

## 【スライド 1】

エリック・チャットフィールド博士

「固体（バルク）試料中のアスベストの ISO 分析法」

みなさんこんにちは。

私の方からは、いままでいかにして ISO 分析法が検討されてきたのか、特に固体（バルク）試料に含まれるアスベストの分析についてどういう方法が、どのような経緯で作られてきたのか、ということをお話したいと思います。

## 【スライド 2】

まずは、簡単にですが ISO 組織についてお話しをします。ISO には、119 の会員団体があります。119 ヶ国ということになります。その他に 44 の会員がいます。

具体的には、国際規格の開発に関与できる人たちがこの 119 の会員です。他の 44 の会員はオブザーバーやリエゾン（連携）団体です。例えば WHO などがそれに入ります。

この中央事務局はジュネーブにあります。この事務局の下に技術委員会、専門委員会があります。それぞれの専門委員会は、いくつかの分科委員会を持ち、その下に作業部会（WG）があります。例えば TC146 は大気質の技術委員会で、その下の SC3 は環境大気学分科委員会です。そして、その下の WG-1 が、アスベスト作業部会でありまして、私が部会議長をしております。

## 【スライド 3】

国際規格を作るのには時間がかかります。最初に新しい作業項目の提案が行われるところから出発します。ですから私たちは、こういうものをやらなければいけないということを考える人がいたら、新たな作業項目として提案（NWIP）します。そしてその提案に対して ISO としてそのプロジェクトをやりたいかどうか、その基準を作りたいかどうかという討議をして、投票します。そしてその後最初に作業原案（WD）というものが準備段階として出てきます。そして次の委員会検討段階に移ると、ドラフトはもっと最終的な形に近い委員会原案（CD）となります。そしてそこでもう一回投票が行われます。各国が出すいろんな技術的なコメントはこの委員会原案の段階以降のインクワイアリー・ステージ（審議段階）というところで扱われることとなります。それらが討議されて、今度は国際規格原案（DIS）というものになって、この準備をして、また投票が行われます。そして、この時の投票意見は技術変更に関しては最後の段階であって、これ以降は技術的なものは変更されません。ですから例えば誤植があったとか、英語の文言を変えるということしか、これ以降では変更は加えられないということになります。そして、最終国際規格原案（FDIS）ができていきます。これを承認する投票が行われて、その後に発行されるわけです。発行されると国際規格（ISO）となります。委員会原案（CD）、国際規格原案（DIS）、最終国際規格原案（FDIS）

のそれぞれ投票のプロセスには6ヵ月という長い時間がかかります。一般的には、3~4年くらいで国際規格（ISO）にすべしという年限があり、だいたい3年位をかけて作っていくということになっています。

#### 【スライド4】

そして、この22262（固体試料中のアスベスト分析法の規格）に関してですが、まず1998年にゲイザースバーグの会議におきまして、バルク試料に含まれるアスベストの分析方法を整備することを決議しました。そして2000年になり、もう少しそれについて議論を深めました。そして、WGとしては、色々な国が作った分析規格を集めていこう、という話になりました。そして2002年のトロントにおける会議では非公式に取り組むしかなくことが分かりました。というのは、WGで扱えるのは大気試料だけしかなく、固体（バルク）試料に関しては扱われないということになっていましたので、この分科委員会側で実際にバルク試料も扱って良いと決めない限りは、私達は非公式に作業せざるをえなかったのです。しかしながら、すでに我々のWGでバルク試料に関する各国の分析規格を集めておりましたので、その例外をお願いしてSC-3の範囲を拡大してほしいと要望しました。そしてバルク試料分析の国際規格を作っていくことに関しては全く誰も異議はなく、実施して良いことになりました。

#### 【スライド5】

2003年デンマークにおいて公式に新作業項目提案（NWIP）を提出することを決議して、2004年にはストックホルムにおいて、もう十分に各国の分析規格の資料が集まったので、それらを基に第一ドラフトを作ろうということを決めました。そして2005年バーリントンの会議において、第一ドラフトが提出され、検討することとなりました。ヨーロッパ各国や米国は国によって状況が異なり、それぞれの国が異なった含有量の規制基準をもっています。つまり、アスベスト含有物の定義等がそれぞれ異なっています。そういったものを全部この国際規格に取り込むためには、国際規格を一カ国のベースで作るわけにはいかないので、その議論をする必要がありました。

#### 【スライド6】

2006年アメリカで会議を開きました。ここではWGメンバーのコメントを入れてドラフトを変更することになりました。またさらに国際規格の作業原案ドラフト段階なので、委員会原案（CD）、国際規格原案（DIS）、最終国際規格原案（FDIS）にきちんと持って行けるように様々なドラフト作成の準備作業がありました。そして2007年、Part 1についてはもう話をしていたわけですが、そこは定性の部分です。これに加えてもう一つPart 2というものを作ろうということで、こちらは定量の部分ですね。定性と定量それぞれを22262に入れようということになりました。コンビーナ（WG議長）の私が、その暫定ドラフト文書に

まとめる任務を負うことになりました。そして 2008 年にこの検討作業を行うことにしました。

### 【スライド 7】、【スライド 8】

2008 年 8 月に、うれしいことに神山教授と矢田教授<sup>1)</sup>が私を訪ねてきてくださいました。そして JIS 規格 (JIS A 1481: 2008) のコピーをくださいました。JIS 法を ISO に提案したいという趣旨でした。そのときの議論として、先ずこの JIS を出したら WG のメンバーがどのような反応をするだろうかという話をしました。なぜならば多くの国がもう既に X 線回折法を検討していましたが、幾つかの理由があってその使用を却下していたわけです。もしも何か X 線回折法自体に改善がみられているのであれば、それは再考しようという話をしました。そういう話をメンバーも聞いてくるだろうと神山教授と矢田教授にしました。しかし、X 線回折法が改善されたかの検討にはやはり証拠が必要です。そのため神山教授に 21 のバルク試料を渡しました。これらは含有アスベストの種類と濃度が既に分かっている試料です。これらは人工的に作成されたサンプルなのですが、実際の建材の試料を模倣して作られた物です。この 21 のサンプルはすでにラボラトリー間の比較分析研究で使われたもので、香港の環境保護庁のラボと私たちのラボでも分析した試料でした。すでに、このサンプルの分析比較結果は研究論文としてしっかりしたものが出ておりました。この 21 のバルク試料を渡して分析してもらうことにより、JIS A 1481 がどの程度正確な分析ができるものかを WG のメンバーに示すことができると思ったわけです。神山教授たちに渡したこれらのバルク試料の分析結果がどうだったかは後でお話しをします。とにかくこの時に WG で検討する JIS 規格 (JIS A 1481:2008) のコピーを矢田教授と神山教授から実際にいただきました。

### 【スライド 9】

そして 2008 年 10 月 13~17 日の週に ISO の技術管理評議会の議長のマイク・スミス氏が、田中正躬教授から接触を受けました。田中教授は ISO プレジデントとして 2005 年から 2006 年までお勤めになった方です。田中教授がおっしゃったのは、スミス氏に対してですが、日本の法律の要件として、アスベスト分析には X 線回折法が必要であると、それから、その X 線回折法を ISO 規格に盛り込むことができないか、ということ相談されたとのことでした。スミス氏から私の方に連絡があり、X 線回折法を国際規格化するうえで何か障壁があるのかというお話がありました。私はスミス氏に、JIS のコピーを WG で次回説明するつもりであると話しました。そして、その JIS A 1481 が ISO22262 の一部に取り込めるかどうか評価するつもりであると伝えました。ISO としては、同種の規格が別の独立した規格として存在することを望みません。同じものを測定するには一つの規格にするという ISO 方針に従って、ISO22262 の一部に JIS 法が入れられるか検討しようという話になりま

---

<sup>1)</sup> 1967 年に電顕によるクリソタイトの断面写真の撮影に初めて成功した元・東北大学教授

した。

### 【スライド 10】

2008年にベルリンで会議がありまして、Part 1はその時にはCD（委員会原案）になっていましたが、これは投票されDIS（国際規格原案）になりました。同時にPart 2、これは重量法と顕微鏡法を使った定量分析法ですけれども、それについてもこれから作業することになりました。これはWD（作業原案）の段階でしたが、メンバーに提出して皆さんからコメントをいただくということにしました。そしてその時にX線回折法を定量法に追加し、Part 3としてISO規格の一環としたいという日本代表の提案を新作業項目提案（NWIP）にすることを決定しました。

### 【スライド 11】

さて、Part 1は、偏光顕微鏡法（PLM法）が基本的に使われています。ISO 22262の基礎としてPLM法が使われることになったわけです。なぜそうなったのでしょうか。

### 【スライド 12】

なによりもまず、1800年代からPLM法を使って鉱物固有の光学的特性の違いを用いて鉱物を同定しているという歴史があるわけです。そして、現在でもPLM法は鉱物の同定において主なツールとして、特に鉱山業界全体の人たちが使っています。それから多くの国が実際に建材中のアスベスト繊維定性分析の規格としてPLM法を使っているという事実があります。最後に、分散染色法を併用することによってアスベスト繊維の特定が簡単にでき、実際に分析者研修を短くできるというメリットがあったためです。

### 【スライド 13】

それ以外にも多くの理由があります。1) すぐに結果がでるということ。多くの物質に関して数分位で、同定の結果が出ます。それから、2) 安いこと。必要なのは偏光顕微鏡のみです。それから3) PLM法は、適切に実施されれば、アスベストを疑いなく確実に特定することができます。それから4) 非常に感度が高いです。マトリックス干渉が無い状態においては、濃度が2ppm程度まで検出することが可能です。そして5) ISOは方法論が広く普及していることが求められますので、PLM法はそういう意味でも条件を満たしていました。6) ISO規格化プロジェクトが始まった1998年には、多くの国で既に20年以上、アスベストの定性と定量分析にこのPLM法が使われているという事実がありました。

### 【スライド 14】

1998年までには、適切な研修と経験を持つ分析者がPLM法と分散染色法と併用すれば、信頼性の高いアスベスト同定ができることが分かっていました。7) 分析者の養成には一週

間の集中コース研修で充分で、作業ができるようになるということも知られていました。もちろんその後経験を積まないといけないのですが、研修トレーニングとしては一週間の集中コースで充分です。8) 英国においてはすでに 1969 年から、アメリカでは 1973 年からこのような集中コースが準備されておりまして、何千人もの人たちがもう既に分析者トレーニングを受けていました。また、9) この PLM 法と分散染色法に関しては 1980 年にマクローン先生の「アスベストの同定」という本が出ました。10) 1987 年の第 2 版が非常に良く売れました。

### 【スライド 15】

もちろん、WG では他の方法についても考慮しました。ひとつは走査型電子顕微鏡 (SEM) とエネルギー分散型 X 線分光法 (EDXA)、それから透過型電子顕微鏡 (TEM) と EDXA。これらは難しい試料の場合には特に有用な場合がありうることは分かっていました。しかし、大部分の試料は SEM、TEM までは要りません。赤外線分析は分析精度に限界がある、同定能力に限界があるということで、却下されました。X 線回折法はアスベスト様形態と非アスベスト様形態の角閃石を区別できないということで却下されました。また、実際の建材分析では許容できないようなアスベスト以外のマトリックス (基材成分) の干渉作用の影響を受けるということで却下されました。

### 【スライド 16】

アスベスト分析法としての信頼性という点ですが、1994 年までに 3 つの公的なアスベスト分析規格が発行されています。全てが PLM 法です。そのうち 2 つはアメリカのものです。最初のもは 1982 年です。そして、1993 年にそれが改訂され、もっと複雑な試料の分析方法などが追加されました。それから、英国の安全衛生庁 (HSE) も 1994 年に MDHS77、これは現在の HSG248 ですが、この規格が発行されています。さらに 2004 年にオーストラリア規格協会が PLM 法をベースとするアスベスト分析規格を発行しました。

### 【スライド 17】

さて、DIS (国際規格原案) にする段階での投票ですけれども、P メンバー、これは参加メンバーですが、11 のメンバーのうち 10 が賛成しました。ですから、66.66%の賛成票という要件は満たしていました。ネガティブは米国が投票したものでした。米国の反対票の理由は角閃石のアスベスト様形態と非アスベスト様形態の区別に関するものでした。マイナーな変更を加えてテキストを変えたことによって、アメリカも 2010 年にそれで合意しました。

### 【スライド 18】

最終的な規格 ISO 22262-1 は 2012 年に発表されました。

### 【スライド 19】

このバルク試料中のアスベストの分析法を考えるとときに重要なことは、アスベストの含有量が規制値を超えているかどうかを判断できることです。国によってその規制値は様々です。アスベスト含有物を、1) 検出可能なアスベストが僅かでも（アスベスト繊維が1本でも）入っている場合と定めている国もあります。また 2) アスベスト含有量が 0.1%より大きい場合、3) 0.5%より大きい場合、4) 1%より大きい場合、というように国によって違います。これらのうちのどれかの基準が、ほとんど世界中で採用されています。

### 【スライド 20】

建材中のアスベスト濃度が規制値を明らかに大きく超えていることがわかれば、それ以上濃度に関する詳しい情報が分かったとしても規制上取られるべき措置が変わるわけではないわけです。アスベストの濃度が明らかに規制値を超えているということがわかれば、PLM法の目視推定で十分であることがほとんどです。そして、正確な定量が必要となる、重要となるのはどういう場合かという、不検出と1%の間にある時です。すなわち、規制値に非常に近い場合ということです。1%規制では、5%に近いという場合には光学顕微鏡の目視推定だけで規制値の超過を判断するのは不十分だということになります。

### 【スライド 21】

- 1) 商業用でアスベストを含む建材は、ほとんどの場合そこに含まれるアスベストは非常に大きくて、ピンセットを用いれば取り出せるくらい大きいわけです。
- 2) その場合は偏光顕微鏡によって同定は簡単に短時間でできます。
- 3) そしてアスベストだと特定されたら無作為サンプルをとって、その濃度を推定できます。たとえば日本の場合 0.1%を上回っているのかどうか、それが分かれば、だいたいそこで分析は終わりということになると思います。
- 4) アスベスト含有建材というのはいろいろあります。全体には 0.1%よりも多い場合がほとんどです。
- 5) 粉砕をする必要はありません。粉砕をしてしまうと、かえってアスベストの特定は難しくなります。やはり繊維は大きい方が、小さいよりも、偏光顕微鏡でも他の光学顕微鏡でも見やすいからです。

### 【スライド 22】

耐火材、断熱材、セメント板、セメント管などの建材については、大量のアスベストが含まれるか、あるいは意図的添加のアスベストは存在しないか、どちらかであることがほとんどです。このような（含有量が多いか全く含まれていないかを判断する）極端な場合には、もう規制値超過かどうかの分析精度の議論はそれほど意味がないことになります。存在するか無いかのどちらかだからです。ですから、PLM 観察を 5 分から 15 分ぐらいすることに

よって、アスベスト含有か、あるいはアスベスト不含有かが分かります。

### 【スライド 23】

この技法についての詳述はしませんが、だいたい双眼実体顕微鏡を用いてサンプルを分析して繊維の有無を確認します。アスベストと疑わしい繊維を選んでアスベストかどうかを特定します。そして、適切な屈折率の浸液に浸したスライドを用意して、色を見る、複屈折を見る、伸長の符号を見る、多色性を見る。あまり馴染みのない言葉もあるかもしれませんが、これらはアスベスト繊維が固有に持つ分析可能な光学的な特性です。それから、分散染色法による色について、繊維を視野中で水平・垂直にして見る。それらがアスベストと特定できる範囲の中に入っているのかどうかを見ます。もちろん SEM-EDXA や TEM-EDXA を使うこともできますが、ほとんどはそれらを使用しなくてもいいと思います。

### 【スライド 24】

耐火吹付け材の例です。ロックウールとクリソタイルが入っています。クリソタイルの繊維がここで示されています。20%のクリソタイルの濃度です。ですから、もうはっきりと 0.1%を下回るということはありませんということが分かるはずです。

### 【スライド 25】

これは配管の断熱材です。ハイドロマグネサイトとアモサイトが 15%入っています。これもやはり 0.1%を上回るということは、これで明らかだと思います。

### 【スライド 26】

同じこのサンプルを屈折率 1.550 の浸液に浸します。アモサイトが非常にはっきりと見えます。アモサイトの屈折率は 1.550 に近いものでないからです。ですからはっきりとコントラストが分かります。それから、こちらのほうにクリソタイルが右側にあります。そして、この 1.550 の屈折率ではハイドロマグネサイトについてはバックグラウンドであまりはっきりしなくなっています。このようにハイドロマグネサイトが見えなくなるのでアスベスト目視推定については過大評価になることもあるかもしれませんが、この位は受け入れなければならないと思います。

### 【スライド 27】

3種類のアスベストを特定するやり方をビデオで見たいと思います。これはアモサイトです。クロスポーラで観ると、ポラライザーに対して平行垂直で消光します。この特別なプレートを付けます。北東の方向にすると青でした、北西の方向にすると別の色に変わります。ということは、伸長の符号が光学的に正であるということになります。これも確実に見たい特性です。

それから、分散染色の特性は平行の向きにすると黄色になります。ポラライザーの方向に垂直にすると色が変わる、今度の場合は青ということになります。これはそれほど時間がかからないで出来るものです。結果はもう絶対的ではっきりしています。これがアモサイトでした。

### 【スライド 28】

それから、ちょっと暗いのですが、これはクロシドライトです。でも、偏光の消光角がありますが、ちょっと見え方が前と随分違うということが分かると思います。これらは伸長の符号です。あまり違いはありませんが、北東方向ですと黄色っぽい、回転していくと青っぽくなります。すなわち、先ほどと反対です。ということは伸長の符号が光学的に負であるということです。

多色性、これもやはりクロシドライトを特定する一つの良い目印です。そして、分散染色法では、ポラライザーに対して垂直方向で、ペールブルー、薄青になります。平行にするとその薄さがさらに薄くなります。それほど大きな差はありません。ということは、複屈折が非常に小さいことになります。これがクロシドライトの一つの特性です。それから、もう一つクロシドライトの特性は、単ニコルで観るとポラライザーの方向に垂直にするとグレーになり、水平にすると青になります。これが明らかなクロシドライトの特性の一つ（多色性）でもあります。

### 【スライド 29】

これはクリソタイルです。やはり平行で消光して、鋭敏色板を付けると北東の方向に青色となり、北西方向では黄色っぽくなります。伸長の符号が正ということになります。そして分散染色法で観ると、垂直だと青です。そして平行方向にするとマジエンダ、紫となります。クリソタイルの特定がこのようにできます。多少色にバリエーションはありますが、それは、アスベストは他の鉱物と同じように色の幅があります。この特性が少しずれる場合もあります。アスベスト繊維同定の手順はこのようになります。

### 【スライド 30】

このような特性に基づいて、正確な分散染色のチャートができました。これは同定の基準に基づいて作成したものです。この下の方が垂直の方です。

### 【スライド 31】

黄色がここですね、平行方向です。青が垂直方向です。ここも適切な場所に矢印が入っています。点線がありますが、これはここの色が受けられる範囲であると、この範囲に入っていれば特定できるというものです。

### 【スライド 32】

先ほどのはアモサイト、これはクリソタイルです。同じことがこちらでも言えます。紫の矢印がこっち、青の矢印がこちらの右側に相当します。第一のアスベスト特定のやり方は以上になります。

### 【スライド 33】

偏光顕微鏡ではアスベストが 1%未満の場合測定できないとの主張がありますが、これは正しい主張ではありません。実はこの PLM は感度がとても高いものです。簡単に計算すれば分かると思います。

### 【スライド 34】

サンプル 1mg を顕微鏡のスライドに載せると考えて下さい。これは割と簡単にできると思います。小さな粒子が載っていますが、全て目で見える、分けられると想定します。アスベスト繊維 1 本が長さ 100  $\mu\text{m}$ 、直径 2  $\mu\text{m}$  とします。そうしますと、すぐにそれは見てわかります。同定ができます。この場合、理論上の検出限界は 1ppm、あるいは 0.0001%ということになりますから、ほとんどの目的にかなうということになります。もちろん、何かの粒子があつてアスベストが隠れてしまうということもあるでしょう。その場合には検出限界がもちろん下がってしまう可能性があります、それでもこの Part 1 で述べられている適切なやり方を用いれば検出限界は 0.01%を下回ることができることになります。

### 【スライド 35】

それからもう一つ、あるクリソタイルがありまして、これはカリフォルニアで産出されるコアリングと呼ばれるものです。相当な量が日本に輸出されました。弾性床タイルや天井タイル、押出成形セメント製品やベークライトに使われました。これは PLM 法では検出できないという人がいますが、しかしこれは正しい見方ではありません。このコアリングは非常に独自の形態で、繊維は全て 30  $\mu\text{m}$  より短く、市販されている他のものとは全く違う特性を持っています。非常に短い繊維ですけれども、集合体は束ですと PLM 法で検出、特定が可能です。このタイプのクリソタイルを含有する建材が実は日本でも見つかっています。

### 【スライド 36】

これは岩綿吸音板です。ロックウールが入っています。コアリング・クリソタイルの PLM の写真ですけれども、この青い方向ですね。これは反対の方向に行っているのでこの色になっています。分散染色ではこのタイプのクリソタイルはなかなか分析が難しいこともありますけれども、経験を積みばできます。

### 【スライド 37】

さて、定量分析です。5%未満の場合はどうするかということになります。建材試料には石膏、セメント、特に骨材が入っているような場合があります。これらのマトリックス（基材）成分は非常に扱いが難しい。バーミキュライトや滑石（タルク）など鉱産物の定量分析ももちろん難しいものです。

### 【スライド 38】

こちらが、ISO の Part 2 を使って分析した標準的なサンプルの例になります。左上は 6 層の石こう角です。この場合ですけれども、ドリルを使って壁から 2cm 深さに、あるいは 5cm 深さでコアを取ります。6 層このような形になっています。アメリカにおいては層別に分析をすることが求められます。それから、右上はルーフィング材です。アスファルト製品です。左下は日本では分かりませんが、私たちはスキムコートとかスパークリングコンパウンドと呼んでいます。例えば建物の壁等で平面が滑らかではない場合に、塗膜と塗膜の間にジョイントを隠すためのスキムコートとして使われているものです。これは、塗膜の間にこのようにあったものですけれども、これを削ぎ取って分析をするという形です。右下は床タイルです。色々な種類の床タイルです。こういう素材は Part 2 のテクニックを使って分析しなければならないものです。

### 【スライド 39】

それから、これは一つの層で、砂、髪、クリソタイルが入っているような石膏です。動物の毛がこのような石膏の中に入っていたりします。これらは場合によっては現場でミックスしたものです。ということでどのくらいのサンプルの中にクリソタイルが入っているか分からないという場合も多いわけです。となると、いったいこれは 0.1%以上なのか疑問になります。ここに疑わしいクリソタイルのファイバーがあります。

### 【スライド 40】

顕微鏡のスライドを作るというのは難しさもあります。例えば 2mm の石英のかけらなどが入っているとカバーガラスがうまく乗せられず大変なわけです。

ただ、グラインド（粉砕）してはなりません。というのも、それをしてしまうと、もっと小さな粒子がたくさん増えてしまうわけですから、結局クリソタイルが希釈されてしまうので見付けにくくなってしまうのです。ですので、粉砕してはなりません。

### 【スライド 41】

ISO の Part 2 は定量分析のために作られました。2013 年に投票が行われたのですけれども、その時には満場一致で、10 のメンバーのうち 10 が賛成をしました。誰も反対票を投じませんでした。

## 【スライド 42】

ということで、2014 年には Part 2 が発行されました。

## 【スライド 43】

ISO の Part 2 の最初の部分には、定量の必要性を決定する表があります。定量が必要かどうかは国の規制値によります。

まず、こちらの商業加工製品の場合、例えばアスベスト含有建材の様な商業加工製品のアスベスト含有量は 0.1%未満であるということはありません。「一本でもアスベスト繊維を含有」、または「0.1%超」が規制値の国では、アスベストが検出され、それが商業利用された（クリソタイル、アモサイト、クロシドライトの）3 種類のいずれかのアスベストがあった場合には、基準超過を判断するための定量分析は必要ないことになります。商業的に作られた物であれば含有率は 0.1%超であることは明らかだからです。しかし、規制値が「0.5%超」や「1%超」の国では 5%未満と目視推定された場合は、基準超過を判断するため定量分析をしなければなりません。目視推定だけでは信頼性がある基準超過判断ができないからです。

次に、こちらのその他の物質、つまり意図的に添加されたアスベストではない物質、または商業製品ではない物は、定量分析の必要がある場合があります。「一本でもアスベスト繊維を検出」が規制値の国であれば、アスベストが検出された場合はさらなる定量分析は必要ないです。しかし「0.1%超」、「0.5%超」や「1%超」が規制値の国では、5%未満と推定される場合には定量分析が必要となります。

## 【スライド 44】

建材試料中に含まれるアスベスト以外のマトリックス（基材成分）は非常に種類が多くありますし、それから建材そのものも非常に多くの種類があります。そのため分析手法としてステップ・バイ・ステップの前処理の方法論を書いて、全てのサンプルでこうせよとはできないわけです。そのため ISO の Part 2 は選定・組合せができる幾つかの重量法と顕微鏡法テクニックを規定しています。この試料についてはこれがいいという組合せは分析者が決めよ、という形になっています。マトリックスによって異なりますが、大部分の建材試料中の定量下限値は 0.001%か、あるいはそれ未満にできることが分かっています。

## 【スライド 45】

私たちが重量減量法としてできるやり方としては、このようなものがあります。正確に分析するためにマトリックスを除いて濃縮していきます。まず一つは 1) 灰化によって有機物を除く、2) 酸化溶物を除く、それから、3) 軽い物、パーライトとかバーミキュライトの様な物は水に浮かして除去をする。4) 重たい物、例えば砂とか 2mm の石英片のようなものは沈殿させて除いていく。5) 磁性粒子は磁石を使って除去することもできます。6) クロシド

ライト、アモサイト、トレモライトのような角閃石系のアスベストであれば、連続還流によって共存するその他の鉱物を除去することができます。それは塩酸とか水酸化ナトリウムを使います。デイビス先生が先ほどから私の前で睨んでいます、彼等が作ったやり方です。それから、7) 重液の遠心分離によってアスベストだけが沈むと、それ以外に関しては浮くという方法による分離もできます。

#### 【スライド 46】

さて、減量して残ったものをどのように定量化するかということなのですが、4種類があります。まずは1) 重量法のみ、アスベスト以外のマトリクスを全て減らすことができれば、それで良いわけです。それ以外の3つのオプション。これらは、状況に合わせて重量法プラス $\alpha$ で補完するものです。つまり 2) 重量法プラス目視推定、3) 重量法プラス光学的（偏光顕微鏡による）ポイントカウント、4) 重量法プラス SEM または TEM による繊維計測というやり方があります。

#### 【スライド 47】

ISO の Part 2 には様々な製品に関して分析方法のガイダンスを提供しています。製品に含まれている可能性のあるマトリクス（基材成分）と分析方法の推奨例が示されています。例えば、耐火材の吹付けに使われている場合。これは吹付け材ですね。この場合には40から70%程度のクリソタイル、クロシドライト、あるいはアモサイトが入っているかもしれない。アモサイト20%または最大30%のクリソタイルを含む混合である場合。これはよく耐火材で使われるのですが、例えばバーミキュライトか、ジブサムとかが入っている場合もあります。この場合にはかなりの量のアスベストが入っているか、全くないかどうかです。分析の推奨例としてはPLMを使いなさいと、それで充分であろうと、もうそれ以上のことをする必要がない。それでだいたい答えは分かります。

#### 【スライド 48】

それから次の例として吹付け仕上塗装ですが、例えば天井、壁とか。素材感を出すための吹付け仕上塗装をしているという場合、あるいは凸凹な面を隠すための吹付け仕上塗装の場合にはクリソタイルが最大で5%入っている可能性があります。あるいはトレモライトも入っている場合もあります。このような場合にはやはり減量する必要があります。灰化をして有機物を除く。あるいは塩酸で処理をすとか、あるいは沈殿を使うとか、それによってポイントカウンティングをする、あるいはそれ以外の定量方法を使わなければならないかもしれません。という方法が推奨されています。

#### 【スライド 49】

私のラボで分析したものの例ですが、このシートに詳細が全て出てきます。分析をこのよう

に実施しました。この下にも層があって、これはこれと白い層の分層は別々に分析をしなければなりません。この層にはかなりの砂が入っていて、有機物も少量入っていました。このシートにあるような情報が分かります。3.4%の有機物がこの試料にはありました。そして61.8%が沈殿物であった。これは砂です。29.2%が可溶物で酸に溶けるようなものです。石こうとか炭酸カルシウムとかそういうものです。あるいは水酸化カルシウムだったりします。最後に残ったものが5.6%ということで、顕微鏡でこの5.6%を見ればよく、100%でなくて済むこととなります。これで400カウントした内の9つがクリソタイルということで、0.1%のクリソタイル平均濃度であったことが分かります。もっと感応度を上げるという場合にはポイントカウンティングでもっと多くを数えます。特に信頼区間の上限をもっと求めていきたいという場合には、もっとポイントカウンティングをすれば良いと思います。ただ、この分析においては規制値、この州の規制値は0.5%でありましたので、我々としてはそれよりも幅を持って下であるということが分かっています。つまり95%の信頼区間の一番上だったとしても0.24なので0.5%よりも下回っているということで、これは規制対象の素材ではないということがここで結論付けられました<sup>2)</sup>。

### 【スライド 50】

さて日本の代表団ですけれども、作業原案 (WD) として、JIS A 1481:2008 年度版に基づいてX線解析によるアスベストの定量測定法を2009年に提出しました。それから21サンプルを神山先生にお渡ししましたものがありましたけれども、この結果についてもディスカッションが2009年にされました。失礼、ディスカッションされたというよりはミーティングの後に、メンバーに配布されたのです。

### 【スライド 51】

いったいこの21サンプルの分析結果がどうだったかという話をします。それらの中にはアスベスト含有率が5%を上回るものが、一つも入っていませんでした。そのほとんどはマトリックスに石こう成分を含むサンプルでしたので、減量が必要でした。アスベスト含有サンプルはブラインドテストで香港の環境保護庁研究所と、私のラボの分析者が以前分析していたものが含まれていました。

### 【スライド 52】

この2つのラボラトリー間で以前実施した比較分析研究の結果というのは非常に高い相関

---

<sup>2)</sup> 「サンプルの前処理で残渣が5.6%だったから分析試料は $100/5.6=17.9$ より17.9倍に濃縮されている。ポイントカウントで、アスベストポイントが9であった。9の95%上限値は17.1だからその値で濃度を計算すると $(17.1/400) \times 100=4.275\%$ 。この値は17.9倍に濃縮された試料の濃度だから、元の試料の濃度は $4.275\%/17.9=0.239\%$ となって、本文の0.24%が得られる。」

なお、400ポイントでアスベストが9ポイントという結果から平均濃度が0.1%という計算は以下のとおり； $(9/400) \times 100=2.25\%$ 、 $(2.25/17.9) \times 100=0.125\%$ 、小数点2桁目を四捨五入して平均濃度：0.1%

が取れていまして、0.979 の相関係数が出ています。0.1 から 7% くらいの濃度における相関係数が 0.979 です。これは私のラボの分析者の方です。

### 【スライド 53】

こちらは香港の環境保護庁研究所の分析結果によるものです。サンプルは渡しただけで、連絡を取り合ったりせず、お互いに独自の分析をしてこのような高い相関のある結果が両者とも出たので、非常に良かったと思いました。

### 【スライド 54】

さて、日本代表に渡した 21 サンプルは JIS 法の X 線解析と位相差分散顕微鏡の分析法で分析されました。その結果<sup>3)</sup>は、21 のうち 15 はある程度満足のできる結果だったと言えます。アスベスト含有と特定された場合、含有量は 0.1% 超でした。しかしながら、21 サンプルの内の 5 サンプルはアスベストが 0.12% から 3.41% の含有量であったにも拘らず、JIS では不検出でした。つまり、JIS ではアスベスト含有ありをなしにしてしまったわけです。また 21 サンプルのうち 9 サンプルについては、X 線解析定性分析によって、実際は含有していないアスベスト種類を特定していました<sup>4)</sup>。それから、3 つのサンプルに関してはコアリンガ・クリソタイルが入っていたのですけれども、これは実際に JIS A 1481 で標準として使われているクリソタイルと全く同じもの<sup>5)</sup>なのですけれども、アスベストの含有量は

<sup>3)</sup> 以下の表が 2009 年のアトランタの作業グループ会議で JIS A 1481 (2008) の分析結果報告として配布された。

Asbestos determination for bulk samples from Dr. Eric Chatfield 2008.12. 8

Sample No.	Bulk sample No.	Asb cont(%)	Detected by PCM-DS / Content in wt% by XRD					Bulk Sample Composition	
			chrysotile	amosite	crocidolite	tremolite/actinolite	anthophyllite	Asbestos Type	Weight %
CTC-01	BR-033	nd	/	/	/	/	/	Chrysotile	0.71
CTC-02	JR-6	nd	/	/	/	/	/	Chrysotile *	0.60
CTC-03	06M026-1	nd	/	/	/	/	/	None	0.00
CTC-04	BR-006	nd	/	/	/	/	/	Tremolite	0.12
CTC-05	BR-040	0.8	+/0.8	/	/	/	/	Chrysotile	0.20
CTC-06	BR-007	1.8	/	/	+/1.8	/	/	Crocidolite	1.41
CTC-07	BR-034	4.3	+/4.3	/	/	/	/	Chrysotile	2.56
CTC-08	BR-038	nd	/	/	/	/	/	Tremolite	0.30
CTC-09	JR-2	nd	/	/	/	/	/	None	0.00
CTC-10	JR-5	nd	/	/	/	/	/	None	0.00
CTC-11	BR-032	1.1	+/1.1	/	/	/	/	Chrysotile	0.88
CTC-12	JR-7	nd	/	/	/	/	/	Chrysotile *	3.41
CTC-13	JR-1	nd	/	/	/	/	/	None	0.00
CTC-14	BR-037	1.2	+/1.2	/	/	/	/	Chrysotile	0.70
CTC-15	BR-039	0.9	+/0.9	/	/	/	/	Chrysotile	1.42
CTC-16	BR-043	0.1-0.2	+/0.1-0.2	/	/	/	/	Chrysotile	1.96
CTC-17	JR-4	0.1-0.2	+/0.1-0.2	/	/	/	/	Chrysotile *	4.56
CTC-18	JR-9	nd	/	/	/	/	/	None	0.00
CTC-19	BR-001	nd	/	/	/	/	/	Chrysotile	0.10
CTC-20	BR-031	0.2	/	+/0.2	/	/	/	Amosite	0.30
CTC-21	JR-8	nd	/	/	/	/	/	None	0.00

\* Calidria (Coalinga Chrysotile)

<sup>4)</sup> <http://diamond.jp/articles/-/24784?page=5> 「2008 年 ISO から依頼のあった建材の判定結果一覧表」の CTC-03, 04, 06, 08, 10, 12, 16, 18, 21 に記された真値以外のアスベスト種類はフォールス・ポジティブ。チャットフィールド博士はこの表の英訳を基にこのコメントをしている。

<sup>5)</sup> JIS のクリソタイルの標準物質（日本作業環境測定協会の標準試料）に指定されている JAWE 111、JAWE 131 の材料と同じもの。

0.60%と3.41%だったのです。しかしながら、含有無しと報告されていました。残りの1試料に関しては光学顕微鏡の結果とX線回折の結果が違っていたので、4.56%の含有量であったにも関わらず、0.1%を超えているとしか報告されませんでした。定性分析は含有と出たのですが、定量分析としては不十分な結果になってしまいました。位相差分散染色法が優先されて、X線解析法で得られた定性分析の結果が否定されているのが確認されました。

#### 【スライド 55】

一つのサンプルの例がこれです。JISのX線解析による定性分析ではアモサイト、クロシドライト、トレモライト/アクチノライトが有りになっています。しかし実際にはクリソタイルが3.41%入っていました。下の表が実際の構成成分です。これはRG-144のコアリング・クリソタイルです。これは明確な商業レベルでの含有率ですけれども、石こう、カオリナイト、タルク、酸化チタンが入っていました。どうしてこうなってしまったのでしょうか？WGでは、分析に関しては数字しか報告は受けておりませんでした。

#### 【スライド 56】

後になって、日本の出版物の翻訳<sup>4</sup>を見たら、X線分析のラボのコメントが載っていました。定性分析で2つピークが出たということでした。それがアモサイト、クロシドライト、トレモライト/アクチノライトに相当するのだということでした。しかし、位相差分散染色法では、繊維の分散染色が確認されなかったということでした。そして、定量分析では12.4°のピークを用いてクリソタイル21.7%という結果が出たのだと、しかし、これは非常に高い濃度であるということ、そうなりますとこの12.4°のピークがクリソタイルとは信じがたい。したがってアスベストを含まれないと報告したのだ、というコメントでした。しかし、この様な分析法では正確には定量分析とは言えないと思います。さらにこのコアリング・クリソタイルはJIS A 1481のクリソタイルの標準物質（日本作業環境測定協会の標準試料）に指定されているものと同じものだったのにも拘らずです。

#### 【スライド 57】

それから、もう一つの例です。これはトレモライト0.3%が入っていたのですが、見逃されたという例です。クリソタイル、トレモライト/アクチノライトが定性分析では出ました。しかし、トレモライトは報告されませんでした。実際のサンプルの構成成分が下の表にあります。トレモライトが0.3%、ガラス繊維とセルロースを含むアスファルト68%、砂、炭酸カルシウムが入っていました。大体これは屋根材に使われるようなもので、このような組成が多いと思います。

#### 【スライド 58】

このJIS A 1481 : 2008に定められた同定方法ですけれども、クリソタイルに関して見てみ

ますと、色は一色だと、この赤っぽい紫から青であると、これはクリソタイルにも様々なものがあって、確かにそれもありますが、しかし、この一色です。これでは他の繊維を区別することができません。他のものでもこの色がでるものがたくさんあるからです。この同定の手順なのですけれども、Part 3 の作業原案 (WD) として出てきたものを見てみました。JIS に準拠したこの分析法は分散染色を一色しか使っていないことになるわけです。またその作業原案 (WD) では、その他の光学特性を見ることを要求していませんでした。

### 【スライド 59】

これと ISO の Part 1 を比較して見るとこうなります。このような特性を全て見て、そして同定するということになっています。ということは、分散色だけを見るということは相当ミスが出る可能性があるということになります。実際グラスファイバーでもアスベストではないけれどもアスベストと同じ分散色が出るものがあります。

### 【スライド 60】

この同定の要求事項でクロシドライトの例ですけれども、伸長の符号が負であることがあります。伸長の符号はこの角度で黄色、こちらがブルーです。それから下の方は色がこのように変わります。青が灰色へと。これはクロシドライトの同定に非常に重要な固有の光学的特性です。

### 【スライド 61】

JIS に基づいた Part 3 の作業原案 (WD) は分散色しか見ないために、繊維状物質が何か特定するには不十分です。コントラストもはっきりしない飽和色で、色も薄いのです。2011 年の ISO 会議でこの WD は却下されました。日本からの提案をこのときまでに十分に吟味する時間がありました。いろいろレビューした結果、この作業はもう中止という勧告が出されました。すなわち、Part 3 に係る WD 作成作業はもうここで中止する、却下だということになりました。ISO の規格としては、この段階では技術的に非常に問題があると指摘されました。しかし、技術的な問題が解決されれば新たな作業項目として検討することもありうるという、ドアは開かれた状態となりました。

### 【スライド 62】

どうしてこの Part 3 の WD が却下されたかということですが、アスベスト繊維特定のための手順が科学的に受け入れられるものではなかったからだ、という理由です。長年アスベスト分析法の検討を行ってきた経験がある者から見ると様々な技術的な問題があるということが指摘されました。先ず 1) アスベストとアスベストではない類似体の区別について議論がされていない。また、2) 建材によく含まれる鉱物による干渉作用が考慮されていない。そして 3) サンプルを最初に粉碎してしまうので、光学顕微鏡ではアスベストかどうかの判

断が難しくなってしまう。さらに 4) 全体的にアスベストの検出、同定方法としては非常に不必要に複雑である。最後に、21 サンプルの分析結果を見ても信頼性が高いとは思えないという指摘でありました。

### 【スライド 63】

そして、その翌日の午前に日本の代表団から提案がなされました。このようなフローチャートにしてはどうかと。まず、ISO の Part 1 でアスベストを同定する。そして Part 2 の PLM 法等で定量、または Part 3 の X 線回折法で定量するというのではどうかと。この Part 3 については JIS A 1481 : 2008 に準拠だということでした。JIS A 1481 : 2008 の位相差分散染色法の光学的顕微鏡分析の部分が無いものとのことでした。

### 【スライド 64】

2011 年の WG の決議では、日本代表による NWIP が提出され、承認されました。「先ず ISO 22262-1 を規範的に義務として使用する。そしてその後に顕微鏡法、または X 線回折法の定量に進まなければならない。」というようにしました。すなわち X 線回折は鉱物の種の定量は出来るけれども、それがアスベストかどうかは区別できないということが共通の理解であるという決議の内容となりました。それからまた、日本からの新しい作業原案については干渉による影響であるとか、あるいは構成物質の変動など、X 線回折の限界について十分に考慮したものにする。アスベスト含有の判定は Part 1 に定めたアスベスト繊維の顕微鏡法により特定しなければならないことも決議されました。

### 【スライド 65】

提案された Part 3 は、灰化とギ酸の処理を用いて重量濃縮する、そして X 線回折法で定量するというものでした。クリソタイルは非干渉マトリクスの上石において検出下限値そして定量下限値が決められています。そうなりますと、重量残渣が全体の 10% となる場合には検出下限値が 0.01%、定量下限値が 0.03% となります。しかし、重量濃縮がうまくいかない場合には、検出下限値は 0.1%、定量下限値は 0.3% になる。ということになります。しかし、規制値が 0.1% だとすると、この定量分析法に意味があるのかということになります。実際の検出下限値と定量下限値というのは様々な要因に左右されます。たとえば干渉ピークがあるかどうか、場合によっては、他に干渉されてしまったためもう一つ別のピークを見つけないといけないということも出てきます。そうなりますと検出下限値は高くなるということになります。サンプル固有の要素に検出下限値と定量下限値が左右されてしまうところが非常に大きいわけです。それからもう一つ大きな問題がありました。角閃石のアスベスティフォームと非アスベスティフォームの区別ができないということでした。でもこの区別はとても重要です。

### 【スライド 66】

例えばこうです。上の写真の左はイギリスのスタンダードのアクチノライト・アスベストです。イギリスで定められている標準物質で、右はアクチノライトで、ブラジルのバーミキュライトから採取されたものです。ブラジル産のバーミキュライト鉱山はもう閉山したと聞いておりますけれども、こちらの方は非アスベスティフォームで、宝石のように扱っている人もいます。それから同じことが下の写真でも言えます。左はアメリカのスタンダードのトレモライト・アスベストです。アメリカの国立標準局が用いているものです。右はトレモライトでも非アスベスティフォームです。これは英国職業医学研究所によって動物実験で発がん性がみられないとされたものです。つまり X 線回折法では、この 2 つのどちらがアスベストか区別できないわけです。

### 【スライド 67】

Part 3 の国際企画原案 (DIS) は 2015 年に投票にかけられました。11 のメンバーのうち賛成は 8、そして反対は 3 でした。ギリギリ採択ということになりました。反対の国、あるいは人が一人でもいたらもうこれは却下ということになるところでした。反対したのはアメリカ、イギリス、カナダでした。理由としては、いろいろ技術的な不備が残っているということでした。この技術的な問題については、オランダのデルフト会議で解決をみました。メンバーが気にした問題は、Part 3 の使用上の制限についての適切な記述でした。それをきちんとできないと、間違った使い方をされる可能性があります。この Part 3 の分析法についてはサンプル固有特性に左右される検出下限値と定量下限値の限界について明記しなければならないというように考えました。最終国際規格原案 (FDIS) についても国際規格 (ISO) になるまえに広範囲に渡って編集が加えられました。私は、日本語ではなく英語版になったものを編集しました。英語版であれば、ここがやはりおかしいのではないかということが分かります。いろいろな人が書き加えた英語版の編集をしました。それが採択されて発行されたわけです。

### 【スライド 68】

しかし、実はその前に懸念が表明されていきました。ISO は Part 1,2,3 の 3 部構成です。JIS の方には 1、2、3、4 まであります。WG の方では 4 つと 3 つでは、合わないではないかと、合わないところはどうするのかという疑問がでていました。2016 年 9 月のバーリントンで、日本代表団から、「大丈夫です。」という説明がありました。これらの ISO の Part 1,2,3 と JIS-1、4、3 は英語と日本語がきちんと相当していることを保証するということでした。しかし、JIS-2 については説明がありませんでした。言及がありませんでした。JIS A 1481 の Part 2 については、これは位相差顕微鏡によるアスベスト定性分析を含みません。もともとここが問題だとして WG で却下したものです。

### 【スライド 69】

しかし、ISOとしては国内でどのようにしようと我々が何か口を挟むことはありません。国としてこういう規格でやるのだと決めて、それを採用するのはもちろん自由です。しかし、このフローチャートによる分析の場合には JIS A 1481 の Part 2、位相差分散染色法と X 線回折法の定性分析をし、その後に JIS Part 4 (ISO の Part 2) や JIS Part 3 (ISO の Part 3) を実施した場合には ISO で定めるやり方に準拠しているとは言えないということになります。それは貿易障壁となりかねません。すなわちこの JIS の Part 2 を用いた分析を用いた場合は、なにか鉱物を含む製品を売ろうとしても、外国で売ることができないということになってしまいます。

### 【スライド 70】

いずれにしても、昨年 (2016 年) の 10 月にこの ISO22262-3 がついに出了ました。

### 【スライド 71】

いまあるのは Part 1 から Part 3、全てこれで揃いました。いずれにしても、まず Part 1 を使ってアスベストの同定をすることが ISO で必須であります。そして規制値によっては、もうこれ以上は必要ないかもしれません。でもやりたいという場合、やる必要がある場合には Part 2 をやるか、あるいは Part 3 (X 線回折法) をやるかということになります。これが ISO 分析規格ということになります。

### 【スライド 72】

私からは以上です。ありがとうございました。

### <質問>

#### 【質問者 1】

本日は講演ありがとうございました。厚生労働省の小林と申します。

司会の方からだいぶご批判をいただいて、過激だなあと思ったのですが、講演者には丁寧に一個一個説明して頂いてありがとうございます。

2点教えていただきたいのですが、ISO の Part 1 と Part 2 について今後さらに改定していく予定があるのか。という話と、コアリング・クリソタイルのお話がありましたが、トレーニングを受けた方であれば、検知できるというお話だったのですけれど、各国で何か特別な上乘せのトレーニングのような制度があるのか。という2点を教えて下さい。

チャットフィールド

はい、まず、ドキュメントの改定があるかどうかですけれども、ISO のドキュメントは 5 年のスケジュールで改定されます。毎年 5 年の周期で変更が必要かということを質問します。

もしも変更が必要ないのであれば、現状維持ということになります。もしも追加のものを加えるという必要があるのであれば、ドキュメントが改定されるということになります。そのプロセスというのは非常にはっきりとよく分かりやすいものでして、もしも何かエラーがあるという場合には変えるのは簡単ですよ。それは訂正表という形で訂正します。ただ大きな技術上の問題が規格にあった、あるいは技術的な追加が必要だという時には、ドキュメントを国際企画原案（DIS）まで戻す必要があります。その追加のドキュメントを含める必要があります。というのも、各国がそれに追加をするのであれば、技術的なものであれば、投票をしたいと望むからであります。また、直接、最終国際規格原案（FDIS）まで持ち込むこともできます。もしも WG のメンバーが合意して、これは追加のコンテンツに関して問題ないということであれば、いきなり FDIS になります。私はその方がいいのですけれども。テクニカルな人たち、技術専門家が実際に反対票があるかどうかということ、まず自分達でイエスかノーかを定めることができるので、もしも追加が必要だということをテクニカル委員会の方で OK だということであれば、FDIS にして改定しますけれども、今のところ改定というのは考えないと思います。

コアリング・クリソタイルの同定に関してですけれども、トレーニングですけども、もちろんこれはトレーニングコースを誰かがやるというもので、数多くのものが既に存在していると思います。この分野においてトレーニングはとても重要です。さらに、こういう分析においては経験が必要なのです。他のものに比べて経験がものすごく物を言う分野です。これは顕微鏡ですから、顕微鏡に関しては経験があればあるほど良いという判断だと思います。

質問者 1

ありがとうございました。

## 【質問者 2】

ユーロフィン日本総研のビスラール・サダナンダンです。

スライドの中で、このプラスターが顕微鏡で上手くスライドができない場合があるということをおっしゃったのですが、このプラスターの場合、上手くスライドを調整する方法というのは何かありますか。プラスター（石こう）に関してです。漆喰に関してです。

チャットフィールド

私はプラスターのサンプルはそのまま直接分析しません。漆喰、プラスターのサンプルは、石こう（ジプサム）と基本的には水酸化カルシウムが含まれていますが、そうなりますと、大気中の二酸化炭素を取り込んで一部、炭酸カルシウムにも変化することになりますが、みな酸に溶けます。ですから、プラスターに関しては、酸処理を上手くする必要があります。それからまた、有機物を除くということです。それから、その後に顕微鏡、X 線回折

でもいいかと思いますが。

質問者 2

ありがとうございます。

### 【会場意見】

小坂と申します。

先ほどの小林さんの質問に対してですが、小坂と申します。日本環境測定分析協会では5年前か6年前から偏光顕微鏡法によるアスベスト分析の講習をしています。その中ではコアリング・クリソタイルについても研修サンプルを使って、形とか、屈折率の違いから他のものと区別でき、同定できるという方法を講習していますから、講習を受けた人達はコアリング・クリソタイルを正しく特定できるはずです。

### 【質問者 3】

アサヒテクノロジーの伴丈です。

日本ではですね。ISOの動きが全く分からず、今日はですね非常にコンビーナから直接お話しが聞いて非常に良かったと思います。ところで質問なのですが、日本のJIS A 1481-2についてですが、アスベストの定義、そして検出する能力等に非常に問題があるということがよくわかったのですが、日本国内では非常に広く使われております。今後、この分析方法を用いていった場合に、日本のアスベストの行政、規制や健康被害、こういったものにもどのような懸念があると思われますでしょうか。

チャットフィールド

JIS規格のPart 2では非アスベスト様形態（ノン・アスベスティフォーム）の繊維状物質をアスベスト繊維と同じと扱っているという問題があります。その定義が違うということによって、Part 2で使われる位相差分散染色法、X線回折法では実際の含有量よりも大きめにでてしまう可能性があると思います。またさらに難しいのはしばしば起き得る様々な他の状況です。つまり、アスベストが入っていないものもアスベスト含有建材として特定されてしまうという問題があると思います。ISOのアスベストの定義を使うことによって健康被害は生じないと思います。しかしJIS Part 2の定義はアスペクト比3:1ですよね。したがって粒子として3:1以上のものは全てアスベスト繊維と分類されてしまうという問題があると思います。国際基準のアスベストの定義はアスベスト様形態（アスベスティフォーム）です。これはとても重要な国際的な判断基準です。JIS Part 2はアスベスト様形態（アスベスティフォーム）を分析の対象としていません。そのような意味できちんとアスベストの特定ができているというのがISOの分類です。もしもJIS Part 2を使うのであれば、アスベスト含有でないものを繰り返しアスベスト含有としてしまう可能性があると思います。

それが全体の結果に及ぼす影響だと思います。

司会者

もう一つのご質問で定義だけではなくて、アスベストの検出能力に関しても問題がある。ということに関する質問でした。このような欠陥が人体への影響という意味でどのような影響をもたらすと思われますか。

チャットフィールド

アスベスト繊維を特定するにあたってのところに欠陥があるということは、例えば先ほど JIS で見落したコアリング・クリソタイルもそうなのですけれども、あるのに見つけれなかったということです。アスベスト含有物を特定する分析法といううえで非常に難しい問題をはらんでいます。でも明らかにコアリング・クリソタイルはアスベストなのです。それから、もう一つの問題は、位相差顕微鏡の分散色による同定に関していうと、アスベスト繊維以外の繊維状物質でも同じような分散色が出ます。そうなりますと分析を担当する人が正しく同定しようと思っても、とても苦勞することになります。

JIS Part 2 の位相差分散顕微鏡法や X 線回折法で判断するやり方では、このフォールスポジティブ（無いのに有ると判断）もフォールスネガティブ（有るのに無いと判断）も両方出てしまうわけです。もちろん上手くいって大丈夫というサンプルもありましょうけれども、誰かが JIS Part 2 のアスベスト繊維の特定能力のところをもっと詳しく追及して調べて、大きな分析法の問題を解決しなければならないと思います。

したがって私は、過大評価、過小評価の両方にミスが出てしまうという問題があると強く思います。潜在的に、ある方向に間違えれば、健康に被害が出ているかもしれないし、反対側に間違えれば、不必要にコストがかかるという問題が生じると思います。

#### **以下は同じ内容の質問表が出ていたのでチャットフィールドが文書でも再回答**

日本が JIS A 1481-2 により建材分析を続けるとすれば、この分析法をアスベストの同定に使用する世界で唯一の国となるだろうと確信しています。

アスベストの検出と同定に JIS A 1481-2 を使用し続けることは二つの面でかなりの潜在的な害を引き起こすことを意味するというのが私の意見です。

- ① アスベストが存在しているのに試料中のアスベストを検出しそこなうこと(フォールス・ネガティブ)は、アスベスト含有建材が含まれる建築または解体作業がアスベストばく露に対する防護措置なしに行われる結果につながる可能性があります。そして、それらの作業の間にアスベスト含有建材が攪乱を受けた際に、人々が知らずに気中アスベストにばく露される可能性があります。

- ② アスベストが存在していないのにアスベストを報告すること(フォールス・ポジティブ)は、アスベスト含有素材が含まれていない解体・改修プロジェクトに対し高価な規制上の手順や廃棄コストをもたらし、不必要な経費をもたらす可能性があります。そのようなフォールス・ポジティブの結果は、本来必要のない高価なアスベスト除去要請を引き起こさせるかもしれません。

司会者

**【質問者 4】**

質問票を配りまして、会場から質問が出たのですが、14 ページのテーブルの説明で、これがなぜ ppm オーダーの値まで分析できるという説明になるのか、ということについて説明してほしい。

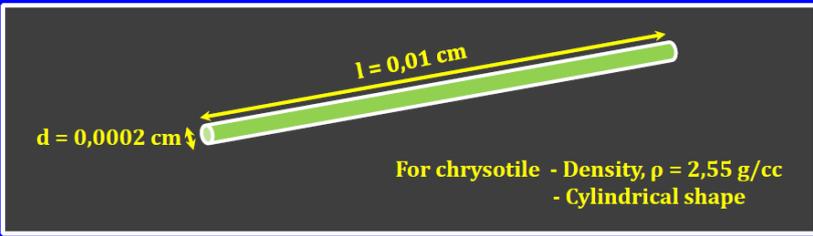
チャットフィールド

どうしてこの ISO の分析法が ppm オーダーまで行くことができるのかということですが、お話したサイズ 100 μm の長さで直径 2 μm というのは、だいたい 1ng 位の重さだと思います。計算式までは示していませんでしたが、100 μm の長さの繊維で直径が 2 μm というのは、偏光顕微鏡で普通に特定できるものです。この 1 本が 1 μm で 1ppm に相当します。クリソタイルの場合は、比重が約 2.6g/cc になりますので、100 μg の試料に、これは大体計算としてはそんなに難しくなくできるものと思います。

本件は質問表が出ていたので、以下はチャットフィールドが計算式でも再回答

**Calculation of the Limit of Detection for PLM Examination**

**Assume that one asbestos fibre, 100 μm long and 2 μm diameter is detected by PLM examination of 1 mg of sample mounted on a slide.**



For chrysotile - Density, ρ = 2,55 g/cc  
- Cylindrical shape

$$\text{Weight of Fibre} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l \cdot \rho}{4} = 8,011 \times 10^{-10} \text{ g}$$

$$\text{Limit of Detection} = \frac{\text{Weight of Fibre}}{\text{Weight of Sample on Slide}} \times 100 \%$$

$$= \frac{8,011 \times 10^{-10}}{0,001} \times 100 \% \text{ (Assuming 1 mg sample on slide)}$$

$$= 0,00008 \% \text{ by weight}$$

$$= 0,8 \text{ Parts per million}$$

通常の偏光顕微鏡分析で長さ 100 $\mu\text{m}$ 、直径 2 $\mu\text{m}$  のサイズのアスベスト繊維は頻繁に観察される。上の図は、そのサイズのアスベスト繊維束を偏光顕微鏡で確認できれば、その時点で、0.0001% (1ppm) の検出下限値を達成できているということを示したものである。

### 【質問者 5】

立命館大学の南と申します。本日はありがとうございます。

1 点教えていただきたいのですが、発行された ISO 22262 のアスベストの分析法は、その会員団体の 119 カ国で基本的に今後はスタンダードな分析法として採用されていくと考えてよろしいでしょうか。というのも、疑問として思ったのは、日本のようにもともと独自の分析法を採用しているような国というのは他にあったりするのかな、ということが気になったということです。ご存知であれば教えていただきたい。

チャットフィールド

119 カ国が採用するかどうかは、正直言ってわかりません。全ての情報を全部持っているわけではないので、わかりません。しかし ISO のプロセスとしては、国際規格策定プロジェクトを新しい作業項目 (NWIP) として検討されて投票して決めるわけです。そして、投票するという事は少なくとも 5 カ国が手を上げて、単に参加をするのみならず、専門家を出席させることが義務となっています。新しい作業項目が提案されて、評決された時には、新しい作業項目 (NWIP) ドキュメントは ISO 中央事務局に渡されます。先ずこれが、我々が始めたいと提案しているプロジェクトですよ ISO に提出されます。そのプロジェクトは、いかなる国も参加できるものです。この国際規格をつくるにあたって、どの国にも参加を求めるものです。ですから、例えば 4 カ国しか返事をしませんでしたという場合、あるいは 5 カ国が専門家を出せませんでした、委員会に専門家を出せませんでしたという時には、そのプロジェクトはそこから先には進まないわけです。ですから、119 カ国全部に、参加をして下さいと招待をしているわけです。

ユニークな方法については、実際に何カ国か、5 カ国以上が専門家を出して、その分析法を検討させていくわけですから、他の国がそれぞれユニークな方法を持って参加することもありましょう。例えばドイツの例です。ドイツは走査型電子顕微鏡法 (SEM) を使うという方法論を持っています。また一方で、彼らは同時に偏光顕微鏡法 (PLM) も使っています。ISO の国際規格はこれらを検討して策定したわけですが、ヨーロッパとして通常に ISO の規格内容と同等かどうか見てこれを義務化するかどうかというのを国内で決めていきます。ですから二つ目の質問に関してですが、私としての答えは「JIS 程のユニークな方法を日本以外でやっている国は、私は承知しておりません。」ということになります。

質問者 5

どうもありがとうございました。

## 【質問者 6】

貴田と申します。

この各国で技能が違う場合に、インターナショナルな形でクロスチェックをするというような、プロジェクトはないものでしょうか。考えられていないのでしょうか。もしそれがあれば、日本もぜひ参加したいという意向もあるし、他の、特に途上国のあたり、中国にしても東南アジアにしても現在まだかなり使われている状況にあり、そういうところの支援も視野にいれる可能性もあるかと思えます。その時に必要なのが正しく測定することだと思いますので、もしそういうプロジェクトを考えておられれば教えていただきたいし、そういうことも考えていただきたいという期待も込めてです。

チャットフィールド

国際的なテスト、あるいは方法論についてですけれども、一つ問題が ISO ではありません、お金が無いということです。やはりベストなやり方をやりましょうということはもちろん世界に提示することはできるけれども、石綿に限らず他の試験方法でも何か一緒にやってみるというための資金が無いわけです。たとえば、この SEM でエアサンプルを見るという場合、このクロスチェックをしてラボの検査にしたいという様に考えても、やはり結局誰かがそのお金を払ってくれなければ困るわけです。ISO にはありません。SEM それから TEM でもこのエアサンプルをやろうと思っていますけれども、やりたくてもできない。ISO でも実は関心を持って自主的にやれないかと考えている人はいますけれども、なかなかそれは実現するものではない。というふうに私は思います。国際的なテストはやはりローリー・デビスさんのやっているものが一つあります。ただこれは、参加したい人はいますかと募って参加して技能検定をしてもらうという目的のものです。国際的なテストということでは、そういうものはありますけれども、今のところ、私は香港のラボでやったものがあって、この分野でなされたものの例としては唯一ではないかと思えます。ですから、おっしゃるとおり、そういうことはやるべきだとは思えます。とても良い質問だと思います。

司会者

## 【質問者 7】

EFA の亀元です。

最後私の方からの質問なのですが、去年の ISO の会議で日本の代表が今度の JIS A 1481-3 を正確に訳しますと約束をした。今配布した日環協の「環境と測定技術」の中にも書いてあるのですが、それを ISO のメンバーたちはそのようにするのだと受け取ったのでしょうか。それは本当のコミットメントというように考えていらっしゃるのですか。

チャットフィールド

もちろん、私の問題は、日本語から翻訳されているわけですから、適切な翻訳かどうかは私

がチェックするわけにはいかないという問題があります。ただ存在している JIS A 1481-Part 2 は定性分析に使われるわけですよ。ISO の Part 3 から Part 1 の文章を省き、その JIS の Part 2 同定分析を入れるということになるのですかね。そうなった場合いずれにしても Part 1 は義務なので、日本の代表団はこれが正確な翻訳であるという約束をしたものに関して、それを満たしていないということになるのではないかと、私は理解しています。

質問者 7

ありがとうございます。

以下は講演終了後集めた書面での質問に対するチャットフィールド博士の回答です。

**【質問者 8】**

ISO 法 (JIS A 1481-1 法) が国際的な方法であり、JIS A 1481-2 は認められないということだと思いますが、JIS A 1481-2 は今後廃止されるのでしょうか？

JIS A 1481-3 は今後どのような位置付けになるのでしょうか？

また現 JIS A 1481-3 との違い点を教えて欲しい。

チャットフィールド

JIS A 1481-2 を廃止するか使い続けるかは日本の専門家が定めるべきことですが、私は JIS A 1481-2 には科学的に欠陥があると確信しています。JIS A 1481-2 で指定されている X 線回折・位相差分散顕微鏡法によるアスベスト繊維の同定は日本独自のものです。多くの理由から、この分析法はかなりの数のフォールス・ネガティブ (アスベストが存在しているのに検出できない) とフォールス・ポジティブ (アスベストが存在していないのにアスベスト有と報告する) を生じる可能性があります。顕微鏡分析に先立つ試料の粉碎はアスベスト繊維の検出と同定をはるかに困難にし、1 種類の分散色の観察に基づく同定はアスベストを特有できません。これら 2 つの面だけでもフォールス・ネガティブとフォールス・ポジティブの結果の原因になりえます。アスベストを同定するための JIS A 1481-2 の手順は、長年にわたる経験を持つ実際にアスベスト分析を行ってきた分析者たちからなる ISO/TC 146/SC 3/WG1 で否決されました。JIS A 1481-2 の手順と対照的に、ISO 22262-1 で指定されているアスベスト同定の手順は 40 年以上使用されており、多くの国で受け入れられた厳密な科学的アプローチからなっています。

私は JIS A 1481-3: 2014 の英語版を読んでいません。しかしながら、2014 年に発行されており、ISO 22262-3 は 2016 年 10 月まで最終版になっていなかったため、JIS A 1481-3 に ISO 22262-3: 2016 の最終版に導入されたすべての制限が含まれていることはあり得ません。これらの制限には以下のようなものが含まれます。

- ① この分析法は角閃石のアスベスト様形態と非アスベスト様形態の区別をしない
- ② 2つ以上の角閃石アスベストが存在する場合、X線ピークが重なるためそれぞれのアスベスト種を分けて定量することができない。このことは、2つ以上の角閃石アスベストが存在する際にどの標準試料を用いるべきかという問題を提起する。
- ③ 実在する建材に含まれるマトリクス干渉の影響は、JIS A 1481-3: 2014 が発行された時期の ISO 22262-3 の初期の原案では十分に議論されていませんでした。

私は JIS A 1481-3: 2014 を ISO 22262-3: 2016 の日本語訳で置き換えることが提案されているかどうか承知していません。

### 【質問者 9】

- ① アスペクト比が ISO で定義している 20 : 1 以下の繊維においても中皮腫の発症が多数認められたということを聞きますが、アスベスティフォーム定義の見直しをする考えはないのでしょうか？
- ② 日本の JIS 法が ISO で認められなかったにもかかわらず、未だに日本での行程法として ISO 法と同等に使われていることに対する忠告はありますか？

チャットフィールド

① 私はアスペクト比 20:1 以下に限定された繊維へのばく露が中皮腫発生に寄与したといういかなるデータも見たことがありません。ばく露を受けた人の肺組織でみられる角閃石繊維の多くはアスペクト比 20:1 以下です。しかし、長い角閃石繊維が肺の体液に長期間にわたり曝されることでより短く割れていく可能性があるという証拠があります。肺組織中でアスペクト比 20:1 以下の角閃石繊維が観察されることは、吸入の際にもっと高いアスペクト比の繊維が存在していなかったことの証拠にはなりません。

ISO のワーキンググループは「アスベスト様形態」の定義を変更することは考えていません。現在の ISO の定義が適切であるという基本的な合意があります。

「アスベスト様形態」の定義について誤解があるように見受けられます。ISO の定義は「光学顕微鏡では、アスベスト様形態は一般的に以下のような特徴により認識される。

- a) 5  $\mu$  m より長い繊維について 20:1 以上のアスペクト比を持つ繊維が存在している
- b) 長さ方向に沿って非常に細い単繊維、一般的に径 0.5  $\mu$  m 未満に分けられる
- c) 加えて、以下の特徴のいずれかが観察されれば対象の繊維種がアスベスト様形態であることはさらに確かになる:
  - 1) 束になっている平行な繊維
  - 2) 端で広がっている繊維束
  - 3) 細い針状の繊維

4) 個々の繊維が絡まった固まり

5) 屈曲した繊維」

この定義は 20:1 という最低アスペクト比を決定しているわけではありません。この定義は繊維のうちいくらかが 20:1 以上のアスペクト比を持つことを要求しています。この定義では繊維がアスベストに特徴的な特定の形態を示すことも要求されています。JIS A 1481-2 で要求されている試料の粉碎は、アスベスト様形態を同定するための繊維の特徴の観察をはるかに難しくしてしまいます。試料の粉碎は繊維を確実に同定することもより難しくします。

JIS A 1481-2 で指定されている位相差分散染色法の分析では、アスベストが存在している際の特徴である高いアスペクト比の繊維の存在を必須としておらず、アスペクト比 3:1 以上のどのような粒子でもアスベストとみなされます。これは非アスベスト様形態の鉱物のみを含有する物質が誤ってアスベスト含有物質と分類されることにつながります。

②JIS A 1481-2 における繊維同定の手順は、ISO のワーキンググループにとって科学的に容認できないものでした。この方法が日本の国内で使用されるかどうかというのは日本の専門家の問題ですが、科学的な見地からは ISO 22262-1 と同等とは考えられません。JIS A 1481-2 に基づく分析結果は、日本国外では ISO 22262-1 と同等として受け入れられないでしょう。

### 【質問者 10】

本邦では建物の外壁等に使用されている仕上材料中に含まれる石綿の取扱い方法が Hot な話題となっております。この材料は長い年月を経ており、多層になっていることが多いです。これらの材料を分析する際には、その分析結果をどのように活用するかということもあると思います。そのやり方として、サンプルはどの様に、どの頻度でサンプリングするのか、各レイヤー毎に分析すべきか、仕上材を一つのサンプルとして扱うのか御意見を聴かせて下さい。

例①建物の維持管理のため、②塗り替え工事のため、③解体のため、④小規模な耐震改修のためなど…

チャットフィールド

あなたが言われたような状況では、異なる素材が連続する層をなしていたり、特定の箇所が時にはアスベスト含有素材で、ときにはアスベスト非含有素材で補修されていたりする可能性があります。そのため、1つの建築物の外壁の全箇所が同じ素材または同じ特定の層をなす素材からなると期待する理由はありません。もっともよいのは、明らかに色が違っているといた外見上の違いを考慮に入れながら、それぞれの壁から数多くの試料を採取する

ことです。試料が複数の層からなる場合、最も望ましいのは素材全体を貫通するコア試料を取り、分離してそれぞれの層を個別に分析するのは分析ラボに任せるという方法です。複数の層が一緒に分析された場合、規制対象の層がほかのアスベスト非含有の層と混合されることで平均として検出下限を下回り、不検出となる可能性があります。別の方法としては、すべての層を個別に分析するよう分析ラボに指示をし、いずれかの層で規制基準を超える結果が得られた時に層ごとの分析を終了するという方法があります。

私の専門外であるため、あげられた 4 つの課題について詳しくコメントできません。しかし、分析の必要性ととるべき警戒は何がなされるかによって変わります。例えば、外壁表面の塗り直し（上塗り）のみであれば分析が必要かどうか疑問ですし、解体の場合であればすべての層の分析が必要となるでしょう。

### 【質問者 11】

SEM と偏光顕微鏡を比較したとき、結果に違いがでるのか。  
偏光顕微鏡で小さいアスベスト繊維を見落すことはないか。  
教えていただきたいです。

チャットフィールド

SEM は固体試料のアスベスト定性分析に用いられてきました。幅広い種類の固体試料の SEM 分析結果を PLM により得られた分析結果と比較している系統だった研究は承知していません。試料の性質によって、SEM と PLM でいくらか違いが出る可能性はあります。例えば、クリソタイルとアンチゴライトの区別は、PLM では単純ですが、組成が同じであることから通常の SEM 分析では両者を区別できません。

アスベスト繊維は PLM で検出できるサイズよりも小さいサイズになり得ますが、固体物質中に成分として使用されているアスベストは必ず PLM で簡単に検出及び同定可能であるような大きなアスベスト繊維や繊維束を含有しています。固体試料においては、小さなアスベスト繊維は全体のアスベスト重量パーセントに大して寄与しないため、PLM により小さな繊維が見逃される可能性があるという事実は、重要ではありません。

SEM は気中や粉じん中のアスベスト測定により適しています。SEM の使用に基づいた大気試料と堆積粉じん試料中のアスベスト分析の ISO 分析法が使用可能です。

ISO 14966:2002 環境大気—無機繊維粒子の濃度測定—走査電子顕微鏡法

ISO 16000-27:2014 室内大気—第 27 部：SEM（走査電子顕微鏡法）による表面の堆積繊維状粉じん測定（直接法）