

重田勇夫 (1988) 吹き付けアスベストを施した室内の空气中アスベスト濃度について,
京都市公害センター年報, 9, pp. 55-57

社団法人日本作業環境計測協会 (2004) 繊維状物質測定マニュアル, 作業環境測定シリーズ No. 3,
146pages

鈴木典子, 加藤健二, 田辺顕子 (1989) 室内空气中のアスベスト濃度, 新潟理化学, 15, pp. 47-48

大東市 (2006) 本市施設の吹き付け等アスベストの調査結果について, accessed 29 October 2006,
available at:
http://www.city.daito.osaka.jp/sec/soumu/soumu/1801tyousa_kekka/1801soumuka_tyousa_kekka.htm

高月紘, 酒井伸一, 糸川嘉則 (1989) アスベストによる室内環境汚染と削減対策について,
大気汚染学会誌, 24 (1), pp. 28-36

千葉市環境規制課 (2005) 平成 17 年度アスベスト一般生活環境調査結果について,
accessed 28 August 2006, Available at:
http://www.city.chiba.jp/kankyo/kankyohozen/kankyochousei/download/asbestos_ippanchosa_h17.pdf

新潟市市民局環境部環境対策課 (2005) 石綿 (アスベスト) 濃度の測定, accessed 28 August 2006,
Available at: <http://www.city.niigata.niigata.jp/INFO/KANTAI/taiki/asbesto/sokutei.htm>

日本エヌユーエス株式会社 (2006) 平成 17 年度アスベスト緊急大気濃度調査計画策定等調査,
報告書, 2006 年 3 月

日本建築センター (2006) 緊急に対応を必要とする研究開発等アスベストによる健康障害対策に
関する緊急調査研究, 建築物室内のアスベスト濃度指標の検討, 報告書, 99pages, 2006 年 3 月

日本産業衛生学会許容濃度等に関する委員会(2000) 発がん物質の過剰発がん生涯リスクレベル
に対応する評価暫定値(2000)の提案理由, 産業衛生学雑誌, 42, pp.177-186

練馬区 (2004) アスベスト含有材使用個所一覧 (平成 16 年 9 月末現在) 学校施設, accessed 29
October 2006, available at: <http://www.city.nerima.tokyo.jp/kikaku/asbest/shisetsu.html>

練馬区 (2006) アスベスト含有材使用個所一覧 (平成 18 年 3 月末現在) 区民施設, accessed 29
October 2006, available at: <http://www.city.nerima.tokyo.jp/kikaku/asbest/shisetsu.html>

ふじみ野市 (2006) 市有施設におけるアスベスト含有材除去等の方針, 2006 年 2 月 20 日, accessed
30 October 2006, available at: http://www.city.fujimino.saitama.jp/info/detail_120.html

松戸市 (2006) 市有施設アスベスト調査結果と今後の対応について, 2006 年 7 月 25 日, accessed 30
October 2006, available at:
http://www.city.matsudo.chiba.jp/cgi-bin/odb-get.exe?WIT_template=AC020000&WIT_oid=icity_v2::Contents::6469

三関 元, 南野 脩, 入江建久, 池田耕一, 吉澤 晋, 渡辺勝一郎, 内藤順夫 (1990) 室内環境に
おけるアスベスト汚染調査, 第 9 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, pp.
87-90

盛岡市 (2006) 市有建築物吹き付けアスベスト調査, accessed 29 October 2006, available at:
<http://www.city.morioka.iwate.jp/05kankyo/kankyo/kankyo/asbestos/>

守口市 (2005) 市有施設の吹き付けアスベスト等の空気環境測定の結果報告, accessed 29 October
2006, available at: <http://www.city.moriguchi.osaka.jp/contents/imaga/asubesuto.html>

6. 東京都におけるアスベスト対策

これまでの東京都の対応

(1) 東京都アスベスト対策大綱の策定

東京都では、アスベスト使用の社会問題化を背景に、都としての統一的対応を図るため、昭和62年8月、関係9局による「アスベスト問題連絡会」を設置し、アスベスト対策を推進してきた。

【主な施策例】

- ① 建築物内の吹付けアスベストの処理を進めるために、昭和62年9月に「都立施設におけるアスベスト除去等の暫定処理方針」を策定し、翌月には都立施設における吹付けアスベストの使用実態調査を行った。
- ② また、昭和63年5月には、工事を安全適正に実施するために「吹付けアスベストの処理及び工法の選択に関する要領」を作成した。
- ③ さらに、アスベストによる健康被害と環境影響を未然に防止するための対策を積極的に進めるため、平成元年5月に、都におけるアスベスト対策の基本方針を示した「東京都アスベスト対策大綱」を策定した。大綱の基本方針は、都自らが実行可能なノン・アスベスト化への事業を率先して実施することにより、その先導的な役割を果たしていくと同時に、民間等へも使用抑制の協力を要請するものである。

(2) 大綱に基づく施策の推進

東京都アスベスト対策大綱を受け、平成元年7月に、民間などの建築物に使用されている吹付け材からのアスベスト繊維の飛散による健康被害を防止し建築物内の良好な室内環境の保持を図るため「吹付けアスベストに関する室内環境維持管理指導指針」を策定した。

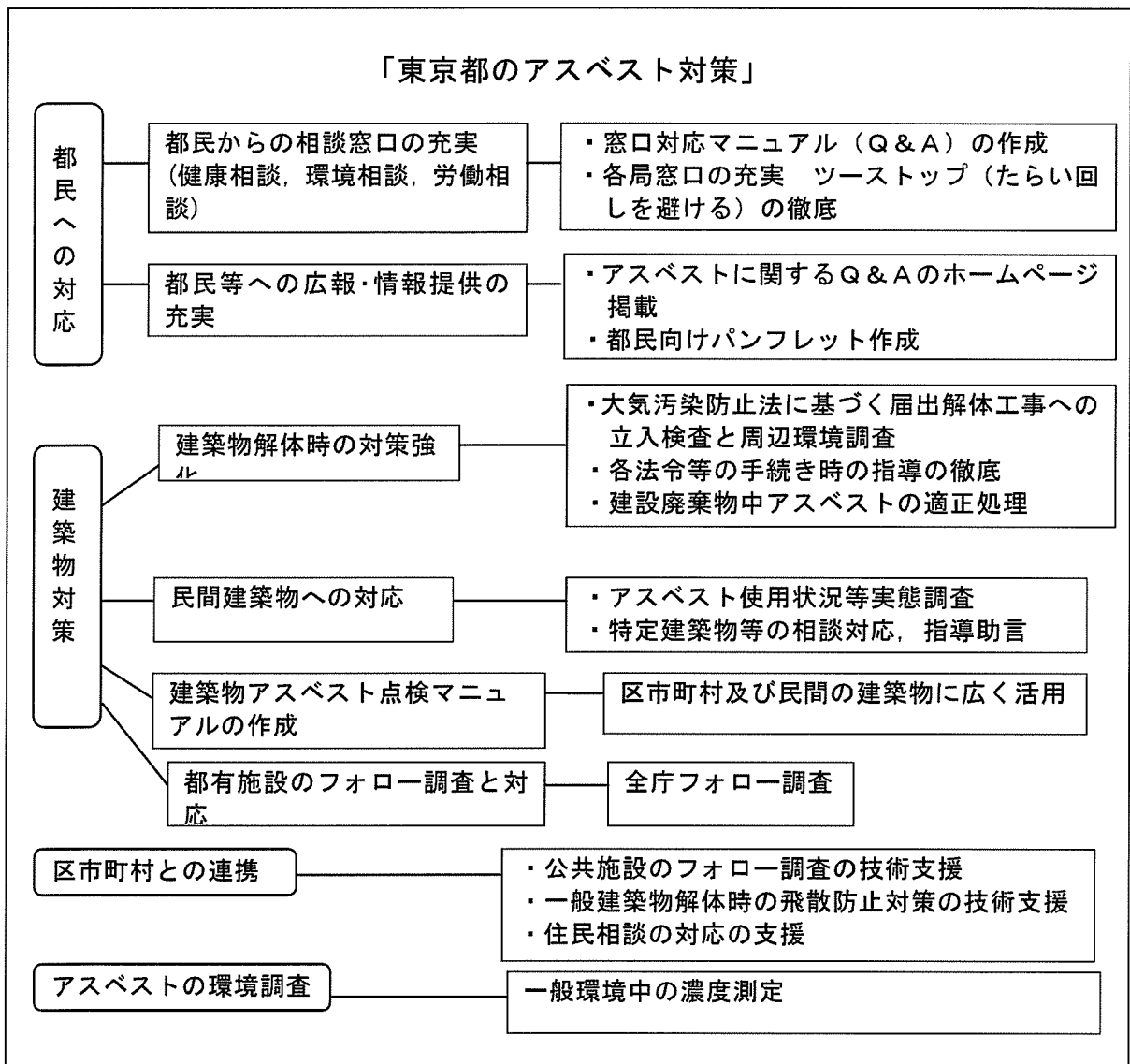
平成3年には、保健所等において住民からのアスベストに関する健康相談に対応するためのマニュアルである「アスベストの基礎知識と指導相談マニュアル」を作成した。

建物解体時における飛散防止対策としては、平成元年に「建築物の工事に伴うアスベスト飛散防止対策指導指針」が、その翌年には「建築物の工事に伴うアスベスト飛散防止対策指導要綱」が策定された。この内容は、平成6年の「東京都公害防止条例（現在の環境確保条例）」の改正に伴い、条例化されることとなった。

さらに、平成9年に「建築物の解体等に係るアスベスト飛散防止対策マニュアル」が策定され、平成16年10月のアスベスト製品の一部を除いた製造・使用禁止措置に対応して一部改正が行われた。

(3) 平成17年7月以降の対応

平成17年6月に、アスベスト製品製造工場従事者等の石綿による健康被害問題が報道されて以降、都に対しても事業所や一般都民からのアスベストに関する相談が相次いだ。これに対応し、都は関係7局から成る「東京都アスベスト対策推進会議」を開催し、各局が行う当面の対応について、平成17年7月29日に「東京都のアスベスト対策」としてプレス発表した。



その後、各省庁より次々と要請される各種施設のアスベスト施工状況調査に対応するとともに、都有施設に対する独自のアスベスト調査「都有施設における飛散性石綿含有材料のフォロー調査」を行い、平成17年10月20日に結果を公表した。

また、平行して、民間施設管理者に向けたアスベスト調査手法の解説冊子「建築物アスベスト点検の手引き」(平成17年9月20日作成)や都民向けパンフレット「しっていますか？アスベスト」(平成17年9月27日作成)及び都民のアスベストに関する疑問に答えるためのFAQ「アスベストQ&A」(随時更新)を発行した。

保健衛生関連では、マスコミ報道に不安を憶えた都民や、過去にアスベスト産業に従事していた労働者やその家族などから寄せられるさまざまな疑問、健康不安、法的手続きに答えるため、新しい知見を元に「アスベストの基礎知識と指導マニュアル」改訂を行い「平成18年版」として発行した。



建築物アスベスト
点検の手引き

目次

1. 点検の手引の目的
2. 点検の必要がある吹付け材
3. 点検の対象となる建築物等の竣工時期
4. 吹付け材の使用箇所の点検方法.
 - (1) 設計図書等と建築年次による把握7
 - (2) 材質分析による把握
 - (3) 吹付け材の飛散のおそれの程度の把握
 - (4) 吹付け材の措置における処理工法の選定
 - (5) 吹付け材の措置後の維持管理
5. 建築物等の維持管理における記録.
6. 点検することが望ましい石綿含有材料（保温材等）別添【石綿含有材料の一覧】



知っていますか？
アスベスト

内容

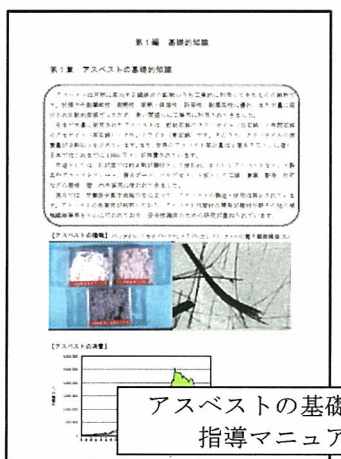
アスベストとは
健康への影響は
日本におけるアスベストの規制は
アスベストはどんどこに使われているの？
アスベストを吸い込んだ可能性がある場合には
労働災害補償について
アスベストが原因で起こる病気は



アスベスト
Q&A

目次

- 1 アスベストに関する基礎知識
- 2 アスベストの使用状況・実態に関すること
- 3 教育施設に関すること
- 4 法令規制、資格に関すること
- 5 アスベスト廃棄物の処理に関すること
- 6 健康に関すること
- 7 救済・助成等に関すること
- 8 労働災害に関すること



目次

- 第1編 基礎的知識
- 第1章 アスベストの基礎的知識
 - 第2章 職業性曝露でのアスベスト
 - 第3章 アスベストを吸入する各種機会と健康リスク
- 第2編 保健・生活指導
- 第1章 職業性曝露に関する保健・生活指導
 - 第2章 一般住民に対する保健・生活指導
- 第3編 国、東京都のアスベスト対策
- 第1章 国のアスベスト対策
 - 第2章 東京都のアスベスト対策

(4) 「吹付けアスベスト等に関する室内環境維持管理指導指針」と特定建築物に対する指導

平成元年7月策定の「吹付けアスベストに関する室内環境維持管理指導指針」に基づき、都が所管する特定建築物に対し、建築物衛生法に基づく立入り検査時や講習会等を通じて、吹付けアスベストの適切な維持管理指導を行ってきた。指針は、平成17年7月の「石綿障害予防規則」施行に伴い、一部改正が行われ、「吹付けアスベスト等に関する室内環境維持管理指導指針」として平成17年9月に施行された。

指針の内容は、昭和62年に旧環境庁及び旧厚生省共管による通知「建築物内に使用されているアスベストに係る当面の対策について」を受けており、「すぐに除去対策を講ずるべきである」という立場ではなく、吹付け材が安定しており、使用者等が被爆するおそれの少ないものについては日常の点検報告により安全性を担保しようというものである。

平成18年末現在、都が管轄する約3,000施設のうち、およそ20%のビルでアスベストの吹付け施工が残されている。そのうち半数以上のビルにおいて、封じ込め・囲い込みの処理を行っておらず、指針に基づいた日常点検によって安定状態の確認を行っており、「指針」の継続した普及啓発と行政指導が求められている。

20年に及ぶ指導の結果、さすがに事務所天井や壁面など使用者が直接暴露するような状態で残されているものは見られなくなった。しかし、機械室内や天井内などメンテナンス従事者が触れるような場所の吹付けアスベストは、依然存在する。そのような場所はダクトや配管・ケーブルが込み合っており、除去や封じ込め施工も難しく、今後も長期に亘って放置される可能性が高い。施工のタイミングを掴み辛く、万一、劣化・飛散が明確となっても即時対応が躊躇されるおそれがある。現実に即した実務対応策の早期の明確化が望まれるところである。

○ 吹付けアスベスト等に関する室内環境維持管理指導指針

(目的)

第1 この指針は、建築物に使用されている吹付けアスベスト等に関して、東京都が指導を行う際の必要な事項を定めることにより、吹付け材からのアスベスト繊維の飛散を防止し、建築物内の良好な室内環境の保持を図ることを目的とする。

(定義)

第2 この指針における用語の意味は、次に定めるところによる。

(1) 吹付けアスベスト等

防音、耐火等を目的として、アスベストもしくはアスベストをその重量の1%を超えて含有するロックウール、バーミキュライト及びパーライト等に、セメント等の結合剤を混ぜて天井や壁などに吹き付けたもの。

(2) 除去

吹付けアスベスト等を壁等からはく離し撤去すること。

(3) 封じ込め

表面固化処理又は内部浸透処理により、アスベスト層の表面等を固定すること。

(4) 囲い込み

吹付けアスベスト等をシートや板材等で囲うこと。

(5) 点検・記録による管理

(2)から(4)に掲げる措置を行わない吹付けアスベスト等に対して、定期的に点検し、結果を記録すること。

(6) 措置

吹付けアスベスト等に対して、(2)から(4)に掲げる措置を行うこと。

(7) 特定建築物

建築物における衛生的環境の確保に関する法律（昭和45年法律第20号）第2条で規定する特定建築物（特別区の区域内にある延べ面積が10,000平方メートル以下のものを除く。）

(基本方針)

第3 東京都は、第1の目的を達成するため、特定建築物の所有者・管理者等に対し、吹付けアスベスト等に係る指導・啓発を行い、市町村の区域においては、特定建築物以外の建築物に対しても、必要に応じて同様の指導・啓発を行うものとする。

(指導事項)

第4 建築物の所有者・管理者等に対して指導する場合の指導事項は、次のとおりとする。

(1) 調査

建築物の所有者・管理者等は、建築物内の吹付け材の有無について調査を行い、吹付け材が存在する場合は、アスベストの含有調査を行う。

(2) 判定

(1)の調査の結果、アスベストの含有が確認された場合は、吹付け材の表面の状態及び施工場所の使用状況を調査し、別表1「吹付け材に対する措置等の判定表」に従いその後の対応方法を判定する。

(3) 措置

ア 措置を行うに当たっては、別表2「吹付けアスベスト等の処理選択のフローチャート」を参考に工法を決定し、措置を行う。

イ 除去を選択した場合は、除去工事終了後、アスベスト繊維数濃度を測定・記録し、飛散のないことを確認する。また、除去後、耐火、防音等の機能を補う必要がある場合は、消防法等の関係法令に留意して対策を講じる。

ウ 除去以外の措置を講じた場合には、その施工記録等の情報を設計図書等と合わせて保存する。

エ 工事を委託する場合は、適正な方法で施工されているかどうかを確認する。

(4) 維持管理

判定の結果、点検・記録による管理を選択した場合、及び封じ込め・囲い込みによる措置を講じた場合の維持管理は、次に定めるところによる。

ア 点検・記録による管理を選択した場合

(ア)利用頻度の高い場所については、おおむね月1回、それ以外の場所については、6箇月に1回、吹付け材の表面の状態及び施工場所の使用状況等を定期的に点検し、記録する。

(イ)点検により軽微な損傷を発見した場合は、速やかに補修を行う。

(ウ)点検により飛散のおそれがあることを確認した場合は、(2)により再度判定を行い適切な措置を講ずる。

イ 封じ込め又は囲い込みを選択した場合

(ア)施工後おおむね年1回、施工場所を点検し、記録する。

(イ)点検の結果、破損箇所を確認した場合は、速やかに補修等を行う。

(5) 周知

建築物の所有者・管理者等は、その建築物の改修工事を行う者等に対して次の事項を周知する。

ア 建築物内に吹付けアスベスト等が存在すること。

イ 室内装飾を変更する場合には、飛散防止のための必要な注意をはらうこと。

ウ その他飛散防止のために必要な注意事項

(6) 関係法令等の遵守

建築物の所有者・管理者等は、吹付けアスベスト等の使用されている建築物の維持管理に当たっては、この指針に定めるほか、関係法令等を遵守し、適正な維持管理に努めること。

附 則

この指針は、平成元年7月1日から施行する。

附 則

この指針は、平成17年9月27日から施行する。

備 考

- 1 別表2「吹付けアスベスト等の処理選択のフローチャート」に基づく工法選定の際、封じ込め又は囲い込み、並びに点検・記録による管理のいずれに該当する場合についても、「除去」を選択することができる。
- 2 天井内に施工された吹付けアスベスト等など、通常は露出していない状態であっても、点検の結果、居室内に飛散するおそれがある場合は、措置を講じること。

<解 説>

第2(1)関係

建築物の中で使用されているアスベストの形態には、吹付けアスベスト等以外に、壁や天井、柱、ボイラーや配管などに貼り付けられた保温材・耐火被覆材や、建物の外壁や屋根などに使用されるアスベスト成形板（石綿スレート等）などがあるが、これらについては、建材等の損傷や建物の解体時以外の通常の使用状況ではアスベスト繊維が飛散するおそれがない。そのため、これらについては本指針の適用対象外としている。

第4(1)関係

所有者・管理者は建築物に吹付け材がある場合、アスベストが含有されているかどうかを次の方法で調査確認すること。（東京都環境局作成「建築物アスベスト点検の手引」参照）

① 設計図面等による判断

図面（仕上表等）に記載されている吹付け材の商品名と施工時期により判断する。

② 建材の分析調査

専門の検査機関に、建材のアスベスト含有調査を依頼する。

別表 1 吹付け材に対する措置等の判定表

アスベスト等の状態 部屋等の 使用状況	飛散の おそれが 大きい	飛散の おそれが 小さい	安 定
使用頻度が高い	A	B	C
使用頻度が低い	B	C	D

A：直ちに，除去等の措置を行う。

B：早い時期に，除去等の措置を行う。

C：損傷部について直ちに補修を行い，点検・記録後，必要に応じ除去等の措置を行う。

D：点検・記録による管理をする。

〔用語の説明〕

1 「飛散のおそれが大きい」とは，

- (1) 吹付け表面全体に毛羽立ちがある場合
- (2) 繊維のくずれがある場合
- (3) 繊維の垂れ下がりがある場合
- (4) 吹付け面全体に損傷・欠損がある場合
- (5) 床面に破片が頻繁に見られる場合
- (6) 吹付け材が下地と遊離している場合

をいう。

2 「飛散のおそれが小さい」とは，

- (1) 損傷・欠損は局部的で損傷部等の周辺の吹付け材は下地にしっかり固着している場合
- (2) 損傷部があってもその環境条件では損傷部の拡大が見られない場合

をいう。

3 「安定」とは，

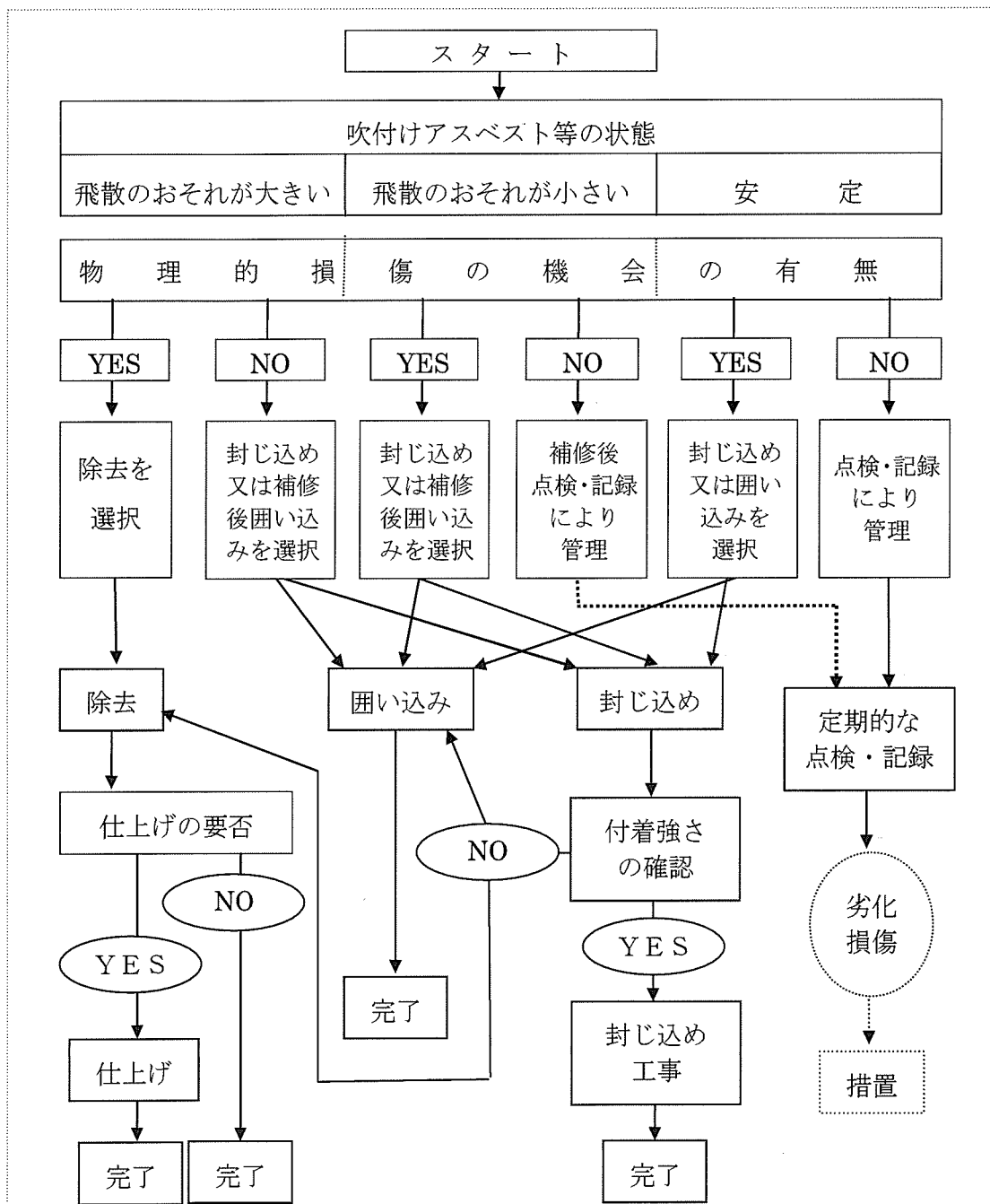
- (1) 吹付け面にひっかき傷やかすり傷等の物理的損傷がない場合
- (2) 下地の腐食，ひび割れ等の影響による損傷がない場合
- (3) 結合剤の劣化による繊維の垂れ下がりやくずれがない場合
- (4) 下地と吹付け層との間が遊離し，浮いた状態でない場合

をいう。

4 「使用頻度が高い」とは，事務室，教室，店舗，図書室，会議室，廊下，湯沸場等人の出入りが多く常時使用する場所をいう。

5 「使用頻度が低い」とは，倉庫，機械室，電気室，変電室，非常階段等の，人の出入りがほとんどない場所をいう。ただし，その場所に常駐者がいる場合は，4に含まれるものとする。

別表2 「吹付けアスベスト等の処理選択のフローチャート」



*補修には局所的な損傷・欠損部を封じ込めることが含まれる。

物理的損傷の機会の例

- ・身体に接触の恐れあり
- ・故意に突っついたり、又ボール等が当たる恐れあり
- ・振動等が発生する箇所にある
- ・高湿度、結露発生又は水滴がかかる恐れあり

(参考) 吹付けアスベスト等管理台帳兼記録票

施設名		施設所在地		施設所有者		施設届出者		点検計画等	点検周期	
施設の用途		構造	延べ床面積	建築年数	管理担当者部課名(電話)		点検内容			
調査 診断	場所							点 検 記 録	場所 点検日	
	調査機関 (種類、含有率等)									
	調査日									
	完成図書による確認									
	アスベストの有無									
	使用部位									
	使用面積									
	種類等									
	※含有率									
	表面状態(目視)									
処理 状況	工法									
	工事完了年月日									
	工事施工業者									
	その他工事記録									
備 考										

記入例

施設名		施設所在地		施設所有者		施設届出者		点検計画等	点検周期			
施設の用途		構造	延べ床面積	建築年月	建築年数	管理担当者部課名(電話)			点検内容			
東京〇〇ビル		△△区〇〇1-1-1						点 検 記 録	機械室: 1回/6ヶ月 倉庫: 1回/6ヶ月 (16年10月より) 居室: 1回/1ヶ月 (15年7月より点)			
事務所		鉄骨	〇〇〇〇m ²	昭和39年3月		施設課 担当者 △△ (03-AAAA-BBBB)			目視による点検及び アスベスト繊維濃度測			
調査 診断	場所	1階 機械室	地下2階 倉庫	7階 居室				点 検 記 録	場所 点検日	機械室 倉庫 居室		
	調査機関 (種類、含有率等)	㈱〇〇〇〇センター	同左	同左					15年 4月2日	良	良	良
	調査日	15年4月2日	15年4月2日	15年4月2日					15年 5月1日	—	—	良
	完成図書による確認	済	済	済					15年 6月2日	—	—	不良 損傷あり
	アスベストの有無	あり	あり	あり					15年 7月15日	—	—	損傷のため 除去
	使用部位	天井	壁	天井					15年 10月2日	良	良	
	使用面積	〇〇〇.〇m ²	〇〇〇.〇m ²	〇〇〇.〇m ²					16年 4月1日	良	良	
	種類等	アスベスト、岩綿 (クリンタイル)	アスベスト、岩綿 (クリンタイル)	アスベスト、岩綿 (クリンタイル)					16年 10月7日	良	不良 損傷あり	
	※含有率	アスベスト5%	アスベスト5%	アスベスト30%					16年 10月9日	—	封じ込め 作業完了	
	表面状態(目視)	損傷なし	損傷あり	損傷あり					17年 4月8日	良	—	
※アスベスト 繊維濃度 判定結果	△本/L	△本/L	△本/L				17年 10月3日	良	良			
処理 状況	工法		封じ込め	除去								
	工事完了年月日		16年10月9日	15年7月15日								
	工事施工業者		㈱〇〇〇〇	㈱〇〇〇〇								
	その他工事記録		施工後の繊維濃度 〇本/L	施工後の繊維濃度 〇本/L								
備 考		点検による管理	点検による管理									

7. 結論

①諸外国における一般環境中の室内アスベスト濃度の指針値または基準値を調査した結果、フィンランド、ノルウェー、韓国で指針値が提示されていたが、具体的な措置の基準は明記されていなかった。ノルウェーの推奨レベルは、室内環境中で浮遊アスベスト繊維が検出されてはならないとされている。また、フィンランド建築基準法の設計指針値は「ゼロ」である。従って、基本的には建築物にアスベスト含有建材が使用されないことが設計上必要とされていると考えられる。フィンランド社会保健省のガイドライン、ノルウェーの現実的なガイドライン、フランスの室内基準値では、1.0 f/L から 10.0 f/L の間で室内濃度が定められている。主にこれは、室内アスベスト濃度の計測精度上において、検出限界値と指針値との間に相応の差がないと、室内濃度の管理が困難になるからである。これらの諸外国の指針値は、このような計測精度上の信頼性が考慮された値となっている。

②諸外国においては、アスベストが吹き付けられていた場合やアスベストを含有している建材が使われていることが判明した場合には、アスベスト除去工事が実施されることが少なくない。そこには、建物からアスベストを取り除くことにより室内濃度は下がるはずだと言う前提がある。しかしながら、そのこと明確に示すためのアスベスト除去工事前後の室内濃度に関する除去前後の調査例は驚くほど少ない。そして、そのような調査をした結果明らかに除去工事前後に濃度低減効果があったと言う報告はほとんどない。むしろ逆に、工事の方が濃度が高くなったと言う報告さえあり、数的にはそちらの方が多かった。

③アスベストの有害性および非職業性曝露に関する最近の科学的知見を抜粋した結果、短く細いアスベスト繊維が悪性中皮腫の原因になっている可能性、家庭や一般環境における低濃度のアスベスト曝露が悪性中皮腫について無視できないリスクをもたらしている可能性、角閃石系石綿だけでなくクリソタイルも中皮腫の発症に関係している可能性などが示唆された。但し、短く細いアスベスト繊維が悪性中皮腫のリスク要因となっている可能性については、この調査で病理組織中に検出された短いアスベスト繊維の割合が大気中と同様の割合であることを考えると、必ずしも短い繊維が悪性中皮腫のリスクと関連しているとは結論できないと考えられる。また、吹き付けアスベストの撤去工事後、室内のアスベスト濃度が十分減衰するには、1週間程度必要であるとの報告がなされていた。このことは、作業場所のシート隔離等の対策が行われていたとしても、室内のアスベスト濃度が十分減衰するには、ある程度の期間が必要であり、アスベストによる健康リスク低減のためにはその間は立ち入り禁止等の措置を講じなければならないことを示唆していると考えられる。

④東京都のアスベスト対策大綱に基づく 20 年に及ぶ指導の結果、事務所天井や壁面など使用者が直接暴露するような状態で残されているものは見られなくなった。しかし、機械室内や天井内などメンテナンス従事者が触れるような場所の吹き付けアスベストは、依然存在する。そのような場所はダクトや配管・ケーブルが込み合っており、除去や封じ込め施工も難しく、今後も長期に亘って放置される可能性が高い。施工のタイミングを掴み辛く、万一、劣化・飛散が明確となっても即時対応が躊躇されるおそれがある。現実に即した実務対応策の早期の明確化が望まれるところである。

付録 室内浮遊アスベストの測定方法

1. はじめに

作業環境中の浮遊アスベストの測定方法は、位相差顕微鏡法が国内外で広く行われてきているが、現在まで室内に浮遊しているアスベストを含む無機繊維の測定方法は公式には定められておらず測定例も少ない。アスベストを取扱っている作業環境を対象とした方法では、浮遊繊維は全てアスベストとみなして計測している。位相差顕微鏡は、アスベストとそうでない繊維の識別は特別の場合を除いて不得手である。特別の場合とは、アスベストの繊維形状であると明らかに識別できる繊維の場合であり、太い繊維のロックウールやグラスウール、あるいはカビやバクテリアのような明らかに形状が異なる繊維などである。

これらは、位相差顕微鏡でもアスベストとは異なる繊維として識別できるが、多くの一般の浮遊繊維は識別しにくい。そういう状況で一般の室内浮遊アスベストの測定方法として可能性のあるものをここでは考えてみる。この場合、測定機関等に依頼が可能かも室内浮遊アスベスト測定法を決める場合の重要な要素となる。

なお、文部科学省の科学技術総合研究委託費により（財）日本建築センターは「建築物室内のアスベスト濃度指標の検討」について調査研究を実施している。

これは 16 の一般住宅や学校等の建築物室内のアスベスト濃度の実態調査を実施し試料採取方法や各種測定方法の留意点についても検討がなされ、報告書が平成 18 年 3 月取りまとめられているので参考にされたい。

2. 現状で室内浮遊アスベスト測定に応用が想定される測定方法

(1) 位相差顕微鏡法

位相差顕微鏡法は、浮遊アスベストを含む粉じんをメンブランフィルター上に捕集して、所定の方法に従って観察標本を作製して、倍率 400 倍の位相差顕微鏡で一定面積中の繊維（アスベストと見なす）を計数し、捕集空気量と計数フィルター面積を用いて浮遊アスベスト濃度を計算で求めるものである。この方法は、過去のアスベスト疫学研究で人のばく露量の定量的評価に用いられてきており、アスベストの有害性評価の基準になっているので、アスベスト以外の代替繊維の評価においても基本的に重要な測定方法と位置づけられている。しかし、室内浮遊アスベストの測定方法として考えると、繊維状形態を計測の指標とするので、衣類の繊維やカビの繊維などとの区別が問題となる場合が想定され、必ずしも十分な方法ではない。しかし、測定方法だけで十分なものを設定することを考えるほかに、本方法をあくまでも主体としておいてアスベストとそれ以外の繊維の識別が必要な場合に、より特化できる方法を採用できるような体制を整えておくことも現実的と考えられる。

(2) 分散染色位相差顕微鏡法

この方法は、位相差顕微鏡の対物レンズ内に同心円状の穴の開いたスリットを内蔵して、粒子によって回折したある波長の光だけで結像させて、粒子の屈折率に特徴的な色（分散色）を検出して粒子の識別を可能にしたのである。位相差顕微鏡を用いる場合と、偏光顕微鏡を用いる方法とがある。これらの方法は、アスベストの種類ごとに浸液が決められており所定の粒子色を呈することが分かっているので、繊維状形状と粒子色からアスベスト

の判定とアスベスト以外の繊維の識別が行える。

一般に総合倍率 400 倍（対物レンズ 40 倍，接眼レンズ 10 倍）の位相差顕微鏡の場合，約 $0.3\sim 0.4\ \mu\text{m}$ の繊維幅の粒子まで検出できるとされている。しかし，現在，その検出下限に近い約 $0.3\sim 0.4\ \mu\text{m}$ の繊維がそれより太い繊維（例えば $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 径の繊維）と同じ色に着色されるかが疑問となってきた。可視光の波長が $0.4\sim 0.8\ \mu\text{m}$ であることから，可視光の一波長にも満たない幅の繊維は分散色を呈さないのではないかと疑問視されているのである。この問題を解決することが現在必要である。室内アスベストの測定方法として考えた場合，アスベストとアスベスト以外の繊維の区別が重要な問題となる場合には，こうした弱点があることを意識しないとイケない。

（3）繊維状粒子自動計測器によるリアルタイム測定法

この繊維状粒子自動計測器は，リアルタイムに繊維状粒子だけを計測できる装置である。原理は，まず浮遊繊維を含む空気を一定速度で装置内の導管に吸引する。吸引された空気中に存在していた繊維は，導管の途中に設けられた四極子磁場によってそこを通過する間にワイパーのように流れに垂直に左右に振られる。その左右に振動する粒子に横からレーザー光を照射すると繊維の振動につれて反射強度に強弱が生まれる。この反射強度の強弱を示す粒子のみを繊維と認識し，強弱を生じない通常の粒子と識別して，繊維を自動的に一本一本計数する。

この繊維状粒子自動計測器では，すべての繊維状粒子が測定されてしまい，繊維の種類の特定はできない。以前，米国製の装置が市販されていたが製造中止になっていた。最近，特許切れに伴ってわが国のメーカーから類似の製品や別の方式の製品など数機種が市販されている。機器の価格が 250～600 万円と高価であるが，リアルタイムで測定できることから室内浮遊繊維の状況を見るのには便利な機種と考えられる。

（4）電子顕微鏡測定法

電子顕微鏡には走査電子顕微鏡（SEM）と透過電子顕微鏡（TEM）の 2 つのタイプがある。電子顕微鏡を扱うには比較的専門性が要求され，今まであまり普及していない。しかし，アスベスト以外の種々の繊維が同時に浮遊しているような作業環境や一般環境，あるいは室内環境などが増加している折から，どの繊維がどの程度の割合で浮遊しているかなどの情報を知るための測定方法の要求が増すことが想定される。

その様な要求に応えるには，SEM または TEM に EDX（エネルギー分散型 X 線分析器）を装着した分析電子顕微鏡（AEM）を積極的に使用して行くことが，現在考えられる最も信頼性の高い方法である。現在のところ，環境中の浮遊繊維を種類ごとに識別して計数できる手段は AEM 以外には見当たらない。特に，SEM は TEM より観察試料の作製方法や操作が比較的容易であり，SEM 装置の開発も進んで簡単な操作で上質の画像が得られる比較的安価な装置（1 千万円以下）が発売され始めているので，今後急速な普及が期待できる。

3. アスベスト気中濃度測定方法

以上のように、いずれの方法も一長一短あって、室内浮遊アスベストの測定方法を決めるにはいろいろと難しい課題がある。つぎに、現状の浮遊アスベスト測定をより詳しく紹介する。

作業場所や一般大気の大気中に浮遊しているアスベストの濃度測定は、位相差顕微鏡や電子顕微鏡など顕微鏡で行われている。こうした気中濃度測定には、サンプリング、試料処理、計数の3段階がある¹⁾。まず、第1段階では吸引ポンプを使って浮遊アスベストを含む気中粉じんをメンブランフィルター上に捕集する。この空気捕集の条件が対象によって異なる。一般に低濃度が予想される環境では長時間のサンプリングを必要とする。第2段階の試料処理方法は、浮遊アスベストを捕集したメンブランフィルターから顕微鏡標本を作製する工程であり、次の計数を位相差顕微鏡法で行うか、分散染色位相差顕微鏡法にするか、あるいは電子顕微鏡法によるのかによって試料処理方法は異なる。1枚の空気捕集メンブランフィルターから目的に応じてどの顕微鏡による計数にも適応できるいわゆる「トータル・フィルター処理法」が開発されている^{2,3)} (図1)。これは1枚のメンブランフィルター試料を各顕微鏡標本へ変換処理する方法で、捕集試料は大気、水、生体組織、建材等のバルク試料のいずれにも同等に扱える。それらのいずれかの試料を捕集した1枚のメンブランフィルターを、生物顕微鏡：OM、位相差顕微鏡：PCM、分散染色偏光顕微鏡：DS/PLM、走査電子顕微鏡：SEM、透過電子顕微鏡：TEMなどのいろいろな顕微鏡で同一視野あるいは隣接視野を観察・計数できるのがこのフィルター処理法の大きな特長である。

図1のa)の平行処理では、隣接するフィルター試料の一部を切り取り、それぞれPCM、DS/PLM、SEM、TEMの各試料に変換するもので、b)の連続処理は、フィルター試料の一部を最初のOMからDS/PMあるいはSEM、TEMへ順次変換して行くもので、同一視野の観察が各顕微鏡でできる。その中には、フィルターを低温灰化(LTA)した後、光学顕微鏡(OM)で観察し、さらに分散染色法(DS)や走査電子顕微鏡(SEM)で同じ視野を計測することが可能であることも示されている。第3段階の計数方法は、分析標本中のアスベスト繊維の計数であり、位相差顕微鏡、電子顕微鏡のそれぞれについて細かく計数条件が決められている。

(1) 位相差顕微鏡法

現在、位相差顕微鏡を用いたアスベスト測定法には、労働安全衛生法による作業環境測定法(いわゆるガイドブック法)と大気汚染防止法による一般環境大気測定法(環境庁マニュアル法)がある。事務所や倉庫などの室内測定方法は、民間の(社)石綿協会が提案しているものがある(表1)。各測定法は、サンプリング方法が異なるだけで、試料処理と計数の方法はほぼ同じであり、一般環境大気測定だけが少し異なる⁴⁾。

表 1. 位相差顕微鏡によるアスベスト計測方法

測定環境 諸条件	1) 作業環境		2) 一般環境	3) 室内環境
	ガイドブック法		環境庁マニュアル	石綿協会法
サンプリング・フィルター	混合セルロースエステル・メンブランフィルター			
フィルター直径 (mm)	47	25	47	25
フィルター有効径 (mm)	35	22	35	22
フィルター孔径 (μm)	0.8		0.8	0.8
捕集空気流速	4.0~5.0cm/sec (フィルター面で)		10L/min	5L/min
サンプリング時間	10分以上		240分	120分
フィルター処理方法	アセトン・トリアセチン法			
計数時の倍率	接眼レンズ 10 倍, 対物レンズ 40 倍, 総合倍率 400 倍			
計数方法	長さ $5\mu\text{m}$ 以上, 幅 $3\mu\text{m}$ 未満, アスペクト比 3 以上			
	繊維数 200 本以上, 又は 50 視野 ($300\mu\text{m}$ 円内=1 視野)	繊維数 200 本以 上, 又は 50 視野, 生物顕微鏡を併用	50 視野 ($300\mu\text{m}$ 円内=1 視野)	
	計数すべき繊維の形状と繊維数の判定基準がある			

位相差顕微鏡法は、アスベスト取扱い作業場を対象にして発展してきた方法であり、鏡下の繊維はアスベストと見なして計数する。位相差顕微鏡の総合倍率は 400 倍が指定されており、測定対象の繊維は、長さ $5\mu\text{m}$ 以上、幅 $3\mu\text{m}$ 以下、長さとの幅の比 3 以上の粒子とされている。この条件で観察できる最小繊維幅は約 $0.4\sim 0.5\mu\text{m}$ 程度である²⁾。

一般大気に浮遊しているアスベストはほとんどがクリソタイルであるという電子顕微鏡測定結果を踏まえて、一般環境大気測定法は、位相差顕微鏡で計数した後、位相差板をはずして生物顕微鏡に切替えて再度計数して、位相差顕微鏡による計数値との差に相当する見えなくなった繊維がクリソタイルであるとする⁴⁾。しかし、建物解体・改修工事周辺や廃棄物処分場付近の大気測定の場合、クリソタイル以外の青石綿やアモサイトなどの飛散も予想されることから、最近、環境省の大気アスベスト濃度調査検討会で測定マニュアルの見直しもはじまっている。

(2) 位相差顕微鏡による分散染色計数法

位相差顕微鏡による分散染色計数法は、捕集したフィルターをアセトン蒸気で透明化処理した後、低温灰化装置でフィルターを灰化し、建材や吹付け材などに使用されているアスベストの屈折率に対応した浸液を数滴滴下して、カバーガラスを載せて計数用標本を作製する。その標本を 40 倍の分散対物レンズを用いた位相差顕微鏡で観察し、特定の分散色を示す繊維だけを計数する。クリソタイルの計数は、1.550 の浸液中で赤紫色から青色、アモサイトの場合は 1.680 の浸液中で桃色、1.700 の浸液中で青色、クロシドライトは 1.680 の浸液中で橙色、1.700 の浸液中で青色の分散色を指標とする。この分散染色

法で、クリソタイル以外のアスベストの濃度測定も可能になった。

分散染色計数法は、作業環境のみならず室内環境や一般環境のアスベスト計測にも有効と考えられる。今までの一般環境測定法では、位相差顕微鏡と生物顕微鏡を併用してクリソタイルと見なせる繊維を計数してきたが、分散染色法を用いればクリソタイル以外のアスベストも確認できるので、より確度の高いアスベストの計数が行なえる可能性を持っている。従来、フィルター処理方法は完成していたが^{2, 3)}、10倍の分散対物レンズしかなく位相差顕微鏡法と同等のサイズの浮遊アスベストの計数ができなかった^{5, 6)}。最近、40倍の分散対物レンズが市販されて同等サイズのアスベスト計数に期待が持てるが、光学的に染色される最小繊維幅はどの程度かのデータはまだ無い。現在、この方法で分散染色される最小繊維幅の計測と検討が進められている。

(3) 偏光顕微鏡による分散染色法

同じく偏光顕微鏡法 (PLM) を用いた分散染色法 (DS/PLM) は、偏光顕微鏡の対物レンズに分散染色用多物レンズを装着したもので、欧米で吹付けアスベストの判定に以前から使われてきて、バルク試料中のアスベスト分析には計測の実績がある⁵⁾。しかし、対物レンズの倍率が10倍と低いため、浮遊アスベストへは用いられていなかった。観察標本の作製方法は4-2の位相差分散染色法と同じでよいので、偏光顕微鏡用40倍分散染色対物レンズが開発されれば、さらにアスベストをより確実に特定しながら計数することが可能となるだろう。

(4) 分析電子顕微鏡による濃度測定方法

位相差顕微鏡では繊維幅が約0.3~0.4 μm 以上のものを観察しており、それ以下の細かい繊維は観察できない。電子顕微鏡を用いた場合は、これより細かいアスベストも容易に観察できる。空气中に浮遊している微粒子のサイズ分布を概念的に図2のように表す。それが作業環境中の粉じんであるか、一般大気中の粉じんであるかによって、横軸の粒子サイズ目盛りは異なる。また、アスベストのような繊維状粒子は、長さ $5\mu\text{m}$ 以上で幅0.4-0.5 μm 以上の粒子を観察できる位相差顕微鏡では、図2の(1)部分の粒子を計数している。一方、電子顕微鏡で長さ1 μm 以上、幅0.1 μm 以上を観察した場合、その粒子は図2の(2)部分に相当する。この両者の観察粒子サイズの違い、特に観察する繊維幅の違いにより、もしフィルター上の同じ視野面積をそれぞれの顕微鏡で観察したとすると、電子顕微鏡の方が圧倒的に多くの粒子を観察できることになる。しかし、倍率が高い分、通常の数作業で観察可能な視野面積は大幅に狭まる。この観察可能な粒子数の多少と観察可能な視野面積の大小の兼ね合いで、計測の感度と精度が決る。一般に、位相差顕微鏡は比較的広い試料面積を計数するので定量精度は高いが倍率が低いので検出感度は高くない。電子顕微鏡は倍率が高いので細かい繊維まで計数可能で高感度であるが、限られた試料面積しか計数できないので定量精度は位相差顕微鏡より低くなることが多い。

電子顕微鏡にエネルギー分散型X線検出器 (EDX) を装着した分析電子顕微鏡 (走査電子顕微鏡 ASEM と透過電子顕微鏡 ATEM がある) では、個々の粒子の化学組成が分析できるので、アスベスト等の粒子の種類が特定できる。この EDX スペクトルを利用してア

スベストの種類やアスベストとそれ以外の繊維の区別が容易にできるのが分析電子顕微鏡によるアスベスト計測の大きな特長である。

1) ASEM 計測のための試料作製方法：図 1 の SEM(2)では、OM で観察したスライドガラス試料をそのまま SEM で観察・計数する方法である。チャージアップ現象が激しい場合は、薄くカーボン蒸着を施すか、低真空 SEM で観察すると良い。EDX 分析でアスベストの種類を特定したい場合は、スライドガラスの代わりに Ni や Zn などのアスベストの組成と重複しない金属板の上に接着すると、スライドガラスからの Si や Ca などの特性 X 線が防げて、アスベスト粒子の特性 X 線のみが検知でき、特定精度が向上する。

2) ATEM 計測のための試料作製方法：図 1 の TEM(1)では、低温灰化したスライドガラス試料を PVA 溶液を用いたカーボン抽出法で TEM 試料を作製する方法である。スライドガラス上のフィルター試料を灰化後、残渣の周辺をセロテープで囲み、PVA 溶液を滴下し全面に広げる。滴下する PVA 量の目安は 8% PVA 溶液を約 1ml/cm²程度である。PVA を風乾させた後、PVA 膜をはぎ取り、裏返してスライドガラスにセロテープで簡単に固定し、その表面にカーボン蒸着を施す。カーボン膜面に 3mm 角の升目を軽く入れて、500ml のビーカーの熱湯に PVA 膜ごと浮かべる。ビーカーをマントルヒーターに入れマントルヒーターの電圧を調整して熱湯の冷める時間を延すようにして保温する。数時間放置後、PVA 膜が完全に溶解したことを確かめて (3mm 角の小片がメッシュの端で容易に切断できることで溶解したことが確認できる)、試料粒子を保持したカーボン膜小片を Ni 製 TEM メッシュ (200 Mesh) で掬い上げ TEM 試料とする。

現在、わが国では残念ながら装置が比較的高価なうえに操作に熟練を要し標本作製が煩雑であるなどの理由から電子顕微鏡法はあまり普及していないが、その有用性から広く普及することが強く望まれる。現在、そういった観点から環境省のアスベスト濃度調査検討会でのアスベスト測定マニュアルの見直しでは、従来、位相差・生物顕微鏡法を主とし分析透過電子顕微鏡 (ATEM) 法を参考方法としていたが、分析走査電子顕微鏡 (ASEM) 法を参考方法に加える方向で検討している。ASEM 法は ATEM 法より容易に実施できるので、建物解体・改修工事周辺や廃棄物処分場周辺の大気測定、それと室内浮遊アスベスト測定などに広く利用されることが期待できる。

4. おわりに

アスベスト測定は、アスベスト製品の製造・譲渡等の原則禁止によって作業環境測定は行われなくなってくが、一般環境や室内の浮遊アスベストを計測する必要性は増している。そうした状況で、電子顕微鏡法 (ASEM と ATEM) への期待は高いが、装置が比較的高価なうえに操作に熟練を要し標本作製が煩雑であるなどの理由から電子顕微鏡法はあまり普及していないが、今後は普及が期待される。また、石綿障害予防規則の発行により材料中のアスベスト含有率の測定の需要が高くなっている。今後も、アスベスト測定法は、作業員や一般住民のアスベストばく露防止のために重要性が増して行くと予想される。測定精度の向上、高感度化、測定の自動化など課題は多々ある。測定に携わる方々の技術向上とともに、測定方法の改善普及が最重要課題となっている。

参考文献

- 1) 木村菊二編：環境測定技術ノート，労働科学叢書 85，労働科学研究所出版部，川崎（1989）
- 2) Kohyama N., Kurimori S.: A total sample preparation method for the measurement of airborne asbestos and other fibers by optical and electron microscopy, *Industrial Health* 34, 185-203 (1996).
- 3) 神山宣彦：顕微鏡によるアスベストのトータル定量法，金属 67，836-842（1997）
- 4) 環境庁大気保全局大気規制課（1993）アスベストモニタリングマニュアル（改訂版），平成 5 年 12 月，環境庁環境庁大気保全局
- 5) McCrone, W.C. (1988) Asbestos Identification, 2nd Edition, McCrone Research Institute, Chicago, IL, ISBN 0-904962-11-3
- 6) 神山宣彦：アスベスト測定法の最近の動向，作業環境 9, No.3, 1-4（1988）
- 7) (社)日本作業環境測定協会：繊維状物質測定マニュアル，作業環境測定シリーズ No.3, 日本作業環境測定協会，東京（2004）.

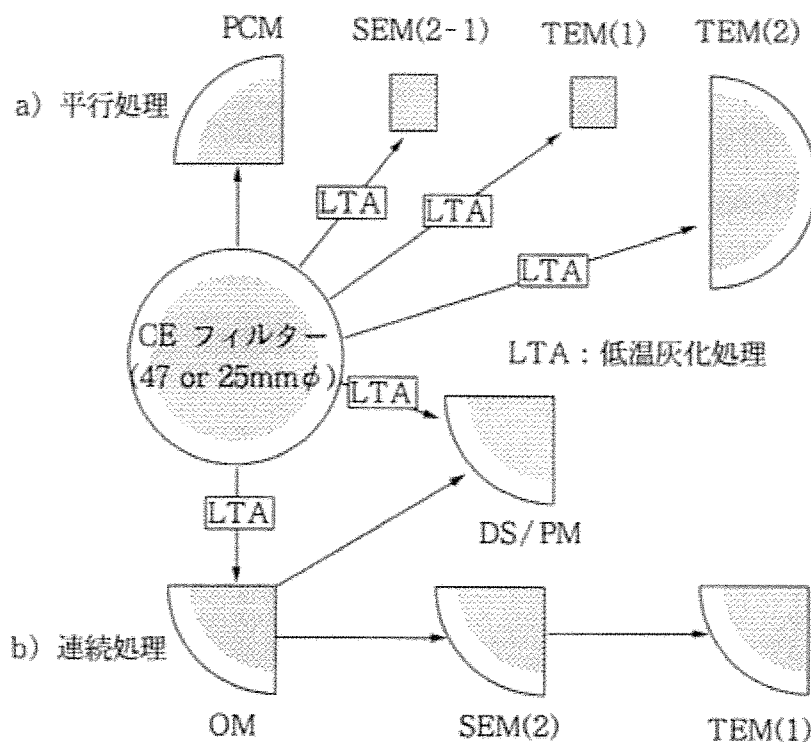


図 1. 1枚の空気捕集メンブランフィルターから各顕微鏡標本を作製する際の相互関係図

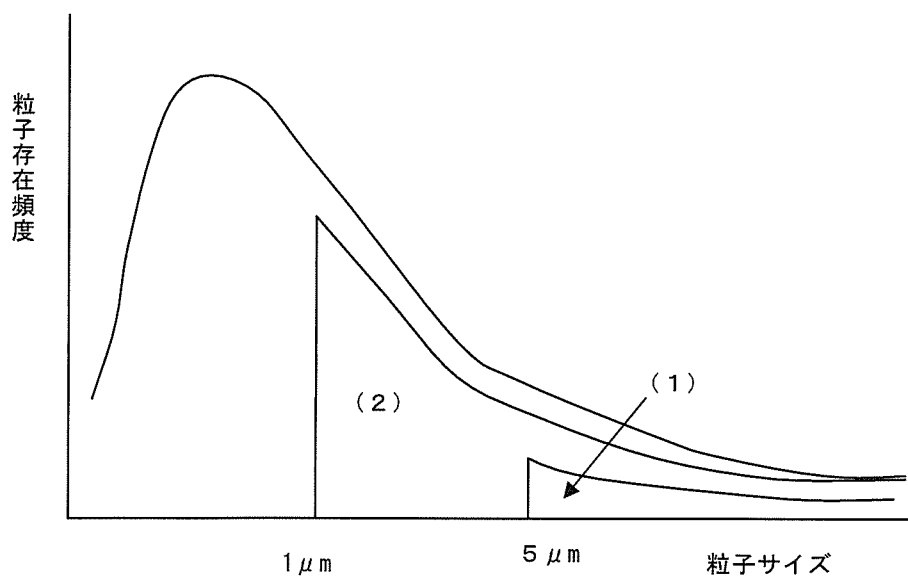


図 2. 空気中の浮遊粒子の分布概念図と位相差顕微鏡 (1) と電子顕微鏡 (2) で観察される粒子の比較