

## 建材中アスベストの効率的分別と金属分析による含有率測定

齋藤育江\*, 栗田雅行\*, 小縣昭夫\*\*

アスベスト含有建材について、効率の良いセメント除去法及び金属成分を指標としたアスベスト測定法を検討した。その結果、*ぎ酸*、*酢酸*を用いた加温処理等により、99%以上のセメント除去が可能であった。次に、フッ化水素酸及び塩酸によりアスベストを溶解して金属を分析した結果、ナトリウム、マグネシウム、鉄の存在比によりアスベストの種類が同定が可能となった。クリソタイルではマグネシウムを、クロシドライト及びアモサイトでは鉄を指標とした場合、アスベスト含有率の定量下限値はそれぞれ0.05%、0.25%であった。

**キーワード:** 建材, アスベスト, クリソタイル, クロシドライト, アモサイト, イオンクロマトグラフィー, マグネシウム, 鉄, ナトリウム

### はじめに

アスベストは優れた断熱性を有する繊維状の鉱物で、これまでの国内消費量は約1千万 t に上る<sup>1)</sup>。その用途はセメント板や屋根用スレートなどの建材が約9割を占めているが<sup>1)</sup>、アスベスト含有建材を使用した建築物は、今後、2020年～2040年に老朽化による解体のピークを迎えると考えられる。建築物解体時にはアスベスト飛散による健康影響が懸念されることから、解体に際しては建材中のアスベストの有無を確認し、適切な飛散防止対策を取ることが必要となる。現在、日本工業規格（JIS規格）による建材中アスベストの含有率測定法<sup>2)</sup>では、顕微鏡を使用する方法及びX線回折装置を使用する方法が示されているが、本研究では、今後増加が見込まれる建材中アスベスト分析について、汎用の機器を用いた精度の良いスクリーニング法の確立を目的として検討を行った。

検討の手順としては、まず、測定妨害となるセメント成分等を建材から除去し、アスベストを効率良く分別するための前処理方法を検討した。前処理方法については、前述のJIS規格<sup>2)</sup>にも記載されており、処理後の残渣率を15%以下としているが、本研究においては、測定精度をより高めるため、セメントの除去率95%以上を目指した。前処理方法の確立後、金属成分を指標としたアスベスト分析法を検討した。

クリソタイル、クロシドライト及びアモサイトの分子式及び金属成分の含有率<sup>1)</sup>をTable 1に示す。アスベストの種類によって成分を比較すると、クリソタイルではマグネシウムが最も多く、クロシドライト及びアモサイトでは鉄が多い。また、クロシドライトはナトリウムを含有するという特長がある。したがって、建材から分別したアスベストについてナトリウム、マグネシウム及び鉄を分析することにより種類の同定をすることが可能と考えられた。また、建材中のアスベスト含有率については、アスベスト中に多く含まれる金属成分を指標とし、クリソタイルではマグネシウム、クロシドライト及びアモサイトでは鉄を用いて測定が可能と考えられた。

金属の分析にあたっては、蛍光X線分析装置など的高額な機器を使用せず、汎用の機器による分析法の確立を目指し、イオンクロマトグラフィー及び比色法を採用することとして検討を行った。

### 実験方法

#### 1. 試薬

クリソタイル標準試料、クロシドライト標準試料、アモサイト標準試料 以上 X線回折分析・計数分析用 日本作業環境測定協会製、*酢酸*、*ぎ酸*、フッ化水素酸 以上 特

Table 1 Molecular Formula and Percentage Composition (%) of Asbestos<sup>4)</sup> and Cement<sup>5)</sup>

	Chrysotile	Crocidolite	Amosite	Cement
Molecular Formula	Mg <sub>6</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>8</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	(Fe·Mg) <sub>7</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	-
Si	17.3 - 20.5	22.9 - 24.8	22.9 - 24.8	9.7
Al	≤0.40	-	0.53 - 2.4	3.0
Na	-	3.0 - 6.3	-	0.16
Mg	23.4 - 26.4	0 - 1.8	0.6 - 4.2	0.70
Ca	-	-	-	46.0
Fe	0.07 - 7.7	21.0 - 28.0	23.8 - 30.8	3.0

- : not contained

\* 東京都健康安全研究センター環境保健部環境衛生研究科 169-0073 東京都新宿区百人町 3-24-1

\*\* 東京都健康安全研究センター環境保健部

級 和光純薬製, 塩酸, 硝酸 以上 有害金属測定用 和光純薬製, ナトリウム標準溶液, マグネシウム標準溶液, 鉄標準溶液, カルシウム標準液 以上 化学分析用 関東化学製, L-ヒスチジン, 塩化1,10-フェナントロリニウム水和物, 塩化ヒドロキシルアンモニウム, エチレンジアミン四酢酸二ナトリウム (EDTA) 以上 特級 和光純薬製

## 2. 装置

イオンクロマトグラフ: Alliance Waters 2690 Waters製, 電気伝導度検出器: Waters 432 Waters製, サプレッサー: ERIS 1000HP オートサプレッサー Alltech製, 電気炉: Softemp-3FH 田中科学機器製, 水浴: BM-51 ヤマト科学製, 超音波洗浄装置: US-5 井内盛栄堂製, 遠心分離機: H-103NN 国産製, X線回折装置: RINT 2500V 理学電気製

## 3. 実験操作

### 1) イオンクロマトグラフィー及び比色法による金属分析法

ナトリウム, マグネシウム, カルシウムについて, 陽イオンクロマトグラフを用いた分析法を検討した. 分析用カラムにはIC-Pak Cation M/D (3.9×150 mm, Waters製) 及びTSKgel Super IC-Cation (4.6×150 mm, 東ソー製) を用い, サプレッサー使用有り・無しで試料を分析し, クロマトグラムを比較した. 分析用試料にはナトリウム, マグネシウム, 鉄の混合標準溶液 (各10 ppm/10 mM硝酸) 及びクリソタイルの硝酸抽出液 (60°C, 48時間) を超純水で1000倍希釈したものを用いた. 分析条件は, IC-Pak: カラム温度 40°C, 移動相 0.1 mM EDTA/3 mM硝酸, 流速 1 mL/min, TSK-GEL: カラム温度 40°C, 移動相 0.5 mM ヒスチジン/2.5 mM硝酸, 流速 1 mL/minであった. なお, ガラス器具, あるいは汗に由来するナトリウムのブランク増加を防ぐため, 実験に使用する器具類はすべてプラスチック製とし, 試験操作はビニル手袋をはめて行った.

鉄についてはオルトフェナントロリンによる定量法<sup>3)</sup>に準じて比色による測定を行った.

### 2) 有機酸によるセメント除去法

市販のセメントの粉末0.5gを10 mLのプラスチック製試験管に入れ, 20%酢酸または20%ぎ酸10 mLを加えて泡が出なくなるまで攪拌後, 40°Cの水浴中に入れて時々振とうしながら, 加温直後, 15分後, 30分後, 45分後, 1時間後, 1.5時間後, 2時間後, 3時間後に, 試験管から100 µlの溶液を分取し, 蒸留水で希釈して分析用試料とした. 得られた分析結果及び別に求めたセメント中の金属含有量より, 溶出率 (%) を算出した. セメント中の金属含有量は, セメント粉末0.1 gを100 mM硝酸50 mLに入れ40°Cに加温しながら攪拌し, 粉末が完全に溶解したことを確認後, 蒸留水で希釈し, 定量分析して求めた. また, クリソタイル, クロシドライト及びアモサイトについても同様に, 20%酢酸, 20%

ぎ酸中での加温により溶出する金属 (マグネシウム, 鉄) を調査した. なお, アスベストからの金属溶出率 (%) は, 分析結果及びアスベストの標準試料に添付されていた化学分析値より算出した.

### 3) 無機酸によるアスベスト中金属溶出法

クリソタイル及びクロシドライトをそれぞれ4種の無機酸に入れて加温し, 溶出する金属 (ナトリウム, マグネシウム, 鉄) を比較した. 実験はクリソタイル及びクロシドライト10 mgを10 mLのプラスチック製試験管に別々に入れ, フッ化水素酸, 塩酸, 硝酸, 王水 (塩酸:硝酸=3:1) をそれぞれ8 mL加えて水浴中で加温した (60°C, 3時間). その後, 無機酸を円筒形のテフロン容器に分取してホットプレート上で加熱乾固し (140°C), 残渣に10 mM硝酸を加えて10分間超音波処理し分析用試料とした. 得られた分析結果及びアスベストの標準試料に添付されていた化学分析値より金属溶出率 (%) を算出した.

次にクリソタイルを用いて, フッ化水素酸, 塩酸による短時間加温処理及び乾固を組み合わせ, 11通りの処理について, 効率よくクリソタイル中の金属 (マグネシウム, 鉄) を溶出させる方法を検討した.

実験はクリソタイル10 mgを10 mLのプラスチック試験管に入れた後, ①フッ化水素酸 (2 mL 以下同量) 及び塩酸 (2 mL 以下同量) を加えて60°Cで30分加温 (以下加温) 後, 全量をテフロン容器に移して140°Cのホットプレート上で乾固 (以下 乾固), ②フッ化水素酸を加えて加温後, 更に塩酸を加えて加温し乾固, ③フッ化水素酸を加えて加温後に塩酸を加えて乾固, ④フッ化水素酸を加えて加温, 乾固後に塩酸を加えて加温, 乾固, ⑤フッ化水素酸を加えて乾固後に塩酸を加えて加温, 乾固, ⑥フッ化水素酸を加えて乾固後, 塩酸を加えて乾固, ⑦塩酸を加えて加温後, 更にフッ化水素酸を加えて加温し乾固, ⑧塩酸を加えて加温後にフッ化水素酸を加えて乾固, ⑨塩酸を加えて加温, 乾固後にフッ化水素酸を加えて加温, 乾固, ⑩塩酸を加えて乾固後にフッ化水素酸を加えて加温, 乾固, ⑪塩酸を加えて乾固後, フッ化水素酸を加えて乾固 の11通りとした.

乾固後の試料は100 mM硝酸を加えて10分間超音波処理し, 更に蒸留水で希釈して分析用試料とした. 得られた分析結果及びクリソタイル標準試料に添付されていた化学分析値より金属溶出率 (%) を算出した.

### 4) アスベスト含有建材の金属分析

市販のセメントに水道水を加えてスラリー状とし, これにクリソタイル, クロシドライト及びアモサイトのいずれかを加えて混合し, 固まった後にセメント中のアスベスト含有率が, それぞれ0.1%, 1%, 5%, 10%及び15%となる模擬建材を作成した. 模擬建材は有機酸によりセメントを除去した後に, 分別したアスベストから金属 (ナトリウム, マグネシウム, 鉄) を溶出させて定量し, 建材中のアスベスト含有率 (%) と金属濃度 (mg/g) の関連を調査した. 実験操作のフローをFig. 1に示す. 概要は以下のとおりである.

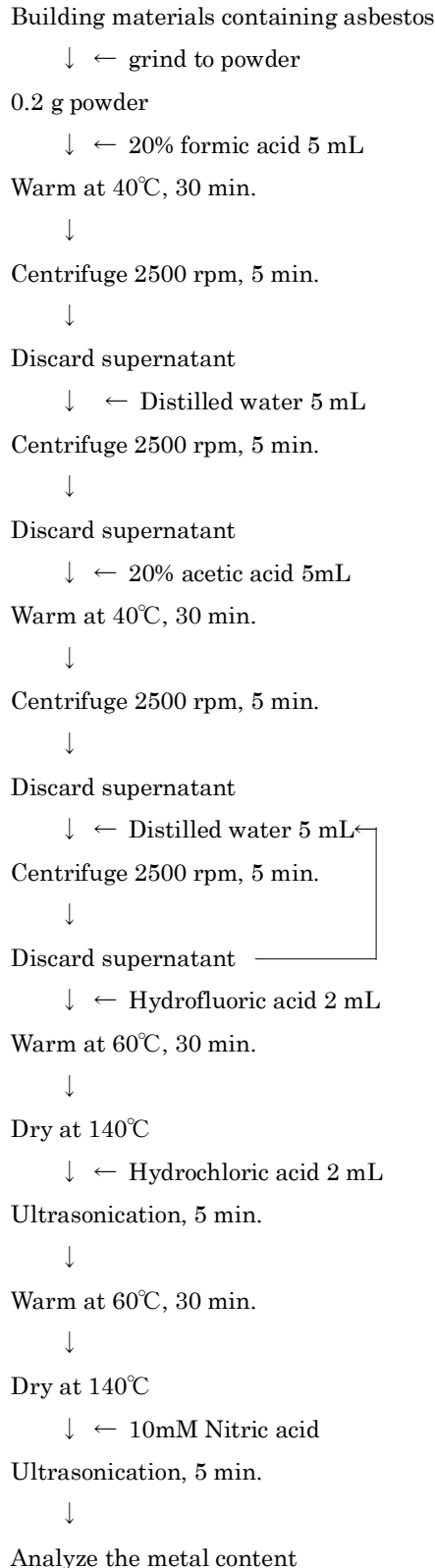


Fig.1 Flow of Asbestos Measurement Procedure

まず、模擬建材を450°Cで3時間加熱後、乳鉢で粉碎し、0.2 gを10 mLのプラスチック製試験管に入れた。これに20%

ぎ酸5 mLを加えて攪拌後、40°C水浴中で30分間加温し（加温中は時々振とう）、遠心分離（2500 rpm, 5分）して上清を捨てた。沈渣に超純水5 mLを加えて混和後、遠心分離して上清を捨てた（水洗）。次に20%酢酸5 mLを加えて攪拌し、40°C水浴中で30分加温し（加温中は時々振とう）、遠心分離して上清を捨てた。その後、水洗操作を2回繰り返した。次に沈渣にフッ化水素酸1 mLを加えて混和後、溶液をテフロン容器に移し、試験管は更に1 mLのフッ化水素酸で洗い込んで、水浴中で加温した（60°C, 30分）。次にホットプレート上で加熱乾固し（140°C）、冷後塩酸2 mLを加えて5分間超音波処理後、再び水浴中で加温した（60°C, 30分）。その後乾固し、10 mM硝酸5 mLを加えて5分間超音波で溶解し、適宜希釈して金属分析用の試料とした。

次に、実際に建築物に使用されていたアスベスト含有建材3種（スレートA、スレートB及びアスベスト板）について、模擬建材と同様の処理を行い、ナトリウム、マグネシウム、鉄を定量し、建材中のアスベストの種類同定及び含有率の測定を行った。なお、同一製品について、次に示すX線回折装置による測定を行い結果を比較した。

#### 5) X線回折装置によるアスベスト含有建材の測定

クリソタイルあるいはアモサイトをそれぞれ5%、10%含有する模擬建材を450°Cで3時間加熱後乳鉢で粉碎し、標準試料を調製した。スレートA、B及びアスベスト板についても同様に450°C3時間の加熱後乳鉢で粉碎し、測定用試料とした。標準試料及び建材試料は1~2 gをX線回折装置測定専用ホルダー上に載せ、上からガラス板で押して表面を平らにし測定した。X線回折装置の測定はJIS規格<sup>2)</sup>に準拠して以下のとおり行った。測定範囲（2θ）：5.0~60.0°、電圧及び電流：30 kV, 50 mA、対陰極：Cu、フィルター：カーボンモノクロメーター、検出器：シンチレーションカウンター、スリット系：受光スリット0.3 mm、発散スリット1°、散乱スリット1°、走査モード：連続、走査スピード：2°/min、ステップ幅：0.01°、走査軸：2θ、回転速度：30.0 rpm

### 結果及び考察

#### 1. イオンクロマトグラフィー及び比色法による金属分析法

イオンクロマトグラフを用いノンサプレッサー条件下、混合標準溶液及びクリソタイルの硝酸抽出液を分析した結果をFig. 2に示す。IC-Pakカラム及びTSKgelカラムにより得られたクロマトグラムを比較すると、各ピークの面積値はほぼ同等であったが、ピーク形状はTSKgelカラムの方がテーリングが少なく良好であった。また、IC-Pakカラムでは、クリソタイル抽出液を分析したクロマトグラムにおいて、ナトリウムと同一の保持時間にケイ素に由来すると考えられるマイナスピークが生じ、ケイ素を含むサンプルの場合はナトリウムの定量ができないと考えられた。一方、TSKgelカラムでは、標準溶液及びクリソタイル抽出液ともに、ナトリウムとカルシウムの間にはマイナスのシステムピークが生じたが、分析の妨害となることはなかった。また、

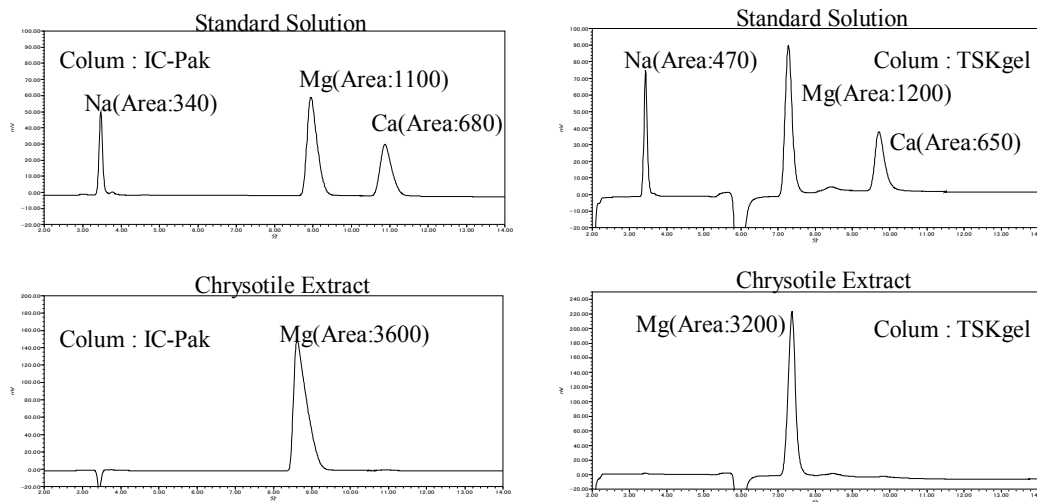


Fig. 2 Chromatogram of Standard Solution and Chrysotile Extract with Nitric Acid

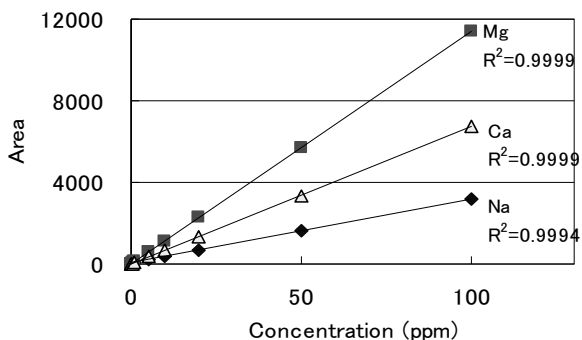


Fig. 3 Calibration Curve of Ion Chromatography

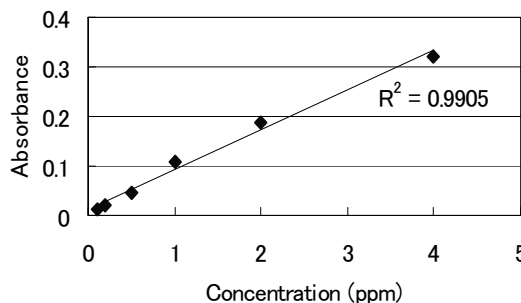


Fig. 4 Calibration Curve of Iron Standard Solution

サブプレッサーを使用すると、いずれのカラムについても、ノンサブプレッサー条件に比べ、ピーク高が80%~20%程度まで低下した。この原因としては、サブプレッサー使用により硝酸イオンが除去され、溶液pHが中性に近づくため、金属イオンの解離度が低下することが考えられた。したがって以降の実験では、分析用カラムにTSKgelを使用し、ノンサブプレッサー条件で分析を行うこととした。次に混合標準溶液を用いて検量線を作成したところ、0.1 ppm~100 ppmの濃度範囲で良好な直線性が得られた (Fig. 3)。

鉄についてはオルトフェナントロリン法により検量線を作成し、0.1 ppm~4 ppmの濃度範囲で良好な検量線が得られた (Fig. 4)。

2. 有機酸によるセメント除去法

20%ぎ酸及び20%酢酸を用いた40°Cの加温処理により、セメントから有機酸中に溶出したマグネシウム、カルシウム、鉄の経時変化をFig. 5に、アスベストから溶出したマグネシウム、鉄の経時変化をFig. 6に示す。セメントの主要成分であるカルシウムは、ぎ酸及び酢酸のいずれにおいても溶出が早く、30分で約80%、1時間で約90%が有機酸中に溶出した。一方、マグネシウム及び鉄については、酢酸よりもぎ酸の方が若干溶出が早い傾向が見られた (Fig. 5)。アスベストについては、クリソタイルからのマグネシウムの

溶出率が、クロシドライト及びアモサイトの鉄よりも大きく、ぎ酸による3時間処理の場合、クロシドライト及びアモサイトからの鉄の溶出率は3%程度であるのに対し、クリソタイルからのマグネシウムの溶出率は18%であった (Fig. 6)。20%ぎ酸及び20%酢酸によるセメント及びクリソタイル中金属の溶解性の違いは、各溶液のpHの違いによるものと考えられ、酸解離定数<sup>6)</sup>及び濃度からpHを算出したところ、20%ぎ酸はpH 1.5、20%酢酸はpH 2.0と求められた。

以上の結果より、アスベストからの金属の溶出を抑えたセメント除去法として、ぎ酸処理、酢酸処理および水洗を組み合わせる方法を考案した。まず、セメントを20%ぎ酸により40°Cで30分加温した後、遠心分離 (2500 rpm, 5分) して上清を捨てた。次に、超純水を加えて混和後、遠心して水を捨てた (水洗)。続いて残渣に20%酢酸を加えて40°Cで30分間加温し、遠心後、水洗を2回繰り返した。ぎ酸処理に続いて酢酸処理を行った主な理由としては、ぎ酸による処理時間をなるべく短くして、クリソタイルからのマグネシウムの溶出を抑えること、また、セメント中のカルシウム除去に関連して、酢酸カルシウムは、ぎ酸カルシウムよりも水に対する溶解度が約4倍大きいことから<sup>5)</sup>、酢酸処理後の水洗によりカルシウムの除去効率を高められることなどが挙げられる。

開発した方法を用いて、セメント粉0.2 gを処理した結

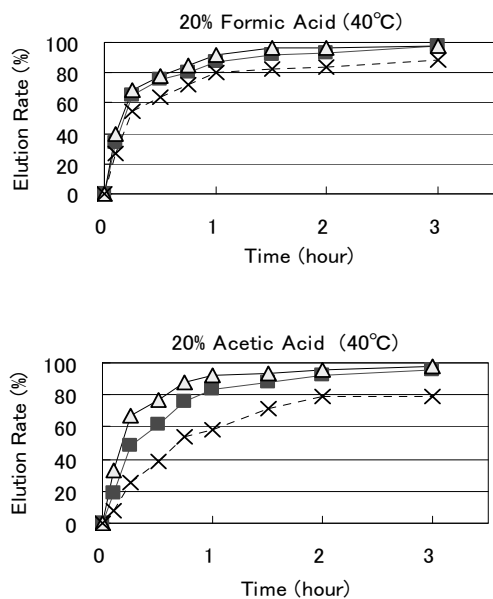


Fig. 5 Elution Rate of Mg, Ca and Fe from Cement to Formic Acid and Acetic Acid

—■— Mg    —△— Ca    --X-- Fe

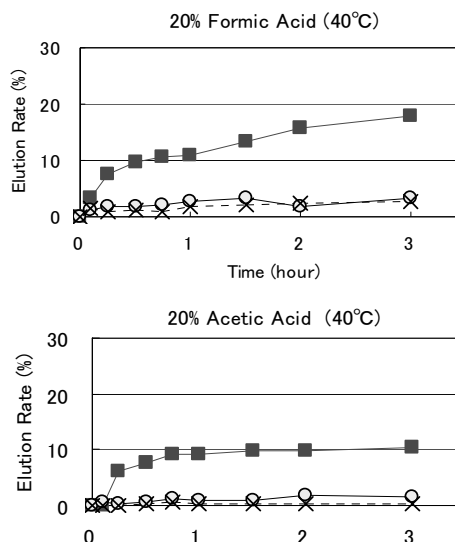


Fig. 6 Elution Rate of Mg from Chrysotile, Fe from Crocidolite and Amosite to Formic Acid and Acetic Acid

—■— Chrysotile/Mg    —○— Crocidolite/Fe  
--X-- Amosite/Fe

Table 2 Elution Rate (%) of Magnesium from Chrysotile and Iron from Crocidolite

	HF	HCl	HNO <sub>3</sub>	HCl : HNO <sub>3</sub> = 3 : 1
Mg from Chrysotile	0.81	78.5	31.1	46.8
Fe from Crocidolite	35.6	5.0	<0.001	2.4

果 (n=5) , セメントから除去された金属成分の割合は, マグネシウム : 99.76% ± 0.03%, カルシウム : 99.99% ± 0.001%, 鉄 : 99.42% ± 0.06%であった. なお, この有機酸処理により損失が予想されるアスベスト中の金属は, クリソタイトのマグネシウムが約17%, クロシドライト及びアモサイトの鉄が約2%と見込まれた.

### 3. 無機酸によるアスベスト中金属溶出法

クリソタイト及びクロシドライトについて, フッ化水素酸, 塩酸, 硝酸, 王水 (塩酸 : 硝酸=3:1) を用いて加温処理 (60°C, 3時間) 後, 乾固し, 10 mM硝酸に溶解して金属 (マグネシウム, 鉄) の溶出率 (%) を測定した結果をTable 2に示す. クリソタイトからのマグネシウムは, 塩酸による溶出率が最も高く (78.5%), クロシドライトからの鉄の溶出については, フッ化水素酸による溶出率が高かった

(35.6%). 加温処理後及び乾固後の試料の状態を目視で観察したところ, フッ化水素酸では加温処理時にアスベスト繊維が見えなくなり, 乾固後に白色の粉末が塊状となって析出した. これは, アスベストの主要成分である二酸化ケイ素 (含有率: 約50%) がフッ化水素酸により溶解して繊維状の構造を失い, 乾固により析出したものと考えられた. これに対し, 他の無機酸では加温後, 乾固後ともにアスベスト繊維が確認された. したがって, フッ化水素酸は

アスベスト繊維を溶解するが, 乾固により析出した塊状残渣を10 mM硝酸に溶解する際には, マグネシウムが溶しなかったと考えられた. 以上の結果より, 比較的溶出率の高かったフッ化水素酸, 塩酸による30分の加温処理及び乾固を組み合わせて, クリソタイトからのマグネシウム, 鉄の溶出法について検討を行った. 結果をTable 3に示す. 11通りの組合せの中でマグネシウム, 鉄ともに90%以上の溶出率が得られたのは, ④フッ化水素酸を加えて加温, 乾固後に塩酸を加えて加温, 乾固する方法であった. この方法が他に比べて溶出率が高かった理由としては, フッ化水素酸による加温処理により, アスベスト繊維が溶解し, 乾固後に塩酸で加温処理することにより金属成分が塩化物を生成して, 10 mM硝酸に溶解し易くなったことが考えられた.

### 5. アスベスト含有建材の金属分析

クリソタイト, クロシドライト及びアモサイトを1%含む模擬建材について, 有機酸によるセメント除去後, 無機酸により溶解し金属分析を行った (n=3). その結果, 模擬建材からのアスベスト回収率はクリソタイト: 83.3% ± 2.7% (マグネシウムより算出), クロシドライト: 75.6% ± 3.7%, アモサイト: 76.9% ± 3.4% (鉄より算出)であった. 次にアスベスト含有率を0.1%~15%まで変化させた模擬建材について有機酸及び無機酸による処理後, 金属分析した

Table 3 Elution Rate (%) of Magnesium and Iron from Chrysotile

Elution Procedure of Chrysotile with Inorganic Acids	Elution Rate (%)	
	Mg	Fe
1. Chrysotile + HF + HCl → 60°C, 30min → dry	4.6	38.2
2. Chrysotile + HF → 60°C, 30min → + HCl → 60°C, 30min → dry	8.1	76.5
3. Chrysotile + HF → 60°C, 30min → + HCl → dry	5.9	35.3
4. Chrysotile + HF → 60°C, 30min → dry → + HCl → 60°C, 30min → dry	98.1	91.2
5. Chrysotile + HF → dry → + HCl → 60°C, 30min → dry	98.4	85.3
6. Chrysotile + HF → dry → + HCl → dry	83.3	86.8
7. Chrysotile + HCl → 60°C, 30min → + HF → 60°C, 30min → dry	4.0	75.0
8. Chrysotile + HCl → 60°C, 30min → + HF → dry	3.7	66.2
9. Chrysotile + HCl → 60°C, 30min → dry → + HF → 60°C, 30min → dry	10.6	39.7
10. Chrysotile + HCl → dry → + HF → 60°C, 30min → dry	15.5	29.4
11. Chrysotile + HCl → dry → + HF → dry	13.4	36.8

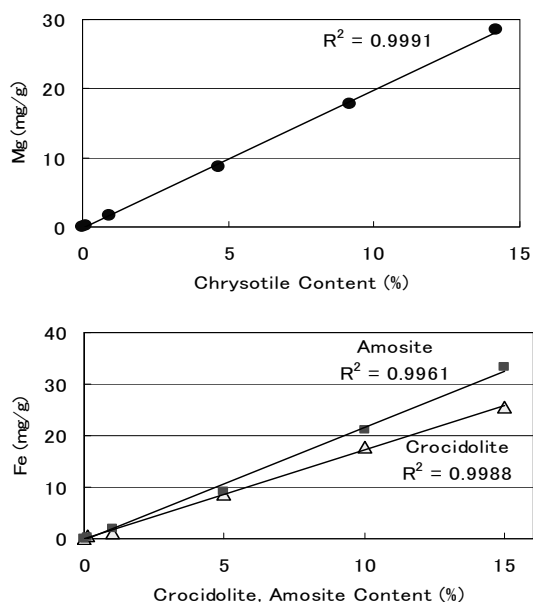


Fig. 7 Calibration Curves of Asbestos Concentration in standard cement

結果をFig. 7に示す。3種のアスベストとも含有率 (%) とマグネシウム及び鉄濃度 (mg/g) との間に良好な直線性がみられた。また、アスベストを含まない模擬建材について同様の操作を行ったところ、セメントのブランク値は

(n=5) マグネシウム:  $16.3 \pm 2.2 \mu\text{g/g}$ , 鉄:  $83.2 \pm 8.9 \mu\text{g/g}$ であった。この値の5倍をアスベスト含有率の定量下限値とすると、クリソタイル: 0.05%相当 (マグネシウムより算出), クロシドライト及びアモサイト: 0.25%相当 (鉄より算出) と求められた。

実際に建築物に使用されていたアスベスト含有建材 (スレートA, スレートB及びアスベスト板) について, 分析により得られた金属量 (金属比) をTable 4に示す (n=3)。スレートA及びBではマグネシウムが多く, アスベスト板では鉄が最も多かった。なお金属比は, 最も量の多い金属を

「1」として算出した。次にTable 1より, 3種のアスベストについて同様の金属比を算出し (Table 5), Table 4と比較した結果, スレートA, Bはクリソタイル, アスベスト板は, アモサイトを含むことが推察された。次に, 各建材中のアスベスト含有率 (n=3) を模擬建材より得られた検量線 (Fig. 7) から算出すると, スレートA:  $9.8\% \pm 0.71\%$ , スレートB:  $8.8\% \pm 0.35\%$ , アスベスト板:  $15.3\% \pm 1.1\%$ と求められた。

## 6. X線回折装置によるアスベスト含有建材の測定

測定の結果, スレートA及びBについては $24.4^\circ$ 付近と $12.1^\circ$ 付近にクリソタイル特有の回折ピークが認められ, クリソタイルを含有すると考えられた。一方, アスベスト板については,  $27.4^\circ$ 付近と $10.7^\circ$ 付近にアモサイト特有の回折ピークが認められ, アモサイトを含有すると考えられ, 金属分析により推定されたアスベストの種類と一致した。また, 標準試料の測定結果を用いてアスベストの含有率を算出したところ, スレートA: 9.5%, スレートB: 9.3%, アスベスト板: 15.5%と求められ, いずれも金属分析より求めた含有率 (スレートA: 9.8%, スレートB: 8.8%, アスベスト板: 15.3%) と良く一致した。

## 7. 金属分析によって測定可能な建材に関する考察

アスベスト含有建材には多種多様な製品が含まれるため, 画一的な分析法の確立は容易ではない。本研究により開発したセメント建材についての測定法は, 石膏 (硫酸カルシウム) を主成分とする建材では, 有機酸により石膏を溶解除去することができないため適用できない。しかし, 炭酸カルシウムを主成分とする建材については, 有機酸処理が有効で適用可能と考えられた。

本研究では, クリソタイル, クロシドライト及びアモサイトの3種について検討を行った。これら以外のアスベストであるトレモライト, アクチノライトでは金属比が前述の3種のアスベストと異なることから<sup>1)</sup>, カルシウムの測定を

Table 4 Metal Concentration (Ratio of Metal Concentration\*) of Building Materials Containing Asbestos after Cement was Removed (mg/g)

	Slate A	Slate B	Asbestos Board
Na	<0.01 (<0.001)	<0.01 (<0.001)	<0.01 (<0.001)
Mg	16.3±1.2 (1)	15.2±1.6 (1)	6.0±0.61 (0.16)
Fe	0.92±0.12 (0.056)	1.4±0.19 (0.092)	37.5±5.6 (1)

\* : The ratio of metal concentration was calculated as, each metal concentration / the highest metal concentration

Table 5 Ratio of Metal Concentration\* of Asbestos Calculated from Table 1

	Chrysotile	Crocidolite	Amosite
Na	<0.001	0.1 - 0.3	<0.001
Mg	1	<0.001 - 0.09	0.02 - 0.2
Fe	0.003 - 0.3	1	1

\* : The ratio of metal concentration was calculated as, each metal concentration / the highest metal concentration

合わせて行うことにより、金属分析による測定が可能と推察された。また、アンフィソライトについては、クリソタイルと類似した金属比を有することから、クリソタイルとの区別が難しいと考えられた。

アスベストの代替物では、ロックウールについて有機酸への溶解性を調査したところ、セメントと同様に有機酸による除去が可能と考えられた。また、グラスウールは有機酸による除去はできないが、マグネシウムや鉄よりもナトリウム含有量が多いという特徴を有するため、金属分析によりアスベストとの識別が可能と考えられた。

### まとめ

アスベスト含有建材からのアスベストの分別法を検討し、金属（ナトリウム、マグネシウム、カルシウム、鉄）を指標としたアスベスト測定法を検討した。その結果、硝酸、酢酸による加温処理（40°C）及び水洗を組み合わせた方法により、セメント成分の99%以上を除去し、建材からアスベストを効率良く分別する方法を確立した。次に分別したアスベストをフッ化水素酸、塩酸による加温処理（60°C）及び乾固を組み合わせた方法により溶解し、金属分析用の試料とする方法を確立した。金属分析はナトリウム、マグネシウム、カルシウムについてはイオンクロマトグラフィーを、鉄についてはオルトフェナントロリン法を用いて行った。次にクリソタイル、クロシドライト及びアモサイトを

を0.1%～15%含有する模擬建材を調製し、ブランク値の5倍よりアスベスト含有率の定量下限値を求めた。その結果、クリソタイルは0.05%相当（マグネシウムより算出）、クロシドライト及びアモサイトは0.25%相当（鉄より算出）と求められた。また、実際に建築物で使用されていた建材3種について、確立した方法によって測定を行った結果は、アスベストの種類、含有率ともにX線回折装置による測定結果と良く一致した。

（本研究の概要は第47回大気環境学会2006年9月20日で発表した）

### 文献

- 1) 環境庁大気保全局企画課：石綿・ゼオライトのすべて、5-32, 1987, 財団法人日本環境衛生センター, 川崎市
- 2) 日本規格協会：JIS A 1481 建材製品中のアスベスト含有率測定方法, 平成20年6月20日
- 3) 日本薬学会：衛生試験法・注解1990, 70, 1995, 金原出版, 東京
- 4) 社団法人セメント協会 規格専門委員会：化学分析用セメント標準試料 証明書 211R ボルトランドセメント, 2004
- 5) 社団法人日本化学会：化学便覧基礎編, II-191, 1988, 丸善株式会社, 東京
- 6) 社団法人日本化学会：化学便覧基礎編, II-343, 1988, 丸善株式会社, 東京

**Asbestos Separation and Content Measurement in Building Materials on the Basis of Metal Analysis**

Ikue SAITO\*, Masayuki KURITA\* and Akio OGATA\*

Efficient asbestos separation from building materials and asbestos content (%) measurements based on metal analysis were developed. When formic acid and acetic acid were used for pre-treatment of building materials, more than 99% of cement was removed from the samples. The separated asbestos was then treated with hydrofluoric acid and hydrochloric acid to dissolve metals. Metals such as sodium and magnesium were analyzed by ion chromatography, whereas iron was analyzed using the *o*-phenanthroline method. On the basis of the ratio of the sodium, magnesium, and iron concentrations, the type of asbestos in the sample could be identified. The detection limits for asbestos content in building materials were 0.05% for chrysotile on the basis of magnesium, and 0.25% for crocidolite and amosite on the basis of iron. When three types of building material were analyzed on the basis of metal weight using the developed method, the types of asbestos detected and their content (%) were similar to the results obtained X-ray diffraction analysis.

**Keywords:** building material, asbestos, chrysotile, crocidolite, amosite, ion chromatography, magnesium, iron, sodium

---

\* Tokyo Metropolitan Institute of Public Health  
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073 Japan