

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

5-1901 蛍光顕微鏡法による大気アスベスト連続自動計測装置の開発と
解体現場におけるアスベスト飛散状況の解明
(J P M E E R F 2 0 1 9 5 0 0 1)

令和元年度～令和3年度

Development of Automated Asbestos-Monitoring System Using Fluorescent Microscopy and Its
Application to Analysis of Asbestos Dispersion at Demolition Sites

〈研究代表機関〉

国立大学法人広島大学

〈研究分担機関〉

東亜ディーケーケー株式会社

〈研究協力機関〉

有限会社シリコンバイオ
株式会社オプトサイエンス

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ．成果の概要」の図表番号は「0．通し番号」としております。なお、「Ⅱ．成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ．成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号．通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和4年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究目標	
4. 研究開発内容	
5. 研究成果	
5－1. 成果の概要	
5－2. 環境政策等への貢献	
5－3. 研究目標の達成状況	
6. 研究成果の発表状況	
6－1. 査読付き論文	
6－2. 知的財産権	
6－3. その他発表件数	
7. 国際共同研究等の状況	
8. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II－1 蛍光顕微鏡法による大気アスベスト連続自動計測装置の開発と解体現場におけるアスベスト飛散状況の解明	7
(国立大学法人広島大学、東亜ディーケーケー株式会社)	
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
III. 研究成果の発表状況の詳細	19
IV. 英文Abstract	21

I. 成果の概要

課題名 5-1901 蛍光顕微鏡法による大気アスベスト連続自動計測装置の開発と解体現場におけるアスベスト飛散状況の解明

課題代表者名 黒田 章夫 (国立大学法人広島大学 大学院統合生命科学研究科
生物工学プログラム 教授)

重点課題 主：【重点課題15】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

副：【重点課題4】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） (5-3) 石綿が使用された建築物等の解体等工事における石綿
の飛散状況の解明

研究実施期間 令和元年度～令和3年度

研究経費

79,949千円（合計額）

（各年度の内訳：令和元年度：28,918千円、令和2年度：26,274千円、令和3年度：24,757千円）

研究体制

（サブテーマ1）蛍光顕微鏡法による大気アスベスト連続自動計測装置の開発と解体現場における
アスベスト飛散状況の解明（広島大学）

令和2年度より研究計画変更申請書を提出し、東亜ディーケーケー株式会社が研究分担機関として
参画（他のサブテーマはない）。

研究協力機関

有限会社シリコンバイオ
株式会社オプトサイエンス

本研究のキーワード アスベスト、大気、蛍光顕微鏡、検出、自動化

1. はじめに（研究背景等）

アスベスト（石綿）は肺ガンや中皮腫などを引き起こすことから、我が国では2006年に全面禁止された。しかし、古い建物には約4,000万トンのアスベスト含有建材が残されていることから、アスベストの問題が終わった訳ではない。これらの建物の解体は2040年頃まで続くとされており、もしアスベストが漏洩すると、さらに数十年先までもアスベスト起因性のガン発症の問題を抱えることになる。特に、これまで隔離養生が行われていなかったレベル3*アスベスト建材に関しても建築物等解体現場（以降、解体現場と略す）でアスベストの飛散が確認され、その対策を講じる必要があることが分かってきた。しかし、レベル3建材の種類や工法によって、どの程度のアスベストがどの様に拡散していくのかは必ずしも明らかでない。これらを解明するためには、大気中のアスベスト濃度を連続的に測定できる装置の開発が必要である。また、工事関係者や自治体等が解体現場で大気中のアスベスト濃度を測定し、飛散が認められた場合に必要な措置を講じるためには、測定者の熟練を必要としない自動化が欠かせない。これまでの飛散アスベスト検査の公定法は、時間と手間がかかる電子顕微鏡を使う方法であったため、解体現場で利用できるモニタリング技術になり得なかった。また散乱光を測定することによるファ

イパーモニタリング装置も開発されているが、必ずしもアスベストを特異的に検出するものではなかった。国民の安全安心のために、飛散アスベストをモニターできる装置の開発は急務である。

*アスベストの飛散性により分類されるレベル：レベル1は最も発じん性の高いアスベスト含有吹付け材が含まれ、レベル3はスレートなど比較的発じん性が低いとされるアスベスト含有形成板などが含まれる。

2. 研究開発目的

研究代表者は、アスベストに特異的な蛍光試薬を開発し、大気アスベストを検査する方法（蛍光顕微鏡法）の開発を行ってきた。蛍光顕微鏡法とは、大気捕集フィルターにアスベストに結合する蛍光試薬を塗布し、蛍光顕微鏡下で光って見えるアスベストを計測する方法である。本研究では、①蛍光顕微鏡法による大気中のアスベスト検査の全行程を自動化し、連続的に測定できる装置を開発する。さらに、②本装置を用いて建材別、工法別の解体現場でのアスベスト飛散状況を解明することによって、建築物解体時の飛散防止対策に貢献することを目的とする。

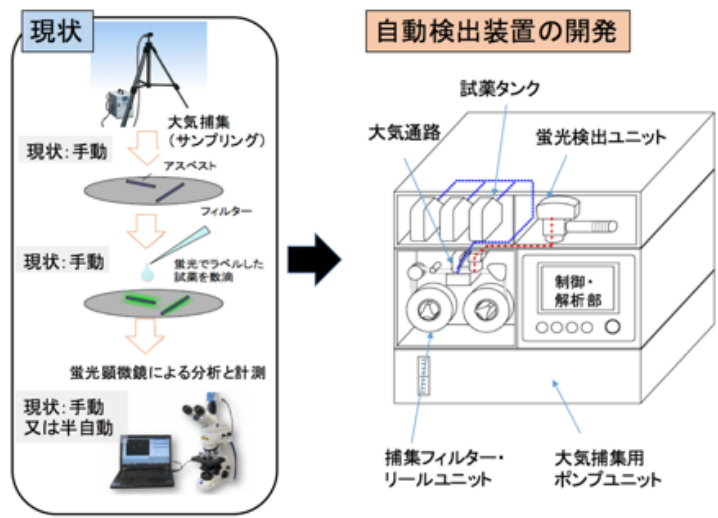


図0.1、研究開発目的

3. 研究目標

全体目標	これまでの飛散アスベスト検査の公定法は、時間と手間がかかる電子顕微鏡を使う方法であったため、解体現場で利用できるモニタリング技術になり得なかった。また散乱光を測定することによるファイバーモニタリング装置も開発されているが、必ずしもアスベストを特異的に検出するものではない。研究代表者は、これまでにアスベストに特異的な蛍光試薬を開発し、大気アスベストを特異的に検査する方法（蛍光顕微鏡法）を開発した。本研究では、サンプリングからアスベスト蛍光検出までの全行程を自動化して、連続的に大気アスベスト濃度を測定できる装置を開発する。開発する装置の性能はアドバイザーの指摘も鑑みて、(i)漏洩検査用と(ii)一般大気検査用と分けて設定することとした。(i)漏洩検査用は20分程度でアスベストの漏洩が起こっているかどうかの検出ができること、(ii)一般大気用は1本/Lが測定できることを目標とする。また、装置の小型化と可搬性の向上の検討を行い、現場へ持ち込み可能な装置を作り上げる。次に、開発する装置をレベル1、あるいはレベル2のアスベスト除去の現場（3カ所以上）に持ち込んで、アスベスト漏洩状況の把握（2時間以上の連続測定）、並びに工事終了後に養生を取り外す際のアスベスト濃度の測定を行い、現場でのアスベスト検査に利用できることを示す。さらにはレベル3の
------	--

	現場（2カ所以上）における大気アスベスト濃度を連続的に（2時間以上の連続測定）調べることで飛散状況を解明する。また散水による飛散防止効果も調べ、解体の際のマニュアルに反映させる。
サブテーマ1	蛍光顕微鏡法による大気アスベスト連続自動計測装置の開発と解体現場におけるアスベスト飛散状況の解明
サブテーマリーダー /所属機関	黒田 章夫/広島大学
目標	他のサブテーマは設定していないので、全体の研究目標と同じとする。

4. 研究開発内容

蛍光顕微鏡法では、すべてのアスベスト繊維（クリソタイル、アモサイト、クロシドライト、トレモライト、アクチノライト）が蛍光で検出できる（図0.2）。本研究では大気中のアスベストのサンプリング、蛍光試薬による捕集フィルターの染色、ならびに蛍光検出と解析の全行程を自動化する装置を開発する。大気中のアスベストのサンプリングでは、ベータ線吸収法によるPM_{2.5}自動検出器の一部を改変して利用した。PM_{2.5}の自動検出器は、リールに巻かれたテープ状メンブランフィルターの一部を使って大気中の浮遊粒子を連続的に捕集して測定する装置である。本研究では、同装置のポンプユニット（分粒器の部分は除く）とリールユニットを利用して大気アスベストを捕集した。捕集フィルターの染色では、蛍光試薬をフィルターに滴下する染色装置を開発して連動させた。蛍光検出と解析は、対物レンズと励起光源、蛍光フィルター、イメージセンサー、Z

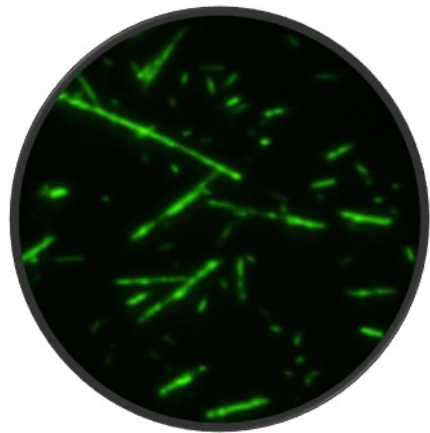


図0.2、蛍光顕微鏡法によるアスベストの検出。

軸ステージを組み合わせた蛍光検出ユニットを開発して検出した。蛍光画像を撮影して保存するソフトウェアと、人工知能を用いたアスベスト用画像解析ソフトウェアを連動させ、大気アスベスト濃度（1Lあたりの大気中のアスベスト本数）で表示する装置を開発した。さらに本装置を用いて、建材や工法の違うレベル1やレベル3のアスベスト除去の現場において、実際にアスベストの飛散を検出できることを確認した。

注釈

PM_{2.5}：大気中に浮遊している直径2.5μm（マイクロメートル）以下のきわめて小さな粒子

蛍光：物質に光（励起光）を当てたとき、その物質から発する光を蛍光という。アスベストは蛍光を示さないが、アスベストに結合する試薬に蛍光物質が付加されていることで、結果的にアスベストが蛍光を発するようになる。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

本研究では、大気のサンプリングからアスベスト蛍光検出までの全行程を自動化して、連続的

に大気アスベスト濃度を測定するという世界で初めての装置を開発することができた（図0.3）。特に工夫した点としては、蛍光検出ユニットにZ軸ステージを設けたことである。蛍光検出ユニットに追加されたZ軸ステージが2 μm ずつZ軸を動かしながら25枚の焦点深度の違う画像を取得する。フォーカス合成によって最もピン트가合っている部分を貼り合わせて一枚の画像を作り上げる。これにより50 μm 程度のピン트의ずれを許容でき、連続運転が可能になった。さらに人工知能の導入により、アスベストの認識の精度を高めたことである。従来の解析ソフトウェアでは、アスベスト濃度の低い場合に、人（目視）による計測と比べて数値が高くなる傾向があった。安全方向へ傾いているとは言え、さらなる精度向上が求められた。そこで、人工知能によるアスベスト教師画像の学習と評価を繰り返すことで、目視による計測と高い相関性が得られるようになった。

開発した装置をレベル1のアスベスト除去の現場（3カ所）とレベル3の現場（2カ所）に持ち込んで、アスベスト漏洩状況の把握（2時間以上の連続測定）試験を行ったところ、アスベストの飛散を捉えることができた。ロックウールは検出していないことから、アスベストの特異性が確認できた。1回の運転が20-30分程度でアスベストの漏洩が起こっているかどうかの検出ができたことから、漏洩検査のモニタリングとして十分利用できると考えられた。レベル3の現場では散水が行われていたが、やはりアスベストの飛散が検出できたことから、アスベストのモニタリングの重要性が確認できた。一方、一般大気検査用として1本/Lを精度よく測定するためには、さらなるサンプリング時間の延長により対応できると考えられた。例えば、120分のサンプリングにより、検出下限値は0.53本/Lまで低下する。ただし、本装置のアスベストの検出率には課題があることがわかってきた。今後、アスベスト検出率や連続運転の安定性の向上を行って実用化する。

5-2. 環境政策等への貢献

令和3年4月、大気汚染防止法が改正され、アスベストによる健康被害を防ぐための対策が徹底されることとなった。その背景として、レベル3建材の問題がある。レベル3建材は、吹付けアスベストなどの特定建築材料（レベル1、2）に比べて相対的にアスベストの飛散は少ないと考えられてきた。しかし、レベル3建材についても除去等作業時の取扱いが不適切な場合、アスベストが飛散する可能性があることが指摘された（平成28年5月の総務省勧告「アスベスト対策に関する行政評価・監視 - 飛散・ばく露防止対策を中心として-結果に基づく勧告」）。また、レベル3建

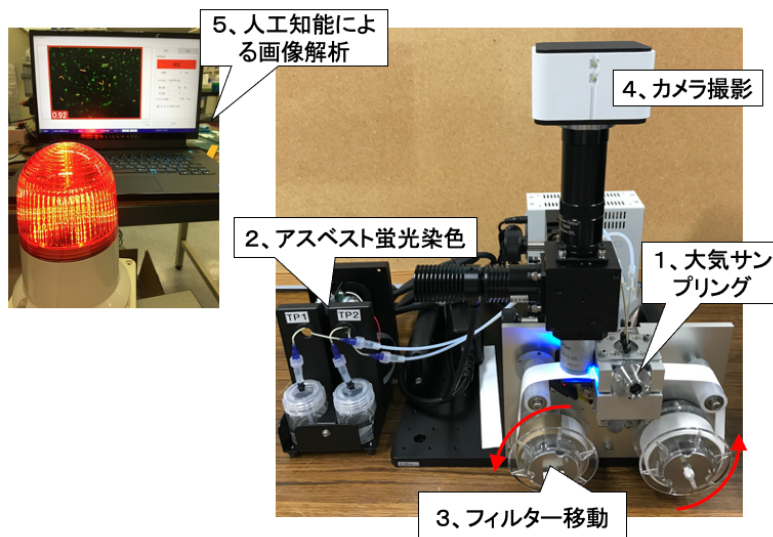


図0.3、大気アスベスト連続自動計測装置。(1)測定を開始すると、一定時間ポンプが作動し、大気に含まれる粉塵がメンブランフィルターに捕集される。(2)染色装置によってアスベストが染色される。(3)リールが回転することによってメンブランフィルターが蛍光検出ユニットの直下まで移動する。(4)蛍光顕微鏡画像が取得される。(5)人工知能画像解析ソフトウェアによって解析が開始される。解析が完了すると画面上で、検出画像、検出本数、アスベスト濃度（本/L）が表示される。

材の使用された建築物等は極めて多数に上ることが報告されており（今まで規制の対象となっていたレベル1、2の現場の約10倍、平成29年度環境省石綿飛散防止対策調査検討会資料）、その対応は急務である。

<行政等が既に活用した成果>

「特に記載すべき事項はない。」

<行政等が活用することが見込まれる成果>

解体現場でのアスベスト漏洩の検出は、位相差蛍光顕微鏡法や位相差偏光顕微鏡法、電子顕微鏡法を利用するため測定者の熟練が必要であった。蛍光顕微鏡法は他の方法に比べて比較的単純とはいえ、やはりある程度の訓練が必要であった。一方、本装置は、大気の捕集から蛍光顕微鏡法によるアスベスト検出を自動化した装置であることから、測定者の熟練を必要としない。今後、自治体等がより多数の解体現場で大気中のアスベスト濃度を測定し、飛散が認められた場合に必要な措置を講じる場面で貢献できると考えられる。また自動化により測定者間誤差を低減することができ、行政が数値管理しやすくなる利点がある。さらに、レベル3建材のアスベスト飛散性と関連する要因を解明し、飛散性の高い建材の種別及び工法について情報が得られれば、建築物解体時の飛散防止対策のためのマニュアル作成に貢献できると考えられる。

5－3．研究目標の達成状況

これまでの飛散アスベスト検査の公定法は、時間と手間がかかる電子顕微鏡を使う方法であったため、解体現場で利用できるモニタリング技術になり得なかった。研究代表者は、これまでにアスベストに特異的な蛍光試薬を開発し、大気アスベストを検査する方法（蛍光顕微鏡法）を確立してきた。本研究では、PM_{2.5}自動検出器を改良し、染色装置、蛍光検出ユニット等を追加することで、サンプリングから蛍光顕微鏡法によるアスベスト検出までの全行程を自動化した。これにより、連続的に大気アスベスト濃度を測定するという世界で初めての装置を開発することができた。開発した装置を、建材や工法の違うレベル1のアスベスト除去の現場（3カ所）とレベル3の現場（2カ所）に持ち込んで、アスベスト漏洩状況を調べた。1回20-30分程度で、2時間以上の連続測定試験を行ったところ、アスベストの飛散を捉えることができた。20-30分程度でアスベストの漏洩が検出できたことから、漏洩検査用の装置として飛散防止対策に貢献できると考えられる。一般大気検査用として1本/Lを精度よく測定するためには、サンプリング時間の延長により対応できると考えられた。令和2年度より、PM_{2.5}自動検出器の製造業者である東亜ディーケーケー株式会社が本開発の分担者として参画した。同会社が実機の製造販売を担うことで、今後本装置の実用化へ向けて順当に移行できると考えられた。

6．研究成果の発表状況

6－1．査読付き論文

<件数>

4件

<主な査読付き論文>

- 1) A. Kuroda: Genes and Environment, vol.43, Article number 46 (2021), Recent Progress and Perspectives on the Mechanisms Underlying Asbestos Toxicity (IF:1.82)
- 2) C. Cai, T. Nishimura, J. Hwang, X.-M. Hu, and A. Kuroda: Sensors, vol.21(13), 4582 (2021), Asbestos Detection with Fluorescence Microscopy Images and Deep Learning (IF:4.35)

- 3) 黒田章夫、西村智基、石田丈典：日本繊維状物質研究協会誌、vol. 7, 56-60 (2020)、携帯型蛍光顕微鏡によるアスベスト検査とその精度検証 (IF等はない)
- 4) 黒田章夫、石田丈典、西村智基：廃棄物資源循環学会誌、vol. 31(5), 345-351 (2020)、大気アスベストを迅速検査するための蛍光顕微鏡法の開発と自動化の試み (IF等はない)

6-2. 知的財産権

- 1) 黒田章夫、西村智基、加賀健一郎：広島大学、東亜ディーケーケー株式会社；「アスベスト計測装置」、特願2021-074756、令和3年4月27日

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	0 件
その他誌上発表 (査読なし)	1 件
口頭発表 (学会等)	8 件
「国民との科学・技術対話」の実施	2 件
マスコミ等への公表・報道等	1 件
本研究に関連する受賞	2 件

7. 国際共同研究等の状況

アスベスト蛍光検出の画像解析用ソフトウェアの開発に関して、Changjie Cai博士（オクラホマ大学Assistant Professor・アメリカ）と共同研究を実施した。その成果は、Sensors (IF:4.35) 誌に掲載された (査読付き論文2)。

8. 研究者略歴

研究代表者

黒田 章夫

大阪大学大学院工学研究科修了、博士（工学）、現在、広島大学大学院統合生命科学研究科教授

研究分担者

- 1) 加賀健一郎 （令和2年4月より参加）

東洋大学大学院工学研究科修了、現在、東亜ディーケーケー株式会社開発技術本部
大気技術部課専任課長

Ⅱ．成果の詳細

Ⅱ－１ 蛍光顕微鏡法による大気アスベスト連続自動計測装置の開発と解体現場におけるアスベスト飛散状況の解明

国立大学法人広島大学

大学院統合生命科学研究科 生物工学プログラム 黒田 章夫

東亜ディーケーケー株式会社

開発技術部

加賀 健一郎（令和２～令和３年度）

【要旨】

これまでの飛散アスベスト検査の公定法は、時間と手間がかかる電子顕微鏡を使う方法であったため、建築物等解体現場（以降、解体現場と略す）で利用できるモニタリング技術になり得なかった。研究代表者は、アスベストに特異的な蛍光試薬を開発し、大気アスベストを検査する方法（蛍光顕微鏡法）を確立してきた。本研究では、大気サンプリングからアスベスト蛍光検出までの全行程を自動化して、連続的に大気アスベスト濃度を測定する装置の開発を行った。PM_{2.5}自動分析装置のリールユニットに、染色装置、蛍光検出ユニット、解析ソフトウェアを追加して大気アスベスト連続自動計測装置を試作した。試作品を実際の解体現場に持ち込んで運転したところ、アスベストの飛散を捉えることができたことから、解体現場でのアスベスト検査に利用できることが実証できた。今後、アスベスト検出率や連続運転の安定性の向上を行って実用化する。

１．研究開発目的

研究代表者は、アスベストに特異的な蛍光試薬を開発し、大気アスベストを検査する方法（蛍光顕微鏡法）の開発を行ってきた。蛍光顕微鏡法とは、大気捕集フィルターにアスベストに結合する蛍光試薬を塗布し、蛍光顕微鏡下で光って見えるアスベストを計測する方法である。蛍光顕微鏡法では、すべてのアスベスト繊維（クリソタイル、アモサイト、クロシドライト、トレモライト、アクチノライト）が蛍光で検出できる^{1, 2)}。本研究では、①蛍光顕微鏡法による大気中のアスベスト検査の全行程を自動化し、連続的に測定できる装置を開発する。さらに、②本装置を用いて建材別、工法別の解体現場でのアスベスト飛散状況を解明することによって、建築物解体時の飛散防止対策に貢献することを目的とする。

２．研究目標

これまでの飛散アスベスト検査の公定法は、時間と手間がかかる電子顕微鏡を使う方法であったため、解体現場で利用できるモニタリング技術になり得なかった。また散乱光を測定することによるファイバーモニタリング装置も開発されているが、必ずしもアスベストを特異的に検出するものではない。研究代表者は、これまでにアスベストに特異的な蛍光試薬を開発し、大気アスベストを検査する方法（蛍光顕微鏡法）を開発した。本研究では、サンプリングからアスベスト蛍光検出までの全行程を自動化して、連続的に大気アスベスト濃度を測定できる装置を開発する。開発する装置の性能はアドバイザーの指摘も鑑みて、(i)漏洩検査用と(ii)一般大気検査用と分けて設定することとした。(i)漏洩検査用は20分程度でアスベストの漏洩が起こっているかどうかの検出ができること、(ii)一般大気用は1本/Lが測定できることを目標とする。また、装置の小型化と可搬性の向上の検討を行い、現場へ持ち込み可能な装置を作り上げる。次に、開発する装置をレベル1、あるいはレベル2のアスベスト除去の現場（3カ所以上）に持ち込んで、アスベスト漏洩状況の把握（2時間以上の連続測定）、並びに工事終了後に養生を取り外す際のアスベスト濃度の測定を行い、現場でのアスベスト検査に利用できることを示す。さらにはレベル3の現場（2カ所以上）における大気アスベスト濃度を連続的に（2時間以上の連続測定）調べることで飛散状況を解明する。また散水による飛散防止効果も調べ、解体の際のマニュアルに反映させる。

3. 研究開発内容

3-1. 大気アスベスト連続自動計測装置の開発

PM_{2.5}自動検出器は、大気微粒子を捕集したフィルターにベータ線を当て、その吸収量からPM_{2.5}の測定を連続的に行う装置である。ポンプ駆動時（大気サンプリング時）はリールユニットがテープ状フィルターを挟み込んで空気が漏れない構造になり、フィルター上に大気が捕集される。一定時間捕集後、ベータ線吸収法によりフィルター上のPM_{2.5}が測定される。測定後リールユニットの一部が下降し（挟み込みが解除され）、フィルターが一定方向に巻き取られ移動する（図1.1）。大気アスベスト連続自動計測装置の開発には、PM_{2.5}自動検出器のリールユニットを改変したもの（改変リールユニット）とポンプユニットを利用することとした。また、PM_{2.5}自動検出器ではテープ状のテフロンフィルターを使っているが、大気アスベスト連続自動計測装置ではセルロース混合エステルメンブランフィルター（以降、メンブランフィルターと略す）を使用した。改変リールユニットとポンプユニット

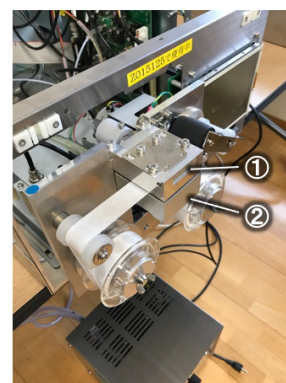


図1.1、PM_{2.5}自動検出器のリールユニット。大気を捕集するには、①と②がフィルターを挟み込む構造になっている。

に、染色装置、蛍光検出ユニット、解析ソフトウェアを追加して大気アスベスト連続自動計測装置を作製した。大気アスベスト連続自動計測装置における大気の流れと試薬の流れを図1.2に記す。以下に、改変リールユニット、染色装置、蛍光検出ユニットの詳細を述べる。

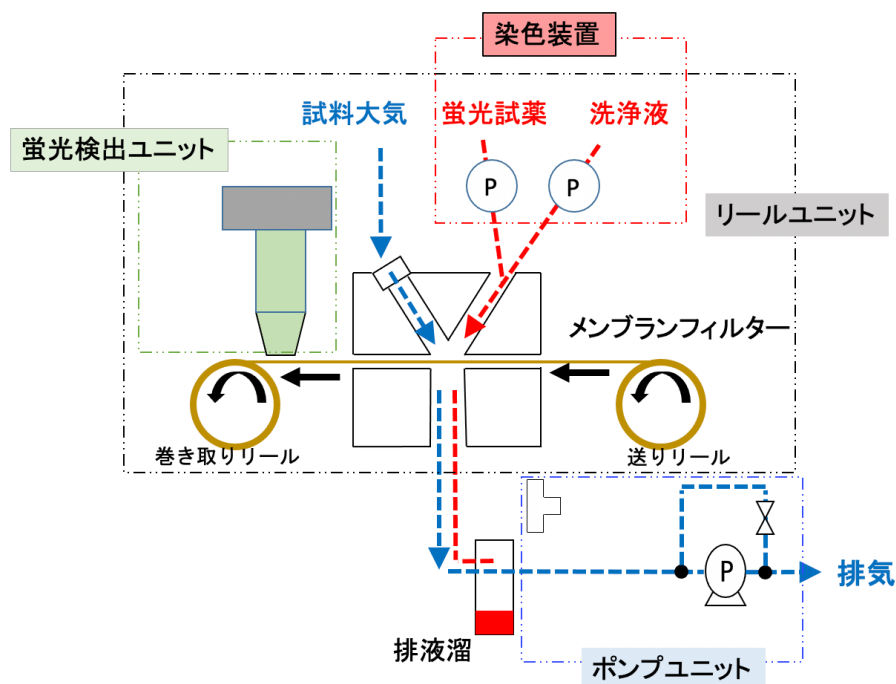
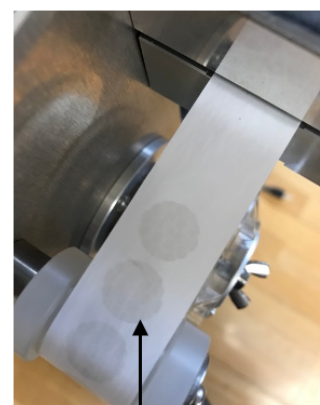


図1.2、大気アスベスト連続自動計測装置の構成図。大気（青点線）をメンブランフィルター（茶）で捕集する構造になっている。大気捕集後、蛍光試薬と洗浄液が滴下される（赤点線）。染色後、改変リールユニットによってメンブランフィルターが移動し、蛍光検出ユニット（緑）まで移動する。

3-1-1. 改変リールユニット

リールユニットのメンブランフィルター（幅20 mm）は巻き取り式となっており、サンプリングごとに12.5 mm送られる。送り出し量の調節は、リールに円周状に並んだ穴を本体に固定したフォトセンサ

ーが感知し、通過する穴をカウントすることで行っている。アスベスト連続自動計測装置では、メンブランフィルターを送り出した際、捕集スポット（スポット径15 mm）が対物レンズ直下に来る必要がある（図1.3）。そこで、フォトセンサーのカウント設定を変更し、送り幅が40 mmに広がるよう改変して対応した。また、改変リールユニットでは、メンブランフィルター上部に位置するベータ線源部分を取り出して空洞を作り、染色液と洗浄液を滴下する流路を追加した。また、メンブランフィルター表面の平面性を確保するための支持体（幅27 mm、長さ30 mm）を、蛍光検出ユニットの下側に取り付けた。



捕集スポット

図1.3、捕集スポット（灰

3-1-2. 染色装置

リールユニットのメンブランフィルター上部に位置するベータ線源部分を取り出して空洞を作り、染色液と洗浄液を滴下する流路を追加した。大気捕集後に自動でメンブランフィルターに試薬が流れ込む。2つの試薬液ボトルを、小型ブラシレスモーターを使用したローラーチューブ式ペリスタルティックポンプに接続し、送液ユニット（幅90 mm、高さ140 mm、奥行140 mm）を製作した（図1.4）。染色液と洗浄液が独立して滴下される様になっている。試薬は空気捕集路に流れ込むので、ポンプ直前に廃液のトラップを追加した。流路は捕集スポットに導入し、先端のノズルから吐出されるまで独立したものとした（図1.4）。染色液

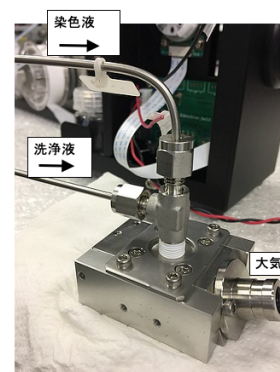
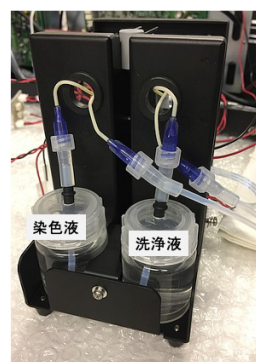


図1.4、染色装置

3-1-3. 蛍光検出ユニット

蛍光検出ユニットは、LED励起光源、対物レンズ、励起フィルター、蛍光フィルター、ダイクロイックミラー、イメージセンサーからなる（図1.5）。蛍光検出ユニットでは無限遠補正の40倍対物レンズ（NA=0.6）を使用した。イメージセンサーは、1インチのカラーCMOSカメラを利用した。蛍光励起用の光源には、波長470nmのLED（Mightex社製 LCS-0470-03-22）を使用した。ミラーキューブには、蛍光顕微鏡用のFITC蛍光観察用ロングパスフィルターセット（オメガ社製励起フィルター；475AF40、ダイクロイックミラー；505DRLP、蛍光フィルター；510ALP）を装着した。

蛍光画像撮影時のピントのずれを抑制するために、焦点位置を変えた複数の画像を取得し、ソフトウェアでフォーカスのあった画像を合成するフォーカス合成を採用した。焦点位置を変えるZ軸ステージ（中央精機社製ALV-600B-H0M）を蛍光検出ユニットの下側に取り付けた（図1.5）。このステージは、分解能0.0005mm、位置決め精度0.012mm、繰り

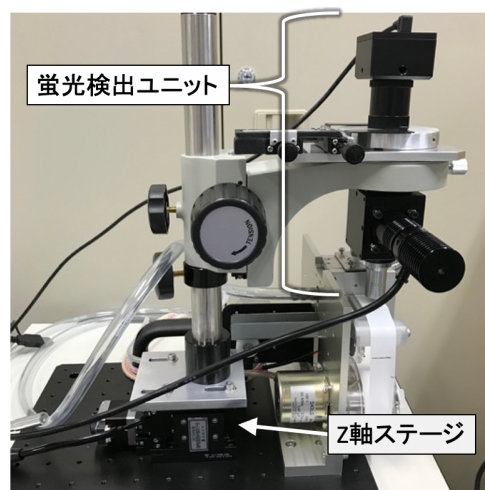


図1.5、蛍光検出ユニットとZ軸ステージ

返し精度 $\pm 0.0015\text{mm}$ で作動する。Z軸ステージとカメラの制御を三谷商事社製制御ソフトウェア

(Captomator) により行った。撮影された画像からフォーカス合成処理を行い、作製された画像をJPEG形式で指定のフォルダへ保存した。

3-2. ソフトウェアの開発

アスベストを解析するソフトウェアにおいては、人工知能を導入した。Cognex社の画像解析ソフトウェア (VisionPro ViDi)、及びオープンソースのニューラルネットのフレームワークであるYOLOv4を用いてアスベスト蛍光画像の学習を行った後、解体現場において採取された大気中粒子捕集メンブランフィルターの蛍光顕微鏡観察画像を用いて新しいソフトウェアの性能を評価した。

装置全体を統括し制御するソフトウェアとしてアスベストホストプログラムを作成した (図1.6)。サンプリングポンプ、リールユニット、染色装置、蛍光検出ユニットへの起動信号など各部を個別に操作することができ、また設定したシーケンスで各部を連携動作させることが可能となっている。PCソフトウェア上で、サンプリング時間や、送液量を調節する送液ポンプの作動時間などのパラメータと動作順序を設定することができるようにした。

また画像解析ソフトのユーザーインターフェース用ソフトウェアとして

Asbestos Inspectionを作成した。検出ユニットが取得した観察画像の、画像解析ソフトウェア

(VisionPro ViDi、またはYOLOv4) への橋渡しを行う。また画像解析結果を受け取って、設定した大気吸引量に応じてアスベスト測定として濃度の計算処理を行い、検出画像と共に画面に表示させるようにした。

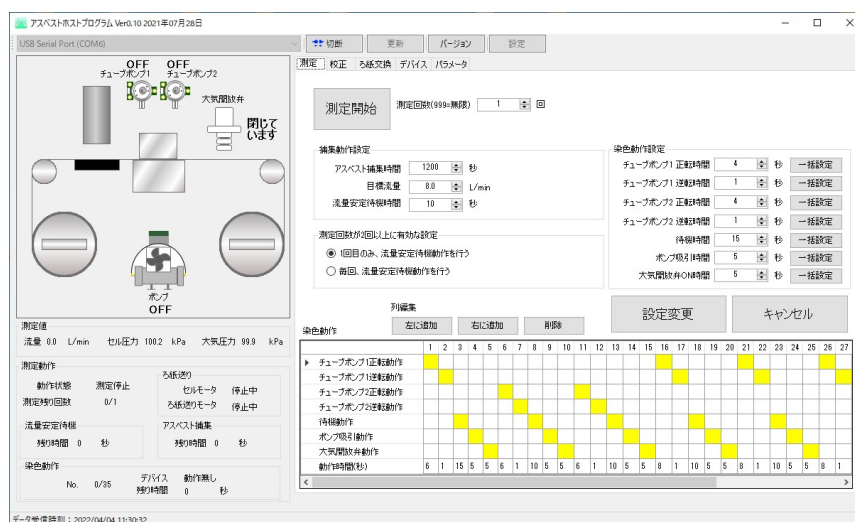


図1.6、装置全体の制御ソフトウェア(アスベストホストプログラム)。「測定開始」ボタンを押すと、ポンプユニットによるサンプリングが始まり、一定時間サンプリング後、染色装置が起動する。染色が終了すると、リールユニットが作動してメンブランフィルターが送られる。装置からメンブランフィルター送り完了信号が、I/O端子を介して顕微鏡制御ソフトCaptomatorへ送られ、蛍光検出ユニットが作動開始する。Z軸を動かしながらフォーカス合成により画像が取得される。引き続きポンプユニットによるサンプリング、染色、画像取得が行われており、測定者が「終了」ボタンを押すまで継続される。動作状況はパネル右下の黄色ハイライトで確認できる。

3-3. 大気アスベスト連続自動計測装置を使った実証実験

アスベスト粉塵 (アモサイト及びクリソタイル) を発生させる人工チャンバー (株式会社エフアンドエーテクノロジー研究所の協力) を用いて、大気アスベスト連続自動計測装置の性能評価を行った。人工チャンバーには、粉塵計が挿入されており、チャンバー内の粉塵濃度が計測できるようになっている。アスベスト粉塵を発生させた後、チャンバー内からサンプリングを行い、位相差顕微鏡によってアスベスト濃度を計測した。その際の粉塵計の数値との相関を利用して、おおよそのアスベスト濃度を粉塵計の数値から推測できるようにした。続いて、大気アスベスト連続自動計測装置を人工チャンバーに接続してサンプリングを行った。捕集時間20分(6L/分)と解析時間 (染色、検出を含む) 10分程度の連続測定を行った。

大気アスベスト連続自動計測装置の可搬性を高めるために、可搬用の取手がついた箱を製作した。熊本県阿蘇郡、新潟県新発田市、新潟県佐渡市、広島県東広島市、東京都世田谷区における解体現場で大気アスベスト計測の自動運転を行い、実証試験を行った。

3-4. 解体現場で分取したフィルター上のアスベスト分析

解体現場で分取したフィルター上のアスベスト分析は、環境省アスベストモニタリングマニュアル第4.1版の位相差顕微鏡法、あるいは電子顕微鏡法を用いて行った。また、蛍光繊維の同定は、蛍光顕微鏡と電子顕微鏡の位置情報を共有できる光電子相関顕微鏡による分析を行った³⁾。解体現場でサンプリングしたメンブランフィルターを吸収紙の上に載せ、アスベスト蛍光試薬を用いて処理を行った。最後に超純水4滴滴下し、余分な成分を完全に取り除いた。このように処理を行ったメンブランフィルターを、カーボンテープを貼付けた試料台に固定し、ステージホルダーに装着した。ステージホルダーを蛍光顕微鏡（Axio Imager、カールツァイス社製）にセットし、ステージホルダー上のマーカ3点を登録しステージ・キャリブレーションを行った。約50～100視野を蛍光観察して、繊維状の物質が検出された視野についてCCDカメラで撮影を行ない画像および位置情報の取得を行った。USBメモリを使って蛍光顕微鏡で取得した画像及び位置情報を電子顕微鏡システムに入力した。次に、ステージホルダーを電子顕微鏡（SIGMA VP、カールツァイス社製）の試料室に移し、観察位置を蛍光顕微鏡と同期させるために、ステージホルダー上のマーカ3点を再度登録しステージ・キャリブレーションを行った。蛍光顕微鏡で観察された繊維状物質が何であるか調べるために、記録した位置情報を入力して、電子顕微鏡の観察視野を移動させた。繊維が確認されたらエネルギー分散型X線分光器（QUANTAX 200、ブルカー社製）にて元素分析を行った。

4. 結果及び考察

4-1. 大気アスベスト連続自動計測装置

開発した大気アスベスト連続自動計測装置を図1.7に示す。アスベストホストプログラムにより、測定を開始すると、一定時間ポンプが作動し、大気に含まれる粉塵がメンブランフィルターに捕集される（図1.7、ステップ1）。続いて、染色装置によってアスベストが染色される。最初に、洗浄液がメンブランフィルターに流れ込み、次に染色液（蛍光試薬）によって染色する。その後さらに洗浄液によ

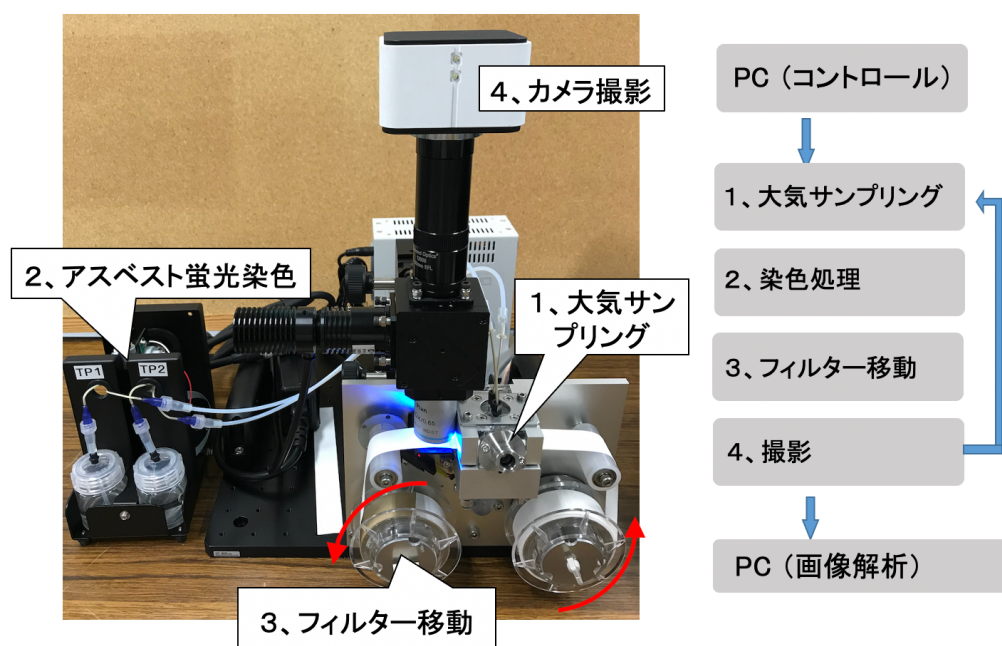


図1.7、大気アスベスト連続自動計測装置と動作の流れ。

を示し、高精度な分析が可能であることが分かった。また、オープンソースのニューラルネットのフレームワークであるYOLOv4を用いても同様の結果が得られることが分かった（人工知能画像解析ソフトウェア）。

蛍光顕微鏡画像が画像フォルダに保存されると、Asbestos Inspectionが人工知能画像解析ソフトウェアに指令を出し、解析が開始される。解析が完了すると画面上で、検出画像、検出本数、アスベスト濃度（本/L）が表示される。実際に検出されたアスベスト繊維が画面上でAIによる確度(probability)と共に赤で示されることを確認した（図1.10）。また、アスベスト濃度が、閾値（例えば10本/L）を超えた場合に、画面上で「NG」と表記されることも確認できた。

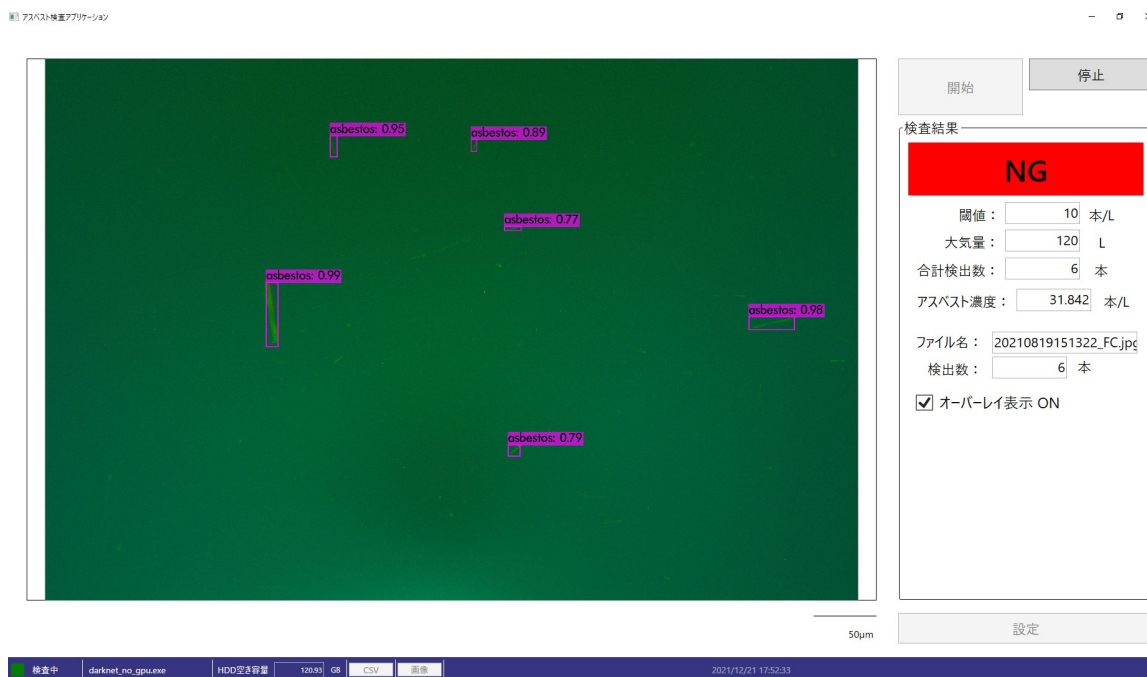


図1.10、Asbestos Inspectionの画面。

4-3. 人工チャンバーを用いた検証

ソフトウェアを搭載した大気アスベスト連続自動計測装置（第一試作品）を用いて、大気アスベストの検出できるかどうかを検証した。本装置の検出下限値の計算は、アスベストモニタリングマニュアル第4.1版に従った。自動計測器のメンブランフィルターの有効面積は176.625 mm²、計測視野は0.27735 mm²であることから、10L/分で10分間大気を捕集した場合の検出下限値は6.3本/Lとなる。また、10L/分で60分捕集した場合の検出下限値は1.1本/Lとなる。

エフアンドエーテクノロジー研究所の協力のもと、人工チャンバーを用いて大気アスベスト連続自動計測装置の性能評価を行った（図1.11）。人工チャンバー内に浮遊させるアスベストはクリソタイルとアモサイトを用い、浮遊させたアスベストをポンプとメンブランフィルターでサンプリングした。透明化処理後、位相差顕微鏡法によって濃度の測定を行った。同時に、大気アスベスト連続自動計測装置を用いてサンプリングと測定を行い、アスベストの濃度を比較した。その結果、第一試作品ではアスベスト検出

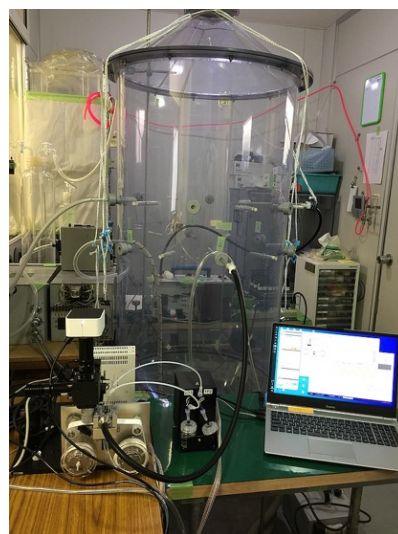


図1.11、人工チャンバーを用いた大気アスベスト連続自動計測装置の検証。

感度が不足していることが分かった。その原因は主に、対物レンズ、カメラ設定、撮影のタイミング、AI学習にあることが分かった。

対物レンズは通常カバーガラスの厚みを補正する設計となっている。しかし本装置では構造上カバーガラスをつけることが難しい。カバーガラス補正のない対物レンズを使用することで、フォーカス合成の精度が向上することが分かった。また、カメラ設定の最適化（ゲイン、コントラスト、明るさ）を行い、画像のコントラストの改善を行った。また、励起光の起動時に蛍光の背景が一時的に上昇することがわかった。これがフォーカス合成に利用されることで背景の蛍光が上昇し、結果としてシグナル・ノイズ比(S/N比)が低下している原因であることが分かった。そこで、励起光照射後の30秒をリードタイムとして画像を取得していくことで、S/N比が向上した。さらに、これまでのAI学習に用いた画像は、過去に違う蛍光顕微鏡で撮影した画像であったことから、最適な教師画像ではないことが判明した（解像度の違い）。そこで、大気アスベスト連続自動計測装置によって取得した画像を使ってAIの再学習を行った結果、検出精度の向上が認められた。さらに、解体現場への可搬性を高めるために、自動検出器を保護する外箱と取手をつけ、最終的な装置（第二試作品）とした。

改良の結果、第二試作品のクリソタイルの検出率は約0.54（位相差顕微鏡法で測定したクリソタイルの濃度に比べて平均で約54%の数値）であることがわかった（図1.12）。また、アモサイトは約0.20（位相差顕微鏡法で測定したアモサイトの濃度に比べて平均で約20%の数値）となった（図1.12）。すなわち、大気アスベスト連続自動計測装置は、クリソタイルは比較的感度よく検出できるものの、アモサイトは位相差顕微鏡によって測定した濃度の1/5程度になることがわかった。蛍光顕微鏡法では、通常角閃石アスベスト（アモサイト、クロシドライト）よりもクリソタイルの方の蛍光強度が強いことがわかっていて、大気アスベスト連続自動計測装置においてクリソタイルが比較的感度よく検出できる原因として、おそらく蛍光強度の違いによるものと推定した。今後蛍光試薬を改良し、角閃石アスベストの蛍光強度を向上させれば、検出率の向上につながるものと考えられる。しかし現時点では、試薬の改良は本研究の範囲を超えている。一方、解体現場では事前調査により、建材に含まれるアスベストがクリソタイルであるのか、角閃石アスベストであるのか、分かっているの程度程度補正することが可能であると考えた。

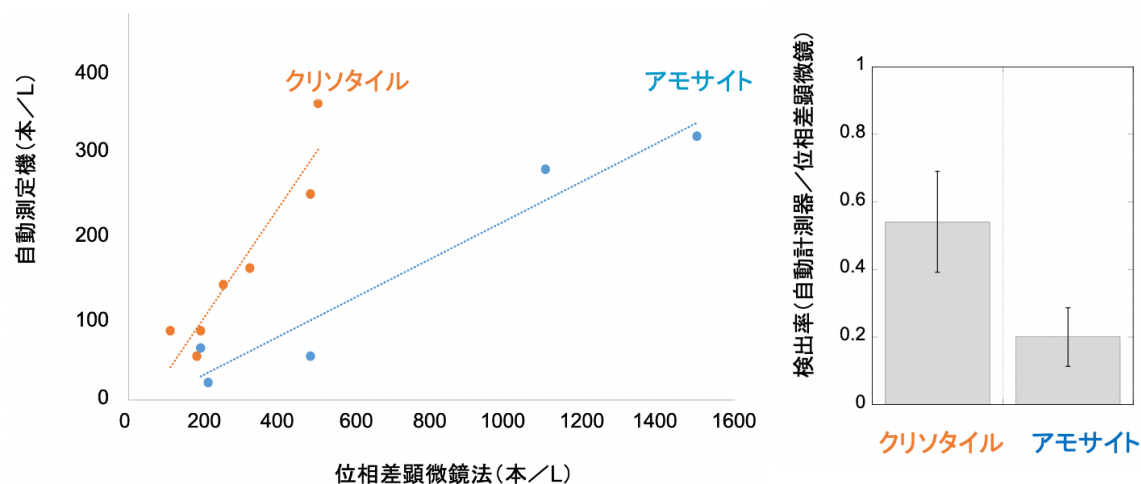


図1.12、第二試作品のアスベスト検出率。左図は位相差顕微鏡法によって計測した濃度と自動検出器によって測定された濃度をプロットしたもの。右図はアスベストの種類別の検出率（自動計測器による濃度／位相差顕微鏡法による濃度）を示す。

4-4. 解体現場での実証実験

実際の解体現場にて、大気アスベスト連続自動計測装置の連続運転を実施した（図1.13）。現場1では、レベル1解体現場の負圧除塵装置排気口付近で測定した。大気アスベスト連続自動計測装置によってアスベストは検出されなかった（検出下限5.3本/L未満）。同時にサンプリングしたメンブランフ

フィルターを用いて電子顕微鏡法で試験したところ、アスベストは検出されなかった（検出下限4.0本/L未満）。1回の測定が捕集時間20分（6L/分）と解析時間（染色、検出を含む）10分程度で運転した。

現場2では、レベル1解体現場の作業区域内（養生内）にサンプリングチューブを差し入れ、強制的にアスベストを含む粉塵を捕集した。当初200Lのサンプリング（捕集時間20分）を行うとアスベストが多すぎて計測不可能となったことから、捕集量20Lにした（捕集時間2分）。自動検出したところ、アスベストが検出された（63本/L）。同時に別のポンプによってサンプリングを行っていたメンブランフィルターを持ち帰り、電子顕微鏡で確認したところ、クリソタイルであることが分かった。

その濃度は240本/Lとなった。同時に協力者である環境管理センター（株）が独立にサンプリング、電子顕微鏡による測定を行ったところ、79本/L、142本/Lとなった。電子顕微鏡による濃度測定もバラツキが存在するため厳密な比較とならないが、クリソタイルの検出率は電子顕微鏡法による計測に比べて26%-80%となった。人工チャンバーの結果ではクリソタイルの検出率は約54%であったことから、予想の範囲に入ることが分かった。一方、この現場では、クリソタイルだけでなく、ロックウールが使われていた。電子顕微鏡によるロックウールを含めた総繊維濃度は、広島大学の計測では1,400本/L、環境管理センターによる計測では644本/L、1,696本/Lとなった。ロックウールは蛍光顕微鏡法では蛍光を示さない。今回の結果からも、明らかにロックウールは検出していないと判断できた。これらのことから、大気アスベスト連続自動計測装置では、総繊維ではなく、アスベストの漏洩が連続でモニタリングできる可能性が示された。

次に現場3では、同じくレベル1解体現場の前室（負圧により隔離されているためアスベストは検出されないはず）において、連続でモニタリングを行った。5回の連続運転を行い（約2.5時間）、そのうち1回だけアスベストと思われる蛍光繊維が検出された。同時にサンプリングを行っていたメンブランフィルターを電子顕微鏡で100視野観察したところ、アスベストは観察されなかった。そこで、光電子相関顕微鏡によってまず蛍光繊維を見つけ、メンブランフィルター上の位置情報を記録し、電子顕微鏡で分析することにした。すなわち、光電子相関顕微鏡は、狙った蛍光繊維を同定できる。その結果、蛍光繊維はクロシドライトであることが分かった（図1.14）。この結果、人工チャンバーで用いたアモサイトのみならず、実際クロシドライトも検出できることが確かめられた。最初の電子顕微鏡の100視野観察でアスベストが見つけれなかった原因は、観察する視野数が少ないことが考えられた。

次にレベル3の解体現場において、連

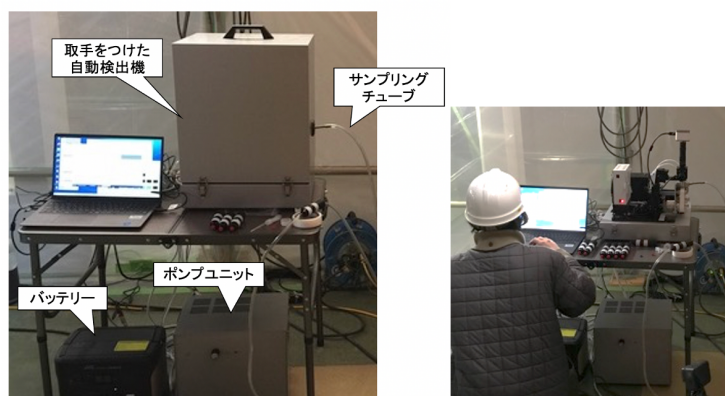


図1.13、解体現場での実証試験。可搬性を高めるために、取手を追加している。これにより遮光も可能となる。

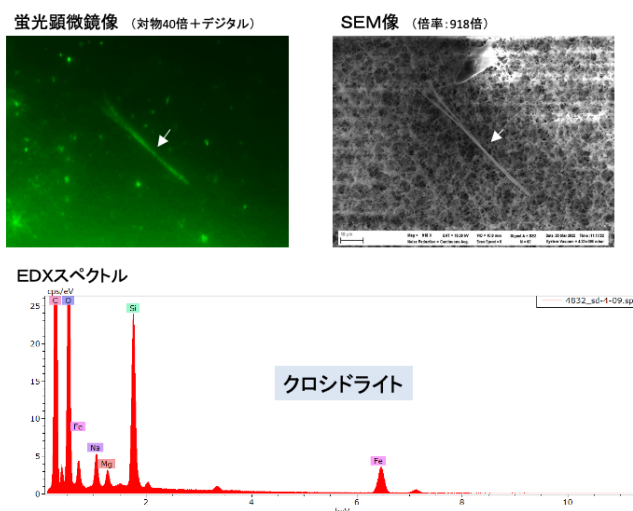


図1.14、現場3で見られた蛍光繊維の分析。蛍光を示した同一繊維の元素組成を電子顕微鏡で調べた。

続でモニタリングを行った。その結果濃度は低いものの、アスベストが検出された。同様に光電子相関顕微鏡によって、蛍光繊維を確認したところ、アスベストと判定できるものが確認できた。現場4では散水が行われていたが、やはりアスベストは僅かに飛散していたと判断できる。同時に、有機繊維と見られる繊維も確認できた。解体現場における蛍光顕微鏡法の偽陽性率は約5%であることが分かっている³⁾。レベル3においては、偽陽性率が向上する可能性もあり、今後確認をすることが実用化に向けて必要であると考えられた。以上の結果を表1.1にまとめた。

表1.1、解体現場での実証試験

	種別、採取位置	自動化装置の結果	電子顕微鏡(SEM)の結果	結果の解釈
1	レベル1、排気口 吹き付け石綿(クリソ タイル0.1%以上含有)	非検出 (5.3本/L未 満)	非検出 (4.0本/L未 満)	自動測定機、SEMの結果は 一致した。
2	レベル1、作業場内 吹き付けロックウール (クリソタイル0.1%以上 含有)	検出 (63本/L)	クリソタイル240本/L(広島大 学) クリソタイル79本/L、142本 /L(環境管理センター計測)	クリソタイルの検出感度は、 26%-80%となった。ロックウー ルは蛍光がないので検出さ れていない。
3	レベル1、前室 吹き付け石綿、種類不 明、	検出 (2.4本/L) 5回の連続 自動運転	非検出 (9.7本/L未 満)	さらに相関顕微鏡で蛍光繊維 を調べた結果、クロシドラ イトが検出された。
4	レベル3、作業場近傍 アスベスト成形板(軒天 ケイカル板)、種類不明	検出 (4.9本/L) 4回の連続 自動運転	非検出 (3.0本/L未 満)	さらに相関顕微鏡で蛍光繊維 を調べた結果、クリソタイ ルが検出された。
5	レベル3、作業場近傍	検出 (6.3本/L) 3回の連続 自動運転	非検出 (2.4本/L未 満)	さらに相関顕微鏡で蛍光繊維 を調べた結果、クリソタイ ルが検出された。

4-5. 大気アスベスト連続自動計測装置の考察と実用化に向けてのロードマップ

本装置により、解体現場でアスベストの飛散を捉えることができたことから、現場でのアスベスト検査に利用できることが実証できた。検出感度の設定を敷地境界基準の10本/L程度とすると、数時間の連続運転（一回20-30分程度）においてアスベストの検出が可能であると考えられた。一方、一般大気検査用（基準になる濃度は、1本/L）として考えた場合、検出下限値を下げるために1回あたり長時間の大気サンプリングが必要になる。サンプリング時間の設定は変更可能であることから、原理的には一般大気検査用としても利用可能ではないかと考えられた。例えば、120分のサンプリング

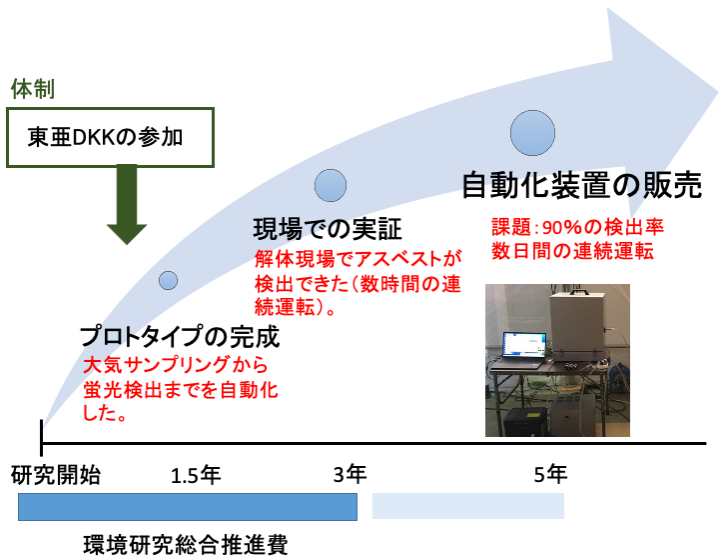


図1.15、大気アスベスト連続自動計測装置の実用化のロードマップ

により、検出下限値は0.53本/Lまで低下する。

一方、本装置の検出率には課題がある。クリソタイルの検出率は約0.54（位相差顕微鏡法と比較して約54%）、アモサイトは約0.2となった。クリソタイルの蛍光は、角閃石アスベスト（アモサイト、クロソドライト）に比べて、強度が強いことが分かっている。おそらくクリソタイルは強度が強いいため、S/N比が高くなり、検出率が高いものと考えられる。従って、今後の改良点としては、角閃石アスベスト結合タンパク質の蛍光強度の向上が必要になると考えられる。また、より多くの画像を学習することで、検出率はまだ向上すると考えられる。これらの改良により、最終製品の検出率は、クリソタイル、角閃石アスベストともに、0.9程度の検出率まで向上させる。今回、2時間程度の連続運転を行った。今後は安定性を市販品のレベル（1日数時間の連続運転が、保守の必要なく数日程度運転可能）まで向上させて、2年以内の実用化を目指す（図1.15）。

今回試作した大気アスベスト連続自動計測装置では、カバーガラスをつけることが原理的に難しい。カバーガラスをかけた場合の画像は蛍光S/N比が高く、ほとんどのアスベストが検出できる。すなわち、従来の方法（マニュアルで大気を捕集した後、フィルターを染色してカバーガラスをかける方法）で調整したサンプルであれば、すでに0.9程度の検出率で自動のアスベスト検出が達成できている。2022年3月、環境省アスベストモニタリングマニュアルが改訂され、携帯型蛍光顕微鏡によるアスベストのスクリーニング方法が追記された⁴⁾。携帯型蛍光顕微鏡に連続自動測定機の蛍光検出ユニットと解析ソフトウェアを組み込めば、計数作業を軽減することができる。顕微鏡操作とアスベスト検出という専門性の高い作業が自動化され、計測者の負担の軽減と測定データの客観性向上につながる。これらの装置は、アスベスト測定を部分的に自動化したもの（サンプリングと染色はマニュアル）として位置付けられるため、完全自動化の途中段階の製品としての市場投入も可能となる。今後、市場調査を行い、適宜投入していきたい。

5. 研究目標の達成状況

これまでの飛散アスベスト検査の公定法は、時間と手間がかかる電子顕微鏡を使う方法であったため、解体現場で利用できるモニタリング技術になり得なかった。研究代表者は、これまでにアスベストに特異的な蛍光試薬を開発し、大気アスベストを検査する方法（蛍光顕微鏡法）を確立してきた。本研究では、PM_{2.5}自動検出器を改良し、染色装置、蛍光検出ユニット等を追加することで、サンプリングから蛍光顕微鏡法によるアスベスト検出までの全行程を自動化した。これにより、連続的に大気アスベスト濃度を測定するという世界で初めての装置を開発することができた。開発した装置を、建材や工法の違うレベル1のアスベスト除去の現場（3カ所）とレベル3の現場（2カ所）に持ち込んで、アスベスト漏洩状況を調べた。1回20-30分程度で、2時間以上の連続測定試験を行ったところ、アスベストの飛散を捉えることができた。20-30分程度でアスベストの漏洩が検出できたことから、漏洩検査用の装置として飛散防止対策に貢献できると考えられる。一般大気検査用として1本/Lを精度よく測定するためには、サンプリング時間の延長により対応できると考えられた。令和2年度より、PM_{2.5}自動検出器の製造業者である東亜ディーケーケー株式会社が本開発の分担者として参画した。同会社が実機の製造販売を担うことで、今後本装置の実用化へ向けて順当に移行できると考えられた。

6. 引用文献

- 1) 黒田章夫、西村智基、石田丈典、蛍光顕微鏡法による飛散アスベスト測定、繊維状物質研究、2018；5：107-109
- 2) A. Kuroda, M. Alexandrov, T. Nishimura, T. Ishida, Rapid on-site detection of airborne asbestos fibers and potentially hazardous nanomaterials using fluorescence microscopy-based biosensing, Biotechnol J. 2016; 11(6):757-767
- 3) T. Nishimura, M. Alexandrov, T. Ishida, R. Hirota, T. Ikeda, K. Sekiguchi, A. Kuroda. Differential counting of asbestos using phase contrast and fluorescence microscopy. Annals of Occupational Hygiene, 2016; 60: 1104-1115

- 4) 環境省アスベストモニタリングマニュアル，第4.2版，2022；環境省

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

- 1) A. Kuroda: Genes and Environment, vol.43, Article number 46 (2021), Recent Progress and Perspectives on the Mechanisms Underlying Asbestos Toxicity (IF:1.82)
- 2) C. Cai, T. Nishimura, J. Hwang, X.-M. Hu, and A. Kuroda: Sensors, vol.21(13), 4582 (2021), Asbestos Detection with Fluorescence Microscopy Images and Deep Learning (IF:4.35)
- 3) 黒田章夫、西村智基、石田丈典：日本繊維状物質研究協会誌、vol.7, 56-60 (2020)、携帯型蛍光顕微鏡によるアスベスト検査とその精度検証 (IF等はなし)
- 4) 黒田章夫、石田丈典、西村智基：廃棄物資源循環学会誌、vol.31(5), 345-351 (2020)、大気アスベストを迅速検査するための蛍光顕微鏡法の開発と自動化の試み (IF等はなし)

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表 (査読なし) >

- 1) 黒田章夫、鉱物にアフィニティーのあるタンパク質の利用、バイオインダストリー、vol.39(3), 2-10 (2022)

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 黒田章夫：SBJSシンポジウム(2022)、結晶を見分けるバイオセンシング技術と「環境検査」「医療診断」への展開
- 2) 黒田章夫：バイオインダストリー協会セミナー(2022)、アカデミアの応用研究「タンパク質によるアスベスト検査」
- 3) 黒田章夫、西村智基、加賀健一郎、岩澤寿男、高橋達也、関口潔：日本繊維状物質研究学会(2021)、蛍光顕微鏡法による大気アスベスト連続自動計測装置の開発
- 4) 加賀健一郎、黒田章夫：大気環境学会技術セミナー (2021)、アスベスト自動測定機の開発
- 5) 黒田章夫：BioJapan2020、界面ペプチドとスマートバイオセンシング
- 6) 黒田章夫：環境バイオテクノロジー学会 (2019)、バイオ技術を活用したアスベスト検査の実用化研究
- 7) 西村智基、石田丈典、黒田章夫、関口潔：第7回日本繊維状物質研究学会(2019)、携帯型蛍光顕微鏡によるアスベスト検査 ～現場利用について～
- 8) 白石智之、石田丈典、池田丈、廣田隆一、舟橋久景、黒田章夫：日本分子生物学会(2019)、ファージディスプレイ法によるアスベスト結合ペプチドの開発と探索

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般公開シンポジウム「バイオでアスベストを検出する」(主催：広島大学公開講座、2019年8月31日、広島大学先端物質科学研究棟、観客約80名にて講演)
- 2) 文部科学省一般公開「世界初、アスベストを光らせて検出する装置の紹介」(主催：広島大学、2019年5月10日、文部科学省情報プラザ、観客約30名にて講演)

(4) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 文教速報 (2019年5月27日、「広島大が文科省でイベントー世界初アスベストを光らせて検出す

る装置」)

(5) 本研究費の研究成果による受賞

- 1) Akio Kuroda: Genes and Environment誌のBest paper award 2019受賞「Live-cell imaging of macrophage phagocytosis of asbestos fibers under fluorescence microscopy」、2019年11月26日
- 2) 黒田章夫：環境バイオテクノロジー学会技術賞「バイオ技術を活用したアスベスト検査の実用化研究」を受賞、2019年6月16日

IV. 英文Abstract

Development of Automated Asbestos-Monitoring System Using Fluorescent Microscopy and Its Application to Analysis of Asbestos Dispersion at Demolition Sites

Principal Investigator: Akio KURODA

Institution: Hiroshima University

1-3-2 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, JAPAN

Tel: 082-424-7758 / Fax:082-424-7047

E-mail: akuroda@hiroshima-u.ac.jp

Cooperated by: DKK-TOA Corporation

[Abstract]

Key Words: Asbestos, Air, Fluorescence microscopy, Detection, Automation

The official method for the detection of airborne asbestos using an electron microscope is time-consuming and labor-intensive, making it unsuitable for asbestos monitoring at demolition sites. To address this issue, the principal investigator developed a fluorescence microscopy (FM) method for the detection of airborne asbestos using an asbestos-specific fluorescent reagent. In this study, the entire process from air sampling to measurement using the FM method was automated to detect airborne asbestos not only automatically but also continuously. The developed device could effectively detect an airborne asbestos dispersion at asbestos removal sites. Because the dispersion was detected within approximately 20-30 min, it was concluded that the device is sufficiently capable for detecting asbestos at demolition sites. To accurately measure asbestos at a level of 1 fiber/L in a general environment, longer air sampling times (e.g., 120 min) are necessary. Further improvement of the detection rate and the practicality of the device will be the focus of future research.