

# 大気に浮遊するアスベスト繊維を 1本から自動で検出する装置

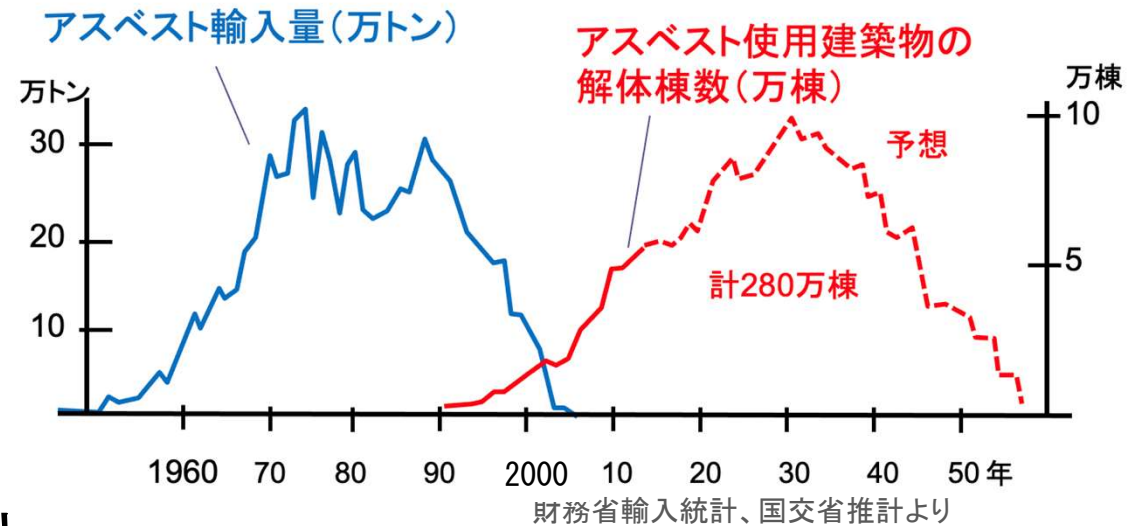
広島大学 大学院統合生命科学研究科  
教授 黒田 章夫

2025年1月16日

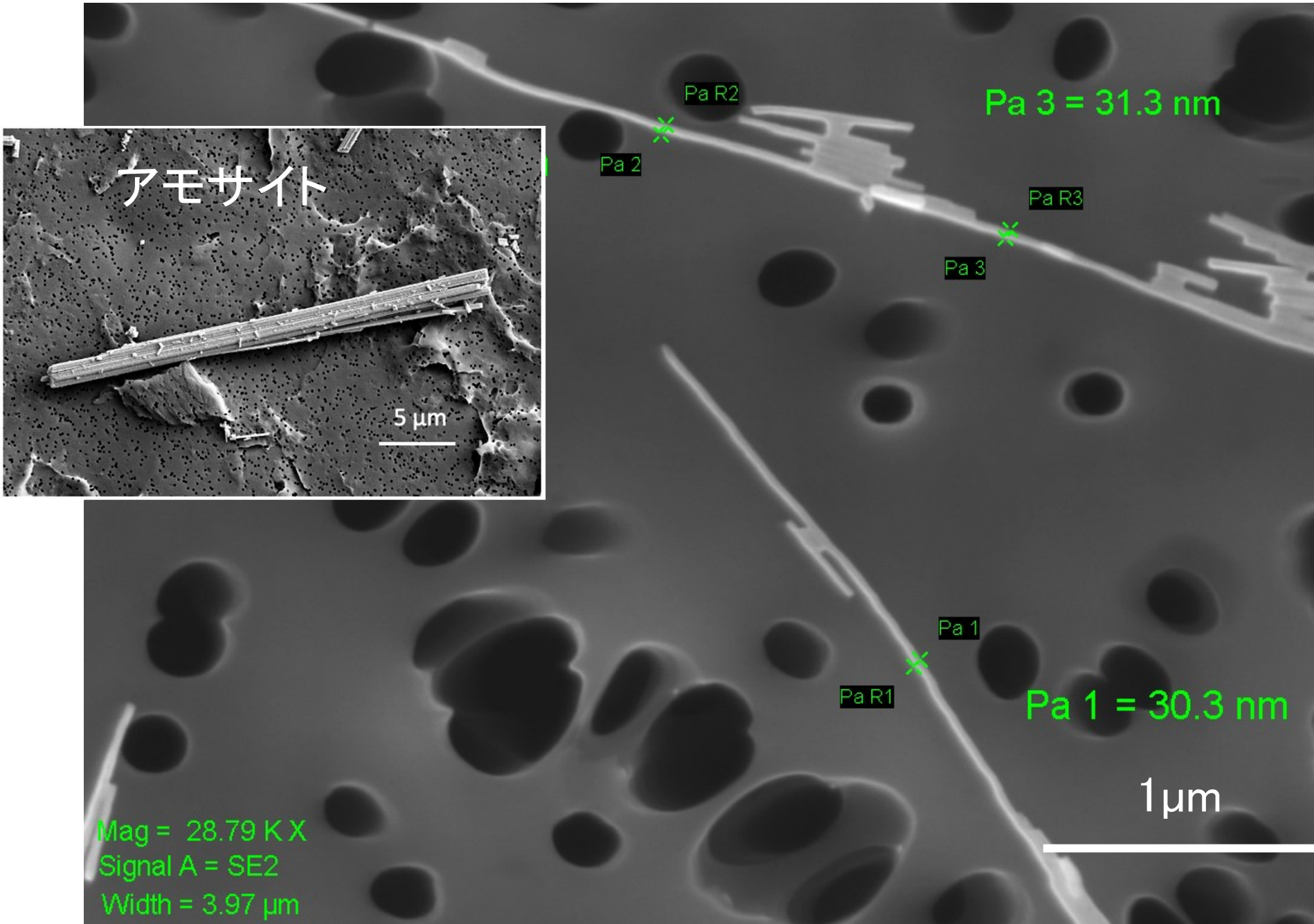
# アスベストの問題は終わっていない

- 日本のアスベスト含有建材の量は約4000万トン。約280万棟（国交省調べ）。
- 今後古い建物の解体でアスベスト含有建材が排出（2040-2050年頃まで続く）。
- アスベストの飛散を阻止しないと、中皮腫の患者が増える可能性（2022年には1,554人死亡）
- これまで飛散性が低いとされていたレベル3建材からの飛散（総務省勧告2016年）

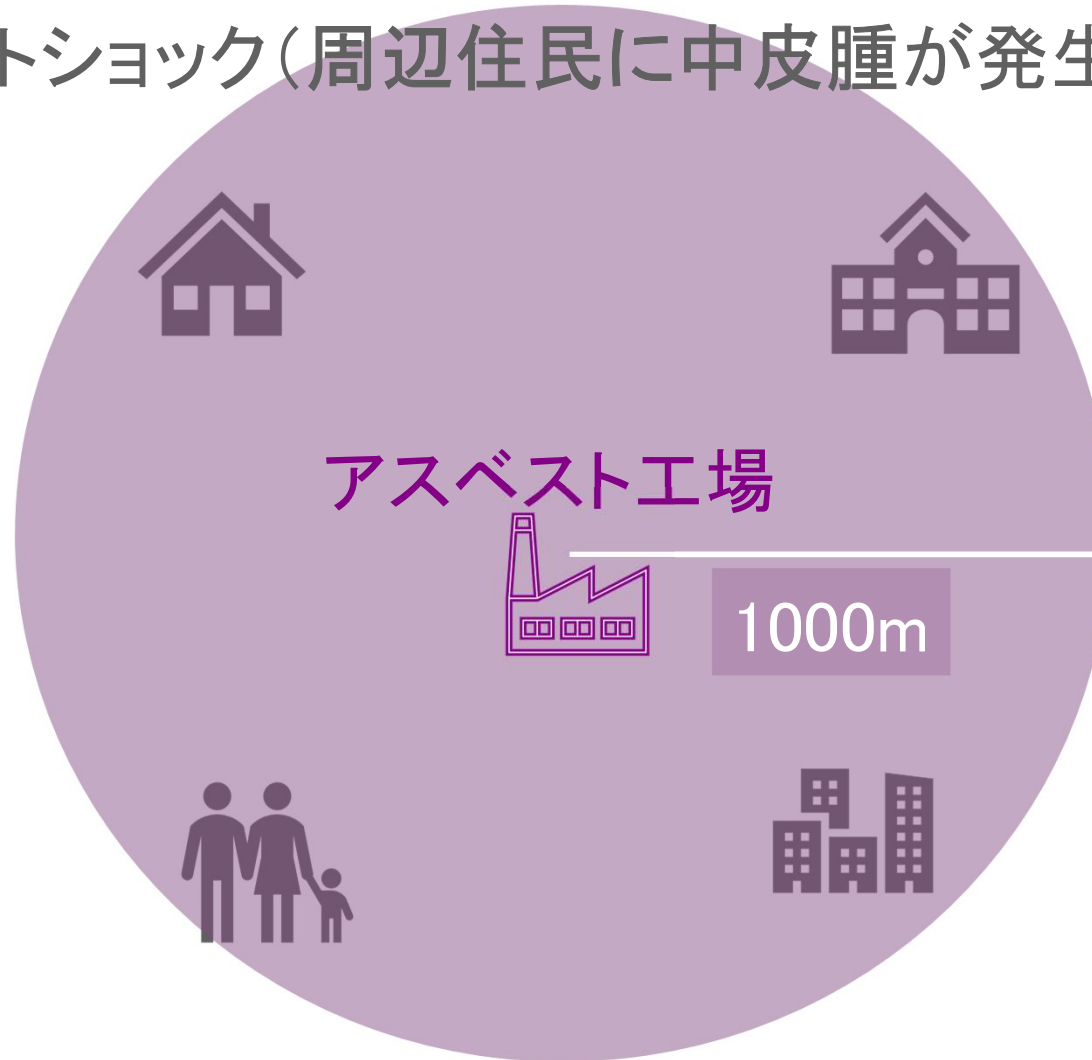
⇒ 解体現場での大気アスベスト検査の高度化が求められている。



# アスベストは繊維状のケイ酸塩鉱物



2005年アスベストショック(周辺住民に中皮腫が発生)



アスベストは大気の問題である

## 1、大気中の粒子や繊維をフィルターで捕集

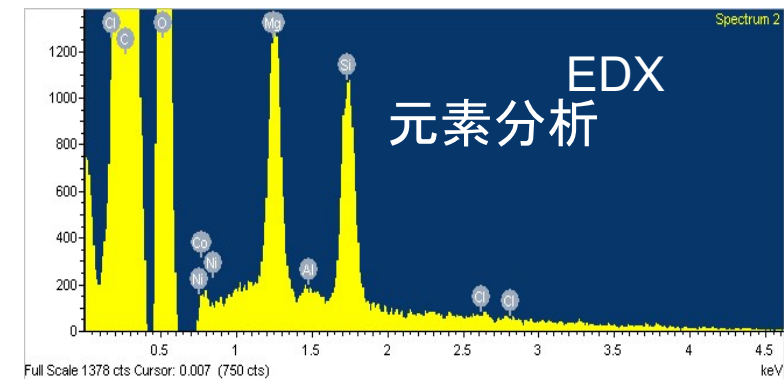
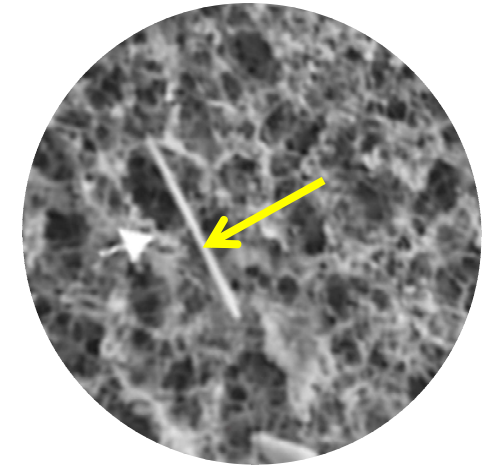


## 2、透明化して位相差顕微鏡で観察

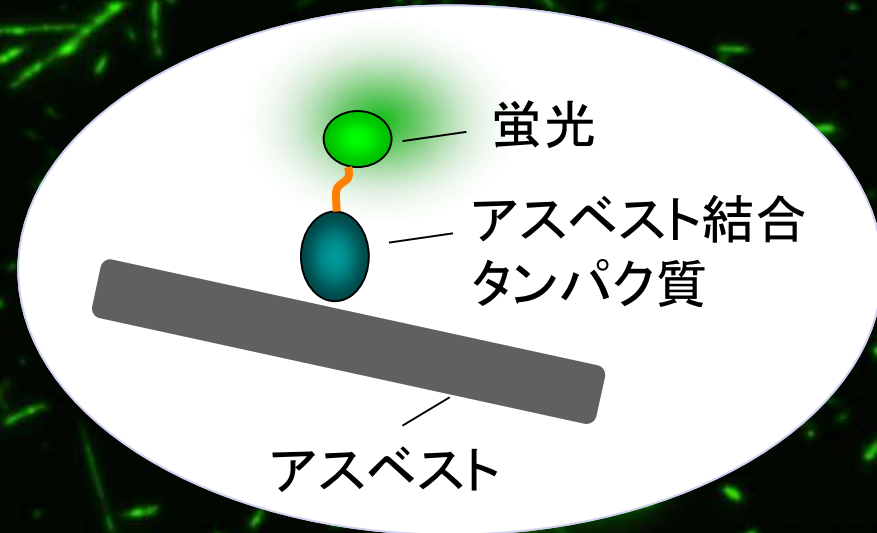
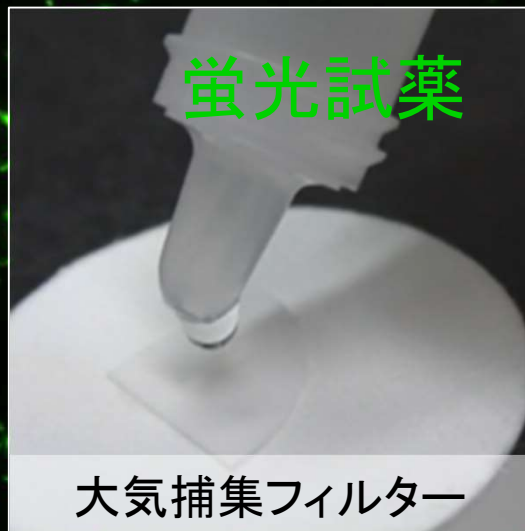
アスベスト、非アスベストの区別つかない。



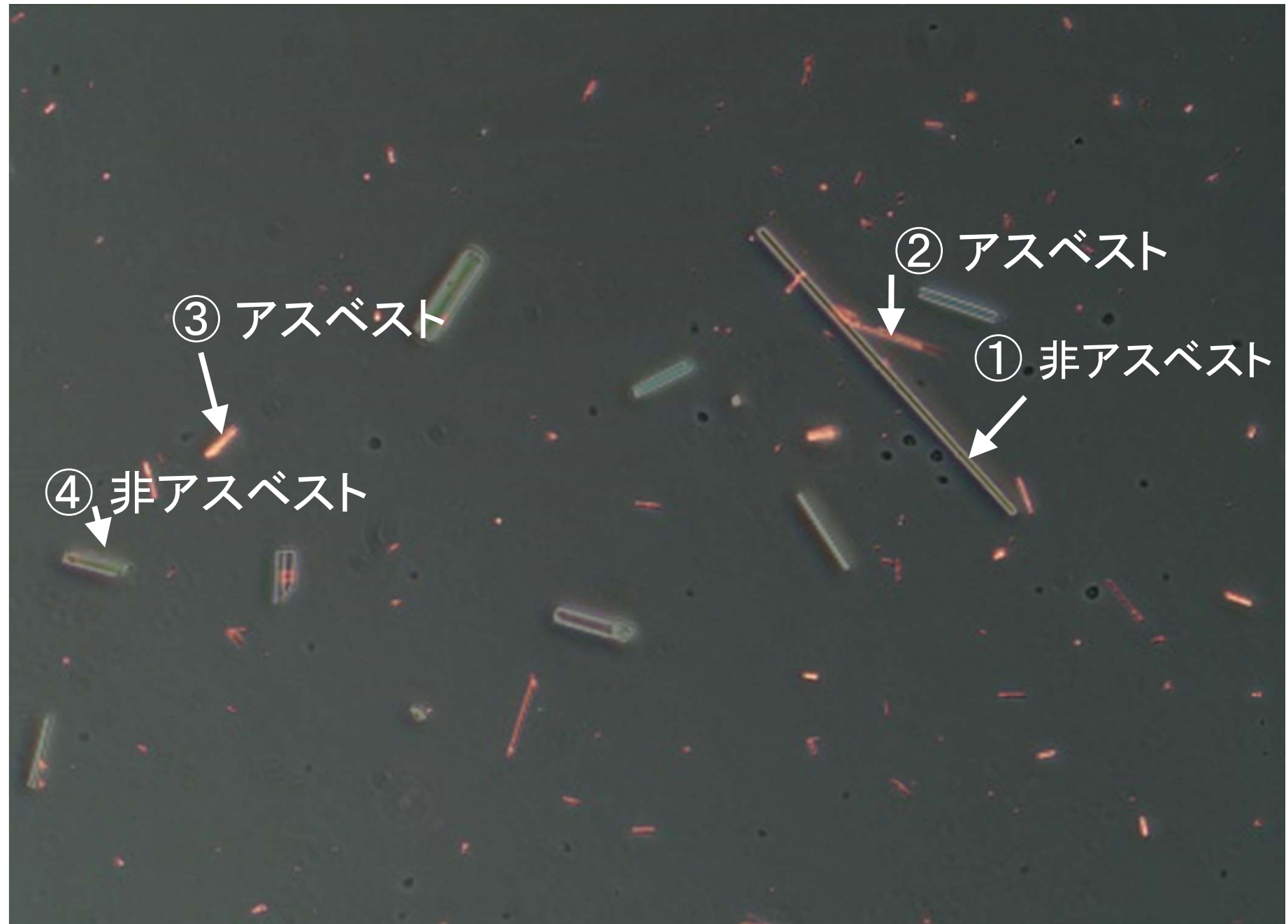
## 3、電子顕微鏡+EDXによる元素分析



## 蛍光試薬で迅速に可視化







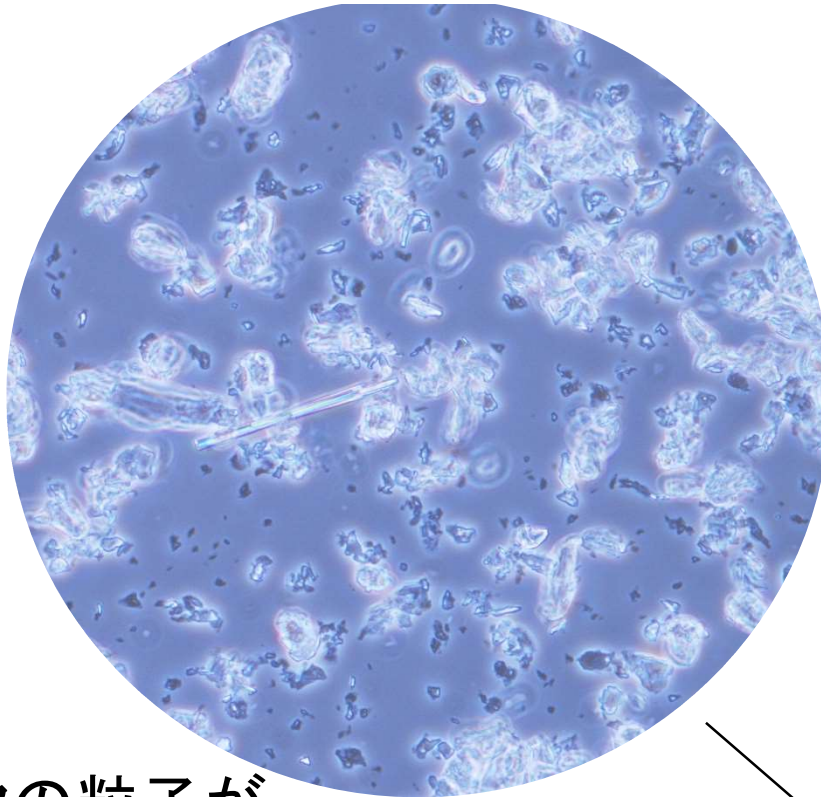
ベビーパウダー(タルク)から微量のアスベストを検出、  
3万3000本の製品のリコールにつながった。

2020年6月、ミズーリ州裁判所は、J&Jに21億ドル  
(2500億円)の支払いを命じる。

The Wall Street Journal, June 23, 2020より

## 従来法

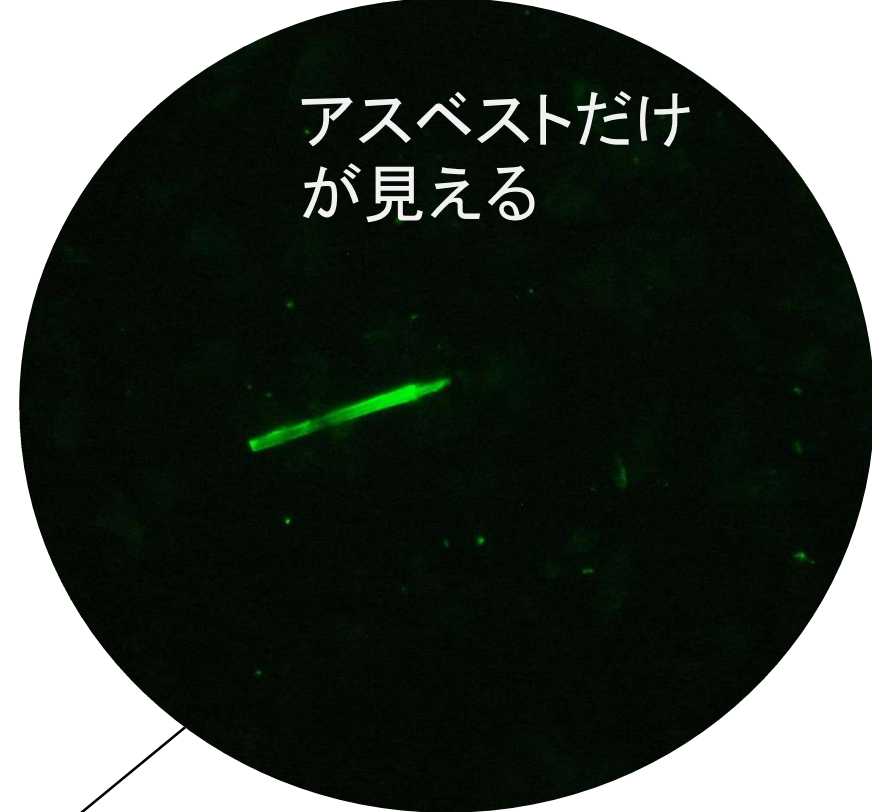
### 位相差顕微鏡像



タルクの粒子が  
沢山見える

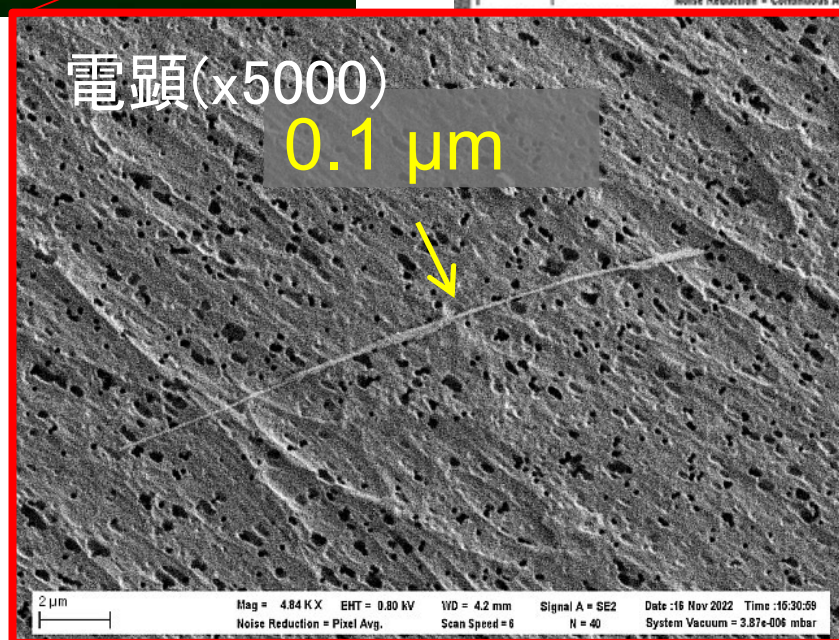
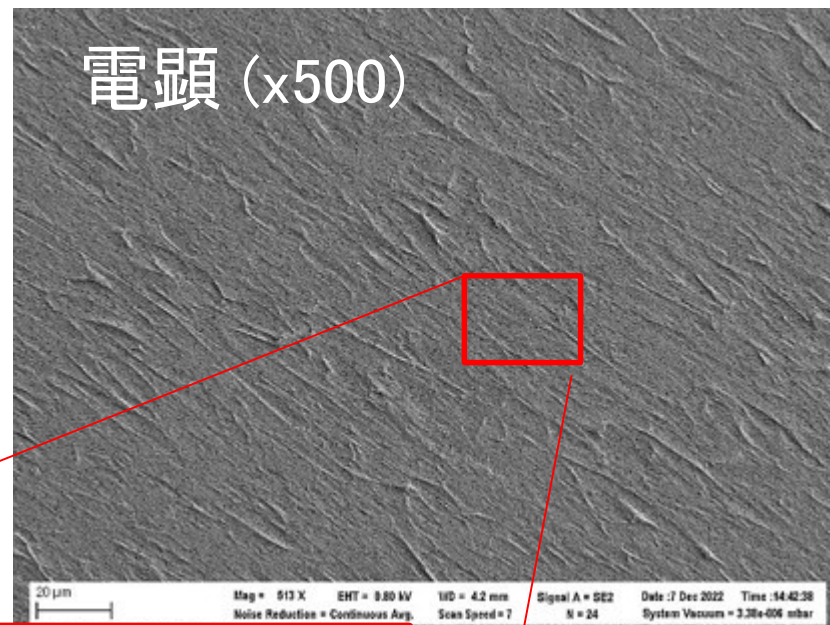
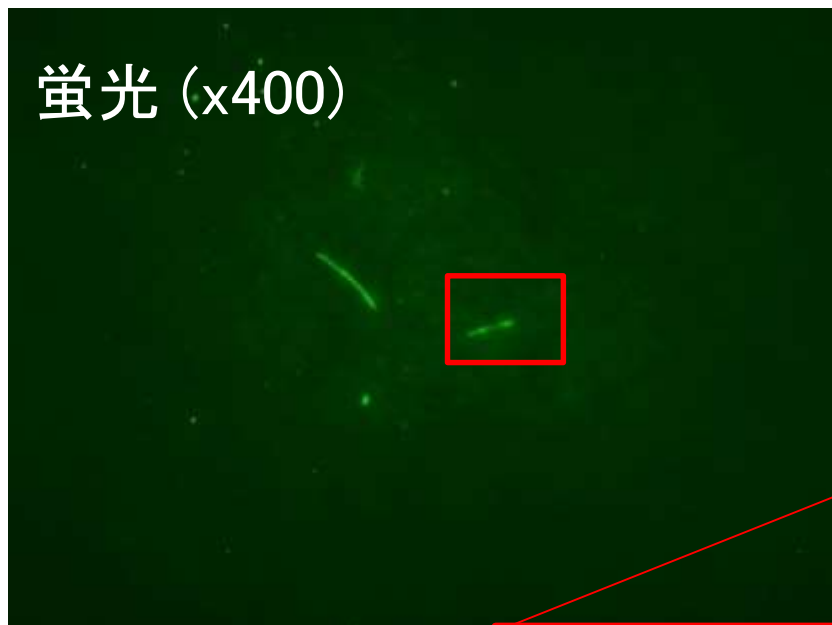
## 新技術

### 蛍光顕微鏡像



アスベストだけ  
が見える

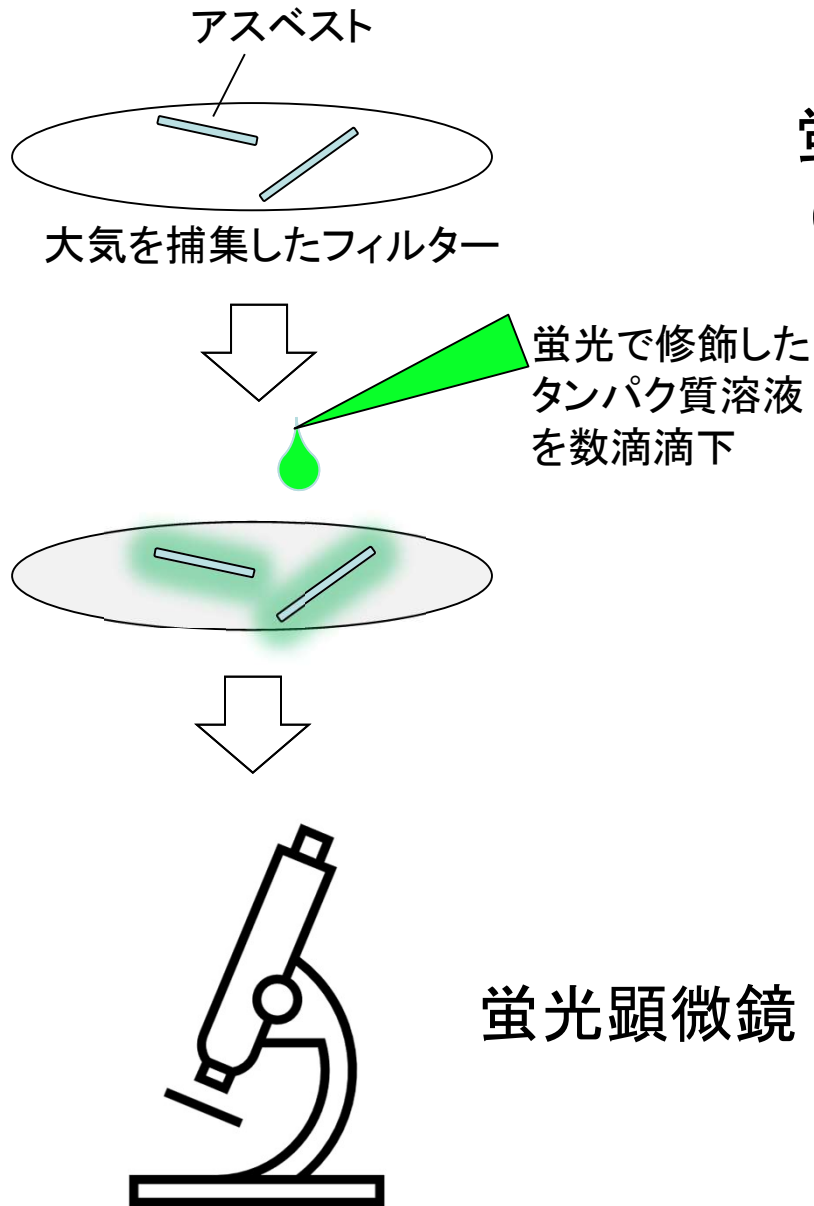
同一視野



電子顕微鏡  
での検査は  
100倍大変

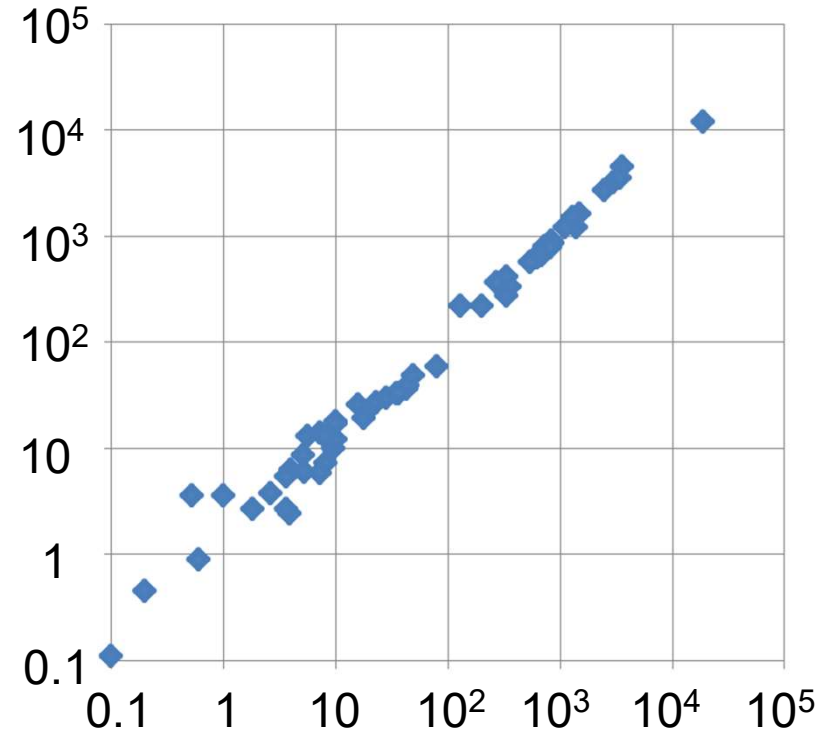
# アスベスト結合タンパク質の特異性

|        | 繊維           | アスベスト結合タンパク質 |         |
|--------|--------------|--------------|---------|
|        |              | Type I       | Type II |
| アスベスト  | クリソタイル(白石綿)  | 結合           |         |
|        | クロシドライト(青石綿) |              | 結合      |
|        | アモサイト(茶石綿)   |              | 結合      |
|        | アンソフィライト     |              | 結合      |
|        | トレモライト       |              | 結合      |
|        | アクチノライト      |              | 結合      |
| 非アスベスト | グラスウール       |              |         |
|        | 微細ガラス繊維      |              |         |
|        | ロックウール       |              |         |
|        | 耐火性繊維(RF1)   |              |         |
|        | 耐火性繊維(RF2)   |              |         |
|        | ケイ酸アルミニウム繊維  |              |         |
|        | チタン酸カリウム繊維   |              |         |
|        | 炭化ケイ素ウイスキー   | 結合           | 結合      |
|        | 酸化チタンウイスキー   |              |         |
|        | ワラストナイト      |              |         |



蛍光顕微鏡法\*  
(fiber/L)

実際の解体現場での大気  
サンプル及び発塵サンプル



電子顕微鏡法\*\* (fiber/L)

\* 位相差顕微鏡で計測した総繊維濃度を基に蛍光顕微鏡による補正(アスベストの割合で補正)を行った。

\*\* 位相差顕微鏡で計測した総繊維濃度を基に電子顕微鏡による補正を行った。

# 可搬型蛍光顕微鏡を開発



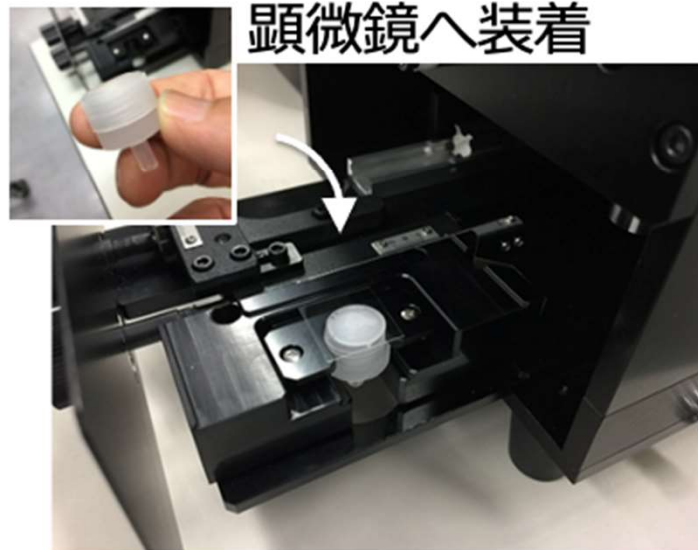
# 可搬型蛍光顕微鏡法を確立



**大気捕集**  
10分  
(10 L)



**染色**  
10分



**検査**  
40分



iPadの通信で画像(+位置や時間の情報含)を自動転送システム、AIによる分析も構築



## アスベストモニタリング マニュアル（第4.2版）

令和4年3月

環境省 水・大気環境局 大気環境課

R4年3月、**可搬型蛍光顕微鏡法**が、現場で簡易かつ迅速にアスベスト繊維の確認ができる測定法として、公的に位置付けられた（**公定法**）。

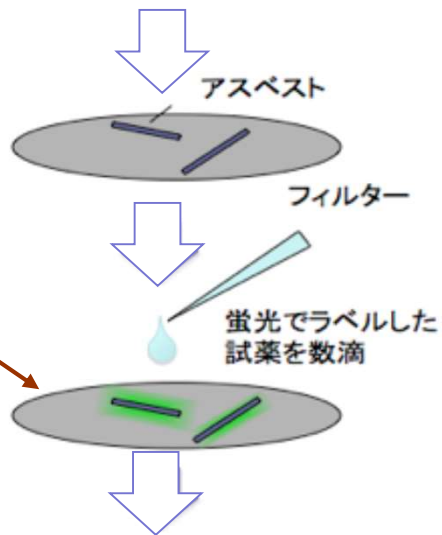
<https://www.env.go.jp/content/000066624.pdf>

# アスベスト1本から自動で検出する装置

## 蛍光顕微鏡法



大気捕集  
(サンプリング)



蛍光顕微鏡による分析と計測



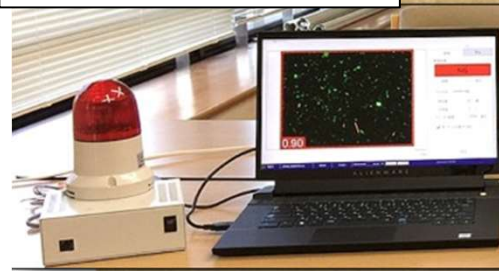
R4年3月  
公定法化

もう一つの  
利点  
フィルターを  
溶かす必要  
がない

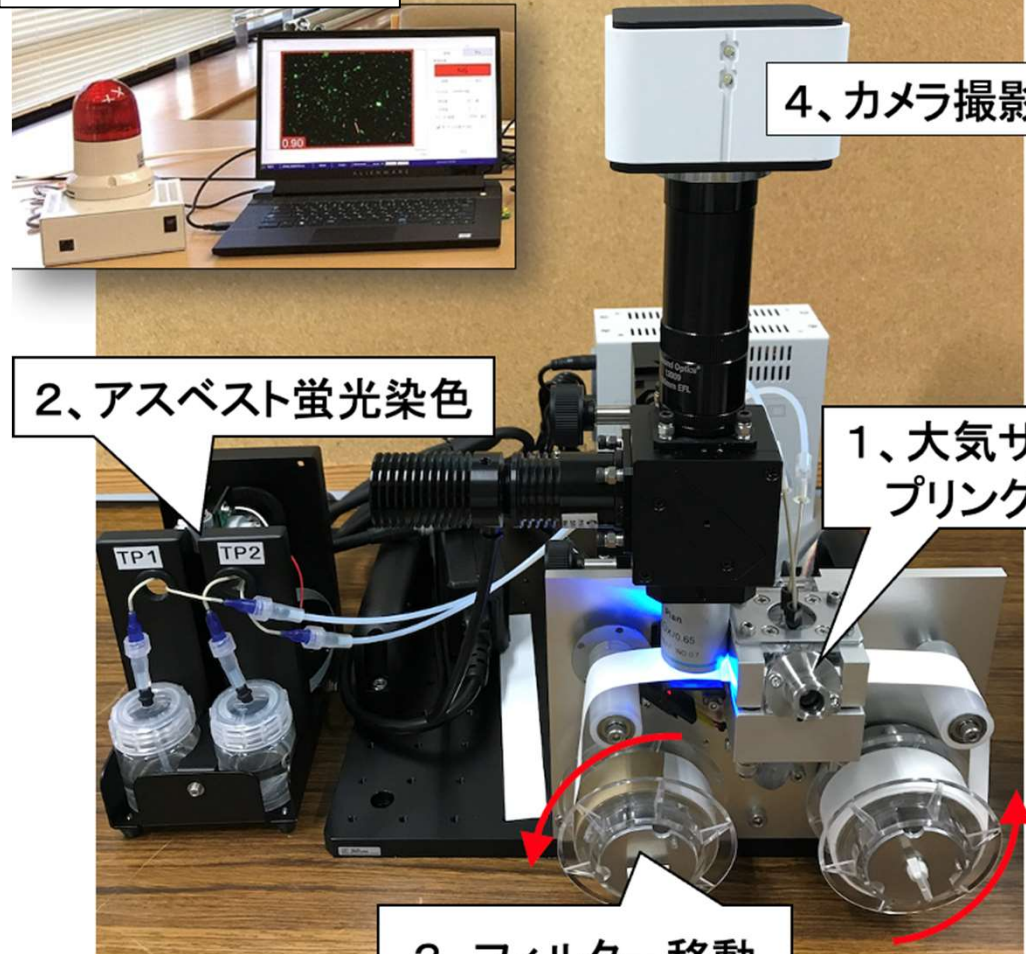
## 大気アスベスト連続自動検出装置

東亜DKKとの共同開発

### 5、AIで自動分析



### 4、カメラ撮影

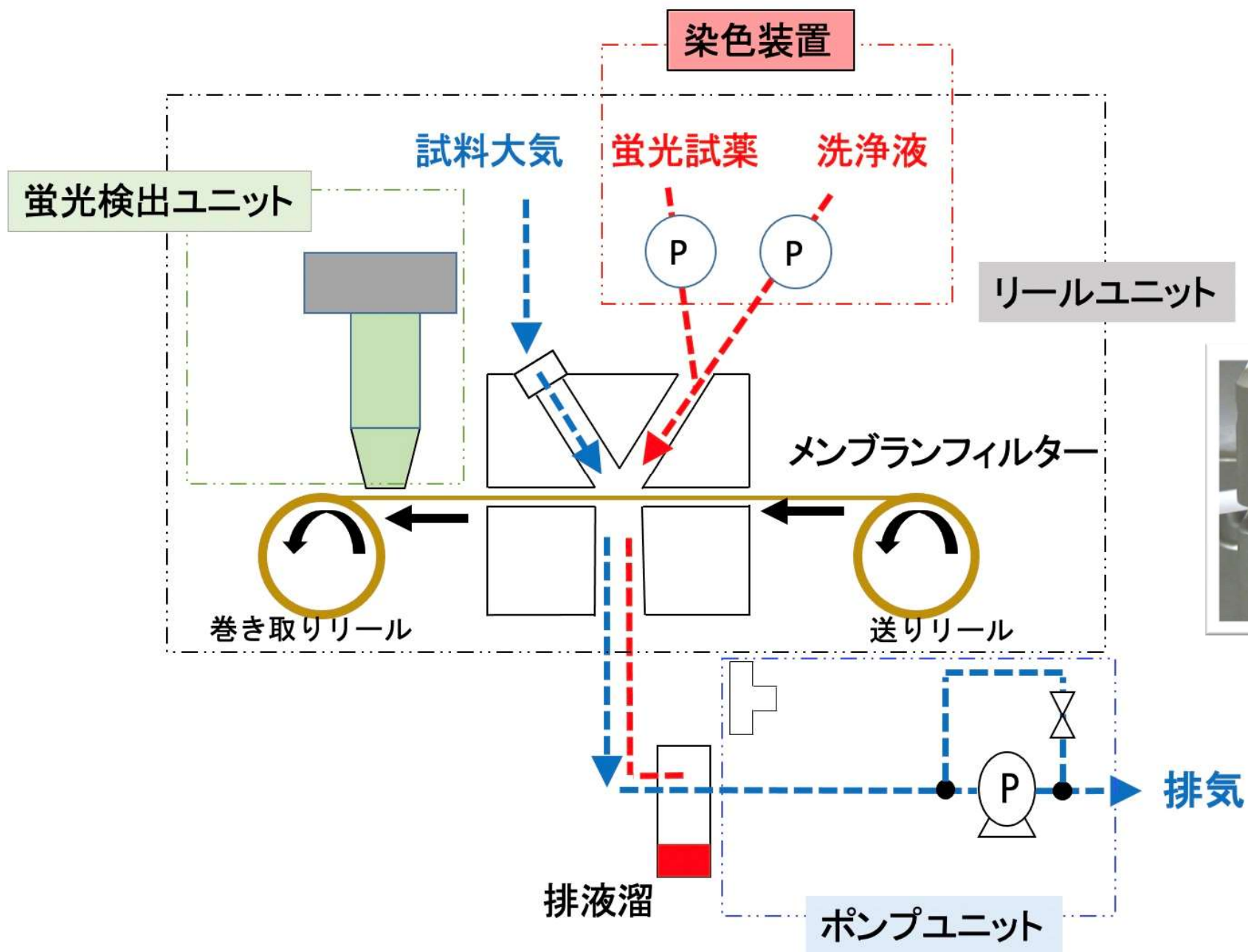


### 2、アスベスト蛍光染色

### 1、大気サンプリング

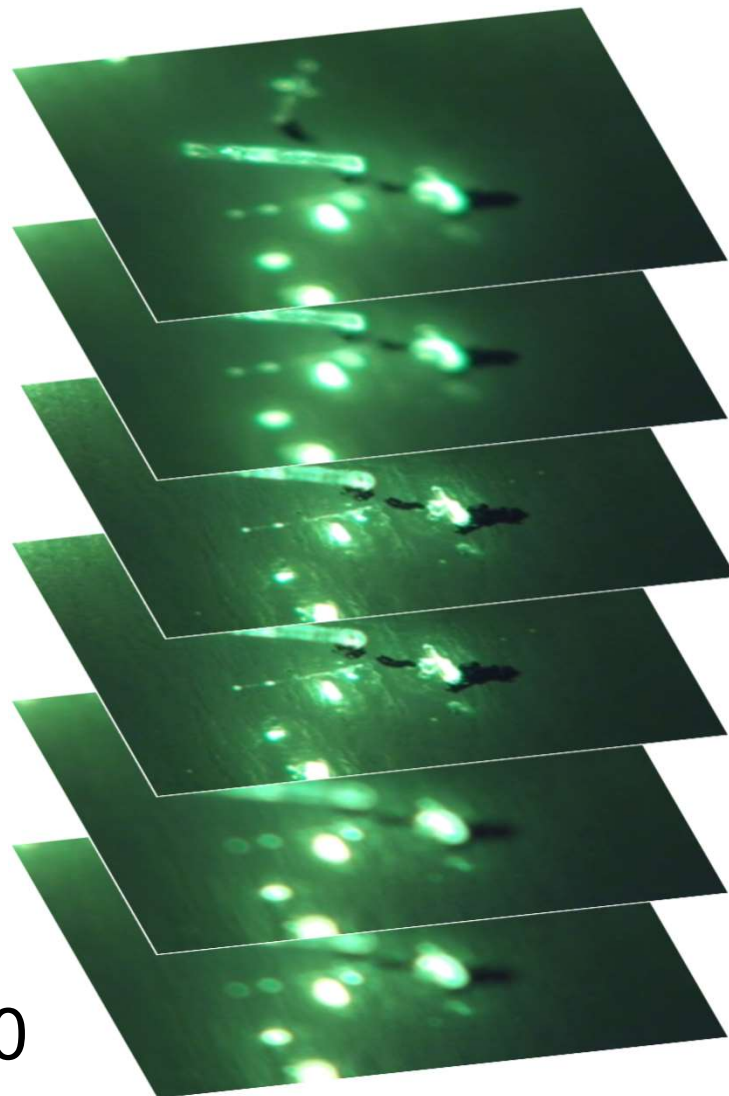
### 3、フィルター移動

# 連続自動検出装置の構成



# 蛍光画像の合成(フォーカス合成)

Layer 1



Layer 10

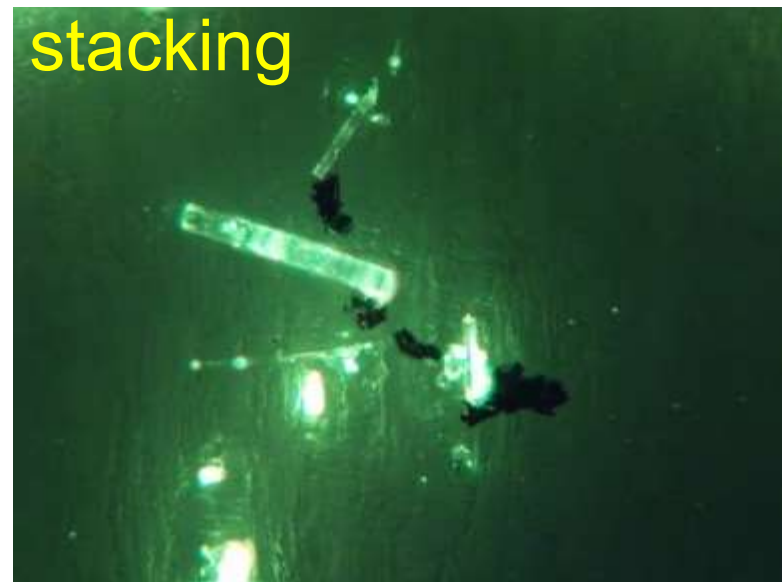
撮影条件

撮影範囲: 0~90 $\mu$ m

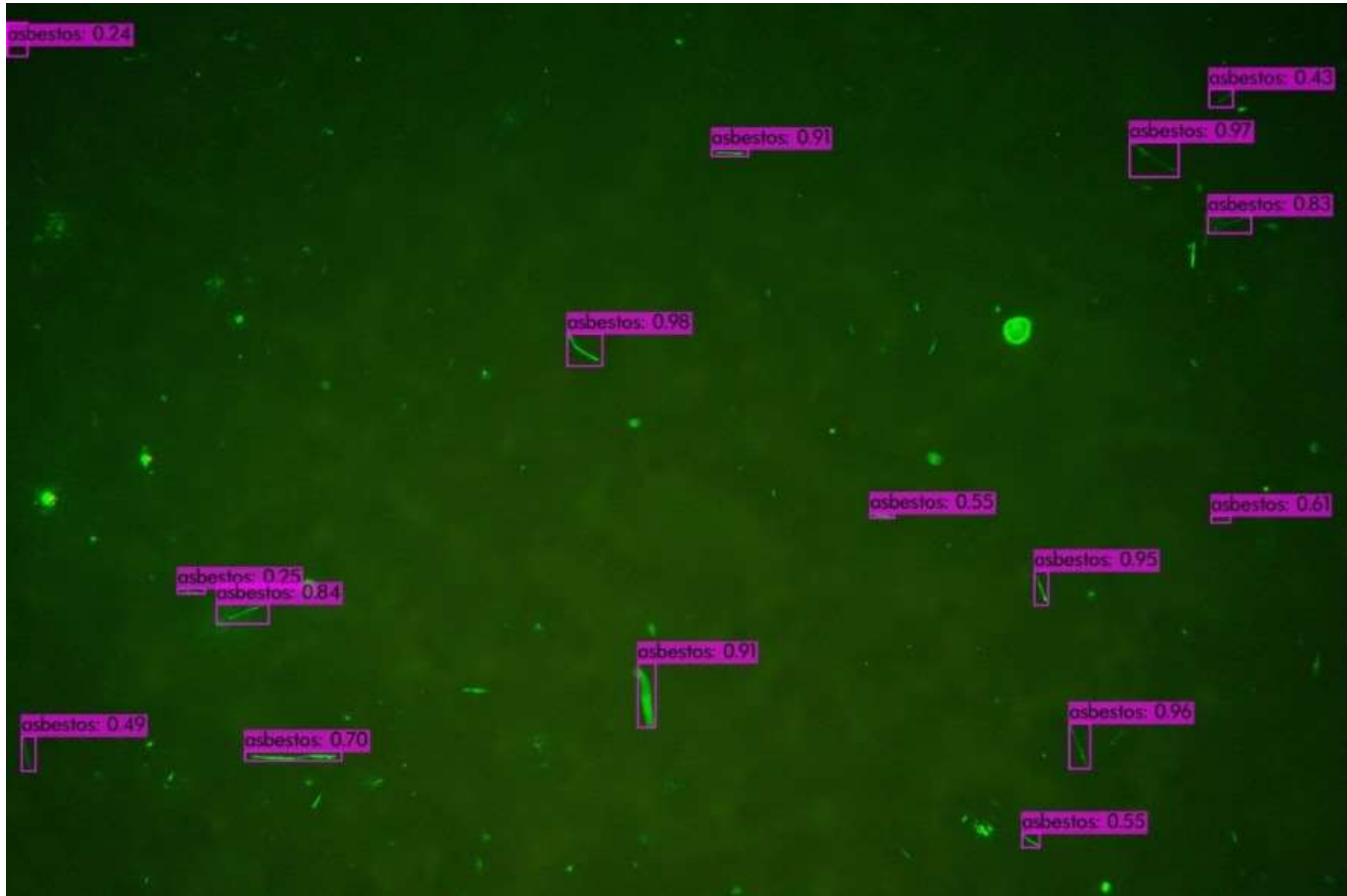
撮影間隔: 10 $\mu$ m

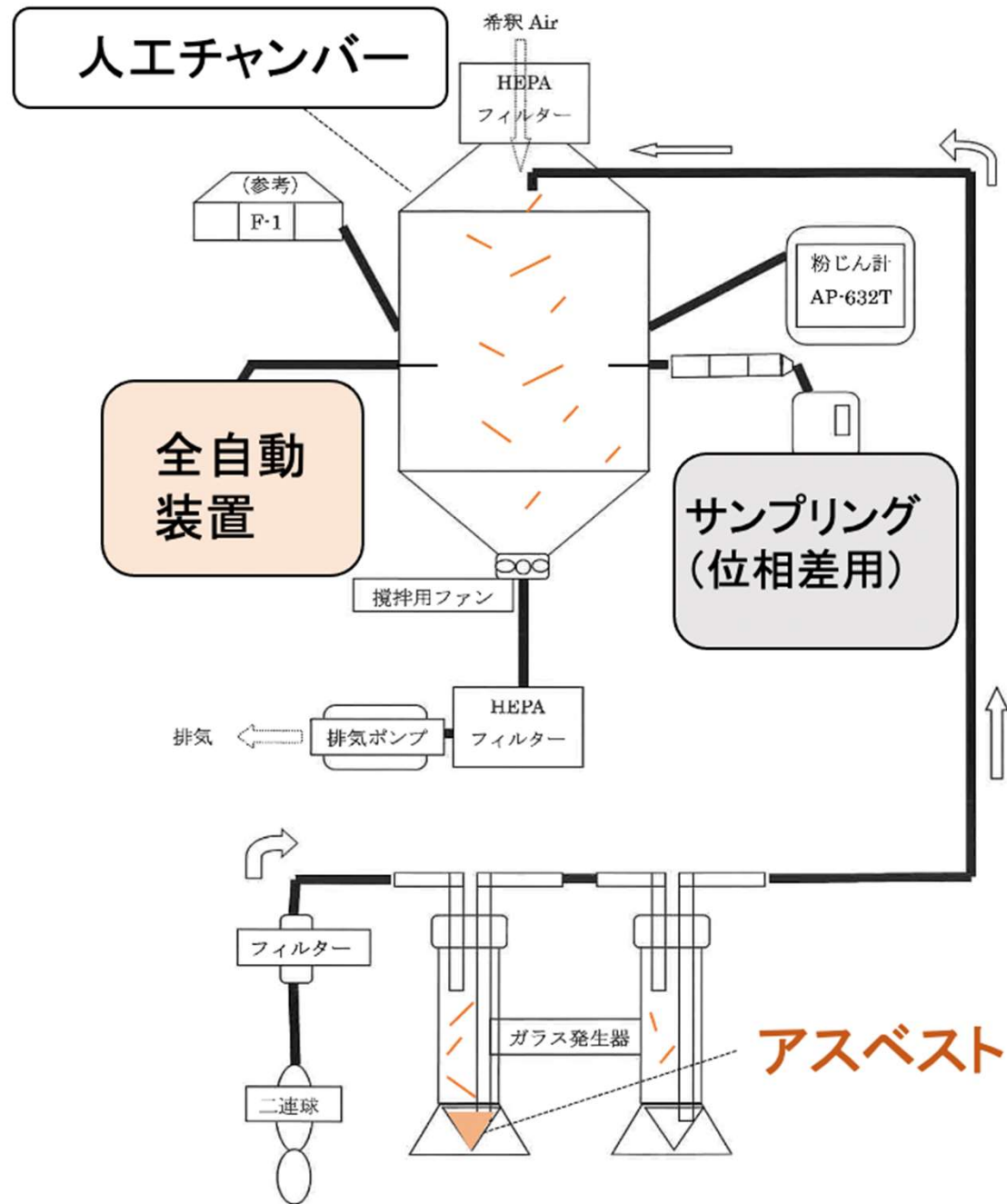
撮影枚数: 10枚

stacking



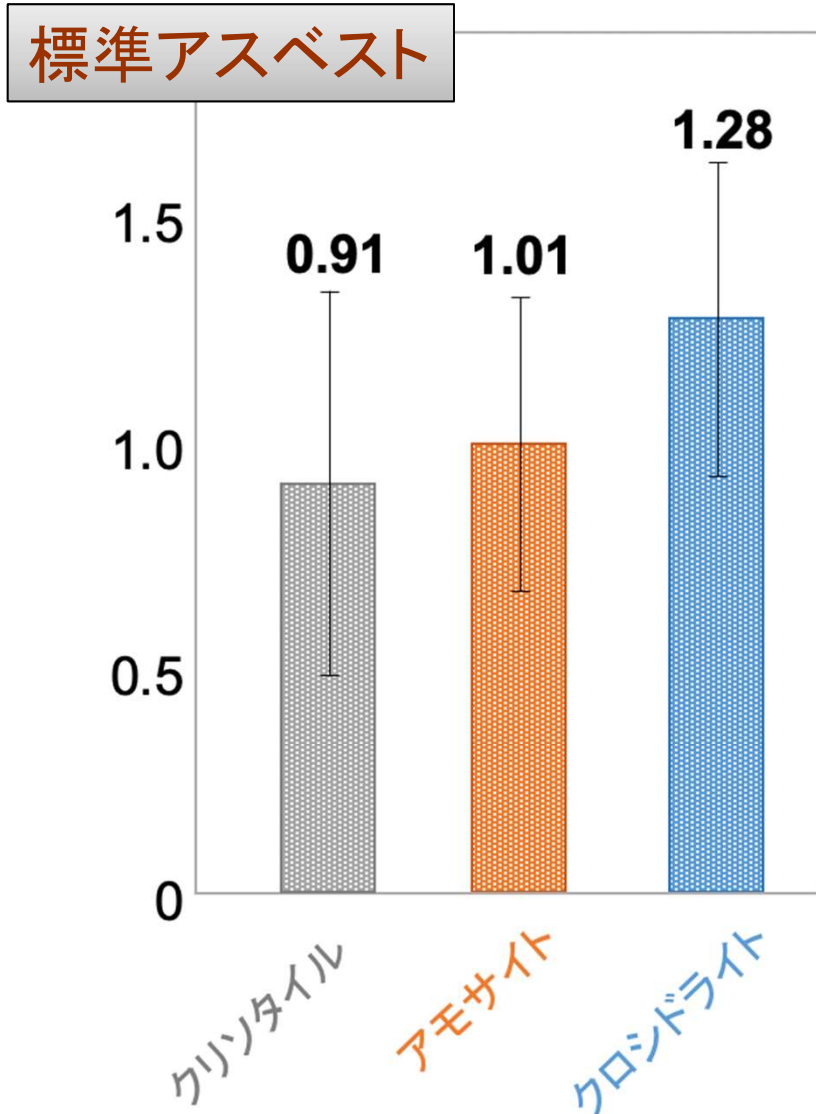
# AIによる判定と計測



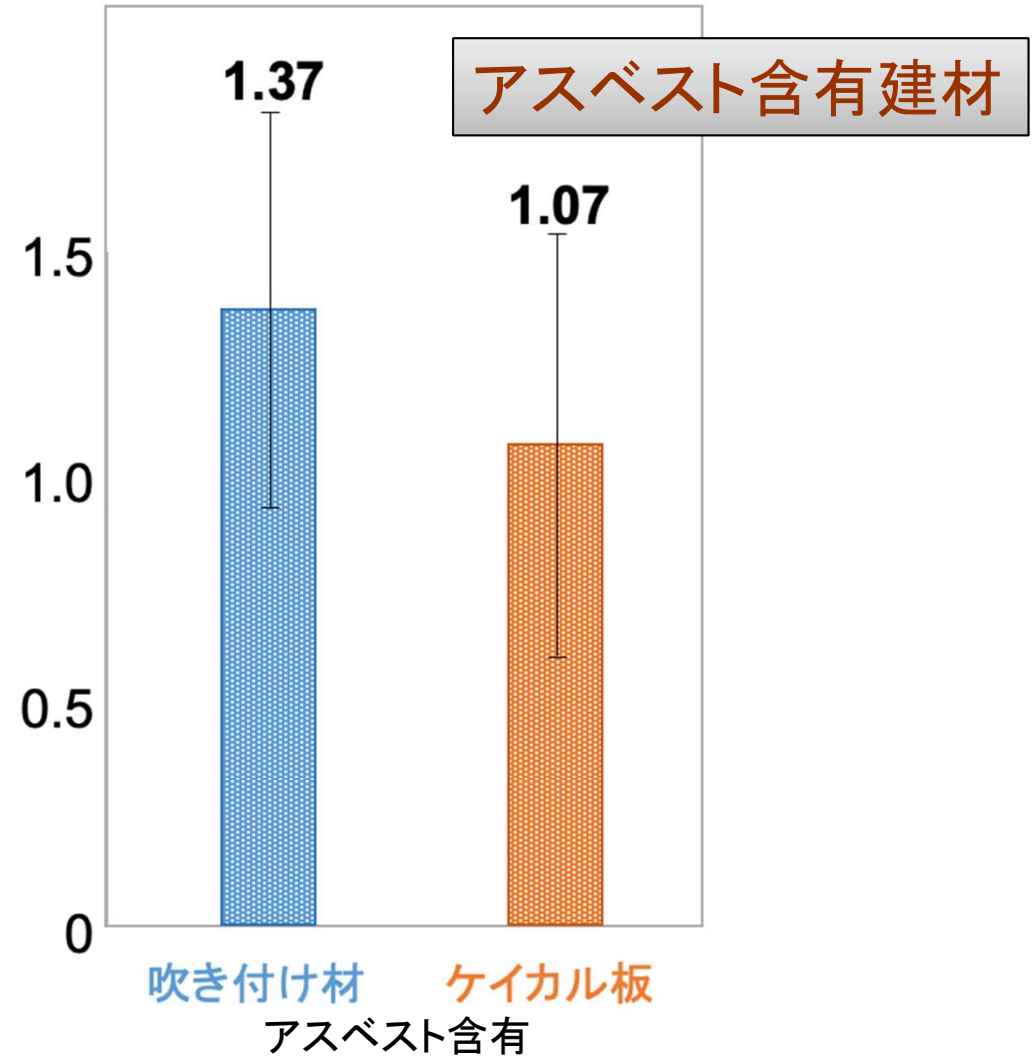


# 連続自動検出装置の性能

検出率(自動計測機/公定法\*)



検出率(自動計測機/公定法\*\*)



\*位相差顕微鏡を使ったマニュアル法

\*\*位相差顕微鏡と電子顕微鏡を使ったマニュアル法

- アスベストの問題は大気の問題である。
- 大気アスベストを検出するための新技術(蛍光顕微鏡法)を確立。
- 材料中のアスベストも効率的に検査できる。
- 可搬型蛍光顕微鏡法の確立(公定法化)。
- 連続自動検出装置(大気に浮遊するアスベスト繊維を1本から自動で検出する装置)の開発。



- **迅速性**: 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。
- **特異性**: 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かった。

# 新技術の特徴・従来技術との比較

|          | 従来技術<br>(位相差顕微鏡)           | 従来技術<br>(電子顕微鏡)   | 新技術<br>(蛍光試薬+蛍光<br>顕微鏡) |
|----------|----------------------------|-------------------|-------------------------|
| 感度       | 低い                         | 高い                | 高い(30nmの微細繊維も低倍率で可視化)   |
| 特異性      | 低い                         | 高い(アスベストとして同定できる) | 高い                      |
| 迅速性      | 高い                         | 低い                | 高い                      |
| 自動化(連続化) | 難しい                        | できない              | 可能                      |
| デメリット    | 全ての粒子と繊維が見えるので、判定は電子顕微鏡に依存 | 高価、手間             | アスベスト以外も一部反応する          |

- 解体現場でのアスベストモニタリング。
- 震災後の瓦礫からのアスベスト発生をモニタリング。
- 材料、天然鉱物中のアスベスト検査（タルク、蛇紋石など）。
- 蛍光試薬を変えれば他の有害物も検出できる。例えば大気中に浮遊するカーボンナノチューブや酸化チタンナノ粒子の検査も可能。

- 連続自動検出装置において、顕微鏡部の初期設定(焦点)をマニュアルで行う必要あり。
- フォーカス合成の工夫を行う必要あり。
- 自動検出装置の実用化に向けて、解体現場等での実証を重ねる必要あり。
- 今後、連続自動検出装置について実験データを取得し、環境省とデータ共有を行う。

- 顕微鏡部の初期設定を自動化できないか。  
⇒ オートフォーカスの技術をもつ企業との共同研究を希望。
- 解体現場等での実証を行う共同研究を希望  
(建築業界、解体業者等)。
- 大気のモニタリング分野への展開(アスベスト以外にも展開可能)を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

- 蛍光顕微鏡を使ったアスベスト検査方法は、**世界で初めての技術**。
- 環境省モニタリングマニュアルで**公的に認められた**。
- 自動化できれば、**世界で唯一の装置**となる。
- 本技術は迅速なアスベスト検査が可能のため、天然鉱物を材料として使う場合のアスベスト混入の検査など、企業に貢献できると考えている。
- 本格導入にあたっての技術指導は可能。

- 発明の名称 : アスベスト計測装置
- 出願番号 : 特願2021-74756
- 出願人 : 広島大学、東亜ディーケーケー株式会社
- 発明者 : 黒田章夫、西村智基、加賀健一郎、岡野隼人、中静崇、浦田吉康

- 発明の名称 : 結晶構造を有する物質に結合するプロテインタグ、および、その利用
- 出願番号 : 特願2017-539972
- 出願人 : 広島大学
- 発明者 : 黒田章夫、石田丈典



- 2006年  
大学発ベンチャー(シリコンバイオ社)設立
- 2019年-2021年  
ERCA環境研究総合推進費に採択
- 2020年-  
東亜ディーケーケー株式会社と共同研究
- 2023年-2025年  
ERCA環境研究総合推進費(技術実証)に採択

広島大学  
オープンイノベーション本部  
産学連携部 産学連携部門

TEL 082-424-4302

e-mail [techrd@hiroshima-u.ac.jp](mailto:techrd@hiroshima-u.ac.jp)