

ナノ材料の環境中でのばく露の可能性について

本資料は、ナノ材料を含む製品の製造、使用、廃棄等の取扱い状況を勘案し、一般環境への放出経路及びその可能性についてとりまとめたものである。

検討では、ナノ材料の製造、使用、廃棄の過程で一般環境にナノ材料が放出される全般的な経路を図 1 のように想定し、各材料の製造、使用、廃棄の状況に関する種々の情報を整理したうえで、ナノ材料が環境に放出される経路を網羅的に推測した。

なお、各材料の検討結果は、末尾の参考 1 及び 2 に示した。

例えば、化粧品に含まれるナノ材料は洗顔時に下水に流入し、下水処理場で一部汚泥として回収され、処理できない部分は公共用水域に流れ込む。下水汚泥は廃棄物（産業廃棄物）となり、直接又は中間処理を経た後、焼却処分されると想定される。

また、ナノ材料を含むプラスチック類は廃棄物として焼却処分、マテリアルリサイクル、埋立処分等の処理が実施される。焼却の際、一部のナノ材料は分解するが、分解しないものはばいじんや燃え殻に残存し、一部は大気中に放出される。リサイクル施設では、処理途中で一部は排水中に移行し、汚泥として回収されない部分は公共用水域に放出されると想定される。

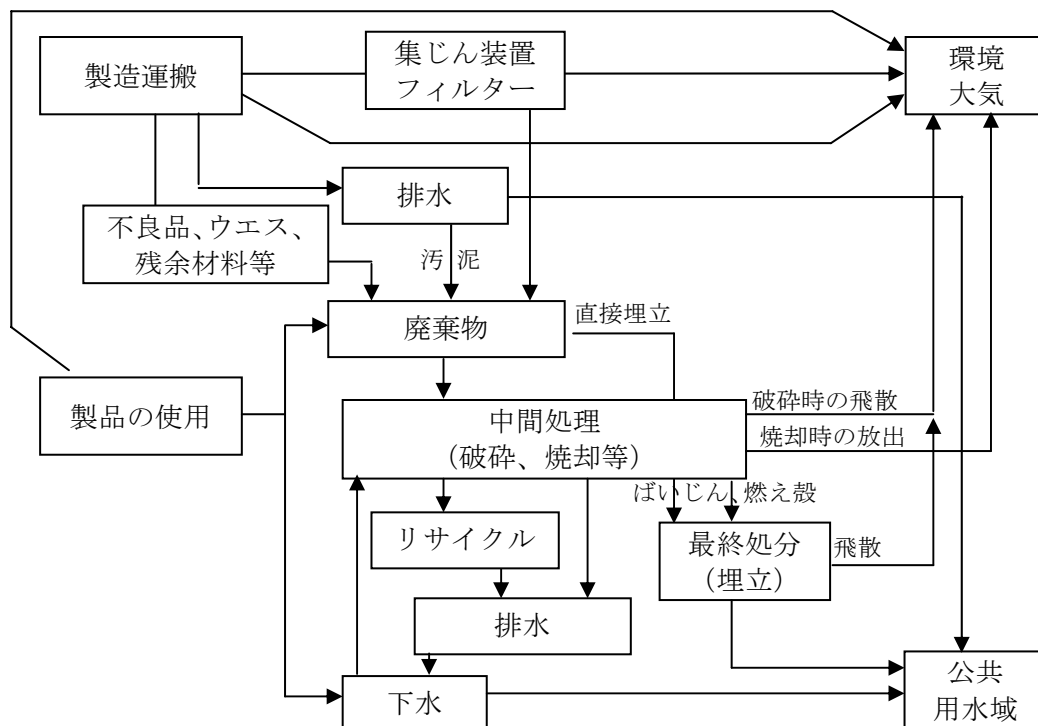


図 1 製造、使用、廃棄に伴うナノ材料の移行経路の概要（全体想定図）

1. 製造・運搬に伴う環境への放出の可能性について

製造事業場等からのナノ材料の環境への放出の可能性について、以下の経路が想定された。なお、ここでは、ナノ材料そのものの製造およびナノ材料を用いた製品の製造といった、ナノ材料を扱う製造事業場を想定した。

- 事業場等の排気装置からの大気中への放出
- 事業場等の排水処理時における公共用水域への放出
- 事業場等から廃棄される使用済みフィルター
- 事業場等から廃棄されるナノ材料（不要物等）
- 事業場等から廃棄される紙類、布類
- 事業場等から廃棄される排水処理汚泥

(1) 製造時の環境大気中への放出について

製造事業場等でのナノ材料の取り扱い状況についての情報として、(独)労働安全衛生総合研究所及び(独)産業技術総合研究所の報告¹によれば、カーボンナノチューブ：16社、フラーレン：6社、カーボンブラック：7社、金属酸化物：14社、金属単体：7社の合計50社へのアンケート調査で、安全衛生対策として局所排気装置の設置が全体の90%近くあり、クローズドシステムの採用は15%程度であった。

一方、厚生労働省が2008年11月にとりまとめた「ヒトに対する有害性が明らかでない化学物質に対する労働者ばく露の予防的対策に関する検討会報告書」では、「通常のナノマテリアルに対してはHEPAフィルターの捕集効率は十分であると思われる」とし、排気装置のフィルターについて、「調査のうえ捕集可能な適切なフィルターを選定する」あるいは「調査を行わない場合にはHEPAフィルターまたはこれと同等の性能を有するフィルターを設置する必要がある」としている。

さらに、カーボンブラック取り扱い安全指針（カーボンブラック協会、2003年3月）では「貯蔵、使用等の取り扱い上の施設は極力密閉構造とする。容器や配管等も外に漏れないものを用い、(中略)CBの袋詰め、解袋等の発じん作業には局所排気装置を用い、(後略)」とされている。

以上のことから、排気装置にHEPAフィルターを設置することで製造事業場等の排気装置からの大気中への放出は削減できる可能性があるものの、取扱量等によっては大気への放出抑制が十分ではない可能性がある。

また、運搬や荷詰め作業ではクローズドシステムの採用やナノ材料を対象にした局所排気装置等の設置が困難であることも多いと考えられ、環境への放出の可能性は現状では否めない。

(2) 事業場等からの排水に伴う環境への放出

¹ 「ナノマテリアルの労働衛生に関する調査」結果報告

幾つかのナノ材料では溶媒に分散させた状態で使用するものがあり、その場合労働者へのばく露は乾燥状態に比べて少なくなるものの、排水への負荷は生じる可能性が高い。例えば、酸化セリウムは研磨過程で用いられるが、ガラス工場では汚泥と共に廃棄される（福島県資料）とされている。

さらに、作業環境の清掃等において水洗浄の実施も想定されることであり、上記の「カーボンブラック取り扱い安全指針」では、発生防止対策の一つとして「湿潤化」があげられており、また漏れたときの処置として「集じん装置で吸引するかまたは霧状水を散水して汚泥化する等の方法で処理する。」とされている。

以上のことから、ナノ材料の取り扱い事業場では特に排水に放出されることがないとした情報がない限り、一般的に排水中にナノ材料が含まれる可能性があるものとした。

なお、事業場の排水処理過程では、濁り等のSS成分は管理されており、凝集沈殿等の措置も実施されることが多いため、一部は汚泥中に産業廃棄物として処理されていると想定されるが、ナノ材料の除去効率に関する情報はほとんどない²。

以上のことから、事業場で実施されている排水処理過程で一部は公共用水域に放出される可能性があるものとした。なお、汚泥として処理されるものについては、産業廃棄物としての扱いを含め、下記（6）に記述した。

（3）事業場等から廃棄される使用済みフィルター

一般事業場の除じん装置等の使用済みのフィルターについては、ガラスくず又は廃プラスチック類である産業廃棄物として、あるいは、事業系一般廃棄物（産業廃棄物に該当しない廃棄物）として処理されていると考えられる。

産業廃棄物としての処理実態は不明であるが、運搬あるいは中間処理、埋立処分等において、取り扱い方法によってはフィルターに付着したナノ材料が再飛散する可能性はあるものと考えられる。

一方、事業系一般廃棄物については、特定の処理業者に委託するか処理施設に直接持ち込まれる例が多い。処理方法としては、焼却処分（燃え殻は管理型最終処分場で埋立処分）あるいは直接埋立処分されている可能性が高いものと思われるが、上記と同様に、運搬や中間処理、埋立処分等での取り扱い方法によっては、フィルターに付着したナノ材料が再飛散する可能性があるものと考えられる。

（4）製造工程等から直接廃棄物として排出されるナノ材料

ナノ材料を製造する事業所あるいは製造開発や製品開発を実施している事業場から、不良品としてあるいは不要となったナノ材料が直接廃棄物として扱われる可能性が考えられる。

² スイスの研究者によれば、実験室でのモデル排水処理過程で最大 6%程度の酸化セリウム（200nm 未満）が処理後の排水中に含まれていたとする報告がある（Limbach, L. K. et. al. (2008) Environmental Science & Technology. 42(15).)

この場合の廃棄物からは、使用済みフィルターと同様に運搬や中間処理、埋立処分等での取り扱い方法によっては、飛散する可能性があるものと考えられる。

(5) 事業場等から廃棄される紙類、布類（清掃時に使用したもの）

紙類、布類については、産業廃棄物となる場合に対象業種が特定されており、通常の事業場等で清掃等に利用された紙類、布類は事業系一般廃棄物として扱われていると考えられる。

処理の実態は不明であるが、事業系一般廃棄物として焼却処分（燃え殻は一般廃棄物の最終処分場で埋立処分）されている可能性が高いものと思われる。

(6) 事業場から廃棄される排水処理汚泥

事業場の排水処理過程で生じる汚泥は産業廃棄物とされており、詳細な業種別の規定があるが、重金属等の溶出量が一定未満のものは管理型最終処分場に、そうでないものは特定有害産業廃棄物（特別管理産業廃棄物の一種）として遮断型最終処分場で埋立処分あるいは溶融等の不溶化処理のうえ管理型最終処分場で埋立処分されている。

2. 使用に伴う環境への放出の可能性について

使用後に廃棄物となったものの扱いは次章で扱うものとし、ここでは使用時及び使用中における環境中への放出の可能性について整理した。

(1) 下水への流出による環境への放出の可能性

化粧品の場合は使用後の洗顔時に、また塗料の場合は使用中の剥離片が、家庭排水あるいは雨水排水に混入し、いずれも公共下水に流入する可能性がある。

公共下水では凝集沈殿等の措置が実施される場合もあるが、主には有機物の分解処理（生物処理）及びりん等の除去を経て、公共用水域に放出される。この過程でのナノ材料の除去効率に関する情報は乏しく、前術の報告（スイス）のように必ずしも全てが除去できるとは考えられないことから、ここでは下水に流入した場合に、除去されずに公共用水域に放出されるものと汚泥として回収されるものがあるとする。

なお、下水処理過程で発生した汚泥については、一般にコンポスト化又は焼却処分が実施されている。

焼却処分の場合は、後述のように、金属系のナノ材料であって集じん機で除去できないものが大気環境に放出される可能性があるものと考えられる。

(2) その他の環境への放出

その他の使用では、光触媒機能を有する塗料の剥離あるいは劣化によるナノ材料の放出、及びスプレー使用時の放出が考えられる。

光触媒機能を有する塗料の消費量については、経済産業省の資料³では平成 14 年当時で約 200t 程度であり、用途別にみると外装や道路資材といった屋外での使用が全体の約 70% 程度を占めていることが示されている。また、使用される二酸化チタンはアナターゼ型が多く用いられるとされている。

また、二酸化チタンは元々光触媒機能があり、光触媒機能を期待しない場合でも塗料中でバインダーの劣化等を生じやすいことが知られている。

下の図の③はアナターゼ型の二酸化チタンの場合を示しているが、右下図のように塗料中で粒子の周囲のバインダーを劣化させ、いわゆるクレーター型の劣化が生じた結果、粒子自体が放出されるといったメカニズムが知られている。

³ 「酸化チタン光触媒に関する産業の現状と課題」（技術調査レポート（技術動向編）第 2 号）の配布について（平成 14 年 5 月 31 日）経済産業省産業技術環境局技術調査室

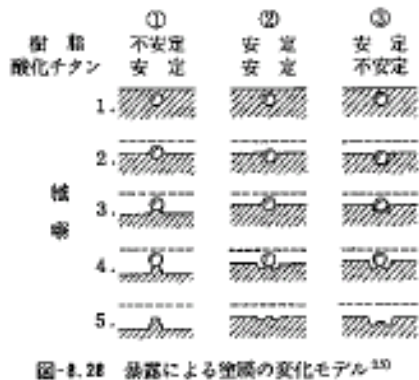


図-2.28 暴露による塗膜の変化モデル⁴⁾

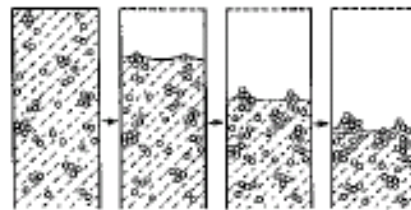


図-2.29 暴露における「ソケット」の生成⁴⁾
(初期 PVC 5%で保護作用有力)

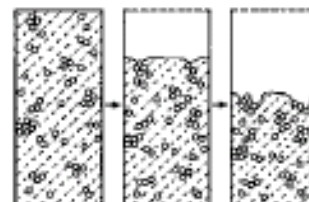


図-2.30 暴露における「クレーター」の生成⁴⁾
(初期 PVC 5%で光触媒作用有力)

図 2 - 1 二酸化チタン粒子を含む塗料の劣化試験結果⁴⁾
(①、②ルチル型、③アナターゼ型)

劣化を促進するという二酸化チタンの特徴に対する改良状況等は現状では不明であるが、光触媒機能が塗料の表面で期待されることも考慮すれば、劣化に伴う粒子の放出や塗料自体の剥離の可能性がある。また、剥離片も同様の過程でさらに劣化が進行し、剥離片から二酸化チタン粒子が放出される可能性もある。

このようにして放出された粒子及び剥離片は、大気中に粉じんとして放出されるか、あるいは下水をとおして公共用水域に放出されるものと考えられる。

さらに、スプレー等にナノ材料が含まれる場合は、ナノ材料は使用時に直接に大気環境に放出される。

⁴⁾ 「酸化チタン (2003) 技報堂出版」から引用。ただし、試験報告自体は1981年のもの。

3. 廃棄物の処理・再生利用に伴う環境への放出の可能性について

次に、ナノ材料に関連すると考えられる幾つかの廃棄物処理について具体的な処理状況等の情報を整理するとともに、一般的な廃棄物の処理方法（焼却処分、埋立処分）や廃棄物の種類（ばいじんや汚泥）の状況を勘案し、環境への放出の可能性を検討した。

(1) 数種類の廃棄物の廃棄、再生利用の状況

1) 紙類の廃棄・再生利用

二酸化チタン、アクリル微粒子、デンドリマといったナノ材料はインクジェットやトナーに使用されていることから、まず紙類の廃棄・再生利用の状況を確認した。

(財)古紙再生促進センターによれば、2007年の繊維原料約3,200万トンのうち、古紙(約1,900万トン)、古紙パルプ(約13万トン)の合計した古紙利用率は61.5%であった(回収率は74.5%)。

古紙の再生工程では、苛性ソーダーで溶解し、スクリーンや泡沫分離で不純物やインクを除去し、漂白して古紙パルプとされる。除去されたインク等の異物は排水処理の後放流される(日本製紙(株)及び王子製紙(株)web siteによる)。

なお、排水処理過程で生じた汚泥は有機物を多く含み、焼却処分されているとのことである(中越パルプ(株)web siteによる)。

一方、再生利用されなかった古紙は、ほとんどが廃棄物焼却施設で焼却されていると考えられる。

2) 廃プラスチック類の廃棄・再生利用

次に、フラーレンやカーボンナノチューブ、アルミナ、二酸化ケイ素など、樹脂に混練されているナノ材料が多いことから、樹脂の代表としてプラスチック類の廃棄、再生利用の状況について確認した。

(社)プラスチック処理促進協会資料によれば、2006年の廃プラスチックの総排出量は約1000万トン(産業廃棄物約500万トン、一般廃棄物約510万トン)で、うち約200万トン(約20%)がケミカルリサイクル、約30万トン(約3%)がマテリアルリサイクルされている。マテリアルリサイクルやケミカルリサイクルの概要は表3-1のとおりである。

なお、多層カーボンナノチューブが使用されている半導体トレイについては、メーカーによる使用後の回収・再生利用システムやマテリアルリサイクルシステムが進められているとした情報がある(リコー web site 等)。

表 3-1 プラスチック類のリサイクル方法の特徴及び問題点

((社) プラスチック処理促進協会 web site 資料等から作成)

リサイクル方法	特徴と問題点
マテリアルリサイクル	プラスチックのまま原料にして新しい製品をつくる技術。最近では、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法などが施行され、家庭やお店、事務所から出る使用済プラスチックもマテリアルリサイクルの対象となっている。
ケミカルリサイクル	化学的に分解し、原料やモノマーに戻し(解重合)、再度原料として利用する方法。PET ボトルでは商業化しており、近年は難燃性プラスチックのリサイクルといった新技術も開発されている。

プラスチック類の焼却処分については、(社) プラスチック処理促進協会資料によれば、2006 年の廃プラスチックの総排出量のうち、サーマルリサイクルに用いられたものは約 490 万トン、単純焼却は約 160 万トンであり、合計約 650 万トン(約 65%) が焼却されている。

また、プラスチック類の埋立処分については、(社) プラスチック処理促進協会資料によれば、2006 年の廃プラスチックの総排出量のうち埋立処分されたものは約 130 万トン(約 13%) とされている(産業廃棄物で約 40 万トン、一般廃棄物で約 90 万トン)。最終処分では廃プラスチック類(産業廃棄物)は安定型又は管理型の最終処分場に、一般廃棄物は管理型の最終処分場に埋立処分される。

3) 廃タイヤの廃棄・再生利用

タイヤには約 26%のカーボンブラックが含まれている(経済産業省資料)。(社) 日本自動車タイヤ協会の資料によれば(下図)、2007 年での廃タイヤのリサイクル等の状況は、約 58%が製紙業やセメント業での熱利用、約 15%が原形・加工利用、約 17%が海外輸出となっている。

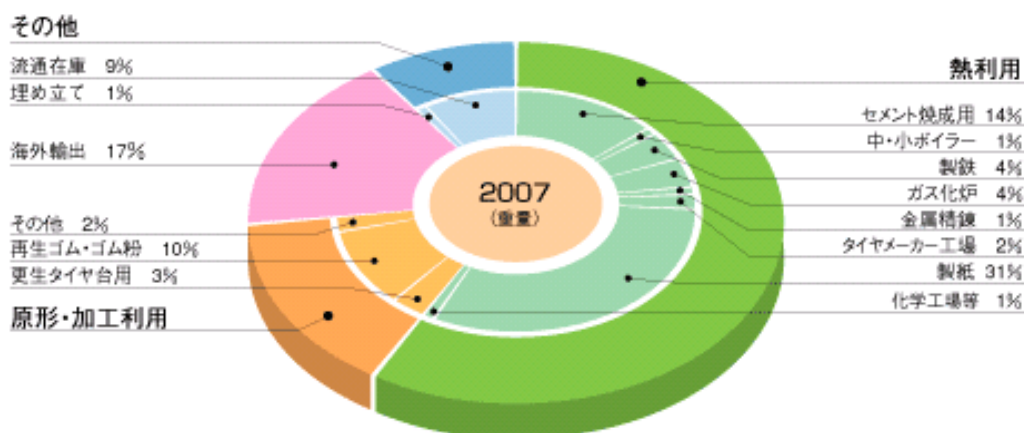


図 3-1 廃タイヤリサイクルの状況

((社) 日本自動車タイヤ協会 web site から引用)

日本タイヤリサイクル協同組合の資料では、消費者等から一般廃棄物として排出されたものはタイヤ販売店を通し（指定一般廃棄物のため自治体では回収していない）、また産業廃棄物として排出されたものは直接中間処分業者に持ち込まれ、さらにタイヤの種類や状況によって分別され、中古品再生利用、ワイヤーの分別（原料として再生利用）、切断や破砕による分割品・チップ品・ゴム粉への加工（原料利用、熱利用）といった処理が施される。

4) 使用済みリチウム電池の廃棄・再生利用

リチウム二次電池（リチウムイオン電池）の負極には性能向上のために少量のカーボンナノファイバーが添加されている。

リチウム二次電池を含む小型二次電池（充電式電池）は資源有効利用促進法により、指定表示（回収促進のための表示）及び指定再資源化製品（自主回収及び再資源化に取り組むことが求められる製品）に指定されており、メーカーによる自主回収や再資源化が進められている。

経産省資料では、リチウム二次電池の2005年の排出量は約1600トン、回収量は約600トンで、回収率は約40%とされている。

リチウム二次電池のリサイクルでは、現状では正極に含まれるコバルトの回収事例が多い。処理方法の詳細は不明であるが、一部企業では下記のようなプロセスで鉄・銅を分離するとともに、コバルトが回収されている。

この過程でのカーボンナノファイバーの挙動は不明であるが、酸溶解液中に残渣として含有し排水処理後施設での処理で凝集沈殿され、汚泥中に移行する可能性が高いと思われる。

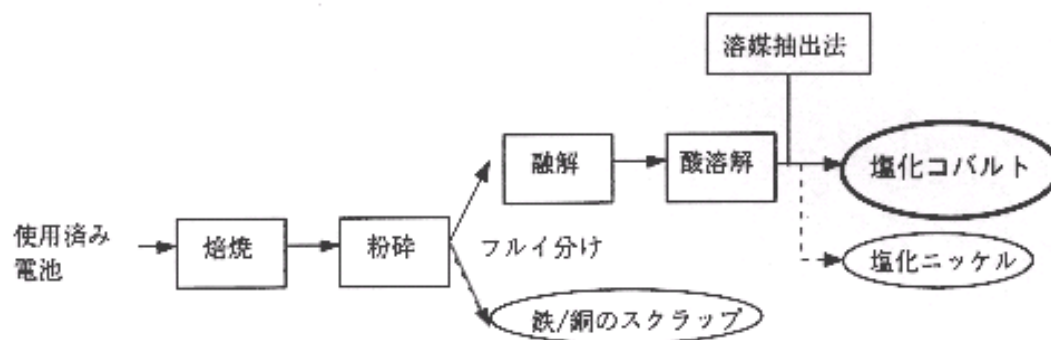


図3-2 リチウム電池の処理方法（ソニー(株)web site から引用）

(2) 廃棄物の処理方法別にみた環境への放出の可能性

次に、廃棄物の処理方法別に、環境への放出の可能性について簡単に取りまとめた。なお、管理技術の詳細は資料4に記載した。

1) 焼却処分時の環境への放出の可能性

現状の一定規模以上の焼却施設は「燃焼ガスの温度が 800℃以上の状態で2秒以上滞留」の維持管理に関する規定が定められており、数種類の炭素系のナノ材料についてはこの過程で分解する可能性が高い。

一方、金属系のナノ材料については焼却処分による分解が期待できない。金属系のナノ材料の焼却時の挙動（化学変化等）は不明であり、ばいじん発生施設として義務付けられている集じん装置のナノ材料の集じん効率についても不明である。金属等が焼却によって焼結し集塵されやすくなるといった可能性も考えられるが、現状では情報が乏しく、集じん機で除去できない微粒子の大気環境への放出の可能性は否めない。

2) 焼却処分後のばいじん・燃え殻

大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設から発生したばいじんあるいは焼却炉の燃え殻は産業廃棄物とされ、直接又は溶融やセメント固化等の後、重金属等の溶出量によって管理型あるいは遮断型最終処分場で埋立処分されているものが多い。

したがって、ばいじんや燃え殻に含まれるナノ材料については環境に飛散、流出することは少ないものと考えられる。

なお、一般廃棄物の焼却場で集じん機により集められたばいじん及び燃え殻は、特別管理一般廃棄物として扱われ、通常は溶融やセメント固化等のうえ管理型最終処分場に埋立処分されていることから、環境に飛散、流出することは少ないものと考えられる。

3) 破砕処理や運搬時の飛散

粗大ゴミなど、廃棄物によってはその中間処理において破砕処理が実施されるが、その際に廃棄物中に含まれるナノ材料は、材料中に固着している可能性もあるものの、その実態は不明であり、環境中に飛散する可能性は否めない。

また、廃棄物の運搬や取扱い方法によっては、飛散しやすい状態のナノ材料は大気中に飛散する可能性が考えられる。

4) 排水処理後の処理汚泥

排水処理汚泥、下水処理汚泥は、産業廃棄物として処理され、セメント等による固化後に埋立処分されるものと、直接焼却処分されるもの（有機成分の多い紙類の再生施設の排水処理汚泥や下水処理汚泥）がある。

それぞれの処理の特徴は別の項に記載のとおりである。

5) 埋立処分

埋立処分では、覆土等の飛散防止措置が施されることから、大気中への飛散の可能性は乏しいと考えられる。

一方、多くの産業廃棄物が処分される管理型処分場では浸出水の排水管理が行われるが、ナノ材料に関する測定項目はない。ナノ材料は、土壌に収着することで浸出水をとおして公共用水域に放出される可能性は小さいと考えられるものの、確認された情報がなく、現状では環境中への放出の可能性が否めない。

4. ナノ材料の環境への放出の可能性について

以上の情報を用い、また末尾の参考1及び参考2に示したナノ材料ごとの製造・使用・排気等の状況を勘案し、ナノ材料全般としての環境への放出の可能性を整理した結果、下記のような経路が想定された。

ただし、集じん装置や排水処理施設での捕集効率、製品の破砕時の再飛散、廃棄物等の運搬や処理時の飛散等の多くの点が不明であり、今後さらに情報を精査する必要があるものと思われる。

(1) 製品の製造時

- 製造事業場等からの大気放出は、厚生労働省の指摘する局所排気装置等でのHEPAフィルターの使用により、大気環境への放出抑制に一定の効果はあると考えられるが、取扱量等によっては大気への放出抑制が十分ではない可能性がある。
- ばい煙発生施設で焼却された場合は、炭素系のナノ材料は、現在我が国で規定されている性能（800℃以上、2秒以上）では分解される可能性が高い。
一方、金属系のものについては焼却時の挙動は不明であるが、一部は集じん装置で除去できず大気中に直接放出される可能性がある。
- 清掃等の作業により、排水処理工程に放出される経路が想定される。排水処理工程での凝集沈殿で除去される率は高いと考えられるものの、除去効率は現状では不明であることから、排水を通じて公共用水域に放出される可能性がある。
- ナノ材料製品等を梱包、輸送する場合、取扱い場所や取扱い方法によってはナノ材料が環境中に放出される可能性がある。

(2) 製品の使用時

- 化粧品や日用品でナノ材料が使用されているもの（二酸化チタン、酸化亜鉛、銀）は、その使用中（洗顔等を含む）に環境中に放出される可能性がある。
その場合、現状の使用状況（化粧品や日用品）では一般家庭下水から公共用水域に放出される可能性がある。
- 光触媒機能を有する塗料（アナターゼ型二酸化チタンを含む）では、ナノ材料がもつ光触媒機能による塗料の劣化等が避けられず、塗料の劣化及び剥離によって環境中に放出される可能性がある。
- さらに、ナノ材料を含むスプレーの場合は、その使用時に環境中に直接的に放出される可能性がある。

(3) 廃棄物の処理時

- 事業場で使用したフィルター、清掃時に使用した紙類、布類等は、必ずしも飛散防止を考慮した処分が規定されておらず、取扱い方法によっては、付着しているナノ材料が大気中に再飛散する可能性がある。

- また、不良品や開発用に使用したナノ材料で不要となったもの等、ナノ材料自体が直接廃棄される場合についても同様に処理方法が明確でないため、取扱い方法によっては、ナノ材料が大気中に飛散する可能性がある。
- 中間処理の段階で破砕処理されるものでは、破砕時にナノ材料が飛散する可能性がある。
- 焼却処理された場合は、炭素系のナノ材料は、現在我が国で規定されている性能（800℃以上、2秒以上）では分解される可能性が高い。
一方、金属系のものについては焼却時の挙動は不明であるが、一部は集じん装置で除去できず大気中に直接放出される可能性がある。
- 焼却施設で生じたばいじん、燃え殻では、熔融等の固化処理によって環境中に再放出される可能性は小さくなる。ただし、固化前の取扱い方法によっては大気中に再放出される可能性がある。
- 下水処理では、処理工程で活性汚泥への吸着や凝集沈殿で除去される率は高いと考えられるものの、除去効率は現状では不明であることから、公共用水域に放出される可能性がある。
- 下水処理で生じた汚泥は、コンポスト化や焼却処分が実施されている。
焼却処分された場合には上記と同様に炭素系のものは分解される可能性が高いが、金属系のものは一部が集じん装置で除去できず大気中に放出される可能性がある。
一方、コンポスト化されているものはナノ材料が残留している可能性がある。
- 埋立処分される場合は、管理型処分場では土壌等による吸着により放流水に含まれる可能性は乏しいと思われるものの、関連情報が乏しく、環境への放出の可能性は否めない。
- ばいじんや燃え殻、汚泥等の処理過程では、取扱い方法によっては大気中に再放出される可能性がある。

(参考1)

表A 製品の使用・廃棄におけるナノ材料の環境への移行の可能性(1)

区分 (※1)	ナノ材料	使用量	用途(割合:%)	想定される環境への放出経路	備考
粒子状 炭素系	カーボンブラック	約83万トン	製造時 (運搬・梱包時)	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
				排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
				使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気	集じん機の除去効率は不明
			タイヤ(95)	製品使用による摩滅⇒環境大気	
				サーマルリサイクル⇒環境大気	集塵装置での捕集効率は不明
				破砕時の飛散の可能性	破砕時の飛散の程度は不明
				同上(燃え殻、ばいじん) ⇒埋立処分	燃え殻等からの再放出は乏しいと想定
	ポリスチレン	10トン	製造時 (運搬・梱包時)	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
				排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
				使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気	焼却により分解すると想定
			化粧品	製品使用⇒下水処理⇒公共用水域	下水処理施設での捕集効率は不明
				同上⇒下水処理汚泥⇒焼却処分	処理汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
			ディスプレイの 表面	サーマルリサイクル	焼却により分解すると想定
				マテリアルリサイクル	
廃棄物⇒焼却	焼却により分解すると想定				
廃棄物⇒埋立処理	表面塗布の状態での飛散、流出は乏しいと想定				
			破砕時の飛散の可能性	破砕時の飛散の程度は不明	

※1: 第1回検討会資料4に基づく区分

表A 製品の使用・廃棄におけるナノ材料の環境への移行の可能性

区分(※1)	ナノ材料	使用量	用途(割合：%)	想定される環境への放出経路	備考
粒子状炭素系	アクリル微粒子	225 トン	製造時 (運搬・梱包時)	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
				排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
				使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気	焼却により分解すると想定
			化粧品	下水処理汚泥⇒焼却処分	処理汚泥はセメント固化され再放出は乏しいと想定
			インクジェット	古紙⇒焼却処分	焼却により分解すると想定
	古紙処理施設排水⇒公共用水域	排水処理施設での捕集効率は不明			
	フラーレン	約2 トン	製造時 (運搬・梱包時)	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
				排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
				使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気	焼却により分解すると想定
			テニスラケット等スポーツ用品	製品⇒一般廃棄物⇒埋立処分	樹脂等への混練のため飛散の可能性は小さいと想定
破砕時の飛散の可能性				破砕時の飛散の程度は不明	

※1：第1回検討会資料4に基づく区分

表A 製品の使用・廃棄におけるナノ材料の環境への移行の可能性（3）

区分 (※1)	ナノ材料	使用量	用途（割合：％）	想定される環境への放出経路	備考
繊維状炭素系	多層カーボン ナノチューブ	約 60 トン	製造時 （運搬・梱包時）	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
				排水処理汚泥⇒（固化後）埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
				使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気	焼却により分解すると想定
			半導体トレイ	リユース	
				マテリアルリサイクル	
				サーマルリサイクル⇒焼却	焼却により分解すると想定
				直接埋立処分⇒再飛散	樹脂への混練のため飛散は乏しいと想定
	破砕時の飛散の可能性	破砕時の飛散の程度は不明			
	カーボン ナノファイバー	60～70 トン	製造時 （運搬・梱包時）	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
				排水処理汚泥⇒（固化後）埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
				使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気	焼却により分解性は不明 集じん機の除去効率は不明
			リチウム二次電池 （負極）	リサイクル⇒排水⇒公共用水域	排水処理施設での捕集効率は不明
同上⇒排水汚泥⇒埋立処分⇒公共用水域				埋立処分後の挙動は不明	
同上⇒排水汚泥⇒埋立処分⇒再飛散				埋立処分後の挙動は不明	
廃棄物（製品のまま）⇒埋立処分⇒再飛散				直接埋立では樹脂等への混練状態のため、飛散の可能性は小さいと想定	

※1：第1回検討会資料4に基づく区分

表A 製品の使用・廃棄におけるナノ材料の環境への移行の可能性（4）

区分 (※1)	ナノ材料	使用量	用途 (割合：%)	想定される環境への放出経路	備考
粒子状 金属系	二酸化チタン	約 1,250 トン	製造時 (運搬・梱包時)	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
				排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
				使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気	集じん機の除去効率は不明
			化粧品(60)	下水処理⇒公共用水域	下水処理施設での捕集効率は不明
				下水処理汚泥⇒焼却処分	下水汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定
			トナー(33)	紙くず・古紙⇒焼却⇒環境大気	集じん装置による捕集効率は不明
				古紙リサイクル⇒排水処理 ⇒公共用水域	排水処理施設での捕集効率は不明
				古紙リサイクル⇒排水汚泥⇒焼却 ⇒環境大気	集じん装置による捕集効率は不明
				容器等の破砕時の飛散の可能性 焼却施設⇒ばいじん、燃え殻 ⇒埋立処理	破砕時の飛散の程度は不明 ばいじん、燃え殻はセメント固化等で飛散の可能性は小さいと想定
	酸化亜鉛	約 480 トン	製造時 (運搬・梱包時)	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て				汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定	
使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気				集じん機の除去効率は不明	
化粧品(80) その他(20)			下水処理⇒公共用水域	排水処理施設での捕集効率は不明	
			下水処理汚泥⇒焼却処分	下水汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと想定	

※1：第1回検討会資料4に基づく区分

表A 製品の使用・廃棄におけるナノ材料の環境への移行の可能性（5）

区分 (※1)	ナノ材料	使用量	用途 (割合：%)	想定される環境への放出経路	備考
粒子状 金属系	銀ナノ 粒子	50 トン (無機微粒子 を含む)	製造時 (運搬・梱 包時)	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
				排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと 想定
				使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気	集じん機の除去効率は不明
			繊維製品等 (靴下、絆 創膏等)	下水処理⇒公共用水域	排水処理施設での捕集効率は不明
				下水処理汚泥⇒焼却処分	下水汚泥はセメント固化され飛散は乏し いと想定
				廃棄物⇒焼却⇒環境大気	集じん装置による捕集効率は不明
				焼却⇒ばいじん、燃え殻⇒埋立処分	ばいじん、燃え殻はセメント固化等で飛 散の可能性は小さいと想定
			家電製品	サーマルリサイクル⇒環境大気	集じん装置による捕集効率は不明
				焼却⇒ばいじん、燃え殻⇒埋立処分	ばいじん、燃え殻はセメント固化等で飛 散の可能性は小さいと想定
				直接埋立⇒浸出水⇒公共用水域	排水処理施設での捕集効率は不明
				埋立⇒浸出水⇒排水汚泥⇒埋立	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと 想定
	酸化セリ ウム	2-3 トン	製造時 (運搬・梱 包時)	製造・運搬時の直接放出	梱包、運搬等が想定される
				排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明
排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て				汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと 想定	
使用済みフィルター等⇒焼却⇒大気				集じん機の除去効率は不明	
研磨剤			排水処理⇒公共用水域	除去効率は不明	
			排水処理汚泥⇒(固化後)埋め立て	汚泥はセメント固化され飛散は乏しいと 想定	

※1：第1回検討会資料4に基づく区分

(参考2：各ナノ材料に関する製品使用に伴う環境への放出経路の検討結果)

(1) カーボンブラック

運搬等に伴う大気環境への放出及び排水処理での公共用水域への放出の可能性、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした (HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定)。また、使用済みフィルターの焼却に伴い集じん機での除去効率等が不明であることから、その経路による大気放出はあり得るものとした。

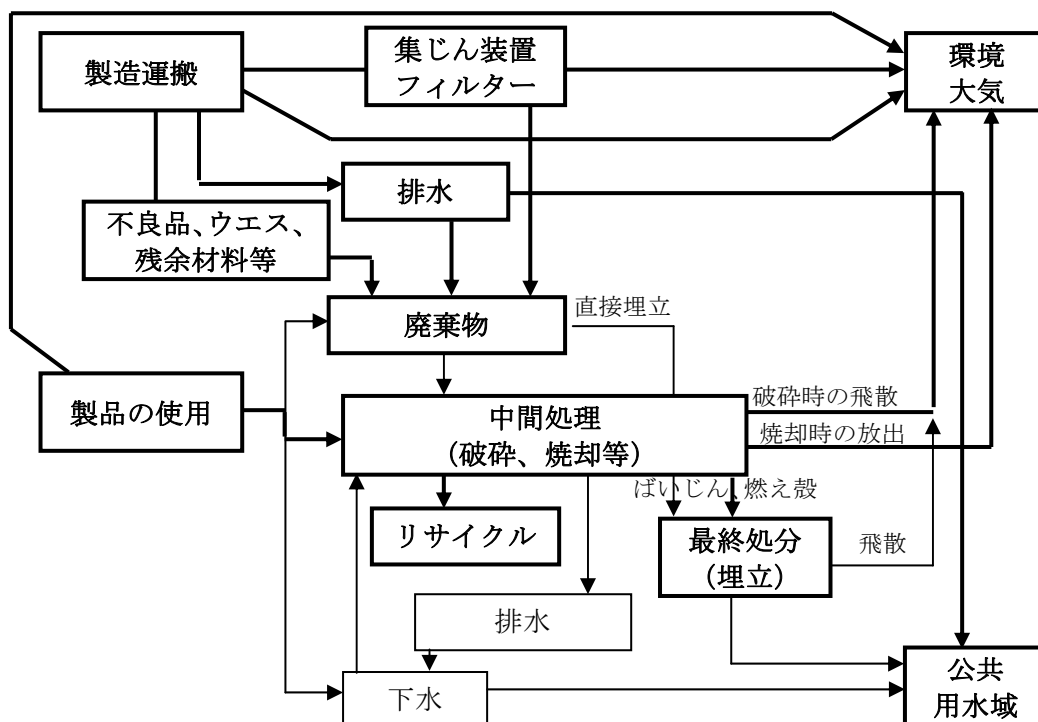
カーボンブラックの主たる用途はタイヤであり、その多くはサーマルサイクル(焼却)あるいはマテリアルリサイクルされている。

これらのことから、主たる移行経路は下記のようなものと思われる。

この図に示すように、製品の使用時(摩滅)あるいは焼却時に直接に大気中に放出されると想定される。燃え殻あるいはばいじん中に移行するものはセメント固化あるいは覆土等の措置が施されることから、埋立処分後の再飛散の可能性は小さいと考えた。また、浸出水に溶出して公共用水域に放出する可能性も小さいと考えた。

現状での不明点は下記の事項である。

- ・ 運搬、梱包時の扱い (大気放出の可能性)
- ・ 事業場排水処理時の除去効率
- ・ 廃棄タイヤの中間処理時(破碎処理)の飛散
- ・ 焼却(サーマルリサイクル)時の分解率
- ・ 焼却(サーマルリサイクル)時の集じん装置での捕集効率



付図1 カーボンブラックの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図

(2) ポリスチレン

ナノサイズのポリスチレンの製造過程や製品の性状（粉末か液状か等）については情報がなく、その製造工程についても情報が無いことから、ここでは製造、運搬に伴う大気環境への放出及び排水処理工程での公共用水域への放出、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

ただし、使用済みフィルターや排水汚泥中のポリスチレンは焼却されることで分解されると思われることから、それらの経路での環境への放出は少ないと考えた。

ポリスチレンは家電製品のディスプレイの表面への塗布あるいは化粧品に混入して使用されている。

化粧品として使用された場合、多くは下水に流入し、汚泥として排出、あるいは直接に公共用水域に放流されると考えられる。

汚泥として排出されたものは、下水処理汚泥の通常の処理方法として焼却処分され分解されると考えた。焼却された場合は、ポリスチレンの分解温度が 300-400℃（引火点 345-360℃：MSDS 資料から）であることから、我が国の焼却施設（800℃、2 秒以上）であれば分解するものと考えられる。また、マテリアルリサイクルではポリスチレンごと処理されると想定されることから、環境への放出は小さいと考えた。

なお、下記の事項に関する情報が不明な点である。

- ・排水処理施設での汚泥（沈殿物）への吸着度及び分解度

一方、ディスプレイの表面に塗布されたものは、プラスチックの廃棄物として処理される。プラスチック類は約 65%が焼却、約 23%がマテリアルリサイクルあるいはケミカルリサイクル、約 13%が埋立処分されているとされている（(社)プラスチック再生促進協会資料）。

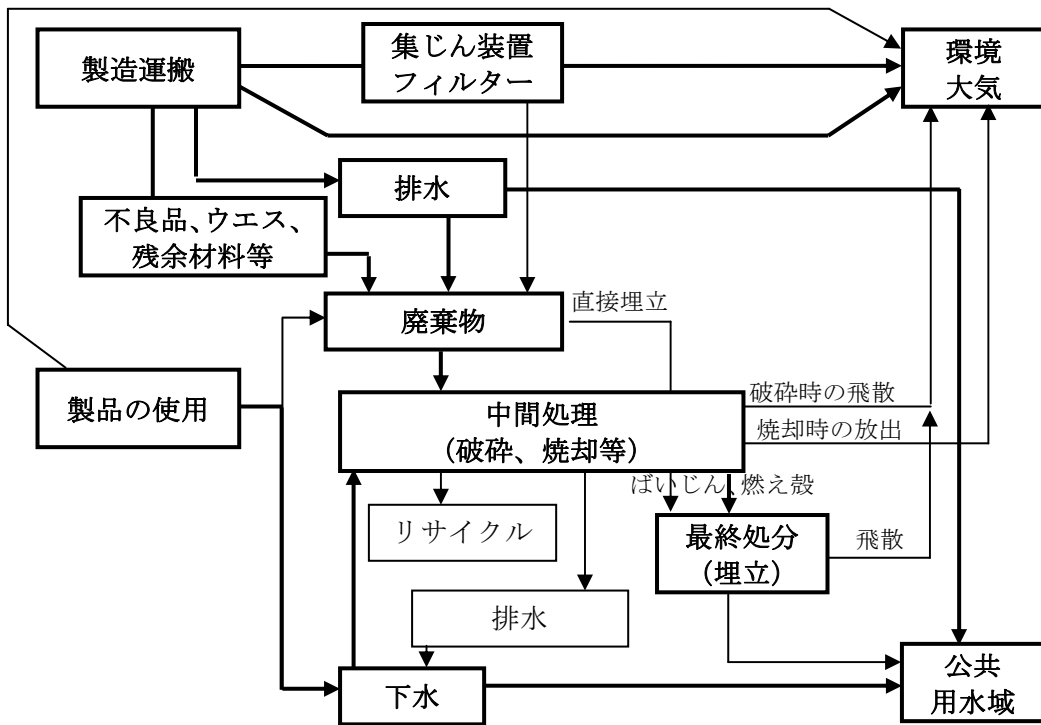
焼却された場合は、上記のように分解され、環境への放出は小さいと考えた。

埋立処分後の挙動は不明であるが、安定型処分場に埋立処分された場合は、ディスプレイ上に塗布されたままと想定され、大気中への飛散や浸出水中への溶出は乏しいと考えた。

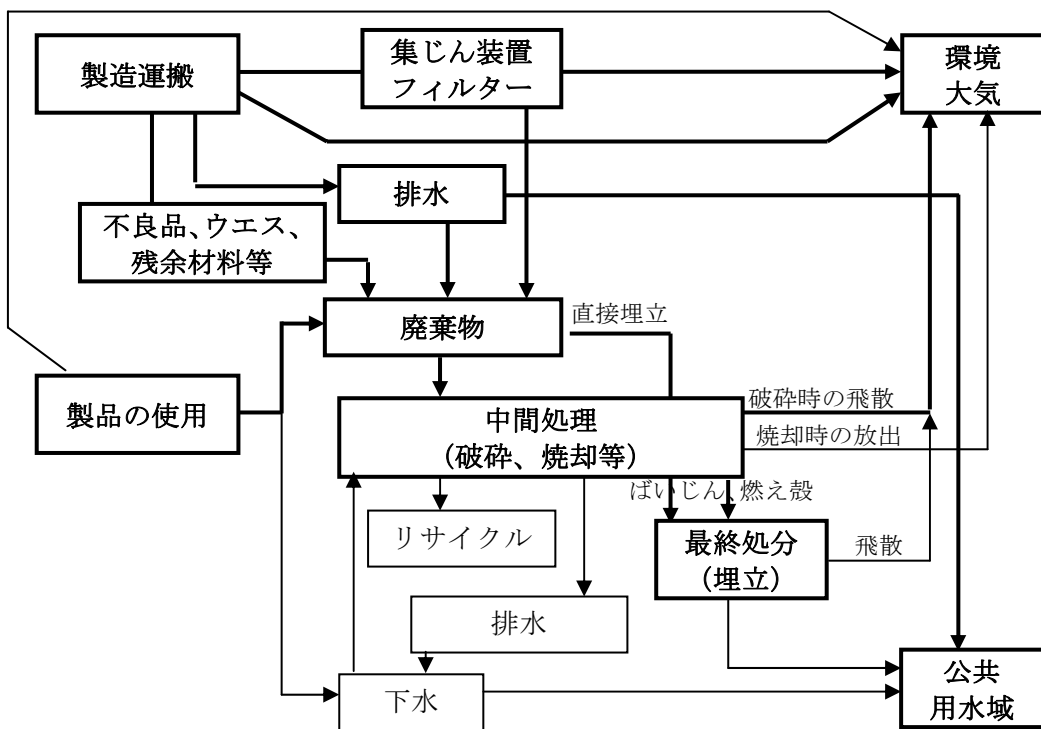
ただし、廃棄時等に破砕された場合の飛散があり得るものと考えた。

現状での不明点は下記の事項である。

- ・運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・事業場排水処理時の除去効率
- ・粉砕時の飛散の状況



付図 2 - 1 ポリスチレンの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図 (化粧品利用)



付図 2 - 2 ポリスチレンの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図 (ディスプレイ利用)

(3) アクリル微粒子

アクリル微粒子の製造過程や製品の性状（粉末か液状か等）については情報がなく、その製造工程についても情報がないことから、ここでは製造、運搬に伴う大気環境への放出及び排水処理工程での公共用水域への放出、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

ただし、使用済みフィルターや排水汚泥中のアクリル微粒子は焼却されることで分解されると思われることから、それらの経路での環境への放出は少ないと考えた。

アクリル微粒子は主に化粧品あるいはインクジェットに利用されている。

化粧品として使用された場合、多くは下水に流入し、分解、汚泥として排出、あるいは直接に公共用水域に放流されると考えられる。

汚泥として排出されたものは焼却処分されるが、アクリル酸の自然発火温度は360℃であることから、燃焼処理では燃焼分解してしまうものと考えられる。

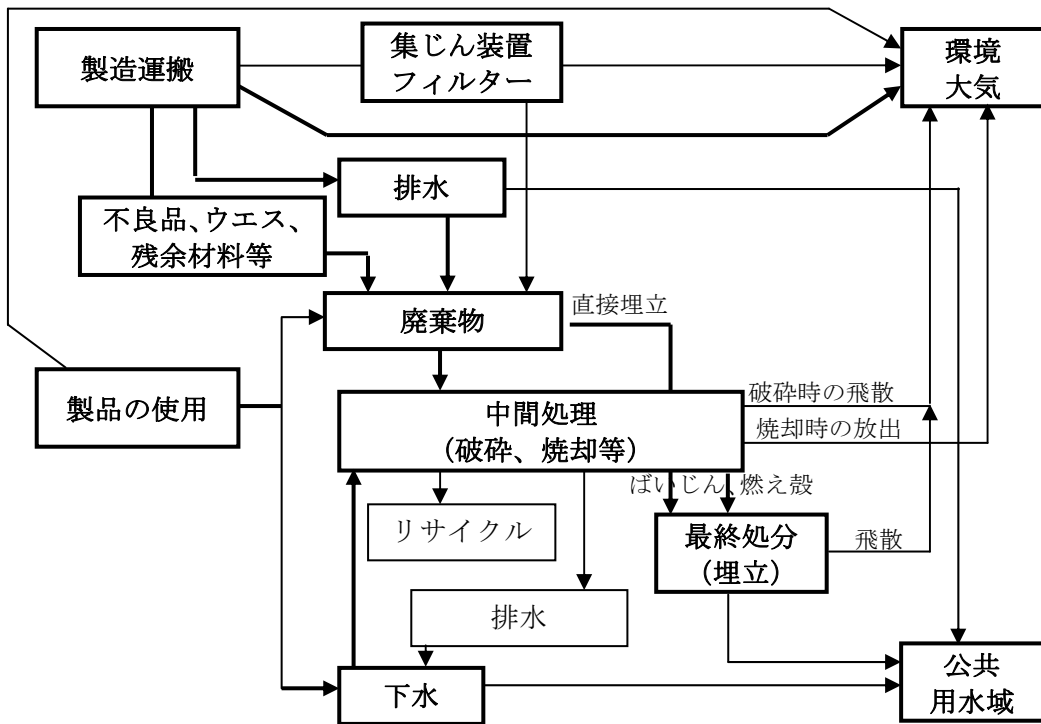
また、インクとして使用された場合、プリンターからの放出及び印刷後の放出はほとんどないと想定すれば、主たる移行経路は印刷物（紙類が主と考えられる）の廃棄である。

紙類の60%以上は再生されるが、インク等の不純物は排水処理される。排水処理時の処理の程度は不明であるが、汚泥（沈殿物を含む）は可燃物を多く含むことから焼却処理されていると想定され（中越パルプ(株)資料）、汚泥に吸着しなかったものは直接公共用水域に流入するものと思われる。また、焼却処分の場合には上記のように分解してしまうものと考えられる。

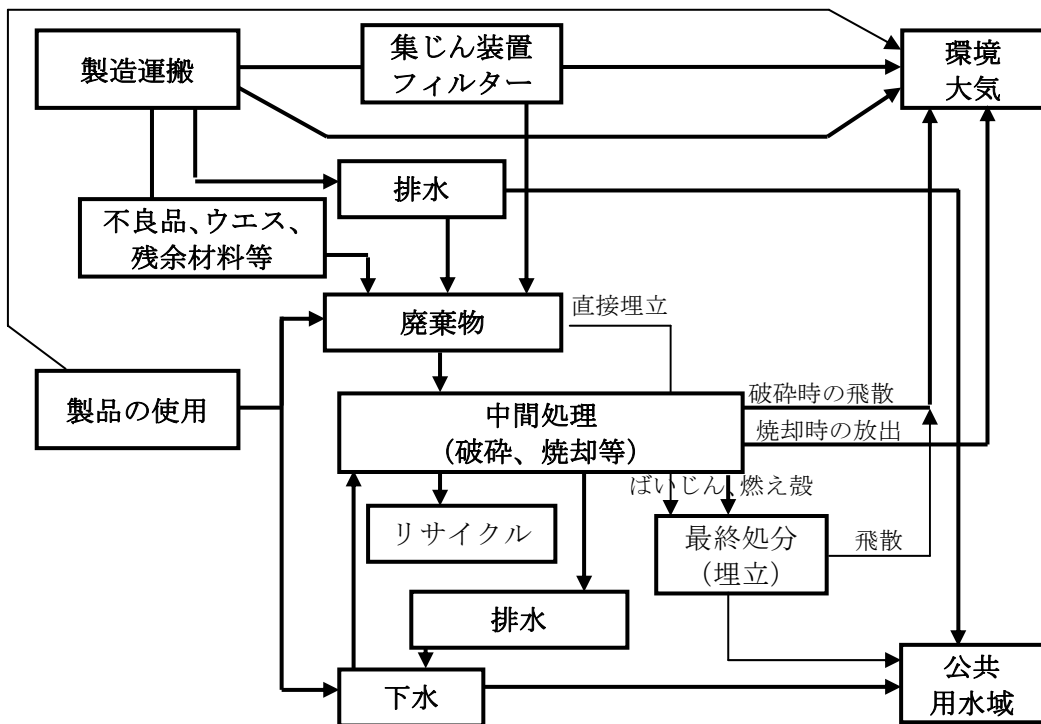
再生されなかった残りの30%の紙類は多くが焼却施設で焼却されているとされており、その際は上記のように燃焼分解するものと考えられる。

現状での不明点は下記の事項である。

- ・ 運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・ 事業場排水処理時の除去効率
- ・ 紙類のリサイクル施設の排水処理過程における汚泥への吸着度及び分解度



付図 3-1 アクリル微粒子の製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（化粧品利用）



付図 3-2 アクリル微粒子の製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（インク利用）

(4) フラーレン

フルーレンの製造、運搬に伴う大気環境への放出及び排水処理工程での公共用水域への放出の可能性、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

ただし、使用済みフィルターや排水汚泥中のフルーレンは焼却されることで分解され、その経路での環境への放出は少ないと考えた。

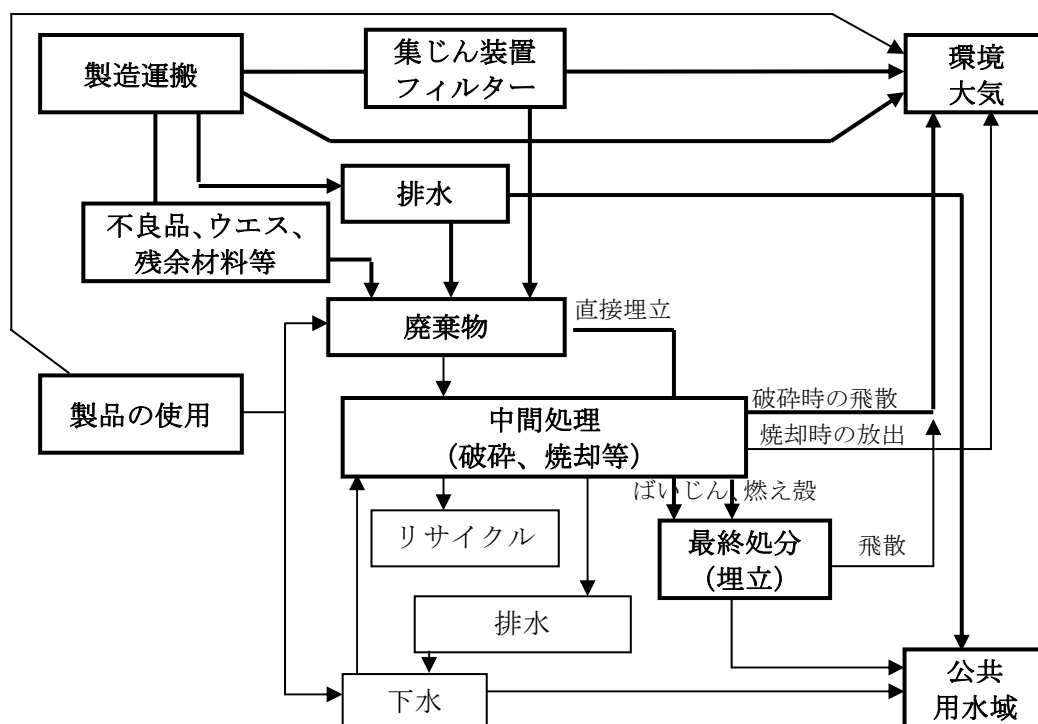
フルーレンは現状ではテニスラケット等に利用しているとされている。

テニスラケットの使用時には樹脂や金属中に混練された状態で、環境には放出しないと考えられる。

廃棄時には金属製品と同様に扱われると考えられるが、家電製品のような明確なリサイクルルートがないため、多くは一般廃棄物として排出され、直接埋立処分されているものと思われる。埋立処分後の分解については不明であるが、樹脂等に混練された状態では環境への放出はほとんどないものと考えられる。

現状での不明点は下記の事項である。

- ・ 運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・ 事業場排水処理時の除去効率
- ・ 破碎時の空気中への飛散の程度



付図4 フルーレンの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（テニスラケット）

(5) カーボンナノチューブ（多層カーボンナノチューブ）

カーボンナノチューブの製造、運搬に伴う大気環境への放出及び排水処理工程での公共用水域への放出の可能性、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

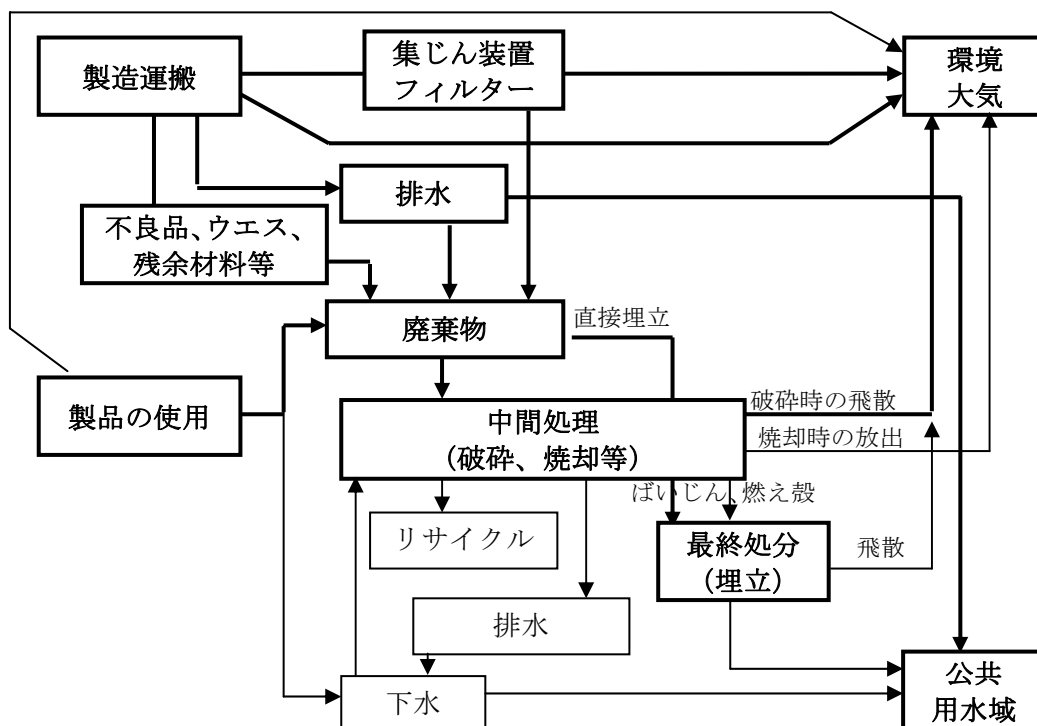
ただし、使用済みフィルターや排水汚泥中のカーボンナノチューブは焼却されることで分解され、その経路での環境への放出は少ないと考えた。

多層カーボンナノチューブは現状では主に半導体トレイに利用しているとされており、再生利用あるいはマテリアルリサイクルされているケースが多いとされている。また、廃棄時には、廃プラスチック類として焼却、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、埋立処分されている。

焼却処理されたものは、我が国の焼却炉の性能（800℃、2秒）ならば分解するものと思われる（イギリスの情報に基づく）。さらに、マテリアルリサイクルでは環境への放出はほとんどないものと思われる。したがって、環境への放出は、再生利用されなかったトレイで埋立処分されたものと考えられるが、その場合でも樹脂中に混練された状態であり、環境への放出はほとんどないものと思われる。

ただ、マテリアルリサイクル等の際に破砕された場合の空気中への飛散の程度も含め、下記の点が現状では不明である。

- ・ 運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・ 事業場排水処理時の除去効率
- ・ 破砕時の空気中への飛散の程度



付図5 多層カーボンナノチューブの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図

(6) 二酸化チタン

二酸化チタンの製造、運搬に伴う大気環境への放出、排水処理時の公共用水域への放出（凝集沈殿を実施しているとの情報があるものの、ナノサイズの粒子の除去効率は確認されていないことから）、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

さらに、使用済みフィルターの廃棄時に焼却された場合、集じん機の捕集効率が不明であることから、その過程での大気への放出があり得るとした。なお、排水処理汚泥は産業廃棄物として固化後埋立処分されることから、その経路での環境への放出はないとした。

二酸化チタン（ナノ粒子）は現状では60%が化粧品、30%がトナーに使用されているとのことである。

化粧品の利用時にはポリスチレンと同様に、下水に流入し、凝集沈殿等を経て汚泥として排出、あるいは直接に公共用水域に放流されることが考えられる。

汚泥として排出されたものは、下水処理汚泥の通常の処理方法として焼却処分されるが、その際の挙動は不明である。一部はばいじんや燃え殻として排出されるものの、一部は集じん機で捕集されず環境に放出されることが考えられる。

一方、トナーとして利用された場合は、紙類の再処理あるいは焼却処理のフローに準じることになる。

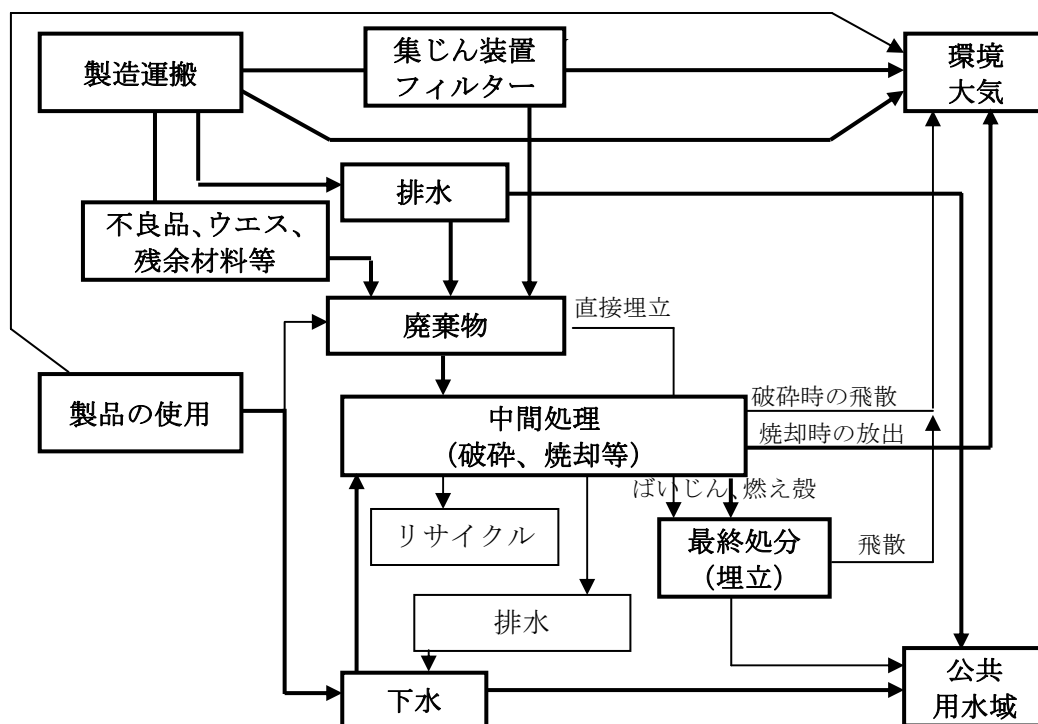
再生処理ではインク等は主に排水処理過程に移行し、そのまま公共用水域に放出、あるいは汚泥として焼却処理されると思われる。焼却時には分解しないで集じん装置で捕集されるか、あるいは直接大気中に放出されると思われる。

さらに、焼却時に集じんされたばいじんあるいは燃え殻は最終的に埋立処分されるが、その際はセメント固化等や覆土等の措置により、環境への再放出の可能性は小さいと考えられる。

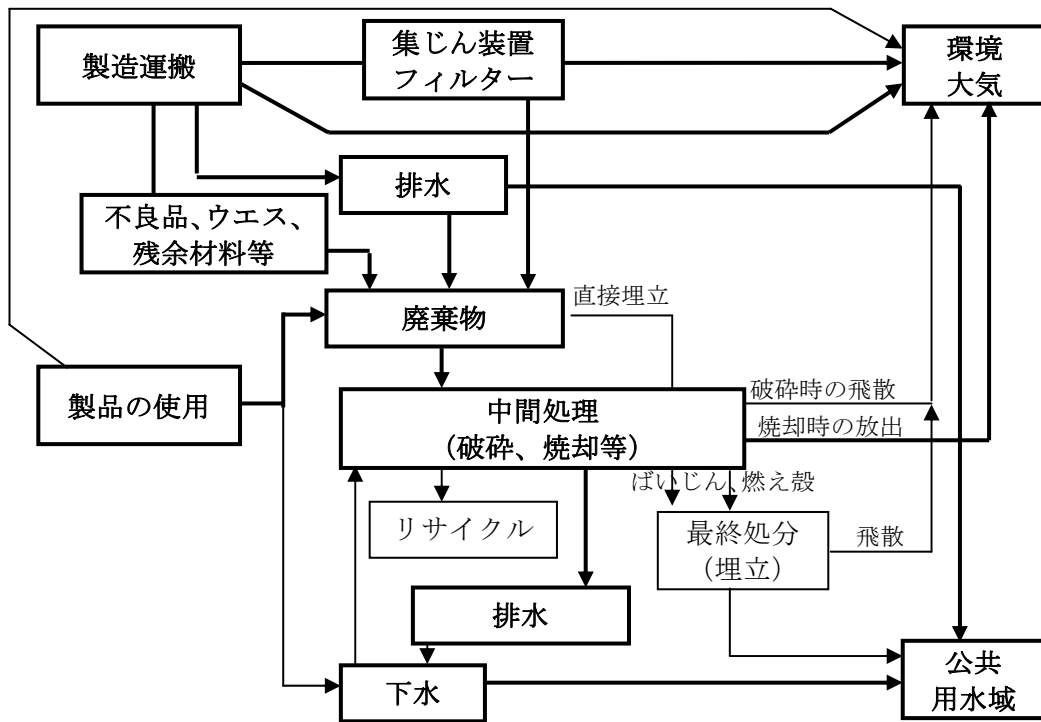
さらに、塗料として利用されたものについては、剥離片が粉碎され直接粉じんとなる場合と、雨水とともに下水に流入し、処理過程で公共用水域に放出される可能性があると考えられる。

現状での不明点は下記の事項である。

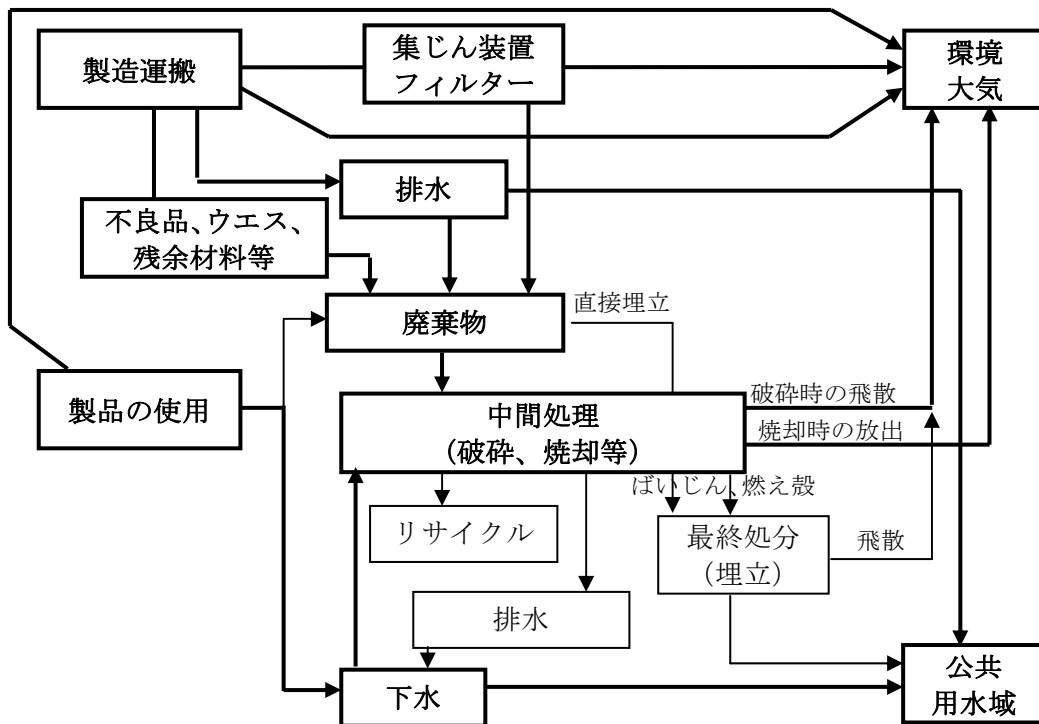
- ・ 運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・ 事業場排水処理における除去効率
- ・ 使用済みフィルターの焼却処理における集じん機の捕集効率
- ・ 下水処理施設での除去効率
- ・ 紙類のリサイクル施設の排水処理施設での回収率
- ・ 紙類のリサイクル施設の排水処理汚泥の焼却処理時の集じん装置での捕集率
- ・ 塗料剥離片の発生状況及び粉じんとしての発生実態



付図6-1 二酸化チタンの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（化粧品利用）



付図 6-2 二酸化チタンの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（トナー利用）



付図 6-3 二酸化チタンの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（塗料利用）

(7) 酸化亜鉛

酸化亜鉛の製造、運搬に伴う大気環境への放出、排水処理時の公共用水域への放出（凝集沈殿を実施しているとの情報があるものの、ナノサイズの粒子の除去効率は確認されていないことから）、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

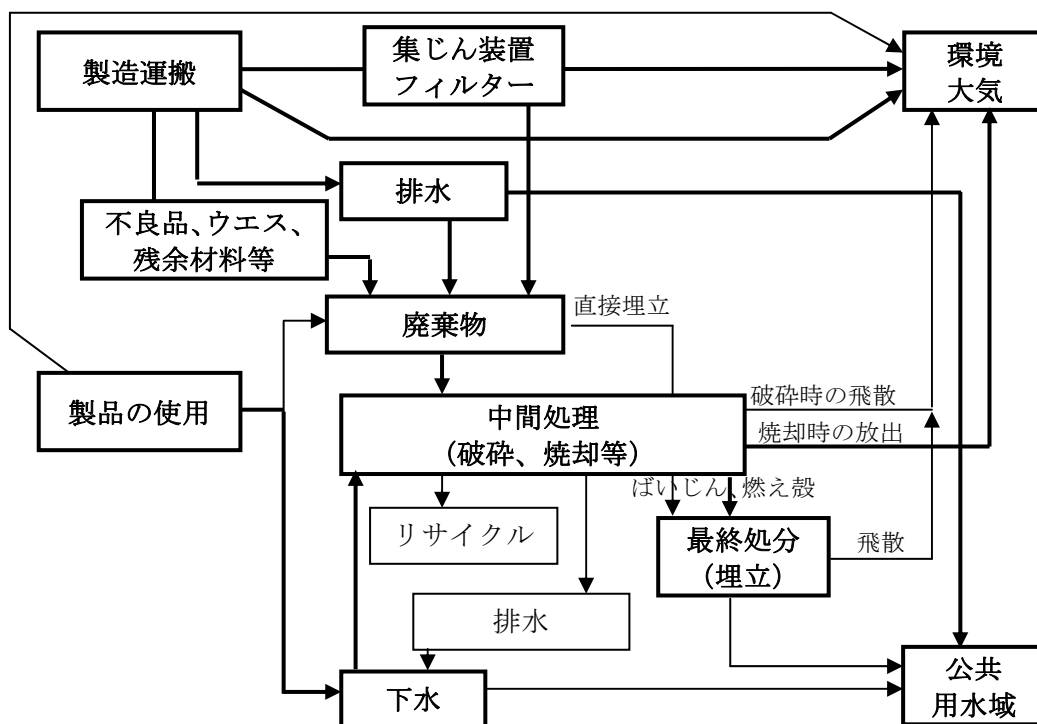
さらに、使用済みフィルターの焼却処分時には、集じん機の捕集効率が不明であることから、大気への放出があり得るとした。なお、排水処理汚泥は産業廃棄物として固化後埋立処分されることから、その経路での環境への放出はないとした。

酸化亜鉛（ナノ粒子）は現状では80%が化粧品に使用されている。化粧品の利用時には二酸化チタンと同等の経路をたどると想定され、下水に流入し、凝集沈殿等を経て汚泥として排出、あるいは直接に公共用水域に放流されると思われる。

汚泥として排出されたものは、下水処理汚泥の通常の方法として焼却処分され、二酸化チタンと同様に分解せずに、ばいじんや燃え殻として産業廃棄物処理される部分と直接大気に放出される部分があるものと考えられる。

現状での不明点は下記の事項である。

- ・ 運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・ 事業場排水処理における除去効率
- ・ 使用済みフィルターの焼却処理における集じん機の捕集効率
- ・ 排水処理施設での回収率



付図7 酸化亜鉛の製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（化粧品利用）

(8) 銀ナノ粒子

銀ナノ粒子の製造、運搬に伴う大気環境への放出、排水処理時の公共用水域への放出（凝集沈殿を実施しているとの情報があるものの、ナノサイズの粒子の除去効率は確認されていないことから）、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

さらに、使用済みフィルターの焼却処分時には、集じん機の捕集効率が不明であることから、大気への放出があり得るとした。なお、排水処理汚泥は産業廃棄物として固化後埋立処分されることから、その経路での環境への放出はないとした。

銀ナノ粒子は現状では絆創膏、靴下、洗濯機等の種々の日用品に使用されているとされている。これらの製品の使用状況は様々であり限定は困難であるが、繊維製品や雑貨としての利用及び家電製品として利用の2種類を想定した。

繊維製品や雑貨として利用された場合、使用時に一部が人体に付着し最終的には下水に流入し、凝集沈殿等を経て汚泥として排出、あるいは直接に公共用水域に放流されると考えられる。

汚泥として排出されたものは、下水処理汚泥の通常の処理方法として焼却処理され、分解しないままばいじんあるいは燃え殻中に移行するか、一部は集じん機で捕集されず直接大気に放出されるものと考えられる。

一方、廃棄時には繊維製品等のため主に焼却処理されるものと思われ、集じん装置で捕集されるか、あるいはそのまま大気中に放出されると思われる。集じん装置で捕集されたばいじん及び燃え殻は埋立処分されるが、固化や覆土等の措置が施されることから、環境への再放出の可能性は小さいと考えた。

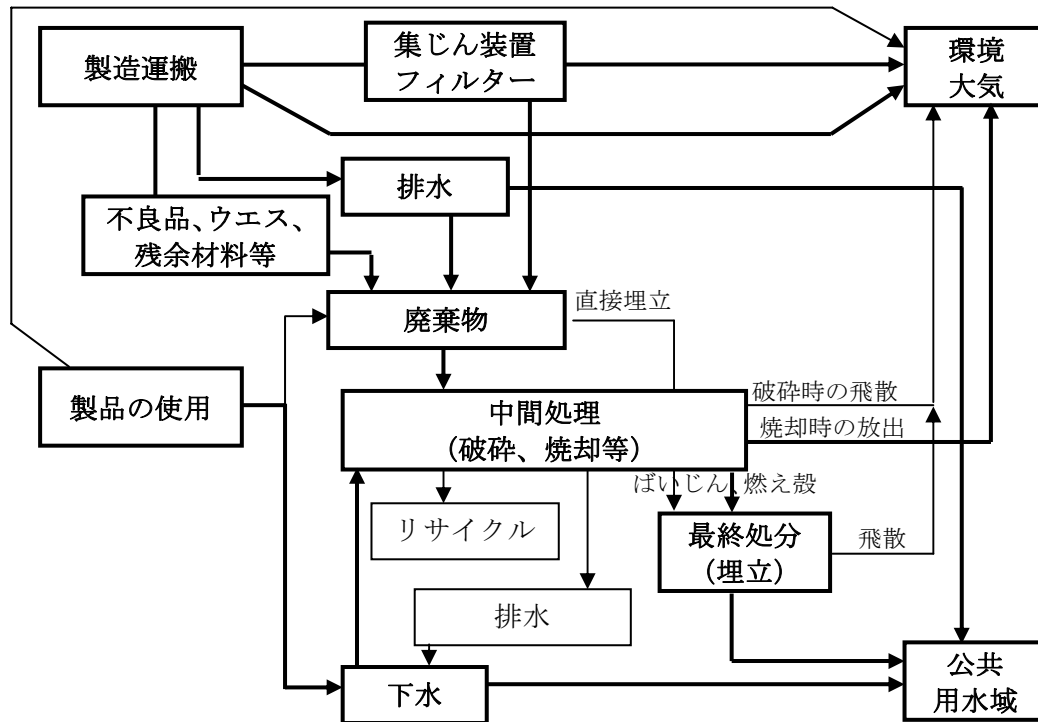
他方、家電製品に使用された場合は、製品使用時には上記と同様に下水中に一部が放出され、その後の経路も同様であるものと思われる。

また、廃棄時には、一部はサーマルリサイクル、一部は直接埋立処理されるものと思われる。サーマルリサイクル時には、焼却時に集じん装置で捕集されるか、あるいはそのまま大気中に放出されると思われる。また、埋立処理された場合（排水処理施設からの汚泥も含む）は、覆土等により再飛散は乏しいものの、一部が浸出水に移行し最終処分場の排水処理施設から公共用水域に放出される可能性があるとして想定した。

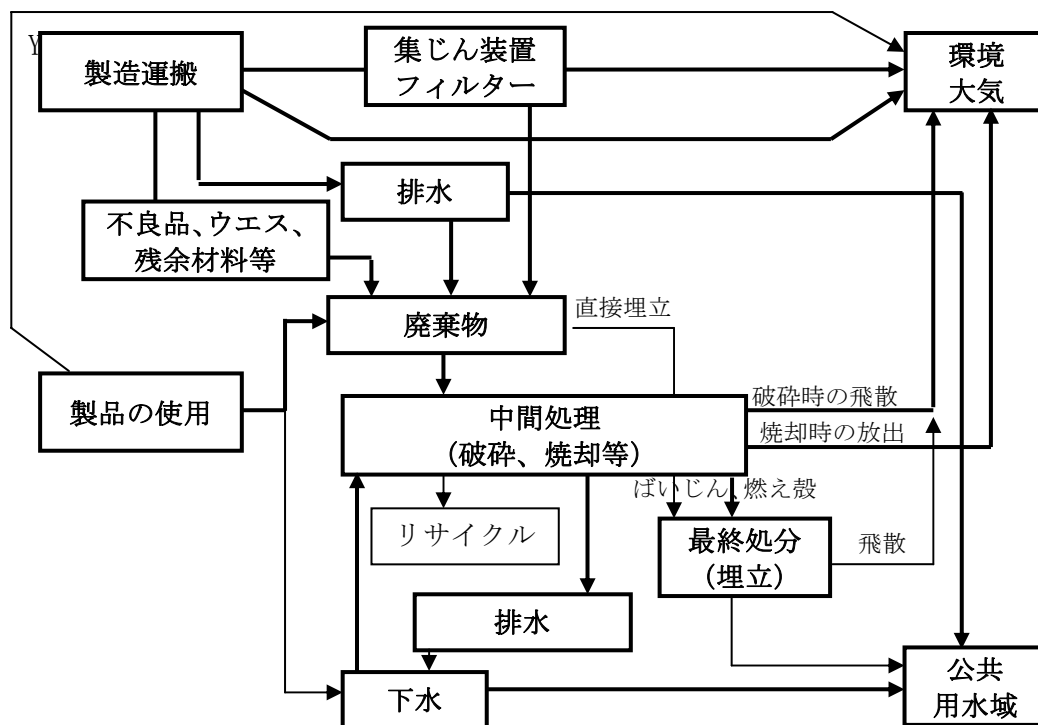
想定される経路は複雑であるが、現状での不明点は下記の事項である。

- ・ 運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・ 事業場排水処理における除去効率
- ・ 使用済みフィルターの焼却処理における集じん機の捕集効率
- ・ 排水処理施設での回収率
- ・ 焼却時の集じん装置での捕集率

- ・埋立処分（製品のまま）後の土壌への吸着度（浸出水への移行の可能性）



付図 8-1 銀ナノ粒子の製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（繊維製品等利用）



付図 8-2 銀ナノ粒子の製品使用に伴う環境への放出経路の想定図（家電利用）

(9) 酸化セリウム

参加セリウムの製造、運搬に伴う大気環境への放出、排水処理時の公共用水域への放出（凝集沈殿を実施しているとの情報があるものの、ナノサイズの粒子の除去効率は確認されていないことから）、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

さらに、使用済みフィルターの焼却処分時には、集じん機の捕集効率が不明であることから、大気への放出があり得るとした。なお、排水処理汚泥は産業廃棄物として固化後埋立処分されることから、その経路での環境への放出はないとした。

酸化セリウムは半導体関連の研磨剤及びガラスの研磨に用いられており（厚生労働省資料、福島県資料、Limbach, L. K. et. al. (2008)）、使用時は水に分散させて用いられる。再循環利用等の利用形態に関する情報はないが、福島県資料では「ガラス工場では汚泥とともに廃棄される」とある。

したがって、酸化セリウムの使用は事業場に限られ、大気への放出は乏しいが、排水には多く含まれる可能性がある。

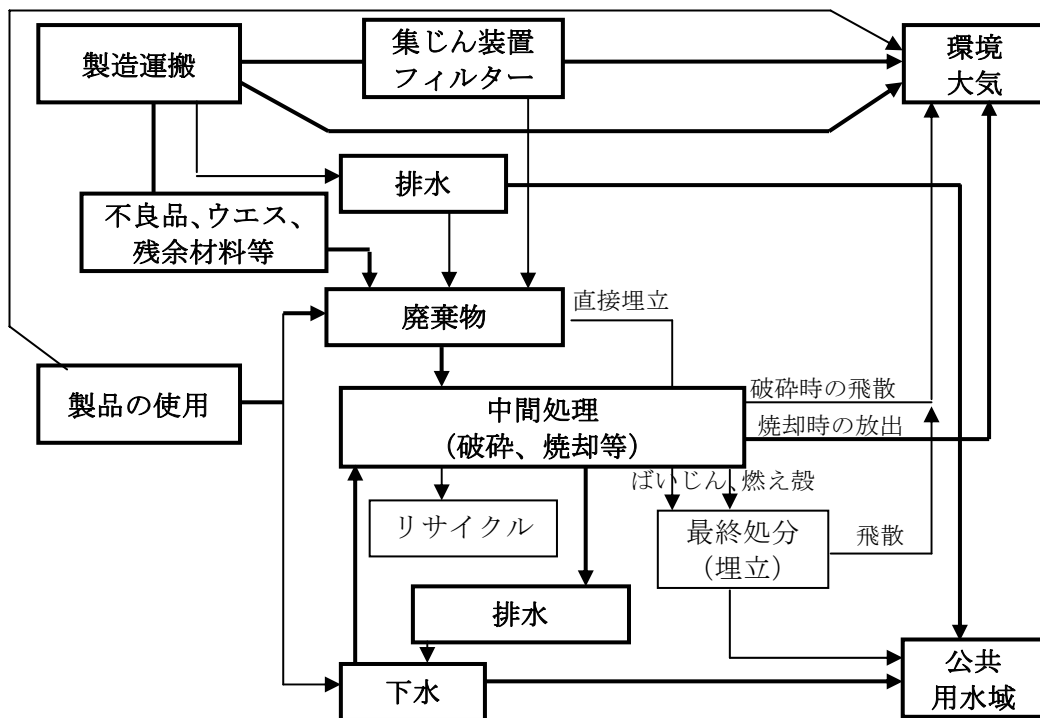
酸化セリウムの排水処理における除去率について、スイスの研究者によれば、実験室でのモデル排水処理過程で最大6%程度の酸化セリウムが処理後の排水中に含まれていたとする報告がある（Limbach, L. K. et. al. (2008) *Environmental Science & Technology*. 42(15).）。

事業場等で実施される排水処理施設での除去効率については情報はないが、除去できなかったものが公共用水域に放出される可能性はあるものと思われる。

なお、処理汚泥は産業廃棄物として処理（固化等）されると思われることから、汚泥をとおしての環境への放出の可能性は少ないと考えた。

現状での不明点は下記の事項である。

- ・ 運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・ 事業場排水処理における除去効率
- ・ 使用済みフィルターの焼却処理における集じん機の捕集効率
- ・ 研磨剤としての再生利用率
- ・ 研磨剤使用事業場の排水処理施設での回収率



付図9 酸化セリウムの使用に伴う環境への放出経路の想定図

(10) カーボンナノファイバー

フラーレンの製造、運搬に伴う大気環境への放出及び排水処理工程での公共用水域への放出の可能性、及び事業場の排気に伴う放出の可能性があるとした（HEPA フィルターの使用の大気放出抑制効果は不明と想定）。

ただし、使用済みフィルターや排水汚泥中のフラーレンは焼却されることで分解され、その経路での環境への放出は少ないと考えた。

カーボンナノファイバーは現状ではリチウム二次電池の電極に使用されている。

リチウム二次電池は約40%が回収され、正極に含まれるCoが回収されているとのことである。負極中のカーボンナノファイバーの処理工程での挙動は不明であるが、酸溶解時に溶解し残渣として排水処理施設で処理されると想定される。

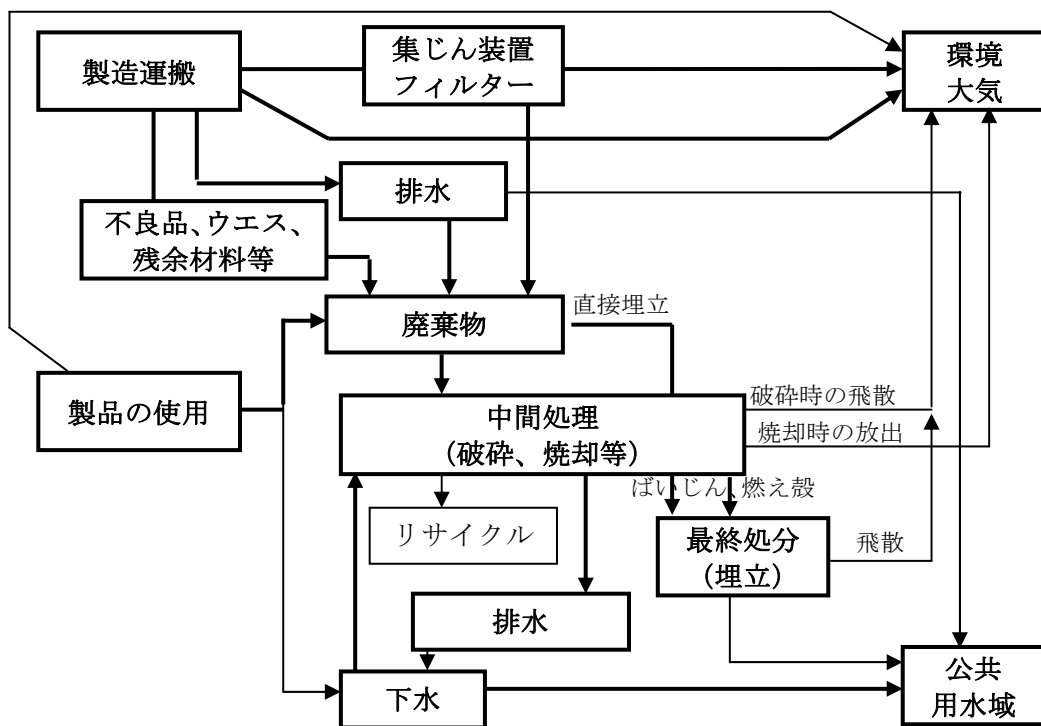
排水処理施設では汚泥に移行すると思われるが、一部は直接公共用水域に排出される可能性があると考えた。

また、処理汚泥は埋立処分されるものと思われるが、その後の挙動は不明であるものの、やはり覆土等の措置が施されることから、再飛散あるいは浸出水処理施設を通じて公共用水域に放出される可能性は小さいと想定した。

なお、回収されていない二次電池の処理経路は不明である。一部は直接埋立処分されている可能性があるが、その場合には電極に混練されていることから、再飛散の可能性は小さいものと思われる。

現状での不明点は下記の事項である。

- ・ 運搬、梱包時の扱い（大気放出の可能性）
- ・ 事業場排水処理における除去効率
- ・ 使用済みフィルターの焼却処理における集じん機の捕集効率
- ・ 焼却時の分解率
- ・ リサイクル施設でのカーボンナノファイバーの移行経路
- ・ 排水処理施設での回収率
- ・ 未回収電池（全体の約 60%）の処理等の状況



付図10 カーボンナノファイバーの製品使用に伴う環境への放出経路の想定図