

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
(ナノマテリアルについて)
報告書

平成20年11月

目次

第1部 はじめに

第2部 ナノマテリアルの用途、生産量及び性状について

第3部 ばく露防止対策の検討の視点、範囲等について

第4部 ばく露防止対策に係る検討結果について

第5部 おわりに

第1部 はじめに

1 経緯

ナノマテリアルのナノとは10億分の1を表す単位で、1ナノメートルは1ミクロンの更に1000分の1の長さである。ナノマテリアルとは、その大きさがナノサイズである材料を意味するが、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により、ナノマテリアル特有の物性を示すことが知られており、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いことから、国際的に積極的な研究開発が進められている。既にナノマテリアルとしてカーボンブラック、シリカ、酸化チタン、酸化亜鉛等が生産されており、用途もタイヤ、シリコーンゴム、化粧品、医薬品等に使用されている。さらに、近年カーボンナノチューブを中心に研究開発が積極的に行われており、今後更に新しいナノマテリアルが開発され、様々な用途に用いられていくことが予想される。

一方、ナノマテリアルの生体影響に関する研究は世界各地で行われているものの、未だ十分な知見が得られていない。最近、一部の学術論文において一定の条件下でマウス等に影響を与えることを示す報告等もなされているところであるが、人の健康に影響を及ぼすとした報告はない。

今後、ナノマテリアルの生産・利用の拡大に伴い、その製造、取扱い等に従事する労働者の増加が予想されることから、厚生労働省では、当該労働者の健康障害を未然に防止する観点から、現在、化学物質管理に関する基本的な考え方として国際的に広く知られている「予防的アプローチ」に基づき、労働現場におけるナノマテリアルに対する当面のばく露防止のための予防的対応について取りまとめ、平成20年2月7日に通知「ナノマテリアル製造・取扱い作業現場における当面のばく露防止のための予防的対応について」を発出し、その周知に努めているところである。

労働現場におけるナノマテリアル対策の実効を上げるためには、作業現場の実態を踏まえた、より具体的な管理方法を示すとともに、ばく露防止対策上の現状と課題についても検討していく必要があることから、今般、学識経験者等を参集し、「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」（座長：福島昭治 中央労働災害防止協会・日本バイオアッセイ研究センター所長）を開催し、ナノマテリアルのばく露防止対策について検討を行い、本報告書を取りまとめた。

2 「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」 参集者名簿 (敬称略)

- 大前和幸 慶應義塾大学医学部衛生学公衆衛生学教室教授
小川康恭 独立行政法人労働安全衛生総合研究所研究企画調整部長
唐沢正義 労働衛生コンサルタント
小西淑人 (社) 日本作業環境測定協会調査研究部長
庄野文章 (社) 日本化学工業協会 REACH タスクフォース事務局長兼化学物質管理部長
田中茂 十文字学園女子大学人間生活学部食物栄養学科衛生学公衆衛生学研究室教授
名古屋俊士 早稲田大学理工学術院教授
○福島昭治 中央労働災害防止協会・日本バイオアッセイ研究センター所長

(特別参集者・ナノテク関係)

- 小川順 ナノテクノロジービジネス推進協議会社会受容・標準化委員会委員
蒲生昌志 独立行政法人産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センターリスク管理戦略研究チーム長
菅野純 国立医薬品食品衛生研究所安全性生物試験研究センター毒性部長
甲田茂樹 独立行政法人労働安全衛生総合研究所有害性評価研究グループ上席研究員
高田礼子 聖マリアンナ医科大学予防医学教室講師
明星敏彦 学校法人産業医科大学産業生態科学研究所労働衛生工学研究室准教授

○：座長

※ 参集者の所属、役職は、第1回検討会開催時のもの

3 検討会開催状況

第1回 平成20年3月3日（月）

- ・ 検討会の開催について
- ・ ナノマテリアルについて
- ・ 厚生労働省等におけるこれまでの取り組みについて
- ・ 検討会の進め方等について

第2回 平成20年4月4日（金）

- ・ ナノマテリアルの範囲について
- ・ ナノマテリアルの開発状況について
- ・ ナノマテリアルの計測技術の開発について

第3回 平成20年5月2日（金）

- ・ ナノマテリアルの健康影響について

第4回 平成20年5月30日（金）

- ・ ナノマテリアル取扱いに関する労働衛生の現状と対策について－アンケート結果から
- ・ 通知への対応について
- ・ 検討課題について

第5回 平成20年7月9日（水）

- ・ ばく露防止の予防的対策について

第6回 平成20年7月30日（水）

- ・ ばく露防止の予防的対策について

第7回 平成20年8月28日（木）

- ・ ばく露防止の予防的対策について

第8回 平成20年10月1日（水）

- ・ 報告書（案）について

第9回 平成20年10月31日（金）

- ・ 報告書（案）について

第2部 ナノマテリアルの用途、生産量及び性状について

1 我が国におけるナノマテリアルの用途・生産量

厚生労働省が平成 19 年度に実施した委託調査によると、ナノマテリアルの用途・生産量は図表 1 及び図表 2 のとおりである。

この調査は、実用化されているあるいは実用化に近いナノマテリアル合計 21 種類を対象として実施された。

粒子径は、炭素系のナノマテリアルが最も小さく、フラーレンでは 1nm 以下であり、単層カーボンナノチューブでも 1nm ほどであった。

用途としては、家電・電気電子製品、化粧品、塗料・インクに多くのナノマテリアルが使用されている。種類別では、シリカ、銀＋無機微粒子（銀イオンをシリカ、アルミナ等に付着させたもの。）、酸化チタン、ナノクレイ、酸化亜鉛が多くの分野で使用されている（図表 1 参照）。

使用量については、カーボンブラック、シリカ、酸化チタン、酸化亜鉛等が多く使用されている（図表 2 参照）。

主なナノマテリアルの使用状況は次のとおりである。

(1) カーボンブラック

2006 年の国内使用量は 100 万トンであり、ゴム・樹脂との混練や溶媒に添加して使用されている。全体の 80%がタイヤに、15%がその他ゴム製品に、5%がインキ塗料等の着色用に使用されている。利用のメリットとしては、ゴムの補強、ゴム・樹脂の導電性や着色性の向上、顔料としての着色性向上があげられる。

(2) シリカ（結晶質及び非晶質）

2006 年の国内使用量は約 13,500 トンであり、シリコーンゴム、FRP、塗料等に使用されている。利用のメリットとしては、強度向上、絶縁性や耐水性の向上があげられる。

(3) 酸化チタン（ルチル型及びアナターズ型）

結晶形の違いによりルチル型とアナターズ型があり、ルチル型の方が生産量が多い。2006 年の国内使用量は約 1,250 トンであり、化粧品、トナー、自動車塗料等に使用されている。利用のメリットとしては、紫外線カット、電荷調整、光触媒作用があげられる。

(4) 酸化亜鉛

2006年の国内使用量は約480トンであり、化粧品等に使用されている。利用のメリットとしては、広い範囲の紫外線のカット、透明性の向上があげられる。

(5) 単層カーボンナノチューブ

2006年の国内使用量は約100キログラムであり、樹脂やセラミックスに混練して使用されるが、用途としては研究開発中である。利用のメリットとしては、軽量化、導電性付与があげられる。

(6) 多層カーボンナノチューブ

2006年の国内使用量は約60トンであり、半導体トレイ等に使用されている。利用のメリットとしては、導電性付与、強度向上、電磁シールドがあげられる。

(7) フラーレン

2006年の国内使用量は約2トンであり、スポーツ用品に使用されている。利用のメリットとしては、反発性能の向上、軽量化、強度向上があげられる。

(8) デンドリマー

デンドリマーとは、中心から規則的に分岐した構造を持つ樹状高分子のことである。コアと呼ばれる中心部分と、デンドロンと呼ばれる側鎖部分から構成される。コアはデンドロンによって覆われており、外界と遮断された環境にあるために、特異な発光挙動や反応性を示すことが明らかとなり、現在、新しい機能物質として期待されている。

2006年の国内使用量は、紙用途として約50トン、化粧品用途として数トンであり、紙用途での使用が多い。紙用途の使用形態としては紙コーティング剤がある。利用のメリットとしては、紙用途ではレオロジー（流動特性）コントロール、化粧品用途としては、撥水性、撥油性があげられる。

（使用量等の資料出所は、(株)東レリサーチセンター／(株)東レ経営研究所 (TRC/TBR) 調べ。一部改訂。）

図表 1 ナノマテリアル別の用途の状況

	医薬品等	食品・パッケージ	化粧品	繊維	家庭用品・スポーツ	家電・電気電子製品	塗料・インク	その他紙加工
フラーレン	△		○		○	△		
SWCNT						○△		
MWCNT	△			△		○	○	
銀	△					○△		△触媒
銀＋無機微粒子		○	○	○	○	○	○	
鉄						○		
カーボンブラック			○			○△	○	○タイヤ
酸化チタン			○	○	○	○	○△	○
アルミナ			○			○△	△	
酸化セリウム			△			○		
酸化亜鉛	○		○	○	○	△	○	
シリカ	○	○	○	○		○	○	○
ポリスチレン			○			○	○△	
デンドリマー	△		○△			△		○
ナノクレイ	○	○△	○			○	○	○農薬
カーボンナノファイバー					○	○△		△風力発電のプロペラ
顔料微粒子							○	
アクリル微粒子			○			○	○△	
リポソーム	○	△	○					
白金ナノコロイド		○	○			△		○触媒
量子ドット	△					△		○研究用試薬
ニッケル						○		

注) 表中の○、△、○△の意味は次のとおり。

○：現状の用途、△：将来可能性のある用途、○△：将来用途分野が広がる領域

SWCNT：単層カーボンナノチューブ

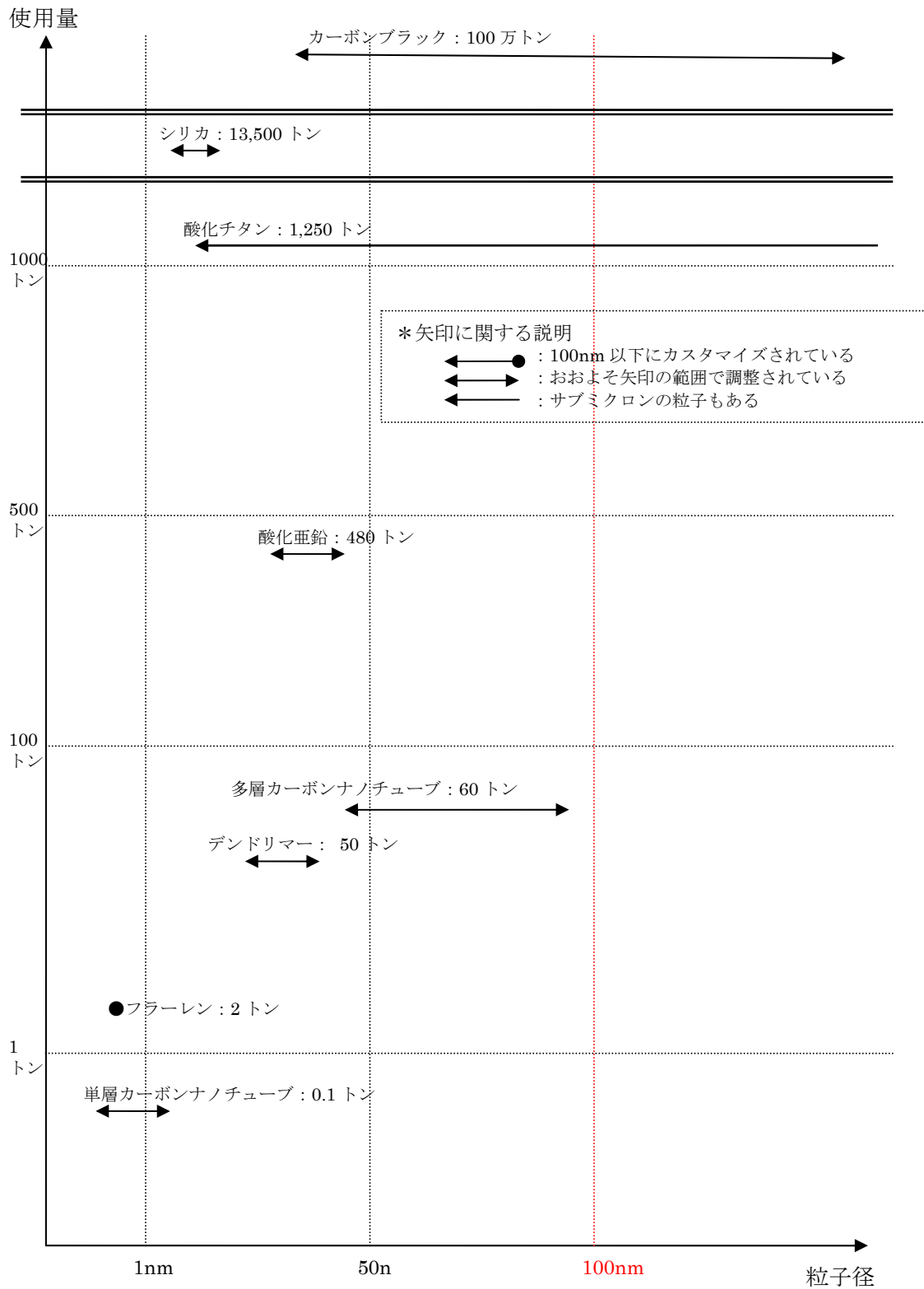
MWCNT：多層カーボンナノチューブ

リポソーム：脂質二分子膜が球状の殻になった構造を持つ。大きさは製造方法や条件に依存するが、直径 20～100nm 程度である。生体膜の基本構造を持っており、ドラッグデリバリーシステムやバイオセンサー等への応用が研究開発されている。

量子ドット：半導体微細加工によって人工的に作られた「人工原子」を二個結合することによって得られる人工的な分子である。超高速計算が可能な量子コンピューターへの応用が期待される。蛍光色素としては、生体組織・細胞などの標識としての利用が研究されている。

((株) 東レリサーチセンター／(株) 東レ経営研究所 (TRC/TBR) 調べ。一部改訂。)

図表 2 主要なナノマテリアルの国内年間使用量と粒子径（全体俯瞰図）



((株) 東レリサーチセンター / (株) 東レ経営研究所 (TRC/TBR) 調べ。一部改訂。)

2 ナノマテリアルの性状

(1) ナノマテリアルの物性

物質の諸特性（電氣的、光学的、磁氣的等の性質）の多くは、その物質中の電子の挙動を反映したものである。ナノマテリアルでは結晶のサイズが小さくなることにより、電子の状態が変化し、通常の大きな物質にはないような現象が生ずる。

化学的な性質としては、ナノサイズになると反応性が高まる。これは、化学反応は、基本的には物質の表面で起こるが、ナノサイズになるにしたがって単位質量当たりの表面積である比表面積が大きくなることから、比表面積の増大により反応性が高まるためである。

力学的な性質としては、ナノサイズになると強度が高まる。これは、材料のサイズを小さくすると欠陥が少なくなるためである。例えば単層カーボンナノチューブは鋼ワイヤーの約 5~20 倍の強度であり、弾性率は鋼ワイヤーの約 20 倍である。また、金属材料においては、結晶粒径が小さくなるほど、硬度が増すことが知られている。

電氣的な性質としては、通常、物質に電圧をかけると電流が電圧に比例して連続的に変化するが、ナノサイズになると電流の値は不連続の値を取るようになる。

磁氣的性質としては、通常使用している磁石は小さな磁区の集まりであるが、ナノサイズになると、ナノマテリアルそのものが 1 つの磁区に相当するようになり、それが非常に高い保持力を持つ。

光学的性質としては、金属光沢として観察されるような物質も、小さくなると着色するという現象が起き、サイズによって色の出方も変わってくる。

(2) ナノマテリアルの生体への影響

生体外 (*in vitro*) の試験で一部の物質に細胞毒性や細胞に対する増殖抑制等があることが報告されている。

生体(*in vivo*)の試験ではマウスやラットを用いた試験等で、一部の物質により一定の条件下で肺等に炎症反応等が生じることが報告されている。また、最近、多層カーボンナノチューブのマウスへの腹腔内注入試験やラットの陰嚢腔内投与試験により腹膜中皮腫が発生したとの研究報告がなされている。しかしながら、労働現場での主要なばく露経路として考えられる吸入による呼吸器等へのばく露を想定した小型の実験動物を用いた長期の吸入ばく露試験等は未だ実施されていない。さらに人の健康に影響を及

ぼすとした報告はない。

このようにナノマテリアルは、一部を除き、近年急速にその利用が進んでいるものであり、あわせて生体への影響についても調査研究が進められているものの、未だ十分には解明されてはいない。

第3部 ばく露防止対策の検討の視点、範囲等について

1 規制及び対策の現状

ナノマテリアルはナノサイズの微細な粒子または繊維状のものとして存在し、通常、一般環境下では粉状を呈する。一部のナノマテリアル、例えば、カーボンブラック、酸化チタン等の製造・取扱い作業は粉じん作業に該当する場合があります、その場合は、じん肺法及びこれに基づくじん肺法施行規則並びに労働安全衛生法等に基づく粉じん障害防止規則等が適用され、法令に基づく所要の設備対策、作業管理、健康管理等が必要となる。しかし、これらの法令は、ナノマテリアルであることを理由としたものではなく、あくまでも関連する物質とその製造・取扱いが関係法令に定める粉じん作業に該当することから、適用されるものである。

また、労働安全衛生法第28条の2に規定する「事業者の行うべき調査等」として、「事業者は、原材料、ガス、蒸気、粉じん等による危険性又は有害性等を調査し、その結果等に基づいて、この法律又はこれに基づく命令の規定による措置を講ずるほか、労働者の危険又は健康障害を防止するため必要な措置を講ずるように努めなければならない。」と規定されており、ナノマテリアルの製造、取扱い、輸入等に関わる事業者についても、これらの規定に基づく危険性又は有害性等の調査及びその結果等に基づく必要な措置を講ずるように努めなければならないものである。

近年、ナノマテリアルの研究開発及び利用が進み、今後、ナノマテリアルの製造・取扱い作業に従事する労働者が増加することが見込まれている。一方、ナノマテリアルへのばく露の実態や人への健康影響は未解明な点が多いものの、小型の実験動物を用いた実験で生体への影響が示唆されている。このため厚生労働省では、予防的アプローチの観点から、労働基準局長名の通知として、平成20年2月7日基発第0207003号、0207004号「ナノマテリアル製造・取扱い作業現場における当面のばく露防止のための予防的対応について」（以下「通知」という。）を発出し、関係事業場におけるばく露防止対策の実施を事業者に求めているところである。

2 検討の範囲

厚生労働省の当面の対応として、上記局長通知が発出されているところであるが、ナノマテリアル対策の実効を上げるためには、実態を踏まえた、より具体的な管理方法を示す必要があるとともに、ばく露防止対策上の現状と課題についても検討していく必要があることから、本検討会においては、次の事項について検討することとした。

- (1) 対策の対象とすべきナノマテリアルの範囲等について
- (2) ナノマテリアルに係る当面のばく露防止対策について
- (3) ナノマテリアルに係る労働安全衛生上の今後の課題について

3 検討の視点

- (1) ナノマテリアルについては、いわゆる許容濃度等のばく露管理の目安となる数値が存在しないため、ばく露量やばく露濃度に基づいて管理を行うという従来の手法を採用することができない。このため、近年、化学物質管理を巡って世界的に広く知られている「予防的アプローチ」¹に基づいて対策を検討することとした。
- (2) 対策の検討に当たっては、海外の動向、最新の科学的知見、事業場での管理の実態、技術の進歩等を踏まえ、実行可能性のある最善の方法を求めることとした。
- (3) ナノマテリアルは一般環境下では通常は粉状で存在すること、ナノサイズとなることによってナノマテリアル特有の電気的、化学的、物理的性質を示すことに加え、現時点ではナノマテリアル毎の有害性も明確になっていないことから、ナノマテリアルの当面のばく露防止対策としては、個別の物質毎に固有の対策を検討するのではなく、ナノマテリアル全般に対するばく露防止対策について検討することとした。

¹予防的アプローチ

予防的な取組方法の考え方としては、平成4年（1992年）の環境と開発に関する国連会議における環境と開発に関するリオ宣言の第15原則で「予防的方策は、各国により、その能力に応じて広く適用されなければならない。深刻な、あるいは不可逆的な被害のおそれがある場合には、完全な科学的確実性の欠如が、環境悪化を防止するための費用対効果の大きな対策を延期する理由として使われてはならない。」と規定されている。

また、2002年のヨハネスブルクサミットで、2020年までに、人や環境への影響を最小限にする方法での化学物質の製造・取扱いを可能にするような化学物質管理を達成するという目標が国際的に合意され、それを実現するための方策として2006年に採択されたSAICM（国際的な化学物質管理のための戦略的アプローチ）において、予防的アプローチの採用が謳われている。

第4部 ばく露防止対策に係る検討結果について

1 基本的事項に係る検討結果

(1) 対策の対象とするナノマテリアルの範囲について

通知においては、対象とするナノマテリアルを「元素等を原材料として製造された固体状の材料」としており、人工的に製造したものに対象範囲を限定している。自然界には人工的に製造されたもの以外にも様々なナノサイズの物質が存在しているが、現在、このような物質による労働衛生上の懸念は生じていないことから、自然界に存在するナノレベルのサイズの物質は対象外として差し支えないと判断する。また、通常の製造等の過程で非意図的にナノサイズの物質が発生する可能性はあるが、これについても、現在、労働衛生上の懸念は生じていないことから、対策の対象外として差し支えないと判断する。

対策の対象とするナノマテリアルの大きさについては、通知では上限のみを定義しているが、諸外国では大きさの下限として1nmと定めている場合が多いこと、下限を定めない場合は原子まで対象となってしまうことから、現行の定義を、「大きさを示す3次元のうち少なくとも一つの次元が約1nm～100nmであるナノ物質(nano-objects)²及びナノ物質により構成されるナノ構造体(nanostructured material)(内部にナノスケールの構造を持つ物体、ナノ物質の凝集したものを含む。)であること」とすることが適切である。

なお、通知ではナノ物質の凝集体も対策の対象としているが、凝集したナノ構造体は生体外(*in vitro*)での試験では容易に分離しないものの、体内に入った場合には生体の強い作用を受け、マクロファージ等による作用や酸化還元作用によって分離する可能性がフラーレン等の試験において報告されていることから、凝集したナノ構造体の大きさが100nmを超えていても、それを構成する内部のナノ物質の大きさが100nmより小さい場合には、対象に含めることが適切である。

(2) 対象とする労働者について

ナノマテリアルにばく露する可能性があるのは、ナノマテリアル又はナ

² ISO/TC229 TS27687 Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects – nanoparticles, nanofibre and nanoplate の定義に従って記述した。ナノ物質(nano-objects)には、ナノ粒子(nanoparticles)、ナノ繊維(nanofibre)、ナノ薄膜(nanoplate)の3種類がある。ただし、日本語訳は未確定である。

ノマテリアルを含有する製剤等を製造し、又は取り扱う作業（設備、機器等の修理、点検等を含む。また、研究目的で製造等する場合も含む。）に従事する者及び当該作業場所において作業の監督等に従事する者であることから、対象とする労働者については、当該作業に従事する者（監督者等を含む。）とすることが適切である。

また、ナノマテリアルが使用された製品を取り扱う場合、当該製品中にナノマテリアルが練り込まれている等、安定的な状態で存在し、製品から容易に遊離しない状態が保たれるのであれば、ばく露する可能性はほとんどないと考えてよい。しかしながら、当該製品を廃棄する際等には、製品内部からナノマテリアルが放出され、従事する者がばく露する可能性を否定できない。そのため、ナノマテリアルを製造し、又は取り扱う作業に加え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等も対象とすることが適切である。

(3) ナノマテリアルへのばく露の経路について

ナノマテリアルへのばく露の可能性のある経路としては、次のような経路が想定される。

- ア. 作業環境中の浮遊粒子の最も一般的なばく露経路である、吸入 (inhalation) による肺等の呼吸器へのばく露
- イ. 吸入による別のばく露経路である、鼻腔の神経末端からの体内への侵入
- ウ. 皮膚を通しての体内への侵入
- エ. 目の粘膜からの体内への侵入
- オ. 経口摂取による体内への侵入

(4) ナノマテリアルに関する製造・取扱作業及びばく露の可能性について

ナノマテリアルに関する製造・取扱作業に該当する作業の例としては、次のものがある。

- ・ 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、容器等の移し替え（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（ナノマテリアル含有製品の廃棄、リサイクル等）

これら全ての作業において労働者がばく露する可能性を否定できない。
(独)労働安全衛生総合研究所が(独)産業技術総合研究所と共同で平成19年9月から平成20年2月に実施したアンケート調査の結果(以下「アンケート結果」という。)では、事業場でナノマテリアルの労働衛生管理を行う担当者が各生産工程で外部への排出や労働者へのばく露の可能性を感じている割合は、荷受けの工程では他の工程と比較して低くなっているものの、ほとんど全ての作業工程で5割以上となっている。

ナノマテリアルの形態・状態・作業方法等により、人のナノマテリアルへのばく露の可能性は異なってくるが、ナノマテリアルが液体中に分散した状態であり、かつ、液体の蒸発等に伴い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の可能性は極めて小さくなるものと考えられる。逆に、粉体の取扱いの場合は、ばく露の可能性は高くなると考えられる。

2 個別対策に係る検討事項及び検討結果

事業場では以下に示す個別対策の内容を参考に、材料、プロセス、取扱量等の実態に合わせて、ばく露低減に努めるべきである。

なお、これらの個別対策については、ばく露防止対策を検討する上で必要な基礎的データ等が十分に存在しないという制約下で、現在入手可能なデータや知見に基づいて事業場が講ずべき措置を示したものである。したがって、事業場が対策を講ずる上で参考となる知見を有し、それに基づいて予防的アプローチの観点から実効あるばく露防止対策を講じることが可能な場合は、ここに示した措置にかかわらず、独自の対応を図って差し支えない。

(1) 作業環境管理

ア ばく露状況の計測評価(ばく露評価)

ナノマテリアルの作業環境中への発散状況の把握やナノマテリアルのばく露防止対策の有効性を確認するためには、作業環境中のナノマテリアルの濃度を測定することが必要であるが、ナノサイズの粒子等を測定するには課題が多い。

ナノサイズの粒子の測定には、粒径別に濃度を測る走査型電気移動度粒径分析器(Scanning Mobility Particle Sizer : SMPS)や電気量式減圧インパクト(Electrical low pressure impactor : ELPI)およびその他の減圧インパクト、粒子の総個数を測る凝縮粒子計数器(Condensation Particle Counter : CPC)、粒子の総表面積を測る粒子表面積計(Diffusion

Charger-based Surface-Area Monitor : DC)、また、捕集した粒子を形態学的に観察する電子顕微鏡等が用いられる。

ナノサイズの粒子の測定用機器は大型で高価なものが多く、そのため、欧米においても一般的な個人ばく露の測定に用いられておらず、海外の論文でも環境中の空気をサンプリングして粒子を測定するような方法が実施されている。SMPS は高価である上、作業環境での計測に十分な耐久性があるとは言えない。CPC や DC については、最近では作業現場に持ち込めるほど小さな機器もできているが、耐久性は不明である。測定機器の耐久性が低い場合、測定に伴って頻繁に機器のメンテナンスが必要とされることから、測定実施上の障害となる可能性が高い。また、各測定機器の性能上の制約により、単一の測定機器では不十分な場合がある。

ナノサイズの粒子の測定に当たっての問題として、作業環境中には、多くのナノサイズ粒子が存在することがあげられる。例えば、外気が流入する一般の作業場では、大気中のナノサイズの粉じんの影響を受けるため、粒子の個数、重量、表面積といった測定値が対象とするナノマテリアルに係るものであるか否かを判別することはできない。対象とするナノマテリアルを特定するには成分の分析等が必要となる。

実際の作業環境の管理の観点からは、原材料の調査、作業環境の測定、個人ばく露の測定、より詳細なナノサイズの粒子の調査の 4 つを実施することが考えられる。原材料の調査については原材料メーカーから提供される情報、例えば電子顕微鏡写真、粒子サイズ、比表面積等がある。

事業場での管理については、当面、原材料の調査に加えて、作業環境の測定までを行い、作業環境改善に努めることが必要である。ナノサイズの粒子の発生する場所や作業等、作業環境の状態がわかれば、環境改善方法の選択や保護具の選択・使用の参考にすることが可能である。ナノサイズの粒子の測定には SMPS や相対濃度計として CPC、DC 等小型で携帯可能な測定装置を状況に応じて選択し使用することとし、これらの利用が困難な場合は、通常サイズの粒子を測定する機器である粉じん計、パーティクルカウンターを用いる。原理的にナノサイズの粒子を計測できない測定装置であっても、一般に作業環境中には同じ発生源から広い粒度分布の粉じんが発生しており、測定結果はナノマテリアルの管理には一定程度有効である。これらの測定装置には濃度の時間変化を自動記録できるものも多いので、作業と濃度変化の関連を調べることも可能である。

なお、より詳細なナノサイズの粒子の調査を必要とする場合は、透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、SMPS、ELPI 等を用いて行うことが

必要である。

イ 密閉構造とすべき箇所

機器類等の定義としては、ナノマテリアルの製造工程のうちの1つの工程で使用される機械を製造装置といい、一連の製造装置をまとめて製造設備という。また、製造設備に加えて製造に関連した作業設備を施設といい、施設を内部に含む建築物を建屋という。

ばく露防止対策として、まず、ナノマテリアルが樹脂等の固体に練り込まれている場合、液体中に分散した状態等ナノマテリアルによるばく露の可能性が無い場合（液体の場合には飛沫に対する対策は必要である。）を除き、ナノマテリアルの発生する製造装置は原則として密閉構造とする必要がある。

また、労働者がナノマテリアルを直接取り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も、ばく露の可能性がない場合を除き原則として密閉化・無人化・自動化（以下「密閉化等」という。）することにより、労働者がナノマテリアルにばく露しないようにする必要がある。特に、ナノマテリアルの粉体を液体や樹脂に混ぜる作業はナノマテリアルへのばく露の可能性が高いことから、密閉化ないしグローブボックス内で行う必要がある。

さらに、廃棄物の処理やリサイクルの作業においても、ナノマテリアルにばく露するおそれがある場合には、原則として密閉化等により対策を講ずる必要がある。

なお、密閉化等が困難な場合においては局所排気装置等（プッシュプル型換気装置を含む。以下同じ。）を設置すること等により対処する必要がある。

ウ 局所排気装置等を設置すべき場所

ナノマテリアルの製造・取扱装置で密閉構造にできない箇所については、ナノマテリアルの発散を防止するため、局所排気装置等を設置する必要がある。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、局所排気装置等を設置する可能性のある具体的な工程としては次のものがあげられる。

- ・ ナノマテリアル製造事業場において、ドライなナノマテリアルを作業者が直接取り扱わなければならない次の工程

- －合成したナノマテリアルの回収工程（連続化・自動化されているものを除く。）
 - －製造したナノマテリアルの秤量・梱包・袋詰め工程
- ・ ナノマテリアル取扱事業場において、入手したドライなナノマテリアルを加工・処理するために梱包等を開封したり、装置に投入したりする次の工程
 - －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等を解く工程・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（ホッパー等に投入する工程）

なお、密閉されている製造装置や閉鎖系での作業であっても、補修・点検のために開放する箇所には、局所排気装置等を設置するか、又はグローブバッグを用いて作業する必要がある。

局所排気装置の型式としては囲い式フードが望ましい。また、製造装置等が大きい場合、作業者の作業性を考慮するとプッシュプル型換気装置の設置が望ましい場合もある。

なお、局所排気装置等を設置した後は、定期的な保守点検を行うことが重要である。

エ 排気における除じん措置の方法

局所排気装置等の排気口は直接外気に向かって開放する必要がある。また、その際、排気からナノマテリアルが放出されないよう、ナノマテリアルを捕集できる高性能フィルターを局所排気装置等に設けることが必要である。

使用するフィルターの選択に当たっては、ナノマテリアルが凝集していることも考慮し、ナノマテリアルの粒径又は凝集の状態、フィルターの捕集能力等を調査し、対象とするナノマテリアルの捕集が可能な適切なフィルターを選定する必要がある。

一方、そのような調査を行わない場合には、排気のろ過には HEPA フィルター又はこれと同等の性能を有するフィルターを設置する必要がある。

HEPA フィルターの性能としては、ナノマテリアルの粒径及び凝集の状態にもよるが、通常のナノマテリアルに対しては HEPA フィルターの捕集効率は十分であると思われる。

また、HEPA フィルターの使用上の留意点として高性能ではあるが、圧力損失が大きく、フィルターは使い捨てであることがあげられる。このため、大規模な設備で HEPA フィルターを使用するには電動機や排風機の能力を大きくする必要があり、発じんの多い作業ではフィルターの頻繁な交換が必要となる。このような場合は、HEPA フィルターの前に前置きのフィルター等を設けて HEPA フィルターへの負荷を減らし、HEPA フィルターの交換頻度を少なくすることが重要である。

なお、対象物質が適切に捕集できる場合には、電気集じん機等の使用も考えられる。

(2) 作業管理

ア 作業規程の内容

ナノマテリアルへのばく露等が生じないように適切に作業を実施するためには、ナノマテリアルの取扱いに関する作業規程を作成し、労働者を十分教育し、作業規程の内容を遵守させることが重要である。当該作業規程には、取り扱うナノマテリアルの有害性についての情報、作業環境に係る情報等を収集し、盛り込む必要がある。

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、普通の掃除機や箒で掃除をすると逆にナノマテリアルを飛散させてしまう可能性が高い。そのため、HEPA フィルターを備えた掃除機による吸引により、又はこれが困難な、若しくは適当でない場合には、湿った布による拭き取りによって行う必要がある。この場合、与湿のためあらかじめ堆積したナノマテリアルを濡らして拭き取ることも有効であるが、撥水性の粉体の場合は散水により粉体が舞い上がるおそれがあるため、作業場の状況及びナノマテリアルの性状を考慮した上で、作業を行う必要がある。なお、拭き取りに使用した布は不浸透性の破れ難い袋に封入し適切に廃棄する必要がある。

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、その間に除染区域を設ける等により、作業衣等に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必要がある。

また、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必要がある。

エ 呼吸用保護具を使用すべき場合

ナノマテリアルによるばく露の可能性が無い場合を除き、ナノマテリアル製造・取扱作業に労働者を従事させる場合には、労働者に有効な呼吸用保護具を使用させる必要がある。ばく露防止対策の実施に当たっては、設備の密閉化、局所排気装置の設置等の設備対策を優先すべきであり、設備対策等の状況に応じて、労働者に有効な呼吸用保護具を選択させる必要がある。

その際、非定常時や非常時等での使用も考慮し、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必要がある。

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

労働者に使用させる有効な呼吸用保護具については、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又は JIS T8157 に適合した面体形、フェイスシールド形又は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とする必要がある。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を使用する必要がある。使用する防じんマスクの選択に当たっては、ナノマテリアルが凝集していることも考慮し、ナノマテリアルの粒径又は凝集の状態、防じんマスクの捕集能力等を調査し、対象とするナノマテリアルの捕集が可能な適切な防じんマスクを選定する必要がある。

なお、呼吸用保護具の選択は別紙のとおりである。また、防爆の措置の必要な職場、暑熱の職場、狭隘な職場等、各職場の状況に適合した呼吸用保護具を選択する必要がある。

防じんマスクの使用に際しては、面体と顔面の密着性のチェックを行い、良好な面体を選び、毎回の装着時にも同様に密着性のチェックを実施する必要がある。加えて、呼吸用保護具のメンテナンス、点検、掃除及び適切な保管に努める必要がある。

カ 保護手袋の要件及び使用上の留意事項

ナノマテリアルが手に付着するおそれがある場合には、保護手袋を使用する必要がある。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必要がある。また、保護手袋は、有効かつ清潔な状態を保持するため、使い捨てとすることが望ましいが、洗濯等により清潔な状態を保持できるのであればこの限りでない。なお、使用した保護手袋を廃棄する場合は袋に封入して適切に廃棄することが必

要である。

さらに、保護手袋の脱着時等において、ナノマテリアルが皮膚に付着し、又はそのおそれが高い場合には、石けんで洗うか、又はクレンジングクリームで拭き取る必要がある。

キ ゴーグル型保護眼鏡を使用すべき場合

ナノマテリアルの粉末、飛沫等が目に入るおそれがある場合には、ゴーグル型保護眼鏡を使用する必要がある。

ク 作業衣の使用及び使用上の留意事項

ナノマテリアルが作業衣に付着するおそれがある場合には専用の保護衣を着用する必要がある。保護衣の材質は不織布のものが望ましく、洗濯等により有効かつ清潔な状態を保持する必要がある。

なお、ナノマテリアルが付着した保護衣を施設外に持ち出す場合は、当該保護衣を不浸透性の破れにくい袋の中に入れる等して、施設外へのばく露の拡散を防止する必要がある。

ケ 作業記録の保存等

作業記録は、ばく露防止対策の現状を把握し、改善を図るための情報源となるものであることから、ナノマテリアルの製造又は取扱いについての作業記録の保存は重要である。誰が、いつ、どのような作業に従事したかについて、作業記録を作成し、長期間保存しておく必要がある。

(3) 健康管理

ナノマテリアルの人への健康影響については現時点では不明ではあるが、健康管理は労働衛生管理の基本でもあり、事業者は一般定期健康診断等により関係労働者の健康状況の把握に努める必要がある。

(4) 労働安全衛生教育

ナノマテリアルのばく露防止対策の実効を上げるためには、作業に従事する労働者自身にナノマテリアルの物理的・化学的特性、健康影響の可能性、作業環境管理対策、個人用保護具の使用等について理解させ、作業手順等のマニュアルを遵守させることが重要である。

特に、呼吸用保護具については、作業環境や作業の態様に合わせた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密着性を適切に保つことが重要であることから、呼吸用保護具の適切な

選択、装着方法、マスク面体と顔面との密着性による漏れ率の測定方法と密着性のチェックの方法及び保管・管理について教育訓練する必要がある。

(5) 廃棄物処理等における対応

ナノマテリアルの製造・取扱事業場で生ずる、ナノマテリアルの飛散のおそれがある廃棄物は不浸透性の破れにくい袋に入れる等によりナノマテリアルが発散しないようにした上で適切に処理する必要がある。

また、廃棄物処理を専ら行う事業場あるいはリサイクル処理を行う事業場においては、製品にナノマテリアルが使用されている状況や処理過程でナノマテリアルが作業環境中に発散する可能性を検討し、ばく露の可能性がある場合には、労働者がナノマテリアルにばく露しないよう設備対策を含めて適切な対策を講ずる必要がある。

なお、ナノマテリアルの処理については、その性状、物性に適った方法や条件で行う必要がある。例えば、カーボンナノチューブについては 750～850℃で熱分解することが判明している。

(6) 非定常作業時（設備の補修等）の対応

ナノマテリアルの生産あるいは加工に使用した製造装置の保守点検や改修、製造装置や作業場の清掃等の非定常作業時にはナノマテリアルにばく露する可能性が高くなるので、先ず局所排気装置等での設備対策によりばく露防止を図るべきである。それが著しく困難な場合には、呼吸用保護具等の個人用保護具の使用によりばく露防止を図る必要がある。

なお、非定常作業についても作業の記録を作成し、長期間保存しておく必要がある。

(7) その他

ア 爆発火災防止対策

物体がナノサイズとなることにより、比表面積が大きくなり、最小着火エネルギーが減少するため、比較的の不活性な物質でも燃えやすくなる。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、爆発火災に関するリスクがより大きくなる可能性がある。

ナノマテリアルの爆発火災予防対策については、未だ知見が十分な状況にはないが、一般的対策として、粉じん濃度の抑制、静電気の発生防止、酸素濃度の抑制等があり、取り扱うナノマテリアルの性状、製造・取扱設備、工程、作業内容等に応じて、これらの措置を講じる必要がある。

イ 緊急事態への対応

緊急事態への対応については、緊急事態の判定基準を策定し、対策を策定しておくことが重要である。例えば、少量漏洩や大量漏洩の基準を定め、そのような事態が発生した場合に警報を出し、周囲の労働者に分かるようにすること、また、その場合、労働者が漏洩したナノマテリアルにばく露しないような作業手順を策定しておくことが必要である。

なお、ばく露した場合の応急措置としては、クリーンエア中での除じんのほか、眼に入った場合には水で十分に洗眼し、吸入した場合にはうがい又は口内を洗浄し、飲み込んだ場合には可能ならば吐き出し、うがいし、又は口内の洗浄を行うことが必要である。

3 更なる研究・検討課題

(1) 生体への影響に関する研究

ナノマテリアルの生体影響については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が、未だ知見が不十分な状況である。特に、労働現場での主要なばく露経路として考えられる吸入による呼吸器等への長期的な影響については、解明されていない。このため、国際的な連携も図りつつ、小型の実験動物を用いた長期吸入試験等の実施により有害性の情報を収集していく必要がある。試験の方法は、基本的には、労働者への実際のばく露経路として想定される吸入毒性、経皮毒性等に関する試験研究が中心となるが、研究対象とするナノマテリアルの種類が多いことから、有害性を簡便にスクリーニングできる試験方法の研究開発を進めることも重要である。

なお、人への外挿に当たってのリスク評価に際して、これまでに得られた他の繊維状、粒子状物質のデータを参考にする必要がある。

また、実験動物を用いた有害性の情報の収集に加え、ナノマテリアルの人への影響については、その製造・取扱作業に従事する者の健康状況等の結果を調査分析することによっても得ることができる。そのため、必要な場合には、関係労働者等の健康状況や作業の記録の調査分析が行えるような仕組みを整備しておくことが重要である。

(2) 職業上のばく露限界に関する基準の策定

作業環境管理を適切に行うためには、職業上のばく露限界基準を明らかにすることが必要であることから、国は今後とも内外のナノマテリアルの有害性に関する調査研究結果等を着実にフォローすることが重要である。

(3) ナノマテリアルのばく露防止に係る工学的対策に関する研究

ア ナノマテリアルの作業環境での挙動に関する研究

ナノマテリアルは凝集することが知られているが、実際の製造・取扱作業において、作業環境中ではどの程度のサイズでナノマテリアルが凝集し、浮遊しているのか、どの程度の粒度分布であるか、その場合の濃度はどの程度であるか等、ナノマテリアルの挙動についての研究は進められているものの、未だ知見は十分ではない。これらはナノマテリアルの種類によっても異なっているものと思われるが、これらを解明することは、正確な測定分析のためにも、適切なばく露防止対策のためにも必要であり、国際的な連携を含めて、研究を進めていく必要がある。また、得られた知見、情報は共有され、各国のばく露防止対策に活用されるべきである。

イ ナノマテリアルの測定方法、測定機器及び推計手法の開発

ナノマテリアルの測定に関して、事業場において簡易に実施できるナノマテリアルの測定方法及び測定機器を開発することは重要な課題である。耐久性が高く、小型で作業現場に持ち込み易く、操作も容易な測定機器の開発が、民間機関等を含む関係機関において積極的に進められるべきである。

なお、測定機器が開発された場合であっても、一般の事業場においてナノマテリアルを測定するには解決すべき課題が多くあることを踏まえると、実際の測定に代えてナノマテリアルの濃度を推定する手法を開発することもばく露防止対策を進めていく上で重要と思われる。

ウ 発散、ばく露防止のための工学的対策

ナノマテリアルの製造・取扱いに係るばく露防止対策として局所排気装置等は重要な役割を果たすものであるが、どのような作業に、どのような型式・性能のものが有効であるかについて、また、全体換気装置の有効性についての実証的な知見を収集・整理し、これらを各事業場が利用可能な形で広く提供する必要がある。

エ 除じん装置の性能に関する情報の収集

局所排気装置等からの排気の除じん用いられるフィルターや除じん装置に関して更に研究等が進められるべきと思われる。フィルターのうち、HEPA フィルターの性能については比較的調べられており、ナノマ

テリアルの捕集は可能と考えるが、ナノマテリアルの種類、サイズ毎の詳細な知見は十分とは言えない。その他のフィルターや除じん装置については更にデータが不足している。ナノマテリアルは種類によってサイズが異なる上、電気的性質も様々である。また、凝集して存在することも多く、フィルター等での捕集に当たって不明な点が多い。そのため、有効な除じん装置の選択を容易に行えるよう、ナノマテリアルの種類、状態毎に除じん装置の性能を明らかにするための実証的な知見を収集・整理し、これらを各事業場が利用可能な形で広く提供する必要がある。

オ 有効な呼吸用保護具の普及

ナノマテリアルに対する防じんマスクのフィルターの開発が進められているが、今後、更に必要な知見の集積を行い、各作業に対応して使用するフィルターの捕集効率についてより詳細な情報を提供していくことが望ましい。

また、防じんマスクの保護具着用時の漏れ率についても通常の粉じんとナノマテリアルで異なる可能性があり、ナノマテリアルに係る漏れ率を明らかにしていく必要がある。

なお、これに関連し、ナノマテリアル用に使用されるマスクについては、マスクが具備すべき要件の基準等について検討すべきである。

(4) ナノマテリアルの譲渡提供時の情報伝達の仕組みの整備

ナノマテリアルに対するばく露防止対策を関係事業場で講ずるためには、当該事業場がナノマテリアルを取り扱っていることを明確に認識できなければならない。そのためには、ナノマテリアルに関する関係事業場間での情報の伝達と共有が欠かせない。一部のナノマテリアル及びそれを含有する製剤その他のものについては、その譲渡、提供時に労働安全衛生法第57条の2に基づき、その名称、成分等を記述した文書（MSDS）が交付されることとなっているが、提供される情報はナノマテリアルであることに着目したものとはなっていない。また、その他のナノマテリアルについては文書（MSDS）の交付対象とはなっていない。

ナノマテリアルのうち、既に文書(MSDS)の交付対象となっているものについては、当該物質がナノサイズのものとして存在する場合は、その旨及び取扱上の注意事項等を MSDS に反映させることにより情報を伝達することが考えられるが、MSDS 交付対象物質でない場合にも、同様に情報が伝達されることが必要であることから、ナノマテリアルについては事業者による自主的な対応を含め、MSDS への反映等により、このような情報が

確実に伝達されるよう仕組みを整備する必要がある。

(5) 化学物質の有害性の調査等に係るナノマテリアルの取扱いの検討

労働安全衛生法においては、新しく開発されたナノマテリアルが既存化学物質には区分されない全く新規の物質からなるナノサイズのものである場合、労働安全衛生法第 57 条の 3 に基づき、新規化学物質としての届出が必要となるとともに、有害性の調査の実施が求められるが、現行の化学物質の届出制度ではナノマテリアルであることに着目した届出内容とはなっていない。

一方、新しく開発されたナノマテリアルが既存の化学物質からなるナノサイズのものである場合、現行の労働安全衛生法では化学物質の形状や大きさに着目して化学物質を区分していないことから、ナノサイズのものであっても、あくまでも既存化学物質としか取り扱われず、届出の対象とはならない。

しかし、物質がナノサイズになるとナノ特有の性質を示すことが知られており、生体影響についてもそれまでとは異なる可能性があることから、現行のナノマテリアルの取扱いについては、検討の余地があると思われる。このため、ナノマテリアルの生体影響に関する科学的知見の蓄積、国際機関等での検討の状況、化学物質管理に関する国内の他の法令での規制の動向等に留意しつつ、少なくとも既に開発され、現在、製造・取扱いがなされているナノマテリアルを除き、今後、新規の化学物質として新たにナノマテリアルが開発される場合や既存の化学物質であってナノサイズのもので新たに開発される場合に、労働安全衛生法上、どのように取り扱うべきかについて、別途検討を行っていく必要がある。

(6) ナノマテリアルに関する情報の収集及び提供

情報の収集に関しては、ナノマテリアルに関する研究開発や生体影響の研究等の情報のほか、関係事業場における各種情報も広く集積し、ばく露防止対策に活用できるようにすることが重要である。

また、ナノマテリアルについて労働安全衛生法第 28 条の 2 で定められている危険性又は有害性等の調査及びその結果に基づく必要な措置の実施が適切に行われるよう、国は好事例の収集、公表に努め、本規定の周知徹底を一層図る必要がある。

一方、情報の提供については、既に、(独)労働安全衛生総合研究所のホームページを用いてナノマテリアル関係情報の発信がなされているところであるが、ホームページの機能及び内容の充実により、利用者にとってホ

ームページが更に利用し易く、役立つようにすることが重要である。

なお、インターネットでの情報発信以外に、リーフレットの活用や関係団体の広報誌等、幅広い手段により情報を提供していくことも重要である。

(7) 関係府省等との連携

関係府省等との連携については、現在、内閣府を中心として各省間で情報の交換・共有等を行っているところであるが、今後とも、関係する府省、関係機関等との連携により、ナノマテリアルに関する試験研究の推進、関係情報の共有等に努めていく必要がある。

第5部 おわりに

人に対する有害性が明らかでない化学物質であるナノマテリアルは、その特性を始めとして未知の部分が多い。本報告書では、ナノマテリアルに関する知見が十分でない状況の下で、予防的アプローチの観点から検討を行い、現時点におけるナノマテリアルの用途、生産量及び性状に関する知見を整理して、現時点で妥当と考えられるべく露防止対策を示した。

ナノマテリアルに関する労働災害の予防策としては、当面、今般検討した内容を作業現場の実態に合わせて適用させていくことであるが、それにとどまることなく、現場の対策等の現状の把握に努めるとともに、現在、解明がなされていない事項や技術開発が進んでいない事項について、国際的な協力や連携を含め、調査や研究開発を一層進め、その成果を対策に反映させていくことが重要である。

別紙 呼吸用保護具の選択の方法

呼吸用保護具の使用に当たっては、設備の対策の程度に応じた適切な防護係数あるいは指定防護係数のものを選択する必要がある。防護係数とは呼吸用保護具の防護性能を表す数値であり次の式で表すことができる。

$$PF = \frac{C_o}{C_i} \quad PF : \text{防護係数} \quad C_o : \text{面体等の外側の粉じん濃度}$$

$$C_i : \text{面体等の内側の粉じん濃度}$$

即ち、防護係数が高いほど、マスク内への粉じんの漏れこみが少ないことを示し、作業者のばく露が少ない呼吸用保護具と言える。作業現場において防護係数が測定できない場合は、各機関から公表されている指定防護係数を利用する。指定防護係数は、実験室内で測定された多数の防護係数値の代表値である。訓練された着用者が、正常に機能する呼吸用保護具を正しく着用した場合に、少なくとも得られるであろうと期待される防護係数を示している。アメリカ、日本の機関から公表されている指定防護係数を表1に示す

呼吸用保護具の選定に当たっては、工業生産現場等において、労働衛生工学的設備対策が講じられず、高濃度ばく露が予想される作業の場合には指定防護係数の大きな呼吸用保護具を選択する。製造工程の密閉化、自動化、遠隔操作の措置等が講じられる場合には指定防護係数の小さい呼吸用保護具の選択が可能である。また、製造工程の密閉化等はできないものの、局所排気装置等の設置が可能な場合は、これらの中間となり、中程度の指定防護係数のものを選択する。試験研究機関での呼吸用保護具の選定についても、労働衛生工学的設備対策が講じられず、高濃度ばく露が予想される作業の場合には指定防護係数の大きな呼吸用保護具を選択することとし、密閉化等の対策や局所排気装置等の設置ができる場合は、指定防護係数が小さなもので対応する。このような考えに基づき、一般の製造・取扱事業場及び試験研究機関における呼吸用保護具の選定について参考として図1、2及びまとめの表2を示す。

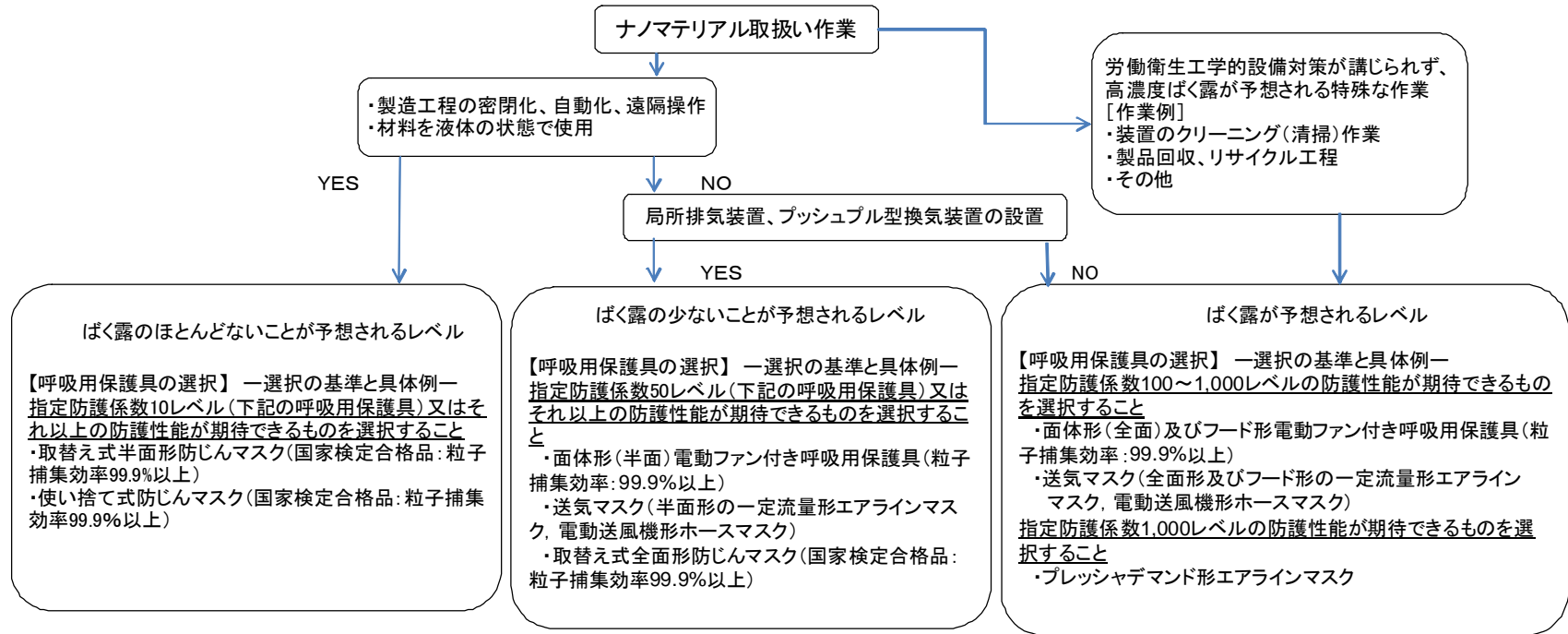
なお、これらの図表の作成に際しては、次の事項を考慮した。

- ・作業者のばく露について問題がないことを作業環境測定等の結果から確認できない場合は、ナノマテリアルを密閉系で取り扱う場合であっても呼吸用保護具を装着することとした。
- ・呼吸用保護具のろ過材の捕集効率に関し、最近の文献により、50nm前後の粒径に対して捕集効率の低くなるろ過材が確認され、N95（NIOSH規格：95%以上の捕集効率）あるいはS2（日本の国家検定規格：95%以上の捕集効率）のろ過材の捕集効率が基準の95%を下回る結果が報告されている。そのため、防じんマスクのろ過材としては、前回の通知（平成20年2月7日付け）で指示された

のと同様に 99.9%以上の捕集効率のろ過材を使用することとした。

ところで、これらの図表は現時点で入手可能な情報、科学的知見等に基づいて作成したものであり、今後、ナノマテリアルの有害性が把握できた段階、ナノマテリアルの環境濃度や作業者へのばく露濃度が把握できた段階、防じんマスクのろ過材の粒径に対する捕集効率が把握できた段階等で選定基準を見直す必要がある。

図1 呼吸用保護具の選定チャート
一般の製造又は取扱い事業場用



ただし、

・酸素濃度18%未満(酸欠の恐れのある作業)

送気マスクを選定(防じんマスク、電動ファン付き呼吸用保護具は不適)

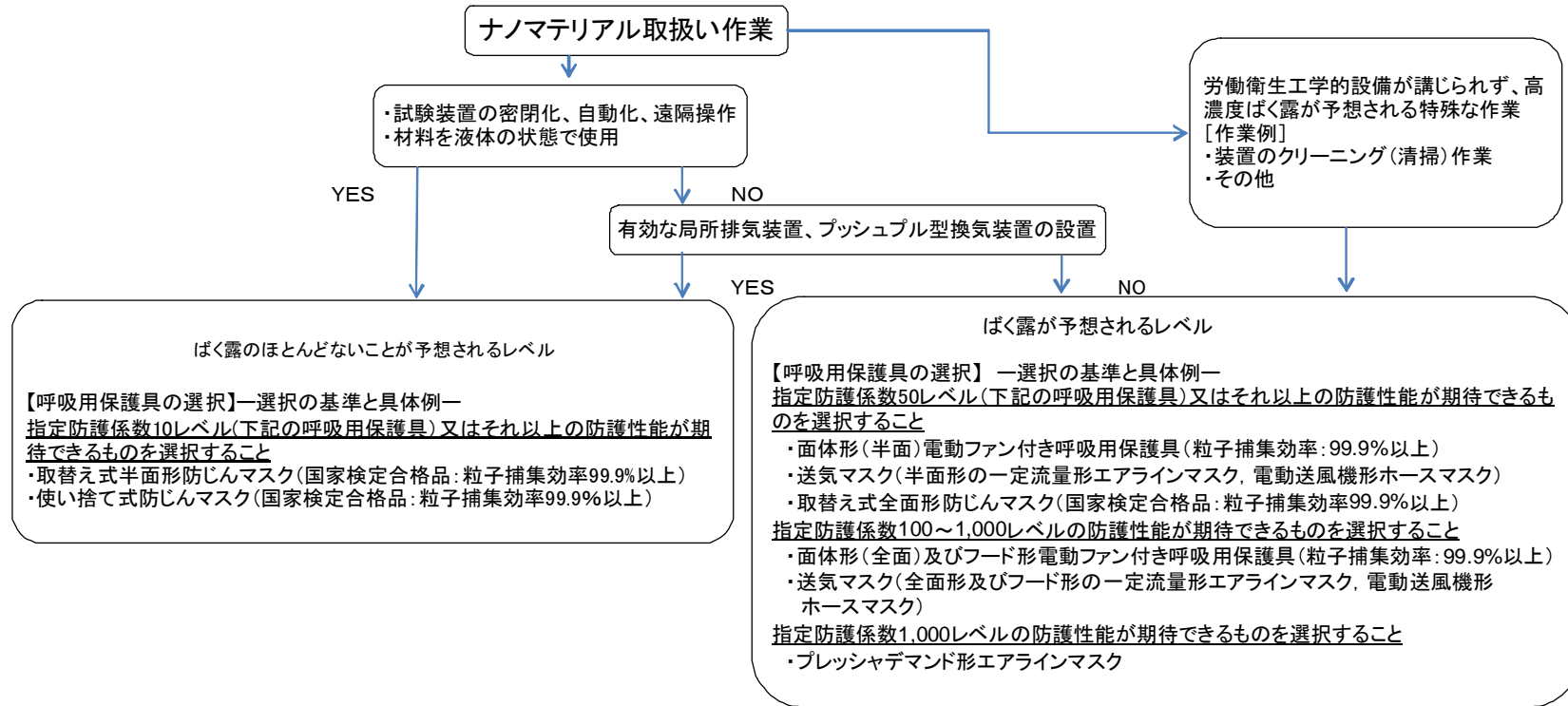
・有機溶剤、有害ガスが共存する作業

送気マスク、あるいは防じん機能を有する(粒子捕集効率: 99.9%以上)防毒マスクを選定(電動ファン付き呼吸用保護具は不適)

・防爆型が必要な作業部署

送気マスク、あるいは防じんマスクを選定(電動ファン付き呼吸用保護具は不適)

図2 呼吸用保護具の選定チャート
試験研究機関用



ただし、

・酸素濃度18%未満(酸欠の恐れのある作業)

→ 送気マスクを選定(防じんマスク、電動ファン付き呼吸用保護具は不適)

・有機溶剤、有害ガスが共存する作業

→ 送気マスク、あるいは防じん機能を有する(粒子捕集効率:99.9%以上)防毒マスクを選定(電動ファン付き呼吸用保護具は不適)

・防爆型が必要な作業部署

→ 送気マスク、あるいは防じんマスクを選定(電動ファン付き呼吸用保護具は不適)

表1 呼吸用保護具の指定防護係数

マスクの種類			OSHA 29 CFR 1910.134 (2006)	NIOSH Decision Logic (2004)	ANSI Z88.2 (1992) ^e	ANSI (Draft revision)	JIS T8150: 2006 ^f
ろ過式呼吸用保護具	使い捨て式		10	10	10	5	3~10 ^g
	半面形マスク		10	10	10	10	
	全面形	N,P,R 100を装着していない場合	50	10	100	50 ^d	4~50 ^g
		N,P,R 100を装着している場合	50	50	100	50 ^d	
電動ファン付き呼吸用保護具	半面形		50	50	50	50	4~50
	全面形		1000	50	1000 ^b	1000	4~100
	ヘルメット/フード		25/1000 ^a	25	1000 ^b	1000	4~25
	ルーズフィット面体		25	25	25	25	4~25
送気マスク	デマンド形	半面形	10	10	10	....	10
		全面形	50	50	100	....	50
	一定流量形	半面形	50	50	50	250	50
		全面形	1000	50	1000	1000	100
		ヘルメット/フード	25/1000 ^a	25	1000	1000	25
		ルーズフィット面体	25	25	25	25	25
	プレッシャデマンド形	半面形	50	1000	50	250	50
		全面形	1000	2000	1000	1000	1000
送気・空気呼吸器複合式プレッシャデマンド形全面マスク			....	10000	....	....	1000
空気呼吸器	デマンド形	半面形	10	....	10	....	10
		全面形	50	50	100	....	50
		ヘルメット/フード	50	....	....	....	—
	プレッシャデマンド形	全面形	10000	10000	10000 ^c	10000 ^c	5000
		ヘルメット/フード	10000	....	....	10000 ^c	—

^a 事業者は、これらの装置の試験結果、防護係数が1000或いはそれ以上であることを示す製造業者による証明書を所有していなければならない。

^b 粒子防護用としてHEPAを使用する。ろ過材がHEPAでない場合：指定防護係数=100

^c 緊急対策計画目的のためのみ

^d 定量的なフィットテスト(マスクフィッティングテスター)で漏れ率を確認したときは防護係数50、定性的なフィットテストの場合は10とみなす。

^e 2003年に無効にされた

^f 呼吸用保護具が正常に機能している場合に、期待される最低の防護係数

^g ろ過式の防護係数は、面体等の漏れ率[L_m(%)]及びフィルタの透過率[L_f(%)]から100/([L_m+L_f])によって算出

表2 ナノマテリアル取扱いに関する呼吸用保護具の選定(まとめ)

使用状況	密閉化、自動化、遠隔、 液体化	局所排気、プッシュプル換 気装置の設置	工学的対策なし
一般の製造又は取扱い 事業場	指定防護係数10以上	指定防護係数50以上	指定防護係数100以上
試験研究機関	指定防護係数10以上		指定防護係数50以上

但し

環境条件	呼吸用保護具の選定
酸素濃度18%未満	送気マスク
有機溶剤、有害ガスが共存する作業	送気マスク、防じん機能を有する防毒マスク
防爆型が必要な作業	送気マスク、防じんマスク