

## 2) 焼却処分時

炭素系のナノ材料については、現在日本で使用されている焼却施設の性能(800℃以上、滞留時間2秒以上)では分解する可能性が高い。

このため、炭素系のナノ材料の処理については、確実に焼却処理が行われるよう措置する必要がある。

一方、金属系のナノ材料では熱分解は期待できず、一部はばいじんや燃え殻中に残存し、それら以外は大気中に放出すると考えられるが、集じん装置による捕集効率は現状では不明である。

焼却時の金属系のナノ材料の挙動(大きな粒子への焼結等)及び現状の集じん装置での除去の可能性についての検討が必要である。

## 3) ばいじん、燃え殻、排水処理汚泥、下水処理汚泥

焼却施設から発生するばいじん及び燃え殻、排水処理施設で発生する汚泥は、現状では溶融やセメント固化等の措置が実施され、その後の埋立処分時も含め環境中に放出される可能性は少ないであろう。

また、下水処理汚泥は焼却処理されることが多く、上記の焼却処分時の未確認事項(金属系のナノ材料の挙動及び集じん装置での捕集効率)を検討する必要がある。

## 4) 埋立処分時

埋立処分時には一般に覆土等の措置が実施されることから、適切な飛散防止策が取られる限りにおいて、大気中への再飛散はほとんどないであろう。

一方、ナノ材料の土壌中での挙動についてはほとんど知見がなく、埋立処分場からの浸出水にナノ材料が含まれるかは現状では不明である。この点について、実態確認を含めた検討が必要である。

## 5) 廃棄物の運搬時

ばいじんや燃え殻といった飛散しやすい廃棄物はもちろん、乾燥汚泥や不要となったナノ材料、使用済みフィルター、清掃に用いられた紙類や布類及び輸送に用いた袋類等では、運搬等の取扱方法によっては大気中に飛散する可能性がある。

これらの廃棄物の取扱いについては、飛散性の廃石綿の運搬における措置事例等(密閉化)が有効と考えられ、そのためにも、他の廃棄物と区別してナノ材料を含む廃棄物であることを表示することが必要である。

(参考9) 排気中のナノ材料の除去のためのフィルター

現状では、ナノ材料の除去に対応したフィルターの規格はないが、粒子状のナノ材料に関するフィルターの除去効率等については、以下のような情報がある。

表及び図に示すように「現状のHEPAフィルターはナノスケールの粒子の捕集に有効である」とした複数の報告がある(米国NIOSH(2006)、ドイツBAuA(2007)等)。

厚生労働省が2008年11月にとりまとめた「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報告書」でも、「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」とし、排気装置のフィルターについては、「排気からナノマテリアルが放出されないよう、ナノマテリアルを保守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」とされている。

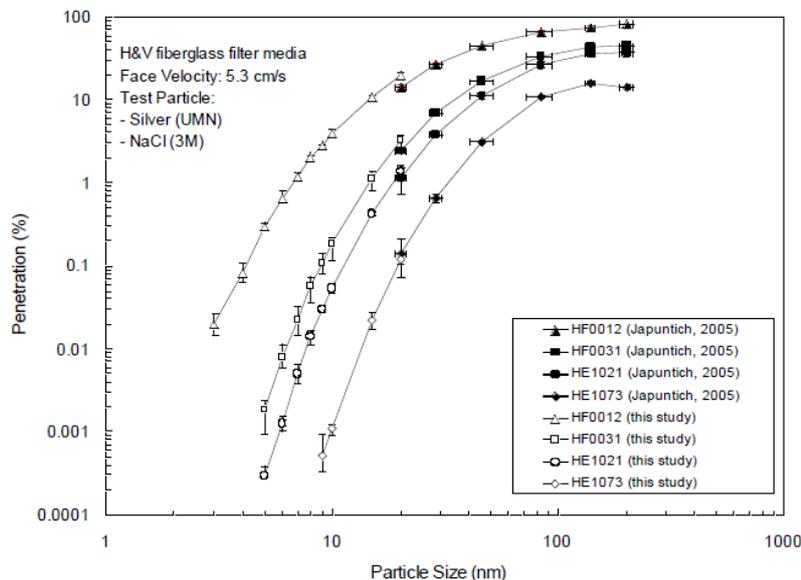


図 各種のフィルターの粒径別の透過率  
(Pui and Kim(2006)から引用)

表 試験に使用されたフィルターの種類 (Pui and Kim(2006)から作成)

フィルター (※)	HE1073	HE1021	HF0031	HF0012
DOP 透過率 (平均%) (0.3 μm at 5.3 cm/s)	12.8	39	45.8	79.9
有効繊維径 (μm)	1.9	2.9	3.3	4.9
有効孔径 (μm)	8.8	13.4	16.1	26.2

※: HE、HFはある会社のろ紙の規格記号で、HEは小さい粒子サイズに対応するHEPA領域に近いものであり、HFは標準的なHVACシステムと同程度のものである。

## (参考10) ナノ材料の管理方策に関する既存指針等における廃棄物の取扱い

ナノ材料の取扱事業場での廃棄物の扱いについての国外の複数の指針(米国DOE(2007年6月)、イギリス規格協会(BSI)(2007年12月)、ドイツBAuA(2007年8月))では、下記のような措置の実施を推奨している(OECDを含む国内外での検討状況については参考資料4を参照)。

- ナノ材料を含む廃棄物の区分
- ナノ材料を含む廃棄物の密封容器での保管
- ナノ材料を含む廃棄物の保管容器へのラベルの添付

また、日本では、厚生労働省が2008年2月に示した「ナノマテリアル製造・取扱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(基発第0207004号)」で、事業場からの廃棄物の扱いについて下記のように記載されている。

- 清掃に用いた布は袋に封入し適切に廃棄すること
- 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
- ナノ材料の付着した保護衣は事業場外に持ち出さないこと

なお、廃棄物の燃焼については以下の知見がある。

- 多層カーボンナノチューブの廃棄物は850°Cで最低2秒間の燃焼、あるいは物質の毒性に關与するナノ次元の構造を破壊するような科学的措置で無害化される。(イギリス(2008年5月))。
- 多層カーボンナノチューブ及び単層カーボンナノチューブは約500°C以上では空気中で容易に酸化する((独)物質・材料研究機構 web site 資料)。

※本ガイドライン案は1月27日に開催された検討会用資料であり、最終版ではありません

## 参考資料1 有害性に関する試験結果

対象物質	試薬の外形等	試薬の調整方法	試験生物	試験方法等	試験結果	出典
フラーレン(C60)		Tween80(界面活性剤、最終濃度1.0%)で分散	P53+/-マウス(9-11week)	$1 \times 10^6$ 個/匹(3mg/匹)(溶液として1mL)をマウスの腹腔内に投与(単回)。	フラーレン投与群及び対照群では腫瘍発生及び途中死亡は認められなかった。	Takagi et al.(2008)
フラーレン(C60,C60(OH)24)	C60(160±50nm)、C60(OH)24	水分散	ラット(CD(SD)IGSBR)	0.2,0.4,1.5,3.0mg/kgを肺に滴下注入(単回)。	どちらのフラーレンもばく露後1日で一過性の炎症と、細胞傷害を示したが、その他は水を滴下したものと差は無かった。C60を1.5,3mg/kgばく露したラットのBALの過酸化脂質がばく露1日、3ヶ月で増加。	Sayes et al.(2007)
フラーレン派生物(C60HxC70Hx)	30nm	THFを用いて分散	ミジンコ( <i>Daphnia magna</i> )	・17°C、12L:12D ・260ppbと2.0ppm	Hopping:+(増加)、拍動数:-、付属肢の活動:+(増加)、尾爪:-、回復状況:左記の有意に増加したものは全て回復した。	Lovern et al.(2007)
フラーレン(C60)	直径50-200nmで、平均直径95nm	同上	<i>Bacillus Subtilis</i> (グラム陽性菌)のCB310	低濃度:0.01mg/L、高濃度:0.75mg/L	低濃度(0.01mg/L)ばく露群で、iso-及びanteiso-分枝脂肪酸が有意に増加し、高濃度(0.75mg/L)ばく露群では1価不飽和脂肪酸が増加した。また、 <i>P. putida</i> とは異なり、相転送温度は低下し、膜の流動性は低下した。	Fang et al.(2007)
フラーレン(C60)	同上	同上	<i>Pseudomonas putida</i> (グラム陰性菌)のF1	低濃度:0.01mg/L、高濃度:0.5mg/L	不飽和脂質の減少、シクロプロパン脂肪酸の増加⇒酸化ストレスに対する保護の可能性。また、高濃度(0.5mg/L)ばく露群で、相転送温度の若干の上昇と増殖のための膜の流動性が増加した。	Fang et al.(2007)
フラーレン(C60)		同上	グラム陽性菌( <i>Bacillus subtilis</i> CB315)	作用濃度:0.04-4mg/L	0.4および4mg/Lで増殖が見られず、4mg/LでCO <sub>2</sub> 発生量が低下した	Fortner et al.(2005)
フラーレン(C60)		同上	グラム陰性菌( <i>Escherichia coli</i> DH5α)	同上	0.4および4mg/Lで増殖が見られず、4mg/LでCO <sub>2</sub> 発生量が低下した	Fortner et al.(2005)
フラーレン(C60)	水中の粒子サイズ:85nm	同上	大学内の土壌(きょう雑物を除去、4mmで篩)	・C60:1μg/mL/g soil	細菌及び細菌群集に対してほとんど影響はない(呼吸量、酵素活性等)	Tong et al.(2007)
フラーレン C60		同上及び水分散	ミジンコ( <i>Daphnia magna</i> )	ミジンコ急性遊泳阻害試験(US EPA プロトコル(EPA(1994)))	0.8ppm(THF分散、48hrEC50)、35ppm以上(水分散48hrEC50)	Zhu et al.(2006)
フラーレン(C60)	93nm	THFを用いて分散(20mgのC60)	同上	ミジンコ急性遊泳阻害試験(US EPA プロトコル(EPA(1994))) 作用濃度:40,180,260,350,440,510,700,880ppb	0.46ppm(EC50)、0.880ppm(EC100)、0.260ppm(LOEC)、0.180ppm(NOEC)	Lovern & Klaper(2006)
フラーレン(C60)	20-100nm	水中で30分以上超音波	同上	ミジンコ急性遊泳阻害試験(US EPA プロトコル(EPA(1994))) 作用濃度:0.2,0.45,0.9,2.25,4.5,5.4,7.2,9ppm	7.9ppm(EC50)、NA(9ppm以上)(EC100)、0.5ppm(LOEC)、0.2ppm(NOEC)	Lovern & Klaper(2006)
フラーレン(C60)	直径10-200nmの凝集物	水分散法(2ヶ月間以上スターラーで攪拌)	同上	ミジンコ急性遊泳阻害試験(US EPA プロトコル(EPA(1994)))	35ppm以上(48hrEC50)、35ppm以上(96hrEC50)、5ppm以上(21日間の遊泳阻害)	Oberdorster et al.(2006)
フラーレン(C60)	10-20nm	THFを用いて分散	同上	・17°C、12L:12D ・260ppbと2.0ppm	Hopping:+(増加)、拍動数:+(増加)、付属肢の活動:+(増加)、尾爪:-、回復状況:左記の有意に増加したものは全て回復しなかった。	Lovern et al.(2007)
フラーレン(C60)	直径10-200nmの凝集物	水分散法(2ヶ月間以上スターラーで攪拌)	Copepods(海底匍匐製の <i>Harpacticoid</i> )	作用濃度等:96hrLC50、3.75,7.5,15,22.5ppm	22.5ppm以上(96hrEC50)	Oberdorster et al.(2006)
フラーレン(C60)	同上	同上	ヨコエビ( <i>Hyalella</i> )	ミジンコ急性遊泳阻害試験(US EPA プロトコル(EPA(1994)))	7ppm以上(48hrEC50)、7ppm以上(96hrEC50)	Oberdorster et al.(2006)
フラーレン(C60)	同上	同上	メダカ	作用濃度:0.5ppmで96hr、投餌(1ppmでも試験をしたが、ここでは掲示しない)	0.5ppm以上(mRNAの損傷)	Oberdorster et al.(2006)
フラーレン(C60)	同上	同上	Fatheadminnow	作用濃度等:試験前96hr無投餌、0.5ppmで96hrばく露、試験中は無投餌、24hr及び72hrに半量ずつ換水	0.5ppm以上(mRNAの損傷)	Oberdorster et al.(2006)
フラーレン(C60)		同上	同上	作用濃度:0.5ppm	脳の過酸化脂質濃度を上昇させ、鯉中の過酸化脂質濃度は有意に増加した。また、肝臓中のCYP2の一群の酵素はコントロールに比べて有意に増加した	Zhu et al.(2006)
フラーレン(nC60)	不定形、平均サイズ約100nm	ベンゼンに溶解⇒THF溶液へ⇒200mLのアセトン(スターラーで攪拌)に滴下⇒蒸留水をゆっくり添加⇒75°Cで加熱濃縮	ゼブラフィッシュ(実験室で産卵した二世代目の受精卵(受精後1.5時間以内))	作用濃度:1.5mg/L、ばく露時間:最大96hr	nC60 1.5mg/Lは生残率を低下させた。また鰵の孵化率を低下させた。毒性は抗酸化剤で緩和された	Zhu et al.(2007)
フラーレン(C60)	溶液中で30-100nmの安定した凝集物	THFを用いて分散	オオクチバス幼魚(体重5.3±2.0g)	0.5mg/L 48時間	脳の過酸化脂質濃度、鯉の過酸化脂質濃度及び鰵の総グルタチオンで有意な差が確認された。	Oberdorster (2004)
水溶性フラーレン(C60(OH)22-24)		THFを用いて分散	グラム陰性菌( <i>Escherichia coli</i> DH5α)	作用濃度:5mg/L	顕著な影響は認められなかった。	Fortner et al.(2005)
水溶性フラーレン(C60(OH)22-24)		同上	グラム陽性菌( <i>Bacillus subtilis</i> CB315)	作用濃度:5mg/L	顕著な影響は認められなかった。	Fortner et al.(2005)
水溶性フラーレン(C60(OH)22-24)	不定形、平均サイズ約100nm	10mgを100mLの精製水(Milli-Q)に溶解(100mg/L)	ゼブラフィッシュ(実験室で産卵した二世代目の受精卵(受精後1.5時間以内))	作用濃度:50mg/L、ばく露時間:最大96hr	50mg/L以上	Zhu et al.(2007)
ポリスチレン(蛍光)	39.4nmφ(写真で見える限りは球形)		シースルーメダカ( <i>Oryzias latipes</i> 、ST II ストレイン)	蛍光粒子1mg/Lを3日間接触	39.4-42000nmの粒子は卵膜に吸着し、油球に蓄積する。39.4nmの粒子は卵黄及び胆のうに蓄積した。39.4nmの溶液(10mg/L)中においた場合、成魚のメダカでは鰵及び消化管に多く分布した。また、ナノ粒子は脳、精巣、肝臓、血液に観察された。雄及び雌のメダカの血中のナノ粒子の濃度は血中蛋白質あたり16.5及び10.5ng/mgであった。これらの事実はナノ粒子は脳血液関門を通過し脳に到達することを示している。	Kashiwada(2006)
ポリスチレン(蛍光)	球形、39.4nm		同上	作用濃度:1mg/L(3日間接触)	塩分依存性の急性毒性が確認された(コントロール及び異なるナノ粒子濃度については不明)	Kashiwada(2006)

※本ガイドライン案は1月27日に開催された検討会用資料であり、最終版ではありません

## 参考資料 1 有害性に関する試験結果 (続き)

対象物質	試薬の外形等	試薬の調整方法	試験生物	試験方法等	試験結果	出典	
MWCNT	MWCNT(20~40nm×220、825nm)	20mgMWCNTを400mLエタノールで1時間超音波処理	ラット(Wistar、雄、6週齢)	in vivo 0.1mg/匹、4週間皮下埋め込み。	ラット皮下組織では、長さ220nmの方が炎症反応が弱かった。	Sato et al.(2005)	
MWCNT	MWCNT(精製品、粉砕物)	Tween80を1%添加0.9%生理食塩水、超音波処理	ラット(SD、雌、200~250g)	MWCNTを0.5、2、5 mg、1回気管内注入投与。	MWCNTの毒性は濃度依存性を示し、炎症反応と肉芽腫形成を示した。60日後にも肺に残存し、2ヶ月後肺にコラーゲンリッチな肉芽腫腫瘍発生。60日後にも肺に残存した。	Miller et al.(2005)	
MWCNT	MWCNT(平均50nm×10μm、95%純度、表面積280m <sup>2</sup> /g)	生理食塩水(Tween80 1%添加)、超音波処理	マウス(kunming マウス、雌、30g、10週齢)	肺に滴下注入。MWCNTエアロゾルを吸入チャンバーで6時間/日ばく露を5日間、10日間、15日間ばく露。	MWCNTの肺動脈における凝集は気管支より少ない。注入16日後までは肺動脈にMWCNT沈着があるが炎症はない。24日目には炎症が引き起こされていた。	Li et al.(2007)	
MWCNT	15層、平均内径5.1±2.1nm、5.2±1.5nm、平均外径11.3±3.9nm、9.7±2.1nm	15分超音波処理、1分以下のポルテックス	スイスマウス(雄、雌、40~45g)	200~400μgをシリンジで気管内注入後、空気を50μL注入。	CNTによって引き起こされる肺の炎症は弱く一過性だが、速やかなP-セレクチン依存的な全身性炎症が認められた。白血球の活性化により凝集原活性化を誘発し、血栓形成を促進すると考えられた。	Nemmar et al.(2007)	
MWCNT(tang1~4の4種類)	tang1:14.84nmφ、1-5μmL、tang2:10.4nmφ、5-20μmL、long1:84.89nmφ、平均13μmL、long2:165.02nmφ、最大56μmL		C57Bl/6S/マウス♀(8weeks)	各50μg/匹、腹腔内注射	長いアモサイトおよびlong1、long2では24hrおよび7日後に炎症を示すタンパク総量と多核白血球の増加、および横隔膜での巨大異型細胞や病変部の面積が明らかに増加した。他の粒子ではほとんど変化は認められなかった。	Poland et al.(2008)	
MWCNT	MWCNTの粒子密度:3.55×1011個/g	Tween80(界面活性剤、最終濃度1.0%)で分散	P53+/-マウス(9-11week)	・1×10 <sup>9</sup> 個/匹(3mg/匹)(溶液として1mL)をマウスの腹腔内に投与(単回)。 ・上記の操作を、MWCNTおよびフラーレン、クロソライトについて実施	p53(+/-)マウスにおいてMWCNTの腹腔内投与により25週後までに中皮腫が惹起された。中皮腫の発生は、MWCNT投与群においては、全体を通じての発生率は14/16(87.5%)で、クロソライト投与群では14/18。大きな線維性癒着/肉芽(granulation)の中に、凝集塊が包み込まれていることが認められた。また、MWCNT及びクロソライトの分散した繊維が線維化病変部の細胞外に、又は食細胞によって貪食された像として認められた。	Takagi et al.(2008)	
MWCNT		2%CMC(カルボキシメチルセルロース溶液)に懸濁(0.5mg/mL、1.0mg/mL)	Fischer 344系雄性ラット(12週齢、体重250-300g)	・陰嚢内に単回投与 一実験1:MWCNT=1.0mg/kg×7尾、クロソライト=2.0mg/kg×10尾、52週間後までに解剖、観察 一実験2:MWCNT=2.0mg/kg×7尾、30週間までに解剖、観察	クロソライト群では52週まで無死亡、中皮腫の発生はなし。MWCNTでは52週までに6/7例で死亡、血性腹水、大小の白色結節が腹膜に播種状に分布、一部腹腔内にも観察。中皮細胞の肥大及び随所に大小の結節性ないし乳頭状の中皮腫が観察された。結論として、MWCNTは発がん性を有し、雄性ラットの陰嚢内単回投与で26週間までに発ガン過程が開始され、52週間以内に高頻度で中皮腫を発生する。	坂本ら(2008)	
MWCNT、N-dopedMWCNT	MWCNT(長さ50nm以下)、N-dopedMWCNT(30~50nm×100~300μm)	PBS	マウス(CD1系C.129S2-Cd1tm1Gru)、雄、4週齢	単回、1、2.5、5mg/kg、鼻腔、経口、気管、腹腔投与。投与後24、48、72時間、7日後に解剖	N-dopedMWCNTよりMWCNTの方が毒性が高かった。	Carrero-Sanchez et al.(2006)	
MWCNT	直径30-70nm	溶媒に分散させたMWCNTを底泥に混入	オヨギゴカイ( <i>Lumbriculus variegatus</i> )	作用濃度:0.37mg/g乾泥、0.037mg/g乾泥(泥に混入前に超音波で分散) 底泥(有機炭素含有率0.66%):ピート(有機炭素含有率45.1%)=9:1で混合したものを底泥として水槽に数く	試験生物の有意な死亡率の増加はなかった 濃縮率:0.40±0.1	Petersen et al.(2008)	
SWCNT	SWCNT(1.4nm×1μm)	PBS	ラット(Crl:CD(SD)IGS BR、雄、8週齢、240~255g)	0、1、5mg/kg、24時間、1週間、1ヶ月、3ヶ月肺に滴下注入ばく露。BAL検査	5mg/kgばく露群は24時間以内の死亡率は~15%であった。SWCNTによって引き起こされた多発性肉芽腫にはいくつかの矛盾がある	Warheit et al.(2004)	
SWCNT	SWCNT(2nm×0.5~40μm)	生体適合性非イオン性界面活性剤(PurionicF-68(BASF Corp)とPBS液調。ウェットミル5分	ラット(CDF(F344)/CrIBR、雌、6週齢)	2mg/kgを口咽頭吸入	ばく露後1日、21日後はBALでは明確な炎症反応はみられなかったが、21日後の肺に局所的な小さな間質性線維性病変があった。	Mangum et al.(2006)	
SWCNT	SWCNT(CNI社)	PBS、3分超音波処理	マウス(C57Bl/6、雄、2、3ヶ月齢)	10~40μg/匹、咽頭に滴下単回ばく露。	大動脈ミトコンドリアグルタチオン量、蛋白カルボニル化活性の変化に伴うmtDNAダメージ有り。ApoE-ノドランスジェニックマウスで、アテローム性動脈硬化症の進行を増強する。しかしマウスの脂質組成は変化しなかった。	Li et al.(2007)	
SWCNT	SWCNT(長さ1~4nm、表面積1040m <sup>2</sup> /g)	PBS	マウス(C27BL/6、雌、7~8週齢)	SWCNTを0~40μg/匹咽頭経口で肺にばく露。 SWCNTは5mg/m <sup>3</sup> 、8時間/日。	BALの炎症細胞、炎症サイトカイン、蛋白質の迅速な増加により、SWCNTが急性炎症反応を起こすことを示した。SWCNTのマクロファージとの反応性の低さから、炎症は一過性と考えられた。	Shvedova et al.(2005)	
SWCNT	未精製・精製CNT(Rice大学)	剪断2分、超音波処理0.5分。熱処理したマウス血清に懸濁	マウス(B6C3F1、雄、2ヶ月齢)	2mg/mL(0.1mg)、10mg/mL(0.5mg)気管内ヘカテール挿入により注入、ばく露後7日、90日に解剖	肺に用量依存性の間質性肉芽腫が認められた。CNTが肺に到達した場合カーボンブラックより有害性が強い。	Lam et al.(2004)	
SWCNT			微小コペボダ( <i>Amphiscus tenuiremis</i> )	ASTM E-2317-04 作用濃度:0.058、0.97、1.6、10 mg/L	最大10mg/Lまで生率に影響はなかった。精製しなかったSWCNTではやや影響が認められた	Templeton et al.(2006)	
SWCNT			同上	同上	純粋化したSWCNTは成長には影響がなかった。精製しなかったSWCNTではやや影響が認められた	Templeton et al.(2006)	
SWCNT	SWCNT	溶媒に分散させたSWCNTを底泥に混入	オヨギゴカイ( <i>Lumbriculus variegatus</i> )	作用濃度:0.03mg/g乾泥、0.003mg/g乾泥(泥に混入前に超音波で分散) 底泥(有機炭素含有率0.66%):ピート(有機炭素含有率45.1%)=9:1で混合したものを底泥として水槽に数く	有意な死亡率の増加はなかった 濃縮率:0.28±0.03	Petersen et al.(2008)	
SWCNT	1.1nmφ外径、5-30μmL	3g/L SDS(Sodium dodecyl sulphate)⇒超音波(2時間、35kHz)	ニジマス未成魚(30.0±5.0g)	試験前1日及び試験期間中は無投餌	作用濃度:0.1、0.25、0.5	鰓の病理(水腫、粘液細胞の変化・過形成)が確認された。鰓、消化管でのNa <sup>+</sup> K <sup>+</sup> ATPaseの有意な増大(ただし、脳、肝臓では変化はない)。鰓と肝臓でのグルタチオンレベルの増加(脳と消化管のグルタチオンは変化なし)	Smith et al.(2007)
SWCNT	同上	同上	同上	同上	同上	粘液の排泄及びいらいら状態(irritation)。鰓の活動量は投与量に比例して増大。鰓の病理(水腫、粘液細胞の変化・過形成)が確認された。SWCNTの混じった粘液の排泄の確認。	Smith et al.(2007)
SWCNT(酸化SWCNT=水溶性)	直径2-10nm、長さ500nm未満	100nmのフィルターでろ過し、精製水に再懸濁させて1hr超音波。遠心分離(22000g,5hr)により大きな粒子を除去	繊毛虫(原生動物)( <i>Tetrahymena thermophyla</i> )	作用濃度:0-17.2μg/mL(ばく露濃度は明記されていないが、文中から0、1.6、6.8、11.9、17.2μg/mLの5段階はある)	11.9μg/mLで、試験直後に全ての生物が凝集、運動の消失が観察され、その後再活動個体もあるが徐々に死亡も確認され、液が暗くなっていく。6.8μg/mLでは、当初の凝集は生じるが、3日後でも運動の消失は生じない。凝集の程度、運動消失の程度、死亡は1.6-11.9μg/mLの範囲では濃度の上昇とともに増加する。CB試験で見た摂餌能力では、3.6μg/mL以上で摂餌能力が確認できなかった(1.8μg/mL以下では対照と同等の摂餌能力が確認された)	Ghafari et al.(2008)	
SWCNT(脂質でコーティングしたもの)	直径:約1.2nm 平均分子量:106 Da	CNTを脂質(Lysophosphatidylcholine)でコートした	ミジンコ( <i>Daphnia magna</i> )	ミジンコ急性遊泳阻害試験(US EPA プロトコル(EPA)(1993)) (毎日投餌、水交換)	5mg/L以下では死亡率0%、10mg/Lで死亡率20%、20mg/Lで死亡率100%。ミジンコは脂質でコートしたSWCNTを摂食し、脂質部分を消化した。	Roberts et al.(2007)	
同上	同上	同上	同上	同上	ミジンコ急性遊泳阻害試験(US EPA プロトコル(EPA)(1993)) (毎日投餌、非水交換)	0.5mg/L以上で死亡率が増大したが(2.5mg/Lで約60%死亡)、0.5mg/L以下でも濃度が低下するほど死亡率が増大した。ミジンコは脂質でコートしたSWCNTを摂食し、脂質部分を消化した。	Roberts et al.(2007)

※本ガイドライン案は1月27日に開催された検討会用資料であり、  
最終版ではありません

## 参考資料1 有害性に関する試験結果 (続き)

対象物質	試薬の外形等	試薬の調整方法	試験生物	試験方法等	試験結果	出典
TiO <sub>2</sub>	uf-A: 136.0nm, uf-B: 149.4nm, uf-C: 140.0nm, 対照超微粒子: 129.4nm, 微粒子TiO <sub>2</sub> : 約380nm	水分散及びPBS(phosphate buffered saline)分散	Salmonella typhimurium strains TA98, TA100, TA1535, and TA1537 and Escherichia coli strain	遺伝子毒性試験(復帰突然変異試験)(OECDテストガイドライン471)	陰性	Warheit et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	同上	同上	Chinese hamster ovary (CHO) cells (Aroclor-induced rat liver S9の有無の両者)	遺伝子毒性試験(染色体異常試験)(OECDテストガイドライン473)	陰性	Warheit et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	29nm, 250nm	PBS, 超音波処理	マウス(BALB/cANNCrI, 雌, 6~8週齢)	鼻腔に0日目、1日目、2日目の3回、総投与量ナノ粒子200μgおよびオボアルブミン30μgを投与(オボアルブミン、オボアルブミン+ナノ粒子)。	小さくて、表面積の大きい粒子は、アジュバンド効果を示した	de Haar et al.(2006)
TiO <sub>2</sub>	粒子サイズ5nm, 表面積210 ± 10 m <sup>2</sup> /g	噴霧チャンパー使用	マウス(C57Bl/6, 雄, 6週齢, 22~25g)	急性毒性4時間/1回, 亜急性毒性4時間/日を10日チャンパーで全身ばく露(2.5mg/Lを25L/minばく露)。LDH, BAL 検査	8.88 mg/m <sup>3</sup> ばく露後1~2週間でBALの肺胞マクロファージ数増加。ばく露後3週間で回復。そのほかの毒性指標に影響は認められなかった。	Grassian et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	80, 25 nm	HPMC 溶液、15~20分超音波処理	マウス(CD-1, 雌雄40匹ずつ, 19 ± 2g)	TiO <sub>2</sub> を5g/kg体重、1回から経管投与。2週間観察。対象に155nmTiO <sub>2</sub> を投与	BUN(腎臓影響有り)、血清LDH, αHBDH(心筋障害)。肝臓の病理学(中心性静脈部の肝細胞ネクロシス)。心臓、肺、睾丸(卵巣)、および脾臓組織には病理学的異常なし。肝臓に一番蓄積。脾臓、腎臓、肺組織に蓄積。	Wang et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	Rutile crystal phase, 19~21nm, 表面積50 ± 15m <sup>2</sup> /g	生理食塩水、培養液、超音波処理	マウス(ICR, 雄, 2ヶ月齢, 30g)	0.1, 0.5mg/匹, 単回、マウス気管内投与、ばく露後3日, 1週間, 2週間の肺検査。	肺気腫、マクロファージ浸潤、肺胞隔壁破壊、タイプII肺胞細胞の肥厚化、上皮細胞アポトーシスなどが0.1mgばく露で見られた。100以上の遺伝子発現に変化があった。	Chen et al.(2006)
TiO <sub>2</sub>	3nm, 20nm	水、15分超音波処理	マウス(Kunming マウス, 雄, 7週齢)	ナノ粒子0.4, 4, 40mg/kg, 肺に注入ばく露、ばく露後3日目にBAL試験	急性毒性は3nmのTiO <sub>2</sub> では0.4mg/kgのばく露では現れず、4mg/kgでわずかに毒性が表れ、40mg/kgで肺に負荷がかかった。	Li et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	平均粒径0.29 μm, BSA コートTiO <sub>2</sub>		ラット(SD, 雄, 7週齢)	ラットに4mgのTiO <sub>2</sub> を気管内注入ばく露し肺組織解析。	TiO <sub>2</sub> ばく露群は、マクロファージ遊走阻止因子(MIF)に関連するmRNAを増加させた。MIFはTiO <sub>2</sub> ばく露後48時間で気管支上皮細胞に発現し、肺全体で発現増加した。	Cha et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	uf-A: 136.0nm, uf-B: 149.4nm, uf-C: 140.0nm, 対照超微粒子: 129.4nm, 微粒子TiO <sub>2</sub> : 約380nm	PBS, 15分超音波処理	ラット, ウサギ	急性毒性: OECDガイドライン429(局所リンパ節検定) 皮膚刺激性: 同404, 目刺激性: 同405	急性毒性(局所リンパ節検定): 低い(EC3が算出できなかった)、皮膚刺激性: 少ない、眼刺激性: 発赤	Warheit et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	同上	同上	ラット, ウサギ	急性経口毒性: OECDガイドライン425(急性経口毒性)	急性毒性(経口): 低い(5000mg/kg以上)	Warheit et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	同上	水分散及びPBS(phosphate buffered saline)分散	藻類	藻類生長阻害試験(OECDテストガイドライン201)	中程度の影響	Warheit et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	粒子径: 25nm(主にアナターゼ)	500mLの脱イオン水に10gのTiO <sub>2</sub> を添加し、19hr室温で攪拌(スターラーによる)	藻類( <i>Desmodesmus subspicatus</i> )	藻類生長阻害試験(ISO8692, OECD201, DIN38412-33) 作用濃度: 0, 3.1, 12.5, 25, 50 mg/L	50%影響濃度は44mg/L	Hund-Rinke & Simon(2006)
TiO <sub>2</sub>	同上	2000gを1hr遠心分離⇒沈殿物を500mLの脱イオン水に再分散⇒24hr攪拌⇒遠心分離して55°Cで乾燥。	同上	藻類生長阻害試験(ISO 8692の改法) 作用濃度: 0, 3.1, 12.5, 25, 50 mg/L	50mg/L以上	Hund-Rinke & Simon(2006)
TiO <sub>2</sub>	同上	同上	ミジンコ( <i>Daphnia magna</i> )	同上	短時間の強い照明(250W, 30分)をした実験では、照明をしなかった場合よりも影響が大きくなった(図からは)短時間の強い照明をしなかった実験では3mg/Lまでは影響は認められなかった。(図からは)粒子径25nmのものが100nmのものよりも影響が大きい	Hund-Rinke & Simon(2006)
TiO <sub>2</sub>	同上	500mLの脱イオン水に10gのTiO <sub>2</sub> を添加し、19hr室温で攪拌(スターラーによる)	同上	ミジンコ急性遊泳阻害試験(ISO6341, OECD202, DIN38412-30) 作用濃度: 0, 3.1, 12.5, 25, 50 mg/L	短時間の強い照明(250W, 30分)をした実験では、照明をしなかった場合よりも影響が大きくなった。(図からは)粒子径25nmのものが100nmのものよりも影響が大きい	Hund-Rinke & Simon(2006)
TiO <sub>2</sub>	100-500nm	水分散: 水中で30分以上超音波	同上	ミジンコ急性遊泳阻害試験(US EPA プロトコル(EPA(1994))) 作用濃度: 50, 200, 250, 300, 400, 500ppm	500ppm以上(EC50), 500ppm以上(EC100), 500ppm以上(LOEC), 500ppm以上(NOEC)	Lovern & Klaper(2006)
TiO <sub>2</sub>	10-20nm	THFを用いて分散	同上	+17°C, 12L-12D +260ppbと2.0ppm	Hopping: -, 拍動数: -, 付属肢の活動: -, 尾爪: -, 回復状況: -	Lovern et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	uf-A: 136.0nm, uf-B: 149.4nm, uf-C: 140.0nm, 対照超微粒子: 129.4nm, 微粒子TiO <sub>2</sub> : 約380nm	水分散及びPBS(phosphate buffered saline)分散	同上	ミジンコ急性遊泳阻害試験(OECDテストガイドライン202)	影響は小さい	Warheit et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	同上	同上	ニジマス	魚類急性毒性試験(OECDテストガイドライン203)	影響は小さい	Warheit et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	平均の直径: 21nm, 比表面積 50 ± 15m <sup>2</sup> /g	超音波(6時間, 35kHz, 毎日の投与前に30分の超音波)	ニジマス未成魚(28.1 ± 0.4g) 試験前1日及び試験期間中は無投餌	作用濃度(mg/L): 0.1, 0.5, 1.0	鰓の膜の水腫及び肥厚が認められた。ヘマトクリットの血液性状や組織のNa <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> 濃度では変化がなかった。組織の金属濃度(Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mn)は変化がなかった。ただ、CuとZnについては特に脳において濃度依存の傾向が見られた。Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> ATPase活性は、鰓及び消化管では顕著に減少し、脳においては減少の傾向が認められたが、肝臓ではそのような傾向はなかった。鰓のグルタチオン濃度は有意に増加したが、脳及び消化管ではそのような変化はなかった。	Federici et al.(2007)
TiO <sub>2</sub>	同上	同上	同上	同上	試験後半では粘液を放出するものが多かった。 1.0mg/Lの試験区では試験の後半で位置を喪失する(水中で縦になる)ものがあり、浮力調節に異常をきたしていた。が、それ以外の異常な行動はなかった。	Federici et al.(2007)

※本ガイドライン案は1月27日に開催された検討会用資料であり、最終版ではありません

## 参考資料1 有害性に関する試験結果 (続き)

対象物質	試薬の外形等	試薬の調整方法	試験生物	試験方法等	試験結果	出典
銀ナノ粒子	平均長径(nm) 低ばく露量群 11.93±0.22、中ばく露量群 12.4±0.15、高ばく露量群 14.77±0.11	ドライパウダー	ラット(SD、8週齢、雄283g、雌192g)	28日間(4週間)、6時間/日で5日/週ばく露。ばく露量1.73×10 <sup>4</sup> 個/cm <sup>3</sup> 、1.27×10 <sup>5</sup> 個/cm <sup>3</sup> 、1.32×10 <sup>6</sup> 個/cm <sup>3</sup> (61μg/m <sup>3</sup> )を噴霧チャンバーでばく露	28日ばく露後、肺組織中の銀の量は、ばく露量に比例していた。体重、血液生化学指標に有意差は認められなかった。	Ji et.al.(2007)
銀ナノ粒子(デンプン溶液を加えてデンプンでコートしたもの)	粒子径:5-20nm、形状はTEM画像ではほぼ球形	攪拌(2時間)のみ	ゼブラフィッシュ( <i>Danio rerio</i> )の胚	作用濃度:5,10,25,50,100μg/mL	銀ナノ粒子の濃度の増加につれ、卵は茶色に着色し、粘膜で覆われた。また、DAPI染色観察では卵内の液中への拡散の流出が確認された。50%死亡率は25-50μg/mLの間にあった。(図からは)孵化率の50%影響は50-100μg/mlの間にある	Asharani et.al.(2008)
銀ナノ粒子(BSE(bovine serum albumin)でコートしたもの)	同上	超音波(分散前に銀ナノ粒子を遠心分離して還元剤やBSAを除去)	同上	同上	50%死亡率は25-50μg/mLの間にあった。(図からは)孵化率の50%影響は50-100μg/mlの間にある	Asharani et.al.(2008)
銀ナノ粒子	直径11.6±3.5nmの球形の粒子(試験時の観察では最終的に5-46nm)		同上	不明(右の記載から最低でも20.52ng/Lの用量はある)	銀ナノ粒子は胚のchorion pore canals(絨毛膜の裂孔)通して胚に入り込む。その運動はブラウン運動のような動きで能動的なものではない。chorion pore canalsの拡散係数は大きいですが、胚の内部では小さくなり拡散は抑制される。銀ナノ粒子は正常に発達した胚や死亡した胚等にすべて見られ、影響の出現は濃度依存であると思われる、その限界は0.19nMであった(20.52ng/L)。他の粒子と異なり、銀ナノ粒子は光学的に確認できるので、生体内の影響検討等に有用である。	Lee et.al.(2007)
銀ナノ粒子	粒子径:5-20nm(形状はTEM画像ではほぼ球形)	攪拌(2時間)及び超音波	同上	作用濃度:5,10,25,50,100μg/mL	銀ナノ粒子の濃度の増加につれ、卵は茶色に着色し、粘膜で覆われた。TEMでの観察では、銀ナノ粒子は脳、心臓、卵のうおよび肺の血液に認められた。毛かには分散方法による相違はなかった	Asharani et.al.(2008)
MnO	MnO、Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 、Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、MnO <sub>2</sub> 混合物(30nm、~500μg/m <sup>3</sup> )	生理食塩水、超音波処理	ラット(Fischer344、雄、200-250g、3ヶ月齢)	鼻腔に5-7μgを6時間/日、5日/週で12日目までばく露し12日目に全身組織中のMn測定、11日目にジーンおよびプロテインアッセイを実施	ばく露12日後、嗅球のMn量が増加していた。肺のMn量も倍増していた。線条体、前頭皮質、小脳でもMnが増加していた。11日目のBALでは肺の炎症はみられなかったが、TNFα-mRNAと蛋白が検出された。	Elder et.al.(2006)
酸化亜鉛	酸化亜鉛(50~70nm)、酸化亜鉛(<1000nm)	PBS、培養液、30分超音波処理	ラット(Crl:CD[SD]IGS BR、雄、8週齢、240~255g)	1,5mg/kg(PBS懸濁液)を気管内点滴、ばく露後24時間、1週間、1ヶ月、3ヶ月にBAL検査。	TNF-αはほとんど活性していないが、IL-6がZnO(ナノ)で産生した。in vivoとin vitroの結果は相関しなかった。	Sayes et.al.(2007)
銅(ナノ)	Cu(25nmタイプ、平均粒径23.5nm)、ミクロン銅(17μm)、イオン(0.072nm)	1%w/vHPMC溶液、10分超音波処理、2分ボルテックス	マウス(ICR、雌雄、8週齢、20~22g、5匹ずつ)	急性経口毒性試験(OECDテストガイドライン425)ナノ(108~1080mg/kg投与)、ミクロン(500~5000mg/kg投与)、イオン(24~237mg/kg)	経口投与によるLD50はナノ銅:413mg/kg、銅イオン:110mg/kg、ミクロン銅:5000mg/kg以上。ナノ、ミクロンともに腎臓形態学的変化を示した、脾臓はナノで強い形態学的変化を示した。血清BUN、Cr、TBR、ALPは高用量(736mg/kg)ナノ銅群で影響が認められた	Chen et. Al.(2006)
量子ドット(CdTe)	CdTe	PBS、脱イオン水、超音波処理	ラット(SD、雄、1ヶ月齢)	CdTe2mM/1mL/kgを静脈注射しばく露後0,0.5,1,2,4時間後測定、24時間後解剖	ラットへ投与後2時間で自発運動が一過性に低下し、24時間後には増加したが、その他の毒性指標に影響は見られない。	Zhang et.al.(2007)
量子ドット(CdSe)	水溶性量子ドット(CoCdSe、キャッピングCdS、poly[ethyleneglycol]被覆の量子ドット、37nm)	0.2μmフィルター濾過	ヘアレスマウス(Crl:SKH-1(hr/hr)、雌、9週齢)	皮下投与4,8,12,24時間後解剖し各臓器のCd、Se分析	皮膚注射により皮膚沈着。量子ドット(QD)は流入領域リンパ節や肝臓、その他の臓器に分布した。	Gopee et.al.(2007)
量子ドット(CdTe)	粒子の85%が100nm以上、15%が100nm未満	ストック溶液を遠心分離して(2000rpm、5分)0.1%Na-thioglycolateで透析(10kDa membrane dialysis pores)(pH10、4hr、20°C)	淡水の二枚貝: <i>Elliptio complanata</i>	1.6, 4 and 8 mg/L	免疫系の検査では、CdTe濃度の増加により、血球密度の増加と活性の低下が確認された。食細胞の活性の低下も確認されたが濃度依存性は明確ではなかった。K542細胞による免疫機能(細胞殺傷能)は濃度依存的に増加した。脂質過酸化酵素活性は鰓では濃度依存的に上昇し、逆に消化管では濃度依存的に低下した。DNAの損傷は鰓ではわずかに濃度依存的に上昇した(ものの明瞭な変化はなく=図からの読み取り)、消化管ではむしろ対照区よりも少なくなった。全体を通して、CdTeは淡水二枚貝の免疫系に影響を及ぼし、鰓および消化管に酸化ストレスを与えDNAに損傷を与えた(消化管のDNA損傷は明瞭ではない)。	Gagne et.al.(2008)
シリカ	ナノSiO <sub>2</sub> (10±5nm、表面積640±50m <sup>2</sup> /g)、マイクロSiO <sub>2</sub> (0.5~10μm)	生理食塩水、ボルテックス混合	ラット(Wistar、雌、7週齢、180~200g)	40mg/mL(SiO <sub>2</sub> 総量20mg)気管内点滴。ばく露後1ヶ月、2ヶ月で解剖	ばく露1ヶ月後ナノSiO <sub>2</sub> は細胞小結節Stage I、マイクロ群はStage II、II+、2ヶ月後ナノSiO <sub>2</sub> はStage Iのまま、マイクロSiO <sub>2</sub> 群はStage II+、IIIを示した。IL-4、TGF-β1の発現はナノSiO <sub>2</sub> の方が低い。線維形成はナノSiO <sub>2</sub> の方が軽度であった。	Chen et.al.(2004)
シリカ	Min-U-Sil α-quartz particles(300nm~2μm)、Nanoscale quartz particles I(50nm)、nanoscale quartz particles II(12nm)、fine quartz(300nm)	PBS	ラット(Crl:CD[SD]IGS BR、雄、8週齢、240~310g)	5mg/kg、1mg/kg 気管内に滴下ばく露、24時間、1週、1ヶ月、3ヶ月のBAL検査	α-シリカの肺毒性は、粒子大きさや表面積よりも界面活性が影響している。	Warheit et.al.(2007)

※ 参考資料1に紹介した有害性の事例は、近年の研究の状況を示す参考として示すものであり、内容について精査されたものではない。

※本ガイドライン案は1月27日に開催された検討会用資料であり、最終版ではありません

## 参考資料2 測定方法の原理・特徴（主に作業環境の測定方法）

測定方法等	測定の対象			原理	特徴等
	個数	質量	表面積		
CPC : Condensation Particle Counter 凝縮式粒子計数数器	○			気化させたアルコールや水を粒子に凝縮させて粒径を大きく揃えて光学的に計数する方法。	原理的に個数の測定のみが可能
SMPS : Scanning Mobility Particle Sizer 走査型移動度粒径測定器	○	○	○	帯電させた粒子を電場内で移動させ、その到達距離等で粒子サイズ別の個数をカウントする方法。	リアルタイムのサイズ別の個数の測定装置。 測定可能範囲：10nm～1000nm。 粒子の形状や密度から重量、表面積に換算。
PCS : Photon Correlation Spectroscopy 光子相関分光法	○			ブラウン運動による散乱光を測定することで粒子サイズを測定する方法。	3nm以上の粒子に適用できる。 ナノ材料の品質管理に利用される。
Optical Particle Counter 粒径別粒子数計測装置	○			光束中に吸引空気を流し空気に含まれる粒子による散乱光により粒子の大きさと数を測定する方法。	100-300nmの粒子に適しており、ナノには適していない。
Electron Microscopy (SEM, TEM) (走査型、透過型) 電子顕微鏡	○		○	光学顕微鏡で光の代わりに電子線を用いた顕微鏡。	電子顕微鏡試料の計測により、サイズ別のエアロゾルの個数濃度に関する情報が得られる。
Size-selective personal sampler 個人用多段分級装置		○		多段の分級装置を個人用に小型化した装置。	現状では100nmを区切った装置はない。オフラインでの重量分析か化学分析が必要である。質量はサイズ分布計測から得られる。
Size-selective static sampler 水平重力式多段分級装置		○		水平に気流を流し、重力で沈降する粒子をその到達する水平位置の差で区分する分級装置。	100nmに区切りのあるカスケードを持つ唯一の装置。
TEOM: Tapered element oscillating microbalance フィルター振動法測定器		○		固有の振動が与えられたフィルター上に粒子を捕集し、振動数の減衰量より質量濃度をリアルタイムに計測する。	ナノ粒子に適した粒径区分での質量測定が可能である。
ELPI : Electrical Low Pressure Impactor 電子式低圧インパクトター	○	○	○	特定の大きさ以上の粒子を捕集し小さいものは透過させる多段のノズルを重ねることで粒子の大きさ別の計測ができる装置。	リアルタイムのサイズ別個数の測定装置。 粒子の形状や密度から重量、表面積に換算。
Diffusion Charger 拡散荷電装置			○	コロナ放電によるイオンの粒子への拡散荷電が粒子表面の化学的性質とは無関係に表面積に比例することから粒子の表面積を測定する方法。	リアルタイムのエアロゾル表面積の測定。100nm以上には不適で、100nm以下に有効な方法。100nm以上を分級できるならば、ナノ粒子にも適している。

ISO/TR 27628(2007-02-01)、BSI PD6699-2(2007-12)等の資料から作成

※本ガイドライン案は1月27日に開催された検討会用資料であり、最終版ではありません

### 参考資料3 環境への放出の可能性（整理集約表）

<製品の製造時（一次製造場及び二次製品製造場を含む）> (○：環境中に放出される可能性がある。 ×：環境中への放出の可能性は少ない)

ナノ材料	検討した製品の種類	除じん装置からの大気への放出	残余材料や使用済みフィルター、ウエス、運搬容器等の廃棄処理時の取扱による再飛散		排水処理施設からの公共用水域への放出	製造・運搬時の大気への放出	備考
			焼却処理	その他の扱い			
カーボンブラック	タイヤ等	○	×（※1）	○	○	○	
ポリスチレン	化粧品	○	×（※1）	○	○	○	
	ディスプレイ表面						
アクリル微粒子	化粧品	○	×（※1）	○	○	○	
	インクジェット						
フラーレン	スポーツ用品	○	×（※1）	○	○	○	
多層カーボンナノチューブ	半導体トレイ	○	×（※1）	○	○	○	
カーボンナノファイバー	リチウム二次電池	○	×（※1）	○	○	○	
二酸化チタン	化粧品	○	○	○	○	○	
	トナー						
	塗料						
酸化亜鉛	化粧品	○	○	○	○	○	
銀	繊維製品	○	○	○	○	○	
	家電製品						
酸化セリウム	研磨剤	○	○	○	○	○	
備考		※2			※3		

※1：現在日本で使用されている焼却施設（800℃以上、滞留時間2秒以上）では分解すると考えられる。

※2：HEPA フィルターは効果があると考えられるが、取扱方法によってはナノ材料を十分に除去できない可能性がある。  
また、集じん装置のナノ材料の除去効率についてはデータがなく、除去できない可能性がある。

※3：排水処理で除去できなかったナノ材料が公共用水域に放出される可能性がある。排水処理汚泥は固化等の措置により環境中への放出の可能性は少ないと考えられる。

※本ガイドライン案は1月27日に開催された検討会用資料であり、最終版ではありません

### 参考資料3 環境への放出の可能性（整理集約表）（続き）

<製品の使用時> (○：環境中に放出される可能性がある。 ×：環境中への放出の可能性は少ない)

ナノ材料	検討した製品の種類	下水処理施設から公共用水域への放出	使用中の劣化に伴う環境中への放出	使用時に直接大気中に放出	備考
カーボンブラック	タイヤ等		○		
ポリスチレン	化粧品	○	○	○	
	ディスプレイ表面				
アクリル微粒子	化粧品	○	○	○	
	インクジェット				
フラーレン	スポーツ用品				
多層カーボンナノチューブ	半導体トレイ				
カーボンナノファイバー	リチウム二次電池				
二酸化チタン	化粧品	○	○	○	
	トナー				
	塗料		○	○	
酸化亜鉛	化粧品	○	○	○	
銀	繊維製品	○	○		
	家電製品	○	○		
酸化セリウム	研磨剤				
備考		※1	※2	※3	

※1：凝集処理、活性汚泥処理でナノ材料が吸着される可能性があるが、ナノ材料の除去効率についてはデータがない。  
 ※2：大気環境に粉じんとして放出されるが、又は雨水排水を通じて下水処理施設を通じて公共用水域に放出される。  
 ※3：スプレーとしての使用を想定した。