

「ヒトに対する有害性が明らかでない化学物質に対する労働者ばく露の予防的対策に関する検討会」における検討課題及び検討結果（案）

## 1 ばく露防止対策の検討に当たっての問題と対策

### (1) 有害性情報等の不足

#### <総論>

- ナノマテリアルについては、組成単位がごく小さくなることで、もとの状態のときと異なる性状を示すことがあり、一部の学術論文においては一定の条件下でマウス等に影響を与えることを示唆する報告がなされている一方で、逆に有意な影響を与えない等の報告もなされていることから、生体影響について動物実験等の研究を含め、我が国を含めた各国の研究機関及び OECD 等の国際機関がその解明に取り組んでいるところである。
- ナノ材料の特性は、化学組成が同一のより大きな材料の特性と異なる可能性があるため、ナノ材料の場合は、（ばく露された作業者の健康への影響に関し）不確実性が大きい。
- ナノマテリアルのヒトへの毒性評価については独立行政法人労働安全衛生総合研究所を始めとし多くの研究機関において実施している。
- ナノマテリアルの人に対する疫学調査は（国内では）実施されていない。
- 今後、人体への影響については更なる知見の集積が必要である。

#### <有害性>

- ナノマテリアルについては、粒子の重量、表面積、組成が同じであっても、形状が異なることにより毒性が異なることは十分にある。

#### <ばく露の経路>

- 作業環境における浮遊粒子への最も一般的なばく露経路は、吸入（*inhalation*）による、肺へのばく露である。
- 吸入によるばく露に関しては、鼻腔の神経の末端から体内へ入り込むこともある。
- ナノ粒子は、職業性暴露の間に、皮膚を通して体内に入り込む可能性がある。
- ナノ粒子は、目の粘膜から体内へ入り込む可能性がある。
- 経口摂取は、ナノ粒子が体内に入り込む可能性のある経路である。

#### <ばく露の生ずる工程・作業>

- 「サンプリング」というのは具体的にどのようないつ実施する作業か不明確なので、語句をもっと標準化した日本的なものに変えた方が良

い。

- ばく露の生ずる工程・作業は対策を講ずるにあたり非常に重要なターゲットになるものであり、慎重な検討が必要である。
- ナノマテリアルの製造・作業工程は、
  - ・ 製造、
  - ・ 荷受け、
  - ・ 原材料や製品の秤量、
  - ・ 装置への投入（樹脂等との混練や原材料の投入等）、
  - ・ 製造・加工装置からの回収、容器などの移し替え（原材料の投入、中間品の移し替え等）、
  - ・ 装置や容器の清掃・メンテナンス、
  - ・ その他となる。
- ナノマテリアルの混練作業（懸濁液と混ぜる）は製造・加工装置への投入に含まれる。
- 各作業工程において労働者のばく露の可能性が無いとは言えない。（独）労働安全衛生総合研究所によるアンケート結果においても、製造及び荷受けの工程では若干低くなっているが、全ての工程でばく露の可能性を感じているところである。
- ナノマテリアルを含む製品をリサイクルする作業（ばらす作業）において労働者へのばく露の可能性はある。

## （２）ばく露発生の可能性の評価に基づく対策のランク分け

- 粉体の場合、液体中での分散状態の場合、樹脂等の固体に練り込まれている場合等のナノマテリアルの形態・状態により、人のナノマテリアルへのばく露の可能性が異なる。（質的なランク分け）
- ナノマテリアルの状態（液体、液体中の分散状態、樹脂等の固体に練り込まれた状態等）によりばく露の状況がどのように異なるかについては、ばく露量の測定方法にも関連し、又、個々の作業内容にもよるため、具体的な数値を提示することは困難であるが、液体に分散され、且つ、蒸発して気中に放出される可能性を抑えた場合や樹脂等に練り込まれバルク材料に固定化された状態では、その取扱いにおけるばく露リスクは極めて小さくなるものと考えられる。ばく露リスクの高いと考えられる粉体の取扱いとの対策の区別等については以降の検討課題として議論されることを希望する。
- ナノマテリアルの製造量あるいは取扱量により、ナノマテリアルへの

ばく露の可能性が異なる。

- ナノマテリアルの取扱量による対策の選択については、取扱いの内容によって、ばく露量が異なるため、取扱量、あるいは、取扱量×取扱回数だけをもって対策を選定することは困難と考える。一方、大規模なナノマテリアルの生産プラントと実験室レベルの取扱いを同一の基準で運用することも困難が伴うと考える。
- ナノマテリアルの取扱量による労働衛生対策の差別化については、議論のあるところだと思う。1つの考え方として
  - ・ ①年間の生産量が1トン以上の企業
  - ・ ②年間の生産量が10キログラム～数百キログラムの企業
  - ・ ③年間の生産量が数キログラム以下の企業という分け方もあると思う。①はナノマテリアル専用の巨大な生産プラントを設置している企業、③は実験室レベルの企業、②はその中間であろうか。
- リスクは、取扱量×ハザードポテンシャルとして考えるので、労働衛生対策の選択に当たっては、取扱量のみではなく有害性も考慮する必要がある。
- 対策のランク分けをするに当たっては、当然リスクアセスメントを踏まえて実施することになる。

## 2 対策の対象

### (1) 対象とするナノマテリアルの範囲

<定義等>

- 粒子そのものの定義や形態ということと、研究の適用範囲を区別して書いた方がよい。
- 対象となるナノマテリアルは、元素等を原材料として製造された個体状の材料であって、大きさを示す3次元のうち少なくとも一つの次元が100nmよりも小さいナノ粒子(nano-objects)及びナノ構造体(nanostructured material)(内部にナノスケールの構造を持つ物体、ナノ粒子の凝集したものを含む)であること。
- 自然界に存在するナノマテリアルや、非意図的に発生するナノマテリアルは対策の対象に含めない。
- 非意図的なナノマテリアルと工業的なナノマテリアルが反応する等の特別な知見がない限り、分けて考えて、非意図的なナノマテリアルは対策の対象に含めない。
- 凝集したナノ構造体は体外での試験によっては容易に分離しないけ

れども、体内に入った場合には生体の作用は強く、高分子油環境であり、マクロファージによる作用や酸化還元作用によって、分離されてしまうことが分かってきており（例えばフラーレン）、凝集したナノ構造体が 100nm を超えても、内部のナノ粒子が 100nm より小さい場合には、対策の対象に含める。

- 今後、許容濃度が設定される場合を考えると、単位あたりの重量で値が設定されることも考えられるので、対象としては広く捉えて凝集体も含めた方が良い。
- 凝集体としてミクロの粒子になっている場合には、捕集するのはそんなに難しくない。
- 物質の粒度分布については測定の方法により凝集体の分離状態に違いが生じ粒度分布の形に影響することから、対策の対象の判断には粒度分布はあまり重要視できない。また、浮遊物質の測定に比べて、粉の測定は意外に難しい。そのため、一部の物質がナノサイズになるものも含めるよう、なるべく幅広く対象とするように判断する。

## (2) 対象とする労働者

- 対象とするナノマテリアルの製造、取扱い（修理、点検等を含む。また、研究目的で製造等をする場合も含む。）又はナノマテリアルを含む製品の廃棄やリサイクル作業に従事する労働者（監督者を含む。）を対象とすること。
- これから、ハイテク部門にナノマテリアルが使用されるようになると、製品からはばく露しないけれども、リサイクルに持って行って壊す所でばく露する可能性がある。

## 3 検討すべき対策事項

### (1) 作業環境管理

#### ア ばく露状況の計測評価（ばく露評価）

##### <基本方針>

##### ●ペンディング

- 測定機器が大きいので、個人曝露を測定する方法は現状では使えない。海外の論文でも場の測定のような方法で測定し、作業場での分布等を出すことをしている。逆に言えば、場の測定であれば日本としてはいままでの作業環境管理の方法と似ており受け入れやすい。
- 場の評価をするか、個人ばく露評価をするかは今後の検討として、両方を含めて「Exposure Assessment」という英語の意味で「ばく露評

価」との語句は残す。

- 独立行政法人労働安全衛生総合研究所で事業場を対象に実施している測定では、ナノマテリアルの粉じんが発生している可能性のある所の近辺に機械を持って行って測定している。測定する器械はサンプリングして電頭で見る所まで含めて数種類である。ばく露防止対策を行って、再び同様の測定を行い、効果を把握している。
- 空気中に凝集体の塊が飛んでいるのであれば、それを測定する必要がある。粉じん職場としての管理を実施すれば、環境が良くなってしまうかもしれない。
- ナノマテリアルの種類により測定の方法はたぶん違うのであり、個別のナノマテリアルの測定方法は今後の検討課題として時間をかけて検討する必要がある。
- 固定的な測定装置を製造設備の周辺域に製造設備の一環のような形で設置し、常時監視していくということも考えておいたほうが良い。コンパクトな測定器ができて、精度が高く測定できるようになれば別であるが、現状の測定器を使って、大きな粒子を対象にして計測していくことにより、管理していくことぐらいしか、いまのところできないのではないか。
- 計測の目的として何を測定するのか。成分を見るのか、個数だけをとにかく測ればいいのかにより測定の手法も変わってくる。成分まで見るのであればそれなりの測定をして、後で分析をすることが必要になる。管理するだけでよいのであれば、何かの指標で測定し管理していくことも考えられる。
- 物理的な個数や表面積の測定では、一般環境の影響は防げない。客観的に判断する場合には成分を測ることが必要である。
- 独立行政法人労働安全衛生総合研究所で事業場を測定する場合には、生産工程を見せていただき、ばく露しそうなところをリストアップして、そこをある程度押さえる。その段階では、各種測定機器を活用して評価している。そこまでしなくていいのであれば、粉じん対策としての類型化が有る程度できれば、実際の事業所でもできる衛生管理につながるのではないか。ただし、成分まで測るとすると、非意図的なナノマテリアルをどう区別するか等ややこしい。
- 物理計測の値だけでは、何が影響しているか確信が持てない。クリーンルームでの製造での測定値であれば、測定値の対象が分かるが、一般的な工場で、外気も入ってくるような状態で個数を測った場合、測定値の原因が分からない。

<測定・分析技術>

- CPCはそんなに大きくない。SMPSとか、ELPIとか、Aerosol mass spectroscopyは大きく高価である。

イ 密閉構造とすべき箇所及び要件

<基本方針>

- 製造装置（製造装置とは製造のための部屋を言うのではなく、製造するための機械をいう。）は原則として密閉構造とすること。ただし、これが困難な場合においては局所排気装置を設置すること。
- 労働者がナノマテリアルを直接扱うような原材料の荷受け、原材料や製品の秤量、製造・加工装置への投入（混練を含む）、製造・加工装置からの回収、容器等への移し替え、製造・加工装置の清掃・点検・補修や容器の清掃等の作業については密閉化・無人化・自動化によって、労働者がナノマテリアルにばく露しないようにすること。ただし、これが困難な場合には局所排気装置を設置すること。
- 独立行政法人労働安全衛生総合研究所で実施したアンケート結果では、懸濁液と混ぜる混練作業において、100%の労働者がナノマテリアルへのばく露を懸念していた。そのため、懸濁液と混ぜ合わせたり、混練する作業は密閉化ないしグローブボックス内で作業する必要がある。
- 廃棄物の処理やリサイクルの作業においても、原則密閉構造とし、困難な場合には局所排気装置を使用する。
- クリーンルームを設けない大きな生産工程において除染区域を設けるか検討する必要がある。
- 密閉化された生産工程の装置であっても、メンテナンスするときには装置を開ける必要があり、ばく露する可能性がある。そのため除染区域の活用も検討課題である。
- 装置は密閉系であるとしても、開放する必要がある場所があり、そこには局所排気装置が必要である。
- 製造装置、製造設備、施設、建屋の定義を明確にする必要がある。

<対策>

ウ 局所排気装置を設置すべき場所及び要件

<設置すべき工程、場所等>

- ナノマテリアルの製造・作業工程で、密閉化あるいは自動化ができず、局所排気装置を設置することとなる具体的な工程としては次の工程

が挙げられる。

- ・ ナノマテリアル製造メーカーにおける  
合成したナノマテリアルの回収工程  
製品の秤量・梱包・袋詰め工程
  - ・ ナノマテリアル使用メーカーにおける  
開封工程（搬入時に梱包されてきたナノマテリアルを装置に  
投入できるように梱包を解く工程・作業）  
小分け・秤量工程（一定量を装置に投入するために一部を計  
り取る作業）  
投入工程（加工工程（ホッパーなど）に投入する工程）
- 製造装置で密閉構造にできない箇所について、ナノマテリアルの飛散の防止のため、局所排気装置を設置すること。
  - 密閉されている製造装置、作業工程であっても、補修・点検のために開放する場合には、局所排気装置を設置すること。
  - 局所排気装置はできるだけ囲い式フードが望ましい。また、装置が大きいと囲い式フードの設置が難しい場合があるし、作業者の作業性を考慮するとプッシュプル装置が望ましい場合もある。
  - 全体換気装置の有効性についても確認すべきであるが、測定法が決まらないと確認できない。

#### <維持管理>

- 局所排気装置を設置した後は、定期的な保守点検を行うこと。

#### エ 排気における除じん措置の方法

##### <基本方針>

- 局所排気装置の屋外への排気口には高性能フィルターを設けること。
- **HEPA** フィルターは性能は良いが、使い捨てであり、コストが高価である。また局所排気装置に **HEPA** フィルターを使用すると圧力損失が大きくなってしまい大きな投資が必要である。バグフィルターはたまった粉じんを落として再利用できる。
- ナノマテリアルは凝集している場合が多くバグフィルターでも捕集できる。
- 実験室レベルでは **HEPA** フィルターの使用も可能であるが、生産設備ではバグフィルターが現実的である。
- 費用対高価を考えるとバグフィルターを使用することが現実的である。

- ゼロリスクを求めることは実際的ではない。許容されるリスクはあるはずである。

＜フィルターの捕集効率＞

- **HEPA** フィルターについては、一桁のナノサイズの粒子については熱反撥が起きて透過率が良くなってしまう（性能限界がある）。
- 通常のナノマテリアルについては **HEPA** フィルターの捕集効率は充分である。
- 電気集塵機の捕集効率については対象物の導電性が影響する。導電性のある粒子の方が捕集しにくい。

## （２）作業管理

### ア 作業規程の内容

- ナノマテリアルの取扱いに関する作業規程を作成し、労働者がナノマテリアルにばく露しないようにすること。
- 作業手順等のマニュアルを制定し、作業者を十分に教育し、遵守させなければならない。また、作業者に対して、扱うナノ材料の有害性についての情報、作業環境に係る情報などを知らせる必要がある。

### イ 床等の清掃方法

- 作業場の床や作業台等の清掃については、ナノマテリアルを拡散させないよう、高性能フィルターを備えた掃除機による吸引や湿った布による拭き取りによって行うこと。なお、使用した布については袋に封入し適切に廃棄すること。（普通の掃除機や箒で掃除をするとナノマテリアルを発生（発散）させてしまう。）（普通の掃除機は中で大きな粒子は捕集し小さな粒子は排気してしまうが、高性能フィルターは **HEPA** フィルターであり小さな粒子を排気することはない。また排気はフィルターからもれる様な感じであり、排気口（の風）により粉じんを発散させてしまうことはない。）
- 清掃の方法としては、粉を濡らして（与湿して）拭き取る方法も有効である。
- 湿った布で拭き取る方法では完全に拭き取れない可能性もあるし、乾いたときに二次飛散する場合もあるので、高性能フィルターを備えた掃除機による吸引の方が望ましい。

### ウ ナノマテリアル作業場所と外部との汚染防止等

- ナノマテリアルを製造・加工する施設や取り扱う施設と外部とを区画



し、その間には除染区域を設ける等により、付着したナノマテリアルを外部に持ち出さないように適切に処理すること。

- ナノマテリアルを製造・加工する施設や取り扱う施設には関係者以外の立ち入りを制限すること。

#### エ 呼吸用保護具を使用すべき場合

- ナノマテリアルの吸入を防止する適切な呼吸用保護具を、必要な数量備え、有効かつ清潔に保持すること。
- ナノマテリアル製造・取扱い作業現場に労働者を従事させる場合は、労働者に有効な呼吸用保護具を使用させなければならない。
- ばく露防止対策を実施する場合には、まず設備的対策を優先すべきであり、それで充分除去できない有害物を除去するために呼吸用保護具を使用すべきである。

#### オ 呼吸用保護具に求められる性能要件及び使用上の留意事項

##### <性能要件>

- 労働者に使用させる有効な呼吸用保護具とは、送気マスク等給気式呼吸用保護具、粒子捕集効率が 99.9%以上の防じんマスク並びに JIS T8157 に適合した面体形及びフード形の粒子捕集効率が 99.9%以上の電動ファン付き粉じん用呼吸用保護具をいい、これらのうち、防じんマスクについては、国家検定に合格したものであること。
- ろ過式の呼吸用保護具には装着による漏れが必ず存在する。(ろ過式の呼吸用保護具では10%程度漏れる。)
- (リスクアセスメントが実施できる場合には実施し、) 作業環境のナノマテリアルの濃度の程度(リスクの程度)が高ければ、指定防護係数のより高い呼吸用保護具を選定する必要がある。

##### <使用上の留意事項>

- 呼吸用保護具の適切な選択方法及びマスク面体と顔面との密着性による漏れ率については労働者への教育で指導する。

#### カ 保護手袋の要件及び使用上の留意事項

##### <要件>

- 保護手袋はナノマテリアルの皮膚への付着を防止する適切な材質のものを使用すること。(ナノマテリアルに対する保護手袋の性能についてのデータがまだ得られていないので適切についての具体的な条件が示せない。)

<使用上の留意事項等>

- 保護手袋は有効かつ清潔な状態を保持するために使い捨てとすることが望ましい（清潔な状態を保持することができるのであれば使い捨てでない保護手袋を使用することも可能である）。なお、使用した保護手袋を廃棄する場合は袋に封入し適切に廃棄すること。

キ ゴーグル型保護眼鏡の要件、使用すべき場合及び使用上の留意事項

- ゴーグル型保護眼鏡について、必要な数量を備え、有効かつ清潔に保持すること。

ク 作業衣の要件、使用上の留意事項及び脱着時等の管理方法

- ナノマテリアルを直接取り扱う労働者は適切な作業衣を着用すること。
- 作業衣からのナノマテリアルのばく露を防止するために、ナノマテリアルを取扱う作業では専用の保護衣を着用すること。保護衣は、その材質は不織布のものが望ましく、有効かつ清潔な状態を保持すること。（保護衣を着用してもナノマテリアルが入ってくるかもしれないがデータがないのでこのような記述で良い。）なお、ナノマテリアルの付着した保護衣は、事業場外に持ち出さないこと。

ケ 製品後の保管管理

- 無し

(3) 健康管理

- 呼吸保護具の使用が必要な作業では、（その使用制限時間を遵守し、）職業病予防のための健康診断を行わなければならない。（Baua）
- 定期的健康診断を行うことが望ましい。検査項目については産業医の指示により、継続し、記録を保存すること。（経産省委託ガイドライン）

(4) 労働（安全）衛生教育

ア 教育訓練の内容

- 労働者にナノマテリアルへの性状やばく露防止のための教育訓練を行うこと（通達）
- 作業者を十分に教育し、作業手順等のマニュアルを遵守させなければならない。また、作業者に対して、扱うナノ材料の有害性についての

情報、作業環境に係わる情報などを提供する必要がある。

- 作業環境により適切な呼吸用保護具の選定が重要であり、また装着による漏れをなくすためにフィットネスを適切にすることが重要であることから、呼吸用保護具の適切な選択及び装着方法について教育することが必要である。
- 呼吸用保護具が仕事場で使われることが必要であるとき、以下の内容を実施することが必要である。(1)マスクを着用しての作業能力の評価、(2)定期的なトレーニング、(3)定期的な環境モニタリング、(4)マスクのフィッティングテストと(5)マスクのメンテナンス、点検、掃除と保管。
- 適切な教育訓練及び指示 (Baua)
- 遊離ナノ粒子の物理的特性、特殊な対策の必要性及び粉じんの長期的な影響の可能性について目標を定めて関与する労働者を教育する。(Baua)
- 遊離ナノ粒子の物理的特性、特殊な対策の必要性及び粉じんの長期的な影響の可能性について目標を定めて関与する労働者を教育する。(Baua)
- 実験／作業手順等のマニュアルを制定し、実験者、作業者を十分に教育し、遵守させなければならない。また、実験者、作業者に対して、扱うナノ材料の有害性についての情報、作業環境測定結果などを知らせる。(経産省委託ガイドライン)

#### (5) 非定常作業時（設備の補修等）の対応

- ナノ材料の生産あるいは加工に使用した機器及びプロセスの保守管理は、これらの作業を行う作業者に対して潜在的暴露リスクをもたらすであろう。(NIOSH)

#### (6) 爆発火災防止対策

- ((事業場の) 情報収集には次のことが含まれる。) 酸化されやすい物質については火災及び爆発のリスクも含むこと。(Baua)
- (ここで述べた粉じんに対する保護対策に加えて、) 物質の特殊な性質に関連する対策を遵守する必要がある。それは、例えば酸化されやすいナノ物質の取扱いに対する特別な爆発防止対策や反応性又は触媒性ナノ物質の取扱いに対する特殊な保護対策である。(Baua)
- ナノスケールパウダーに関連する火事及び爆発のリスクを予測するための情報は不十分であるが、ナノスケールの可燃物は、その独特の

特性を与えられた、同様の量の、より粗い物質よりも、リスクがより高い可能性がある。可燃物の粒子サイズの減少は、最小点火エネルギーを減少させ、燃焼可能性及び燃焼率を増加させることができ、比較的不活性な物質が燃えやすくなる可能性につながる。可燃性ナノ材料が空気中に分散すると、同様成分の非ナノ材料が分散するよりも、安全性に対するリスクがより大きくなる可能性がある。ナノ材料の中には、ナノスケールでの反応の進行を通して発熱するように設計されているものがある。こうした物質は、工業ナノ材料に独特の火事の危険性を呈する可能性がある。金属の場合は、粒子サイズが減少するにつれて、爆発リスクが著しく増大するものがある。(NIOSH)

- 径がナノメートルの粒子及びナノ構造をした多孔質物質は、反応速度を増大させるための、あるいは、液体や気体で生じる反応の必要温度を下げるための、有効な触媒として長年使用されてきた。その組成や構造次第で、ナノ材料の中には、その化学組成からだけでは予想されないような触媒反応を起こし、火事や爆発の可能性を増加させるものがある。(NIOSH)

#### (7) 緊急事態への対応

- 応急処置
    - ・ 眼に入った場合：水で十分に洗う
    - ・ 吸入した場合：うがいし、口内を洗浄する。クリーンエア中に移動。
    - ・ 飲み込んだ場合：可能ならばはき出す。うがいし、口内を洗浄する。
    - ・ 皮膚に付着した場合：石けんで洗うかクレンジングクリームで拭き取る。
- (経産省委託ガイドライン)

#### 4 更なる研究・検討課題

- (1) 情報の収集及び提供（産業保健関係者への情報伝達を含む。）（職業上のばく露限界値（occupational exposure limit）に関するものを含む。）
  - 今後、独立行政法人労働安全衛生総合研究所のホームページに特設のページを設け、当該研究所の研究成果や各国の研究機関のガイドライン等情報発信を行う予定である。（通達）
- (2) 有害性の調査（動物実験の実施等）
  - 現在の知識では、ナノ物質へのばく露が、より大きなミクロスケール

の粒子による影響とは異なる特別な影響を及ぼす可能性を除外することはできない。(Baua)

- ナノ粒子が皮膚を透過するかもしれないけれども、侵入が病気につながることを示唆する研究はほとんどなかった。(NIOSH)

### (3) 疫学調査

作業記録の保管等

- 微粒子及び超微粒子を含むエアロゾルに暴露した作業者の疫学的研究では、肺機能の低下、有害な呼吸器症状、慢性閉塞性肺疾患、及び繊維症が報告された。さらに、ディーゼル排出微粒子あるいは溶接フェームのような特定の微粒子に暴露した作業者の中で肺がんが高まっていることがいくつかの研究で発見されている。異なる粒子特性を有する可能性のある工業ナノ粒子に対するこれらの研究のもたらす影響ははっきりとしていない。(NIOSH)

### (4) 測定手法

- ばく露量の測定 (dose measurement) として、これまでの研究では、ナノ粒子の構造や組成とともに、比表面積や粒子数濃度のような特性の測定が重要であることが指摘されている。この観点からは、粒子の質量 (mass) の重要性は比較的低いものと考えられる。従って、標準的な重量測定法は、ナノ粒子に対するばく露量を測定する際には、付随的な方法としてのみ使用できる。(Baua)
- 現在まで採取した粒子は質量濃度に基づいて評価されている。しかし、質量に基づくナノ粒子の測定は参考程度の価値でしかない。ナノ粒子の総質量は、粒子の個数濃度が高くても比較的低い値にとどまる。とくに、空気中のナノ粒子の個々の測定結果は、ばく露測定法が現状ではまだ完全に標準化されていないために、お互いに比較できないことを忘れてはならない。(Baua)
- 標準化されていて一般的に受け入れられる方法は、ダスティネス (dustiness) (吸入性分画) 測定による作業区域の場の測定 (monitoring of work areas) である。科学的な検討では、この方法は不十分とみなされている。標準化された、かつ特に重要なこととして個人 (personal) 測定が可能な、粒子数と粒子サイズの測定方法の開発が必要である。将来、粒子数と粒子サイズ分布の測定に“走査型モビリティ粒径分析器”のような方法が使用できるようになれば、作業場でのばく露についてさらに詳しい情報が得られるだろう。

(Baua)

- 現在、作業環境におけるナノ粒子の測定技術に関して、国内であれ、国際的であれコンセンサスのとれた標準がない。(NIOSH)
- 暴露監視の尺度と方法に関係なく、ナノ材料の生産または処理の前にバックグラウンドデータ採取のため測定を行っておくことが重要である。(NIOSH)
- ナノメートルエアロゾル濃度のリアルタイム(直接読み取り)測定は、器具の微小粒子検出感度によって制限される。(NIOSH)
- **Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)** は、ナノエアロゾルを特徴づける研究ツールとして広く使われているが、作業現場での使用は、その大きさ、価格と放射性源を含むため、制限される。**Electrical Low Pressure Impactor (ELPI)** は、カスケードインパクト装置とリアルタイムエアロゾル電荷測定を組み合わせた粒径分布を測るためのもう一つの装置である。(NIOSH)

(5) HEPA フィルターの性能評価

- HEPA フィルターでナノマテリアルの捕集は可能である。
- バグフィルターでナノマテリアルをどの程度除去できるか確認のための試験が必要である。
- 高効率粒子捕集フィルター (HEPA) を備えたうまく設計された排気システムはナノ粒子を効果的に除去する。フィルターは、捕らえられる確率が最も低い粒子(典型例として直径 300nm 程度)を使ってテストされる。より小さな粒子の捕集効率はこの粒径での捕集効率を上回る。(NIOSH)

(6) 発散、ばく露防止のための工学的対策

(7) 呼吸用保護具の性能評価

- 高効率粒子捕集フィルター (HEPA) を備えたうまく設計された排気システムはナノ粒子を効果的に除去する。フィルターは、捕らえられる確率が最も低い粒子(典型例として直径 300nm 程度)を使ってテストされる。より小さな粒子の捕集効率はこの粒径での捕集効率を上回る。(NIOSH)
- NIOSH は、浄化マスクの空気の濾過性能をテストし、認定する。(NIOSH)

- 単層繊維濾過理論によると、0.3 $\mu\text{m}$  より大きな粒子は衝突、さえぎりと重力沈降によって最も能率的に集められ、粒子が 0.3 $\mu\text{m}$  未満は拡散か静電引力によって最も能率的に集められる。およそ 0.3 $\mu\text{m}$  の粒子の通過は、これらの粒子が最も通過しやすい範囲にあると考えられるので、最悪のケースを代表する。(NIOSH)
- 単層繊維濾過理論によると、最も通過しやすい粒径以下では、粒径の減少に伴い、濾過効率は増加する。この傾向は粒子が極端に小さくなり蒸気分子のようにふるまうようになるまで続く。粒子が分子サイズに近づくと、熱的反撥理論の対象になり、粒子はフィルターを通して文字通り撥ねる。その結果、粒子通過は増加する。(NIOSH)
- NIOSH は、最近、ミネソタ大学と 3-100nm の範囲の粒子のマスク材料の収集効率の研究に資金供給の契約をした。この研究において、研究者はフィルターを通してのナノ粒子の通過が従来の濾過理論の予想通りに粒子サイズ 3nm まで小さくなるまで減少することを観測した。ナノ粒子の熱反撥の証拠は研究したサイズの範囲では、見られなかった。(NIOSH)

(8) 労働安全衛生法上の取扱い

(9) 関係府省、機関等の連携