

第1章 国内におけるナノマテリアル使用実態調査

本章では、消費者向け製品への応用が拡大しつつあるナノマテリアルに関して、ヒトへの健康影響および安全性確保の観点に重点を置き、国内におけるナノマテリアルの使用実態を把握するための基礎資料を収集した。ナノマテリアルを製造または使用する各企業へのヒアリング調査を中心に、文献およびインターネット検索による結果を参考として、国内におけるナノマテリアルの使用実態調査を実施し、結果をナノマテリアル物質別および使用用途別にまとめた。本年度調査結果の特徴として、ナノマテリアル製造量の減産があげられる。2008年10月の米国における株価暴落、年末にかけての急激な円高の影響を受け、各企業においてナノマテリアルおよびナノマテリアル使用製品の減産が確認された。また、用途開発に関する調査に当たっては、ナノマテリアルを含有するとされる一般消費者向け製品の広告も含めて網羅的に調査を実施した。調査に際しては、実際にナノマテリアルを含有しているか等情報の信頼性確保に努め、広告等を情報源とするものとその他の情報源とを区別して整理した。

1.1 調査の目的、範囲、対象および方法

1.1.1. ナノマテリアルの定義

本調査においては「少なくとも一次元が 100nm 以下の長さである材料」とした。

1.1.2. 製品領域

国内で生産もしくは販売された一般消費財または耐久消費財のうち、その生産量、ヒト健康および安全性への影響を鑑み、次ページに示す 9 分野の製品（消費財）を対象とした。

表 1.1.1 ナノマテリアルの用途分野における製品例

用途分野	製品例
医薬品	医薬品助剤、DDS、バイオイメージング、医療機器、体外診断用医薬品など
食品	健康食品(サプリメント、美容食品)、菓子類、飲料など
食品包装材	長期保存可能容器、物質透過制御容器など
化粧品	化粧品、トイレタリー製品
繊維製品	機能性衣料用繊維、衣料品加工など
家庭用品、生活雑貨およびスポーツ用品	台所用品、サニタリー用品、抗菌雑貨、スポーツ機材、メンテナンス用品など
家電および電気電子製品	各種フィルター類、小型リチウム電池、半導体搬送用品など
塗料およびインク	自動車塗料、導電ペースト、トナー、インクジェット印刷用インク、光触媒機能製品など
その他	紙コーティング製品、自動車部品など

1.1.3. 調査の対象

実装されているか実用化が近いと考えられるナノマテリアル 23 物質を対象とした。対象としたナノマテリアルを表 1.1.2 に示す。

表 1.1.2 調査対象ナノマテリアル一覧

	ナノマテリアル名称
1	フラーレン (C60)
2	水溶性フラーレン誘導体 (WS-C60)
3	単層カーボンナノチューブ (SWCNT)
4	多層カーボンナノチューブ (MWCNT)
5	鉄ナノ粒子
6	銀ナノ粒子
7	カーボンブラック (CB)
8	酸化チタン微粒子： ルチル型
9	酸化チタン微粒子： アナターズ型
10	酸化アルミニウム (アルミナ) 微粒子
11	酸化セリウム微粒子
12	酸化亜鉛微粒子
13	二酸化ケイ素 (シリカ)
14	ポリスチレン微粒子 (PSt)
15	dendリマー
16	ナノクレイ
17	カーボンナノファイバー (CNF)
18	顔料微粒子
19	アクリル微粒子
20	リボソーム
21	白金ナノコロイド
22	量子ドット
23	ニッケルナノ粒子

1.1.4. 調査の方法

ヒアリング調査の対象として、ナノマテリアル製造企業、関連団体およびナノマテリアルユーザー企業にヒアリングを実施した。また、ナノマテリアルや製品に関する関連文献調査および各社・各分野のホームページ情報の収集分析を行なった。

1.1.5. ヒアリング項目

上記のヒアリング対象企業・団体に対して、以下にあげる項目を中心にヒアリングを実施した。

- 1) ナノマテリアル名称
- 2) 物理化学的諸物性
- 3) 代表的なグレードの粒径（一次粒径および二次粒径）
- 4) 取り扱い製品での表面処理の有無
- 5) 表面処理の種別
- 6) 生産動態（2008年度および2009年度：予測、製造量および輸入量）
- 7) 今後の動向（量的拡大、用途拡大）

1.1.6. 報告書記載情報について

ナノマテリアル・ナノテクノロジーは最先端技術やノウハウを含み、ヒアリング対象とした各企業および関連団体において、機密情報に属するものや、社内においても明確な情報整理に至っていない場合があり、製造数量や開発動向等で意見・数値が一貫していない例が散見された。本報告書記載の、製造量・輸入量、ナノマテリアル物性情報等は、本調査で得られた周辺情報を加味して独自に推定・算出したものであり、特定の団体や企業の見解を示したものではないことにご注意いただきたい。

用途分野別展開の整理においては、本調査において得られた各種情報を以下の分類によって整理した。まず、当該分野において既に使用されているナノマテリアルと、今後利用が期待されるナノマテリアルとに区別した。区別された各情報の情報源の信頼度に準じて、さらにA群:信頼性の高い情報源からの情報とB群:オープンデータとに分けて記載した。すなわち、A群はヒアリング、学術論文、公的文書（医薬品の添付文書など）、記名のある製品記事およびプレスリリースを情報源とし、B群は雑誌等での製品紹介記事、専門誌の論文・記事中での言及およびネット上を含む広告を情報源とするものである。なお、各国・各機関が発行した報告書で言及されている製品類は、国内への輸入状況等が不明であることから、B群に分類した。

なお、物質別展開状況の「現存の主要な用途など」および「開発動向」はすべて情報源A群から採用した。

表 1.1.3 ナノマテリアル用途別展開における情報分類

大項目	情報源による分類	
現在使用されている 主なナノマテリアル	A 群	<信頼性の高い情報源からの情報> ・ヒアリング、学術論文、公的文書（医薬品の添付文書など）、記名のある製品記事およびプレスリリース
	B 群	<オープンデータ> ・雑誌等での製品紹介記事、専門誌の論文・記事中の言及およびネット上を含む広告
今後利用が期待される 主なナノマテリアル	A 群	<信頼性の高い情報源からの情報> ・ヒアリング、学術論文、公的文書（医薬品の添付文書など）、記名のある製品記事およびプレスリリース
	B 群	<オープンデータ> ・雑誌等での製品紹介記事、専門誌の論文・記事中の言及およびネット上を含む広告

1.2 ナノマテリアルの物質別展開状況

本項では、調査対象とした 23 種類のナノマテリアルについて、ヒアリング調査、特許・文献検索およびインターネット検索によって得られた情報を、ナノマテリアル別にまとめた。

情報整理に当たっての分類項目は以下の通りである。

- 1) 代表的な製品グレードの粒径および物性
- 2) 製品での表面処理の有無
- 3) 生産動態（2007 年度、2008 年度および 2009 年度予測、製造量および輸入量）
- 4) 主要な機能
- 5) 現在の主要な用途
- 6) 開発動向

ナノマテリアル・ナノテクノロジーは最先端技術やノウハウを含み、ヒアリング対象とした各企業および関連団体において、機密情報に属するものや、社内においても明確な情報整理に至っていない場合があり、製造数量や開発動向等で意見・数値が一貫していない例が散見された。本報告書記載の、製造量・輸入量、ナノマテリアル物性情報等は、本調査で得られた周辺情報を加味して独自に推定・算出したものであり、特定の団体や企業の見解を示したものではない。

国内における主要なナノマテリアルの製造量および輸入量を表 1.2.1 に示す。

製造量の上位を占めるのは、カーボンブラック、二酸化ケイ素（シリカ）、ニッケルナノ粒子、酸化チタン（合計）であり、平成 19 年度調査以来の傾向は変わらなかった。これは、それぞれのユーザー側産業が自動車用タイヤ（カーボンブラック）、セラミックコンデンサ（ニッケルナノ粒子）および多分野多用途（二酸化ケイ素、酸化チタン）など、既に巨大産業として成立していることから、ナノマテリアル製造企業に大量生産体制が確立していることによる。

しかしながら、2008 年 10 月の米国における株価暴落、年末にかけての急激な円高の影響を受け、これら製造量上位のナノマテリアルを中心に製造量の減産が確認された。今回の調査では、国内製造量調査とともに輸入量の把握にも努めた。具体的な資料が得られず不明とした物質もあるが、ほとんどのナノマテリアルで輸入量は極少量であると推定された。輸入量を把握することのできたナノマテリアル（カーボンブラック、二酸化ケイ素など）では 2008 年度比で 10～30%減（2009 年度予測値）であり、世界不況による工業生産の停滞が先端技術分野にも影響していることが明らかとなった。

表 1.2.1 国内における主要なナノマテリアルの製造量および輸入量

ナノマテリアル名称		2008年度		2009年度(予測)	
		製造量	輸入量	製造量	輸入量
1	フラーレン	1 トン未満	輸入量込み	1 トン未満	輸入量込み
2	水溶性フラーレン 誘導体	～数キロ	輸入量込み	～数キロ	輸入量込み
3	SWCNT	100kg 未満	輸入量込み	100kg 未満	輸入量込み
4	MWCNT	約 500 トン	輸入量込み	約 400 トン	輸入量込み
5	銀ナノ粒子	5 トン未満	極少量	5 トン未満	極少量
6	鉄ナノ粒子	約 300 トン	極少量	約 300 トン	極少量
7	カーボンブラック	約 81.4 万トン	約 18.5 万トン	約 57.7 万トン	約 8.9 万トン
8	酸化チタン： ルチル型	約 800 トン	極少量	約 700 トン	極少量
9	酸化チタン： アナターズ型	約 150 トン	極少量	約 150 トン	極少量
10	酸化アルミニウム (アルミナ)	約 700 トン	極少量	約 500 トン	極少量
11	酸化セリウム	約 30 トン	※不明	約 30 トン	※不明
12	酸化亜鉛	約 400 トン	極少量	約 400 トン	極少量
13	二酸化ケイ素 (シリカ)	約 5 万トン	約 2 万トン	約 4 万トン	約 2 万トン
14	ポリスチレン	約 15 トン	※不明	約 15 トン	※不明
15	デンドリマー	5 トン未満	※不明	5 トン未満	※不明
16	ナノクレイ	約 200 トン	ナノサイズ原料 の輸入は確認で きず、不明	約 200 トン	ナノサイズ原 料の輸入は確 認できず、不明
17	カーボンナノ ファイバー	約 80 トン	～数トン	約 80 トン	～数トン
18	顔料微粒子	約 750 トン	※不明	約 750 トン	※不明
19	アクリル微粒子	約 350 トン	極少量	約 400 トン	極少量
20	リポソーム	約 1 トン	リポソームとし ての輸入は確認 できず	約 1 トン	リポソームと しての輸入は 確認できず
21	白金ナノコロイド	約 100kg	※不明	約 100kg	※不明
22	量子ドット	数 kg	※不明	数 kg	※不明
23	ニッケル	約 1,500 トン	極少量	約 1,500 トン	極少量

※：今回の調査では資料が得られず、推定値算出が困難であるため「不明」とした。

1.2.1 フラーレン

本項では最も製造手法が確立し、基礎研究・応用開発ともに進展している C60 フラーレンを取り上げる。

代表的なグレードの粒径 および物性等	分子径：1nm 前後、製品製造時の平均粒径：数百 nm～数 μm 分子の直径は 1nm、特殊な分子性結晶により一次凝集体を形成し、一次凝集体がさらに凝集して二次または三次の凝集体を形成する。	
取り扱い製品での表面処理	有・無	
生産動態	2007 年度	製造量：1 トン未満（輸入量込み）
	2008 年度	製造量：1 トン未満（輸入量込み）
	2009 年度 （予測）	製造量：1 トン未満（輸入量込み）
主要な機能	反発性能の向上、軽量化、強度向上、電気特性の付与など 活性酸素・ラジカル消去能	
現在の主要な用途など	<ul style="list-style-type: none"> ・エポキシ樹脂やポリウレタン樹脂等に分散、混練する。 ・スポーツ分野：ゴルフ（クラブヘッド、クラブシャフト、ボール）、テニス・バドミントン（ラケット、ガット）、スノーボード（ボード、ワックス）、ボウリング（ボール）、 ・ヘルスケア分野：化粧品（クリーム、乳液、クレンジングオイル等） ・産業資材分野：CFRP 強化剤、樹脂添加剤、眼鏡フレーム等 ・潤滑分野：カーエアコン用オイル 	
開発動向 （将来用途と市場規模など）	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー分野：有機太陽電池、リチウム二次電池添加剤 ・電気・電子材料分野：有機 EL 材料、有機半導体材料、フラットパネルディスプレイ材料 ・産業資材分野：金属添加剤、ゴム添加剤、塗布剤、ガス吸着剤、耐火物添加剤、ハードコート剤 ・潤滑分野：固体超潤滑剤、ナノベアリング材料 ・ヘルスケア分野：医薬（がん治療薬など）、診断薬（X 線増感剤） ・誘導体である PCBM([6,6]-Phenyl C61-butyrac acid methyl ester)は、有機デバイス用材料として、有機薄膜太陽電池材料として研究されている。 	

フルラーレン (fullerene) は炭素原子で構成されるクラスターの総称である。1985年に発見され、炭素原子60個で構成されるサッカーボール状の構造を持つC60フルラーレンが代表的な物質である。炭素原子の数が60個を超えるクラスター（高次フルラーレン）も存在し、70 個、74 個、76 個、78 個、96 個、240 個などが単離されている。特有の分子性結晶を取るため物理的に極めて安定で、水や有機溶媒に溶けにくい。反面、化学反応性に富むことから、分子表面に化学修飾を行なうことで様々な分野での開発研究が進められている。電氣的には特徴ある構造から電子を受け取り易く、高い導電性を有する。

1.2.2. 水溶性フラーレン誘導体

代表的なグレードの粒径 および物性等	分子径：1nm 前後、製品粒径：数百 nm～数 μm フラーレンに準ずる	
取り扱い製品での表面処理	有・無 分子内への官能基の導入や、親水性ポリマーによる被覆など	
生産動態	2007 年度	製造量：ほとんどなし
	2008 年度	製造量：～数キロ（輸入量込み）
	2009 年度 （予測）	製造量：～数キロ（輸入量込み）
主要な機能	ラジカル種消去作用	
現在の主要な用途など	化粧水、クリーム、クレンジングウォーター、化粧下地、パック等への配合。	
開発動向 （将来用途と市場規模など）	<ul style="list-style-type: none"> ・ラジカル種消去作用を医薬品や化粧品に応用する研究が進められている。 ・フラーレン添加により期待される効能は、皮膚の老化防止、紫外線防御、皮脂酸化抑制、アトピー抑制、シワ抑制、炎症緩和、美白など。 ・国内では、変形膝関節症の症状改善薬として臨床試験中。 ・米国では水溶性フラーレンを、脳内抗酸化薬として臨床試験中。 	

精製したフラーレン表面に化学的手法によって水酸基、カルボン酸、イオン種を導入して製造。また、フラーレンをポリビニルピロリドン等の水溶性高分子で包み込み安定的に水に分散させる

1.2.3. 単層カーボンナノチューブ (SWCNT)

代表的なグレードの粒径 および物性等		直径：0.8～2nm、 長さ：100～1,000μm
取り扱い製品での表面処理		有・ <input type="checkbox"/> 無 ほとんどのユーザー企業が購入時のままSWCNTを使用しているが、製造段階でフッ素処理の事例がある。
生産動態	2007年度	製造量/輸入量：100kg未満（推定値、ほとんどが研究用もしくは輸入品と考えられる）
	2008年度	製造量/輸入量：100kg未満（推定値、ほとんどが研究用もしくは輸入品と考えられる）
	2009年度 （予測）	製造量/輸入量：100kg未満（推定値、ほとんどが研究用もしくは輸入品と考えられる）
主要な機能		高強度、高温時の高導電性、電気特性、有機化合物との化合性
現在の主要な用途など		開発中
開発動向 (将来用途と市場規模など)		<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂やセラミックスへ混練。 ・SWCNTは強度が極めて高く、高い導電性を示すため、MWCNTよりも注目を集めており、特に米国における研究開発が盛ん。 ・機械的、電氣的、光学的特性を生かして、自動車部品、導電性樹脂、半導体素材など機能材料等への応用が進められている。 ・トランジスタ、燃料電池、太陽電池、透明導電性膜、導電性複合材料（導電性フィラー、フィルム、コーティング剤）、DDSほかへの応用が研究されている。 ・医薬品分野では、SWCNTと抗HER2抗体の複合体がHER2発現乳癌細胞に対して選択的に認識し、がん細胞を破壊するという結果が得られている。 ・大量生産によるコスト削減・低価格化が急務であり、新規製造法の確立が待たれる。

カーボンナノチューブは、グラフェンシートを筒状に巻いた物質であり、1層のものを単層カーボンナノチューブ、多層のものを多層カーボンナノチューブと呼ぶ。多層カーボンナノチューブの層間距離は約0.34nmである。グラファイト構造を有することから、高導電性、高熱伝導性、高強度などの特徴を有する。諸特性はグラファイト化度、繊維長、繊維径(直径)および層数により決定される。

1.2.4. 多層カーボンナノチューブ (MWCNT)

代表的なグレードの粒径 および物性等		繊維径：20～150nm。繊維長：～数十μm。 研究用試薬として、外径/内径および繊維長の異なる複数種が市販されている。
取り扱い製品での表面処理		有・ <input type="checkbox"/> 無 今後の用途開発によって化学修飾される可能性が高い
生産動態	2007年度	約500トン（輸入量込み）
	2008年度	約500トン（輸入量込み）
	2009年度 （予測）	約400トン（輸入量込み） 2008年度比20%前後の減産となり。輸入量も相対的に減少していると考えられる。
主要な機能		磨耗性・摩擦改良、帯電防止性、導電性改良、高強度、伝熱性の付与など
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどが半導体トレイ（帯電防止シート含む）用途である。 ・ポリカーボネートに分散・成型し、HDD搬送用トレイの需要が伸びている。 ・原子力顕微鏡用CNTカンチレバー・プローブ（探針で試料の表面形状を調べる顕微鏡の一種で、研究開発や半導体の工程管理で使用される）に使用されている。 ・MWCNTを配合したシリコンゴム製コネクタ部品が、高級車のアンテナ部などに使用されている。 ・リチウムイオン二次電池の電極添加剤に使用され、携帯電話やノートパソコンに採用されている。また、一部のハイブリッド車や電気自動車にも搭載されている。
開発動向 （将来用途と市場規模など）		<ul style="list-style-type: none"> ・帯電・静電防止や電磁波吸収能を利用して、タッチパネル、フレキシブル太陽電池、電子ペーパー、次世代フレキシブルディスプレイ（有機EL）、静電塗装（塗料）用途、透明電導膜（透明キャリアテープ）等が開発されている。自動車の衝突防止センサー対応ガードレール塗布用導電材料などの事例もある。 ・炭素繊維強化樹脂にMWCNTを混ぜると、靱性（破断伸び）を落とさずに強度を飛躍的に向上できる。開発中の大型旅客機への採用が見込まれる。 ・ポリエステル繊維にコーティングし、導電性や高耐久性の制服、作業着、カーペット、車両シート等が開発されている。その他、競技用自転車のハンドル、ディスク型車輪に使用されている。 ・バイオ・医療分野では、DNA・タンパク質センサー、生体触媒、歯科・整形外科で骨組織置換素材等の検討事例がある。 ・自動車搭載用、風力発電用などにリチウムイオン電池の大型化、耐久性向上などの検討が進められており、将来的に取扱量は増加すると考えられる。

1.2.5. 銀ナノ粒子

代表的なグレードの粒径 および物性等		銀ナノ粒子（粉体、ペースト）：2～10nm。 銀＋無機微粒子：50～500nm。
取り扱い製品での表面処理		有・無
生産動態	2007年度	製造量：ここ数年、ペーストを含む銀粉体の製造量は2000トン前後で推移している。サブミクロン粒子の製造量が500～600トンであることから、ナノサイズ粒子の製造量を5トン未満（1%）と推定した。 銀＋無機微粒子については、算出根拠とする資料が得られなかったため不明とした。 輸入量：極少量
	2008年度	製造量：上記と同様の算出により、5トン未満 輸入量：極少量
	2009年度 （予測）	製造量：上記と同様の算出により、5トン未満 輸入量：極少量
主要な機能		導電性、易加工性（微細加工）、抗菌効果の付与など
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・銀ナノ粒子（粉体・ペースト）：導電ペースト材料として電子デバイスの接合・配線材料に使用される。 ・積層セラミックコンデンサ、プリント配線板、半導体、蛍光表示管、プラズマディスプレイパネルに使用されている。 ・混合系のペースト（銀・パラジウム系ペースト／銀・白金系ペースト）も使用されている。 ・抗菌目的では樹脂や繊維に混練、塗料は溶媒に分散して使用する。 ・銀＋無機微粒子：抗菌剤としてほぼ全量が消費される。100nm以下のシリカ、アルミナ、酸化チタン、ゼオライトに担持させている製品が多い。 ・食品包装、保存容器、まな板、冷蔵庫で抗菌剤として使用される。健康食品としても売られている。（15nm、100nmの粒子や、水溶液中でのイオン状のものを含む） <p><抗菌製品用途例></p> <ul style="list-style-type: none"> ・繊維：抗菌衣類（制服、作業着）、寝具、靴下、マスク等。 ・家庭用品・生活雑貨：台所用品、洗面用具、風呂場、傘、スリッパ、靴、中敷、ベルト、抗菌絆創膏、装飾用銀等。 ・化粧品：制汗剤、消臭スプレー、 ・家電・電気製品：エアコンフィルター、換気扇、洗濯機、冷蔵庫内ABS樹脂製ケース、掃除機、炊飯器、携帯電話の塗料、PC、自動販売機配管等。 ・スポーツ用品：ウエア（ユニフォーム、アンダーウェア）、靴等。 ・その他：玩具、医療・衛生、化粧品容器、建築資材等への使用例がある

<p>開発動向 (将来用途と市場規模など)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・金属ナノ粒子ペーストを用いた配線技術の研究開発が進められており、銀超微粉体の応用が検討されている。 ・銀超微粉 (ペースト) : プラズマディスプレイ用電極材料 (ナノメタルインクを用いてグラビア・オフセット印刷により回路形成、フレキシブルプリント回路形成など)、太陽電池用材料、環境触媒など。 ・電子材料として、フラットパネルディスプレイ配線の直接描画、電極形成、配線欠陥修正などが検討されている。 ・無機系ナノ粒子をフィラーとする紫外線遮蔽・抗菌防臭用後加工仕上剤の開発が進められ、紫外線遮蔽機能・抗菌防臭機能を同時に付与する多機能製品として期待されている。 ・その他の用途として、触媒、粒子表面コーティングとしての利用がある。
-------------------------------	---

1.2.6. 鉄ナノ粒子

鉄を主原料とするナノマテリアルとして、メタル粉およびフェライト化合物がある。ここでは双方について記述する。

代表的なグレードの粒径 および物性等		メタル粉：50nm x 100～200nm コンピュータ・データテープ用：40～200nm フェライト化合物：研究用として、粒径 20-40nm の Fe ₂ O ₃ (α) や Fe ₂ O ₃ (γ)などが市販されている。 磁性誘電体材料：100-300nm
取り扱い製品での表面処理		有・無 マグネタイト自体の腐食感受性や、そのままでは生体分子を鉄 ナノ粒子表面に永続的に結合させることが困難であることから、 天然又は合成高分子等で表面を被覆する。
生産動態	2007 年度	製造量：メタル微粉末の総製造量は約 1000 トン。ナノサイズ 品の割合を 30%程度、約 300 トンと推定した。 輸入量：極少量
	2008 年度	製造量：上記と同様の算出により、約 300 トン。 輸入量：極少量
	2009 年度 (予測)	製造量：上記と同様の算出により、約 300 トン。 輸入量：極少量
主要な機能		記録密度の向上、食品添加物として鉄分補強
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> 酸化鉄粒子は磁気記録材料、磁性流体、顔料として使用されている。 データ記録用磁気テープ用途では、樹脂に混練しテープ基材 へコーティングして使用する。 CNT 合成用触媒としての需要がある。 磁気共鳴画像 (MRI) の陰性造影剤として超常磁性酸化鉄ナ ノ粒子が実用化されている (医薬品)。 食品添加物として補助栄養剤や栄養ドリンクに導入されてい る (鉄分補強効果)。
開発動向 (将来用途と市場規模など)		<ul style="list-style-type: none"> 超高密度情報記憶材料としての開発が進んでいる。 磁性コア・金シェル構造のナノ粒子が、核磁気共鳴画像法 (MRI) や細胞標識・分類、温熱療法や標的薬物送達などの生医 学的用途で検討されている。また、将来的にがん診断や新薬候 補のスクリーニング用試薬の部品 (担体) として期待される。 樹脂との複合材が UHF 帯での高透磁率、低磁気損失および 波長短縮効果を利用して、アンテナや電子部品の小型化、指向 性・広帯域・省電力アンテナなどへの応用開発が進んでいる。 ミリ波 (30～300GHz) に対する電磁波干渉抑制材料として 酸化鉄ナノ粒子が注目され、内装塗料 (オフィス、医療機関) や各種車両・航空機の外装塗料としての応用が期待されている。

1.2.7. カーボンブラック

代表的なグレードの粒径 および物性等	一次粒子：10-80nm、10～500nm（アグリゲートの遠心沈降相当量として） 二次粒子：30～250nm（ストークス径）、 粉状品の二次凝集体径として、数μm～数百μm、粒品では0.5～2mm（粉末製品は二次凝集体を形成しており、粒子径は保存・測定環境により異なる）
取り扱い製品での表面処理	有・無 黒鉛化処理、ポリマー等による表面被覆、酸化処理。 塗料グレードでは、官能基導入の事例がある
生産動態	2007年 製造量：約83.0万トン 輸入量：約14.9万トン
	2008年 製造量：約81.4万トン 輸入量：約18.5万トン
	2009年 製造量：約57.7万トン 輸入量：約8.9万トン
主要な機能と使用形態	耐候性および耐久性改良、帯電防止性・導電性改良を目的としてゴムやプラスチックに混練する。インキ用は溶媒に分散させる。また、トナー用は樹脂に混練後機械的に粉碎する。
現在の主要な用途など	<ul style="list-style-type: none"> ・20世紀初頭から、自動車のタイヤおよびゴム製部品に、ナノ粒子カーボンブラック（tire soot）が使用されている。 ・90%以上がゴム補強剤として使用される（ほぼ全量がタイヤ）、顔料用途や導電性用途は数%と考えられる。 ・自動車用途：自動車用タイヤ、ゴムホース、パッキン類など ・非ゴム用途：着色顔料、導電性用途、塗料、複写機トナーなど。 ・化粧品ではマスカラやアイライナーで使用されている。
開発動向 （将来用途と市場規模など）	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂材料として粒子表面をポリマー被覆し、UV硬化性や低吸着性等の機能付与が検討されている。 ・黒鉛化カーボンブラックは、磁気記録テープ用塗料、耐候性塗料、耐熱性塗料として実装段階に入っている。 ・高品質タイヤ（軽量で高剛性を持ち、車両の振動抑制、燃費性能の向上等が期待される）のゴム補強材として、シリカ等と併せて検討されている。

カーボンブラックを電子顕微鏡で観察すると、粒子がブドウの房状に結合した形をしておりそのサイズは数十～数百nmであることが観察されている。

ドメイン（一次粒子、10～500nm）が融着等により非常に強固なアグリゲート（一次凝集体、数十～数百nm）を形成する。アグリゲートはさらに凝集して、アグロメレート（二次凝集体、数～数百μm）を形成する。出荷時は1mm程の粒状ビードである。製品中でも空気中でもアグロメレートの状態であると考えられる。

1.2.8. 酸化チタン：ルチル型

代表的なグレードの粒径 および物性等	研究用として、5～100nm が市販されている。 化粧品用：15nm～100nm 一次粒子：10～80nm 二次粒子は評価方法が確立されていない。
取り扱い製品での表面処理	<input checked="" type="checkbox"/> ・無 無機/有機表面処理が用途に応じて施される。(併用アリ) 水酸化アルミニウム、シリカ、アルミナ+ポリシロキサン、ステアリン酸、イソステアリン酸、メタリン酸ソーダ、アルギン酸ナトリウム、シリコーンオイル、ジルコニア、アルキルシラン等が使用される。
生産動態	2007年度 製造量：酸化チタン（ルチル型）の総製造量は20.3万トン。うち、100nm以下の超微粒子は約800トンと推定。 輸入量：極少量
	2008年度 製造量：酸化チタン（ルチル型）の総製造量は20.8万トン。うち、100nm以下の超微粒子は約800トンと推定。 輸入量：極少量
	2009年度 (予測) 製造量：酸化チタン（ルチル型）の総製造量は17.3万トン。うち、100nm以下の超微粒子は約700トンと推定。 輸入量：極少量
主要な機能	B領域紫外線(UV-B)の遮蔽性、可視光透明性、耐候性の付与、触感の向上など
現在の主要な用途など	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどがサンスクリーン、ファウンデーション、口紅、化粧水、クリーム等の化粧品用途で消費される。 ・メタリック塗料、トナー添加剤・電化調整剤、触媒担体、難燃剤等では塗料への分散、樹脂等への混練で使用される。 ・食品への使用例もあり、20世紀半ばから白色顔料としてナノ粒子が工業利用されている。
開発動向 (将来用途と市場規模など)	<ul style="list-style-type: none"> ・化粧品用途およびトナー用途は今後成長すると予想される。 ・食品容器の透明性向上と紫外線遮蔽効果付与の研究例がある。 ・大型ディスプレイ反射防止フィルムも実装化が近いと考えられる。液晶のカラーフィルターや配向膜への適用も検討されており、併せて色素増感型太陽電池の電極材料として開発が行なわれている。

酸化チタンは優れた紫外線吸収・遮蔽能を有し、顔料、塗料、化粧品、紫外線遮蔽材、触媒および各種エレクトロニクス材料に使用されている。また、酸化チタンの有する光触媒活性を利用した用途展開も進んでいる。酸化チタンの光触媒活性はルチル型よりもアナターズ型構造体のほうが高い。

一次粒径が100nm以下の酸化チタンは、バルクの酸化チタンに比べて化学的純度が高く分散性が良い。また、粒子径が光の波長の数十分の一と小さいため、顔料特性を示さず着色しない特徴がある。

1.2.9. 酸化チタン：アナターズ型

代表的なグレードの粒径 および物性等	一次粒子：研究用として 15～155nm のナノマテリアルが市販されている。産業用途では、粒径：7～200nm が使用されている。 二次粒子は評価方法が確立していない。
取り扱い製品での表面処理	有・ 無 無表面処理のグレードが多いが、アパタイト被覆、シリカ被覆、フッ化アパタイト被覆等により、親水性グレードと疎水性グレードが製造されている。
生産動態	2007 年度 製造量：酸化チタン（アナターズ型）の総製造量は 3.8 万トン。 うち、100nm 以下の超微粒子は 150 トン前後と推定。 輸入量：極少量
	2008 年度 製造量：酸化チタン（アナターズ型）の総製造量は 4.0 万トン。 うち、100nm 以下の超微粒子は 150 トン前後と推定。 輸入量：極少量
	2009 年度 （予測） 製造量：酸化チタン（アナターズ型）の総製造量は 3.7 万トン。 うち、100nm 以下の超微粒子は 150 トン前後と推定。 輸入量：極少量
主要な機能	光触媒機能、抗菌作用、紫外線遮蔽能の付与
現在の主要な用途など	食品包装材（保存容器含む）および食品添加物として使用される。 ・大気浄化：空気清浄機、エアコン、カーエアコン、内装材、カーテン、工場排気設備、道路資材等 ・水質浄化：浄水器、排水処理設備、ガラス食器等 ・脱臭：空気清浄機、冷蔵庫、介護用品、壁紙、カーテン、衣類等 ・抗菌・殺菌：内装タイル、トイレ、台所用品、文具等 ・防汚：外装材、窓ガラス、外装塗料、作業着等 ・防塵：道路ミラー、ドアミラーなど ・その他：メガネフレームやアルミブラインド、造花観葉植物など、多方面での製品開発事例がある。 ・塗料分野では 200 社以上が参入している。
開発動向 （将来用途と市場規模など）	・色素増感型太陽電池の電極材として注目されている。 ・白金ナノ粒子等との組合せで、燃料電池の水素発生源として開発が進められている。 ・世界初の光触媒製歯科用ホワイトニング剤が認可申請中。

1.2.10. 酸化アルミニウム（アルミナ）

代表的なグレードの粒径 および物性等		研究用として、15-50nm が市販されている。 産業用：～50 μ m。100nm 以下はカスタムメイドが中心。 化粧品用途では、平均粒径：0.6～10 μ m、平均厚み：60nm～ 300nm。
取り扱い製品での表面処理		有・無
生産動態	2007 年度	製造量：高純度アルミナの総製造量は約 30 万トン。サブミク ロンサイズグレードの製造量が約 2000 トンであることから、 ナノサイズ品の製造量を約 700 トンと推定。 輸入量：極少量
	2008 年度	製造量：上記と同様の算出により、約 700 トン。 輸入量：極少量
	2009 年度 (予測)	製造量：ヒアリング結果より、2008 年度比で 30%程度の減産 がとなっていたため、約 500 トンと推定。 輸入量：極少量
主要な機能		機械的強度向、電気絶縁性の付与など
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂・セラミックスに混練して使用される。 ・電子部品、封止剤、セラミック部品、化粧品、特殊耐火物、 磁気記録媒体（高密度記録用時期媒体研磨剤）、液晶用部品、半 導体部品、精密研磨剤等に利用される。 ・骨組織工学、歯科材料としてヒドロキシアパタイト（三リン 酸水酸化カルシウム）のほかに、50nm程度の酸化アルミニウム も利用されている。
開発動向 (将来用途と市場規模など)		<ul style="list-style-type: none"> ・エレクトロニクス分野では、他の部材との複合化やコーティ ング用途で小粒径品が使用される傾向にあり、今後ナノサイズ のアルミナ需要が高まると予想される。 ・研磨剤用途、顔料用途、燃料電池部材でも需要が高まると予 想される。

1.2.11. 酸化セリウム

代表的なグレードの粒径 および物性等		<p>研究用として、10-100nm が市販されている。</p> <p>ガラス研磨剤用途、平均粒径：0.6～2.5μm</p> <p>半導体研磨剤用途、平均粒径：100～200nm</p> <p>オイル添加剤用途、平均粒径：80～150nm</p>
取り扱い製品での表面処理		<p><input checked="" type="checkbox"/>・無</p> <p>化粧品用途でシリカ処理、窒化ホウ素やアモルファスシリカ等によるコーティングの事例がある。</p> <p>天然または合成高分子との複合化の事例も報告されている。</p>
生産動態	2007 年度	<p>製造量：酸化セリウムの総製造量は約6,000 トン。小粒径（～0.5μm）の半導体研磨用スラリー分は約30 トンと推定。</p> <p>輸入量：資料が得られず不明。</p>
	2008 年度	<p>製造量：上記と同様の算出により、約 30 トン。</p> <p>輸入量：資料が得られず不明。</p>
	2009 年度 (予測)	<p>製造量：酸化セリウムの総製造量は約5,000 トン。半導体研磨用スラリー用途は横バイで約30 トンと推定。</p> <p>輸入量：資料が得られず不明。</p>
主要な機能		<p>金属やシリコン表面との親和性から、現在は研磨剤としての用途が大部分である。</p>
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・研磨剤用途では水に分散させて使用されている。ユーザーによっては分散安定剤を添加する例もある。 ・研磨剤：ハードディスクガラス基板、液晶ガラス基板、フォトマスク、光学ガラス研磨および半導体研磨に使用される。 ・自動車用エンジンオイルの添加剤として使用されている。 ・その他の用途では、紫外線遮断剤、自動車用触媒、ガラス添加剤、金属・合金用添加剤として利用される。 ・日焼け止め化粧品への添加事例がある。
開発動向 (将来用途と市場規模など)		<ul style="list-style-type: none"> ・固体酸化物型燃料電池（SOFC）用電解質材料としての研究が進められている。 ・光触媒やフォトルミネッセンス材料としての応用が期待される半導体材料の一つである。 ・用途開発による小粒径品化が進むと考えられ、大量製造・低コスト化を目的として、ナノサイズ酸化セリウム製造方法の開発自体が研究の対象となっている。

1.2.12. 酸化亜鉛

代表的なグレードの粒径 および物性等	研究用として、19-120nm が市販されている。 化粧品用：30～40nm。その他：20～35nm 二次粒径は評価法が確立していない。
取り扱い製品での表面処理	有・無 シリカ、ポリシロキサン、アルミナ、シリコーンオイル、キトサン処理、ステアリン酸マグネシウム処理等の事例がある。 また、マイカ（雲母）との複合化微粒子の事例もある。
生産動態	2007 年度 製造量：酸化亜鉛の全製造量は約 7.9 万トン。うち、100nm 以下の超微粒子は約 400 トンと推定。 輸入量：極少量
	2008 年度 製造量：酸化亜鉛の全製造量は約 7.7 万トン。うち、100nm 以下の超微粒子は横バイで約 400 トンと推定。 輸入量：極少量
	2009 年度 (予測) 製造量：酸化亜鉛の全製造量は約 7.7 万トン。うち、100nm 以下の超微粒子は横バイで約 400 トンと推定。 輸入量：極少量
主要な機能	A 領域紫外線の遮蔽能、抗菌性や消臭性の付与、着色（白色）
現在の主要な用途など	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどが化粧品用途で消費され、溶媒に分散または化粧品基材に混練して使用される。 ・化粧品（サンスクリーン、ファンデーション、口紅、化粧水、クリーム）、医薬部外品原料、セラミック、ゴム、塗料（脱臭、抗菌効果）、インキ、プラスチック添加剤、繊維（脱臭、抗菌効果）、抗菌コート材、抗菌フィルム（抗菌、抗カビ、防臭） ・食品包装容器では抗菌剤として使用される。
開発動向 (将来用途と市場規模など)	<ul style="list-style-type: none"> ・化粧品用途では更に小粒径の酸化亜鉛の需要が高まっている。 ・ITO（酸化インジウムスズ）の代替材料として、透明導電膜への利用が検討されている。 ・他の無機系ナノ材料との複合化材料が、化粧品用に開発されている。

一次粒子が非常に強く結合してアグリゲートを形成し、容易には分散しない。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。

分散剤等を用いて分散させても、大部分は粒径が 100nm 以上となり、最終製品ではほとんどがアグロメレートであると考えられる。

酸化亜鉛は人体に有害とされる紫外線（UV-A：320～400nm、UV-B：290～320nm）を吸収する。また、導電性や二酸化炭素吸収能等の性質も有している。

1.2.13. 二酸化ケイ素（シリカ）

代表的なグレードの粒径 および物性等		<p>研究用として、10-70nm が市販されている。</p> <p>乾式シリカ、親水性グレード：7～22nm、疎水性グレード：7～15nm、汎用品：～1μm</p> <p>コロイダルシリカ：20-50nm</p> <p>一次粒子：5-50nm（乾式シリカ）、10-12nm（フュームドシリカ）、</p> <p>二次粒子：5-50nm（フュームドシリカ）</p>
取り扱い製品での表面処理		<p>有・無</p> <p>親水性グレードがシラノール基、疎水性グレードがシロキサンで表面処理される例がある。</p>
生産動態	2007 年度	<p>市販品のグレード設定からは乾式シリカとフュームドシリカが該当する。ヒアリングではグレードを問わずナノサイズ製品について調査を実施した。</p> <p>製造量：約 6 万トン（推定）</p> <p>輸入量：約 2.5 万トン（推定）</p>
	2008 年度	<p>製造量：約 5 万トン（推定）</p> <p>輸入量：約 2 万トン（推定）</p>
	2009 年度 （予測）	<p>製造量：約 4 万トン（推定）</p> <p>輸入量：約 2 万トン（推定）</p>
主要な機能		<p>液状製品（塗料、接着剤等）使用時のタレ防止、顔料等の沈降防止、粉体に対して流動性の改善、固結防止、絶縁性・流動性・着色性・耐水性の向上、増粘効果、安定剤、帯電防止等</p>
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・溶媒への分散やゴム・樹脂に混練して使用される。 ・乾式シリカは 20 世紀半ばからナノ粒子として工業利用されている。 ・合成ゴムの補強充填剤、農薬等液体の吸着担体、歯磨き粉、消火器充填剤、家畜飼料、顔料、軽量紙の印刷インクの裏抜け防止剤などに使用されている。 ・研磨材、塗料の艶消し剤、浴用剤の固結防止剤としての使用実績がある。 ・接着剤・シーラント：自動車、航空機、構造材、電子部品 電池（蓄電池、リチウムイオンポリマー電池）、食品（粉体食品：野菜パウダー、コーヒー用クリーム等）、塗料、化粧品（スキンケア、ヘアケア製品、制汗剤、クリーム、ローション、口紅、パウダー）、医薬品（附型剤、吸湿剤、薬剤固定基材、流動性調整剤、粉末・顆粒・細粒・ドライシロップの基材）、トナー帯電制御（ECC）剤、ウェハ研磨剤、合成樹脂増粘剤、接着剤、インキ等
開発動向 （将来用途と市場規模など）		<ul style="list-style-type: none"> ・研磨用途、食品用途等に需要の拡大が予想される。 ・セラミックバインダー、触媒担体、光学ガラス用研磨剤として開発が進んでいる。また、低転がり抵抗タイヤ開発用部材としても注目される。

1.2.14. ポリスチレン

代表的なグレードの粒径 および物性等		架橋ポリスチレン共重合体として流通している。 産業用：粒径 3-20 μ m 化粧品用：100-200nm、液晶スプレー用：2~10 μ m、 体外診断薬用：10-1000nm
取り扱い製品での表面処理		有・ <input type="checkbox"/> 無 製造（合成）時の原料配合によって表面特性（官能基の導入等） が決定する。
生産動態	2007年度	製造量：汎用品の総製造量は約 330 トン。化粧品用途を約 15 トン（約 5%）と推定。体外診断薬用途は～数百キロと推定。 輸入量：資料が得られず不明。
	2008年度	製造量：上記と同様の算出により、約 15 トン。 輸入量：資料が得られず不明。
	2009年度 （予測）	製造量：上記と同様の算出により、約 15 トン。 輸入量：資料が得られず不明。
主要な機能		FRP 低収縮性、沈降防止性、反射防止光拡散性の付与。 水中での分散安定性。化粧品でははてかり防止、紫外線カッ ト。
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂や化粧品基材へ混練して使用される。 ・体外診断薬（免疫凝集法）では、水または緩衝液に分散させ た状態で使用される。 ・化粧品、塗料、プリンタートナー用微粒子、ディスプ レイの反射防止等に使用される。 ・FRP用低収縮剤はミクロンサイズ、化粧品ではサブミクロン サイズの粒子が使用されている。 ・液晶スプレー用とではミクロンサイズの粒子が使用されて いる。 ・消せるボールペンのインクにもポリマー系微粒子が使用され ている。
開発動向 （将来用途と市場規模など）		<ul style="list-style-type: none"> ・有機トランジスタのゲート側誘電材料として期待されている。 ・高解像度画像の印刷にトナー用途で小粒径製品の需要が高ま っている。 ・成型加工分野では、セラミックス空孔形成剤や人造大理石用 低収縮剤としての応用が検討されている。

1.2.15. デンドリマー

代表的なグレードの粒径 および物性等		<p>研究用として15-50nmの製品が市販されている。</p> <p>産業用では一次粒子（分子径）が20-40nmのものが、合成高分子との混合物として使用される。</p> <p>水中では直径 100nm 程度の凝集塊を形成する。</p>
取り扱い製品での表面処理		<p>有・無</p> <p>外界との界面となる側鎖末端の形状や分子種は、製造（合成）時の原料配合と合成方法によって決定される。</p>
生産動態	2007 年度	<p>製造量：合成高分子との混合物としての総製造量は約50 トン。</p> <p>うち、デンドリマー成分は5トン未満（10%未満）と推定。</p> <p>輸入量：資料が得られず不明。</p>
	2008 年度	<p>製造量：上記と同様の算出により、5 トン未満。</p> <p>輸入量：資料が得られず不明。</p>
	2009 年度 （予測）	<p>製造量：上記と同様の算出により、5 トン未満。</p> <p>輸入量：資料が得られず不明。</p>
主要な機能		<p>光電変換能の付与、共存物質の粘度低減や粘稠性コントロール。</p> <p>化粧品では有効成分の撥水性、撥油性、持続性の向上など。</p>
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> 紙のコーティング剤、化粧品（スキンケア製品）、歯科用充填剤、洗剤等 国内ではポリアミドアミン構造を側鎖に持つデンドリマーが、主に使用されている。
開発動向 （将来用途と市場規模など）		<ul style="list-style-type: none"> 医療関係、燃料電池用途等に用途拡大の可能性がある。 医薬分野では DDS や遺伝子デリバリーの輸送担体、スーパーオキシドラジカルの分解（デンドリマー金属錯体）、制癌剤の無害化・活性向上（デンドリマー白金錯体）、診断薬（金ナノ粒子との複合体で化学センサー、金属錯体によるバイオイメージング）等への応用が検討されている。 エレクトロニクス分野では太陽電池の光捕集アンテナとして期待されている。

デンドリマーは、コアと呼ばれる中心分子からデンドロンと呼ばれる側鎖分子が規則的に分岐した構造を持つ樹状高分子である。デンドロン（側鎖）部の分岐回数を世代と称する。コアはデンドロンによって覆われていることで外界と遮蔽された環境にあるため、特異な発現挙動や化学反応性を示す。

1.2.16. ナノクレイ

代表的なグレードの粒径 および物性等		高純度モンモリナイトとして、 厚さ：1nm、広がり：100～1000nmの板状アルミノケイ酸塩が 10μm程度の多層積層構造をとる。 高純度品グレード：15～20μm(二次粒子) 主成分であるモンモリロナイトの基本粒径：1nm×100nm
取り扱い製品での表面処理		有・無 表面処理を行わない場合が多い。用途対応で、化学的手法により層間に4級アンモニウム塩を挿入する事例がある。
生産動態	2007年度	製造量：ベントナイトの総製造量は約70万トン。うち、高純度品(≒ナノサイズ品)は約200トンと推定。 輸入量：ナノサイズ原料としての輸入は確認できず、不明。
	2008年度	製造量：ベントナイトの総製造量は約70万トン。うち、高純度品(≒ナノサイズ品)は約200トンと推定。 輸入量：ナノサイズ原料としての輸入は確認できず、不明。
	2009年度 (予測)	製造量：ベントナイトの総製造量は約60万トン。うち、高純度品(≒ナノサイズ品)は約200トンと推定。 輸入量：ナノサイズ原料としての輸入は確認できず、不明。
主要な機能		耐熱性、耐火性、年稠性調整、ガスバリア性、機械的強度(対曲剛性)、耐摩耗性の付与。
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> 汎用プラスチックや熱可塑性エラストマーに混練して使用される。 90年代半ばにナイロン系複合材料が開発され、自動車エンジンブロック付近の金属部品に変わる素材として使用され、軽量化に寄与した事例がある。 農薬の沈降防止剤、触媒担体、塗料添加剤、乳液・クリーム添加剤、医薬品(基材)、食品(菓子類)、輸液バッグ外装材、食品・飲料の包装容器、農業用パイプ等に使用されている。
開発動向 (将来用途と市場規模など)		<ul style="list-style-type: none"> ポリマー/クレイ系ナノ複合材料の研究開発が進んでいる。 難燃性材料、電線被覆材料、ナノコンポジット多層PETボトル(酸素進入抑制、炭酸ガス抜け低減)、自動車ボデー用材料(強度強化、耐熱性強化)等が実用化に近い。 層状シリカもクレイと呼ばれ、ポリマーナノ複合材料の研究が進んでいる。

ナノクレイは、層状の鉱物ケイ酸ナノ粒子の総称である。化学組成とナノ粒子の形態によって、モンモリナイト、ベントナイト、カオリナイト等に分類される。板状のモンモリナイトが機能材料に使用される最も一般的なナノクレイである。

1.2.17. カーボンナノファイバー

代表的なグレードの粒径 および物性等		繊維径：10～数100nm 繊維長：1～20μm
取り扱い製品での表面処理		有・無
生産動態	2007年度	製造量：CNFを年間トン単位で製造し、それを外販している企業は日本の2社と欧米の8社のみである。各社の製造能力の累計から総製造量を250t前後と仮定し、国内製造量を約80トンと推定した。 輸入量：～数トン程度の輸入があると考えられる。
	2008年度	製造量：上記と同様の算出により、約80トン。 輸入量：～数トン程度の輸入があると考えられる。
	2009年度 (予測)	製造量：上記と同様の算出により、約80トン。(他の炭素系ナノマテリアル同様、ある程度の減産が予想される。) 輸入量：～数トン程度の輸入があると考えられる。
主要な機能		機械的強度、導電性、潤滑性等の付与。熱伝導率向上。
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> 樹脂への混練・分散により使用される。 リチウム二次電池負極材の添加剤、2007年からは正極材にも添加されるようになった。 導電繊維、自動車分野（燃料タンク、周辺部品、シート等）、キャリアテープ、セラミックス添加、金属添加等に使用されている。
開発動向 (将来用途と市場規模など)		<ul style="list-style-type: none"> 各種特性を生かした製品開発が進められている。 化学物性付与：触媒担体、導電補助材、燃料電池部材 吸着性能：フィルター、ガス吸着材 生体適応性：細胞培養担体、バイオセンサ 機械的物性：高機能複合材、塗料、複合材への強度付与など 電気物性：静電防止樹脂、導電性塗料、電磁波遮断、熱伝導材、スポーツ、風力発電ブレードへの応用も検討されている。

カーボンナノファイバーは、繊維系がナノメートルオーダーの炭素原子からなる繊維である。炭素原子から構成された複数の六方網平面が繊維長手方向において積層した形状を取り、カーボンナノチューブとは異なる構造を持つ。

1.2.18. 顔料微粒子

代表的なグレードの粒径 および物性等	一次粒径：5～200nm 二次粒径：10～100μm
取り扱い製品での表面処理	有・無 用途に応じて、各種の耐性を付与するために化学修飾や他の成分との複合化が行なわれる。合成ポリマーによる被覆を実施した事例もある。
生産動態	2007 年度 製造量：有機顔料の総製造量は 3.5 万トン。うち、インクジェット用（0.5%）と液晶カラーフィルターレジスト用（約 2%）と仮定し、インクジェット用：約 150 トン、液晶カラーレジスト用：約 600 トンと推定。（カーボンブラック、酸化亜鉛、酸化チタンを含む） 輸入量：資料が得られず不明。
	2008 年度 製造量：有機顔料の総製造量は 3.3 万トン。上記と同様の仮定から、インクジェット用：約 150 トン、液晶カラーレジスト用：約 600 トンと推定。 輸入量：資料が得られず不明。
	2009 年度 （予測） 製造量：有機顔料の総製造量は 3.0 万トン。上記と同様の仮定から、インクジェット用：約 150 トン、液晶カラーレジスト用：約 600 トンと推定。 輸入量：資料が得られず不明。
主要な機能	着色、高解度・高画質印刷など
現在の主要な用途など	<ul style="list-style-type: none"> ・各種顔料を溶媒に分散して使用される。 ・黒色顔料：カーボンブラック、白色顔料：酸化亜鉛、酸化チタン、赤色顔料：酸化鉄など、青色顔料：フェロシアン化鉄カリウム等が使用されている。 ・電子材料の導電性パターン形成用ジェットインク、液晶カラーフィルターに使用される。
開発動向 （将来用途と市場規模など）	<ul style="list-style-type: none"> ・高画質への要求が高まり、インクジェット、液晶用途ともに小粒径化は進展すると予想される。 ・樹脂に内包させたマイクロカプセル化顔料が開発されている。

顔料は、着色に用いる粉末で水や油に不溶なものの総称である。粒子径は数 nm ～数 mm の広範囲にわたる。顔料にはその成分から無機顔料と有機顔料の 2 種類に分類され、天然鉱物顔料と合成無機顔料とを併せた無機顔料が、有機顔料に比べてはるかに生産量が多い。

1.2.19. アクリル微粒子

代表的なグレードの粒径 および物性等		直径：0.1～150 μ m、 80-200nm の粒子が数十 μ m の凝集体を形成していると考えられる。水分散系の製品ではほぼ単分散している。
取り扱い製品での表面処理		<input checked="" type="checkbox"/> 有・無 製造（合成）時の原料配合によって表面特性（官能基の導入等）が決定する。
生産動態	2007 年度	製造量：アクリル系樹脂の総製造量は 4,000 トン。うち、100nm 以下のナノサイズ品を約 400 トン（10%）と推定。 輸入量：極少量
	2008 年度	製造量：アクリル系樹脂の総製造量は 3,500 トン。うち、100nm 以下のナノサイズ品を約 350 トン（10%）と推定。 輸入量：極少量
	2009 年度 （予測）	製造量：アクリル系樹脂の総製造量は 4,000 トン。うち、100nm 以下のナノサイズ品を約 400 トン（10%）と推定。 輸入量：極少量
主要な機能		光拡散性、透明性の付与など。化粧品では触感向上。
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・光拡散用途は樹脂への練りこみ、塗料・インキの場合は溶媒に分散して使用される。 ・アクリルエマルジョンとして下記製品に使用される。 不織布、繊維加工(自動車シート他)、コーティング剤（顔料コート）、木工品、織布、フォームラバー、タイヤコードベルト、コーティング剤、不透明化剤、皮革処理、インキバインダー また、インクジェット用微粒子、化粧品（ファンデーション）、塗料、体外診断薬担体などにも使用されている。 ・シリカとの複合材は食品包装材として使用される。
開発動向 (将来用途と市場規模など)		<ul style="list-style-type: none"> ・有機トランジスタのゲート誘電材料として開発が進められている。 ・インクジェット分野でのユーザーニーズに対応した、顔料内包ナノ粒子の開発事例がある。 ・光学製品、化粧品、顔料などそれぞれの製品用途特性に合わせたナノ粒子の開発が進んでいる。

1.2.20. リポソーム

代表的なグレードの粒径 および物性等		化粧品用：80～300nm 医薬品（DDS）用：100nm を中心に、60～150nm
取り扱い製品での表面処理		有・無 製造（合成）時の原料配合によって表面特性（官能基の導入等）が決定する。
生産動態	2007 年度	製造量：DDSグレード、化粧品用を合わせて、約1トン。 輸入量：リポソームとしての輸入は確認できなかった。
	2008 年度	製造量：DDSグレード、化粧品用を合わせて、約1トン。 輸入量：リポソームとしての輸入は確認できなかった。
	2009 年度 （予測）	製造量：DDSグレード、化粧品用を合わせて、約1トン。 輸入量：リポソームとしての輸入は確認できなかった。
主要な機能		水中安定性、生体適合性（生体内安定性）、薬物輸送能の付与。
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・取扱量としては化粧品用途が優位である。 ・化粧品（美容液、ローション、化粧水等）へ有効成分を内包したりリポソームを分散させて使用する。 ・1988 年からリポソーム製剤が上市されている。現在抗がん剤を中心に 5 種類が薬価収載されている。 ・遺伝子導入用リポソームが市販されている。（研究用） ・リポソームの機能性成分を予め調整した商品の販売例もある。（研究用）
開発動向 （将来用途と市場規模など）		<ul style="list-style-type: none"> ・美容食品への応用事例があり、食品用途の拡大が考えられる。 ・化粧品用途は新規機能性成分との組合せによる新製品の開発が進んでいる。 ・リポソームに類似した、分子内に脂質を持つ高分子材料が開発され、化粧品分野への展開が期待される。 ・特定の組織、細胞に薬物を送達するために、リポソーム表面を抗体や低分子物質で修飾した第三世代リポソームの研究が盛んであり、日米欧において多数の薬剤が臨床試験中である。

リポソームとは、脂質二分子膜が球状の殻となった構造をとる。粒径は構成成分やその比率、また製造方法などの諸条件で調整可能であり、直径 50～400nm のものが知られている。生体膜の基本構造を模しており、生体との親和性を利用した研究が進んでいる。

1.2.21. 白金ナノコロイド

代表的なグレードの粒径 および物性等	研究用として、2～50nm が市販されている。 食品用：2～5nm、産業用：2～10nm、 貴金属濃度が 0.5～4%のコロイドとして販売されている。
取り扱い製品での表面処理	<input checked="" type="checkbox"/> 有・無 コロイド化剤として、ポリビニルピロリドンやポリアクリル酸 ナトリウム、ペクチン等が使われる。 クエン酸による表面処理の事例が有る。
生産動態	2007 年度 製造量：白金粉体の総製造量は約 5.0 トン。うち、コロイドを 含む白金微粉体の製造量を約 100kg と推定。 輸入量：資料が得られず不明。
	2008 年度 製造量：白金粉体の総製造量は約 6.5 トン。うち、コロイドを 含む白金微粉体の製造量は横バイで約 100kg と推定。 輸入量：資料が得られず不明。
	2009 年度 (予測) 製造量：白金粉体の総製造量は約 5.0 トン。うち、コロイドを 含む白金微粉体の製造量を約 100kg と推定。 輸入量：資料が得られず不明。
主要な機能	触媒機能、坑酸化作用、導電性、易加工性、耐腐食性、装飾用。
現在の主要な用途など	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどが触媒用途である。セラミックスに担持して使用され、水素化、オイルクラッキング、触媒コンバータ中の CO/NOx 酸化などの分野で、工業的に幅広く応用されている。 ・燃料電池の最も効率の高い電極触媒である。 ・ペーストとして、積層セラミックコンデンサ、圧電部品等の配線に使用される。 ・栄養補助食品（サプリメント）が上市されている。
開発動向 (将来用途と市場規模など)	・触媒（自動車、燃料電池） 光学材料 バイオ分野での用途開発が進んでいる。

1.2.22. 量子ドット

代表的なグレードの粒径 および物性等		<p>研究用として、硫化カドミウムおよびセレン化カドミウムタイプが市販されている。粒径は 1.6～1.8nm や 5.4～7.3nm など波長ごとに異なる。</p> <p>レーザー発生装置には底面直径：20nm x 高さ：5nm の量子ドットが採用されている。</p> <p>カスタムメイドもしくは自製で、3～20nm の粒子が報告されている。</p>
取り扱い製品での表面処理		<p>有・無</p> <p>コア素材（カドミウム等）を酸化亜鉛で被覆し、さらにポリアクリル酸等でコーティングしている。</p>
生産動態	2007 年度	<p>製造量：数 kg（全て研究用）</p> <p>輸入量：確認できず。</p>
	2008 年度	<p>製造量：数 kg（全て研究用）</p> <p>輸入量：確認できず。</p>
	2009 年度 （予測）	<p>製造量：数 kg</p> <p>輸入量：確認できず。</p>
主要な機能		<p>蛍光色素、量子レーザー（半導体レーザー）</p>
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどが研究用である。 ・1980 年代から基礎研究が始まり、1998 年に蛍光色素としてバイオイメージング応用例が報告された。 ・現在、抗体やストレプトアビジンと複合化して蛍光染色用色素として販売されている。（研究用、臨床検査用） ・2006 年に文部科学省および経済産業省の研究プロジェクトの成果を背景に量子ドットレーザーを開発・製造するベンチャーが設立され、2008 年下期からレーザー発生装置のサンプル出荷を開始している。
開発動向 （将来用途と市場規模など）		<ul style="list-style-type: none"> ・医学・バイオ用途での研究が盛んである。 ・色素ドーパしたシリカナノ粒子（20～30nm）やガドリウム錯体/量子ドット（キトサン被覆、50nm）がバイオイメージング剤として検討されている。 ・バイオ計測、光増感剤、ガン等の体外診断薬、網膜はく離の診断、薬物動態検査等への拡大が期待されている。 ・現在研究されている有望な用途は、コロイド状量子ドットを使用した半導体レーザーと大面積太陽電池への応用である。 ・カドミウムを構成元素とする量子ドットの毒性問題を回避するために、インジウム/銅/イオウ合金の量子ドットの開発が検討されている。

量子ドットとは、半導体微細加工によって人工的に作られた「原子様物質」を二個結合することによって得られる分子である。半導体において結晶成長法や微細加工法により粒径が数 nm～20nm の粒状構造を合成すると、電子がその領域内に閉じ込められる。量子ドットではデジタル情報（「0 か 1」）に加えてその間の確率情報（「0 と 1 の間」）を表現する量子情報を持つと考えられており、将来的に量子コンピューターへの応用が期待されている。

1.2.23. ニッケルナノ粒子

代表的なグレードの粒径 および物性等		<p>研究用として、30～100nm が市販されている。</p> <p>産業用 粒径：100～500nm 膜</p> <p>大半のユーザー仕様で小粒径化が要求されており、ニッケル微粉末（微粒子）はほぼ全量がナノ粒子であると考えられる。</p>
取り扱い製品での表面処理		<p>有・<input type="checkbox"/></p> <p>表面処理は行なっていないが、ニッケル金属の特性上製造時に粒子表面が酸化皮膜に覆われる。</p>
生産動態	2007 年度	<p>製造量：約 1,200 トン。</p> <p>輸入量：極少量</p>
	2008 年度	<p>製造量：約 1,500 トン。</p> <p>輸入量：極少量</p>
	2009 年度 (予測)	<p>製造量：約 1,500 トン。</p> <p>輸入量：極少量</p>
主要な機能		導電性
現在の主要な用途など		<ul style="list-style-type: none"> ・ほぼ全量が積層セラミックコンデンサの電極材料として消費される。 ・積層セラミックコンデンサは携帯電話、パソコン、携帯情報端末等に必須の電子部品である。 ・樹脂への混練によりペースト状で利用される。
開発動向 (将来用途と市場規模など)		<ul style="list-style-type: none"> ・微細プリント配線用途でインク化(ナノメタルインク)の研究開発が進められている。 ・携帯電話、パソコン、デジタルカメラ等に搭載される積層セラミックコンデンサの薄型化・軽量化対応で、150～200nmの小粒径品の製造が検討されている。

1.3 ナノマテリアルの用途分野別展開状況

本項では、ヒアリング調査、特許・文献検索およびインターネット検索によって得られた、ナノマテリアルを使用している製品についての情報を、用途分野別展開状況として9分野の製品（消費財）に整理しまとめた。

情報の整理に当たっては、まず、当該分野において既に使用されているナノマテリアルと、今後利用が期待されるナノマテリアルとに区別した。区別された各情報の情報源の信頼度に準じて、さらにA群：信頼性の高い情報源からの情報とB群：オープンデータとに分けて記載した。すなわち、A群はヒアリング、学術論文、公的文書（医薬品の添付文書など）、記名のある製品記事およびプレスリリースを情報源とし、B群は雑誌等での製品紹介記事、専門誌の論文・記事中での言及およびネット上を含む広告を情報源とするものである。なお、各国・各機関が発行した報告書で言及されている製品類は、国内への輸入状況等が不明であることから、B群に分類した。

表 1.3.1 に用途別・ナノマテリアル別展開状況をまとめた。

用途展開ではインターネット広告を含めて、銀ナノ粒子、酸化チタン（合計）、酸化亜鉛、シリカおよびナノクレイの事例が多かった。また、消費財分野で見ると、化粧品、家電・電気電子製品および医薬品等の領域に事例が集中していた。これらの結果は、公開されているナノマテリアル製品の登録データベースにおける分析結果^{1,2}とも合致していた。

¹独立行政法人 産業技術総合研究所、化学物質リスク管理研究センター：「ナノテクノロジー消費者製品一覧」

<http://staff.aist.go.jp/kishimoto-atsuo/nano/index.htm>

² Woodrow Wilson International Center for Scholars、The Project on Emerging Nanotechnologies (PEN), “Consumer Products Inventory”

<http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>

表 1.3.1 用途分野別・ナノマテリアル別 主な展開状況

用途分野 ナノマテリアル		医薬品等	食品	食品包装材	化粧品	繊維	家庭用品・生活雑 貨・スポーツ用品	家電・電気電子製品	塗料・インク	光触媒	その他
1	フラーレン	○					◎	○			
2	水溶性フラーレン誘導体	○			◎						
3	SWCNT							△			
4	MWCNT	○				○		◎			
5	銀ナノ粒子	○	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎		△触媒
6	鉄ナノ粒子	◎						◎			
7	カーボンブラック				◎			△	◎		◎タイヤ
8	酸化チタン： ルチル型		◎		◎	◎	◎	◎			
9	酸化チタン： アナターズ型					◎	◎	◎	◎	△	
10	アルミナ				◎			△	○		
11	酸化セリウム				△						◎オイル添加剤
12	酸化亜鉛	◎			◎	◎	◎	○	◎		
13	シリカ	◎	◎	◎	◎						
14	ポリスチレン	◎			◎			◎	△		
15	デンドリマー	○			△			○			◎紙加工
16	ナノクレイ	◎	◎	△	◎			◎	◎		◎農薬
17	カーボンナノ ファイバー						◎	△			○風力発電
18	顔料微粒子								◎		
19	アクリル微粒子				◎			◎	△		
20	リポソーム	◎	◎		◎						
21	白金ナノコロイド		◎					○			◎触媒
22	量子ドット	○						◎			
23	ニッケル							◎			

[凡例]

◎：現在展開されている用途、

○：将来の展開可能性のある用途、

△：将来、当該用途分野への応用が期待される領域

1.3.1 医薬品

現在使用されている 主なナノマテリアル	A	リポソーム、シリカ、ナノクレイ、鉄ナノ粒子（磁性粒子）、 ヒドロキシアパタイト、アルミナ
	B	フラーレン
今後利用が期待される 主なナノマテリアル	A	単層カーボンナノチューブ、酸化チタン
	B	デンドリマー、量子ドット

1) 情報源 A 群からの用途情報

医薬品分野における特筆すべきナノマテリアルは、ドラッグデリバリーシステム (Drug Delivery Systems : DDS) に用いられるリポソームである。DDSとは、薬剤の生理活性、副作用、標的部位へのターゲティング、化学的安定性および代謝活性等を調整し、体内の必要な場所に必要な量を必要な時に作用させ、薬効をより効果的に発揮できるようにする薬物輸送システムで、脂質を主成分とするリポソームがキャリアとして利用されている。リポソームの素材として、精製ダイズ油、卵黄レシチン等のリン脂質、ポリエチレングリコール (PEG) 誘導体および高純度不飽和脂肪酸等が使用される。1988年に国内初のリポソーム製剤が承認・上市され、抗がん剤を中心に現在5種類のリポソーム製剤が上市されている。

リポソーム製剤は、購入または自社製のリポソーム素材を製薬会社が薬剤と調製してDDS製剤とする。リポソームの粒子径は薬剤・薬効で異なるが、投与後の生体内におけるリポソームの挙動から100nmを中心とした60～150nmの範囲に限定される。現在も臨床試験中のリポソーム製剤がある。さらに、特定の組織、細胞に薬物を送達するために、リポソーム表面を抗体や低分子物質で修飾した第三世代リポソームの研究が盛んに行なわれている。

また、研究用試薬ではあるが、遺伝子治療のための遺伝子導入用リポソームが複数の試薬会社で市販されている。

鉄系のナノ粒子も医薬品に使用されている。デキストランで被覆された超常磁性酸化鉄（磁石）ナノ粒子が MRI 用肝臓造影剤として上市されている。超常磁性酸化鉄ナノ粒子は薬物担体や他の臓器のイメージング造影剤としての応用も検討されている。その他に、ナノクレイやシリカなどが製剤のための助剤（粉末、顆粒、ドライシロップ、錠剤等の附型剤）として利用されている。

水溶性フラーレン誘導体が国内において、変形膝関節症の症状改善薬として臨床試験に供されている。

単層カーボンナノチューブ (SWCNT) と抗 HER2 抗体の複合体が HER2 発現乳癌細胞を選択的に破壊する (SWCNT ががん細胞を焼き切る) こと確認された。

本調査で対象とするナノマテリアル外でも、ポリ乳酸微粒子、ポリアルギニン/コンドロイチン硫酸微粒子や、リポソーム製剤とは異なる理論に基づいた DDS 製剤である高分子ミセルも臨床試験に供されている。

医療分野では、シリカの血液凝固機能を使ったカテーテルへの応用研究事例がある。ヒドロキシアパタイト（三リン酸水酸化カルシウムや）リン酸三カルシウムのナノ粒子は歯科医療用および骨組織再生用材料として使われる。また、酸化アルミニウム（アルミナ）やリン酸カルシウム水和物も利用されている。これらの無機系ナノ粒子は生分解性ポリマーに組み込むか、生体適合材料基板上に堆積させて使用すると、骨が細胞の接着・増殖を促進することが確認されている。ポリ乳酸を電着した医療用ステントやバルーンカテーテルの開発も進展している。

昭和 40 年代からサブミクロン（ナノ）サイズのポリスチレンまたはポリアクリル酸系の高分子材料が、ラテックス凝集法による体外診断用医薬品（臨床検査用試薬）の担体利用されている。ラテックス凝集法とは、粒子上に固定化されたある種の抗体（抗原）と検体（血液や血漿など）中の抗原（抗体）が、抗原-抗体反応により結合し凝集し、時間とともに増大する凝集塊に近赤外光を照射して得られた単位時間当たりの吸光度変化から検体中の抗原（抗体）濃度を測定する手法。免疫学および血液学項目の測定手法として最もシェアがあり、低濃度域での検出に優れている。

2) 情報源 B 群からの用途情報

最近の、医薬品分野におけるナノマテリアル関連のトピックスは以下の通りである。

- ・フラーレンの活性ラジカル種の消去作用を医薬品や化粧品に応用する試みがなされている。フラーレンを超音波光熱力学療法に用いてがん組織を選択的に攻撃するシステムや、HIV 治療薬、C 型肝炎治療薬とする研究が行なわれている。
- ・量子ドットは、カドミウム以外の元素を対象としてイメージング診断用の蛍光色素や、薬剤のバイオアベイラビリティを改善するマテリアルとしても研究が進んでいる。
- ・総合科学技術会議において「ナノ DDS」が府省連携プロジェクトとなったことから、核酸医薬、イメージングのための DDS（量子ドット）、再生医療用材料の研究が加速されると思われる。
- ・米国では水溶性フラーレンを、脳内抗酸化薬として臨床試験中である。

1.3.2 食品

現在使用されている 主なナノマテリアル	A	銀ナノ粒子、鉄ナノ粒子、酸化チタン、シリカ、ナノクレイ、 リポソーム、白金ナノコロイド
今後利用が期待される 主なナノマテリアル	B	デンドリマー、ミセル状化合物

1) 情報源 A 群からの用途情報

食品の用途としては、シリカ、ナノクレイ、リポソーム及び白金ナノコロイドの使用事例が確認されている。シリカは食品用途として、ナノクレイは食品添加物として利用されている。

二酸化ケイ素（シリカ）のナノ粒子は、固化防止剤として調味料等に添加されている。食塩、だし、コンソメ、ふりかけ等への使用例がある。

ナノクレイは、モンモリナイトを主成分とする高純度品が食品添加物として利用されている。アルミノケイ酸は粒状または粉状で、加工食品において固化防止剤として一般的に使用されている。

リポソームの食品への利用はまだ少ないが、健康食品用途でラクトフェリンをリポソームに内包した美容食品が販売されている事例がある。ラクトフェリンを内包したリポソームについては、いわゆる健康食品としての利用事例が確認されている。

白金ナノコロイドは、国内メーカーが食品向けグレードを開発したことにより、健康食品（サプリメント）分野で商品数を増やしている。利用例としては、ミネラルウォーター、ヨーグルトなどがある。

粒径 30nm 程度のミセル内に生理活性成分を内包させ、体内吸収力を高めた製品が開発されている。ビタミン、コエンザイム Q10、イソフラボン、フラボノイド、植物抽出物、エッセンシャルオイル、保存剤、食品色素、その他の生物活性物質を内包させることが可能であり、スポーツ飲料のために調合されたビタミン E 含有ミセルの報告例がある。

二酸化チタン（アナターズ型）は一般的な食品着色料であり、菓子類、一部のチーズ、ソースなどに用いられている。

ビタミン、鉄、マグネシウムまたは亜鉛などのミネラル、プロバイオティクス、酸化防止剤、植物性ステロール、大豆などで、乳製品、シリアル、パン、飲料が強化されている。これらの成分は～数百 nm のナノ粒子またはナノカプセルとして添加されている。

2) 情報源 B 群からの用途情報

米国では、ある種の水素化シリカ合成物（粒径：1-5nm）が、吸湿すると H-イオンを放出し、坑酸化効果を有する特性を生かして栄養補助剤として使用されている。また、脂肪質の舌触りと風味は維持したまま、栄養価として低脂肪化を実現したナノエマルジョンによるアイスクリームへの使用例や、ドイツでは加工プロセスの短縮、安価な成分原料、高度な色安定性のために開発された食品添加物（粒径約 30nm のミセル。ビタミン C、E および脂肪酸をカプセル化した）の報告例もある。

当該分野では、機能性・栄養成分の微細カプセル化技術の向上により、以下にあげる開発動向が今後も継続していくと考えられる。

- 1) 脂肪、炭化水素またはカロリーを減らす、あるいはタンパク質、食物繊維、またはビタミンを増やすことにより、ソフトドリンク、アイスクリーム、チョコレートまたはチップスのような食品を「健康」食品として上市する。
- 2) より強い風味、色素、栄養添加物および製造速度を高め、成分と処理のコストを低減するための助剤の採用。
- 3) 個人の志向、アレルギーまたは味覚の好みに従って、色、風味、または栄養的特性を得ることができる食品の開発。

1.3.3 食品包装材

現在使用されている 主なナノマテリアル	A	ナノクレイ、銀ナノ粒子、シリカ、酸化チタン、ナノサイズ ナイロン粒子、酸化亜鉛
	B	アルミナ、
今後利用が期待される 主な「ナノマテリアル」	A	鉄ナノ粒子
	B	多層カーボンナノチューブ、カーボンブラック、デンプンナ ノ粒子

1) 情報源 A 群からの用途情報

容器包装分野におけるナノマテリアル利用の主要な目的は、ガスと湿気の入出力および紫外線暴露による品質劣化を低減するために、食品容器包装の遮蔽機能を改善することにより貯蔵寿命を長くすることである。

PET ボトルメーカー大手では、現在清涼飲料水用としてナノコンポジット多層ボトルを開発中である。ナノクレイを樹脂中に分散させた層（ナノクレイ含有率 3%程度）と PET 樹脂層とを交互に重ねあわせることにより、容器内部への酸素侵入の抑制、内容物からの炭酸ガス抜けの低減機能を付与する。供給側では、酒類、食用油、医薬品等の容器への拡大を考えている。

また、食品容器としては、抗菌効果を期待して銀＋無機微粒子を使ったプラスチック製食品容器の利用例が増加している。特に銀ナノ粒子処理した食品貯蔵バッグ、食品貯蔵容器、冷蔵庫、幼児用マグカップ、まな板、ティーポット、台所用品などは、多くのメーカーから市販されている。

リン酸三カルシウムのナノ粒子担体の表面に 1-2nm の銀ナノ粒子を均一に担持させ、プラスチックフィルムに混練した自己滅菌ポリマーは、通常の銀（イオン）を用いた場合に比して大腸菌などのバクテリアに対する滅菌効率が 1000 倍も高いことが報告されている。

また、天然食品添加物である樹液オイルや植物抽出物をシリカマイクロカプセルに封入し、内容物保護と防虫効果を両立させた製品の報告例もある。

2) 情報源 B 群からの用途情報

食品包装では欧米を中心にナノクレイや鉄の微粒子を PET ボトルに利用して、内容物の保存安定性の向上に関する研究が進行しており、国内でも製品への利用が近々に始まると考えられる。

デュポン社では、ナノサイズの酸化チタンを含むコンポジット材料を開発し、透明容器包装中の紫外線による損傷を低減させた。本材料の使用により、食品のラップやビール、ソフトドリンク、ジュースのボトルの遮蔽機能を改善する。ナノマテリアル含有包装容器はまた、貯蔵寿命を延ばすために抗菌剤、抗酸化剤、酵素、風味物質および栄養薬品を放出するように設計することもできる。例えば、食品や飲料を劣化させる酸素や二酸化炭素を排出する能力を持ったカーボンナノチューブを使用した容器や、カーボンブラック混練フィルムで食品の傷みに応じて色を変えるフィルム材などの開発事例がある。

欧米ではファーストフードチェーンの食品包装容器の接着剤に粒径：50-150nm のデンプンナノスフィアを使用した事例がある。これは、接着剤としての使用時に水分が少量で澄み、乾燥のための時間とエネルギー消費が少ないための採用である。

1.3.4 化粧品

現在使用されている 主なナノマテリアル	A	酸化チタン、酸化亜鉛、シリカ、銀＋無機微粒子、水溶性フラーレン誘導体、リポソーム、カーボンブラック、酸化鉄、酸化ジルコニウム、リン脂質ミセル、乳酸・グリコール酸共重合体
	B	ナノクレイ、ポリスチレン、デンドリマー、アクリル微粒子、アルミナ
今後利用が期待される 主なナノマテリアル	B	複数のナノマテリアルからなる、複合化材料（ナノマテリアル・コンポジット）

1) 情報源 A 群からの用途情報

化粧品用途としては無機系ナノマテリアル、特に酸化チタンと酸化亜鉛がファンデーション、日焼け止めを中心に多くの使用事例がある。酸化チタンの場合、平均粒径 20～50nm のものが多く使用されている。形状は球状、紡錘上、板状など様々である。化粧品用のナノマテリアルは全てが表面処理されており、無処理での商品化は無い。表面処理としては、どのナノ素材であっても原料の段階でシリコーン、水酸化アルミ、ステアリン酸、シリカ、アルミナ、界面活性剤などがコーティングされている。

その他の無機系ナノマテリアルでは、シリカ、酸化鉄、酸化ジルコニウム、カーボンブラックなどが上げられる。また、化粧品成分としてナノサイズのリポソームが利用された事例も確認されている。マスカラ、アイライン、アイブロウ、アイシャドーには黒色成分として磁性ナノ粒子が含まれていることがある。

フラーレンの活性ラジカル種の消去作用を化粧品に応用した製品が上市されている。供給元のホームページでは300種類以上の化粧品に採用されていると記載されている（他社での採用を含む）。

リン脂質を分子内に持つ高分子を用いて平均粒径～50nm のナノ粒子を形成し、吸保湿性、皮膚に対するバリア機能および刺激物質からの皮膚保護効果等の機能を有する添加剤が開発されている。また、ダメージ毛髪を健康毛髪とほぼ同等の表面状態にまで修復する機能も確認され、シャンプー、コンディショナーに使用されている。

また、乳酸・グリコール酸共重合体によりビタミン誘導体を内包するナノ粒子製造技術が開発され、薬用クリームや薬用ローションなどに採用されている。

化粧品用途に使用される無機系ナノマテリアルは、原料製造段階ではナノサイズであると考えられるが、原料の保管段階あるいは製品中では粒子同士が凝集し、概ね 100nm を超える大きさで存在していると考えられる。（日本化粧品工業連合会）

2) 情報源 B 群からの用途情報

その他、ナノクレイ、ポリスチレン、デンドリマー、アクリル微粒子およびアルミナなどが、ファンデーションやクリームなどの助剤として使用されている。

化粧品成分としてのナノマテリアル採用が一段落し、各化粧品会社ではナノマテリアル製造技術を応用した複合化（ナノマテリアル・コンポジット）に研究開発がシフトして行くと考えられる。製品での分散安定性や使用感を向上させて、他社品との差別化を図ろうとするものである。

1.3.5 繊維製品

現在使用されている 主なナノマテリアル	A	酸化チタン、銀＋無機微粒子
	B	酸化亜鉛、シリカ、カーボンブラック
今後利用が期待される 主なナノマテリアル	B	カーボンナノチューブ、カーボンナノファイバー、ナノクレイ

1) 情報源 A 群からの用途情報

1.3.2 項で述べた食品分野と同様に、繊維製品分野ではナノテクノロジーの応用とナノマテリアルの使用事例との区別が付けがたい。繊維製品分野でのナノテクノロジーの形態として以下にあげる 3 つの形態がある。本項ではナノ加工テキスタイルについて報告する。

- 1) 繊維径がナノオーダーである「ナノファーバー」
- 2) 繊維構造をナノオーダーで制御する「ナノ構造制御ファイバー」
- 3) コーティング層や繊維樹脂への添加微粒子がナノレベルである「ナノ加工テキスタイル」

ナノ加工テキスタイルに期待される機能は、撥水性、撥油性、帯電防止、花粉・埃付着防止などがある。近年は夫婦共働きや防犯意識の高まりから、洗濯した衣料を部屋干しする家庭が増えていることから、吸水速乾性、抗菌・消臭効果を求める要望が強い。また、洗濯乾燥機の普及に伴い形状安定性も求められている。

繊維製品におけるナノマテリアル利用は、酸化チタン、酸化亜鉛、銀＋無機微粒子、シリカ、カーボンブラックの使用事例がある。アクリル樹脂繊維に銀担持ゼオライト微粒子を保持させた抗菌繊維、酸化チタンと銀ナノ粒子を合成繊維に練りこんで編んだ消臭靴用インナーなど多数の製品が上市されている。新型インフルエンザ流行の兆しに合わせて、銀ナノ粒子や酸化チタンを固定化した不織布製の抗菌マスク等の衛生用品が売り上げを伸ばしたことは記憶に新しい。

2) 情報源 B 群からの用途情報

繊維表面にナノオーダー制御されたバインダー被覆を形成させることにより消臭成分を繊維表面に接着させ、織編物の風合いの変化を最小限にとどめ、繊維に消臭性と耐久性を与えた製品や、可視光線や紫外線を高効率に遮蔽する無機粒子を繊維に均一に添加し、防透け性・UV カット性を付与した製品、熱伝導性の高い無機粒子を繊維に均一に添加し、屈折率がナイロンに近く、かつ接触冷感性、透明性を付与した製品などの開発事例が報告されている。

今後の利用が期待されるナノマテリアルとして、カーボンナノチューブ、カーボンナノファイバーが注目されている。現状では繊維への分散技術に課題があり利用は難しいが、分散・混連に対する技術開発が進められている。また、ナノクレイも繊維の耐熱性向上に向けて用途開発が進むものと考えられる。

1.3.6 家庭用品、生活雑貨およびスポーツ用品

現在使用されている 主なナノマテリアル	A	銀＋無機微粒子、酸化チタン、酸化亜鉛、銅（副成分）、 担体：ケイ酸塩、シリカ、ガラス、ヒドロキシアパタイト、 酸化ジルコニウム フラーレン、銀＋無機微粒子
	B	カーボンナノチューブ
今後利用が期待される 主なナノマテリアル	B	多機能性を求めて、他のナノマテリアルとの複合化（ハイブリッド化）が進むと考えられる。

1) 情報源 A 群からの用途情報

家庭用品および生活雑貨用途としては、抗菌効果を目的として銀＋無機微粒子と酸化チタンの使用事例が多数確認されている。キッチン製品では、銀等の無機抗菌剤、銀系・亜鉛系混合物および酸化チタンを用いた光触媒抗菌剤などの例がある。

上記の抗菌作用を示すナノマテリアルは、その加工性の高さからプラスチック製品への用途展開を主としていた。耐熱性に優れ各種樹脂への練りこみ加工が可能であり効果の持続性が長い、安全性が高いなどの特徴を有している。最近ではガラスの網目構造から銀イオンを徐放して抗菌効果の持続性を高めたり、有機系および無機・金属系の素材を加工することで用途展開の拡大を図っている。応用事例としては、タイル（外装、浴室）、建材、塗料、空気清浄機などが確認できた。

プラスチック・金属・セラミック製品の抗菌効果の評価は、JIS Z 2801（抗菌加工製品－抗菌性試験方法・抗菌効果）で規格が定められている。抗菌製品技術協会が認定する SIAA マークの登録リストには、下記に上げる製品群を例として 1900 を超える製品が登録されている。

繊維：靴下、肌着、下着、タオル、付近、白衣、寝具、カーテン、カーペット
 家電：洗濯機、掃除機、冷蔵庫、食器乾燥機、電気ジャーポット、空気清浄機、炊飯器、電話機、シェーバー、
 建材：床材、壁紙、タイル、アルミ建材、塗装剤、
 住宅設備機器：電気洗浄便座、浄水器、
 キッチン用品：スポンジ、包丁、まな板、ゴミかご、弁当箱、
 バス・トイレ用品：バスマット、ボトル（シャンプー等）、トイレブラシ/ケース
 生活用品：歯ブラシ、かみそり、マスク、抗菌スプレー、
 文具：ボールペン、鉛筆、シャープペン、消しゴム
 玩具：ぬいぐるみ
 自動車：ステアリング、シフトノブ、空気清浄機、
 砂場用抗菌砂、キャッシュカード、棺、エスカレーターベルト

スポーツ用品用途としては、フラーレン及び銀＋無機微粒子の事例が確認されている。フラーレンの利用は、スポーツ機材やメンテナンス用品に使用されている。用途展開例として、初の採用例として有名なボウリングボールをはじめ、バドミントン・テニス等のラケット・ガット、ゴルフ用品（クラブ・ボール）、スノーボード等の素材にフラーレンが利用されている。また、スキー板・スノーボード塗布用のワックスにも使用されている。

スポーツ器材への採用が先行した理由として、器材の衝撃性が向上することでシャフトの肉厚を減らすことが可能となりクラブやラケット本体を軽量化できることなどによる。フラーレンの持つ衝撃吸収能により衝撃を電気に変換することでエネルギーロスを少なくする特性を利用して、遠くへまっすぐ飛ぶ、力強く打ち返すなど競技者の実感を向上させる要素も貢献している。

2) 情報源 B 群からの用途情報

カーボンナノチューブが、アクセサリ類や室内装飾品に使用された事例がある。いずれも着色したアクリル系またはポリカーボネート系樹脂に極微量のカーボンナノチューブを混入したもので、機能性よりも見栄えによる基材採用と考えられる。

当該分野製品については、今後も製品数は増加するものと考えられるが、新規なナノマテリアルの（単独）採用事例はほとんど無かった。既存の機能性材料とナノマテリアルの組合せによる、ハイブリッド化・多機能性材料の開発が報告されている。

1.3.7 家電および電気電子製品

現在使用されている 主なナノマテリアル	A	家電：酸化チタン、多層カーボンナノチューブ、銀＋無機微粒子 電気・電子製品：フラーレン、多層カーボンナノチューブ、銀ナノ粒子、鉄ナノ粒子、アルミナ、酸化セリウム、シリカ、ニッケルナノ粒子、酸化チタン、銀＋無機微粒子、量子ドット
	B	ポリスチレン、ナノクレイ、カーボンナノファイバー、アクリル微粒子、カーボンブラック、
今後利用が期待される 主なナノマテリアル	A	単層カーボンナノチューブ、酸化亜鉛、白金ナノコロイド
	B	デンドリマー、

1) 情報源 A 群からの用途情報

家電・電気電子製品におけるナノマテリアル利用は、電子部品内部への利用事例が多く、フラーレン、多層カーボンナノチューブ、銀ナノ粒子、鉄ナノ粒子、アルミナ、酸化セリウム、シリカ、ニッケルナノ粒子、酸化チタン、銀＋無機微粒子が本調査では確認された。また、家電領域では、フィルターを中心にナノマテリアルが利用されており、酸化チタン、カーボンナノチューブ、銀＋無機微量子などが確認された。

冷蔵庫内のフィルターにナノサイズの酸化チタン、カーボンナノチューブを担持させ、脱臭機能や浮遊菌を捕集分解させる方法が製品化されている。酸化チタンでは臭いや浮遊菌の捕集・分解、カーボンナノチューブでは臭い分子の捕集を期待している。フィルター等の抗菌製品の性能については、1.3.6 項に記載した各種試験により確認されている。冷蔵庫以外の多くの家電製品でナノの利用が拡大しており、掃除機や空気清浄機への展開例がある。最近では、抗菌・防汚効果を期待して、携帯電話の外装パネルやパソコン筐体に採用された事例がある。

2006 年に文部科学省および経済産業省の研究プロジェクトの成果を背景に量子ドットレーザーを開発・製造するベンチャーが設立され、2008 年下期からレーザー発生装置のサンプル出荷を開始している。

エネルギー分野への応用では、炭素系のナノマテリアルであるフラーレン、カーボンナノチューブが有機太陽電池やリチウム二次電池添加剤として検討されている。

2) 情報源 B 群からの用途情報

ポリスチレン、ナノクレイ、カーボンナノファイバー、アクリル微粒子、カーボンブラックなども電子部品の内部基材として使用されている。また、デンドリマーを防曇剤としたり、機能性色素成分に応用したりする報告例がある。

当該分野においても、既存の機能性材料とナノマテリアルの組合せによるハイブリッド化・多機能化が、小型化・軽量化との両立を目指して検討されている。

1.3.8 塗料およびインク

現在使用されている 主なナノマテリアル	A	多層カーボンナノチューブ、銀+無機微粒子、カーボンブラック、酸化チタン、酸化亜鉛、シリカ、ナノクレイ、ポリスチレン、顔料微粒子、アクリル微粒子
今後利用が期待される 主なナノマテリアル	A	アルミナ、ニッケルナノ粒子
	B	カーボンナノファイバー

1) 情報源 A 群からの用途情報

塗料・インク用途としては、建築塗料、自動車用塗料、インクジェットインクに、カーボンブラック、ナノクレイ、カーボンナノチューブ、酸化チタン等が使用されている事例が確認されている。塗料およびインクには、物性面・機能面での性能向上を期待して様々なナノマテリアルが利用されている。

- 1) 色材（カーボンブラック、顔料微粒子など）
- 2) 塗料やインクの基本的機能向上（ナノクレイ、シリカなど）
- 3) 導電性（カーボンナノチューブなど）
- 4) 光触媒機能の付与（酸化チタン、酸化亜鉛など）

また、トナー表面の改質剤（助剤）としてナノサイズのシリカ微粒子（粒子径：8～40nm）を添加することでトナー粒子の凝集を防止するといった使用例が見られた。

<光触媒機能塗料>

光触媒機能としての酸化チタンは、強い分解力や親水性を有することにより、大気浄化、水浄化、脱臭、抗菌、防汚などの作用を発揮する優れた機能性材料として市場が拡大している。特に、生活用品、道路資材、建築用の内外装材などで商品化が進められており、今後、さらに応用製品への展開が広がると考えられる。最近では、可視光で機能する光触媒が開発され、今後は室内での利用、例えば壁紙、カーペット、カーテン、ブラインドといった用途への拡大が見込まれる。

光触媒に用いられる酸化チタンは、アナターゼ型の白色微粒子粉末であるが、通常、コーティング液あるいは所要の製品にコーティングされた状態で市販されることが多い。今回の調査で確認した応用事例は以下の通りである。

- 1) 空調・浄水関連製品（エアコン、空気清浄機、水質浄化用機器や水質浄化用薬剤）
- 2) 道路・自動車用資材・機器（セルフクリーニング機能を持った透光型遮音壁、光触媒超親水化処理を行い、視界不良を解消した防曇性道路反射鏡、再帰反射レンズの表面に光触媒超親水化処理を施した自浄性視線誘導標。その他、光触媒を用いたフィルムやワックス、コーティング剤による防曇ドアミラーなどが自動車向けに商品化されている。屋外用の種々の照明器具は、トンネル等の防汚効果に有効と期待される）
- 3) 内装材・外装材（水回りの内装タイルや酸化チタンコーティングしたブラインドな

ど。酸化チタンコーティングブラインドは、防汚・抗菌・消臭効果を持つ多機能製品として、今後の市場拡大が見込まれる)

- 4) 電化製品・生活用品（光灯などの照明用カバーなど。また、生活用品としては抗菌雑巾などがある。その他にも、抗菌カプセル、フェイスマスク、消臭パッド、抗菌ダスター、抗菌マスクなどが商品化されている)
- 5) 住宅設備機器（光触媒製品を応用した衛生陶器、洗面化粧台などの住宅設備機器)

光触媒によるセルフクリーニング，空気浄化，水質浄化，抗菌，および防かびの各性能（および擦準光源）について，その性能評価法が日本工業規格（JIS）あるいは国際標準化機構（ISO）によって、2008年に国際規格化された。

2) 情報源 B 群からの用途情報

カーボンナノファイバーを揮発性の分散媒に分散し、導電性インクとする研究事例が報告されている。基材となる高分子材料の屈曲性や透明性を損なうことなく自由に曲げることのできるプリント基板を開発しようとするものである。

1.3.9 その他

その他の用途として、印刷用紙や家庭用インクジェット紙のコーティング剤として、シリカ、 dendrimer 等が使用されている。

印刷用紙には、炭酸カルシウムとクレイ系の材料が用いられ、家庭用インクジェット紙（ラベル用紙など）にはインク吸収機能が求められることから、平均粒径：100nm 以下のシリカが使用される。また、光沢紙の表面処理の助剤としてポリマー微粒子が使用されている。

自動車関連製品として、ゴムタイヤのフィラー（充填材）として、カーボンブラックがゴムに混練されて使用されている。シリカや炭素系のナノ材料による補強により、低転がりタイヤの開発が進んでいる。繊維強化プラスチック（FRP）にナノクレイを分散させることで、高強度・高弾性率を維持しつつボディ全体の軽量化を図る研究も進められている。排気ガスの浄化触媒にも貴金属ナノ材料が使用されている。主に用いられる白金、パラジウムおよびロジウムのうち、パラジウムをナノサイズ（1～3nm）に制御した新規触媒により、高効率の排気ガス浄化性能と高耐久性を実現している。また、ポリマーナノコンポジット（カーボンナノチューブ、ナノクレイ）は自動車のエンジン周り、外装、内装に使われている。いずれも車体の軽量化や燃費向上による化石燃料の消費量節約や温室効果ガスの排出低減のための技術革新である。

また、フラーレンがカーエアコン用オイルの潤滑剤として、酸化セリウムがエンジンオイルの添加剤として使用されている事例があった。

1.4 第1章まとめ

ナノマテリアルを製造または使用する各企業へのヒアリング調査を中心に、文献およびインターネット検索による結果を参考として、国内におけるナノマテリアルの使用実態調査を実施し、結果をナノマテリアル物質別および使用用途別にまとめた。

製造量の上位を占めるのは、カーボンブラック、二酸化ケイ素（シリカ）、ニッケルナノ粒子、酸化チタン（合計）であった。

製造量上位のナノマテリアルを中心に製造量の減産が確認され、2008年10月の米国における株価暴落や年末にかけての急激な円高による工業生産の停滞が、先端技術分野にも影響していることが明らかとなった。

製品へのナノマテリアルの実装化については、品質向上や技術革新を通して従来品との置換えを中心に着実に進行していると考えられた。今回の調査期間中、国家プロジェクトの成果を背景にした量子ドットレーザー発生装置が上市されるなど、医薬・医療分野、IT・エレクトロニクス分野を中心に新規なナノマテリアル（ナノテクノロジー）製品の開発が活発であった。

