

課題番号 1MF-2201

研究課題名：

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災害現場実証

研究代表者名：田端正明（国立大学法人佐賀大学）

サブテーマ1	： 田端正明	佐賀大学	特任教授
サブテーマ2	： 矢田光徳	佐賀大学	教授
サブテーマ3	： 皆本晃弥	佐賀大学	教授

体系的番号：JPMEERF20221M01

重点課題：災害・事故に伴う環境問題への対応に貢献する研究・技術開発

研究実施期間：2022年度～2024年度

1.研究背景、研究開発目的及び研究目標

2

【**研究背景**】大規模災害が全国的に頻発している。そのたびに、多量の災害廃棄物が仮置場に搬入されている。仮置場では、外見では判断出来ない有害物質の混在が廃棄物の分別を妨げている。有害物質の一つに石綿建材がある。現行の公定石綿分析法は災害現場では使えないので、現場で使える迅速で操作が簡単な石綿検出法の開発が望まれている。

【**研究開発目的**】上記課題を解決するために建材を粉砕せずに表面を染色して石綿を直接検出する色素染色分析法を確立した。本法を災害時の仮置場に集積された建材に適用することで、石綿建材の迅速な識別と処理ができるようにする。これによって、災害時の作業従事者の石綿による健康被害を防ぎ、さらに廃棄建材の再利用を促す。



災害廃棄物仮置場
(研究代表者撮影)



現場で使える石綿建材の
分析法を開発

1.研究背景、研究開発目的及び研究目標

【目標】

- 建材を粉砕しないで建材表面を色素染色し、実体顕微鏡またはデジタル顕微鏡で石綿建材を画像として識別する方法を開発する。
- その方法を災害廃棄物仮置場の建材に応用し、石綿建材の識別法と石綿建材の仕分法を実現する。

【計画】

- 建材の染色顕微画像による石綿検出
- 染色顕微画像の画像解析による石綿の自動・遠隔検出
- 建材表面の石綿の色素染色機構の解明
- 石綿含有率の検出限界： 0.1%未満
- 検査時間：1 検体当たり10 分以内
- 分析コスト：公定分析法の分析費用より安価にする。

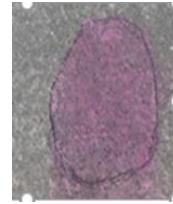
1.研究背景、研究開発目的及び研究目標（概要図）

4

サブテーマ1



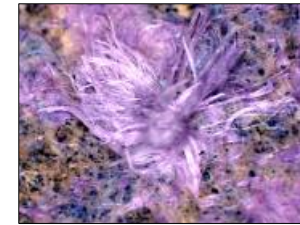
災害廃棄物仮置場



染色



顕顕微力メラで
撮影

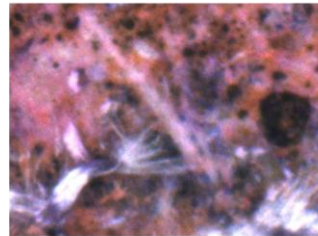


染色石綿画像

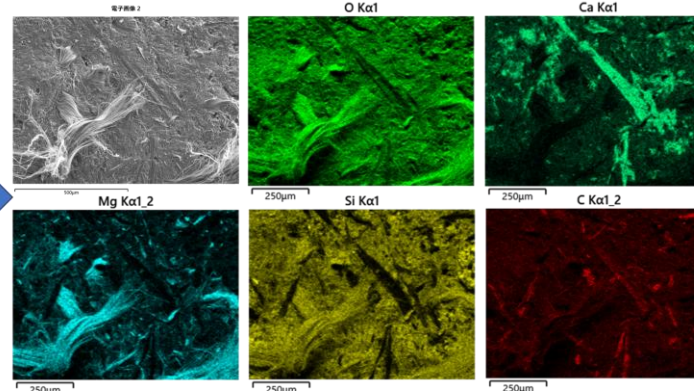


石綿に習熟した
専門家・技術者
による現場への
指示

サブテーマ2



デジタルマイクロスコープ像



EDS-SEM元素マッピング像

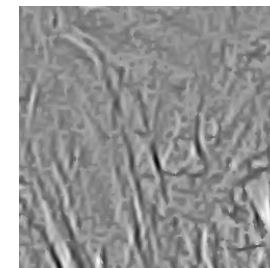
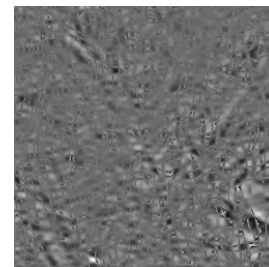
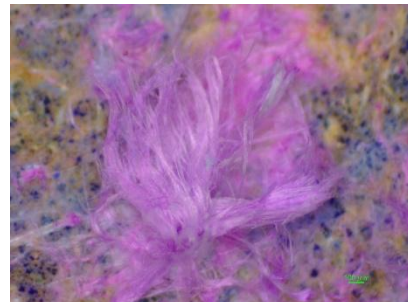
機器分析によるサブテーマ1, 3の精度保証
X線回折測定、蛍光X線分析、FT-IR測定、
デジタルマイクロスコープ観察、
EDS-SEM観察、EDS-TEM観察、
N₂吸脱着等温線測定、ゼータ電位測定、
動的光散乱分析等

染色石綿画像

ウェーブレット解析に基づく特徴抽出

特徴量に基づく石綿領域検出

サブテーマ3



2.研究目標の進捗状況

(1) 進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ1)

サブテーマ1: 建材表面の染色による災害廃棄物中の石綿建材の識別に関する研究

【サブテーマ1の研究目標】

- ・災害仮置場において、色素染色による廃棄建材中の石綿検出法を実施する。
- ・シビアな災害現場レベルでの適用性の検証する。
- ・オンサイト測定における課題を抽出し、操作手順や器具の改善等を図る。
- ・石綿建材の検出に要する時間が1 検体当たり10分以内になるようにする。
- ・検出される石綿の画像より石綿の占有面積率を求める。
- ・公定分析法と比較し、面積率から石綿濃度を推定する。
- ・石綿含有率の検出限界濃度、0.1%未満を達成する。
- ・分析コストを公定法の分析費用(5～6 万円)の50 分の1 以下にする(1,000 円)。

2.研究目標の進捗状況

(1) 計画と進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ1)

【令和4年度研究計画】

- ① 建材表面を水洗、酸洗浄、または塗装建材を有機溶媒で処理する。
- ② 色素の電荷と色調及び染色時間について、最適石綿識別染色法を確立する。

【令和5年度研究計画】

- ③ 災害現場や解体現場、あるいは工場や大学内で建材の石綿検出実験を行う。
- ④ 現場実験における課題（色素の褪色、建材の種類や汚れなど）を明らかにする。
- ⑤ 分析操作で最も時間がかかる操作は染色前後の建材の乾燥である。ホットプレートやドライヤー用いて乾燥時間の短縮を図り、分析総時間を10 分以内とする。

2.研究目標の進捗状況

(1) 計画と進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ1)

【令和6年度研究計画】

- ⑥ 本石綿検出法を現場で適用する際に前年度までに明らかになった種々の課題を解決して、災害現場での染色法による非破壊・石綿建材検出法の有用性を検証する。
- ⑦ 検出限界が0.1%未満になるように、色素の高感度化と全焦点合成による画像の高精度化を図る。更に、石綿0.1%未満の試料を作製し、改良し手法を検証する。
- ⑧ 食用色素(1本、150円)などの汎用色素と簡易型ピペット(10本、236円)や容器(1個64円)などの利用で分析費を1検体当たり1,000円にする。

【自己評価】計画通りに進展している

(1) 計画と進捗状況の比較 (サブテーマ1)

計画 (番号)	進捗状況
①、⑥	建材の汚れを酸や市販洗剤、金ブラシで洗浄。金ブラシによる洗浄法が後の染色操作に影響を及ぼさなかった (slide 13, 図2)。
②	石綿を選択的に染色するための最適な色素濃度を決定した (slide 11, 図1 ; slide 13, 図2)。
②、⑤	2種の色素の混合液では、ナノ粒子が生成し、ナノ粒子が石綿に吸着・染色した (slide 14, 図3 ; slide 15, 図4)。これにより染色時間が短縮できた。
③	学内の建物の壁を破砕せずに石綿を検出できた。
④	染色は室内で数ヶ月間褪色しなかった。現場での色素褪色は無視できる。
⑤	染色から石綿検出まで、10分で完了できた。
⑦	本法は公定分析よりも明瞭に石綿を検出できた (slide 16, 図5)。
⑧	食品用色素 (RED-3) を使っているので、試薬代は安い (slide 11, 図1)。

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

【具体的な理由・根拠】

- 廃棄建材80個を採取し、開発して色素染色法で石綿検出の実験を行った(図1)。34個の試料については色素染色による結果をXRD測定結果との比較し、不一致が1例(試料26)だけであった(合致率、97%(slide 12, 表1))。
- 公定分析法では試料26には石綿含有が示され、色素染色法の結果と一致した(slide 12, 表1)。
- 10個の試料については全て公定分析法の結果と一致した(石綿含有試料 7個;石綿非含有試料 3個)。偽陽性、偽陰性の結果はなかった(slide 12, 表1)。
- 色素染色法では建材表面の石綿を直接観察するので、公定分析法よりも明瞭に石綿を検出できた(slide 16, 図5)。
- 混合色素を用いる染色で10分以内に石綿存否を決定することができた(slide 15, 図4)。
- その他、前ページの計画と進捗状況の比較表を参照。

2.研究目標の進捗状況

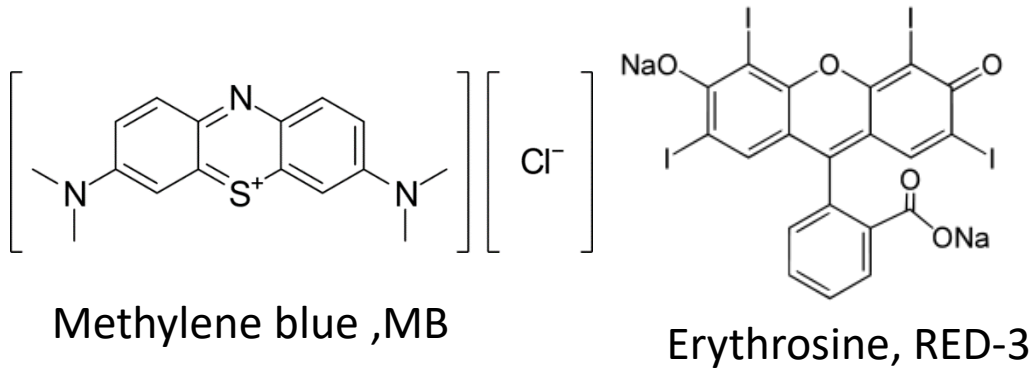
(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

【目標達成の見通し】

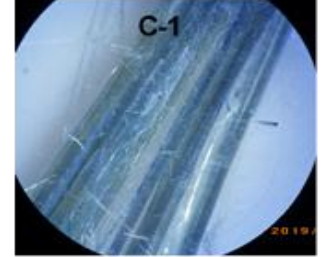
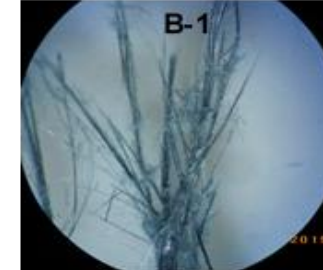
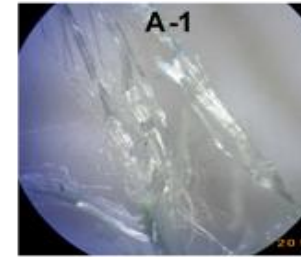
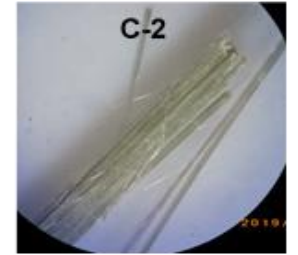
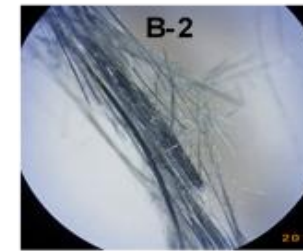
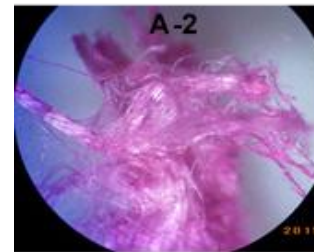
- 色素染色によって、10分以内で建材中の石綿観察が可能となった。また、10試料について公定分析法（検出限界、0.1%%未満）の結果と比較したところ、本法には偽陽性、偽陰性の結果はなかった。
- 簡単で迅速な操作で、大きな装置も不要であり、精度も公定分析法と遜色ないので、現場での石綿検出スクリーニング法としての適用は可能と考える。

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

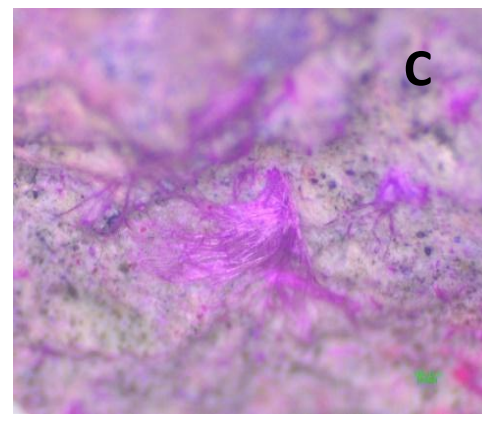
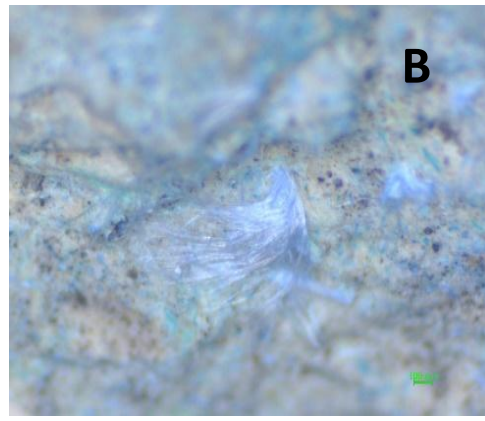
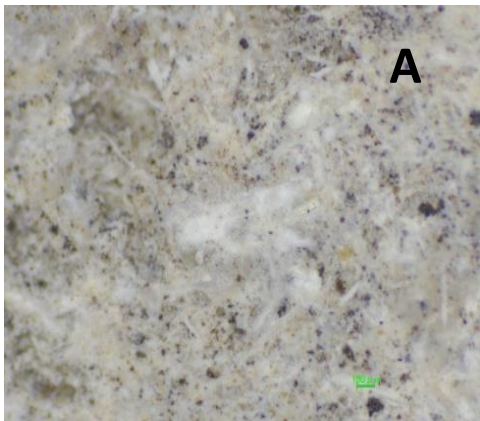
色素による石綿の染色



染色色素

0.01%
MB0.1%
RED-3

標準石綿の染色：クリタイル(A)、クロシドライト(B)、アモサイト(C)



2種の色素（陽イオン性色素、(MB)；陰イオン性色素(MB))を用いて標準石綿（クリソタイル、クロシドライト、アモサイト）を染色した。クリソタイルがRED-3で染色された。廃棄建材を同一色素で順次染色すると図1のように、ピンク色に染色され、石綿を検出できた。

図1. 建材の染色：染色前 (A), MBで染色(B)、MB + RED-3 (C).

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

表1. 石綿検出結果の比較とまとめ

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

採取した34個の建材を2種の色素で染色し、石綿の存否をしらべた。石綿のみを含有する建材16個、石綿と有機繊維物質を含む建材が、9個、有機繊維物質のみを含む建材が4個、ガラス繊維が5個であった。色素染色結果はXRDの結果と試料26以外で一致した（一致率97%）。

但し、試料26を含む10個の建材について公定分析を実施し、その結果と本法の結果は全て一致した。偽陽性、偽陰性の結果はみられなかった。

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

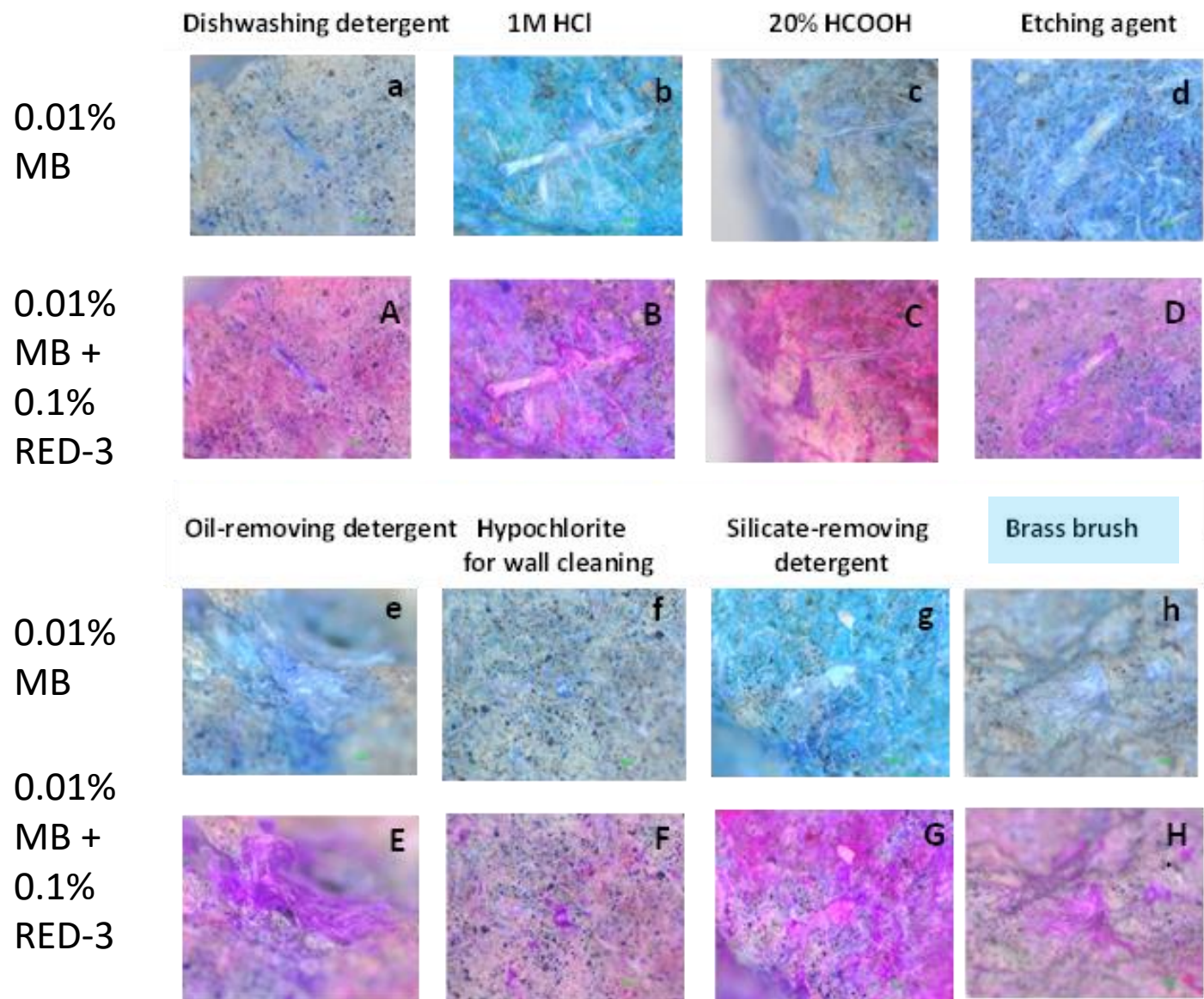


図2. 建材表面の種々の洗浄法による染色の違い

食器洗い洗浄剤 (a, A), 1M HCl (b, B), 20% HCOOH (c, C), ガラスエッチング剤 (d, D), 油取り洗剤 (e, E), 次亜塩素酸入り洗剤 (f, F), シリカ汚れ落とし洗剤 (g, G), 真鍮製金ブラシ (h, H).

強力な洗剤は、洗浄後石綿をよく染色するが建材に浸透し建材母材を赤く染色した。真鍮金ブラシ洗浄が石綿と建材母材との違いを明白に区別できた。

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

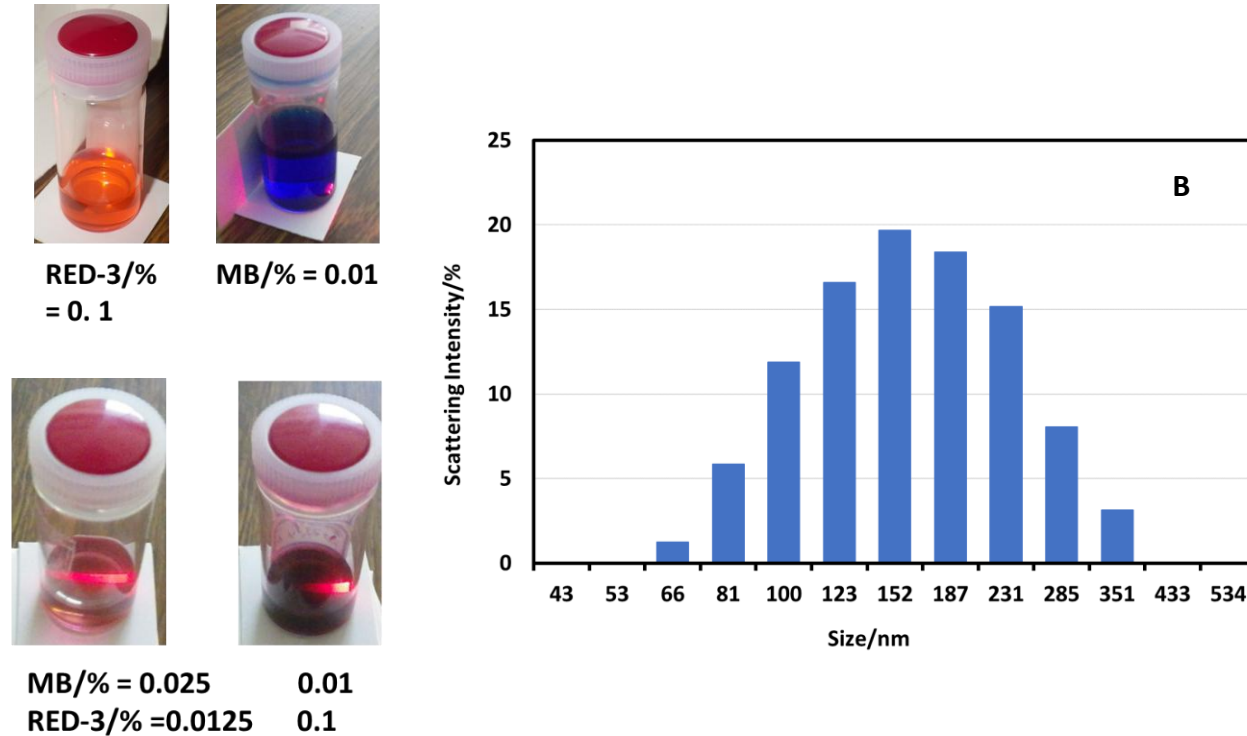


図3. 色素混合液中のナノ粒子の生成

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、- 30 mV。ナノ粒子が石綿に選択的に付着し染色した。

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ1)

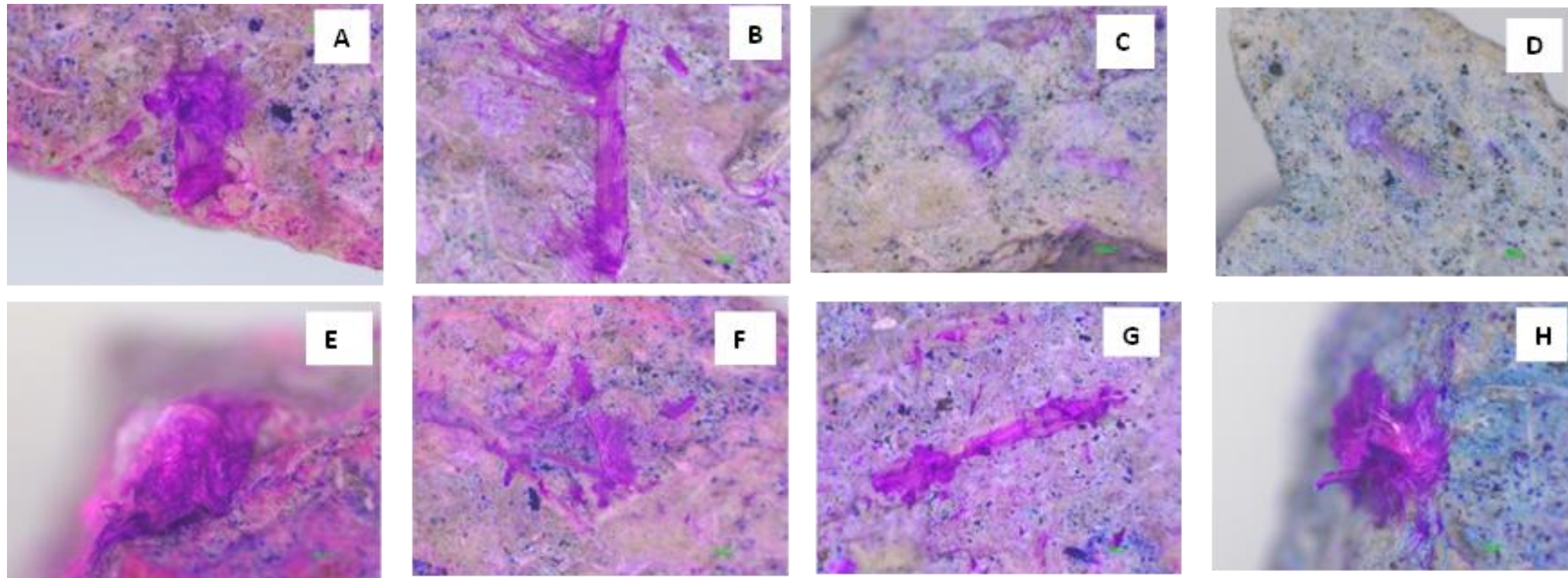


図 4. 色素混合液による染色

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(0.01%)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, MB(0.02%) + RED-3(0.2 %); F, MB(0.02%) + RED-3(0.1%); G, H: MB (0.01%)とRED-3 (0.1%)による染色. G, MBを最初に: H, RED-3を最初に染色した。
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。染色時間を短縮できた。

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ1）

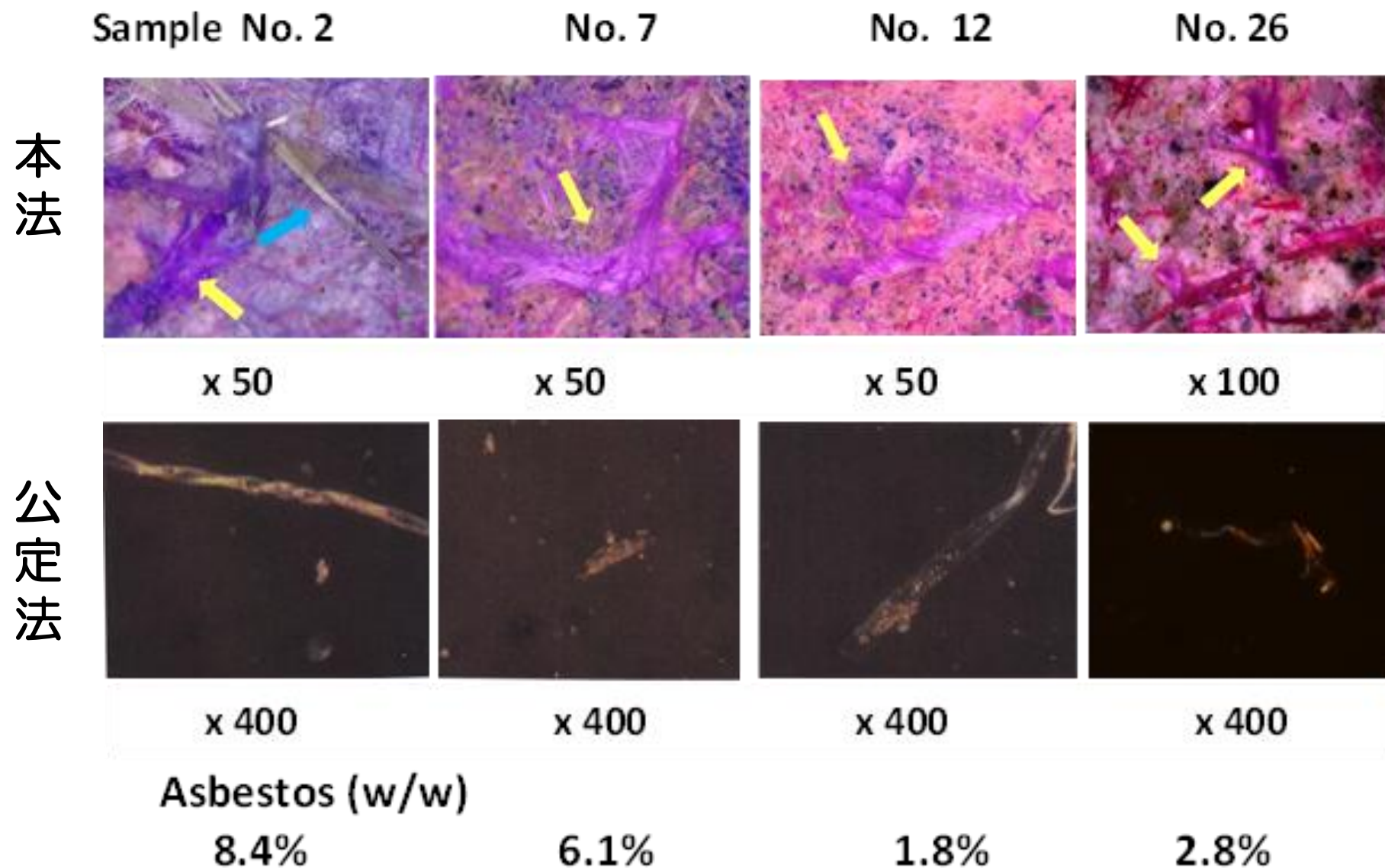


図 5. 公定法との石綿画像比較

本法（上段）は公定法（下段、位相差顕微鏡法）よりも明瞭に石綿を低倍率で検出できた。

2.研究目標の進捗状況

(1) 進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ2)

サブテーマ2:染色前後の建材表面の石綿と素材の微細構造解析と染色機構解明

【サブテーマ2の研究目標】

- ①染色前の建材表面の微細構造解析により混入した石綿の種類と大きさを建材ごとに決定する。また、色素の分光学的解析を行う。
- ②建材表面の微細構造から表面を染色するための色素の条件を提示する。
- ③染色した建材表面中の石綿と建材素材への着色状態を解析する。
- ④色素の着色状態から、染色における静電相互作用と疎水性相互作用の寄与の大きさの違いを明らかにし、色素と石綿との相互作用の機構を解明する。
- ⑤建材色素染色法による石綿の検出限界を0.1%未満とするための最適染色条件を表面構造解析と色素の特性から明らかにする。

【令和4年度研究計画】

- ・採取した建材のX線回折、エネルギー分散型X線分析装置及び走査型電子顕微鏡を用いて石綿及び建材素材の種類とその組成、ならびに石綿のサイズをマイクロメートル、ナノメートルスケールで決定する。
- ・染色前の建材表面の微細構造解析やフーリエ変換赤外分光測定などから石綿染色に適した色素の条件を提案する。

【令和5年度研究計画】

- ・染色後の建材表面の微細構造を上記の方法で調べ、色素吸着状態を明らかにする。
- ・デジタルマイクロスコープを用いて色素の吸着の状態を観察し、石綿の大きさと着色結果を比較し、色素染色法を評価する。
- ・染色後の表面構造の結果から建材に適した石綿染色色素の特性と染色法を提案する。

【令和6年度研究計画】

- ・災害地で色素染色した建材表面の石綿及び建材素材への色素吸着状態を調べ、屋外での紫外線による色素の分解や湿気による色素吸着への影響を明らかにし、本法の現場での有用性を検証する。
- ・建材中の素材と石綿の原子レベル・ナノレベル・マイクロレベルでの構造・組成から染色機構を明らかにする。

【自己評価】計画通り進展している

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

【具体的な理由・根拠】

目標①に関しては、サブテーマ1から提供された61サンプルの廃棄建材のX線回折測定を行い、アスベストの種類や有無を決定した。また、色素、アスベスト標準試料、建材試料のFT-IR測定を行い、染色試料との比較のためのデータを得た。

目標②に関しては、サブテーマ1から提供された8種類の前処理方法にもとづく試料に対してデジタルマイクロスコープ観察、蛍光X線分析、X線回折測定、EDS-SEM観察等を行い、最も適切な前処理方法(ブラシ洗浄)を提案した。

目標③に関しては、染色した建材のデジタルマイクロスコープ観察とEDS-SEM観察を行い、着色状態と組成の関係を明らかにした。

目標④に関しては、赤色3号染色前後のクリソタイル標準試料のデジタルマイクロスコープ観察、EDS-STEM観察、FT-IR測定、XRD測定、TG-DTA測定、 N_2 吸脱着等温線測定、ゼータ電位測定を用い、水溶液中で正電荷のクリソタイルと負電荷のエリスロシンが静電相互作用により結合していることを示し、クリソタイルの表面へのエリスロシンの吸着量を明らかにした。一方、アモサイト及びクロシドライトとメチレンブルーの静電相互作用は弱く、メチレンブルーの吸着量が現状では極めて少ないこともわかった。

目標⑤に関しては、染色の前処理条件を検討しブラシ洗浄が最適なことを明らかにし、より鮮明に建材中のアスベストを染色する混合色素染色法の原理の一端をゼータ電位測定と動的光散乱法にて解明した。

以上のように、**目標①～⑤に対して着実に研修成果を挙げている。**

【目標達成の見通し】

令和4年度と令和5年度は研究は計画通りに順調に進んでおり、これまでの研究においてサブテーマ2を遂行するために有効な分析方法と有効でない分析方法を取捨選択することができた。また、令和6年度の研究を遂行するためのアイデアもある程度固まりつつある。また、サブテーマ1との連携も密接にできており、残期間の研究も問題なく遂行して目標を達成できると考えている。

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ2）

目標① サブテーマ1提供の廃棄建材のX線回折測定によるアスベスト判定

試料 番号	石綿 含有	試料 番号	石綿 含有	試料 番号	石綿 含有	試料 番号	石綿 含有
1	○	16	○	30	○	45	○
2	●	17	○	31	×	46	○
3A	×	18	○	32	×	47	○
4	○	19	○	33	×	48	○
5	○	20	○	34	×	49	○
6	○	21	×	35	○	50	○
7	○	22	×	36	○	51	○
8	○	23	×	37	○	52	●
9	○	24	×	38	×	53	○
10	○	25	×	39	×	54	○
11	○	25P	○	40	○	55	○
12	○	26	×	41	○	56	○
13	○	27	○	42	×	57	○
14	○	28	○	43	○	58	○
15	○	29	○	44	×	59	○
						60	○

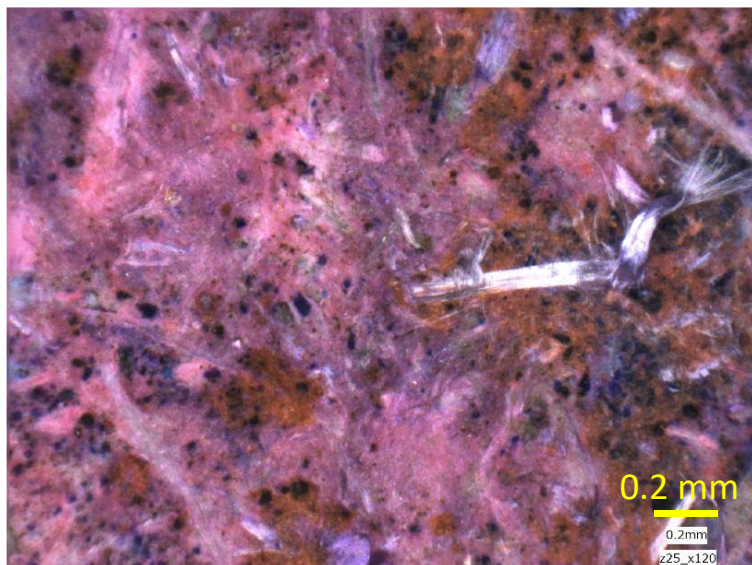
※○はクリソタイル ●はアモサイト

全61サンプル中、クリソタイルを含む試料が44サンプル、アモサイトを含む試料が2サンプル、アスベストを含まない試料15サンプルあった。⇒結果をサブテーマ1に提供し、染色結果と照合する。

2.研究目標の進捗状況

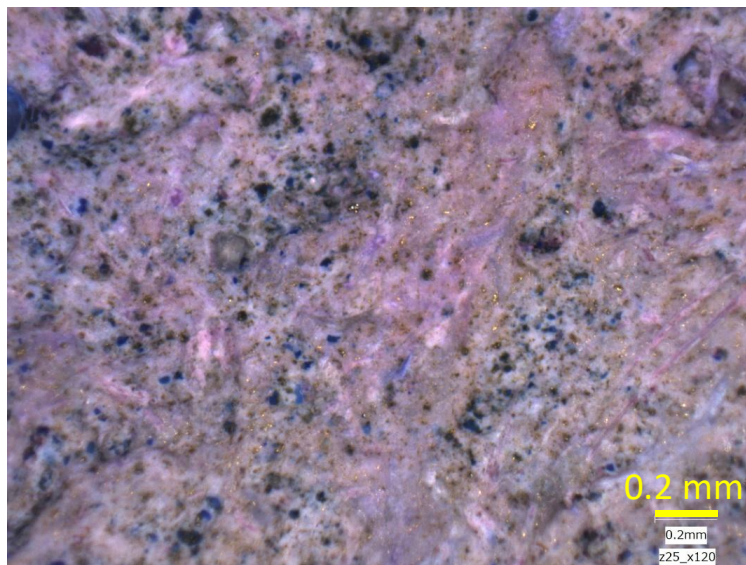
(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

目標②, ⑤ 廃棄建材の前処理方法の検討



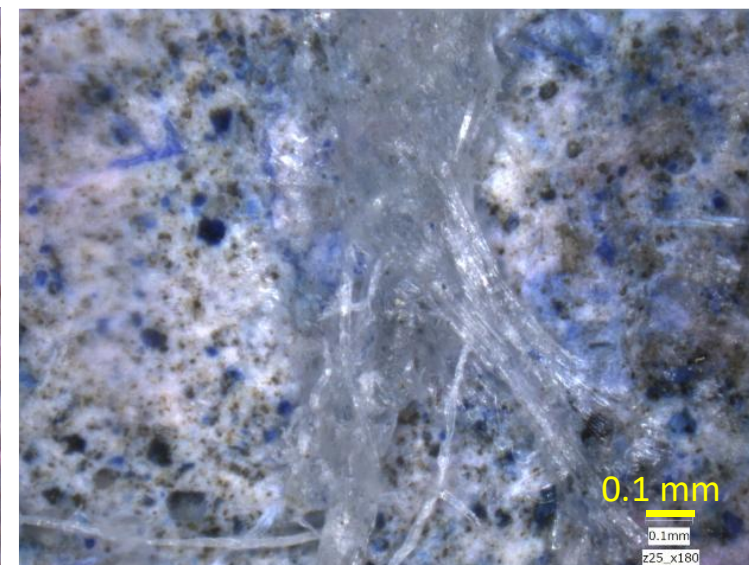
① 酸, エッチング剤処理の例

酸の影響により建材表面に H^+ が吸着して正に帯電した表面積の割合が著しく増加し、染色によって負電荷の赤色3号が表面に多く吸着して試料全体が主に強い赤色に染色された。エッチング剤を用いた場合には表面が反応して CaF_2 が新たに生成していた。



② ブラシ洗浄の例

ブラシ洗浄がアスベスト繊維のみがピンク色に染色されており、廃棄建材の前処理方法として最も適切であると考えられる。



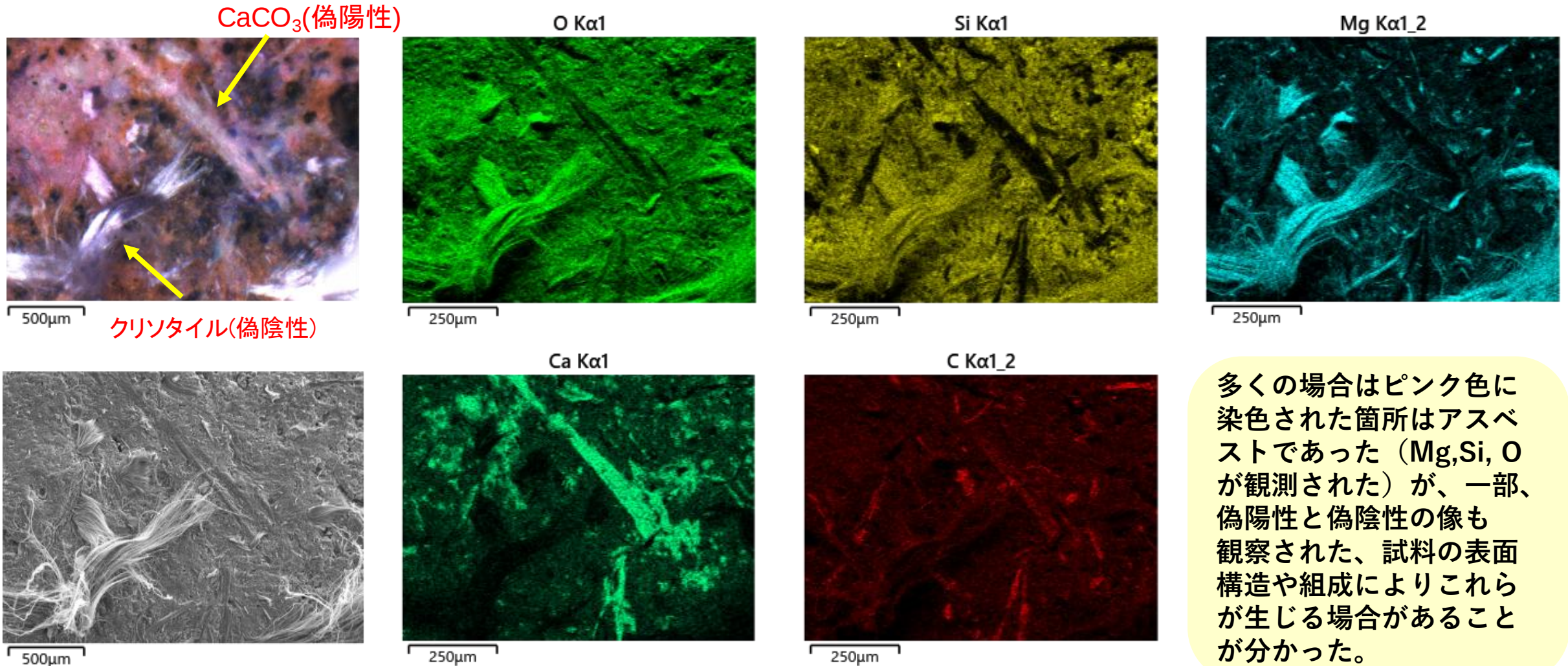
③ 洗剤による洗浄の例

洗剤中の陰イオン(界面活性剤や次亜塩素酸イオン)が正電荷を有するクリソタイルの表面や建材表面に強く吸着した結果、その後の染色処理時に負電荷の赤色3号分子によるクリソタイルへの吸着が生じなかったと考えられる。

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

目標③ 染色した廃棄建材のEDS-SEM元素マッピング像



2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

目標④ アスベスト標準試料と色素との複合メカニズムの検討

クリソタイル



染色後

染色前

アモサイト



染色後

染色前

クロシドライト



染色後

染色前

正の表面電荷を有するクリソタイルには十分な量の負電荷を有するエリスロシン(Red3)が表面に静電的に吸着して明瞭にピンク色に染色されたのに対して、負の表面電荷を有するアモサイトとクロシドライトには正電荷を有するメチレンブルー(MB)があまり吸着しなかったため、青色染色が不十分であることがわかった。

⇒アモサイト及びクロシドライトの染色に適した色素の探索が必要？

アスベスト	染色結果	ゼータ電位 / mV		比表面積 / m ² g ⁻¹
		染色処理前	染色処理後	
クリソタイル	◎(Red3)	+32.15	-3.77	48.896
アモサイト	△(MB)	-30.33	-22.84	2.378
クロシドライト	△(MB)	-24.90	-22.34	9.568

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

目標④ アスベスト標準試料と色素との複合メカニズムの検討

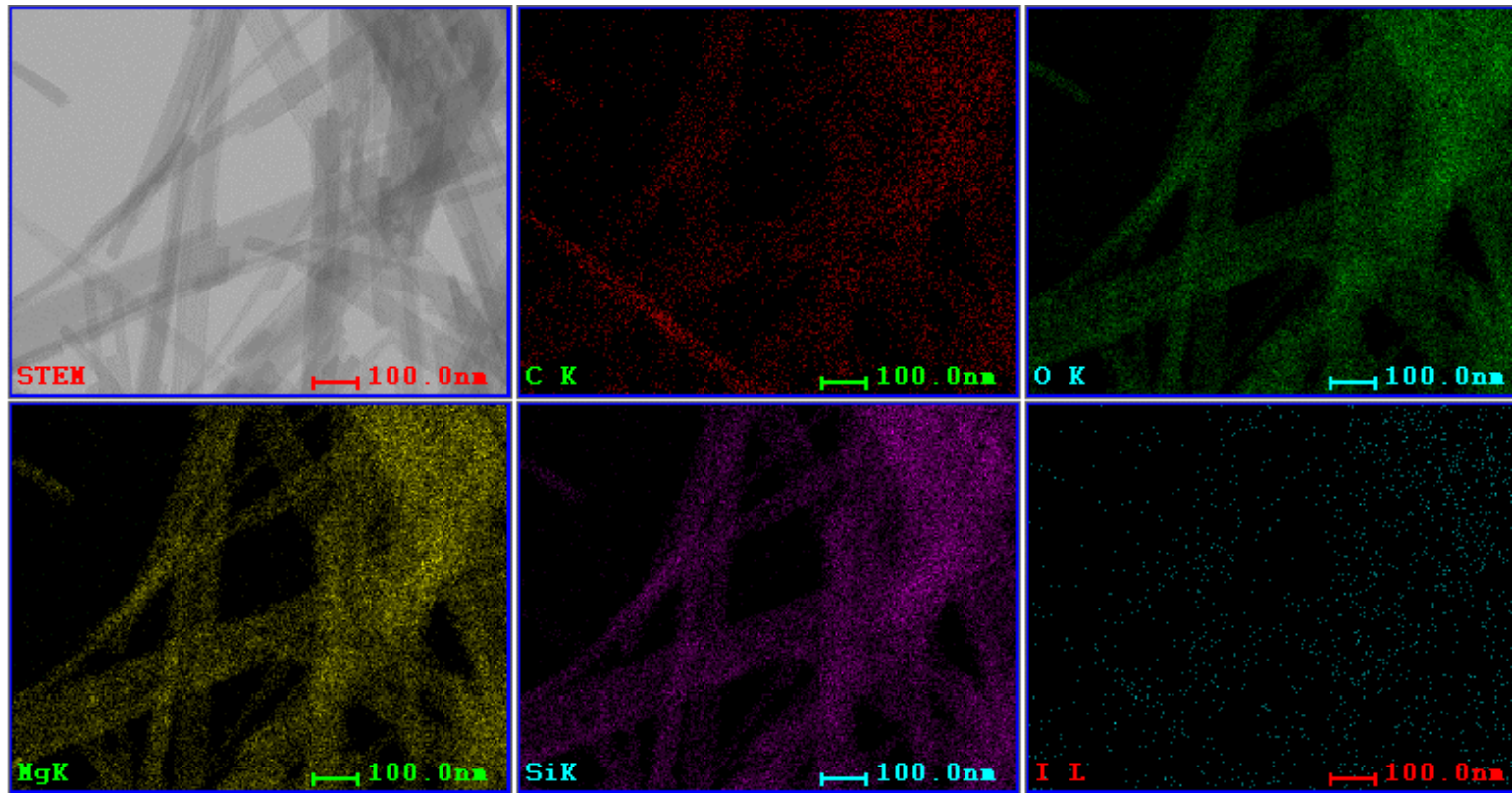


図 クリソタイル/赤色3号複合粒子のEDS-STEM元素マッピング像

- ・クリソタイル $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ のMg, Si, Oが明確に繊維状粒子に沿って検出された。
- ・赤色3号 $\text{C}_{20}\text{H}_6\text{I}_4\text{Na}_2\text{O}_5$ のCは明確に、Iはかろうじて繊維状粒子に沿って検出された。

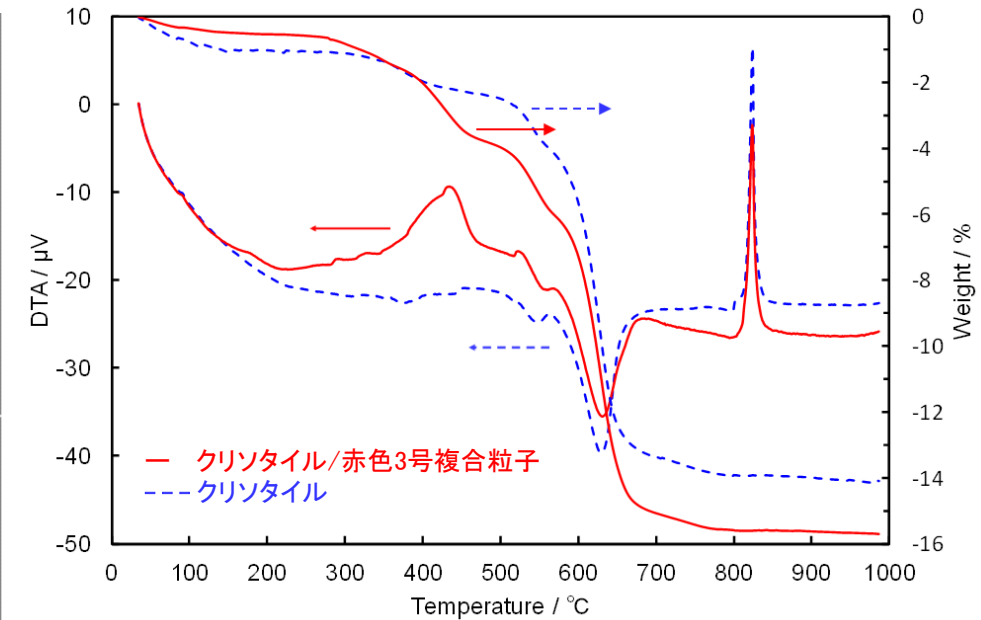


図 染色前後の試料のTG-DTA曲線

クリソタイル1 molに対して 赤色3号 0.0081 molが結合していることがわかる。比表面積(48.9 m^2/g)を考慮すると、クリソタイルの1 nm^2 あたり0.36個の赤色3号分子が結合していると考えられる。

2.研究目標の進捗状況

(1) 進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ3)

サブテーマ3:染色後の建材表面の画像解析による石綿検出法の開発

【サブテーマ3の研究目標】

- ① ウェーブレット解析や機械学習手法により、染色表面画像から石綿の形状に着目した特徴抽出法を開発する。
- ② 抽出した特徴を定量化する手法を開発する。
- ③ 提案した特徴抽出法や定量化手法の有効性を検証する。
- ④ 検証結果に基づき、石綿の検出率を向上させるためのデータクレンジング手法や新たなウェーブレットフィルタの開発を行う。
- ⑤ 石綿の自動検出精度をより高めるための、ウェーブレットフィルタや特徴量定量化手法の有用性を実証する。

【令和4年度研究計画】

- ・ 離散ウェーブレット (DWT) を染色表面画像に施し、得られた高周波成分に基づいて石綿の特徴を抽出する。また、機械学習手法の一つである畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を併用して、石綿の位置に依存しない特徴を抽出する。
- ・ 得られた特徴をフラクタル次元や位相的データ解析手法を用いて定量化する。

【令和5年度研究計画】

- ・ 前年度までに得られた染色表面画像に対して上記の手法を適用し、混同行列やROC曲線を用いて、有効性を検証する。
- ・ 検証結果に基づいて、上記の手法で必要となるパラメータの最適化、それに基づいたデータクレンジング手法の開発を行う。
- ・ より有用な特徴を抽出するためのウェーブレットフィルタの開発を行う。

【令和6年度研究計画】

- ・ この時点で得られている染色表面画像に対して、上記までの手法を適用し、最も石綿の検出精度が高いウェーブレットフィルタ、特徴定量化手法の組み合わせを特定する。また、得られた特徴量に対して、人間が解釈可能な意味付けを行う。
- ・ 上記の知見に基づき、石綿の自動検出精度の向上を図るため、新たなウェーブレット解析手法や特徴量抽出法を提案する。

【自己評価】計画通り進展している

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ3）

【具体的な理由・根拠】

目標①に関しては、サブテーマ1から提供された染色画像に対して、Dyadic Wavelet変換（DYWT）やDyadic Wavelet Packet変換（DYWPT）に基づいた特徴量抽出法を開発した。

目標②に関しては、目標①で得られた特徴量の平均、分散、歪度、曲率、Haralick特徴量を用いて定量化した。

目標③に関しては、目標①および②で得られた特徴量を用いて、機械学習手法の一つであるカーネルSVMで分類したところ、600枚のテストデータに対して、正解率99%、再現率99%、特異度100%であった。これらの方法が石綿の検出に対して優れた結果を示すことを実証した。

目標④に関しては、目標③の結果に基づき、Empirical Curvelet Transformによる特徴量抽出法を開発中で、予備実験によれば、検出精度を保ったままより高速に検出できる見込みである。

目標⑤に関しては、目標④で得られた特徴量を用いて、その有効性を検証中である。また、サブテーマ1から提供される学習画像の枚数を増やして、機械学習手法による分類精度向上も図る予定である。さらに、開発した手法を現場でも利用できるようにWebアプリの開発も進めている。

以上のように、**目標①～⑤に対して着実に研究成果を挙げている。**

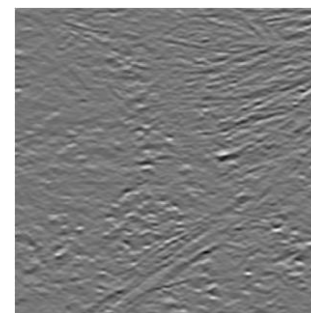
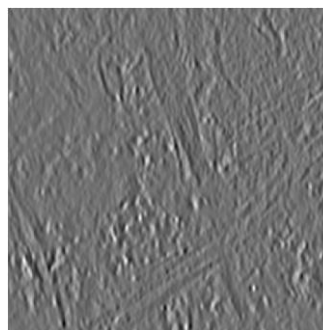
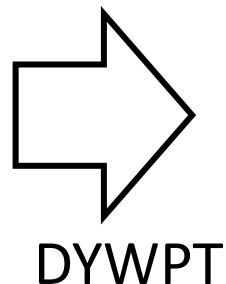
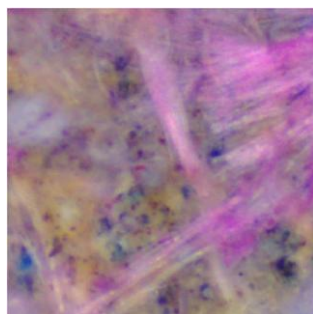
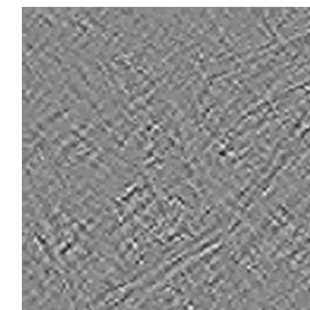
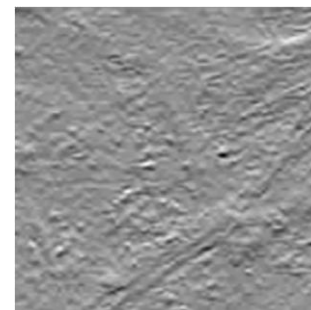
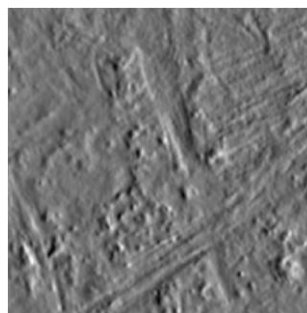
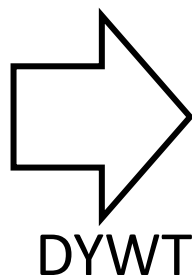
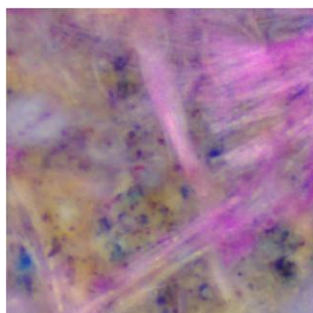
【目標達成の見通し】

令和4年度と令和5年度は研究は計画通りに順調に進んでおり、これまでの研究においてサブテーマ1において得られた染色画像から石綿を90%以上で検出する方法を開発できた。また、今後は、サブテーマ1、2の成果・知見を活用し、学習画像を増やすとともに、特徴量を再検討し、さらなる精度向上を図る。さらに、開発した手法を現場でも利用できるようにWebアプリの開発も進めている。残期間においても問題なく研究遂行し、目標を達成できると見込んでいる。

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ3)

目標① 染色表面画像からの特徴量抽出

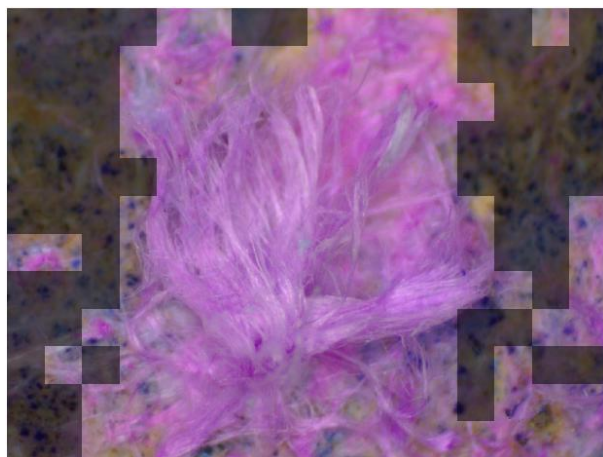


Dyadic Wavelet変換(DYWT)やDyadic Wavelet Packet変換(DYWPT)により、石綿のエッジ(輪郭)に相当する特徴量を抽出。

2.研究目標の進捗状況

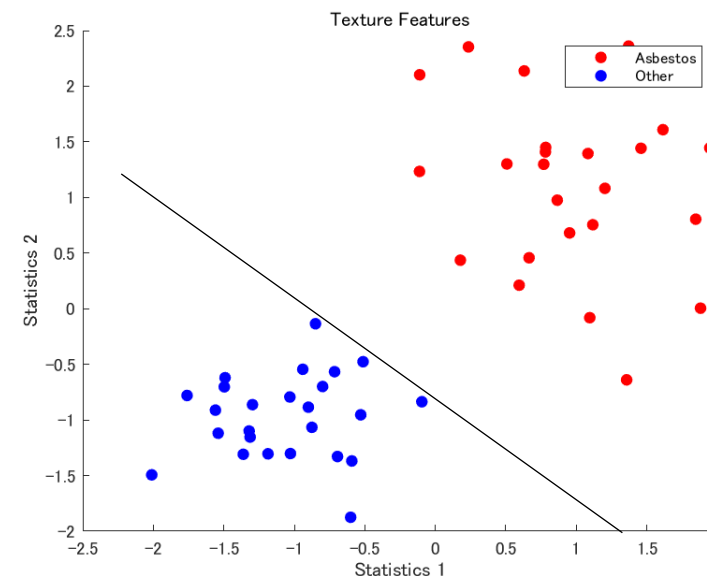
(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ3）

目標②, ③ 特徴量の定量化とそれに基づく検出



精度	再現率	特異度
0.997	0.994	1.000

テスト画像：600枚



訓練サンプル（既知のデータ）を用いて、「石綿」クラスと「その他」クラスの間で最も離れた位置に識別面をつくる

- 正解率(Acc)：予測と正解が合致した割合
- 再現率(Rec)：正確に「石綿」クラスだと予測できた割合
- 特異度(Spe)：正確に「その他」クラスだと予測できた割合

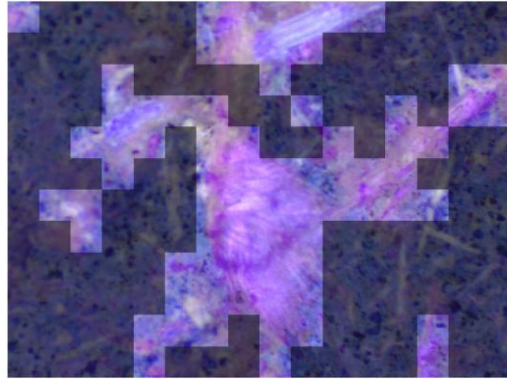
抽出した特徴量を平均、分散、歪度、曲率などで定量化し、それをカーネルSVMの入力として分類した結果、検出精度は99%であった。

2.研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ3）

目標④, ⑤ 検出率向上および有効性の実証

Empirical Curvelet Transformを利用した検出

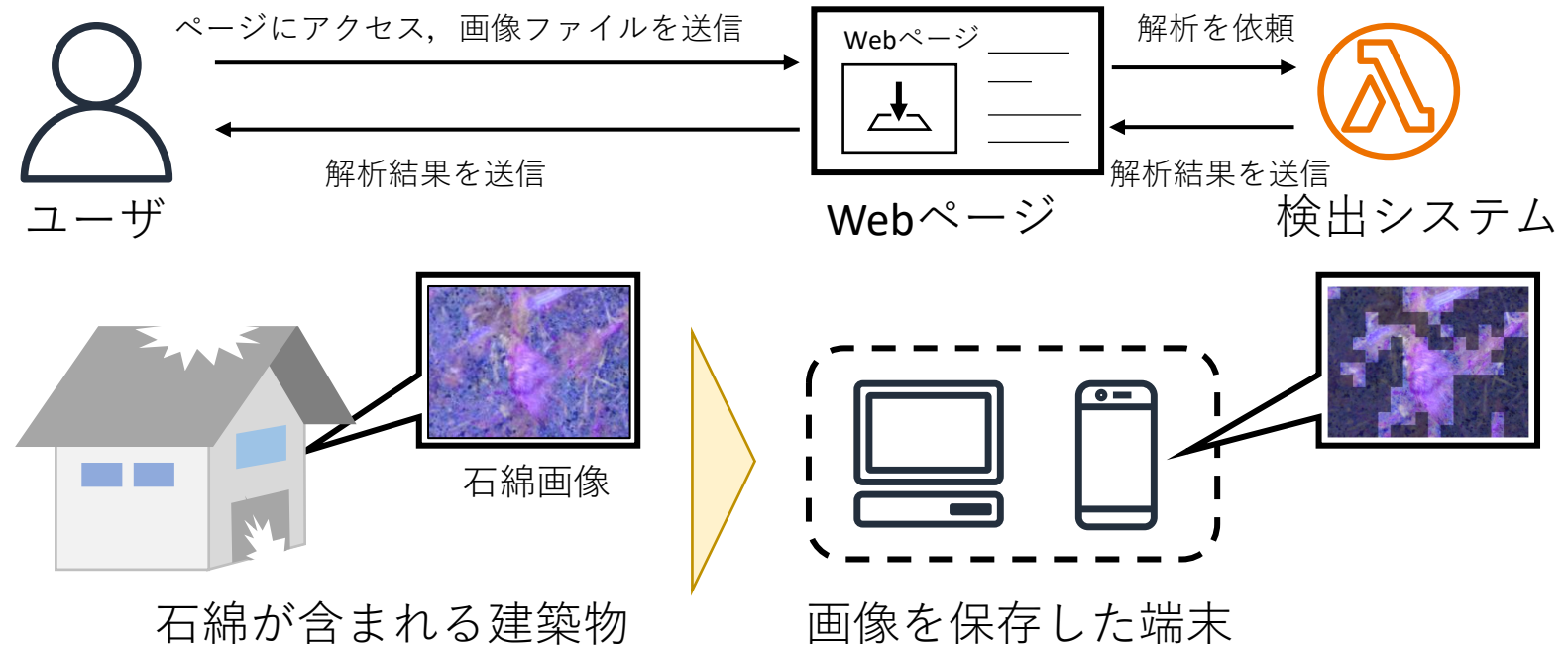


精度	再現率	特異度
0.990	0.992	0.988

実行時間： 34.69 sec/枚
→実行時間： 6.76 sec/枚

検出時間が短縮

Webアプリケーションによる検出システムの開発



AWSサービスを利用した **Webアプリケーション検出システム**を開発中

3. 研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

【行政等が活用することが見込まれる成果】

本法は操作が簡便でコストもかからず、検出感度は公定分析法よりも高感度であり、誤判定の可能性は低いので、災害現場での迅速な石綿検出法として利用が期待される。しかも、建物解体前の石綿検査届けが令和5年度より義務づけられているので、解体予定者にとって有益な方法と考える。簡易石綿検出法として認定されれば、災害廃棄物処理及び建物解体時の石綿検出のスクリーニング法として貢献すると考える。

【行政等が活用した成果】

特になし



4. 研究成果の発表状況

- 口頭発表【サブテーマ1】
 - 1) Masaaki Tabata: 3RINs 2022, March 14-16, Kyoto, Japan、Abstract、B6-1, Image analysis of asbestos on the surface of wasted building materials by staining
 - 2) Masaaki Tabata, Ryota Harada, Mitsunori Yada and Tomoya Umehara: 3RINs 2023, March 13-17, Kyoto, Japan, Abstract, 261-262. Detection of Asbestos of Wasted Building-Materials by Staining for On-site Analysis
 - 3) 田端正明、原口諒多: 日本分析化学会第71回年会、2022年9月14～16日、岡山、講演要旨集PB3056
廃棄建材の石綿検出のための建材表面染色法の検討
 - 4) 【予定】田端正明、原口諒多、矢田光徳、梅原智也、古川：瑞翔：日本分析化学会第72回年会、2023年9月13～15日、熊本、電荷の異なる二つの色素を用いる廃棄建材表面の石綿分析と染色機構
 - 5) 【予定】田端正明：日本分析化学会第72回年会、生涯分析談話会、2023年9月13日、熊本、「まだあるアスベスト、どうする —建材中のアスベストの検出・分析法—
 - 6) 【予定】田端正明、原口諒多、矢田光徳、梅原智也、古川飛翔: 第34回廃棄物資源循環学会研究発表会、2023年9月11～13日、大阪、災害・建物解体時に廃棄された建材の表面色素染色による石綿検出法

- 口頭発表【サブテーマ2】

- 1) Masaaki Tabata, Ryota Harada, Mitsunori Yada and Tomoya Umehara: 3RINs 2023, March 13-17, Kyoto, Japan, Abstract, 261-262. Detection of Asbestos of Wasted Building-Materials by Staining for On-site Analysis
- 2) 【予定】 田端正明、原口椋多、矢田光徳、梅原智也、古川：瑞翔：日本分析化学会第72回年会、2023年9月13～15日、熊本、電荷の異なる二つの色素を用いる廃棄建材表面の石綿分析と染色機構
- 3) 【予定】 田端正明、原口椋多、矢田光徳、梅原智也、古川飛翔: 第34回廃棄物資源循環学会研究発表会、2023年9月11～13日、大阪、災害・建物解体時に廃棄された建材の表面色素染色による石綿検出法

【サブテーマ3】

< 論文（査読あり） >

- 1) Hikaru Tomita, Teruya Minamoto : Detection of Stained Chrysotile in Microscopic Images Using Wavelet-based Texture Features, Proceedings of the 2022 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 6 pages.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICWAPR56446.2022.9947130>
- 2) Hikaru Tomita and Teruya Minamoto : A Detection Method for Stained Asbestos Based on Dyadic Wavelet Packet Transform and a Locally Adaptive Method of Edge Extraction, Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 1445), 2023, pp.73-78.
DOI : https://doi.org/10.1007/978-3-031-28332-1_9

国際会議口頭発表

- 1) Hikaru Tomita, Teruya Minamoto : Detection of Stained Chrysotile in Microscopic Images Using Wavelet-based Texture Features, the 2022 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition , Toyama International Conference Center, Toyama, Japan, 9-11 September, 2022.
- 2) Hikaru Tomita, Teruya Minamoto : A Detection Method for Stained Asbestos Based on Dyadic Wavelet Packet Transform and a Locally Adaptive Method of Edge Extraction, The 20th International Conference on Information Technology: New Generations, Las Vegas, USA, April 24-25, 2023 (ZOOM presentation) .

5. 研究の効率性

33

各サブテーマが互いに必要な情報を即座に共有できるようにMicrosoft Teamsを使い、研究体制の効率化を図った。例えば、サブテーマ1とサブテーマ2では、共通のサンプルを用いてそれぞれの方法で得た実験結果をアップロードし、異なった立場から考察できるようにした。サブテーマ3ではそれらのデータを基に画像解析を行った。定期的に進捗状況を互いにチェックすることで目標と照らしながら、課題管理のもとで研究を進めた。

