

# ナノマテリアル取り扱い作業実態の評価と、 ばく露防護のための労働衛生工学的対策と 労働衛生保護具の使用に関する研究

主任研究者  
共同研究者

埼玉産業保健推進センター所長

荒記 俊一

埼玉産業保健推進センター基幹相談員

田中 茂

埼玉産業保健推進センター特別相談員

児島 俊則

埼玉産業保健推進センター特別相談員

宇佐見 隆廣

埼玉産業保健推進センター基幹相談員

武石 容子

東京産業保健推進センター特別相談員

岩崎 毅

# はじめに

- ナノマテリアルは100nm以下の微粒子であり、従来の材料にはない、優れた性質を有する新素材が得られる可能性が高く、今後様々な用途に使用されていくことが予想される。

使用例:

- カーボンブラック: タイヤ、顔料、インク、トナー
- シリカ: トナー、インキ、繊維、医薬
- 酸化チタン: 化粧品、トナー
- 酸化亜鉛: 化粧品
- カーボンナノチューブ: (研究開発: 軽量化、導電性-半導体トレイ、燃料電池)
- フラーレン (研究開発: 反発性能、軽量化-スポーツ製品、燃料電池、太陽電池)
- カーボンナノファイバー (研究開発: 熱伝導率向上: リチウム電池)

- ナノマテリアルに対する人の健康影響について未だ十分に解明されておらず、また、作業環境測定やばく露濃度測定方法も確立されていない。
- 通達 平成20年2月7日基発第0207004号：厚生労働省一ナノマテリアルの製造・取扱い等に従事する労働者の健康障害を未然に防止する観点から、当面のばく露防止の予防的対策
- 平成20年3月から11月：検討会を開催し平成20年11月26日に報告書を発表された。
- 通達 平成21年3月31日基発第0331013号：ナノマテリアルに対するばく露防止等のための予防的対応について
- ナノマテリアルに対する有害性の把握や作業環境中の濃度測定が行えない中で、ナノマテリアルが使用されている現状が十分に把握されていない。
- 本研究では、ナノマテリアル取扱い作業場における実態把握として、
  - ・既存の測定による作業環境の実態の把握
  - ・労働衛生工学的対策
  - ・呼吸用保護具による曝露防止状況

# 調査方法

- I ナノマテリアルを取り扱っている4事業場を対象に、ナノマテリアルおよび労働衛生管理状況に関するアンケート調査を行った。
- II 3事業場に対して使用実態における作業環境調査を行った
- (1) 作業場内の粉じん濃度を把握するために作業環境測定基準に則った粉じんの作業環境測定
  - (2) 作業者の粉じんばく露程度を把握するための個人ばく露濃度測定
  - (3) P-Trakによる0.02～1.0 $\mu$ mの超微粒子の粉じん濃度測定
  - (4) マスクフィッティングテスターによる作業者のマスクの密着性試験
  - (5) 局所排気装置の性能試験を行った。
- III ナノマテリアルに対する局所排気装置やプッシュプル型換気装置の有効な使用についての検討、呼吸用保護具の選定に対する検討を行った

## 超微粒子パーティクルカウンタ

# Model 8525

Pトラックは、サンプル空気をアルコール蒸気と混合させて微粒子を測定するハンドヘルドタイプの小型軽量（乾電池付きで1.7kg）のカウンタです。乾電池でも動作するので、測定場所を選びません。従来の粉塵計では測定ができなかった0.02ミクロン径の微粒子から、1.0ミクロン径までの微粒子が測定できます。室内環境のチェックからフィルタのリーク試験等の幅広い微粒子カウンタとしてご使用いただけます。また、付属のTrakPro™ソフトウェア（Windows®用）を使用して、メモリからのデータダウンロード、コンピュータ制御による測定、データのグラフ表示が簡単にできます。

### 特長

- 小型・軽量タイプUPCカウンタ
- 0.02~1.0 $\mu$ mの測定
- 室内環境のチェック、フィルタリーク試験等  
幅広い用途に対応
- 単3アルカリ乾電池×6本で6時間測定可能
- 付属のTrakPro™ソフトウェアで  
データのダウンロード、グラフ表示可能

### 用途

- 事務所環境調査
- クリーンルーム汚染管理
- フィルタリーク監視
- ドラフトチャンバ試験
- 自動車排気ガス拡散
- 喫煙室管理
- 燃焼系漏れ試験
- コピー機、プリンタからのトナー漏れ試験



## 《仕様》

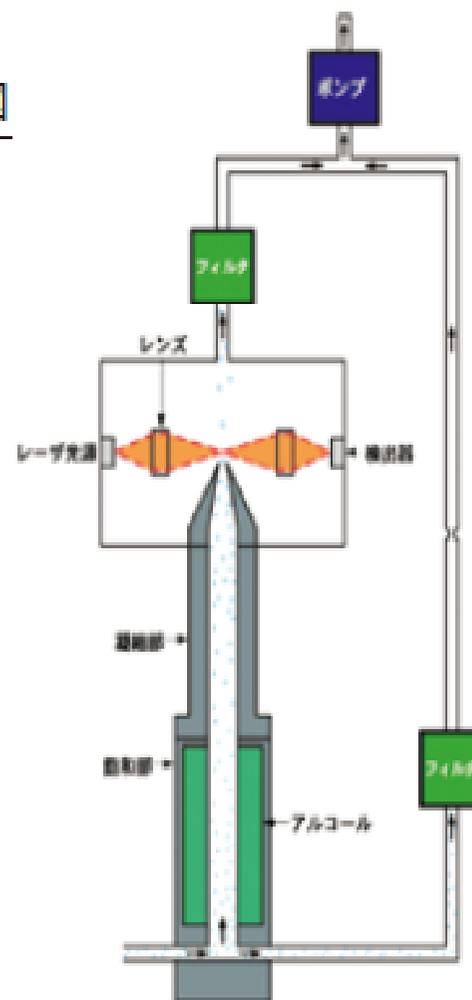
測定粒子径	0.02~1.0 μm	
測定濃度(個数)	0~500,000個/cm <sup>3</sup>	
流量	サンプル	約100cm <sup>3</sup> /分
	トータル	約700cm <sup>3</sup> /分
表示	指定間隔間の平均値を表示	
測定時間	スタートストップによる連続測定	
記録間隔	設定可能	
メモリ	470箇所までの測定結果及び1分間隔のインターバルで1,000時間分のデータ	
アラーム音	設定可能	
使用アルコール	100%試薬級イソプロピル/8時間使用可能(21℃の場合)	
電源	単3アルカリ乾電池×6本/6時間使用可能(21℃の場合)	
出力	RS-232C(9,600バー、8-N-1)	
寸法	270×140×210mm	
重量	機器本体(乾電池搭載後) 約1.7Kg	
保証	2年間(消耗品を除く)	
標準付属品	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キャリングケース ・伸縮性プローブ</li> <li>・ショルダーストラップ ・インレットスクリーン(サンプル口保護) ・単3アルカリ乾電池×6本</li> <li>・RS232Cケーブル, RJ45/DB9</li> <li>・DB9/DB25ケーブルアダプタ</li> <li>・ゼロフィルタ(2個)</li> <li>・TrakProソフトウェア(英語版)</li> <li>・イソプロピルアルコール(30mℓボトル×16)</li> <li>・NIST(米国標準技術局)トレーサブル校正証明書</li> </ul>	

※プリンタはオプション

## 測定原理

アルコール蒸気で満たされた管に導入されます。サンプル空気中の粒子はアルコール蒸気と結合し、粒子を核にしたより大きな粒子に成長しセンサ部に送られます。センサ部ではレーザーを光源にした光散乱方式によって粒子数を計測します。

## 構成図

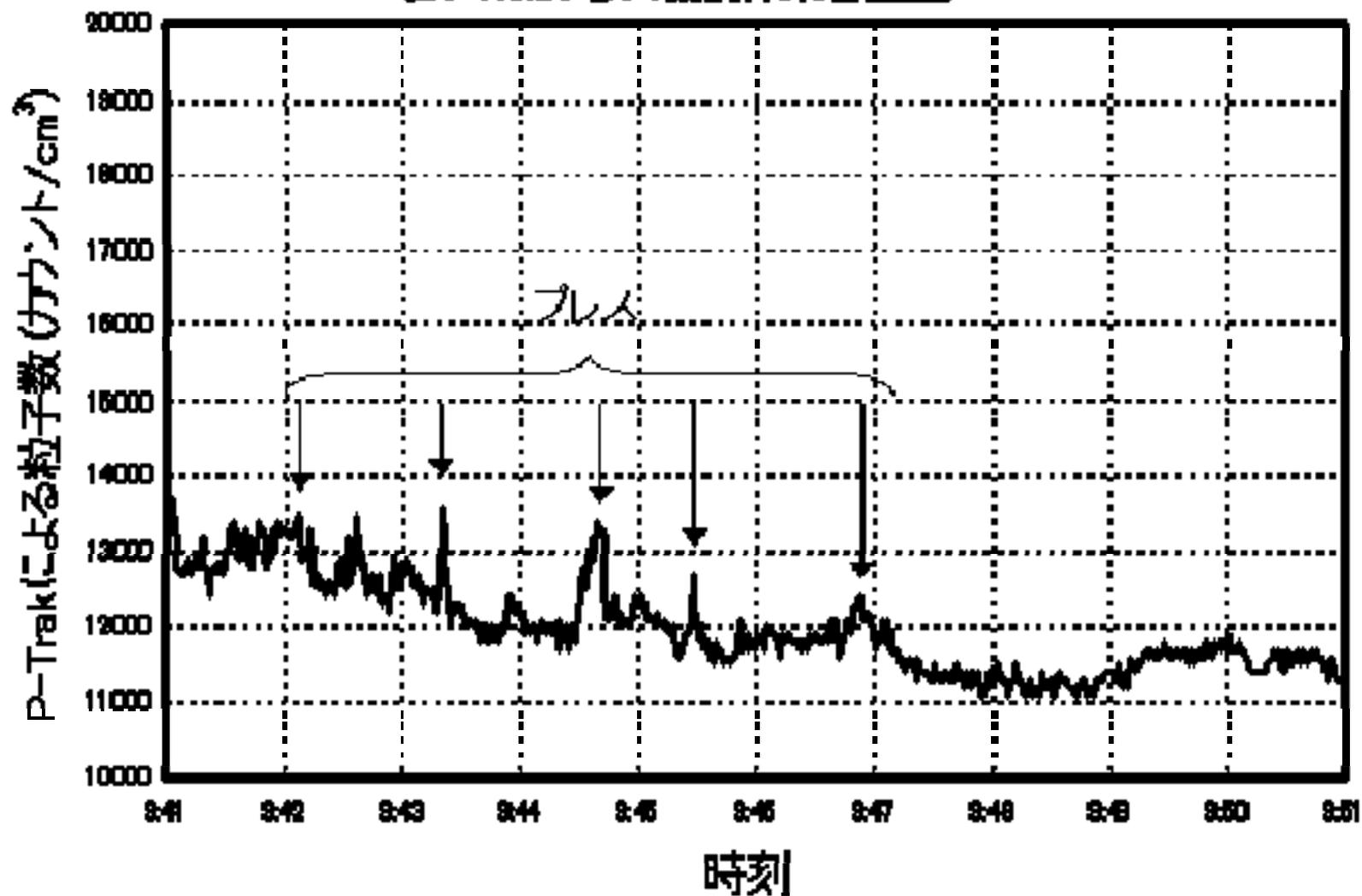


1. 事業種別	A事業種別	B事業種別	C事業種別	D事業種別
2. 作業従事者	30名(22+8)	5名	2名	30名
3. ナノ材料の名称	二酸化亜鉛	α-SiO <sub>2</sub> 、SiO <sub>2</sub>	フラーレン	α-SiO <sub>2</sub> ナノチューブ
取扱い数量	330 t/y	—	30 g	—
4. 作業工程		<p>原材料 投入作業工程</p>		<p>原料 ↓ 反応 ↓ 後処理 ↓ 粉体処理 ↓ 製品検査 ↓ 製品</p>
5. 装置設置 装置設置方式 フードの型式 装置向直成機 除じん方式	<p>周壁、全換(肉壁) 走置式 囲い式、外付け式 (傾、上、下方吸引) 年1回 ろ過方式</p>	<p>周壁、全換(肉壁) 走置式 囲い式 月例点検 —</p>	<p>周壁、全換(肉壁) 巻取式 外付け、上方吸引型 年1回 ろ過方式+HEPA</p>	<p>周壁、全換(肉壁) 走置式 外付け、上方吸引型 日常点検 ろ過方式+HEPA</p>
6. 保護具	供給で着じんマスク 専用作業服・ブリー 安全靴・保護手袋・履	直結式着じんマスク 化学防護衣 保護眼鏡 ゴム手	供給で着じんマスク 化学防護衣 保護眼鏡 ゴム手	直結式防護・衝走・使 い捨てマスク 使・捨て作業着 保護眼鏡 軍手・ポリ手袋
7. 稼働状況	日勤	日勤	日勤	日勤 前直 後直
8. 作業環境測定	○(着じん)	○(着じん)	無	○(着じん)
9. 作業区の設定	無	選任作業区	無	選任作業区
10. 労働衛生教育	○	未	未	○
11. ナノ健康診断	○	○	未	○
12. 安全衛生委員会	○	無	無	○

# A事業所における調査結果

- ・工程としては(袋を作製するためにガラス布の裁断工程)－(断熱材の原料を混合する工程)－(縫製された袋に断熱材を充填する工程)－(充填後にプレス成型する工程)－(梱包工程)
- ・現在の粉じんに対する管理濃度を参考に、作業環境測定結果を評価すると、裁断工程と梱包工程は第Ⅰ管理区分、加工＋プレス工程は第Ⅱ管理区分、充填工程と混合工程の評価は第Ⅲ管理区分であった。
- ・P-Trakによる超微粒子測定では、一部の作業で高い値を示し作業に起因する変動が確認された。
- ・個人ばく露濃度測定では、吸入性粉じん濃度が既存の許容濃度より上回ったのは10名中4名(40%)であった。
- ・全ての作業者が使い捨て式防じんマスク(ろ過材:DS1)を使用しており、防じんマスクの漏れ率は平均23.5%(3.4%～71.4%、n=22)と、多くの作業者において高い漏れ率を示した。
- ・6台の局所排気装置の性能試験を実施した結果、全て制御風速が基準値より低く、風速分布のばらつきが認められた。また、目視によりフード外への発じんも認められ、環境改善が必要であることを確認した。

図2-6 加工+プレス工程における経時変化  
(B1=No.3プレス機前作業位置)



## B事業所の調査結果

- トナー製造で、ナノマテリアルを含むカーボンブラックやその他の粉体を混合器に投入する原料投入作業を対象に調査を行った。
- 過去の粉じんの作業環境測定の評価は、第Ⅰ管理区分は85%、第Ⅱ管理区分は8%、第Ⅲ管理区分7%であった。
- 個人ばく露濃度測定結果で基準値を上回った値が、カーボンブラックの投入作業で25%、その他の物質の投入作業で16%を示した。
- 原料投入におけるP-Trakによる超微粒子測定では、顕著な数値の上昇を認めることができなかった。
- 投入作業1名について取替え式防じんマスク(ろ過材RL2使用)を装着したときの漏れ率を測定した結果、8.8%と良好であった。
- 2台の局所排気装置の制御風速が基準値より低い値であった。

# C事業所の調査結果

- フラーレンを用いた研究開発を行っており、実験室にてフラーレンを秤量する工程、フラーレンにトルエンを添加した溶液をスピコーターにて塗布する工程が行われていた。
- フラーレンの取扱い量がmgオーダーと大変少ないことより、全ての作業環境測定及び個人ばく露濃度測定とも低値であった。
- 2名の研究者は2種類のマスクを使用し、国家検定品でない活性炭入り使い捨て式簡易マスクの漏れ率：83.8%、と48.6%、不織布製簡易マスク：81.3%と70.6%であった。そこで、国家検定品の使い捨て式防じんマスク（ろ過材：DS2）の使用を指導して、3.7%と9.4%となった。
- 使用していた移動式の局所排気装置の性能試験を行った結果、制御風速が不十分であり、フラーレンの発じんがあっても捕集除去できないことを示唆する結果であった。

# まとめ

## (1) 作業環境測定および個人ばく露濃度測定等の実施

- 現在の粉じんを対象とした測定技術を用いて、作業環境やばく露状態の把握を行った結果、高い粉じん濃度の得られた箇所が確認、特定することができた。
- ナノマテリアルを対象とした測定法が確立されていない状況であっても、**既存の粉じん測定を行いばく露を低減させるための環境改善や呼吸用保護具の使用を進めることが、結果としてナノマテリアル粒子によるばく露を削減されることに結びつくこととなる。**

## (2) P-Trakによる超微粒子測定

- 作業環境測定におけるB測定位置を対象にP-Trakによる測定を行った結果、A事業場で、高い数値が得られる部署、作業が確認され、ナノマテリアル粒子の浮遊が示唆された。

### (3) 局所排気装置の性能確認と プッシュプル型換気装置の設置 の提案

- 3事業所とも局所排気装置を設置、稼働されていたが、性能が十分に発揮されていないことが確認された。一部の作業場では、スポットクーラーが使用され、その風量による局所排気装置の排気への影響も認められた。
- 問題のある局所排気装置については作業方法等を考慮して、新たにプッシュプル型換気装置と設計資料を作成、提案した。A事業所での原料投入の改善例を右図に示す。

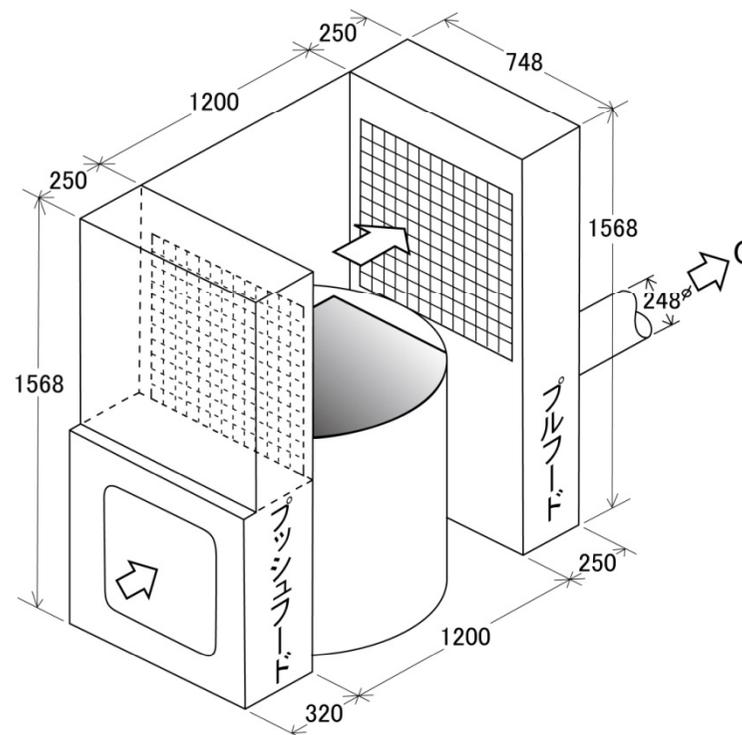


図1 混合機への原材料投入作業に対するナノマテリアルばく露防止対策用開放式プッシュプル型換気装置の対策例

#### (4) ろ過式呼吸用保護具の選定

- 3事業所とも、通達で指導されている捕集効率99.9%以上のろ過材を用いた防じんマスクは使用されていなかった。今回の調査結果を踏まえ、ナノマテリアル粒子の存在が示唆された作業や、高い粉じんばく露の作業では、**電動ファン付き呼吸用保護具(ろ過材:99.9%以上の捕集効率)**を、低い粉じんばく露では防じんマスクを使用し、高い捕集効率のろ過材を選定することと、正しい装着の指導を提案した。