

201425004B

別添 1

厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

がれきの処理作業など短期間作業にも対応可能なアスベスト
の簡易測定方法の開発

平成 24 年度～26 年度 総合研究報告書

研究代表者 鈴木 治彦

平成 27 (2015) 年 4 月

目 次

I. (総合) 報告書

がれきの処理作業など短期間作業にも対応可能なアスベストの簡易測定方法の開発のための調査研究	-----	1
A. 研究目的	-----	2
B. 研究内容又は研究項目	-----	3
C. まとめ	-----	106
D. 健康危険情報	-----	107
E. 研究発表	-----	107
F. 知的財産権の出願・登録状況	-----	108

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
（総合）研究報告書

がれきの処理作業など短期間作業にも対応可能なアスベストの簡易測定方法の開発
のための調査研究

研究代表者 鈴木 治彦 公益社団法人 日本作業環境測定協会
事業推進部 部長代理

研究要旨：解体現場等や被災地におけるがれき処理作業に伴い二次的に飛散したアスベスト繊維を吸引する危険性があり、がれき処理労働者の健康影響を考慮すれば、作業時のアスベスト濃度を正確に把握する必要がある。作業時の石綿濃度測定用機器としてリアルタイムファイバーモニター（以下「リアルタイムモニター」という）があるが、がれき処理で飛散する可能性がある繊維状粒子の種類は、当該現場で使用されていたアスベストとアスベスト以外の繊維状粒子として「①有機質繊維（植物繊維や保護衣を着たり脱いだりした時の作業服等の衣服から飛散する繊維）と「②無機質繊維（人造鉱物繊維：ロックウール等）」が考えられ、リアルタイムモニターの計測値はこれらの繊維状粒子の全てを含んだ総繊維数濃度として表示される。そこでリアルタイムモニターの検出器に取り込まれる前に①及び②の繊維状粒子を除去する前処理を行い、これらを除去した状態でリアルタイムモニター内に取込むことが可能になれば、リアルタイムモニターの計測値はアスベスト繊維の値と考えられる。

そこで、リアルタイムモニターで計測値が「アスベスト繊維」にほぼ等しくなるために、アスベスト繊維以外の「①有機質繊維」と「②無機質繊維」を除去する手法の検討を行った。

平成 24 年度に「①有機質繊維」を除去する方法の検討を行い、最適条件を検討することができたため、平成 25 年度は、「②無機質繊維」の除去装置の設計・開発を中心に実験・検討を行った。

平成 26 年度は平成 24 年度に検討した「①有機質繊維」を除去する方法と平成 25 年度に検討した「②無機質繊維」を除去する方法を組み合わせることで「①有機質繊維」と「②無機質繊維」を除去する前処理装置について検討した。

小西 淑人：(株)エフアンドエー
テクノロジー研究所
代表取締役社長

山崎 淳司：早稲田大学 創造理工学部
環境資源工学科
資源科学分野 教授
(平成 24 年度、平成 25 年度)

藪田 十司：北里大学 医療衛生学部
衛生管理学教室 専任講師

寺田 和申：公益社団法人
日本作業環境測定協会
精度管理センター 技術係長

A. 研究目的

平成 17 年 2 月に制定された石綿障害予防規則に基づき現在、アスベスト含有建材や工作物等の事前調査や解体・改修等作業が実施されている。

解体・改修等作業実施にあたっては、「建築物の解体等工事における石綿粉じんのばく露防止マニュアル」(建設業労働災害防止協会)や「公共建築物改修工事標準仕様書(建築工事編)」「建築改修工事監理指針」(国土交通省大臣官房官庁営繕部)、「建築物の解体等に係る飛散防止対策マニュアル 2011」(環境省水・大気環境局大気環境課)、平成 24 年 5 月 9 日付け基発 0509 第 10 号で「建築物等の解体等の作業での労働者の石綿ばく露防止に関する技術指針の制定について」(厚生労働省)が示されている。また、分析技術の進歩によりアスベストを特定して計数する分散染色法等も確立されているものの、基本的な考え方は、ろ過捕集方法で現場の試料空気を捕集し、位相差顕微鏡等によって総繊維数を計数し、総繊維数濃度を求めることとなっている。しかしながら、これらの測定法では、捕集から分析結果がでるまでに数日程度の時間を要することとなる。

平成 23 年 3 月に東日本大震災が起き、広範囲にわたる地域で甚大な被害が発生し、多くの建築物が損壊するとともに莫大な量の災害廃棄物が発生したところである。これらの廃棄物中にはアスベストの含有が疑われる建材等も含まれている可能性があることから、がれき処理現場や集積場付近におけるアスベストの飛散状況を把握することは周辺住民への不安解消や、そこで作業する作業者のアスベストばく露を防止する

観点においても重要である。

そこで厚生労働省と環境省は「東日本大震災アスベスト対策合同会議」を設置した。この委員会の中では、被災のあった県から要請のあった測定地点について定期的に総繊維数濃度等の測定を行い、アスベストの飛散状況を把握しているところである。これらの調査を実施していく中で、アスベストの飛散が認められた現場がいくつか報告されている。

報告のあった現場の地点分類は主にがれき集積場よりも、その殆どはアスベスト含有建材が使用されている建築物等の解体・改修等の作業現場でのアスベストの漏洩・飛散である。

解体・改修等作業実施中のアスベストの飛散状況に関する現行の調査方法では、前述の通り現場でのサンプリングから分析結果を入手するまでに数日程度時間がかかるため、現状、解体工事中の設備の不備やアスベストの飛散状況の把握や対策を講じることが困難となっており、法令を遵守した適切な工事を実施するためにはリアルタイムでの測定結果の把握が求められている。

「東日本大震災アスベスト対策合同会議」においても厚生労働省・環境省ともにいくつかの解体現場においてリアルタイムモニターを設置し、アスベストの飛散が認められるか否かの判断材料として活用されている。

また、建築物解体作業時における施工業者の自主管理方法の一つとしても現在データを収集し、現場での検証を実施しているところである。

リアルタイムモニターは、セキュリティゾーン前の出入り口付近と集じん・排気

装置の排気口の出口付近に設置し、試料空気環境を計測、管理することが望ましいとされている。

また、被災地におけるがれき処理作業では、がれきにアスベストが含まれている可能性があり、がれき処理作業者のばく露状況を判断する測定器として重要であると考ええる。

しかし、現状のリアルタイムモニターを東日本大震災の被災地におけるがれき処理作業場で使用した場合、アスベスト繊維の他に、有機質繊維である「木片」や「衣類・布団等の寝具の繊維」等の「動植物由来の繊維」や「人造繊維」、ロックウールに代表される無機質繊維としての「人造鉱物繊維」、が混在することが考えられる。

リアルタイムモニターはこれら全てを繊維状粒子として計測してしまうことが予想される。このため、リアルタイムモニターに表示される数値をそのまま取り扱おうと過大評価となってしまうことから、費用等の面からもアスベストのみをリアルタイムで測定できる計測器が求められている。しかしながら、市販されている計測器ではアスベストのみをリアルタイムで計測できるものはない。

そこで、「有機質繊維」並びに「無機質繊維」を除去する方法を開発することにより、計測された繊維状粒子が、アスベストのみの数値となることが可能となる。

本研究では、アスベストのみを計測するためのリアルタイムモニターの前処理方法等を検討することを目的に実施することにする。

B. 研究内容又は研究項目

I. 研究の推移

1. 平成 24 年度

有機質繊維を除去する方法について検討し、加熱炉の使用により良好な結果が得られた。

2. 平成 25 年度

無機質繊維を除去する方法について検討し、超音波ネブライザーによるギ酸ミストの発生装置を試作し、被検空気中の無機質繊維を除去することが可能となった。

3. 平成 26 年度

平成 26 年度は、平成 24 年度及び平成 25 年度に開発した有機質繊維除去方法、無機質繊維除去方法の両者を連結し、前処理装置としての可能性について検討を行った。

II. 被災地や解体現場等で飛散している繊維状粒子

1. 電子顕微鏡による同定

実験を実施するための基礎的な情報として、被災地におけるがれき集積場や解体現場等で飛散している繊維の種類を調べることとし、これらの現場で測定したろ紙を電子顕微鏡で観察し、どのような繊維が飛散しているかの確認をするとともに、繊維の種類と同定を行った。

なお、この報告書で言う「繊維状粒子」は、位相差顕微鏡による計数対象繊維である、長さ $5\mu\text{m}$ 以上、長さと同径（直径）に比（アスペクト比）が $3:1$ 以上で幅が $3\mu\text{m}$ 未満の繊維状粒子を言う。また「繊維」は、アスペクト比 3 以上の粒子として、記載することにした。

a). 方法

電子顕微鏡法によるアスベストの同定方

法は、エネルギー分散型X線分析装置（EDX）を使用して、平成22年6月に環境省水・大気環境局大気環境課から示されている「アスベストモニタリングマニュアル（第4.0版）」の方法に基づき実施した。

b). 結果

表1に電子顕微鏡法による繊維状粒子の同定結果を示した。また、写真1から写真11に電子顕微鏡の写真と分析結果を示した。

表1並びに写真1から写真11より、がれき集積場や仮設住宅付近で、アスベスト以外で見られた繊維状粒子は、アルミ化合物、有機質繊維、珪素化合物、グラスファイバー、石膏が確認された。

また、解体現場では、ロックウール、石膏、有機質繊維が確認された。

がれき集積場のような屋外においては、季節によっては植物繊維が大量に飛散していることもあり、ろ紙に捕集した試料の計数分析結果では、総繊維数濃度が高くなる場合も見受けられたことが東日本大震災アスベスト対策合同会議においても報告されている。

表1 電子顕微鏡法による同定結果

測定場所	同定結果	写真 No.
がれき集積場（福島県）	アルミ化合物	1
がれき集積場（福島県）	有機質繊維	2
がれき集積場（福島県）	珪素化合物	3
がれき集積場（福島県）	有機質繊維	4
がれき集積場（宮城県）	石膏	5
仮設住宅近隣（千葉県）	ロックウール	6
仮設住宅近隣（千葉県）	グラスファイバー	7
解体現場A（宮城県）	有機質繊維	8
解体現場A（宮城県）	ロックウール	9
解体現場A（宮城県）	石膏	10
解体現場B（宮城県）	ロックウール	11

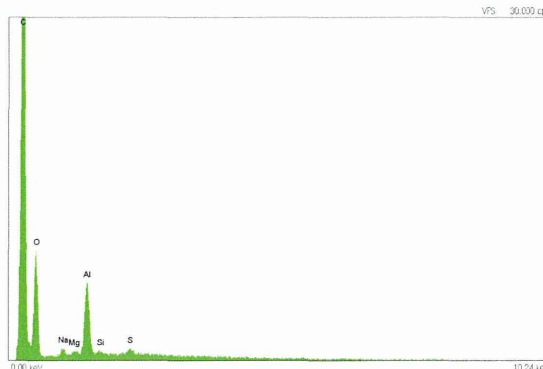
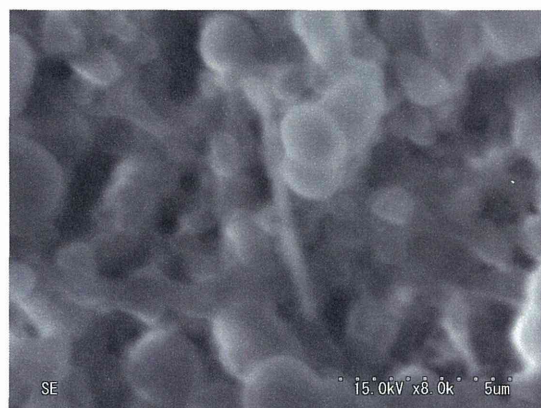


写真1 アルミ化合物（福島県がれき集積場）

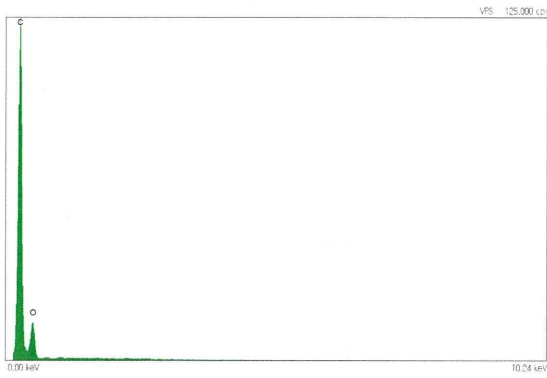


写真2 有機質繊維 (福島県がれき集積場)

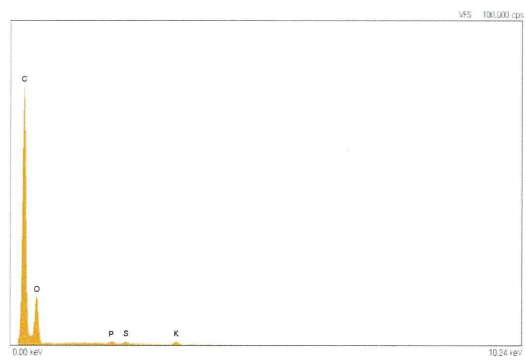


写真4 有機質繊維 (福島県がれき集積場)

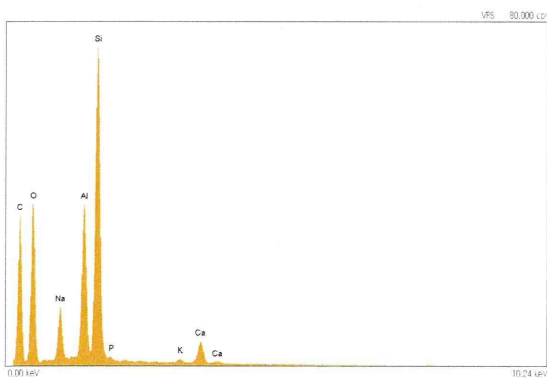
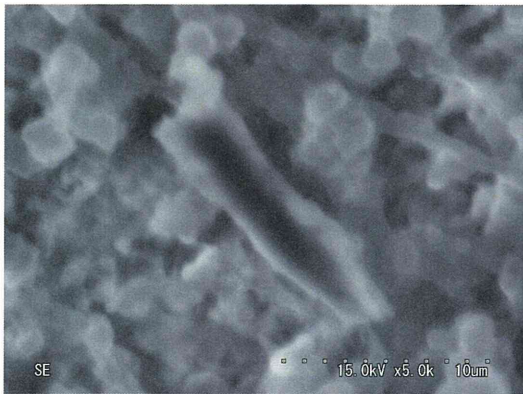


写真3 珪素化合物 (福島県がれき集積場)

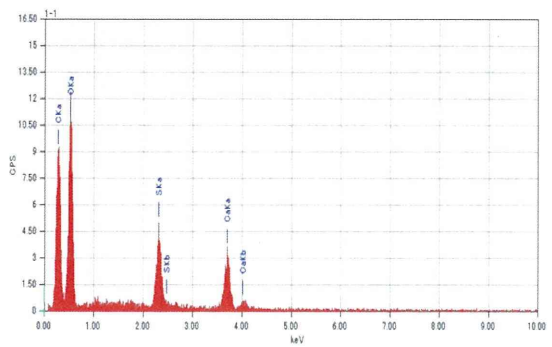
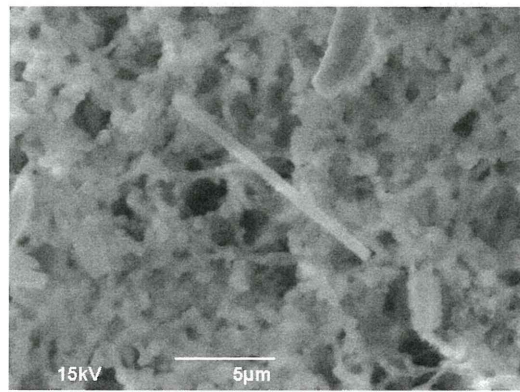
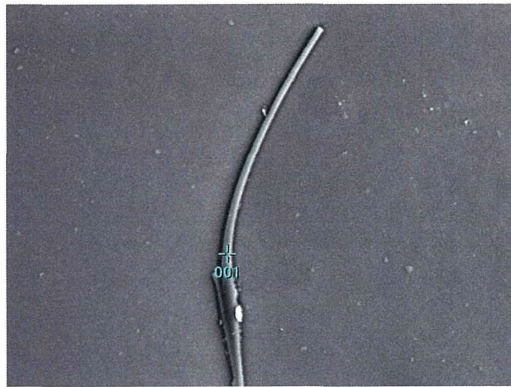


写真5 石膏 (宮城県がれき集積場)



30 μm

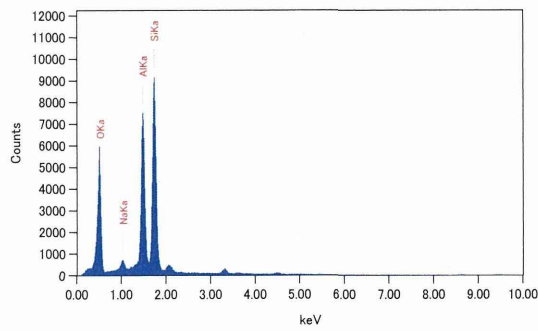


写真6 ロックウール
(千葉県仮設住宅近隣)

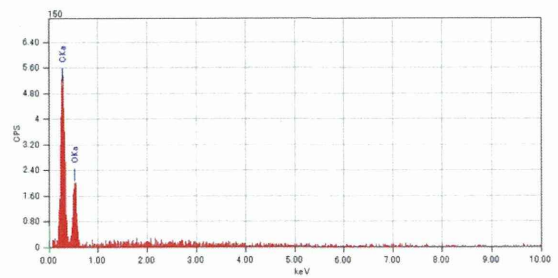
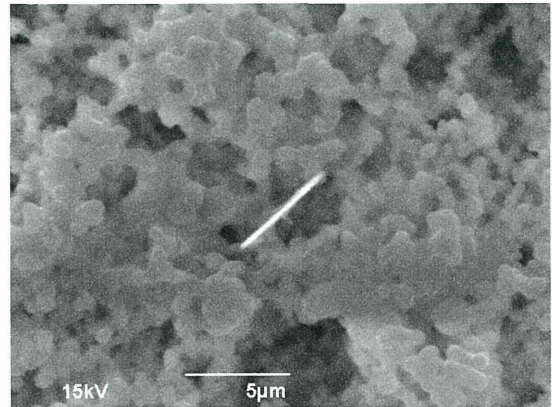
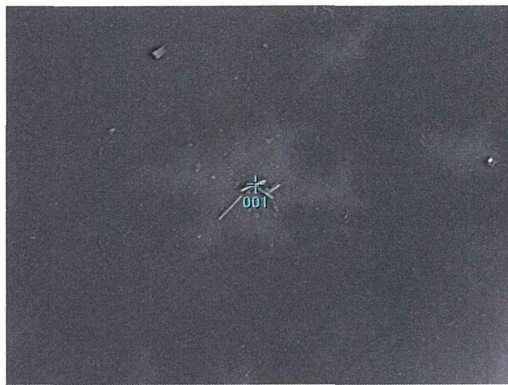


写真8 有機質繊維 (宮城県解体現場A
セキュリティゾーン付近)



30 μm

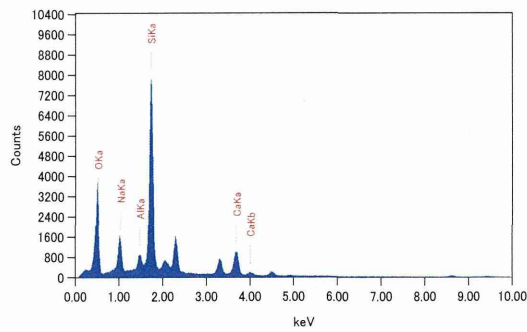


写真7 グラスファイバー (千葉県仮設住宅近隣)

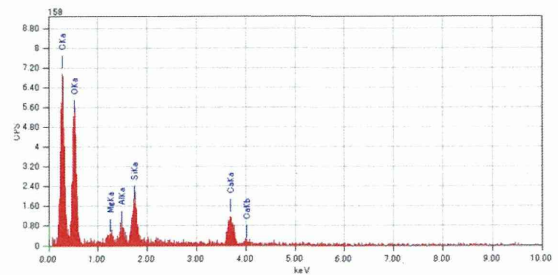
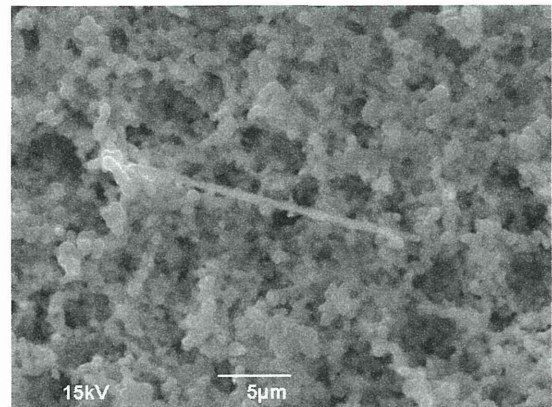


写真9 ロックウール (宮城県解体現場A
:セキュリティゾーン付近)

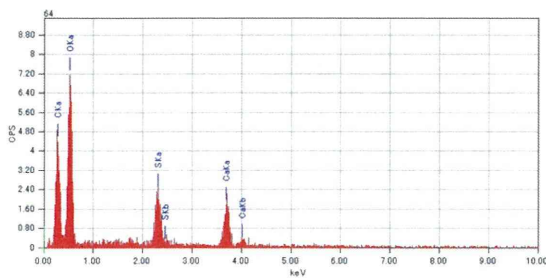
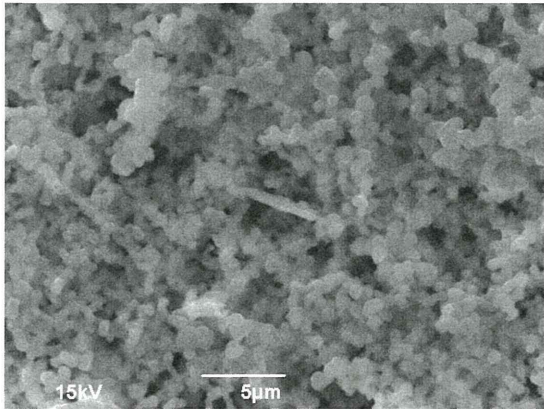


写真 10 石膏（宮城県解体現場 A
：セキュリティゾーン付近）

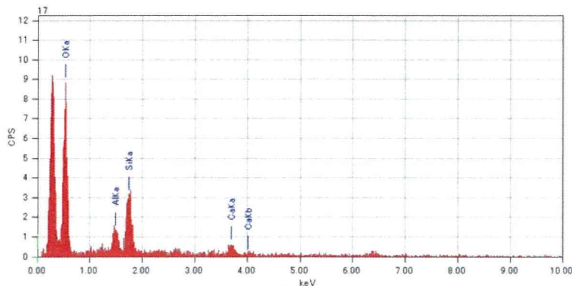
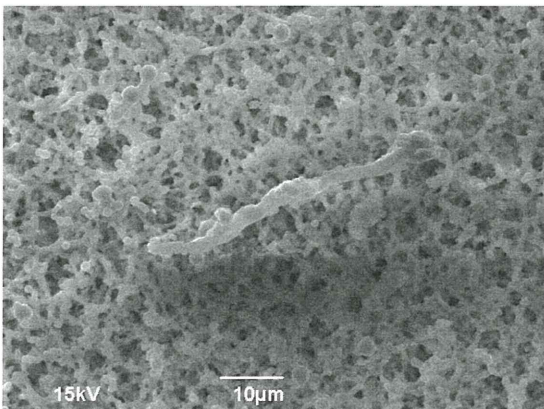


写真 11 ロックウール（宮城県解体現場 B：
集じん排気装置の出口付近）

なお、いくつかのサンプルについて、電子顕微鏡（実験条件表 2）を用いて浮遊繊維状物質の長さとの幅の関係を調べた。その結果を表 3 に示す。

今回の結果より、本研究に使用する代表的な有機質繊維として、成型板の建材の成分であるパルプ、衣服から飛散する繊維として綿、ウールを実験で使用することとした。表 1 で示したとおり、解体現場での標本に多く見られたロックウールを代表サンプルとして使用することとした。なお、アスベストを取扱う作業に使用する保護具の選定の時にアスベストの製品ごとに飛散性を考慮して「各レベル」に分けて示されているが、今回の標本では「レベル 3 相当」の成型板からの飛散と思われる石膏が見られたが、それより飛散性が高い吹付材として使用されていたロックウールは、「レベル 1 相当」であり、ある年代においては、アスベストとロックウールが混合されて吹き付けられていたこともあることから、無機質繊維として「ロックウール」を使用して実験することとした。

表 2 電子顕微鏡の分析条件

使用機器	日本電子 JSM-7600F/JED-2300FtypeN
元素検索領域	${}_{5}B \sim {}_{92}U$ 検出下限：0.1wt%前後
分析条件	加速電圧：15Kv 観察倍率：×1000
撮影倍率	写真に記載
その他	カーボン蒸着

写真 12 に解体現場 1 の電子顕微鏡による繊維状粒子像と同定結果を示した。

無作為に 50 個の繊維状粒子を調べた結果、50 個の繊維状粒子のすべてがアモサイトであった。

図 1 はアモサイトの繊維粒子の長さの分布、図 2 にアモサイトの繊維幅の分布を示した。

図 1 より、アモサイトの長さの平均は $24 \mu\text{m}$ で、繊維幅の平均は $0.6 \mu\text{m}$ であった。

写真 13、14 に解体現場 2 の電子顕微鏡による繊維状粒子像と同定結果を示した。

無作為に 50 個の繊維状粒子を調べた結果、48 個の繊維状粒子が石膏で、2 個の繊維状粒子がアモサイトであった。

図 3 に石膏の繊維状粒子の長さの分布、図 4 に石膏の繊維幅の分布を示した。

図 3、図 4 より、石膏の長さの平均は $9.0 \mu\text{m}$ であり、繊維幅の平均は $0.6 \mu\text{m}$ であった。

写真 15、16 にがれき集積場の電子顕微鏡による繊維状粒子像と同定結果を示した。

無作為に 50 個の繊維状粒子を調べた結果、49 個の繊維状粒子が塩化ナトリウムで、1 個の繊維状粒子が石膏であると判断された。これは石膏繊維の周囲に海水が付着し、塩化ナトリウムの結晶が析出し、繊維状形態を示しているのか、海水そのものから生成した繊維様の塩化ナトリウム結晶なのかは区別がつかない。

また、図 5 は塩化ナトリウム様繊維状粒子の長さの分布、図 6 は、塩化ナトリウム様繊維状粒子の繊維幅の分布を示した。

図 5、図 6 より、塩化ナトリウム様繊維状粒子の長さの平均は $11.2 \mu\text{m}$ であり、繊維幅の平均は $0.7 \mu\text{m}$ であった。

今回の結果から、アモサイトと石膏または塩化ナトリウム様繊維粒子の平均繊維長

を比較すると、石膏の繊維状粒子長に対してアモサイトは 2.7 倍、塩化ナトリウム様繊維粒子に対しても 2.1 倍であり、アモサイトは比較的長い繊維状粒子が飛散していたことがわかった。

しかし、繊維幅に関しては、アモサイト、石膏、塩化ナトリウム様繊維粒子ともに大きな差異は認められず、平均で $0.6 \sim 0.7 \mu\text{m}$ であった。

表 3 電子顕微鏡の同定結果 (詳細)

現場の概要	同定結果 繊維の長さの平均 繊維幅の平均	写真 図 No.
解体現場 1 (宮城県) 集じん排気装置の吹き出し口の出口付近	アモサイト 50 本 $24 \mu\text{m}$ $0.6 \mu\text{m}$	写真 12 図 1、2
解体現場 2 (千葉県) 集じん排気装置の吹き出し口の出口付近	石膏 48 本 $9.0 \mu\text{m}$ $0.6 \mu\text{m}$ アモサイト 2 本 $24 \mu\text{m}$ $0.6 \mu\text{m}$	写真 13 14 図 3、4
がれき集積場 (宮城県)	塩化ナトリウム様 繊維状粒子 49 本 $11.2 \mu\text{m}$ $0.7 \mu\text{m}$ 石膏 1 本 $6.4 \mu\text{m}$ $0.4 \mu\text{m}$	写真 15 16 図 5、6

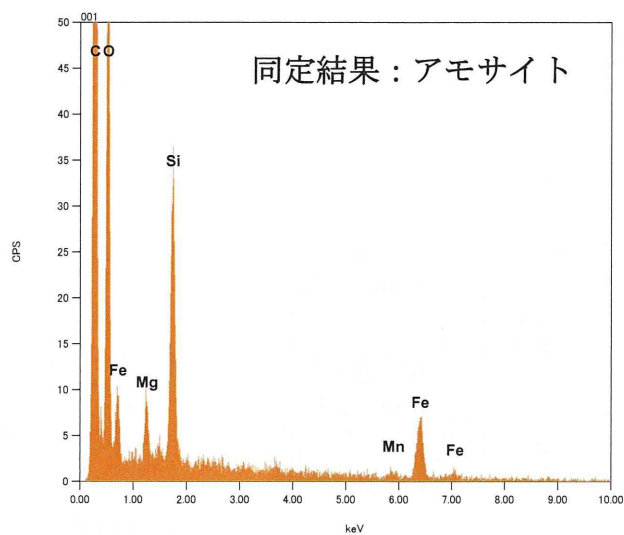


写真 12 解体現場 1 の電子顕微鏡写真と繊維状粒子の同定結果

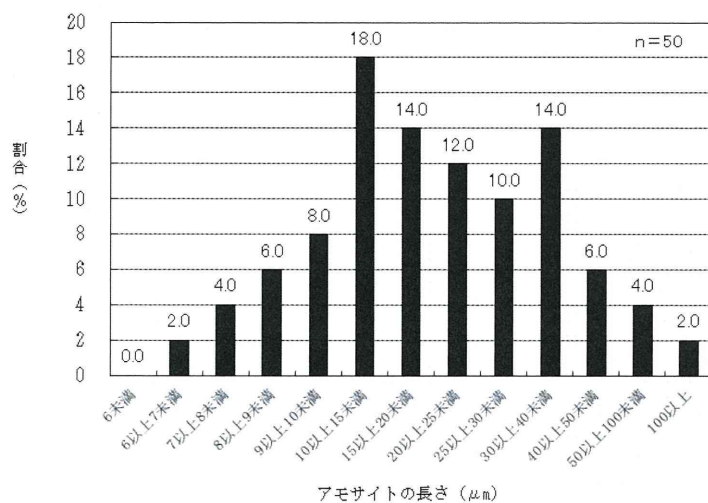


図1 解体現場1で飛散が見られたアモサイトの長さの分布

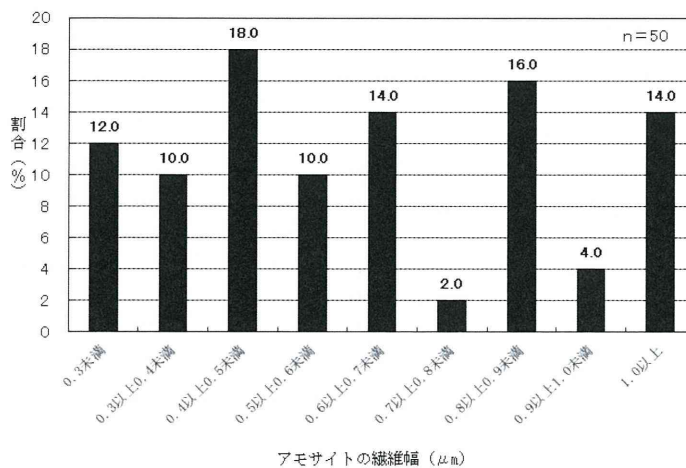


図2 解体現場1で飛散が見られたアモサイトの繊維幅の分布

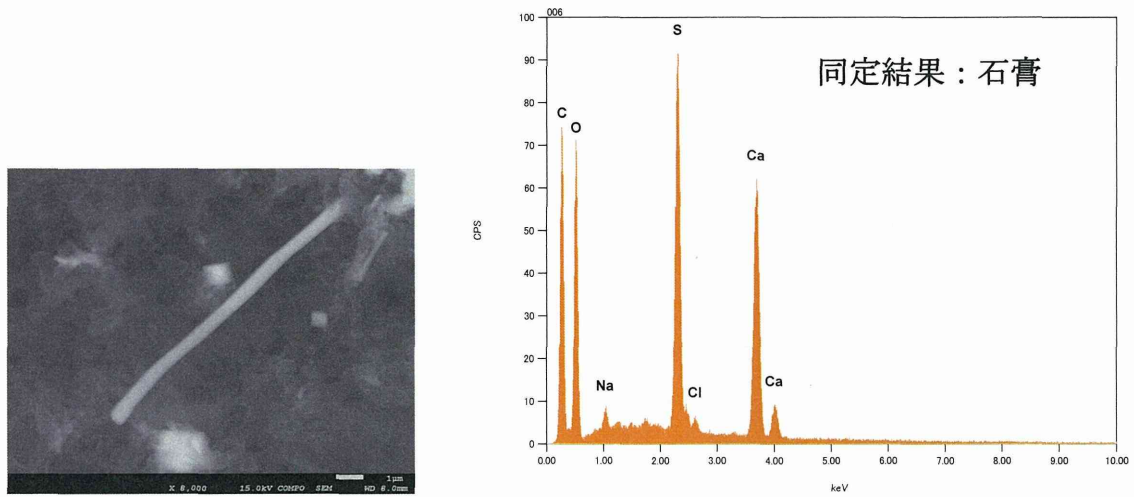


写真 13 解体現場 2 の電子顕微鏡写真と繊維状粒子の同定結果

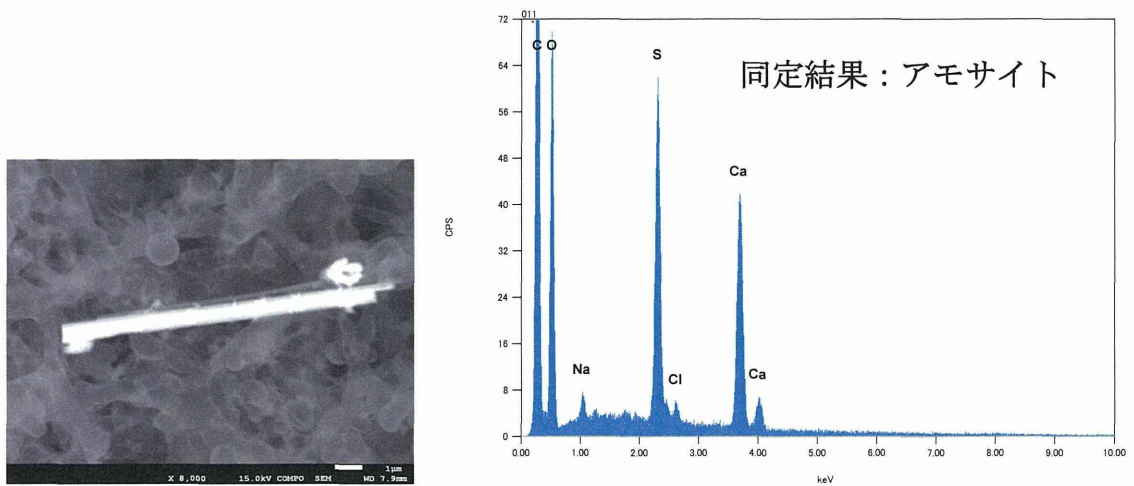


写真 14 解体現場 2 の電子顕微鏡写真と繊維状粒子の同定結果

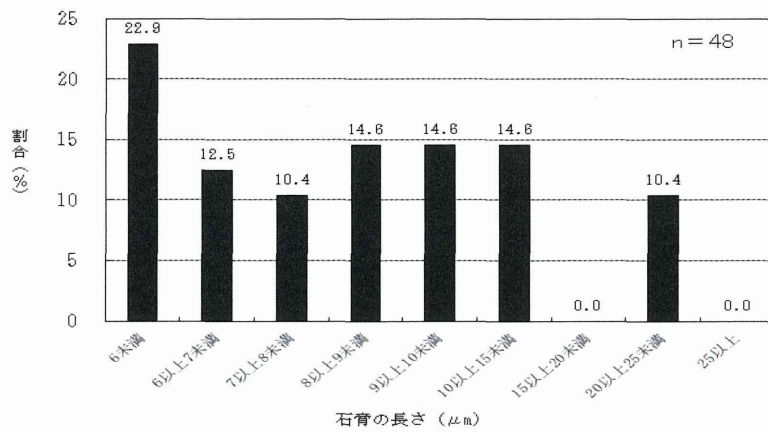


図3 解体現場で飛散していた石膏の繊維の長さの分布

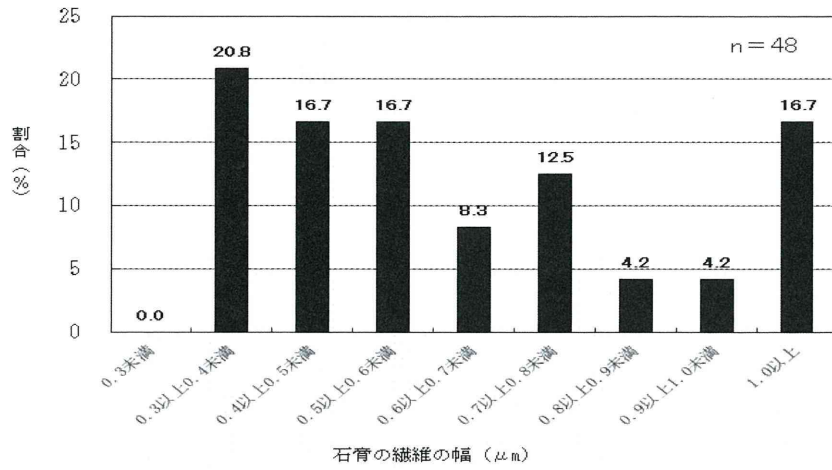


図4 解体現場で飛散していた石膏の繊維の幅の分布

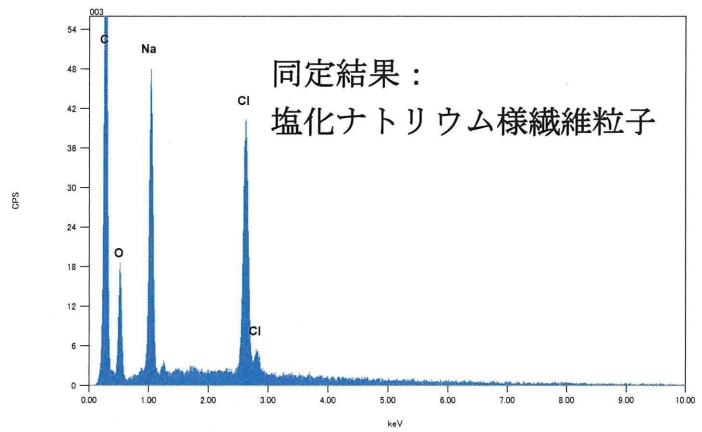


写真15 解体現場3の電子顕微鏡写真と繊維状粒子の同定結果

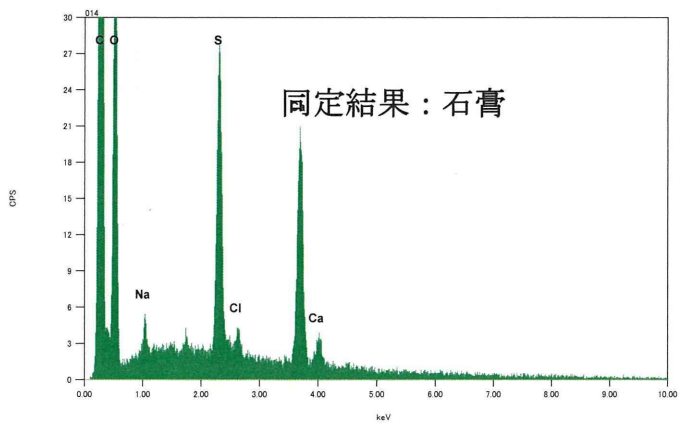


写真16 解体現場3の電子顕微鏡写真と繊維状粒子の同定結果

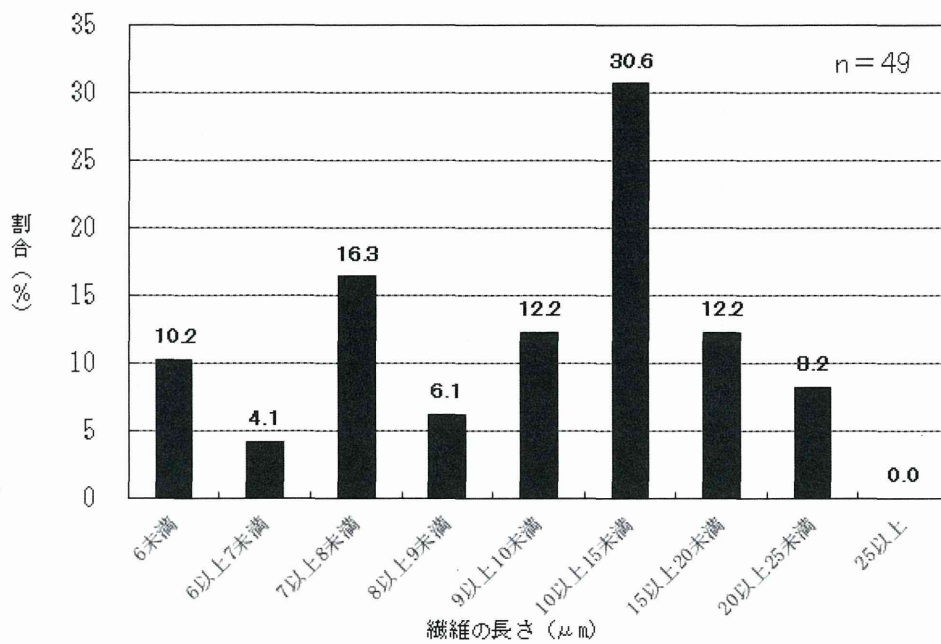


図5 がれき集積場で飛散していた塩化ナトリウム様繊維の長さの分布

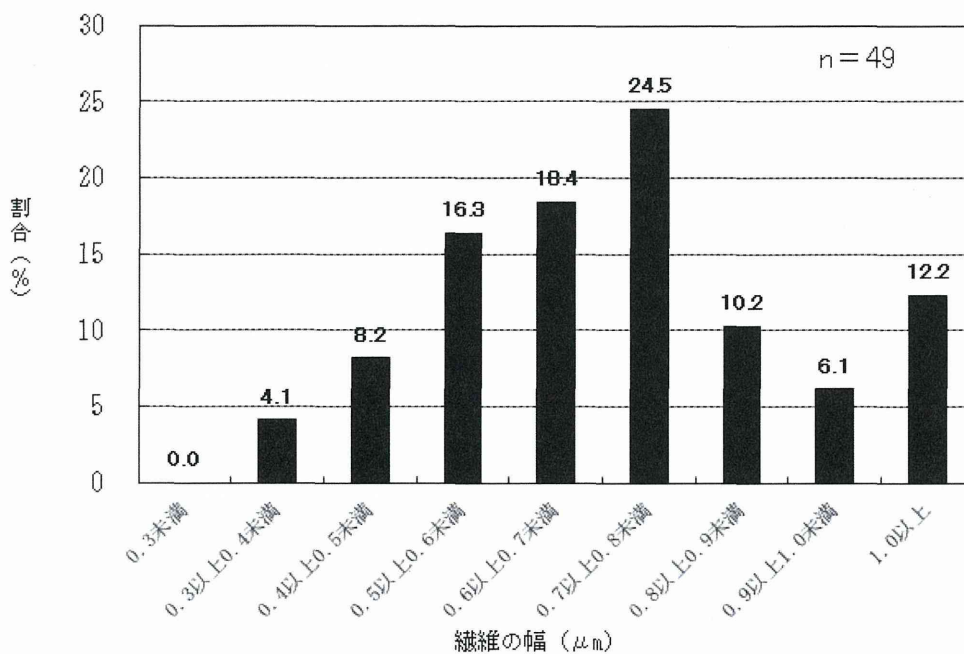


図6 がれき集積場で飛散していた塩化ナトリウム様繊維の幅の分布

Ⅲ. リアルタイムモニターに接続する前処理方法の検討

現在市販されているリアルタイムモニターは、総繊維数濃度としてアスベスト以外の繊維についても計数の判断基準によって繊維状粒子と判断したものについては計測するが、リアルタイムモニターに取り込まれる前に、前処理を行い、アスベスト以外の繊維状粒子を除去することが可能になれば、リアルタイムモニターが示した繊維数濃度は、アスベスト濃度と判断することができる。

アスベスト以外の繊維状粒子としては、有機質繊維と無機質繊維に大きく区分することができる。

平成 24 年度は、有機質繊維の除去方法について検討することとした。

なお、実験施設では、発じんさせる繊維状粒子として有機質繊維等の他にアスベストを使用することから、神奈川県内の石綿等輸入及び使用の許可施設（神奈川県労働局長許可、石綿障害予防規則の第 47 条関係）を使用して実験を行った。

1. 被検繊維状粒子の調整

今回の実験で使用する有機質繊維として、建材製品に混合して使用されているパルプや衣類の繊維として綿（写真 17）、ウール（写真 18）、さらに稲わら（写真 19）を実験用試料として使用することにした。

また無機質繊維として、ロックウール（株日東紡社製）を使用し、アスベストはクリソタイル（ジンバブエ産）を実験用試料として使用することにした。



写真 17 綿



写真 18 ウール



写真 19 稲わら

これらの実験用試料を写真 20 に示す粉碎機（MF10 basic: I K A ジャパン(株)社製）によって 500 μ m 以下に粉碎した試料に調整し実験を行うことにした。

粉碎した試料の概要は写真 21 に示した。



写真 20 粉砕機の概要



写真 21 粉砕した試料

2. 加熱処理における予備実験

有機質繊維を除去する方法は、JISA1481群の「建材製品中のアスベスト含有率測定方法」の分析方法や、JISK3850-1「空気中の繊維状粒子測定方法第1部：光学顕微鏡法及び走査電子顕微鏡法」の分析方法で電気炉等による加熱処理や低温灰化処理装置による除去方法が示されている。

アスベストの種類によっては、比較的熱に強い繊維であるアモサイトやクロシドライトと最も熱に弱いとされるクリソタイルがある。有機質繊維を高温の条件下で燃焼

させてしまえば、有機物を除去することが推測される。しかし高温の条件によっては、クリソタイルは660℃で消失し、800℃でフォーステライトが生成し、1000℃から1500℃でフォーステライトが変性してエンスタタイトの生成が確認されたとの報告がある。あまり高温での処理はアスベスト自身に影響を及ぼすことも考慮すると、最も効果的な方法は有機質繊維を低温灰化処理方法により200℃前後の温度条件下で燃焼させることにより、除去する方法がある。

しかし低温灰化処理装置は、静止試料に対して反応管内を減圧し、真空にして酸素を送り、プラズマを発生させて燃焼させるため、移動被検空気層中の有機質繊維を燃焼させることは困難である。

そこで本検討では移動被検空気相中の有機質繊維を瞬間的に加熱し、繊維を燃焼・消失させる方法を検討することにした。

3. 電気炉を用いた基礎的検討（粉体試料）

有機質繊維等を除去するために、まず電気炉を用いて「1.」で調整した試料を使用して燃焼実験を行った。

この燃焼実験は、電気炉の設定温度を移動被検空気層の空気温度と仮定して実験を行った。

a). 方法

移動空気層に近い条件で実験するため、高温にさらされている時間の短縮化を図ることとした。電気炉が設定温度に達した時に電気炉の扉を開けて、素早く磁製のつぼを入れ、扉を閉める。扉の開閉により若干設定温度より温度が低下するが、再び設定温度に達した時にストップオッチで1分間

計測した。

1分経過後に電気炉から磁製るつぼを取り出した。その後しばらく放冷した後、それぞれの磁製るつぼの重さを秤量し、各温度条件下における試料の質量変化等を確認することにした。

なお設定温度は、450℃、500℃、650℃、700℃とし、有機質繊維は「パルプ」、「綿」を使用し、無機質繊維は「ロックウール」、アスベストは「クリソタイル」を使用し、各試料1回あたり約100mgを秤量して各設定温度で3回繰り返して実験を行った。

b). 結果

表4から表7に電気炉の設定温度別、繊維の種類別の残存率を示した。

また、図7に各種繊維状物質の残存率を示した。

表4から表7、図7より有機質繊維であるパルプ、綿においては設定温度450℃における残存率がそれぞれ78.7%、89.3%であった。設定温度の上昇に伴い残存率は急激に減少し、650℃を超えると約1%まで減少することが認められた。

また、有機質繊維である稲わらは、パルプ、綿と同様に設定温度の上昇に伴い減少する傾向が認められたが、パルプ、綿のような急激な減少は認められず、650℃、700℃でも約30%の残存率が認められた。

一方、無機質繊維であるロックウールについては、450℃から700℃の設定温度においては、99%以上の残存率を示しており、加熱による繊維の減少効果は見込めないものと考えられる。さらにクリソタイルも設定温度が高くなるにつれて、残存率が減少する傾向が見られたが、設定温度が700℃

でも平均94%の残存率が認められた。

クリソタイルの減量は、クリソタイルに含まれるH₂Oの脱水が考えられる。H₂Oが脱水することにより、鉱物である「クリソタイル」が「フォーステライト等」に変化しているものと考えられる。

さらに写真22から写真25に加熱処理後の状況を示した。

写真22、写真23に示したとおり設定温度が450℃、500℃程度では有機質繊維は不完全燃焼しており、磁製るつぼが黒ずんでいることがわかるが、写真24、写真25に示したように設定温度を650℃、700℃とすると完全燃焼に近い状態、磁製るつぼは白く変化していた。

写真26から写真35は、クリソタイルを屈折率($n_D^{25^\circ C}$)1.550の浸液を使用して位相差分散顕微鏡により観察した時の温度別の分散色の変化を総合倍率100倍(接眼レンズ10倍×対物レンズ10倍)と総合倍率400倍(接眼レンズ10倍×対物レンズ40倍)で示したものである。

写真26、写真27は室温におけるジンバブエ産のクリソタイルの分散色である。

クリソタイルの分散色は通常、浸液の屈折率が1.550の時は赤紫色から青色を呈するが、ジンバブエ産のクリソタイルの屈折率は1.550よりも低いため、写真26、写真27で示したように青色を呈することが多い。

写真28から写真35に示したように500℃から700℃へと設定温度が上昇すると分散色は青色から薄青色、白青色に変化した。

温度が上昇すると、ジンバブエ産のクリソタイルの屈折率が高い方向に移行していることが推測される。

設定温度が650℃では分散色が薄青色に

なっており、 H_2O の脱水によりジンバブエ産のクリソタイルから徐々にフォーステライトに変化する過程であると思われる。

しかし、リアルタイムモニターの繊維状粒子としての計測対象の「判断基準」は満たすため、計数上の問題とはならないものと考えた。

写真 36 から写真 45 は、ロックウールを屈折率 ($n_D^{25^\circ C}$) 1.620 の浸液を使用して位相差分散顕微鏡により観察した時の温度別の分散色の変化を総合倍率 100 倍（接眼レンズ 10 倍×対物レンズ 10 倍）と総合倍率 400 倍（接眼レンズ 10 倍×対物レンズ 40 倍）で示したものである。

写真 36、写真 37 は、室温におけるロックウールの分散色で桃色を呈する。

写真 38 から写真 45 に示したように $450^\circ C$ から $700^\circ C$ へと設定温度が上昇すると、ロックウールの分散色は桃色から橙色に変化した。

温度が上昇すると、ロックウールの屈折率が低い方へ移行する傾向が見られた。

しかし、繊維状粒子の形態に変化は見られないことから、加熱による除去効果は見られなかった。

以上のことから、有機質繊維を除去するためには、電気炉の設定温度は最低でも $500^\circ C$ 以上は必要であり、さらに今回実験で使用した稲わらを除去するためには、 $650^\circ C$ 以上は必要であることがわかった。

前述の被災地での浮遊繊維状粒子の測定結果より、実際の被災地で主に被検空気内に浮遊している繊維状粒子は例えば、アモサイトで平均の長さが $24\mu m$ で、 $100\mu m$ 超えは 2% であり、分散した状態であることを考慮すると、今回の実験においては、

使用した試料が $500\mu m$ 以下と比較的長い繊維であり、試料を塊状で加熱していることから、同一濃度でも今回の結果より実際はもっと加熱による除去効果が期待できるものと思われる。

表4 電気炉の設定温度を450℃にした時の残存率

稲わら 回数	るつぼ質 量(mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1回目	16269.8	16369.4	16310.7	99.6	40.9	41.1
2回目	16270.0	16373.0	16321.6	103.0	51.6	50.1
3回目	16270.0	16368.5	16311.1	98.5	41.1	41.7
平均	44.3					
パルプ 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1回目	16548.7	16647.8	16626.5	99.1	77.8	78.5
2回目	16549.5	16649.3	16630.1	99.8	80.6	80.8
3回目	16549.3	16647.1	16624.3	97.8	75.0	76.7
平均	78.7					
綿 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1回目	16338.1	16442.4	16425.7	104.3	87.6	84.0
2回目	16338.5	16436.1	16430.1	97.6	91.6	93.9
3回目	16338.5	16439.7	16429.7	101.2	91.2	90.1
平均	89.3					
ロックール 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1回目	16463.8	16566.0	16565.6	102.2	101.8	99.6
2回目	16463.7	16566.5	16566.8	102.8	103.1	100.3
3回目	16463.7	16568.4	16568.2	104.7	104.5	99.8
平均	99.9					
物質名	クリソタイル					
クリソタイル 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1回目	17088.2	17190.9	17189.5	102.7	101.3	98.6
2回目	17088.0	17188.4	17187.1	100.4	99.1	98.7
3回目	17088.1	17186.9	17185.8	98.8	97.7	98.9
平均	98.7					

表 5 電気炉の設定温度を 500℃にした時の残存率

稲わら 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16269.3	16363.3	16303.8	94.0	34.5	36.7
2 回目	16269.5	16374.0	16308.6	104.5	39.1	37.4
3 回目	16270.0	16370.7	16306.6	100.7	36.6	36.3
平均	36.8					
パルプ 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16548.2	16642.8	16549.9	94.6	1.7	1.8
2 回目	16548.4	16633.6	16550.5	85.2	2.1	2.5
3 回目	16548.8	16647.7	16550.5	98.9	1.7	1.7
平均	1.8					
綿 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16337.6	16436.9	16341.3	99.3	3.7	3.7
2 回目	16337.8	16434.3	16341.5	96.5	3.7	3.8
3 回目	16338.0	16432.3	16343.2	94.3	5.2	5.5
平均	4.4					
ロウケル 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	16463.5	16561.0	16560.0	97.5	96.5	99.0
2 回目	16463.5	16565.3	16564.5	101.8	101.0	99.2
3 回目	16463.8	16563.6	16563.2	99.8	99.4	99.6
平均	99.3					
クリタイル 回数	るつぼ質量 (mg)	るつぼ+試料 (mg)		試料量 (mg)	残さ量 (mg)	残存率 (%)
		加熱処理前	加熱処理後			
1 回目	17087.9	17185.9	17183.8	98.0	95.9	97.9
2 回目	17088.0	17187.6	17185.4	99.6	97.4	97.8
3 回目	17088.1	17187.0	17185.5	98.9	97.4	98.5
平均	98.0					