

ナノ材料の用途、使用量、開発状況

1. 国内における代表的なナノ材料の製造等の状況

ナノ材料は現在盛んに研究開発や製品開発が進められている分野で、その製品の製造量や用途については、まとまった統計等はない。

ここでは、厚生労働省による「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、ナノマテリアルの安全対策に関する検討会（合同会合）」（第 1 回及び第 2 回）で使用された資料を主に活用し、その他の新聞情報等の情報もあわせて集約した。

表 1 はナノ材料の使用状況の総括表である。

用途別には、化粧品、家電・電気電子製品、塗料・インクでの使用例が多く、素材別に見ると、二酸化チタン、シリカ、ナノクレイの使用例が多い。

また、図 1 に同じく厚生労働省の合同部会での資料から、主要なナノ材料の使用量と粒子径の図を示した。ナノ材料の区分に入る粒子径（1～100nm）の素材について使用量別にみると、下記のような使用量があるものと推測されている。

- 1000 トン／年以上：カーボンブラック、シリカ、二酸化チタン、ニッケル
- 100 トン／年以上：顔料微粒子、アルミナ、酸化亜鉛、モンモリロナイト、
アクリル微粒子
- 10 トン／年以上：複層カーボンナノチューブ、 dendrogram、銀＋無機粒子
- 1 トン／年以上：フラーレン、酸化セリウム

さらに、表 2 に上記の厚生労働省第 2 回合同部会での資料及びその他の情報に基づいて、代表的なナノ材料の使用状況等についての情報を集約した。

各ナノ材料の使用状況の概要は下記のとおりである。

(1) カーボンブラック

カーボンブラックの 2006 年の使用量は約 83 万トンで、ナノ材料の中でも特に多量に使用されている。なお、使用の 95%はタイヤへの使用（ゴムへの混練）とされている。

(2) シリカ

シリカはゴムや樹脂に混練されて使用されている。2006 年の年間使用量約 13,500 トンのうち、約 60%がシリコーンゴム向けで、その他 FRP や塗料に 10%程度の使用があるものとされている。

(3) 二酸化チタン

二酸化チタンは、世界レベルでは、ナノサイズよりも大きい粒子のものが年間500万トンといったレベルでプラスチック等への混練として使用されているという情報があるが¹、我が国でのナノ材料としての二酸化チタンの2006年の使用量は約1,250トンで、そのうち約60%が化粧品、約30%がトナーで、その他塗料等に利用されている。

(4) 酸化亜鉛

酸化亜鉛はゴムや樹脂に混練されて使用されている。2006年の年間使用量約480トンのうち、約80%が化粧品である。

(5) 単層カーボンナノチューブ

単層カーボンナノチューブは樹脂やセラミックに混合しての使用が予想されているが、現状では研究開発中であり、2006年の使用量も約100kg程度である。

(6) 多層(複層)カーボンナノチューブ

多層カーボンナノチューブは樹脂に混合させて使用されており、2006年の年間使用量約60トンのうち、半導体トレイに約90%が使用されているとされている。2010年には150トンと2.5倍の使用量が見込まれており、他のナノ材料の多くが年間数%の伸びが予測されているのに比べると、将来市場の伸びが大きく、具体的な生産計画に関する情報も多い。

(7) フラーレン

フルーレンは、2006年の年間使用量約2トンのほとんど全てがスポーツ関連に使用されており、樹脂への混練の形態で使用されている。ただし、現状で使用されているサイズは20-40 μm と凝集した二次粒子の大きさとされている。

(8) カーボンナノファイバー

カーボンナノファイバーは、樹脂への混練の形態で2006年には年間で60-70トンが使用されており、そのうち約半量がリチウム電池への使用である。

(9) デンドリマー

デンドリマーは、紙のコーティングや化粧品中に使用されており、2006年の年間使用量は約50数トンで、95%が紙への塗布、5%が化粧品としての使用となっている。

なお、(独)産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センターが提供するナノ材料を使用した製品情報²の集約表を末尾の参考に示す(2008年3月末時点)。具体的なナノ物質名が記載されたものを抽出したものであるが、web site等に掲載

¹米国NGOのenvironmental DefenceとDupontが協働している Nanorisk Framework で、サンプルとして報告されている資料

http://www.environmentaldefense.org/documents/6914_CNTs_Worksheet.pdf

² http://staff.aist.go.jp/kishimoto-atsuo/nano/analysis_text.htm

された商品情報をそのまま使用しており、実際にナノ材料であるか等については未確認である点には注意を要する。世界レベルでは米国のWoodrow Wilson 国際センターのweb上に類似の情報が集約されているが、日本の製品に関する参考情報としてまとめたものである。

内容の詳細が未確認であるが、商品紹介において明らかに「ナノ～」としたものは、現状で 270 件余りあり、10 件以上の製品－素材のものは下記のものであった。

- 歯磨き－銀
- スキンケア－白金
- 食品・飲料－白金
- 掃除機－チタン
- スポーツ用品－フラーレン
- スキンケア－フラーレン
- スポーツ用品－カーボン

また、素材別に見れば、白金、銀、フラーレン、チタンの使用例が多い。

2. ナノ材料の生産等の動向に関するその他の情報

ナノ材料の製造等の状況に関する情報は、EPAのNanotechnology White Paper³ や Royal Society の Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties⁴ にも示されているが、材料と製品の関係が不明確になっており、現状で世界レベルでのナノ材料の生産等の動向に関する適した資料は数少ない。

素材別の将来動向の推定例として、表4に、UNEPのGEO Year Book 2007 の Emerging challenge Nanotechnology and the Environment⁵ に掲載された世界でのナノ材料の商業ベースでの使用予測例を示す。

これによれば、シリカ、二酸化チタン、ニッケル、ポリ乳酸ファイバー、酸化イットリウム、カーボンファイバー、カーボンナノチューブの使用量の増大が推測されており、数年後にはフラーレンで 300 トン、酸化セリウムでは 1 万トンレベルでの使用が推測されている。

³ U.S.EPA (2007) Nanotechnology White Paper

⁴ Royal Society (2004) Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties

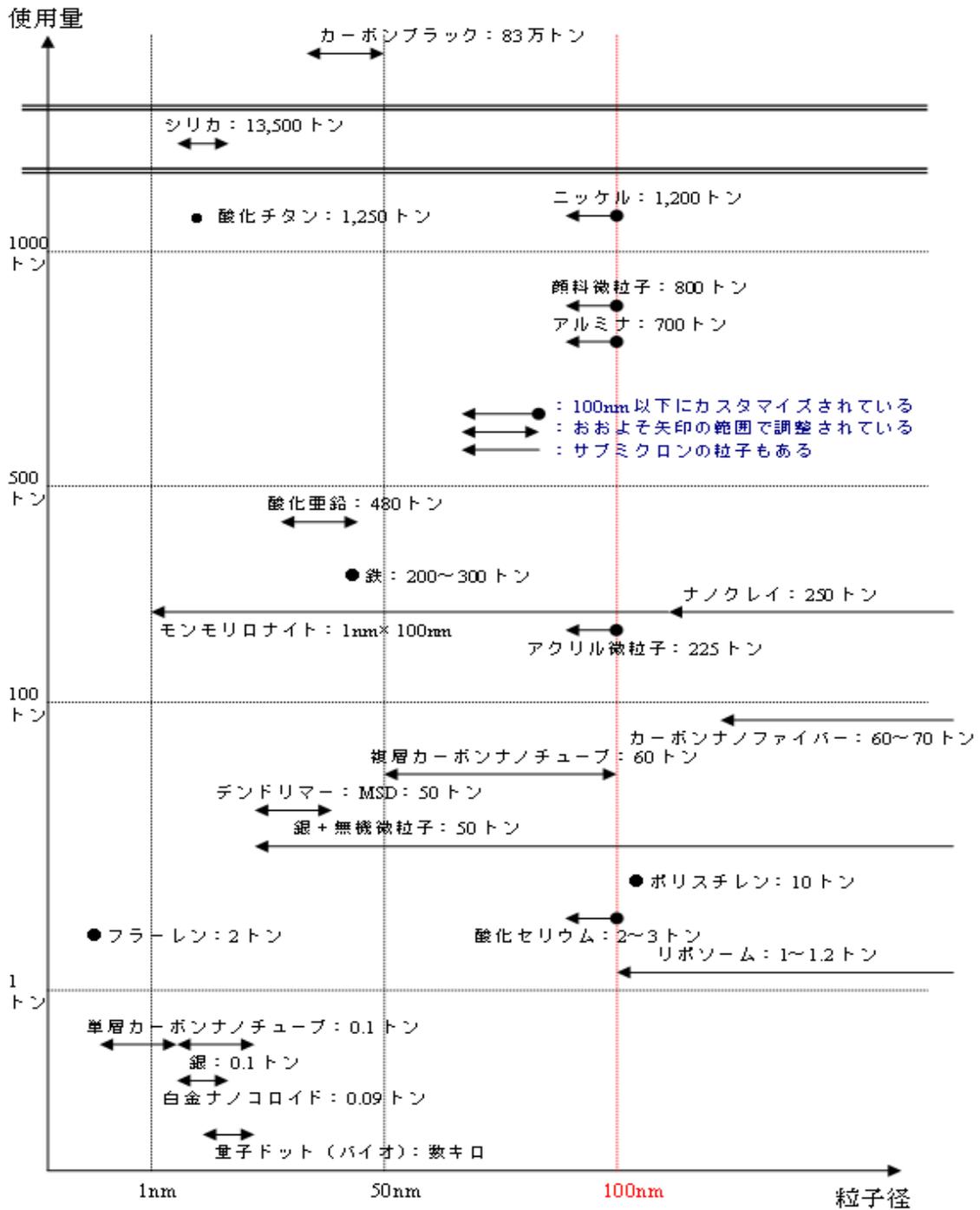
⁵ Emerging challenge Nanotechnology and the Environment
http://www.unep.org/geo/yearbook/yb2007/PDF/7_Emerging_Challenges72dpi.pdf

表 1 用途別ナノマテリアル別展開状況

| | 医薬品等 | 食品・パッケージ | 化粧品 | 繊維 | 家庭用品・スポーツ | 家電・電気電子製品 | 塗料・インク | その他紙加工 | ○の素材別計 | △の素材別計 | 素材別合計 |
|-------------|------|----------|-----|----|-----------|-----------|--------|---------|--------|--------|-------|
| フラーレン | △ | | ○ | | ○ | △ | | | 2 | 2 | 4 |
| SWCNT | | | | | | ○ | | | 1 | 1 | 2 |
| MWCNT | △ | | | △ | | ○ | ○ | | 2 | 2 | 4 |
| 銀 | △ | | | | | ○△ | | △触媒 | 1 | 3 | 4 |
| 銀＋無機鉄 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | 6 | - | 6 |
| カーボンブラック | | | ○ | | | ○△ | ○ | △高品質タイヤ | 3 | 2 | 5 |
| 酸化チタン | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○△ | ○ | 6 | 1 | 7 |
| アルミナ | | | | | | ○△ | △ | | 1 | 2 | 3 |
| 酸化セリウム | | | △ | | | ○ | | | 1 | 1 | 2 |
| 酸化亜鉛 | ○ | | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | | 5 | 1 | 6 |
| シリカ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | 7 | - | 7 |
| ポリスチレン | | | ○ | | | ○ | ○△ | | 3 | 1 | 4 |
| デンドリマー | △ | | ○ | | | △ | | ○ | 2 | 3 | 5 |
| ナノクレイ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | ○農薬 | 6 | 1 | 7 |
| カーボンナノファイバー | | | | | ○ | ○ | | △風力発電 | 2 | 2 | 4 |
| 顔料微粒子 | | | | | | | ○ | | 1 | - | 1 |
| アクリル微粒子 | | | ○ | | | ○ | ○ | | 3 | 1 | 4 |
| リポソーム | ○ | △ | ○ | | | | | | 2 | 1 | 3 |
| 白金ナノコロイド | | ○ | ○ | | | △ | | ○触媒 | 3 | 1 | 4 |
| 量子ドット | △ | | | | | △ | | ○研究用試薬 | 1 | 2 | 3 |
| ニッケル | | | | | | ○ | | | 1 | - | 1 |
| ○の用途別計 | 4 | 4 | 12 | 4 | 5 | 15 | 10 | - | | | |
| △の用途別計 | 5 | 2 | 2 | 1 | 0 | 10 | 4 | - | | | |
| 用途別合計 | 9 | 6 | 14 | 5 | 5 | 25 | 14 | - | | | |

※調査結果を基に TRC/TBR 作成

※○：現状の用途、△：将来可能性のある用途、○△：将来用途分野が広がる領域



※調査結果を基に TRC/TBR 作成

図1 主要ナノマテリアルの使用量と粒子径

表 2 (1) 代表的なナノ材料の使用状況

| 出典 | 項目 | カーボンブラック | シリカ | 二酸化チタン | 酸化亜鉛 |
|--------|--------------------------|--------------------------------|---|---|-----------------------|
| ※ 1 | 粒子径 | 16～50nm | 乾式シリカ 7～22nm | 15～100nm ルチル型結晶 | 20～40nm |
| | 2006 年 国内使用量 | 約 83 万トン | 約 13,500 トン | 約 1,250 トン | 約 480 トン |
| | 用途構成 | タイヤ：95%、 顔料：4%、 導電性用途：1% | シリコンゴム向け：57%、 FRP：11%、 塗料：10%、 その他：22% | 化粧品：60%、トナー：33%、自動車用塗料： 5%、その他：2% (日焼け止め製品やファンデーションに多く 使われている(※2)) | 化粧品：80%、 その他：20% |
| | 使用形態 | ゴムや樹脂に混練、インクには分散等 | ゴムや樹脂に混練 | 塗料へ分散、樹脂に混練 | 化粧品基材へ混練 |
| | ナノ利用の メリット | 導電性・着色性 | 強度向上・絶縁性・ 耐水性等 | 紫外線カット、電荷調節剤、光触媒 | 紫外線カット、透明性向上 |
| | 将来市場 | 横這いもしくは微減 | 年率数%の伸び | 年率数%の伸び | 年率数%の伸び |
| | 将来用途 | 燃料電池・化粧品 ・高品質タイヤ | 既存用途の成熟化 | 化粧品拡大、トナー・ディスプレイ用、反射防止フィルム | 透明導電膜利用(酸化インジウムスズの代替) |
| その他の情報 | ・タイヤにはかなり以前から使用されている(※2) | ・ファンデーションに2%、歯磨に20%という例がある(※2) | ・表面処理剤として、水酸化アルミニウムやシリコーン、シリカ等が使われている。(※2) ・日焼け止め化粧品には3～5%、ファンデーションには5～20%の処方例が紹介されている(※2) ・工業的に利用されているのはルチル型とアナターゼ型。製品により粒径などが異なる。 | ・表面処理剤として、ステアリン酸アルミニウム、シリカ、シリコーンが使われている(※2) ・ファンデーションで7%という処方例がある(※2) | |

※ 1：「第 2 回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、第 2 回ナノマテリアルの安全対策に関する検討会(第 2 回合同会合)」、資料 3：ナノマテリアルの用途・生産量調査結果報告

※ 2：同上 議事録

表 2 (2) 代表的なナノ材料の使用状況

| 出典 | 項目 | 単層カーボンナノチューブ | 複層カーボンナノチューブ | フラーレン |
|--------|--|----------------------------------|--|-----------------------|
| ※ 1 | 粒子径 | 直径：0.8～1.4nm 長さ：0.1～1 μ m | 直径：40～90nm 長さ：数十 μ m | 20～40 μ m (※二次粒子) |
| | 2006年 国内使用量 | 約 100kg | 約 60 トン | 約 2 トン |
| | 用途構成 | 研究開発中：100% | 半導体トレイ：90% その他：10% | スポーツ：100% |
| | 使用形態 | 樹脂やセラミックスに混練 | 樹脂への混練 | 樹脂への混練 |
| | ナノ利用の メリット | 軽量化、導電性付与 | 導電性付与、高強度、電磁シールド | 反発性能の向上、軽量化、強度向上 |
| | 将来市場 | 伸び悩み | 2010年に150トンへ | 現在の用途では使用量は変化せず |
| | 将来用途 | 高速動作トランジスタ、燃料電池、水素ガス吸蔵等 | 導電ペースト、蓄電デバイス、燃料電池、医療等 | 燃料電池、太陽電池、バイオ医療、化粧品 |
| その他の情報 | <ul style="list-style-type: none"> バイエルマテリアル社は、MWCNTの年間260トンの生産量うち、1/3をアジアで販売する計画。(2008/02/18, 日経産業新聞) 日精樹脂はCNTを樹脂に均一分散する技術を開発。生産能力は年間100トン进行計画。(2007/08/28, 日刊工業新聞) カーボンナノチューブの2006年の生産量は、リチウムイオン電池の電極材の導電添加剤などに使われ始めたMWCNTで日本が48%、研究段階のSWCNTの供給でも日本は51%を占めている。(2007/05/15, 日経産業新聞) 物産ナノテク研究所は協業企業と共同でカーボン・ナノチューブを塗布した導電性透明樹脂膜を開発、今夏にも試験生産を始める。(2005/04/11, 日経産業新聞) | | <ul style="list-style-type: none"> 三菱商事の子会社「ビタミンC60バイオリサーチ」がフラーレンを使った美白化粧水を発売した。(2005/03/29, asahi.com) 半導体からボーリングのボールのコーティングに商業的に使用されているフラーレンはトンレベルで日本の三菱の工場(Mitsubishi plant)で製造されている。(2004/09/13, Environmental Health Perspective. 112, 13. 741-747. | |

※ 1：「第2回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、第2回ナノマテリアルの安全対策に関する検討会(第2回合同会合)」、資料3：ナノマテリアルの用途・生産量調査結果報告

表 2 (3) 代表的なナノ材料の使用状況

| 出典 | 項目 | カーボンナノファイバー | デンドリマー |
|--------|------------|-----------------------|----------------------------|
| ※ 1 | 粒子径 | 直径：150nm、長さ：10～20 μ m | 紙用途：20～30nm、化粧品用途：2～3nm |
| | 2006年国内使用量 | 60～70 トン | 紙用途：約 50 トン、化粧品用途：数トン |
| | 用途構成 | リチウム電池：50%、その他：50% | 紙用途：95%、その他：5% |
| | 使用形態 | 樹脂への混練 | 紙コーティング剤、化粧品：リキッドファンデーション |
| | ナノ利用のメリット | 導電性付与、熱伝導率向上 他 | 紙：レオロジーコントロール、化粧品：撥水性、撥油性 |
| | 将来市場 | 2010年に200 トンへ | 紙用途：今後数年は横這い、化粧品用途：世界販売を展開 |
| | 将来用途 | スポーツ、風力発電用ブレード、燃料電池 | 紙用途の拡大、医療、燃料電池 |
| その他の情報 | | | |

※ 1：「第 2 回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、第 2 回ナノマテリアルの安全対策に関する検討会（第 2 回合同会合）」、資料 3：ナノマテリアルの用途・生産量調査結果報告

<その他の情報>

- ・三ツ星ベルトは金属ナノ粒子の新製法を確立。銀ナノ粒子については数 10g オーダーでの供給体制を整えている。2010 年度には金属ナノ粒子関連で 5 億円の売上高を目指す。(2006/11/27, 日刊工業新聞,)
 - ・Woodrow Wilson センターのナノテクノロジー使用製品の目録では、銀ナノ粒子は現状で最も広く使用されている (381 品目中 67 品目)。
 - ・掃除機、洗濯機、絆創膏、医療器具、抗菌作用を持たせた台所用品、靴下、その他の繊維製品、清掃用品、フィルター、歯ブラシや歯磨き粉、赤ん坊のおしゃぶり、その他の乳児用品、コンドーム、栄養補給剤
 - ・銀ナノ粒子は二酸化チタンとともにコーティング剤に使用されており、香港地下鉄 (MTR) の駅や周辺の商店街、(MTR の) 事務所や休憩施設に使用されている。
- (以上 FoE の資料 (※ 4) から抜粋)

※ 4：Nanosilver-a threat to soil, water and human health?

(<http://nano.foe.org.au/filestore2/download/189/FoE%20Nanosilver%20report.pdf>)

表3 ナノ粒子の使用動向の推定例 (UNEP GEO Year Book 2007)

Major types of nanoparticles anticipated to be commercially available in 2006 - 14
(Tonnes/year)

| Product | 2006 - 07 | 2008 - 10 | 2011 - 14 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Nickel (carbon-coated) (Ni-C) powders | 3,500 | 7,500 | 15,000 |
| Poly(L-lactic acid) (PLLA) nanofibres | 500 | 2,500 | 5,000 |
| Yttrium Oxide (Y ₂ O ₃) nanopowders | 2,500 | 7,000 | 7,500 |
| Ceria (CeO ₂) nanoparticles, coatings | N/A | 10,000 | N/A |
| Fullerenes | N/A | 300 | N/A |
| Graphite Particles | 1,000,000 | N/A | N/A |
| Silica (SiO ₂) nanoparticles, coatings | 100,000 | 100,000 | >100,000 |
| Titania (TiO ₂) nanopowders thin layers | 5,000 | 5,000 | >10,000 |
| Zinc Oxide (ZnO) nanopowders, thin films | 20 | N/A | N/A |

(USD/year)

| Product | 2006 - 07 | 2008 - 10 | 2011 - 14 |
|------------------|-------------|-------------|------------|
| Carbon black | ~8 billion | 10 billion | 12 billion |
| Carbon nanotubes | 700 billion | 3.6 billion | 13 billion |

Source : NanoroadSME, a research project funded by the European Commission, 2006

(参考表) ナノ材料を使用した製品－素材一覧 (産業技術総合研究所 web 資料から作成: 本文参照)

| 既存の製品の種類 | ナノ物質の素材 | | | | | | | | | | | | | | 小計 |
|----------|------------|----|-----|-------|------|---|-------|--------|-----|------|-------|------|------------|--------|-----|
| | 銀 | 白金 | チタン | 酸化チタン | 酸化亜鉛 | 金 | ステンレス | ゲルマニウム | ケイ素 | アルミナ | フラーレン | カーボン | カーボンナノチューブ | ダイヤモンド | |
| スポーツ用品 | 2 | — | 6 | 1 | — | — | — | — | — | — | 20 | 12 | 8 | — | 49 |
| 衣類 | 3 | — | 3 | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | 8 |
| 化粧品 | UVケア | — | 3 | — | 1 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | 6 |
| | スキンケア | 3 | 43 | — | 2 | 1 | 4 | — | — | — | 13 | — | — | — | 66 |
| | ファンデーション | — | — | — | 6 | 3 | — | — | — | — | — | — | — | — | 9 |
| 食品・飲料 | 1 | 22 | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | 24 |
| 電化製品 | エアコン | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | ゴミ処理機 | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 |
| | 加湿器 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 |
| | 乾燥機 | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 |
| | 空気清浄機 | — | — | 2 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3 |
| | 除湿機 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 食器洗浄乾燥機 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 洗濯機 | — | — | 6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 6 |
| | 掃除機 | 1 | 3 | 11 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 15 |
| | 調理器具 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 美顔器 | — | 4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 4 |
| | 冷蔵庫 | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | 4 |
| 日用品 | コンディショナー | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 |
| | シャンプー | 2 | 4 | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 7 |
| | ボディソープ | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | 3 |
| | 歯磨き | 13 | 1 | — | — | — | 3 | — | — | — | — | — | — | — | 17 |
| | マスク | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 |
| | 消臭・防カビスプレー | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 清潔キープ剤 | 3 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | 4 |
| | 洗浄剤 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 脱臭材 | 1 | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3 |
| | 抗菌剤 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 |
| | 傘 | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 傘入れ | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 食品容器 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 調理器具 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| その他 | ミッションオイル | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | 1 |
| | ワックス | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | 1 | 3 |
| | 光イコティング剤 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | エンジンオイル添加剤 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | 6 | 1 | — | 2 | 10 |
| | オートイケアブル | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| | 添加剤 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | 1 |
| | 電気接点改質剤 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | 3 | 6 |
| 小計 | 44 | 85 | 37 | 11 | 6 | 9 | 2 | 3 | 2 | 1 | 42 | 17 | 8 | 6 | 273 |