

テスト、保守を行わなければならない。エアロゾルの発生、移動と捕集に関する現在の科学の知識によると、これらの管理技術は、ナノメートルサイズの粉体に対する気中暴露を管理するために効果的である[Seinfeld と Pandis 1998 ; Hinds 1999]。

Dust collection efficiency of filters

Current knowledge indicates that a well-designed exhaust ventilation system with a high-efficiency particulate air (HEPA) filter should effectively remove nanoparticles [Hinds 1999]. Filters are tested using particles that have the lowest probability of being captured (typically around 300 nm in diameter). It is expected that the collection efficiencies for smaller particles should exceed the measured collection efficiency at this particle diameter [Lee and Liu 1982]. NIOSH is conducting research to validate the efficiency of HEPA filter media used in environmental control systems and in respirators in removing nanoparticles. As results of this research become available, they will be posted on the NIOSH Web site.

If HEPA filters are used in the dust collection system, they should be coupled to a well-designed filter housing. If the filter is improperly seated, nanoparticles have the potential to bypass the filter, leading to filter efficiencies much less than predicted [NIOSH 2003].

フィルターのダスト捕集効率

最近の知見によれば、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[Hinds 1999]。フィルターは、捕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[Lee と Liu 1982]。NIOSH は、環境管理システムとマスクで使われる HEPA フィルターのナノ粒子除去効率を確認するための研究を実行している。この研究の結果が利用できるようになったら、NIOSH ウェブサイトに掲示する。HEPA フィルターをダスト捕集システムで使う場合は、うまく設計されたフィルターハウジングと合わせなければならない。フィルターが不適当に装着されたならば、ナノ粒子はフィルターをバイパスし、予測したよりはるかに低いフィルター効率になってしまう可能性がある [NIOSH 2003]。

B. Work Practices

The incorporation of good work practices in a risk management program can help to minimize worker exposure to nanomaterials. Examples of good practices include the following:

- Work areas should be cleaned at the end of each work shift (at a minimum) using either a HEPA-filtered vacuum cleaner or wet wiping methods. Dry sweeping or air hoses should not be used to clean work areas. Cleanup should be conducted in a manner that prevents worker contact with wastes; the disposal of all waste material should comply with all applicable Federal and State, and local regulations.
- The storage and consumption of food or beverages in workplaces should be prevented where nanomaterials are handled.
- Hand-washing facilities should be provided and workers encouraged using them before eating,

- smoking, or leaving the worksite.
- Facilities for showering and changing clothes should be provided to prevent the inadvertent contamination of other areas (including take-home) caused by the transfer of nanoparticles on clothing and skin.

B. 作業管理

危機管理プログラムに良い作業管理 (good work practice) を組み入れることは、労働者のナノ粒子への暴露を最小にするのに役立つ。良い作業管理の例は、以下を含む。

- 作業区域は、各シフト終了時 (最低限) HEPA フィルター付の掃除機か水拭き法で清掃しなければならない。乾燥掃きや空気のホースは、作業区域の清掃に用いてはならない。清掃は、廃棄物と労働者の接触を防ぐ方法で行われなければならない。全ての廃棄物の処分は、全ての適用される国、州、地方の条例に従わなければならない。
- 仕事場での食物または飲料の保管と摂取は、ナノ材料が取り扱われる所を避けなければならない。
 - 手洗い設備を設置し、労働者に食べたり、休憩するとき、或いは現場を去る前に利用することを励行させる。
- シャワーを浴びて、服を替えるための設備を設置し、衣類と皮膚の上のナノ粒子が移動することに起因する他の地域 (持ち帰りの物を含む) の不注意な汚染を防がなければならない。

C. Personal protective clothing

Currently, no guidelines are available on the selection of clothing or other apparel for the prevention of dermal exposure to nanoparticles. Published research has shown that penetration efficiencies for 8 widely different fabrics (including woven, non-woven, and laminated fabrics) against 0.477 μm particles range from 0.0 % to 31%, with an average of 12% [Shalev et al. 2000]. Penetration efficiencies for nanoparticles have not been studied. However, even for powders in the macro scale, it is recognized that skin protective equipment (i.e. suits, gloves and other items of protective clothing) is very limited in its effectiveness to reduce or control dermal exposure [Schneider et al. 2000]. In any case, although nanoparticles may penetrate the epidermis, there has been little work to suggest that penetration leads to disease; and no dermal exposure standards have been proposed.

Some existing clothing standards already incorporate testing with nanometer-sized particles, and therefore provide some indication of the effectiveness of protective clothing to nanoparticles. For instance, ASTM standard F1671-03 specifies the use of a 27-nm bacteriophage to evaluate the resistance of materials used in protective clothing from the penetration of bloodborne pathogens [ASTM Subcommittee F23.40 2003].

NIOSH plans to conduct laboratory research on test methods to determine particle penetration through fabrics used into protective clothing and ensembles. As results from this research become available, they will be posted to the NIOSH website.

C. 個人保護用の衣服

現在では、皮膚のナノ粒子への暴露防止のために、衣類または服装を選定するための利用可能なガイドラインはない。発表された研究によると、 $0.477\ \mu\text{m}$ の粒子に対して大きく異なる 8 種の生地（織物、不織布、積層生地を含む）の侵入効率が 0.0% から 31% まで変動し平均 12% であった [Shalev 他 2000]。ナノ粒子の侵入効率は、まだ研究されていない。しかし、マクロスケールの粉に対する皮膚保護具（すなわち防護服のスーツ、手袋と他のアイテム）が皮膚暴露を減らす効果は非常に限定的だと認められている [Shalev 他 2000]。いずれにせよ、ナノ粒子が表皮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ほとんどなかった。そして、皮膚暴露基準は提案されていない。若干の既存の衣類標準は、すでにナノメートルサイズの粒子でのテストを取り入れ、ナノ粒子に対する防護服の若干の効果を示している。たとえば、ASTM 標準 F1671 03 は、血液介在性病原体の侵入から防護服で使われる材料の抵抗を評価するために、27nm のバクテリオファージの使用を指定している [ASTM Subcommittee F23.40 2003]。NIOSH は、防護服や用具に使われる生地を通しての粒子侵入を判定するための試験方法を実験室研究で実行する予定で、この研究からの結果が利用できるようになったら、NIOSH ウェブサイトに掲載される。

D. Respirators

The use of respirators is often required when engineering and administrative controls do not adequately keep worker exposures to an airborne contaminant below a regulatory limit or an internal control target. Currently, there are no specific exposure limits for airborne exposures to engineered nanoparticles although occupational exposure limits and guidelines (e.g., OSHA, NIOSH, ACGIH) exist for larger particles of similar chemical composition. Current scientific evidence indicates that nanoparticles may be more biologically reactive than larger particles of similar chemical composition and thus may pose a greater health risk when inhaled. In determining the effectiveness of controls or the need for respirators, it would therefore be prudent to consider both the current exposure limits or guidelines (e.g., PELs, RELs, TLVs) and the increase in surface area of the nanoparticles relative to that of particles for which the exposure limits or guides were developed.

The decision to institute respiratory protection should be based on a combination of professional judgment and the results of the hazard assessment and risk management practices recommended in this document. The effectiveness of administrative, work practice, and engineering controls can be evaluated using the measurement techniques described in Exposure Assessment and Characterization. If worker airborne exposure to nanoparticles remains a concern after instituting measures to control exposure, the use of respirators can further reduce worker exposures. Several classes of respirators exist that can provide different levels of protection when properly fit tested on the worker. Table 1 lists various types of particulate respirators that can be used; information is also provided on the level of exposure reduction that can be expected from each and the advantages and disadvantages of each respirator type. To assist respirator users, NIOSH has published the document *NIOSH Respirator Selection Logic (RSL)* that provides a process that respirator program administrators can use to select appropriate respirators (see www.cdc.gov/niosh/docs/2005-100/default.html). As new toxicity data for individual nanomaterials become available, NIOSH will review the data and make recommendations for respirator protection.

When respirators are required to be used in the workplace, the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) respiratory protection standard [29 CFR 1910.134] requires that a respiratory program be established that includes the following program elements: (1) an evaluation of the worker's ability to perform the work while wearing

a respirator, (2) regular training of personnel, (3) periodic environmental monitoring, (4) respirator fit testing, and (5) respirator maintenance, inspection, cleaning, and storage. The standard also requires that the selection of respirators be made by a person knowledgeable about the workplace and the limitations associated with each type of respirator. OSHA has also issued guidelines for employers who choose to establish the voluntary use of respirators [29 CFR 1910.134 Appendix D].

Table 1 lists the NIOSH assigned protection factors (APF) for various classes of respirators. The APF is defined as the minimum anticipated protection provided by a properly functioning respirator or class of respirators to a given percentage of properly fitted and trained users. The APF values developed by NIOSH are based in part on laboratory studies and take into consideration a variety of factors including the inward leakage caused by penetration through the filter and leakage around the face seal of the respirator. NIOSH is not aware of any data specific to the face seal leakage of nanoparticles. Numerous studies have been conducted on larger particles and on gases/vapors. For example, work done by researchers at the U.S. Army RDECOM on a head-form showed that mask leakage (i.e., simulated respirator fit factor) measured using submicron aerosol challenges (0.72 μm polystyrene latex spheres) was representative of vapor challenges such as sulfur hexafluoride (SF₆) and isoamyl acetate (IAA) [Gardner et al, 2004]. NIOSH plans to conduct a laboratory study to determine whether nanoparticle face seal leakage is consistent with the leakage seen by larger particles and gases/vapors. As results from this research become available, they will be posted to the NIOSH website.

NIOSH tests and certifies the filtration performance of air purifying respirators. One NIOSH certification test uses a polydisperse distribution of NaCl particles with a count median diameter (CMD) of 0.075 \pm 0.020 μm and a geometric standard deviation (GSD) of less than 1.86 for N- designated respirators [NIOSH, 2005a]. For R- and P- designated respirators, NIOSH tests using a polydisperse distribution of dioctyl phthalate (DOP) particles with a CMD of 0.185 \pm 0.020 μm and a GSD of less than 1.60 [NIOSH, 2005b]. For the lognormal distribution of NaCl aerosols used in the certification test, a broad range of particle sizes (e.g., 95% of the particles lie in the range of 22 nm – 259 nm) with a mass median diameter (MMD) of about 0.24 μm (or 240 nm) is used to determine whether the respirator filter performance is at least 95%, 99%, or 99.97% efficient. All of the particles penetrating through the filter are measured simultaneously using a forward light scattering photometer. According to single fiber filtration theory, particles larger than 0.3 μm are collected most efficiently by impaction, interception, and gravitational settling, while particles smaller than 0.3 μm are collected most efficiently by diffusion or electrostatic attraction [Hinds 1999]. Penetration of approximately 0.3- μm particles represents the worst case because these particles are considered to be in the range of the most penetrating particle size [Stevens and Moyer 1989, TSI 2005; NIOSH 1996]. However, the most penetrating particle size range for a given respirator can vary based on the type of filter media employed and the condition of the respirator. For example, the most penetrating particle size for N95 respirators containing electrostatically charged filter media can range from 50–100 nm [Martin and Moyer, 2000; Richardson et al, 2005] to 30–70 nm [Balazy et al, 2006].

According to single fiber filtration theory, below the most penetrating particle size, filtration efficiency will increase as particle size decreases. This trend will continue until the particles are so small that they behave like vapor molecules. As particles approach molecular size, they may be subject to thermal rebound theory, in which particles literally bounce through a filter. As a result, particle penetration will increase. The exact size at which thermal rebound will occur has not been reported in the literature. However, a recent study by Heim et al [2005] found that there was no discernable deviation from classical single-fiber theory for particles as small as 2.5 nm diameter. NIOSH recently funded a contract with the University of Minnesota to study the collection efficiency of respirator filter media for particles in the 3–100 nm range. In this study, the researchers observed that penetration of nanoparticles through filter media decreased down to 3 nm as expected by traditional filtration theory [Pui and Kim, 2006]. No evidence for thermal rebound of nanoparticles in the size ranges studied was found. Based on these preliminary findings, NIOSH certified respirators should provide the expected levels of protection. NIOSH plans to continue studying the nanoparticle collection efficiency of NIOSH certified respirators to validate these findings. As results from this research become available, they will be posted to the NIOSH website.

D. 吸収保護具（マスク）

工学的ならびに運営による管理によって、空中汚染物質への労働者の暴露を規制値または内部の管理目標以下に十分に保てないとき、マスクの使用はしばしば必要となる。現在では、労働衛生上の暴露限界とガイドライン（例えば OSHA、NIOSH、ACGIH）が類似した化学組成のより大きな粒子のために存在するけれども、特定の工業ナノ粒子に対する気中暴露の制限値はない。現在の科学的な知見によると、ナノ粒子は同一化学組成のより大きな粒子より、生物学的により活性と思われ、吸入されるとより大きな健康リスクをもたらすかもしれないことが示されている。管理の効果またはマスクの必要を決定する際に、現在の暴露限界またはガイドライン（例えば PEL、RELs、TLVs）と、その暴露限界またはガイドラインが開発された粒子と比較したナノ粒子の表面積の増加の両方を考慮して慎重でなければならない。

呼吸保護を実施するという決定は、専門的な判断とこの文書で推奨する有害性評価とリスク管理に基づく作業管理の結果の組合せに基づかなければならない。運営管理、作業の実施方法と工学的対策の効果は「暴露評価と特性測定（Exposure Assessment and Characterization）」で記述される測定技術を使用して評価することができる。暴露を制御するための処置を開始した後でなお、ナノ粒子への労働者の気中暴露が懸念されるままならば、マスクの使用は労働者暴露をさらに減らすことができる。マスクにはいくつかのクラスが存在し、きちんと検査されて労働者にフィットするとき、保護の異なるレベルを提供することができる。表 1 は、使用可能なさまざまな微粒子用マスクをリストしている。さらに各々に期待できる暴露の低下レベル、そして、各タイプのマスクの長所と短所の情報を示す。マスクユーザーを援助するために、NIOSHはマスクプログラム管理者が適切なマスク (<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-100/default.html> 参照) を選ぶために使用することができるプロセスを提供する文書 NIOSH Respirator Selection Logic (RSL) を出版した。個々のナノ材料の新しい毒性データが利用できるようになると、NIOSHはデータをチェックして、呼吸保護のための勧告を出す。

マスクが仕事場で使われることが必要であるとき、職業安全衛生管理局 (OSHA) の呼吸保護標準 [29 の CFR 1910.134] は以下の要素を含むマスクプログラムの確立を義務付ける。(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。標準は、また、マスクの選択が作業場と各タイプのマスクの限界について知識のある人によっておこなわれなければならないことを義務づけている。OSHA は、マスクの自発的な使用を確立するほうを選ぶ雇い主のためのガイドラインも出した [29 の CFR 1910.134 付録 D]。

表 1 は、NIOSH が認定した各種マスクの保護係数 (APF) リストを示す。保護係数の定義は、きちんと機能しているマスクが適正に装着され、訓練されたユーザーにクラスによる

所定のパーセンテージで提供される最低限の保護である。NIOSH によって開発された APF 値は、実験室レベルの研究と、フィルターを通して侵入する内部漏出およびマスクの顔面シール部周辺からの漏出を含むいろいろな要因への考慮を基にしている。NIOSH は、顔面シールのナノ粒子の漏出に関するいかなる特有のデータも認知していない。多数の研究は、より大きな粒子やガス/蒸気について行われた。たとえば、アメリカ陸軍 RDECOM の研究者による頭の形に関する研究では、ミクロン以下のエアロゾル ($0.72\ \mu\text{m}$ のポリスチレンラテックス球) を用いてのマスク漏出 (すなわち、シミュレーションされたマスクのフィット係数) の測定が蒸気 (例えば硫黄六フッ化物 (SF_6) とイソアミルアセテート (IAA) [Gardner (2004)] による測定と一致した。NIOSH は、ナノ粒子の顔面シール漏出がより大きな粒子やガス/蒸気の漏出と一致しているかどうか決定するために実験室での研究を行う予定である。この研究に見られる結果が出たら NIOSH ウェブサイトに掲載する。

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 認定テストは N-指定マスクに対し、中央径 (CMD) $0.075 \pm 0.020\ \mu\text{m}$ で幾何標準偏差 (GSD) が 1.86 未満の NaCl 粒子の多分散系を使用する [NIOSH, 2005a]。R-と P-指定マスクのために、NIOSH は $\text{CMD} 0.185 \pm 0.020\ \mu\text{m}$ 、 $\text{GSD} 1.60$ 未満のジオクチルフタル酸塩 (DOP) の多分散分布粒子を使ってテストする [NIOSH, 2005b]。認定テストで使われる NaCl エアロゾルの対数正規分布のために、質量中央径 (MMD) がおよそ $0.24\ \mu\text{m}$ (または 240nm) で幅広い粒径分布 (例えば、粒子の 95%が、 22nm - 259nm の範囲) を用いて、マスクフィルター性能効率が少なくとも 95%か、99%か、99.97%であるかを決定する。フィルターを通過する粒子の全ては、前方光散乱光度計を使用して同時に測られる。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 [Hinds 1999]。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 [Steven と Moyer 1989, TSI 2005 ; NIOSH 1996]。しかし、所定のマスクにとって最も通過し易い粒径範囲は、使用されるフィルター材料のタイプやマスクの状態によって変化する。たとえば、静電気を荷電したフィルターを含む N95 マスクでは最も通過しやすい粒径が $50\text{-}100\text{nm}$ [Martin と Moyer (2000) ; Richardson 他 (2005)] から $30\text{-}70\text{nm}$ [Balazy 他 (2006)] まで変動する。

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。熱的反撥が起こる正確な粒径の文献での報告はない。しかし、Heim らによる最近の研究 [2005]によると、 2.5nm ほどの小さな粒子で古典的な単層繊維濾過理論からの識別できる逸脱がないとわかった。NIOSH は、最近、ミネソタ大学と $3\text{-}100\text{nm}$ 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 [Pui と Kim (2006)] 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、認められなかった。これらの予備調査結果に基づいて、NIOSH はマスクが期待されるレベルでの防御を提供することを確認した。NIOSH はこれらの調査結果を確認するために NIOSH が認定するマスクのナノ粒子捕集効率を研究し続ける計画である。この研究からの結果が利用できるようになれば NIOSH ウェブサイトに掲載する。

Table1. Air-Purifying Particulate Respirators

Respirator type	NIOSH assigned protection factor (106)	Advantages	Disadvantages	Cost (2004 dollars)
Filtering facepiece (disposable)	10	<ul style="list-style-type: none"> - Lightweight - No maintenance or cleaning needed - No effect on mobility 	<ul style="list-style-type: none"> - Provides no eye protection - Can add to heat burden - Inward leakage at gaps in face seal - Some do not have adjustable head straps - Difficult for a user to do a seal check - Level of protection varies greatly among models - Communication may be difficult - Fit testing required to select proper facepiece size - Some eyewear may interfere with the fit - Respirator must be replaced whenever it is soiled, damaged or has noticeably increased breathing resistance. 	\$0.70 to \$10
Elastomeric half-facepiece	10	<ul style="list-style-type: none"> - Low maintenance - Reusable facepiece and replaceable filters and cartridges - No effect on mobility 	<ul style="list-style-type: none"> - Provides no eye protection - Can add to heat burden - Inward leakage at gaps in face seal - Communication may be difficult - Fit testing required to select proper facepiece size - Some eyewear may interfere with the fit 	Facepiece: \$12 to \$35 filters: \$4 to \$8 each
Powered with loose-fitting facepiece	25	<ul style="list-style-type: none"> - Provides eye protection - Protection for people with beards, missing dentures or facial scars - Low breathing resistance - Flowing air creates cooling effect - Face seal leakage is generally outward - Fit testing is not required - Prescription glasses can be worn - Communication less 	<ul style="list-style-type: none"> - Added weight of battery and blower - Awkward for some tasks - Battery requires charging - Air flow must be tested with flow device before use 	Unit: \$400 to \$1,000 Filters: \$10 to \$30

		<p>difficult than with elastomeric half-facepiece or full-facepiece respirators</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reusable components and replaceable filters 		
<p>Elastomeric full-facepiece with N-100, R-100, or P-100 filters</p>	50	<ul style="list-style-type: none"> - Provides eye protection - Low maintenance - Reusable facepiece and replaceable filters and cartridges - No effect on mobility - More effective face seal than that of filtering facepiece or elastomeric half-facepiece respirators 	<ul style="list-style-type: none"> - Can add to heat burden - Diminished field-of-vision compared to half-facepiece - Inward leakage at gaps in face seal - Fit testing required to select proper facepiece size - Facepiece lens can fog without nose cup or lens treatment - Spectacle kit needed for people who wear corrective glasses 	<p>Facepiece: \$90 to \$240 Filters: \$4 to \$8 each Nose cup: \$30</p>
<p>Powered with tight-fitting half-facepiece or full-facepiece</p>	50	<ul style="list-style-type: none"> - Provides eye protection with full-facepiece - Low breathing resistance - Face seal leakage is generally outward - Flowing air creates cooling effect - Reusable components and replaceable filters 	<ul style="list-style-type: none"> - Added weight of battery and blower - Awkward for some tasks - No eye protection with half-facepiece - Fit testing required to select proper facepiece size - Battery requires charging - Communication may be difficult - Spectacle kit needed for people who wear corrective glasses with full face-piece respirators - Air flow must be tested with flow device before use 	<p>Unit: \$500 to \$1,000 Filters: \$10 to \$30</p>
<p>Note: The assigned protection factors in this table are from the NIOSH Respirator Selection Logic [NIOSH 2004]. When the table was prepared, OSHA had proposed amending the respiratory protection standard to incorporate assigned protection factors. The Internet sites of NIOSH (www.cdc.gov/niosh) and OSHA (www.osha.gov) should be periodically checked for the current assigned protection factor values.</p>				

Table1. 呼吸用保護具(防じんマスク)

マスクタイプ	NIOSH 認定保護係数(106)	利点	欠点	価格 (2004ドル)
顔面装着フィルター(使い捨て) 使い捨て式	10	<ul style="list-style-type: none"> - 軽量 - メンテナンス、掃除が不要 - 作業性に対する影響がない 	<ul style="list-style-type: none"> - 眼の保護機能は無い - 熱負荷を増すことができる - 顔面シール隙間からの侵入 - 調節可能なあごひもでないものもある - ユーザーにとってシールチェックが難しい - 保護レベルは、モデルによって異なる - コミュニケーションは難しい可能性あり - 適当な面体サイズを選ぶために装着テストが必要 - アイウェアによっては、フィッティングを妨げる - 汚れ、破損、通気抵抗が大きくなったときは、マスクを交換しなければならない 	\$0.70 to \$10
ハーフフェイスタイプ 半面型	10	<ul style="list-style-type: none"> - 低いメンテナンス - フィルターとカートリッジ交換で再使用可能 - 作業性に対する影響がない 	<ul style="list-style-type: none"> - 眼の保護機能は無し - 熱の負担を増すことができる - 顔面シールの隙間の内側の漏出 - コミュニケーションは難しい可能性あり - 適当な面体サイズを選ぶことを要求される適当なテストが必要 - 若干のアイウェアは、フィッティングを妨げる可能性あり 	面体\$12-35 フィルター-\$4-8
動力タイプ (接合部遊びあり) フード型 電動ファン付	25	<ul style="list-style-type: none"> - 眼保護可能 - あごひげ、総入れ歯または顔の傷跡の人々の保護 - 低い呼吸抵抗 - 流入空気による冷却効果 - 外部への顔面シール漏出 - フィッティングテスト不要 - 眼鏡はかけられる - エラストメリック半面体または全面体マスクでよりコミュニケーションは難しくない - フィルター交換で再使用可能 	<ul style="list-style-type: none"> - バッテリーとブロワーの重量増 - ほんのちよつとの作業には厄介である - バッテリーの充電が必要 - 使用前に流れ装置で送風テストが必要 	ユニット \$400-1,000 フィルター-\$4-8
フルフェイスタイプ N-100, R-100 または P-100 全面型	50	<ul style="list-style-type: none"> - 眼保護可能 - 低いメンテナンス - フィルターとカートリッジの交換で面体は再使用可能 - 作業性に対する影響でない - フィルター面体 やエラストメリック半面マスクより効果的な顔面シール 	<ul style="list-style-type: none"> - 熱の負担を増す - 半面体タイプと比較して視野が狭くなる - 顔面シールから内面への漏出がある - 適当な面体サイズを選ぶのに装着テストが必要 - 鼻カップまたはレンズ処理無しでは、顔面ピースレンズが曇ることがある。 - 眼鏡をかける人々のために眼鏡キットが必要となる 	面体\$90-240 フィルター-\$4-8 Nose cup\$30
動力タイプ	50	<ul style="list-style-type: none"> - 全面型で眼保護可能 	<ul style="list-style-type: none"> - バッテリーとブロワーの重量増 	ユニット

プ (接合部 遊びなし) 全面型 電動ファン付		- 呼吸抵抗が小さい - 外部への顔面シール漏出 - 流入空気による冷却効果 - フィルター交換で再使用可能	- ほんのちよつとの作業には厄介である - 半面タイプで眼保護なし - 適当な面体サイズを選ぶのに装着テストが必要 - バッテリーの充電が必要 - 会話は困難 - 全面タイプでは眼鏡をかける人々のために眼鏡キットが必要となる - 使用前に流れ装置で送風テストが必要	\$500- 1,000 フィルター - \$10- 30
注: このテーブルにおける認定保護係数は、NIOSH Respirator Selection Logic [NIOSH 2004] による。表が準備されたとき、OSHA は認定保護係数を取り入れるために呼吸保護標準改正の提案をした。NIOSH のインターネットサイト(www.cdc.gov/niosh)				

E. Cleanup and disposal of nanomaterials

No specific guidance is currently available on cleaning up nanomaterial spills or contaminated surfaces. Until relevant information is available, it would be prudent to base strategies for dealing with spills and contaminated surfaces on current good practices, together with available information on exposure risks and the relative importance of different exposure routes. Standard approaches to cleaning up powder and liquid spills include the use of HEPA-filtered vacuum cleaners, wetting powders down, using dampened cloths to wipe up powders and applying absorbent materials/liquid traps.

Damp cleaning methods with soaps or cleaning oils is preferred. Cleaning cloths should be properly disposed. Drying and reuse of contaminated cloths can result in re-dispersion of particles. Use of commercially available wet or electrostatic microfiber cleaning cloths may also be effective in removing particles from surfaces with minimal dispersion into the air.

Energetic cleaning methods such as dry sweeping or the use of compressed air should be avoided or only be used with precautions that assure that particles suspended by the cleaning action are trapped by HEPA filters. If vacuum cleaning is employed, care should be taken that HEPA filters are installed properly and bags and filters changed according to manufacturer's recommendations.

While vacuum cleaning may prove to be effective for many applications, the following issues should be considered. Forces of attraction may make it difficult to entrain particles off surfaces with a vacuum cleaner. The electrostatic charge on particles will cause them to be attracted to oppositely charge surfaces and repelled by similarly charged surfaces. An oppositely charged vacuum brush or tool may repel particles, making it difficult to capture the aerosol or even causing it to be further dispersed. Vigorous scrubbing with a vacuum brush or tool or even the friction from high flow rates of material or air on the vacuum hose can generate a charge. The vacuum cleaners recommended for cleaning copier and printer toners have electrostatic-charge-neutralization features to address these issues.

When developing procedures for cleaning up nanomaterial spills or contaminated surfaces, consideration should be given to the potential for exposure during cleanup. Inhalation exposure and dermal exposure will likely present the greatest risks. Consideration will therefore need to be given to appropriate levels of personal protective equipment. Inhalation exposure in particular will be influenced by the likelihood of material re-aerosolization. In this context, it is likely that a hierarchy of potential exposures will exist, with dusts presenting a greater inhalation exposure potential than liquids, and liquids in turn presenting a greater potential risk than encapsulated or immobilized nanomaterials and structures.

As in the case of any material spill or cleaning of contaminated surfaces, handling and disposal of the waste material should follow existing Federal, State, or local regulations.

E. 清掃とナノ材料の処分

ナノ材料の飛散物（こぼれ）や表面汚染をきれいにするための特定のガイダンスは現在まだ利用可能ではない。関連した情報が利用できるまで、暴露危険に関し利用できる情報と種々の暴露ルートの相対的な重要度と共に、現在の良い作業管理に基づく飛散物と汚染表面に対処するための戦略の基礎を形成することについては慎重に行うべきである。こぼれた粉と液体をきれいにする標準的なアプローチは HEPA フィルター付の掃除機の使用、粉を濡らしてふき取る方法、粉を拭くために湿る布を使う方法、吸収力のある材料/液体の使用を含む。

石鹸または掃除油を用いる湿式のクリーニング法は好ましい。掃除布は、きちんと廃棄されなければならない。汚染された布の乾燥再利用は、粒子の再飛散を引き起こす。市販の湿式清掃布や静電マイクロ線維清掃布の使用は、空中への分散を最小にしながら、表面から粒子を取り除くことに効果的である。

乾式掃除機や圧縮空気の使用のような激しい掃除方法は避けるか、或いは掃除によって舞い上がる粒子が HEPA フィルターによって捕捉されることが保証される予防措置を講じたときのみ限定すべきである。電気掃除機での掃除を採用するときは、HEPA フィルターがきちんと装着される、そして、バッグとフィルターをメーカーの推薦に従って交換するという注意を十分払って行わなければならない。

電気掃除機での掃除が多くのケースで効果的であることがわかっているが、以下の点は考慮されなければならない。引力が掃除機で粒子を表面から搬出することを難しくすることがある。粒子の静電荷は、逆に荷電した表面に引きつけられ、正に荷電された表面から反撥する。反対に荷電された真空ブラシまたはツールは粒子を反撥し、エアロゾルを捕獲することを難しくし、さらに分散することさえする。真空ブラシまたはツールによる荒々しいスクラビングや、真空ホース内の材料または空気の高速度による摩擦は、帯電につながる。これらの問題に対処するために、複写機やプリンタートナーの清掃に用いる掃除機には、帯電防止機能付が推奨される。

ナノ材料の飛散物や汚染表面をきれいにする手順を開発するとき、クリーンアップの間、暴露の可能性があることを考慮しなければならない。吸入暴露と皮膚表面暴露は、最も大きな危険をもたらすと考えられる。したがって、個人の保護器材の適当なレベルを考慮する必要がある。吸入暴露は特に、材料の再飛散によって影響を受ける。ダストは液体より大きな吸入暴露可能性があり、次に液体は、カプセルに封入され或いは固定化されたナノ材料より潜在的に大きな危険を有するように、暴露可能性の階層が存在する。

どのような材料の飛散物または汚染された表面の掃除の場合でも、廃棄物の取扱いと処分は、国家、州または地方の条例に従わなければならない。

Occupational Health Surveillance

The unique physical and chemical properties of nanomaterials, the increasing growth of nanotechnology in the workplace, and information suggesting that engineered nanoscale materials may pose a health and safety hazard to workers all underscore the need for medical and hazard surveillance for nanotechnology. Every workplace dealing with nanoparticles, engineered nanomaterials, or other aspects of nanotechnology should consider the need for an occupational health surveillance program. NIOSH is in the process of formulating guidance relevant to occupational health surveillance for nanotechnology. The intent of the guidance is to provide a framework for utilizing existing medical and hazard surveillance mechanisms to create occupational health surveillance programs for nanotechnology workers. The NIOSH guidance will not be a prescriptive set of recommendations for a specific type of surveillance program, but rather will provide information that can be used to create appropriate occupational health surveillance to fit the needs of workers and organizations involved with nanotechnology. The framework will present information to help initiate occupational health surveillance where none exists. It is likely that, as the field of nanotechnology changes over time, continual reassessment of potential hazards and exposures will be required to initiate and maintain an effective surveillance program.

労働衛生上の監視

ナノ材料の独特な物理的・化学的性質、作業場でのナノテクノロジーの増大、工業ナノ材料が作業員に対して健康と安全上のハザードがある可能性を示す情報など全てが、ナノテクノロジーに対する医学上及びハザードの監視の必要性を際立たせている。

ナノ粒子や工業ナノ材料やナノテクノロジーの他の側面を取り扱う全ての職場は、労働衛生上の医学的監視プログラムの必要性を考慮しなければならない。

NIOSH はナノテクノロジーの労働衛生上の医学的監視に関するガイダンスを作成中である。このガイダンスの目的は、ナノテクノロジー作業員のための労働衛生上の医学的監視プログラムを創るために、既存の医学上及びハザードの監視体系を利用するための枠組みを提供することである。

NIOSH のガイダンスは、特定の形式の監視プログラムの推奨を禁止することではなく、ナノテクノロジーを一部分でも対象としている組織や作業員のニーズに合致するような適切な労働衛生上の医学的監視を創ることが可能な情報を提供することである。この枠組みは、これまで存在しなかった労働衛生上の医学的監視を開始するために助けとなる情報を与えるものである。

この監視プログラムが有効性を持って始まり、維持されるためには、ナノテクノロジーが時間の経過と共に変化するものであるから、ハザードと暴露の可能性の継続的な評価が必要とされるであろう。

Research

NIOSH has developed a strategic plan for research on several occupational safety and health aspects of nanotechnology. The plan is available at www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/strat_plan.html. Review and feedback on the plan is welcomed.

研究

NIOSHは、ナノテクノロジーの職場の安全衛生の側面での研究に関する戦略的計画を作成した。本計画は、www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/strat_plan.htmlで入手可能である。本計画に対するレビュー及びフィードバックを歓迎する。

Critical Research Topics

NIOSH has focused its research efforts in the following 10 critical topic areas to guide in addressing knowledge gaps, developing strategies, and providing recommendations.

Toxicity

- Investigating and determining the physical and chemical properties (ex: size, shape, solubility) that influence the potential toxicity of nanoparticles
- Evaluating short and long-term effects that nanomaterials may have in organ systems and tissues (ex: lungs)
- Determining biological mechanisms for potential toxic effects
- Creating and integrating models to assist in assessing possible hazards
- Determining if a measure other than mass is more appropriate for determining toxicity

Risk Assessment

- Determining the likelihood that current exposure-response data (human or animal) could be used in identifying and assessing potential occupational hazards
- Developing a framework for evaluating potential hazards and predicting potential occupational risk of exposure to nanomaterials.

Epidemiology & Surveillance

- Evaluating existing epidemiological workplace studies where nanomaterials are used
- Identifying knowledge gaps where epidemiological studies could advance understanding of nanomaterials and evaluating the likelihood of conducting new studies
- Integrating nanotechnology health and safety issues into existing hazard surveillance methods and determining whether additional screening methods are needed
- Using existing systems to share data and information about nanotechnology

Controls

- Evaluating the effectiveness of engineering controls in reducing occupational exposures to nanoaerosols and developing new controls where needed
- Evaluating and improving current personal protective equipment
- Developing recommendations to prevent or limit occupational exposures (ex: respirator fit testing)
- Evaluating suitability of control banding techniques where additional information is needed; and evaluating the effectiveness of alternative materials

Measurement Methods

- Evaluating methods of measuring mass of respirable particles in the air and determining if this measurement can be used to measure nanomaterials
- Developing and field-testing practical methods to accurately measure airborne nanomaterials in the workplace
- Developing testing and evaluation systems to compare and validate sampling instruments

Exposure & Dose

- Determining key factors that influence the production, dispersion, accumulation, and re-entry of nanomaterials into the workplace
- Assessing possible exposure when nanomaterials are inhaled or settle on the skin
- Determining how possible exposures differ by work process
- Determining what happens to nanomaterials once they enter the body

Safety

- Identifying current work practices that do not provide adequate precautions against exposures
- Recommending alternative work practices to eliminate or reduce workplace exposures.

Recommendations & Guidance

- Using the best available science to make interim recommendations for workplace safety and health practices during the production and use of nanomaterials
- Evaluating and updating occupational exposure limits for mass-based airborne particles to ensure good continuing precautionary practices

Communication & Education

- Establishing partnerships to allow for identification and sharing of research needs, approaches, and results
- Developing and disseminating training and educational materials to workers and health and safety professionals

Applications

- Identifying uses of nanotechnology for application in occupational safety and health
- Evaluating and disseminating effective applications to workers and occupational safety and health professional

重大な研究題目

NIOSH では、知識のギャップ解消に取組み、戦略を作成し、勧告を行う際に導きとなる次の 10 個の重大な題目分野に、研究の努力を集中させてきた。

- **毒性**：ナノ粒子の潜在的毒性に影響を与える物理的・化学的性質（たとえば、サイズ、形状、溶解度）の調査及び決定；ナノ材料が臓器系及び組織（例：肺）に与える可能性のある短期的・長期的効果の評価；潜在的毒性効果に関する生体メカニズムの決定；可能性のある危険性評価の際に役立つモデルの開発及び統合；質量以外の尺度が毒性決定により適しているかどうかの決定。
- **疫学及び調査**：ナノ材料が使用される作業環境の既存の疫学的研究の評価、疫学的研究が、ナノ材料の理解及び新たな研究を実行する可能性の評価を進展させる可能性のある知識のギャップの特定；ナノテクノロジーの健康及び安全に関する問題点の既存の危険性調査手法への統合及び追加の選別法が必要かどうかの決定；及び、ナノテクノロジーに関するデータ及び情報を共有する既存システムの使用。
- **リスク評価**：現在の暴露－反応データ（ヒトまたは動物）が、潜在的職業上の有害性の特定及び評価に使用できる可能性の決定；及び、潜在的危険性の評価及びナノ材料への潜在的職業性暴露の予測のための枠組みの開発。
- **測定方法**：空気中の呼吸可能な粒子の質量を測定する方法の評価及びこの測定がナノ材料の測定に使用できるかどうかの決定；作業環境での浮遊ナノ材料を正確に測定するための実用的方法の開発及び実地試験；及びサンプリング用計器を比較し、検証するための試験・評価システムの開発。
- **暴露及び用量**：ナノ材料の生産、分散、蓄積及び作業環境への再導入に影響を与える主要な要因の決定；ナノ材料が吸入される、あるいは、皮膚に定着した際の可能性のある暴露の評価；及びナノ材料がいったん体内に入ったときにナノ材料に何が起こるのかの決定。
- **管理**：作業者をナノエアロゾルから保護する際の工学的対策の有効性評価及びナノエ

アロゾルへの職業性暴露低減の新たな管理の開発、及び必要な場合は新たな管理の開発；現行の個人用保護具の評価及び改良；ナノエアロゾルからの職業性暴露の防止及び制限のための勧告の作成（たとえば、マスクのフィッティングテスト）；追加情報が必要な場合は、コントロールバンド手法の適合性評価；及び代替物質の有効性評価。

- **安全性**：暴露に対する適切な予防措置を講じていない現行の作業管理の特定；及び作業環境暴露の除去あるいは低減のための代わりとなる作業管理の推奨。
- **情報伝達及び教育**：研究のニーズ、アプローチ、及び結果の認識と共有を可能にするパートナーシップの確立；及び作業員及び衛生・安全専門家への研修・教育教材の開発及び普及。
- **勧告及びガイダンス**：ナノ材料の生産及び使用中の作業環境の安全衛生対策に関する暫定的勧告の作成に、利用可能な最善の科学を使用；良好な予防措置の実施方法の継続を確実にするために、質量に基づく浮遊粒子に対する職業性暴露限界の評価及び更新。
- **適用**：職場の安全衛生に適用するナノテクノロジーの使用を特定；及び作業員と職場の安全衛生の専門家への有効的な適用の評価及び普及。

References

- ACGIH [2001]. Industrial ventilation: a manual of recommended practice. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- Adams RJ, Bray D [1983]. Rapid transport of foreign particles microinjected into crab axons. *Nature* 303:718-720.
- Antonini JM [2003]. Health effects of welding. *Crit Rev Toxicol* 33(1):61-103.
- ASTM Subcommittee F23.40 [2003]. Standard test method for resistance of materials used in protective clothing to penetration by blood-borne pathogens using Phi-X174 bacteriophage penetration as a test system. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials, ASTM F1671-03.
- Balazy A, Toivola M, Reponen T, Podgorski A, Zimmer A, and Grinshpun [2006]. Manikin-Based Filtration Performance Evaluation of Filtering-facepiece Respirators Challenged with Nanoparticles, *Annals of Occupational Hygiene*.
- Baltensperger U, Gaggeler HW, Jost DT [1988]. The epiphaniometer, a new device for continuous aerosol monitoring. *J Aerosol Sci* 19(7):931-934.
- Barlow PG, Clouter-Baker AC, Donaldson K, MacCallum J, Stone V [2005]. Carbon black nanoparticles induce type II epithelial cells to release chemotaxins for alveolar macrophages. *Particle and Fiber Toxicol* 2, 14 pp [open access].

- Borm PJA, Schins RPF, Albrecht C [2004]. Inhaled particles and lung cancer, Part B: Paradigms and risk assessment. *Int J Cancer* 110:3–14.
- Brouwer DH, Gijssbers JHJ, Lurvink MWM [2004]. Personal exposure to ultrafine particles in the workplace: exploring sampling techniques and strategies. *Ann Occup Hyg* 48(5):439–453.
- Brown DM, Wilson MR, MacNee W, Stone V, Donaldson K [2001]. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicology and Applied Pharmacology* 175(3): 191–199.
- Brown JS, Zeman KL, Bennett WD [2002]. Ultrafine particle deposition and clearance in the healthy and obstructed lung. *Am J Respir Crit Care Med* 166:1240–1247.
- Brunauer S, Emmett PH, Teller E [1938]. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J Am Chem Soc* 60:309.
- Burton J [1997]. General methods for the control of airborne hazards. In: DiNardi SR, ed. *The occupational environment—its evaluation and control*. Fairfax, VA: American Industrial Hygiene Association.
- Castranova V [1998]. Particles and airways: basic biological mechanisms of pulmonary pathogenicity. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 13(8): 613–616.
- Castranova V [2000]. From coal mine dust to quartz: mechanisms of pulmonary pathogenicity. *Inhal Tox* 12(Suppl. 3): 7–14.
- CFR. Code of Federal regulations. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, Office of the Federal Register.
- Daigle CC, Chalupa DC, Gibb FR, Morrow PE, Oberdorster G, Utell MJ, Frampton MW [2003]. Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhalation Toxicol* 17(6):539–552.
- De Lorenzo AJD [1970]. The olfactory neuron and the blood–brain barrier. In *Taste and Smell in Vertebrates*. GEW Wolstenholme and J Knight, eds. CIBA Foundation Symposium Series. London: J&A Churchill, pp. 151–176.
- Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, Speizer BE [1993]. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med* 329(24):1753–1759.
- Donaldson K, Li XY, MacNee W [1998]. Ultrafine (nanometer) particle mediated lung injury. *J Aerosol Sci* 29(5–6):553–560.
- Donaldson K and Stone V [2003]. Current hypotheses on the mechanisms of toxicity of ultrafine particles. *Ann Ist Super Sanita* 39(3):405–410.
- Donaldson K, Tran L, Jimenez LA, Duffin R, Newby DE, Mills N, MacNee W, Stone V. [2005]. Combustion-derived nanoparticles: a review of their toxicology following inhalation exposure. *Part Fibre Toxicol.* 2:10, 14pp.
- Donaldson K, Aitken R, Tran L, Stone V, Duffin R, Forrest G, Alexander A. [2006] Carbon Nanotubes: a Review of Their Properties in Relation to Pulmonary Toxicology and Workplace Safety. *Toxicol Sci.* 92(1): 5–22.
- Driscoll KE [1996]. Role of inflammation in the development of rat lung tumors in response to chronic particle exposure. In: Mauderly JL, McCunney RJ, eds. *Particle overload in the rat lung and lung cancer: implications for human risk assessment*. Philadelphia, PA: Taylor & Francis:139–152.
- Duffin R, Tran CL, Clouter A, Brown DM, MacNee W, Stone V, Donaldson K [2002]. The importance of surface area and specific reactivity in the acute pulmonary inflammatory response to particles. *Ann Occup Hyg* 46:242–245.

Frampton MW, Stewart JC, Oberdorster G, Morrow PE, Chalupa D, Pietropaoli, Frasier LM, Speers DM, Cox C, Huang LS, Utell MJ [2006]. Inhalation of ultrafine particles alters blood leukocyte expression of adhesion molecules in humans. *114*(1):51–8.

Fuchs NA [1964]. *The mechanics of aerosols*. Oxford, England: Pergamon Press.

Gardiner K, van Tongeren M, Harrington M [2001]. Respiratory health effects from exposure to carbon black: results of the phase 2 and 3 cross sectional studies in the European carbon black manufacturing industry. *Occup Environ Med* *58*(8):496–503.

Gardner P, Hofacre K, Richardson A [2004]. Comparison of Simulated Respirator Fit Factors using Aerosol and Vapor Challenges, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, *1*(1), 29–38.

Garshick E, Laden F, Hart JE, Rosner B, Smith TJ, Dockery DW, Speizer FE [2004]. Lung cancer in railroad workers exposed to diesel exhaust. *Environ Health Perspect* *112*(15):1539–1543.

Geiser M, Rothen–Rutishauser B, Kapp N, Schurch S, Kreyling W, Schulz H, Semmler M, Im Hof V, Heyder J, Gehr P [2005]. Ultrafine particles cross cellular membranes by nonphagocytic mechanisms in lungs and in cultured cells. *Environ Health Perspectives* *113*(11):1555–1560.

Goldstein M, Weiss H, Wade K, Penek J, Andrews L, Brandt–Rauf P [1987]. An outbreak of fume fever in an electronics instrument testing laboratory. *J Occup Med* *29*:746–749.

Granier JJ Pantoya ML [2004]. Laser ignition of nanocomposite thermites. *Combustion Flame* *138*:373–382.

HEI [2000]. *Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality*. Cambridge, MA: Health Effects Institute.

Heim, M., Mullins, B, Wild, M, Meyer, J. And Kasper, G [2005]. Filtration Efficiency of Aerosol Particles Below 20 Nanometers, *Aerosol Science and Technology*, *39*: 782–789.

Heinrich U, Fuhst R, Rittinghausen S, Creutzenberg O, Bellmann B, Koch W, Levsen K [1995]. Chronic inhalation exposure of wistar rats and 2 different strains of mice to diesel–engine exhaust, carbon–black, and titanium–dioxide. *Inhal Toxicol* *7*(4):533–556.

Hinds WC [1999]. *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York: Wiley–Interscience.

Hoshino A, Fujioka K, Oku T, Suga M, Ssaki Y, Ohta T [2004]. Physicochemical properties and cellular toxicity of nanocrystal quantum dots depend on their surface modification. *Nano Lett* *4*(11):2163–2169.

HSE [2004]. *Horizon scannor information sheet on nanotechnology*. Sudbury, Suffolk, United Kingdom: Health and Safety Executive. www.hse.gov/pubns/hsin1.pdf.

Hunter DD and Dey RD [1998]. Identification and neuropeptide content of trigeminal neurons innervating the rat nasal epithelium. *Neuroscience* *83*(2):591–599.

Ibald–Mulli A, Wichmann HE, Kreyling W, Peters A [2002]. Epidemiological evidence on health effects of ultrafine particles. *J Aerosol Med Depos* *15*(2): 189–201.

ICRP [1994]. *Human respiratory tract model for radiological protection*. Oxford, England: Pergamon, Elsevier Science Ltd., International Commission on Radiological Protection Publication No. 66.