

本文

## 1. ナノ材料含有製品に係るばく露量等の推計及びリスク評価手法検討のための予備調査の実施

### 1. 1 委員会の設置及び開催

ナノ材料含有製品に係るばく露量等の推計及びリスク評価法検討のための予備調査及び検討等に対して、専門的見地から助言を求めため、学識経験者等からなる「ナノ材料の消費者ばく露推計に関する検討委員会」を設置し、非公開にて開催した。

#### 1. 1. 1 ナノ材料の消費者ばく露推計に関する検討委員会の委員

(略)

## 1. 1. 2 ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会の設置要綱

ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会における設置要綱を表 1.1.2-1 に示す。

表 1.1.2-1 ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会 設置要綱

平成 22 年度 ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会  
設置要綱 (抄)

### 1. 目的

一部のナノマテリアルについては、一般消費者向けの製品への利用が拡大しており、今後もナノマテリアルを使った新たな製品が開発されることにより、ナノマテリアルがさまざまな用途に用いられることが予想される。

他方で、ナノマテリアルの安全性に関しては、現在まで人の健康に影響を及ぼすという報告はないものの、動物実験データも少なく、人の健康への影響を予測するために必要十分なデータが得られた状況にない。しかしながら、粒子(分子)のサイズが小さくなること等により、ナノマテリアルが一般的の化学物質とは異なる有害性を有することが示唆されている。

以上の状況を踏まえ、代表的ナノマテリアル含有製品の使用時におけるばく露量等を推計し、さらに、日本国内におけるナノマテリアル含有製品に係る消費者ばく露評価を検討するため、専門家によるナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会を設置する。

### 2. 検討内容

ナノマテリアルの含有製品に関する情報、消費者ばく露手法に関する情報等の文献調査を踏まえ、代表的なナノマテリアル含有製品の使用時におけるばく露量の推計方法及び推計結果について検討する。

なお、事務局が実施する国内外におけるリスク評価手法等に関しては、収集状況に応じてその内容を事務局から報告するものとする。

## 1. 1. 3 ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会の開催日程及び検討内容

(略)

## 1. 1. 4 ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会の議事要旨の作成

(略)

ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会時において、議事要旨を作成した。作成した議事要旨は以下に示すとおりである。

### (1) 第1回 ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会

#### 1) 議事

- ・ナノマテリアルの消費者ばく露推計の実施計画について
- ・ナノマテリアルの消費者ばく露推計手法について

#### 2) 配布資料

- 資料1 ナノマテリアルの消費者ばく露推計の実施計画 (案)
- 資料2 ナノマテリアルの消費者ばく露推計のためのシナリオについて
- 資料3 ナノマテリアルの消費者ばく露の推計方法について
- 資料4 ナノマテリアルのリスク評価手法に関する情報について

### (2) 第2回 ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会

#### 1) 議事

- ・ナノマテリアル含有製品に係る消費者ばく露の対象シナリオ及び計算方法について
- ・ばく露推計のためのパラメータの収集及び試算について

#### 2) 配布資料

- 資料1 ナノマテリアル含有製品に係る消費者ばく露の対象シナリオ及び計算方法について
- 資料2 ナノマテリアル含有製品に関する情報
- 資料3 海外動向調査報告について

### (3) 第3回 ナノマテリアルの消費者ばく露推計に関する検討委員会

#### 1) 議事

- ・ばく露推計のためのパラメータの収集及び試算について
- ・収集したパラメータを用いたばく露推計の計算結果について
- ・海外動向調査報告について

#### 2) 配布資料

- 資料1 ナノマテリアル含有製品に関する情報 (加筆・修正版)

- 資料2 収集したパラメータを用いたばく露推計の計算結果について
- 資料3 海外動向調査報告について（定義情報のまとめについて）

## 1. 1. 5 ナノマテリアル含有製品に係るばく露量等の推計及びリスク評価手法検討のための予備調査

### (1) ナノマテリアルの消費者ばく露推計の実施計画

ナノマテリアル含有製品に係るばく露量等の推計の実施に際して、下記に通り計画を立てた。

#### 1) ばく露推計シナリオの検討

国内外の公表資料を用いて、ナノマテリアルの製品に関する情報、消費者ばく露に関する情報を収集整理し、消費者ばく露推計に供すべき対象製品群及びばく露シナリオを検討した。なお、対象製品群は、薬事法及び食品衛生法に該当するものは除外した。

#### 2) ばく露推計手法の検討

消費者ばく露に関する国内外の公表資料を収集し、その計算方法を精査し、1) で選定したばく露推計シナリオへの適用性について検討する。

#### 3) ばく露推計のためのパラメータの収集

1)、2) で選定した消費者ばく露のシナリオごとの推計計算に使用するパラメータについて、できる限り多くの情報を収集、整理する。ナノマテリアルの含有率等の製品情報について収集する。

#### 4) ばく露推計

1)、2)、3) で検討した結果に基づき、ナノマテリアルの消費者へのばく露量の推計を行う。

なお、一定の製品群に使用されているナノマテリアルが複数あることも多いため、使用する含有率等の情報としては個々の製品の情報を参考にするが、ばく露評価においては特定のナノマテリアルに限定せず、一定の製品群として扱うものとする。

(2) ばく露推計シナリオの検討

(1) に示した実施計画にのっとり、ばく露シナリオの検討を行った。

1) ナノマテリアルの使用状況等の調査

ナノマテリアルの消費製品中の存在状況については、ナノマテリアルを含む製品に関する情報が限られていることから、取りまとめられた資料は数少なく、また、その取りまとめはなんらかの簡略化が行われている。

表 1.1.5-1 は RIVM (オランダ国立公衆健康環境研究所) が 2009 年に公表した資料 1) において、製品群別 (サブカテゴリーまで) に、使用されているナノマテリアルの種類 (複数の表示もある) を示したものである。

あわせて、ばく露の可能性について、製品数、消費量、専門家の評価の 3 種類の情報に基づいた評価結果 (表中の+) が示されている (専門家のコメントは表 1.1.5-2 参照)。

表 1.1.5-1 ナノマテリアル含有製品の製品群別の製品数、使用量、専門家によるばく露の推定による評価結果 (RIVM 報告書 (2009) から作成)

製品群		含有される化学物質	製品数	使用量	専門家
ケア用品、化粧品	日焼け防止	酸化亜鉛、二酸化チタン	+	+	+
雑貨	コーティング剤、接着剤 (DIY)	ポリマー	+	+	+
ケア用品、化粧品	口腔保健	ハイドロキシアパタイト	+		+
ケア用品、化粧品	健康用品	銀	+		+
家庭用品	家庭用洗剤 (DIY)	二酸化チタン、ポリウレタン、アルミニウム、種々の物質	+		+
繊維製品	特殊衣料	ナノクレイ、ポリマー、CNT	+		
スポーツ用品	用具	CNT	+		
フィルター、浄化装置	フィルター	アルミニウム (浄水)、二酸化チタン (空気清浄)	+		
自動車	触媒	酸化セリウム		+	
自動車	内装	ナノクレイ、ポリマー、CNT		+	
雑貨	分離剤	シリカ		+	
電気製品、IT用品	コンピューター機器	クロム、コバルト、カーボン、酸化鉄		+	
家庭用品	容器包装	ナノクレイ		+	
自動車	燃料 (燃焼補助剤)	酸化セリウム			+

(表中の+ : それぞれの情報から、ばく露の可能性が高いとされたもの)

- : 3 種類の情報で、ばく露の可能性が示唆された製品群
- : 2 種類の情報で、ばく露の可能性が示唆された製品群
- : 1 種類の情報で、ばく露の可能性が示唆された製品群

<sup>1</sup> Wijnhoven, S.W.P., S. Dekkers, W. I. Hagens, W. H. de Jong. Exposure to nanomaterials in consumer products. RIVM/National Institute for Public Health and the Environment. Letter-Report 340370001/2009.

表 1.1.5-2 消費者製品へのばく露の可能性に対する専門家の基本的なコメント（1）

消費者分類	第二分類	化学物質	製品ランキングのための専門家のコメント
<b>High</b>			
化粧品	日焼け止め	酸化亜鉛 二酸化チタン	分散しているナノ粒子、身体の大部分の皮膚への接触、吸入ばく露、高利用頻度、多数の利用者、スプレーの場合更に高いばく露
化粧品	口腔衛生	ヒドロキシアパタイト	ナノ粒子の直接経口ばく露、分散や利用頻度が不明、消化管内の通過によるリスク。
化粧品	健康製品	銀	皮膚へ直接的に分散しているナノ粒子及び固体中に存在するナノ粒子のばく露、集中的な接触、荒れた肌、利用者は少ないが日常的な利用、分布や利用頻度が不明
自動車	燃料 (燃焼後)	酸化セリウム	排気ガス、スモッグ、吸入ばく露、屋外、大きな放出源になる可能性あり、燃焼後のナノ粒子、消費者ばく露、周辺環境への排出
雑貨	塗装と接着剤 (日曜大工)	高分子	液体もしくはガス内に分散しているナノ粒子への直接的な皮膚接触及び吸入ばく露、低分布、低利用頻度、スプレーによるばく露は高い
家庭用品と家の修繕	洗剤 (日曜大工)	二酸化チタン ポリウレタン アルミナ 様々なマテリアル	使用中に液体/ガス内の分散しているナノ粒子への皮膚の接触及び吸入ばく露、分布/利用頻度不明、スプレーによるばく露は高い
<b>Medium</b>			
家庭用品と家の修繕	塗装 (日曜大工)	高分子	使用中に液体/ガス内に分散している粒子への皮膚接触及び吸入ばく露、低分布、低利用頻度、スプレーによるばく露は高い
繊維製品と靴	職業上の衣類	ナノクレイ 高分子 カーボンナノチューブ	ナノ粒子は素材内に固定、考えられることは汗をかくことによる粒子放出、肌の大部分への接触、消費者ばく露、皮膚のみに対して更なる浸出
繊維製品と靴	織物被覆	高分子	ナノ粒子は素材内に固定、考えられることは汗をかくことによる粒子の放出、唾液、荒れた皮膚、潜在的に高分布、限られた接触
繊維製品と靴	その他衣類	カーボンナノチューブ	ナノ粒子は素材内に固定、考えられることは汗をかくことによる粒子の放出、唾液、荒れた皮膚、高分布、カーテン、限られた接触
自動車	装飾	ナノクレイ 高分子 カーボンナノチューブ	素材内に固定されたナノ粒子の直接的な皮膚接触、発汗による粒子の放出は知られていない、屋内、高濃度になる可能性あり
家庭用品と家の修繕	包装	ナノクレイ	固定されたナノ粒子、食物に転移した場合経口ばく露、分布は潜在的に高い、屋内環境への蓄積の可能性
ろ過と浄化	水ろ過	アルミナ	消費者とナノ粒子の接触はほとんどない、分布及び頻度については不明
ろ過と浄化	浄水 (スイミングプール)	ランタン	消費者とナノ粒子の接触はほとんどない、分布及び頻度については不明
家庭用品と家の修繕	掃除機	二酸化チタン ポリウレタン アルミナ 様々なマテリアル	ナノ粒子は素材内に固定
ろ過と浄化	空気ろ過	二酸化チタン	ナノ粒子は素材内に固定され使用中も転移しない、分布及び頻度については不明
電子機器とIT用品	コンピュータ・ハードウェア	クロム コバルト 炭素 酸化鉄	固体中に存在するナノ粒子は素材の内部に存在、吸入ばく露、粒子はほとんど転移しない、ユーザーは広く分布、屋内環境への蓄積
雑貨	隔離材料	シリカ	ナノ粒子は素材内に固定、隔離材料（絶縁体）の取り付け時のみ皮膚接触、吸入ばく露はほとんどない、分布は潜在的に高い

表 1.1.5-2 消費者製品へのばく露の可能性に対する専門家の基本的なコメント（2）

消費者分類	第二分類	化学物質	製品ランキングのための専門家のコメント
Low			
自動車	触媒変換機	アルミナ 白金 ロジウム パラジウム	ほとんど転移しない、固定されたナノ粒子、消費者との接触ない、吸入ばく露、屋外、高使用頻度、環境への排出がある場合
自動車	塗装	多様	素材内のナノ粒子の皮膚接触、塗装、コーティングは長く残る、使用中の転移はない
自動車	ライト	アルミナ	ほとんど転移しない、固定されたナノ粒子、消費者との接触はない
電子機器とIT用品	ディスプレイ	カーボンナノチューブ	素材の内部に固定されたナノ粒子との皮膚の接触は少ない、吸入ばく露、粒子はほとんど転移しない、ユーザーの分布は広い、屋内環境への蓄積。
電子機器とIT用品	録音機器	酸化鉄 アルミナ	製品からの粒子の排出は少ない、吸入ばく露はほとんどない、屋内環境への蓄積、高使用頻度
電子機器とIT用品	エネルギー関連 (バッテリー)	カーボンナノチューブ リチウムナノ粒子	固定化されたナノ粒子のためほとんど飛散しない。(電池の液漏れ時程度か)。使用中の経皮及び経気道ばく露はない
電子機器とIT用品	電子機器	シリカ ナノクレイ 酸化鉄	ほとんど転移しない、固定されたナノ粒子、消費者との接触はない、吸入ばく露、屋外、高使用頻度、環境へ排出の場合高い
電子機器とIT用品	ライト	量子ドット	ほとんど転移しない、固定されたナノ粒子、消費者との接触はない
雑貨	塗料及び接着剤 (下塗り)	高分子	素材内の固体中に存在する粒子との皮膚接触、分布は潜在的に高い、屋内環境に蓄積の可能性、粒子は転移した場合のみばく露
家庭用品と家の修繕	塗料 (下塗り)	高分子	素材内の固体中に存在する粒子との皮膚接触、分布は潜在的に高い、屋内環境に蓄積の可能性、粒子は転移した場合のみばく露
スポーツ用品	備品	カーボンナノチューブ	ナノ粒子の直接的なばく露はない、使用中の素材からの浸出はない



一方、表 1.1.5-3 はHansenら（2008）2が取りまとめたもので、ナノマテリアルの種類と、製品又は使用中での存在状況（液体に分散、固体に分散、大気中に拡散等）別に整理したものである。

この資料では、存在状況から凡そのばく露経路は推定できるが、どのような製品かについては記述がない。

表 1.1.5-3 製品中に含まれるナノマテリアルの種類と存在状況  
(Hansenら（2008）から作成)

ナノマテリアル	バルク		表面			粒子				分類できない
	1層	多層	構造物の表面	フィルム	成形フィルム	表面に結合	液体中に分散	固体中に分散	大気中に拡散	
Ag			1			53	33	28	1	19
ZnO						3	26		1	1
TiO2						9	12		1	2
CNT						3		13		
SiO2					1		7	7		
Au						3	9			
Polymer				1	6	1	3			
Vitamin E							8			
Graphite							6			
Si					2	1	2	1		
Ti							2	3		
Phosphatidylchoilone							5			
Fullersomes							5			
C60							4			
Vitamin A							4			
Bamboo charcoal						4				
Cu					1		3			
Pd						2	1			
PI							3			
Fe								1		1
Al	1							1		
Ceramic						1		1		
Ge							2			
Zn							1	1		
Ca/Mg							2			
Phosphate	1						1			
Silicone					1					
Diamond						1				
Miscellaneous a)								3		
Miscellaneous b)							8			
Unclassified		2	2	8	4	35	90	14	2	116

a) たゞ一つの製品に含まれるもので、全て「固体に分散」に分類される。物質はカーボンブラック、TiO2、及びクレイである。

b) たゞ一つの製品に含まれるもので、全て「固体に分散」に分類される。物質はLi、Mo、GeO2、octonoxate、VitaminC、Mn、Ca3(PO4)2及びIrである。

表中の色の凡例：

■、■ ⇒ 「ばく露の可能性が高い (Expected to cause exposure)」

■ : 「ばく露の可能性がある (May cause exposure)」

■ : 「消費者に対するばく露は想定されない (No expected exposure to the consumer)」

<sup>2</sup> Hansen, S. F., E. S. Michelson, A. Kamper, P. Borling, F. Stuer-Laurissen and A. Baun. Categorization framework to aid exposure assessment of nanomaterials in consumer products. *Ecotoxicology*(2008) 17:438-447.

## 2) ばく露評価の対象とするばく露シナリオについて

1) に示した情報は、それぞれ単独ではばく露シナリオの作成が困難であることから、ここでは、以下のようにしてばく露推計の対象製品・物質を抽出し、評価のためのシナリオを想定した。

まず、扱うべき製品群として表 1.1.5-1 を参考にし、医薬品類等の特定の法律で規制されている製品や、ナノマテリアルが固体中に存在し通常の使用状況ではばく露の恐れがほとんどないもの等を除外した。残った製品群について、平成 21 年度の「ナノマテリアル安全対策調査事業報告書」に記載があるナノマテリアルの種類別の製品情報に基づき、関連性の深いナノマテリアルを抽出した。その結果を表 1.1.5-2 と照合し、消費者のばく露評価の対象としての妥当性を確認した。また、表 1.1.5-1 に含まれない製品群を検討し、付加した。

### ①対象とする製品群の抽出

先に示した、表 1.1.5-1 の製品群より、以下のものを除外し、その理由を下記に示した。

- － 医薬品類（薬事法で規定される製品群）  
：ケア用品、化粧品（日焼け防止、口腔保健、健康用品）
- － 食品及び食品の容器包装（食品衛生法で規定される製品群）  
：食品、食品添加物、容器包装、幼児が口に接触することを本質とするおもちゃ
- － 素材（固体）中に存在（混練）されており消費者ばく露がほとんどないと想定されるもの  
：スポーツ用品、自動車（触媒）、自動車（内装）、電気製品・IT 製品
- － 一旦環境中に放出され、消費者ばく露の範疇に含まれないと想定されるもの  
：自動車（燃焼補助剤）

以上より、抽出された製品群を以下に示す。

- － 雑貨（コーティング剤、接着剤）
- － 家庭用品（家庭用洗剤（DIY））
- － 繊維製品（特殊衣料）
- － フィルター、浄化装置（フィルター）
- － 家庭用品（分離剤）
- － 家庭用品（容器包装）

### ②対象とするナノマテリアルの確認

①で抽出した製品群のそれぞれについて、平成 21 年度の「ナノマテリアル安全対策調査事業報告書」に基づき、使用の可能性のある製品及びナノマテリアルを確認した。

その結果は表 1.1.5-4 に示すとおりであり、表 1.1.5-1 よりもより細かな製品の種類が確認された。

表 1.1.5-4 抽出された製品群におけるナノマテリアルの使用状況  
(表 1.1.5-1 と平成 21 年度報告書から作成)

製品群 (表 1.1.5-1 から引用)	使用されている可能性のあるナノマテリアル (平成 21 年度報告書に基づき抽出)
雑貨 (コーティング剤、接着剤)	銀 (抗菌塗料) 二酸化チタン (塗料、光触媒) カーボンブラック (塗料) 酸化亜鉛 (塗料) シリカ (接着剤) ポリスチレン (塗料) ナノクレイ (塗料) アクリル微粒子 (塗料)
家庭用品 (家庭用洗剤 (DIY))	シリカ (研磨剤)
繊維製品 (特殊衣料)	銀 (スポーツウェア) 二酸化チタン (アナタース) (カーテン、衣類、作業着等) 酸化亜鉛 (繊維製品)
フィルター、浄水装置 (フィルター)	銀 (エアコンフィルター) 二酸化チタン (アナタース) (空気清浄機)
家庭用品 (分離剤)	シリカ (研磨剤)
その他 (※)	銀 (まな板、消臭スプレー、炊飯器、生活雑貨) 二酸化チタン (アナタース) (台所用品、文具、壁紙) カーボンブラック (トナー、インクジェット印刷用インク) カーボンナノチューブ (カーペット)

※ 表 1.1.5-1 には含まれないが、平成 21 年度報告書から抽出した製品群  
(消臭スプレーは医薬部外品には含まれない)

### ③ばく露評価の対象とするナノマテリアルおよびばく露シナリオについて

以上の抽出結果に基づくとともに、さらに以下に示すような、第 1 回、第 2 回検討会の議論の結果、表 1.1.5-5 に示すような 7 種類 (ばく露経路を考慮すると 12 種類) のばく露シナリオを想定して、ばく露評価を実施することとした。

- コピー機等のトナーにはカーボンブラックが含まれている。経皮ばく露も十分に考えられるので、シナリオに含める。なお、コピー機からの粉じんの放出量については、望ましい値等が欧米や日本で示されているので、参考にできる。
- カーペットや壁紙からの剥離・浮遊粒子のばく露が考えられる。粒子の再浮遊のモデル等を確認し、可能であれば評価の対象に含めることが適当である。
- カーペットからのばく露シナリオでは、特に幼児に対するばく露評価事例があるので、それらを参考にすれば計算は可能と思われる。
- 吸入ばく露では、粒子サイズによって「Respirable Part」が異なるが、呼吸器全体でのばく露を考慮し、経皮ばく露との整合性も含めて、考慮しないことが適当である。

- 事故、誤飲等のケースのばく露は、ここでは想定しなくて良い。
- 製品の含有量などの計算に用いるデータには大きなばらつきがある。計算結果の表示においては、代表値だけでなく、これらのばらつきも含めることが適当である。

なお、本調査では、製品中のナノマテリアルの濃度等を想定するため、情報量の多い一定のナノマテリアルについての情報を用いざるを得ないと思われるが、検討に供した計算手法は、特定のナノマテリアルに限定されるのではなく、一定の製品群に当てはまるものであることから、最終的なばく露量の推定においては、特にナノマテリアルの種類については重要視せずに検討を進めた。

また、上記の検討会の議論を踏まえ、計算結果の表示においては、用いたデータのばらつきを考慮した表現を施すこととした。

表 1.1.5-5 消費者ばく露の試算での対象シナリオ

No.	ばく露量の推定対象シナリオ		ばく露シナリオの概要
1	塗料・接着剤の皮膚への付着 ⇒経皮ばく露		ナノマテリアルを含む接着剤を1回/月程度の頻度で使用した場合に、誤って皮膚に付着することによる経皮ばく露
2	衣類付着物 ⇒	経皮ばく露	衣類（靴下）の着用時に剥離したナノマテリアルの経皮ばく露
3		吸入ばく露	衣類（靴下）の着用時に剥離したナノマテリアルの吸入ばく露
4	カーペット ⇒	経皮ばく露	リビングのカーペットから飛散したナノマテリアルの経皮ばく露
5		吸入ばく露	リビングのカーペットから飛散したナノマテリアルの吸入ばく露
参考		幼児に対する 経皮ばく露、 吸入ばく露、 経口ばく露	カーペット上で遊ぶ幼児に対して、カーペットから飛散する又は幼児の手につくことによるナノマテリアルの、経皮ばく露、吸入ばく露、経口ばく露
6	フィルターからの剥離物 ⇒	経皮ばく露	室内で空気清浄機のフィルターから剥離したナノマテリアルの経皮ばく露
7		吸入ばく露	室内で空気清浄機のフィルターから剥離したナノマテリアルの吸入ばく露
8	室内スプレー ⇒	経皮ばく露	ナノマテリアルを含む消臭スプレーを室内（トイレ）で使用した場合、及びナノマテリアルを含むコーティング剤スプレーを室内で使用した場合の経皮ばく露
9		吸入ばく露	同上の2種類のケースでの、吸入ばく露
10	屋外スプレー ⇒	経皮ばく露	屋外で自動車のガラスにナノマテリアルを含むコーティング剤をスプレーした場合の経皮ばく露 (吸入ばく露は評価事例がなく、実施しない)
11	コピー機 ⇒	経皮ばく露	コピー機を使用した際に放出されるナノマテリアルの経皮ばく露
12		吸入ばく露	コピー機を使用した際に放出されるナノマテリアルの吸入ばく露

### (3) ばく露推計手法の検討

消費者ばく露の評価結果が公表されている事例をとりまとめた。それぞれの計算手法の詳細については、次の(4)に示した。

#### 1) 消費者ばく露に関する試算事例

##### ① ナノマテリアルに関する消費者ばく露評価事例

Hansen ら(2008)は一定のナノマテリアルを想定したものではないが、ナノマテリアルの使用製品を想定したばく露評価を行ったものであり、皮膚付着率等のユニークなパラメータもある。

FERA(2009)の報告は、特にカーボンナノチューブについて、製造から廃棄までのライフサイクルを想定し、ばく露評価が行われたものである。ただし、評価の主体は、文献資料等の有無(1~3)及びカーボンナノチューブの分散形態(エアロゾル、舞い上がり、基質中に分散2種)によるA1~D3の12種類への類型化である。

その中に、衣服に使用されたカーボンナノチューブの剥離率(10%)に基づいて、一定の仮定に基づいて導いた推定大気濃度の試算が行われている。

##### ② 一般的な消費者ばく露評価モデル等

消費者に関する一般的なばく露評価モデル又は評価事例としては、現状では下記のようなものがある。

- ・ EUSES3 (2003) : EU-TDGに基づく、EU内で広く用いられているもの
- ・ ConsExpo 4 4.1(2006) : EU-TDGに基づくもので RIVMが作成したもの
- ・ SCIES5(1992) : 米国EPAがVersar Inc.と開発したプログラム
- ・ 消費者製品の推定ヒトばく露量推算ソフト(2008)  
: NITE6が開発したプログラム
- ・ HERA7(2004) : モデルではないが、洗剤の有効成分(蛍光増白剤)のリスク評価を実施し、繊維に付着したもののばく露や洗濯時のばく露等の詳細なばく露評価を実施している。

HERA(2004)は、民間の製造者団体が主体となり、洗剤中に含まれる成分のリスク評価を自主的に実施している。前年には異なる種類の洗剤成分のリスク評価結果も公表している。

洗剤中の成分と特殊な事例ではあるが、非常に詳細な評価が行われており、本調査でもその内容を整理した。

その他の4種類のモデルは、一般的な消費者ばく露評価手法として開発されたものである。

<sup>3</sup> European Union System for the Evaluation of Substances

<sup>4</sup> Consumer Exposure

<sup>5</sup> Screening Consumers Inhalation. Exposure Software

<sup>6</sup> 製品評価技術基盤機構

<sup>7</sup> Human & Environmental Risk Assessment ヨーロッパの石鹼及び洗剤関連の企業の団体で、2004年に蛍光増白剤の詳細な消費者ばく露評価を実施している。

ここでは、これらのうちで一番最近開発され、日本語での解説資料が豊富な、NITE のモデルを主体に整理した。

## 2) 消費者ばく露量の推計方法及び問題点について

1) に示した消費者ばく露評価の実施事例を考慮し、(1) で想定した7種類(ばく露経路を考慮すると12種類)のばく露シナリオについての推計の可能性を検討した。

その結果、ナノマテリアルを使用した製品の使用時に生じる、消費者に対するばく露量の推計を以下のように実施することが適当であるものと考えた(表 1.1.5-6 参照)。ただ、一部の使用係数については疑問が残る部分もあるため、その点も明記した。

なお、全ての計算に必要な製品中の含有量、含有率については、公表資料よって得ることとした。

### ①塗料・接着剤等の皮膚への付着による経皮ばく露

塗料や接着剤等を使用中に誤って皮膚に付着させた場合を想定し、その経皮ばく露量を推計する。

このようなシナリオを想定した試算は NITE モデルでの適用事例があり、下式のように〔皮膚付着率〕を想定して製品の使用量等から算出しており、ここでも同様の計算が適当と考えた。

$$〔経皮ばく露量〕 = 〔製品の使用量〕 \times 〔皮膚への付着率 (0.5\%)〕$$

#### 問題点：皮膚への付着率

皮膚への付着率については、NITE モデルでは、EU でのトルエンのリスク評価レポートで用いられた 0.5% を用いている。ナノマテリアルに特化した調査結果はないものの、塗料等の皮膚への付着率に準じることで差し障りはないものと考えられることから、本調査においても、皮膚付着率を 0.5% と想定して試算を行うこととした。

### ②衣類から剥離した成分による経皮ばく露及び吸入ばく露

衣類に付着させたナノマテリアルが剥離した場合に生じる、使用中での経皮ばく露量及び吸入ばく露量を推計する。

#### <経皮ばく露>

衣類に付着した物質の経皮ばく露の推計については、HERA (2004) 及び NITE モデルでの適用事例がある。

両者とも、衣類に残留した洗剤成分の皮膚接触を想定しており、皮膚への移行割合について具体的な数値が異なるものの、経皮ばく露量に関して以下の推計を実施している点で一致しており、本調査でも基本的には以下の推計手法を用いることとした。なお、ここで、〔製品の負荷量〕は実際に皮膚に付着する物質質量ではなく、衣類に残留している製品の密度(面積あたり)を表すものである。

$$〔経皮ばく露量〕 = 〔製品の負荷量〕 \times 〔皮膚の面積〕 \times 〔皮膚への移行割合〕$$

問題点：皮膚への移行割合

上記の2事例では、HERA(2004)では衣服に残存した蛍光増白剤（使用製品量に対する残存率5%）に対して皮膚移行割合を1%、NITEモデルでは衣服に残留したLAS8(0.025mg/cm<sup>2</sup>)に対して同様に0.01%の移行割合としている。いずれのシナリオでも、衣服の種類（下着、上着等）は区別されていない。

HERA(2004)とNITEモデルでの皮膚移行率の相違（1%及び0.01%）は、NITEモデルでは皮膚接触圧として0.01cmをさらに考慮しているためであり、皮膚移行率そのものとしては1%で、HERA(2004)と同等である。

なお、本調査で想定したシナリオでは、繊維に付着させたナノマテリアルが剥離することを想定しているため、さらに「剥離率」を考慮することが必要になる。

剥離率に関しては、FERA(2009)ではカーボンナノチューブの剥離率として、科学文献に基づいて10%としている。9他、繊維製品に固着した銀や二酸化チタンの剥離に関する科学文献が存在することから、これらの情報を精査し、代表的な値を求めることとした。<sup>10</sup>

<吸入ばく露>

衣服から剥離したナノマテリアル（CNT）による吸入ばく露の推計例としては、FERA(2009)の事例がある。ただ、試算では大気中での推定濃度（1μg/m<sup>3</sup>）を示しているのみである。

上記の大気濃度の推定においては、下記のような仮定が含まれている。いずれも根拠は記載されていない。

- ・大気中に飛散する率：10%
- ・拡散する大気の大さ（1日あたり）：1000m<sup>3</sup>

問題点：飛散率、飛散する大気的量等

本調査では、上記の仮定を参考として、経皮ばく露で用いることとした剥離率を用い、その10%が大気中に飛散し、さらに、1日あたりに1000m<sup>3</sup>の大気中に飛散するとし、平均大気濃度を求め、呼吸量に乗じてばく露量の試算は行うが、上記の仮定の根拠は未確認であるため、計算結果の扱いには留意を要するものと思われる。

<sup>8</sup> Linear Alkylbenzene Sulfonate（直鎖アルキルベンゼン-スルホン酸塩）の略。分解性が高いことから、合成洗剤に多用される。

<sup>9</sup> Kohler et.al (2008) Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle J. Cleaner Production, 16, 927-937.

関連箇所=Washing is considered to be stressful on textiles, causing fibre cracks. During their life cycle, garments typically suffer a 10% weight loss.

<sup>10</sup> 例えば、これまでに銀を付着させた衣料品の洗濯時の剥離に関する文献がある。（別添5参照）

また、2010年11月16-18にフランスGrenobleで実施されるNanosafe 2010 Conferenceでは、「Nanoparticles release from consumer products」のセッションがある。



### ③カーペットから剥離した成分による経皮ばく露及び吸入ばく露

カーペットに付着させたナノ材料が剥離した結果として生じる、使用中での経皮ばく露量および吸入ばく露量を算出する。

#### <経皮ばく露>

カーペットから浮遊した物質の経皮ばく露評価事例は認められなかったが、室内でのスプレー使用等の事例では、経皮ばく露量の算出は使用された（＝大気中の放出された）物質の一定の割合として算出されている。即ち、カーペットから飛散する物質の量が算出できれば、経皮ばく露量は推測できるということになる。

カーペットからの飛散率について、EPA が公表している *Exposure Factors Handbook* に、粒径別の再飛散率（**Particle Resuspension**）が示されている。ナノサイズのものについて言及されているわけではないが、 $0.3\text{-}0.5\ \mu\text{m}$  の粒子についてのデータ（ $9.9\times 10^{-7}/\text{hr}$ ）を使用することが適当と考える。飛散可能な粒子量には、カーペットに使用されているナノ材料の物質質量×剥離率を用いることとする。

一方、特殊な事例として、カーペット上で遊ぶ幼児に対する経皮ばく露評価の事例が認められた。

このような計算は、幼児についてのもので特殊であるが、影響を受けやすい集団に対するばく露評価事例として、参考値として計算を試みるものとする。なお、製品の負荷量としては、上記と同様にナノ材料の物質質量×剥離率を用いるものとする。

#### <吸入ばく露>

カーペットから剥離した物質に関する吸入ばく露の試算事例は認められなかったが、上記のカーペットからの飛散率（ $0.3\text{-}0.5\ \mu\text{m}$  の粒子についてのデータ＝ $9.9\times 10^{-7}/\text{hr}$ ）を与え、NITEモデルの瞬間蒸発モデルを適用して（換気率等を考慮）、空気中の濃度を推測することとした。

### ④フィルターから剥離した成分の経皮ばく露及び吸入ばく露

室内で使用する空気清浄機等のフィルターに付着させたナノ材料が剥離し、室内空気中に拡散した結果で生じる、経皮ばく露量及び吸入ばく露量を推計する。

#### <経皮ばく露>

空気中に飛散した物質の経皮ばく露の計算は、Hansen ら(2008)のシナリオ 3 及びシナリオ 4 で扱われている。いずれも、基本的には下記の式で表されており、本調査でもこの式を用いて経皮ばく露量を推計する。

$$[\text{経皮ばく露量}] = [\text{ナノ材料の使用量}] \times [\text{皮膚に付着する割合}]$$

問題点：皮膚への付着率

上式から明白なように、Hansenら(2008)では、大気中濃度を推算することなく、[使用量の

うちで皮膚に付着する割合] で、皮膚への付着量(1%11) を試算している。

實際上、室内大気中の濃度の推定は〔剥離率〕を与えることで比較的容易に推算できるが、空気中に飛散した物質の経皮ばく露量を試算したモデルはみあたらなかった。また、〔皮膚に付着する割合〕については十分な根拠は得られていないが、現状では唯一事例のあるのは Hansen ら(2008)の値 (1%) である。

以上のことから、本調査では Hansen ら(2008)の手法及びパラメータを用いて試算を行うが、パラメータの根拠が十分に確認できていないことから、推計結果の扱いには留意を要するものと思われる。

#### <吸入ばく露>

フィルターから剥離した成分の吸入ばく露を想定した事例は見当たらないが、室内大気への飛散を想定した吸入ばく露については、スプレー噴霧に関するモデル (Hansen ら (2008) 及び NITE モデル) と同様に扱うことが可能であり、その基本式は以下のとおりである。本調査でもこの基本式を用いることとする。

$$[\text{吸入量}] = [\text{平均濃度}] \times [\text{呼吸量}]$$

なお、平均濃度の算出方法については、Hansen ら(2008)は濃度変化を考慮していないが、NITE モデルでは、滞在時間で濃度変化を考慮する計算式と考慮しない計算式の両者が使用可能になっている。

本調査では、室内での滞在時間が比較的長い場合を想定して NITE モデルを活用した平均濃度の算出式 (瞬間蒸発モード) を用いることとしたい。その理由は、NITE モデルでは 2 分程度の滞在時間では、濃度変化を考慮しないモード (単純推算モード) と変化を考慮したモデル (瞬間蒸発モード) の両者でほとんど差がないとしているためである。

なお、平均濃度の算出のためには、フィルターに付着したナノマテリアルの剥離量が必要になるが、その値については、衣類からの経皮ばく露で用いることとした〔剥離率〕を用いるものとする。

#### 問題点：吸入率 (Respirable part of inhaled substance)

NITEモデルでは吸入量 (=濃度×呼吸量) =ばく露量としているが、Hansenら (2008) ではさらに吸入率 (Respirable part of inhaled substance) を乗じてばく露量としている (吸入率としては 1%と想定している<sup>12)</sup>。

ここでは、ナノマテリアルが粒子であり、肺胞への沈着を考慮することが適当と考えられることから、Hansen ら (2008) が導入している吸入率 (1%) を使用した。

#### ⑤室内でのスプレー製品の使用

<sup>11</sup> DHI (デンマーク水理環境研究所) と利害関係者 (stakeholder) の協働による推測 (出典無し) とされている。

<sup>12</sup> この数値も、前述の皮膚付着率と同様に、DHI (デンマーク水理環境研究所) と利害関係者 (stakeholder) の協働による推測 (出典無し) とされている。

室内でスプレー製品を使用し、室内空気中にナノマテリアルが拡散した結果で生じる、経皮ばく露量及び吸入ばく露量を推計する。

基本的に使用する計算式は（3）のフィルターからの飛散のケースと同様である。

ただし、スプレー製品の場合は、フィルターからの剥離の想定は不要であり、直接に空気中に飛散する量から、NITEの瞬間蒸発モードを用いて、室内濃度を推計することとした。

なお、経皮ばく露における皮膚付着量の問題、吸入ばく露評価における吸入率の問題は④と同様に留意が必要である。

#### ⑥屋外でのスプレー製品の使用

屋外でスプレー製品を使用し、屋外空気中にナノマテリアルが拡散した結果で生じる、経皮ばく露量及び吸入ばく露量を推計するものと考えたが、以下の理由により経皮ばく露についてのみを推計する。

#### <経皮ばく露>

経皮ばく露については Hansen ら(2008)の試算結果があり、その推定方法は室内スプレーの場合と同様に、使用量の一定割合（ここでは1%）が皮膚に付着するとしたものである。

$$[\text{経皮ばく露量}] = [\text{ナノマテリアルの使用量}] \times [\text{皮膚に付着する割合}]$$

室内でのスプレー使用のケースと同様に、皮膚付着率といったパラメータの値に関して疑問は残るため、取り敢えず Hansen ら(2008)に準じた方法で経皮ばく露量を試算することとするが、計算結果の扱いには留意を要するものと思われる。

#### <吸入ばく露>

屋外でのスプレー使用での吸入ばく露の評価事例は認められなかった。

屋外での大気濃度は気象条件に大きく左右されると考えられること、室内でのスプレー使用のケースよりも大きくなるとは考えられないことから、本調査では、試算の対象にはしないこととする。

#### ⑦コピー機の使用による経皮ばく露及び吸入ばく露

屋内でコピー機を使用した際に放出されるトナー中に含まれるナノマテリアルが拡散した結果で生じる、経皮ばく露量及び吸入ばく露量を算出する。

#### <経皮ばく露>

経皮ばく露については、他の経皮ばく露計算と同様に、使用量の一定割合（ここでは0.5%）が皮膚に付着するとして算出できる。

放出量については、現状で得られるデータがエコマークで定められている粉じんの放出速度又はドイツのブルーエンジェルが示している粉じんの環境中濃度（いずれも認証のための

基準値) の 2 種類の目安がある他、web 情報として、コピー使用時のナノ粒子の放出量に関する測定結果があり、これらのデータを活用するものとする。

#### <吸入ばく露>

吸入ばく露については、他の計算方法と同様に、屋内環境中濃度を算出した後に、呼吸量を乗じることで算出できる。

なお、屋内環境中濃度については、上述した 2 種類のエコマーク認定基準及びコピー使用時のナノ粒子の放出量に関する web 情報を用いて算出するものとする。

表 1.1.5-6 消費者ばく露の試算での対象シナリオ及び計算方法の概略 (1)

No.	ばく露量の推定対象シナリオ		ばく露量の試算方法等	問題点等
1	塗料・接着剤 の皮膚へ の付着	経皮ばく露	NITE モデルに準じる。 〔製品使用量〕 × 〔含有率〕 × 〔皮膚付着率(0.5%)〕 = 〔経皮ばく露量〕	・皮膚付着率(0.5%)はEUの評価結果で、信頼性は高い。
2	衣類付着物	経皮ばく露	HERA(2004)及びNITEモデルに準じる(皮膚接触層厚(0.01cm)を考慮する)。 〔製品中含有率〕 × 〔皮膚接触層厚〕 × 〔剥離率〕 ⇒ 〔面積あたり負荷量〕 〔面積あたり負荷量〕 × 〔接触面積〕 × 〔皮膚移行率(1%)〕 ⇒ 〔経皮ばく露量〕	・皮膚移行率はHERAモデルの値(1%)を使用する。 ・ナノマテリアルの剥離率は、既往知見を収集整理する。
3		吸入ばく露	FERA(2009)に準じる。 (大気への飛散率:10%、拡散する大気の大さ(1日あたり):1000m <sup>3</sup> ) 〔製品含有量〕 × 〔剥離率〕 × 〔飛散率〕 / 〔拡散大気量〕 ⇒ 〔濃度〕 〔濃度〕 × 〔呼吸量〕 ⇒ 〔吸入ばく露量〕	・FERAモデルは、一定の仮説に基づくもので、試算結果の扱いは注意を要する。
4	カーペット	経皮ばく露	再飛散率( $\phi$ 0.3-0.5 $\mu$ mのデータ:9.9 $\times$ 10 <sup>-7</sup> /hr)を用いて放出量を算出し、皮膚付着率(1%)を乗じる。 〔製品含有量〕 × 〔剥離率〕 × 〔再飛散率〕 ⇒ 〔放出量〕 〔放出量〕 × 〔皮膚付着率(1%)〕 ⇒ 〔経皮ばく露量〕	・皮膚付着率の根拠は未確認であり、試算結果の扱いは注意を要する。
			別途、EC JRCモデルに準じて幼児への経皮ばく露量を試算する。 〔製品含有量〕 × 〔剥離率〕 × 〔吸収率(2%)〕 ⇒ 〔経皮ばく露量〕	
5		吸入ばく露	再飛散率(0.3-0.5 $\mu$ mのデータ)に準じて室内濃度を求め、呼吸量を乗じる。 〔使用量〕 × 〔剥離率〕 × 〔再飛散率〕 / 〔大気量(換気率を考慮)] ⇒ 〔濃度〕 〔濃度〕 × 〔呼吸量〕 ⇒ 〔吸入ばく露量〕	

※製品の使用頻度等は参考にしたモデルに準じる

表 1.1.5-6 消費者ばく露の試算での対象シナリオ及び計算方法の概略（2）

6	フィルターからの剥離物	経皮ばく露	Hansen ら (2008) に準じる。 ただし、〔使用量〕を〔剥離量〕に置き換える。 〔製品含有量〕×〔剥離率〕⇒〔剥離量〕 〔剥離量〕×〔皮膚付着率 (1%)〕⇒〔経皮ばく露量〕	・皮膚付着率の根拠は未確認であり、試算結果の扱いは注意を要する。
7		吸入ばく露	Hansen ら (2008) 及び NITE モデルに準じる (室内スプレー) 濃度の推定は NITE の瞬間蒸発モードとする。 〔製品含有量〕×〔剥離率〕／〔大気量 (換気率を考慮)〕⇒〔濃度〕 〔濃度〕×〔呼吸量〕⇒〔吸入ばく露量〕	・平均濃度算出のために剥離率を考慮する。 ・Hansen ら (2008) が使用した吸入率 (Respirable factor: 10%) は使用しない
8	室内スプレー	経皮ばく露	Hansen ら (2008) に準じる。 〔使用量〕×〔皮膚付着率 (1%)〕⇒〔経皮ばく露量〕	・皮膚付着率の根拠は未確認であり、試算結果の扱いは注意を要する。
9		吸入ばく露	Hansen ら (2008) 及び NITE モデルに準じる。 濃度の推定は NITE の瞬間蒸発モードとする。 〔製品含有量〕×〔使用量〕／〔大気量 (換気率を考慮)〕⇒〔濃度〕 〔濃度〕×〔呼吸量〕⇒〔吸入ばく露量〕	・Hansen ら (2008) が使用した吸入率 (Respirable factor: 10%) は使用しない
10	屋外スプレー	経皮ばく露	Hansen ら (2008) に準じる。 〔使用量〕×〔皮膚付着率 (1%)〕⇒〔経皮ばく露量〕	・皮膚付着率の根拠は未確認であり、試算結果の扱いは注意を要する。
11	コピー機	経皮ばく露	Hansen ら (2008) に準じ、放散速度に皮膚付着率を乗じる。 〔放散速度〕×〔皮膚付着率 (1%)〕⇒〔経皮ばく露量〕	・皮膚付着率の根拠は未確認であり、試算結果の扱いは注意を要する。
12		吸入ばく露	放散速度から NITE モデル等を参考にして室内濃度を求め、呼吸量を乗じる。 〔濃度〕×〔呼吸量〕 (吸入率は加味しない)	

※製品の使用頻度等は参考にしたモデルに準じる

#### (4) ばく露推計推計のためのパラメータの収集

##### 1) ナノマテリアルの含有率

ナノマテリアルの含有率について、情報を集約した。

##### ア) 繊維製品

繊維製品については、銀とカーボンナノチューブ (CNT) に関する情報を収集した。

##### (a) 銀

繊維製品中の銀の含有率については、主に科学文献から情報を収集した (表 1.1.5-7 参照)。

これによれば、繊維製品中の銀の含有率は、0.0001~2.16%と非常に大きな差が認められた。図 1.1.5-1 は繊維製品中の銀の含有率を整理したものであり、0.001-0.01%のものが多くことが認められる。算術平均値は 0.18%、幾何平均値は 0.006%であった。

これらのデータを統計的に処理することは困難ではあるが、対数的な濃度分布があることも考慮すれば、幾何平均値を含む 0.01%を代表的な値とすることが適当であると考えられた。

なお、Luoma(2008)<sup>13</sup> の報告では、「最小シナリオでは、銀濃度 10ppmという最低の殺菌作用を有する靴下を想定した。<sup>14</sup>」とあり、0.01% (100ppm) という値を用いることは、特に不自然なものではない。

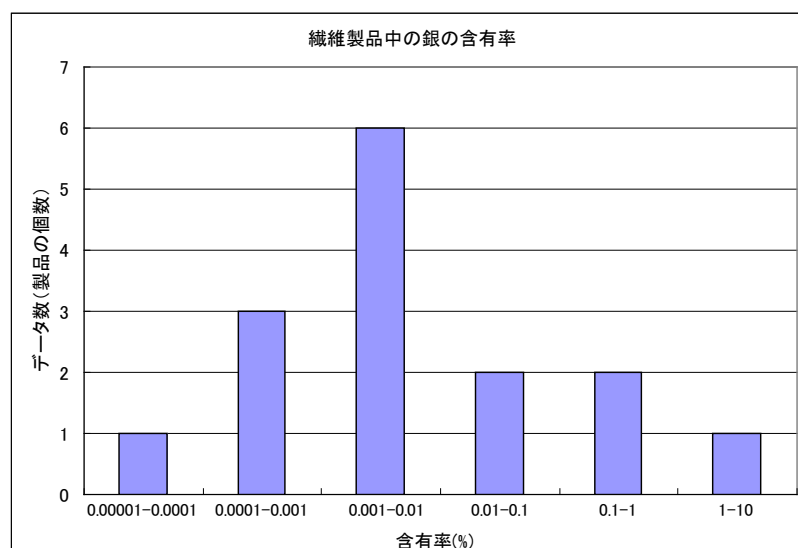


図 1.1.5-1 繊維製品中の銀の含有率の状況

表 1.1.5-7 繊維製品に含まれる銀の含有率に関する情報

<sup>13</sup> ウッドロー・ウィルソン国際センター (Woodrow Wilson International Center for Scholars) が発行する PEN シリーズの一つ (銀特集) での報告

<sup>14</sup> The minimum scenario is that the concentration in the socks is that cited as the lowest bactericidal concentration: 10 µg/g.

出典の種類	出典	製品	ナノマテリアル	含有率(%)
科学文献	Ben & Besterhoff(2008)	繊維製品(靴下)	銀	0.0026
科学文献	Ben & Besterhoff(2008)	繊維製品(靴下)	銀	0.0058
科学文献	Ben & Besterhoff(2008)	繊維製品(靴下)	銀	0.0002
科学文献	Ben & Besterhoff(2008)	繊維製品(靴下)	銀	0.1358
科学文献	Ben & Besterhoff(2008)	繊維製品(靴下)	銀	0.0036
科学文献	Ben & Besterhoff(2008)	繊維製品(靴下)	銀	0.0001
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	2.1600
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	0.0390
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	0.0008
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	0.0012
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	0.0029
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	0.0099
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	0.0242
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	0.0003
科学文献	Genario et.al.(2009)	繊維製品	銀	0.2660

(b) カーボンナノチューブ

繊維製品中のカーボンナノチューブに関する情報は、ほぼ 1 種類の科学文献から得られたもので、いずれも製品開発状況に基づいたものである(表 1.1.5-8)。その他にイギリスDEFRA関連の機関からのレビュー資料があるが(含有率 10%)、かなり推測的な評価であることから、この情報を除外すれば、繊維製品中のカーボンナノチューブの含有率は 1-20%の範囲のものが研究開発中であると理解される<sup>15</sup>。

ただし、これらの情報では代表的な値は定めがたく、1~10%の範囲で選定することとして、5%とすることが適当と思われる。

表 1. 1. 5-8 繊維製品に含まれるカーボンナノチューブの含有率に関する情報

出典の種類	出典	製品	ナノマテリアル	含有率(%)
科学文献	Kohler et.al.(2008)	繊維製品(開発段階) (ホリアクリリル)	CNT	10.0 %未満
科学文献	Kohler et.al.(2008)	繊維製品(開発段階) (ホリアロピレン)	CNT	1.0
科学文献	Kohler et.al.(2008)	繊維製品(開発段階) (ホリエチレン)	CNT	20.0 %未満
科学文献	Kohler et.al.(2008)	繊維製品(開発段階) (オリスチレン)	CNT	0.7
レビュー資料	FERA(2009)	繊維製品(Tシャツ)	CNT	10.0

<sup>15</sup> なお、この他にキャリアートレイへのMWCNTの使用について、1.0%という値の報告例がある(Steinfeldt et.al.(2010))。



(c) 二酸化チタン

二酸化チタンを含む繊維の含有率に関する情報は得られなかった。

しかしながら、コーティングの性能に関する試験研究<sup>16</sup>では「加工布の消臭性能は、ガスの種類や繊維の種類、紫外線量等効果を作用する要因が多く、一概に酸化チタン光触媒必要量を定められないが、繊維用のB社製に関しては、固形分として0.2% owf<sup>17</sup>以上の付着量が必要であった」とされている。

イ) 接着剤

接着剤に含まれるナノマテリアルに関しては、以下のような情報が得られた。

得られた情報のうち、ポリアクリレート接着剤はもっとも汎用されているタイプのものであることから、その含有率情報として50%を用いることが適当と考えられた。

- 木材及び木材製品の光劣化防止コーティング剤の用途として、ナノシリカを50%含有したポリエーテルアクリレート接着剤がある。(BASF社) (下の枠内参照)

高機能アクリレート接着剤に関する情報<sup>18</sup>

高機能アクリレートの開発に特化するBASF。(中略)

現在、同社が主力とするのは、ナノシリカ変性アクリレート「Laromar PO9026」、イソシアネートアクリレート「Laromar LR9000」と多官能ウレタンアクリレート「Laromar UA9048」「Laromar UA9050」。

「Laromar PO9026」はナノシリカ50%含有したポリエーテルアクリレートでナノ粒子が凝集することなく均一に配向する。低粘度を特長としており、硬化時の体積収縮を高めることなく、塗膜の耐傷付き性を付与した。

多官能モノマーとの比較試験でも優れた耐擦り傷性と寸法安定性が確認されておりフィルム向け及び光学製品向けへの需要を見込んでいる。

(参考) Laromer® PO 9026 Vの製品情報<sup>19</sup>

- Acrylic resin for radiation curable coatings for wood, wood products and plastics
- Chemical Nature : Polyether acrylate with 50 % nano-scale silica

<sup>16</sup> 榎本ら (2006) 酸化チタンコーティング剤による衣料品の消臭加工. 東京都立産業技術研究所研究報告 第8号. 99-100

<sup>17</sup> on weight of fiber (繊維重量あたり)

<sup>18</sup> UV・EBコーティング特集2009 企業動向 2009年05月13日  
[http://www.coatingmedia.com/special/archives/2009/05/uveb\\_2.html](http://www.coatingmedia.com/special/archives/2009/05/uveb_2.html)

<sup>19</sup> BASF社 web情報 <http://www2.basf.us/rawmaterials/pdfs/PO9026V.pdf>

- 径 100nm 未満のフィラーを 25% 含む製品がある。(素材は不明) (ハイソル社)  
(表 1.1.5-9)
- ホットメルト接着剤<sup>20</sup>の含有物として、EVA<sup>21</sup>ナノコンポジットの含有率が 40%  
のものがある。(表 1.1.5-10)

表 1.1.5-9 最新型UV効果型接着剤 (アンダーフィル接着剤<sup>22</sup>) の特性 (抜粋)  
(ハイソル社 web 資料 <http://www.hisol.jp/products/bonder/adhesive/>)

	Vitalit 2655		Vitalit 2665		Vitalit 2675		Vitalit 2685	
	キャピラリーフロー	非常に速い		速い		遅い		普通
最小ギャップサイズ	25 μm		25 μm		50 μm		80 μm	
ガラス転移温度	35°C		90°C		130°C		150°C	
硬化条件	120°C	150°C	120°C	150°C	120°C	150°C	120°C	150°C
	10分	5分	10分	5分	10分	5分	10分	5分
硬化条件	30秒		120秒		60秒		60秒	
(UV:60mW/cm <sup>2</sup> )	(レイヤー: 0.5mm)		(レイヤー: 0.5mm)		(レイヤー: 0.5mm)		(レイヤー: 0.5mm)	
フィラー含有率	-		25%		40%		50%	
フィラー径	-		<100nm		<10 μm		<10 μm	
製品の特長	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アンダーフィル</li> <li>・機械的高信頼性</li> <li>・高速塗布、硬化でプロセス時間を短縮</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ナノフィラー低CTE</li> <li>・航空電子機器用に最高の信頼性</li> <li>・耐熱衝撃試験 -55°C/+125°C</li> <li>・Vi 2660(1000mPa·s) もあり</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・高信頼性</li> <li>・低いCTEにより、小さいバンプ径をもつパッケージの温度サイクル性能を向上</li> </ul>			

表 1.1.5-10 ホットメルト接着剤の特性に関する情報<sup>23</sup>

評価項目	単位	EVA ナノコンポジット	EVA
耐熱接着性 (昇温:0.4°C/min)	°C	68	63
低音可塑性	°C	0	0
溶解粘度	mPa·s	1,360	1,110
糸曳き性	—	少	少

JAI 7に準拠

接着剤構成: EVAナノコンポジット/タッキファイヤー  
／ワックス = 40/40/20(wt%)

<sup>20</sup> 常温で固体で、加熱して溶解させ、接着効果を生むタイプの接着剤

<sup>21</sup> エチレンビニルアルコール

<sup>22</sup> 電子基盤等の熱膨張率の差に起因するひび割れ防止のため、接合部等に充填する接着剤

<sup>23</sup> 東ソー(株)web 資料 「EVA ナノコンポジットの特性」

[http://www.tosoh.co.jp/technology/report/pdfs/2010\\_03\\_02.pdf](http://www.tosoh.co.jp/technology/report/pdfs/2010_03_02.pdf)

タッキファイヤーとは、粘着機能を持たせるための粘着付与剤で、ロジン誘導体、ポリテルペン樹脂、石油樹脂などが使われる (特許庁資料から引用)

<http://www.jpo.go.jp/shiryous/sonota/map/ippan21/4/pdf/4-3-1.pdf>

ウ) スプレー製品

スプレー製品については、銀と二酸化チタンに関する情報を入手した。

(a) 銀

銀を含むスプレー製品については、主に WEB 情報が得られた (表 1.1.5-11)。

スプレー製品中の銀の含有率は 0.0001~0.003% (1~30ppm) である。製品情報としては 0.001%未満のものが多いながら (図 1.1.5-2 参照)、代表的な値としては、0.001% (10ppm) を用いることが適当であるものと考えられる。

表 1.1.5-11 スプレー製品に含まれる銀の含有率に関する情報 (全て屋内使用)

出典の種類	出典	製品	ナノマテリアル	含有率(%)
Web情報	Ag+マム	スプレー(消臭抗菌スプレー)	銀	0.0030
Web情報	Ag+マム	スプレー(除菌抗菌スプレー)	銀	0.0020
Web情報	Ag+マム	スプレー(純銀ナノコロイド原液(50倍希釈用))	銀	0.0020
Web情報	三和化成(株)	スプレー(ナノ銀 エージーパワーエイド(超抗菌、消臭、防カビ)スプレー、清掃(手すり、テーブル、床など)※本革は除く)	銀	0.0001
Web情報	三和化成(株)	スプレー(ナノ銀 エージーパワーエイド(超抗菌、消臭、防カビ)スプレー、清掃(手すり、テーブル、床など)※本革は除く)	銀	0.0001
Web情報	三和化成(株)	スプレー(ナノ銀 エージーパワーエイド(超抗菌、消臭、防カビ)スプレー、トイレ、ペット、車、タバコの消臭、抗菌)	銀	0.0002
Web情報	三和化成(株)	スプレー(ナノ銀 エージーパワーエイド(超抗菌、消臭、防カビ)スプレー、トイレ、ペット、車、タバコの消臭、抗菌)	銀	0.0002
Web情報	三和化成(株)	スプレー(ナノ銀 エージーパワーエイド(超抗菌、消臭、防カビ)スプレー、便などに直接抗菌、消臭する場合)	銀	0.0004
Web情報	三和化成(株)	スプレー(ナノ銀 エージーパワーエイド(超抗菌、消臭、防カビ)スプレー、それ以上の強い臭気や抗菌の場合)	銀	0.0004
Web情報	三和化成(株)	スプレー(ナノ銀 エージーパワーエイド(超抗菌、消臭、防カビ)スプレー、それ以上の強い臭気や抗菌の場合)	銀	0.0008

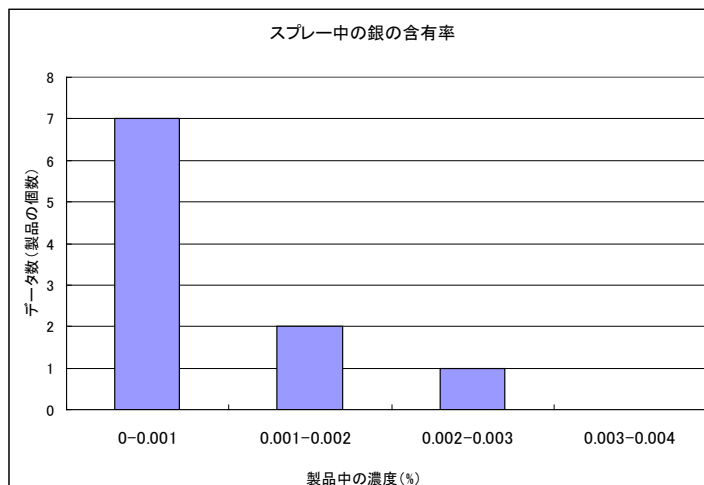


図 1.1.5-2 スプレー製品中の銀の含有率の状況

(b) 二酸化チタン

二酸化チタンを含むスプレー製品は、光触媒作用による殺菌、有機物分解作用を活用した、消臭、除菌を目的としたもので、室内及び屋外での使用を含むものである。ただし、噴霧の回数は少ないものと推測される（「光触媒エコートスプレー」の耐用年数は1～3年とされている）。

二酸化チタンの含有率としては、0.85～9.0%であるとの情報が得られた（図 1.1.5-3、表 1.1.5-12 参照）。

興味深い情報は、「内装用は 9%、外装用は 3～6%。これほどの量を含んだ、光触媒塗料は他にはありません。」といった記載のものである。この記載をそのまま受け取ることはできないが、内装用のスプレーは、屋内の光量が屋外に比べて少ないという点から含有率を高くするというのは理解できることであり、他の含有率の情報とも整合している。

以上のことから、上記の記載値を最高濃度と捉え、現状の製品関連情報から、屋内、屋外用とも 2%程度と想定することが適当であると思われる。

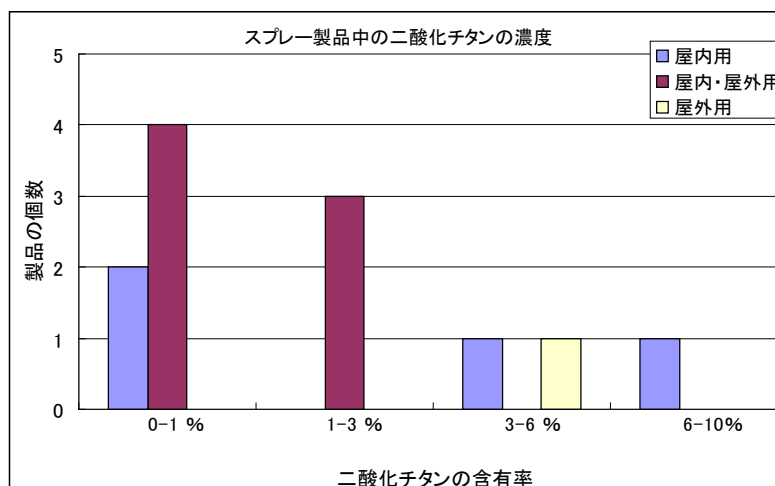


図 1.1.5-3 スプレー製品（コーティング材）中の二酸化チタンの含有率の状況

表 1.1.5-12 スプレー製品に含まれる二酸化チタンの含有率に関する情報

出典の種類	出典	製品	用途	ナノマテリアル	含有率(%)
Web情報	(有)ベルセフォン	スプレー(光触媒エコトスプレー)	屋内(壁・天井)	二酸化チタン	0.7
Web情報	(有)ベルセフォン	スプレー(光触媒エコトスプレー)	屋内(壁・天井)	二酸化チタン	0.6
Web情報	KDD(株)	スプレー(光触媒コーティング剤)	屋内、屋外	二酸化チタン	0.85
Web情報	KDD(株)	スプレー(光触媒コーティング剤)	屋内、屋外	二酸化チタン	2.2
Web情報	KDD(株)	スプレー(光触媒コーティング剤)	屋内、屋外	二酸化チタン	0.85
Web情報	KDD(株)	スプレー(光触媒コーティング剤)	屋内、屋外	二酸化チタン	1.7
Web情報	KDD(株)	スプレー(光触媒コーティング剤)	屋内、屋外	二酸化チタン	0.85
Web情報	KDD(株)	スプレー(光触媒コーティング剤)	屋内、屋外	二酸化チタン	2.4
Web情報	リック(株)	スプレー(チタンガード21 コーティング材)	屋内、屋外	二酸化チタン	0.85
Web情報	(株)プラザ・オブ・レガシー	フェイスガード-in	主に屋内	二酸化チタン (フッ化アパタイト被覆二酸化チタン)	6.0
Web情報	フカヤ株式会社	フェイスガード	屋内、屋外	二酸化チタン	内装用は9%、 外装用は3~6% (※1)

※1:これほどの量を含んだ、光触媒塗料は他にはありません(記載のとおり)

#### エ) コピー用トナー

コピー用のトナーに関しては、その粒径分布等の詳細な情報は入手できなかったが、トナー製造メーカー及びコピーメーカーの記載情報として以下のような情報がある。

- 平均粒子径は  $8 \mu\text{m}$  ですが、トナーの粒子径は  $\pm 0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$  内に制御されます。粒度分布も制御できます。仕様要件によって異なりますが、粒度分布の標準偏差は  $1.0 \mu\text{m}$  前後です。(トナー製造メーカーのweb 情報<sup>24</sup>)
- 最新のデジタル電子写真に用いられるトナーの粒径は約  $5 \mu\text{m}$  程度である。(コピーメーカーのweb情報<sup>25</sup>)
- 粒径は、近年ますます小粒径化が進んでおり、 $6 \mu\text{m}$  以下の領域ではケミカルトナーが主流になっている(図 1.1.5-4 参照)。(コピーメーカーのweb情報<sup>26</sup>)

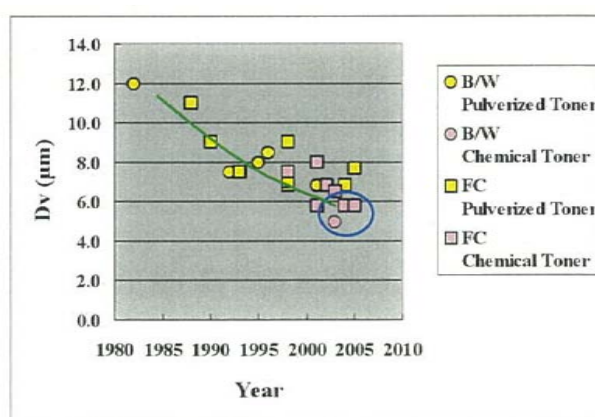


図 1.1.5-4 トナーの粒径推移 (コピーメーカーweb 情報から引用)

<sup>24</sup> <http://www.malvern.jp/LabJap/industry/toners/overview.htm>

<sup>25</sup> [www6.plala.or.jp/hirakura/DataBase/Hardcopy%20Review.pdf](http://www6.plala.or.jp/hirakura/DataBase/Hardcopy%20Review.pdf)

<sup>26</sup> <http://www.jbmia.or.jp/~tc/05kaisetsu-ricoh.pdf>

一方、カラーコピー機の印刷時に発生するナノ粒子の測定例がある（ナノ粒子測定器の製造メーカーWEB情報）<sup>27</sup>。

これは、図 1.1.5-5 のようにしてコピー機から発生するナノ粒子を直接測定したもので<sup>28</sup>、図 1.1.5-6、1.1.5-7 のように、数十～百nm程度のナノ粒子の発生が認められている（濃度は 10,000～30,000 個/cm<sup>3</sup>程度。アルミチャンバーの容積は不明。）。

コピーに用いられるトナー等の粒径とカラーコピー機から発生する粒子サイズに関する情報の相違が、一般のトナーとカラーコピー用のインクに含まれる粒子サイズの相違に由来するかは不明であるが、コピー機からナノ粒子が発生することが直接測定されていることから、本調査では、エコマークでの認定基準で定められている粉じん濃度（放散速度として 4.0mg/h以下）をナノ粒子と想定した計算値を、安全側の試算例として算出することが適当であるものとする<sup>29</sup>。

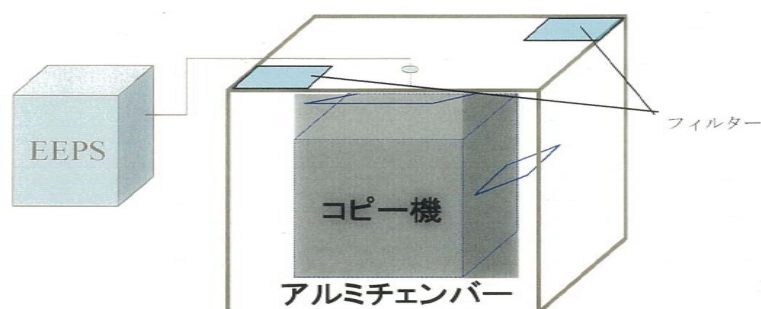


図 1.1.5-5 コピー機からのナノ粒子の拡散に関する測定方法（測定装置メーカーweb 情報から引用）

<sup>27</sup> [http://www.t-dylec.net/technical\\_info/pdf/no4.pdf](http://www.t-dylec.net/technical_info/pdf/no4.pdf)

<sup>28</sup> 測定器：EEPS（Model-3090、TSI 社。測定範囲 5.6-560nm。0.1 秒ごとの測定が可能。）

<sup>29</sup> 20000 個/cm<sup>3</sup> の  $\phi$  100nm の密度 1g/cm<sup>3</sup> の粒子は、約 0.01mg/m<sup>3</sup> に相当する。なお、ブルーエンジェルの濃度基準は 0.075mg/m<sup>3</sup> である。

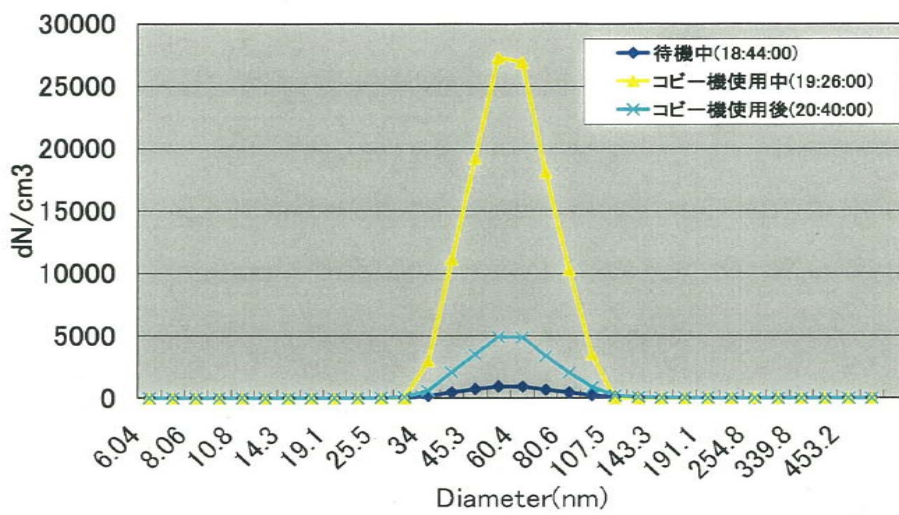
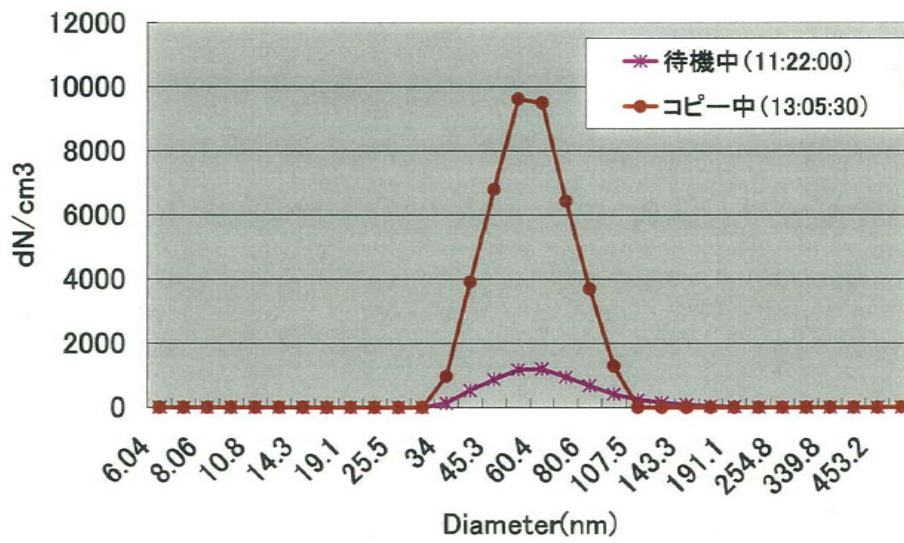


図 1.1.5-6 コピー機からのナノ粒子の拡散に関する測定結果  
 (測定装置メーカーweb 情報から引用) (上 : A4 片面カラーコピー、下 : A3 両面カラーコピー)

## 2) 剥離率

ナノマテリアルの剥離率については、事業者からの情報は得られなかったため、いくつかの科学文献の情報を集約した。

表 1.1.5-13、図 1.1.5-7 は Genario(2009)が実施した、銀を含む 8 種類の靴下について、洗濯後の放出量を求めた結果である。実験ではイオンとしての消失も測定されているが、1 種類が 50% 程度のイオンとしての消失であった以外は、粒子としての消失であり、450nm 以上の粒子の占める割合が多いとされている (図 1.1.5-8 参照)。

この結果からすれば、洗濯での消失率は 10% 程度はあるものと思われる。

表 1.1.5-13 銀を含む靴下からの洗濯後の銀の放出状況 (Genario(2009)から作成)

1回目	製品中の含有量(mg/g)	剥離量 ( $\mu$ g/g製品)	剥離率 (%)
X-STATIC	21.6	314	1.45
PLASMA-NP	0.39	67	17.18
AgCl	0.008	2.7	33.75
AgCl-BINDER	0.012	2.4	20.00
NP-PES-SURF	0.029	10.1	34.83
NP-PES	0.099	1.3	1.31
NP-PES/PA	0.242	4.3	1.78
AgKilBact	2.66	377	14.17
平均(算術)			15.56
平均(幾何)			8.15

2回目	製品中の含有量(mg/g)	剥離量 ( $\mu$ g/g製品)	剥離率 (%)
X-STATIC	21.6	129	0.60
PLASMA-NP	0.39		
AgCl	0.008	1.8	22.50
AgCl-BINDER	0.012	0.9	7.50
NP-PES-SURF	0.029		
NP-PES	0.099	0.35	0.35
NP-PES/PA	0.242	1.6	0.66
AgKilBact	2.66	99	3.72
平均(算術)			5.89
平均(幾何)			2.11

漂白	製品中の含有量(mg/g)	剥離量 ( $\mu$ g/g製品)	剥離率 (%)
X-STATIC	21.6	172	0.80
PLASMA-NP	0.39		
AgCl	0.008	3.6	45.00
AgCl-BINDER	0.012	3.2	26.67
NP-PES-SURF	0.029		
NP-PES	0.099	2.7	2.73
NP-PES/PA	0.242	10.2	4.21
AgKilBact	2.66	184	6.92
平均(算術)			14.39
平均(幾何)			6.51



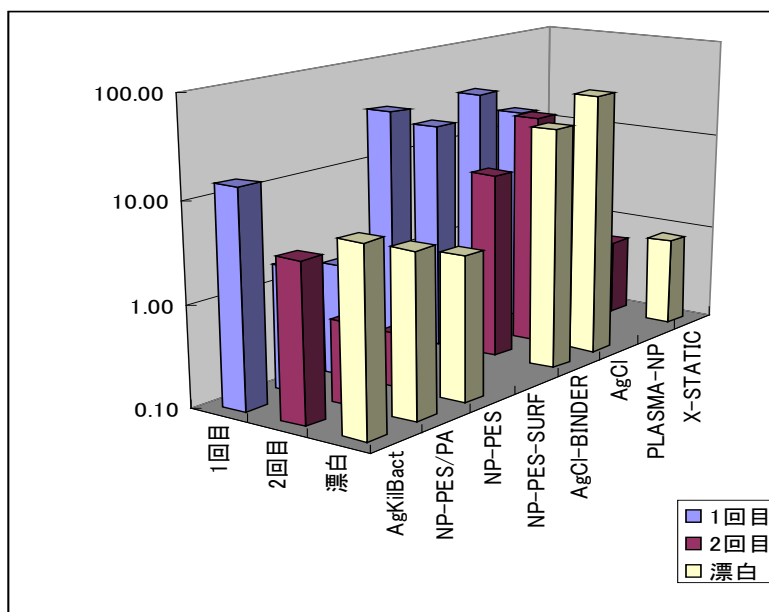


図 1.1.5-7 銀を含む靴下からの洗濯後の銀の放出状況 (Genario(2009)から作成)

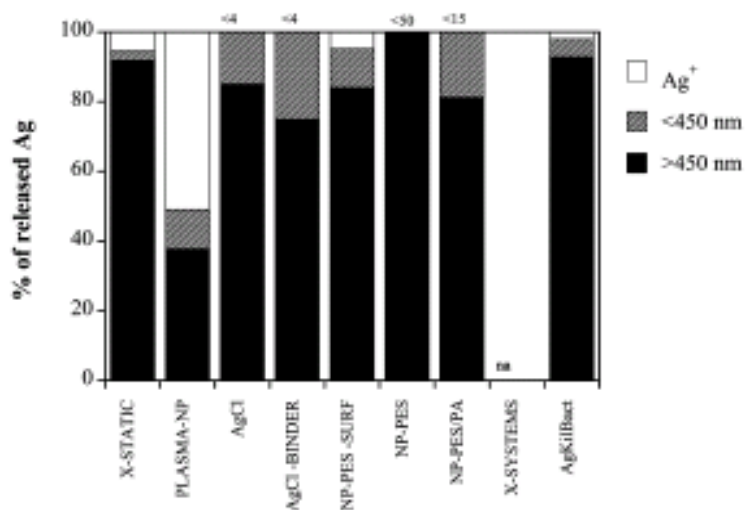


図 1.1.5-8 洗濯後の銀の放出における銀イオンの割合 (Genario(2009)から引用)

一方、Benn(2008)は同様に銀を含む繊維製品について、24 時間の洗濯を 4 回実施した場合の放出量を測定しており、その場合は分析に供した 4 種類の製品のうち 1 種類で 0.5% 程度の放出率であったが、残りの 3 種類ではほぼ 100%の放出率であることを報告している (表 1.1.5-14 参照)。

表 1.1.5-14 銀を含む繊維製品からの洗濯後の銀の放出状況 (Benn(2008)作成)

製品	最初の量( $\mu\text{g}$ )	洗濯による放出量( $\mu\text{g}$ )	剥離率(%)
1a	756	836	100%
1b	1,578	1,845	100%
2	60	—	—
3	31,241	165	約0.5%
4	2,104	—	—
5	—	—	—
6	20	19	95%

洗濯は24時間×4回

以上の2種類の報告では、剥離率についてはかなり大きな差が認められる。

Bennの実施した実験では、24時間の洗濯というかなり過酷な条件であり、いわば最大の剥離率と考えるのが適当かもしれない。

しかしながら、いずれにしても銀を含む製品の場合の剥離率は数%オーダーと想定すべきではなく、むしろ Genario(2009)の結果に見るように 10%程度のオーダーで剥離率を想定すべきであると思われる。

ちなみに、Luoma(2008)は、銀の公共用水域での濃度の推測において、銀を含む繊維製品からの年間の剥離率を 20%と想定している。

以上のことから、現状では、繊維製品に含まれる銀についての剥離率の情報のみであるが、20%/年程度の流出率を想定することが適当であるものと考えられる。

### 3) その他

その他、ばく露評価のために収集整理したいくつかの情報を以下に示す。

#### ア) 製品重量

ばく露量試算において必要な製品重量について、情報を整理した。

##### (a) 靴下

靴下製品に関するweb情報 30から、凡そ 50 g と想定された。

##### (b) カーペット

カーペットについては、基材込みの重量の情報が多く、繊維だけの重量に関する情報は、製品情報としては得られなかったが、ウールマークの表示のための基準として、最低の糸重量 31として、600g/m<sup>2</sup> といった情報があり、この値をカーペットに使用されている繊維重量とした。

なお、カーペット製品でナノマテリアルを使用しているといった事例は確認できなかった。

##### (c) フィルター

フィルターについては、web 情報では情報が得られなかったため、下記のような実製品を秤量し、その結果から凡そ 10g と想定した。

なお、ナノマテリアルの含有率については記載がなかった 32。

○ 銀イオンエアコンフィルター (株)大創 (C029 フィルター No.23) : 15g

○ 光触媒エアコンフィルター (株)大創 (発注 フィルター No.12) : 6g

#### イ) 住宅の天井高

住宅の天井高については、2m40cm 程度が多いといった情報もあるが、ここでは、住宅金融公庫の融資を受けて住宅を造る場合の天井高の規定「2m30cm 以上」から、2.3m とすることとした。

#### ウ) 体重等

体重は以下のように設定した。

○ 大人 : 50kg (NITE モデル他)

○ 幼児 : 16.74kg (平成 12 年乳幼児年身体発育調査報告書の 3 歳～6 歳の男女の平均体重の平均値)

<sup>30</sup> 例えば、<http://jackwolfskin.ocnk.net/product-list/122/0/normal?sort=rank>

<sup>31</sup> 「目付け」と呼ばれる

<sup>32</sup> 資料 2 では、繊維製品のナノマテリアル含有量を推計に用いた。

また、呼吸量は以下のように設定した。

○ 大人：20m<sup>3</sup>/日（NITE モデル）

○ 幼児：0.4m<sup>3</sup>/hr（EPA Exposure factors handbook で、young children(3-5.8year)の座っている状態（Sedentary）での値）

#### 4) 参考資料リスト)

- ア) Benn, T. and P. Westerhoff. (2008) Nanoparticle Silver Released into Water from Commercially Available Sock Fabrics. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 4133–4139.
- イ) Genario, L., M. Heuberger, and B. Nowack. (2009) The Behavior of Silver Nanotextiles during Washing *Environ. Sci. Technol.*, 43, 8113–8118
- ウ) Luoma, Samuel N. (2008) SILVER NANOTECHNOLOGIES AND THE ENVIRONMENT: OLD PROBLEMS OR NEW CHALLENGES? PEN 15 SEPTEMBER 2008 Woodrow Wilson International Center for Scholars
- エ) Steinfeldt, M., A. von Gleich, J. L. L. Henkle, M. Endo, S. Morimoto, E. Momosaki. (2010) Environmental relief effects of nanotechnologies by the example of CNT composite materials and films. The 3rd international Nano Workshop in Nagano. The public engagement of Nanotechnology. -Standardization of industrial nanomaterials trend and environmental effect-. Nov. 8, 2010 Hotel Metropolitan Nagano, Nagano.
- オ) Kohler, A. R., C. Som, A. Helland and F. Gottschalk. (2008) Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle. *J. Cleaner Production* 16, 927-937.
- カ) 英国FERA33 (The Food and Environment Research Agency) (2009) A LIFECYCLE ASSESSMENT STUDY OF THE ROUTE AND EXTENT OF HUMAN EXPOSURE VIA INHALATION FOR COMMERCIALY AVAILABLE PRODUCTS AND APPLICATIONS CONTAINING CARBON NANOTUBES.
- キ) 榎本一郎、添田心、内山正治、師田範子(2006) 酸化チタンコーティング剤による衣料品の消臭加工. 東京都立産業技術研究所研究報告 第8号. 99-100.

---

<sup>33</sup> DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) の組織の一部

#### (5) ばく露推計

(1) から (3) より、最終的に表 1.1.5-5 に示すシナリオについて、ナノマテリアルのばく露推計を行った。

なお、推計に用いたパラメータには、種々のばらつきが含まれることを勘案し、それぞれのばらつきのレベルを以下のように大まかに設定し、最終的な推計値に対するばらつきの状態も算出した。

複数のばらつきがある場合は、単純にその値を乗じた。例えば、ばらつきレベル A と B が一つ筒ある場合は、 $10 \times 5 = 50$  として、推計結果に  $1/50 \sim 50$  のばらつきを与えた。ただし、想定したモデルや、モデルから引用したパラメータにはばらつきは与えなかった。

- レベル A : 10 倍～1/10 のばらつきが想定されるレベル
- レベル B : 5 倍～1/5 のばらつきが想定されるレベル
- レベル C : 2 倍～1/2 のばらつきが想定されるレベル

推計結果は、以下に示すとおりである。

#### シナリオ 1 : 接着剤・塗料の皮膚付着による経皮ばく露

ここでは、接着剤の使用に伴う経皮ばく露を推計した。

接着剤についての含有量情報 34から、含有率を 50%とした。ただし、レベルBのばらつきを考慮すべきと考えた。なお、素材情報は乏しいが、ナノシリカを含有するものがあるとのことである。また、含有率は 50%とした情報がある。

$$EDI(derm) = \frac{Ap \times Wr \times Md \times n}{BW}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Ap</i>	使用製品重量	mg	5	NITEモデル <sup>35</sup> より
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率		0.5	資料1 1. (2)より ばらつきレベルB
<i>Md</i>	皮膚付着率 (※)		0.005 (0.5%)	NITE モデルより
<i>n</i>	使用頻度	1 / 日	12/365 (月 1 回)	NITE モデルより
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<b>EDI</b>	<b>経皮ばく露量</b>	<b>mg/kg / 日</b>	<b>0.0000082</b>	<b>ばらつき : 5-1/5</b>

<sup>34</sup> BASF Japan 「Laromar PO9026」: ナノシリカを 50%含有したポリエーテルアクリレートで、木材及び木材製品の光劣化防止コーティング剤

<http://www2.basf.us/rawmaterials/pdfs/PO9026V.pdf>

<sup>35</sup> 「GHS 表示のための消費者製品のリスク評価手法のガイダンス」

平成 20 年 4 月独立行政法人 製品評価技術基盤機構 化学物質管理センター

シナリオ 2：繊維製品からの経皮ばく露及び吸入ばく露（経皮ばく露）

ここでは、銀ナノ粒子を含む繊維製品（靴下）を想定して、経皮ばく露を推計した。

製品中濃度として重量含有率が得られたことから、製品重量（靴下の重量として約 50g）を用いて経皮ばく露量を推計した。

$$ED2(derm) = \frac{Cs \times Wp \times P \times n \times a(derm)}{BW}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Cs</i>	製品中濃度	mg/g	0.1 (0.01%)	資料 1 1. (1) 1) より ばらつきレベル A
<i>Wp</i>	製品重量	g	50	※ 1 ばらつきレベル C
<i>P</i>	剥離率 (1日あたり)		0.00055	※ 2 ばらつきレベル B
<i>n</i>	1日あたりの回数	1/日	1	NITE モデルより
<i>a(derm)</i>	衣類から皮膚表面への移行割合		0.01 (1%)	NITE モデルより
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<b>ED2</b>	<b>経皮ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>0.00000055</b>	<b>ばらつき: 100-1/100</b>

※ 1：靴下製品に関するweb情報 36から。

※ 2：年間で 20%の剥離率から 1日当たりの剥離率を算出 (0.2/365=0.00055)。

シナリオ 2：繊維製品からの経皮ばく露及び吸入ばく露（吸入ばく露）

ここでは、銀ナノ粒子を含む繊維製品（靴下）を想定して、FERA が実施した評価事例を参考に、剥離した量の 10%が大気中に拡散したと想定して、吸入ばく露を推計した。

$$EI2 = \frac{C \times Q \times t}{BW}$$

$$C = \frac{Ws \times n \times Wcnt \times L1 \times L2 \times L3}{D \times V}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Q</i>	呼吸量	m <sup>3</sup> /hr	0.833	※ 1
<i>t</i>	着用時間	hr/日	12	半日は履いていると想定 ばらつきレベル C
<i>Ws</i>	靴下の重量	g/枚	50	※ 2 ばらつきレベル C

<sup>36</sup> <http://jackwolfskin.ocnk.net/product-list/122/0/normal?sort=rank> 等

<i>n</i>	年間使用枚数	枚	1	複数枚を常時使用し、1日12時間いずれかの靴下を着用しているものと想定
<i>W<sub>cnt</sub></i>	ナノ粒子の含有率	mg/g	0.1 (0.01%)	製品情報よりばらつきレベルA
<i>L1</i>	使用の間の重量ロス (剥離率)	1/日	0.00055	製品の使用ばらつきレベルB
<i>L2</i>	着用時に発生 (剥離) する分の比率		0.1	FERA (2009) より
<i>L3</i>	大気中に飛散する比率		0.1	FERA (2009) より
<i>D</i>	使用期間	日	1	
<i>V</i>	(1日あたりに発生したものが) 拡散する大気の大さ	m <sup>3</sup>	1000	FERA (2009) より
<i>C</i>	大気中の濃度	mg/m <sup>3</sup>	2.7E-8	
<i>EI2</i>	吸入ばく露量	mg/kg /日	5.5E-9	ばらつき: 200-1/200

※1 : 20m<sup>3</sup>/日

※2 : 靴下製品に関する web 情報 ((1)参照) から。

※3 : 年間で 20%の剥離率から 1日当たりの剥離率を算出 (0.2/365=0.00055)。



シナリオ4：カーペットから剥離した成分による経皮ばく露

カーペットに付着させたナノ材料が剥離した結果として生じる、使用中での経皮ばく露量を推計した。12 畳のリビングにカーペットが敷き詰められている状態を想定した。

カーペットの繊維に含まれる粒子が剥離・飛散し、その一定量（1%<sup>37</sup>）が皮膚に付着するものとして経皮ばく露量を推計した。繊維製品に含まれるナノ材料としては、情報が比較的多い銀ナノ粒子を想定し、1 週間に1回の清掃として、剥離した粒子の平均濃度を算出し、再飛散率を乗じて放出量を推計した。

$$ED3 = \frac{Qp \times Rs \times b(derm)}{BW}$$

$$Qp = Sr \times Ap \times Wr \times p$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Rs</i>	再飛散率	1/hr	9.9E-7	EPA : Exposure Factors handbook から引用
<i>b (derm)</i>	空気中に放散された物質の皮膚への移行割合		0.01 (1%)	Hansen ら(2008)から引用 (1)
<i>t</i>	在室時間	Hr	7.8	※2
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>Sr</i>	空間面積	m <sup>2</sup>	19.8	12 畳と想定
<i>Ap</i>	使用製品重量	g/m <sup>2</sup>	600	ウールマークの表示最低基準 (※3) ばらつきレベルC
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率	mg/g	0.1 (0.01%)	資料1 1.(1)1) よりばらつきレベルA
<i>p</i>	平均剥離率 (1 週間あたり)	1/週	0.0019	※4 ばらつきレベルB
<i>Qp</i>	カーペット上に存在するナノ粒子の量 (1 週間の平均値)	mg	2.26	
<b>ED3</b>	<b>経皮ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>3.5E-9</b>	<b>ばらつき : 100-1/100</b>

※1：根拠は明確ではない

※2：在宅時間 (15.8 時間<sup>38</sup>) - 睡眠その他の時間 (8 時間)

※3：ウールマーク表示時のための最低の糸重量 (目付)

※4：1 回/週の頻度で掃除をすると想定し (その間、剥離した物質は蓄積する)、年間で20%の剥離率から1 週間当たりの剥離率を算出し (0.2/年⇒0.0038/週)、その1/2とした。

<sup>37</sup> Hansen ら(2008)の報告値を用いているが、その根拠は明確ではない。

<sup>38</sup> ばく露係数ハンドブック (産業技術総合研究所 化学物質リスク管理センター 資料) から引用

シナリオ5：カーペットから剥離した成分による吸入ばく露

カーペットに付着させたナノマテリアルが剥離した結果として生じる、使用中での吸入ばく露量を推計した。12 畳のリビングにカーペットが敷き詰められている状態を想定した。

カーペットから剥離した物質に関する吸入ばく露の試算事例は認められなかったため、上記の、カーペットからの飛散率（0.3-0.5 μm の粒子についてのデータ=9.9×10<sup>-7</sup>/hr）を、NITE モデルの瞬間蒸発モデルを適用して（換気率等を考慮）、空気中の濃度を推計した。

$$EI3 = \frac{Ca \times Q \times t \times c}{BW}$$

$$Qp = Sr \times Ap \times Wr \times p$$

$$Ca = \frac{Qp \times Rs}{N \times Sr \times h}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Q</i>	呼吸量	m <sup>3</sup> /hr	0.833	※1
<i>t</i>	接触時間（滞在時間）	hr/日	7.8	※2 ばらつきレベルC
<i>c (inh)</i>	吸入ばく露による移行割合		1	
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>Sr</i>	空間面積	m <sup>2</sup>	19.8	12 畳と想定
<i>Ap</i>	使用製品重量	g	600	ウールマークの表示 最低基準（※3） ばらつきレベルC
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率	mg/g	0.1 (0.01%)	資料1 1.(1)1) より ばらつきレベルA
<i>p</i>	剥離率（1時間あたり）	1/hr	0.0019	※4 ばらつきレベルB
<i>Rs</i>	再飛散率	1/hr	9.9E-7	EPA : Exposure Factors handbook から引用
<i>h</i>	空間高さ	m	2.3	※5
<i>N</i>	換気回数	回/hr	0.5	
<i>Qp</i>	カーペット上に存在するナノ粒子の量（1週間の平均値）	mg	2.26	
<i>Ca</i>	空気中濃度（時間平均値）	mg/m <sup>3</sup>	9.8E-8	別添1参照 ばらつき：100-1/100

<i>ED3</i>	吸入ばく露量	mg/kg /日	1.3E-8	ばらつき：200-1/200
------------	--------	----------	--------	----------------

※1：20m<sup>3</sup>/日

※2：在宅時間（15.8時間 39）－睡眠その他の時間（8時間）

※3：ウールマーク表示時のための最低の糸重量（目付）

※4：1回/週の頻度で掃除をすると想定し（その間、剥離した物質は蓄積する）、年間で20%の剥離率から1週間当たりの剥離率を算出し（0.2/年⇒0.0038/週）、その1/2とした。

※5：住宅金融公庫の融資を受けて住宅を造る場合の天井高の規定「2m30cm以上」から引用。

参考：カーペットで遊ぶ幼児へのばく露量の推計

カーペットに含まれるナノマテリアルのばく露量の推計の参考として、カーペット上で遊ぶ幼児に対するばく露量の推計を試みた。

推計の対象としたシナリオは、以下の3種類である。

- ・カーペット上で遊ぶ幼児の皮膚に対する、剥離したナノマテリアルによる経皮ばく露
- ・カーペット上で遊ぶ幼児に対する、カーペットに含まれるナノマテリアルの吸入ばく露
- ・カーペット上で遊ぶ幼児が手についたナノマテリアルを口にする事による経口ばく露

#### 1) 経皮ばく露

カーペットの繊維に含まれる粒子の一定量（2%40）が皮膚に付着するものとして経皮ばく露量を算出した。繊維製品に含まれるナノマテリアルとしては、情報が比較的多い銀ナノ粒子を想定し、1週間に1回の清掃として、剥離した粒子の平均濃度を算出し、皮膚への移行率を乗じてばく露量を推計した。

$$ED3_{\text{幼児}} = \frac{Qp \times b(\text{derm})}{BW}$$

$$Qp = Sr \times Ap \times Wr \times p$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>b (derm)</i>	カーペットに含まれた物質の皮膚への移行割合		0.02 (2%)	EC の EIS-Chem Risks での想定値
<i>BW</i>	体重	kg	16.7	※1
<i>Sr</i>	幼児の遊ぶ面積	m <sup>2</sup> /日	12	EC の EIS-Chem Risks での想定値
<i>Ap</i>	使用製品重量	g/m <sup>2</sup>	600	ウールマークの表示最低基準（※2）ばらつきレベルC
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率	mg/g	0.1 (0.01%)	資料1 1. (1)1) よ

<sup>39</sup> ばく露係数ハンドブック（産業技術総合研究所 化学物質リスク管理センター 資料）から引用

<sup>40</sup> EC で実施されている EIS-ChemRisks での想定値（原文は Permethrin の Dermal Bioavailability）

				り ばらつきレベル A
<i>p</i>	平均剥離率 (1 週間あたり)	1/週	0.0019	※3 ばらつきレベル B
<i>Qp</i>	子供の遊ぶ面積のカーペット上に存在するナノ粒子の量 (1 週間の平均値)	mg/日	1.37	
<b>ED3 幼児</b>	<b>経皮ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>0.00164</b>	<b>ばらつき : 100-1/100</b>

※1 : 平成 12 年乳幼児年身体発育調査報告書の 3 歳~6 歳の男女の平均体重の平均値

※2 : ウールマーク表示時のための最低の糸重量 (目付)

※3 : 1 回/週の頻度で掃除をすると想定し (その間、剥離した物質は蓄積する)、年間で 20% の剥離率から 1 週間当たりの剥離率を算出し (0.2/年⇒0.0038/週)、その 1/2 とした。

## 2) 吸入ばく露

カーペットの繊維から剥離・再飛散したナノマテリアルによる、幼児の吸入ばく露量を試算した。再飛散率を考慮した室内濃度は、3 (2) で算出しているが、これは、室内の平均濃度であるため、幼児の頭の位置がより低い位置にあり (ここでは 30cm とした)、吸入濃度もより高いと推測されることを考慮し、EPA によるカーペットからの高さ別の濃度測定結果 (C45cm/C90cm=1.815) から、高さに対して指数的に変化すると想定して、床面から 30cm の高さの濃度 (C30cm) を推測した。なお、対象としたナノマテリアルは、繊維製品として情報の多い銀粒子とした。

この C30cm を用いて、カーペット上で遊ぶ幼児の吸入ばく露を、以下のように推計した。

$$EI3\text{幼児} = \frac{C_{30cm} \times Q \times t \times b(\text{derm})}{BW}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Q</i>	呼吸量	m <sup>3</sup> /hr	0.4	※1
<i>t</i>	接触時間 (滞在時間)	hr/日	4	Cal-EPA での設定値
<i>c (inh)</i>	吸入ばく露による移行割合		1	
<i>BW</i>	体重	kg	16.7	※2
<i>C<sub>30cm</sub></i>	子供の遊ぶカーペット上 30cm のナノ粒子の濃度 (1 週間の平均値)	mg/m <sup>2</sup>	6.4E-7	別添 2 参照 ばらつき : 3. (2) と同じ = 100-1/100
<b>ED3 幼児</b>	<b>吸入ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>6.13E-08</b>	<b>ばらつき : 100-1/100</b>

※1 : EPA Exposure factors handbook で、young children(3-5.8year)の座っている状態 (Sedentary) での値

※2：平成12年乳幼児年身体発育調査報告書の3歳～6歳の男女の平均体重の平均値

### 3) 経口ばく露

カーペットの繊維に含まれる粒子が、幼児の手に付着して口に運ばれることによる経口ばく露について、Cal EPAの評価事例<sup>41)</sup>の一定量(2%<sup>42)</sup>が皮膚に付着するものとして経口ばく露量を算出した(類似の評価事例との比較は別添3に示した)。繊維製品に含まれるナノマテリアルとしては、情報が比較的多い銀ナノ粒子を想定し、1週間に1回の清掃として、剥離した粒子の平均濃度を算出し、皮膚への移行率を乗じてばく露量を推計した。

$$EIG3\text{幼児} = \frac{Qp \times Fhand \times Shand \times t}{BW}$$

$$Qp = Ap \times Wr \times p$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Fhand</i>	手を口に入れる回数	回/hr	1.56	Cal-EPAでの設定値
<i>Shand</i>	口に入れる手が触れるカーペットの面積(1回当たり)	m <sup>2</sup> /回	0.035	同上
<i>t</i>	ばく露時間(カーペット上で遊ぶ時間)	hr/日	4	同上
<i>BW</i>	体重	kg	16.7	※1
<i>Ap</i>	使用製品重量	g/m <sup>2</sup>	600	ウールマークの表示最低基準(※2)ばらつきレベルC
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率	mg/g	0.1(0.01%)	製品情報よりばらつきレベルA
<i>p</i>	平均剥離率(1週間あたり)		0.0019	※3ばらつきレベルB
<i>Qp</i>	子供の遊ぶ面積のカーペット上に存在するナノ粒子の量(1週間の平均値)	mg/m <sup>2</sup>	0.114	
<b><i>EIG3幼児</i></b>	<b>経口ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>0.0015</b>	<b>ばらつき： 100-1/100</b>

※1：平成12年乳幼児年身体発育調査報告書の3歳～6歳の男女の平均体重の平均値

※2：ウールマーク表示時のための最低の糸重量(目付)

※3：1回/週の頻度で掃除をすると想定し(その間、剥離した物質は蓄積する)、年間で20%

<sup>41)</sup> Assessment of Children's exposure to surface Methamphetamine residues in former clandestine Methamphetamine labs, and identification of a risk-based cleanup standard for surface Methamphetamine contamination. (2009/02)

<sup>42)</sup> ECで実施されているEIS-ChemRisksでの想定値(原文はPermethrinのDermal Bioavailability)

の剥離率から1週間当たりの剥離率を算出し（0.2/年⇒0.0038/週）、その1/2とした。

#### シナリオ6：フィルターからの経皮ばく露

ここでは、フィルターにナノ粒子を付着させた空気清浄機を想定して、経皮ばく露量を推計した。この場合、剥離した量が室内に分散するものと想定したため、換気装置の風量は影響しないこととされる。

なお、対象物質としては、二酸化チタンを含む製品情報はあるものの、含有率情報が得られなかったことから、繊維製品の含有量情報のある銀ナノ粒子を想定した。

フィルターから剥離したナノ粒子量を算出し、その1%<sup>43</sup>が皮膚に付着するものとして経皮ばく露量を推計した。

$$ED4 = \frac{Qp \times n \times b(derm)}{BW}$$

$$Qp = Ap \times Wr \times p$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>n</i>	ばく露の頻度	回/日	1	
<i>b (derm)</i>	空気中に放散された物質の皮膚への移行割合		0.01 (1%)	Hansen ら(2008)から引用（根拠は明確ではない）
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>Ap</i>	使用製品重量	g	10	実製品の秤量ばらつきレベルC
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率	mg/g	0.1 (0.01%)	製品情報よりばらつきレベルA
<i>p</i>	剥離率（1日あたり）		0.00055	※1 ばらつきレベルB
<i>Qp</i>	フィルターから剥離して室内空気に放出されるナノ粒子の量（1日あたり）	mg/日	0.00055	
<b>ED4</b>	<b>経皮ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>1.1E-7</b>	<b>ばらつき： 100-1/100</b>

※1：年間で20%の剥離率から1時間当たりの剥離率を算出（0.2/365=0.00055）。

#### シナリオ7：フィルターからの吸入ばく露

ここでは、フィルターにナノ粒子を付着させた空気清浄機を想定して、吸入ばく露量を推計した。この場合、剥離した量が室内に分散するものと想定したため、換気装置の風量は影響しないこととされる。

なお、対象物質としては、二酸化チタンを含む製品情報はあるものの、含有率情報

<sup>43</sup> Hansen ら(2008)の報告値を用いているが、その根拠は明確ではない。

が得られなかったことから、繊維製品の含有量情報のある銀ナノ粒子を想定した。

銀ナノ粒子を含むフィルターを使用した空気清浄機の使用に伴う、吸入ばく露量を推計した。

室内の滞在時間、室内の大きさや換気率は、以下のとおりとして吸入ばく露量を推計した。

$$EI4 = \frac{Ca \times Q \times t \times c}{BW}$$

$$Ca = \frac{Ap \times Wr \times p}{N \times Sr \times h}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
$Q$	呼吸量	m <sup>3</sup> /hr	0.833	※1
$t$	接触時間（滞在時間）	hr/日	7.8	※2 ばらつきレベルC
$c$ (inh)	吸入ばく露による移行割合		1	
$BW$	体重	kg	50	
$Ap$	使用製品重量	g	10	実製品の秤量 ばらつきレベルC
$Wr$	対象化学物質含有率	mg/g	0.1 (0.01%)	製品情報より ばらつきレベルA
$p$	剥離率（1時間あたり）	1/hr	0.00007	※3 ばらつきレベルB
$Sr$	空間面積	m <sup>2</sup>	19.8	12畳と想定
$h$	空間高さ	m	2.3	※5
$N$	換気回数	回/hr	0.5	
$Ca$	空気中濃度（時間平均値）	mg/m <sup>3</sup>	0.0000031	別添1参照
<b><math>EI4</math></b>	<b>吸入ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>4.0E-7</b>	<b>ばらつき： 200-1/200</b>

※1：20m<sup>3</sup>/日

※2：在宅時間（15.8時間<sup>44</sup>）－睡眠その他の時間（8時間）

※3：年間で20%の剥離率から1時間当たりの剥離率（1日7.8時間の使用）を算出（0.2/年⇒0.00055/日⇒0.00007/時間）。

※4：住宅金融公庫の融資を受けて住宅を造る場合の天井高の規定「2m30cm以上」から引用。

#### シナリオ8：室内でのスプレー製品の使用（経皮ばく露）

室内でスプレーとして使用される可能性のある製品としては、室内で銀ナノ粒子を含むスプレー消臭剤と、二酸化チタンを含む光触媒コーティング剤の2事例がある。これらは、含有率及び使用頻度が明瞭に異なることから、これら2種類のスプレー製品のそ

<sup>44</sup> ばく露係数ハンドブック（産業技術総合研究所 化学物質リスク管理センター 資料）から引用

れぞれについて推計を行った。

ナノ粒子を含むスプレーを室内で使用した場合の経皮ばく露量について、噴霧量の1%<sup>45</sup>が皮膚に付着するものとして経皮ばく露量を推計した。

$$ED5 = \frac{Qp \times n \times b(derm)}{BW}$$

$$Qp = Ap \times Wr$$

○ 銀を含む消臭剤をトイレで使用した場合

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>n</i>	ばく露の頻度(回/日)	回/日	3	NITE モデルより
<i>b (derm)</i>	空気中に放散された物質の皮膚への移行割合		0.01 (1%)	Hansen ら(2008)から引用 (根拠は明確ではない)
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>Ap</i>	使用製品重量	mg	1000	NITE モデルより
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率		0.001	製品情報よりばらつきレベル A
<i>Qp</i>	室内に放出されるナノ粒子の量 (1回あたり)	mg/回	1	
<b>ED5 (銀)</b>	<b>経皮ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>0.0006</b>	<b>ばらつき : 1/10-10</b>

○ 二酸化チタンを含むコーティング剤をリビングの壁に使用した場合

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>n</i>	ばく露の頻度(回/日)	回/日	1/365	年に1回の使用
<i>b (derm)</i>	空気中に放散された物質の皮膚への移行割合		0.01 (1%)	Hansen ら(2008)から引用 (根拠は明確ではない)
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>Ap</i>	使用製品重量	mg	100000	※1 ばらつきレベル C
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率		0.02	製品情報よりばらつきレベル C
<i>Qp</i>	室内に放出されるナノ粒子の量 (1回あたり)	mg/回	2000	
<b>ED5 (二酸化チタン)</b>	<b>経皮ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>0.0011</b>	<b>ばらつき : 4-1/4</b>

※1 : 一般的な製品量 250g から類推

<sup>45</sup> Hansen ら(2008)の報告値を用いているが、その根拠は明確ではない。



シナリオ9：室内でのスプレー製品の使用（吸入ばく露）

室内でスプレーとして使用される可能性のある製品としては、室内で銀ナノ粒子を含むスプレー消臭剤と、二酸化チタンを含む光触媒コーティング剤の2事例がある。これらは、含有率及び使用頻度が明瞭に異なることから、これら2種類のスプレー製品のそれぞれについて推計を行った。

ナノ粒子を含むスプレーを室内で使用した場合の吸入ばく露量について、濃度の時間変化を考慮したNITEモデルの瞬間蒸発モデルを使用して推計した。

$$EI5 = \frac{Ca \times Q \times t \times c(inha) \times n}{BW}$$

$$Ca = (Ap \times Wr \div V) \times \frac{1 - \exp(-N \times t)}{N \times t}$$

○ 銀を含む消臭剤をトイレで使用した場合

記号	内容	単位	使用係数等	備考
$Q$	呼吸量	m <sup>3</sup> /hr	0.833 (※1)	NITEモデルより
$t$	接触時間（滞在時間）	時間	0.0333 (※2)	NITEモデルより
$c(inha)$	吸入ばく露による移行割合		1	
$n$	ばく露の頻度(回/日)	回/日	3	NITEモデルより
$BW$	体重	kg	50	
$Ap$	使用製品重量	mg	1000	NITEモデルより
$Wr$	対象化学物質含有率		0.001	製品情報より ばらつきレベルA
$V$	空間体積	m <sup>3</sup>	2	NITEモデルより
$N$	換気回数	回/時間	0.5	NITEモデルより
$Ca$	空气中濃度(時間平均値)	mg/m <sup>3</sup>	0.496	
<b><math>EI5(銀)</math></b>	<b>吸入ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>0.00083</b>	<b>ばらつき 10-1/10</b>

※1：20m<sup>3</sup>/日、※2：2分

○ 二酸化チタンを含むコーティング剤をリビングの壁に使用した場合（年1回、30分/回と想定）

記号	内容	単位	使用係数等	備考
$Q$	呼吸量	m <sup>3</sup> /hr	0.833 (※1)	NITE モデルより
$t$	接触時間（滞在時間）	時間	0.5 (※2)	30 分間使用と想定 ばらつきレベル B
$c (inha)$	吸入ばく露による移行割合		1	
$n$	ばく露の頻度(回/日)	回/日	1/365	1 回/年の使用と想定
$BW$	体重	kg	50	
$Ap$	使用製品重量	mg	100000	※3 ばらつきレベル B
$Wr$	対象化学物質含有率		0.02	製品情報より ばらつきレベル C
$V$	空間体積	m <sup>3</sup>	45.5	※4
$N$	換気回数	回/時間	0.5	NITE モデルより
$Ca$	空气中濃度(時間平均値)	mg/m <sup>3</sup>	38.9	
<b>EI 5 (二酸化チタン)</b>	<b>吸入ばく露量</b>	<b>mg/kg / 日</b>	<b>0.00089</b>	<b>ばらつき : 50-1/50</b>

※1 : 20m<sup>3</sup>/日、※2 : 30 分、※3 : 一般的な製品重量 250 g から類推

※4 : 12 畳 (19.8m<sup>2</sup>) で高さ 2.3m と想定 (4. 参照)

#### シナリオ 10 : 屋外でのスプレー製品の使用

ここでは、屋外で二酸化チタンを含む光触媒コーティング剤（塗料）を使用した場合の、経皮ばく露について推計した。使用したパラメータは、主に Hansen ら（2008）の設定値を準用した。

$$ED6 = \frac{Qp \times n \times b(derm)}{BW}$$

$$Qp = Ap \times Scar \times Wr$$

○ 屋外で車のガラスの表面処理を実施したと想定。

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>n</i>	ばく露の頻度(回/日)	回/日	2/365	年に2回の使用
<i>b (derm)</i>	空気中に放散された物質の皮膚への移行割合		0.01 (1%)	Hansen ら(2008)から引用 (根拠は明確ではない)
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>Ap</i>	単位面積当たりの製品使用量	g/m <sup>2</sup>	10	Hansen(2008) から引用
<i>Scar</i>	車の作業対象場所の面積	m <sup>2</sup>	5.4	Hansen(2008) から引用
<i>Wr</i>	対象化学物質含有率	mg/g	20 (2%)	製品情報よりばらつきレベルC
<i>Qp</i>	空気中に放出されるナノ粒子の量 (1回あたり)	mg/回	1080	
<b>ED6</b>	<b>経皮ばく露量</b>	<b>mg/kg /日</b>	<b>0.0012</b>	<b>ばらつき 2-1/2</b>

## コピー機の使用による経皮ばく露及び吸入ばく露

屋内でコピー機を使用した際に放出されるナノマテリアルが拡散した結果で生じる、経皮ばく露量及び吸入ばく露量を推計した。

コピー機で使用するトナー中のナノマテリアルに関する情報が不十分であったことから、ここでは、コピー機から発生するナノマテリアルに関する測定事例（資料1参照）から、ナノマテリアルの発生量を推測し、ばく露量の推計に用いた<sup>46</sup>。

なお、本調査では消費者ばく露を前提としているため、一般家庭でのばく露量を推計したが、コピー機の使用の多い一般オフィスを想定した推計も参考として実施した。

### (1) コピー機からの粒子の放出量

資料1に示した測定事例では、A4資料とA3資料のコピーで異なる結果が得られているが、ここではA4資料のコピー事例が多いと想定し、1回の使用で直径34～107.5nm(平均約71nm)の粒子が放出され、チャンバー内の濃度が約8600個/cm<sup>3</sup>になったとした(待機中の濃度を差し引いたもの 約9700～1100)。

チャンバーの容量が不明であるが、ここでは仮に1m<sup>3</sup>とすれば、総放出粒子数は8.6×10<sup>9</sup>個となる(8600×10<sup>6</sup>)。直径71nmの粒子1個の体積は約1.9×10<sup>-16</sup>cm<sup>3</sup>であり、密度を1.8g/cm<sup>3</sup>とすると<sup>47</sup>、放出粒子の重量は、約2.9×10<sup>-3</sup>mg/枚とされる。

### (2) 一般家庭でのばく露量の推計

一般家庭では、インクジェット方式のプリンター兼用機の使用が多いと考えられるが、ここでは仮に、通常のコピーマシンを用いている場合を想定した。

コピーの使用量についてのデータは乏しいが、インクカートリッジの印刷可能枚数については、およそ300-400枚といった情報がある<sup>48</sup>。使用量は種々に異なると考えられるが、年間にカートリッジを1回交換する程度が通常と考え、1枚/日程度の印刷枚数と想定した。

コピー機のある室内の大きさとしては、一般的なリビングとして12畳の空間を想定した。したがって、容積は45.54m<sup>3</sup>とされる(3.3m<sup>2</sup>×6×2.3m)。また、在室時間はフィルターの試算事例から7.8時間とした。

なお、以上の想定(コピー使用量、室内の大きさ)については、それぞれ1/2～1/5程度のばらつきがあると考えられ、全体として1/10程度のばらつき(ばらつきレベルA)とすることとする。

以上のことから、コピー機から放出されるナノマテリアルの放出量等は、以下のよう整理される。

<sup>46</sup> 韓国の研究者による調査では、コピー機のある室内ではプラスに荷電した粒子が有意に高くなっているといった報告がある(Han et.al. (2011) Industrial Health 49, 107-115.)

<sup>47</sup> JIS Z 8901で試験用粉体とされているカーボンブラックの密度

<sup>48</sup> <http://www.hp.com/pageyield/jp/ja/OJE6000/>

○ 放出量 (上記から) :  $2.9 \times 10^{-3}$  mg/日 (=  $2.9 \times 10^{-3}$  mg/枚 × 1 枚/日)

1) 経皮ばく露 (シナリオ 1 1)

室内に放出されるナノマテリアルの 1%<sup>49</sup>が皮膚に付着するものとして経皮ばく露量を推計した。

$$ED7 = \frac{Qp \times b(derm)}{BW}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
$Qp$	室内に放出されるナノ粒子の量	mg/日	2.9E-3	上記よりばらつきレベル A
$b(derm)$	空気中に放散された物質の皮膚への移行割合		0.01 (1%)	Hansen ら(2008)から引用 (根拠は明確ではない)
$BW$	体重	kg	50	
$ED7$	経皮ばく露量	mg/kg /日	5.80E-07	ばらつき : 1/100-100

2) 吸入ばく露 (シナリオ 1 2)

室内平均濃度は、頻度の少ない発生であることから、NITE モデルの瞬間蒸発モード (単調減少) から求められる平均濃度とした (下式参照)。

$$Ca = \frac{W}{NV} \times \frac{[1 - e^{(-N \times t)}]}{t}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
$W$	放出量	mg/回	3.7E-4	※1
$V$	空間体積	m <sup>3</sup>	45.54	上記
$N$	換気回数	回/時間	0.5	NITE モデルより
$t$	在室時間 (ばく露時間)	時間	7.8	
$Ca$	空気中濃度 (時間平均値)	mg/m <sup>3</sup>	1.60E-05	ばらつきレベル A

※1 :  $2.9 \times 10^{-3}$  mg/日 ÷ 7.8hr

さらに、室内に放出されるナノマテリアルの吸入ばく露量を、以下の式で推計した。

$$EI7 = \frac{Ca \times Q \times t}{BW}$$

<sup>49</sup> Hansen ら(2008)の報告値を用いているが、その根拠は明確ではない。

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Ca</i>	空气中濃度(時間平均値)	mg/m <sup>3</sup>	0.000725	上記参照
<i>Q</i>	呼吸量	m <sup>3</sup> /hr	0.833 (※1)	NITE モデルより
<i>t</i>	接触時間(滞在時間)	時間	7.8	NITE モデルより
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>EI 7</i>	吸入ばく露量	mg/kg /日	2.1E-6	ばらつき 100-1/100

※1 : 20m<sup>3</sup>/日、※2 : 2分

#### 参考：一般オフィスでのばく露量の推計

一般オフィスの場合、コピーの使用量についてのデータは乏しいが、コピー機のレンタル会社情報<sup>50</sup>では、コピー枚数(月当たり)が、1000枚、3000枚、5000枚、10000枚と多くなるごとに価格が割安になることから、5000枚程度/月と想定し、月25営業日と想定して、200枚/日のコピーを行うものと想定した(時間当たりでは、約25枚/時間になる)。8時間/日の作業と想定すれば、25枚/hr⇒7.25×10<sup>2</sup>mg/hrとなる。

さらに、コピー機のあるオフィスの大きさについては、事務所衛生基準規則第2条で一人当たりの執務室気積は10m<sup>3</sup>以上とされ、一般の民間でのアンケート調査による結果でも10~13m<sup>3</sup>といった結果が得られることから(財務省公表資料<sup>51</sup>)、10m<sup>3</sup>/人とし、20人が作業する事務室(即ち、200m<sup>3</sup>。高さ2.3mとすれば、約87m<sup>2</sup>)を想定した。

ただ、これらの想定(コピー使用量、オフィスの大きさ)については、それぞれ1/2~1/5程度のばらつきがあると考えられ、全体として1/10程度のばらつき(ばらつきレベルA)とすることとする。

以上のことから、コピー機から放出されるナノマテリアルの放出量等は、以下のように整理される。

- 放出量(上記から) : 0.58mg/日 (=2.9×10<sup>-3</sup>mg/枚 × 200枚/日)
- 作業環境中濃度(下式により)<sup>52</sup> : 0.000725mg/m<sup>3</sup>

$$Ca = \frac{W}{N \times V}$$

<sup>50</sup> <http://www.jimtec.co.jp/Rental.htm>

<sup>51</sup> <http://www.mof.go.jp/singikai/zaiseseido/siryous/zaisand/zaisand171213b.pdf>

<sup>52</sup> 一定速度の放出がある場合と考えられることから、別添1の方法で大気中濃度を算出した。

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>W</i>	放出量	mg/hr	0.0725	※1
<i>V</i>	空間体積	m <sup>3</sup>	200	上記
<i>N</i>	換気回数	回/時間	0.5	NITEモデルより
<i>Ca</i>	空气中濃度(時間平均値)	mg/m <sup>3</sup>	0.000725	ばらつきレベルA

※1 : 0.58mg/日 ÷ 8hr

以上で整理した数値を用いて、コピー機からの放出されるナノマテリアルのばく露量を推計した。

#### 1) 経皮ばく露 (シナリオ1.1参考)

室内に放出されるナノマテリアルの1%<sup>53</sup>が皮膚に付着するものとして経皮ばく露量を推計した。

$$ED7 = \frac{Qp \times p \times b(derm)}{BW}$$

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Qp</i>	室内に放出されるナノ粒子の量 (1hrあたり)	mg/hr	0.0725	上記より ばらつきレベルA
<i>b(derm)</i>	空气中に放散された物質の皮膚への移行割合		0.01 (1%)	Hansenら(2008)から引用 (根拠は明確ではない)
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>p</i>	作業時間	Hr	8	NITEモデルより
<i>ED7</i>	経皮ばく露量	mg/kg /日	0.000116	ばらつき : 1/100-100

#### 2) 吸入ばく露 (シナリオ1.2参考)

室内に放出されるナノマテリアルの、吸入ばく露量を、上記で推計した大気濃度を用いて推計した。

$$EI7 = \frac{Ca \times Q \times t}{BW}$$

<sup>53</sup> Hansenら(2008)の報告値を用いているが、その根拠は明確ではない。

記号	内容	単位	使用係数等	備考
<i>Ca</i>	空气中濃度(時間平均値)	mg/m <sup>3</sup>	0.000725	上記参照
<i>Q</i>	呼吸量	m <sup>3</sup> /hr	0.833 (※1)	NITE モデルより
<i>t</i>	接触時間(滞在時間)	時間	8	NITE モデルより
<i>BW</i>	体重	kg	50	
<i>EI 7</i>	吸入ばく露量	mg/kg /日	0.000097	ばらつき 100-1/100

※1 : 20m<sup>3</sup>/日、※2 : 2分



## まとめ

以上の推計結果の集約した結果を表 1.1.5-15、図 1.1.5-9 に示す。

### 1) ばく露量の推計結果

#### <経皮ばく露>

経費ばく露において、最大のばく露量は、スプレー使用によるもので、 $1 \times 10^3 \text{mg/kg/day}$  程度とされた。

興味深いことに、異なる 2 種類のスプレー製品（銀：濃度は低いが使用頻度が多い、二酸化チタン：使用頻度は低いが高濃度）について、含有濃度や使用場所、使用頻度をそれぞれの製品に応じた異なる値を入力したにも関わらず、結果としてのばく露量には大差が認められなかった。

屋外でのスプレー使用（二酸化チタン製品）の場合の暴露推計量は、屋内のものと同大差はなかったが、これは、経皮ばく露の推計方法として、使用量の一定割合（1%）が寄与すると想定していることによるものである。

スプレー使用に次いで大きいばく露量を示したものはコピー機で、 $1 \times 10^4 \text{mg/kg/day}$  程度のばく露があるとされた。

その他、接着剤による経皮ばく露は  $1 \times 10^5 \sim 10^6 \text{mg/kg/day}$  程度、繊維製品、フィルターによる経皮ばく露量は徐々に少なくなり（ $1 \times 10^6 \sim 10^7 \text{mg/kg/day}$  程度）、カーペットからの再飛散による経皮ばく露量は  $1 \times 10^8 \sim 10^9 \text{mg/kg/day}$  程度とされた。

#### <吸入ばく露>

吸入ばく露において、最大のばく露量はスプレー使用によるもので、ばく露量は  $1 \times 10^3 \text{mg/kg/day}$  程度であった。

スプレー使用に次いで大きいばく露量を示したものはコピー機からの放出に伴うもので、 $1 \times 10^4 \text{mg/kg/day}$  程度であった。

また、フィルターからの剥離、放出に伴うばく露量は  $1 \times 10^6 \sim 10^7 \text{mg/kg/day}$  程度、繊維製品及びカーペットからの再飛散による吸入、経皮ばく露量は、 $1 \times 10^8 \text{mg/kg/day}$  程度とされた。

#### <カーペット上の幼児に対するばく露>

カーペット上で遊ぶ幼児に対するばく露量は、経皮ばく露量及び経口ばく露量が  $1 \times 10^3 \text{mg/kg/day}$  以上となった。また、吸入ばく露量は  $10^7 \text{mg/kg/day}$  程度であった。

### 2) バラツキについて（スプレーからのばく露についての試算結果を事例として）

本推計では、冒頭に述べたように、使用した数値のおよそのばらつき等を示したが、元来は使用したシナリオに含まれるばらつきも大きな要素になる。

最大のばく露量と推計されたスプレーからのばく露量を事例にした場合、用いたシナリオやパラメータ等についても以下のようなばらつきがあるものと考えられる。

#### ばく露の頻度

本調査では、銀を含む製品では3回/日とし（NITEモデルの「消臭剤/芳香剤及び不快害虫忌避剤」の使用頻度を採用）、二酸化チタンを含むコーティング剤については1回/年（本調査での想定）のばく露頻度と想定した。

前者では、1回/月の使用頻度では約100倍の相違が生じ、後者では1回/月の使用頻度であれば、約10倍の相違が生じることになる。

#### 放出物質の経皮ばく露への寄与率

本調査では、Hansen(2008)のモデルに準じて1%という数字を共通して使用している。

しかしながら、屋内でのばく露と屋外でのばく露量の推計では、計算上は放出量の1%で同等の扱いをしていることになり、風等による拡散が考えられる屋外環境と全く同等と想定するのは違和感がある。

#### 接触時間

本調査では、銀スプレーについては、NITEモデルに準じて、トイレでの使用を想定して2分、二酸化チタンを含むコーティング剤では、作業時間を30分と想定した。

しかしながら、トイレの使用後にスプレーを使用した場合は、接触時間はほとんどなく、逆に、10分以上滞在する場合もあるものと思われる。その場合、接触時間としては10倍程度の差は生じる可能性がある。

一方、二酸化チタンを用いた作業では、数時間に及ぶ可能性もあり、その場合には接触時間として5倍程度の差は生じる可能性は十分にある。

#### 空間の容積

本調査では、トイレの場合は約2m<sup>3</sup>、二酸化チタンを使用する場合は約12畳のリビングを想定した。

しかしながら、トイレでは1畳（約4m<sup>3</sup>）のものも考えられ、リビング等についても幅があることであるので、2.3倍の差は十分に生じる可能性があると考えられる。

#### 換気回数

換気回数については、本調査では、NITEモデルが使用している0.5回/hrを使用した。

この値は、シックハウス対策等で目安にされている一般的なものであるが、北国

では暖房の関係でより小さい可能性があり、逆の場合もあるものと考えられる。その場合、5倍程度の差は十分に生じる可能性があるものと考えられる。

その他

室内濃度の算出においては、シナリオとして、放出回数が頻繁な場合とごくまれな場合では異なる計算式を用いたが、これらの使用がむしろ逆に差を生む可能性がある。

ただし、単純拡散モデルで指数的に減少することを想定した場合の補正項（右）がある場合とない場合では、例えば  $N=0.5$   $t=7.8$  とすれば、約2%程度の差しかなく、この点では大きな差は与えないものと考えられる。

$$\frac{1 - e^{(-N \times t)}}{N \times t}$$

表 1.1.5-15 ナノマテリアルのばく露量の試算結果

項目	ばく露経路	ばく露量試算値 (mg/kg/日)	ばらつきの目安 (倍率)
ED1・接着剤	経皮ばく露	8.22E-06	5
ED2・繊維製品	経皮ばく露	5.50E-07	100
ED3・カーペット	経皮ばく露	3.49E-09	100
ED4・フィルター	経皮ばく露	1.10E-07	100
ED5・スプレー(銀・屋内)	経皮ばく露	6.00E-04	10
ED5・スプレー(二酸化チタン・屋内)	経皮ばく露	1.10E-03	4
ED6・スプレー(二酸化チタン・屋外)	経皮ばく露	1.18E-03	2
ED7・コピー機	経皮ばく露	5.80E-07	100
EI2・繊維製品	吸入ばく露	5.48E-09	200
EI3・カーペット	吸入ばく露	1.28E-08	200
EI4・フィルター	吸入ばく露	3.99E-07	200
EI5・スプレー(銀・屋内)	吸入ばく露	8.25E-04	10
EI5・スプレー(二酸化チタン・屋内)	吸入ばく露	8.88E-04	50
EI7・コピー機	吸入ばく露	2.08E-06	100
ED7・コピー機(オフィス)	経皮ばく露	1.16E-04	100
EI7・コピー機(オフィス)	吸入ばく露	9.66E-05	100
ED3幼児・カーペット(幼児)	経皮ばく露	1.64E-03	100
EI3幼児・カーペット(幼児)	吸入ばく露	6.13E-08	100
EIG3幼児・カーペット(幼児)	経口ばく露	1.49E-03	100

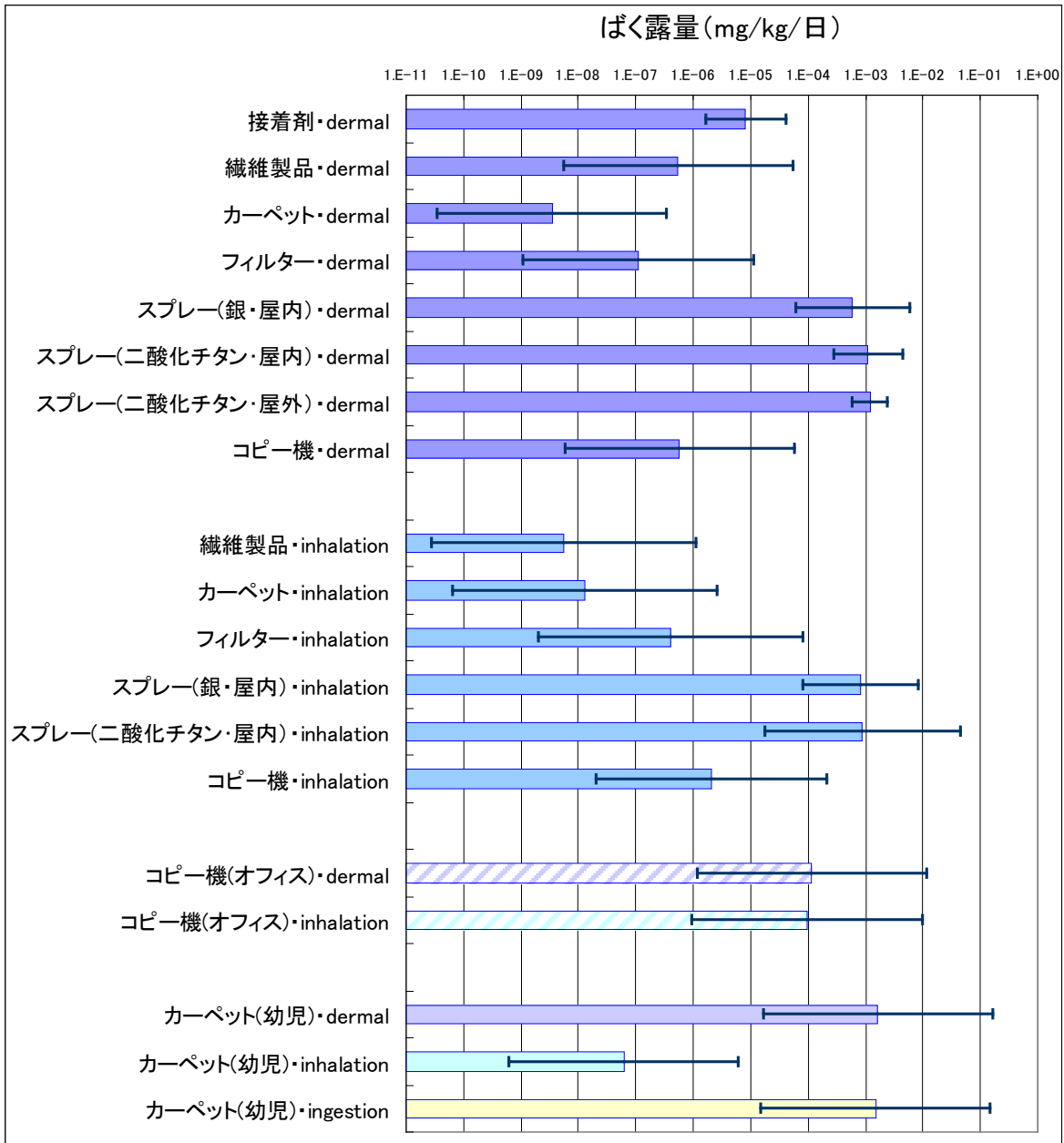


図 1. 1. 5-9 ナノマテリアルのばく露量の試算結果

### 【別添1】

一定の放散量がある場合の室内濃度について

一定速度で化学物質が室内に放散されている場合の、室内の濃度の変化を表す式は以下ようになる。

$$\text{量、 } \Delta C = \frac{W - C \times Q_c}{V} \quad \text{(A)}$$

C : 室内空気中の濃度 (mg/m<sup>3</sup>)、 $\Delta C$  : 室内濃度の変化  
W : 放散速度 (mg/hr)、 $Q_c$  : 室外への放出空気量 (m<sup>3</sup>/h)  
V : 室内空気量(m<sup>3</sup>)

一方、 $Q_c$  は、換気回数を用いると以下のように表現できる。

$$Q_c = NV \quad N : \text{換気回数 (1/h)、} V : \text{室内空気量(m}^3\text{)}$$

したがって、(A)式は以下のようにも表される。

$$\Delta C = \frac{W - C \times NV}{V} \quad \text{(B)}$$

(B) 式で、室内濃度が一定の状態になったと想定し、 $\Delta C=0$  とすると、右辺=0 から、以下の式が導かれる。

$$\frac{W - C \times NV}{V} = 0$$
$$\therefore C = \frac{W}{NV}$$

製品からの放出量 (W) 及び室内空気量 (V) は、それぞれ以下のように算出される。

$$W = Ap \times Wr \times p$$
$$V = S \times h$$

$A_p$  : 使用製品重量(g)、 $W_r$  : 対象化学物質含有率 (mg/g)  
 $p$  : 剥離率 (20%年 $\Rightarrow$ 0.00055/日 $\Rightarrow$ 0.00007/時間<sup>54</sup>)、  
 $Q_p$  : 空気清浄機の一般的風量 (4.5m<sup>3</sup>/分 $\Rightarrow$ 27m<sup>3</sup>/hr)  
 $S_r$  : 室内の面積(12 畳=19.8m<sup>2</sup>)、 $h$  : 天井高さ(2.3m)

したがって、(B)式は最終的に以下のように表される。

$$C = \frac{Ap \times Wr \times p}{N \times Sr \times h}$$

<sup>54</sup> 7.8 時間/日の使用とした。

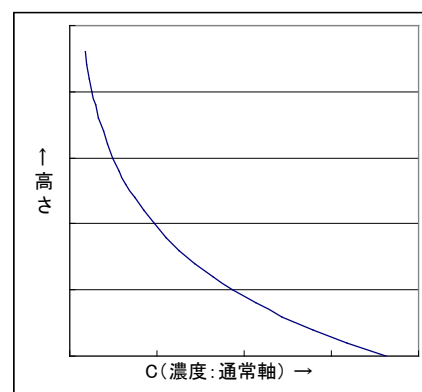
## 【別添 2】

カーペットから飛散した物質の室内濃度の鉛直方向の濃度変化について

カーペットから飛散した物質の室内濃度は、室内で対流して徐々に均一化すると考えられるが、カーペットから常時飛散する状態では、床付近で高く、高くなるほど低くなる可能性が高い。幼児に対する吸入ばく露の検討においては、その点を加味しないと過小評価される恐れがある。

カーペット上の物質濃度の鉛直分布に関する調査結果はほとんど見当たらないが、唯一、EPA が 2007 年に公表した資料において、45cm(18 inch)と 90cm(36inch)での濃度比 ( $C_{0.45m}/C_{0.9m}$ ) が、掃除の前で 1.77、掃除の後で 1.86 であったとする報告がある (平均で 1.815)。

鉛直的な濃度変化が直線的であるかどうかは、この報告では不明であるが、発生源が床のみで、換気が高さ方向に均一であれば、その濃度変化は指数的に表現されるはずである (右図参照)。



そこで、濃度と高さの関係式を以下のように表現することができる。

$$C = C_0 * e^{ah} \quad (A)$$

C : 濃度(mg/m<sup>3</sup>)、h : 高さ(m)、C<sub>0</sub> : 高さ 0m での濃度、a, b : 係数

A 式で、h = 0.45m と 0.9m のそれぞれの式を作ると、以下のようになり、その比 ( $C_{0.45m}/C_{0.9m}$ ) から、a = -1.32 が得られる。

$$\begin{aligned} C_{0.45m} &= C_0 * e^{0.45a} \\ C_{0.9m} &= C_0 * e^{0.9a} \\ \frac{C_{0.45m}}{C_{0.9m}} &= \frac{C_0 * e^{0.45a}}{C_0 * e^{0.9a}} = e^{(0.45a-0.9a)} = e^{-0.45a} = 1.815 \\ -0.45a &= \ln(1.815) = 0.596 \quad \Rightarrow \quad a = -1.32 \end{aligned}$$

また、換気率を考慮した室内の平均濃度は別添 1 で与えられているが、A 式を用いた場合は、物質の存在量 (=濃度×空間の大きさ) は下式のように表される。

$$\begin{aligned}
 Qp &= \int_0^H C dh = \int_0^{0.23} C_0 e^{ah} dh = C_0 \int_0^{0.23} e^{ah} dh = \frac{C_0}{a} (e^{0.23*a} - 1) & (B) \\
 &= \frac{C_0}{-1.32} (e^{0.23*(-1.32)} - 1) = \frac{C_0}{-1.32} (e^{-0.3036} - 1) = \frac{C_0}{-1.32} (0.738 - 1) = \frac{C_0}{-1.32} (-0.262) = 0.198 C_0
 \end{aligned}$$

室内の平均濃度 (8.2E-8 mg/m<sup>3</sup> : 3.(2)参照) に高さ(2.3m)を乗じた物質の存在量 (Qp) は 1.9E-7 mg/m<sup>2</sup> であるから、Qp=1.9E-7 を代入すれば C<sub>0</sub> が求められる (C<sub>0</sub> =9.5E-7)。

以上から、A 式は以下のように表現でき、任意の高さの濃度を表現できることになる。  
 ここでは、幼児が四つん這いになった頭の高さを 0.3m として算出すると、C<sub>0.3m</sub>=6.4E-7 mg/m<sup>3</sup> となる。

$$C = 9.5 \times 10^{-7} \times e^{-1.32*h} \qquad h : \text{高さ(m)}$$

### 【別添 3】

カーペットからの化学物質の経口ばく露に関する、Cal EPA評価事例<sup>55</sup> (p.47) の類似事例

埃中のPolybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs : ポリ臭化ビフェニルエーテル類) の手から口への経口ばく露評価事例<sup>56</sup> (Stapleton(2008))

本調査では、難燃剤に使用されていた PBDEs について、手に付着した埃中の PBDEs を口に含むことによる経口ばく露量が推測された。計算のロジックは CAL EPA (2009) の手法とは異なり、手に存在する PBDEs の量 (面積当たりの濃度) に以下のパラメータを乗じている。

1-4 歳児のパラメータとして使用された数値は以下のとおりである。

- 手を口に入れる回数 : 18 回/hr
- 移動率(Transfer efficiency) : 0.5
- 口に入れる面積の比率(手に対する) : 0.1
- ばく露時間 : 12hr

手に付着した量に対する乗数としてまとめると、本調査で用いたものとの相違は以下のとおりである。

- 本調査(CAL EPA(2009)) :  $1.56(\text{回}/\text{hr}) \times 4(\text{hr}/\text{日}) = 6.24 (\text{回}/\text{日})$   
(移動率=100%)
- Stapleton(2008) :  $18(\text{回}/\text{hr}) \times 12(\text{hr}/\text{日}) \times 0.5 \times 0.1 = 10.8 (\text{回}/\text{日})$

結果的には、2 倍以内の差ではあるものの、手を口に入れる回数では 10 倍以上の開きが認められ、ばく露時間 (カーペット上で遊ぶ時間) も 3 倍の差がある。

この Stapleton(2008)と Cal EPA (2009) のいずれの想定がより精度が高いのかは不明であるが、ここでは評価実施年が新しい、Cal-EPA (2009) の評価事例を用いることとした (p.47 参照)。

<sup>55</sup> Assessment of Children's exposure to surface Methamphetamine residues in former clandestine Methamphetamine labs, and identification of a risk-based cleanup standard for surface Methamphetamine contamination. (2009/02)

<sup>56</sup> Stapleton, H.M. et.al.(2008) Measurement of Polybrominated Diphenyl Ethers on hand wipes: Estimating exposure from hand-to-mouth contact.