒径及び通気速度によって大きな影響を受ける。

大気浮遊じん捕集用ろ紙としては、セルロース・ガラス繊維ろ紙が広く使用されている。現在代表的に使用されているセルロース・ガラス繊維ろ紙のメーカーカタログ値は、捕集効率が通気速度 57～141 cm/s の範囲内において 99.5 %以上、圧力損失は通気速度 5 cm/s のとき 0.27 kPa であり、丸型及びロール状と多くの寸法のもので市販されている。

しかし、セルロース・ガラス繊維ろ紙には粒径 0.1  $\mu\text{m}$  以下の捕集効率が必ずしも十分でない製品があることが報告[28]されており、粒径 0.1  $\mu\text{m}$  以下の粒子が支配的な環境において採取する場合には、注意が必要である。圧力損失は大きくなるが、サブミクロン領域での捕集効率を改善したセルロース・ガラス繊維ろ紙も開発されている。

表参 A-2 にセルロース・ガラス繊維ろ紙の特性例を示す。

表参 A-2 セルロース・ガラス繊維ろ紙の特性例

項 目		製品①	製品②
重量 (g/m <sup>2</sup> )		145	120
紙厚 (m/m)		0.41	0.40
透気度 (sec/cm $\phi$ )		12	19
引張強度 (kg/15 mm 幅)		4.5	3.0
繊維組成 (%)	セルロース : ガラス	80 : 20	70 : 30
繊維径 ( $\mu$ m)	セルロース/ガラス	20~25/0.8	20~25/0.6
最小捕集効率 (%)	DOP* 0.07 $\mu$ m 面速度 20~130 cm/s	43~57	87~92
	NaCl 0.075 $\mu$ m 面速度 40~60 cm/s	70	93
相対圧力損失	面速度 30~130 cm/s	1.0	1.2

\* ジオクチルフタレート

大気中放射性物質濃度の測定を行い、内部被ばくの評価に資するためのモニタリングを行う場合、セルロース・ガラス繊維ろ紙は、実用的には十分な性能を持っていると考えられる。

しかし、 $\alpha$ 線放出核種を対象として捕集、測定する場合は、ろ材の中に粒子が入り込んで計数できない等の可能性があり、必要に応じて補正を考慮する必要がある。また、ろ紙に水分が付着した場合、又は水分を含んでしまった場合にも、同様に $\alpha$ 線の計数が減少するので留意が必要である。

## (2) $\alpha$ 粒子捕集用ろ紙

$\alpha$ 線放出核種の直接測定においては、ろ紙の表面捕集率\*が重要な要素である。

国内で利用可能な多くの種類のろ紙について表面捕集性能及び圧力損失の比較が報告されている[29]。その報告例を表参 A-3 に示す。

メンブレンろ紙の中で、ろ紙の裏側を補強した PTFE (四フッ化エチレン樹脂) 型には、高い表面捕集率と低い圧力損失の製品があり、 $\alpha$ 線ダストモニタでの使用に適している。

\* ろ紙に捕集された粒子のうち、ろ紙の表面付近で捕らえられた粒子の割合

表参 A-3  $\alpha$  粒子捕集用ろ紙の特性例

ろ紙の種類	表面捕集効率 (%) *1	相対圧力損失*2
セルロース・ガラス繊維 製品① (Glass 20 %, Cellulose 80 %) 製品② (Glass 30 %, Cellulose 70 %)	45±0.9 56	0.17 0.20
ガラス繊維 製品① 製品② 製品③	65±1.5 56±0.3 94	0.26 0.11 1.4
シリカ繊維 製品①	76±1.6	0.48
メンブレン(セルロース混合エステル) 製品① (0.8 $\mu$ m pore size) 製品② (0.8 $\mu$ m pore size) 製品③ (1.0 $\mu$ m pore size) 製品④ (5.0 $\mu$ m pore size)	94±0.7 95 90 79	1 1.2 0.76 0.42
メンブレン(PTFE 型) 製品① (0.8 $\mu$ m pore size) 製品② (1.0 $\mu$ m pore size) 製品③ (3.0 $\mu$ m pore size)	97±1.9 98 87	2.1 1.5 0.5
メンブレン(裏側を補強した PTFE 型) 製品① (1.0 $\mu$ m pore size) 製品② (3.0 $\mu$ m pore size) 製品③ (3.0 $\mu$ m pore size)	99 99 95	0.63 0.31 0.28
プレフィルター 製品① 製品② 製品③ 製品④	98 82 69 91	1.8 0.83 0.27 0.54

\*1 トロン壊変生成物の  $\alpha$  線スペクトルの広がり具合から評価した値

\*2 メンブレン(セルロース混合エステル) 製品①を基準として求めた値  
(面速度 50cm/sec)

[放射能測定法シリーズ技術参考資料 1]を一部編集

## 参考 B ダストモニタの比較測定

### (1) 比較測定方法

仕様の異なる 2 台以上のダストモニタを用いて、同一地点及び同一時刻において比較測定を実施した。2 台のダストモニタの仕様を表参 B-1 に示す。

表参 B-1 比較測定に用いたダストモニタの仕様

項目	ダストモニタ①	ダストモニタ②
大気捕集材	メンブレンろ紙	セルロース・ガラス繊維ろ紙
流量	約 35 L/min (2 m <sup>3</sup> /h)	約 200 L/min (12 m <sup>3</sup> /h)
検出器	2 重シリコン半導体検出器 (PIPS)	ZnS (Ag) + プラスチックシンチレーション検出器
外部放射線の影響除去	$\alpha/\beta$ 吸収体 (Cu 板) による遮へい、 $\gamma$ 線バックグラウンド補償用検出器による補正 (外部・ろ紙からの $\gamma$ 線)	鉛遮へい (約 3 cm)
核種弁別	ラドン・トロンに起因するスペクトルを解析し、その影響量を補正	無し
データ間隔	2 分	2 分
記録情報	流量 (m <sup>3</sup> /h)、積算流量 (m <sup>3</sup> )、全 $\alpha$ 及び $\beta$ 放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> ) と計数率 (s <sup>-1</sup> ) (ラドン・トロン補正データ)、ラドン放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )、トロン放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> ) 等	流量 (m <sup>3</sup> /h)、積算流量 (m <sup>3</sup> )、積算時間 (s)、全 $\alpha$ 放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )、全 $\beta$ 放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )、計数率 (s <sup>-1</sup> ) 等

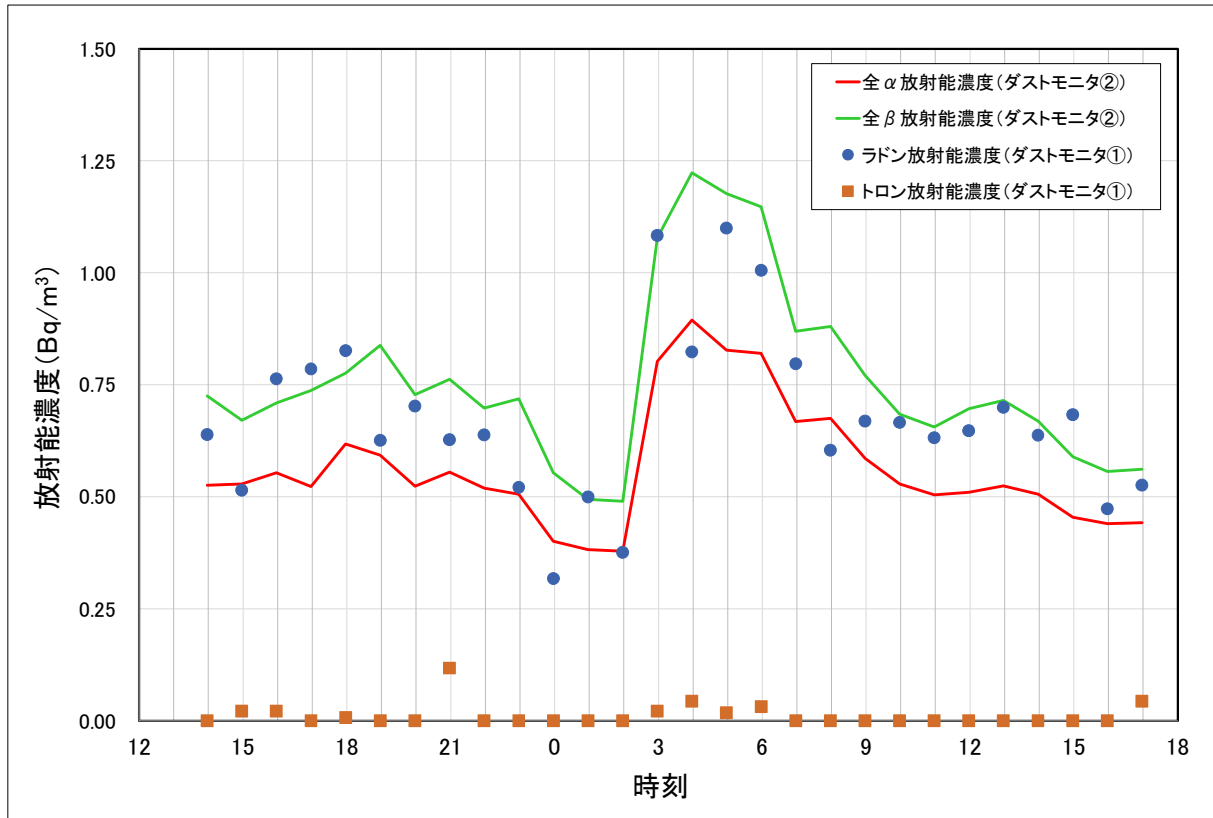


図参 B-1 比較測定に使用したダストモニタ  
(左：ダストモニタ①、右：ダストモニタ②)

## (2) 比較測定結果

ダストモニタ①は、自然放射性物質（ラドン及びトロン）による寄与を差し引いた全 $\alpha$ 及び全 $\beta$ 放射能濃度しか出力できないため、ラドン及びトロン放射能濃度の測定値を比較に用いた。ダストモニタ②は、全 $\alpha$ 及び全 $\beta$ 放射能濃度を比較に用いた。

比較測定結果を図参 B-2 に示す。ダストモニタ①のラドン放射能濃度と、ダストモニタ②の全 $\alpha$ 放射能濃度及び全 $\beta$ 放射能濃度の変化傾向は良い一致を示した。ダストモニタ①のトロン放射能濃度の最大値は、ラドン放射能濃度の最大値の10分の1程度であり、ダストモニタ②の全 $\alpha$ 放射能濃度及び全 $\beta$ 放射能濃度にほとんど寄与していないことが考えられた。



図参 B-2 ダストモニタの比較測定結果

## 参考C $\gamma$ 線波高スペクトルによる大気中放射性物質濃度の評価方法

空間放射線量率を測定するモニタリングポスト、可搬型ゲルマニウム半導体検出器、ダストモニタ等から得られた  $\gamma$  線波高スペクトルを用いて、大気中放射性物質の濃度を評価する方法及び事例を記載する。

ここで記載する手法を用いることにより、実測が困難な放射性ヨウ素等の短半減期核種や希ガスの大気中放射能濃度を推定することも可能である。

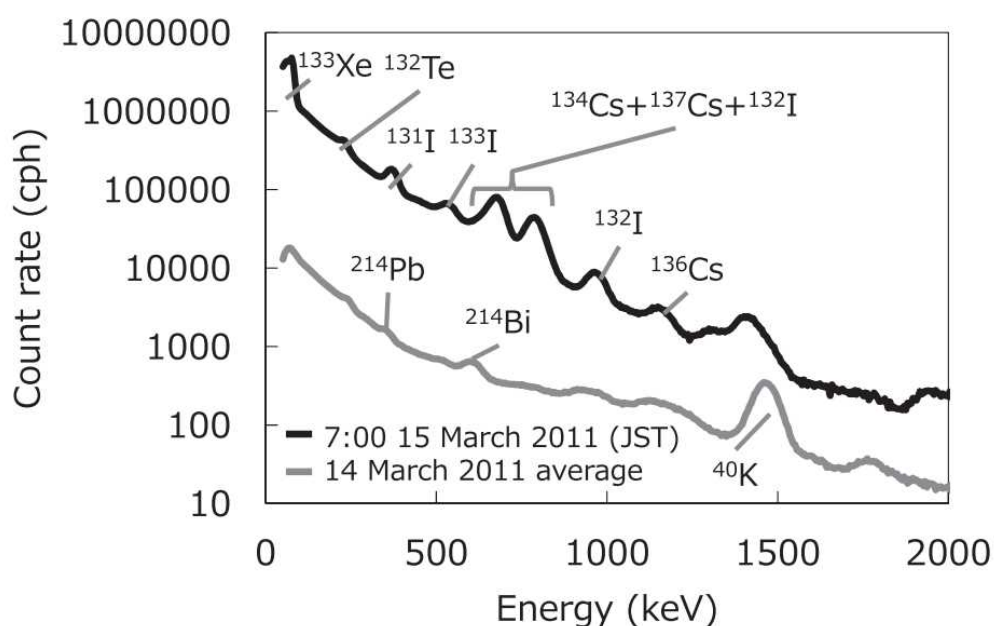
また、大気中の線源を対象とした測定では、広い空間に分布した線源からの  $\gamma$  線を測定するために、測定地点周辺の放射性核種の平均濃度を評価できるという特徴がある。

### (1) モニタリングポストの波高スペクトルを用いた評価

Terasaka ら、Moriizumi らは、福島第一原子力発電所事故時に茨城県内の NaI(Tl) シンチレーション検出器を用いたモニタリングポストで観測された波高スペクトル (図参 C-1) を用いて、放射性核種ごとに解析するためのピーク領域 (表参 C-1) を設定し、モンテカルロシミュレーションにより、それぞれの放射性核種の大気中放射能濃度を推定した。図参 C-2~図参 C-4 に評価例を示した。

複数の放射性核種の大気中放射能濃度が評価され、図参 C-2 のように放射性ヨウ素等の実測値とも良い一致を示している。

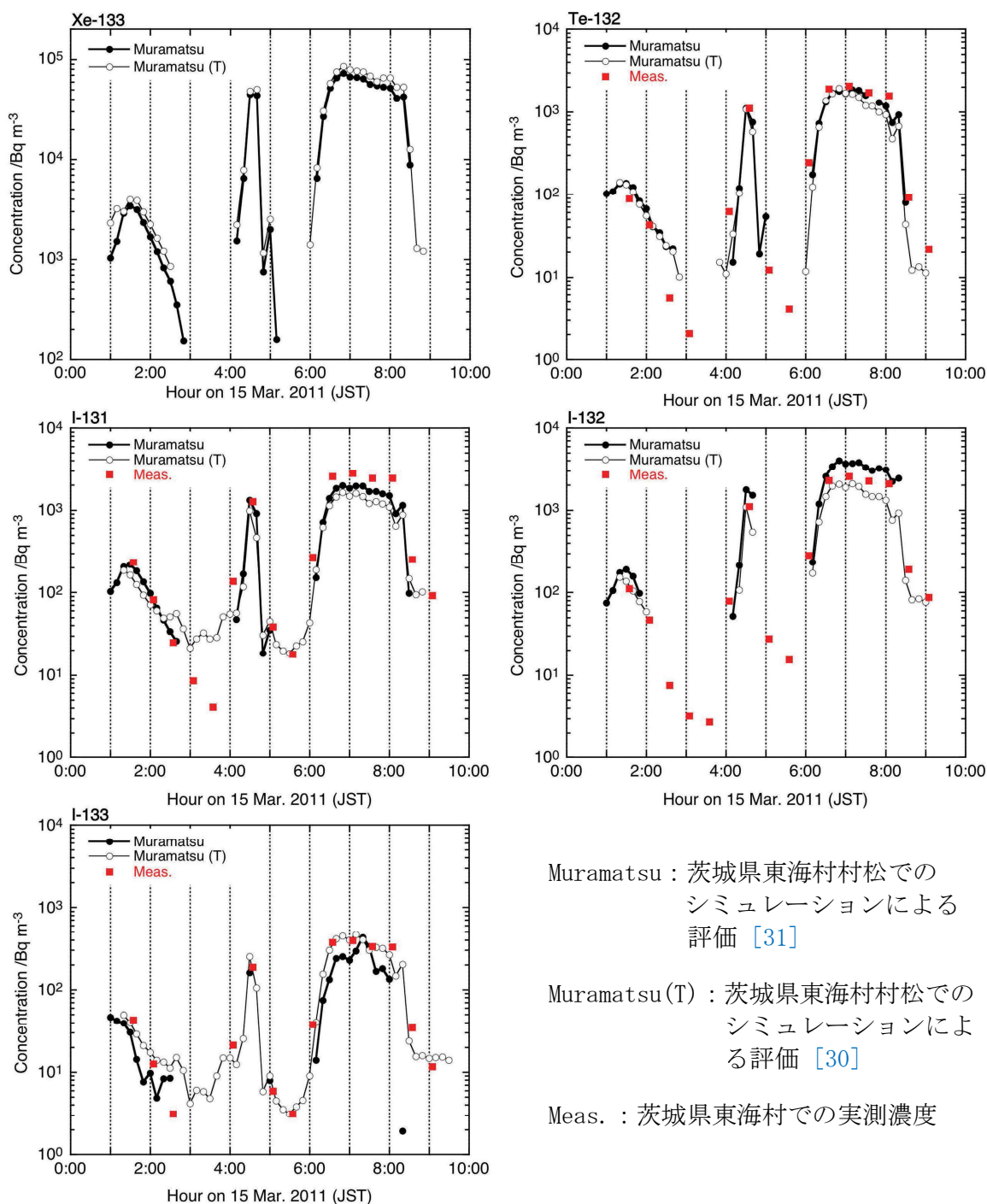
ただし、本手法の適用は、NaI(Tl) シンチレーション検出器の波高スペクトルが適切に取得できることが前提であり、緊急時における高い空間放射線量率の場合には計数の数え落とし等により評価できない可能性がある。



図参 C-1 茨城県内のモニタリングポストで観測された波高スペクトル [30]

表参 C-1 解析に用いた放射性核種とエネルギー範囲 [30]

Energy range (keV)	Radionuclides
70-90	$^{133}\text{Xe}$
210-250	$^{132}\text{Te}$
340-390	$^{131}\text{I}, ^{136}\text{Cs}$
500-560	$^{133}\text{I}, ^{132}\text{I}$
630-700	$^{137}\text{Cs}, ^{131}\text{I}, ^{132}\text{I}$
760-840	$^{134}\text{Cs}, ^{132}\text{I}, ^{136}\text{Cs}$
900-1000	$^{132}\text{I}$
1020-1080	$^{136}\text{Cs}$



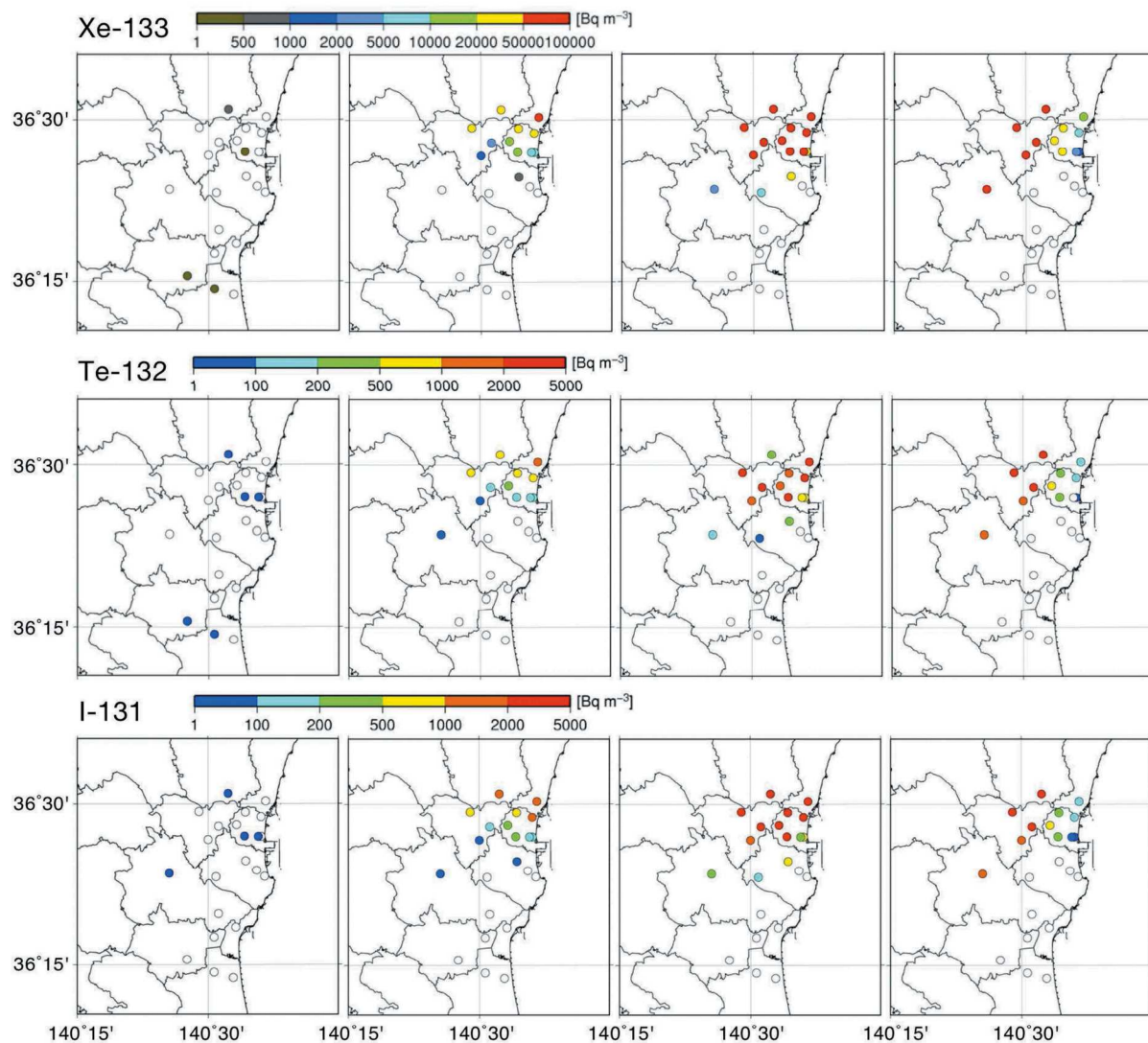
Muramatsu : 茨城県東海村村松でのシミュレーションによる評価 [31]

Muramatsu(T) : 茨城県東海村村松でのシミュレーションによる評価 [30]

Meas. : 茨城県東海村での実測濃度

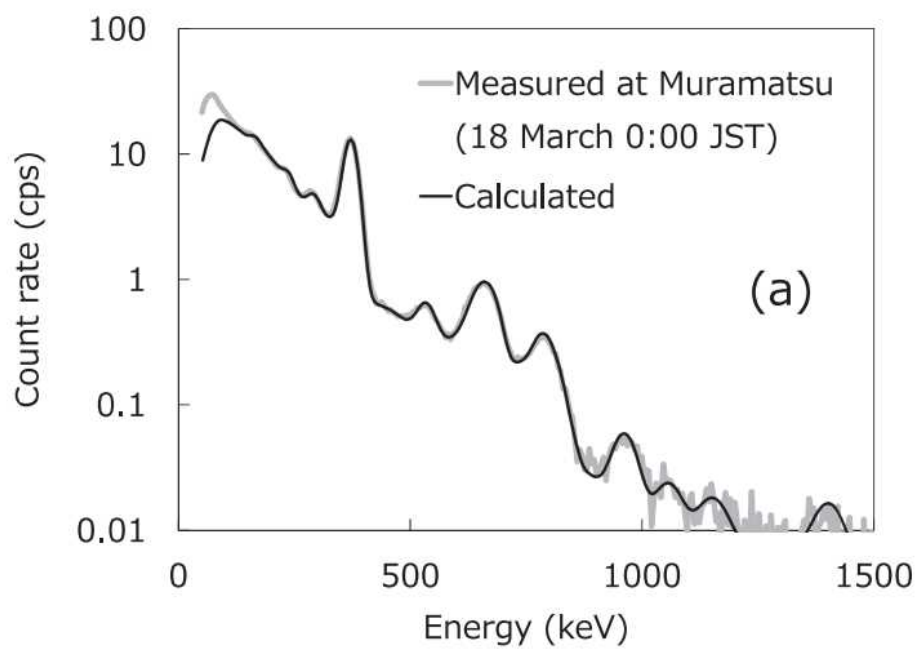
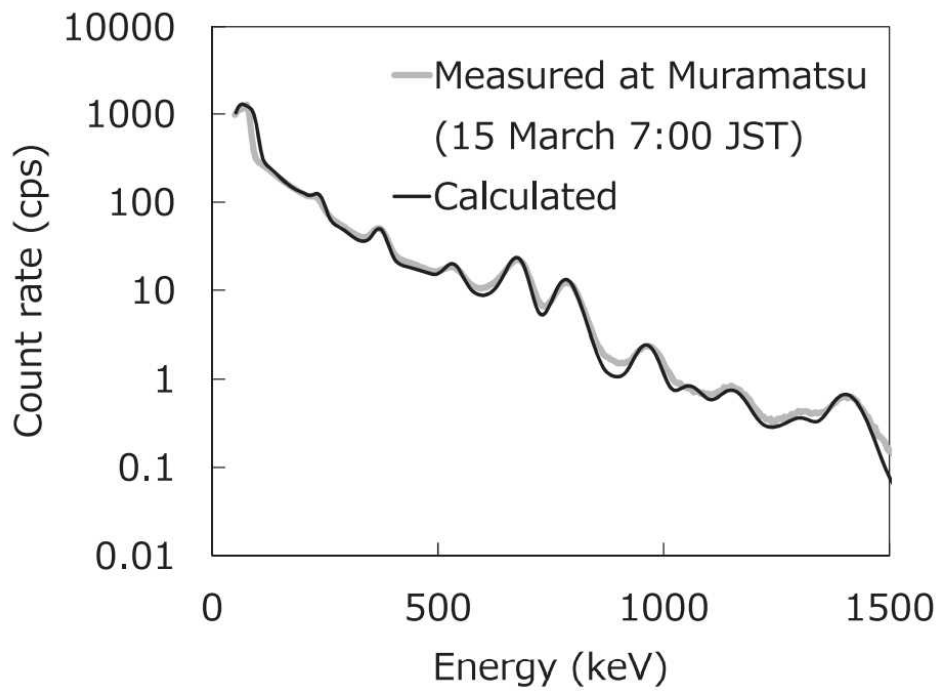
図参 C-2 シミュレーションで評価された大気中放射性核種濃度の時系列グラフ [31]

3:50 15 Mar. 2011 (JST) 4:20 15 Mar. 2011 (JST) 4:40 15 Mar. 2011 (JST) 5:00 15 Mar. 2011 (JST)



図参 C-3 シミュレーションで評価された大気中放射性核種濃度の分布図 [31]





図参 C-4 シミュレーションにより再構築された波高スペクトル [30]  
 (上：プルーム通過時、下：プルームの影響無し)

(2) 可搬型ゲルマニウム半導体検出器の波高スペクトルを用いた評価

可搬型ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定による  $\gamma$  線波高スペクトルから放射性核種ごとの大気中放射能濃度を評価することができる。

可搬型ゲルマニウム半導体検出器による測定方法及び各パラメータの説明については、放射能測定法シリーズ No. 33「ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法」を参照すること。

大気中に放射性核種が均一に存在すると仮定して、その放射性核種の大気中放射能濃度  $A$  ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) を、以下の式によって算出する。

$$A = N_f / \frac{N_f}{A}$$

$A$  : 大気中放射能濃度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )

$N_f$  : in-situ 測定におけるあるエネルギー  $E$  のピーク計数率 ( $\text{s}^{-1}$ )

$N_f/A$  : in-situ 測定における効率

$$\frac{N_f}{A} = \frac{N_0}{\phi} \cdot \frac{N_f}{N_0} \cdot \frac{\phi}{A}$$

$N_0$  : 検出器軸方向 ( $0^\circ$ ) から入射するエネルギー  $E$  の  $\gamma$  線によるピーク計数率 ( $\text{s}^{-1}$ )

$\phi$  : フルエンス率 ( $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

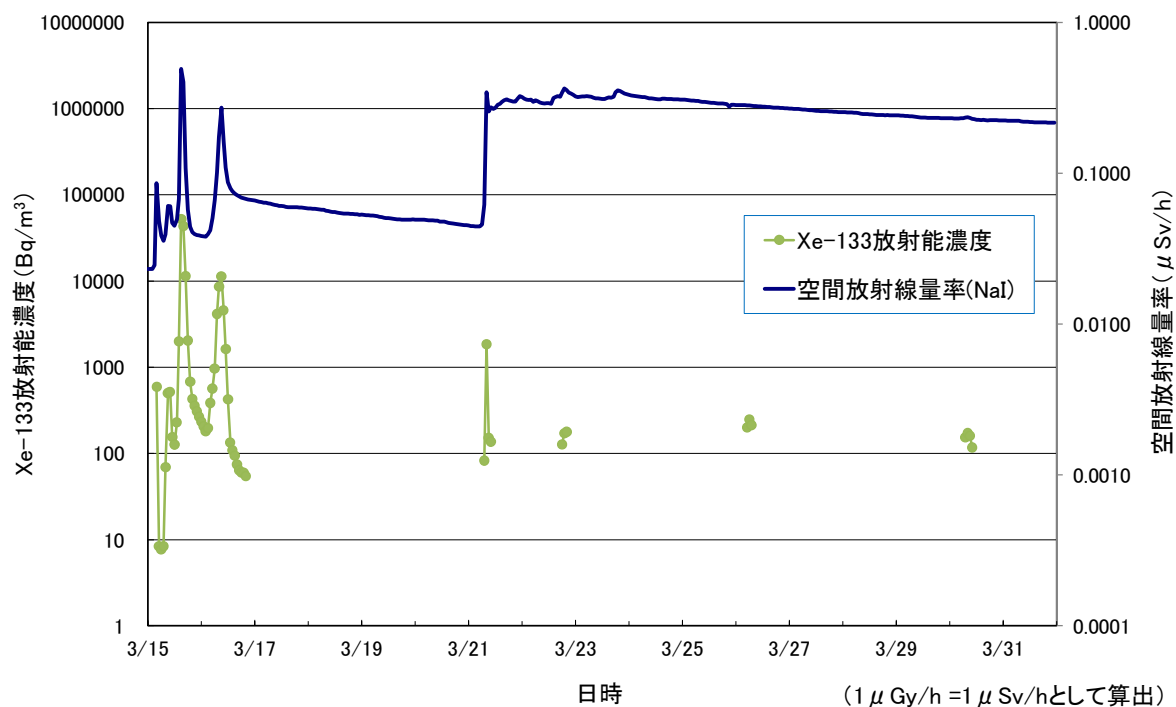
$N_0/\phi$ 、 $N_f/N_0$  は検出器固有の値である。 $\phi/A$  は放射性核種及び光子エネルギーに対応した表参 C-2 のパラメータを使用する。

この手法を用いて、2011 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所事故時に、千葉県千葉市において屋外で連続測定していた可搬型ゲルマニウム半導体検出器の波高スペクトルから、大気中の Xe-133 放射能濃度の経時変化を評価した例を図参 C-5 に示す。

3 月 15 日のモニタリングポストで測定された空間放射線量率の変化は、Xe-133 放射能濃度と同じ変化傾向を示しており、放射性プルームに含まれる Xe-133 が空間放射線量率の上昇に大きく寄与していることが確認された。

3 月 21 日の空間放射線量率の上昇は、降雨により大気中の放射性物質が地表面に沈着したことに起因しており、その際の Xe-133 放射能濃度は 3 月 15 日ほどの上昇は見られなかった。

粒子状で存在する放射性核種の大気中放射能濃度を評価する際には、地表面に沈着した放射性核種の影響を差し引くことが必要である。図参 C-5 の空間放射線量率には、事故時に放出された放射性セシウムや放射性ヨウ素等の放射性核種の寄与も含まれているが、大気中放射能濃度は適切に評価することが困難であったため示していない。



- \* Xe-133 は 1 時間値。プロットがない期間は不検出である。
- \* ゲルマニウム半導体検出器：地上約 1 m 高さに設置、相対効率約 25 %

図参 C-5 千葉県千葉市における大気中の Xe-133 放射能濃度 (2011 年 3 月) の評価例

表参 C-2 大気中放射性核種濃度と地上高 1 m での  $\gamma$  線フルエンス率との関係 [32]

				続き①			
エネルギー [keV]	核種	放出比 [s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	$\phi / A_v$ [m s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	エネルギー [keV]	核種	放出比 [s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	$\phi / A_v$ [m s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]
14.8	Cm-248	0.058	0.2	258.3	Xe-138	0.315	12.4
27.8	Te-129	0.156	2.1	277.6	Np-239	0.144	5.8
28.6	Xe-125	0.539	7.7	278.0	Te-134	0.209	8.5
30.6	Xe-133	0.083	1.3	295.2	Pb-214	0.192	7.9
31.0	Xe-133	0.155	2.5	304.9	Kr-85m	0.140	5.8
32.0	Ba-137m	0.059	1.0	312.1	Te-133	0.624	26.2
74.8	Pb-212	0.104	3.0	340.5	Cs-136	0.422	18.4
77.1	Pb-212	0.176	5.0	344.3	Eu-152	0.266	11.6
81.0	Xe-133	0.371	10.6	345.9	Hf-181	0.120	5.2
99.6	Np-239	0.157	4.7	351.9	Pb-214	0.369	16.2
103.8	Np-239	0.251	7.7	364.5	I-131	0.812	36.1
106.1	Np-239	0.272	8.3	375.0	Xe-127	0.172	7.7
122.1	Co-57	0.855	27.1	402.6	Kr-87	0.496	22.9
133.0	Hf-181	0.419	13.6	407.6	Te-133	0.271	12.6
136.5	Co-57	0.106	3.5	414.5	Sb-126m	0.857	40.0
140.5	Tc-99m	0.890	29.2	414.8	Sb-126	0.833	38.9
143.8	U-235	0.110	3.6	418.0	I-130	0.341	16.0
145.4	Ce-141	0.484	16.1	427.9	Sb-125	0.294	13.9
148.9	Xe-123	0.490	16.4	434.5	Xe-138	0.203	9.7
149.7	Te-131	0.689	23.1	435.1	Te-134	0.186	8.9
151.2	Kr-85m	0.755	25.3	452.3	Te-131	0.182	8.8
172.1	Xe-127	0.255	8.9	459.6	Te-129	0.074	3.6
185.7	U-235	0.572	20.3	461.0	Te-134	0.099	4.8
188.4	Xe-125	0.549	19.7	462.8	Cs-138	0.307	15.0
202.5	Y-90m	0.958	35.1	463.4	Sb-125	0.105	5.1
202.9	Xe-127	0.683	25.0	469.4	Ru-105	0.175	8.6
205.3	U-235	0.050	1.8	473.0	Sb-127	0.247	12.2
210.5	Te-134	0.223	8.2	477.6	Be-7	0.103	5.1
228.2	Np-239	0.113	4.3	479.5	W-187	0.253	12.5
228.2	Te-132	0.882	33.4	479.5	Y-90m	0.900	44.5
234.7	Nb-95m	0.261	10.0	482.0	Hf-181	0.830	41.1
238.6	Pb-212	0.434	16.7	487.0	La-140	0.459	22.8
241.9	Pb-214	0.075	2.9	497.1	Ru-103	0.889	44.6
243.4	Xe-125	0.288	11.2	507.7	Zr-97	0.053	2.7
249.8	Xe-135	0.901	35.2	511.0	Co-58	0.301	15.3

表参 C-2 続き②

エネルギー [keV]	核種	放出比 [s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	$\phi/A_v$ [m s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]
511.0	Na-22	1.810	91.8
511.0	Xe-123	0.450	22.8
511.9	Rh-106	0.207	10.5
514.0	Kr-85	0.004	0.2
526.6	Xe-135m	0.812	41.7
529.9	I-133	0.863	44.4
536.1	I-130	0.990	51.2
537.3	Ba-140	0.244	12.6
544.7	Sb-129	0.179	9.3
550.3	Pm-148	0.220	11.5
550.3	Pm-148m	0.944	49.4
551.5	W-187	0.059	3.1
555.6	Y-91m	0.949	49.8
569.3	Cs-134	0.150	8.0
583.2	Tl-208	0.851	45.6
590.3	Sr-93	0.328	17.6
590.9	Mo-101	0.164	8.8
600.6	Sb-125	0.178	9.6
602.7	Sb-124	0.979	53.2
604.6	Cs-134	0.975	53.0
606.6	Sb-125	0.050	2.7
609.3	Bi-214	0.469	25.6
610.3	Ru-103	0.056	3.1
618.4	W-187	0.073	4.0
621.8	Rh-106	0.098	5.4
630.0	Pm-148m	0.866	49.0
635.9	Sb-125	0.113	6.3
637.0	I-131	0.073	4.1
641.3	La-142	0.474	26.4
642.3	Sb-131	0.220	12.3
647.5	Te-133m	0.194	10.9
652.9	Sr-91	0.080	4.5
657.7	Ag-110m	0.947	53.4
657.9	Nb-97	0.983	55.4
661.6	Ba-137m	0.899	50.8
664.5	Ce-143	0.053	3.0
666.1	Sb-126m	0.857	48.5

続き③

エネルギー [keV]	核種	放出比 [s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	$\phi/A_v$ [m s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]
666.3	Sb-126	0.997	56.5
667.7	T-132	0.987	56.0
668.5	I-130	0.961	54.5
676.4	Ru-105	0.157	8.9
685.7	Sb-127	0.353	20.2
685.8	W-187	0.316	18.1
694.8	Sb-126m	0.823	47.4
695.0	Sb-126	0.997	57.5
697.0	Sb-126	0.289	16.7
710.4	Sr-93	0.213	12.4
719.7	Te-133	0.089	5.2
720.5	Sb-126	0.538	31.5
723.3	Eu-154	0.197	11.6
724.2	Zr-95	0.444	26.1
724.3	Ru-105	0.473	27.8
725.7	Pm-148m	0.327	19.2
727.2	Bi-212	0.068	4.0
739.5	Mo-99	0.112	7.2
739.5	I-130	0.823	48.7
742.6	Te-134	0.151	9.0
749.8	Sr-91	0.236	14.1
756.7	Zr-95	0.549	32.9
763.9	Ag-110m	0.224	13.5
765.8	Nb-95	1.000	60.2
767.2	Te-134	0.290	17.5
772.6	I-132	0.762	46.0
773.7	Te-131m	0.382	23.1
778.9	Eu-152	0.130	7.9
783.7	Sb-127	0.145	8.8
793.8	Te-131m	0.139	8.5
795.8	Cs-134	0.851	52.1
810.8	Co-58	0.994	61.4
811.8	Eu-156	0.103	6.4
812.8	Sb-129	0.430	26.6
815.8	La-140	0.236	14.6
818.5	Cs-136	0.997	61.8
834.8	Mn-54	1.000	62.6

表参 C-2 続き④

エネルギー [keV]	核種	放出比 [s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	$\phi/A_v$ [m s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]
834.8	Kr-88	0.130	8.1
845.4	Kr-87	0.073	4.6
846.8	Mn-56	0.989	62.3
846.8	Co-56	0.999	62.9
847.0	I-134	0.954	60.1
852.2	Te-131m	0.206	13.0
856.7	Sb-126	0.176	11.1
864.0	Te-133m	0.156	9.9
873.2	Eu-154	0.115	7.3
875.7	Sr-93	0.239	15.3
881.6	Br-84	0.420	26.9
884.1	I-134	0.649	41.7
884.7	Ag-110m	0.729	46.8
888.1	Sr-93	0.216	13.9
889.3	Sc-46	1.000	64.4
898.0	Rb-88	0.140	9.1
911.3	Ac-228	0.290	19.0
912.7	Te-133m	0.550	35.8
914.6	Sb-129	0.200	13.1
914.8	Te-133m	0.109	7.1
914.8	Pm-148	0.115	7.5
915.3	Pm-148m	0.171	11.2
933.1	Sb-131	0.246	16.2
937.5	Ag-110m	0.343	22.7
943.4	Sb-131	0.440	29.1
954.5	I-132	0.181	12.1
964.1	Eu-152	0.145	9.7
964.8	Ac-228	0.055	3.7
966.4	Sb-129	0.077	5.2
969.2	Ac-228	0.175	11.7
984.5	Np-238	0.278	18.8
996.3	Eu-154	0.103	7.0
1004.8	Eu-154	0.174	11.9
1009.8	Cs-138	0.298	20.4
1012.5	Mo-101	0.128	8.8
1013.8	Pm-148m	0.202	13.8
1024.3	Sr-91	0.334	23.0

続き⑤

エネルギー [keV]	核種	放出比 [s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	$\phi/A_v$ [m s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]
1025.9	Np-238	0.096	6.6
1028.5	Np-238	0.203	14.0
1030.1	Sb-129	0.126	8.7
1031.9	Rb-89	0.580	40.0
1038.8	I-135	0.080	5.5
1048.1	Cs-136	0.798	55.5
1072.6	I-134	0.150	10.5
1085.9	Eu-152	0.099	7.0
1099.2	Fe-59	0.565	40.2
1112.1	Eu-152	0.136	9.7
1115.5	Ni-65	0.148	10.6
1115.5	Zn-56	0.507	36.3
1120.3	Bi-214	0.155	11.1
1120.5	Sc-46	1.000	71.8
1121.3	Ta-182	0.349	25.1
1123.6	Sb-131	0.083	6.0
1125.5	Te-131m	0.114	8.2
1131.5	I-135	0.228	16.4
1153.5	Eu-156	0.071	5.2
1157.5	I-130	0.113	8.2
1173.2	Co-60	0.999	73.4
1189.0	Ta-182	0.164	12.1
1206.6	Te-131m	0.098	7.3
1221.4	Ta-182	0.273	20.5
1230.7	Eu-156	0.089	6.7
1231.0	Ta-182	0.116	8.7
1235.4	Cs-136	0.200	15.1
1238.3	Co-56	0.670	50.5
1242.4	Eu-156	0.067	5.1
1248.1	Rb-89	0.423	32.0
1260.4	I-135	0.289	22.0
1274.4	Eu-154	0.355	27.1
1274.5	Na-22	0.999	76.4
1291.6	Fe-59	0.432	33.3
1332.5	Co-60	1.000	78.2
1333.2	Te-133	0.107	8.4
1368.6	Na-24	1.000	79.3

表参 C-2 続き⑥

エネルギー [keV]	核種	放出比 [s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	$\phi/A_v$ [m s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]
1383.9	Sr-92	0.900	71.8
1384.3	Ag-110m	0.243	19.4
1408.0	Eu-152	0.209	16.8
1435.9	Cs-138	0.763	62.0
1457.6	I-135	0.087	7.1
1460.8	K-40	0.107	8.8
1465.1	Pm-148	0.222	18.2
1481.8	Ni-65	0.235	19.4
1505.0	Ag-110m	0.131	10.9
1529.8	Kr-88	0.109	9.1
1532.5	Mo-101	0.060	5.0
1596.2	La-140	0.954	81.7
1678.0	I-135	0.096	8.4
1691.0	Sb-124	0.488	43.1
1736.5	Sb-129	0.060	5.4
1764.5	Bi-214	0.162	14.6
1768.3	Xe-138	0.167	15.1
1771.4	Co-56	0.155	14.0
1791.2	I-135	0.078	7.1
1810.7	Mn-56	0.272	24.8
1836.0	Rb-88	0.214	19.7
1897.6	Br-84	0.147	13.8
1901.3	La-142	0.072	6.7
2004.8	Xe-138	0.054	5.2
2015.8	Xe-138	0.123	11.9
2032.1	Mo-101	0.069	6.7
2091.0	Sb-124	0.056	5.5
2113.0	Mn-56	0.143	14.2
2195.8	Kr-88	0.132	13.4
2195.9	Rb-89	0.133	13.5
2204.1	Bi-214	0.052	5.3
2218.0	Cs-138	0.152	15.5
2392.1	Kr-88	0.346	36.6
2397.8	La-142	0.133	14.1
2484.1	Br-84	0.067	7.2
2542.7	La-142	0.100	10.9
2554.8	Kr-87	0.092	10.1

続き⑦

エネルギー [keV]	核種	放出比 [s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]	$\phi/A_v$ [m s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> ]
2570.2	Rb-89	0.099	10.9
2598.6	Co-56	0.167	18.5
2614.5	Tl-208	0.999	110.7
2639.6	Cs-138	0.076	8.5
2754.0	Na-24	0.999	113.5
3253.5	Co-56	0.074	9.2
3927.5	Br-84	0.068	9.3

### (3) ダストモニタの波高スペクトルを用いた評価

ダストモニタの検出器としてゲルマニウム半導体検出器を用いることで、ゲルマニウム半導体検出器の優れたエネルギー分解能により、放射性核種の定量が可能となり、大気中放射性核種濃度を評価することが可能である。

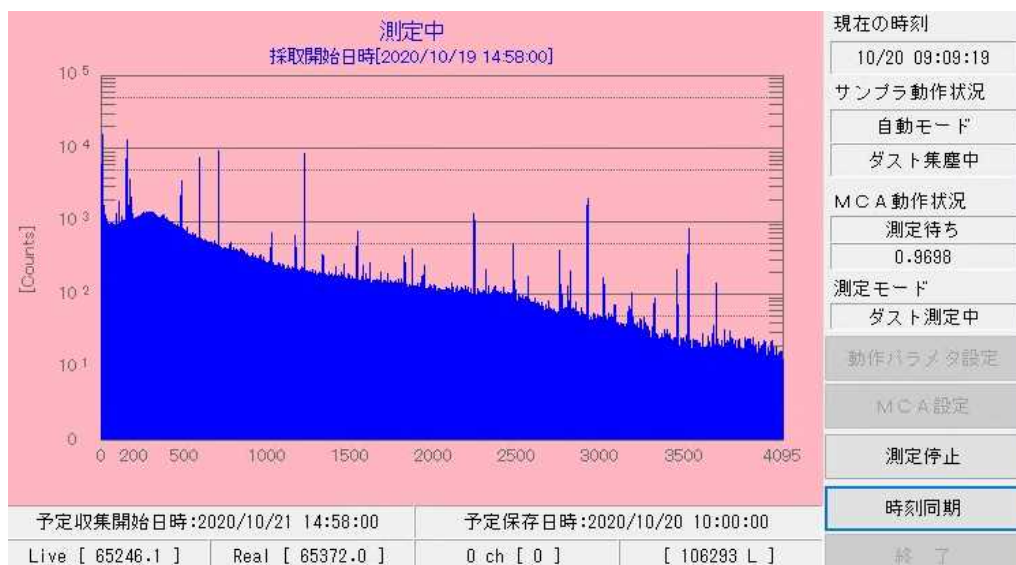
ダストモニタは、原子力施設からの放射性物質の放出を早期検出するために使用されており、その目的においてはNaI(Tl)シンチレーション検出器の方が感度の面で優れている。

また、ゲルマニウム半導体検出器は、検出器が高価であることと、検出器を冷却する必要があり、連続モニタとして使用する場合には、管理面での負担が大きくなることに注意が必要である。

ゲルマニウム半導体検出器による放射性核種の定量方法については、放射能測定法シリーズNo.7「ゲルマニウム半導体検出器による $\gamma$ 線スペクトロメトリー」を参照すること。



図参 C-6 ゲルマニウム半導体検出器を用いたダストモニタの例



図参 C-7 ゲルマニウム半導体検出器の波高スペクトル例 [33]



# 付 録

Blank Paper

## 付録 A 用語の解説

本測定法で使用している用語の解説を示す。

用語	説明
ダストモニタ	<p>大気浮遊じんをろ紙に採取しながら、大気浮遊じん中の放射能濃度を連続測定するための機器であり、平常時に使用する機器</p> <p>ダストモニタは一般的な機器名称であるが、本測定法では、ダストモニタを原則として平常時に使用する機器として定義している</p> <p>緊急時においてはモニタリング体制の強化のために緊急時モードで追加運用する</p> <p>本測定法においては、ダストモニタをダストサンプラとして使用することを範囲に含む</p>
大気モニタ	<p>大気浮遊じんをろ紙に採取しながら、大気浮遊じん中の放射能濃度を連続測定するための機器であり、緊急時に使用する機器</p> <p>測定原理はダストモニタと同じであるが、大気モニタは緊急時のために増設した機器を言い、短い時間間隔で迅速に大気中放射性物質濃度を測定することができる仕様となっている</p>
ダストサンプラ	大気浮遊じんをろ紙に採取するための機器
ヨウ素サンプラ	大気中の放射性ヨウ素（粒子状及びガス状）をろ紙及び活性炭カートリッジに採取するための機器
ガスモニタ	大気中のガス状放射性物質を連続測定する機器
大気捕集材	<p>大気試料を捕集するための材料</p> <p>本測定法においては、ろ紙及び活性炭カートリッジのこと</p>
PAZ	<p><b>Precautionary Action Zone</b></p> <p>予防的防護措置を準備する区域</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避又は最小化するため、EAL に応じて、即時避難を実施する等、放射性物質が放出される前の段階から予防的に防護措置を準備する区域</li> <li>発電用原子炉施設に係る PAZ の具体的な範囲は、「原子力施設からおおむね半径 5 km」が目安</li> </ul>
UPZ	<p><b>Urgent Protective action planning Zone</b></p> <p>緊急防護措置を準備する区域</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確率的影響のリスクを低減するため、EAL、OIL に基づき、緊急防護措置を準備する区域</li> <li>発電用原子炉施設に係る UPZ の具体的な範囲は、「原子</li> </ul>

	力施設からおおむね半径 30 km」が目安
平常時モニタリング	原子力施設の操業開始後（緊急事態を除く）に実施する環境放射線モニタリング
緊急時モニタリングの準備	原子力災害対策指針に基づく警戒事態に実施する環境放射線モニタリング
緊急時モニタリング	原子力災害対策指針に基づく施設敷地緊急事態及び全面緊急事態に実施する環境放射線モニタリング
情報収集事態	放射性物質の放出の有無等を確認する段階
緊急事態の区分	原子力災害対策指針に基づく「警戒事態」、「施設敷地緊急事態」、「全面緊急事態」に区分
警戒事態	原子力施設における異常事象の発生又はそのおそれがあるため、情報収集や、緊急時モニタリングの準備、施設敷地緊急事態要避難者の避難等の防護措置の準備を開始する必要がある段階
施設敷地緊急事態	原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性のある事象が生じたため、原子力施設周辺において緊急時に備えた避難等の主な防護措置の準備を開始する必要がある段階
全面緊急事態	原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性が高い事象が生じたため、重篤な確定的影響を回避（最小化）するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置を実施する必要がある段階
大気浮遊じん	大気中を浮遊する粒子状物質
大気	地球の表面を覆う気体 本測定法ではガス状物質として取扱い、粒子状物質（大気浮遊じん）と区別して用いている部分もある
大気中水分	大気中に存在する水分
放射性プルーム	放射性の気体状又は粒子状の物質を含んだ空気の一団
外部被ばく	体外にある放射線源から放射線を受けること
内部被ばく	放射性物質を吸入、経口摂取等により体内に取り込み、体内にある放射線源から放射線を受けること
検出下限値	測定試料と測定条件（測定器、測定時間等）が決められたとき、測定対象を検出できる最小値
最高検出感度	JIS Z 4316:2006 に規定されている、放射能濃度を測定するためにダストモニタに要求される検出感度

決定しきい値	JIS Z 4316:2013 に規定されている、バックグラウンドとの差が有意であるダストモニタの測定値のしきい値
確認開始設定値	原子力施設からの寄与の有無を判断するための要因調査を開始するトリガーとなる値。施設寄与分推定評価後のダストモニタ測定値について、5Bq/m <sup>3</sup> （全β放射能濃度又は施設起因のγ線放出核種濃度）又は1Bq/m <sup>3</sup> （全α放射能濃度）程度を最大として、個別装置の変動や過去の最大値を考慮して設定される。この値を超過した場合には、施設の測定値の異常の有無の調査をはじめ、気象の影響や測定器異常等の要因調査を行い、施設寄与があったかどうか（施設寄与があった可能性を否定できないと判断する場合を含む）を判断する
平常の変動幅	原子力施設の通常運転時かつ測定条件等が適切に管理されている場合において、概ねある一定の幅の中に納まると考えられる測定値の変動幅
計数	計数装置の1回の応答（カウント）
計数率	単位時間当たりの計数値 通常は cpm (m <sup>-1</sup> ) 又は cps (s <sup>-1</sup> ) で示す
計数率計	平均計数率を連続的に指示する装置 レートメータともいう
スケーラ	計数装置の一部で、入力パルス数を積算、表示する装置
全α放射能濃度	大気浮遊じんに含まれるα線放出核種からのα線をエネルギー区分無しに測定し、ダストモニタの効率校正で利用した1種類のα線標準線源により評価された放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
全β放射能濃度	大気浮遊じんに含まれるβ線放出核種からのβ線をエネルギー区分無しに測定し、ダストモニタの効率校正で利用した1種類のβ線標準線源により評価された放射能濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )
γ線計数率	大気浮遊じんから放出されたγ線の計数率 (s <sup>-1</sup> )
β/α比	ダストモニタで測定した全β放射能濃度を全α放射能濃度で除した比
数え落とし	放射性粒子又はパルスを計数するとき、検出器の不感時間、分解時間、パイルアップ等によって測定計数値が減少すること、又はその減少分
施設寄与	原子力施設から放出された放射性物質による影響
局舎	原子力施設周辺又は放射線施設周辺において、野外の空間放射線量率、大気中の放射性物質濃度の測定等を行う放射線測定装置の集中施設

## 参考文献

1. 原子力規制委員会（令和3年7月21日一部改正），原子力災害対策指針
2. 原子力規制庁監視情報課（令和3年12月21日一部改訂），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）
3. 原子力規制庁監視情報課（令和3年12月21日一部改訂），緊急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）
4. JIS Z 4316, (2013) 放射性ダストモニタ
5. JIS Z 4316, (2006) 放射性ダストモニタ
6. JIS Z 8814, (2012) ロウポリウム エアサンプラ
7. JIS Z 4601, (2009) 放射性ダストサンプラ
8. JIS K 0901, (1991) 気体中のダスト試料捕集用ろ過材の形状、寸法並びに性能試験方法
9. JIS Z 4336, (2010) 放射性ヨウ素サンプラ
10. JIS Z 4317, (2008) 放射性希ガスガスモニタ
11. JIS Z 4329, (2004) 放射性表面汚染サーベイメータ
12. 木谷進 他, (1968) JAERI-memo 3221.
13. D. A. COLLINS, L. R. TAYLOR and R. TAYLOR, (1967) The developments of impregnated charcoals for trapping methyl iodide at high humidity, TRG Report, 1300 (W)
14. K. Nagaoka et al., (2012) Changes of radionuclides in the environment in Chiba, Japan after the Fukushima nuclear power plant accident, Health Physics, Volume 102, Issue 4, 437-442
15. 新潟県, (2011) 平成23年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果速報 第1四半期（4月～6月）
16. IAEA-TECDOC-1162, (2000) Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency
17. 応用光研工業（株）技術資料, 非公表
18. 外川洋一 他, (2019) ダストモニタにおける $\alpha$   $\beta$ 同時計数機能を用いた推定人工放射能濃度の算出法について, 日本保健物理学会第52回研究発表会
19. (株)千代田テクノル/ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ（株）技術資料, 非公表
20. 島田秀志, (2009) 基準化計数による大気浮遊じん放射能のリアルタイム監視について, 福井県原子力環境監視センター所報: 16, P43～58
21. 島田秀志 他, (2004) ダストモニタの捕集効率に関する調査, 福井県原子力環境監視センター所報: 11, P51～61
22. 三菱電機（株）技術資料, 非公表
23. 大倉毅史 他, (2021) 大気放出を伴う原子力緊急時における連続ダストモニタ（全ベータ）を用いた大気中放射能濃度監視方法の検討, 日本保健物理学会第54回研究発表会
24. 福島県、東京電力（株）, (2011) 原子力発電所周辺環境放射能測定結果報告書
25. 原子力規制委員会, 原子力規制庁及び福島県による大気浮遊じんの測定結果(福島市方木田), <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/222/list-1.html>
26. T. Ohkura et al., (2012) Emergency Monitoring of Environmental Radiation and

- Atmospheric Radionuclides at Nuclear Science Research Institute, JAEA Following the Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, JAEA-Data/Code 2012-010
27. Tomohisa Abe et al., (2021) Temporal Change in Atmospheric Radiocesium during the First Seven Years after the Fukushima Dai-ich Nuclear Power Plant Accident, Aerosol and Air Quality Research
  28. 小泉彰 他, (1989) 集じん用フィルタの粒子捕集効率の面速依存性, 保健物理 2 巻, 123 ページ
  29. N.Kinouchi et al., (2001) Selection of Filter Media Used for Monitoring Airborne Alpha-Emitting Particles in a Radiological Emergency, RADIOISOTOPES, 50, 403
  30. Y.Terasaka et al., (2016) Air concentration estimation of radionuclides discharged from Fukushima Daiichi Nuclear Power Station using NaI(Tl) detector pulse height distribution measured in Ibaraki Prefecture, Journal of Nuclear Sciece and Technology, Vol.53, No.12, 1919-1932
  31. J.Moriizumi et al., (2020) Spatial distributions of atmospheric concentrations of radionuclides on 15 March 2011 discharged by the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident estimated from NaI(Tl) pulse height distributions measured in Ibaraki Prefecture , Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.57, No.5, 495-513
  32. ICRU Report 53 (1994) Gamma-Ray Spectrometry in the Environment
  33. 島根県, ダストモニタ (ゲルマニウム半導体検出器) 測定データ, 非公表