

当社におけるアスベスト分析への取り組み

Our approach to asbestos analysis

技術開発部門 研究部研究第一グループ分析物性チーム 八木沢 隼

Technical Development Div. Research Dept. Research Group 1, Analysis & Physical Properties Team

Hayato YAGISAWA

要旨

アスベストは、建材などに対して様々な性能を付与することが可能な材料であるが、人がその粉塵を吸入することによって極めて重篤な健康障害を発症する有害物質の一つである。アスベスト被害の抑制を目的として2022年4月、大気汚染防止法、ならびに石綿障害予防規則が改正され、原則全ての解体などの工事に関してアスベストの事前調査が義務化された。

当社では、このアスベスト事前調査の義務化に対応すべく、JIS A 1481-1:2016に基づきアスベストの分析手法の検討を行った。アスベスト分析の課題の一つとして、類似繊維である

「繊維状セピオライト」をアスベストとして誤認しやすい点が挙げられる。今般、当社では、アスベストと繊維状セピオライトの識別方法を確立し、精度の高い分析を行うことが可能となったため、本報にて報告する。

Abstract

Asbestos is a material that can provide various properties to building materials, but it is also a harmful substance that can cause extremely serious health problems when people inhale its dust. In order to prevent asbestos damage, Air Pollution Control Act and Ordinance on Prevention of Health Impairment due to Asbestos were amended in April 2022, and in principle, preinspection of asbestos is mandatory for all demolition and other construction work.

In order to comply with this mandatory preinspection of asbestos, we have studied an analysis method for asbestos based on JIS A 1481-1:2016. One of the challenges of asbestos analysis is that it is easy to mistake "fibrous sepiolite," a similar fiber, for asbestos. We have now established a method to distinguish between asbestos and fibrous sepiolite, which has enabled us to perform highly accurate analysis, and we report on this in this paper.

1. はじめに

アスベストは、石綿（いしわた、せきめん）とも呼ばれる天然に産する繊維状けい酸塩鉱物の総称である。厚生労働省の平成18年8月11日基発第0811002号によれば、日本においては、繊維状を呈するクリソタイル（白石綿）、アモサイト（茶石綿）、クロシドライト（青石綿）、トレモライト、アクチノライト、アンソフィライトの6種類がアスベストと定義されている。図1に、主要なアスベストであるクリソタイル、アモサイトおよびクロシドライトの外観を示す。これらは、細くて長い「高アスペクト比」を有する物質であることがわかる。



図1 アスベストの外観

アスベストは、耐久性や耐熱性、耐薬品性、耐摩擦性などを有することに加えて、コストパフォーマンスにも優れる点から、高度経済成長期をピークに多くの建材などに使用されてきた。その一方で、1970年代よりアスベストの有害性が判明し、主に解体作業やアスベスト含有製品生産工場の近隣住民がアスベストの粉塵を吸入することによって、肺がんや中皮腫などの重篤な健康被害を発症している¹⁾。図2に、日本におけるアスベストの輸入量の推移²⁾ および中皮腫による死亡者数の推移³⁾ を示す。前述したとおり、アスベストは、高度経済成長期をピークに多く輸入されてきたが、労働安全衛生法施行令の改正によりアスベストが全面使用禁止となった2006年9月以降も、中皮腫による死亡者が増加していることがわかる。

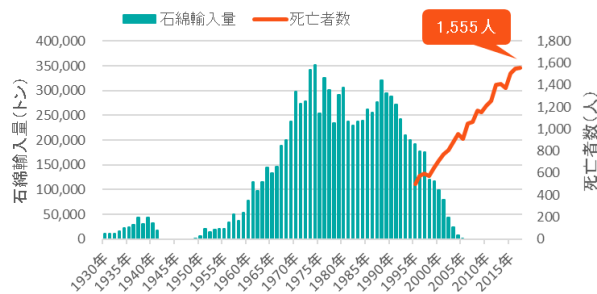


図2 石綿輸入量と中皮腫による死亡者数の推移

図3に、当社那須事業所（栃木県大田原市）における試験棟の外観を示す。小波スレートと呼ばれる外壁材においては、アスベストであるクリソタイルが含まれている。このことから、現在も身の回りにはアスベストが存在していることがわかる。このようなアスベスト含有外壁材については、今後、解体や改修などの工事が進められ、その件数は増加する見込みである⁴⁾。



図3 当社那須事業所における試験棟の外観

これらの課題に対し、当社では分析を通じて作業員の安全や周辺環境により配慮したサービスの提供を目指し、アスベスト分析の確立を行った。

2. アスベストを取り巻く法規制

2.1 事前調査の義務化

アスベスト被害の抑制を目的として、2022年4月の大気汚染防止法、ならびに石綿障害予防規則の改正に伴って義務化されたのが「事前調査」と呼ばれる仕組みである。これは、原則全ての解体・改修などの工事に先立ち、対象物件におけるアスベスト含有の有無の調査を行い、解体工事では解体部分の床面積が80㎡以上、あるいは解体・改修工事の請負金額が100万円を上回る一定規模以上の工事については、都道府県等に対して事前調査結果の報告が義務化されたというものである⁵⁾。

図4に、アスベスト事前調査の流れを示す⁶⁾。設計図面などの書面調査にはじまり、書面の内容と乖離がないか現地調査を行う。アスベストが使用されていない、または、アスベストの使用が禁止された2006年9月1日以降の材料が使用されていることを証明できれば、事前調査は終了となる。

しかしながら、アスベストの含有の有無が不明な場合は、検体を採取して分析を行う必要がある。分析の結果、アスベストの含有量が0.1%を超えることが確認された場合は、対象の工事において適切な飛散防止措置、ばく露防止措置を講じる必要がある。

なお、アスベスト含有の有無が不明な場合で、明らかな含有が疑われるケースや、分析コストが養生コストを上回るケースでは、前述の措置を講じることを前提に「ありとみなす」ことも認められている。一方で、「なしとみなす」ことはできず、必ず分析による調査が必要となる。

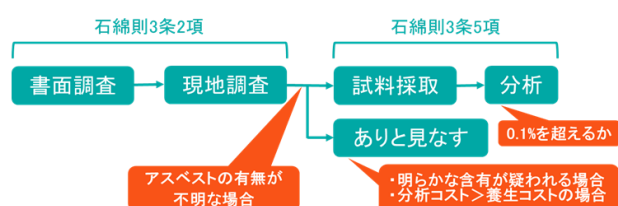


図4 アスベスト事前調査の流れ

2.2 資格所有者による調査・分析の義務化

また、2023年10月の法改正により、アスベスト事前調査は「建築物石綿含有建材調査者」による実施が義務化され、そのうちの分析調査においても「分析調査者資格」を有する者の実施が義務化された。令和3年の厚生労働省告示一部改正基発第0526第3号では、分析調査者資格の要件を次の通りとしている。

- ①厚生労働大臣が定める分析調査者講習を受講し、修了審査に合格した者
- ②公益社団法人日本作業環境測定協会が実施する「石綿分析技術評価事業」により認定されるAランク若しくはBランクの認定分析技術者又は定性分析に係る合格者
- ③一般社団法人日本環境測定分析協会が実施する「アスベスト偏光顕微鏡実技研修（建材定性分析エキスパートコース）」の修了者
- ④一般社団法人日本環境測定分析協会に登録されている「建材中のアスベスト定性分析技能試験（技術者対象）合格者」
- ⑤一般社団法人日本環境測定分析協会に登録されている「アスベスト分析法委員会認定JEMCAインストラクター」
- ⑥一般社団法人日本繊維状物質研究協会が実施する「石綿の分析精度確保に係るクロスチェック事業」により認定される「建築物及び工作物等の建材中の石綿含有の有無及び程度を判定する分析技術」の合格者

なお、現在当社では上記①②③④の有資格者にて分析を実施している。

3. アスベストの分析

3.1 アスベストの分析手法

アスベストの分析手法は、表1に示すJISで定められた5つの手法がある。加えて、厚生労働省が発行している「石綿則に基づく事前調査のアスベスト分析マニュアル（以下、マニュアルと称す）」に記載されている内容にも留意して分析を行うことが推奨されている⁷⁾。

当社では、層別分析が可能であり、かつ低コスト、さらには短納期で対応が可能な「JIS A 1481-1:2016」の手法を選択した。併せて、マニュアルの「第3章、定性分析方法1（偏光顕微鏡法）」の内容にも留意した。

図5に、本分析手法の流れを示す。検体の受領、分析依頼内容の確認にはじまり、実体顕微鏡による予備観察、標本の作製、偏光顕微鏡によるアスベストの含有有無や推定質量分率の判定を行う。

図6に、本分析で使用する偏光顕微鏡の装置外観と主な構成を示す。偏光顕微鏡は、光源、ポラライザ（偏光子）、コンデンサ、回転ステージ、対物レンズ、アナライザ（検光子）、接眼レンズなどから構成される光学顕微鏡である。アスベストの有無や種類を判定するため、次項に記載する光学特性に応じて、都度、顕微鏡の条件や対象繊維の向きを変えながら分析を行う。

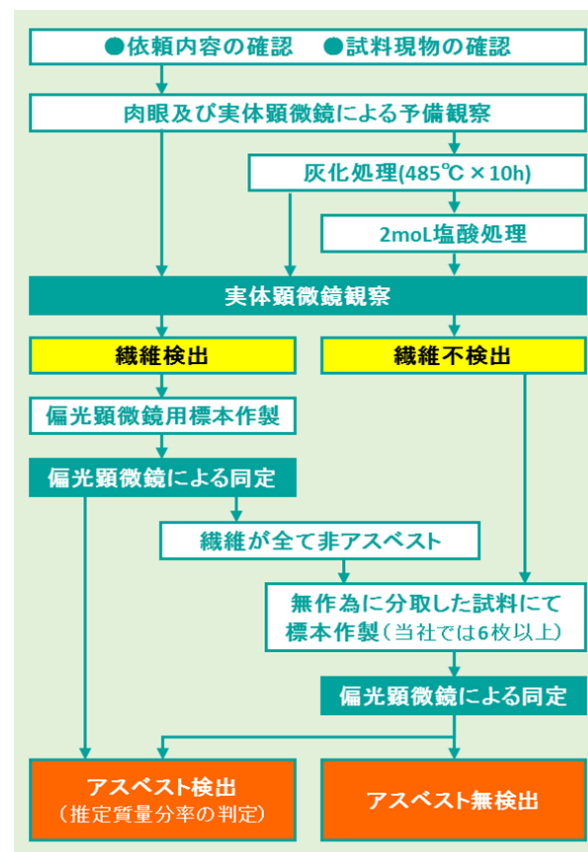


図5 JIS A 1481-1:2016によるアスベスト分析フロー

表1 アスベストの分析手法

規格	分析手法の概要	
JIS A 1481-1:2016	偏光顕微鏡法	定性分析
JIS A 1481-2:2016	位相差・分散顕微鏡法およびX線回折法	
JIS A 1481-3:2014	X線回折法	定量分析
JIS A 1481-4:2016	偏光顕微鏡法	
JIS A 1481-5:2021	X線回折法	

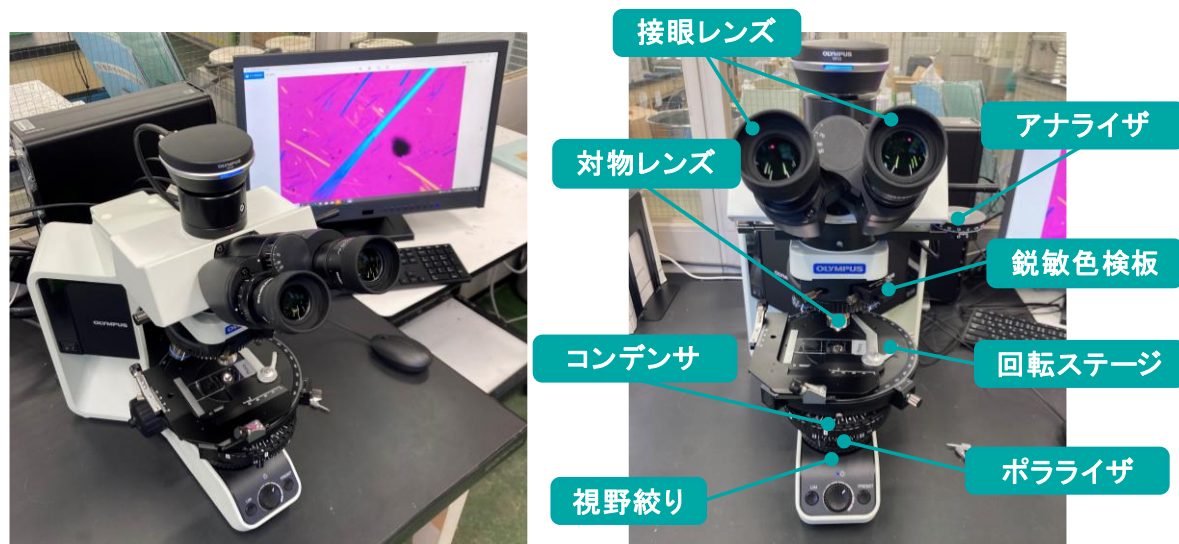


図6 偏光顕微鏡の装置外観と主な構成

3.2 分析視点から見るアスベストの特長と同定方法

表2⁹⁾に、アスベスト別の光学特性一覧を、図7に、アスベストであるアモサイトおよびクロシドライトにおける顕微鏡写真の一例を示す。アスベストは、繊維の伸長方向と幅方向で異なる屈折率を有する「光学的異方体」に分類される。そのため、アスベストを偏光顕微鏡鏡のクロスポーラ（ポラライザ、ならびにアナライザをポラライザと直交する方向で光路に挿入した状態）で観察した際、アスベストの

向きによって当該繊維が明るく見えたり暗く見えたりする現象が生じる。繊維の向きが垂直、あるいは水平方向で消光するものを「直消光」と言い、垂直、あるいは水平方向からわずかに斜めの方向で消光するものを「斜消光」と言う¹⁰⁾。

表2 アスベストの光学特性一覧

		アスベストの種類					
		クリソタイル	アモサイト	クロシドライト	トレモライト	アクチノライト	アンソフィライト
形態		波状	直線状	直線状	直線状	直線状	直線状
色		白色	茶色	青色	白色	白色	白色
多色性		無	無 ^{*1}	有	無	無	無
消光角		直消光	直消光	直消光	直消光および斜消光	直消光および斜消光	直消光
伸長の符号		正	正	負 ^{*2}	正	正	正
分散色	分散液の屈折率	1.550	1.680	1.700	1.605	1.630	1.605
	⊥	青色	青色	青色	青色	青色	青色
	//	赤紫色	黄金色	明青色	黄色	赤－赤紫色	赤紫－黄色

^{*1} 熱により「有」になることがある ^{*2} 熱により「正」になることがある

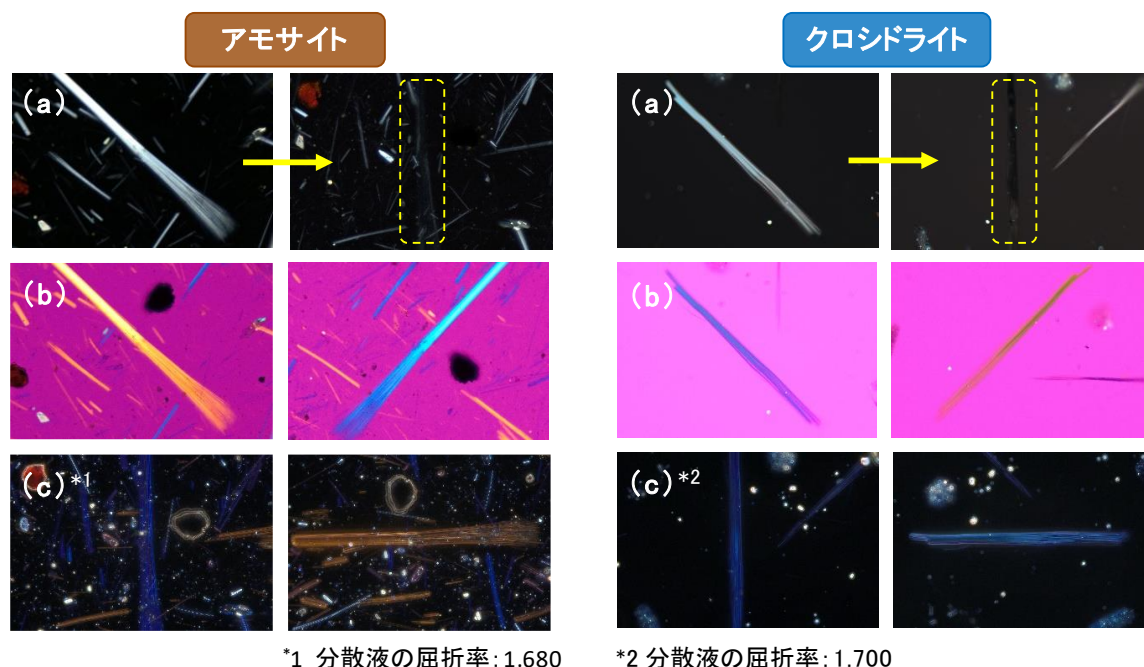


図7 アモサイト(左)、クロシドライト(右)における光学特性の一例
 <a:消光角(クロスポーラ)、b:伸長性(クロスポーラ+鋭敏色板)、c:分散色>

図7に示した2種類のアスベストは、いずれも直消光であることがわかる。また、分散対物レンズと一定の屈折率を有する分散液を用いた分散染色法により、対応する分散液と繊維の向きに応じて特有の発色を確認することができる。アモサイトは、屈折率1.680の分散液下で繊維の向きが垂直方向で青色、水平方向で黄金色を呈し、クロシドライトは、屈折率1.700の分散液下で繊維の向きが垂直方向で青色、水平方向で明青色を呈する。

さらに、アスベストの種類によって、繊維の伸長方向と幅方向で有する屈折率の高低をあらわす指標である「伸長性」にも違いがみられ、クリソタイル、アモサイト、トレモライト、アクチノライト、アンソフィライトは、繊維における屈折率が伸長方向>幅方向である「正」の符号を示すのに対し、クロシドライトのみ、繊維における屈折

率が伸長方向<幅方向である「負」の符号を示す。正し、図8に示す通り、熱の影響を受けたクロシドライトは、「負」から「正」へと符号の反転が起こる可能性があるため、対象検体の熱履歴や前処理における熱の影響を考慮する必要がある。

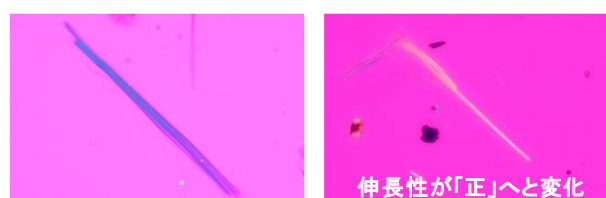


図8 クロシドライト(左)と加熱されたクロシドライト(右)の偏光顕微鏡写真(クロスポーラ+鋭敏色検板)

4. アスベスト分析における課題

4.1 アスベスト分析を行う責任とリスク

アスベスト分析の受注から分析結果の報告までの納期は、工事に依存することもあり比較的短納期となるケースがある。加えて、仮にアスベストが含まれる検体に対して、「アスベストなし」と誤った判定をした場合、その後行われる解体などの工事において不十分な飛散・ばく露防止措置が講じられることとなる。また、アスベストが含まれない検体に対して、「アスベストあり」と誤った判定をした場合、不要な養生コストが生じることとなり、いずれのケースにおいても判定ミスは許されない、すなわち「高精度」な分析が求められる。

このように、社会的な責任を伴う分析であることから、分析者においては、十分な力量の確保が必要であるほか、組織としても分析精度の点検・検証が必要不可欠である。

4.2 類似繊維の識別

アスベスト分析において、分析精度を低下させる要因として「類似繊維」の存在がある。類似繊維の例として、有機繊維では、セルロースやポリエステル繊維、蜘蛛の巣などがアスベストと誤認するおそれがあるが、これらは、485℃で10時間加熱することで除去が可能である。また、無機繊維としては、ガラスウール、ロックウール、ウォラストナイト、繊維状セピオライトなどが挙げられる。ガラスウールは、屈折率を1つしかもたない「光学的等方体」であり、偏光顕微鏡のクロスポーラでは観察されないため、識別は容易である。ロックウールは、2mol/Lの塩酸に可溶であり、除去が可能のため、こちらも識別は容易である。ウォラストナイトについては、プローブなどを用いてプレパラートを叩くことで伸長性の反転がみられるため識別が可能である¹¹⁾。

一方で、繊維状セピオライトと呼ばれる類似繊維は、クリソタイルと非常によく類似しており、

分散色のわずかな違いより識別する必要がある。

図9・図10に、アスベストであるクリソタイルと非アスベストである繊維状セピオライトの偏光顕微鏡写真と分散色観察写真を示す。

偏光顕微鏡では、両者が非常によく類似しており、識別が困難であることがわかる。また、分散色についても、繊維状セピオライトにおいてわずかに白色味がみられる程度で、両者ともに青色が基調であり、特に経験の浅い分析調査者にとっては、明確な識別が難しい場合がある。

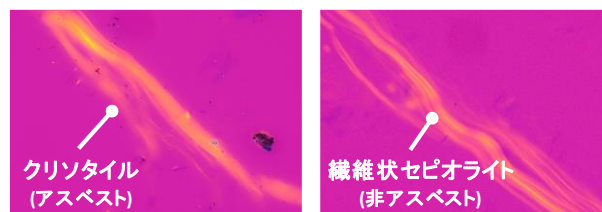


図9 クリソタイル(左)とセピオライト(右)の偏光顕微鏡写真
(クロスポーラ+鋭敏色検板)

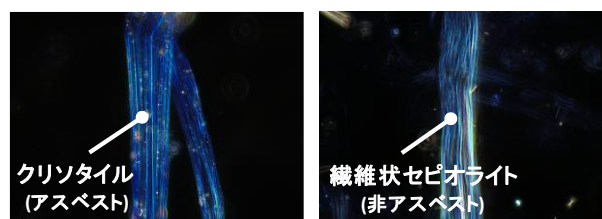


図10 クリソタイル(左)と繊維状セピオライト(右)の
分散色観察写真(分散液の屈折率:1.550)

表3¹²⁾に、アスベストの化学組成を示す。クリソタイルは、主にSi(けい素)やMg(マグネシウム)などの元素から構成されているが、アモサイトはFe(鉄)を多く含むなど、種類により構成される元素組成が異なることがわかる。

そこで、クリソタイルと繊維状セピオライトにおける元素組成の違いに着目し、エネルギー分散型X線分析装置(Energy Dispersive X-Ray Spectrometry: 以下、EDSと称す)を搭載した走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope:

表3 アスベストの化学組成

	アスベストの種類					
	クリソタイル	アモサイト	クロシドライト	トレモライト	アクチノライト	アンソフィライト
SiO ₂	38 - 42(%)	49 - 52(%)	49 - 56(%)	55 - 60(%)	51 - 56(%)	53 - 60(%)
Al ₂ O ₃	0 - 2	0 - 1	0 - 1	0 - 3	0 - 3	0 - 3
Fe ₂ O ₃	0 - 5	0 - 5	13 - 18	0 - 5	0 - 5	0 - 5
FeO	0 - 3	35 - 40	3 - 21	0 - 5	5 - 15	3 - 20
MgO	38 - 42	5 - 7	0 - 13	20 - 25	12 - 20	17 - 31
CaO	0 - 2	0 - 2	0 - 2	10 - 15	10 - 13	0 - 3
Na ₂ O	0 - 1	0 - 1	4 - 8	0 - 2	0 - 2	0 - 1
H ₂ O(+)	11 - 13	1.8 - 2.4	1.7 - 2.8	1.5 - 2.5	1.8 - 2.3	1.5 - 3.0

H₂O(+): 結晶水

図11 SEM-EDSの外観装置

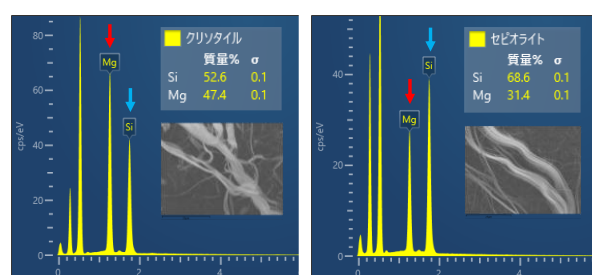


図12 クリソタイル(左)と繊維状セピオライト(右)のEDSスペクトル

表4 クリソタイルと繊維状セピオライトのMg/Si比

	クリソタイル	繊維状セピオライト (非アスベスト)
Mg(マグネシウム)/ Si(けい素)	0.9	0.5

以下、SEMと称す)を用いた元素組成の比較を試みた。なお、本検証において、SEMは日立ハイテック社製走査型電子顕微鏡「SU-70」、EDSは、オックスフォード・インストルメンツ社製エネルギー分散型X線分析装置

「Ultimax 40」(図11)を使用し、加速電圧は15kVとした。

結果を図12・表4に示す。両者ともに、主にSiやMgの検出が確認されたが、クリソタイルと比較して繊維状セピオライトでは、Siに対するMgの検出量が少ないことがわかった。この検証結果から、アスベスト繊維と繊維状セピオライトを識別できることが確かめられた。

5. まとめ

JIS A 1481-1:2016に基づき、当社におけるアスベスト分析方法を確立した。さらにアスベスト分析の課題である類似繊維と誤認リスクについて、SEM-EDSによる元素分析を用いることによりクリソタイルと酷似している繊維状セピオライトの判別が容易になり、精度の高い分析が可能となった。

本手法の確立により、今後需要が増加する改修・リフォームに伴う塗り替え塗装工事に対して、従来の塗装仕様提案に加えて、作業者や周辺環境に配慮した提案が可能となった。

6. 謝辞

アスベスト分析手法の検討にあつては、株式会社環境ラボ様の多大なご協力を賜りました。関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 南慎二郎：政策科学16-1 戦後日本の産業構造とアスベストの使用実態（2008.10）
- 2) 財務省：貿易統計
- 3) 厚生労働省：都道府県（21大都市再慶）別にみた中皮腫による死亡者数の年次推移（平成7年～平成29年）～人口動態統計（確定数）
- 4) 環境省：石綿飛散防止の現状と課題について
- 5) 厚生労働省・都道府県労働局・労働基準監督署：石綿（アスベスト）の有無の事前調査結果の報告が施工業者（元請事業者）の義務になります（パンフレット）
- 6) 一般社団法人日本繊維状物質研究協会：分析調査者学科講習テキスト（令和3年9月）
- 7) 厚生労働省労働基準局安全衛生部化学物質対策課・環境省水・大気環境局環境管理課：建築物等の解体等に係る石綿ばく露防止及び石綿飛散漏えい防止対策徹底マニュアル令和3年3月（令和6年2月改正）
- 8) 日本工業規格：JIS A 1481-1：2016
- 9) 厚生労働省：石綿則に基づく事前調査のアスベスト分析マニュアル【第2版】
- 10) 厚生労働省：分析調査者講習モデル教材「分析方法の原理と分析機器の取扱方法（1）光学顕微鏡の基礎知識（原理と構造）」
- 11) 厚生労働省：石綿則に基づく事前調査のアスベスト分析マニュアル【第2版】
- 12) 一般社団法人日本繊維状物質研究協会：分析調査者学科講習テキスト（令和3年9月）