

廃棄建材表面の石綿の可視化による迅速検出・画像解析法の開発と現場実証

佐賀大学 工学部 理工学科化学部門
特任教授 田端正明

2024年12月3日

新技術の目的と目標

- 石綿（アスベスト）による健康被害を防止し、廃棄建材の処理とリサイクルの効率を高める。
- 災害地や解体現場で廃棄される建材中のアスベストを**迅速・簡単・低コスト**で検出する。

社会状況・ 研究開発の背景

- 頻発する災害と日常的な建物の解体で多量の石綿含有廃棄建材が排出
- 環境省は解体前に石綿含有の事前調査・報告を義務化(2023年度より)
- **現場での石綿検出が欠かせない**



仮置場



廃棄物混載現場



建物解体現場

新技術の概要

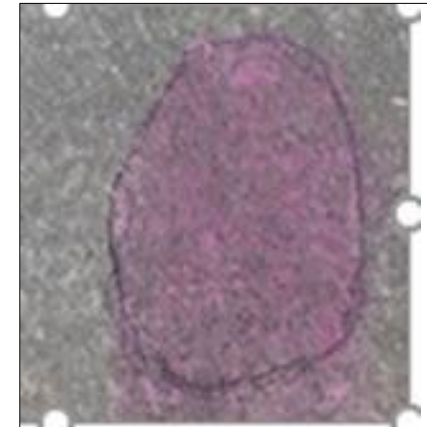
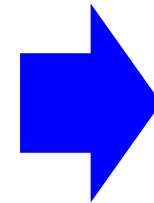
色素染色によるアスベストの簡易・迅速・低コスト検出



仮置き場



廃棄物



建材表面の染色



- 画像を現場から送信・専門家が現場に回答
- 現場作業者が確認



アスベスト画像
による検出



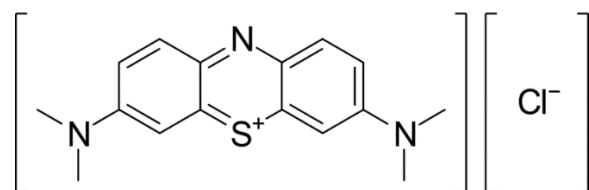
顕微カメラ撮影

色素とアスベストの静電相互作用

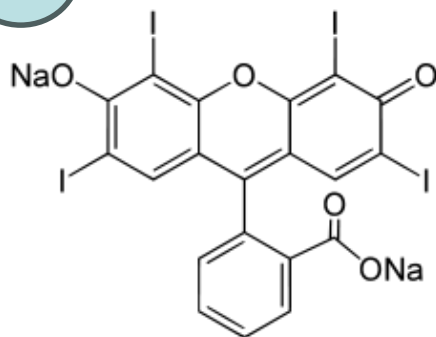
標準アスベスト 分析化学, 2019



Dyes



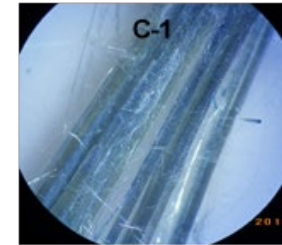
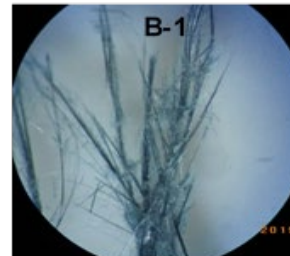
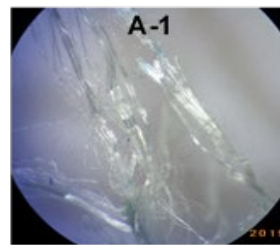
Methylene blue, MB



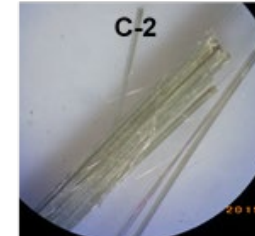
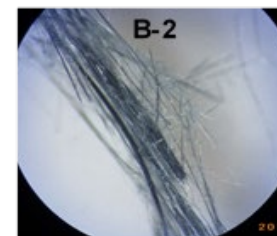
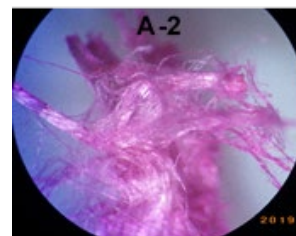
Erythrosine, RED-3

分析化学, 2019

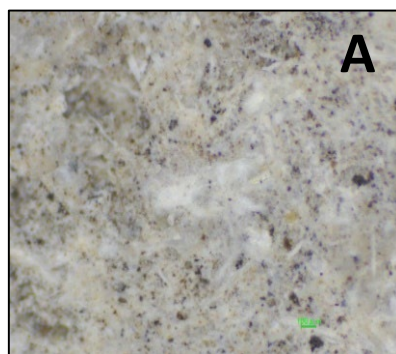
0.01%
MB



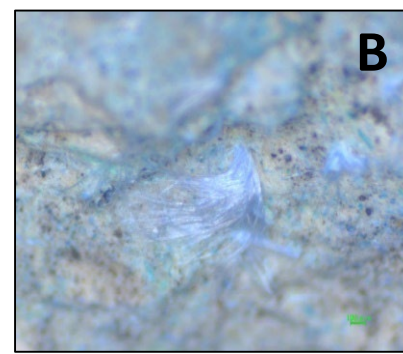
0.1%
RED-3



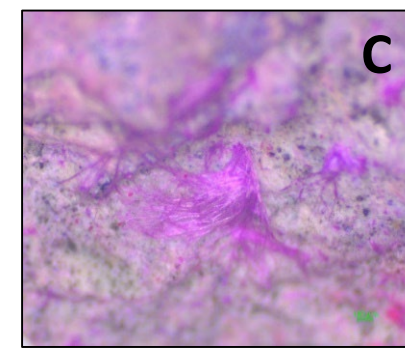
chrysotile crocidolite amosite
廃棄建材 (クリソタイル)



染色前



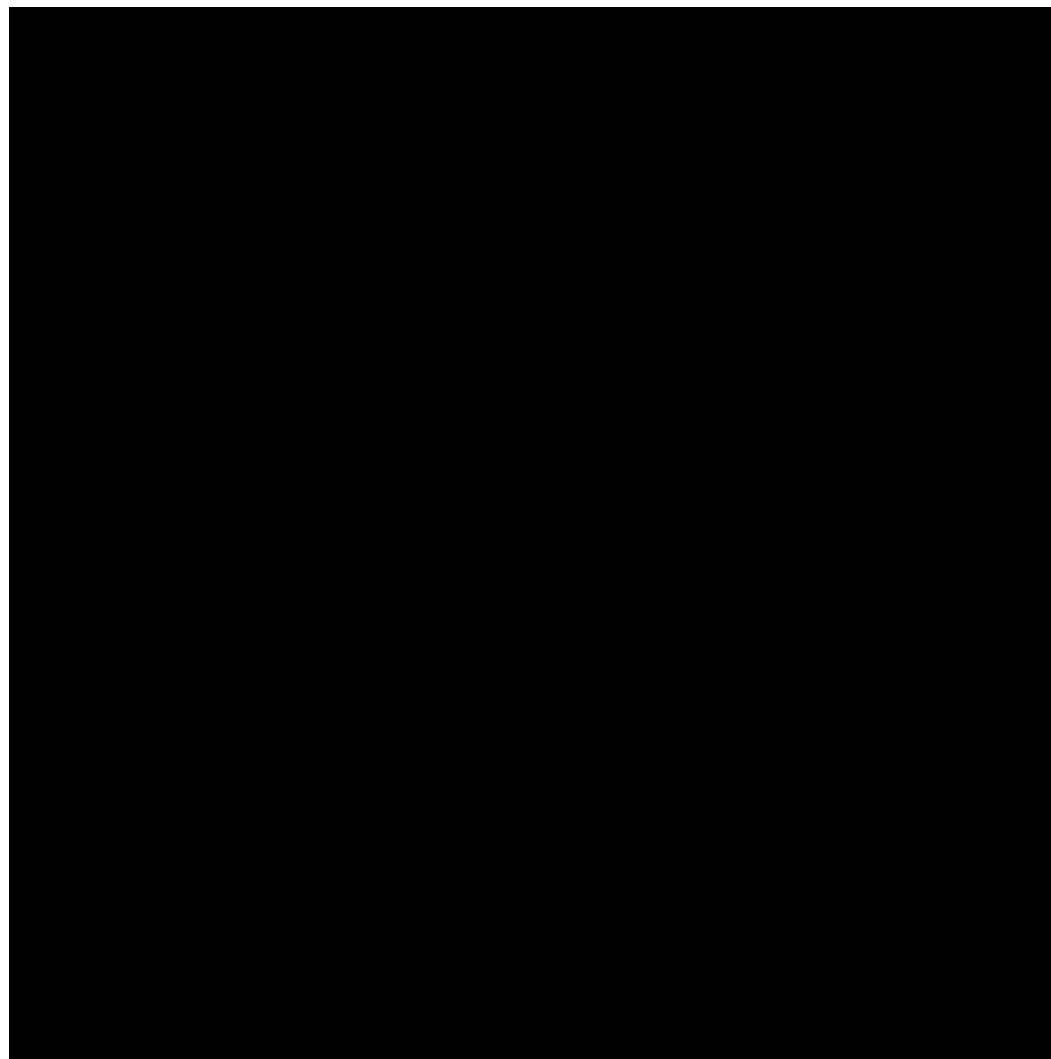
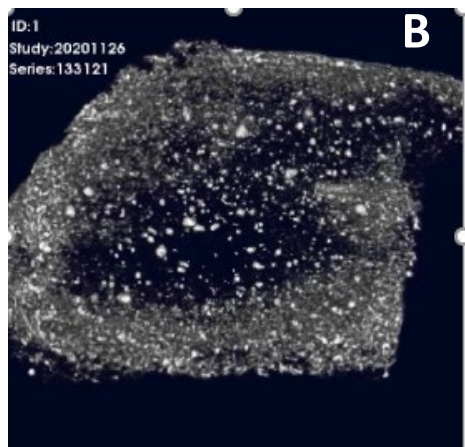
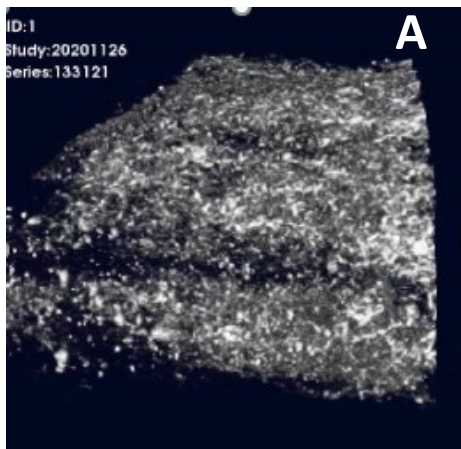
MB



MB + Red-3

Waste management, 2023

X-ray 3CT



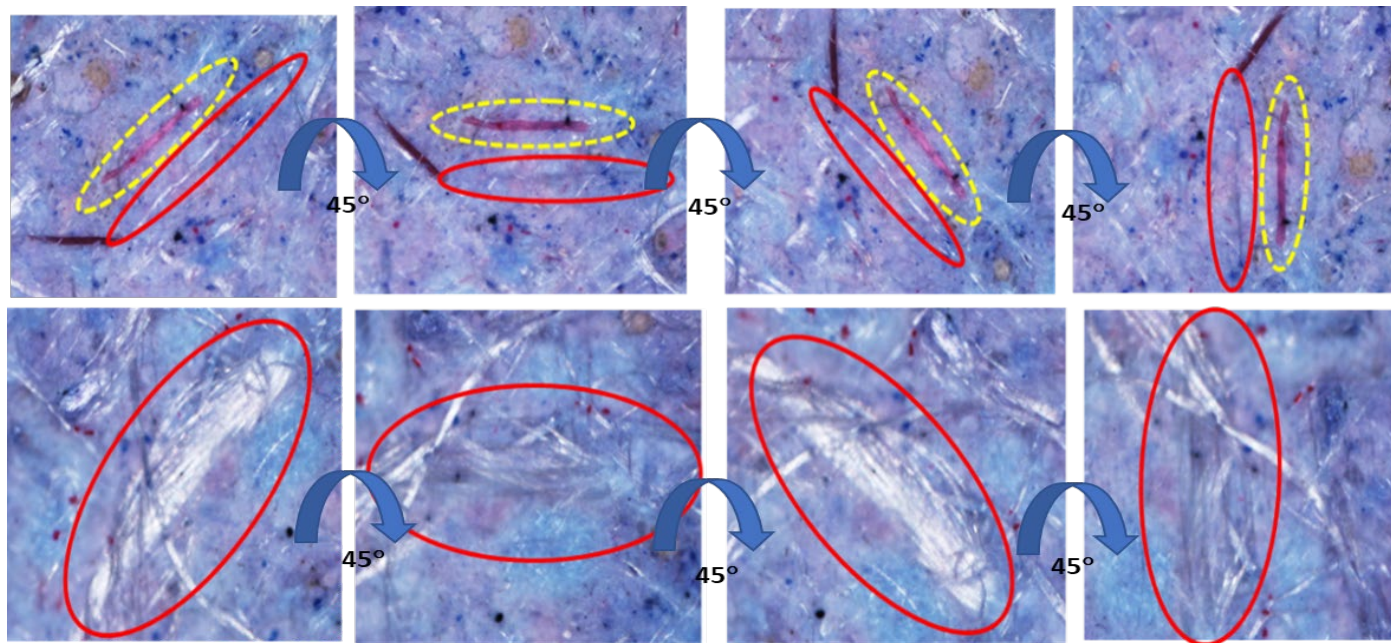
3次元X線CT画像 (A) 表面画像; (B) 垂直切断面画像.

建材表面付近にアスベストが集中的に分布していることを独自に発見

Waste management, 2022

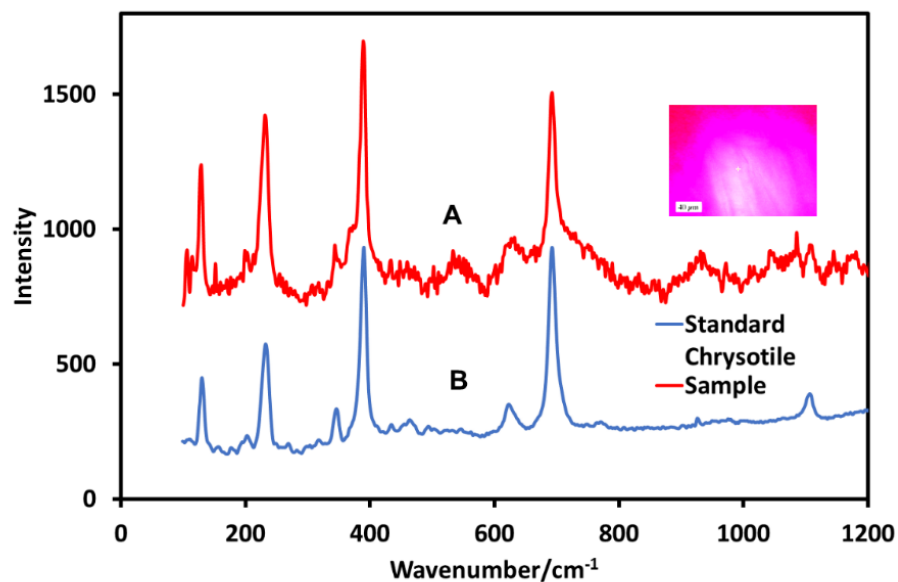
廃棄建材の偏光とラマンスペクトル

Waste management, 2022



偏光顕微鏡による
アスベスト混入繊維
物質との識別

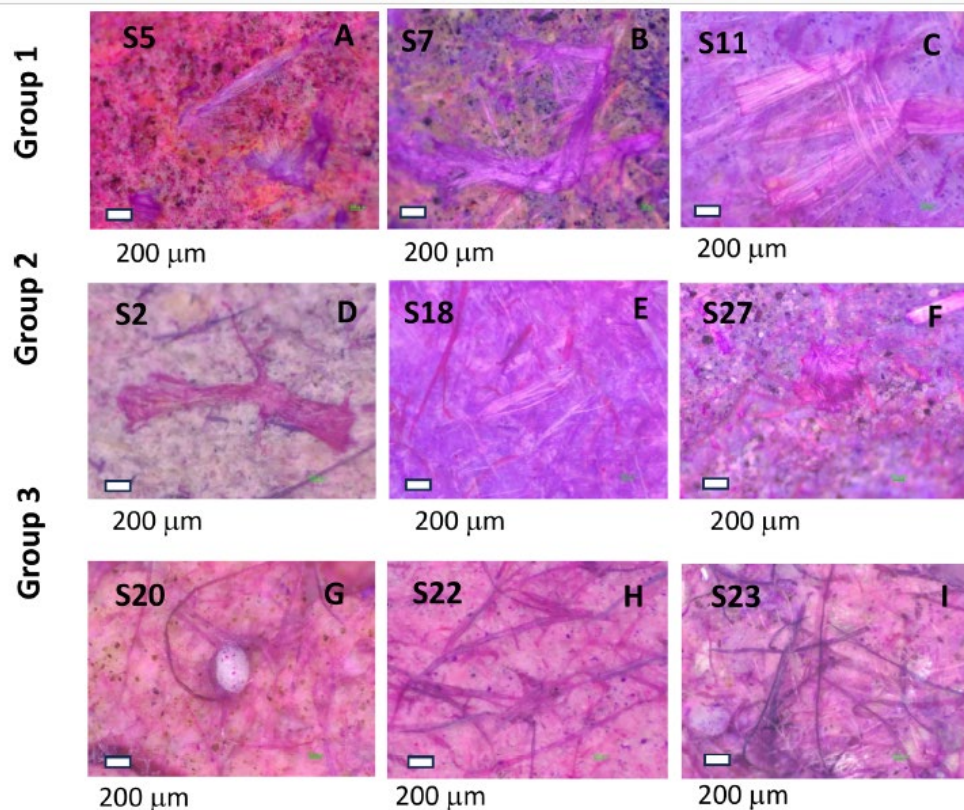
偏光角の変化により
アスベストは見えなく
なる場合があることで
識別可能



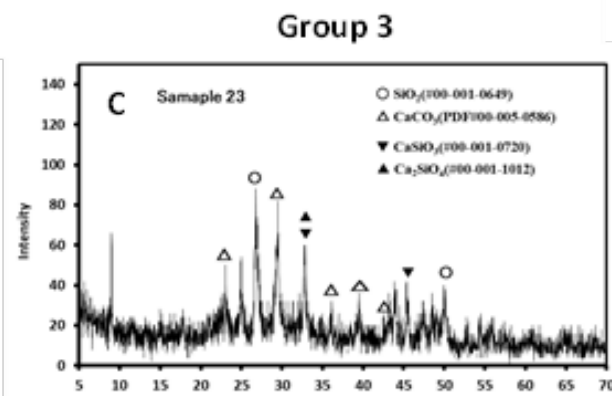
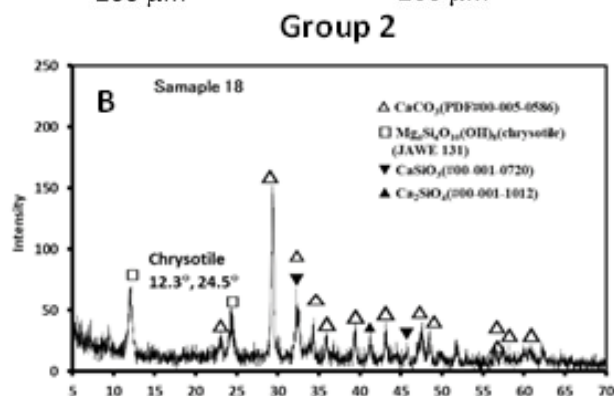
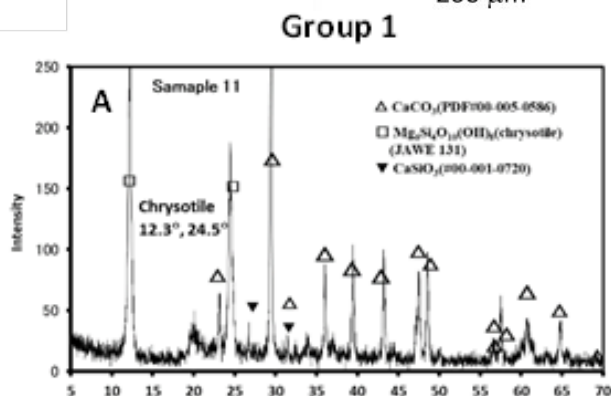
Ramanスペクトル

建材の種類と石綿含有状態

Waste management, 2023

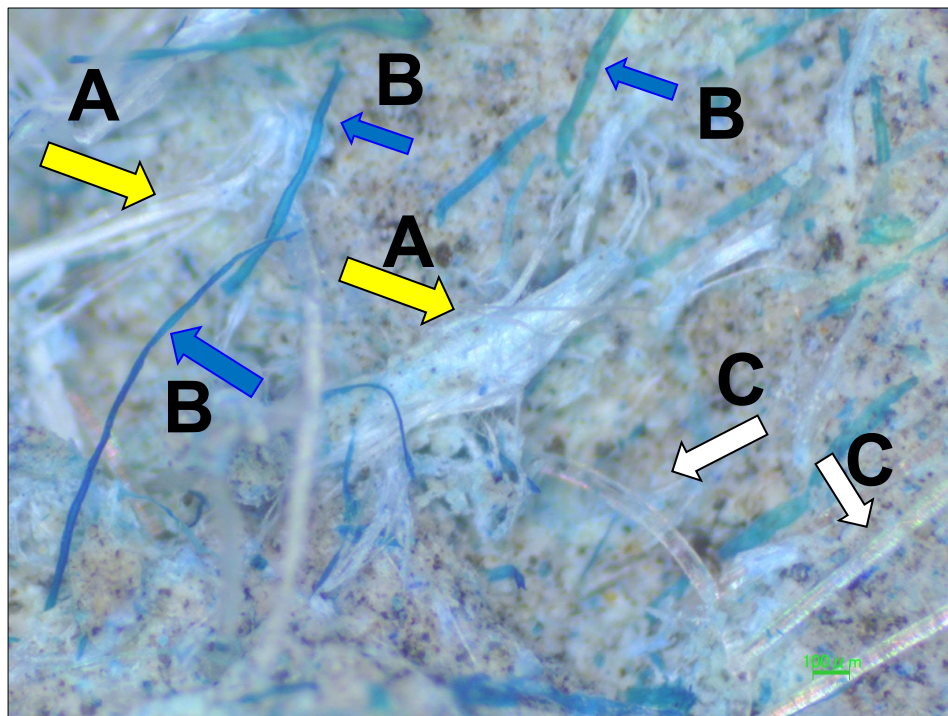


建材の組成の違い(3種類)
 (Group1), 石綿のみ
 (Group2), 石綿と有機繊維
 (Group3), 有機繊維
 (強化セルロース)
 その他にガラスウール

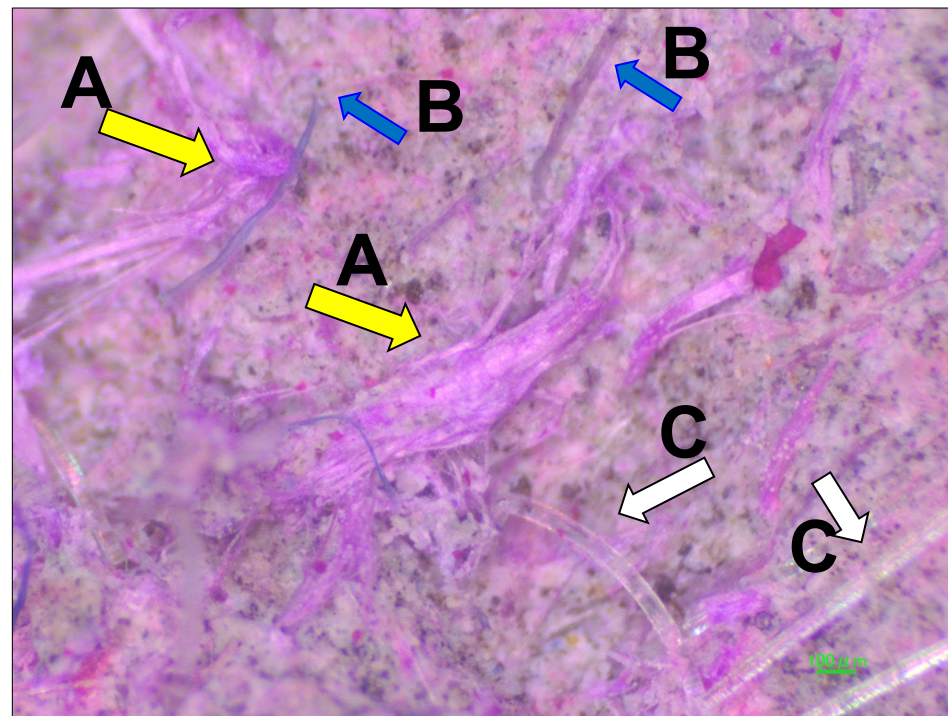


XRDパターンからGroup 1, Group 2はクリソタイルを含む, Group 3は石綿を含まない。
 染色の結果と一致した。

石綿と繊維状物質が混入した建材の着色



MBで染色



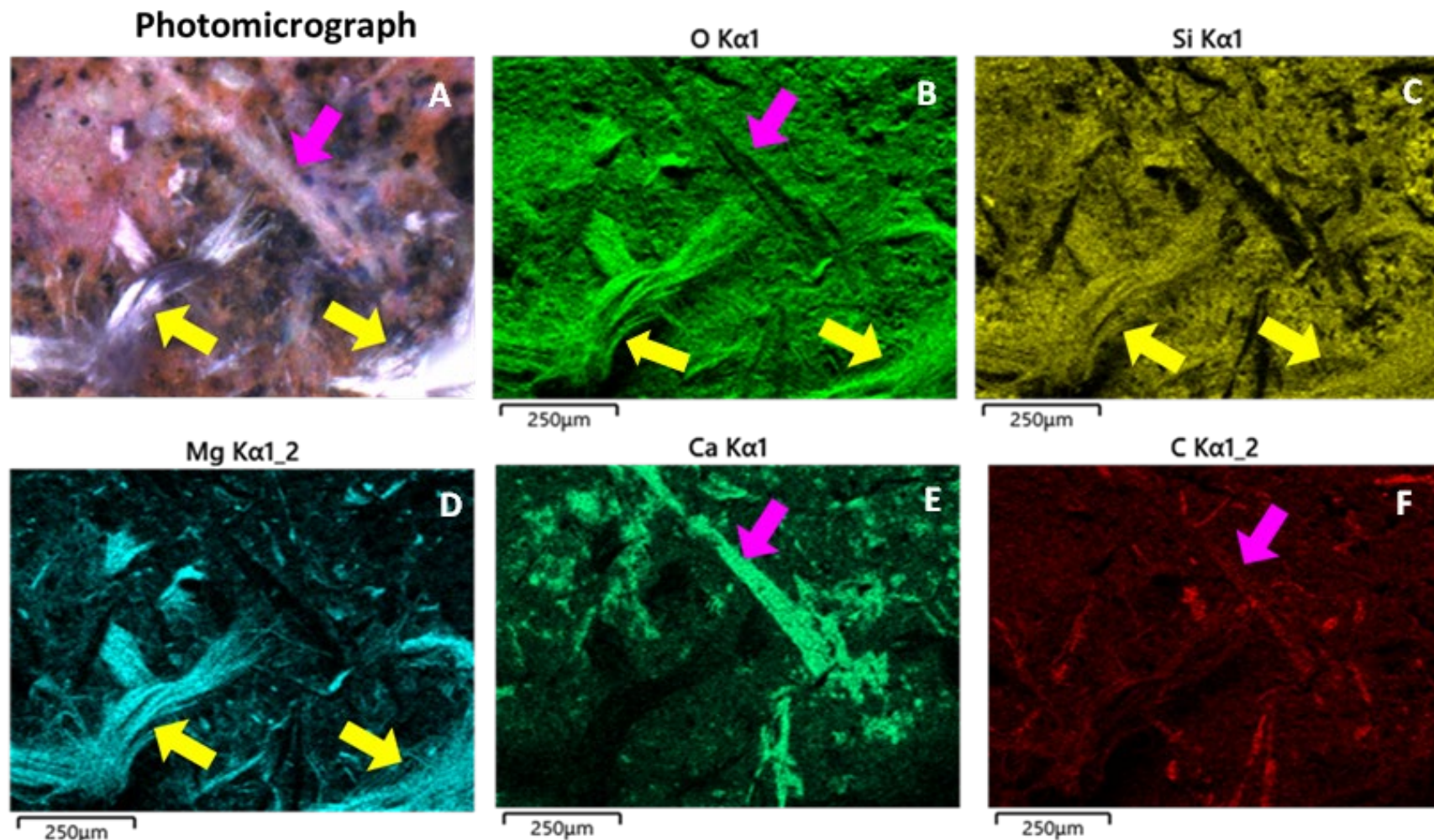
MB+RED-3で染色

アスベストと他の繊維物質が混入した建材、試料83

- アスベスト, (A); → 繊維, (B),
→ プラスチック繊維, (C).

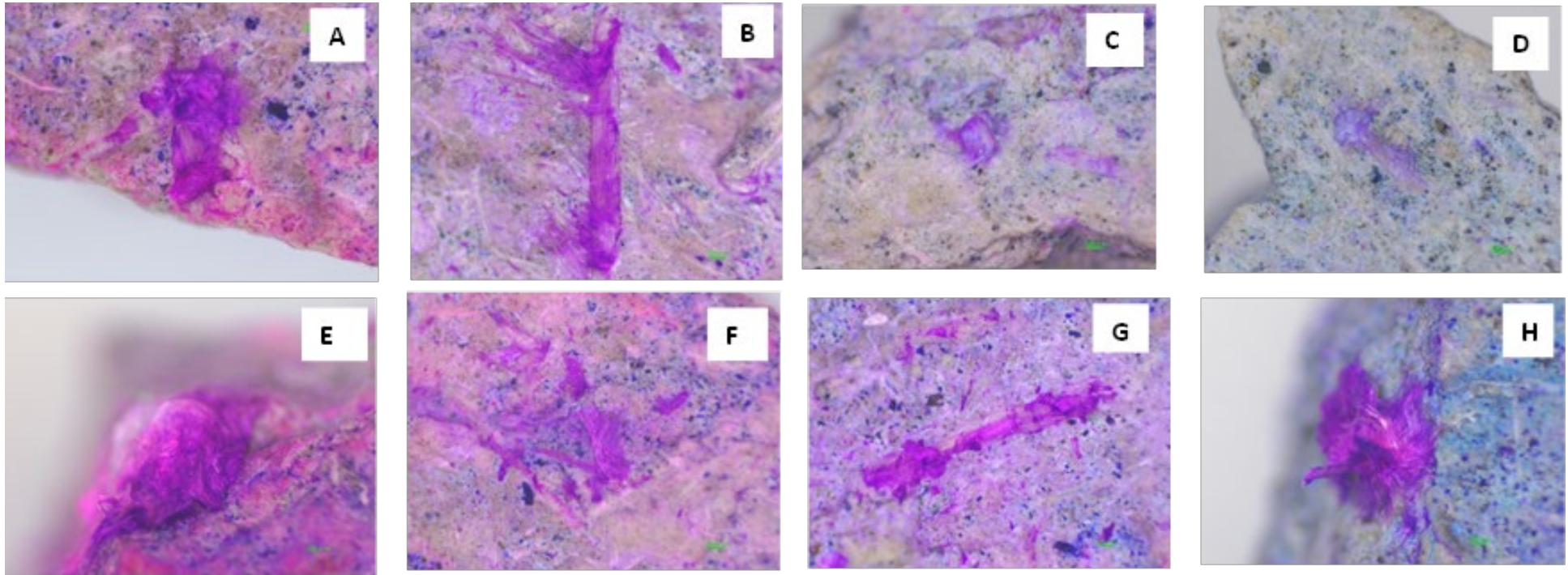
著者の data

石綿の確認(SEM-EDX法)



SEM-EDX法:A、染色石綿の実体顕微鏡画像:SEM-EDS 画像(B ~ F)。黄色の矢印はクリソタイル;ピンクの矢印はCaCO₃。試料 14. 染色物が石綿であることを確認した。

色素混合液による染色



A～F: 混合溶液(MB + RED-3)で染色. G, H: 単一溶液で添加順序を変えて染色

A ~ D, MBの濃度(0.0%)一定でRED-3の濃度を減少。

A, RED-3 = 0.1%; B, RED-3 = 0.05%; C, RED-3 = 0.025%; D, RED = 0.0125%.

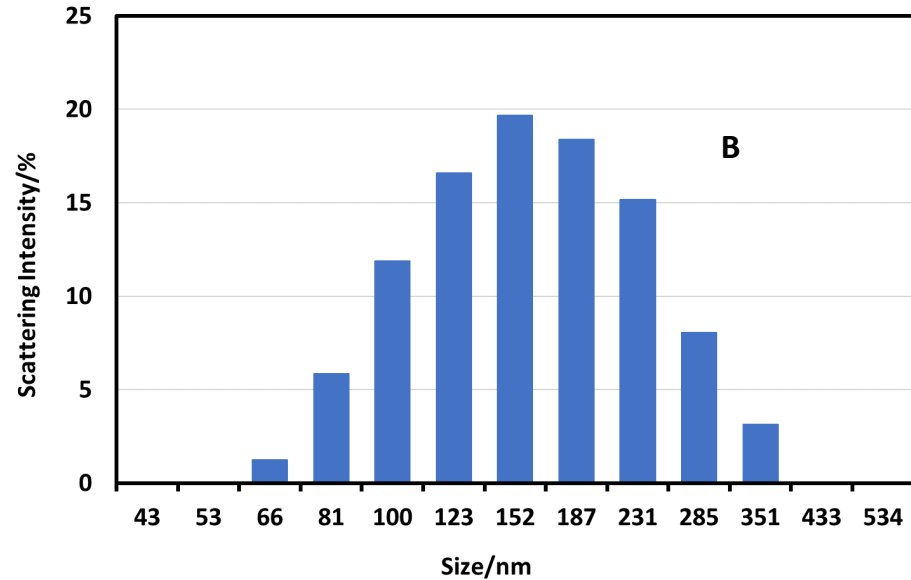
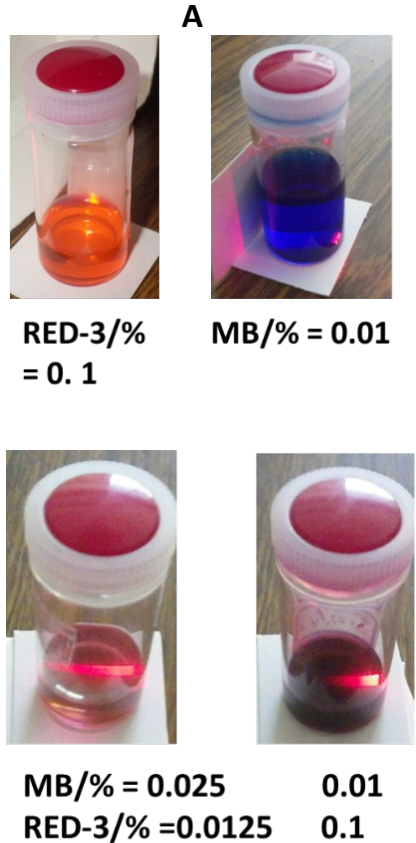
E, F: MBとMBとRED-3濃度を濃くした。

E, MB = 0.02% + 0.2 % RED-3; F, MB = 0.02% + 0.1% RED-3;

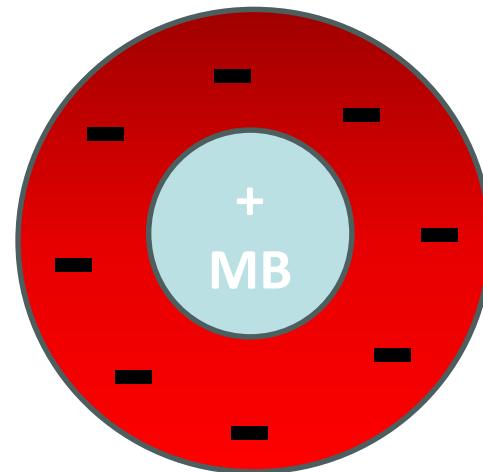
G, H: MB (0.01%)とRED-3 (0.1%)の。G,MBを最初:H,RED-3を最初

色素混合溶液でも個々の色素溶液による染色と同じように染色できた。

色素混合液中のナノ粒子の生成



RED-3



色素混合溶液はチンダル現象を示し、
ナノ粒子を生成した。
ナノ粒子: 大きさ、151 nm; 電荷、- 30mV
ナノ粒子が石綿に選択的に付着し石綿を
染色した。

本法と公定分析法の石綿画像比較

本法(色素染色法)

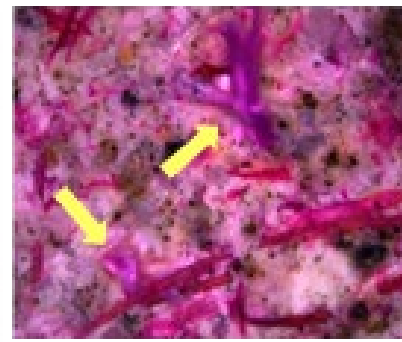
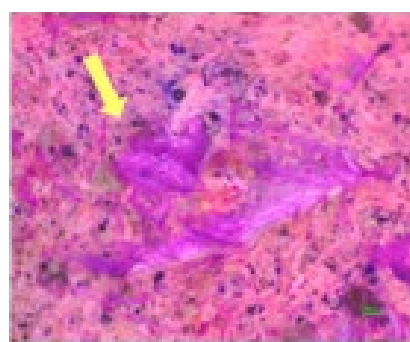
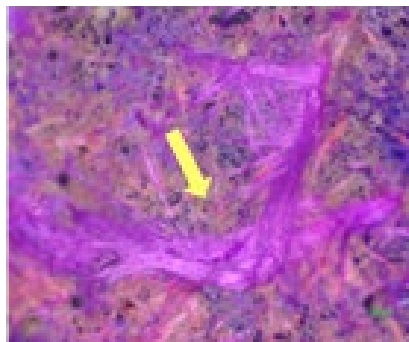
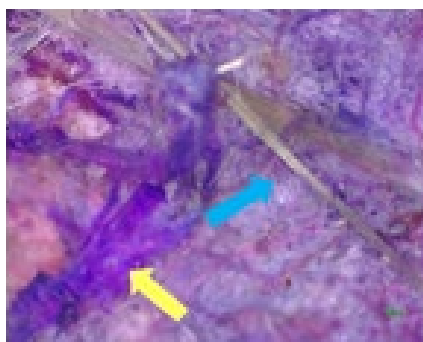
Waste management, 2023

Sample No. 2

No. 7

No. 12

No. 26



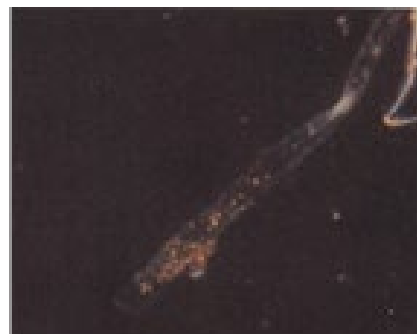
x 50

x 50

x 50

x 100

公定法(位相差顕微鏡法)



x 400

x 400

x 400

x 400

Asbestos (w/w)

8.4%

6.1%

1.8%

2.8%

.3

建材中の石綿検出結果のまとめ

Waste management, 2023

[*]

No.	Samples	Staining method	XRD	Official Method /%	No.	Samples	Staining method	XRD	Official Method /%
1	Wall	◎	○		18	Board at demolition site	◎, △	○	
2	Board at disaster site	○, △	●	8.4	19	Board at demolition site	○	○	3.5
3A	Board at disaster site	△	X	x	20	Board at demolition site	○, △	○	2.7
4	Wal board	◎	○		21	Celling board	X	X	
5	Wall board of a hut	◎	○		22	Board at disaster site	△	X	
6	Roof, colonial	○	○		23	External wall at disaster site	△	X	x
7	Roof with mud	◎	○	6.1	24	board at demolition site	△	X	x
8	Roof, colonial	○	○		25	A cover of electric furnace	X	X	
9	Roof	◎	○		25_P	Glue of p-tile	○	○	
10	Wall bord	◎	○		26	Board at demolition site	○, △	X	2.8
11	Slate at disaster site	◎	○		27	Board at demolition site	○, △	○	
12	Board at disaster site	○	○	1.8	28	Board at demolition site	◎, △	○	
13	p-Tile, floor sheet	○	○		29	Board at demolition site	○, △	○	
14	Roof, slate	◎	○		30	p-Tile, reverse site	○, △	○	1.2
15	Wall of electronic furnace	◎	○		31	Cover of electronic furnace-1	X	X	
16	Board at disaster site	◎	○		32	Cover of electronic furnace-4	X	X	
17	Board at demolition site	○, △	○		33	Cover of electronic furnace-5	X	X	

Dye-method detected asbestos strongly (◎) and normally (○), and organic fibrous compounds (△), and did not detect anything (x).

XRD detected chrysotile (○) and amosite (●) and did not detected asbestos (X).

色素染色法の結果はXRDの結果とは試料26以外は一致した
公定法の結果とは全て一致した。偽陽性と偽陰性はなかった。

従来技術とその問題点

実用化されているものに、アスベストアナライザー（ThermoFisher）による検出法があるが、

- 複数の近赤外スペクトルの重なりに起因する判定誤差が発生
- 装置が高価（800万円以上／1台）
であるので、解体現場や災害地で広く利用されるまでには至っていない。
経験と勘でアスベスト建材の識別が行われている場合が多い。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった高い分析費を、染色技術の適用により低減することに成功した。
- 従来は測定時のアスベスト等とのスペクトルの重なるののために、判定が困難な例があったが、染色画像として直接アスベストを観察するため、災害地や解体現場での利用が可能となった。
- 本技術には特別な装置が不要のため、1件当たりの分析コストが1万円以下にまで削減されることが期待される。

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、解体現場や災害地に適用することで健康被害防止のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、廃棄建材のリサイクルやバイオマスの利用促進効果が得られることも期待される。
- また、達成された検出法に着目すると、建設業や廃棄物処理といった用途と環境調査に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、災害地や建物解体地で採取した廃棄建材についてアスベストの検出が可能な所まで開発済み。しかし、現場での適用例が少ない。今後、現場での実験データを多く取得し、災害地や解体現場での適用条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、アスベスト観察の精度を向上できるように現場で使える顕微カメラの高精度・高倍率技術（画素数＞1000万个）の導入が必要である。

企業への期待

- 建設業などアスベスト検出のニーズがある企業と本法を使った現場実証による共同研究を希望。
- 高画素数の顕微カメラ製造技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、アスベスト分析用の顕微鏡を開発中の企業には、本技術を用いた分析用の顕微鏡の開発を期待する。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、簡単に高精度にアスベストやマイクロプラスチックの検出が可能のため、災害現場や解体現場のほか工場内や工事現場での作業環境維持に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで現場分析用顕微鏡開発における科学的な裏付けを行うことが可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 石綿検出方法
- 出願番号 : 特願2023-138330
- 出願人 : 佐賀大学
- 発明者 : 田端正明

産学連携の経歴

- 2009年-2019年 株式会社富士建での環境土木に関する技術顧問（重金属固定、アスベストの常温分解など）
- 2014年-2016年 環境省・環境研究総合推進費、採択株式会社奥村組との共同研究（アスベストの常温分解と再利用）
- 2021年-2022年 JSTトライアウト事業、採択
- 2022年-2025年 環境省・環境研究総合推進費、採択
- 2022年- 地元建設会社とアスベスト検出法について協力関係確立（廃棄建材の提供）

研究成果

- 色素染色による災害廃棄建材中のクリソタイルの簡便、迅速、低コスト新規検出・識別法
分析化学、**2019**, 68, 401-409
- On-site Detection of Asbestos at the Surface of Building Materials Wasted at Disaster Sites by Staining,
Waste Managements **2022**, 138, 180-188 (IF = 8.1)
- Clear and simple detection of asbestos stained with two dyes for building materials collected from disaster and demolition sites using a stereomicroscope
Waste Managements **2023**, 171, 653-661 (IF = 8.1).

お問い合わせ先

佐賀大学

リージョナル・イノベーションセンター

T E L 0952-28-8718

e-mail ura-team@mail.admin.saga-u.ac.jp