

ナノマテリアル製造事業者等における  
安全対策のあり方研究会

報告書

平成21年3月

## 目次

I. はじめに (趣旨・目的)	・・・ 1
II. 検討対象とする「ナノマテリアル」の定義	・・・ 1
III. 主なナノマテリアルについて	・・・ 3
1. カーボンナノチューブ	・・・ 3
2. カーボンブラック	・・・ 4
3. 二酸化チタン	・・・ 5
4. フラーレン	・・・ 6
5. 酸化亜鉛	・・・ 7
6. シリカ	・・・ 8
7. まとめ	・・・ 9
IV. ナノマテリアルの安全対策に係る国内外の主な取り組みについて	・・・ 10
1. 国内における取り組み	・・・ 10
2. 海外の公的機関における主な取り組み	・・・ 11
3. 国際機関における主な取り組み	・・・ 12
4. 海外の事業者における主な取り組み	・・・ 15
5. まとめ	・・・ 16
V. 対応の基本的方向	・・・ 16
1. 対応のあり方	・・・ 16
2. 検討対象	・・・ 17
VI. 具体的対応	・・・ 17
1. ナノマテリアル製造事業者等の取組	・・・ 17
2. 政策的対応について	・・・ 19
VII. 今後の検討課題	・・・ 20
参集者名簿	・・・ 23
検討経過	・・・ 24
参考資料	・・・ 25

## I. はじめに (趣旨・目的)

ナノテクノロジーは、次世代の産業基盤技術として、情報通信、環境、エネルギー等の幅広い分野で便益をもたらすことが期待されている。特に、ナノテクノロジーを用いた材料であるナノマテリアルは、従来の材料にはない新たな機能が発現することが期待されている。

一方、ナノマテリアルは、その粒径等が小さいため、従来の材料とは異なる特性や形状を有することによって人への健康影響を及ぼすという指摘もある。ただし、人の健康や環境に対するナノマテリアルの影響については、現状では十分明らかになっているわけではなく、従来の毒性評価手法では十分に対応できない可能性が指摘されている。また、人の体内や環境中でのナノマテリアルの挙動についても現状では十分解明されていない。

このような未解明の状況を放置しておけば、ナノテクノロジーに関する社会的懸念が拡大し、生産・利用の自粛等が行われることによりナノテクノロジーの持つ便益が十分に活用されないおそれがある。他方、安全性が十分確認されていないことをもって適切な取扱いが行われないと、健康や環境に影響が生じるおそれもある。

したがって、本研究会は、現時点での科学的知見を基にナノマテリアルに関する留意点を整理し、労働現場でのばく露防止対策にとどまらず、事業者による自主的な安全性調査やサプライチェーンにおける情報共有等を含めた広範な安全対策について検討することを目的とする。

## II. 検討対象とする「ナノマテリアル」の定義

「ナノマテリアル」の定義は、国際機関 (OECD、ISO) 等において、「元素等を原材料として製造された固体状の材料であって、大きさを示す三次元のうち少なくとも一つの次元が約1nm～100nmであるナノ物質及びナノ物質により構成されるナノ構造体 (ナノ物質の凝集した物体を含む。) であること」とされている。<sup>1</sup>

ナノマテリアルを従来の材料とは別に定義する理由は、原子や分子そのものが持つ物理化学的性状や生物学的影響に加えて、ナノサイズに起因する機械的、光学的特性等の特有の性質が発現する場合があるためである。

本研究会では、こうしたナノサイズであることに由来する性状を検討対象とするため、一次粒径等を意図的にナノサイズに制御して特有の機能を発現させているナノマテリアルを対象とし、自然由来や製造工程において非意図的に生成されたり粉体にごく微量含まれるナノマテリアルについては対象としない。

「ナノマテリアル」の定義については、国際機関等において引き続き検討が行われているところであるため、今後国内外における「ナノマテリアル」等の用語の定義に係る取組の状況を注視し、最新の知見を活用していくこととする。

<sup>1</sup> なお、カーボンナノチューブについては、繊維径が100nmを超えるカーボンナノファイバーも存在するが、今回は対象に含めることとする。

ナノマテリアルについては、様々な物質によるものが存在しているとの情報もあるが、本研究会では、主要なナノマテリアルについての対応を先行させるため、生産量が一定程度以上であるか今後生産量が増加する可能性の高いナノマテリアルであるカーボンナノチューブ、カーボンブラック、二酸化チタン、フラーレン、酸化亜鉛及びシリカの6物質を検討対象とした。今回検討対象とする6物質の概要を表1に、生産量と粒径の関係を図1に示す。

表1 本研究会で対象とする物質の国内生産量と主な用途

物質名	国内生産量 <sup>2</sup>	主な用途
カーボンナノチューブ	120~140t	電子材料等
カーボンブラック	80万t	タイヤ、自動車部品等
二酸化チタン	1,450t	化粧品、光触媒等
フラーレン	2t	スポーツ用品等
酸化亜鉛	480t	化粧品等
シリカ	9万t	インク、合成ゴム、タイヤ等

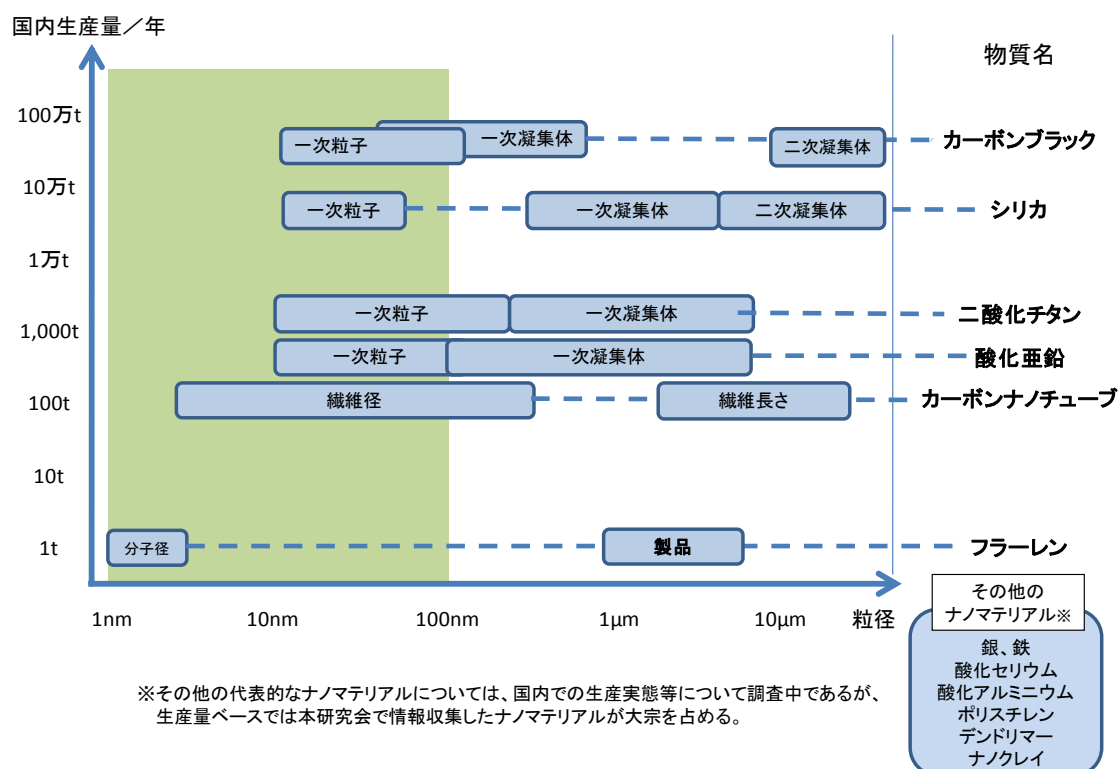


図1 本研究会で情報収集したナノマテリアルの生産量と粒径<sup>2</sup>

<sup>2</sup>本研究会での発表内容を基に事務局作成。ナノサイズであるものの生産量を示す。

なお、現時点において国内で生産されているナノマテリアルの生産量の99%以上<sup>3</sup>を上記6物質が占めている。

### Ⅲ. 主なナノマテリアルについて

ナノマテリアルについての対策を検討する上では、国内におけるナノマテリアルの大まかな状況や一般的な取組状況を俯瞰する必要がある。今回検討対象とした6物質については、物質毎に業界団体が存在するため、物質毎の特性や取組状況を把握することを目的として、それぞれの業界団体の代表者から研究会の場で情報提供を受けた。

なお、今回明らかになった取組状況は、各業界団体における一般的な取組状況であることに留意すべきである。また、ナノマテリアルのばく露・排出防止対策等に関しては、労働安全衛生法、廃棄物処理法等の関係法令において一般的な粉じん対策や廃棄物処理方法が規定されている他、ナノマテリアルのばく露防止対策については、平成20年2月に厚生労働省労働基準局長通知「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」が発出されているところである。

#### 1. カーボンナノチューブ（ナノテクノロジービジネス推進協議会）

##### 1) ナノマテリアルの特性・生産量等について

カーボンナノチューブは、繊維径が数nmから150nm、長さが数μmから数十μm程度である。生産量は、単層カーボンナノチューブは約100kg/年、多層カーボンナノチューブ（繊維径10-70nm）は約60-70t/年、カーボンナノファイバー（繊維径最大150nm程度）は約60-70t/年である（株式会社東レリサーチセンター調べ）。カーボンナノチューブは一般的に凝集性があり、製造工程から凝集状態で取り出されるが、そのままでは分散性が悪いことから、いかに工業的に分散させるかが技術課題となっている。以下に、凝集状態の走査電子顕微鏡写真の一例を示す。単層カーボンナノチューブは、トランジスタ、燃料電池、機能材料等への用途開発が行われており、多層カーボンナノチューブは半導体トレイ等、カーボンナノファイバーはリチウムイオン二次電池等に使用されている。なお、今後、自動車用電池や風力発電の貯蔵等、さらには各種の複合材料として金属に代替される高強度かつ軽量素材等、環境上の目的に合致した用途にも活用が可能と考えられている。

<sup>3</sup> 株式会社東レ経営研究所「平成19年度ナノマテリアル用途・生産量調査」結果等より事務局にて推定

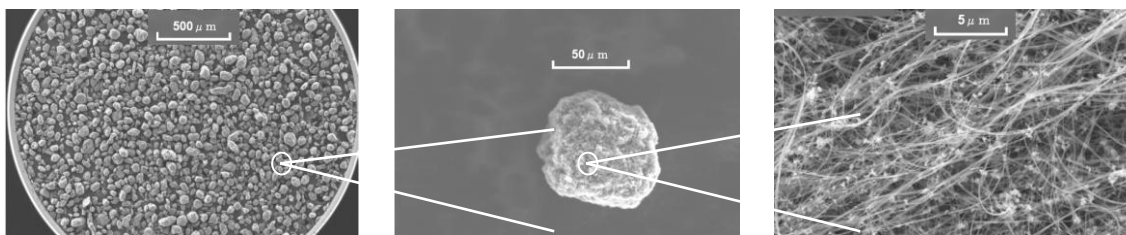


写真1 カーボンナノチューブ（凝集状態）の電子顕微鏡写真の一例

## 2) ばく露・排出防止対策等について

安全管理の例として、ばく露防止対策については、製造工程を基本的に密閉系にするとともに、運転員には適切な保護具を着用させている。また、製造設備内での環境測定を実施している。排出防止対策としては、排気をプレフィルタ・HEPA フィルタ等を用いて除じんしており、また排水については冷却水がほとんどでナノマテリアルの混入はない。製品中においては、例えば半導体トレイ用途等については、カーボンナノチューブは樹脂に混練され容易に飛散することは考えにくく、またリチウムイオン二次電池では、カーボンナノチューブは電極に固定され、さらに電池自体がパッケージングされているため、使用中におけるカーボンナノチューブの放出は考えにくい。廃棄物は、廃棄物処理法に則って処理されており、大部分は産業廃棄物として焼却処理されている。また、出荷先にはMSDS（化学物質等安全データシート）の配布と取扱の注意喚起を行っている。

## 2. カーボンブラック（カーボンブラック協会）

### 1) ナノマテリアルの特性・生産量等について

カーボンブラックは、管理された条件下で作られた煤のような物質と定義され（乱層構造の黒鉛）、電気や熱の伝導率は非常に良く、水、油に溶解せず、非常に高い耐食性を持つ。カーボンブラックは、ドメイン（10～500nm程度）と呼ばれる一次粒子が生成過程において熱で融着し、さらに炭化水素が結合・炭化して、非常に壊れにくいアグリゲート<sup>4</sup>（数十nm～数百nm程度）と呼ばれる一次凝集体を形成する。アグリゲートは凝集してアグロメレート<sup>5</sup>（数μm～数百μm）と呼ばれる二次凝集体を形成する。出荷時は、ビード（1mm程度の粒状）で出荷する場合が多い。カーボンブラックは、製品中でも空気中でもアグリゲートの状態で存在することはなく、アグロメレートの状態であると考えられる。国内生産量は約80万t/年、輸入量が約20万t/年である（カーボンブラック協会調べ）。世界全体では生産が約953万t/年であり、ゴムの補強剤や黒色の着

<sup>4</sup> アグリゲート：粒子が強く結合したり、融着したりすることにより構成され、表面積が個別の粒子の和より著しく小さい粒子（アグリゲートを保持する力としては、共有結合、融着、複雑な物理的絡み合い等がある）

<sup>5</sup> アグロメレート：弱く結合した粒子、アグリゲート、粒子とアグリゲートの混合物により構成され、表面積が個別の構成部分の和と近い集合体（アグロメレートを保持する力としては、ファンデルワールスカや単純な物理的絡み合い等がある）

色剤、導電付与剤等（具体的には、タイヤ、自動車部品、電気部品、印刷物、半導体部品、半導体トレイ等）に使用されている。

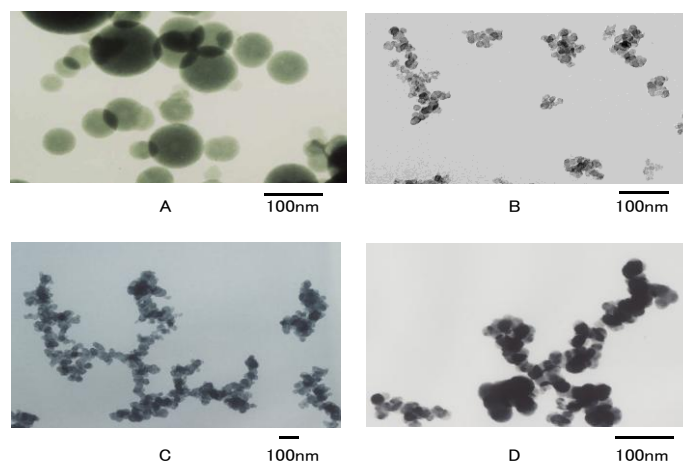


写真2 カーボンブラック（アグリゲート）の電子顕微鏡写真

## 2) ばく露・排出防止対策等について

ばく露防止対策としては、原則密閉構造とするとともに、粉じんが発生し易いシュートや製品出荷用排出口等には、系外への漏えいを防ぐため、粉じん吸引装置を設置する等の方法で発じんを抑えている。また、適切な保護具を使用する等、労働安全衛生法（粉じん障害防止規則）に基づいた対策を行っている。排出防止対策としては、排気をバグフィルタで処理してカーボンブラックを捕集している。また、廃棄物は可能な限り再利用し、再利用できないものは廃棄物処理法に則って焼却処理されている。さらに、ユーザーや輸送業者に対して「カーボンブラック取扱安全指針」（カーボンブラック協作成）及びMSDSを配布し、安全対策を徹底している。

## 3. 二酸化チタン（日本酸化チタン工業会）

### 1) ナノマテリアルの特性・生産量等について

二酸化チタンは、化学的に安定であり、ルチル型とアナターズ型という2つの結晶形がある（アナターズ型は約1,000度前後でルチル型に転移）。ナノサイズの二酸化チタン（なお、ナノサイズよりも一次粒子径の大きい顔料級二酸化チタンや大粒径二酸化チタンも生産されている）は紫外線をカットする性質が強い。ナノサイズ二酸化チタンは、100nm以下の一次粒子が凝集して200nm前後のアグリゲートを形成し、さらにアグリゲートが凝集してアグロメレートを形成している。最終製品中や大気中での存在形態については確認されていないが、アグロメレートの状態と考えられる。空気中での粉体の状態について試験を行ったが、ナノサイズの粒子は観測できていない。ナノサイズ二酸化チタンの生産量は、国内向けが950t/年、海外向けが1,450t/年と推計されており（富士キメラ総研調べ）、用途については、ルチル型は化粧品、塗料、トナー外添剤等、アナターズ型は光触媒等である。

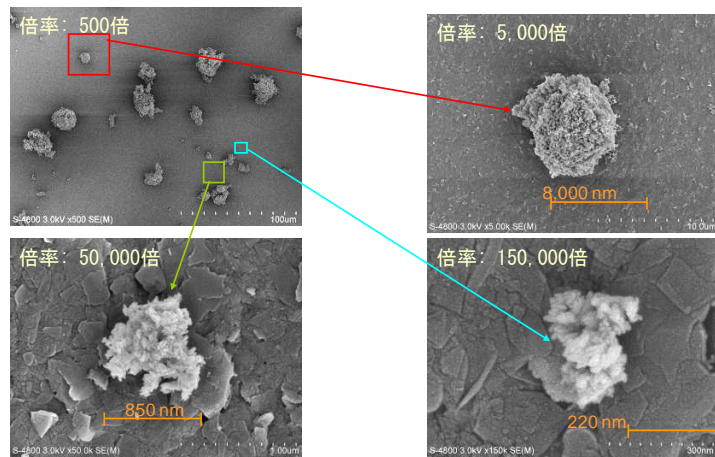


写真3 二酸化チタンの電子顕微鏡写真

## 2) ばく露・排出防止対策等について

ばく露防止対策については、労働安全衛生法（粉じん障害防止規則）に則って、作業者が直接粉末に触れる可能性がある包装工程では局所排気装置を設置するとともに、作業者にはマスクを着用させている。排出防止対策としては、排気からバグフィルタによって二酸化チタンを捕集除去するとともに、廃棄物については、廃棄物処理法に則って汚泥として埋立処分している。また、出荷先に対してはMSDSを配布している。

## 4. フラーレン（ナノテクノロジービジネス推進協議会）

### 1) ナノマテリアルの特性・生産量等について

フラーレンは、ケージ状のネットワークを構成する炭素分子の総称である。絶縁体であり、トルエン、キシレン、クロロベンゼン等の非極性溶媒に可溶である。分子の直径は1nmであるが、これが単独で存在することは難しく、特殊な分子性結晶により一次凝集体を形成し、さらに一次凝集体が凝集して二次または三次の凝集体を形成する。凝集性が強く、レーザー回折型の粒度分布装置、動的散乱方式の粒度分布装置では1µm程度の凝集体しか検出されていない。

生産量は、国内で約2t/年（株式会社東レリサーチセンター調べ）、世界では3t/年程度（ナノテクノロジービジネス推進協議会調べ）と考えられるが、正確な統計データではない。スポーツ用品（ゴルフ、テニス関係）、電子材料（有機EL等）、化粧品等に使用されている。



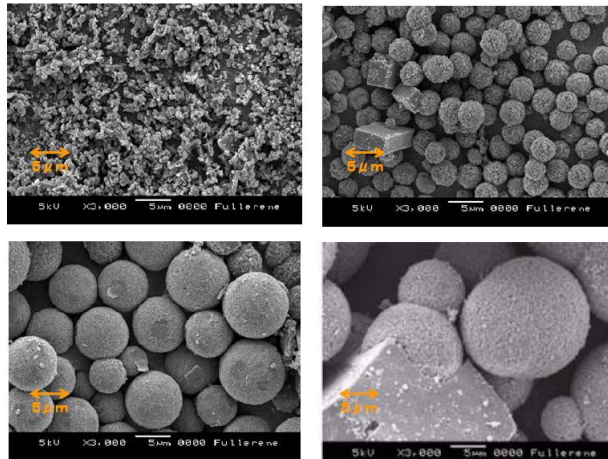


写真4 フラーレンの電子顕微鏡写真

## 2) ばく露・排出防止対策等について

ばく露防止対策としては、製造工程では局所排気を行うとともに、作業者は保護具として防じんマスクと専用の上着、ゴーグルを使用している。作業環境測定を行ったところ、フラーレンを取り扱う作業時においても、バックグラウンドで検出される自然由来のナノ粒子よりもフラーレンのナノ粒子は少なく、区別が付きにくいという結果がある。排出防止対策としては、排気中の粒子をフィルタで捕集するとともに、溶媒は、蒸留精製を行い再利用している。廃棄物については、廃棄物処理法に則って処理されており、容器や保護具等を含めて焼却処分されている。また、各種安全性試験が実施されており、その結果はMSDSに記載して出荷先に配布している。

## 5. 酸化亜鉛 (日本無機薬品協会)

### 1) ナノマテリアルの特性・生産量等について

酸化亜鉛は酸・アルカリに溶解するため、表面をコーティングして用いられる。ナノサイズの酸化亜鉛は紫外線カット性能が高い。ナノサイズの酸化亜鉛は、一次粒子が非常に強く結合してアグリゲートを形成しており容易に分散しない。アグリゲートはさらに凝集してアグロメレートを形成している。最終製品を分散剤等を用いて分散させても、大部分は粒径が100nm以上であることから、最終製品ではほとんどがアグロメレートと考えられる。また、最終製品の包装作業時に舞い上がる粉末の粒径を測定したところ、数 $\mu\text{m}$ のサイズ (小さい粒子でも0.1 $\mu\text{m}$ 程度) であった。ナノサイズの酸化亜鉛の生産量は約480 t/年であり (株式会社東レ経営研究所調べ)、用途はほとんどが化粧品用である。

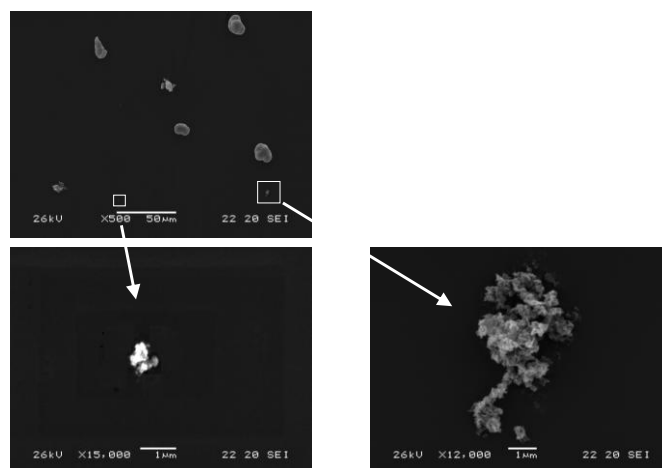


写真5 酸化亜鉛の電子顕微鏡写真

## 2) ばく露・排出防止対策等について

ばく露防止対策については、製造工程を可能な範囲で閉鎖系としており、閉鎖系でない場所は局所排気装置で対応している。また、作業者には適切な保護具を着用させている。排出防止対策としては、排気中の粉じんをバグフィルタで回収している。廃棄物は可能な限り再利用し、再利用できないものは廃棄物処理法に則って汚泥として廃棄物処分場で埋立処分されており、ナノサイズの酸化亜鉛が付着した着衣や包装資材は焼却処理されている。また、出荷時には、予めMSDSを出荷先に配布している。

## 6. シリカ (日本無機薬品協会)

### 1) ナノマテリアルの特性・生産量等について

二酸化ケイ素には、結晶質の石英や水晶、非晶質の珪藻土がある。合成品としては、結晶質の合成石英等もあるが、ナノマテリアルとして扱われるのは、合成非晶質の乾式シリカ及び湿式シリカである（以下、単にシリカという）。シリカは、一次粒子が融着や分子間力によりアグリゲートを形成しており、これが最小構成単位である。アグリゲートはさらに物理的に凝集してアグロメレート（数十～数百 $\mu\text{m}$ ）を形成している。

生産量は、国内生産量が9万 $\text{t}$ /年（湿式シリカ6万 $\text{t}$ /年、乾式シリカ3万 $\text{t}$ /年）、世界生産量が159万 $\text{t}$ /年（湿式シリカ143万 $\text{t}$ /年、乾式シリカ15万 $\text{t}$ /年）であり（日本無機薬品協会調べ）、インクへの添加、合成ゴム、タイヤの充填剤、シリコンシーラント、つや消し剤、プリンターのトナー等に使用されている。

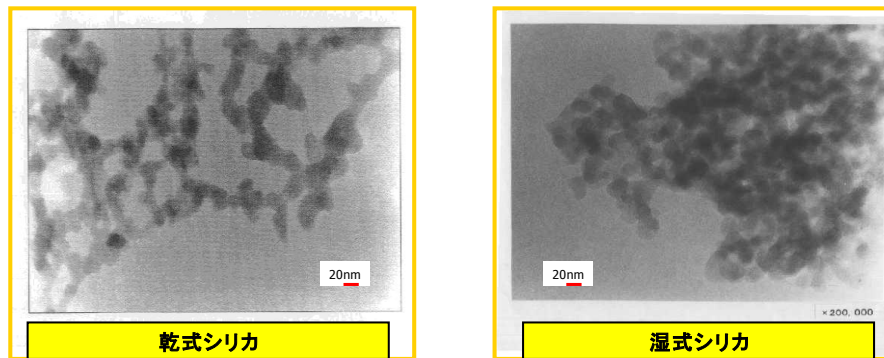


写真6 シリカの電子顕微鏡写真

## 2) ばく露・排出防止対策等について

ばく露防止対策としては、製造工程を基本的に密閉工程とし、包装工程等の密閉ではない場所についても局所排気装置を設置している。また、作業員は防じんマスク等の保護具を着用している他、一部自主的に粉じんの環境測定を実施している。排出防止対策としては、排気をバグフィルタ等の集じん装置で処理している。廃棄物は、廃棄物処理法に則って埋立処分、セメント原料等として処理されている。また、シリカは労働安全衛生法の通知対象物質であるため、MSDSを出荷先に配布している。

## 7. まとめ

各ナノマテリアルについての発表内容では、製品中や大気中では、ナノマテリアルは1nm～100nm程度の一次粒子として存在するのではなく、それ以上の大きさである凝集体として存在する場合が大半であるとのことである。なお、製品中や大気中でナノサイズの粒径が存在しないことは証明されていないため、引き続き知見の集積が必要である。

また、ナノマテリアルは粉状の製品となる場合が多く、従前から粉じんとして飛散・浮遊することは認識されていたため、ナノマテリアル製造事業者等においては、すでに労働安全衛生法、廃棄物処理法等の関係法令に基づいた対策が行われており、一部の対策はナノマテリアルに対しても有効であると考えられる。しかし、これらは一般的な粉じん対策等として行われており、ナノマテリアルについてはそれ以上の対策が必要となる可能性がある。加えて、平成20年2月に発出された厚生労働省の通知を受けて、ナノマテリアルのばく露防止についての予防的対応として、製造設備や作業管理等に関する対策が実施され始めているとのことである。

## IV. ナノマテリアルの安全対策に係る国内外の主な取り組みについて

### 1. 国内における取り組み

#### 1) 経済産業省

##### ① 「ナノテクノロジーの研究・製造現場における適切な管理手法に関する調査研究」

経済産業省では、平成18年度委託調査事業「ナノテクノロジーの研究・製造現場における適切な管理手法に関する調査研究」において、ナノテクノロジーに関連する研究や製造が行われている現場における現状を調査するとともに、海外での管理事例を調査し、我が国にとって最適なナノマテリアルの管理手法を検討した。

##### ② 「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」(平成18～22年度)

科学的根拠に基づいたナノ粒子の適正な評価を実施するため、ナノ粒子の①計測(キャラクターゼーション)技術の確立、②生体影響評価手法の開発、③ばく露評価手法の開発とともに、④ナノ粒子のリスク評価及び管理手法の確立を図っている。(NEDOプロジェクトとして産業技術総合研究所、産業医科大学等が実施。)平成20年4月には、NEDO-産業技術総合研究所-OECDの主催により、国際シンポジウム「工業ナノ粒子のリスク評価」を開催した。

#### 2) 厚生労働省

##### ① 労働基準局

平成20年2月に、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、関係団体に会員その他関係事業場に対して広く情報提供することを要請するとともに、都道府県労働局長に対し関係事業場への周知徹底を指示するため、労働基準局長通知「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」を発出した。

さらに、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、平成20年3月から10月にかけて「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」を計9回開催し、報告書を取りまとめた。

##### ② 医薬食品局

平成16年度から、厚生労働省科学研究費補助金「化学物質リスク研究事業」等により、毒性発現に影響を及ぼす因子を体系的に把握し、ナノマテリアルへのばく露による有害性の評価に利用可能な手法の開発に資する研究等が進められている。

また、ナノマテリアルの応用が進展する一方で、人の健康への影響については未解明であることから、安全性の評価手法や安全対策のあり方等について検討を行うため、平成20年3月から「ナノマテリアルの安全対策に関する検討会」を開催している。

### 3) 環境省

ナノ材料の使用実態等を踏まえた環境中への放出の可能性と管理手法についての知見の収集と整理を行うため、平成20年6月から「ナノ材料環境影響基礎調査検討会」を設置して検討を行っており、平成21年3月に「工業用ナノ材料に関する環境影響防止ガイドライン」を作成・公表した。

## 2. 海外の公的機関における主な取り組み

### 1) オーストラリア

オーストラリア保健・発育省は、2006年からナノマテリアルについての情報提供呼びかけを開始し、2007年1月に結果を公表した（内容は、化学物質名、商品名、化学式、生産量等）。2008年1月からは2回目の情報提供呼びかけを開始している（工業ナノマテリアル（年間100kg以上）について、物理化学的データ、毒性データ、用途情報、ライフサイクル情報を含めた情報提供を呼びかけるもの）。

### 2) 英国

英国環境食糧地方問題省（Defra）は、自主的報告制度として「工業ナノマテリアルについての自主的報告スキーム（Voluntary Reporting Scheme (VRS) for Manufactured Nanomaterials）」を2006年9月～2008年9月までの2年間をパイロット期間として実施した。提出されたレポートは13レポートであった。

現在、産業界と学术界に対して、VRSに対する考え方についてのアンケート調査を実施している。パイロット期間が終了したことを受けて、「ナノテクノロジーに関する閣僚グループ（Ministerial Group on Nanotechnologies）」において今後の対応を検討する予定である。

### 3) 米国

#### ① 「ナノマテリアルスチュワードシッププログラム（NMSP）」

米国環境保護庁（EPA）は、ナノマテリアルを取り扱う企業による自発的な情報提供プログラムである「Nanoscale Materials Stewardship Program（NMSP）（以下「スチュワードシッププログラム）」を2008年1月29日に開始した。

スチュワードシッププログラムは、ナノマテリアルの安全な取扱いについて理解を深め、将来における規制の是非や必要な規制対象などを絞り込み、安全なナノマテリアル開発を促進するために、有害物質管理法（TSCA）のもとに、ナノマテリアルを取り扱う企業などに自主的なデータ提出を促すことで情報を収集するものである。提供が期待されている内容は、ナノマテリアルの物理化学的特性、有害性情報、ばく露情報、リスク管理対策の情報などである。

スチュワードシッププログラムは基礎的プログラム（Basic Program）と詳細プログラム

(In-Depth Program) からなり、前者は手持ちの情報のみを提出するものであり、後者は EPA と相談しながら費用をかけて（動物実験等を行い）新たなデータを取得していくものである。2009年1月に中間報告が示されており、最終報告は2年後を予定している。このときに、プログラムの将来の方向性（TSCAに基づく規制権限の利用の検討も含む）について決定されることになっている（場合によっては、報告書の発表や規制の策定は早められることもある）。基礎的プログラムは、2008年12月現在では29事業者から123種類のナノマテリアルについての情報提供があった。

#### ②EPA、TSCAにおけるカーボンナノチューブの扱いについて(2008年10月31日)

EPAは、TSCAはカーボンナノチューブにも適用でき、カーボンナノチューブはTSCAのインベントリ上のグラファイトや他の炭素の同素体とは区別できる化学物質であることから、多くのカーボンナノチューブはTSCAの第5条に規定される新規化学物質であることを確認した。商用目的でカーボンナノチューブの製造・輸入を行う業者は、カーボンナノチューブの製造・輸入を90日前に届け出ることが必要である。

※工業ナノマテリアルは「新規化学物質」であるか「既存化学物質」であるかということについて、EPAは「ナノマテリアルのTSCAインベントリステータス—一般的アプローチ」という文書を作成し、これまで通りの判断基準（分子的同一性を基準とし、サイズなどの物理的特性は考慮しない）をケースバイケースで適用していくことを宣言した。具体的には、炭素の同素体である、多層カーボンナノチューブ、単層カーボンナノチューブ、フラーレンなどは新規化学物質となるが、ナノサイズの二酸化チタンや銀などは既存化学物質となる。

#### ③地域レベルでの施策

米国内においては、バークレー市、ケンブリッジ市、カリフォルニア州において、強制的な報告制度や情報提供の呼びかけ等の取組が実施又は検討中である。

### 3. 国際機関における主な取り組み

#### 1) OECD

①2006年9月にOECD化学品委員会の下部組織として「工業ナノ材料作業部会(Working Party on Manufactured Nanomaterials)」が設置され、ナノマテリアルの厳格な安全性評価の開発を促進するため、工業ナノマテリアルの健康と環境への安全性に関する側面における国際協力がOECDをベースに進められている。活動の枠組みは次のとおりである。

SG1：安全性研究に関するデータベース構築

SG2：工業ナノマテリアルに関する研究戦略

SG3：代表的な工業ナノマテリアルの安全性試験

SG4：工業ナノマテリアルとテストガイドライン

SG5：ボランタリースキームと規制制度に関する協力

SG6：リスク評価に関する協力

SG7：ナノ毒性学における代替試験の役割

SG8：ばく露測定と低減に関する協力

②SG3の取組の一環として、2007年11月からスポンサーシッププログラムが開始されている。これは、生産量等の観点から選定された代表的ナノマテリアル（14物質・表2参照）に関し、合意された安全性情報項目について情報収集あるいは試験を実施するものであり、各国が自主的に特定のナノマテリアルのスポンサーとなり、試験計画を策定することとされている。

日本は現在、米国と共同で、フラーレン、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブのスポンサーとなることを表明しており、経済産業省等の関係省庁及び産業技術総合研究所等の機関が情報収集あるいは試験を開始している。

その他、OECD加盟国における規制等に関する動向や関係機関等（ISO、国連機関及び一部非加盟国-ロシア、中国、タイ、ブラジル）における取組等について情報交換を行っている。

表2 OECD スポンサーシッププログラムにおける代表的ナノマテリアル（14物質）<sup>6</sup>

	Lead Sponsor	Co-sponsor	Contributors
フラーレン	Japan, US		Denmark, China
単層カーボンナノチューブ	Japan, US		Canada, France, Germany, EC, China, BIAC
多層カーボンナノチューブ	Japan, US	Korea, BIAC <sup>7</sup>	Canada, France, Germany, EC, China, BIAC
銀	Korea, US	Australia, Canada, Germany, Nordic Council of Ministers	France, EC, China
鉄	China	BIAC	Canada, US, Nordic Council of Ministers
二酸化チタン	France, Germany	Australia, Canada, Korea, Spain, US, BIAC	Denmark, China
カーボンブラック			Denmark, Germany, US
酸化亜鉛	UK/BIAC	Australia, US, BIAC	Canada
シリカ	France, EC	Belgium, Korea, BIAC	Belgium, Denmark
酸化セリウム	US, UK/BIAC	Netherlands	Australia, Germany, Switzerland, EC
酸化アルミニウム			Germany, US
ポリスチレン			Korea

<sup>6</sup>2008年12月現在  
経済産業省諮問委員会（Business and Industry Advisory Committee）

デンドリマー		Spain	US
ナノクレイ			Denmark, US

### ③OECDにおけるナノマテリアルに関する取組の経緯

- 2005年6月 第38回化学品委員会及び化学品・農薬・バイオ技術作業部会の合同会合において、工業ナノマテリアルの安全性に関する特別セッションを開催
- 2005年12月 ワシントンにおいて工業ナノマテリアルの安全性に関するワークショップを開催
- 2006年9月 化学品委員会の下に工業ナノ材料作業部会 (WPMN) を設立
- 2006年10月 第1回作業部会 (2006-2008年の作業計画及び6つの作業グループの設置に合意)
- 2007年4月 第2回作業部会 (6つの作業グループの実施計画に合意)
- 2007年11月 第3回作業部会 (代表的なナノマテリアルの有害性情報の収集を行うスポンサーシッププログラムについて合意。ナノ毒性学における代替試験の役割、ばく露測定と低減に関する作業グループの設置に合意)
- 2008年4月 スポンサーシッププログラムワークショップ (ガイドンスマニュアルの策定などを議論)
- 2008年6月 第4回作業部会 (7物質についてスポンサー確定)
- 2008年11月 スポンサーシッププログラムワークショップ (各物質の試験計画書 (DDP: Dossier Development Plan) の作成進捗状況を報告)

### 2) ISO

2005年5月、ISOでナノテクの技術委員会 (TC229) が設置された。「用語・命名法 (JWG1)」、「計測・キャラクタリゼーション (JWG2)」、「環境・安全・健康 (WG3)」の3つのWGも同時に設置された。WG1はカナダ、WG2は日本、WG3はアメリカがコンビナー (議長) となった。

2008年2月、TC229の3つのWGに加え、新たに「材料規格 (WG4)」が設置され、中国がコンビナーとなった。

- 2005年11月 第1回総会 (イギリス ロンドン)
- 2006年6月 第2回総会 (日本 東京)
- 2006年11月 第3回総会 (韓国、ソウル)
- 2007年6月 第4回総会 (ドイツ ベルリン)
- 2007年12月 第5回総会 (シンガポール)
- 2008年5月 第6回総会 (フランス ボルドー)
- 2008年11月 第7回総会 (中国 上海)



#### 4. 海外の事業者による主な取り組み<sup>8</sup>

##### 1) 行動規範や技術指針の自主的な策定

欧州では、事業者、業界団体、事業者や業界団体と NGO との共同等、様々な主体が行動規範 (Code of Conduct) や自主的なガイドラインを策定している。例えば、ドイツ BASF 社は、ナノマテリアルの責任ある開発に向けた事業者としての理念を定めた行動規範を策定し、それに基づいて個別のナノマテリアルのリスク評価・管理やコミュニケーションを実践している。また、BASF 社や Bayer 社等の事業者や、いくつかの業界団体では、製造・取扱作業現場における安全取扱ガイドラインや、MSDS と併せて顧客に配布するための安全取扱ガイドラインを自主的に策定している。

米国 DuPont 社は、ナノマテリアルのリスク評価・管理に関する技術指針である「ナノリスクフレームワーク (NRF)」を開発し、自社で製造・使用するすべてのナノマテリアルに対して適用することとしている。すでに、二酸化チタン等の個別のナノマテリアルについて NRF を用いた評価が行われた。これらの作業は、環境 NGO である Environmental Defense Fund(EDF)と共同で実施することにより、中立性をアピールするという配慮もなされている。

##### 2) 安全性・ばく露評価の自主的な実施

BASF 社、Bayer 社、DuPont 社等、安全性情報等を自ら収集できる規模の大きな事業者では、自ら製造したカーボンナノチューブ、カーボンブラック、二酸化チタン、酸化亜鉛等のナノマテリアルについて、安全性評価のために必要な試験のメニューを定め、それに基づいて安全性データの収集 (皮膚毒性試験、吸入試験、遺伝毒性試験、水生生物毒性試験) を自主的に実施している。また、BASF 社のように、ナノマテリアルの安全性評価手法等を各国政府や国際機関に対して提案している例もある。自ら安全性評価を行うことが困難であるベンチャーや中小企業においても、ベルギー Nanocyl 社のように、大学等の外部の試験機関や取引先と共同研究を行うという形で有害性試験を委託して安全性データを積極的に収集している例もある。DuPont 社は自社製のナノスケールの二酸化チタンの許容曝露限度を自主的に定め、ばく露濃度と比較することでリスク評価を行っている。

##### 3) 安全性に関する情報の積極的な発信

様々な場を利用して、自社製品の安全性に関する情報を積極的に公開することによって、信頼性を得ようとしている様子が見え始める。一つは公的機関による自主的情報提供制度に積極的に協力することである。DuPont 社は NRF に基づいたデータを米国 EPA のスチュワードシッププログラムに率先して提出した。また、BASF 社のように毎年消費者や労働組合などと対話イベント

<sup>8</sup>平成20年度「海外における産業界のCNT取り扱いに関する実態調査研究」(社団法人日本機械工業連合会)結果を参考に作成。

を実施している事業者や業界団体もある。1) や2) で挙げた取組の多くは、自社ホームページ、学会・シンポジウム、学術論文等として公表されている。これらの活動は、事業者が日常的にナノマテリアルの安全性の問題に取り組んでいる姿勢を積極的に開示することにより、企業活動の透明性を確保し、社会からの信頼を醸成することを目指している。さらに、DuPont 社は NRF を ISO (TC229) にテクニカルレポートとして登録する等の標準化に向けた取組等も行っている。

## 5. まとめ

国内においては、ナノマテリアルのリスク評価・管理手法の開発が行われているとともに、関係省庁において安全対策のあり方が検討されている。

海外においては、各国における自主的報告制度が実施されるとともに、一部の物質については規制が行われ始めており、大手の化学企業を中心として、規制に先立った事業者による自主的な取組も行われているところである。

国際機関においては、各国が協力して有害性情報の収集や安全性試験等が行われているところである。

## V. 対応の基本的方向

### 1. 対応のあり方

ナノマテリアルについては、その有害性やばく露経路は十分には明確されていないが、そのサイズに起因した新しいリスクが生じる可能性が指摘されている。本研究会で情報収集を行った6種類のナノマテリアルについては、現在判明している主なばく露経路である労働環境、環境への排出、廃棄については、関係法令に基づいた一定の対策がすでに行われているところであるが、ナノマテリアルについては、そのサイズに由来した特有の有害性やばく露経路が存在することも否定できない。一方、国際的にも、科学的知見を収集するためにリスク評価・管理手法の開発や自主的報告制度が実施されている。また、ナノマテリアルの主な用途（樹脂に練り込まれて使用される等）を踏まえると、現状ではナノマテリアルが環境中に大量に排出される状況ではないと考えられるが、今後とも排出等の状況について注視する必要がある。

上記を総合的に踏まえ、本研究会における対応の基本的方向性は下記のとおり。

- 1) ナノマテリアルは、その物理化学的性質やそれらに伴って発揮されうる機能が多様であるため、環境中での挙動やばく露の可能性、生じる可能性のある健康や環境に対する影響もまた多様であると考えられ、事業者ごとに各種条件を踏まえたきめ細かい対応が必要である。ナノマテリアルについて適切な取扱いが行われないことにより健康や環境に影響が生じることを防止するにあたっては、そういった柔軟な対応が可能となるよう、現時点では事業者の自主管理によって安全対策を講じながら製造・使用・廃棄を行うことが望ましい。(自主管理の事例、特徴等については表4及び5参照)

2) 自主管理の透明性、実効性を高めるために、今後事業者と国は、ナノマテリアルの健康や環境への影響や安全性に関する科学的知見、生産量・用途情報等について積極的に情報収集、情報提供及び情報発信を行い、知見の集積に努めるべきである。

## **2. 検討対象**

### 1) 検討対象とする事業者

ナノマテリアルは、その有害性についての知見が十分ではないこと及びその特性を利用した用途は今後拡大する見込みであることから、ナノマテリアルの使用実態等を網羅的に把握することが望ましいが、現時点で使用事業者はナノマテリアルの安全性等に関する知見を十分には保有していないと考えられることから、まずはナノマテリアルに関する知見を多く持つ製造・輸入事業者及び業界団体（以下、製造事業者等という）を主な対象とする。使用事業者については、ナノマテリアル製造事業者等からの情報提供により、知見の共有を進めていくこととする。

### 2) 検討対象とする安全対策

本研究会で検討対象とする安全対策は、ナノマテリアルを構成する化学物質が持つ物理化学的性状や生物学的影響に加えて、ナノサイズの粒径等に起因した特有な有害性に関する懸念に対応するための対策とする。

## **VI. 具体的対応**

ナノマテリアル製造事業者等による自主管理にあたっては、一義的には自主管理を行う事業者の役割が重要であるが、その透明性や実効性を確保するためには何らかの支援が必要であり、また自主管理での対応が困難となった場合に速やかな対策が必要となるため、国としても積極的な関与が必要である。したがって、事業者と国が果たすべき役割について整理する。

### **1. ナノマテリアル製造事業者等の取組**

#### 1) リスク評価・管理に関する取組

ナノマテリアルについては、近年国内外において、事業者による自主的なばく露防止・排出防止対策が進むとともに、政府による新たな取組の開始や、有害性に関する新たな知見が得られるなど、状況は急速に変化している。

このため、ナノマテリアル製造事業者等は、労働環境におけるばく露防止対策、環境への排出防止対策について、国内外の事業者の先進的取組や国内外の政府の取組について情報の収集・把握を行い、特に国内関係省庁による対策に係る通知や指針等が示された場合にはそれらを踏まえた上で、リスク評価に関する取組（安全性情報の収集・把握と環境測定等による作業環境でのばく露状況の調査等）やリスク管理に関する取組（密閉化や局所排気等による排出防止、保護具の

着用等によるばく露防止等) について、自らの製造や使用実態を踏まえて取り組むことが期待される。

## 2) コミュニケーションに関する取組

### ①情報伝達のあり方について

ナノマテリアルの労働者へのばく露や環境への排出については、ナノマテリアル製造事業者等だけではなく、使用事業者においても起こるおそれがある。このため、使用事業者においても適切なリスク管理が行われる必要があるため、ナノマテリアル製造事業者等は、使用事業者に対してナノマテリアルについての情報伝達と使用事業者との情報共有を行うべきである。また、ライフサイクル全体におけるナノマテリアルの適切な管理のためには、ナノマテリアル製造事業者等からの一方的な情報提供にとどまらず、使用事業者がどのようにナノマテリアルを使用するかを製造事業者等に伝える等の情報共有が進むことが期待される。

このため、具体的には、競争上の地位を害するおそれのある情報の扱いに配慮しながら、ナノマテリアルに関する安全性情報、取扱に関する留意点、使用情報等の共有等、ナノマテリアル製造事業者等と使用事業者との間でのコミュニケーションを促進することが必要である。

一部のナノマテリアルについては、関係法令に基づいて、あるいは製造事業者等が自主的に、譲渡・提供時にMSDSを添付している。これらのMSDSには、物理化学性状、有害性情報、ばく露防止対策等が記載されているが、ナノマテリアルであることに着目した情報は一部の物質を除き、多くの場合は不十分である。このため、ナノマテリアル製造事業者等は、表3に示す項目の中から、事業者自らが、ナノマテリアルの特性、使用状況を踏まえて提供できる項目を使用業者に提供することが期待される。その際には、ナノマテリアルについての科学的知見が不足していることを踏まえ、表3の全項目を網羅する必要はなく、安全性や環境への影響を評価・管理する上で重要な項目を中心に、現時点で入手・公開可能である範囲を、ナノマテリアルを構成する化学物質や製品毎の固有の性質にも留意して情報伝達することが望ましい。また、情報伝達にあたっては、国内外において、今後新たな知見が蓄積されていくことを踏まえ、情報が更新された際には、使用事業者に対し周知することが必要である。

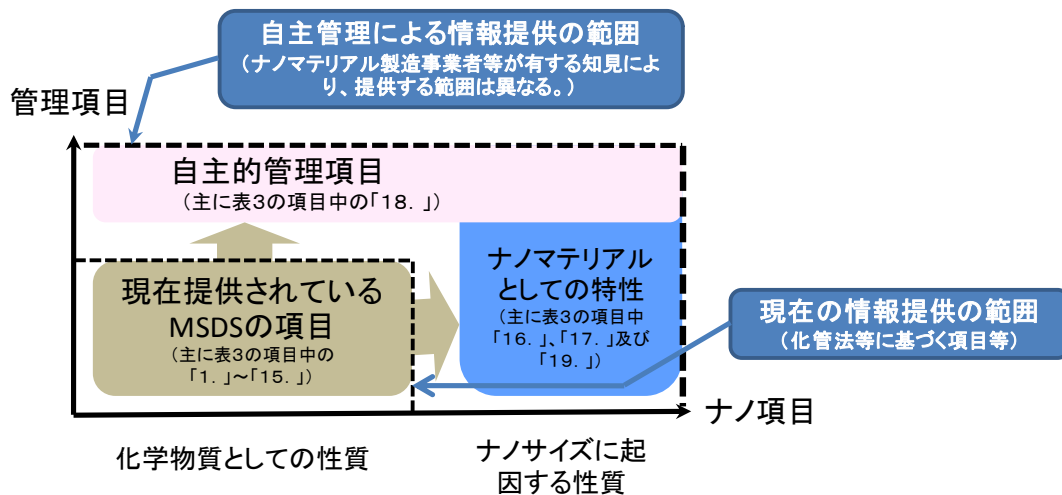


図2 情報伝達の範囲について

## ②情報発信のあり方について

ナノマテリアル製造事業者等が行う自主管理の取り組みは、法令に基づくものではないため、その透明性をどのように担保するかが重要である。よって、安全性に関する製造事業者等としての考え方を広く示すために、ナノマテリアル製造事業者等が持つ試験データや自主管理の取組等を積極的に発信することが期待される。

なお、情報発信を行うにあたっては、「①情報伝達のあり方」と同様の考え方で、表3に示す項目から、事業者自らが開示可能な項目を自らのホームページ等を用いて積極的に開示するとともに、国等と積極的に情報共有する等密接に連携することが期待される。

## 2. 政策的対応について

ナノマテリアルの適切な管理のためには、ナノマテリアル製造事業者等における自主的取組に加えて、国としても事業者における自主管理の透明性を担保するとともに、技術開発等の安全対策のためのインフラ整備についての積極的な取組が必要である。

ナノマテリアル製造事業者等が行う自主管理の透明性を担保するためには、主に次の3つの手法が考えられる。

(手法1) ナノマテリアル製造事業者等が自ら情報発信を行う。(具体的には、ナノマテリアル製造事業者等のホームページでの情報発信等が想定される)

(手法2) 国が情報発信を行う。(具体的には、経済産業省がナノマテリアル製造事業者等から情報提供を受け、情報発信を行うこと等が想定される)

(手法3) 手法2とともに、第三者機関においてレビューを行う。(具体的には、審議会等の専門家が集まる機関でのレビューが想定される)

「V. 対応の基本的方向」で述べたように、ナノマテリアルに関する適切な対応を行うために

は、事業者が自主的に安全対策に取り組むだけでなく、国が責任をもって専門家の意見等を踏まえて対応のあり方を検討するとともに、事業者における取組を社会全体に示してその評価を受けるべきであるため、手法1、2及び3が全て行われることが望ましい。具体的には、一定以上のナノマテリアルを取り扱うナノマテリアル製造事業者等は自ら情報発信を行うとともに、表3に示す項目から可能な情報を国に提供し、国が関係行政機関等と連携して積極的に情報を公開する（例えば、経済産業省ホームページの活用等）。また、提供された情報について専門家の集まる審議会等でレビューを行うことが望ましい。その際には、ナノマテリアル製造事業者等から提供された競争上の地位を害するおそれのある情報については、開示しないこととするべきである。なお、情報発信する際には、詳細な情報の発信を先行させ、一般国民に対しても、詳細な情報にアクセス可能とすること等により、情報発信に関する積極的な姿勢を示すことが必要である。併せて、報道機関等が活用できる専門用語の解説等の情報を整備することも必要である。また、安全性についての国際的な動向についても集約して発信することが必要である。

情報発信に加えて、ナノマテリアルのリスク評価・管理手法の開発（研究開発、基盤整備、測定）について関係省庁と連携して引き続き推進するとともに、それらの結果をOECD等に提供することにより、積極的に国際貢献を行うべきである。

現在、ナノマテリアルの安全性評価が可能な研究機関は少なく、ナノマテリアル製造事業者等が安全性等に関する情報収集を行うためには、試験・評価法の確立およびその実施が可能な試験研究施設の整備が必要である。各社が各々試験研究施設を整備することは、現段階では多額かつ重複投資となる懸念がある。したがって、例えば国がナノ試験評価施設を提供したり、試験手法の明確化を行い、ナノマテリアル製造事業者等はその施設を活用したり、当該手法を用いた評価を行う外部の試験機関等に委託する等の方法により、効率的に試験が実施できるようにすることも視野に入れるべきである。

なお、関係省庁においてもナノマテリアルの安全性に関する予防的取組が現在行われているところであり、経済産業省は、上記の取組を行う際には、関係省庁と連携して取り組むべきである。

## **VII. 今後の検討課題**

国は、本研究会にて検討したスキームに基づいて適切に情報収集を行うとともに、定期的に本スキームのあり方について検討を行い、自主管理による安全対策の妥当性について検討するべきである。

ナノマテリアル製造事業者等が発信・提供する情報の項目については、ナノマテリアルに関する最新の科学的知見や、国内外の動向等を踏まえて見直していくべきである。併せて、一般国民に向けた情報提供については、ナノマテリアル製造事業者等からの情報収集や専門家向けの詳細な情報についての情報発信を行うことに加え、その望ましいあり方を検討するべきである。

また、今回対象とする6物質の製造事業者等の安全対策により、我が国のナノマテリアルの一

定の部分について対応できていると考えられるが、ナノマテリアル使用事業者の安全対策等、今回の検討対象としなかった課題についても、製造事業者等から情報提供された取組状況・取扱量等や国内外での新たな知見の集積を踏まえて引き続き検討するべきである。

表3 情報提供・情報発信を行う項目

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製品及び会社情報</li> <li>2. 危険有害性の要約</li> <li>3. 組成及び成分情報             <ul style="list-style-type: none"> <li>・化学物質名（一般名称）</li> <li>・商品名</li> <li>・分子式・分子構造</li> <li>・CAS番号</li> <li>・不純物等</li> </ul> </li> <li>4. 応急措置</li> <li>5. 火災時の措置</li> <li>6. 漏出時の措置</li> <li>7. 取扱及び保管上の注意</li> <li>8. ばく露防止及び保護措置</li> <li>9. 物理化学的及び化学的性質             <ul style="list-style-type: none"> <li>・物理的状态</li> <li>・蒸気圧</li> <li>・密度</li> <li>・溶解度</li> <li>・融点、沸点及び昇華点</li> <li>・解離定数</li> <li>・オクタノール-水分配係数</li> <li>・pH</li> <li>・燃焼性／爆発性</li> <li>・吸着係数</li> </ul> </li> <li>10. 安定性及び反応性</li> <li>11. 有害性情報             <ul style="list-style-type: none"> <li>・生分解性・生物蓄積性</li> <li>・健康に対する影響</li> </ul> </li> <li>12. 環境影響情報             <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境に対する影響</li> </ul> </li> <li>13. 廃棄上の注意</li> <li>14. 輸送上の注意</li> <li>15. 適用法令</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>16. ナノマテリアル特有の特性             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ナノサイズであるための特性</li> <li>・結晶構造</li> <li>・凝集状態／分散状態</li> <li>・粒度分布, 形状, 質量</li> <li>・表面積, 電荷, 化学組成</li> <li>・気孔率</li> <li>・拡散</li> <li>・重力沈降</li> <li>・収着</li> <li>・湿式および乾式移動</li> <li>・酸化還元と光化学反応の影響</li> <li>・土壌中の移動性</li> </ul> </li> <li>17. ばく露情報             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 製造・輸入に関する情報                 <ul style="list-style-type: none"> <li>・製造・輸入量（年度毎）</li> </ul> </li> <li>(2) ばく露情報                 <ul style="list-style-type: none"> <li>・用途情報等</li> <li>・製造・加工施設及びプロセス</li> <li>・ばく露情報（ばく露対象者、ばく露活動・時間等）</li> <li>・環境排出量</li> <li>・計測技術と計測結果</li> </ul> </li> </ol> </li> <li>18. リスク管理の対策状況             <ul style="list-style-type: none"> <li>・排出抑制対策</li> <li>・労働者への教育</li> <li>・今後の対策等のロードマップ</li> </ul> </li> <li>19. ナノマテリアルの性質等に関する事業者のコメント</li> <li>20. その他 等</li> </ol>
--	---

※1. ～15. については、JIS Z 7250 で示されたMSDS で提供する項目に対応している。

※上記項目は、情報提供・情報発信を行う際に参考とするべきものであり、必ずしも全ての項目について情報提供・情報発信を行う必要はない。



## 参集者名簿

### 座長

中西 準子 産業技術総合研究所安全科学研究部門 研究部門長

### 学識者

岸本 充生 産業技術総合研究所安全科学研究部門  
持続可能性ガバナンスグループ 研究グループ長

武林 亨 慶應義塾大学医学部 教授

中谷内 一也 帝塚山大学心理福祉学部 教授

新美 育文 明治大学法科大学院 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

### 産業界

有川 峯幸 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

小川 順 ナノテクノロジービジネス推進協議会  
社会受容・標準化委員会委員長

金井 孝陽 カーボンブラック協会 環境・技術委員会委員長

蒲田 佳昌 日本酸化チタン工業会 ナノ酸化チタン小委員会副委員長

庄野 文章 社団法人日本化学工業協会 化学品管理部部長

建部 和男 日本無機薬品協会 ホワイトカーボン部会委員

真柄 光一郎 日本無機薬品協会 亜鉛華部会委員

山本 隆夫 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

## 検討経過

### ●第1回

日時 平成20年11月27日(木) 14:00～16:00

場所 中央合同庁舎第7号館西館9階 共用会議室-1

- 議題
- 1) 研究会の開催について
  - 2) ナノマテリアルに係る現状等について
    - ①ナノマテリアルの安全性に係る国内外の動向について
    - ②ナノマテリアル製造事業者等における取組について
  - 3) 検討の進め方について
  - 4) その他

### ●第2回

日時 平成20年12月25日(木) 10:00～12:30

場所 経済産業省別館10階 1020会議室

- 議題
- 1) ナノマテリアルに係る現状等について
    - ①工業ナノマテリアルに関する自主的取組について
    - ②ナノマテリアル製造事業者等における取組について
  - 2) 自主的管理に関する話題提供
  - 3) ナノマテリアルの管理のあり方について
  - 4) その他

### ●第3回

日時 平成21年2月4日(水) 14:00～16:00

場所 経済産業省別館11階 1120会議室

- 議題
- 1) 「ナノマテリアルに関する当面の対応」について
  - 2) その他

## 参考資料

- ・化学物質の排出量・濃度管理に係る規制と自主管理の位置付け
- ・自主管理及び規制の特徴（長所・短所）
- ・自発的な監視と制裁準備の申し入れによる信頼の改善について
- ・ナノマテリアル製造事業者等における取組について

表4 化学物質の排出量・濃度管理に係る規制と自主管理の位置付け

	手法	目標設定の例	評価方法の例	罰則の有無	具体的事例
規制	直接規制的手法	法令で規定する排出基準	基準値のクリア	有	大防法、水濁法による環境規制 ・人への健康影響が明らかな物質について、大気、水への有害物質の排出を、基準値により規制
	法規制と自主的 取組手法の ベストミックス	法令で規定する排出基準 (一部の大規模施設)	基準値のクリア	有	大防法におけるVOC対策 ・規制対象施設への排出基準の遵守義務と規制対象外の排出源への自主的取組を組み合わせることで平成22年度までに、固定発生源から排出されるVOC排出量を平成12年度に比して3割程度削減する目標を審議会意見具申として提示。 ・自主的取組については国が指針を策定し、業界団体に自主行動計画の策定を要請し、進捗状況を審議会ですべて定期的にチェック。
自主管理		国からの協力要請により 業界団体毎に目標値を設定 (規制対象施設以外)	目標値の達成状況を公的な場において定期的にチェック	無 ただし、目標が達成されない場合には、直接規制的手法に移行する可能性有り。	大防法における有害大気汚染物質対策 ・平成8年の改正大防法を受け、関係業界団体に自主管理計画の策定を要請。 ・第1期(H9～H11年度)、第2期(H13～H15年度)の自主管理計画の策定状況を審議会ですべて評価
	自主的取組手法	国からの協力要請により 業界団体毎に目標値を設定	目標値の達成状況を公的な場において定期的にチェック	無 ただし、目標が達成されない場合には、直接規制的手法に移行する可能性有り。	関係法令(化管法等)の努力規定による自主管理 レスポンスフルケア活動 等
		事業者自らが 目標を任意に設定	データ開示等による国民の評価等	無	

表5 自主管理及び規制の特徴（長所・短所）

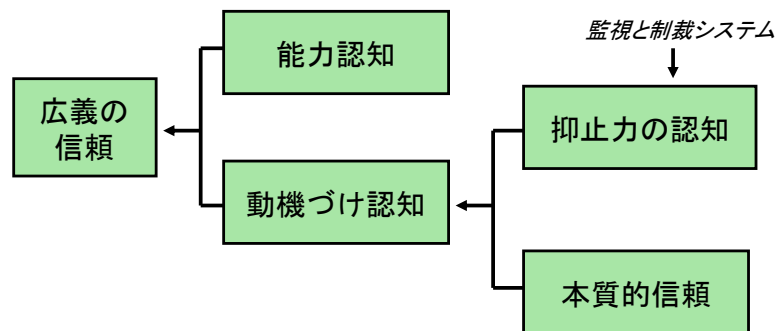
	長所	短所
自主的取組	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 法制度と比較して、運用、監視等に係るコストを削減できる。</li> <li>・ 経済社会の状況変化に敏速に対応することができる。</li> <li>・ それぞれの産業や企業にとって環境目標を達成するための最適な方法を選択することができる。</li> <li>・ 環境保全技術の開発に対する誘因を与える。</li> <li>・ 雇用者等への教育、啓発効果、利害関係者とのコミュニケーション効果がある。</li> <li>・ 国、地方公共団体、学術研究機関等と産業、企業の協力が促進される。</li> <li>・ 税や法規制と比較して、政治的、社会的な受容性が高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 法規制と比較して拘束力が弱く、「ただ乗り」や非協力的な企業への対応が徹底しない。</li> <li>・ 透明な評価システムがないと、自主的取組への社会的信頼が失われる。</li> <li>・ 目標、基準、実施方法等の設定が恣意的になされるおそれがある。</li> </ul>
直接規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 法的な強制力により一定の行為を禁止・制限するため、確実な効果が期待できる。</li> <li>・ 健康や安全、環境への侵害行為に対して法的に保護でき、被害者に対しては救済措置を講じることができる。</li> <li>・ 経済力の大小や行政による恣意的な運用による不公平が起きる余地は少ない。</li> <li>・ 規制の対象や排出状況等についてあらかじめ調査をすることにより、法制度の効果を事前に予測しやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 規制の施行にコストがかかる。（特に規制対象が多数の小規模事業者の場合）</li> <li>・ 公平な運用が困難なことがある。</li> <li>・ 多様な問題に対する柔軟な対応、各種条件をふまえたきめ細かい対応が困難。</li> <li>・ 法制度が複雑化し、単純性と明瞭性が失われる。</li> <li>・ 迅速な対応が困難。</li> <li>・ 法規制により守られる権利や行為が既得権化することがある。自由競争を阻害、非関税障壁となる場合がある。</li> <li>・ 基準は低いレベルに設定されがちであり、規制以上に環境保全に向けて努力しようとする誘因に欠ける。</li> <li>・ 技術的な革新を促進するインパクトに欠ける。</li> </ul>

環境省 「経済社会のグリーン化メカニズムの在り方」報告書（平成12年5月）を基に事務局作成

## 自発的な監視と制裁準備の申し入れによる信頼の改善について

リスク判断において、高い動機付けと情報処理能力を有する専門家は、自分自身でできる限り精緻な判断をしようとするが、専門家と比較して動機付け・情報処理能力が比較的低い層のリスク判断は、「広義の信頼」をできる者が行ったリスク判断に従うという傾向がある。信頼について定義は多様であるが、広義の信頼とは、「相手にお任せして大丈夫」、という気持ちである。広義の信頼を得るためには、知識、情報処理能力、専門技術などといった、「能力認知」が必要である。さらに、有能な人が誠実に真面目に取り組むのであれば、高いパフォーマンスが期待できるという「動機付け認知」も必要となる。なお、動機付け認知が悪化した場合には、能力認知の改善によって信頼改善を行うことは効果が期待できない。

動機付け認知には二つの要素があり、一つが監視体制を整える、問題が生じた場合に制裁が下される、といった抑止力の認知である。不祥事が起きた場合に、抑止力を高めることで、動機付け認知を改善して信頼を上げる方法がある。もう一つの要素が、例え抑止力がなくても信頼される本質的信頼である。



ここで、抑止力の認知と本質的信頼はトレードオフの関係にあり、「抑止力があるから広い意味での信頼が培われる」というようなところに長くいると、本質的な信頼は損なわれる場合があり、そのために、例えば抑止力のために民間企業を行政が監視する、行政を監視するために第三者機関を作る、というように際限なくコストがかかる結果になり、かえって本質的な信頼が損なわれることになる。

この問題をクリアするために考えられたのが、自発的人質供出のアイデアである。監視と制裁のシステムを自ら申し出ることによって、信頼を高めることができるのではないか、という考え方である。

人質を出すということを自発的に言い出した場合には、制裁を受けずに済むだけの自信がある、つまり、動機づけ認知についても、能力認知についても改善できるのではないかというアイデアである。

このアイデアを検証するため、具体的な事例を基に、①自発的に監視と制裁準備を申し入れる自発的な人質供出をする、②外部の要求によって監視と制裁準備を受け入れる③不祥事の後始末

以外は何もしないという統制群を比較した実験が行われており、①自発的供出群は、②強制的な人質供出群や③コントロール群と比べて動機づけの評価が有意に高くなり、能力評価についても同じような傾向がある。さらに、事前に評価を聞いた際の好意的な被験者群と好意的でない被験者群に分けて分析すると、動機づけの面において、強制的条件と自発的条件における評価の差が大きかったのは、事前の態度が肯定的だった群であった。顧客である等の好意的な群においては、自発的に供出することによって誠実さ評価が改善されており、好意的でない群においては、自発的供出と強制的供出にそれほど差が見られなかった。

ナノテクに関しては、地震、地球温暖化といった項目と比べると不安は高くないというアンケート結果もあるが、今後ナノテクが進展していくとするとトラブルが起こる可能性があるため、その際に後手にならないように先に準備しておくことが有効ではないかと考えられる。

(帝塚山大学 中谷内教授の発表を基に事務局作成)

## ナノマテリアル製造事業者等における取組について



## カーボンナノチューブの 開発・用途・安全対策の状況について

2008年11月27日

ナノテクノロジービジネス推進協議会（NBCI）

### 内容

- (1) NBCIの紹介
- (2) NBCIにおけるナノ材料の適切な管理への取り組み
- (3) カーボンナノチューブの種類、サイズ、取扱量、用途等  
について
- (4) カーボンナノチューブの製造工程等における安全管理  
について
- (5) 海外における産業界のカーボンナノチューブの取扱い  
に関する実態調査について

## 目的

日本のナノテクビジネスを一層加速させ、  
世界を牽引できるナノテクビジネスを構築する。

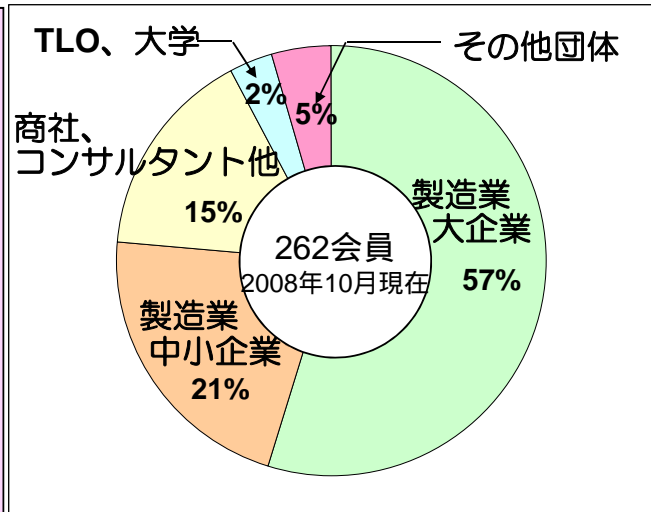
## 活動

### 【ビジネスマッチング・技術/情報交流】

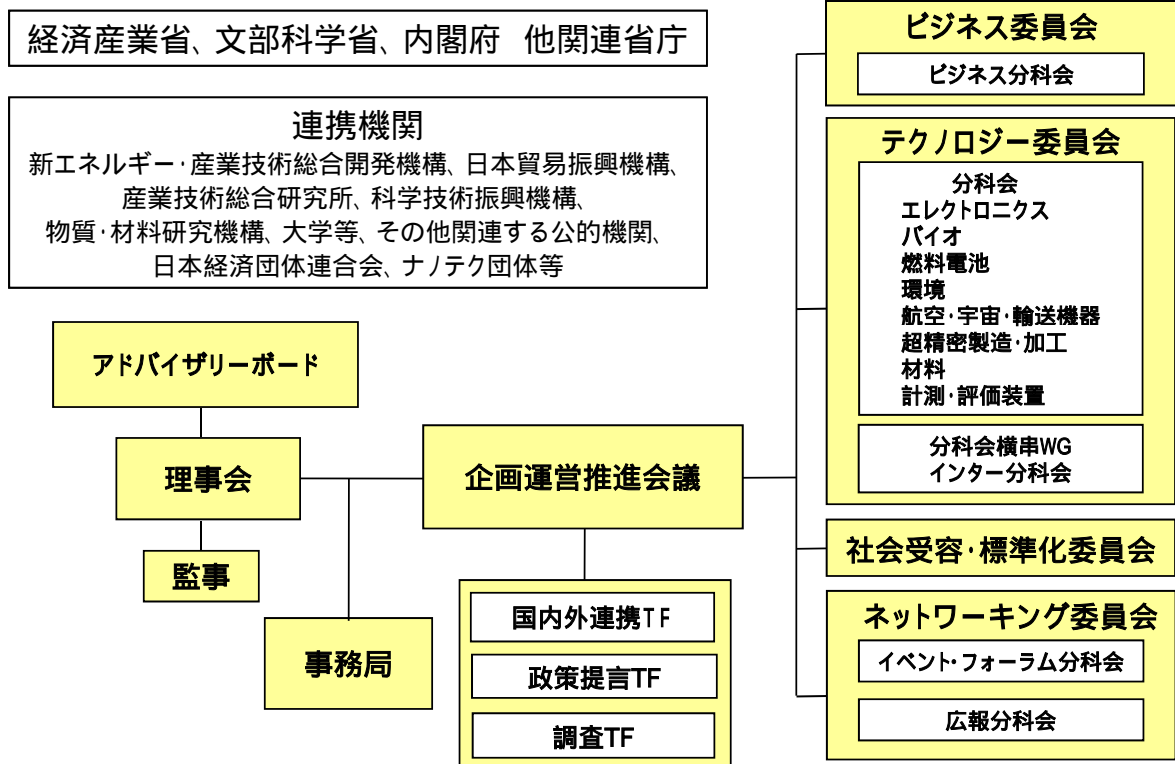
- ・シーズ・ニーズマッチング発表会
- ・ビジネスロードマップの作成と活用
- ・標準化活動の推進
- ・フォーラム、セミナーの開催

### 【公的機関等との関連活動】

- ・政策提言、国プロ提案支援
- ・NEDO、JETRO、AIST、JST、NIMS、RIKEN、大学他との交流
- ・国際交流



# NBCIの組織体制



## (2)NBCIにおけるナノ材料の適切な管理への取り組み

### 厚生労働省局長通知(2/7)を関係企業に周知するため説明会を主催(3/7)

厚生労働省労働基準局長の通知「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」の趣旨、内容、評価プロジェクト、等の説明

3月7日開催 参加者約130名80社

### 厚労省ナノ材料の安全対策に関する検討会に参加

- ナノ材料の予防的ばく露防止策および安全対策のあり方を検討
- NBCIより委員を派遣し、産業界の意見を提言

### 環境省ナノ材料環境影響基礎調査検討会に参加

- ナノ材料の環境への放出可能性と管理手法の基礎的調査を検討
- NBCIより委員を派遣し、産業界の意見を提言



## NBCI会員企業におけるばく露予防対策の実施状況

(NBCI事務局による調査結果より作成)

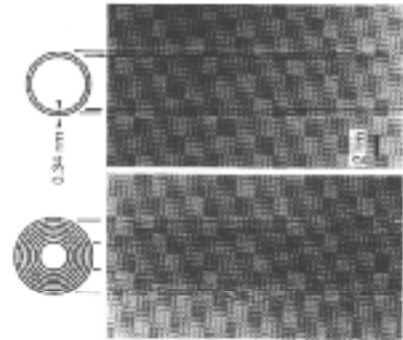
ナノマテリアルを取り扱う会員企業は粉塵対策に関する法令等を遵守

厚生労働省の通知以前より、企業等は自主的に、通知に記述されている内容も含め、労働者に対するばく露予防を実施

厚生労働省の通知を受けて、製造部門を中心にばく露予防策を強化

# (3)カーボンナノチューブの種類、サイズ、取扱量

上段 単層CNT  
下段 多層CNT



カーボンナノチューブ

・ サイズ: 繊維径: 数nm ~ 150nm、長さ: 数μm ~ 10μm程度

・ 取扱量

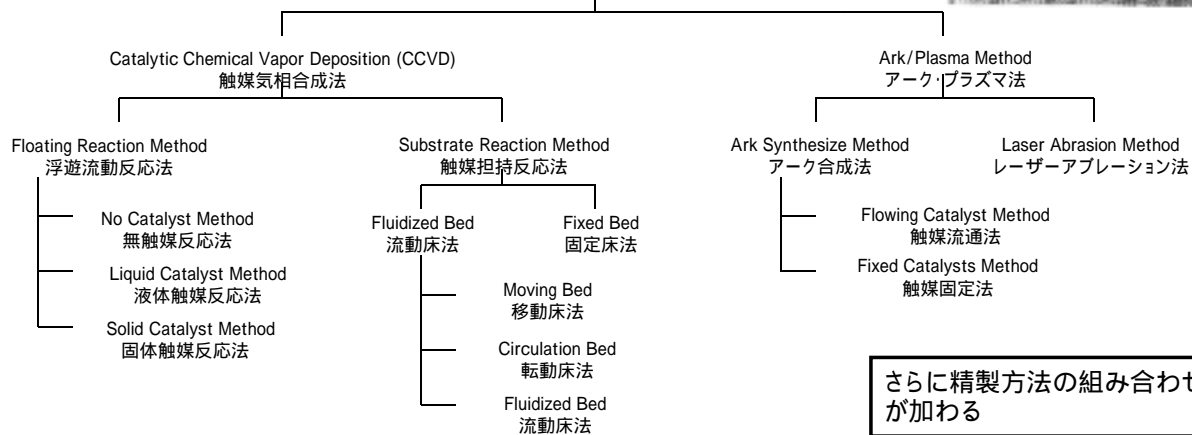
(第2回厚労省検討会発表資料: ナノマテリアルの用途・生産量調査結果報告より)

SWCNT : 約100kg/年 (研究用)

MWCNT(10nm ~ 70nm): 約60 ~ 70トン/年

カーボンナノファイバー(~150nm): 約60トン ~ 70トン/年

## CNT合成法



さらに精製方法の組み合わせが加わる

# カーボンナノチューブの用途・開発状況(1)

SWCNT

用途 : 研究開発中

将来用途: トランジスタ、燃料電池、水素吸蔵

LSI配線、太陽電池、キャパシタ、透明導電膜、導電ペースト、機械的強度向上を目的とした用途

出典: 厚労省「ナノマテリアル安全性対策調査」平成19年度報告に、会員から得た情報を付加した。網羅性はない。

# カーボンナノチューブの用途・開発状況(2)

## MWCNT

用途 : 半導体トレイ(帯電防止シート)、導電ペースト

将来用途 : ITS利用、蓄電デバイス、燃料電池、衣類、カテーテル

## カーボンナノファイバー

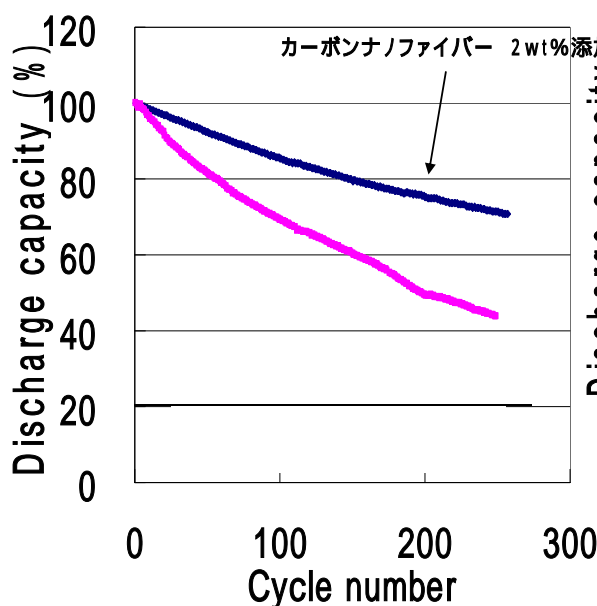
用途 : リチウムイオン二次電池

将来用途 : 機械的強度向上を目的とした用途、燃料電池

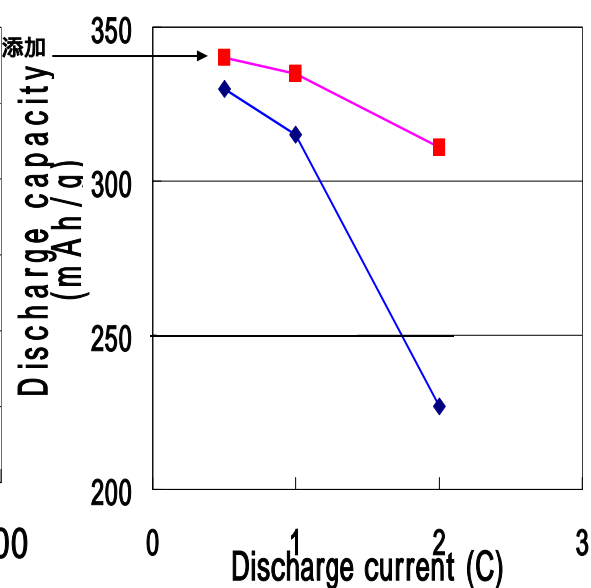
出典: 厚労省「ナノマテリアル安全性対策調査」平成19年度報告に、会員から得た情報を付加した。網羅性はない。

## カーボンナノファイバーの応用例 (電池への応用)

### 電池寿命の改善効果



### 電池容量の改善効果



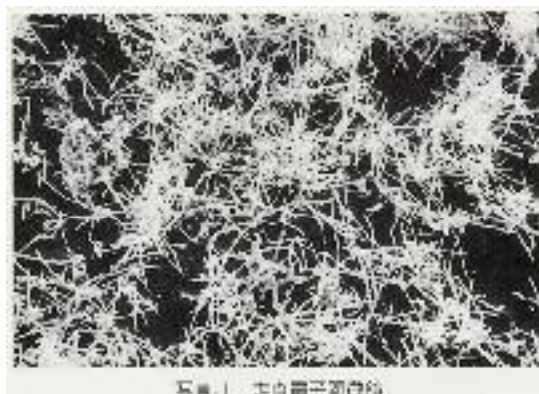
Anode material: Meso-phase carbon Anode Electrode: 1.6g/cm<sup>3</sup>, 8mg/cm<sup>2</sup> PVDF: 5wt%  
Cathode Electrode: LiCoO<sub>2</sub> Electrolyte: 1M-LiPF<sub>6</sub>+EC/MEC

## (4)カーボンナノチューブの製造工程等における安全管理について

### MWCNT製造工程での安全管理の例

#### 製造・販売に関する基本対応

- ・密閉系製造ライン
- ・建屋外にCNTが排出されない対策実施(プレフィルター+HEPA)
- ・運転員の保護具対策/運転員への教育
- ・MSDSによる顧客への取扱い注意喚起
- ・製造設備の環境測定と設備対応



## 製造工程における一般環境に与える影響

### MWCNT製造工程の例

**排気** : 局所排気の高性能フィルターまたは洗浄装置にてナノ粒子を捕集しており、外部環境への放出はない。また、全体を高性能フィルター付き排風器で吸引している例もある。

**排水** : 機器用間接冷却水と洗浄装置の排水。  
冷却水にはナノ粒子の混入はない。

**廃棄物**: ナノ粒子が付着した廃棄物は、産業廃棄物として焼却処理されている。焼却時にナノ粒子は燃焼している。



## カーボンナチューブの主な最終製品における 一般環境に与える影響

### 主な用途(1):リチウム二次電池

環境中への放出の可能性:

電極にバインダーとともに固定。濃度は負極材料の数%程度。電池自体はパッケージされている。

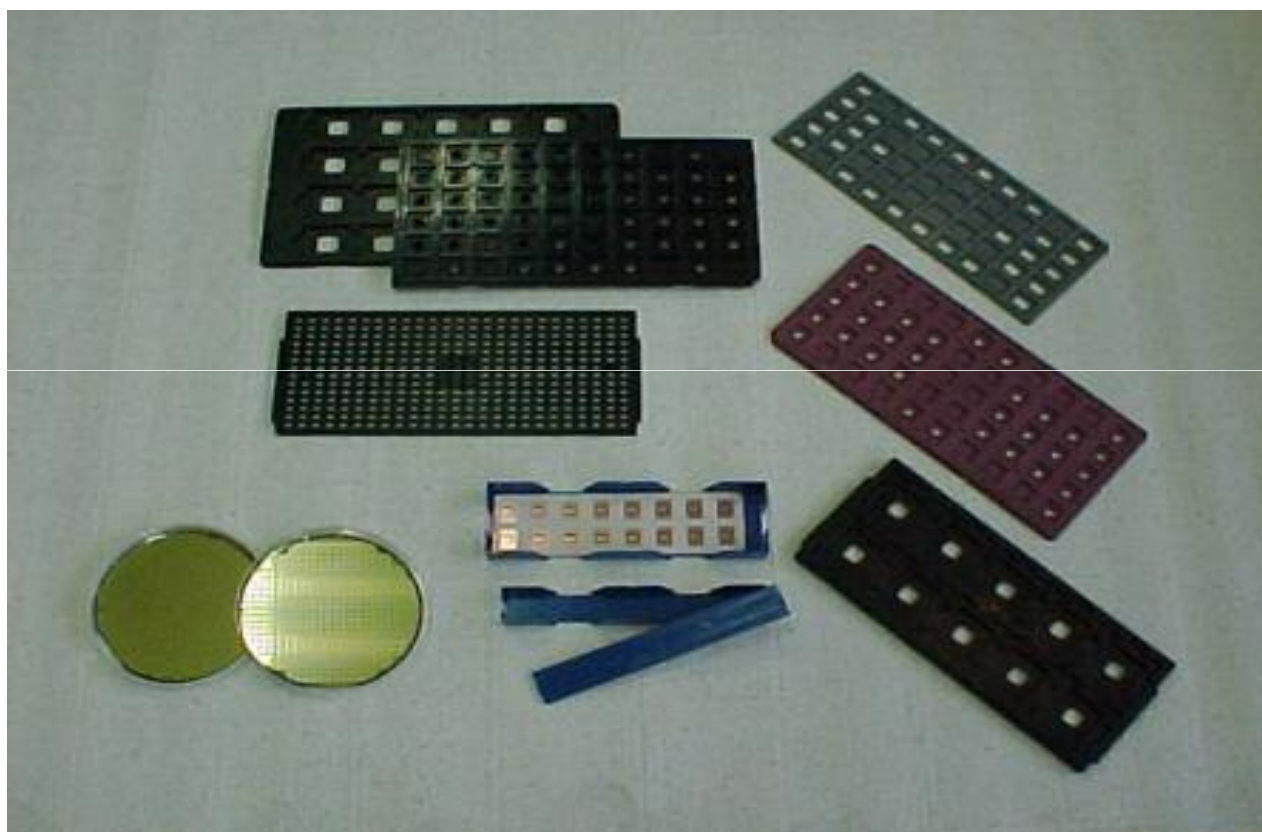
尚、電池は希少金属回収のためリサイクル回収されている。

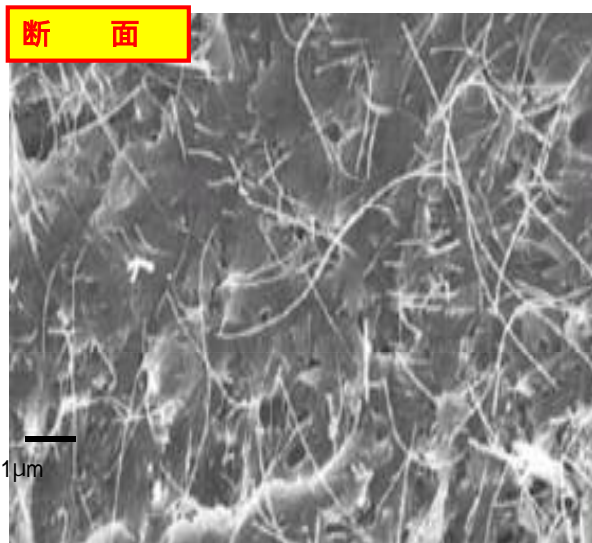
### 主な用途(2):半導体トレイ(帯電防止シート)

環境中への放出の可能性:

樹脂に溶融され固定。環境中への放出はない。

## 半導体トレイ(導電性用途)



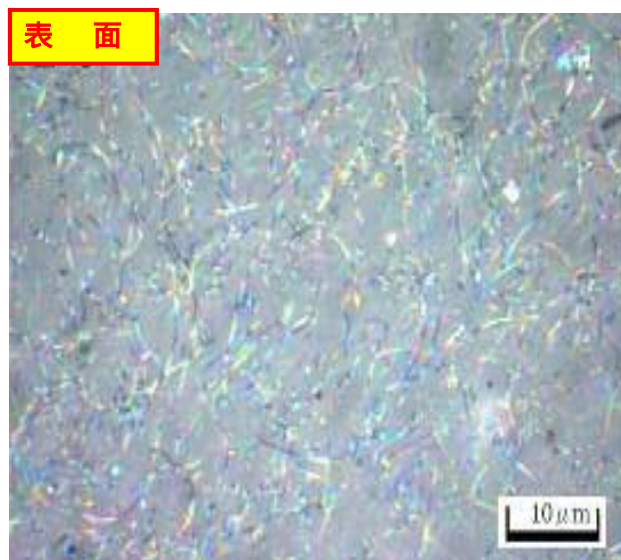


最終製品中のCNT存在形態

樹脂に溶融固定化されている。

最終製品中のCNT濃度

樹脂添加率：0.1～10wt%



## (5) 海外における産業界のCNTの取扱いに関する実態調査について

### ◆ 調査研究の目的

海外企業におけるCNT取扱いに関わる安全管理の取り組みを調査し、わが国の自主管理ガイドライン策定検討の参考とする

### ◆ 調査方法

NBCIIに調査研究委員会を設置

委員：公的機関の有識者、NBCIナノカーボン関係者

欧米企業、業界団体に現地ヒヤリングを予定

### ◆ 調査項目

欧米企業や業界団体における先行的、自主的取り組み事例

自主管理の策定や実施における問題点

### ◆ 調査先候補

欧州：欧州CNT工業会(PACTE)、ドイツ化学工業会(VCI)など

米国：米国化学工業会(ACC)、ナノテク評議会(ICON)、デュポンなど



# カーボンブラックについて

カーボンブラック協会

2008年11月27日

## 1. 物質の説明

### カーボンブラック

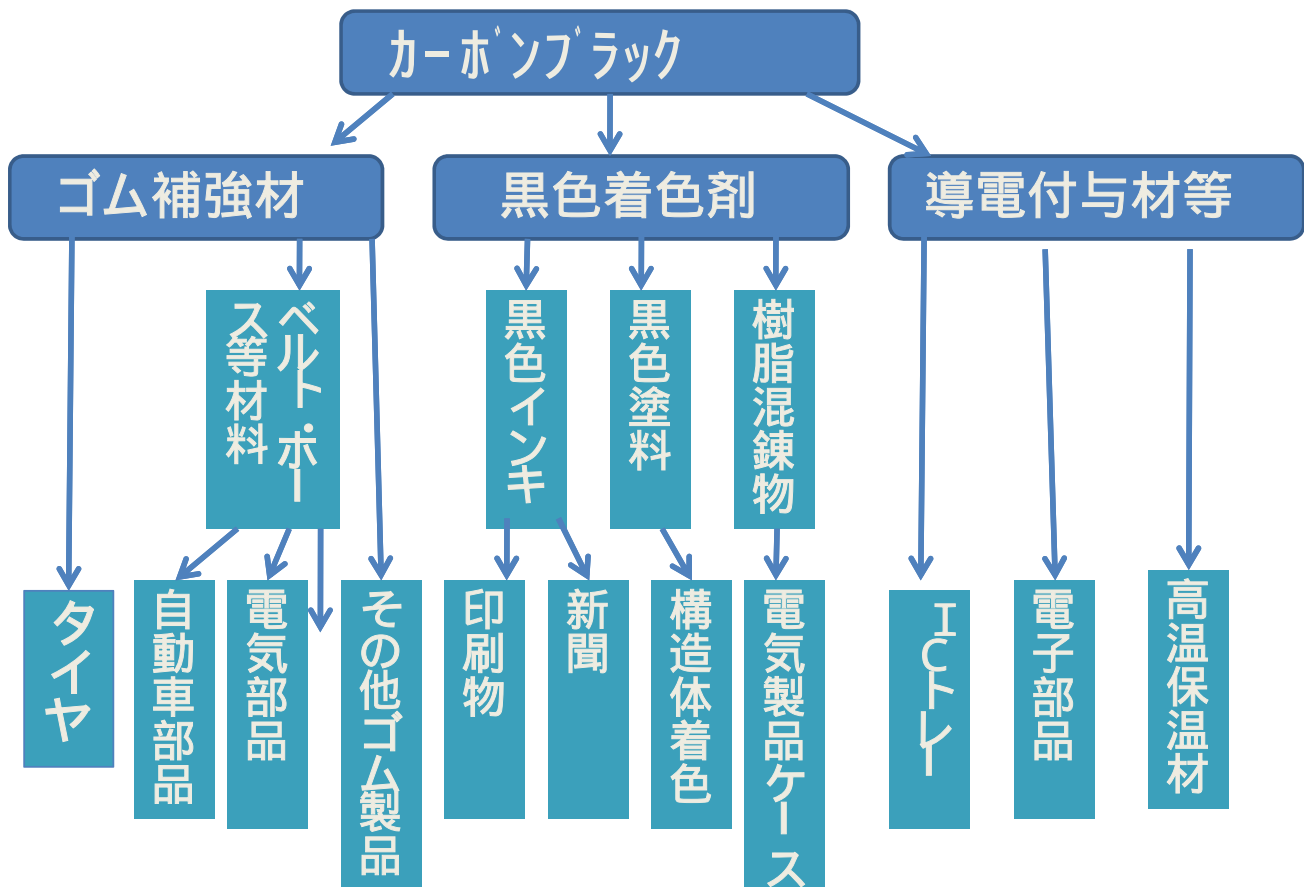
(管理された条件下で作られた煤のような物質)

- 外観 黒色ビード(1mm程度)(製品の95%以上)  
又は粉末状



ビード形状

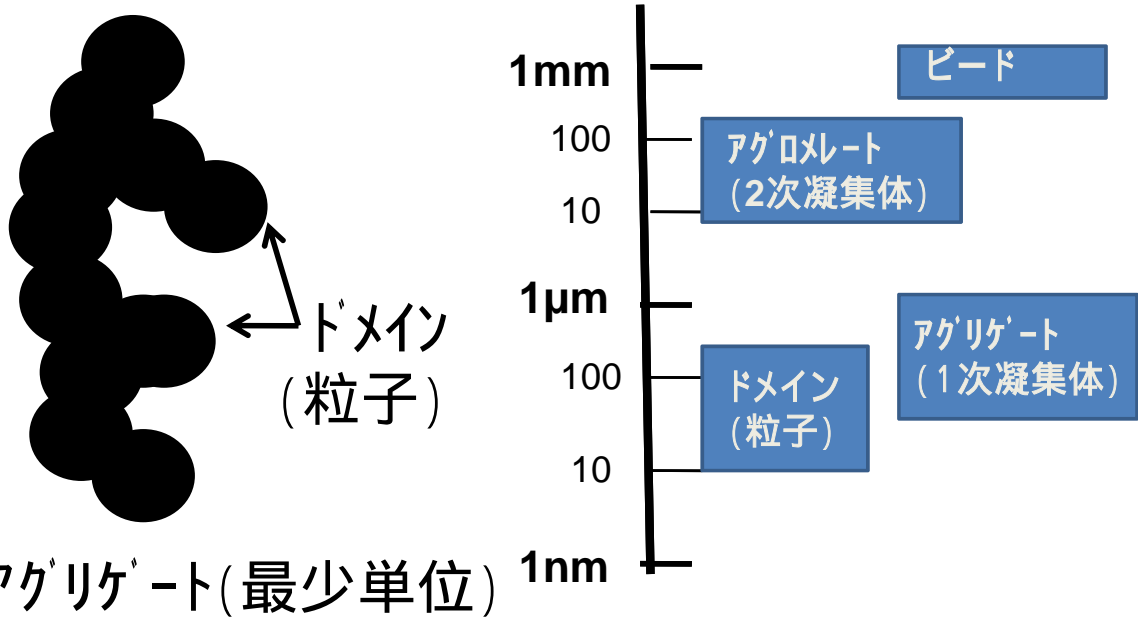
# 用途



## 2. 物質の性状

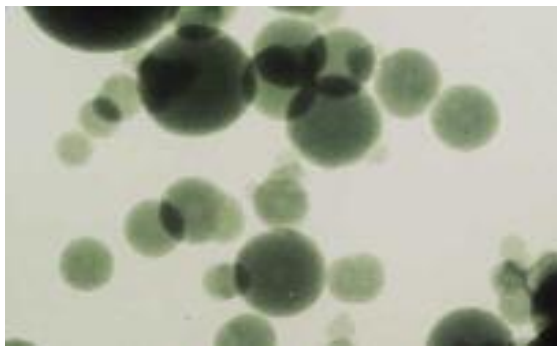
- 構造：乱層黒鉛(6環・5環層)構造
- 密度:1700 ~ 1900kg/m<sup>3</sup>(液体置換法)
- カサ密度：200 ~ 700kg/m<sup>3</sup>
- 比表面積：5 ~ 500m<sup>2</sup>/g
- 沸点融点：3000度以上
- 電気伝導率・熱伝導率：良電気・熱伝導性
- 溶解性：水，油及び溶剤に不溶
- 耐食性：高耐食性

### 3. 構造(アグリゲートを最小単位とする構造)



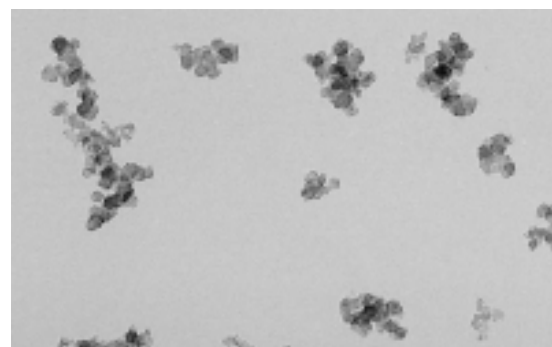
注)アグリゲートは反応過程で液晶状態の粒子が溶融結合して出来た骨格に、更に炭化水素が結合し、その後炭化して生成すると考えられている。

### アグリゲート写真 (ABCDは品種)



A

100nm



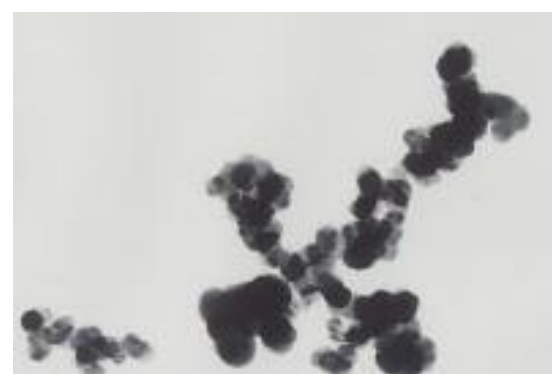
B

100nm



C

100nm



D

100nm

## アグロメレート(2次凝集体)

- アグロメレートはアグリゲートがVan Der Waales力や単なる集合,付着,絡み合いなどによって生じる2次凝集体である。通常数十ミクロンから数百ミクロンの大きさと考えられている。

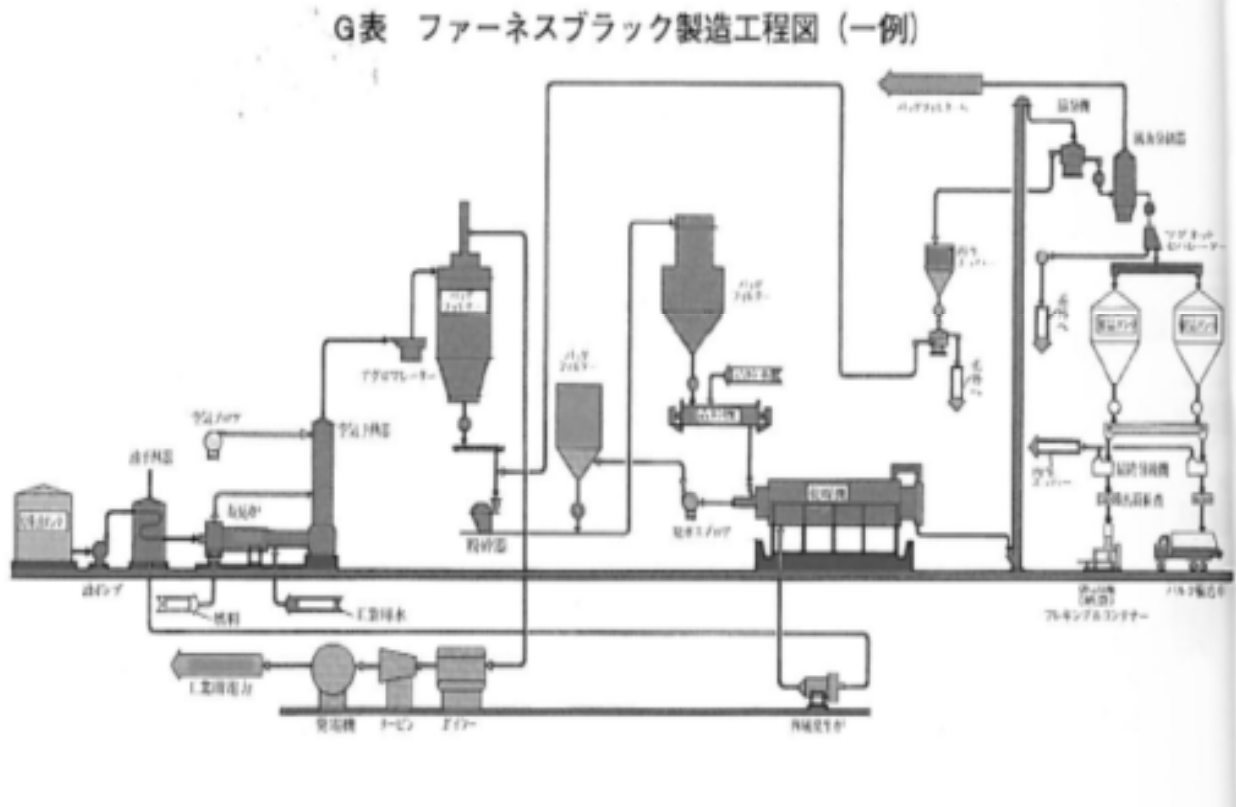
製品工程でもビード形成前にはアグロメレートの形態で存在すると考えられる。市販されている粉末状カーボンブラックもこのアグロメレート形体であると考えられる。

## ビード

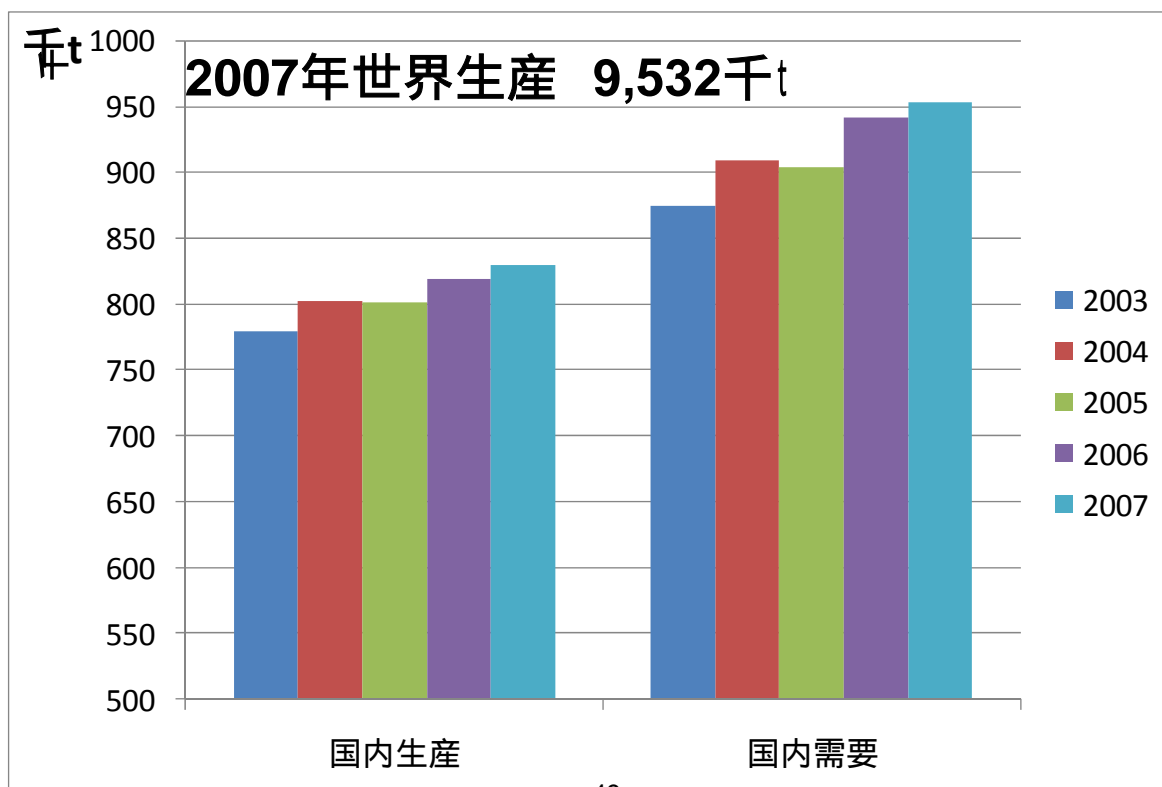
発塵防止のためカーボンブラックを固めたものをいう。現在市販されている製品のほとんどはビード形状で出荷される。

ビードの製造方法には、水を加えて作る湿式法と水を加えずに作る乾式法があるが湿式法が大半である。湿式法で作ったビードも後の工程で水分を完全に飛ばして乾燥状態で出荷される。

# 4. 製造工程の一例



# 5. 国内生産量・需要量



## 6. 安全対策

工場：カーボンブラック製造工程は、外部に粉塵が漏れない構造としている。

浮遊カーボンブラックを扱う設備は密閉構造で出口部分にはバックフィルター設置し補修する構造となっている。

その他カーボンブラック輸送、貯蔵設備は点検口及び空気の取り入れ口(負圧)を除き密閉構造としており、粉塵が発生し易いシュート等には、系外への漏えいを防ぐ為、粉塵吸引装置が設置され、バックフィルターで処理されている。

製品出荷用排出口にも吸引装置が設置されているほか、除去鉄分等系内よりの取り出し口は負圧にして発塵を抑えている。

- カーボンブラックの輸送・貯蔵・取扱設備  
(カーボンブラック取扱安全指針 6.1章

カーボンブラック協会発行)

カーボンブラックの輸送・貯蔵。使用等取扱上の施設は極力密閉構造とする。容器や配管等も外部に漏れないものを用い、点検孔、マンホール等解放される部分もシールで密閉する。カーボンブラックの袋詰め、解袋等の発塵作業には局所排気装置を用い、発生した粉塵は発生源にて除去する。また屋内作業場において浮遊粉じん濃度を極力下げするため全体換気装置を設ける。必要に応じて隔離、密閉化、湿潤化等の粉じん防止対策を講じる。

## 労働者暴露対策

- ・(カーボンブラック取扱安全指針 8章抜粋  
カーボンブラック協会発行)

粉塵作業：労働安全衛生法粉じん障害防止規則  
及びじん肺法の規則内容を遵守する

保護具の使用：粉塵作業に従事する場合は、特  
急防塵マスク、防塵メガネ、ビニール又はゴム手  
袋を着用する。

作業環境の向上

カーボンブラック取扱安全指針 8-6章参照  
カーボンブラック協会発行

## 7、出荷時の梱包状況

バルクトラック輸送：大口需要家向け。需要家のタンクに直接投入(出荷の7～8割)  
フレコンバック：500～1000kg投入可能なフレコンバック(ゴムラインニング)で出荷  
紙袋：紙袋は、紙が数層になっており、粉塵が外部に流失しない構造になっている。  
内容量20kgのものが大半である。

顧客に対しては、「MSDS」及び「取扱安全指針」を配布して安全上の注意を徹底させている。



図10.5 カーボンブラック用バルクトラック



図10.1 カーボンブラック紙袋詰品  
(20kgクラフト紙袋詰)



図10.2 カーボンブラック樹脂袋詰品  
(10kgポリエチレン袋詰)



図10.3 カーボンブラック フレキシブル  
コンテナバッグ詰品



図10.4 カーボンブラック フレキシブル  
コンテナバッグトラック積み

## 8、廃棄物の処理方法

- 製造工程・出荷工程及び工場各所には多数の吸引ラインが設置されており、吸引されたカーボンブラックは再処理されて製品化される。
- 製品以外で系外から取り出したカーボンブラックは(点検時抜き取り、品質確認用等)ごく少量であるが各社再利用できるものは再利用し(各社の事情により異なる)、再利用できないものは、産廃処理業者に委託処理(焼却等)している。



# ナノサイズ酸化チタンについて

日本酸化チタン工業会  
2008年11月27日

## 酸化チタンとは

チタニヤ宝石（ルチル単結晶）



酸化チタンは無色・透明であり、高屈折率を持つ

酸化チタン粉末

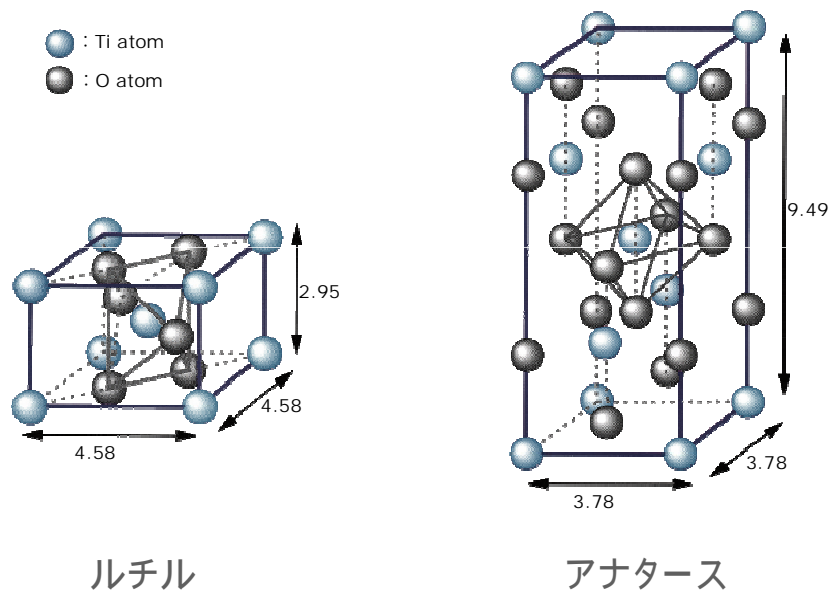


酸化チタン粉末は散乱効果で白色

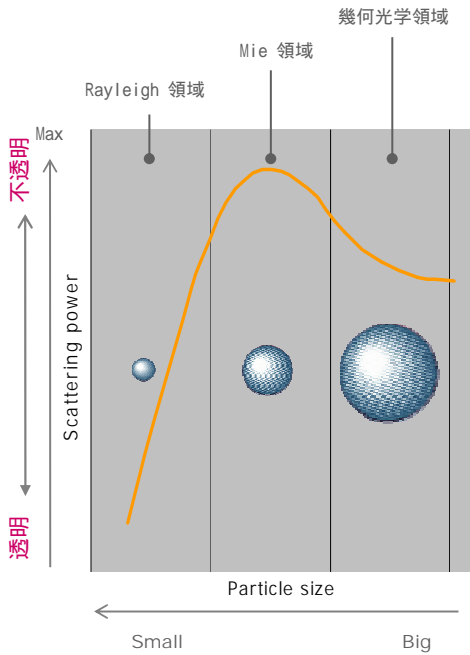
# 酸化チタン一般物性

結晶形	ルチル	アナターズ
結晶系	正方晶系	正方晶系
ユニットセル体積 (Å <sup>3</sup> )	61.9	135.6
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	4.27	3.90
屈折率 n <sub>p</sub>	2.72	2.52
モース硬度	7.0 - 7.5	5.5 - 6.0
融点 (°C)	1825	ルチルに転移
溶解性		
熱濃硫酸, 硝酸	溶解	溶解
塩酸, 苛性ソーダ	不溶	不溶
水, 有機溶剤	不溶	不溶

## ユニットセル

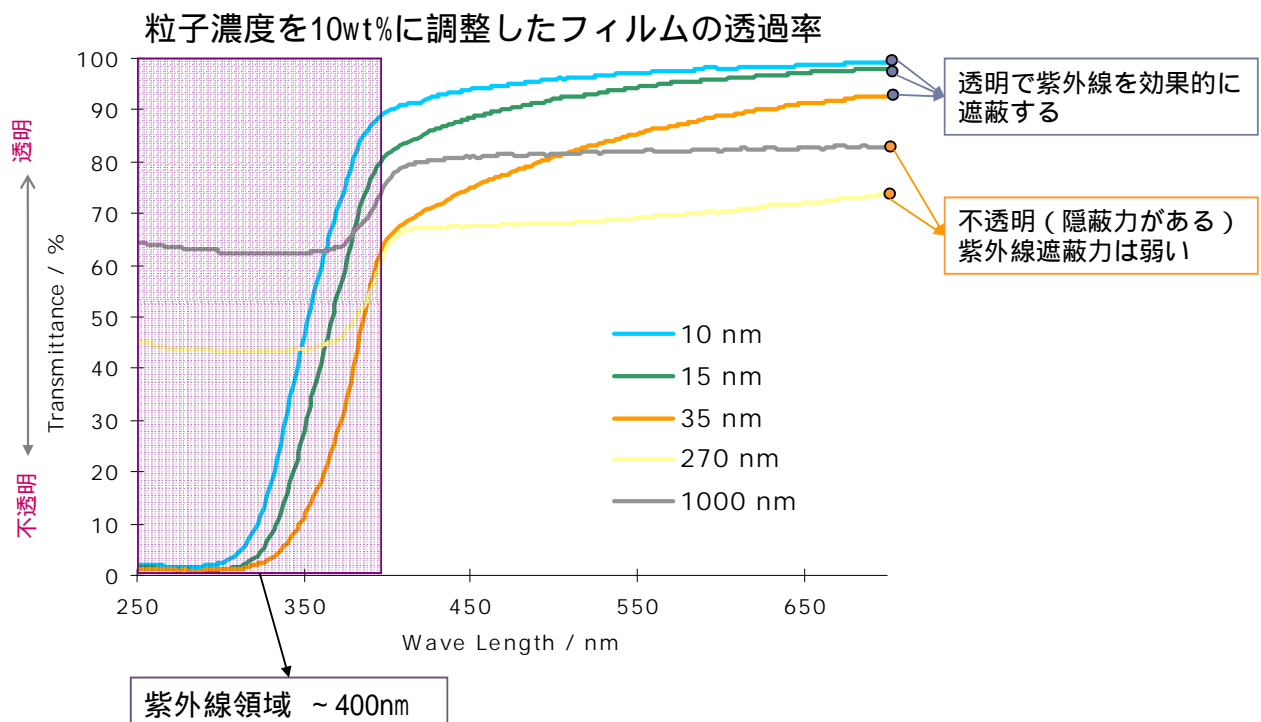


# 粒子径と光学特性



粒子径	領域	光散乱効率
<p>Wavelength <math>\lambda</math></p> <p>光の波長に比べ非常に小さい</p>	Rayleigh 領域	非常に小さい
<p>光の波長の1/2の大きさ</p>	Mie 領域	最大
<p>光の波長に比べ非常に大きい</p>	幾何光学領域	

## 透過率曲線

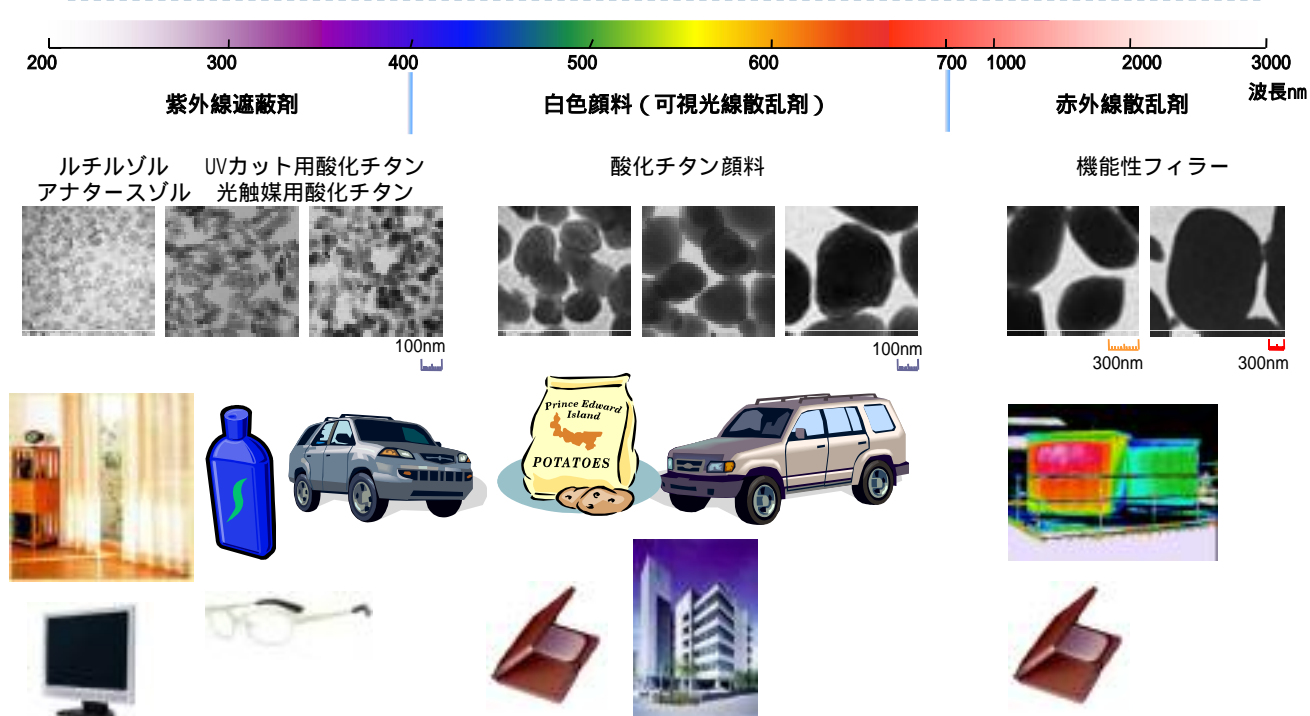


# 粒子径と用途

	結晶形	機能	主な供給形態	平均一次粒子径 電子顕微鏡観察 粒子径* (nm)	平均二次粒子径 粒度分布測定装置 粒子径** (nm)	比表面積*** (m <sup>2</sup> /g)	用途
顔料級 酸化チタン	ルチル アナタース	高隠蔽力	粉体	200 - 400	550 ~	5 ~ 15	塗料, インキ, 樹脂, 紙, 化粧品
ナノサイズ 酸化チタン	ルチル	透明性 紫外線遮蔽 高屈折率 可視光散乱 環境安定性	粉体 分散体	10 - 50	200 ~	20 ~ 150	化粧品, 塗料 トナー外添剤 ゴム充填剤 反射防止膜
	アナタース	光活性 高比表面積 透明性	粉体 分散体, ソル コーティング剤	6 - 30		10 ~ 300	光触媒 工業用触媒担体 (太陽電池)
大粒径 酸化チタン	ルチル	赤外線遮蔽	粉体	700 - 1000	700 ~	1 ~ 5	塗料 (道路, 外壁) 化粧品

- \* 透過型電子顕微鏡撮影画像の画像解析による
- \*\* 試料調整方法や、測定原理（動的散乱法，レーザー光散乱法等）によって数値は変動する
- \*\*\*BET法

## 酸化チタンの主な用途（光学特性による）

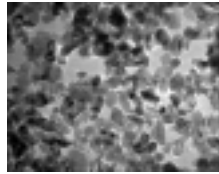


## 酸化チタン製品構成と一次粒子の大きさと形状

ナノサイズ酸化チタン = 微粒子酸化チタン

10 ~ 15 nm

30 ~ 80 nm



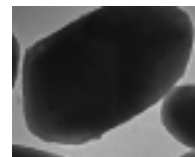
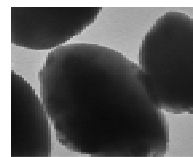
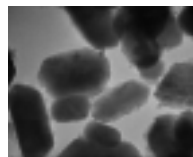
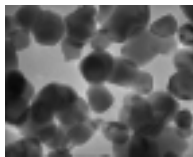
サブミクロンサイズ酸化チタン = 顔料級酸化チタン

180nm

270nm

700nm

1000nm



外観はどちらも白い粉体である。

上記の写真は、TEM（透過型電子顕微鏡）を用いて撮影したものであり、実際の粒子の凝集状態を示すものではない。

## 最終製品中での存在形態について

### ▶ 可能性として

- ▶ 一次粒子 (Crystal): 最も小さな基本ユニット



製品中での存在の可能性は非常に小さい

- ▶ アグリゲート (Aggregate): 化学結合のように非常に強力な力により強固に凝集した一次粒子の集合体



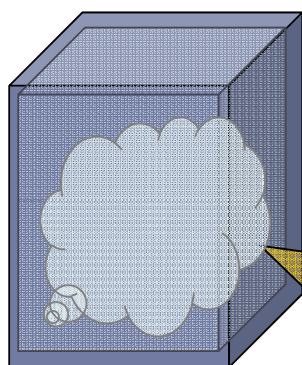
製品中での存在の可能性は小さい。

- ▶ アグロメレート (Agglomerate): Van Der Waals力のような比較的弱い力で凝集した粒子 (通常はAggregate) の集合体



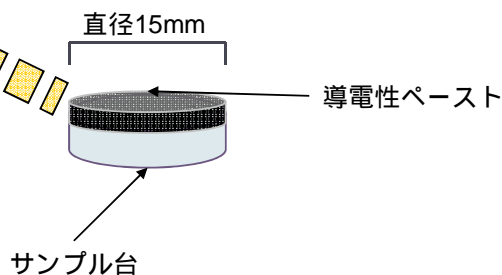
製品中での一般的な存在形態

# 空気中の存在状態

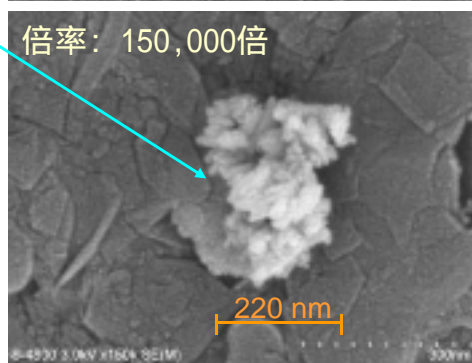
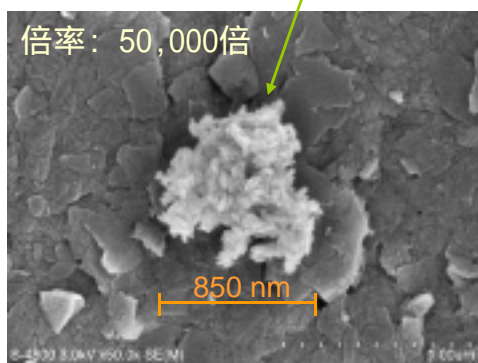
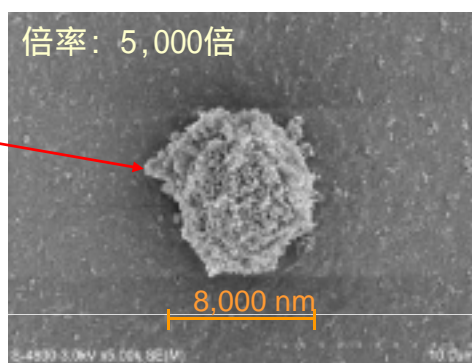
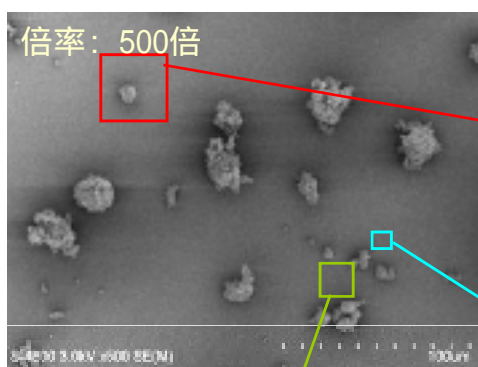


21 x 21 x 30 cmの容器 = 13.23%

左図の箱に0.5 gの一次粒子径15nmの酸化チタン粉体（製品）を導入。  
 エアで攪拌。  
 下面に落ちてしまう粒子が無くなってから、（導入数秒後）、SEM写真撮影用サンプル台を導入する。  
 60秒間静置。  
 サンプル台には予め、導電性ペーストを塗布しておき酸化チタン粒子が付着するようにしておく。白金スパッタリングの後、SEM写真撮影部に導入し撮影。



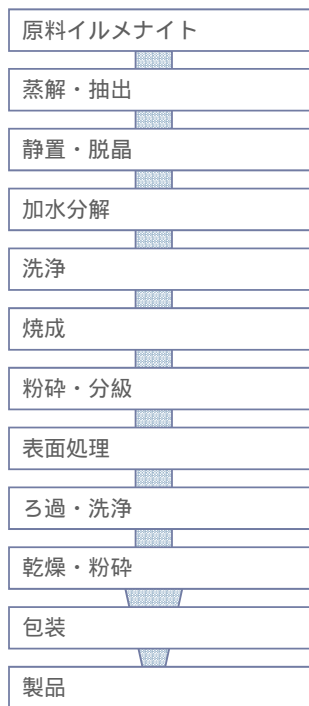
# 空気中の存在状態（SEM写真/走査型電子顕微鏡）



注：背景に存在する板状物質は撮影時に使用する導電性ペースト中に含まれているグラファイトである。

## 製造方法 (顔料級酸化チタン)

### 硫酸法



### 塩素法



## 製造方法 (ナノサイズの酸化チタン)



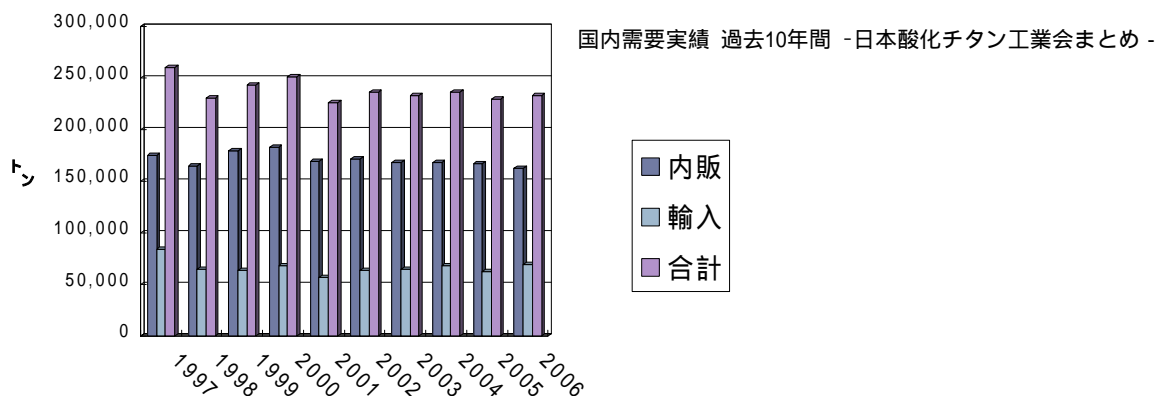
粉末を局所排気により除去  
(バグフィルター)

注) すべてのナノサイズ酸化チタンの製法を示すものでない。テイカ㈱の例となる。  
また光触媒用酸化チタンや触媒用酸化チタンは本フローは全く異なる製造方法を採用。

## 取扱量など（顔料級酸化チタン）

- ▶ 生産能力 -日本酸化チタン工業会まとめ -
  - ▶ 国内： 305,400<sup>ト</sup>/年（2008年度予測）
  - ▶ 世界： 5,276,000<sup>ト</sup>/年（2007年6月時点）

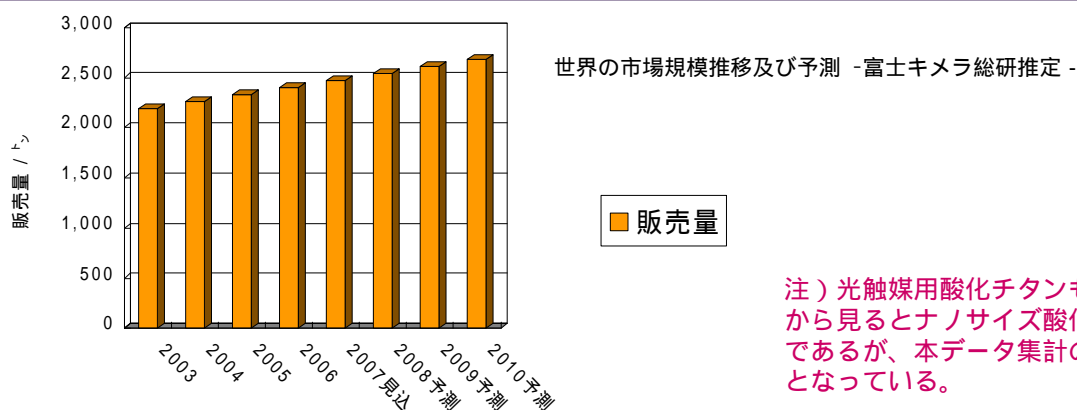
- ▶ 国内需要実績 -日本酸化チタン工業会まとめ -
  - ▶ 232,569<sup>ト</sup>（2006年度）



## 取扱量など（ナノサイズ酸化チタン）

- ▶ 世界需要 -富士キメラ総研推定 -
  - ▶ 国内： 950<sup>ト</sup>（2006年）
  - ▶ 海外： 1,450<sup>ト</sup>（2006年）

- ▶ 国内総出荷量 -富士キメラ総研推定 -
  - ▶ 2,150<sup>ト</sup>（2006年）
    - ▶ 内需： 950<sup>ト</sup>（44.2%）
    - ▶ 輸出： 1,200<sup>ト</sup>（55.8%）





## 製品梱包例

---



---

## 廃棄処分方法

---

- ▶ 「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に従う。
- ▶ 廃棄場所
  - ▶ 管理型産業廃棄物処分場
- ▶ 産業廃棄物「汚泥」として廃棄
- ▶ 形態
  - ▶ 粉末：ポリ袋に入れて搬送
  - ▶ 粘土状：バラ積みで搬送
- ▶ 飛散防止処置
  - ▶ ウイングシート付きトラックにて搬送する。

# フラーレンの物質性状・ 開発・製造・用途・安全管理について

2008年12月25日

ナノテクノロジービジネス推進協議会（NBCI）  
フロンティアカーボン株式会社



## 内容

1. 物質の説明
2. 物質の性状
3. 構造について
4. 製造方法について
5. 取扱量
6. 安全管理について（含む廃棄方法）
7. 出荷時の梱包状況

## 定義

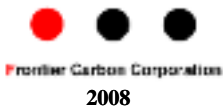
ケージ状ネットワークを構成する炭素分子の総称

## 種類

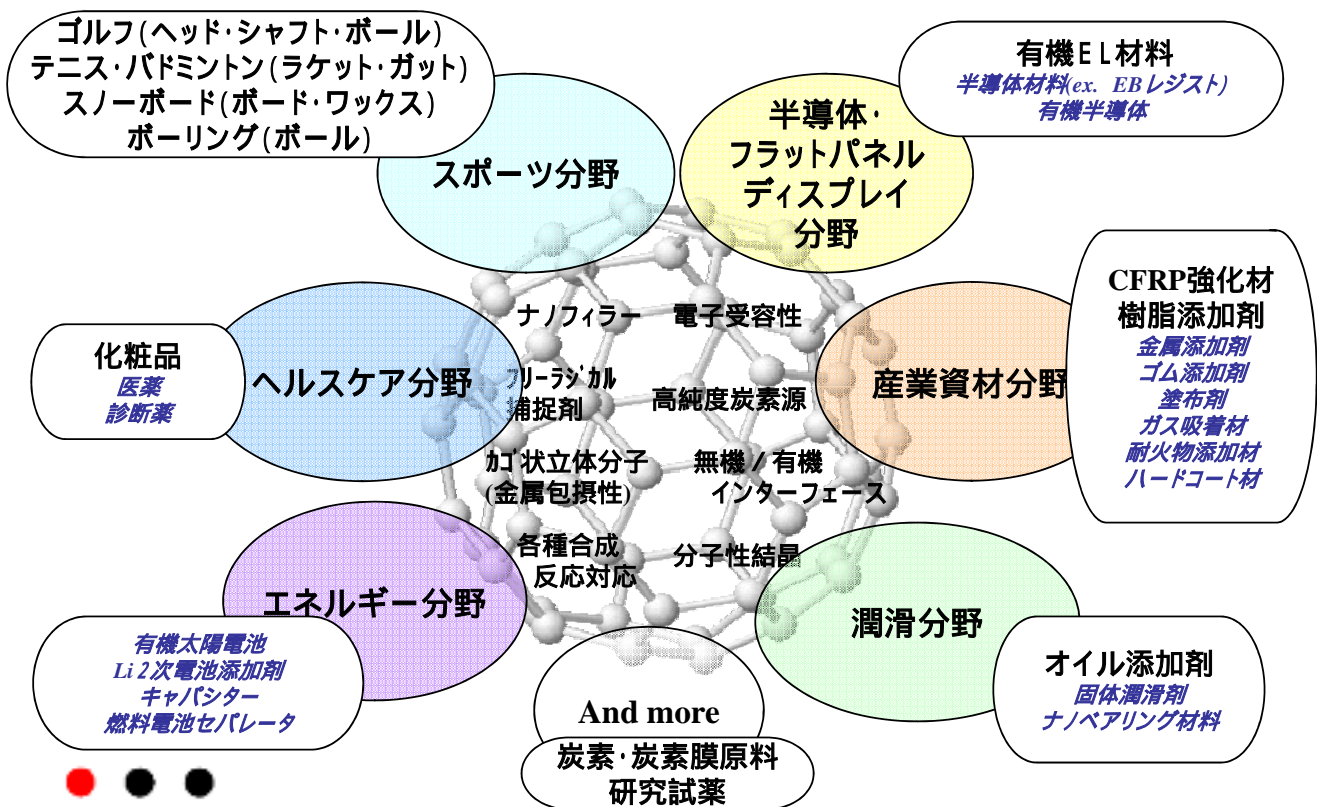
多種の炭素数のフラーレンの混合体であるMix Fullerene、それより特定分子を単離したC60,C70など

## 使用用途

- ・スポーツ用品、潤滑剤
- ・化粧品
- ・産業用部材、エレクトロニクス部材
- (・研究開発用薬品)



# 1. 物質の説明 - 使用用途 -



- 最近の実用化例、報告例から。青字斜体は研究が盛んな分野 -

## 2. 物質の性状

### (物理的性質)

- 黒色粉体
- 炭素比率は100%
- C60は真密度が約1.73 g/cm<sup>3</sup>、嵩密度で約0.6 g/cm<sup>3</sup>
- 絶縁体 (粉体ベースで電気抵抗率 ~ 10<sup>13</sup> 台)
- 昇華可能

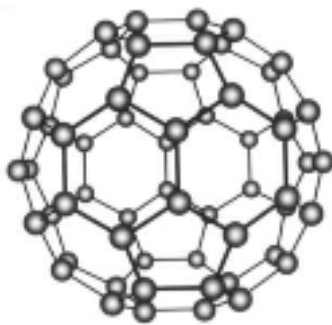
### (化学的性質)

- 非極性有機溶媒 (ex.トルエン、キシレン) に溶解
- sp<sup>2</sup>結合による官能基付与可能。また強い電子受容性
- 効果的なラジカル補足能
- 光活性機能

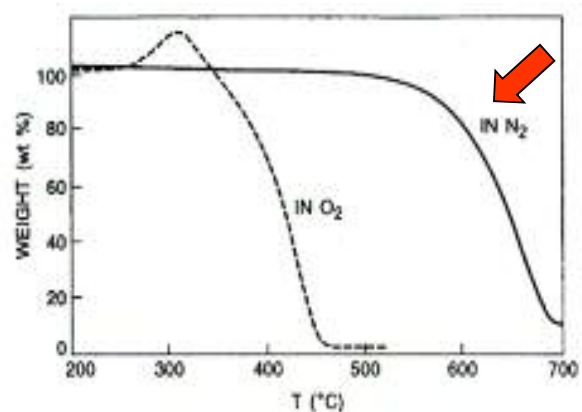
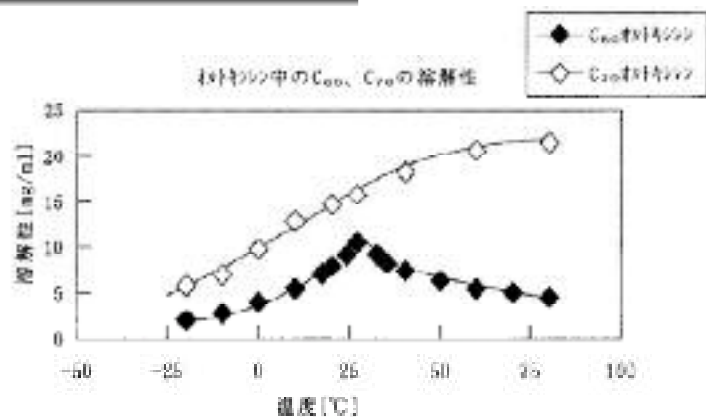


Frontier Carbon Corporation  
2008

## 2. 物質の性状 - 補足 -



Frontier Carbon  
2008

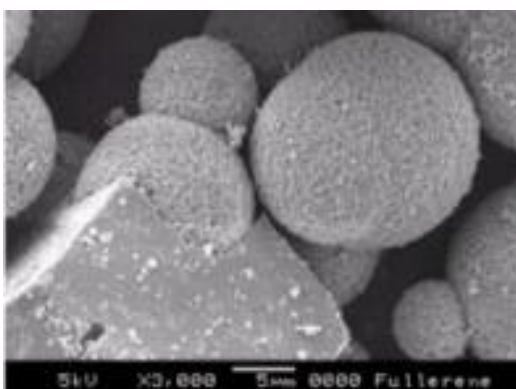
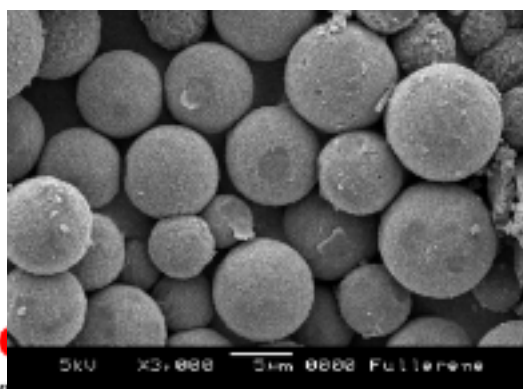
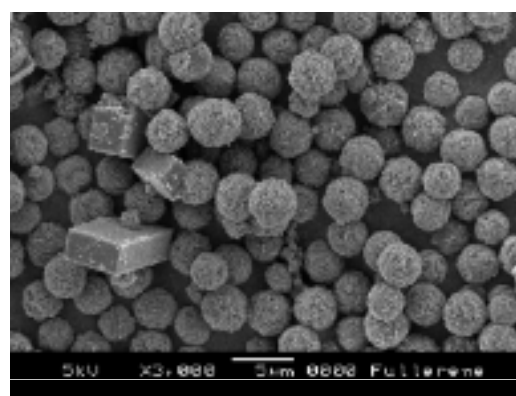
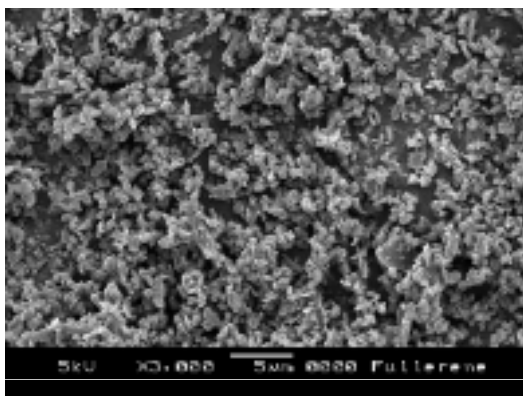


### 3. 構造について

- ・分子径が約1nm
- ・1次構造体は特異な分子性結晶（面心立法構造など）
- ・1次構造体が強く凝集して2次構造体を形成
- ・製品形態としては、モルフォロジー（粒子サイズ・形状）が制御可能な粉体
- ・製品平均粒径は数  $\mu\text{m}$
- ・目標モルフォロジー（顧客の使用利便性よりの仕様）に合わせるべく運転条件を調整、管理
- ・凝集性が高く、1  $\mu\text{m}$ 未満は殆ど検出されず
  - ナノパーティクルの存在を否定するものではない。
- ・レーザー回折型粒度分布測定装置で管理（動的散乱粒度分布測定装置は溶液クラスター対象）

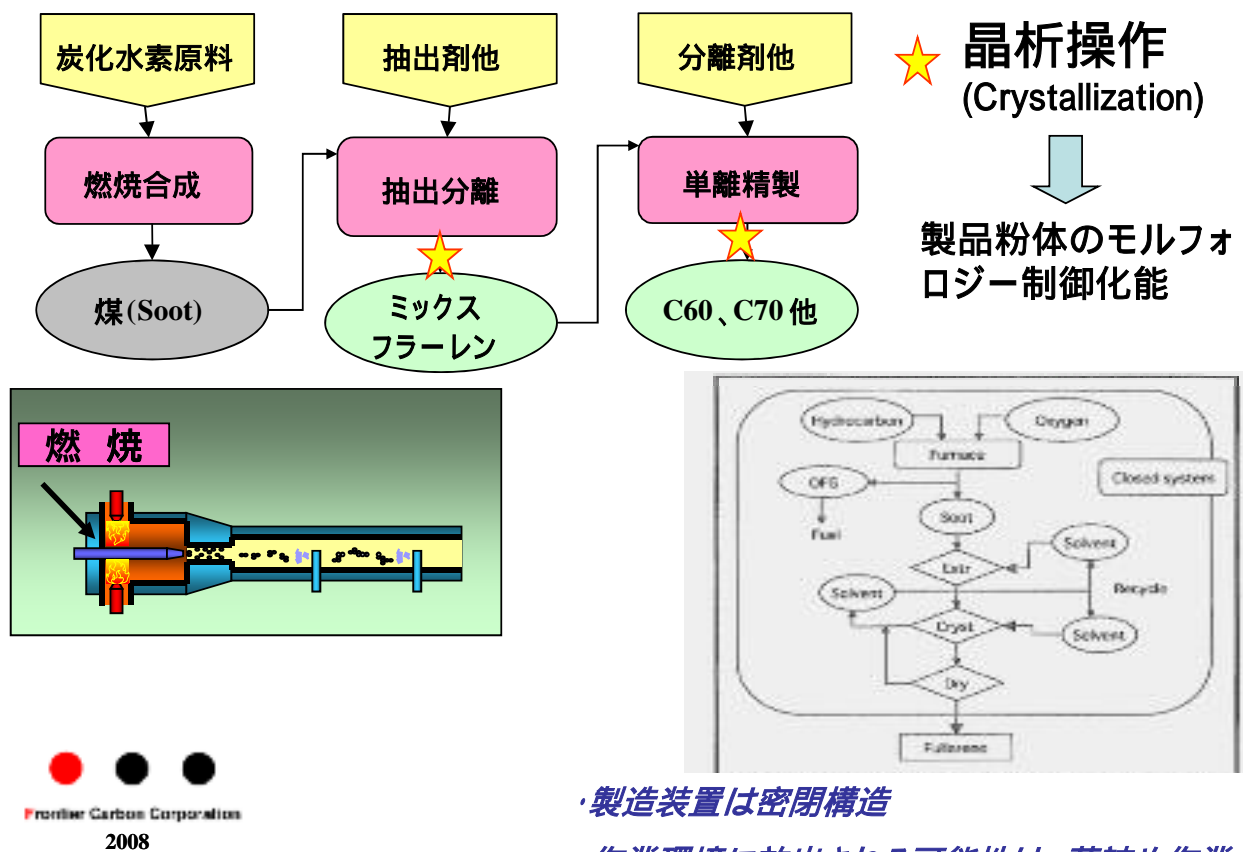
Frontier Carbon Corporation  
2008

### 3. 構造について - 粉体性状例



Frontier Carbon Corporation  
2008

## 4. 製造について



## 4. 製造について

### 品質管理

- 1) HPLC純度
- 2) 粒度
- 3) 残留溶媒
- 4) 無機不純物、灰分
- 5) 元素分析
- 6) その他特別要求の分析・検査など  
(ex. SEM観察、電気抵抗率、溶解度)

顧客取交規格をベースに内部管理規格を設定、品質管理



## 5. 生産量・販売量

### 国内取扱量

(第2回厚労省検討会発表資料:  
ナノマテリアルの用途・生産量調査結果報告より)

約2トン/年

### 推定世界取扱量

3トン/年未満

- 海外サプライヤーはロシアその他(アーク法)
- 消費者商品への適用は日本が圧倒的

正確な統計データ、トレンド解析なし。



## 6. 安全管理について

### 排気

- 局所排気装置設置(フィルターにて捕集・排気)

### 排水

- 機器間接冷却以外の水使用なし。よって無し。

### 廃溶媒

- 蒸留・精製等により基本リサイクル

### 廃棄物

- 製品等の付着した廃棄物は、産業廃棄物として  
焼却処理 (燃焼焼却可能)

### 保護具

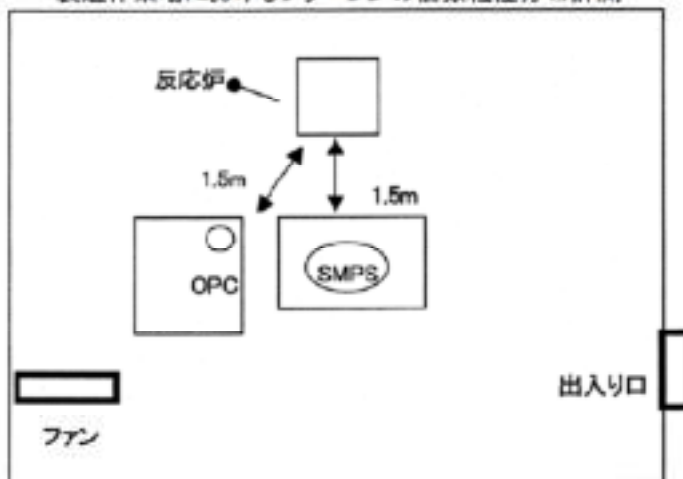
- 防塵マスク、専用上着、ゴーグル (安衛法粉塵則)



### 作業環境管理

平成18年度超微細技術開発産業発掘戦略調査：ナノテクノロジーの研究・製造現場における適切な管理手法に関する調査研究報告書より抜粋

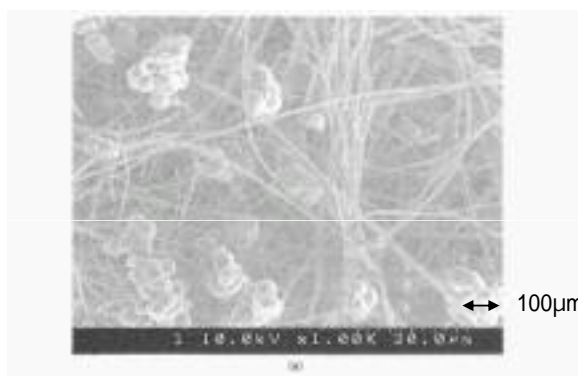
製造作業場におけるフラーレンの個数粒径分布計測



SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer, Model 3034: TSI  
測定範囲: 10~487nm, サンプルング時間3分  
OPC: Optical Particle Counter, KR-12A: RION  
測定範囲: 300nm以上, サンプルング時間1分

図 3.2 A 社における炉と測定装置の位置関係 (フラーレン製造)

### フラーレン製品を扇動させた時に、フィルターに捕集されたフラーレン粒子のSEM写真



Source: Y. Fujitani, etc., "Measurement of the Physical Properties of Aerosols in a Fullerene Factory for Inhalation Exposure Assessment", Journal of Occupation and Environmental Hygiene, June 2008



### ハザード対応

- OECD中西プロジェクトへの積極的な参画
- CERI久留米への協力
- Ames試験
- その他各種取組み(進行中・検討中)

### 客先・環境対応

- 取得情報・データを常にMSDSにアップデート



### 安全性情報

- (1) NEDO 中西プロジェクト成果報告 (同Webpage)
- (2) 森本 泰夫(産業医科大学 産業生態科学研究所)「キャラクターゼーションを行った工業ナノ材料を用いた動物実験」、NEDO-産総研-OECD合同国際シンポジウム「工業ナノ材料のリスク評価」講演予稿集、2008/4
- (3) 山本 和弘(産総研 計測フロンティア研究部門)「工業ナノ材料のリスク評価のための電子顕微鏡技術」、NEDO-産総研-OECD合同国際シンポジウム「工業ナノ材料のリスク評価」講演予稿集、2008/4
- (4) 島田 学(広島大学 大学院工学研究科)「吸入試験のための粒子分散法」、NEDO-産総研-OECD合同国際シンポジウム「工業ナノ材料のリスク評価」講演予稿集、2008/4
- (5) 高月 峰夫他(財団法人化学物質評価研究機構)「Acute Toxicity of fullerene C60 in aquatic organisms」、環境科学会誌 21、page53-62(2008)
- (6) Jun Kanno他(国立衛生研究所)「Induction of mesothelioma in p53+/- mouse by Intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube」、The Journal of the Toxicological of Sciences, Vol33, No.1 105-116, 2008
- (7) Yuji Fujitani他(国立環境研究所)「Measurement of the Physical Properties of Aerosols in a Fullerene Factory for Inhalation Exposure Assessment」、Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 5:380-389



# 7. 出荷状況

## 出荷梱包形態(典型例)

- 大量出荷ケース



- 少量出荷ケース

11) 梱包形態

品名	梱包形態	備考
Max 200g以上	ヤマトの箱 外箱5個	不活性ガスを導入した状態で封入
	毛糸スリッパ1個 付	

12) 梱包内容等写真

品名、等級、内容量、ロット番号、製造会社名が明瞭におかき印された紙を貼付する。

毛糸スリッパ  
 よりお返し+700円(送料別)



上記を更に梱包して発送

# ナノサイズ酸化亜鉛について

日本無機薬品協会 亜鉛華部会

2008年12月25日

## 酸化亜鉛とは

- 化学式 $ZnO$ で表される白色粉体
- 紀元前4000年から銅との合金である真鍮として用いられてきた
- 工業用としては19世紀から生産開始
- 二酸化チタンが出現するまで白色顔料の王様
- 白色顔料、ゴム添加剤、塗料、ガラス、UVカット繊維、化粧品、医薬品、電子材料(フェライト、バリスタ、蛍光体)等、広範囲に利用されている



# 酸化亜鉛の一般物性

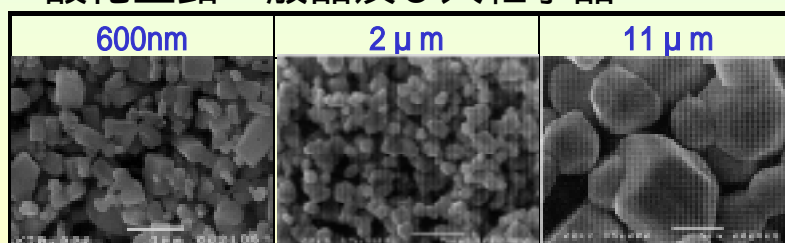
組成式	ZnO
式量 (g/mol)	81.37
結晶系	六方晶ウルツ型
外観	白色粉末
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	5.6
屈折率	1.9 ~ 2.01
モース硬度	4 ~ 5
融点 ( )	1975 (加圧下)
溶解度	水・有機溶剤にほとんど不溶
反応性	酸・アルカリに溶解する両性酸化物

## 一次粒子サイズと形状

### ■ 酸化亜鉛ナノサイズ品

15nm	20nm	35nm	60nm
70 m <sup>2</sup> /g	50 m <sup>2</sup> /g	30 m <sup>2</sup> /g	17 m <sup>2</sup> /g
200nm			

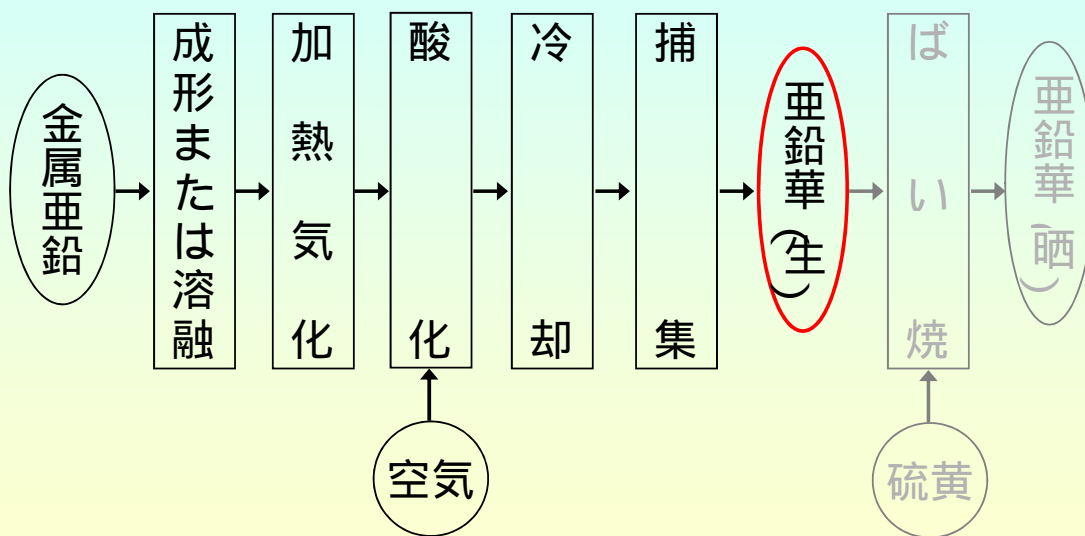
### ■ 酸化亜鉛一般品及び大粒子品



# 製造方法 - 1 (一般品)

## フランス法

高品位の亜鉛地金を原料にした高純度品

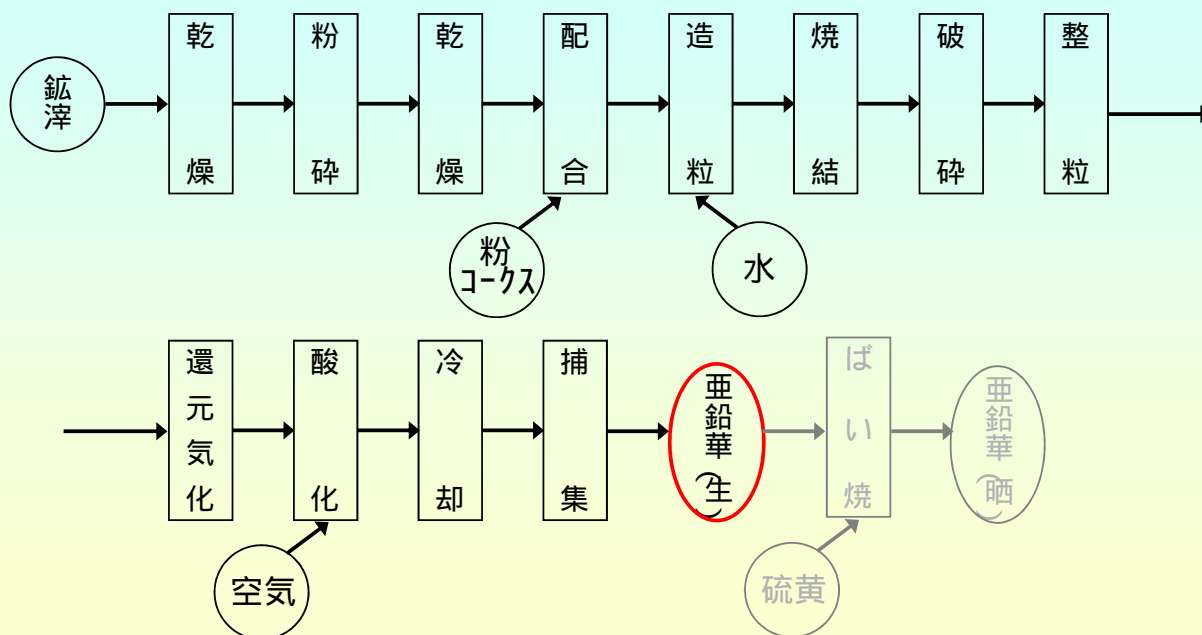


出典:「亜鉛ハンドブック(改訂版);日本鉛亜鉛需要研究会,亜鉛ハンドブック編集委員会編」

# 製造方法 - 2 (一般品)

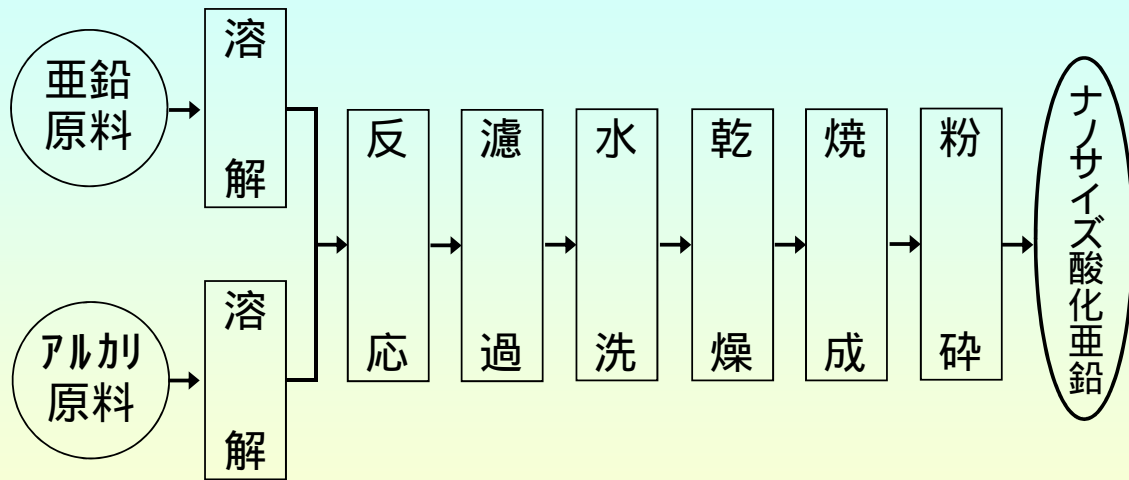
## アメリカ法

亜鉛鋅を原料とした低コスト品



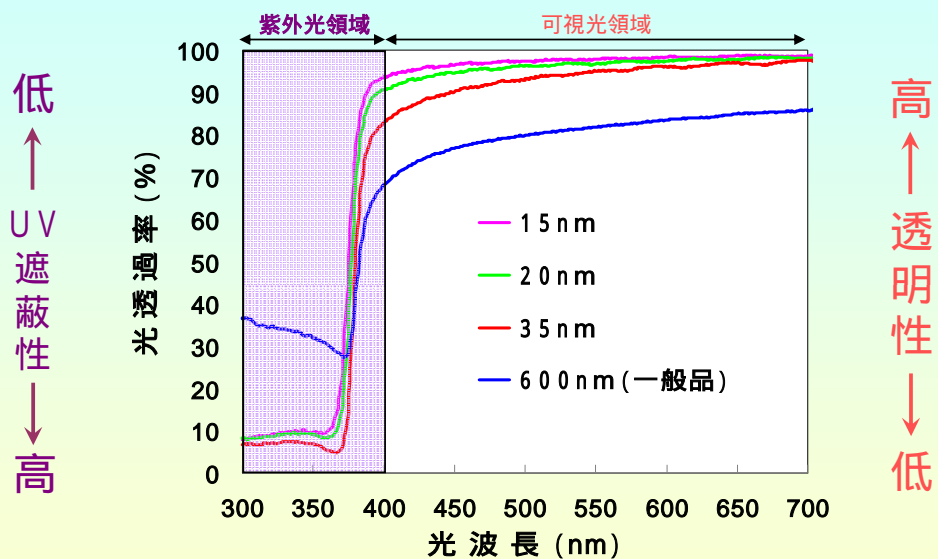
出典:「亜鉛ハンドブック(改訂版);日本鉛亜鉛需要研究会,亜鉛ハンドブック編集委員会編」

## 製造方法 - 3 (ナノサイズの酸化亜鉛)



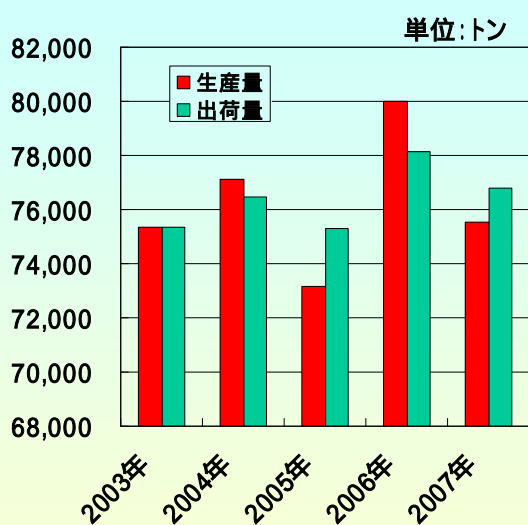
## 粒子サイズによる特性差の一例

■透過率曲線 (粒子濃度30wt%に調整した塗膜)



ナノサイズ品は、大きな粒子である一般品よりも、可視光の透明性高く、紫外光の遮蔽能高い。この特徴を利用して、サンスクリーン剤等の化粧品に使用されている。

## 生産量及び用途（一般品）



「日本無機薬品協会:無機薬品の実績と見通し」より

### 2007年度用途別出荷量

用途	出荷量(トン)
ゴム	49,189
塗料	2,599
陶磁器	488
電線	459
医薬	915
ガラス	1,724
顔料	838
絵具・印刷インキ	256
電池	275
フェライト・バリスター	4,216
その他	15,656
輸出	162

## 生産量及び用途（ナノサイズ品）

### (4)酸化亜鉛

項目	概要
粒子径	20~40nm
2006年国内使用量	約480トン
使用形態	化粧品基材へ混練
ナノ利用のメリット	紫外線カット 透明性向上
将来市場	年率数%の伸び
将来用途	透明導電膜利用 (酸化インジウムスズの代替)

#### 【用途構成】



その他: 繊維、医薬品、塗料 等

(株)東レ経営研究所 「H19年度 ナノマテリアルの用途・生産量調査 結果報告」より抜粋

## ナノサイズ最終製品の状態

### ■ 包装時に舞い上がる粉末のSEM写真による観察

#### 観察方法

1. 一次粒子20nmである製品の包装作業時に
2. 局所排気設備を停止し
3. 包装袋内で舞い上がる粉末を
4. 試料台にサンプリング(3分間)
5. 金蒸着後、SEMにて撮影

#### サンプリングイメージ



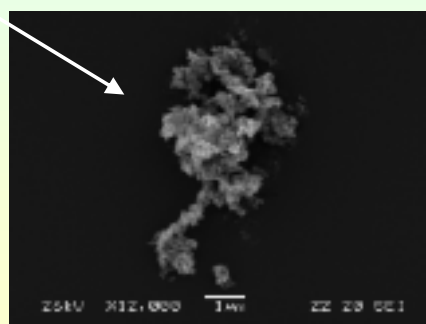
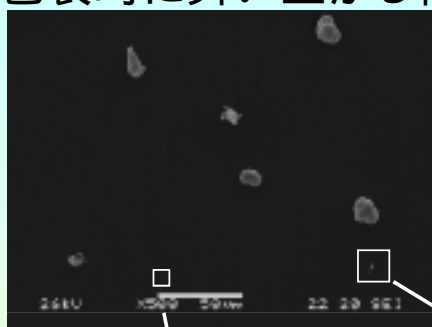
上部製品ホッパーよりシュートを通じて最終製品が下りてくる

局所排気

SEM試料台を上向きにセット

## ナノサイズ最終製品の状態

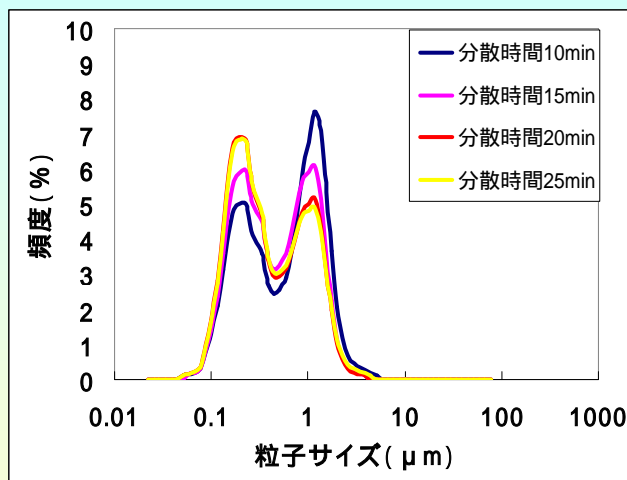
### ■ 包装時に舞い上がる粉末のSEM写真による観察





# ナノサイズ最終製品の状態

## ■ 粒度分布測定



### 測定条件

1. 一次粒子60nmの製品粉体をヘキサメタリン酸ソーダ水溶液中に添加
2. 超音波ホモジナイザーで10分間分散処理
3. レーザ回折式粒度分布測定装置にて測定

超音波による分散時間を長くすると粒度分布はサイズの小さいサイドへシフトするが、ほとんどが100nm以上

## ナノサイズ最終製品の状態 推測

### ■ 一次粒子

### ■ アグリゲート (aggregate)

非常に強く結合した粒子の集合体

### ■ アグロメレート (agglomerate)

一次粒子やアグリゲートの集合体であり機械力によって比較的容易に再分散する

上記3形態の混合であるが、

ほとんどがアグロメレートであると推測

## 安全管理について - 1 工場環境

### ～ 可能な範囲で閉鎖系ライン ～

開放箇所においては

**局所排気**



**集塵機**



バグフィルターにより粉末回収

## 安全管理について - 2 作業者暴露防止

### ■ 保護具着用

作業服, 作業靴, 手袋,  
帽子(ヘルメット),  
防塵マスク(RL3),  
保護眼鏡(ゴーグル)等

### ■ 安全教育実施



## 出荷時の梱包形態

<ダンボール (ポリ内袋)>



<クラフト袋>



- ダンボール、クラフト袋共にストレッチフィルムを巻いて出荷
- 出荷時の注意書き等の表示はしていない
- 予めMSDSを配布

## 廃棄処分方法

～ 可能な限り再利用 ～

- 「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に従う
- 産業廃棄物「汚泥」として廃棄
- 廃棄場所 管理型廃棄物処分場
- 廃棄物形態 バラ積み
- 飛散防止対策

搬送にはウイングシート付きトラックを使用  
処分場では即日覆土処置

尚、ナノサイズ酸化亜鉛が付着した着衣、包装資材等の廃棄物は産業  
廃棄物処理業者に委託して焼却処分



# シリカ(非晶質二酸化珪素) について

---

2008/12/25

日本無機薬品協会  
ホワイトカーボン部会



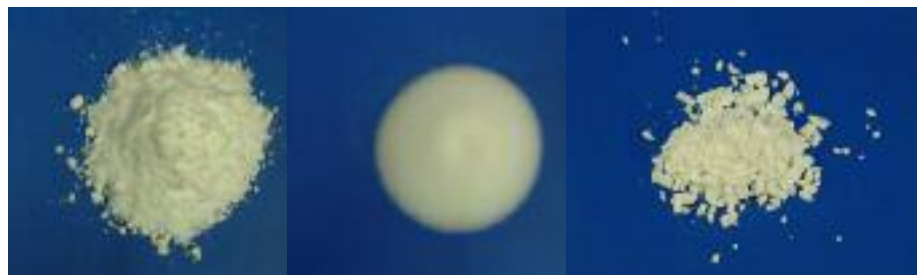
## 内容

---

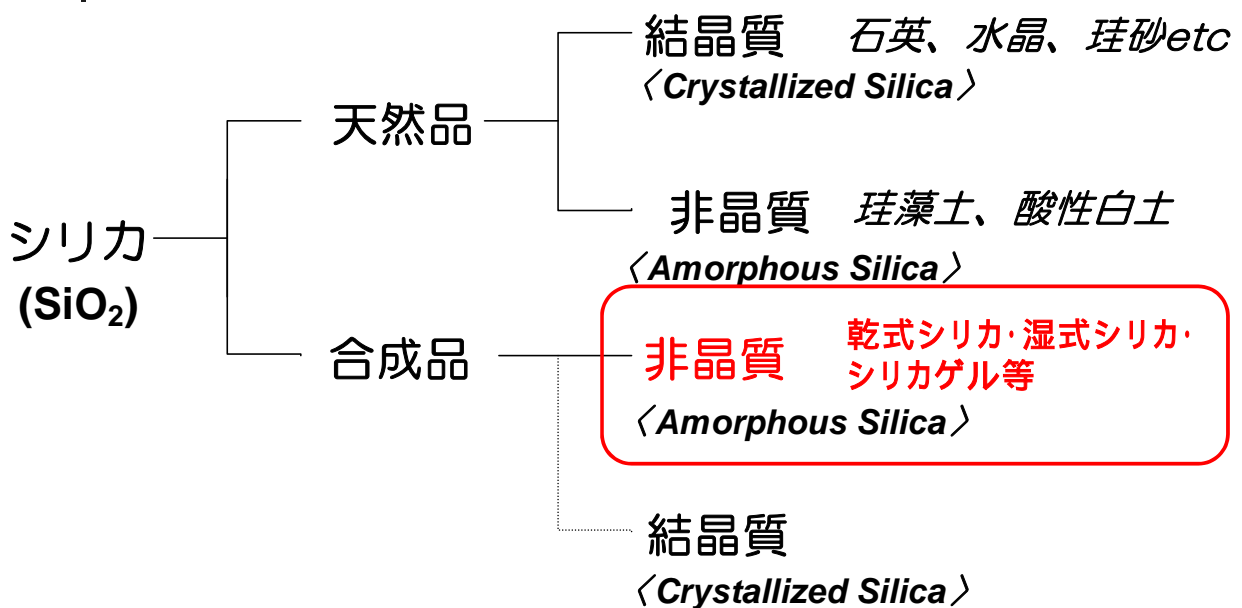
- シリカとは
- シリカの分類
- 主な用途と生産能力
- 性状
- 凝集構造
- 乾式シリカと湿式シリカ
- 製造工程
- 安全対策(労働者暴露防止等)
- 出荷形態
- 廃棄物処理

## シリカとは

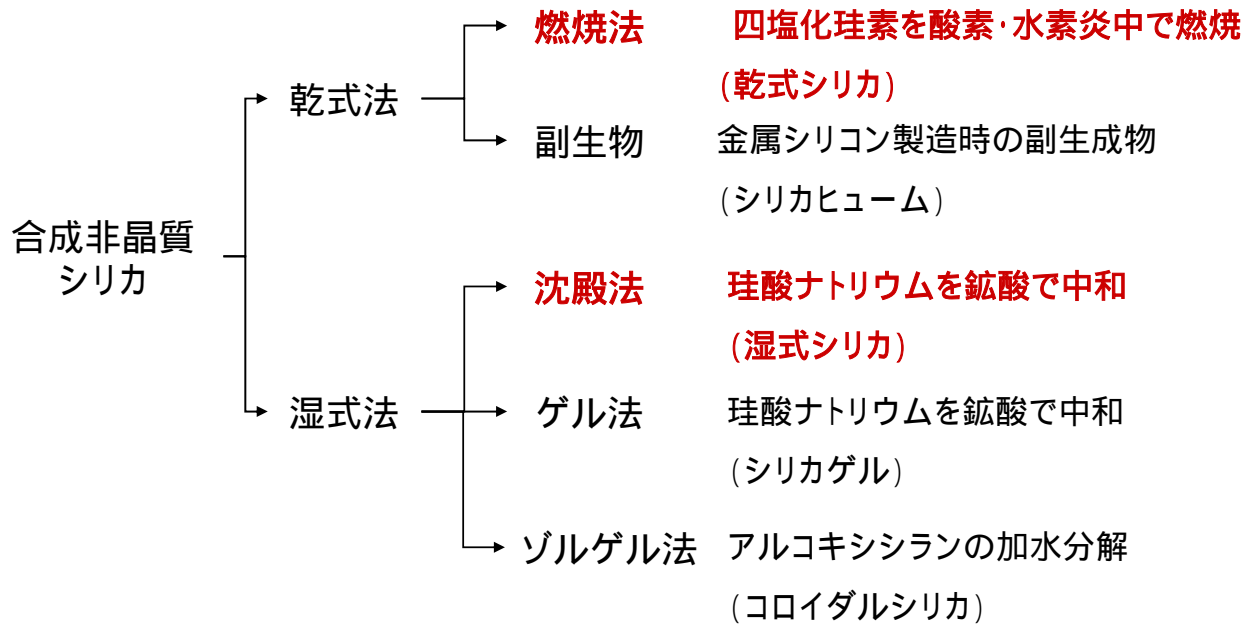
- 工業的には、主にクロロシラン類・珪酸ナトリウムなどから生産される二酸化珪素( $\text{SiO}_2$ )。
- 白色の外観を持つ、粉末状・顆粒状・グラニュール状の固体。



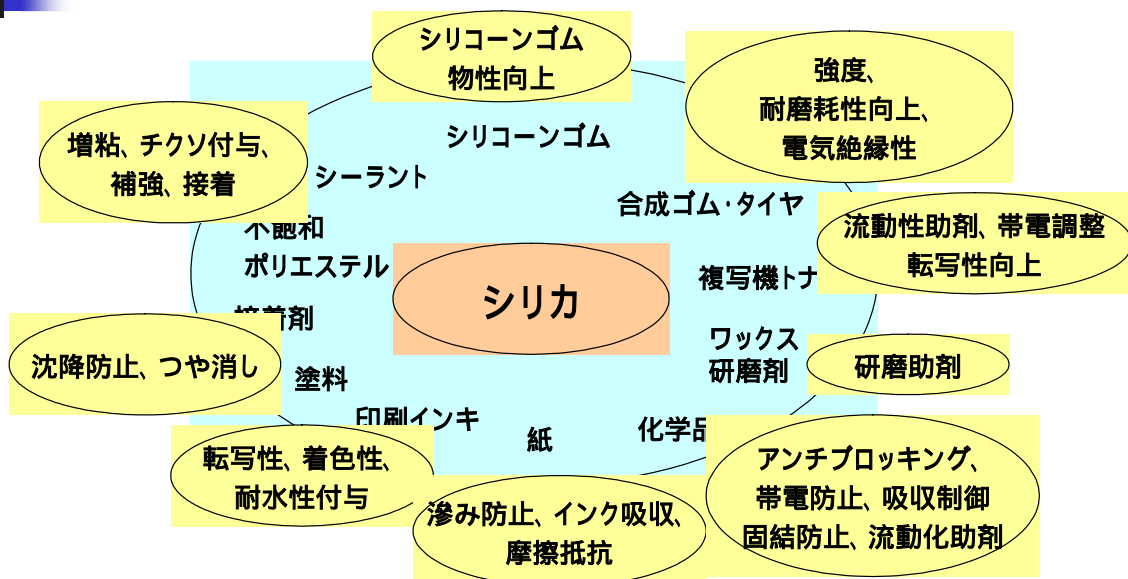
## シリカの分類



# シリカの分類



# 主な用途と生産能力

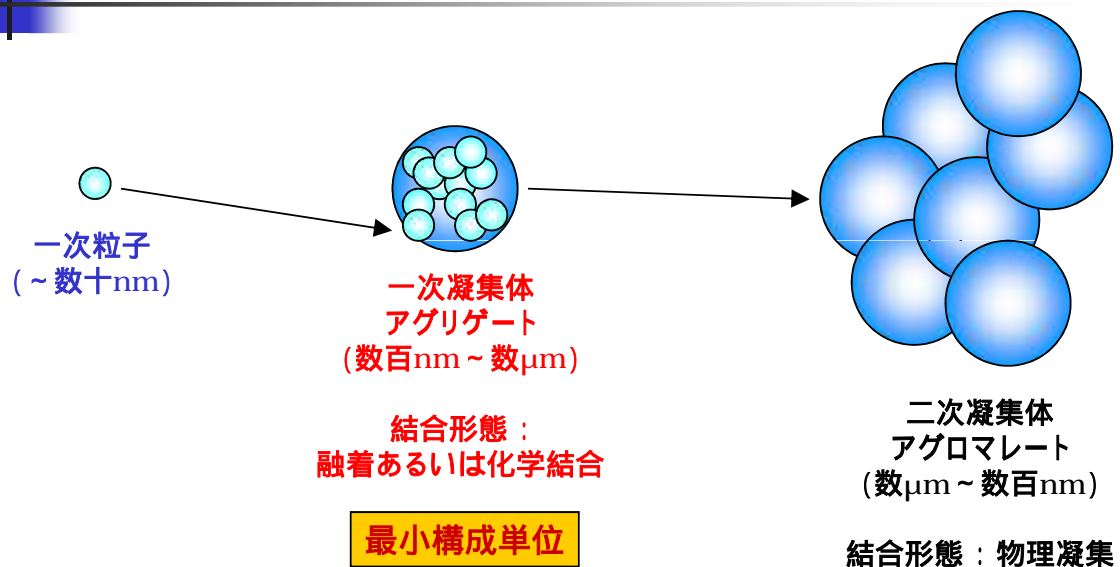


2007年度生産能力(概算): 湿式シリカ 143万トン (国内 6万トン)  
 乾式シリカ 15万トン (国内 3万トン)

# 性状

- 構造 : 非晶質
- 比表面積 : 50 ~ 500 m<sup>2</sup>/g
- 一次粒子径 : おおよそ 55 ~ 5 nm  
(比表面積から計算)
- 凝集粒子径 : 一般に数十 ~ 数百μm

# 凝集構造

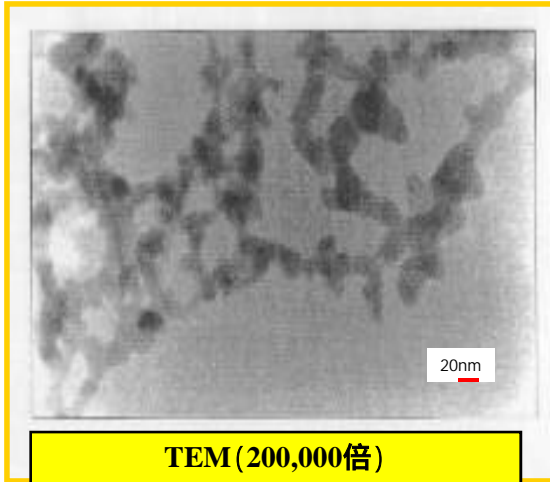
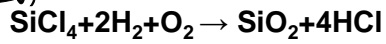


シリカを各種媒体中へ分散させた場合、一次粒子まで分散することは通常ありえず、アグリゲートレベルまでの分散にとどまると考えられる。

# 乾式シリカと湿式シリカ

## ■ 乾式シリカ

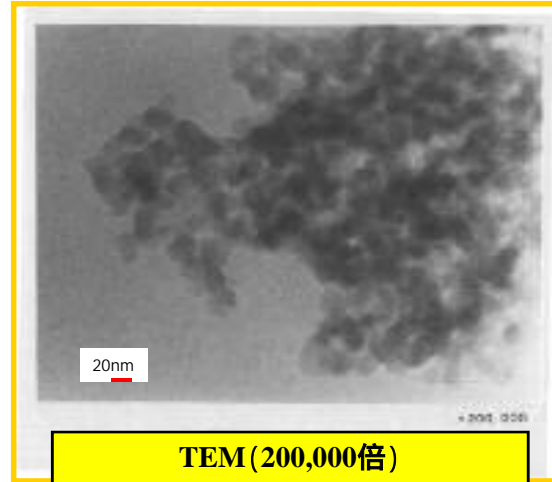
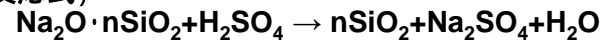
(反応式)



TEM (200,000倍)

## ■ 湿式シリカ

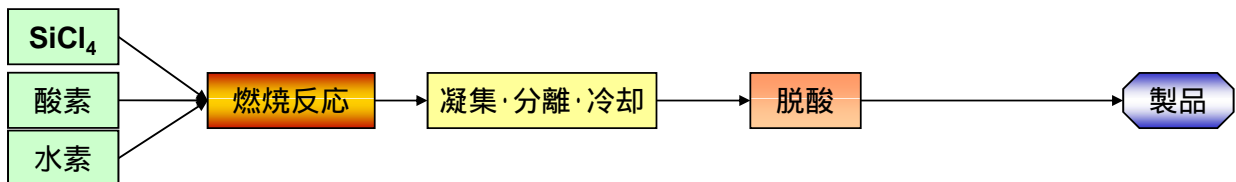
(反応式)



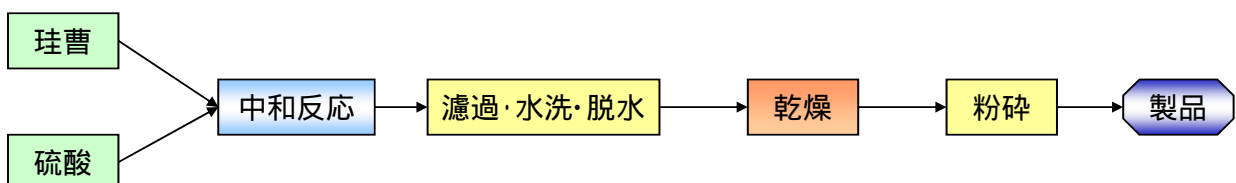
TEM (200,000倍)

# 製造工程

## 乾式(燃焼法)



## 湿式(沈澱法)





## 安全対策(労働者暴露防止等)

- 製造工程は基本的に密閉構造。(包装工程は密閉ではない。)
- 包装工程等粉塵発生が考えられる部分については、**局所排気装置**を設置し、作業員については、**防塵マスク**を着用させる。
- 一部、自主的に粉塵の環境測定を行っている企業もある。
- MSDS発行(通知対象物質)

## 出荷形態



紙袋



樹脂溶融袋



フレコン



ローリー車



## 廃棄物処理

---

- 工場各所に多数の吸引ラインが設置されており、清掃等で吸引された製品については、バグフィルター/サイクロン/スクラバーなどの集塵装置によって集められ、産業廃棄物として処理される。(埋め立て等)
- 一部、セメント原料などとして再利用されるものもある。