

PM_{2.5} に対するフィルタ捕集率評価指針

ISO/TC142 フィルタ試験分科会
(PM_{2.5} 小委員会)

2017年12月20日(改訂版)

序文

従来から日本の環境基準は大気中に浮遊する粒径 10 μm 以下の粒子を浮遊粒子状物質 (SPM) と定義している。そのなかで粒径 2.5 μm 以下の小さなものが微小粒子状物質 (PM_{2.5}) と呼ばれている。最近、PM_{2.5} に関するフィルタの効果とその選定方法に関する関心が高くなってきた。本指針は PM_{2.5} に対するフィルタ捕集率を表すための指針を与えるものである。

1. 適用範囲

この指針は、JIS B 9908 (換気用エアフィルタユニット・換気用電気集じん器の試験方法) に定める試験方法形式 2 で試験が行われるエアフィルタを対象に、PM_{2.5} に対する捕集率評価方法を規定する。

試験方法形式 3 (質量法) の試験による粗じん用フィルタを用いたパネル型エアフィルタ及びユニット型エアフィルタ及び自動巻取形エアフィルタは PM_{2.5} に対する捕集率が小さいため適用除外とする。

2. 引用規

次にあげる規格は、この指針に引用されることによってこの指針の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版を適用する。

JIS B 9908 換気用フィルタユニット、換気用電気集じん器の性能試験方法

JIS Z 8103 計測用語

JIS Z 8122 コンタミネーションコントロール用語

JIS B 9921 光散乱式気中粒子計測器 — 校正方法及び検証方法

JIS Z 8851 大気中の PM_{2.5} 測定用サンブラ

JIS Z 8901 試験用粉体及び試験用粒子

JISZ 8819-2 粒子径測定結果の表現—第2部: 粒子径分布からの平均粒子径又は平均粒子直径及びモーメントの計算

3. 用語の定義

この指針で用いる主な用語の定義は、JIS Z 8103 および JIS Z 8122 によるほか、次による。

3.1 PM_{2.5}

粒径 2.5 μm の粒子を 50% の割合で分離できる分粒装置を用いて、粒径の大きい粒子を除去した後に採取される粒子。2.5 μm だけでなくそれ以下の微小粒子を含む全ての粒子状物質。ここでいう粒径は空気力学径であり、その粒子の重力終末沈降速度と同じ沈降速度を持つ密度 1 g/cm³ の球形粒子の直径。

3.2 空気力学相当径

その粒子の終末沈降速度と等しい、密度 1g/cm³ の球形粒子の直径。終末沈降速度は、粒子の大きさ、形状、密度の関数となるが、空気力学相当径を用いることにより、これらの影響を排除して、粒子のろ過、沈着を予測することが可能になる。

3.3 光散乱相当径

その粒子の光散乱強度と等しい光散乱強度を有する真球のポリスチレンラテックス (PSL) 粒子の直径

3.4 MPPS (最大透過率粒径 Most Penetrating Particle Size)

通常、MPPS は最小の捕集効率を与える粒径として定義され、ろ過速度、フィルタ構造によって変化するが、ここでは 0.4 μm と規程する。

4 PM_{2.5} の発生由来と健康への影響

4.1 発生由来

PM_{2.5} の発生由来にはディーゼルエンジン、工場・事業場での燃料の燃焼などからの一次粒子と、ガス状で排出されたものが大気中で反応生成してできた硫酸塩、硝酸塩、揮発性有機化合物から生成した有機炭素粒子などの二次粒子がある。

4.2 健康への影響

PM₁₀ あるいは SPM は鼻腔、咽頭部、喉部での沈着を免れ、胸部 (肺) に沈着する。このうち、粒径の小さな PM_{2.5} は、肺の深部 (肺胞部) まで到達し、沈着部位に 24 時間以上滞留する。このため、PM_{2.5} は、気管支部に沈着する粒子よりも人体への影響が大きく、呼吸器・循環器系疾患や死亡率に影響すると報告されている^{1),2)}。各自治体は常時、大気モニタリングを行っており、環境省は Web サイトの大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」で PM_{2.5} のデータを常時更新している。濃度が基準値を超えるような時は、できるだけ外出を控え、マスクや空気清浄機などで身を守るなどの注意が必要である。

5. PM_{2.5} に対するフィルタ捕集率

大気塵あるいは PM_{2.5} の組成は複雑で、場所によって構成成分が大きく異なるため、一概にその生体影響を議論することは困難である。ここでは、大気塵の生体影響が粒子の質量に比例するという前提で、PM_{2.5} に対する質量基準のフィルタ捕集率の求め方について示す。また、フィルタは粒子がフィルタ内部に堆積するにつれて、圧力損失は上昇し、フィルタの捕集効率も変化する。一般に、静電気を利用したフィルタでは捕集効率は粉塵負荷とともに低下し、機械

的な捕集機構（慣性、重力、さえぎり、拡散）を利用したフィルタでは捕集効率は増加する。したがって、フィルタ性能を記述にあたり、初期捕集率、除電後のフィルタ初期効率（静電気を利用したフィルタの場合）、あるいは、粉塵負荷後の捕集率のいずれを採用するかは、フィルタの用途（ユーザーの判断）に委ねる。

さらに、いずれの捕集率を用いるにせよ、JISB9908 を適用すると個数基準の粒径別捕集率（部分捕集効率）が測定されるので、ここでは、大気塵の個数濃度分布関数と、JISB9908 により測定された個数基準の粒径別捕集率を与えられた場合の、PM_{2.5}の質量基準の捕集率の求め方を示す。

5.1 大気塵の濃度分布関数

大気塵の濃度分布測定法としては、①質量法：アンダーセンエアサンプラー（ALV, Andersen Low Volume Sampler）等を用いて、大気塵を分級してサンプリングし、各粒径区分の粒子質量を求める方法、②個数法：JISB9908 に規定されているように、粒径識別能を有する粒子計数器（パーティクルカウンタ、OPC）を用いて、各粒径区分の粒子の個数を求める方法、に大別される。粒径分布関数は、一般的に以下のように考えることできる。

いま、粒径 $D_p \sim D_p + dD_p$ の粒子の質量濃度を dm とすると、

$$dm = M F_m(D_p) dD_p \quad (1)$$

ここで、 M は粒子の総質量濃度、 $F_m(D_p)$ は質量基準の粒径分布関数である。①の質量法を用いると、各粒径区分の粒子の質量 Δm ：

$$\Delta m = M F_m(D_p) \Delta D_p \quad (2)$$

より、質量基準の粒径分布関数（確率密度関数）を、

$$F_m(D_p) = (\Delta m / M) / \Delta D_p \quad (3)$$

として求められる。

一方、粒径 $D_p \sim D_p + dD_p$ の粒子の個数濃度を dn とすると、

$$dn = N F_n(D_p) dD_p \quad (4)$$

ここで、 N は粒子の総個数濃度、 $F_n(D_p)$ は個数基準の粒径分布関数である。②の個数法を用いると、各粒径区分の粒子の個数 Δn ：

$$\Delta n = N F_n(D_p) \Delta D_p \quad (5)$$

より、個数基準の粒径分布関数（確率密度関数）

$$F_n(D_p) = (\Delta n / N) / \Delta D_p \quad (6)$$

を求められる。

粒子の形状が球形で、粒子の密度（ ρ_p ）が一様と仮定すると、質量基準と個数基準の粒径分布関数の間には、 $m = (\pi/6) \rho_p \cdot D_p^3$ であるから、(2)、(5)式より、次の関係が成立する。

$$N F_n(D_p) \cdot (\pi/6) \rho_p \cdot D_p^3 = M F_m(D_p) \quad (7)$$

5.2 大気塵の粒径

平成 13 年度（2001 年度）より平成 18 年度（2006 年度）の計 6 年間にわたって実施された環境省の微小粒子状物質曝露影響調査報告書（平成 19 年 7 月）³⁾によると、ALV によって測定された大気塵の粒径分布は図 1 に示すような分布を持つ。この図の横軸の粒径は、空気力学相当径である。この図から、PM_{2.5}の粒径分布は、およそ 0.5 μm と 5 μm に濃度のピークをもつ 2 峰分布で、2 山の谷部は 1-2 μm に

存在する。従って PM_{2.5}の粒径分布は 0.5 μm だけにピークを持つ分布に近いものである。

5.3 大気塵の粒径分布モデル

大気塵の粒径分布は図 1 に示すように 2 峰分布で与えられるので、それぞれの峰について対数正規分布を仮定すると、質量基準の粒径分布関数 $q_m(\ln D_p)$ は次式で与えられる。

$$q_m(\ln D_p) = x \cdot f_m(\ln D_p, \sigma_{g1}, D_{Pg1}) + (1-x) \cdot f_m(\ln D_p, \sigma_{g2}, D_{Pg2}) \quad (8)$$

ここで、 x は 2 峰分布の小粒径側の峰を構成する粒子の質量分率、 D_{Pg} は質量基準の幾何平均径、 σ_g は質量基準の幾何標準偏差である。

対数正規分布関数は次式で与えられる。

$$f_m(\ln D_p, \sigma_g, D_{Pg}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \exp\left\{-\frac{(\ln D_p - \ln D_{Pg})^2}{2 \ln^2 \sigma_g}\right\} \quad (9)$$

大気塵の粒径分布は、場所、時間によって大きく異なるが、ここでは、都市部の粒径分布を標準とした場合に、次の値を採用する。

- 小粒子／大粒子混合比 : $x=0.5$
- 小粒径側粒子の幾何平均径 : $D_{Pg1} = 0.5 \cdot m$
- 小粒径側粒子の幾何標準偏差 : $\sigma_{g1} = 1.8$
- 大粒径側粒子の幾何平均径 : $D_{Pg2} = 4.0 \cdot m$
- 大粒径側粒子の幾何標準偏差 : $\sigma_{g2} = 1.5$

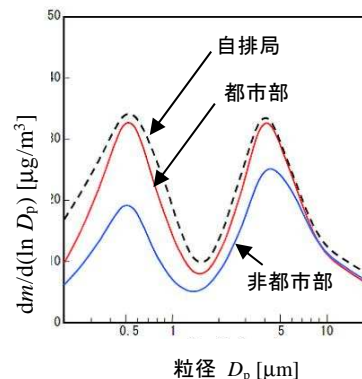


図 1 ALV によって測定された粒子状物質質量濃度の粒径分布（平成 13～18 年度の平均値）

(8) および(9)式から標準の粒径分布関数を計算した結果を表 1 と図 2 に示す。粒径範囲は幾何平均径の精度が低下しないよう上下限の差を小さくした。またなるべく対数的に等間隔となるようにした。

表 1 大気粒子モデルの粒径別の標準粒径分布関数

光散乱相当径 (μm)				標準粒径分布関数 (-)
下限	上限	幾何平均	対数粒径間隔	

D_{p_i}	$D_{p_{i+1}}$	$D_{p_{pg}} = \frac{D_{p_i} + D_{p_{i+1}}}{2}$	$\Delta \ln D_p = \ln \frac{D_{p_{i+1}}}{D_{p_i}}$	$q_m(\ln D_p)$ (%)
0.3	0.5	0.39	0.51	30.887
0.5	0.7	0.59	0.34	32.583
0.7	1.0	0.84	0.36	23.160
1.0	1.3	1.14	0.26	13.105
1.3	1.6	1.44	0.21	8.768
1.6	2.2	1.88	0.32	11.312
2.2	3.0	2.57	0.31	27.812

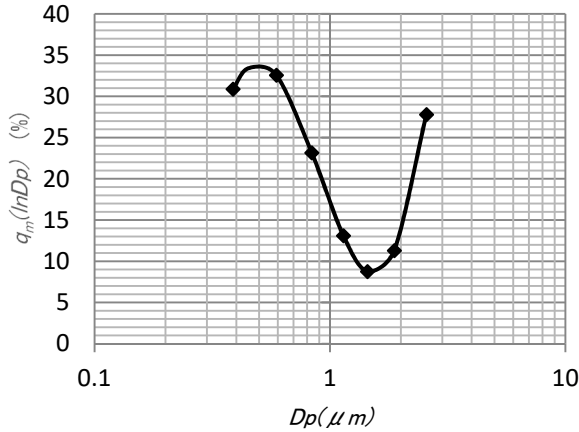


図2 標準粒径分布

5.4 フィルタの粒径別捕集率

JISB9908によれば、初期のフィルタの粒径別捕集率 $E(D_p)$ は、JIS-11種粉体（関東ローム粉）を用いてパーティクルカウンタ（OPC）で測定され、 $0.3 \mu\text{m}$ から $5 \mu\text{m}$ の範囲で粒径別に図3のように与えられる。ここで、図3の横軸の粒径は光散乱相当径である。この図に示すように、一般に、フィルタの粒径別捕集率 $E(D_p)$ は、 $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲で捕集率は最小となる。この最小の捕集効率を与える粒径 $D_{p, \min}$ を最大透過粒径（MPPS）と呼ぶ。

図4はアンダーセンエアサンプラ（ALV）とパーティクルカウンタ（OPC）によって測定したJIS-11種粉体の粒度分布を比較したものである⁴⁾。同図に示すように、ALVで測定された質量基準の粒径分布を個数基準に換算すると、OPCで測定された個数基準の粒径分布とほぼ一致することがわかる。このことから、JIS-11種粉体の場合、OPCで測定された光散乱相当径は空気力学相当径に等しいと言える。したがって、JIS-11種粉体を用いて測定した粒径別捕集率（図3）は、空気力学径に対する捕集率として採用することが可能である。

5.5 PM_{2.5}に対するフィルタ捕集率

PM_{2.5}の質量基準の捕集率 E_T は、質量基準の粒径分布関数 $q_m(D_p)$ とフィルタの粒径別捕集率 $E(D_p)$ を用いて次式によって計算できる。

$$E_T = \frac{\int_0^{2.5} E(D_p) M q_m(D_p) dD_p}{\int_0^{2.5} M q_m(D_p) dD_p} \quad (10)$$

$$= \frac{\int_0^{2.5} E(D_p) q_m(D_p) dD_p}{\int_0^{2.5} q_m(D_p) dD_p} \quad (11)$$

ここで、(10)式の分母はPM_{2.5}の質量濃度である。(11)式を用いることで、PM_{2.5}の質量濃度を求めなくとも、粒径分布関数の積分値を基準に質量基準の捕集率を求めることができる。

PM_{2.5}の個数基準の粒径分布関数 $q_n(D_p)$ とすると、個数基準と質量基準の粒径分布の関係は(7)式を参考に次式で示される。

$$N \cdot q_n(D_p) \cdot (\pi/6) \cdot \rho_p \cdot D_p^3 = M \cdot q_m(D_p) \quad (12)$$

(10)、(12)式より次式が求まる。

$$E_T = \frac{\pi}{6} \rho_p N \int_0^{2.5} E(D_p) q_n(D_p) D_p^3 dD_p / PM_{2.5} \quad (13)$$

ここで、 $PM_{2.5}$ は、(10)式の分母に相当するPM_{2.5}の質量濃度である。PM_{2.5}の個数濃度分布が測定される場合、(12)式を用いることで、JISB9908によって求めた個数基準の粒径別捕集率から、PM_{2.5}の質量基準の捕集率を求めることができる。

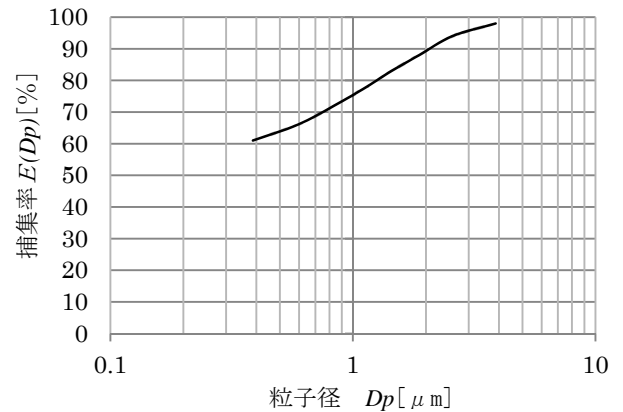


図3 パーティクルカウンタ（OPC）によって測定された粒径別フィルタ捕集率

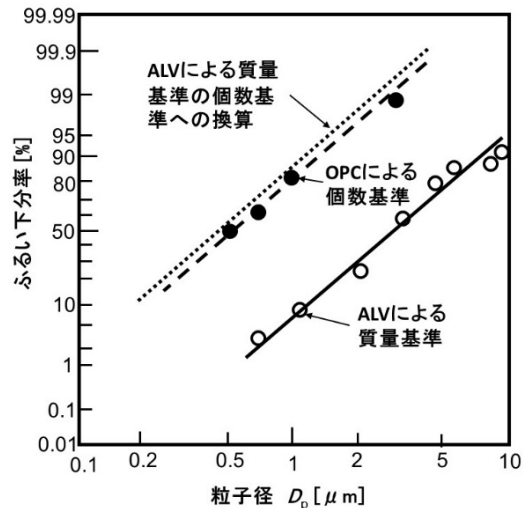


図4 アンダーセンエアサンプラ (ALV) とパーティクルカウンタ (OPC) による JIS-11 種粉体の粒径分布測定結果の比較

より大きいから、式(10) (または、(11)式)より、 $E_1 \geq E(D_{p, \min})$ が得られる。このことから、JISB9908 で測定された MPPS (最小捕集率) における粒径別捕集率 $E(D_{p, \min})$ を $PM_{2.5}$ に対するフィルタ捕集率として採用すれば、もっとも安全側の値を与えることができる。

6. 最小捕集率

粒径別捕集率 $E(D_p)$ は常に MPPS における捕集率 $E(D_{p, \min})$

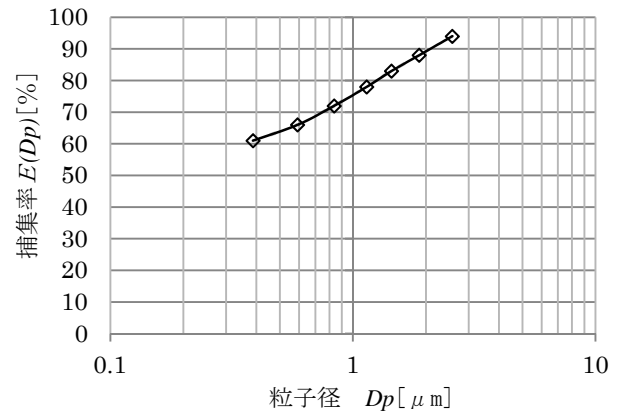
附属書(計算例)

A.1 PM_{2.5}に対するフィルタ捕集率の計算例

フィルタの粒径別捕集率の実測例を附属書表1と附属書図1に示す。

附属書表1 フィルタの部分捕集率

下限粒径(・m)	上限粒径(・m)	幾何平均径(・m)	初期捕集率(%)
D_{pi}	D_{pi+1}	$D_{pg} = \sqrt{D_{pi} \cdot D_{pi+1}}$	$E(D_{pi})$
0.3	0.5	0.39	61
0.5	0.7	0.59	66
0.7	1	0.84	72
1	1.3	1.14	78
1.3	1.6	1.44	83
1.6	2.2	1.88	88
2.2	3	2.57	94



附属書図1 フィルタの捕集率

(11)式によりPM_{2.5}の捕集率を計算し、附属書表2を得る。この場合、PM_{2.5}の捕集率は72.9%である。

附属書表2 PM_{2.5}捕集率の計算例

光散乱相当径(μm)				標準粒径分布関数(-)	粒径別捕集率(%)	$q_m(D_{pi}) \times \Delta \ln D_{pi}$	$q_m(D_{pi}) \times \Delta \ln D_{pi} \times E(D_{pi}) / 100$	PM _{2.5} 初期捕集率(%)
下限粒径(・m)	上限粒径(・m)	幾何平均径(・m)	対数粒径間隔					E(PM _{2.5})
D_{pi}	D_{pi+1}	$D_{pgi} = \sqrt{D_{pi} \cdot D_{pi+1}}$	$\Delta \ln D_{pi} = \ln \frac{D_{pi+1}}{D_{pi}}$	$q_m(D_{pi})$	$E(D_{pi})$			
0.3	0.5	0.39	0.51	30.887	61	15.752	9.609	
0.5	0.7	0.59	0.34	32.583	66	11.078	7.311	
0.7	1	0.84	0.36	23.160	72	8.338	6.003	
1	1.3	1.14	0.26	13.105	78	3.407	2.657	
1.3	1.6	1.44	0.21	8.768	83	1.841	1.528	
1.6	2.2	1.88	0.32	11.312	88	3.620	3.186	
2.2	3.0	2.57	0.31	27.812	94	8.622	8.105	
Σ						52.658	38.399	72.9

A.2 報告例

PM_{2.5}捕集率および最小捕集率の報告は次による。

A.2.1 標準粒径分布と初期粒径別の部分捕集率

本文の表1、図2および図3による。

A.2.2 PM_{2.5}捕集率および最小捕集率(粒径0.4μm捕集率)(初期)

附属書表2および附属書表3による。

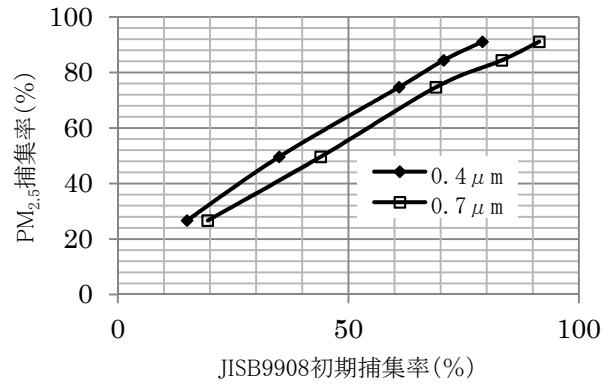
附属書表 3 PM_{2.5}に対する粒子捕集率報告様式

PM _{2.5} に対する粒子捕集率報告書	
報告日：****年**月**日	報告者：ABC会社
試験フィルタ	試験場所：ABC会社
名称：****	温湿度：22℃, 50%
型番：****	試験規格：JIS B 9908 (2011)
寸法 (縦×横×奥行)：610×610×290 mm	試験風量：56m ³ /min、ろ材試験速度：0.1 m/s
製造業者：ABC会社	捕集率試験エアロゾル：JIS-11種試験用粉体
ろ材材質：合成繊維 (非エレクトレット)	除電後捕集率試験エアロゾル：PA0
PM _{2.5} 捕集率：72.9%	
最小捕集率(0.4μm) (初期)：61%	

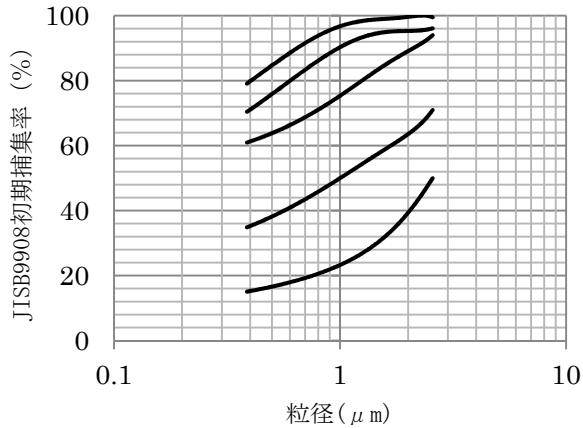
A.3 PM_{2.5}捕集率と JIS B 9908:2011 初期捕集率の関係 (参考例)

附属書図 2 に示す初期捕集率の例を用いて PM_{2.5} 捕集率を計算した場合の、PM_{2.5} 捕集率と JISB9908 初期捕集率の関係を附属書図 3 に示す。0.4μm と 0.7μm の捕集率をパラメータに用いて比較する。

0.4μm より 0.7μm の方がより PM_{2.5} 捕集率に近似した関係がみられる。これは一例であり、附属書図 2 によって附属書図 3 は変化する。



附属書図 3 JIS B 9908:2011 初期捕集率と PM_{2.5} 捕集率の関係 (例)



附属書図 2 JIS B 9908:2011 初期捕集率の例

解 説

この解説は、本件及び附属書に規定・記録した事柄、参考に記録した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するもので、指針の一部ではない。

1. 指針制定の経緯

最近、本協会やフィルタメーカーに対して PM_{2.5} に関するフィルタの問合せが急増している。フィルタの効果はどれくらいなのか？フィルタはどのように選定するのか？など。しかしまだ PM_{2.5} に対するフィルタ性能を示す一定の基準がなく各社各様で対応しているのが現状である。

一方、ISO/TC142/WG3 では PM_{2.5} 基準によるフィルタ性能に関するプロジェクト 16890 Part1 が進行している⁵⁾。しかしまだ審議段階であり、ISO 規格が成立するのは早くて 2016 年の予定である。

そこで ISO/TC142 のフィルタ試験分科会 (PM_{2.5} 小委員会) は 2013 年 5 月に検討を開始した。機関誌「空気清浄」7 月号 (2013 年) には「PM_{2.5} に対するフィルタ性能に関して」と題して基本的な考え方を掲載し、関係方々からの意見を求めた。

2. 審議中に問題となった課題・事項

委員からの指摘事項は以下とおりである。

2.1 PM_{2.5} に対するフィルタ捕集率は質量基準で示すこと。また、JIS B 9908 で測定される捕集率との相関を示すこと。

2.2 JIS B 9908 ではパーティクルカウンタの粒径区分は 4 区分以上で上限と下限粒径の幾何学平均で粒径を表すこととしているが、PM_{2.5} を評価する場合に、粒径区分の幅が捕集率に大きく影響する。そのため粒径区分の幅はできるだけ小さくし、その間隔はできるだけ等間隔とすることが重要である。

2.3 JIS B 9908 で測定した粒径別捕集率データと大気塵の粒径分布データから計算によって PM_{2.5} 捕集率を算出するので、指針の中で表示する粒径はその定義 (光散乱径か空気力学径か) を明確に区別しておく必要がある。同様に、大気塵の粒径分布の濃度基準 (個数濃度基準か質量濃度基準か) も明確にしておく必要がある。大気塵の粒径分布においては、個数基準と質量基準の換算式を入れた方がよい。

2.4 大気塵の粒径分布の測定方法を解説の中に加えた方がよい。また、粒径の定義 (光散乱径, 空気力学径) や濃度基準 (個数基準, 質量基準) の説明を入れた方がよい。

2.5 JIS B 9908 で測定される捕集率 (0.4 μm, 0.7 μm) と PM_{2.5} 捕集率の相関を示すことができればよい。

本指針はこれらの意見をできるだけ反映したものである。

参考文献

- 1) 環境省「微小粒子状物質 (PM_{2.5}) に関する情報」
- 2) D. W. Dockery, et. al., An association between air pollution and mortality in six U.S. Cities, New England J. of Medicine, 329, 24 (1993)
- 3) 環境省 微小粒子状物質曝露影響調査報告書
- 4) 大谷ら: 一般換気用エアフィルタ試験粒子への JIS-11 粉体の適用、エアロゾル研究, 14 (1)、5-11 (2009)
- 5) ISO CD16890-1 Air filters for general ventilation - Part 1; Technical Specifications, requirements and efficiency classification system based upon Particulate Matter (PM)
- 6) PM_{2.5} 小委員会: PM_{2.5} に対するフィルタ性能に関して、空気清浄、7 月号 (2013)

ISO/TC142 のフィルタ試験分科会 (PM_{2.5} 小委員会) の構成

委員長	大谷吉生	(金沢大学)
委員	浅田康裕	(東レ(株))
	今野貴博	(日本エアフィルター(株))
	大垣 豊	(日本バイリーン(株))
	奥山一博	(日本エアフィルター(株))
	片岡幸一	(金井重要工業(株))
	近藤 郁	(リオン(株))
	桜井芳夫	(日本ケンブリッジフィルター(株))
	佐野義哉	(ニッタ(株))
	新舎範一	(日本無機(株))
	杉田直記	(ミドリ安全(株))
	田中 豊	(東京ダイレック(株))
	田中広志	(日本バイリーン(株))
	包 理	(日本無機(株))
	林 敏昭	(東洋紡(株))
	広田祥二	(株)アクシー)
	水井和正	(ダイニック(株))
	猪原正泰	((公社)日本空気清浄協会)

敬称略