

## 粉塵の許容値の暫定値の提案理由書 (2011 年度)

平成 23 年 5 月 18 日  
日本産業衛生学会  
許容濃度等に関する委員会

### 吸入性粉塵における「吸入性」の定義の 変更について

#### 定義の再検討の必要性

本学会が許容濃度を勧告している物質の中で、「吸入性」という接頭語を使用しているのは、「吸入性粉塵」と「吸入性結晶質シリカ」である<sup>1)</sup>。いずれも吸入性という語を使用しているが、その定義は異なっている。吸入性粉塵の場合は、式 1 の分粒特性を有する分粒装置を透過した粒子のことであり、図 1 に示すように、空気動学的粒子径が  $5\mu\text{m}$  の粒子の場合、その 50% を透過するように設計されたサンプラー ( $5\mu\text{m}50\%$  カット) を使用して測定する。

一方、吸入性結晶質シリカの場合は、式 2 の捕集率で捕集された粒子のことであり、図 1 に示すように、空気動学的粒子径が  $4\mu\text{m}$  の粒子の場合、その 50% を透過するように設計されたサンプラー ( $4\mu\text{m}50\%$  カット) を使用して測定する。このような違いは、2006 年の吸入性結晶質シリカの許容濃度改定時に、吸入性の定義として International Organization for Standardization (ISO)<sup>2)</sup> のものを採用したためである<sup>3)</sup>。同じ語が別の定義を持つことは望ましくないと考えられ、再検討が必要である。

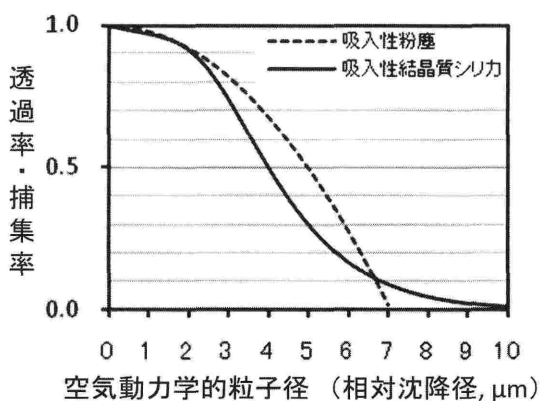


図 1. 本学会における吸入性粉塵と吸入性結晶質シリカの定義の比較。

#### 本学会における吸入性粉塵の「吸入性」の定義

次に示す分粒特性を有する分粒装置を透過した粒子を吸入性粉塵とする。

$$P = 1 - \frac{D^2}{D_0^2} \quad (D \leq D_0), \quad P = 0 \quad (D > D_0) \quad \text{式 1}$$

ここに、 $P$ : 透過率,  $D$ : 粉塵の相対沈降径 ( $\mu\text{m}$ ),  
 $D_0$ :  $7.07\mu\text{m}$ .

#### 本学会における吸入性結晶質シリカの「吸入性」の定義

吸入性結晶質シリカは以下の捕集率  $R(d_{ae})$  で捕集された粒子の質量濃度である。

$$R(d_{ae}) = 0.5 [1 + \exp(-0.06 d_{ae})] [1 - F(x)] \quad \text{式 2}$$

$d_{ae}$ : 空気動学的粒子径 ( $\mu\text{m}$ ),

$F(x)$ : 標準正規ランダム変数の累積確率関数

$x = \ln(d_{ae}/\Gamma) / \ln(\Sigma)$ ,  $\ln$  自然対数,  $\Gamma$ :  $4.25\mu\text{m}$ ,  $\Sigma$ : 1.5

#### ISO による規格化までの経緯

British Medical Research Council (BMRC) は、1952 年に、じん肺予防のために、肺胞領域まで到達する粉塵を抑制する必要があるとして、そのような粉塵を吸入性粉塵と定義し、式 1 の分粒特性 ( $5\mu\text{m}50\%$  カット) を有する分粒装置を透過する粉塵と定めた<sup>4)</sup>。1959 年には、ヨハネスブルグ国際じん肺会議において、同一の定義が採用された<sup>4)</sup>。

一方、U.S. Atomic Energy Commission (AEC) は、1961 年に、肺の繊毛のない領域まで到達する粉塵を吸入性粒子と定義し、空気動学的粒子径が 2.0, 2.5, 3.5, 5.0 および  $10\mu\text{m}$  の粒子のそれぞれ 100, 75, 50, 25 および 0% がそれに相当すると定めた<sup>4)</sup>。1968 年に、American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) は、この基準をサイクロン式 of 分粒装置の特性に合わせて、 $2.0\mu\text{m}$  の粒子については 90% に変更して採用し、さらに、1987 年に、より明確にするために式 3 の分粒特性を有する分粒装置を透過する粒子 ( $3.5\mu\text{m}50\%$  カット) とした<sup>4)</sup>。

1989 年に、ACGIH の Committee on Air Sampling Procedures の委員長 Soderholm<sup>5)</sup> が、国際的統一を目指して新しい定義として式 2 ( $4\mu\text{m}50\%$  カット) を提案し、1993 年に ACGIH および European Committee for Standardization (CEN) がこの式を採用し<sup>4, 6)</sup>、1995 年には ISO が規格化した<sup>2)</sup>。

なお、いずれの定義も吸気時に肺胞領域まで到達する粉塵をターゲットにしているが、粒径の小さな粒子は呼出時に再排出されるので、 $1\mu\text{m}$  前後の粒子の場合、実際に肺胞領域に沈着する粉塵量は吸入性と定義された粒

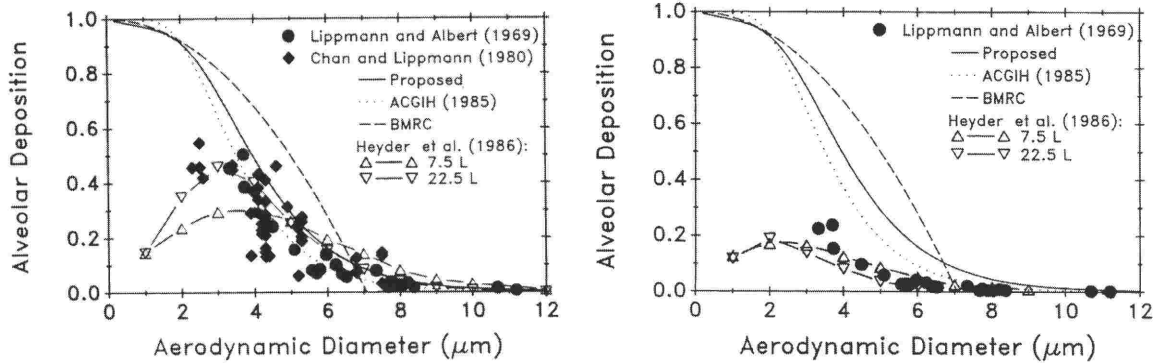


図2. 吸入性粉塵の定義と粒径別に見た肺胞領域での粉塵沈着率 (左図: 口呼吸時, 右図: 鼻呼吸時) (文献5より). 「Proposed」はISOの規定義, 「ACGIH」はACGIHの旧定義.

子の1/5~1/10である(図2)<sup>5)</sup>. しかし, 肺胞まで到達する粉塵量は沈着する粉塵量と相関があるので, 吸入性粉塵濃度は沈着粉塵量の指標になりえる. このような考え方にたつて, 吸入性粉塵が定義されている<sup>4)</sup>.

#### ACGIHにおける吸入性粒子状物質の「吸入性」の旧定義

吸入性粒子状物質とは, 空気動学的粒子径に対する捕集率が, 幾何平均  $3.5 \mu\text{m} \pm 0.3 \mu\text{m}$ , 幾何標準偏差  $1.5 \pm 0.1$  の対数正規分布の累積関数で表わされる分粒特性を有する分粒装置を透過した粒子である.

関数で表わすと式3になる.

$$R(d_{ae}) = 1 - G(x) \quad \text{式 3}$$

$d_{ae}$ : 空気動学的粒子径 ( $\mu\text{m}$ ),

$G(x)$ : 標準正規ランダム変数の累積確率関数

$x = \ln(d_{ae}/\Gamma) / \ln(\Sigma)$ ,  $\ln$  自然対数,  $\Gamma$ :  $3.5 \mu\text{m}$ ,  $\Sigma$ : 1.5

#### 本学会によるISO規格の採用の妥当性

本学会の吸入性粉塵と吸入性結晶質シリカの許容濃度はいずれもじん肺を予防するために制定されているものであるから, 吸入性の定義としては, じん肺の発症と関連性が強い方が適切である. Soderholm<sup>5)</sup>の検討では, 粒径別にみた肺胞領域への沈着率はISOの式に幾分近いが(図2), 大きな違いはなく, 2つの定義のどちらが適切という明確な根拠があるとは言いがたい. ただし, 産業現場における粉塵曝露状況や疫学調査結果などの国際比較を考慮するならば, ISOの定義に統一したほうがよいと考えられる. つまり, 吸入性粉塵における吸入性の定義 ( $5 \mu\text{m}50\%$ カット) を, 吸入性結晶質シリカにおける吸入性の定義 ( $4 \mu\text{m}50\%$ カット) に合わせるとのことである. ただし,  $5 \mu\text{m}50\%$ カットを  $4 \mu\text{m}50\%$ カットに変更すると, 曝露状況が同一であっても, 吸入性粉塵としての曝露濃度は低下すると考えられるので, 許容濃度も見直しが必要かもしれない. したがって, そ

の定義の変更が曝露濃度にどの程度影響するかを以下に検討する.

#### 分粒装置の分粒特性

ISOの分粒特性に準拠した分粒装置として市販されているのが仮想慣性衝突式のものである<sup>7)</sup>. 米国で以前から使用されてきたサイクロン式の分粒装置はもともとACGIHの旧分粒特性 ( $3.5 \mu\text{m}50\%$ カット) を満たすように設計されていたものであるが, ACGIHが現行の分粒特性 ( $4 \mu\text{m}50\%$ カット) を採用した時に再評価を行った結果, そのままで基準を満たしていると判断された<sup>4)</sup>. これらの分粒装置の実際の粉塵を用いた分粒特性の確認試験結果<sup>8)</sup>を図3に示す.

一方, 日本でよく使用されている分粒装置は多段平行板式と慣性衝突式である. 多段平行板式は定置用であり, 以前は  $5 \mu\text{m}50\%$ カット用として市販されていたものが, 吸引流量を変更することによって  $4 \mu\text{m}50\%$ カット用として市販されている. この分粒装置の理論的な分粒特性は式1の  $D_0$  を  $5.66 (\mu\text{m})$  に変更したものである. 実際の粉塵を用いた分粒特性試験では, 理論にはほぼ一致するという報告(図4)<sup>9)</sup>と, 粒子径が大きい領域において理論値よりも透過率が大きくなり, 結果としてISOの分粒特性をほぼ満たしているという報告<sup>8)</sup>(図3)がある. 一方, 慣性衝突式は携帯用および定置用があり, 以前は  $5 \mu\text{m}50\%$ カットのものが市販されていたが, 現在は設計を変更して  $4 \mu\text{m}50\%$ カットのもののみが市販されている. 分粒特性の確認試験結果<sup>8)</sup>(図3)では, ISOの分粒特性をほぼ満たしている.

#### 定義変更による影響

吸入性粉塵の定義を式1から式2に変更した場合, 曝露濃度にどのような影響がでるであろうか. まず, 多段平行板式であるが, 上記のように,  $4 \mu\text{m}50\%$ カットとして市販されているもの実際の分粒特性が理論式に一致するという報告と, ISOの式に一致するという報告が

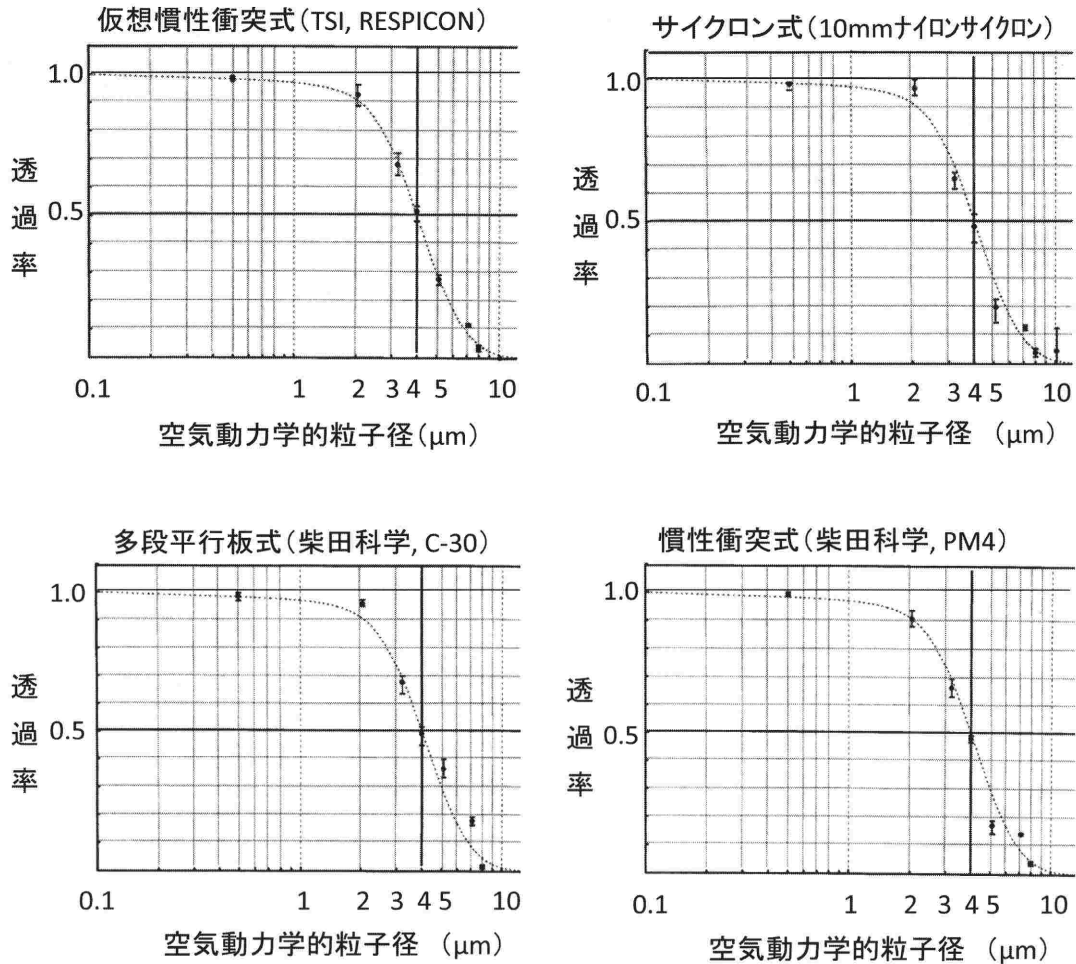


図3. 各種分粒装置の透過率特性試験結果 (文献8より).  
破線はISOの定義.

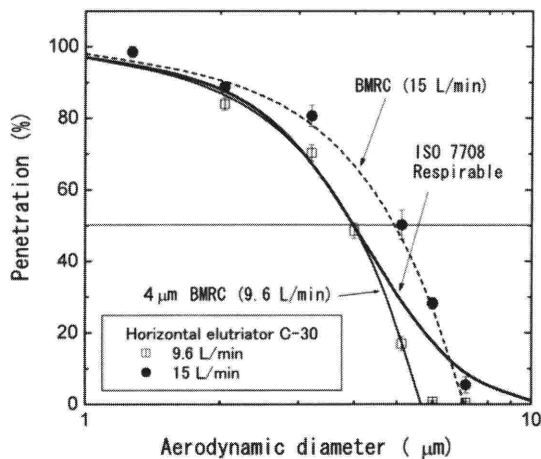


図4. 多段平行板式分粒装置の分粒特性 (文献9より).

ある。したがって、以前に5 $\mu\text{m}$ 50%カットとして市販されていた多段平行板式分粒装置の分粒特性は、理論式1に従うという考え方と、ISOの分粒特性の関数型はそのまま、50%カット値のみが異なる関数、すなわち

式4に従うという考え方がある。一方、慣性衝突式であるが、4 $\mu\text{m}$ 50%カットとして市販されているものの実際の分粒特性がISOの式に一致すると報告されているので、したがって、以前に5 $\mu\text{m}$ 50%カットとして市販されていた慣性衝突式分粒装置の分粒特性は式4で表わされるものと推定される。そこで、式1から式2への変更がどのような影響を与えるか、あるいは式4から式2への変更がどのような影響を与えるかを検討する。

5 $\mu\text{m}$ 50%カット用の多段平行板式および慣性衝突式の分粒装置の分粒特性

空気動学的粒子径に対する透過率  $R(d_{ae})$  は下式であったと推定される (多段式平行板式の分粒特性が理論式と異なる場合).

$$R(d_{ae}) = 0.5 [ 1 + \exp(-0.06 d_{ae}) ] [ 1 - H(x) ] \quad \text{式 4}$$

$d_{ae}$ : 空気動学的粒子径 ( $\mu\text{m}$ ),

$H(x)$ : 標準正規ランダム変数の累積確率関数

$x = \ln(d_{ae}/\Gamma) / \ln(\Sigma)$ ,  $\ln$  自然対数,  $\Gamma$ : 5.40  $\mu\text{m}$ ,  $\Sigma$ : 1.5

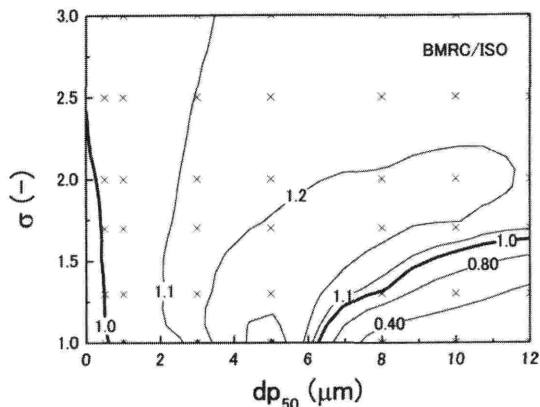


図 5. 5 μm50%カット (式1) および 4 μm50%カット (式2) での捕集による粉塵濃度の比 (文献9より, dp<sub>50</sub>: 空気動学的粒子径の中央値, σ (-): 幾何標準偏差).

まず, 理論的検討を行う. 一般の産業現場で発生する固体粒子には, 気体が空气中で凝縮あるいは化学変化したものと, 研磨・切削・粉砕などの機械的な作用で生成するものがあり, 粒径範囲はそれぞれ 0.1-1 μm および 1-150 μm である<sup>10)</sup>. 前者のものは粒径範囲が小さいので, 分粒特性の変更による影響はほとんどないと考えられる. したがって, 後者のものへの影響を検討する.

式1から式2への変更の影響については, 明星<sup>9)</sup>が既に検討しており, 粒径の幾何平均 (粒径の中央値  $D_{50}$ ) が 0.5-12 μm, 幾何標準偏差 ( $\sigma_g$ ) が 1.0-3.0 の場合について, 5 μm50%カットおよび 4 μm50%カットでの捕集による粉塵濃度の比を数値積分により算出している. 図5を見ると, 粉塵濃度の比は 0.4-1.3 であり, 粒径が大きくなり,  $\sigma_g$  が小さい場合に影響が大きい. 実際の産業現場では,  $\sigma_g$  が 1 に近い場合は少ないと考えられ,  $\sigma_g$  が 2 以上とすると, 粉塵濃度の比は 1.0-1.2 程度と予測される. したがって, 4 μm50%カットおよび 5 μm50%カットでの捕集による粉塵濃度の比はその逆数の 0.8-1.0 程度であり, おおむね 0.9 と見積もることができる.

また, 式4から式2への変更の影響については,  $D_{50}$  が 1-10 μm,  $\sigma_g$  が 2.0-5.0 の場合について, 4 μm50%カットおよび 5 μm50%カットでの捕集による粉塵濃度の比を数値積分により算出した. 結果を表1に示すが, 0.66-0.98 の範囲であり, 平均は 0.86 となった.

このような関係を実験あるいは現場で検討した研究がある. 藪田ら<sup>11)</sup>は, 安山岩, フライアッシュ, アリゾナロードダストおよび鋳造作業場の試料 (調砂, ショットブラスト, キューボラ, ハウジング仕上げ, 電気炉, ボールミル) の粉塵 (粒径の中央値  $D_{50}$ : 1.5-4.0 μm, 幾何標準偏差  $\sigma_g$ : 1.66-2.41) をチャンバー内で発生させ, 多段平行板式分粒装置を用い, 吸引流量を変更して 4 μm50%カットおよび 5 μm50%カットで同時に捕集し

表 1. 4 μm50%カット (式2) および 5 μm50%カット (式4) での捕集による粉塵濃度の比の推定値

$D_{50}$ (μm)	$\sigma_g$			
	2	3	4	5
1	0.98	0.97	0.96	0.96
2	0.93	0.93	0.93	0.94
3	0.88	0.90	0.91	0.92
4	0.83	0.87	0.90	0.91
5	0.79	0.85	0.88	0.90
6	0.75	0.84	0.87	0.89
7	0.73	0.82	0.86	0.88
8	0.70	0.81	0.85	0.87
9	0.68	0.80	0.84	0.87
10	0.66	0.79	0.84	0.86

$D_{50}$ : 空気動学的粒子径の中央値 (幾何平均)

$\sigma_g$ : 空気動学的粒子径の幾何標準偏差

$$\text{比} = \frac{\int |0.5 [1 + \exp(-0.06 d_{ae})] [1 - F(x)] J(x)| dx}{\int |0.5 [1 + \exp(-0.06 d_{ae})] [1 - H(x)] J(x)| dx}$$

$J(x)$ : 幾何平均  $D_{50}$ , 幾何標準偏差  $\sigma_g$  の対数正規分布の確率密度関数

て比較しているが, 回帰直線の傾きとして 0.86 を示している. 日本作業環境測定協会精度管理センターの報告書<sup>8)</sup>の参考資料には, チャンバー内で発生させた酸化マグネシウムおよび ACダストの粉塵と, 鋳造工場内の実際の粉塵を, 多段平行板式分粒装置を用い, 4 μm50%カットおよび 5 μm50%カットで同時に捕集したものの回帰直線を示しているが, 傾きは 0.87 となっている. 横山ら<sup>12)</sup>は, ACダストの粉塵 ( $D_{50}$ : 1.1-1.9 μm,  $\sigma_g$ : 2.00-2.63) および酸化マグネシウムの粉塵 ( $D_{50}$ : 4.2-4.3 μm,  $\sigma_g$ : 2.24-2.39) をチャンバー内で発生させ, RESPICON (4 μm50%カット) および多段平行板式分粒装置 (5 μm50%カット) を用いて同時に捕集し比較している. その報告を基に, 4 μm50%カットと 5 μm50%カットによる粉塵濃度の比を算出すると, ACダストでは 0.85, 酸化マグネシウムでは 0.90 となる. 下田ら<sup>13)</sup>は, 鋳造作業場 (調砂, 注湯, 型ばらし) において, 粉塵 ( $D_{50}$ : 4.5-11.0 μm,  $\sigma_g$ : 3.00-5.48) を RESPICON (4 μm50%カット) および多段平行板式分粒装置 (4 μm50%カットおよび 5 μm50%カット) を用いて捕集し, 同時にデジタル粉塵計でも計測して質量濃度換算係数を算出し比較している. その報告を基に, 多段平行板式 (4 μm50%カット) と多段平行板式 (5 μm50%カット) による粉塵濃度の比を算出すると平均で 0.83 となり, RESPICON (4 μm50%カット) と多段平行板式 (5 μm50%カット) による粉塵濃度の比を算出すると平均で 1.00 となる.

以上をまとめると, 吸入性粉塵の定義を式1から式2に変更した場合, 粉塵濃度は, 理論的考察では 0.9 および 0.86 倍であり, 実験および現場での検討では 0.86, 0.87, 0.85, 0.90, 0.83 および 1.00 倍であり, 12%前後

表2. 日本産業衛生学会と ACGIH における吸入性粉塵の許容限界値の比較

日本産業衛生学会の吸入性粉塵の分類	ACGIH の吸入性粉塵の TLV-TWA (mg/m <sup>3</sup> )
第1種粉塵 (許容濃度 0.5 mg/m <sup>3</sup> ) 滑石 (石綿を含まないこと) アルミニウム・アルミナ カオリナイト 黒鉛	2 1 アルミニウムおよび不溶性化合物 2 2 黒鉛 (繊維を除く)
第2種粉塵 (許容濃度 1 mg/m <sup>3</sup> ) 酸化鉄 石炭  酸化亜鉛 ポルトランドセメント	5 0.4 無煙炭 0.9 歴青炭 2 1
第3種粉塵 (許容濃度 2 mg/m <sup>3</sup> ) その他の無機および有機粉塵	0.5 ケイ酸カルシウム (繊維を除く) 1 ポリ塩化ビニル 3 雲母 3 炭化ケイ素 (繊維を除く) 3 他に分類できない非水溶性・難溶性粉塵

ACGIH が吸入性粉塵の許容濃度を設定しているもののみを示した。

減少すると考えられる。

#### 許容濃度の変更の必要性

現行の第1種, 第2種, 第3種粉塵の許容濃度は1981年に設定され, 吸入性粉塵の場合, それぞれ0.5, 1.0および2.0 mg/m<sup>3</sup>となっている<sup>14)</sup>。その後, 2002年に石灰石が第2種から第3種に変更されている<sup>15)</sup>。1981年の提案理由では, 量-反応関係から許容濃度を定めるほどには資料が集積されていないと述べ, ①線維化の強弱(循環障害も考慮する), ②上部気道変化の強弱, ③下部気道(呼吸気管支梢以下肺胞壁まで)の変化の強弱を考慮して, 有害性の強いものを第1種粉塵に指定するとともに, 剖検例, X線所見, 実験による証明のあるものを追加している<sup>14)</sup>。さらに有害度の低いものを第2種粉塵に指定し, 剖検例, X線所見, 実験による証明のあるものを追加している<sup>14)</sup>。

許容濃度の数値は, 遊離珪酸を含む粉塵については量-反応関係に基づき, 吸入性の場合,  $2.9 / (0.22Q + 1)$  mg/m<sup>3</sup> (Q: 遊離珪酸含有率) と決定し, その数値を参考にして, その他の粉塵の許容濃度の数値を決定しているが, 当時の提案理由<sup>14)</sup>にはどのように参考にしたかは明確には記述されていない。「遊離珪酸含有率10%未満の鉱物性粉塵は各種粉塵の第2種として取り扱うこととした」と述べているので, おそらく, 第2種粉塵の許容濃度を, 遊離珪酸含有率10%の粉塵の場合にはほぼ相当する1 mg/m<sup>3</sup> (上式にQ = 10を代入) とし, 第1種をその0.5倍に, 第3種をその2倍にするよう提案したものと推察される。ところが, 現在は, 遊離珪酸を含む粉塵は結晶質シリカとして許容濃度が設定されているので, 第1種, 第2種および第3種粉塵の許容濃度の決定

根拠が明確でなくなっている。

上記の検討では, 吸入性の定義を変更することにより, 粉塵濃度が平均で12%前後減少すると予想されるため, 現行の許容濃度の数値を0.88倍することもひとつの案である。しかし, 現行の許容濃度は量-反応関係から定められた数値ではないため, このような軽微な変更をするだけの根拠が乏しいと言わざるを得ない。

#### ACGIH との比較

本学会<sup>1)</sup> および ACGIH<sup>16)</sup> のいずれもが吸入性粉塵の許容限界値を設定している物質を表2に示す。上記のように, 本学会は5 $\mu$ m50%カットの定義での許容濃度であり, ACGIHは4 $\mu$ m50%カットの定義でのTLV-TWAである。第1種粉塵の場合は本学会の方が低い。第2種粉塵の場合は, 石炭はACGIHの方が低く, 酸化鉄, 酸化亜鉛, ポルトランドセメントは本学会の方が低い。第3種粉塵の場合は, ケイ酸カルシウムおよびポリ塩化ビニルはACGIHの方が低く, その他は本学会の方が低い。したがって, 本学会の吸入性粉塵の定義を4 $\mu$ m50%カットに変更しても, 現行の許容濃度がACGIHのTLV-TWAよりも著しく高いわけではない。

#### 提案

本学会の吸入性粉塵における「吸入性」の定義を吸入性結晶質シリカのものに合わせ, 下記のように変更する。なお, ISO<sup>2)</sup> は, 1995年に, InhalableおよびThoracicの定義も規格化しており, ACGIHも採用して一部の物質では, Inhalable particulate massおよびThoracic particulate massとしての許容濃度の設定も行っているが, 本学会ではその検討は行っていない。

吸入性結晶質シリカおよび吸入性粉塵は以下の捕集率  $R(d_{ae})$  で捕集された粒子の質量濃度である。

$$R(d_{ae}) = 0.5 [1 + \exp(-0.06 d_{ae})] [1 - F(x)]$$

$d_{ae}$ : 空気動学的粒子径 ( $\mu\text{m}$ ),

$F(x)$ : 標準正規ランダム変数の累積分布関数

$x = \ln(d_{ae}/\Gamma) / \ln(\Sigma)$ ,  $\ln$  自然対数,  $\Gamma$ :  $4.25 \mu\text{m}$ ,  $\Sigma$ : 1.5

第1種粉塵, 第2種粉塵および第3種粉塵の許容濃度の数値の変更は行わない。なお, 第2種粉塵である「遊離珪酸含有率10%未満の鉱物性粉塵」については, 吸入性結晶質シリカの許容濃度  $0.03 \text{ mg}/\text{m}^3$  との整合性から, 「結晶質シリカ含有率3%未満の鉱物性粉塵」に変更する。

## 文 献

- 1) 日本産業衛生学会. 許容濃度等の勧告 (2010年度). 産衛誌 2010; 52: 221-47.
- 2) International Organization for Standardization (ISO). Air quality—Particle size fraction definitions for health-related sampling (ISO 7708). Geneva: ISO, 1995.
- 3) 日本産業衛生学会許容濃度等に関する委員会. 許容濃度の暫定値 (2006年度) の提案理由, 吸入性結晶質シリカ. 産衛誌 2006; 48: 124-7.
- 4) Lippmann M. Size-selective health hazard sampling. in "Air sampling instruments for evaluating of atmospheric contaminants, 8th Ed." by ACGIH Air Sampling Instruments Committee. Cincinnati: ACGIH, 1995: 81-119.
- 5) Soderholm SC. Proposed international conventions for particle size-selective sampling. Ann Occup Hyg 1989; 33: 301-20.
- 6) European Committee for Standardization (CEN). Workplace atmospheres: Size fraction definitions for measurement of airborne particles in the workplace (EN481). Brussels: CEN, 1993.
- 7) TSI. RESPICON. [Online]. [cited 2011 Feb 25]; Available from: URL: [www.kenelec.com.au/sitebuilder/products/files/819/respicon.pdf](http://www.kenelec.com.au/sitebuilder/products/files/819/respicon.pdf)
- 8) 日本作業環境測定協会精度管理センター. 国際規格に対応した作業環境測定用各種分粒装置の性能試験方法検討結果報告書. 東京: 日本作業環境測定協会, 2004.
- 9) 明星敏彦. 作業環境測定基準に基づく吸入性粉じんとロウボリウムサンプリング用多段分粒装置の性能評価. 産衛誌 2005; 47: 239-45.
- 10) 日本作業環境測定協会. 作業環境測定ガイドブック0, 総論編. 東京: 日本作業環境測定協会, 2010: 16.
- 11) 藪田十司, 北嶋玄道, 太田久吉. 分粒特性の違いにより捕集された粉じん濃度の関係について. 作業環境 2004; 特別号(50): 3-5.
- 12) 横山辰巳, 住田文雄, 井上隆弘, 小西淑人, 鈴木治彦, 庄司 覚.  $4 \mu\text{m}50\%$ カットの分粒装置を用いた粉じん質量濃度と粉じん相対濃度計のK値について (MODEL 3411, MODEL 3423, MODEL 3451). 作業環境 2004; 特別号(50): 20-3.
- 13) 下田健晶, 榎本保典, 小西淑人, 鈴木治彦, 庄司 覚.  $4 \mu\text{m}50\%$ カットの分粒装置を用いた粉じん質量濃度と粉じん相対濃度計のK値について (LD-3K型, P-5型). 作業環境 2004; 特別号(50): 16-20.
- 14) 日本産業衛生学会許容濃度等に関する委員会. 許容濃度暫定値 (1981) の提案理由, 粉塵. 産業医学 1981; 23: 579-82.
- 15) 日本産業衛生学会許容濃度等に関する委員会. 許容濃度の暫定値 (2002年度) の提案理由, 石灰石. 産衛誌 2002; 44: 165-7.
- 16) American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs based on the documentation of the TLVs & BEIs. Cincinnati: ACGIH, 2010.