

# 走査型電子顕微鏡による一般環境大気中の 吸入性鉱物繊維の測定方法に関する検討

白井清嗣 三好康彦 神山宣彦\*

(\*労働省産業医学総合研究所)

## 要 旨

有害大気汚染物質として定義されるアスベスト及び人造鉱物繊維などの吸入性鉱物繊維の環境実態把握が必要である。そのための測定方法として、走査型電子顕微鏡法の検討を行い、次のことが分かった。

- ① 一般環境大気中において、アスベスト繊維のほかに人造鉱物繊維の1種類であるチタン酸カリウムウイスキーの浮遊が確認された。また、この調査で検出した吸入性鉱物繊維以外の繊維状粒子は、全体の約9割の構成比を占めていた。したがって、光学顕微鏡法によるのではなく、走査型電子顕微鏡法により繊維種類を識別のうえ、繊維状粒子の計数を行う必要がある。
- ② 一般環境大気中の繊維状粒子は、様々の種類のものが浮遊しているだけでなく、他の粉じん粒子と重合していることが少なくない。走査型電子顕微鏡法は、X線成分分析により繊維種類の同定ができるとともに、高倍率の立体画像観察により重合した繊維の識別もできる優れた測定方法である。
- ③ 走査型電子顕微鏡法の定量誤差を小さくするためには、計数対象としない硫酸カルシウム繊維及び有機繊維状粒子をあらかじめ除外する方法を検討し、分析時間短縮を図る必要がある。

キーワード：アスベスト、吸入性鉱物繊維、繊維状粒子、有害大気汚染物質、一般環境大気、走査型電子顕微鏡

## Study on Determination Method for Airborne Respirable Mineral Fibers using Scanning Electron Microscope

Kiyotsugu Shirai, Yasuhiko Miyoshi and Norihiko Kohyama\*

\*National Institute of Industrial Health, Ministry of Labour

### Summary

A method to determine the numerical concentration of airborne respirable fibers - such as asbestos and man-made mineral fibers defined as hazardous air pollutants - has been tested using a scanning electron microscope method.

The conclusions are:

- (1) Potassium hexa-titanate whisker was identified as a man-made mineral fiber suspended in the general atmosphere. Fibrous particles, other than respirable mineral fibers, accounted for about 90% of the total identified in this study. Therefore it was concluded that the numerical concentration of airborne respirable mineral fibers should be determined after the sorts of fibrous particles have been identified by scanning electron microscopy method.
- (2) Various fibrous particles suspended in the general atmosphere frequently combine with other dust particles.

For identifying individual or combined sorts of airborne respirable mineral fibers, scanning electron microscopy has proved superior method; it can not only identify the sorts of fibrous particles by energy-dispersive X-ray analyser, but also the combined fibrous particles through high-powered observation.

(3) Since the limit of detection for scanning electron microscopy method should be lower, the method for previously removing the calcium sulfate fibers and organic fibrous particles, which are not counted, should be considered to lower the time for counting with the scanning electron microscopy method.

Keywords : asbestos, respirable mineral fibers, fibrous particles, hazardous air pollutants, general atmosphere, scanning electron microscope

## 1 はじめに

### (1) 環境実態把握の重要性

アスベストは、代表的な天然鉱物繊維であり、耐火性や断熱性、防音性などの優れた性質をもつ材料である。我が国では、アスベストのほとんどを輸入している。アスベストの輸入量は、1970年代前半には年間30万トンを超えていたが、現在も年間10数万トン程度を輸入している。アスベストは、この数十年の間に大量に消費され、主に建築用資材として使用されている。吹き付けアスベストは、防音・断熱などの目的で使用されたほか、1974年以前に建てられた高層建築物等の鉄骨材の耐火被覆の目的で、その使用が建築基準法により義務づけられていた<sup>1)</sup>。また、アスベストスレートなどのアスベスト含有建材は、不燃性の内・外装用建材として幅広く使用され、現在も使用されている。これらのことから、建築物の密集する都市部に大量のアスベストが蓄積されていることになる。そして、アスベスト使用建築物の建て替え時期到来により解体工事が今後漸増し、2010年から2020年にかけてピークに至ると予測されている<sup>2), 3)</sup>。アスベスト環境対策は、都市地域において特に重要な課題であると言える<sup>4)</sup>。1989年制定の「東京都アスベスト対策大綱」においても、環境実態把握の必要性を掲げている<sup>5)</sup>。

一方、人造鉱物繊維は、アスベスト代替繊維として建築材料として使用されるものや、先端産業などの複合材料として使用されるものなど多種類のものが生産されている。代表的なものに、ガラス繊維、ロックウール、セラミック繊維、各種ウイスキーなどがある。人造鉱物繊維の生産量は、1992年に、ガラス繊維約48万トン、ロックウール約44万トン、セラミック繊維約1万トン、ウイスキー約3千トンであった<sup>6)</sup>。近年、人造鉱物繊維の生産量は、アスベストを越えるほどに増加している。

アスベストの発がん性は、アスベスト繊維の細くて長

いという形状自体に発がん因子があると考えられるようになり、人体内に取り込まれた後も長期間消滅しない鉱物繊維は、すべて危険の可能性があった<sup>7), 8), 9)</sup>。世界保健機関 (WHO) は、ヒトに対する発がん性について、アスベストを確実なものと判定し、人造鉱物繊維を不確実であるが疑わしいものと判定している<sup>10)</sup>。また、経済協同開発機構 (OECD) は、アスベスト及びガラス繊維などの吸入性鉱物繊維を有害大気汚染物質と定義し、必要な対策を提唱している。1995年の環境庁有害大気汚染物質対策検討会では、OECDの定義を採用し、吸入性鉱物繊維を有害大気汚染物質とした<sup>11)</sup>。

アスベスト繊維の環境リスクは、多方面で試算されている<sup>12), 13), 14), 15), 16)</sup>。アメリカNational Research Council (以下、「アメリカNRC」と言う。)による試算では、非喫煙者の男女が出生時から73年間アスベスト環境濃度0.4 f/lの暴露を受けた場合の肺がんによる過剰死亡者数は、人口100万人に対して3人から6人程度と推定している。東京都環境科学研究所が1998年度に都内3地点で行った位相差光学顕微鏡法 (Phase Contrast Optical Microscopy Method, 以下「PCM法」と言う。)による一般環境大気中のアスベスト濃度は、最小値0.087 f/lから最大値0.63 f/lの範囲にあり幾何平均値0.19 f/lであった。一般環境大気中には、アスベスト以外に様々の繊維状粒子が浮遊しており、PCM法はアスベスト以外の繊維状粒子を含めて計数しているという問題点が指摘されている<sup>17)</sup>。したがって、PCM法による調査結果を、そのまま環境リスク試算濃度と比較して考えることはできないとしても、アスベスト環境濃度調査結果は安心できる濃度レベルではない。

アスベスト等の鉱物繊維は、いったん大気中に放出されると、材料の特性から半永久的に消滅せず、地上に降下した後も再発じんするので、環境蓄積性の高い物質で

ある<sup>10)</sup>。アスベストを含む吸入性鉱物繊維の環境実態把握が急務であり、それに基づく環境リスク評価が重要である。

## (2) 測定方法確立の必要性

一般環境大気中のアスベスト濃度測定は、これまで、環境庁作成のアスベストモニタリングマニュアルに従い、PCM法により行われてきた<sup>5)</sup>。このマニュアルは、1980年に環境庁が全国の一般環境中のアスベスト濃度を調査するにあたって統一的測定方法を定める必要があり、測定機器及び測定方法の簡便さを考慮し、作業環境中の測定方法であるPCM法を準用して定められた。しかし、環境庁の委託による一般環境大気中のアスベスト濃度測定調査は、現在行われていない。

PCM法は、形態観察により繊維状粒子の計数を行う方法で、繊維種の識別計数はできない。アスベスト以外の鉱物繊維についても危険性が指摘されるようになったこと、及び一般環境大気中にはアスベスト等の鉱物繊維以外の繊維状粒子が相対的に多く浮遊していることから、繊維種を識別して計数することのできる電子顕微鏡法を用いることが必要となった<sup>11)</sup>。そのため、1995年に日本工業規格 (JIS K3850) 「空気中の繊維状粒子測定方法」(以下、「JIS規格」と言う。) が制定された<sup>12)</sup>。JIS規格では、PCM法及び電子顕微鏡法が規定され、それぞれの各測定方法の測定対象が明記された。PCM法は、アスベスト取り扱い事業所の敷地境界における濃度測定のように、アスベストがある程度の濃度で浮遊していることが分かっている環境下での測定に用いる方法である。一般大気環境中においては、鉱物繊維以外に種々の繊維状粒子が混在して浮遊しているので、繊維種の識別が必要であることから電子顕微鏡を用いることが規定されている。現在、一般環境大気中の濃度測定の公定法は、JIS規格の電子顕微鏡法である。

JIS規格の電子顕微鏡法には、透過型電子顕微鏡法 (Transmission Electron Microscopy Method、以下「TEM法」と言う。) 及び走査型電子顕微鏡法 (Scanning Electron Microscopy Method、以下「SEM法」と言う。) また、単に走査型電子顕微鏡の場合は、「SEM」と言う。) の2法が規定されている。TEM法は、極めて微細な繊維まで観察できるため、主に医学的な見地などからの分析に用いられ、顕微鏡試料作成等に高度な熟練技術を必要とする。一方、SEM法は、PCM法と同程度かそれよ

り少し細い繊維の観察までしかできないが、顕微鏡試料作成が容易であることから、環境調査等に適している。JIS規格は、防じんマスクが必要な極めて高濃度の作業環境から、吹き付けアスベスト除去後の室内環境評価、アスベスト取り扱い工場の敷地境界濃度測定などを含め、一般大気環境濃度測定までの様々の環境下で使用できる測定方法として、一般的方法に限定して規定されている。そのため、測定目的に応じた具体的な測定方法を、別に定める必要がある場合もある<sup>13)</sup>。

SEM法は、エネルギー分散型X線分析装置 (Energy Dispersive X-ray Analyzer、以下「EDX」と言う。) を装備したSEMを用いて行う。SEM観察により、計数対象とする繊維サイズの繊維状粒子を検出し、EDX分析により鉱物繊維とそれ以外の繊維などに繊維種を同定のうえ計数する方法である。SEM法は、多数のCRT画面観察と検出繊維のEDX分析を必要とすることから、分析に時間が掛かる。環境リスク評価を目的として濃度分析を行うには、アメリカNRCの試算濃度から単位  $f/l$  で小数第1位までの定量が必要である。この濃度レベルまで定量することのできる具体的な測定方法を確立する必要がある。

## 2 目的及び方法

### (1) 目的

一般環境大気中には、有害大気汚染物質であるアスベスト等の吸入性鉱物繊維だけでなく、現状では無害とされる種々の繊維状粒子が相対的に多く浮遊している。PCM法は、それらを識別せずに計数することになる。本報告では、繊維種識別計数の必要性とSEM法の検討課題を明確にすることを目的とした。

### (2) 方法

#### ア 試料作成方法

粉じんの採取及び顕微鏡試料の作成は、JIS規格のSEM-1法に準じて行った。フィルターサイズ47mm・ポアサイズ0.8 $\mu$ mのポリカーボネイトフィルター (ミリポア製ATTPタイプ) に、イオンスパッター (エイコー製IB-3型) を用いて金蒸着を施し、あらかじめプレコートドフィルターを作成した。このプレコートドフィルターを捕集用フィルターとし、ポアサイズ5 $\mu$ mのメンブランフィルターをバックアップフィルターとして、2枚のフィルターを、オープンフェイス型フィルターホル

ダー（ミリポア製XX50型）に装着した。粉じんの採取は、ローボリュームサンプラー（品川精器製DC-5A型）を用いて、吸引速度10 l/minで4時間の捕集を行った。

採取後のフィルターから任意部分の約10mm四方を切り取り、直径10mmの真鍮製試料台に導電両面テープを用いて貼付し、フィルター切片の周囲をドータイトで導電処理をした。これに、カーボン蒸着装置（日本電子製JEE4B型）を用いてカーボンコーティングを行うことにより、SEM観察試料を作成した。

#### イ SEM分析方法

SEMは、現在、当研究所に設置していない。労働省産業医学総合研究所のSEMを借用して行っており、分析サンプル数を限定する必要があった。1998年の4月から6月に都内3測定点（東京都江東区、新宿区及び多摩市）で採取した計9検体のSEM観察試料を作成した。これらの9検体のSEM試料について、SEMによる予備的観察を行った。1998年6月に東京都多摩市で採取した1検体から、人造鉱物繊維であるチタン酸カリウムウイスカーが検出されたので、この試料1検体について次の方法による詳しい分析を行った。

SEM（日本電子製JSM-6100型）による観察は、加速電圧20KVとし、観察倍率2,000倍で、観察画面数400画面の観察を行った。倍率2,000倍でCRT画面に写されるフィルター面積は0.00246mm<sup>2</sup>であるので、総観察面積は0.984mm<sup>2</sup>である。計数対象とする繊維状粒子のサイズはPCM法と同程度の繊維サイズのものとし、PCM法と実質的に同程度の最小繊維サイズは、前報で報告した繊維径0.4μm以上のものとした<sup>20, 21)</sup>。すなわち、対象とする繊維は、長さ5μm以上、幅（直径）0.4μm以上3.0μm未満で、アスペクト比（長さとの比を言う。）3以上の繊維サイズのものとした。繊維状粒子の判定の際は、倍率を5,000倍から10,000倍程度に上げて観察した。繊維サイズは、インスタント写真から計測した。繊維状粒子の集合形態は、図1により、FIBRE, BUNDLE, CLUSTER, MATRIXの別に分類した<sup>22)</sup>。繊維状粒子の成分分析は、SEM付属のEDX（Kevex製 Delta Class Analyzer）を用いて行い、SEMの観察倍率10,000倍でスポット分析を数回行った。繊維状粒子は、アスベスト繊維、その他の鉱物繊維、硫酸カルシウム繊維及び有機繊維状粒子の4種類に分類した。硫酸カルシウム繊維は、現在のところ、人体への害が認められないことから、ア

スベスト繊維及びその他の鉱物繊維を有害大気汚染物質である吸入性鉱物繊維とした。

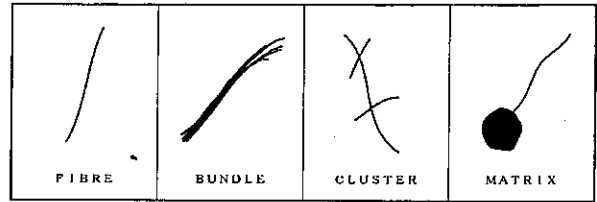


図1 繊維状粒子の集合形態の分類

### 3 結果及び考察

#### (1) 繊維状粒子の概要

##### ア 繊維状粒子の計数結果

繊維状粒子は、合計19本検出された。計数結果は、表1のとおりである。アスベスト繊維は、1本検出され、クリソタイルアスベストと同定された。また、チタン酸カリウムウイスカーが1本検出され、一般環境大気中において人造鉱物繊維の浮遊を確認した。ウイスカーは、単結晶の人造鉱物繊維であり、他の多結晶繊維と区別され、主なものに、チタン酸カリウム、炭化ケイ素、塩基性硫酸マグネシウム及び酸化亜鉛ウイスカーがある。チタン酸カリウムウイスカーは、1992年度に国内で約1,200トン生産されている<sup>6)</sup>。

##### イ 種類別繊維数

繊維状粒子の種類別繊維数は、表2のとおりである。種類別繊維数の内訳は、アスベスト繊維1本、その他の鉱物繊維1本、硫酸カルシウム繊維5本、有機繊維状粒子12本であった。硫酸カルシウム繊維は、いわゆる石膏繊維であり、建築材料などに人工的に使用されるもののほか、土壌から飛散するカルシウムと大気中の硫黄成分とが化合してできる繊維状粒子であり、無数の繊維により大きなCLUSTERを形成しているものもあった。硫酸カルシウム繊維は、現時点では、発がん性などはないとされている。有機繊維状粒子には、有機系の各種人造繊維のほか、花粉などの生物由来の繊維など様々のものが含まれる。

有害大気汚染物質である吸入性鉱物繊維は、アスベスト繊維1本及びその他の鉱物繊維1本の合計2本であった。この調査で検出した全ての繊維状粒子のうち、吸入性鉱物繊維の構成比は約1割にすぎず、硫酸カルシウム繊維が約3割、有機繊維状粒子が約6割を占めていた。

表1 繊維状粒子の計数結果表

No.	繊維サイズ		集合形態	元素成分	繊維種類
	L (μ m)	D (μ m)			
1	10.0	1.4	MATRIX	—	有機繊維状粒子
2	9.5	2.5	FIBRE	Ca, S	硫酸カルシウム繊維
3	10.4	0.8	FIBRE	—	有機繊維状粒子
4	8.3	1.7	MATRIX	Ca, S	硫酸カルシウム繊維
5	8.2	1.1	BUNDLE	—	有機繊維状粒子
6	13.4	0.4	FIBRE	Ti, K	チタン酸カリウムウイスカ
7	12.4	1.4	BUNDLE	—	有機繊維状粒子
8	6.5	1.5	FIBRE	Ca, S	硫酸カルシウム繊維
9	12.3	1.4	BUNDLE	—	有機繊維状粒子
10	10.0	0.7	FIBRE	—	有機繊維状粒子
11	6.2	1.0	CLUSTER	—	有機繊維状粒子
12	6.5	1.1	CLUSTER	Ca, S	硫酸カルシウム繊維
13	6.8	0.6	CLUSTER	—	有機繊維状粒子
14	16.4	2.8	FIBRE	Mg, Si	アスベスト(クリソタイル)
15	5.5	0.8	FIBRE	—	有機繊維状粒子
16	18.8	2.8	FIBRE	—	有機繊維状粒子
17	5.8	1.2	CLUSTER	Ca, S	硫酸カルシウム繊維
18	5.0	1.2	MATRIX	—	有機繊維状粒子
19	8.2	1.4	BUNDLE	—	有機繊維状粒子

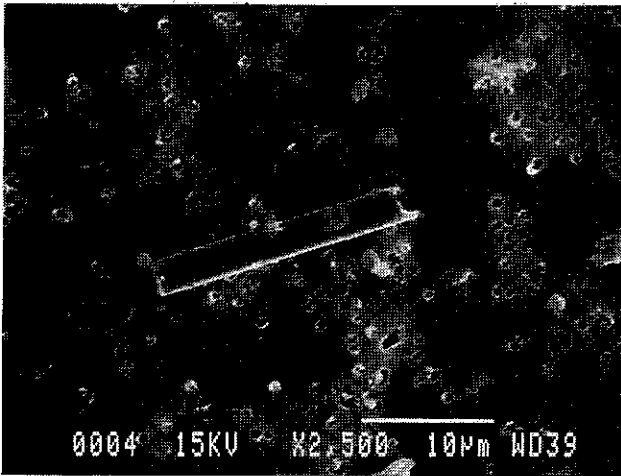
一般大気環境中には、吸入性鉱物繊維以外の繊維状粒子が約9割を占め、相対的に多く浮遊していることが分かった。SEMによる繊維種識別計数が必要であると言える。

ウ SEM観察及びEDX分析結果

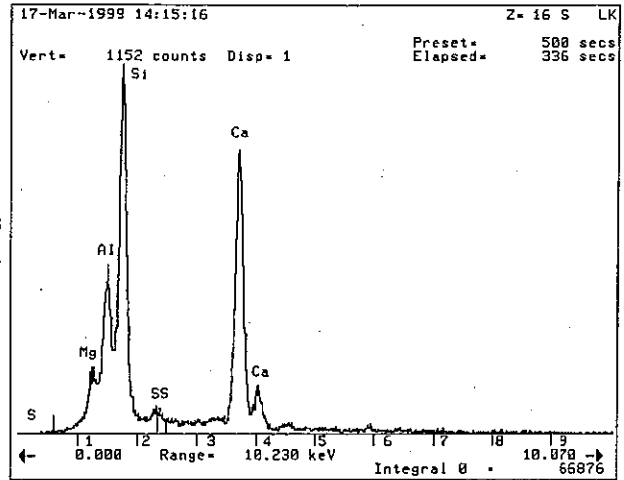
アスベスト繊維（クリソタイル）のSEM写真及び

表2 繊維状粒子の種類別繊維濃度

繊維状粒子の種類		検出繊維数 (本)	繊維濃度 (f/f)	構成比 (%)
無機繊維状粒子	アスベスト繊維	1	0.48	5
	その他の鉱物繊維	1	0.48	5
	硫酸カルシウム繊維	5	2.39	26
有機繊維状粒子		12	5.72	64
繊維状粒子(全体)		19	9.06	100



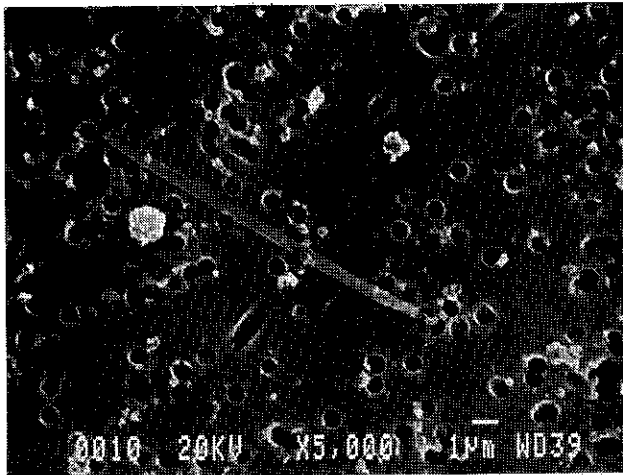
(1) SEM写真



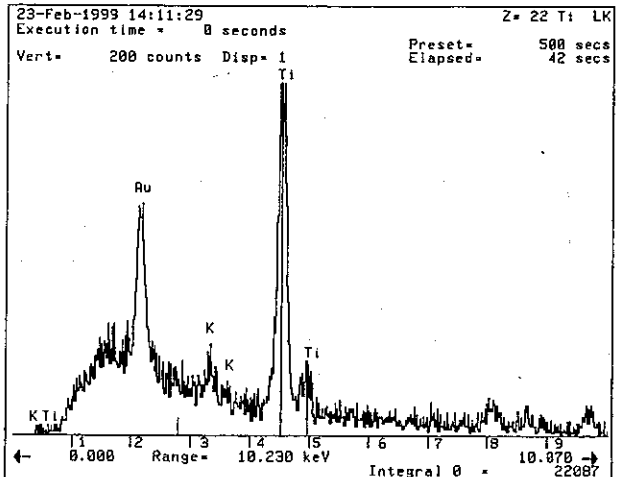
エネルギー (keV)

(2) EDXスペクトル

図2 アスベスト繊維（クリソタイル）のSEM写真及びEDXスペクトル



(1) SEM写真



エネルギー (keV)

(2) EDXスペクトル

図3 チタン酸カリウムウイスカーのSEM写真及びEDXスペクトル

EDXスペクトルは、図2のとおりである。

その他の鉱物繊維（チタン酸カリウムウイスカー）のSEM写真及びEDXスペクトルは、図3のとおりである。

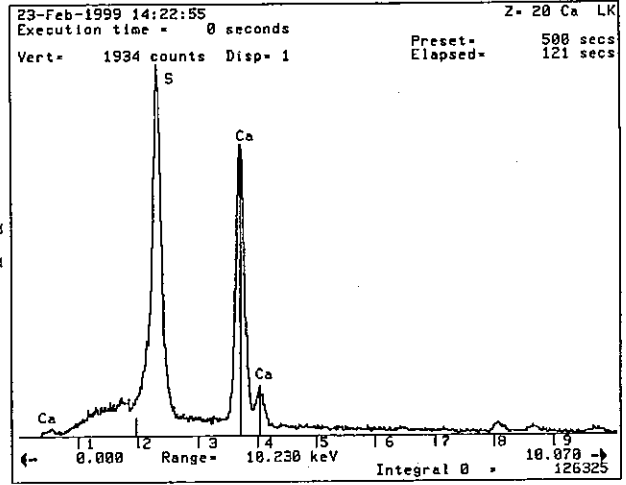
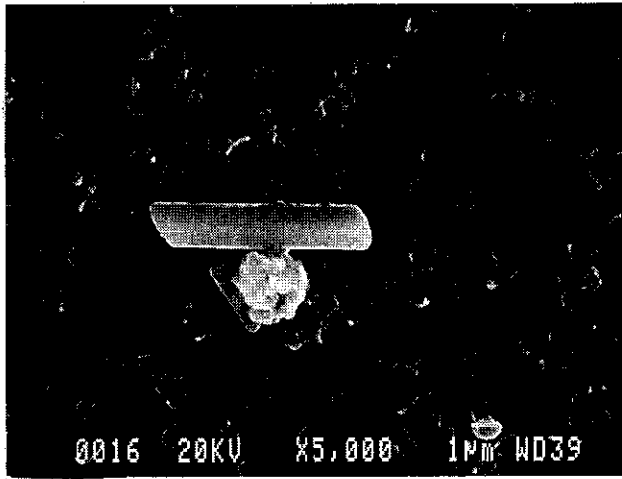
硫酸カルシウム繊維のSEM写真及びEDXスペクトルは、図4のとおりである。また、図5のように、硫酸カルシウムの無数の繊維によって大きなCLUSTERを形成しているものもいくつか検出された。これらは繊維数の計数が不可能であることから、計数対象から除外した。

有機繊維状粒子のSEM写真は、図6のとおりである。

(2) 吸入性鉱物繊維の濃度

ア 繊維濃度

SEM法による吸入性鉱物繊維の濃度  $C_{F-SEM}$  は、式(1)により計算される。



(1) SEM写真

エネルギー (keV)  
(2) EDXスペクトル

図4 硫酸カルシウム繊維のSEM写真及びEDXスペクトル

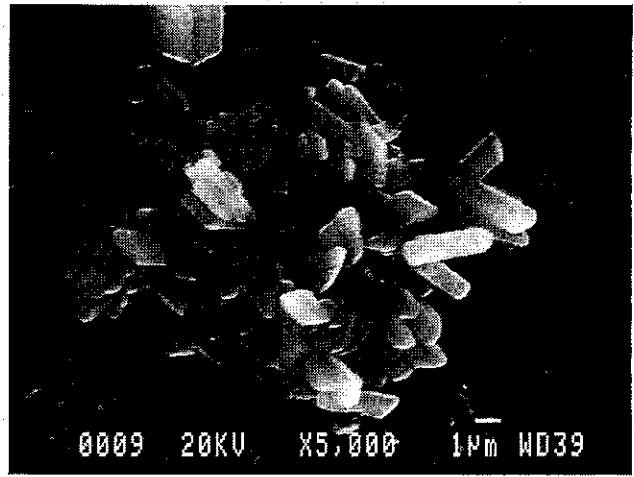
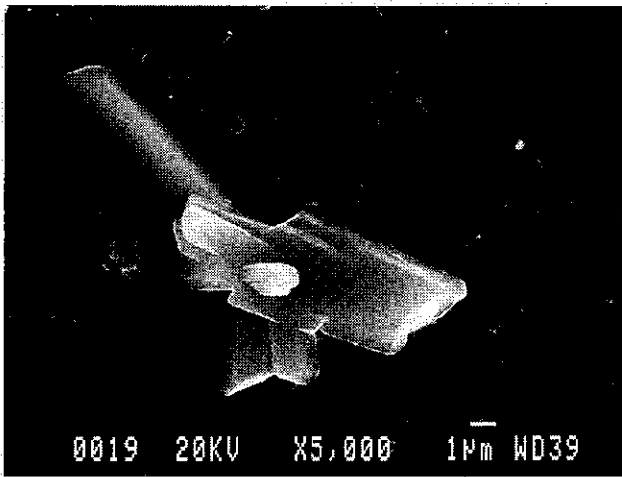


図5 硫酸カルシウム繊維のCLUSTER形成のSEM写真 (計数除外例)

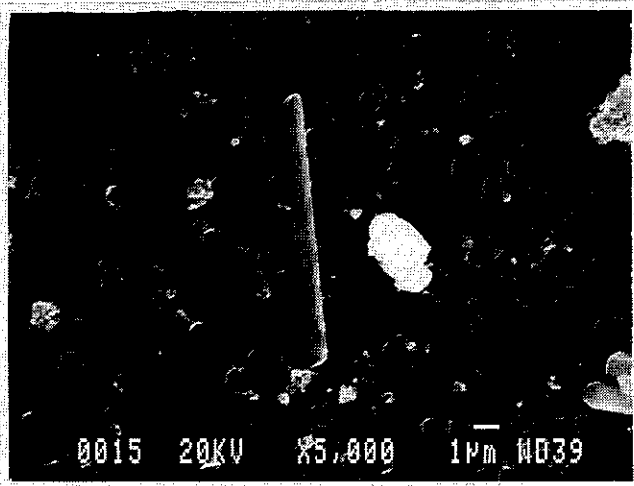
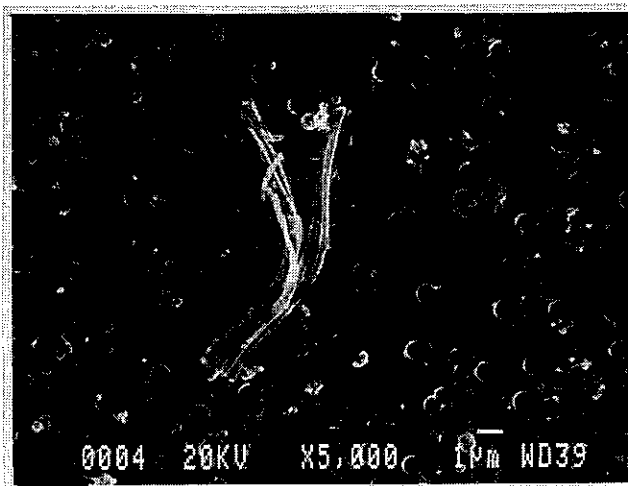


図6 有機繊維状粒子のSEM写真

$$C_{F-SEM} = \frac{A \times N}{a \times n \times Q} = 0.96 \text{ (f/l)} \quad \dots(1)$$

ここに、A：フィルター有効面積	962 (mm <sup>2</sup> )
N：計数繊維総数	2 (f)
a：顕微鏡観察面積	0.002463 (mm <sup>2</sup> )
n：計数画面数	400
Q：吸引空気量	2,048 (l)

この濃度は、「1はじめに」の項で示したアメリカNRCのアスベスト環境リスク試算濃度0.4 f/lより大きい値である。

#### イ 定量下限値

繊維状粒子がフィルター上に均一に分布し、かつポアソン型分布をしていると仮定できるとし、95%信頼限界の上限値を定量下限値Sとするならば、Sは式(2)のとおり計算される。

$$S = 2.645 \times \frac{A}{a \times n \times Q} = 1.26 \text{ (f/l)} \quad \dots(2)$$

この定量下限値を、単位 f/l で少数点以下第1位まで小さくする必要がある。そのための方法として、2つの方法が考えられる。1つは、吸入空気量Qを大きくすることであり、採取粉じん量による繊維状粒子の観察妨害の程度を実験する必要がある。もう1つの方法は、観察画面数nを増やすことであり、分析時間の短縮方法を探索することが必要となる。

#### (3) PCM法による繊維濃度との比較

SEM法と同一時期に同一地点で採取したPCM法の試料を分析した。PCM法による検出繊維数は4本であった。PCM法の繊維濃度 $C_{F-PCM}$ は、式(3)により計算される。

$$C_{F-PCM} = \frac{A \times N}{a \times n \times Q} = 0.17 \text{ (f/l)} \quad \dots(3)$$

ここに、A：フィルター有効面積	962 (mm <sup>2</sup> )
N：計数繊維総数	4 (f)
a：顕微鏡観察面積	0.204 (mm <sup>2</sup> )
n：計数画面数	50
Q：吸引空気量	2,184 (l)

PCM法による計数には、アスベスト繊維、その他の鉱物繊維及び硫酸カルシウム繊維が含まれていると考え

られる。さらに、有機繊維状粒子のうちの幾つかの繊維は、位相差観察により排除される場合もあるが、この分析ではなかったため、有機繊維状粒子も含めて計数していると考えられる。繊維状粒子をすべて計数していると考えられるPCM濃度 $C_{F-PCM} = 0.17 \text{ (f/l)}$ の方が、アスベスト繊維及びその他の鉱物繊維と同定できたものだけを計数したSEM濃度 $C_{F-SEM} = 0.96 \text{ (f/l)}$ よりも小さい値となり、矛盾する結果となった。

PCM法は、下からの光で透かした平面的な像を観察するのに対し、SEM法は、上から電子線を当てた反射像であり、立体的な像を観察することができ、しかも必要により高倍率観察ができる。そのため、PCM法では、1本の繊維が単独で存在するFIBREの場合に計数することができる。しかし、数本の繊維がCLUSTERを形成している場合、又は他の粒子と結合してMATRIXを形成している場合などは、SEM法では識別できることが多いが、PCM法では困難である。

一般環境大気中を浮遊する鉱物繊維は、他の粒子と結合して存在していることが少なくない。アスベスト繊維は、もともと細かい粉体との融和性に優れるという特性があり濾過材などにも使用され、セメントなどの粉末との結合性も優れることから結合材と混ぜて建築材料に使用されている。このことから、他の粉じん粒子と重合して大気中を浮遊していることが少なくないと考えられる。また、大気中を単独の繊維で浮遊していた場合にも、フィルター上に採取される段階で他の粉じん粒子と重合して捕集される場合もあると考えられる。SEM法は、PCM法でできない成分分析による繊維種の識別もできるという点だけでなく、他の粉じん粒子と重合する繊維の識別ができるという点でも優れていることが分かった。

#### (4) 分析時間短縮方法の検討

##### ア 硫酸カルシウム繊維の計数除外

長さ(L) 5 μm以上、幅(D) 0.4 μm以上で3.0 μm未満、アスペクト比(L/D) 3以上の繊維状粒子のサイズ分布状況は、図7のとおりである。最も長い繊維は、有機繊維状粒子の18.8 μmであり、次いでアスベスト繊維の16.4 μmであった。最も細い繊維は、チタン酸カリウムウイスキーの0.4 μmであった。アスペクト比(L/D) 3以上で5未満のものは、硫酸カルシウム繊維4本、有機繊維状粒子1本の計5本であった。アスベ



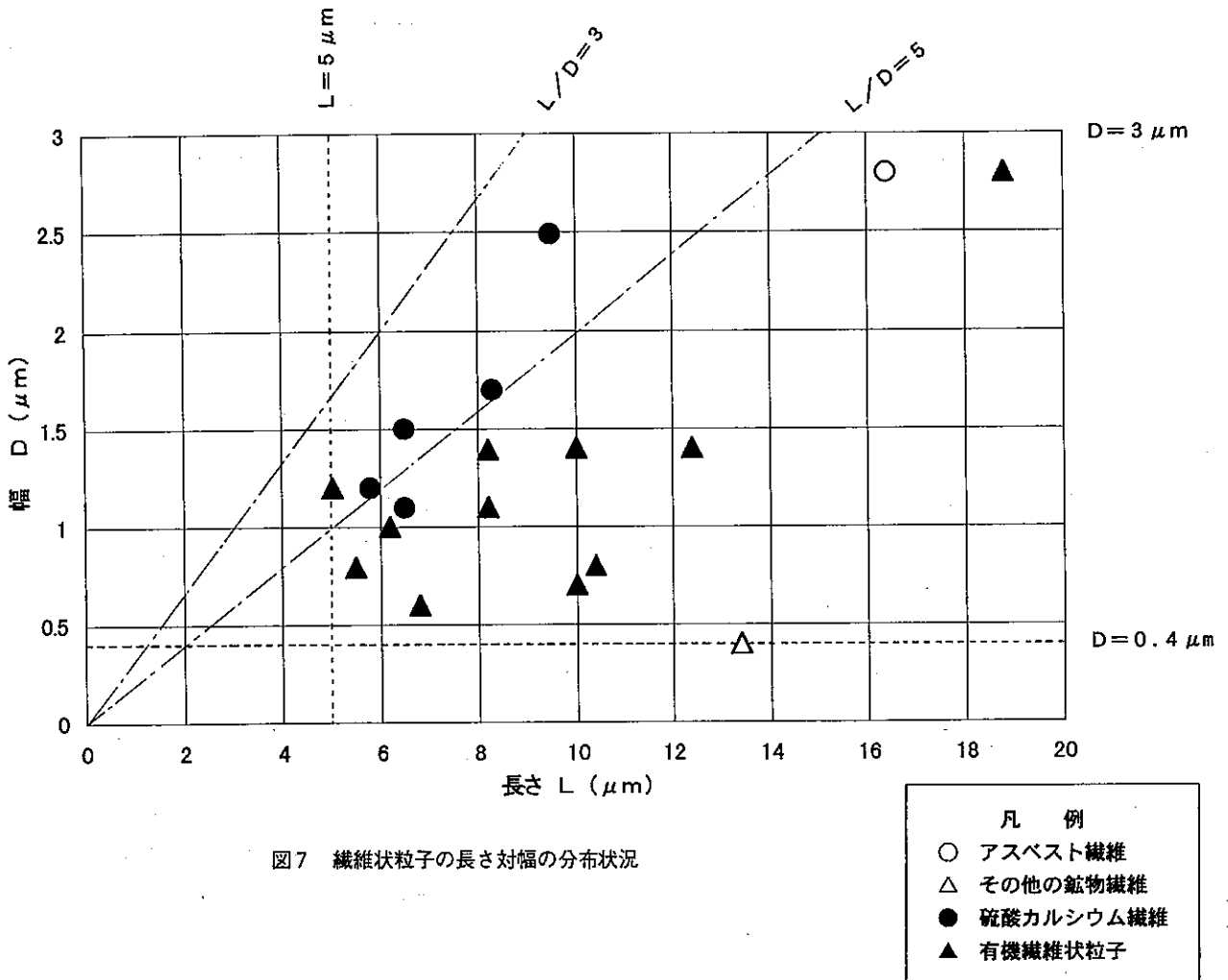


図7 繊維状粒子の長さ対幅の分布状況

クト比5未満の繊維状粒子は、ほとんどが硫酸カルシウム繊維であり、吸入性鉱物繊維はなかった。

アメリカ環境保護局 (EPA) が定めるアスベスト繊維の分析方法では、アスペクト比5以上のものを計数対象としている。アスペクト比5以上の繊維状粒子を計数対象とするならば、硫酸カルシウム繊維の相当数を計数対象から除外できると思われる。

イ 有機繊維状粒子の除去

この調査では、計数対象としない有機繊維状粒子が全検出繊維の約6割の構成比を占めていた。したがって、顕微鏡試料作成の前処理段階で、低温灰化装置 (プラズマリアクター) を用いて、採取フィルターに損傷を与えることなく有機物だけを除去することができるならば、分析時間を大幅に短縮することが可能である。また、繊維状粒子の観察妨害となる大気中の浮遊カーボン粒子の除去もできるので、吸引空気量を大きくすることが可能となると考えられる。

4 まとめ

SEM法による有害大気汚染物質である吸入性鉱物繊維の環境実態把握の必要性と検討すべき課題について、次のことが分かった。

① 一般環境大気中において、アスベスト繊維のほかに人造鉱物繊維の1種類であるチタン酸カリウムウイスキーの浮遊が確認されたので、アスベスト繊維だけでなく人造鉱物繊維を含めた吸入性鉱物繊維の環境実態把握が必要である。また、この調査で検出した全ての繊維状粒子のうち吸入性鉱物繊維以外の繊維が約9割の構成比を占めていたことから、繊維種類の識別計数のできるSEM法の必要性が認められた。

② 一般環境大気中の繊維状粒子は、様々の種類が浮遊しているだけでなく、他の粉じん粒子と重合して浮遊していることが少なくない。SEM法は、EDX成分分析による繊維種同定ができるだけでなく、立体画像による高倍率観察ができるので、粉じん粒子と重合した繊維状粒子の識別計数もできる優れた測定方法であることが分か

った。

③ SEM法により吸入性鉱物繊維の実態把握を行うには、定量誤差をなるべく小さくする必要がある。計数対象としない硫酸カルシウム繊維及び有機繊維状粒子をあらかじめ除外する方法を検討し、分析時間の短縮を図ることが必要である。

#### 引用文献

- 1) 東京都衛生局：アスベストの基礎知識と指導マニュアル（改訂版），pp.8-17, 1996
- 2) 環境庁大気保全局：構築物の解体・撤去等に係わるアスベスト飛散防止対策について，pp.70-75, 1995
- 3) 東京都環境保全局：建築物解体等アスベスト飛散防止対策調査報告書，pp.99-112, 1988
- 4) 村山武彦ら：建築物解体に伴う環境へのアスベスト排出量の将来予測—環境汚染リスク見積りのための基礎的研究，公害研究 vol.18 No2, pp.54-61, 1988
- 5) 東京都環境保全局：アスベスト関係法令・通達・要綱・技術資料集，pp.3-10, pp.19-52, 1994
- 6) 労働省労働基準局：石綿代替繊維とその生体影響，中央労働災害防止協会，pp.18-80, 1996
- 7) 環境庁大気保全局：アスベスト代替品のすべて，（財）日本環境衛生センター，pp.389-444, 1989
- 8) 竹本和夫ら：アスベスト代替繊維の生体影響，労働の科学，vol.42 No12, pp.27-30, 1987
- 9) 神山宣彦ら：アスベスト代替繊維のリスク評価のための研究，平成9年度環境保全研究成果集（Ⅲ），pp.82.1-82.42, 1998
- 10) World Health Organization：Environmental Health Criteria 53, Asbestos and Other Natural Mineral Fibres, 1986
- 11) World Health Organization：Environmental Health Criteria 77, Man-made Mineral Fibres, 1988
- 12) 環境庁大気保全局：大気中の有害物質の現状と今後の対策，日本環境衛生センター，pp.9-15, 1995
- 13) National Research Council, Committee on Nonoccupational Health Risks of Asbestiform Fibers：Asbestiforms fibers - Nonoccupational health risks, National Academy Press Washington, pp.200-235 (1984)
- 14) G. K. Monitizaan et al.：Asbestos = Toxicology and Risk Assessment for the General Population in the Netherlands, *Fd. Chem. Toxic.*, vol.27 No1, pp.53-63 (1989)
- 15) 村山武彦ら：居住環境におけるアスベスト汚染リスクの一推定，環境情報科学，vol.18 No1, pp.81-90, 1989
- 16) 岩井和郎ら：アスベスト暴露量と悪性腫瘍発生率との量・反応関係 データばらつきの要因分析と一般環境大気中繊維によるリスクの試算，大気汚染学会誌，vol.23 No3, pp.181-191, 1990
- 17) 神山宣彦ら：空気中の繊維状粒子測定方法，空気清浄，vol.32 No5, pp.53-65, 1995
- 18) 入江建久：環境中におけるアスベスト汚染の現状，空気清浄 vol.27 No5, pp.18-26, 1990
- 19) JIS K 3850 - 1995：空気中の繊維状粒子測定方法
- 20) 神山宣彦ら：走査電子顕微鏡による石綿測定法の検討，日本労働衛生工学会・作業環境測定研究発表会，pp.62-63, 1998
- 21) 白井清嗣ら：走査型電子顕微鏡によるアスベスト濃度分析に関する検討—建築物解体工事を事例として—，東京都環境科学研究所年報1998, pp.3-11, 1998
- 22) ISO/TC 146/SC 3 (1997)：Ambient air - Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles - Scanning electron microscopy method