

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

公募区分：革新型研究開発（若手枠）

研究実施期間：令和4（2022）年度 ～ 令和5（2023）年度

課題番号：【5RF-2201】

体系的番号：（J P M E E R F 22025R01）

研究課題名：「建築物の解体現場等において現場判定を可能とする大気飛散アスベスト検出技術の開発」

Research Title：Development of atmosphere emission asbestos on-site detection technology at demolition of buildings

研究代表者名：濱脇 亮次

研究代表機関名：広島県立総合技術研究所保健環境センター

研究領域：安全確保領域

キーワード：アスベスト、解体現場、迅速検出、*N, N'*-ジエチル-*p*-フェニレンジアミン (DPD)

令和6（2024）年5月

目次

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書	1
[課題概要]	3
1. はじめに（研究背景等）	6
2. 研究開発目的.....	6
3. 研究目標	7
4. 研究開発内容.....	8
5. 結果及び考察.....	12
6. 目標の達成状況と環境政策等への貢献	17
(1) 研究目標の達成状況.....	17
(2) 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献.....	18
7. 研究成果の発表状況.....	19
(1) 成果の件数.....	19
(2) 誌上発表.....	19
(3) 口頭発表.....	21
(4) 知的財産権.....	21
(5) 「国民との科学・技術対話」の実施	22
(6) マスメディア等への公表・報道等	22
(7) 研究成果による受賞.....	22
(8) その他の成果発表.....	22
8. 国際共研究等の状況.....	23
9. 研究者略歴.....	23
Abstract.....	23

[課題概要]

<課題情報>

公募区分：	革新型研究開発（若手枠）
研究実施期間：	令和4（2022）年度 ～ 令和5（2023）年度
課題番号：	【5RF-2201】
研究課題：	「建築物の解体現場等において現場判定を可能とする大気飛散アスベスト検出技術の開発」
研究代表者：	濱脇 亮次（広島県立総合技術研究所保健環境センター、主任研究員）
重点課題（主）：	【重点課題⑯】大気・水・土壌等の環境管理・改善のための対策技術の高度化及び評価・解明に関する研究
重点課題（副）：	【重点課題⑤】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
行政要請研究テーマ（行政ニーズ）：	（5-5）大気濃度測定に基づく、石綿の除去現場における実用的な漏えい確認手法の開発
研究領域：	安全確保領域

<キーワード>

アスベスト
解体現場
迅速検出
N, N' -ジエチル- p -フェニレンジアミン (DPD)

＜研究体制＞

サブテーマ1「建築物の解体現場等において現場判定を可能とする大気飛散アスベスト検出技術の開発」

＜サブテーマ1リーダー及び研究分担者＞

機関名	部署名	役職名	氏名	参画期間
広島県立総合技術研究所保健環境センター	環境研究部	主任研究員	濱脇 亮次	
広島県立総合技術研究所保健環境センター	環境研究部	主任研究員	竹本 光義	2022年

＜サブテーマ1研究協力者＞

機関名	部署名	役職名	氏名
広島県立総合技術研究所保健環境センター	環境研究部	主任研究員	山本 康彦

＜研究経費（間接経費を含む）＞

年度	直接経費	間接経費	経費合計
2022	3,358千円	1,000千円	4,358千円
2023	2,783千円	800千円	3,583千円
合計	6,141千円	1,800千円	7,941千円

＜研究の要約＞

天然鉱物繊維であるアスベストは優れた耐熱性等を有することから、建築材料等の様々な産業資材に活用されたが、大気中に飛散したアスベストを吸引すると、肺がん等を引き起こすため、国内での使用は原則禁止されている。一般的に、建築物の解体現場では、大気中に飛散したアスベストの有無を位相差顕微鏡等によって観察するが、この方法は時間を要することから解体現場でのアスベスト検出には不向きである。我々は、これまでアスベスト選択的に発色させる N,N' -ジエチル- p -フェニレンジアミン (DPD)を用いて、建材中に含まれるアスベストを目視で迅速に検出する技術を開発してきた。本研究では、この技術を活用して大気中に飛散したアスベストを解体現場等で迅速に検出する技術の開発を目指した。この研究により、アスベストに対する検出感度を向上させた結果、顕微鏡等の分析装置を用いることなく、大気中のアスベスト繊維（アスベスト繊維濃度：1f/L）を目視にて検出することが可能となった。以上のことから、DPDを活用した大気飛散アスベスト検出技術は環境行政職員の科学的知見に基づく行政指導を支援するための新たな現場観測ツールとして有効である。

1. はじめに（研究背景等）

アスベストは耐熱性・耐火性等に優れることから建築材料等の様々な産業資材に用いられてきた。しかしながら、大気中に飛散したアスベストを吸入することで、肺がん等の健康疾患を誘発するおそれがあることから、アスベストを含む建築物や工作物を解体・処分する際は、大気中にアスベスト繊維が飛散しないよう適切な管理とモニタリングが求められる。また、2030年に解体工事件数がピークを迎えることから、アスベスト規制に関する大気汚染防止法は対象建材の拡大や資格者による事前調査の義務付け等より一層強化されている（環境省、2018）。しかしながら、建築物の解体時に必要な事前調査や処置（養生等）が適切に実施されないまま解体现場が実施された報告が未だに後を絶たない（環境省、2024）。不適正な解体工事等が行われた場合、アスベスト規制に関わる環境部局の職員は、早急に周囲へのアスベスト飛散状況を調査しなければならないが、アスベストモニタリングマニュアル（第4.2版）に示された位相差／ラマン分光法等は高額な分析装置の購入が必要であることに加え、現場に調査器材とは別に分析装置を持ち込む必要があるため、広く普及していない。

本研究では、解体现場等においてアスベストの飛散状況を迅速に把握するための大気飛散アスベスト検出技術の開発（検出目標濃度：1f/L）を目的とする。この技術の開発にあたっては、我々がこれまでの研究を通じて開発した発色剤によるアスベスト迅速検出技術（特許第6781441号及び特許第6864892号）を活用する。また、広島県環境行政部局が実施するアスベストモニタリング調査や広島県が所有する庁舎の解体工事等をフィールドとして、開発した技術の実用性を評価する。

（参考文献）

中央環境審議会大気・騒音指導部会 石綿飛散防止小委員会（第1回）資料4、平成30年10月18日
令和5年度アスベスト大気濃度調査結果、環境省、2024

2. 研究開発目的

これまで、全国の環境行政部局及び計量証明事業所が実施する大気中に暴露されたアスベストの分析は大気中の粉じんをメンブレンフィルター上の捕集した後に、位相差顕微鏡等を用いて分析を行うが、この方法は結果が判明するまでに時間を要するといった課題がある。本研究では、この課題を解決すべく、大気中に飛散したアスベストを誰もが容易にかつ迅速に検出する技術を開発し、最終的には環境行政部局が実施する解体现場でのアスベストモニタリング調査へ反映させることを目的とする。

3. 研究目標

全体目標	<p>大氣中に飛散するアスベストの迅速検出技術はアスベストモニタリングマニュアル等に示されているが、いずれの方法も多額の装置導入費用が必要であり、さらにはアスベストを同定できる専門性が必要である。本研究では、我々が見出した特許技術（発色剤を用いた建材中のアスベスト迅速検出技術）を活用し、解体現場及び一般環境において、高額な装置を必要としない容易かつ迅速（10分以内）に大氣中のアスベスト繊維濃度（漏えいの目安とする石綿繊維濃度：1f/L）を判定できる大氣飛散アスベスト検出技術の開発を目標とする。</p>
サブテーマ1	「建築物の解体現場等において現場判定を可能とする大氣飛散アスベスト迅速検出技術の開発」
サブテーマ1 実施機関	広島県立総合技術研究所保健環境センター
サブテーマ1 目標	全体目標と同じ。

4. 研究開発内容

＜【サブテーマ1】「建築物の解体現場等において現場判定を可能とする大気飛散アスベスト検出技術の開発」の研究開発内容＞

本研究は、以下の4項目について、研究開発を実施した。（ ）内に年次研究計画との対応を表す。

- 4.1 N,N' -ジエチル- p -フェニレンジアミン(DPD)の人造鉱物繊維及び天然鉱物繊維に対する発色性 (初年度研究計画)
- 4.2 解体現場を想定した模擬大気捕集フィルターの試作(初年度研究計画)
- 4.3 現場におけるアスベスト判定手法の検討(2年度研究計画)
- 4.4 大気飛散アスベスト検出技術の開発(初年度研究計画)
- 4.5 解体現場におけるアスベスト調査を通じた大気飛散アスベスト検出技術の実用性に関する評価 (2年間継続研究計画)

それぞれの研究開発の詳細を以下に説明する。

4.1 N,N' -ジエチル- p -フェニレンジアミン(DPD)の人造鉱物繊維及び天然鉱物繊維に対する発色性

研究代表者らはこれまでの研究により、DPDが国際労働機関（ILO）に定められたアスベスト6種との接触することで選択的な発色を示すことを明らかにしてきた（特許第6781441号、濱脇ら(2021)）。また、このDPDの特徴を活用して建築材料中に含まれるアスベストの有無を目視により判定する技術を開発している。これは、DPDがアスベスト繊維と共生するブルース石（天然に鉱物として産出する水酸化マグネシウム）等と選択的に反応を示すことで、発色が起こる。アスベストは2006年以降、国内での使用が原則禁止となっているが、それ以前からアスベストの毒性は指摘されており、アスベストに代わる人造鉱物繊維が建材等には多く活用されている。これまで、研究代表者らは主にアスベスト代替繊維として普及が進むロックウール及びグラスウールに対して、DPDは発色しないことを明らかにしているが、その他の鉱物性繊維が大気中に飛散している可能性も考えられる。そこで、本研究ではDPDとアスベスト代替繊維として普及している人造鉱物繊維と天然鉱物繊維をそれぞれDPD水溶液に浸漬し、各繊維とDPDの反応性を検討した。本研究では建材などに使用される繊維状物質の中で入手可能な繊維状物質4種（アルミナ繊維、セラミックファイバー、石英、ウォラストナイト）を対象とした。

4.2 解体現場を想定した模擬大気捕集フィルターの試作

4.2.1 アスベスト模擬フィルターの試作

研究代表者の所属する広島県では、1996年に吹き付け石綿が使用された建築物の解体作業が規制対象となって以降、解体工事周辺の大気粉じん中に含まれるアスベストの有無を調査してきた。しかしながら、これまでこの調査においてアスベストが飛散した事例はない。そこで、本研究では解体現場からアスベストが検出されることを想定したフィルターの試作を試みた。大気中に飛散したアスベスト調査の公定法であるアスベストモニタリングマニュアル第4.2版における大気捕集条件（メンブレンフィルター（孔径：0.80 μ m）を用いて、吸引速度10L/min、吸引時間2～4時間）に準じることにした。

また、これまで解体現場周辺において飛散したアスベスト繊維の直径はその多くが5～30μmの範囲にあることが報告（江本ら、2009）されていること、アスベストモニタリングマニュアル第4.2版においても長さ5μm以上幅30μm未満である繊維状物質が計数の対象とされていることから、本研究においてもフィルター上のアスベスト繊維のサイズが直径5μm以上30μm未満、幅3μm以下となるようアスベストを付着させた模擬フィルター（以下、アスベスト模擬フィルター）の試作した（図1に作製方法を示す）。本研究では、フィルター上の総アスベスト繊維を1,200本～24,000本/枚となるように図中に示すアスベスト分散液の添加量を調整した。

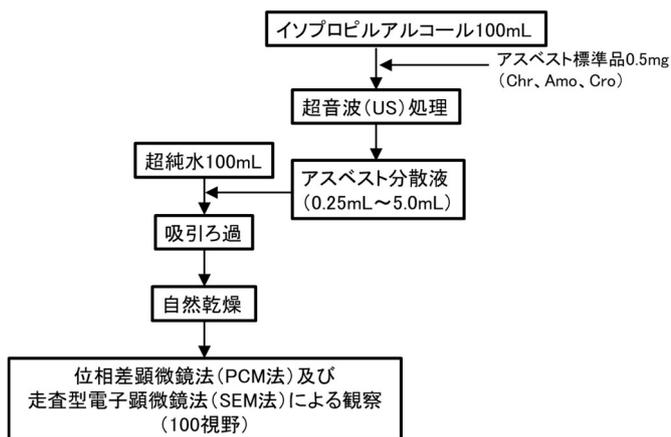


図1 アスベスト模擬フィルターの作製方法

（参考文献）

江本勇治、藤森英治、中村勇兒、竹内浄、大気環境学会誌、44(5)、p. 242-247、2009

4.2.2 解体現場を想定した模擬大気捕集フィルターの試作

また、実際の解体現場における大気中の粉じんにはアスベスト等の繊維状物質だけでなく、建材や周辺環境の粉じん（塵及び埃等）等も含まれる。従って、実際の解体現場を想定した模擬フィルターはアスベスト繊維だけでなく、建材等の粒子もフィルター上に付着させる必要がある。過去に広島県が実施したアスベスト調査で得られたフィルター試料の予備測定結果から付着粒子は10～100μmの範囲にあったことを参考に粒子径範囲を決定した。図2.1に示す発じん発生装置と遊星ボール等により粉砕した建材を用いて、フィルター上に建材の粒子を付着させた。大気捕集模擬フィルターの作成フローを図2.2に示す。なお、フィルター上の粉じん量は、アスベストモニタリングマニュアル第4.2版に示された粉じん量（0.3mg/cm²）を参考に、付着粉じん量を約0.15mg/cm²、約0.3mg/cm²、約0.45mg/cm²となるように調整した。日本国内において、アスベストを含む建築材料等は飛散性の違いを3つのレベルに分類され、レベル1は最も飛散性の高い吹き付け石綿、レベル2はレベル1に次いで飛散性の高い配管保温材等、レベル3建材は比較的飛散性の低い非飛散性アスベスト含有建材と規定されている。2022年の改正大気汚染防止法の施行により、全レベルのアスベスト含有建材が規制対象に加わったことから、ロックウール、石膏ボード、波板スレート板、ケイ酸カルシウム板、ロックウール吸音板及びフレキシブルボードを原料とする破碎粉塵をさらに混在付着させることも試みた。なお、実際の解体現場における粉じん中には解体現場から排出される粉じんだけでなく、周辺環境の粉じんの影響も考慮する必要があるが、これまで広島県環境行政部局が

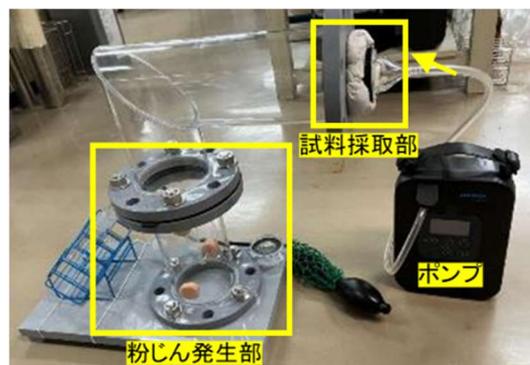


図2.1 本研究で使用した発じん発生装置

は飛散性の違いを3つのレベルに分類され、レベル1は最も飛散性の高い吹き付け石綿、レベル2はレベル1に次いで飛散性の高い配管保温材等、レベル3建材は比較的飛散性の低い非飛散性アスベスト含有建材と規定されている。2022年の改正大気汚染防止法の施行により、全レベルのアスベスト含有建材が規制対象に加わったことから、ロックウール、石膏ボード、波板スレート板、ケイ酸カルシウム板、ロックウール吸音板及びフレキシブルボードを原料とする破碎粉塵をさらに混在付着させることも試みた。なお、実際の解体現場における粉じん中には解体現場から排出される粉じんだけでなく、周辺環境の粉じんの影響も考慮する必要があるが、これまで広島県環境行政部局が

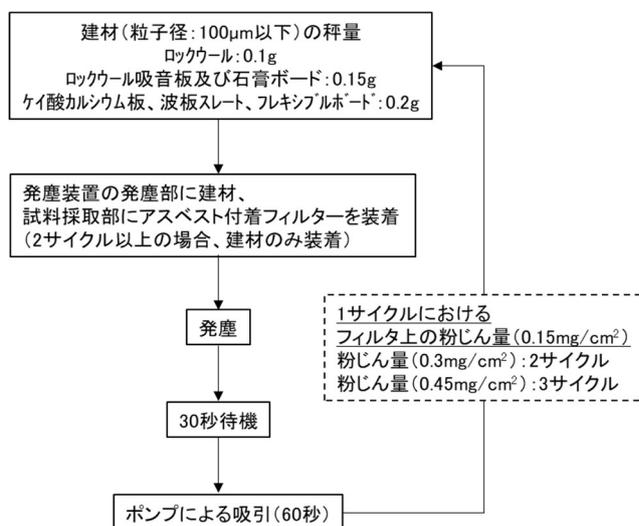


図2.2 大気捕集模擬フィルターの作成方法

幹線道路等の一般環境を調査した大気捕集試料（約200試料）をDPD水溶液に浸漬したところ、その水溶液は全て発色を示さなかったため混在粉塵原料から除外した。本研究においては、妨害発色が起こる要因としては建材由来の成分のみを対象とした。また、試作したフィルター上の繊維状物質の計数測定は、アスベストモニタリングマニュアル（第4.2版）に基づき、位相差顕微鏡(PCM)法または走査型電子顕微鏡(SEM)法により適宜行った。建材由来の粒子サイズはSEMにより計測した。

4.3 現場におけるアスベスト判定手法の検討

最近、解体現場等における大気中アスベストの簡易分析法として、蛍光顕微鏡による大気アスベスト検出法等が提案されている（黒田ら、2019）が、公定法（アスベストモニタリングマニュアル（第4.2版））では、位相差／ラマン顕微鏡法等が規定されている。いずれの方法も顕微鏡等の高額な分析装置を必要とし、定期的な校正等の精度管理作業を行わなければならない。これらの方法は精度よく現場でアスベストの有無を判定できる一方、装置を操作するための基礎知識を習得しておく必要があり、解体現場で調査を担う技術系行政職員にはかなりの負担となっている。

このような背景の下、研究代表者らは発色剤作用のあるDPD水溶液をアスベスト繊維と接触発色させる簡易な手法を開発した。アスベスト有無の判定は発色濃淡による目視観察で行うことが可能であるが、定量的な感度判定にはポータブル型の分光光度計を用いることもできる。本研究では、ポータブル分光光度計として吸光度計RGB（株式会社共立理化学研究所製）を用いて、紫外可視近赤外分光光度計（日本分光製V-770）との比較測定による検証を行った。

現場における定性的な目視判定についても検討を加えた。本研究の中で発色剤として使用しているDPDは水道水中の消毒剤（次亜塩素酸ナトリウム）の判定試薬として広く普及していることから目視判定に必要とされる標準色のデータが充実している。DPDとアスベストによる発色スペクトルは次亜塩素酸素とDPDとの反応によって生じる発色スペクトルと類似していることが判っている。DPD発色による標準色のAcidRed265を用いて、目視観察の基準吸光度と吸光度計RGB（株式会社共立理化学研究所製）吸光度の比較も行った。

（参考文献）

黒田章夫、石田丈典、西村智基、大気アスベスト迅速検査する蛍光顕微鏡法の開発と自動化の試み、廃棄物資源循環学会誌、31(5)、2020、345-351

環境省：アスベストモニタリングマニュアル第4.2版

4.4 大気飛散アスベスト迅速検出技術の開発

一般的に、建材中に含まれるアスベストは建築基準法等において、建材重量に対するアスベストの重量割合(%)で表される。一方、大気中のアスベスト繊維濃度は繊維の本数で表されるため、単位は大気捕集量に対する繊維数(f/L)として表記される。本課題では、4.2.1で試作したアスベスト付着模擬フィルターを用いて、大気アスベスト繊維数濃度に対するDPDの発色強度を検討するとともにDPDを用いたアスベスト検出技術の更なる技術改良を試みた。

4.5 解体現場におけるアスベスト調査を通じた大気飛散アスベスト検出技術の実用性に関する評価

2023年8月、2023年9月、2024年1月に開発した技術の実用性を評価するため、広島県の環境行政部局が実施するアスベストモニタリング調査に同行し、開発した技術の実用性を検討した。現場における大気捕集条件はアスベストモニタリングマニュアル(第4.2版)に示された条件（捕集時間：1～4時間、大気吸引速度：10～20L/min）にて実施し、採取した試料はDPDを用いたアスベストの検出だけでなく、PCM法及びSEM法によるアスベスト分析も並行して実施した。また、現場で採取した試料は公定法による検査が並行して行われるため、使用できるフィルターが限られている。そのため、図2.3に示す方法によりDPDによるアスベストの検出を行った。また、アスベストが検出されなかった現場試料は、現場試料に1.0f/L又は10f/Lに相当するアスベスト分散液を添加して、開発した技術の実用性を検討した。

また、本研究においては、開発した技術の実用性をさらに検討するため、過去に広島県環境行政部局が解体現場周辺でサンプリングした試料とアスベスト分散液を用いて、DPDによるアスベストの検出を行った。

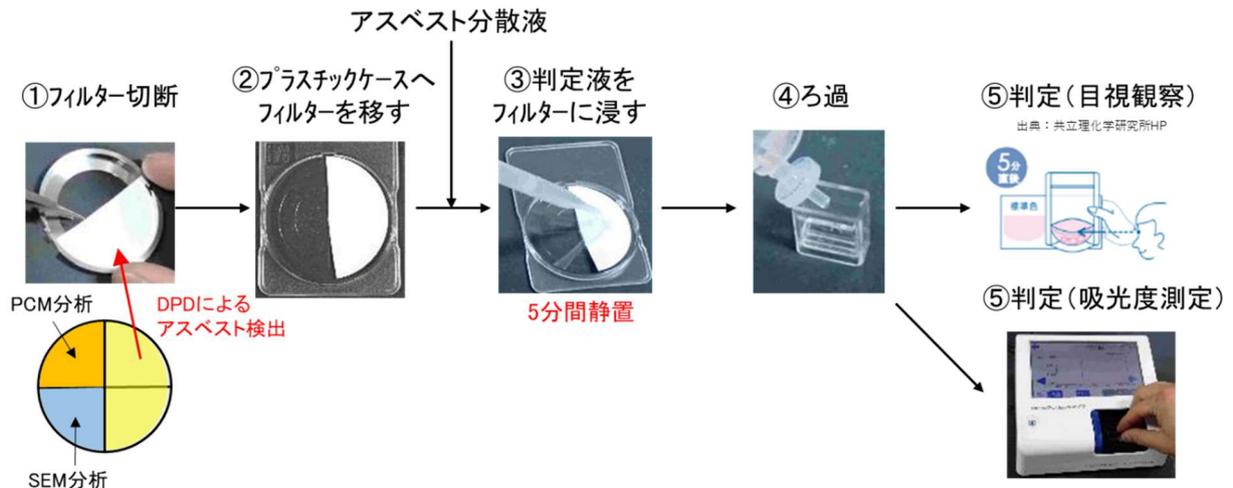


図2.3 DPDによる大気飛散アスベストの検出方法

5. 結果及び考察

5.1 *N,N'*-ジエチル-*p*-フェニレンジアミン (DPD) の人造鉱物繊維及び天然鉱物繊維に対する発色性

これまで、アスベスト6種及び代替繊維として広く普及するロックウール及びグラスウールに対する発色性について検討を行ってきたが、その他の人造鉱物繊維及び天然鉱物繊維については、分析化学的な検討が十分に行われていない。そこで、建築材料に含まれる可能性のある4種の繊維状物質（神山、2004）に対するDPDの発色性を検討した。図3に各繊維に対するDPDの発色性を示す。アスベスト6種はDPD水溶液に1mg程度を加えるだけで目視による観察が可能であるが、その他の繊維はアスベスト繊維の100倍量に相当する100mg程度を加えても発色は認められなかった。このことからDPDはアスベスト繊維に対して選択的に発色を示す化合物であり、大気中に飛散したアスベストの検出剤として有効であると考えられる。

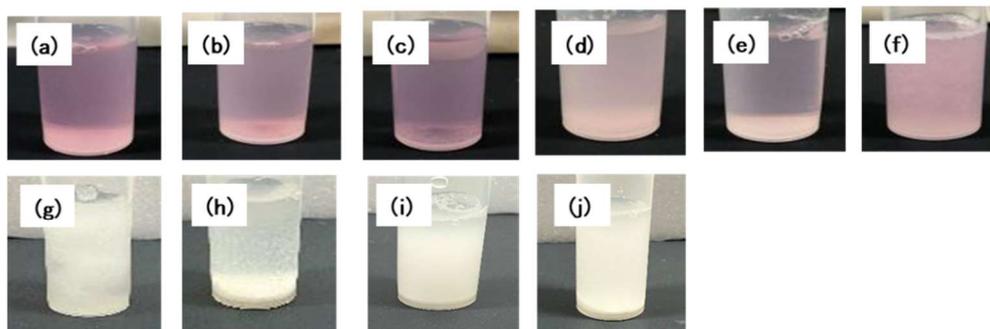


図3 DPDに対する各繊維の発色性

(a)クリソタイル、(b)アモサイト、(c)クロシドライト、(d)トレモライト、(e)アクチノライト、(f)アンソフライト
(g)セラミックファイバー、(h)アルミナ繊維、(i)石英、(j)ウオラストナイト

(参考文献)

神山宜彦、安全衛生コンサルタント：一般社団法人日本労働安全衛生コンサルタント会機関紙、24(71)、2004、42-46

5.2 解体現場を想定した模擬大気捕集フィルターの試作

5.2.1 アスベスト模擬フィルターの試作

本研究では、図1の方法に従い、アスベスト模擬フィルターを試作した。それぞれの5 μ m毎の繊維サイズと繊維数の関係性を図4.1に示す。図4.1はフィルター上のアスベスト総繊維を2400本（大気アスベスト濃度：1.0f/L（吸引量：2400L））とした繊維のサイズと本数を計数したものである。PCM法による観察の結果、いずれアスベスト模擬フィルターも繊維サイズは大半が5 μ m以上30 μ m未満の範囲にあり、フィルター1枚あたりの繊維数は2300～2550本（平均値：2400本、n=5）であった。

また、本研究では、アスベスト繊維数に応じたDPDの発色性を検討するため、1.0f/L以外にもアスベスト繊維濃度を2.0、5.0、10f/Lとしたアスベスト模擬フィルターを試作した。その結果、試作したフィルターの繊維サイズは大半が5 μ m以上30 μ m未満の範囲にあり、繊維数についても2.0f/L：4,600～4,900本/枚（平均本数：4780本/枚、n=5）、5.0f/L：11,100～13,300本/枚（平均本数：12,100本/枚、n=5）、10f/L：23,200～24,600本/枚（平均本数：23,800本/枚、n=5）であった（図4.2）。

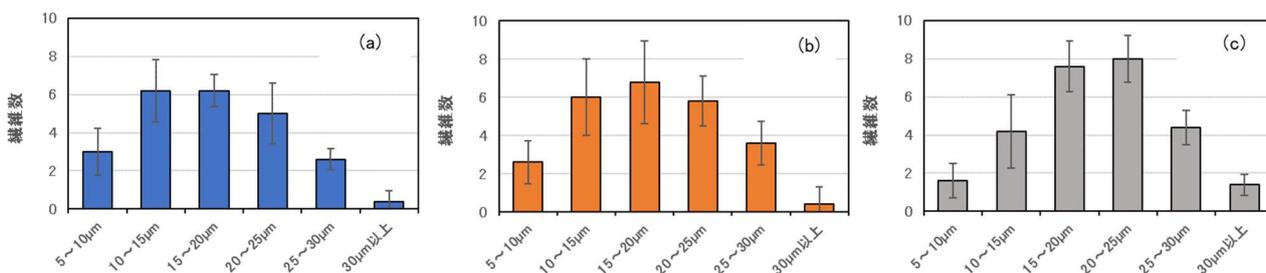


図4.1 PCM法によるアスベスト付着フィルターのアスベスト繊維計数結果(100視野)
(a)クリソタイル、(b)アモサイト、(c)クロシドライト

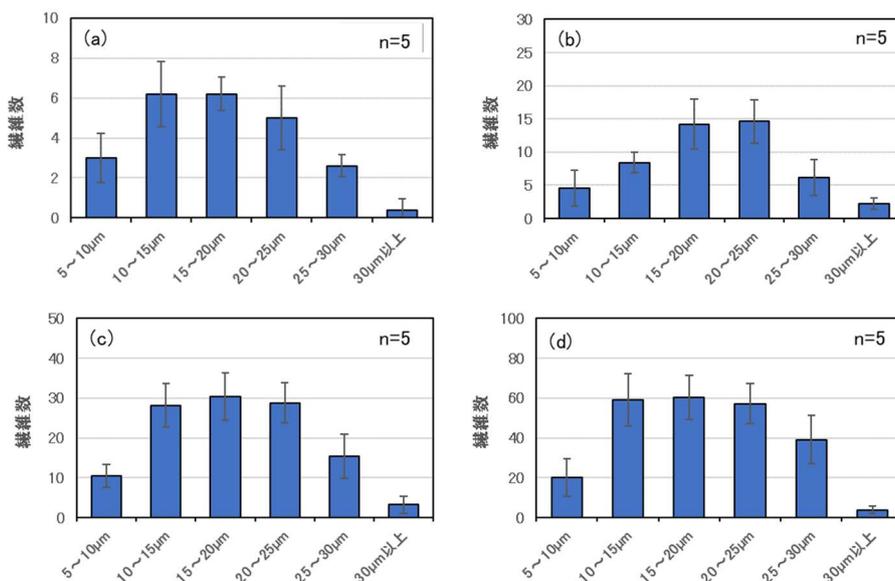


図4.2 PCM法による模擬フィルター上の100視野あたりのクリソタイル計数結果
(a)2400本/枚(1.0f/L)、(b)4800本/枚(2.0f/L)、
(c)12,000本/枚(5.0f/L)、(d)24,000本/枚(10f/L)

また、アスベスト模擬フィルターの分析はPCM法による観察だけでなく、SEM法によるアスベスト繊維の形態観察と元素分析を並行して行った。分析の結果、PCM法及びSEM法ともに計数した繊維数に大きな差異はなく、エネルギー分散型X線 (EDX) 分析から観察された繊維状物質は全てアスベストであることを確認した(図4.3及び図4.4)。

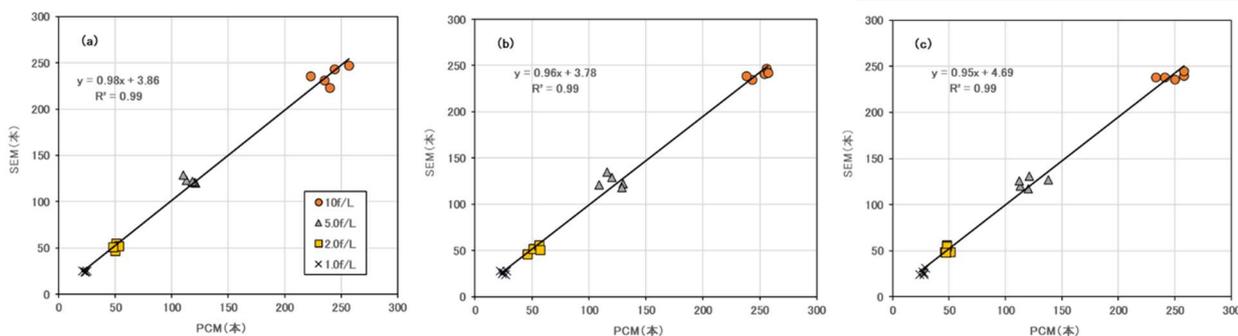


図4.3 PCM法による模擬フィルター上の100視野あたりのクリソタイル計数結果
(a)クリソタイル、(b)アモサイト、(c)クロシドライト

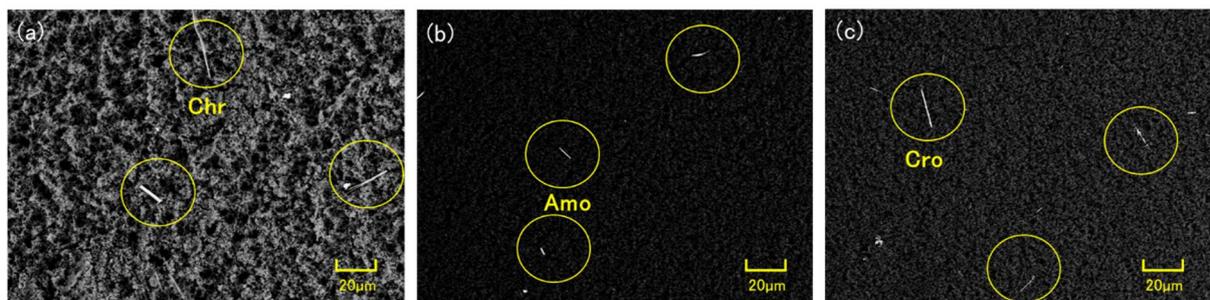


図4.4 アスベスト模擬フィルター上に付着したアスベスト繊維のSEM像
(a)クリソタイル、(b) アモサイト、(c)クロシドライト

5.2.2 解体現場を想定した模擬大気捕集フィルターの試作

図2.2に示した方法により作成した建材別の粉じん量は、いずれの建材を発塵させた場合においても $0.15\text{mg}/\text{cm}^2 \sim 0.45\text{mg}/\text{cm}^2$ の範囲にあり、目的とする模擬大気捕集フィルターを試作することができた。

作成した模擬大気捕集フィルターのSEM像を表1に示す。いずれの建材を付着させた場合においても、フィルター上の粒子は全て $100\mu\text{m}$ 以下であり、広島県行政部局が実施したアスベスト調査で捕集したフィルターと外観と概ね一致していた。表1はケイ酸カルシウムを用いた模擬大気捕集フィルターのSEM像であるが、その他の建材を用いた付着した模擬大気捕集フィルターについても同様の外観であった。

表1 模擬大気捕集フィルターのSEM像（建材：ケイ酸カルシウム板）

	粉じん量		
	$0.15\text{mg}/\text{cm}^2$	$0.30\text{mg}/\text{cm}^2$	$0.45\text{mg}/\text{cm}^2$
BL (アスベストなし)			
Chr			
Amo			
Cro			

5.3 現場におけるアスベスト判定手法の検討

DPD発色液の標準色であるAcidRed265を用いて、ポータブル吸光度計RGBの測定値と紫外可視近赤外分光光度計（日本分光製：V-770）の測定値を検証した（図6.1）。その結果、RGBはV-770と同じ測定値を示し、測定精度も変動係数3%以内であった。また、AcidRed265のUVスペクトルとその外観を図6.2に示す。図6.2に示すように3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ よりも強い発色を示せば、現場での目視観察が可能になる。なお、この時の A_{525} は0.012であり、本研究における検出下限値はこの値として研究を進めた。

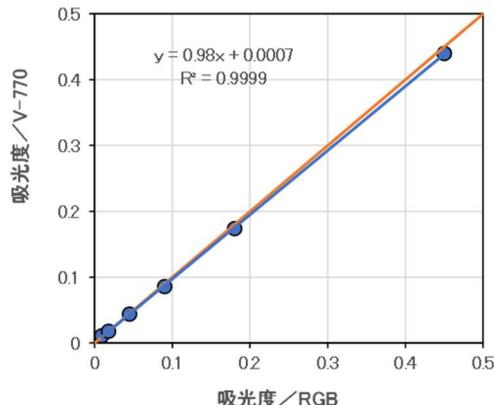


図5.1 ポータブル分光光度計(RGB)の測定精度

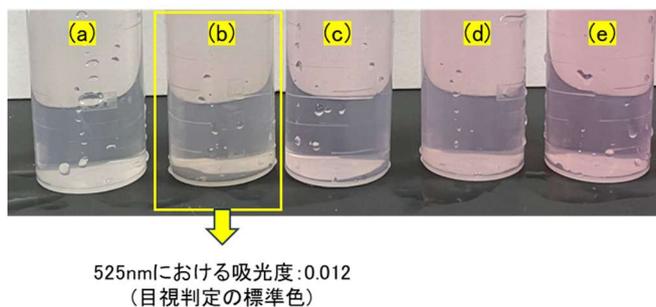
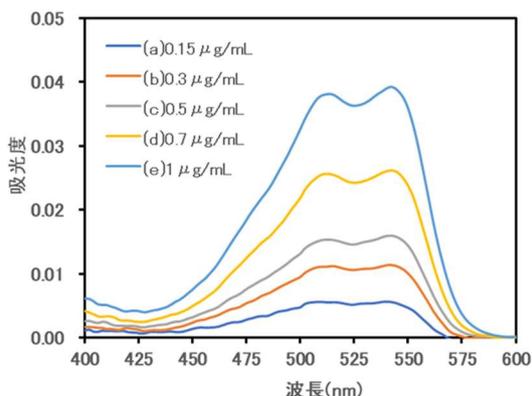


図5.2 Acid Red265のUVスペクトルと標準色の外観

5.4 大気飛散アスベスト迅速検出技術の開発

4.2.1で試作したアスベスト付着模擬フィルターを用いて、大気アスベスト繊維数濃度に対するDPDの発色強度を検討し、DPDを用いたアスベスト検出技術の更なる技術改良を試みた。その結果、大気アスベスト濃度に対するDPDの発色強度を明らかにし、更なる技術改良を試みることで、大気アスベスト繊維濃度（漏えいの目安とする石綿繊維濃度：1.0f/L）の検出が可能となった。なお、開発した改良技術は、特許出願を検討しているため、非公表とする。

5.5 解体現場におけるアスベスト調査を通じた大気飛散アスベスト検出技術の実用性に関する評価

広島県環境行政部局が実施するアスベスト調査に同行し、周辺環境のアスベスト調査を行った（図6.1）。広島県が実施したアスベスト調査はいずれも大気汚染防止法に基づく特定粉じん排出作業等のアスベスト除去現場である。本研究では、3つの現場を対象として開発した技術の実用性を評価した。なお、アスベスト除去対象建材は、アスベストレベル1とレベル2の吹き付け石綿と配管保温材であった。広島県環境行政部局はアスベストモニタリングに示された標準的な捕集条件によりアスベストモニタリングマニュアル（第4.2版）に示された3地点（セキュリティゾーン付近、排風機付近、敷地境界）で調査を実施した（表3、条件1）。本研究では、現場でアスベストの有無を判定する正確性だけでなく迅速性も求められるため、環境行政部局が実施す



図6.1 アスベストモニタリング調査地点
(a)配管保温材(レベル2, Chr. 2023年8月)、(b)吹き付け石綿(レベル1, Chr. 2023年9月)、(c)吹き付け石綿(レベル1, Chr. 2024年1月)

るアスベストモニタリング調査よりも吸引時間を短縮して、セキュリティゾーン付近及び排風機付近でのアスベスト調査を実施した（表3、条件2～4）。公定法に基づくアスベスト分析の結果、全ての現場においてアスベストは検出されなかった。

続いて、確立した技術の実用性を評価するため、(a)及び(b)の調査で採取した試料に10f/L又は1.0f/Lに相当するアスベスト分散液を便宜的に添加し、目視観察及びA₅₂₅から発色性について検討した。

その結果、(a)及び(b)のいずれの現場に

においても誤発色がおこることなく、アスベスト由来の発色を目視観察等によって検出することができた（図6.2）。図8.2は表3の条件2により採取した試料を用いた検討結果を示したものであるが、アスベスト判定液の量等を考慮することで、全ての条件において目視もしくはRGBによるアスベストの判定が可能であった。

また、同様の方法を用いて、過去の広島県環境行政部局がアスベストモニタリングで得たフィルター全100試料を対象に、DPDによるアスベストの検出を行った。その結果、全試料において誤発色は認められず、便宜的に1.0f/Lに相当するアスベスト分散液を添加することで、アスベスト由来の発色が確認された。

以上のことから、本研究で開発した技術はアスベストモニタリングマニュアルに示された大気捕集条件において、迅速かつ容易に大気中に飛散したアスベストを検出できる技術であると考えられる。

表3 アスベスト調査の大気捕集条件

捕集条件	吸引時間 (h)	吸引速度 (L/min)	大気捕集量 (L)	アスベストモニタリング地点		
				セキュリティゾーン付近	排風機付近	敷地境界
1	4	10	2400	○	○	○
2	2	20	2400		○	○
3	1	20	1200		○	○
4	2	10	1200		○	○

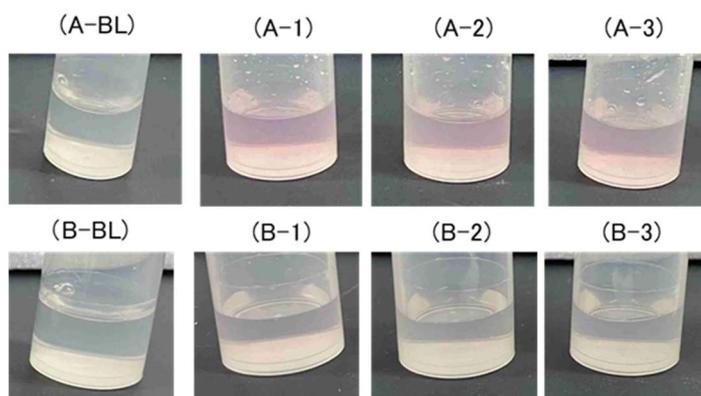


図6.2 現地調査で採取したフィルターのアスベスト検出
A-BL: 現場Aの大気捕集フィルター、A-1: Chr(10f/L添加)、
A-2: Amo(10f/L添加)、A-3: Cro(10f/L添加)
B-BL: 現場Bの大気捕集フィルター、B-1: Chr(1.0f/L添加)、
B-2: Amo(1.0f/L添加)、B-3: Cro(1.0f/L添加)

6. 目標の達成状況と環境政策等への貢献

(1) 研究目標の達成状況

<全体の達成状況>・・・・・・・・・・・・・・・・ 3. 目標どおりの成果をあげた

「建築物の解体現場等において現場判定を可能とする大気飛散アスベスト迅速検出技術の開発」

全体目標	全体の達成状況
<p>大気中に飛散するアスベストの迅速検出技術はアスベストモニタリングマニュアル等に示されているが、いずれの方法も多額の装置導入費用が必要であり、さらにはアスベストを同定できる専門性が必要である。本研究では、我々が見出した特許技術（発色剤を用いた建材中のアスベスト迅速検出技術）を活用し、解体現場及び一般環境において、既存する技術に比べ、装置を必要としない容易かつ迅速（10分以内）に大気中のアスベスト繊維濃度（漏えいの目安とする石綿繊維濃度：1f/L）を判定できる大気飛散アスベスト検出技術の開発を目標とする。</p>	<p>全体の達成状況 顕微鏡等の分析装置を用いることなく、DPDを発色剤とした大気飛散アスベスト迅速検出技術を開発した（研究目標を達成）。</p> <p>具体的な理由・根拠</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大気中のアスベスト繊維濃度とDPDによる発色強度の関係性を明らかにした(図7.1、図7.3、図7.4及び図7.6)。 ・DPDによるアスベスト発色技術を改良し、解体現場等において漏えいの目安となる石綿繊維濃度(1f/L)を目視観察あるいはポータブル分光光度計による吸光度測定から検出することが可能となった(図8.2、成果番号4)。 ・アスベストモニタリングマニュアル第4.2版に示された大気捕集条件において、大気アスベスト濃度(1f/L)の検出が可能となった(図7.3、図7.4、図7.6及び図7.8)。 ・本研究で開発した技術は位相差／ラマン分光装置等の高額な測定装置を使用することなく、目視あるいは安価な測定装置を用いることで大気中に飛散したアスベストを検出することが可能となった(図8.2)。 ・アスベストの検出に要する時間を当初の予定どおり10分以内で検出することが可能となった。 ・環境行政職員が実施するアスベスト調査に同行し、開発した技術は実用的であった。開発した技術は、環境行政職員が実施するアスベストモニタリング調査に導入可能であることが明らかとなった。 ・開発したアスベスト検出技術の実用化に向けて、令和6年度から水質簡易検査キットを販売する民間企業との共同研究が開始することとなった。 ・本研究の成果は、大気中に飛散したアスベスト繊維を迅速に検出する技術として、新規性及び進歩性が認められるため、令和6年度内に特許出願を予定している。

(2) 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献

＜得られた研究成果の学術的意義＞

大気中に飛散したアスベストを検出するためには、位相差顕微鏡や蛍光顕微鏡等の分析装置を用いた分析が行われる。これに対し、本研究はこれらの分析装置を用いることなく、大気中に飛散したアスベストを発色させることでアスベストの有無を目視判定できる測定技術を開発した。これまで顕微鏡等の分析装置を用いないとフィルター上のアスベストの繊維数を計数することは困難であったが、本研究で開発した技術は判定液の発色強度からフィルター上のアスベスト繊維数を推定することが可能である。また、現場における簡易アスベスト検出法は建材由来の妨害物質を除去するために、洗浄やろ過といった前処理作業が必要とされるが、本研究で開発した技術は前処理作業を必要とすることなく、ダイレクトに大気中に飛散したアスベストを検出することができる。以上のことから、この研究成果はこれまでの行われてきたアスベストの迅速検出の研究例の中でも特に革新的でありかつ独創性に富んだものである。

＜環境政策等への貢献に関する成果＞

2030年を目途に日本国内における解体工事の実施件数がピークを迎えることから、令和3年4月に改正大気汚染防止法が施行され、全てのアスベスト含有建材は規制の対象となった。しかし、アスベスト規制を強化しても、未だ不適切な解体工事の報告は後を絶たない現状にあり、環境行政職員の立入検査実施件数は年々増加している。不適切な工事を発見した場合、環境行政職員解体現場へ立入検査を行い、事業者に対して行政指導を行うが、この指導は主に口頭のみで行われるものである。仮に、解体現場等において大気中に飛散したアスベストの有無を簡易的にスクリーニングすることができれば、行政処分を前提としたより強い行政指導を行うことができる。このことから、本研究を通じて得られた研究成果は環境行政職員が実施する立入検査時において、科学的な根拠に基づく行政指導を実現するための新たな観測ツールとして環境政策に大きく貢献するものである。

また、この技術を企業等に技術移転してキット化すること等で環境産業に大きく貢献できるため、経済的なメリットも存在するが、各地方自治体でキットを保存することができるため、災害時のアスベスト対策などにも活用することができる。以上のことから、本研究で得られた成果は環境政策だけでなく、環境産業にも貢献することができる。

7. 研究成果の発表状況

(1) 成果の件数

成果の種別	件数
査読付き論文：	0件
査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）：	0件
その他誌上発表（査読なし）：	0件
口頭発表（国際学会等・査読付き）：	0件
口頭発表（学会等・査読なし）：	5件
知的財産権：	0件
「国民との科学・技術対話」の実施：	4件
マスコミ等への公表・報道等：	5件
研究成果による受賞：	0件
その他の成果発表：	4件

(2) 誌上発表

< 査読付き論文 >

成果 番号	【サブテーマ1】の査読付き論文
	特に記載すべき事項はない。

< 査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野） >

成果 番号	【サブテーマ1】の査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）
	特に記載すべき事項はない。

＜その他誌上発表（査読なし）＞

成果 番号	【サブテーマ1】のその他誌上発表（査読なし）
	特に記載すべき事項はない。

(3) 口頭発表

＜口頭発表（国際学会等・査読付き）＞

成果 番号	【サブテーマ1】の口頭発表（国際学会等・査読付き）
	特に記載すべき事項はない。

＜口頭発表（学会等・査読なし）＞

成果 番号	【サブテーマ1】の口頭発表（学会等・査読なし）
1	濱脇亮次：全国大気汚染防止連絡協議会第67回全国大会（2022）広島県発「特許技術を活用した迅速アスベスト検出技術」の紹介と今後の取組について
2	濱脇亮次、山本康彦：日本分析化学会第72回年会（2023） N, N' -ジエチル-パラフェニレンジアミン(DPD)を発色剤とした迅速アスベスト検出技術の開発
3	濱脇亮次：第50回全国公害防止研究発表会（2023） N, N' -ジエチル- <i>p</i> -フェニレンジアミン(DPD)を発色剤としたアスベスト迅速検出技術の開発
4	【予定】濱脇亮次：第65回大気環境学会年会(2024) N, N' -ジエチル- <i>p</i> -フェニレンジアミン(DPD)を発色剤とした大気飛散アスベスト迅速検出技術の開発
5	【予定】濱脇亮次、藤本直也、伊藤幸一：第65回大気環境学会年会(2024)解体現場模擬フィルターの試作と機械学習によるアスベスト繊維自動検出法の開発

(4) 知的財産権

成果 番号	発明者	出願者	名称	出願以降 の番号	出願 年月日
	特に記載すべき事項はない。				

(5) 「国民との科学・技術対話」の実施

成果 番号	実施 年度	【サブテーマ1】の実施状況
6	2022	一般公開、広島県保健環境センター施設見学会（主催：広島県立総合技術研究所保健環境センター、2022年6月16日、広島県立総合技術研究所保健環境センター、参加者約30名）にて研究成果を講演
7	2023	一般公開、広島県保健環境センター施設見学会（主催：広島県立総合技術研究所保健環境センター、2023年6月20日、広島県立総合技術研究所保健環境センター、参加者約30名）にて研究成果を講演
8	2023	広島県立総合技術研究所保健環境センター成果発表会（主催：広島県立総合技術研究所保健環境センター、2024年2月14日、参加者約200名）
9	2024	一般公開、広島県保健環境センター施設見学会（主催：広島県立総合技術研究所保健環境センター、2024年3月5日、広島県立総合技術研究所保健環境センター、参加者約30名）にて研究成果を講演

(6) マスメディア等への公表・報道等

成果番号	【サブテーマ1】のメディア報道等
10	PR TIMES (2022年5月25日、「アスベストを現場で「安価・迅速・簡単」に検査できる新技術」)
11	広島ホームテレビ (2022年5月29日、アスベスト検出技術とアスベスト検出キットについて5分程度紹介)
12	中国新聞 (2022年8月7日、中国地方版、15頁「アスベスト検出、早く簡単に 広島県保健環境センターなど特許技術でキット開発」)
13	広島県環境白書 (令和4年度版) 特許技術を活用したアスベスト検出技術の開発について～現場で「安価・迅速・簡単」に全てのアスベストを検出～
14	日本分析化学会 (展望とトピックス、12頁、アスベストを含む建材を現場で検出できる)

(7) 研究成果による受賞

成果番号	【サブテーマ1】の研究成果による受賞
	特に記載すべき事項はない。

(8) その他の成果発表

成果番号	【サブテーマ1】のその他の成果発表
15	濱脇亮次、竹本光義、藤井敬洋：第33回廃棄物資源循環学会研究発表会 (2022) N, N' -ジエチル- p -フェニレンジアミン (DPD) を用いた迅速アスベスト検出技術の開発 (第2報)
16	山本康彦、竹本光義、濱脇亮次：第64回大気環境学会年会 (2023) 解体及び破碎現場等における金属成分等の飛散状況
17	大気汚染防止法初任者研修会 (主催：広島県環境保全課、令和4年7月9日、参加者47名)
18	大気汚染防止法初任者研修会 (主催：広島県環境保全課、令和5年7月6日、参加者54名)

8. 国際共研究等の状況

<国際共同研究等の概要>

<相手機関・国・地域名>

機関名	国・地域名 (本部所在地等)
特に特記すべき事項はない。	

9. 研究者略歴

＜研究代表者略歴＞

代表者氏名	略歴（学歴、学位、経歴、現職、研究テーマ等）
濱脇 亮次	近畿大学大学院システム工学研究科修了 修士（工学） 荒川化学工業株式会社での研究所勤務を経て、 現在、広島県立総合技術研究所保健環境センター主任研究員 環境省アスベスト大気濃度調査検討会委員 専門は環境工学及び高分子化学、研究テーマは環境中における有害化学物質等の 迅速検出法の開発

Abstract

[Research Title]

Development of atmosphere emission asbestos on-site detection technology at demolition of buildings

Project Period (FY) :	2022-2023
Principal Investigator :	Hamawaki Ryoji
(PI ORCID) :	
Principal Institution :	Hiroshima Prefectural Technology Research Institute, Public Health and Environment Center Hiroshima, Japan 1-6-29 Minami-machi, Minami-ku, Hiroshima City, Hiroshima Prefecture, JAPAN Tel: +81-82-255-7145 Fax: 082-252-8642 E-mail: r-hamawaki85506@pref.hiroshima.lg.jp
Keywords :	Asbestos, Demolition of buildings, Rapid Detection Technique, <i>N,N'</i> -Diethyl- <i>p</i> -phenylenediamine (DPD)

[Abstract]

Asbestos, a natural mineral fiber, has been widely-utilized for various industrial materials such as building materials due to its excellent heat resistance. However, its useage in Japan is prohibited in principle due to the severe health risks associated with inhaling airborne asbestos, which can lead to lung cancer. Generally, the presence or absence of asbestos dispersed in the air is observed by phase contrast microscopy at building demolition sites, but this method is impractical for on-site detection due to its time-consuming nature. In this study, we aimed to develop a technology for rapid detection of asbestos dispersed in the air at demolition sites. A novel *N,N'*-diethyl-*p*-phenylenediamine (DPD) coloring method is developed. As a result of this research, the detection sensitivity for asbestos was improved. being to visually detect asbestos fibers as low as 1 f/L- in the air without using analytical equipment such as a microscope. DPD technology offers a promising on-site tool for environmental administrators. It allows for effective detection of airborne asbestos, supporting evidence-based administrative guidance grounded in scientific knowledge.

This research was funded by the Environment Research and Technology Development Fund (ERTDF).