

# アスベストの確認試験方法の検討

無機化学科 佐藤 壱  
分析化学科 二宮 信治

## はじめに

アスベスト（石綿）とは学術的な定義に基づく名称ではなく、天然に産出する繊維状の珪酸塩化合物に対する一般名称であり、ILO（国際労働機関）によれば、「岩石を形成する鉱物の蛇紋岩及び角閃石グループに属する繊維状の無機珪酸塩」と定義されており表-1のように分類されている。鉱物学の分類でも、蛇紋岩系と角閃石系の二つに大別されている。

アスベストはその組成と微細構造のため、機械的強さ、耐久性、耐摩耗性、不燃性、耐熱性、絶縁性、耐食性、親和性等他の材料にはない数多くの優れた特性を持っている。その上、安価なため、建材をはじめとして産業のあらゆる分野でさかんに用いられてきた。

一方、アスベストが人体に吸入されることによって、各種の障害を引き起こすことは以前から報告されており、最近の研究で発ガン性物質であることがほぼ立証されている。

近年、学校を始め各種の建築物の内壁に断熱、防音材として利用されている例が数多く確認されており、それらがアスベスト粉塵の発生源となっているため大きな社会問題となっている。そのためアスベストの分析に対する要求も急増している。アスベ

ストの確認法はいくつか報告されているが、同定法として公式に採用されている方法はまだない。

本研究では、X線マイクロアナライザー（EPMA）を用いてアスベスト原石及び建築物の内壁の断熱、防音材を測定し、正確で簡便なアスベストの確認方法を検討した。その結果いくつかの知見を得たので報告する。

## 実験方法

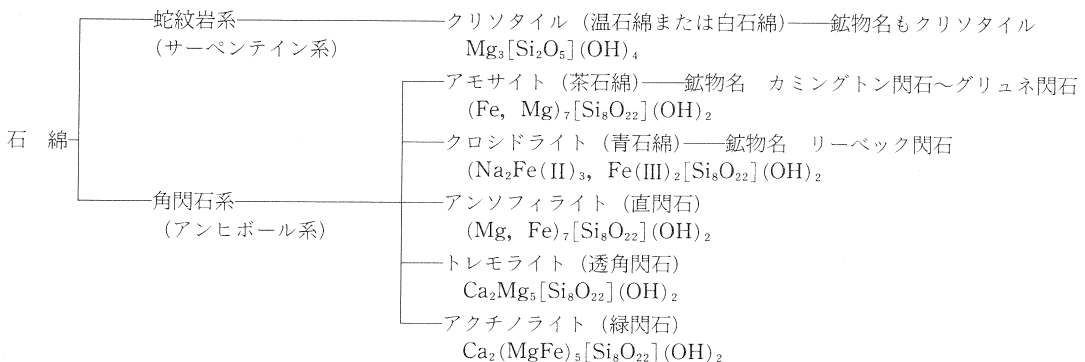
入手できたアスベスト原石（クリソタイル、クロシドライト、アモサイト）と各種の断熱防音材として利用されている吹き付け建材について、下記の方法で行なった。

### (1) 試料の前処理

一般の吹き付け材は繊維状の物質に糊材として種々の無機物質が使われているため、試料の分散が出来ず、繊維状の物質の表面を糊材等が覆っていて観察が難しい物もある。又、ロックウールの中に少量のアスベストが混入している試料の場合は0.1規定の塩酸で糊材やロックウールを溶解して残渣を観察した。

試料をミキサーでほぐし、適量を2個の100mlのビーカーに採り、一方には蒸留水を他方には0.1規定

表-1 石綿の種類



の塩酸を50ml 加え超音波をかけながらガラス棒でよく分散させる。これをメンブランフィルターで吸引ろ過し水洗する。試料がよく分散しているところを適当な大きさに切り電子顕微鏡用試料台（1インチ）にカーボンペーストで固定した後乾燥し、スパッタリング装置で金を厚めに蒸着し、形状観察及び元素分析用試料とした。

## (2) 実験に使用した装置

形状観察及び、元素分析は走査型電子顕微鏡 JSM-840（日本電子(株)製）に TN-5500 システム（Tracor Northern 製）を装着した X 線マイクロアナライザーを使用した。分析はエネルギー分散型分光器（EDS）を使用した。元素マッピングは画像処理プログラム（MSCAN）で処理したものを写真撮影を行なった。

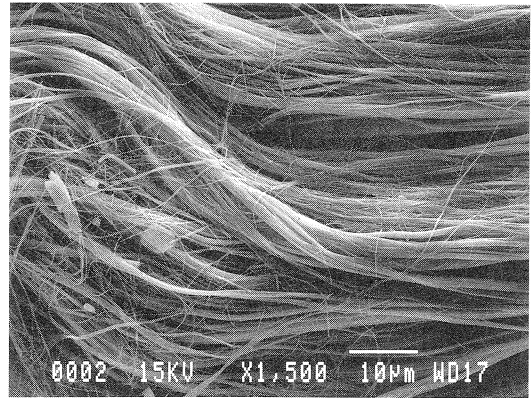
## 結果と考察

アスベストには蛇紋岩系はクリソタイル、角閃石系は表一1の通り5種あり、合計6種に分類される。この内、内壁材等に通常用いられているのはクリソタイル、アモサイト、クロシドライトの3種類である。中でもクリソタイルは90%以上を占めている。またクロシドライトは人体への影響が最も強いと言われているが、現在我国では使用されていない。アスベストの代替材料として多く使用されているものにロックウール（人造繊維状珪酸カルシウム）がある。今回実験に用いた試料はアスベスト原石および内壁吹き付け材として利用されているアスベストを主体に行なった。

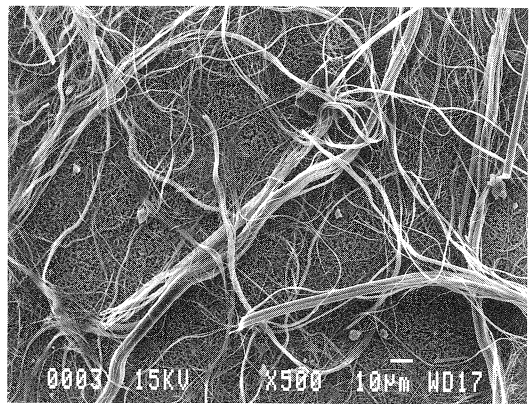
### (1) 形状観察

蛇紋岩系のクリソタイルは写真一1の様に直径 $0.1\mu\text{m}$ 以下の単繊維が数本から数百本集束しており、その単繊維は表面が平滑で断面は円形である。更にそれが集まって写真二の様に大きな繊維状を形成している。クリソタイルは他の繊維状物質とは異なり、柔らかな繊維状でゆるやかに波打った形状として観察される。

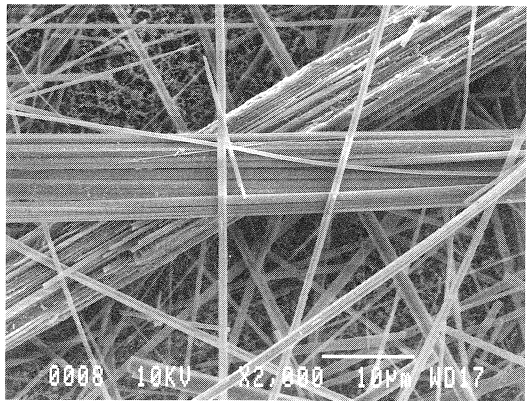
角閃石系のアスベストは写真一3の様な形状で、細い繊維が集まって大きな繊維状を形成しているところはクリソタイルと同じである。しかし、クリソタイルとは明らかに異なった形状で観察される。まずクリソタイルよりも、脆く砕けやすく直線的な針



写真一1



写真一2



写真一3

状である。さらに単繊維の断面は角ばっており直径は約 $0.5\mu\text{m}$ とクリソタイルより大きい。角閃石系には5種類のアスベストがあるが形状観察では判定が不可能であった。しかしクロシドライトだけは青灰

色をしており他のアスベストとは異なっているので識別することができる。

写真-4はロックウールである。ロックウールは人造繊維であるため、その製造に起因するいくつかの特徴が観察され、アスベストとの識別が可能である。その形状は針状や曲線状の物があるが、表面は平滑で断面は円形である。アスベストとの最大の相違は繊維が束になっておらず1本1本が独立し、繊維の直径も不揃いであり、数 $\mu\text{m}$ ~数十 $\mu\text{m}$ と大きい。また繊維の端が水滴状に膨らんでいることもありこれはアスベストでは観察されないロックウール独特の形状である。さらにロックウールは酸で分解するため0.1規定の塩酸で処理した試料では繊維状ではなくなる。

(2) 元素分析

各種アスベストの化学組成を表-1に示しているが、それぞれ多少の不純物を含むのが普通であり、不純物の種類や量は産地によって異なる。

形状観察でクリソタイルと思われる写真-5の視野について分析した結果は図-1の通りであり検出された元素はマグネシウム、珪素および金であった。金は試料作製時に表面コーティングしたものである。マグネシウムおよび、珪素の元素マッピングをしたものが写真-6であり、マグネシウムおよび珪素が繊維の部分から検出されている。蛇紋岩系のク

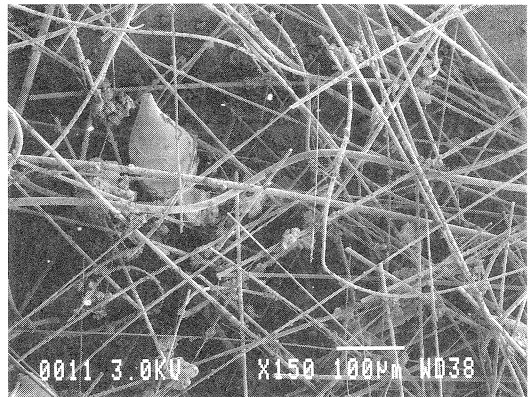


写真-4

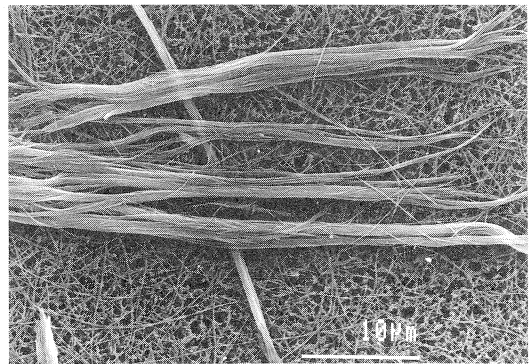


写真-5

TN-5500 OITAKEN KOGYU SHIKENJOU  
Cursor: 0.000keV = 0

WED 19-OCT-88 12:01

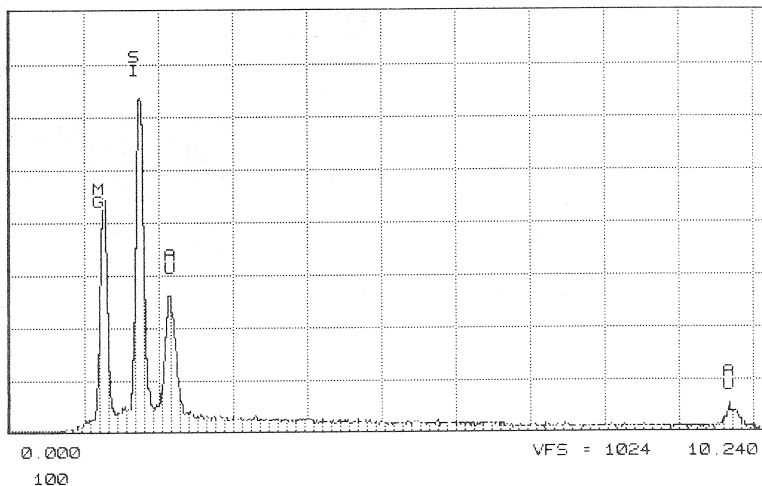
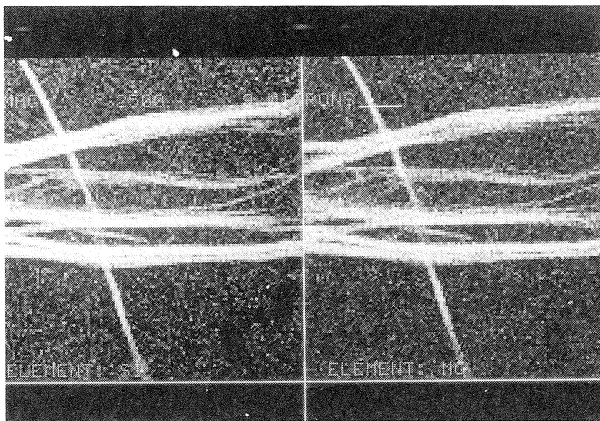
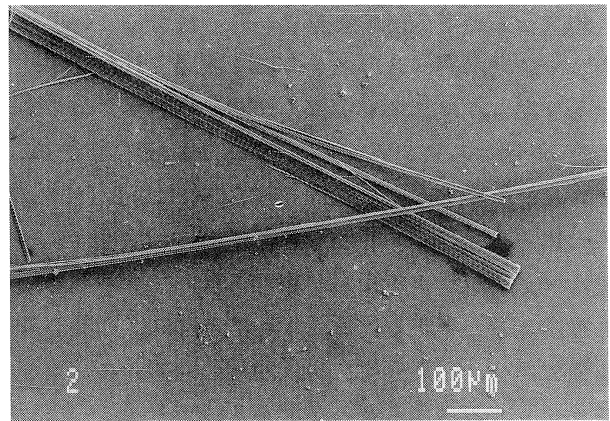


図-1



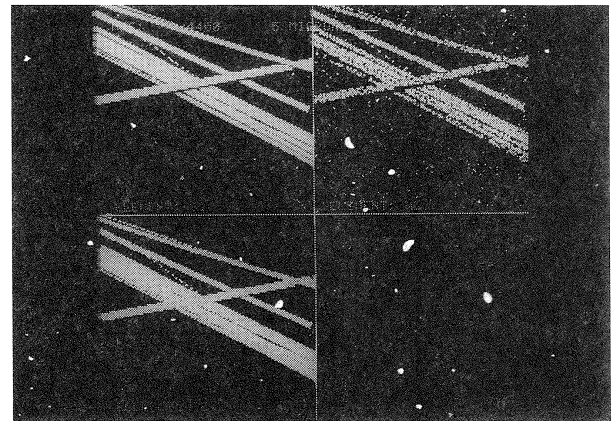
写真一六



写真一七

リソタイル ( $Mg_3 [Si_2O_5] (OH)_4$ ) の構成元素と同じであり、形状観察結果とも一致する。このため、クリソタイルであることが確認できる。

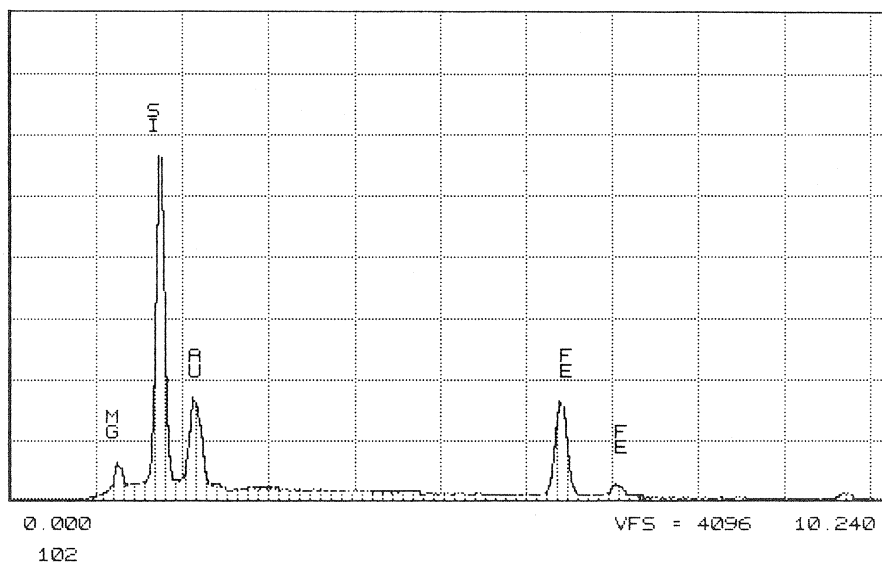
角閃石系のアスベスト写真一七の視野について分析した結果は図一2の通りであり検出された元素はマグネシウム、珪素、鉄および金であった。各元素のマッピングは写真一八の通りであった。角閃石系のアモサイト ( $(Fe, Mg)_7 [Si_8O_{22}] (OH)_2$ ) の構成元素とよく一致している、ただしアモサイトの化学組成は産地によって構成元素が多少異なることと、アンソフィライトとも同じ構成元素であるため元素分析の結果だけではアモサイトとアンソフィライトの区別することは困難である。



写真一八

TN-5500 OITAKEN KOGYU SHIKENJOU  
Cursor: 0.000keV = 0

WED 19-OCT-88 16:34



図一2

角閃石系のアスベスト写真-9の視野について分析した結果は図-3の通りであり検出された元素はナトリウム、マグネシウム、珪素、鉄および金であった。各元素のマッピングは写真-10の通りである。クロシドライトの化学式は一般に  $(\text{Na}_2\text{Fe}(\text{II})_3, \text{Fe}(\text{III})_2 [\text{Si}_8\text{O}_{22}])$  と表わされているが産地によってはマグネシウムを含んだ物もあり、マグネシウムも構成元素と考えられる。またアスベストの色も青灰色であり、元素分析、形状観察の結果からクロシドライトと判定することができる。

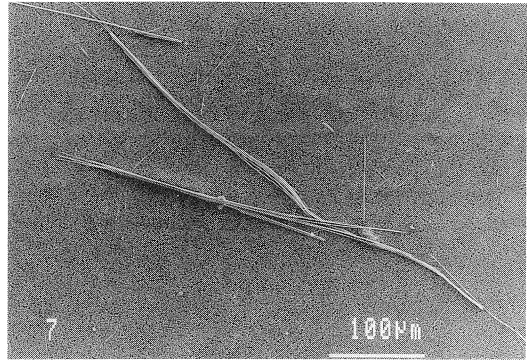


写真-9

TN-5500 OITAKEN KOGYU SHIKENJOU  
Cursor: 0.000keV = 0

WED 19-OCT-88 13:37

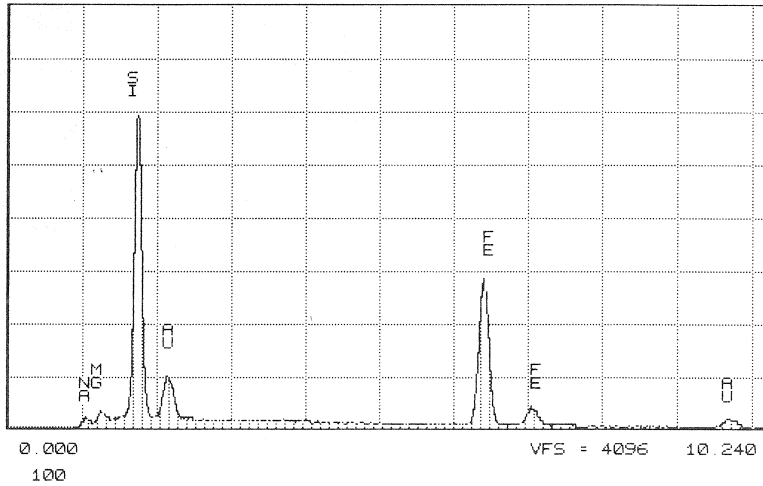


図-3

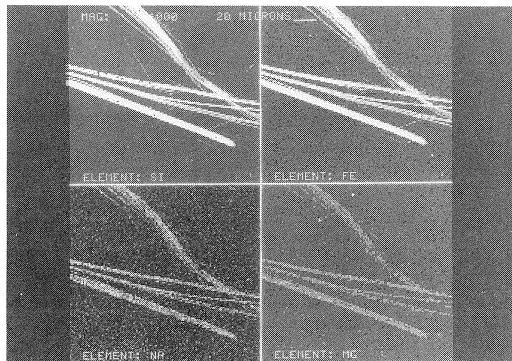


写真-10

角閃石系のアスベスト写真-11の視野について分析した結果は図-4の通りであり検出された元素はマグネシウム、珪素、カルシウム、鉄および金であった。各元素のマッピングは写真-12の通りである、カルシウムを含んだアスベストには、トレモライト ( $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ )、アクチノライト ( $\text{Ca}_2(\text{MgFe})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ ) の2種類がある。この2種類の組成上の違いは鉄の有無である。しかし、この試料の鉄のX線強度は比較的弱いため、鉄を不純物として含んだトレモライトの可能性も考えられ、元素分析の結果だけでアクチノライトであるとは言い切れない。

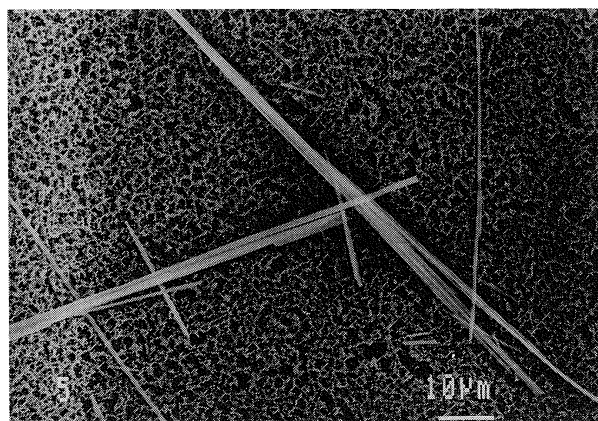


写真-11

TN-5500 OITAKEN KOGYU SHIKENJOU  
Cursor:10.230keV = 16

WED 19-OCT-88 16:45

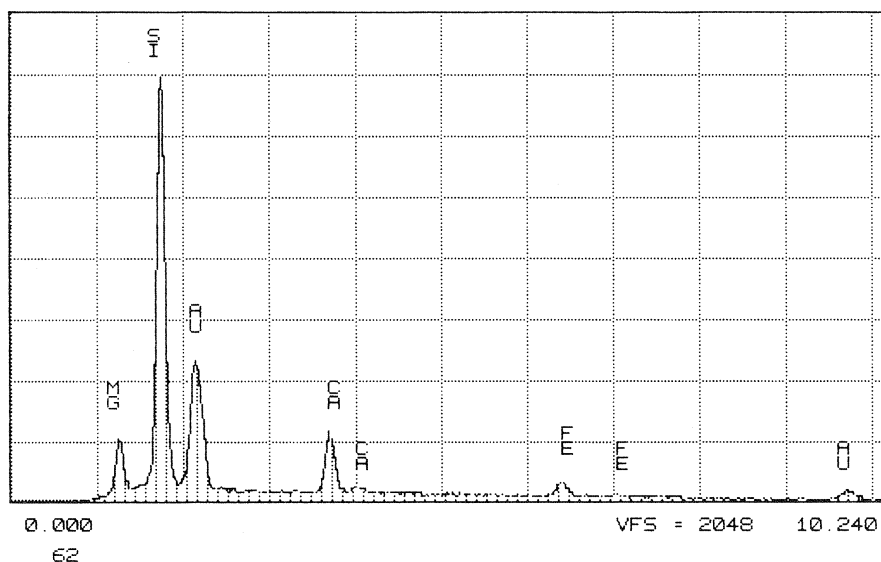


図-4

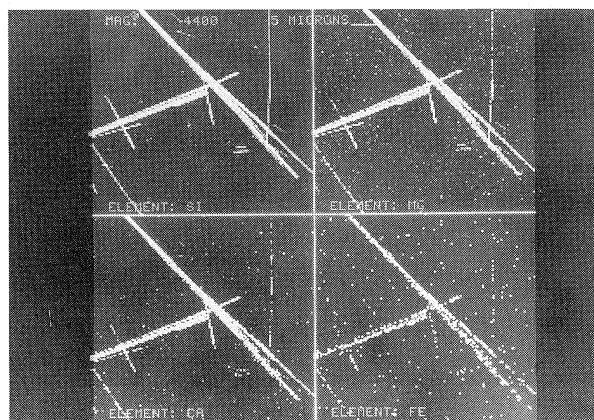


写真-12

ロックウール写真-13の視野について分析した結果は図-5の通りであり検出された元素はアルミニウム、珪素、カルシウム、鉄および金であった。各元素のマッピングは写真-14の通りであり、ロックウールの成分である珪素、カルシウム、アルミニウム及び不純物として混入している鉄で構成されていることがよく分かる。またアスベストとの特徴的な違いはアスベストにはほとんど含まれていないアルミニウムが多量に検出されることで、これによりアスベストとの区別は容易である。

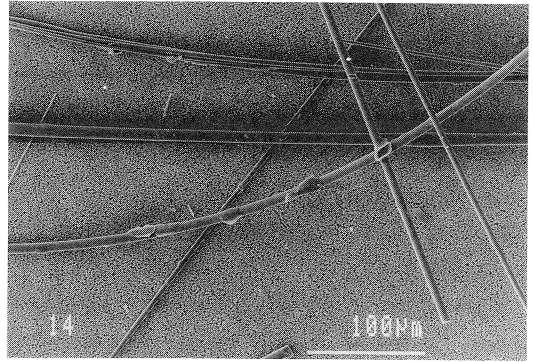


写真-13

TN-5500 OITAKEN KOGYU SHIKENJOU MON 12-DEC-88 12:07  
 Cursor: 0.000keV = 0 ROI (2) 0.000: 0.000

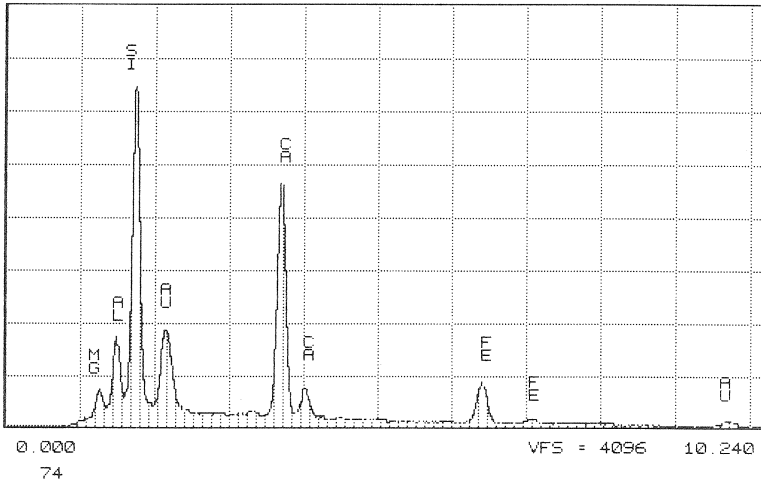


図-5

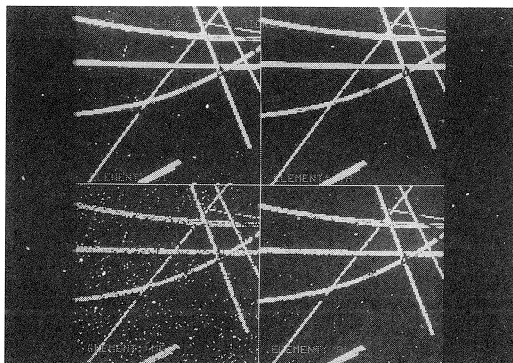


写真-14

一般の吹き付け材にはアスベスト各種およびロックウールとが混合物として使用されているものも多くある。写真-15の元素マッピングは写真-16の通りであり、横になっている太い繊維はカルシウム、珪素、アルミニウムおよび少量の鉄から構成されており、形状からもロックウールと分かる。斜めに集束している繊維は珪素およびマグネシウムで構成されていることからクリソタイルであることが分かる。また写真-17は形状の異なる2種類のアスベストが観察される。形状からみて直線的で途中で折れ

曲がっているのが角閃石系のアスベスト、その上にあるやや波打っているのがクリソタイルと思われる。このマッピングは写真-18であり、角閃石系と思われる繊維は、珪素、鉄、マグネシウムおよびナトリウムで構成されており、形状観察の結果と併せて考えるとクロシドライトであることが分かる。クリソタイルと思われる繊維はマグネシウムと珪素で構成されており、観察の結果と一致する。またクリソタイルからナトリウムが検出されたが微量であり不純物であると思われる。

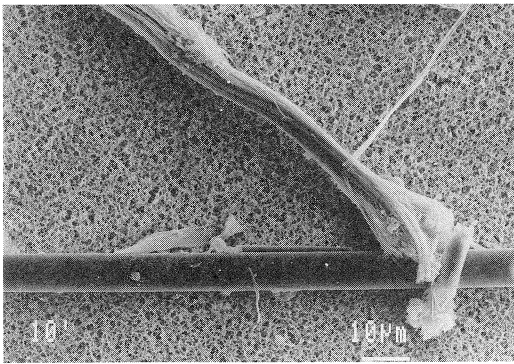


写真-15

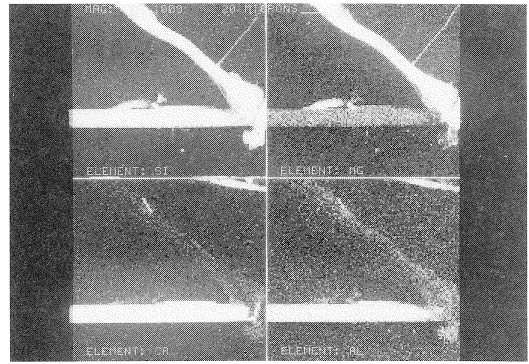


写真-16

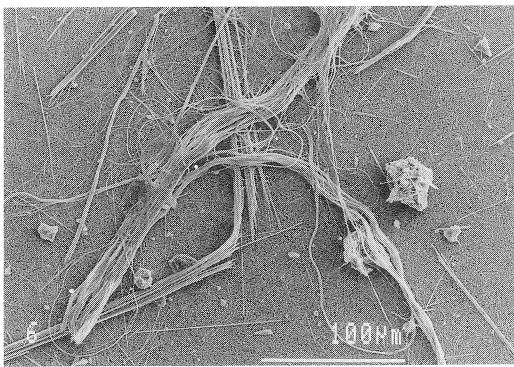


写真-17

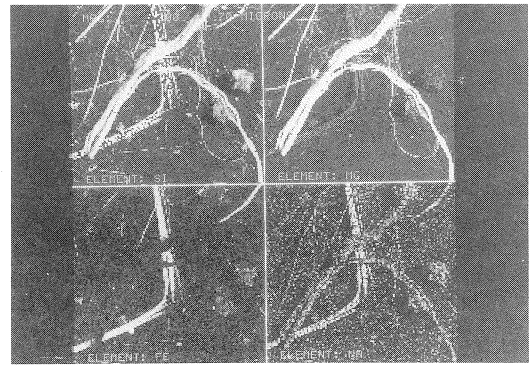


写真-18

おわりに

今回行った研究の結果、EPMAによる「形状観察」と「元素分析」はそれぞれ単独でアスベストの判別を行なうことは問題点も多いが、双方の結果を組み合わせて判断することにより、かなり有効なアスベストの確認方法とする事ができる。また一部のアスベストについてその種類を判定することもでき

る。

1. クリソタイルは形状観察で、細い繊維が集束し柔らかく波打った形をしており、他の繊維状物質とは異なった特徴があり、確認は可能である。
2. 角閃石系のアスベストは直線的であり、たまにロックウールに似た形状の物があるが、元素分析あるいは酸で処理をした試料について、観察、分



析を行なえば確認が可能である。

3. 元素分析ではロックウール、アスベスト共に不純物や産地により、化学式で示されている構成元素異なることがよくある。
4. ロックウールとアスベストの特徴的な違いは次の通りである。ロックウールは、
  - (1) 酸で分解し繊維状でなくなる。
  - (2) 繊維1本1本が独立している。
  - (3) 元素分析でアスベストに含まれていないアルミニウムが、検出される。
5. 実際の試料の場合、繊維状物質単独で使用されていることはなく、他の材料、例えばセメントや炭酸カルシウム等と複合材料として使われてい

る。そのために元素分析でアルミニウムやカルシウムが検出される。その対策として試料を前もって酸で処理を行なったり、元素マッピングを行なうことによってほとんど解決できる。

6. 形状観察と元素分析では判別ができなかったアモサイトとアンソフィライトやトレモライト、アクチノライト等については、X線回折装置を用い結晶構造の違いによる確認方法も検討する必要がある。

最後に、この実験に使用したEPMAは日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて設置したものである。