

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550103

研究課題名(和文) アスベスト分解生成物中の硫黄の酸化状態同時分析法の研究

研究課題名(英文) Simultaneous Determination of the Oxidation State of Sulfur in the Asbestos Decomposition

研究代表者

田端 正明 (Tabata, Masaaki)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・客員研究員

研究者番号：40039285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：硫黄と水酸化カルシウムの混合溶液を用いて、ボールミル内での回転攪拌によってアスベスト繊維は99.9%以上分解した。アスベスト分解物中の硫黄化合物の酸化数は反応時間とともに-2から、0、+2、+4、+6と順次増大した。硫黄の酸化数が大きくなると化合物のイオン半径は増大する。従って、結晶層間に貫入した分解剤のイオン半径の増大がアスベスト繊維の結晶破壊をもたらしていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Asbestos fibers decomposed more than 99.9 % by treating asbestos fibers with a solution prepared from sulfur and calcium hydroxide at 150 °C and 0.6Mpa. In order to elucidate the mechanism oxidation state of sulfur compounds was determined by an X-ray absorption near edge structure spectrum (XANES) method. The oxidation state of sulfur gradually changed from -2 to 0, +2, +4 and +6 that depended on the treating time. The ionic radius of sulfur grows big with the oxidation. The results suggest that the sulfur compounds intercalated in asbestos fiber expand the crystal gap, leading to the decomposition of asbestos fiber under continuous mixing.

研究分野：分析化学

キーワード：アスベスト 常温分解 硫黄 酸化状態 XANES

1. 研究開始当初の背景

アスベスト(石綿)は耐熱・耐摩耗性・耐薬品性・電気絶縁性などに優れ、糸や布に織ることができる繊維状の珪酸塩鉱物であるので、奇跡の鉱物と言われ日本国内では、1950年頃から建築材料、自動車のブレーキ部品、製鉄工場など、産業や身の回りで使われてきた。特に日本の高度成長期(1970年)から1990年までは多量のアスベストが輸入された。しかし、アスベストは図1に示すように微細な繊維構造をしており、体内へ吸入されると肺癌や胸膜・腹膜中皮種の症状が起こり、アスベストは静かな時限爆弾となった。2004年にアスベストの輸入・輸出禁止が打ち出されたが、

使用されたアスベストの排出量は毎年100万トンを超え、2020年頃をピークとして2060年以降も続く予想される(環境庁報告書、1996年)東日本大震での現地調査の結果、多くのアスベスト建材が粉々になっていた。「乾燥した日が続けば、いつ飛散してもおかしくはない」と指摘された(2011年4月)。

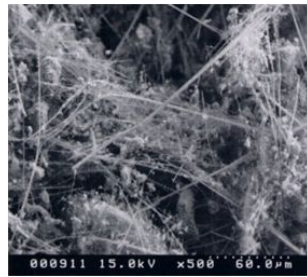


図1. アスベスト繊維の電子顕微鏡写真

アスベスト起因による健康被害を未然に防ぐためには適切なアスベスト処理法が必要となる。現行の処理法は、1500以上の加熱によるアスベストの溶融ガラス化であるので処理費用が高く、普及していない。一方、我々は、硫黄と水酸化カルシウム水溶液を加圧・加温下で製造した溶液をアスベストに加え、常温でボールミル内で攪拌するだけでアスベストが分解することを見出した。この方法は簡単で費用がかからないので、我々のアスベストの常温分解法を普及し、アスベストによる社会不安を一刻も早く除くには、常温分解法の学術的な立証が必要であると考へた。

アスベストの常温分解主な要因はアスベスト繊維に貫入した硫化物イオンが徐々に空気酸化されたためであるとの考へに至った。従って、硫黄の混合物中の酸化状態の分析法の確立が必要である。しかし、硫黄の酸化状態の混合物の分析はクロマトグラフィー法でも困難であった。大谷氏(九州シンクロトロン光研究センター)の協力で、大気をヘリウム置換することにより大気圧下で硫黄の酸化状態の分析が可能となった(分析年会発表、2011)。しかし、大気圧下でのX線吸収端近傍構造(XANES)法による硫黄の酸化状態の分析は今始まったばかりである。建材中に多数含まれている珪酸塩のX線吸収端は硫黄の吸収端に近いのでその妨害や、硫黄

混合物中の硫黄の酸化状態の分析精度は皆無であるので、早急に硫黄の酸化状態同時分析法を確立する研究に着手するに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は次のことを達成することである。多硫化カルシウム溶液を用いて常温でアスベストを99.9%以上分解する。分解処理後のアスベストに含まれる硫黄化合物の酸化状態を分析する。処理過程における硫黄化合物の酸化状態の変化から反応機構を明らかにし、アスベストの分解要因を学術的に立証する。

3. 研究の方法

上記目的達成のために次の方法で研究を実施した。

(1) アスベストの常温分解

多硫化カルシウム溶液の調製。硫黄、水酸化カルシウムを水に懸濁し、放置後その上澄み液を分離した(図2.左)。混合比はアスベスト分解に影響を及ぼしたので、実験結果に応じて混合比を変えた。

アスベストを小型ボールミルポット(直径280mm、回転数45回/min)に取り、多硫化カルシウム溶液を加え、磁球または鋼球と一緒に10時間から125時間回転攪拌した(図2.右)。

一定時間ごとに(5時間単位)反応物を取り出し、風乾した。

(2) 最適分解条件の決定

標準アスベスト及びアスベスト含有建材の種類を変えて、アスベストの分解状態を調べた。初年度は標準アスベスト(クリソタイル、クロシドライト、アモサイト)を用いた。

次年度以降はアスベスト含有建材、吹き付けアスベストやスレート瓦について実験を行った。



図2. アスベスト分解剤(左)とアスベスト分解ボールミル(右)。

多硫化カルシウムの混合割合と組成を変えて、最適処理剤の濃度を決めた。

アスベスト分解における、ボールミルの素材と反応時間の影響を調べた。

(3) アスベストの分解状態の分析

アスベスト分解処理物を対象にして、粉末X線回折法(XRD)によりアスベストに帰属される第一ピークの残存割合を調べた。さらに、屈折率の異なる溶液で染色後、位相差偏光顕微鏡観察により残存するアスベスト繊維の本数を決定した。

(4) 分解生成物の同定

アスベスト繊維の分解前後における形状変化を走査型電子顕微鏡(SEM)により調べた。更に、分解後の生成物を粉末X線回折法によ

り同定した。

(5) アスベスト分解処理物中の硫黄の酸化状態の分析

九州シンクロトロン光施設(佐賀県、鳥栖市)において、軟X線領域(2.0-4.0 keV)で硫黄のXANESスペクトルを電子収量、蛍光収量として測定した。試料はホルダーに塗着させて試料室に設置した。但し、硫黄の軟X線吸収端は空気の影響を受けるので試料室をヘリウムガスで置換した。

液体試料の分析

分解生成物が処理条件によって乾燥されにくくペースト状になったり、液体のままであったりする。また分解剤は液体である。そのような試料はホルダーに直接塗付できないので、硫黄の汚染の少ない透明な袋に入れて、液体状態や固化しにくい状態でもXANESスペクトルを測定できるようにした。

硫黄のXANESスペクトルは硫黄の酸化状態によって異なるので、まず、標準硫黄化合物のXANESスペクトルを測定し、硫黄の酸化状態を決定するための基準とした。次に、アスベスト分解物中の硫黄のXANESスペクトルを測定した。両者のスペクトルの比較により、アスベスト分解物中の硫黄の酸化状態を決定した。

(6) アスベスト分解機構の解明

上記の結果から、最適な常温アスベスト分解条件を決定した。そして、アスベスト分解生成物の同定と硫黄の酸化状態の分析に基づいて、常温アスベスト分解の反応機構を明らかにした。

4. 研究成果

(1) アスベストの常温分解

アスベスト分解液を次の組成割合で製造した。

アスベスト分解剤の製造

アスベスト分解剤は硫黄と水酸化カルシウムを混合して製造するが、飛灰を原料としても製造することができた。この場合は、飛灰中の重金属イオンは不溶化され沈殿するので、飛灰処理を同時に実施できる長所を有する。表1に配合割合を示す。

純石綿の分解と処理時間

アスベスト分解剤を3倍に希釈し、純度99%の純石綿(クリソタイル、クロシドライト、アモサイト)を10時間、30時間処理した。粉末X回折、および分散染色・偏光顕微鏡法により、処理後のアスベスト含有量は0.1%以下となった。その結果をクリソタイルについて図3に示す。標準クリソタイルの第1ピーク12.1°と第2ピーク24.4°(2θ, CuKα)が消失し、カルサイトと硫黄のピーク

表1. アスベスト分解剤の配合割合(kg)

Fly Ash	Sulfur	Ca(OH) ₂	Water	Reaction /min.
0	1.4	0.9	10	0
1	0.2	0.1	10	120
1	0.2	0.1	10	60

クリソタイル

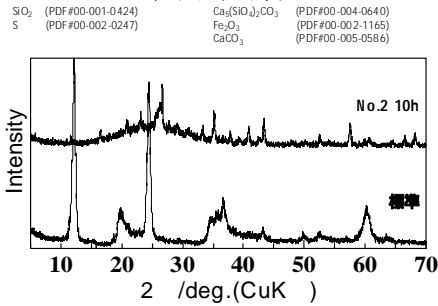


図3. 標準クリソタイル(99%含有)の処理前後の粉末X線回折。第1、第2ピークは分解によってほとんど消失。



図4. クリソタイルの処理前(左)後(右)の分散染色・偏光顕微鏡写真。処理後アスベスト含有率は0.1%以下。

が新たに出現した。クロシドライト、アモサイトも同様であった。処理後の分散染色・偏光顕微鏡法による残存するアスベスト含有量は1%以下であった(図4)。

アスベスト含有建材の常温分解

青石綿(クロシドライト)、白石綿(クリソタイル)の分解実験を行った。アスベスト分解剤(IPS)を水で3倍希釈後、アスベストの重量の3倍になるように加えた。ボールミル(内径280mm)で回転攪拌(45rpm)した。回転攪拌後のアスベストの含有量を分散染色・偏光顕微鏡法で求めた。結果を表2に示す。分解剤を加え、10時間攪拌処理することによってアスベスト繊維は劇的に減少した(青石綿、34% 1.5%、白石綿、9.5% 0.5%)。白石綿は30時間で含有量は0.1%以下になった。一方、青石綿中のクロシドライトは50時間

表2. 吹付アスベスト建材中の青石綿、白石綿の分解後のアスベスト残存率

試料 / 処理時間	分解後 残存率/%	分解後 3ヶ月養生 残存率/%
青石綿		
(クロシドライト、34%含有)	-	-
10 h	1.5	0.1 以下
30 h	1.4	-
50 h	1.2	-
白石綿		
(クリソタイル、9.6%含有)	-	-
10 h	0.5	0.1 以下
30 h	0.1 以下	-
50 h	0.1 以下	-

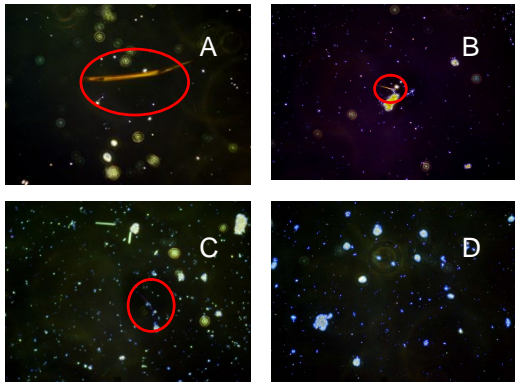


図5. 分散染色・偏光顕微鏡法による石綿のアスベスト残存率。(A)標準クロシドライト、(B)青石綿、10h 処理、1.5%、(c) 白石綿 10h 処理、0.5%、(D)青石綿、10h 処理 + 3ヶ月養生、0.1% 以下。表2 参照。

撈拌回転後も 0.1%以上の含有量であった。しかし、白石綿、青石綿いずれも 10 時間反応後、3 ヶ月養生するとアスベスト繊維の含有率は 0.1%以下になった。図5,6に青石綿と白石綿の分解処理後の分散染色・偏光顕微鏡法の画像と X 線粉末解析の結果を示す。分解後養生によってクロシドライトは消失した。

分解生成物の同定

粉末 X 線の測定から、アスベストの常温分解によってアスベストに起因するピークは消失した。代わりに、硫黄、カルサイト、硫酸カルシウムが生成した。

(2) アスベスト分解処理物の硫黄の酸化状態の分析

アスベスト分解剤は、硫黄と水酸化カルシウムを混合し、150、0.6 MPa で製造した。分解剤中の硫黄の溶存状態を解明するために、硫黄の軟 X 線領域での X 線吸収端近傍構造 (XANES) スペクトルを測定した。

アスベスト分解過程での硫黄の酸化状態
硫黄は酸化状態に応じて特有なスペクトルを与える。標準硫黄化合物、S, CaS₂O₃, CaSO₃, CaSO₄ の XANES スペクトルを図7(上)に示す。硫黄化合物中の硫黄原子の吸収端エネルギーは、S = 2471.3 eV, Na₂S₂O₃ = 2470.5, 2477.8,

青石綿磁球 長期湿潤養生 → 酢酸アンモニウム処理

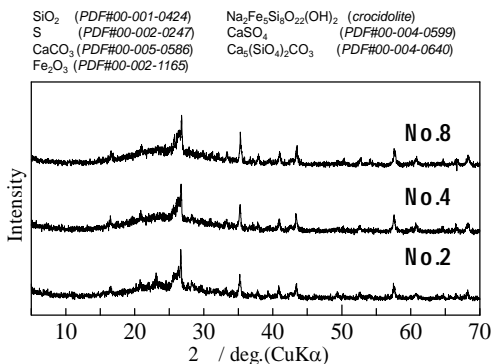
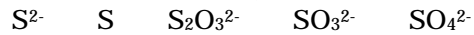


図6. 青石綿の処理後の粉末 X 線回折。

2479.8 eV, CaSO₃ = 2477.1, 2479.6 eV, CaSO₄ = 2481.2 eV であった。Na₂S₂O₃ は複数の吸収端エネルギーを示すので、二つの硫黄原子の酸化状態は異なっていると考えられる。白石綿の分解時間毎の XANES スペクトルは図7(下)に示すようになった。分解時間とともに硫黄の吸収端スペクトルは高エネルギー側にシフトした。即ち硫黄は分解時間とともに次のように酸化された。



分解処理剤中の硫黄の酸化状態

分解剤中には硫黄が含まれているので、分解剤の XANES スペクトルを測定した。硫化カルシウム(CaS)と考えていたが、Na₂S とは異なったピークを示した。むしろ硫黄に近い状態である。溶液の動的光散乱スペクトルを測定すると、溶液中の硫黄化合物の電荷は-97.4 mV で、負の電荷が大きく、平均サイズは数マイクロメートルもあることが分かった。溶液は透明であるので、水に可溶性大きな陰イオン高分子である。従って、アスベスト分解剤を水溶性硫黄高分子電解質と命名した (Inorganic Polymer Sulfide, IPS と略)。

(3) アスベスト建材の分解処理前後 SEM 画像

標準アスベスト (純綿) およびアスベスト含有建材中のアスベスト繊維の走査型電子顕微鏡(SEM)画像により、アスベスト繊維の分解前後の状態を確認した。分解処理によって、小さなアスベスト繊維は分解し周りの大きな塊に集まっている。しかし、束になっている繊維の箇所は分解後も集まっているように見える。いずれも処理によって分解し、結晶性が崩れ固まっていることが分かった。青石綿、白石綿も同様であった。固まっているのは硫黄と考えられる。

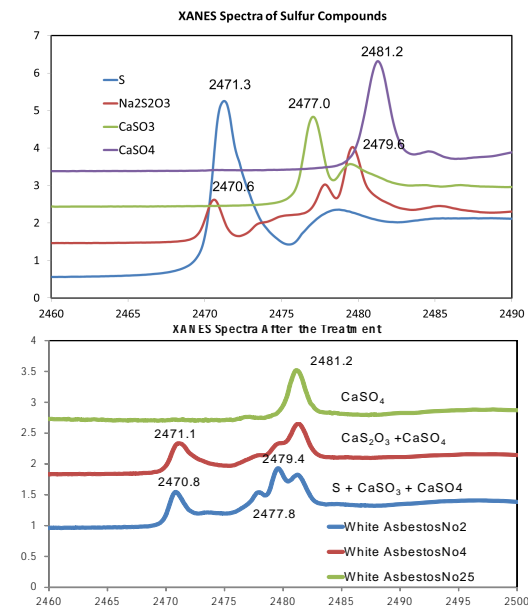


図7. 硫黄標準化合物の XANES スペクトル (上) とアスベスト分解過程における硫黄の酸化状態(下)の変化。

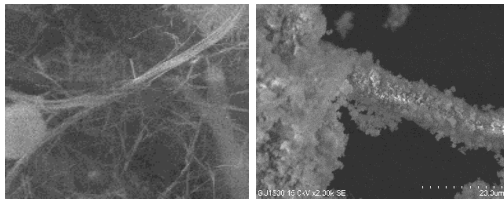
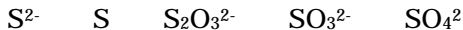


図 8. セピオライト(2%含有)の分解処理前(左)後(右)のSEM画像

(4) アスベスト分解機構

硫黄と水酸化カルシウムの水溶液の加圧・加熱によって得られたアスベスト分解剤は、XANES スペクトル、および動的光散乱法の測定より、水溶性の硫黄高分子陰イオンの溶液である。この溶液でアスベストを処理すると、粉末 X 線回折で明らかのようにアスベスト繊維に帰属される構造は消失した。代りに、硫黄とカルサイトが生成した。また、分散染色・偏光顕微鏡法でも、分解処理物にはアスベスト繊維に帰属される偏光性を示す画像は観察されなかった(図 4,5)。同様に SEM 画像からも処理物には針状のアスベスト繊維は無くなり、周りの大きな塊と一緒に固形化していることが分かった(図 8)。処理物に見られる棒状の塊は、束になったアスベスト繊維が分解後固形化したものである。分解処理過程における硫黄の酸化数は分解時間ともに大きくなり、長時間の処理では CaSO_4 となった。即ち、次のように変化した。



硫黄の酸化が進むと硫黄化合物のイオン半径は著しく増大する(R. D Shannon, Acta Crystal, 1976 A32, 751-767)。例えば、 S^{2-} (1.70 Å), SO_4^{2-} (2.44Å)である。

アスベスト繊維にアスベスト分解剤を加え密閉攪拌すると、アスベスト繊維の間隙に分解剤が浸透し、貫入した硫黄化合物は徐々に酸化された。高酸化数の硫黄化合物はイオン半径が大きいため、アスベスト繊維の結晶構造は歪むと考えられる。歪んだアスベスト繊維は長時間の攪拌によって分解する。分解したアスベスト繊維は硫黄と一緒に塊となる。攪拌せずに分解剤を加えて長期間放置すると、アスベスト繊維の含有率は減少する。しかし、攪拌しないと建材中のアスベストの含有率は 0.1%以下にならない。アスベスト繊維の結晶破壊は岩石の風化現象と類似と考えられる。

(5) 研究成果の国内外の位置づけ

アスベストおよびアスベスト含有建材の輸入・輸出は禁止されているが、アスベスト含有建材は国内でも一億トンのアスベスト建材が残っている。一方ではまだアスベストの規制はなされていない開発途上国もある。アスベストを分解し無害化することは、アスベスト被害の拡大を防ぎ、安全な社会構築には欠かせない課題である。国内では、飛散性の吹付アスベストについては 1500 での熔融処理が実施されているが、スレートなど非飛散性アスベスト含有建築材は埋設されているだけである。我々の常温アスベスト分解

法は、飛散性アスベストと非飛散性アスベスト含有建材の両方に適応可能であり、世界でも例がない分解法である。しかも分解が、処理剤中の硫黄がアスベストの結晶間隙に貫入し、処理過程での酸化によってイオン半径が増大し、結晶が歪むために起きるというユニークな現象である。本研究によって反応過程における硫黄の酸化状態の分析によってこのような機構を明らかにすることができた。本研究成果は社会的に強いインパクトを与えるアスベストの分解法へと発展して行くものと期待している。本分析法は、更に廃棄物処理場における硫化水素の発生の危険性の予測法としても発展が期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

1. Shogo Sakita, Jun Nishimoto, Kazuyuki Nishimura, Survey on characteristics of leachate pond in an offshore municipal solid waste disposal site, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, in press, 2015. 査読有 10.1007/s10163-014-0343-x
2. Masaaki Tabata, Akifumi Shono, Abdul Ghaffar, The Reuse of Supernatant after Heavy Metal Treatment in Fly Ash for Decomposition of Asbestos, Proceedings of the 2nd 3R International Conference, 69-72, 2015. 査読有
3. Abdul Ghaffar, Masaaki Tabata, Azhar Mashiatullah, Two-Phase Dechlorination/Detoxification of Lindane (Hexachlorocyclohexane) *Advances in Environmental Chemistry*, 1-7, 2014. 査読有 10.1155/2014/792680
4. Abdul Ghaffar, Masaaki Tabata, Azhar Mashiatullah, Abdulaziz S. Alaamer, Efficient DDT and trichlorophenol detoxification using NaBH_4 and Devarda alloy, *Environmental Chemistry Letters*, 11, 197-202, 2013. 査読有 10.1007/s10311-012-0397-8
5. Masaaki Tabata, Abdul Ghaffar, Akifumi Shono and Keiichi Notomi Detoxification of PCDDs, PCDFs, and Co-PCBs in fly ash by using calcium polysulfide, *Waste Management*, 33, 356-362, 2013. 査読有 10.1076/j.wassman.2012.10.019
6. Abdul Ghaffar, Masaaki Tabata, Farhana Mazher, Azhar Mashiatullah High dechlorination of PCBs catalysed by carbon under mild conditions, *Environmental Chemistry Letters*, 10, 171-176, 2012. 査読有 10.1007/s10311-011-0339-x
7. Abdul Ghaffar, Masaaki Tabata An Innovative Method for High Detoxification of DDT and TCP in Environment, *Environmental Chemistry Letters*, 10, 171-176, 2012. 査読有 10.1007/s10311-011-0339-x
8. Nanda Gunawardhana, Shingo Homi and Masaaki Tabata Efficient DNA Cleavage Induced by Rh(III)TMpyP5⁺ in the Presence of Ascorbic Acid. *International J. Chemistry*, 4, 42-51, 2012. 査読有 10.5539/ijc.v4n3p42
9. Md. Shahjahan Kutubi, Masaaki Tabata

Direct measurement of equilibrium constants for water-soluble porphyrin with copper(II) and cobalt(II) by differential pulse anodic stripping voltammetry (DPSAV), *J. Porphyrins and Phtahalocyanines*, 16, 235-243, 2012. 査読有
10.1142/S1088424612004550

10. Midori Yasuda, Chika Matsuda, Ayumi Ohshiro, Kuniyo Inouye, Masaaki Tabata
Effects of metal ions (Cu^{2+} , Fe^{2+} and Fe^{3+}) on HPLC analysis of catechins, *Food Chemistry*, 133, 518-525, 2012. 査読有
10.1016/j.foodchem.2012.01.018
11. Abdul Ghaffar, Masaaki Tabata, Farhana Mazher, Azhar Mashiattullah,
Catalytic dechlorination of polychlorinated biphenyls on activated carbon, *Current Catalysis*, 1, 14-18, 2012. 査読有
2211-5447/11

[学会発表] (計 21 件)

1. Masaaki Tabata, Akifumi Shono and Abdul Ghaffar,
The Reuse of Supernatant after Heavy Metal Treatment in Fly Ash for Decomposition of Asbestos, Proceedings of the 2nd 3R International Conference, May, 21-23, 2015, Daejeon, Korea.
2. Masaaki Tabata and Nanda Gunawardhana
Decomposition of Asbestos at Room Temperature by Using Calcium Polysulfide Conference on Sri Lanka and Japan Collaborative Research-2014. December 15, 2014, Peradenyia, Sri Lanka
3. MASAACKI, Tabata, AKIFUMI, Shono
Decomposition of asbestos by using an insolubilization agent of heavy metals under room temperature
日本化学会第 95 年会、2015 年 3 月 26 日 ~ 29 日、日本大学 船橋、千葉
4. 田端 正明、庄野 章文
飛灰処理残渣液を用いる重金属不溶化とアスベスト分解に関する研究
第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2014 年 9 月 15 日 ~ 9 月 17 日、広島工業大学、広島
5. 西本 潤、古賀 正輝、松原 賢、田端 正明
2012 年度と 2013 年度の夏と冬における有明海の海水中の溶存態鉄、全鉄、全マンガンの挙動
日本分析化学第 63 年会、2014 年 9 月 17 日 ~ 19 日、広島大学
6. Masaaki Tabata, Nanda Gunawardhana
DNA Cleavage by Porphyrins and Metalloporphyrins
Conference on Sri Lanka and Japan Collaborative Research-2013. March 29-31, 2013, Peradenyia, Sri Lanka
7. 田端 正明、西本 潤、岡島 敏浩
有明海底泥中の硫黄化合物の酸化状態直接分析
日本分析化学会第 62 年会、2013 年 9 月 10 日 ~ 12 日、近畿大学
8. Masaaki Tabata, Jun Nishimoto, Toshihiro Okajima
Determination of Oxidation States of Sulfur in Solid Samples
ASIANALYSIS XII、2013 年 8 月 22 日 ~ 24 日、Fukuoka, Japan
9. 田端 正明、庄野 章文
化学的処理による常温アスト無害化法の研究
2012 年日本化学会西日本大会、2012 年、11

- 月 10 日 ~ 11 日、佐賀大学
10. 田端 正明、庄野 章文、納富 啓一
アスベスト繊維の常温分解法における生成物と分解反応機構
日本化学会第 92 年会、2012 年 3 月 25 日 ~ 28 日、慶應大学、日吉、東京
 11. 田端 正明、庄野 章文
スレート建材中のアスベストの常温分解法の研究
第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2012 年 10 月 22 日 ~ 24 日、仙台国際センター、仙台
 12. 田端 正明、岡島 敏浩
アスベスト常温分解生成物における硫黄の酸化状態同時分析
日本分析化学会第 61 年会 2012 年 9 月 19 日 ~ 21 日、金沢大学
第 72 回分析化学討論会、2012 年 5 月 19 日 ~ 20 日、鹿児島大学
 13. 西本 潤、綿貫 岳人、田端 正明
原子吸光法による硝酸をマトリックスモデファイヤーとして添加した海水中の微量鉄の定量法
第 72 回分析化学討論会、2012 年 5 月 19 日 ~ 20 日、鹿児島大学
 14. 安田 みどり、田端 正明
カテキンの HPLC 分析に与える金属イオンの影響
第 72 回分析化学討論会、2012 年 5 月 19 日 ~ 20 日、鹿児島大学

[図書] (計 1 件)

1. 田端 正明
反射炉跡出土遺物の分析
レンガ・鉄滓の蛍光 X 線分析
「幕末佐賀の科学技術」、岩田書院、印刷中、2015.

[産業財産権]

出願状況 (計 1 件)

名称: 処理剤
発明者: 田端 正明
権利者: 田端 正明
種類: 特願
番号: 特願 2012-207082
出願年月日: 2014 年 09 月 20 日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田端 正明 (Tabata Masaaki)
佐賀大学・工学系研究科・客員研究員
研究者番号: 40039285

(2) 研究分担者

西本 潤 (Nishimoto Jun)
県立広島大学・生命環境学部・准教授
研究者番号: 80253582