

＜アスベストモニタリングマニュアル（第4.0版）抜粋＞

例4 繊維状粒子自動測定器による測定

繊維状粒子自動測定器は浮遊粒子の中から繊維状粒子だけを識別して、それらの繊維数濃度を算出する計測器として、米国で1970年代後半に開発されたものである。この方法はフィルタなどに浮遊状粒子を捕集して計数する方法と異なり、現場の測定場所で簡単に浮遊繊維状粒子の繊維数濃度を知ることができ、建築物等の解体、改修、除去等の工事に伴うアスベスト飛散防止のためのリアルタイム計測や長時間連続監視計測などが可能である。

(1) 繊維状粒子自動測定器の原理

試料空気は吸引ポンプで採気口から内部に導入される。検出部内を通過してサンプリングホルダー、流量センサを通り筐体外部に排気される。検出器には4つの電極からなる高圧部があり、高電圧の直流電圧と交流電圧を重ねて加えた電場の中を繊維状粒子が通過すると振動する。繊維状粒子は、検出部内に照射された半導体レーザー光により散乱光を発生し、散乱光は光センサで検出される。繊維状粒子が振動しながら検出部内を通過すると、散乱光強度がパルス状に変化する。一方、非繊維状粒子は検出部内を通過しても電場の振動による散乱光強度の変化はほとんど現れない。散乱光のパルスは繊維状粒子の繊維が長く太いほどピークが高く、パルス面積は繊維の長さが長いほど大きくなる。散乱光パルスとピーク面積の比により、繊維のアスペクト比（長さ/幅）と長さを設定することで、位相差顕微鏡法による計数分析値と一致する繊維を選別して測定できる。

選別された繊維状粒子はリアルタイムに計測され、カウント数として表示される。また、同時にカウント数の積算値と吸引流量の積算流量から総繊維数濃度が算出される。

計測された濃度は位相差顕微鏡法により得られる繊維数濃度と同様に総繊維数濃度であり、必ずしもアスベスト濃度とは一致しない。そのため、計測器にバックアップフィルタが内蔵されている装置であれば、必要に応じて他の分析方法による確認が可能となる。

(2) バックアップフィルタが内蔵されている繊維状粒子自動測定器

現在、わが国で市販されている繊維状粒子自動測定器のうち、バックアップフィルタが内蔵されているものには4機種があることが確認されている（機種A～Dとする）。これら4機種の共通項目に対する性能の比較表を表5に示しておく。

(3) 繊維状粒子自動測定器の較正方法

各機種の較正方法は位相差顕微鏡法（PCM法）の計数値を基準に較正を行っている。

1) 機種Aの較正方法

本装置は、平成3～4年度にかけて当時の環境庁が導入を検討していた米国のMIE社から市販されていたFM-7400と同様に、クリソタイルとアモサイトの2系統の較正チャンネルを有している。

クリソタイルの1次較正には、当時の環境庁の検討会でダストチャンバーに発生させたクリソタイル繊維の長さや太さの分布や形態が、環境大気中に存在するアスベスト繊維に近似できるとして選定された、ジンバブエ共和国産のクリソタイルを粉碎処理したものを使用している。このクリソタイル繊維を内容積約400Lの専用ダストチャンバーに発生させ、0～5000 f/L

の範囲で濃度の異なる 35 ~ 50 点の範囲で PCM 法との併行測定を 3 ~ 5 回実施し、表示濃度と PCM 法によるクリソタイル繊維数濃度の比較から回帰式を計算し、その傾きから係数を求め PCM 法の濃度と 1 対 1 になるように補正した機器を基準器としている。2 次較正も同様のクリソタイルを使用して 1 次較正と同様に発生させ、基準器と被検器の併行測定を行い、被検器の表示濃度が基準器の表示濃度と一致するように補正している。

アモサイトの 1 次較正には南アフリカ共和国 Transvaal 州産のアモサイトを粉碎処理したものを使用して、クリソタイルと同様の方法で 1 次較正、2 次較正を行っている。

基準器は日本で保有しており、米国での機器生産に当たっては、日本からの準器を使用して調整し、日本国内で基準器との 1 次、2 次較正を行っている。

2) 機種 B の較正方法

1 次較正用繊維としてアモサイト (JAWE231) を使用し、ダストチャンバーに発生させ、基準器と PCM 法との併行測定を行う。

濃度段階は 400 f /L 付近を目安に 1 点測定し、その前後 2 点ずつ計 5 点を PCM 法と併行測定して比較する。そこで得られた表示濃度と PCM 法によるアモサイト繊維数濃度の比較から回帰式を計算し、その傾きから係数を求め PCM 法の濃度と 1 対 1 になるように補正した機器を基準器とする。

次に 2 次較正用繊維として人造鉱物繊維を発生させ、基準器と被検器を同時に併行測定し、そこで得られた基準器の表示濃度と被検器の表示濃度から回帰式を計算し、その傾きから係数を求め基準器の濃度と 1 対 1 になるように補正している。

3) 機種 C の較正方法

1 次較正用繊維としてアモサイト (測定機関から提供してもらった現場試料を使用している。アスベスト濃度は 100% ではなく、他の繊維も混入している可能性あり。) を使用し、ダストチャンバーに発生させ、800f/L 以下の濃度において 30 点~50 点程度、PCM 法と表示値の比較測定を行う。そこで得られた表示濃度と PCM 法によるアモサイト繊維数濃度の比較から回帰式を計算し、その傾きから係数を求め PCM 法の濃度と 1 対 1 になるように補正した機器を基準器とする。

次に 2 次較正用繊維としてチタン酸カリウム (製品名: ティスモ D) をチャンバーに発生させ、500f/L 以下の濃度で 5 点基準器と被検器を同時に併行測定し、そこで得られた基準器の表示濃度と被検器の表示濃度から回帰式を計算し、その傾きから係数を求め基準器の濃度と 1 対 1 になるように補正している。

4) 機種 D の較正方法

1 次較正用繊維としてクリソタイル (JAWE111) を使用し、チャンバーに発生させ、100 f /L 以下の濃度で 2 点測定し、PCM 法と表示値の比較測定を行う。そこで得られた表示濃度と PCM 法によるアモサイト繊維数濃度の比較から回帰式を計算し、その傾きから係数を求め PCM 法の濃度と 1 対 1 になるように補正した機器を基準器とする。

次に 2 次較正用繊維としてグラスウールを使用し、グラスウールを発生させ、基準器と被検器を同時に測定し、基準器の表示値に被検器の表示値を合わせるように反射強度を調整する。

最後に、チャンパー内にクリソタイル (JAWE111)、アモサイト (JAWE121) を別々に発生させて、基準器と被検器を同時に測定し、基準器の表示値に被検器の表示値が合うように反射強度を調整する。

(4) サンプリング (計測) 方法

1) 測定箇所の設定

測定点は隔離シートによって密閉された解体現場からの粉じん飛散状況を的確に把握・管理するため、粉じん飛散が最も懸念されるセキュリティゾーンの前室入り口近傍及び排気装置 (負圧除塵装置) の排気口近傍に設定する。排気口が複数存在した場合は、排気量が最も多い 1 箇所を代表地点として設定する。排気口のダクトが 2 階以上の高さの窓等から出されているような場合は排気口のダクトの直下に設定する。

2) 測定装置

繊維状粒子自動測定器による測定には、予めクリソタイル標準繊維で校正され、バックアップとして流路中に白色メンブランフィルター (平均孔径 $0.8\mu\text{m}$) が装着できる装置を使用する。

3) 捕集時間及び捕集空気量等

原則として先ず除去作業開始前に 30 分間、捕集口を地上 1.5m 以上 2.0m 以内の排出源の方向に向け、吸引流量 $2\text{L}/\text{min}$ で繊維状粒子自動測定器を稼動し、表示された繊維状粒子濃度を記録する。次に除去作業開始直後から 30 分間の連続捕集を行い、表示された繊維状粒子濃度を記録する。

集じん・排気装置 (負圧除塵装置) の排気口の測定の場合には、排気口からの風速と繊維状粒子自動測定器の捕集口の面速 (cm/sec) が等速となる位置で測定を実施する。

(各測定器の捕集口の面速は機種 A、機種 B がそれぞれ $236.2\text{ cm}/\text{sec}$ 、 $42.4\text{ cm}/\text{sec}$ 、機種 C が $38.8\text{ cm}/\text{sec}$ 、機種 D が $58.8\text{ cm}/\text{sec}$ である。)

各測定器で 30 分間 (60L) 捕集した場合の検出下限濃度は、機種 A が $1.7\text{ f}/\text{L}$ 、機種 B が $1.3\text{ f}/\text{L}$ 、機種 C が $3.3\text{ f}/\text{L}$ 、機種 D が $0.5\text{ f}/\text{L}$ である。

(5) 測定結果の取り扱い

測定された繊維状粒子濃度測定結果は次のように記載する。

- 1) 作業開始前の繊維状粒子濃度測定結果 : A f/L
- 2) 作業中の繊維状粒子濃度測定結果 : B f/L
- 3) 作業による繊維状粒子濃度 : (B - A) f/L

繊維状粒子自動測定器で測定された濃度 (f/L) は総繊維数濃度であり、位相差顕微鏡 (PCM 法) と同様に、当該繊維状粒子がアスベスト繊維であるか否かの判別は出来ない。そこで、作

業による繊維状粒子濃度が目立った増加傾向を示した場合には、繊維状粒子自動測定器のバックアップフィルターを使用して、電子顕微鏡法（A-SEM, A-TEM）等によって当該繊維がアスベスト繊維か否かの確認分析を実施する。

（6）繊維状粒子自動測定器による測定の留意点

繊維状粒子自動測定器による測定は過去の経験から、位相差顕微鏡法による総繊維濃度よりもやや高い濃度として計測される場合が多い。これは、位相差顕微鏡の場合には繊維の形態を1繊維ごとに確認して計数しているのに対して、繊維状粒子自動測定器の場合は繊維の形態によって発生するパルスの取り扱いにより計測対象の繊維を選別するために、安全側にシフトするような調整が行われているためである。

繊維状粒子自動測定器による測定はリアルタイムで繊維状粒子濃度が把握できるという利点があり、解体現場での隔離シートやセキュリティゾーン、負圧除塵装置の排気口からの飛散等に関する管理を迅速に実施可能となるメリットを有するが、各機器の較正方法の統一や、アスベストのみが存在する作業環境以外の場所における使用における、他の測定方法との相関性の検討など今後さらに検討する課題が残っている。

現在、各機種間での較正方法統一のため、各メーカーが協力して共通の較正方法を構築するため、ジンバブエ共和国産の較正用標準クリソタイルを調製し、その繊維を使用した方法が検討されており、それに基づいた各機種の基準器調整が始まっている。

表 5. 繊維状粒子自動計測器仕様一覧

装置型式	A社 機種A	B社 機種B	C社 機種C	D社 機種D
原理	光散乱方式を使用しファイバーを1列に並べさらに振動させる動作の組み合わせを探索させる電機を発生させ、粒子の中から単独に個々のファイバーを抽出する。	高電圧での粒子振動による繊維状粒子の散乱光検出	FHM-1の基本原理を使用、7μmを高電圧で振動させ、レーザーの散乱光の波形を解析	Hs-Noレーザービーム内を通過する粒子の170度後方散乱光を捉え、偏光角の変化の差で繊維と粒子を識別
長所	繊維状粒子のみを選別して測定可能 キャリブレーションはクリスタル、アモサイトの2系統設定されている	繊維状粒子のみを選別して測定可能	繊維状粒子のみを選別して測定可能	繊維状粒子のみを選別して測定可能 総計じん固度測定表示可能
欠点		取り込み材料の一部を抽出、流量比で濃度を算出	高温多湿、水蒸気(雨天時除外等)	精度の高い光学系を使用しているため重量が重い
検出最小長さ	2μm	5μm	5μm(長さ)以上	0.1μm(直径)×1μm(長さ)
最少測定濃度	捕集時間 10分	5本/L	10本/L	1.50本/L
	捕集時間 30分	3.9本/L	3.3本/L	0.50本/L
	捕集時間 60分	1.3本/L	0.8本/L	0.25本/L
	捕集時間 120分	0.7本/L	0.4本/L	—
	捕集時間 240分	0.3本/L	0.2本/L	0.0625本/L
捕集時間 480分	0.1本/L	0.1本/L	0.2本/L	
最大繊維数濃度	5000本/L	1000本/L	10007/L(9999カット)	10000本/L
捕集流量	2 L/min	2 L/min	2 L/min	2 L/min
検知可能な最小流量	0.02 L/min	0.1 L/min		2 L/minに固定
設定可能な運転時間	1分~24時間または連続	9999時間	分単位で連続まで自由に設定可能	種分時間1~90分で設定可能、連続測定回数1~500回
記録可能な運転時間	1分~24時間	9999時間	1件につき40時間 99件まで記録可能	出力出力の場合 同上 ソフトウェア出力の場合 無制限
設定時間内での記録項目	年・月・日・時・分、最新繊維数濃度、総繊維数(運転開始から)、平均繊維数濃度(運転開始から)、捕集経過時間、最高繊維数濃度(選択された捕集時間内での)、繊維濃度又は繊維数のグラフは時間間隔として表示	カット数、繊維状粒子濃度換算値 (f/L)、時間 (現在時刻)、設定・経過・残時間、吸引流量、各種異常表示	年・月・日・時・分、測定開始時間測定経過時間	測定開始時刻、設定測定時間、測定回数、繊維状粒子計測数、全粒子計測数、繊維状粒子濃度換算値(本/L)、全粒子濃度換算値(本/L)
測定中の繊維数濃度の表示	直近の繊維数濃度	繊維状粒子濃度換算値 (f/L)		現在値を2回/秒の更新で液面に表示
データの出力方法	USB (ケーブル付形式)	USB、PS-232C、プリンター	USB、RS-232C、プリンター付き	プリンターに印字またはRS232C接続でコンピュータに記録 ※別途専用ソフトウェアが必要
バックアップフィルター	φ25mm径×77mm径	φ25mm径×77mm径	φ25mm径×77mm径	φ25mm径×77mm径
電源	100-240VAC、50-60Hz	AC100V	100-240VAC、50-60Hz	AC100V
バッテリー	持続性4時間(以上)充電式リチウムイオン電池	ニッケル水素電池(約4時間)	DC12V(約10時間稼働)	無
寸法	W36.5cm×D28.2cm×H22.4cm	W38cm×D23cm×H24cm	W445mm×D250mm×H222.8mm	W55cm×D41cm×H18.5cm
重量	7.5kg(バッテリー含まず)	約5.2kg	約5.2kg	約13kg
設定可能な平均値の間隔	1~60分	1分または計算時間	設定不可	
データ記録の間隔	1~60分	1~999分	1分から自由に設定可能	1~90分 1分単位
アラーム設定有無	有	無	有	無
設定可能なアラーム範囲	THPEL(8時間中)及びSTEL(0.5時間中)	0.1~999.9 f/L(ケーブル出力)	自由に設定可能	無
アラーム音の大きき設定	90db(機器から1m離れた距離からの測定)	設定不可	内蔵ブザーは変更不可 外部出力端子有り	設定不可
ディスプレイスクリーン	16.3cm TFTLCD、カラーバックライト	タッチパネル式液晶ディスプレイ(バックライト付)	タッチパネル式 15.5型カラー液晶(13"型)	液晶
コンピュータ	WindowsXP内蔵、500MHzの7Rt44付付き工業用PC	通信機能あり	USB及びRS232により外部接続 内部専用77T	オプション(ソフト込み)
データ記憶容量	2GB(コンパクトフラッシュ)	データ数5450	1GB	測定結果500件
USBポート	USB2.0(×2ヶ所)	有	有	無(RS232Cから変換可能)
捕集口の流速	236.2cm/sec	42.4cm/sec	38.8cm/sec	58.8cm/sec