

## ナノマテリアル製造・取扱い作業現場におけるばく露防止のための呼吸用保護具の使用について

十文字学園女子大学 田中茂

(案)

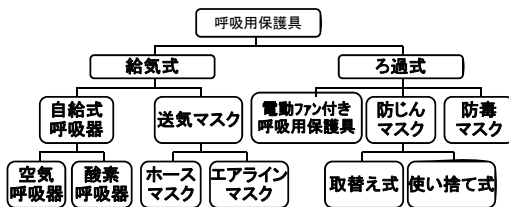
ナノマテリアル製造・取扱い作業現場に労働者を従事させる場合は、労働者に有効な呼吸用保護具を使用させなければならない。有効な呼吸用保護具とは、送気マスク等給気式呼吸用保護具、粒子捕集効率が99.9%以上の防じんマスク並びにJIS T8157に適合した面体形及びフード形の粒子捕集効率が99.9%以上の電動ファン付き粉じん用呼吸用保護具をいい、これらのうち、防じんマスクについては、国家検定に合格したものであること。

(参考) 石綿障害予防規則の施行について 第7章 保護具(1)第44条関係

本条の「呼吸用保護具」とは、送気マスク等給気式呼吸用保護具(簡易救命器及び酸素発生式自己救命器を除く。)、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。

## 1. 呼吸用保護具の種類

## 呼吸用保護具の種類



JIS規格：全て  
国家検定：防じんマスク、防毒マスクのみ

- ・通達：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。呼吸用保護具は[防じんマスクの規格\(昭和63年労働省告示第19号\)](#)に基づく国家検定に合格したもので、粒子捕集効率が99.9%以上のもの又はそれと同等以上のものを使用するのが望ましい。
- ・使用できる呼吸用保護具の範囲を広げてほしい

## 2. 防護係数を考慮した呼吸用保護具の選定

ナノマテリアルを取り扱う作業場においてリスクアセスメントを実施し、残留リスクが高ければ防護係数の、より高い呼吸用保護具を選定する必要がある。

・各保護具の防護係数(Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies. ISO/TC 229/N352 2008 参照)をもとに、保護具の特徴、写真を追加した資料を別途添付(表1)する。

**防護係数**：次式によってあらわされるもので、呼吸用保護具の防護性能を表す。

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

・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、作業者の曝露が少ない呼吸用保護具といえる。

$$PF=1 / (C_i / C_o)=1 / \text{全漏れ率}$$

・防護係数は呼吸用保護具の全漏れ率の逆数であるともいえる。(例えば、全漏れ率が5%であるということは、防護係数として20に相当する)

・防じんマスクでは、面体等の漏れ率及びフィルタの透過率から防護係数を求める。

$$PF = \frac{100}{L_a + L_b} \quad L_a: \text{面体等の漏れ率} (\%) \quad L_b: \text{フィルタの透過率} (\%)$$

**濃度倍率**：作業環境中に存在する有害物質の有害の程度

濃度倍率=作業環境中の有害物質の濃度/有害物質の曝露濃度限界濃度

- ・防護係数>濃度倍率となる呼吸用保護具を選定する必要がある。
- ・防護係数は呼吸用保護具を装着して、曝露限界濃度あるいは管理濃度等の基準値以下の曝露（マスク内の濃度）になるには、何倍までの環境濃度の範囲で使用できるか、と解釈できる。
- ・ナノマテリアルでは上記の基準値、および作業環境濃度、曝露濃度がわからないため、計算することができない。
- ・防護係数の高い呼吸用保護具を適切に使用すれば、作業者の曝露防護に対しては安全側であるといえる。
- ・残留リスクを考慮して呼吸用保護具を選定する際には、防護係数と作業性を考慮する。
- ・防じんマスクは他の呼吸用保護具に対して比較的小さい防護係数であることを考慮する。

JIS T8150:2006 呼吸用保護具の選択、使用及び保守管理方法より

表2 JIS T8150:2006 附表 呼吸用保護具の面体等の種類ごとの防護係数

呼吸用保護具の種類			面体等の種類	防護係数 <sup>(1)</sup>	
給気式	送気マスク	ホースマスク	肺力吸引形	半面形	10
			全面形	50	
		送風機形	半面形	50	
			全面形	100	
			フード形	25	
			フェイスシールド形	25	
		エアラインマスク	一定流量形	半面形	50
				全面形	100
				フード形	25
				フェイスシールド形	25
	デマンド形		半面形	10	
			全面形	50	
	プレッシャデマンド形		半面形	50	
			全面形	1000	
	デマンド形 (緊急時給気切替警報装置付き)	半面形	10		
		全面形	50		
	プレッシャデマンド形 (緊急時給気切替警報装置付き)	半面形	50		
		全面形	1000		
	複合式	デマンド形	半面形	10	
			全面形	50	
プレッシャデマンド形		半面形	50		
		全面形	1000		
自給式呼吸器	開放式	圧縮空気形	デマンド形	半面形	10
			全面形	50	
		プレッシャデマンド形	半面形	50	
			全面形	5000	
	循環式	圧縮酸素形	陰圧形	半面形	10
				全面形	50
			陽圧形	半面形	50
				全面形	5000
		酸素発生形		半面形	10
				全面形	50
ろ過式 <sup>(2)</sup>	動力なし		半面形	3~10	
			全面形	4~50	
	動力付き		半面形	4~50	
			全面形	4~100	
			フード形	4~25	
			フェイスシールド形	4~25	

注(1) 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。

(2) ろ過式の防護係数は、面体等の漏れ率[L<sub>m</sub>(%)]及びフィルタの透過率[L<sub>f</sub>(%)]から 100/(L<sub>m</sub>+L<sub>f</sub>)によって算出。

3. 石綿を取り扱う作業に使用する呼吸用保護具

石綿を取り扱う作業に使用する呼吸用保護具については、防護係数を参考にした呼吸用保護具の選定が推奨されている。

表3 石綿作業主任者テキストにおける呼吸用保護具の選定基準

作業レベル	呼吸用保護具		気中の石綿繊維濃度 (平均濃度)	
	区分	種類		
レベル1 (著しく発じん量が多い作業)	①	全面形のプレッシャードマンツ形複合式エアラインマスク	150 本/cm <sup>3</sup> 超	
	②	①区分の呼吸用保護具又は全面形のプレッシャードマンツ形エアラインマスク	15 本/cm <sup>3</sup> 超～ 150 本/cm <sup>3</sup> 以下 (管理濃度の1000倍)	
	③	①、②区分の呼吸用保護具又は面体形及びフード形の電動ファン付き呼吸用保護具、送気マスク（一定流量形エアラインマスク、送風機形ホースマスク）	7.5 本/cm <sup>3</sup> 超～ 15 本/cm <sup>3</sup> 以下 (管理濃度の100倍)	
レベル2 (発じんしやすい製品の除去等)	④	①、②、③区分の呼吸用保護具又は <b>全面形</b> の取替え式防じんマスク 粒子捕集効率99.9%以上 (RL3、RS3)	1.5 本/cm <sup>3</sup> 超～ 7.5 本/cm <sup>3</sup> 以下 (管理濃度の50倍)	
	⑤	①、②、③、④区分の呼吸用保護具又は <b>半面形</b> の取替え式防じんマスク 粒子捕集効率 <b>99.9%以上</b> (RL3、RS3)	1.5 本/cm <sup>3</sup> 以下 (管理濃度の10倍)	
	(より発じんの小さい場合)	⑥	①、②、③、④、⑤区分の呼吸用保護具又は <b>半面形</b> の取替え式防じんマスク粒子捕集効率 <b>95.0%以上</b> (RL2、RS2)	0.15 本/cm <sup>3</sup> 以下 (管理濃度以下)

管理濃度：0.15 本/cm<sup>3</sup>

4. 防じんマスクで使用するフィルタの捕集効率について（日本と米国の検定の比較）

日本の防じんマスクの捕集効率に関する検定試験条件及び性能分類と米国の検定機関（NIOSH）の試験方法、性能分類を下表に示す。日本の規格は米国規格を参考に作成された為、試験内容は類似したものになっている。

表4 防じんマスクの日本における性能試験規格と米国規格の比較

		国家検定規格		NIOSH 規格	
ろ過率試験	試験粒子	NaCl	DOP	NaCl	DOP
	粒径	CMD 0.06μm 以上 0.1μm 以下	CMD 0.15μm 以上 0.25μm 以下	CMD 0.075±0.020μm	CMD 0.185±0.020μm
	濃度	50mg/m <sup>3</sup> 以下	100mg/m <sup>3</sup> 以下	200mg/m <sup>3</sup> 以下	
	流量	85L/min		85L/min±5%	
	判定基準	100mg 供給させる間の最低値 RS3, DS3:99.9%以上 RS2, DS2:95.0%以上 RS1, DS1:80.0%以上	200mg 供給させる間の最低値 RL3, DL3:99.9%以上 RL2, DL2:95.0%以上 RL1, DL1:80.0%以上	200±5mg 堆積させる間の最低値 N100:99.97%以上 N99 :99%以上 N95 :95%以上	200±5mg 堆積させる間の最低値 P100, R100:99.97%以上 P99, R99:99%以上 P95, R95:95%以上
	前処理	なし	なし	温度 38±2.5℃、相対湿度 85±5%で 24±1 時間放置、10 時間以内に測定	

5. ナノマテリアルに対する防じんマスク用フィルタの捕集効率のランクの変更について

- ナノマテリアルに対する防じんマスクのフィルタの捕集効率の結果が報告され始めていることより、今後、使用するフィルタのランクについて判断することが望ましいと考える。
- 現段階では通達で示された捕集効率ランク 3 (99.9%以上) について変更しないことを提案する。

6. マスク面体と顔面とのフィットネス (密着性)

- 一般の粉じん職場で防じんマスクの装着が不十分のため、マスクをしていても曝露している事例を多くみかける。
- 現場的にはフィルタの捕集効率より、マスクの装着による漏れ率のほうが大きく、重要であると思われる。
- 今後、ナノマテリアルに対するマスク面体と顔面との漏れ率の測定を行う必要がある。
- 防じんマスクを選定する時、面体と顔面とのフィットチェックを行い、良好な面体を選び、毎回の装着時にも同様にフィットチェックを実施することが必要である。
- マスク面体と顔面との密着に関する漏れ率の測定、及びフィットチェックの必要性については、教育等で指導することを提案する。

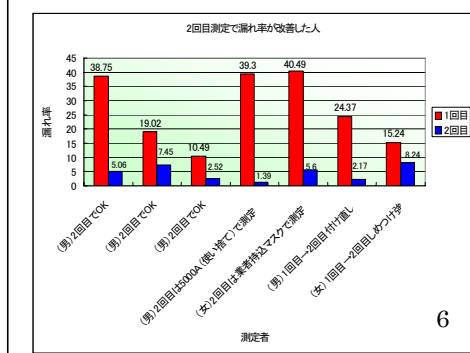
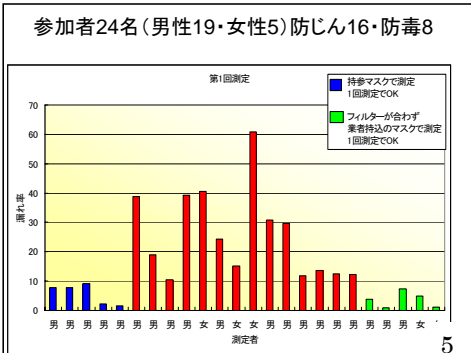
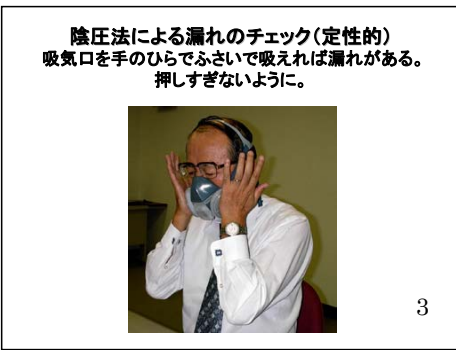
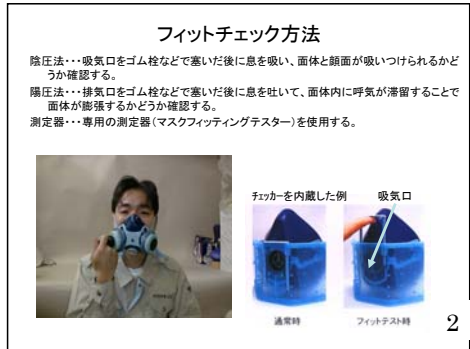
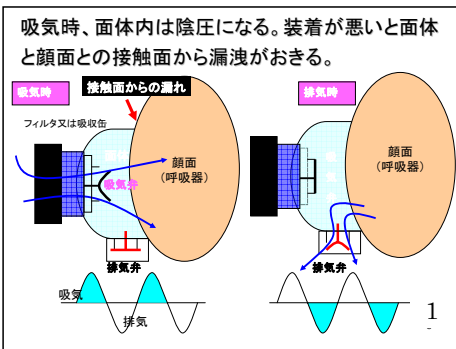
密着性試験方法

定性的な方法：陰圧法による試験



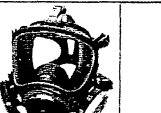





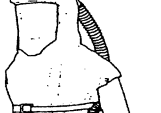
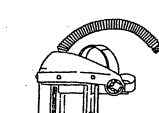
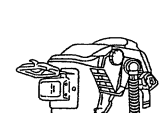
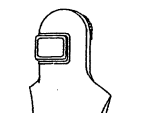

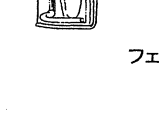
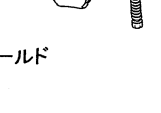



呼吸用保護具を装着して吸気口又は空気流入部をフィットチェッカー又は掌で閉鎖し、静かに吸気する。顔面との密着部分に空気の漏れが感じられず、面体内の圧力低下が感じられれば、顔面とのフィットネスは良好と考える。

定量的な方法：マスクフィッティングテスター (MT-03) を用いる方法

一般大気中の粉じんを利用して、マスク外側の粉じん濃度に対する内側の粉じん濃度を測定し、両者の比より漏れ率として表示する。一般の粉じん作業場では半面形防じんマスクでは、漏れ率 10%以内、全面形防じんマスクでは、漏れ率 2%以内を目標としていることが多い。



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)*	ANSI (Draft revision)	長所	短所	各マスクの概要(写真、絵)										
マスクの種類	使い捨て式	10	10	10	5	・軽量 ・安価 ・装着が容易	・取替え式に比較して密着性が低い ・フィットチェックが困難 ・酸欠では使用不可	各マスクの概要(写真、絵)	使い捨て式	取替え式(半面形)	取替え式(半面形)							
	半面形マスク	10	10	10	10	・軽量(使い捨て式よりは重い) ・比較的安価 ・装着が容易	・吸気時は面体内が陰圧 ・酸欠では使用不可											
	全面形	N,P,R 100を装着していない場合	50	10	100	50 <sup>d</sup>	・目の保護が可能		・吸気時は面体内が陰圧 ・酸欠では使用不可				ヘルメット/フード	ルーズフィット面体				
		N,P,R 100を装着している場合	50	50	100	50 <sup>d</sup>												
電動ファン付き呼吸用保護具	半面形	50	50	50	50	・吸気が容易 ・送風量が十分であれば面体内は陽圧 ・プロワー停止状態でも過式マスクになり得る。(作業は出来ない)	・作業時間に制限がある ・フィルタの目詰まりによっては、面体内圧が低下 ・期待する防護性能が得られない ・酸欠では使用不可	電動ファン付き呼吸用保護具(PAPR)									ヘルメット/フード	ルーズフィット面体
	全面形	1000	50	1000 <sup>b</sup>	1000	・吸気が容易 ・送風量が十分であれば面体内は陽圧 ・プロワー停止状態でも過式マスクになり得る。(作業は出来ない) ・目の保護が可能	・作業時間に制限がある ・フィルタの目詰まりによっては、面体内圧が低下 ・期待する防護性能が得られない ・酸欠では使用不可											
	ヘルメット/フード	25/1000 <sup>a</sup>	25	1000 <sup>b</sup>	1000	・吸気が容易 ・送風量が十分であれば面体内は陽圧 ・目の保護が可能 ・常用眼鏡の使用が可能	・作業時間に制限がある。 ・作業中にプロワーが止まると粉じんを吸引する可能性が高い。 ・フィルタの目詰まりによっては、面体内圧が低下 ・期待する防護性能が得られない ・酸欠では使用不可											
	ルーズフィット面体	25	25	25	25	・吸気が容易 ・装着が容易 ・目の保護が可能	・作業時間に制限がある。 ・作業中にプロワーが止まると粉じんを吸引する可能性が高い。 ・フィルタの目詰まりによっては、面体内圧が低下 ・期待する防護性能が得られない ・酸欠では使用不可											
送気マスク	デマンド形	半面形	10	10	10	・吸気が容易 ・酸欠環境でも使用可能	・作業範囲に制限がある ・吸気時は面体内が陰圧、但し陰圧度は防じんマスクほど低くない	送気マスク	プレッシャデマンド形エアラインマスクの例									
		全面形	50	50	100	・吸気が容易 ・酸欠環境でも使用可能 ・目の保護が可能	・作業範囲に制限がある ・吸気時は面体内が陰圧、但し陰圧度は防じんマスクほど低くない											
	一定流量形	半面形	50	50	50	250	・吸気が容易 ・送風量が十分であれば面体内は陽圧 ・酸欠環境でも使用可能 ・作業時間に制限がない		・作業範囲に制限がある ・長時間の作業では目の乾き、喉の渇きがある	全面形面体の例				フェイスシールド	フード			
		全面形	1000	50	1000	1000	・吸気が容易 ・送風量が十分であれば面体内は陽圧 ・酸欠環境及び有害物質が高濃度で発生する環境でも使用可能 ・作業時間に制限がない ・目の保護が可能		・作業範囲に制限がある ・長時間の作業では目の乾き、喉の渇きがある									
		ヘルメット/フード	25/1000 <sup>a</sup>	25	1000	1000	・吸気が容易 ・送風量が十分であれば面体内は陽圧 ・酸欠環境でも使用可能 ・作業時間に制限がない ・目の保護が可能 ・常用眼鏡が使用可能		・作業範囲に制限がある ・長時間の作業では目の乾き、喉の渇きがある									
		ルーズフィット面体	25	25	25	25	・吸気が容易 ・送風量が十分であれば面体内は陽圧 ・酸欠環境でも使用可能 ・作業時間に制限がない ・目の保護が可能		・作業時間に制限がある。 ・長時間の作業では目の乾き、喉の渇きがある ・他のALに比較して密着性が低い									
	プレッシャデマンド形	半面形	50	1000	50	250	・吸気が容易 ・安全性が高い(常に面体内は陽圧) ・酸欠環境及び有害物質が高濃度で発生する環境でも使用可能		・作業範囲に制限がある ・長時間の作業では目の乾き、喉の渇きがある									
		全面形	1000	2000	1000	1000	・吸気が容易 ・安全性が高い(常に面体内は陽圧) ・酸欠環境及び有害物質が高濃度で発生する環境でも使用可能 ・目の保護が可能		・作業範囲に制限がある ・長時間の作業では目の乾き、喉の渇きがある									
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	・	・	・吸気が容易 ・安全性が高い(常に面体内は陽圧) ※プレッシャデマンド形ALより安全 ・酸欠環境及び有害物質が高濃度で発生する環境でも使用可能 ・目の保護が可能 ・空気源が途絶した場合でもボンベからの吸気が可能	・作業範囲に制限がある ・長時間の作業では目の乾き、喉の渇きがある	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										
空気呼吸器	デマンド形	半面形	10	・	10	・	・吸気が容易 ・安全性が高い(常に面体内は陽圧) ・酸欠環境及び有害物質が高濃度で発生する環境でも使用可能	・作業時間に制限がある ・吸気時は面体内が陰圧、但し陰圧度は防じんマスクほど低くない	空気呼吸器	プレッシャデマンド形(全面マスク)の例								
		全面形	50	50	100	・	・吸気が容易 ・安全性が高い(常に面体内は陽圧) ・酸欠環境及び有害物質が高濃度で発生する環境でも使用可能 ・目の保護が可能	・作業時間に制限がある ・吸気時は面体内が陰圧、但し陰圧度は防じんマスクほど低くない										
		ヘルメット/フード	50	・	・	・	日本には無いので不明											
	プレッシャデマンド形	全面形	10000	10000	10000 <sup>c</sup>	10000 <sup>c</sup>	・吸気が容易 ・安全性が高い(常に面体内は陽圧) ・酸欠環境及び有害物質が高濃度で発生する環境でも使用可能 ・目の保護が可能	・作業時間に制限がある ・長時間の作業では目の乾き、喉の渇きがある										
ヘルメット/フード		10000	・	・	10000 <sup>c</sup>	日本には無いので不明												

\* 経営者は、これらの装置の試験結果、防護係数が1000或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。  
<sup>a</sup> 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  
<sup>b</sup> 緊急対策計画目的のためのみ  
<sup>c</sup> QNFT(定量的なフィットテスト)による、それ以外にAPF=10(QLTF:定性的なフィットテスト)  
<sup>d</sup> 2003年に無効にされた