講座

放射線防護用機器 (V)

ダストモニタ, ガスモニタの特性と使用法[†]

南 賢太郎, 岩田幸生

日本原子力研究所東海研究所

319-11 茨城県那珂郡東海村

Key Words: dust monitor, dust sampler, plutonium monitor, gas monitor, gas sampler, calibration

1. はじめに

本稿では, 空気中に浮遊した放射性塵埃による空気中放射能濃度を連続的に測定するための「ダストモニタ」および空気中に拡散した放射性ガス等による空気中放射能濃度を連続的に測定するための「ガスモニタ」ならびに放射性塵埃を捕集するための「ダストサンプラ」および放射性ガス等を捕集するための「ガスサンプラ」などについて, その原理と構造, 特性と使用法および校正法を順に概説する。

2. ダストモニタ

2.1 ダストモニタの種類と構造による分類

ダストモニタは, ろ紙を装着し, 塵埃を捕集する集塵器と空気を集塵器に吸引するための空気吸引装置およびろ紙等に捕集された放射能を測定するための放射能測定部より構成される。そして, 集塵器に捕集された放射性塵埃の放出放射線の測定対象線種に応じて β 線ダストモニタ, α 線ダストモニタ, プルトニウムダストモニタおよびヨウ素モニタなどに分類され, これらの名称で市販されている。これに対し集塵器の構造に応じてモニタリング機能が変わるので, これを基に固定ろ紙式ダストモニタ, 連続ろ紙移動式ダストモニタの名称で分類されることもある。また, ろ紙交換の方式に応じてカード式ダストモニタおよびろ紙間欠送りダストモニタなどの名称に分類され, 市販されている

ものもある。

2.2 ダストモニタの集塵器部の構造

捕集用ろ紙や捕集材を固定するろ紙ホルダと放射能検出器を組み合わせた集塵器には円形ろ紙(直径60 mm ϕ , 集塵有効径50 mm ϕ)をろ紙ホルダに固定して捕集を行う固定ろ紙式と, 帯状の長尺ろ紙(ろ紙幅76 mm, 長さ60 m)をロール状に巻き, このろ紙を一定の速度で移動させ, 帯状に塵埃を捕集する移動ろ紙式がある。固定ろ紙式ダストモニタの集塵器の構造を図1に示す。ろ紙ホルダは図に示すように, 塵埃を専ら捕

図1 固定ろ紙式ダストモニタ集塵器(アロカ社製)

[†] Equipments and Instruments for Use in Radiological Protection (V). Characteristics and Use of Dust Monitors and Gas Monitors. Kentaro MINAMI and Yukio IWATA: Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai Research Establishment, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki Pref. 319-11, Japan.

集するろ紙や揮発性物質を捕集する活性炭カートリッジなどの捕集材も装着できる構造となっている。汚染空気は空気吸引口より集塵器に取り込まれ、矢印の流線に沿って流れ HE-40T ろ紙を通過し、これで放射性塵埃を捕集する。金網はろ紙をつねに平行に保ち検出器に対する幾何学的効率を一定に保持するための支持板である。ろ紙に捕集された放射能の測定はろ紙面に対向して取り付けられた検出器で集塵中に連続して測定される。この場合、検出器とろ紙間の距離は距離調節器により調節する。 β 線ダストモニタは検出器として GM 計数管を使用しており、この場合の検出器、ろ紙間距離は約 5 mm に調節される。 α 線ダストモニタには ZnS(Ag) シンチレーション検出器が一般的に使用され、この場合の距離は約 3 mm に調節される。

図 2 に移動ろ紙式ダストモニタの集塵器の構造を示す。この図は集塵器部の蓋を取り、上側より見た状態を示すものである。汚染空気は矢印の流線に沿って流れサンプリングヘッド部の吸引口を通り排気される。したがって、塵埃はここでろ紙に捕集されるとともに GM 計数管で β 線測定を行い、ろ紙の移動に伴い ZnS(Ag) シンチレーション検出器で α 線測定を行う。集塵ろ紙はろ紙巻取スプールに巻き取られる。現在市販されている装置のろ紙送り速度は 25 mm/h, 75 mm/min の 2 段切換えのものなどがあり、ろ紙は 1 回の装着で最高約 3 か月間使用できる。また検出器に対するサンプリングヘッド開口部の位置を変えることによっても、集塵から測定までの時間の調整が可能である。移動ろ紙式ダストモニタで使用可能な捕集材はろ紙のみで、活性炭などの捕集材が使用できないので揮発性物質のモニタリングには不適である。

2.3 空気吸引装置

ダストモニタに用いられる空気吸引装置(サンブラ)は図 3 に示すようにポンプ、モータ、圧力計、流量計、流量調節弁(リークバルブ)などより構成されている。圧力計には圧力センサが付加されており、異常圧力が発生したとき電源が自動的に遮断され機器を保護する対策がとられている。ポンプは一般にスライディング・ベイン(sliding vane)型を利用している。このポンプはロータがステータに対し偏心して配置されている。ロータには炭素ブレード(スライディング・ベイン)が 4 枚挿入され、ロータの回転によりブレードが遠心力でステータに押しつけられ、気密回転することによりポンピング作用を行う。このポンプは騒音を発生するので排気側に消音器を取り付け騒音の発生を防

図 2 移動ろ紙式ダストモニタ集塵器(富士電機製造社製)

図 3 空気吸引装置

止する構造としている。100 l/min 以下の吸引装置であれば騒音は少ないが、吸引流量の大きな装置は騒音は非常に大きい。JIS Z 4601 によれば吸引装置はポンプの定格吸引流量により L(10-30 l/min), M(100-300 l/min), H(400-500 l/min)型に区分され¹⁾、現在、これに見合う製品が市販されている。

塵埃を捕集したろ紙の放射能測定値あるいはダストモニタの指示値から空気中の放射能濃度を算定するために用いる流量計は、構造が簡単で耐久性にすぐれ、圧力損出も少ない浮子式流量計が一般に用いられている。この流量計はロータメータともよばれ、鉛直に置かれたテーパ管とその中に自由に上下できるように収められた浮子からなり、テーパ管内を下部から上部に向かって流れる流体によって生じる差圧が浮子の重力とつり合って流量を指示する。

流量計の指示目盛は一定の設計条件で目盛られたものであるから、流体の性質、圧力、温度等の使用条件

が設計基準と異なる場合は補正を行う必要がある。一般的にダストサンプラには流量補正を行うために圧力計を備えるが、つねに設計基準の圧力付近で使用する場合は圧力計を省略しても良い。

2・4 放射能測定部^{2)・4)}

集塵器に挿入した検出器からの信号は、増幅後ディスクリミネータで雑音を弁別し、レートメータで計数率を表示するとともにその出力をレコーダで連続記録する。レートメータには警報設定機能が設けられており、したがって空气中放射能濃度が異常に上昇したとき迅速に警報を発生する。レートメータは平常時の低濃度空气中放射能の測定から事故時の高濃度放射能の測定まで、十分にカバーできるよう一般に4桁以上の対数目盛表示を行い、測定レンジを広範囲化している。レコーダの記録は、過去の平常状態レベルから現状の異常レベルを目視により比較法で判断できる利点があり、有効である。近年、検出器からの信号をコンピュータで処理し従来のレコーダを省略する計測システムも普及しているが、この場合ディスプレイ装置にはレコーダと同様な内容を表示することが大切である。

2・5 使用法と使用上の注意事項

M型やH型の吸引装置は大型で騒音も大きいので施設の機械室などに設置し、集塵器部は測定室などに置き、固定ろ紙式ダストモニタとして排気や作業環境のモニタリングを行う。L型の吸引装置は小型であり騒音も少ないので、これに集塵器部および放射能測定部を組み込みコンパクトで容易に移動できるダストモニタとして作業現場で広く使用されている。固定ろ紙式ダストモニタの特徴は、捕集材としてろ紙の他に活性炭含浸ろ紙や活性炭カートリッジをろ紙ホルダに装着して使用できることである。ろ紙のみを装着した場合は空气中の粒子状放射性物質の濃度を測定することになり、活性炭含浸ろ紙を合せて装着すればヨウ素、塩素、臭素、水銀、アンチモン、硫黄、二酸化炭素、二酸化硫黄なども効率よく捕集できるので、これらによる空气中放射能濃度も測定することができる。

2・5・1 ろ紙など捕集材の性能

現在主に使用しているろ紙は、セルロース・ガラス繊維系ろ紙のHE-40T（東洋濾紙）である。これは0.3 μ mのガラス繊維20%とセルロースパルプ80%を混合して製作したもので、0.3 μ mのポリスチレンラテックス粒子に対して99.9%以上の捕集効率を有する。また、空気吸引に伴う圧力損失が小さく2cmH₂O

/m $\cdot$ min⁻¹程度)、かつ表面捕集性能が良いことである。したがって、 α 線を放出する粒子物質のモニタリングにも有効に利用できる。活性炭含浸ろ紙は厚さ約2mmのセルロース・アスベストを基材物質とし、これにヤンガラ炭を約2g固定し、トリエチレンジアミン（TEDA）を添着して製作したもので、CP-20（東洋濾紙）の名称で市販されている。ヨウ素に対する捕集効率は相対湿度50%のとき、2時間のサンプリングで約50%である。活性炭カートリッジは内径50mm ϕ 、高さ20mmの円筒容器にヤンガラ炭（TEDA添着）を約14g入れたものでCHC-50（東洋濾紙）の名称で市販されている。このヨウ素捕集効率は非常に良く、相対湿度が90%でも1日程度のサンプリングであれば約95%である。

2・5・2 空气中放射能濃度測定時の注意事項

集塵ろ紙の放射能測定で注意することは、空气中に存在する天然のラドンおよびトロン（トロンは1%程度で少ない）の娘核種も集塵されていることである。これがバックグラウンドとなるため、目的とする核種の検出感度を悪くしてしまう。バックグラウンドに主として影響を及ぼす核種は、ラドン系の娘核種、RaA (²¹⁸Po, α , 半減期3.05 min), RaB (²¹⁴Pb, β , 半減期26.8 min), RaC (²¹⁴Bi, β , 半減期19.7 min), RaC' (²¹⁴Po, α , 半減期164 μ s) である。長時間（1週間程度）集塵したときはトロンの娘核種、ThB (²¹²Pb, β , 半減期10.64 h) 系統も問題となる。ラドン系統の娘核種は約4-6h、トロン系統のそれは約3day程度減衰を待てば、これらの影響を除くことができる。それゆえ、検出対象核種の半減期が長ければ、10⁻¹³-10⁻¹⁵ μ Ci/cm³の高感度の測定が可能である。

連続モニタリング中ではラドンの空气中放射能濃度に影響され、 α 線放出核種も β 線放出核種も検出可能濃度は10⁻¹⁰ μ Ci/cm³程度である。したがって、長半減期核種の高感度測定のためには上記のようにダストモニタからろ紙を取り出し、短半減期のラドンを減衰させて測定し放射能濃度を評価する必要がある。

2・6 校正

ろ紙ホルダのろ紙装着部に標準線源を取り付け、正味計数率を求める。この計数率と標準線源の壊変率との比から計数効率を求める。標準線源は試料と類似した形状とし、しかも測定対象としている放射性核種の放出放射線エネルギーと近似したエネルギーを放出する標準線源を使用する。JIS Z 4512（空气中浮遊粒子状物質の放射能濃度測定法）に記載されている β 線用

表 1 ダストモニタ校正用標準線源
(JIS Z 4512 より)

β 線用標準線源

核 種	最大エネルギー (MeV)	半減期(年)
^{14}C	0.16	5.7×10^3
^{90}Sr — ^{90}Y	0.55, 2.27	28^{*5}
^{147}Pm	0.22	2.6
$^{204}\text{Tl}^{*1}$	0.77	3.8
$\text{RaD} + \text{E}^{*2}$	1.16^{*3}	21^{*6}
U^{nat}	2.3^{*4}	$4.5 \times 10^9^{*7}$

α 線用標準線源

核 種	エネルギー(MeV)	半減期(年)
^{239}Pu	5.1	2.4×10^4
^{241}Am	5.44, 5.49	4.6×10^2
U^{nat}	4.20, 4.77	4.5×10^9

- *1 2%は電子捕獲壊変をする。
 *2 RaE は壊変して RaF となり 5.31 MeV の α 線を出す。したがって、製作後3年以上経過した RaD 線源は、 α 線源としても利用できる。
 また、RaDは低エネルギー β 線 (0.046 MeV) を放出するので注意を要する。
 *3 RaE(^{210}Bi) の β 線
 *4 $\text{UX}_2(^{234\text{m}}\text{Pa})$ の β 線
 *5 ^{90}Sr の半減期
 *6 RaD(^{210}Pb) の半減期
 *7 ^{238}U の半減期

および α 線用標準線源を表 1 に示す。

3. カード式ダストモニタ

日常的に多数の場所の空气中放射能濃度測定を前に述べたように減衰を待って評価しているとデータ整理が大変煩雑となる。そこで図 4 に示すように磁気テープを貼付したカードに直径 60 mm ϕ の穴を開け、ここに HE-40T ろ紙を張り付けたカード式ろ紙を作る。このカードの余白にサンプル番号、サンプリング場所、取扱者名など必要事項を記入し、カード式ダストモニタの集塵器部のろ紙送り機構部へセットする。セットされたカード式ろ紙はろ紙交換時刻になると自動的に集塵器部に送り込まれ集塵が開始される。集塵後はサンプリング条件(日, 時, 流量等)が自動的に磁気テープに書き込まれる。ラドン娘核種の減衰後、このカード式ろ紙を演算器付放射能測定器で測定すれば測定日時, 放射能濃度等を自動的に計算し結果をプリントアウトする。したがって、この方式のダストモニタはデータ整理作業の省力化に大変有効である。校正は前記 2.6 と同様である。

図 4 カード式ろ紙

4. 移動ろ紙式ダストモニタ

移動ろ紙式ダストモニタは集塵器部と吸引装置を一体とした構造で製作されており大型である。このダストモニタの特徴は環境の放射能濃度の時間的な変動を把握できることである。しかし、ろ紙を移動させると放射能濃度の検出限界が低下するので、現状ではろ紙を間欠送りで運転し固定ろ紙式ダストモニタとして使用している場合もある。

5. ヨウ素モニタ

固定ろ紙式 β 線ダストモニタのろ紙ホルダに CP-20 活性炭含ろ紙を装着しヨウ素を捕集すればヨウ素の β 線を測定することができるので、ヨウ素モニタとして使用することができる。しかし、この方式によるヨウ素モニタはヨウ素以外の β 線放出核種による空気汚染がある場合、ヨウ素のみを対象とする連続モニタリングは困難となる。そこで集塵器部に挿入している GM 計数管式検出器の代りに 2 in ϕ $\times$ 2 in の NaI(Tl) 検出器を挿入し、ヨウ素の 360 keV の γ 線をシングルチャネル波高分析器を用いて選択的に測定するヨウ素モニタが市販されている。この方式は感度がよく、ヨウ素の許容空气中濃度を10分間程度のサンプリングで

十分に測定できる。校正はろ紙に ^{131}I を吸着させ、このろ紙を平行ビームに対して効率の分かっている Ge 検出器を用い、空气中でろ紙と Ge 検出器間を 50cm 以上離して測定し、 ^{131}I の 360 keV の γ 線からろ紙に吸着した放射能を求め、このろ紙を標準線源として用いることによりヨウ素モニタの校正を行う。

6. プルトニウムダストモニタ

6.1 プルトニウムダストモニタの原理^{5),6)}

プルトニウムは α 線を放出する核種で、これによる空気汚染は人体にとって非常に有害である。したがって、作業環境の最大許容空气中濃度も非常に低濃度に決められており、その値は $2 \times 10^{-12} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ である。一方、空气中には天然のラドンおよびトロンとその娘核種が存在しており、放射能濃度は大気の状態に左右され、 $10^{-9} - 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ の範囲で変動する。それゆえ、これらの娘核種の存在のもとで、プルトニウムの許容濃度を固定ろ紙式 α 線ダストモニタで測定することは困難である。ラドンおよびトロンの娘核種の影響を除去して測定しなければならない。幸い、ラドンおよびトロンの娘核種が放出する α 線エネルギーは 6 - 9 MeV であり、これに対してプルトニウムのそれは 5.2 MeV である。そこでエネルギー分解能の良好な半導体検出器とシングルチャネル波高分析器を用い、5.2 MeV 近辺にプルトニウム計測チャンネルを設けて測定すれば、比較的バックグラウンド計数の少ないプルトニウムダストモニタを作ることができる。しかし、この方式の場合でもプルトニウム計測チャンネルにはろ紙に集塵されたラドンおよびトロンの娘核種の α 線スペクトルの低エネルギー側へのテール（いわゆるスペクトルのなまり）に起因するバックグラウンド計

数を伴い、しかもこのバックグラウンド計数はラドンおよびトロンの娘核種の濃度の変動に従って変化し、低濃度のプルトニウムの測定に大きな影響を与える。そこで、この影響をさげ、バックグラウンドを補償する方式の α 線ダストモニタをプルトニウムダストモニタと呼んでいる。プルトニウムダストモニタの回路構成例を図 5 に示す。この装置は半導体 α 線検出器、増幅器、シングルチャネル波高分析器、ランダムパルス任意分周器、バックグラウンド計数自動消去器およびログレイトメータより成る。バックグラウンドの補償は、可変パルス発振回路、パルス幅調節回路および逆同時ゲート回路で構成されるランダムパルス任意分周器 II と、可逆計数回路および逆同時ゲート回路で構成されるバックグラウンド計数自動消去器 III により構成される。

検出器の信号は増幅器で増幅し波高分析器 I に加える。ここで上限弁別器の出力はインプット B としてランダムパルス任意分周器 I の逆同時ゲート回路に加えて計数率を分周し、その出力をバックグラウンド計数自動消去器 II へインプット C として供給する。一方、下限弁別器と逆同時ゲート回路を経るシングルチャネル系統の信号はバックグラウンド自動消去器へインプット A として加え、バックグラウンド計数を消去する。インプット A はプルトニウム計測チャンネルである。これにはプルトニウム計数率 N_p とラドンおよびトロンの娘核種の α 線エネルギーのなまりに起因するバックグラウンド計数率 N_b が合成されている。一方、上限弁別器を経るチャンネルからは 5.5 MeV 以上のエネルギーを有するラドンおよびトロンの娘核種の計数率 N_u が得られる。ここで N_u と N_b の関係は測定時における両者の相関係数 a を用いて $N_u = a N_b$ として

図 5 プルトニウムダストモニタ

与えられる。このことから、プルトニウム計測チャンネル中の N_b を消去するためのこれと等価な信号はランダムパルス任意分周器により N_a を $1/a$ に分周することにより作られる。バックグラウンド計数消去器ではこの計数を基にプルトニウム計測チャンネル中の N_b を消去する。このようにして N_p 信号を選択的にログレートメータで測定することによる高感度プルトニウムダストモニタが製作されている。

6・2 使用法と使用上の注意事項

プルトニウムダストモニタに使用するろ紙は粒子状放射性物質をろ紙の表面で捕集する性質を有することが大切である。これは粒子状放射性物質がろ紙内に埋没するろ紙材により α 線エネルギーが損失を受け α 線のエネルギースペクトルが低エネルギー側になるからである。この現象をさけるためには表面捕集性能の優れたろ紙を使用しなければならない。各種ろ紙の表面捕集性能を比較評価した結果を表2に示す。これはろ紙に捕集されたラドンの娘核種 $\text{RaC}'(^{214}\text{Po})$ の 7.68MeV の α 線を半導体検出器で測定し、スペクトルの半値幅より各種ろ紙の分解能を求め、表面捕集性能を調べたものである。これによるとメンブレン系のミリポアろ紙が非常に良く、つぎにHE-40系統のろ紙であることがわかる。しかし、ミリポアろ紙は大変脆く、取扱いが不便であることに加え、圧力損失が大きく空気吸引流量率はせいぜい 30 l/min 程度である。流量率が少ないと浮遊粒子の集塵器への吸込み能力が悪くなり空気汚染を見落すことが経験的に知られている。空気流量を 100 l/min 程度とすることが大切であり、このためには HE-40 T ろ紙を使用することが望ましい。

6・3 校正

校正用線源はろ紙と同形の ^{239}Pu を電着した線源を用いるかまたはろ紙と同形の ^{239}Pu をイオン交換膜に均一に吸着させた線源⁷⁾を用いて行う。

7. ダストサンプラ

ダストサンプラは2・3で述べた空気吸引装置と集塵器（放射能検出器が装備されていない集塵器）のみで構成され、ダストサンプリングのみを専用に行う機器である。

ダストサンプラは可搬型とするため一般にL型吸引装置を使用し重量を 5 - 15 kg 程度に軽くするとともに運転音を静かにして作業現場で使い易くした製品で

表 2 各ろ紙の表面捕集性能 (^{214}Po の α 線に対する分解能)⁴⁾

ろ紙	分解能 (%)
TFA #41	7.7
東洋 HE-40	6.8
HE-40 T	8.4
GH-100	11.6
GB-100	10.9
ミリポア 5 μm	5.6

* ろ材に捕集された ^{214}Po の α 線がろ材で吸収を受け低エネルギー側に広がる。そこで α 線スペクトルの半値幅（分解能）をろ紙の表面捕集性能指標として用いている。

ある。小型、軽量化を図るため流量計のみを装備し圧力計等は省いている。吸引装置にプロアを使用し 105 mm ϕ の大型ろ紙を装着することにより吸引流量率を 500 l/min にした通称“ハイボリウムエアサンプラ”と呼ばれる製品も広く使用されている。この製品は運転中の騒音が激しく、作業環境で連続的に使用することはできない。しかし、吸引流量率が非常に大きいにもかかわらず重量が 4 kg 程度であるので、この特徴を生かし、短時間サンプリングで作業環境の空気汚染濃度の評価を行うためのサンプラとして利用されている。

8. ^3H ・ ^{14}C 捕集装置⁸⁾

^3H による空気汚染は水分（水蒸気）としての汚染と水素ガスとしての汚染がある。前者の場合は空気中の水蒸気をコールドトラップで冷却凝縮して捕集し、その凝縮試料水中に含まれる ^3H を液体シンチレーション測定装置で測定して空気中濃度を求めている。水素ガスによる空気汚染の場合は水素ガスを酸化させ水としてから前者と同様の原理により空気中濃度を求める。図6に両者のいずれによる空気汚染であっても捕集できる装置を示す。この装置のサンプリング空気流量率は 10 - 150 cm³/min である。空気中の水分はカラム A のシリカゲルで捕集し、水素ガス成分は酸化銅により約 700 °C で酸化させ水とした後に、カラム B のシリカゲルで捕集する。これらのシリカゲルより水分を回収し液体シンチレーション測定装置で測定する。

^{14}C の場合は炭酸ガスとして利用される場合と ^{14}C を含む有機成分として利用される場合があるので、 ^3H の場合と同様、有機成分は酸化させて回収する。この場合、回収はシリカゲルカラムの代りにエタノールアミンのトラップを入れ、これで炭酸ガスを捕集する。エタノールアミンは液体シンチレータに混合しにくいのでエチレングリコール・モノメチルエーテルを添加し

図6 $^3\text{H}\cdot^{14}\text{C}$ 捕集装置

カラムBは水、ガスおよび有機成分などすべての状態の物質を回収する。したがってカラムBよりカラムAの放射能を差し引けばガスおよび有機成分による空气中汚染濃度を求めることができる。

てシンチレータを作り測定する。

$^3\text{H}\cdot^{14}\text{C}$ 捕集装置の捕集効率 η は空気サンプリング流量率に依存する。流量率を $60\text{ cm}^3/\text{min}$ 以下として使用すれば捕集効率を 100% とみなして空気汚染濃度の評価を行ってよい。

9. ガスモニタ

9.1 ガスモニタの種類と特徴および原理

ガスモニタは放射性ガスによって汚染した空気を吸引装置により連続的に電離箱検出器内に取り込み測定を行う通気型電離箱式ガスモニタ、通気型GM 計数管式ガスモニタ、通気型プラスチックシンチレーション式ガスモニタおよび汚染空気を通気型ガスタンクに流しこのタンクの中心にNaI(Tl) 検出器等を挿入する構造の通気型ガスモニタに分類される。電離箱式、GM 計数管式およびプラスチックシンチレーション式はいずれも β 線を測定対象とするもので、検出器が放射性ガスと直接接触する構造のものである。これに対し通気型ガスタンク方式は γ 線を測定対象とするもので、汚染空気に対し完全密封構造を有する通気型ガスタンクの中へNaI(Tl) 検出器を外部より挿入する方式のもので、検出器は直接汚染空気と接触することはない。一般にこれらの連続測定型ガスモニタは大型である。移動可能なタイプでも手軽い運べるものではなく台車上に検出部、測定部および吸引装置等が組み立てられている。

図7に示すように通気型電離箱式ガスモニタは電離箱内に取り込まれた放射性ガスの β 線により発生した全電離電流を直接測定するものである。このため、サンプリングされる空気とともに放射性ガスに無関係な空気中のイオンが電離箱に流入する。これを弁別することができないと低濃度の放射性ガスの測定に影響を与える。また、湿度が高いと電離箱の絶縁性が悪くなり動作が不安定となる。これらに対する対策としてサ

図7 通気型電離箱式ガスモニタ検出器部構造

ンプリング空気を電離箱に導入する前にイオントラップを付加している。また、除湿のためにドライヤを付加したものもある。

通気型電離箱式ガスモニタの感度を改善するために作業環境の γ 線バックグラウンドによる電流をキャンセルして放射性ガスを測定する方式のモニタが市販されている。これは γ 線バックグラウンド補償型ガスモニタと呼ばれるもので、図8にその回路構成例を示す。このガスモニタは放射性ガス測定用電離箱と等価な有効体積を持つ電離箱を作り図に示すように両電離箱へ逆極性で高圧を印加し両電離箱の集電極で逆電離電流が自動的に流れるようにしたものである。したがって、外部のバックグラウンド放射線による電離電流を自動的にキャンセルできる。この方式は鉛で検出器を遮蔽する方式のモニタと比較すれば非常に軽量に製作することができるので、一般に β 線放出核種による空気汚染モニタリングに広く使用されている。

GM 計数管やプラスチックシンチレーション検出器を用いるタイプの β 線用ガスモニタはイオンや湿度の影響を受けにくい。しかしプラスチックシンチレーション検出器は外部からの γ 線バックグラウンドによる

図 8 通気型電離箱式ガスモニタの構成

図 9 通気型 NaI(Tl) 式ガスモニタ検出部構造

検出感度の低下を防ぐためにプラスチックシンチレータの厚さを薄くしてγ線に対する感度を下げる工夫をしている。また、シンチレータの表面は厚さ 1 mg/cm^2 程度の薄膜でカバーし、汚染を防止している。

通気型 NaI(Tl) 式ガスモニタは図 9 に示すように厚さ 5 - 10 cm の鉛で検出部全体を覆い外部からのγ線バックグラウンドを遮蔽している。NaI(Tl) 検出器は外部より通気型ガスタンクに挿入できる構造となっているので、検出器の汚染は発生しない。このガスモニタの特徴は保守点検が容易で安定性が良いことである。鉛遮蔽を施すので重量があり据付型 of ガスモニタとして広く利用されている。

9.2 使用法と使用法上の注意

通気型電離箱式ガスモニタでβ線補償方式の製品は高感度を有しており ^3H に対し $7.4 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/cm}^3$ 、 ^{14}C に対して $1.1 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/cm}^3$ （アロカ MGR-341）である。使用する電離箱の容積にもよるが、一般的に電離箱式ガスモニタの検出感度は ^3H 、 ^{14}C 、 ^{41}Ar 、 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe に対し $10^{-5} - 10^{-7} \mu\text{Ci/cm}^3$ である。運転にあたっては測定する空気の相対湿度を低下させるように注意することが大切である。また、このガスモニタは核種分析ができないので、排気筒などに設置したとき、どのような核種が放出されたかわからないと放出放射能を正しく求めることができない。しかし、 ^3H のような低エネルギー（18 keV）β線および ^{41}Ar のような高エネルギー（1.2 MeV）β線に対しても十分な感度を有する特徴がある。

通気型 GM 計数管式ガスモニタは側窓型（壁厚 30 mg/cm^2 ）の GM 計数管を通気型ガスタンクの中へ直接挿入したもので、 ^3H などの低エネルギーβ線を放出する核種を測定することは困難であるが、構造が簡単で保守、調整が容易であることから 0.6 MeV のβ線を放出する ^{86}Kr モニタとして広く使用されている。

NaI(Tl) 検出器を使用するガスモニタはγ線エネルギー情報を得ることができるので、核種を判別して測定することが可能である。また、このガスモニタの検出感度は NaI(Tl) 結晶の大きさと通気型ガスタンクの内容積に比例し、両者が大きくなるほど検出感度が良くなる。

9.3 校正方法

放射性ガスモニタの校正は、非密封線源を使用するため法的規制が多く、それを実施できる施設は限られる。使用する放射性ガスの種類、トレーサビリティ確保の方法等について、原子力安全研究協会環境放射能計測規格化調査専門委員会が昭和54年度に実施した「環境放射能の計測の標準化に関する研究」報告書⁹⁾が現状の指針となっている。

校正に使用される核種は ^{41}Ar 、 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe 等である。放射性ガスモニタの校正方法はトレーサビリティのある基準電離箱（内容積1.5 l, ステンレス製円筒電離箱）と被校正用ガスモニタでループを組み基準電離箱で放射能濃度を決定して校正を行う“基準電離箱法”と標準放射性ガスの放射エネルギーを基準として校正する“体積希釈法”とがある。

図10に基準電離箱法に使用する校正用ガスループを示す。 M_1 が基準電離箱、 M_2 が被校正用ガスモニタである。校正の手順は、まず M_1 、 M_2 を真空近くまで排気する。つぎに放射性ガス封入アンブルGのプレイカプルシールを破り V_1 を開くと放射性ガスは M_1 、 M_2 に取り込まれる。アンブルの容積に対し M_1 、 M_2 の容積が十分に大きければアンブル中に残留する放射性ガスは無視できる。続いて V_2 を開き空気を除湿しながらゆっくりと系内に取り込み校正用ループ内の圧力を大気圧にバランスさせる。 P_1 の循環ポンプで系内を十

図10 基準電離箱法における校正用ガスループ

表3 基準電離箱の電離電流と放射能濃度換算係数（20°C, 1気圧, 誤差は99.7%信頼の値である）

核種	換算係数 $\left[\frac{\text{nA}}{\mu\text{Ci cm}^{-3}} \right]$
^{133}Xe	$17.5 \pm 10\%$
^{85}Kr	$8.5 \pm 10\%$
^{41}Ar	$7.5 \pm 15\%$

図11 ガス捕集用電離箱の構造

分に攪拌した後、 M_1 により放射能濃度を決定し校正を行う。1.5 l基準電離箱の電離電流と放射能濃度換算係数を表3に示す⁹⁾。現在、市販されている1.5 lのガス捕集用電離箱は表3の値を用い、基準電離箱として使用可能である¹⁰⁾。

10. ガスサンブラ

ガス捕集用電離箱を図11に示す。一般に円筒形のステンレス容器の中心に絶縁体で保持された集電極を配し、ガスの出入口にはバルブを取り付けた構造のものである。容積の異なる製品が数種類市販されているが1.5 lが一般的である。ガス捕集電離箱は真空とし、作業現場でバルブを開き放射性ガスをサンプリングする。これを振動容量電位計を用いて電離電流を測定する。なお、振動容量電位計の指示精度チェックは ^{90}Sr 線源を封入した定電流源電離箱を用いて行う。この場合 ^{90}Sr の半減期に起因する電流値の補正を忘れないように注意する。

文 献

- 1) JIS Z 4601: 放射性ダストサンブラ
- 2) JIS Z 4316: 放射性ダストモニタ
- 3) JIS Z 4512: 空气中浮遊粒子状物質の放射能濃度測定法
- 4) 中田 啓, 福田整司: *Radioisotopes*, 26, 747-759 (1977)

- 5) Minami, K., Sato, N. and Fukuda, S.: *Health Phys.*, **37**, 383 - 389 (1979), JAERI Patent pending.
 - 6) Pu ダストモニタ105カタログ: 東洋電子計測(株)
 - 7) 村上博幸, 吉田 真, 備後一義, 他: *Radioisotopes*, **37**, 497 - 500 (1985)
 - 8) 空気中 $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ 捕集装置 HCM-101 カタログ: アロカ(株)
 - 9) 環境放射能の計測の標準化に関する調査研究: 原子力安全研究協会, 昭和55年3月
 - 10) JIS Z_4317: 放射性希ガスモニタ (1985)
-