

図9 作業環境管理のための測定フロー

例えば、フラーレンをナノ粒子として取り扱う作業場として作業環境管理のための測定では、NW-354 粉じん計と LD-5N2 を用いて作業環境測定（A 測定）を行う。NW-354 粉じん計と LD-5N2 の併行測定から質量濃度変換係数 K 値を求める。評価に用いる濃度としては、NEDO の 0.39 (mg/m³) を用いる。作業環境測定の結果、第 1 管理区分の場合は、現状の作業環境を継続する。一方、第 2 管理区分及び第 3 管理区分になった場合、捕集された粉じんの中に純粋のフラーレンがどのくらい含有しているかを知るために捕集された粉じんを IMPROVE 法による炭素定量分析を行いフラーレンの正確な濃度を求める。定量分析より求められたフラーレンとしての濃度を用いて、測定濃度の補正を行い、再度作業環境測定の評価の見直しを行って、評価をやり直す。その結果が第 1 管理区分になった場合は、現状の作業環境を継続する。一方、再評価しても第 2 管理区分及び第 3 管理区分になった場合は、速やかに管理区分に応じた環境改善対策を実施する。また、フラーレンを吸入性粉じんとして取り扱う作業場での作業環境管理のための測定も同様にして行う。ただし、用いるデジタル粉じん計は LD-5 である、

(2) リスク評価のための測定フロー

リスク評価のための測定フローを図 10 に示す。NWPS-254 型個人サンプラーを作業者に装着して吸入性粉じんの測定を行う。測定結果を評価値と比較して判断する。評価値としては、作業環境管理と同様 NEDO の 0.39 (mg/m³) を用いて判断することとした。吸入性粉じんの測定値が 0.39 (mg/m³) 未満の場合、現状の作業環境を継続する。一方、測定値が 0.39 (mg/m³) 以上の場合、作業環境管理の時と同様に、捕集された粉じんの中に純粋のフラーレンがどのくらい含有しているかを知るために捕集された粉じんを IMPROVE 法による炭素定量分析を行いフラーレンの正確な濃度を求める。定量分析より求められたフラーレンの濃度を 0.39 (mg/m³) を用いて判断することで評価を行う。フラーレンとして

の濃度が $0.39 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ 未満の場合、現状の作業環境を継続する。一方、測定値が $0.39 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ 以上の場合、WPS、FE-SEM 等を用いた測定を行う。さらに、バックグラウンドとしてのフラーレンの濃度を知るために、屋外で NW-254 による測定を行い、それらの結果を総合的に判断して評価を行う。その結果に応じた作業環境改善を実施する。

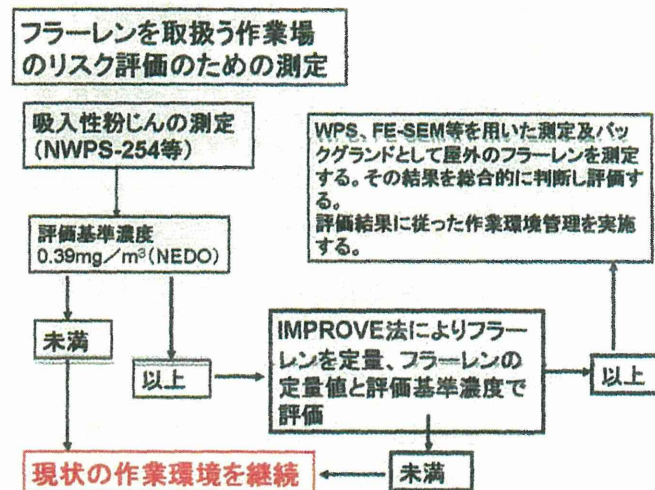


図 10 リスク評価のための測定フロー

1.4 銀ナノ粒子

(1) 作業環境管理のための測定フロー

銀ナノ粒子の実験では、粒度分布では見られなかったが粒径 $0.3\sim 3.0 \mu\text{m}$ に凝集している様子が FE-SEM から確認できた。しかし、その形状が環境ナノ粒子と類似しているため、判別する手段としては SEM-EDX や ICP-MS 等による定性・定量分析が有効であると考えられた。デジタル粉じん計の測定結果から、LD-5N2 が一番良いと判断出来ることから、LD-5N2 と NW-354 で作業環境測定を行なう作業環境管理フローを検討し、図 11 に示すフローを作成した。

NW-354 粉じん計と LD-5N2 を用いて作業環境測定 (A 測定) を行う。NW-354 粉じん計と LD-5N2 の併行測定から質量濃度変換係数 K 値を求める。評価値としては、ACGIH の $0.01 \text{ (mg/m}^3\text{)}$ を用いて判断することとした。作業環境測定の結果、第 1 管理区分の場合は、現状の作業環境を継続する。一方、第 2 管理区分及び第 3 管理区分になった場合、捕集された粉じんの中に純粋の銀ナノがどのくらい含有しているかを知るために捕集された粉じんを ICP-MS を用いて定量分析を行い銀ナノの正確な濃度を求める。定量分析より求められた銀ナノとしての濃度を用いて、測定濃度の補正を行い、再度作業環境測定の評価の見直しを行って、評価をやり直す。その結果が第 1 管理区分になった場合は、現状の作業環境を継続する。一方、再評価しても第 2 管理区分及び第 3 管理区分になった場合は、速やかに管理区分に応じた環境改善対策を実施する。

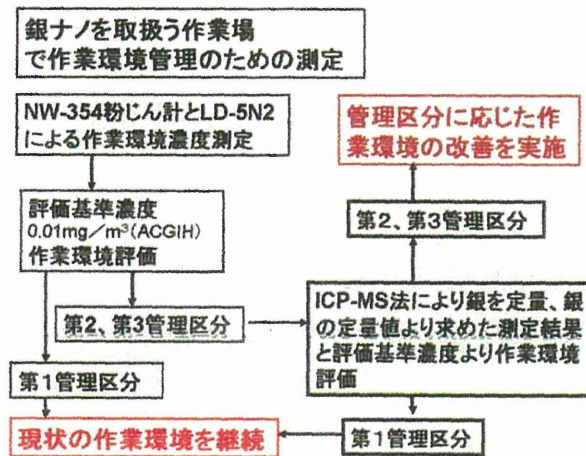


図 11 作業環境管理のための測定フロー

(2) リスク評価のための測定フロー

リスク評価のための測定フローを図 12 に示す。NWPS-254 型個人サンプラーを作業者に装着して吸入性粉じんの測定を行う。測定結果を評価値と比較して判断する。評価値としては、作業環境管理と同様 ACGIH の 0.01 (mg/m³) を用いて判断することとした。吸入性粉じんの測定値が 0.01 (mg/m³) 未満の場合、現状の作業環境を継続する。一方、測定値が 0.01 (mg/m³) 以上の場合、作業環境管理の時と同様に、捕集された粉じんの中に純粋の銀ナノがどのくらい含有しているかを知るために捕集された粉じんを ICP-MS による定量分析を行い銀ナノの正確な濃度を求める。定量分析より求められた銀ナノの濃度を 0.01 (mg/m³) を用いて判断することで評価を行う。銀ナノとしての濃度が 0.01 (mg/m³) 未満の場合、現状の作業環境を継続する。一方、測定値が 0.01 (mg/m³) 以上の場合、評価に応じた作業環境改善を実施する。

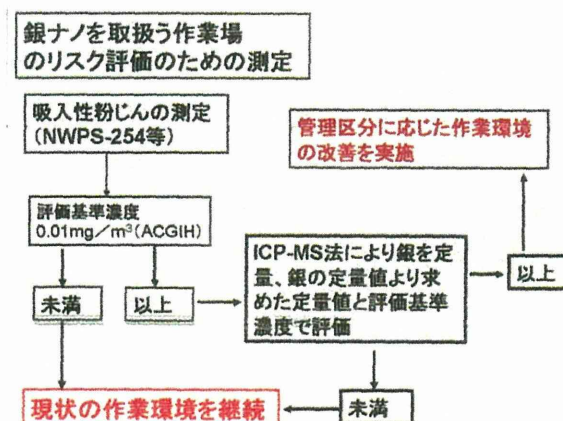


図 12 リスク評価のための測定フロー

本研究により、デジタル粉じん計 LD-5N2 が開発できたことで、従来の大型で高価で且つ現場測定用には不向きであったナノマテリアル対象測定器から解放され、本研究の目的である「ナノマテリアルの簡易測定方法」が可能となった。今後、さらに現場適用試験を実施し、提案した作業環境管理フローの検証を行う事が必要と考える。さらに、メーカーと協力し、現在市販されているデジタル粉じん計 LD-5 より少し高く、ナノマテリアル対象測定器より遙かに安い 50 万程度の価格のデジタル粉じん計 LD-5N2 を市販出来る様にする事で、ナノマテリアル取扱い現場の作業環境管理が飛躍的に前進することが期待できると考える。

2 環境ナノ粒子としてのカーボンブラックの元素状炭素 (EC) の定量分析

カーボンブラックを取扱う作業現場での作業環境測定において、カーボンブラックは、ディーゼル車やガソリン車等の移動発生源からも排出されて、屋外から屋内に入り込んだカーボンブラックが作業環境に浮遊している可能性がある。そこで、カーボンブラックを取扱う作業現場において、取扱い作業によって作業環境中に飛散した正確なカーボンブラックの濃度を把握するために、バックグラウンドとしての大気由来のカーボンブラックを測定結果から除くために、大気中のカーボンブラックを測定した。

都市幹線道路脇で大気中に存在するディーゼル車やガソリン車等による排出ガス由来のカーボンブラックの質量濃度を測定した結果、24時間の測定でPM1.0中の質量濃度に対し、PM0.1は最大で27.83%を占めたが、互いに相関性がみられず、PM1.0の質量濃度は天気と風速に影響されるものの、PM0.1は影響されない傾向が見られた。さらにPM0.1は全質量濃度に対して排出ガス由来のカーボンブラックであるEC3の質量濃度も相関性がみられず、炭素成分以外の粒子濃度の変動が関わっている可能性が考えられた。炭素成分の分布については、PM1.0中には有機炭素OCが多く、PM0.1中には元素状炭素ECが多いという結果が得られ、PM0.1はPM1.0よりも燃焼しにくい成分であることが考えられる。

実際の作業環境測定では、今回の測定よりも極めて短時間で行われるために、大気中に存在する環境ナノ粒子はカーボンブラックやCNT、フラーレンの炭素分析において与える影響は極めて小さいと考えられる。

3 ナノマテリアルに対するバグフィルター及びHEPAフィルターの捕集特性

これまでナノ粒子に対するバグフィルターの捕集性能に関する知見がほとんどなかったため、厚生労働省は平成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」の通達の中で、排気における除塵装置の所で、排気口からナノマテリアル等が排出されないよう、ナノマテリアル等を捕集できるフィルターを備えた除塵装置を局所排気装置に備え付けること、使用するフィルターの選定に当たっては、発散するナノマテリアル等が凝集していることも考慮し、当該ナノマテリアル等

の粒径、凝集の状態等を調査した場合、その結果に基づき当該ナノマテリアル等の捕集が可能な適切なフィルターを選定すること。また、当該調査を行わない場合においては HEPA フィルター又はこれと同等以上の性能を有するフィルターを使用することとしている。つまり、当時バグフィルターの捕集特性に関する研究報告がほとんど無い状況であったためにこうした書きぶりになっている。そのため、ナノマテリアル取扱い作業現場においてバグフィルターは、HEPA フィルター等の交換頻度を減らすための前置きフィルターという位置づけであった。

本研究で行った実験結果から、二酸化チタンナノ粒子に関して、凝集体も分散しているナノマテリアルも一次堆積層が形成された後でのバグフィルターならば、全粒径の粒子に対して 94%~98%の捕集効率を示すことが明らかとなった。さらに、バグフィルターの圧力損失を増加させることで約 100%に近い捕集も可能と考える。つまり、HEPA フィルターと同等の性能を持つフィルターと組み合わせれば非常に効果的であるのは間違いのないが、適切な付着堆積層を作ることでバグフィルターのみでも二酸化チタンナノ粒子の捕集ができるという新しい知見を得ることが出来たと考える。

また、HEPA フィルターそのものによるナノマテリアルに対する捕集効率は、ほぼ 100%であった。ただ、HEPA フィルター固定する構造物との間に隙間等がある場合は、そこからの漏洩により、HEPA フィルターとしての捕集効率は 100%以下となるので、隙間のないことを確認する事が大切である。また、報告事例の少ない HEPA フィルターの捕集機構について、バグフィルターと違って、メカニカルフィルターと同様な捕集機構であることが明らかになった。

4 防じんマスクのナノマテリアルに対する捕集特性及び性能

現在市販されている主だった防じんマスクフィルターで、防じんマスクの国家検定区分で、区分 RL3 (99.9%) を 5 種類、区分 RL2 (95.0%) を 8 種類、区分 RL1 (80.0%) を 3 種類、P L 100(99.9%)を 2 種類及び DS2 (98.4%) を 1 種類の合計 19 種類のフィルターについて、ナノマテリアルを連続発生させる装置を用いて、そこで発生させた各種ナノ粒子を用いて防じんマスクに使用されているメカニカルフィルターによるナノ粒子の捕集効率と捕集特性に関する実験を行った。ただし、19 種類の内、2 種類だけ静電フィルターである。

区分 PL100、RL3 の BRD-8U と RD-5U は、検討を行った粒径や粒子形状の異なる全てのナノ粒子に対して高い捕集効率を示し、ナノ粒子に対する捕集性能は有効であった。また、区分やフィルターによって捕集効率は異なるが、全粒径に対する捕集効率は全フィルターにおいて 96%以上と高い値を示した。また、図 13 に示す様に、約 200~300nm の粒子に対する捕集効率は低下するが、約 200~300nm 以下のナノ粒子に関しては、拡散効果によって粒径が小さくなるほど、捕集効率が上昇することが明らかとなった。つまり、メカニカルフィルターは、300nm 以上の大きい粒子に対して沈降効果、慣性効果、さえぎり

効果が働き、300nm以下の小さな粒子に対して拡散効果が働き、4つの効果が組み合わせられて捕集されるメカニカルフィルターの捕集理論に一致する結果が得られた。

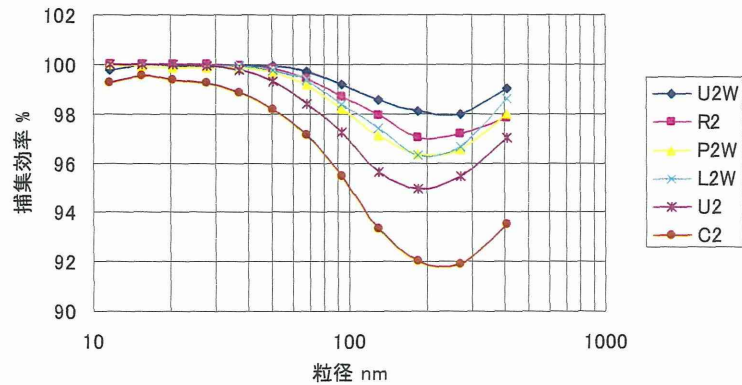


図 13 酸化チタンの各粒径における区分 RL2 防じんマスクフィルターの捕集効率

一方、静電フィルターについては、二酸化チタンの結果から約 50nm において捕集効率の低下が確認された。しかし、ポリスチレンラテックス粒子(50nm)を用いた試験では、FE-SEM 観察において MF1005、MF1010 の両フィルターにおいて粒子の通過が確認されなかった。静電フィルターは静電気力によって粒子の捕集を行う事から、粒子の帯電性の違いによって捕集性能に違いが出る事が示唆される。また、静電気力は粒子だけが帯電している状態でも働くため、メカニカルフィルターにおいても粒子の帯電性の違いによって捕集性能に違いが出る事が考えられる。今後、ポリスチレンラテックス粒子(50nm)を用いて捕集効率の算出を行い、試験粒子を増やす等して、粒子の帯電性の違いによる検討を行う予定である。また、静電フィルターは、メカニカルフィルターにおいて捕集効率の下がおこる粒径においては極めて高い捕集効率を示していた。

現在市販されている主だった防じんマスクフィルターで、国家検定区分 RL3、RL2、RL1 に属する 19 種類のフィルターについて実験を行った結果、検討を行った粒径や粒子形状の異なる全てのナノ粒子に対して高い捕集効率を示し、ナノ粒子に対する捕集性能は有効であった。

5 ナノマテリアル取扱い作業現場測定

ナノマテリアル取扱い作業現場では、その作業工程から作業環境中にナノ粒子が飛散していることが懸念される。しかし、具体的な作業環境測定法や測定結果を評価するための管理濃度の様な評価基準値等は未だ検討段階であるため、ナノマテリアルを取扱う作業現場においては、最適な作業環境管理の明確な判断基準が無いのが現状である。

ここでは、基礎研究で得られた知見を実際のナノマテリアル取扱い作業現場において検証を試みた。ナノマテリアル取扱い作業現場に 3 種類のデジタル粉じん計 LD-5、LD-5N 及び LD-5N2 を持ち込み、3 機種の併行測定を行うことで、吸入性粉じんの作業環境測定に

使われている LD-5 と開発した LD-5N 及び LD-5N2 と比較したとき、どのような感度特性の違いが生じるかを検証した。

酸化チタンを取扱う実際の作業現場で、LD-5 及び LD-5N2 を用いた感度の比較実験を行った結果、LD-5 及び LD-5N2 の感度比 (LD-5N2/LD-5) が 2 未満という結果が得られた。基礎研究 (1 章参照) で得られた酸化チタンの測定実験より、粒径 $0.5 \mu\text{m}$ 以上の粒子が多いと推測された。また、LD-5 及び NW-354 の結果より算出した K 値 (4.07×10^{-3}) が、Sioutas の K 値 (1.04×10^{-3}) 及びナノサンプラーの K 値 (0.86×10^{-3}) よりも大きいことから、マイクロオーダーの粒子が比較的多く飛散していることが示唆された。さらに、作業環境中に浮遊している粒子の積算重量割合においても、 $2.5 \mu\text{m}$ 以上が約 50% 以上を占めていたことから、ナノ酸化チタンを取扱うこの作業現場であるため、LD-5N2 の使用がより正確な情報を入手出来るが、ナノ酸化チタンの凝集体が多く存在していることが示唆される。こうした作業現場では、LD-5 でも十分に検出できていると考えられる。しかし、このことは、LD-5N2 が開発されたからこそいえることであり、LD-5N2 の無い現状では、CPC、WPS 等高価なナノ粒子対象の機器に頼らざるを得ないのが現状と考える。

以上ことから、今後さらなる検証が必要ではあるが、LD-5 及び LD-5N2 を用いた感度の比較測定を行うことで、その作業現場がナノ粒子を取り扱う作業現場としての作業環境管理が必要な作業現場なのか、あるいは、吸入性粉じんを取扱う粉じんの作業現場としての作業環境管理が必要な作業現場なのかを判断するための一つの手段として使用できることが明らかとなった。つまり、LD-5N2 の開発は、今後のナノマテリアルの簡易測定法に多いに貢献出来ると考える。

F.健康危険情報

研究者は、基礎実験においてナノ粒子を取扱うために曝露防止を考慮して電動ファン付き呼吸用保護具を装着して実験を行っている。また、実験中のナノ粒子が実験施設の環境中に飛散しないようにナノ粒子発散装置を囲い式チャンバー内に設置して実験を行っている。現場測定に際して、測定者は、電動ファン付き呼吸用保護具を装着して測定を行っている。

G.研究発表

1. 研究論文等

- 1) 名古屋俊士：東日本大震災と環境汚染～アースドクタの診断～、早稲田大学出版部 2012
- 2) 名古屋俊士：粉じんのリアルタイムモニタリング、作業環境、Vol.33, No.6, p.98-106、日本作業環境測定協会、2012

- 3) 名古屋俊士：粉じんと粉じん測定 of 歴史、作業環境、Vol.33, No.4、p.72-83、日本作業環境測定協会、2012
- 4) 渡辺真理子、松尾亜弓、名古屋俊士：粒状活性炭—加熱脱着—GC/FID 法による作業環境中の特定化学物質測定法の確立に関する研究、作業環境、Vol.34, No.3、p.34-37、作業環境測定協会 2013
- 5) 長谷川彰、村田克、名古屋俊士：金属加工時に発生する切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究、作業環境、Vol.33, No.3、p.56-57、日本作業環境測定協会、2012
- 6) 長谷川彰、篠崎勇太、村田克、名古屋俊士：溶剤抽出—GC/FID 法による切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究、作業環境、Vol.33, No.3、p.71-75、日本作業環境測定協会、2012
- 7) 谷口禎章、渡邊雄亮、吉田さやか、名古屋俊士：各種金属酸化物触媒を用いた代替フロンHFC-23の分解に関する研究、作業環境、Vol.33, No.2、p.69-76、日本作業環境測定協会、2012
- 8) 上野広行、名古屋俊士他：誘導体化—加熱脱着GC/MS法によるPN2.5中の極性及び非極性有機成分の簡易迅速分析、大気環境学会誌、Vol.47, No.6、p.241-251、大気環境学会、2012
- 9) 森雄亮、中村憲司、村田克、小山博巳、名古屋俊士：ナノマテリアル粒子捕集用サーマルプレシピテーターの開発に関する研究、作業環境、Vol.33, No.2、p.77-80、日本作業環境測定協会、2012
- 10) 薦田悦夫、杉本沙和美、松尾亜弓、名古屋俊士：粒状活性炭—加熱脱着—GC/FID 法による作業環境中の有機溶剤測定法の確立に関する研究、作業環境、Vol.32, No.3、p.50-60、日本作業環境測定協会、2011
- 11) 明星敏彦他：防じんマスクのナノ粒子に対する捕集特性、産業医学大学雑誌、Vol.33, No.2、p.163-171、産業医科大学 2011
- 12) Ono-Ogasawara M, Myojo T: A proposal of method for evaluating airborne MWCNT concentration, Industiral Health、Vol.49, No.6 726-734 2011
- 13) 森雄亮、中村憲司、村田克、小山博巳、名古屋俊士：サーマルプレシピテーターを用いたナノ粒子最適捕集条件の検討、(掲載決定)、作業環境、日本作業環境測定協会、2013
- 14) 原田侑宣、村田克、小山博巳、名古屋俊士：ナノマテリアルを対象にした相対濃度計LD-5Nの開発に関する研究、(掲載決定) 作業環境、日本作業環境測定協会、2013
- 15) 原田侑宣、村田克、中村憲司、小山博巳、明星俊彦、名古屋俊士：ナノマテリアル取扱い作業現場における作業環境管理に関する研究：作業環境 (投稿中)

2. 研究発表

- 1) 高橋利和、名古屋俊士：繊維状光触媒を用いた有機溶剤ガスの分解装置に関する研究 第 51 回日本労働衛生工学会、p 48～49 2012

- 2) 田中雄太、名古屋俊士：オゾンを用いた VOC 分解装置の開発に関する研究
第 51 回日本労働衛生工学会、p 50～51 2012
- 3) 原田侑宣、村田克、藤井由貴、小山博己、明星俊彦、名古屋俊士：ナノ粒子を測定
対象とした LD-5N2 の開発 第 51 回日本労働衛生工学会、p 52～53 2012
- 4) 藤井由貴、原田侑宣、村田克、明星俊彦、名古屋俊士：ナノマテリアルに対する防じ
んマスクのサジカルフィルターの捕集特性、24 年度 ISRP アジア支部研究発表予稿集
2012
- 5) 奥琢哉、山田弘路、名古屋俊士：炭酸ガスアーク溶接作業時の PAPR 面体内外の CO
濃度の調査、24 年度 ISRP アジア支部研究発表予稿集 2012
- 6) 矢口禎章他：各種金属酸化物触媒を用いた代替フロンの分解に関する研究、
第 51 回日本労働衛生工学会、p 140～141 2011
- 7) 森雄亮他：サーマルプレシピテーターを用いたナノ粒子最適捕集条件の検討（その 2）
第 51 回日本労働衛生工学会、p 146～147 2011
- 8) 原田侑宣他：ナノマテリアル取扱い作業現場における作業環境管理に関する研究
第 51 回日本労働衛生工学会、p 144～145 2011
- 9) 村田克他：ナノ粒子を測定対象とした新型粉じん計の開発に関する基礎的研究
第 51 回日本労働衛生工学会、p 144～145 2011
- 10) 山田憲一他：作業形態別にみた作業環境測定結果とばく露測定結果の比較
第 51 回日本労働衛生工学会、p 74～75 2011
- 11) 渡辺牧子他：光触媒を用いた水中の有機溶剤の分解に関する基礎的研究、
第 51 回日本労働衛生工学会、p 170～171 2011
- 12) 信太省吾他：格子状光触媒を用いた有機溶剤の分解とその応用に関する研究
第 51 回日本労働衛生工学会、p 172～173 2011
- 13) 長谷川彰他：溶媒抽出-GC/FID 法による切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する
研究：第 51 回日本労働衛生工学会、p 142～143 2011
- 14) 加藤智美他：鋳物の製造工程における流体解析シミュレーションを用いた粉じん対策
の提案 第 51 回日本労働衛生工学会、p 58～59 2011
- 15) 原田侑宣、藤井由貴、村田克、明星俊彦、名古屋俊士：ナノマテリアルに対する防じ
んマスクのサジカルフィルターの捕集特性、23 年度 ISRP アジア支部研究発表予稿集
2011
- 16) 中村憲二他：位相差顕微鏡法と分散染色法の結像原理の違いによる石綿計数への影響
第 51 回日本労働衛生工学会、p 24～25 2011

H.知的財産の出願・登録状況

24 年度は、市販の測定器の現場適用の検討のため特許出願はありません。

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
名古屋俊士	東日本大震災と環境汚染～アースドクタの診断～	早稲田大学出版部			2012
名古屋俊士	粉じんのリアルタイムモニタリング	作業環境	Vol.33, No.6	98-106	2012
名古屋俊士	粉じんと粉じん測定の世界	作業環境	Vol.33, No.4	72-83	2012
渡辺雄飛、松尾亜弓、名古屋俊士	粒状活性炭—加熱脱着—GC/FID法による作業環境中の特定化学物質測定法の確立に関する研究	作業環境	Vol.34, No.3	34-37	2013
長谷川彰、村田克、名古屋俊士	金属加工時に発生する切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究	作業環境	Vol.33, No.3	56-57	2012
長谷川彰、篠崎勇太、村田克、名古屋俊士	溶剤抽出—GC/FID法による切削油剤ミスト濃度の測定法の開発に関する研究	作業環境	Vol.33, No.3	71-75	2012
谷口禎章、渡邊雄亮、吉田さやか、名古屋俊士	各種金属酸化物触媒を用いた代替フロンHFC-23の分解に関する研究	作業環境	Vol.33, No.2	69-76	2012
上野広行、名古屋俊士他	誘導体化—加熱脱着GC/MS法によるPM2.5中の極性及び非極性有機成分の簡易迅速分析	大気環境学会誌	Vol.47, No.6	241-251	2012
森雄亮、中村憲司、村田克、小山博巳、名古屋俊士	ナノマテリアル粒子捕集用サーマルプレシピテーターの開発に関する研究	作業環境	Vol.33, No.2	77-80	2012
薦田悦夫、杉本沙和美、松尾亜弓、名古屋俊士	粒状活性炭—加熱脱着—GC/FID法による作業環境中の有機溶剤測定法の確立に関する研究	作業環境	Vol.32, No.3	50-60	2011
明星敏彦他	防じんマスクのナノ粒子に対する捕集特性	産業医学大学雑誌	Vol.33, No.2	163-171	2011
Ono-Ogasawara M, Myojo T	A proposal of method for evaluating airborne MWCNT concentration	Industrial Health	Vol.49, No.6	726-734	2011
森雄亮、中村憲司、村田克、小山博巳、名古屋俊士	サーマルプレシピテーターを用いたナノ粒子最適捕集条件の検討	作業環境		掲載決定	2013
原田侑宣、村田克、小山博巳、名古屋俊士	ナノマテリアルを対象にした相対濃度計 LD-5N の開発に関する研究	作業環境		掲載決定	2013

