

生体影響予測を基盤としたナノマテリアルの統合的健康影響評価方法の提案
分担研究課題名：ナノマテリアルの使用状況、安全性などの既存情報の収集と整理

分担研究者：三宅 祐一 静岡県立大学食品栄養科学部 助教

研究要旨：本研究の初年度では、国内省庁のリスク評価書および報告書や文献情報を収集・整理し、ナノマテリアルに関する物性（サイズ、形態、表面修飾など）、物理化学的特性、用途情報などのデータベースの構築を行った。ナノマテリアルはすでに実用化され、身の回りの製品に含まれていることが明らかとなった。しかし、詳細な情報は公開されていないため、リスク評価に必要な情報の公開が望まれる。令和元年より、オランダ国立公衆衛生環境研究所（RIVM）が開発した ConsExpo-nano を用いたナノマテリアル曝露評価に必要な情報を調査し、室内でのスプレー型の消費者製品の使用を想定したケーススタディを行った。また、ConsExpo-nano を用いて曝露量を推定する際にパラメータが結果に与える影響を定量的に評価するため、感度解析を行った。ConsExpo-nano は、ナノマテリアルの曝露量に関する初期評価には、使用可能であると考えられるが、今後、対象とするケースを増やした研究が望まれる。また、ConsExpo-nano を用いる際には、パラメータが変動しうる範囲も考慮する必要があるが、曝露量と非線形関係にあった入力パラメータについてより詳細に調査・入力することが、より正確な推算値を得るために効率的であることが示唆された。また、ConsExpo-nano を用いて行政関係者および事業者などが手軽にナノマテリアルの曝露リスク評価を行えるようにテクニカルガイダンスを作成した。

A. 研究目的

昨年度までに行った消費者製品に含まれる化学物質や粒子の曝露評価ツールに関する調査にて、特に汎用性が高く使い勝手も優れていると考えられた、オランダ国立公衆衛生環境研究所（RIVM）が開発した ConsExpo-nano の、ナノマテリアル曝露評価に必要な情報を調査し、室内でのスプレー型の消費者製品の使用を想定したケーススタディを行った。また、ConsExpo-nano を用いて曝露量を推定する際にパラメータが結果に与える影響を定量的に評価するため、感度解析を行った。テクニカルガイダンスの作成も行った。

B. 研究方法

B-1. ナノマテリアルを含む市販製品に関する情報の調査方法

経済産業省が行っているナノマテリアル情報収集・発信プログラムの平成 20～平成 29 年度までに集められた情報を収集した。ナノマテリアルとしては、特にカーボンナノチューブ、カーボンブラック、アセチレンブラック、二酸化チタン、フラーレン、酸化亜鉛、シリカ、酸化鉄に関する情

報を収集した。

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編集したナノテクノロジー消費者製品一覧は、日本で購入できるナノテクノロジーの利用が明記されている消費者製品をまとめたリストであり、日本に住む人がナノマテリアルへ曝露する可能性や消費者のナノテクノロジー認知の形成について検討する際の基礎情報となり得るものである。ここでは、このリストを参考にし、ナノマテリアルを含む化粧品などの情報を収集した。製品名やナノマテリアルの種類、製造元などについての情報を収集した。

B-2. ナノ粒子の毒性情報の調査方法

2011 年 7 月 22 日に報告された産業技術総合研究所の NEDO プロジェクト（P06041）「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」にてまとめられた「ナノ材料リスク評価書-二酸化チタン-」より、二酸化チタンに関する毒性情報を収集した。また、厚生労働省の有害性評価書および上述の経済産業省のナノマテリアル情報収集・発信プログラムより二酸化チタンの毒性情報を収集した。

B-3. ナノマテリアルの安全性評価に関わる曝露

評価ツールの探索・精査

ナノマテリアルを含むスプレー等の消費者製品を使用した際の、使用者へのナノマテリアルのリスクを評価するためには、曝露量を調査することが必要である。ただし、ナノマテリアルの曝露量を実測することは困難であるため、一般的に曝露評価ツールを使用して曝露量の推算が行われている。消費者製品からの化学物質や粒子の曝露評価ツールとしては、産業技術総合研究所 (AIST) が開発した室内製品曝露評価ツール AIST-ICET (Indoor Consumer Exposure Assessment Tool) とオランダ国立公衆衛生環境研究所 (RIVM) が開発した ConsExpo-nano がよく知られており、この2種のツールについて、ナノマテリアル曝露評価に必要な情報やアウトプット値などを調査し、まとめた。

AIST-ICET は、消費者製品を含む室内製品に含まれる化学物質のヒトへの経気道・経口曝露量に加え、経皮曝露量を推定するために開発されたツールである。混合物 (例えば、洗剤や殺虫剤など) だけでなく、成形品 (例えば、家電や家具など) からの化学物質の曝露量を推定することが可能であり、製品開発時の安全性評価や製品事故時のリスク評価への活用が想定されている。

AIST-ICET では、室内でスプレー製品を使用した際の室内空気中化学物質濃度を推定するために、4つのスプレーモデルが搭載されている。これらのスプレーモデルは、次の3種のサブモデルが利用できる。1. 「対象化学物質が揮発性であり、噴霧された物質は噴霧者周辺空間 (クラウド) でとどまり、クラウド以外の濃度と比較して濃度が高くなる状況を想定したモデル」、2. 「対象化学物質が非揮発性であり、噴霧された物質は部屋全体に速やかに拡散した後重力沈降が加味したモデル」、3. 「対象化学物質が非揮発性であり、かつ、噴霧された物質は噴霧者周辺空間でとどまり、クラウド以外の濃度と比較して濃度が高くなる状況を表したモデル」、4. 「対象化学物質が非揮発性であり、噴霧された物質は部屋全体に速やかに拡散することを想定したモデル」が含まれる。これらのモデルにより、壁や床などへの吸脱着を考慮した、住宅の室内空気中の化学物質濃度の時間変化を推算することができる。また、長期間における曝露量を簡易的に推算するために、定常状態を仮定した推定も行える。スプレー製品については、独自に行われた噴霧実験の結果に基づいて、噴霧者 (製品使用者) の周辺空間 (クラウド) や粒子沈降を考慮した推定式を搭載している。

ConsExpo-nano は、塗料や洗剤、パーソナルケア製品などの消費者製品に含まれる化学物質のヒ

トへの曝露量を評価するツールである。前身となる ConsExpo という曝露評価ツールを、ナノマテリアルに特化させたツールである。本ツールを用いてスプレー型の消費者製品に含まれるナノマテリアルの、消費者への曝露量を推定することが可能であり、また、空気中ナノマテリアル濃度に基づいた曝露評価を行うことも可能である。さらに、粒子径毎のナノマテリアルの肺胞到達比率をシミュレートすることもできる。

B-4. ナノマテリアルの安全性評価に関わる曝露評価ツールを用いたケーススタディ

ConsExpo-nano は、塗料や洗剤、パーソナルケア製品などの消費者製品からの化学物質の曝露量を評価するツールである ConsExpo をベースに開発され、ナノマテリアルの性状を考慮して、消費者製品に含まれるナノマテリアルの消費者への曝露量を推定することが可能なツールである。本ツールを用いて室内での二酸化チタンを含むスプレー型の消費者製品の使用を想定し、ケーススタディを行い、推算値の精度を文献値¹と比較することで評価した。ConsExpo-nano を用いてナノマテリアルの曝露量を推定するために必要な入力パラメータを表1に示し、入力画面を図3に示す。また、出力パラメータを表2に示す。ConsExpo-nano では、ナノマテリアルの粒径ごとの曝露量 (図4) や、粒径ごとの沈着部位別の沈着比率 (図5)、沈着量 (図6) を推算することも可能である。また、以上の結果は、Microsoft Excel へのエクスポートも可能である。表3には、本ケーススタディにて使用した入力パラメータを示す。

感度解析は、ConsExpo-nano のデフォルト値を基準とし、デフォルト値が設定されていないパラメータは二酸化チタンを含む消臭製品の使用を想定し、基準値を設定し、 $\pm 50\%$ 変動幅させた際の曝露量に及ぼす影響を評価した。ConsExpo-nano で最大値、最小値が設定されているパラメータもあり、変動幅を $\pm 50\%$ にできないパラメータは、変動できる範囲で感度解析を行った。表4に感度解析で用いた基準値と変動幅を示す。

C. 結果

C-1. ナノマテリアルを含む市販製品に関する情報の調査結果

カーボンナノチューブは4社、カーボンブラック5社は、アセチレンブラックは1社、二酸化チタンは7社、フラーレンは1社、酸化亜鉛は3社、シリカは3社、酸化鉄は1社、非磁性 $\alpha 2 \text{Fe}^{3+}$ 酸化鉄ナノ粒子は1社からのナノマテリアルに関する情報が得られた。カーボンナノチューブの用途お

よび添加理由については機械的物性向上、電氣的物性向上、触媒担持、導電性付与、熱伝導性付与、高強度、高柔軟性、高電流密度があり、カーボンブラックはゴム補強効果、黒色着色性、導電性付与効果があり、アセチレンブラックはゴム補強性、導電付与効果、二酸化チタンは紫外線遮蔽能、吸着能、光触媒活性、触媒活性、高屈折率、電荷調整効果がある。フラーレンはラジカル捕捉性、電子受容性、昇華性がある。酸化亜鉛は透明性と紫外線遮蔽能力を向上させ、シリカは増粘・チキソ性付与、補強性付与、流動性付与、耐熱性向上付与の効果があり、酸化鉄は吸油量が低く、分散性が良く、フルイ残分が極めて少なく、着色力・隠ぺい力が大きいなどである。

C-2. ナノ粒子の毒性情報の調査結果

C-2-1 経口摂取に関する毒性情報

産業技術総合研究所の報告書より、使用動物、被験物質、投与期間、投与濃度が試験ごとに異なるために、試験結果を単純に比較することは困難であるが、経口投与された二酸化チタンはナノおよび顔料グレードに関わらず、吸収され、全身に分布すると考えられた。厚生労働省の報告書より、二酸化チタンナノ粒子のLD50は5000 mg/kg以上であった。80 nm および 155 nm 二酸化チタン投与群において、海馬領域の細胞減少、肝臓に中心静脈周囲の水腫性変性および肝細胞の散在性壊死が観察された。経済産業省の報告書より、マウスに腹腔内投与し、骨髄細胞を観察した。染色体異常試験や姉妹分体交換試験では陰性であった。ラットの経口投与によるLD50は10,000 mg/kg以上との記述がある。

C-2-2 吸入曝露に関する毒性情報

産業技術総合研究所の報告書より、ナノサイズ二酸化チタンは顔料グレード二酸化チタンよりもフリーラジカル活性が強く、ナノサイズの二酸化チタンが、発がん物質活性化、DNA 損傷、腫瘍プロモーション等の発がん過程に関与する酸化的ストレスを惹起することが示唆されている。⁴厚生労働省の報告書より、生殖能に関しては、生後 19 週に二酸化チタン曝露群の雄 F1 児を無処置の雌 CBA/J マウスと交配したところ、初回交配開始から F2 児出産までの期間が、有意ではないが、延長する傾向がみられた。経済産業省の報告書より、試験ラットに粒径が 15–40 nm の二酸化チタンを 24 ヶ月間全身吸入曝露させ、6 ヶ月間清浄な空気下で飼育した後解剖した試験で、気管支肺胞の過形成、間質性線維化、肺に粒子を貪食したマクロファージ等がみられた。

C-2-3 経皮摂取に関する毒性情報

産業技術総合研究所の報告書より、ラット、ウサギおよびブタにナノサイズの二酸化チタンを塗布したとき、チタンは角質層および毛包から検出されたが、真皮までは到達せず、ナノサイズの二酸化チタンは皮膚を通過しないことが示されている。厚生労働省の報告書より、二酸化チタン塗布による細胞間隙拡大、デスモソーム損傷及び基底細胞核周囲の空胞増大などの病理学的変化がみられたが、皮膚刺激性は認められなかった。また粒子径が 90 nm よりも小さな二酸化チタンはマウスの皮膚を通過して、全身に移行すること示している。経済産業省の報告書より、ウサギを用いた眼刺激性試験で、わずかに刺激性がみられた。またウサギでの皮膚刺激性試験やヒトでの例で、刺激性が認められなかった場合と僅かに刺激性が認められた場合がある。

C-3. ナノマテリアルの安全性評価に関わる曝露評価ツールの探索・精査

ナノマテリアルを含むスプレー型の消費者製品を使用した際の、使用者へのナノマテリアルの経口曝露量の推定に必要なパラメータを、AIST-ICET、ConsExpo-nano ごとに列挙し、まとめた。

AIST-ICET の使用方法は、まず、サイト (<https://icet.aist-riss.jp/>) にアクセスし、AIST-ICET をダウンロードしてインストールする。計算ケース名を入力し、曝露経路として吸入曝露、製品は家庭用塗料 (スプレー) を選択する (図 1)。放散モデルは、クラウド-非揮発性を選択し、計算に必要なインプット値を入力して実行する。表 1 に ナノマテリアルを含むスプレー型の消費者製品を使用した際の、使用者へのナノマテリアルの経口曝露量の推定に必要なインプット値を示す。AIST-ICET では、噴霧時間 (sec)、噴霧量 (g/sec)、化学物質比率 (wt%)、気中画分 (%)、10 μm 以下粒子比率 (%)、初期クラウド体積 (m³) が推定に必要なパラメータであった。このうち 1 秒あたりの噴霧量 (製品の分類や方式によって、それぞれデフォルト値が用意されている)、対象成分比率、気中比率、粒径が 10 μm 以下の粒子比率、初期クラウド体積は、AIST-ICET 内にデフォルト値が用意されており、それぞれ 0.028–2.0 g/sec、0.4–9%、100%、0.1–38%、0.0625 m³ であった。ただし、化学物質の曝露評価が主な目的であるために、ナノマテリアルの性状に関するパラメータは設定できず、ナノマテリアルの曝露評価を適切に行えるのかについて、検証が必要であると考えられる。

AIST-ICET を用いた、ナノマテリアルを含むスプレー型の消費者製品を使用した際の、使用者へのナノマテリアルの経口曝露量の推定結果を図 2

に示す。また、アウトプットされる結果を表にまとめる。AIST-ICET の場合、室内空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、吸入曝露量 ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)、時間変化に伴う濃度変化 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) がアウトプットされた。

ConsExpo-nano の使用方法は、まず、サイト (<https://www.consexponano.nl>) にアクセスする。AIST-ICET と異なり、Web 上で計算を完結することができるため、ツールをインストールする必要がない。ConsExpo-nano ではシナリオタイプとして、スプレーシナリオとカスタムシナリオが存在する。ナノマテリアルを含むスプレー型の消費者製品を使用した際の、使用者へのナノマテリアルの経口曝露量の推定には、スプレーシナリオを選択する。図 3 に推算に必要なインプット値を入力する画面を示す。任意に設定できるパラメータとしては曝露時間 (min)、エアロゾル粒子密度 (g/cm^3)、製品に含まれる対象物質の重量割合 (-)、エアロゾルの直径 (μm)、変動係数 (-)、最大粒径 (μm)、噴霧速度 (g/sec)、製品に含まれる不揮発性物質の重量割合 (-)、気中比率 (%)、噴霧時間 (sec)、部屋の体積 (m^3)、部屋の高さ (m)、換気回数 (h^{-1})、ナノマテリアル密度 (g/cm^3)、ナノ粒子直径 (nm)、ナノ粒子高さ (nm)、ナノ粒子厚み (nm)、ナノ粒子表面積 (nm^2)、溶解率 (%)、曝露頻度 (days)、シミュレーション時間 (day)、呼吸速度 (m^3/h)、噴霧 1 秒後のクラウドの体積 (m^3)、平均粒径 (μm) があり、ナノマテリアルの性状に関する情報を入力することが可能であった。以上のほとんどのパラメータにおいてはデフォルト値が設定されていたが、ナノマテリアル密度 (g/cm^3)、ナノ粒子直径 (nm)、ナノ粒子高さ (nm)、ナノ粒子厚み (nm)、ナノ粒子表面積 (nm^2) のような、ナノマテリアルの性状についての情報は入力する必要があった。これらの情報を収集・整理しておくことができれば、効率的かつ迅速にナノマテリアルの曝露評価をすることが可能となると考えられる。

ConsExpo-nano の場合、吸入曝露量 (mg)、エアロゾル粒子径の沈降率 (%)、ナノ粒子の体積 (m^3)、エアロゾル粒子の体積 (m^3) がアウトプットされた。ConsExpo-nano では、ナノマテリアルの粒径ごとの曝露量や、粒径ごとの沈着部位別の沈着比率や沈着量を推算することも可能である。また、以上の結果は、Microsoft Excel へのエクスポートも可能である。

C-4. ナノマテリアルの安全性評価に関わる曝露評価ツールを用いたケーススタディ

ナノマテリアルを含むスプレー型の消費者製品を使用した際の、使用者へのナノマテリアルの曝露量を推定するために必要なパラメータを収集、

整理した。ConsExpo-nano で設定できるパラメータは、曝露時間 (min)、エアロゾル粒子密度 (g/cm^3)、製品に含まれる対象物質の重量割合 (-)、エアロゾルの粒子径 (μm)、変動係数 (-)、最大粒径 (μm)、噴霧速度 (g/sec)、製品に含まれる不揮発性物質の重量割合 (-)、気中比率 (%)、噴霧時間 (sec)、部屋の体積 (m^3)、部屋の高さ (m)、換気速度 (h^{-1})、ナノマテリアル密度 (g/cm^3)、ナノ粒子径 (nm)、ナノ粒子高さ (nm)、ナノ粒子厚み (nm)、ナノ粒子表面積 (nm^2)、溶解率 (day)、曝露頻度 (year)、シミュレーション時間 (day)、呼吸速度 (m^3/h)、噴霧 1 秒後のクラウドの体積 (m^3) であり、ナノマテリアルの性状を条件として入力することが可能であった。ConsExpo-nano では、ほとんどのパラメータにおいてデフォルト値が設定されていたが、ナノマテリアル密度 (g/cm^3)、ナノ粒子径 (nm)、ナノ粒子高さ (nm)、ナノ粒子厚み (nm)、ナノ粒子表面積 (nm^2) のようなナノマテリアルの性状については数値を入力する必要があった。ConsExpo-nano を用いた、ナノマテリアルを含むスプレー型の消費者製品を使用した際の、使用者へのナノマテリアルの経口曝露量の推定結果の例を図 7 に示す。ConsExpo-nano の場合、吸入曝露量 (mg)、エアロゾル粒子径の沈降率 (%)、ナノ粒子の体積 (m^3)、エアロゾル粒子の体積 (m^3) がアウトプットされた。

これらの情報に加え、曝露量に関する情報が記載された文献¹を用いて、二酸化チタンを含むスプレー型の消臭製品についてケーススタディを行い、ConsExpo-nano の推算値の精度を評価した。ConsExpo nano を用いて推定した消臭スプレーに含まれる二酸化チタンの使用に伴う吸入量および肺胞沈着量は、それぞれ 5.9×10^{-3} および $4.1 \times 10^{-4} \text{ mg kg}^{-1}$ であった。同様のケースにおける既往研究¹の推定値は、それぞれ 5.7×10^{-2} および $4.0 \times 10^{-4} \text{ mg kg}^{-1}$ であり、ConsExpo-nano を用いて推算した曝露量と文献値¹の比は、吸入量については 0.104 倍、肺胞沈着量については 1.02 倍となった。

ConsExpo-nano への入力パラメータについて感度解析を行った結果、入力パラメータとエアロゾル粒子の曝露量の関係は大きく分けて、線形関係 (図 8) と非線形関係 (図 9) の 2 つに分けられた。製品に関するパラメータ、エアロゾルに関するパラメータ、製品使用状況に関するパラメータは、エアロゾル粒子の曝露量と線形関係にあった。一方、非線形関係にあった入力パラメータと推定された曝露量として、エアロゾル粒子の最大粒径とエアロゾル粒子の曝露量、ナノ粒子径と曝露されると推定されたナノ粒子数、エアロゾル粒子径と曝露されると推定されたエアロゾル粒子の表面

積、ナノ粒子の表面積と曝露されると推定されたナノ粒子数が挙げられた。ConsExpo nano においては、エアロゾルの最大粒子径は、粒子径の中央値や変動係数とともに、粒子径分布を求めるために使用され、統計的な意味と異なって使用される。具体的には、最大粒子径以上の分布は切り取られ、中央値以下の最大値も許容される。

以上の結果をもとに、ConsExpo-nano を用いて行政関係者および事業者などが手軽にナノマテリアルの曝露リスク評価を行えるようにテクニカルガイダンスを図 10 のように作成した。

D. 考察

ナノマテリアルのリスク評価を行っている機関および省庁としては、産業技術総合研究所、経済産業省、厚生労働省が主であった。市販されている製品中に含まれるナノマテリアルとしては二酸化チタンが多く、ナノマテリアルに関する毒性情報も二酸化チタンのものが多かった。しかし、製品中のナノマテリアルに関しては、具体的な性状などの情報が公開されていないことが多く、製品中に含まれるナノマテリアルのリスク評価のためにはより詳細な情報を独自に収集する必要があることが示唆された。

ナノマテリアルを含むスプレー型の消費者製品を使用した際の、使用者へのナノマテリアルの経口曝露量の推定において、AIST-ICET および Consexpo-nano の両者を比較すると、ナノマテリアルの曝露量の推算に必要なインプット値や、結果として得られるアウトプット値（推算値）の項目に大きな違いがみられた。これは、それぞれの曝露評価ツールの推算メカニズムが異なることが理由であると考えられる。特に、Consexpo-nano は、ナノマテリアルの曝露評価に特化しているため、ナノマテリアルの性状を考慮した曝露評価が可能である。しかし、推算に必要な項目が多いことから、その適切なインプット値の収集が難しい。

本研究で参考にした文献¹には、ConsExpo-nano での推算に必要なすべてのパラメータが記載されていたわけではなく、いくつかのパラメータは文献¹の状況を反映しきれていない可能性があるデフォルト値などの数値を用いたため、これによる誤差も含まれていると考えられる。そのため、ConsExpo-nano 自体の評価には、パラメータを揃えた実験が必要だと考えられる。

E. 結論

ナノマテリアルはすでに実用化され、身の回りの製品に含まれていることが明らかとなった。しかし、詳細な情報は公開されていないため、リス

ク評価に必要な情報の公開が望まれる。

ナノマテリアルを含む製品の想定される曝露経路に合わせて、それぞれの曝露評価ツールの特性を考慮しながら適宜最適なツールを選択する必要性が示唆された。

ConsExpo-nano は、ナノマテリアルの曝露量に関する初期評価には、十分使用可能であると考えられるが、今後、対象とするケースを増やした研究が望まれる。また、ConsExpo-nano を用いる際には、パラメータが変動しうる範囲も考慮する必要があるが、曝露量と非線形関係にあった入力パラメータについてより詳細に調査し、入力する必要があることが示唆された。

E. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

鱒川 雅花, 多田 智彦, 徳村 雅弘, 王 齊, 三宅 祐一, 雨谷 敬史, 牧野 正和. ConsExpo nano を用いたスプレー製品中ナノマテリアルの曝露量推定における曝露パラメータの影響評価, 2020 年室内環境学会学術大会, 郡山. (2020 年 12 月)

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

引用文献

Park, J.; Ham, S.; Jang, M.; Lee, J.; Kim, S.; Kim, S.; Lee, K.; Park, D.; Kwon, J.; Kim, H.; Kim, P.; Choi, K.; Yoon, C.; Spatial-temporal dispersion of aerosolized nanoparticles during the use of consumer spray products and estimates of inhalation exposure. *Environmental science & technology* **2017**, *51*, (13), 7624-7638.

表 1. ConsExpo-nano を用いたナノマテリアルの曝露量の推定に必要な入力パラメータ

		Variable	Putty spray	Splay glue	Unit
Scenario type	Spray scenario	Exposure duration	30	240	min
		Density aerosol particle	-	-	g/cm ³
		Weight fraction nano material in aerosol particle	-	-	-
Diameter distribution	Monodisperse	Aerosol diameter (mass median)	15.1	15.1	μm
		Aerosol diameter (mass median)	15.1	15.1	μm
	Log normal	Arithmetic coefficient of variation	1.2	1.2	-
		Maximum aerosol diameter	10	10	μm
Exposure Pattern	Single event	Simulation duration	S	S	day
		ICRP: Male (light exercise)	S	S	-
	Deposition model	ICRP: Female (light exercise)	S	S	-
		Inhalation rate	1.4	1.4	m ³ /h
	Exposure frequency unit	Per day	S	S	-
		Per week	S	S	-
		Per month	S	S	-
		Per year	1	12	-
		Simulation duration	365	365	day
		ICRP: Male (light exercise)	S	S	-
Deposition model	ICRP: Female (light exercise)	S	S	-	
	Inhalation rate	1.4	1.4	m ³ /h	

* 「-」は入力が必要な値
* 「S」は画面上に候補が表示される

表 2. ConsExpo-nano の出力パラメータ

		Dose measure
Event doses		Inhaled dose per event, Alveolar dose per event
		Mass
		Number of nano particles
		Surface of area nano particles
		Volume of nano particles
		Surface area of aerosol particles
Distributions		Number of aerosol particles
		Volume of aerosol particles
		Inhaled mass distribution
		Deposition fraction mass distribution
		Deposited mass distribution
		Inhaled and alveolar dose one event
Dose-time plots		Alveolar load

表 3. ConsExpo-nano でのケーススタディに用いた入力パラメータ

		Variable		Unit
Factsheet	Cleaning and washing	All-purpose cleaning spray	-	-
Scenario type	Spray scenario	Exposure duration	138.3	min
		Density aerosol particle	4.5	g/cm ³
Aerosol	Log normal	Weight fraction nano material in aerosol particle	1	-
		Aerosol diameter (mass median)	7.7	μm
		Arithmetic coefficient of variation	1.9	-
		Maximum aerosol diameter	10	μm
Spray		Mass generation rate	0.3625	g/s
		Weight fraction nanomaterial in product	0.03	-
Usage		Airborne fraction	1	-
		Spray duration	8	s
Room		Room volume	40	m ³
		Room height	3	m
		Ventilation rate	0.5	Per hour
Nanomaterial	Monodisperse	Density nanomaterial	4.5	g/cm ³
		sphere	-	-
Simuration	Single event	Simulation duration	365	day
		Deposition model	ICRP: Male (light exercise)	-
		Inhalation rate	0.594	m ³ /h

表 4. ConsExpo-nano での感度解析に用いた入力パラメータの基準値および範囲

		Variable	Default	Range	Unit
Factsheet	Cleaning and washing	All-purpose cleaning spray	-	-	-
Scenario type	Spray scenario	Exposure duration	60	±50%	min
		Density aerosol particle	4.5	-80%~default	g/cm ³
Aerosol	Log normal	Weight fraction nano material in aerosol particle	1	-90%~default	-
		Aerosol diameter (mass median)	2.4	±50%	μm
		Arithmetic coefficient of variation	0.37	±50%	-
		Maximum aerosol diameter	10	-90%~default	μm
Spray		Mass generation rate	1.6	±50%	g/s
		Weight fraction nanomaterial in product	0.03	±50%	-
Usage		Airborne fraction	0.006	±50%	-
		Spray duration	13.8	±50%	s
Room		Room volume	15	±50%	m ³
		Room height	2.5	±50%	m
		Ventilation rate	2.5	±50%	Per hour
Nanomaterial	Monodisperse	Density nanomaterial	4.5	±50%	g/cm ³
		sphere	-	-	-
Simuration	Single event	Simulation duration	365	-	day
		Deposition model	ICRP: Male (light exercise)	-	-
		Inhalation rate	1.4	±50%	m ³ /h



図 1. AIST-ICET の計算ケース設定画面

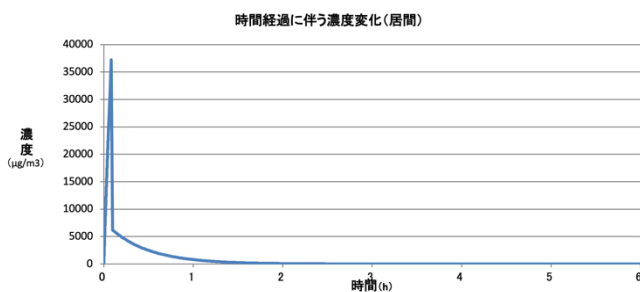


図 2. スプレー型消費製品使用時のナノマテリアル経口曝露量の推定結果例(AIST-ICET)

Scenario Load default scenario from factsheet > show

Name or description (optional)

Scenario type

Spray scenario

Custom scenario

Exposure duration (min) 1440

Aerosol

Density aerosol particle (g/cm³) 10

Weight fraction nano material in aerosol particle 1

Aerosol diameter

Type of distribution Log normal

Aerosol diameter (mass median) (μm) 7.7

Arithmetic coefficient of variation 1.9

Maximum aerosol diameter (μm) 10

Nanomaterial

Name or description (optional) 1

Density nanomaterial (g/cm³) 10

Type of distribution Monodisperse

Shape nano particle Sphere

Nano particle diameter (nm) 10

Nanomaterial soluble

Spray

Mass generation rate (g/s) 1

Weight fraction nanomaterial in product 0.00002

Airborne fraction 1

Usage

Spray duration (s) 1

Spraying towards exposed person

Room

Room volume (m³) 18.5

Room height (m) 2.1

Ventilation rate (per hour) 0.2

Simulation

Exposure Pattern Single event

Simulation duration (days) 1

Deposition model ICRP: Male (light exercise)

Inhalation rate (m³/h) 1.4

図 3. パラメータの入力画面

Distributions

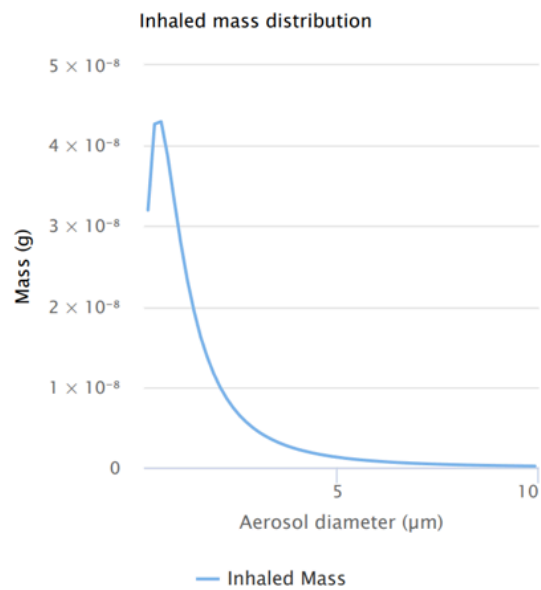


図 2. ナノマテリアルの粒径ごとの曝露量

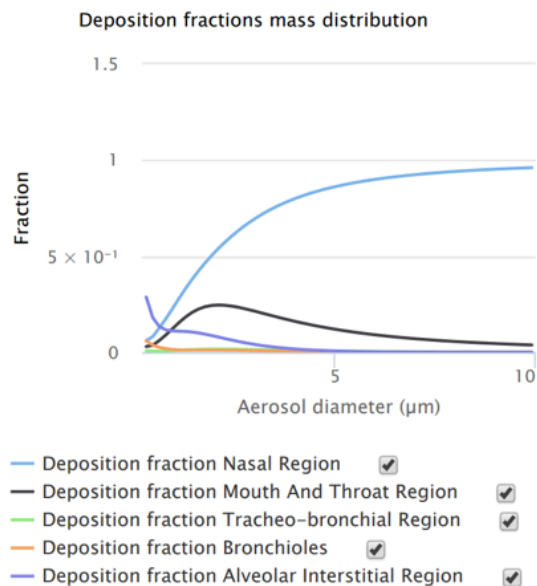
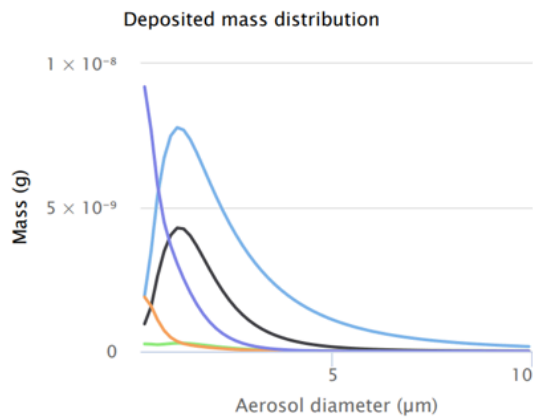


図 3. ナノマテリアルの粒径ごとの沈着部位別の沈着比率



- Deposited Mass Nasal Region
- Deposited Mass Mouth And Throat Region
- Deposited Mass Tracheo-bronchial Region
- Deposited Mass Bronchioles
- Deposited Mass Alveolar Interstitial Region

図 4. ナノマテリアルの粒径ごとの沈着部位別の沈着量

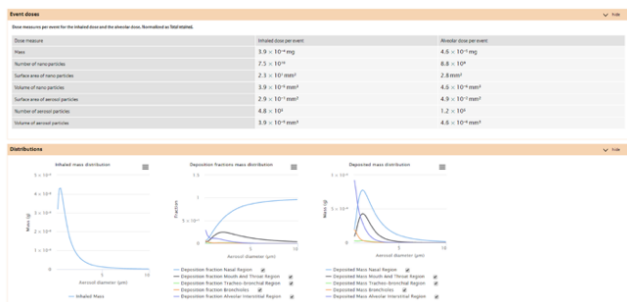


図 5. スプレー型の消費者製品を使用した際のナノマテリアルの曝露量の推定結果の例

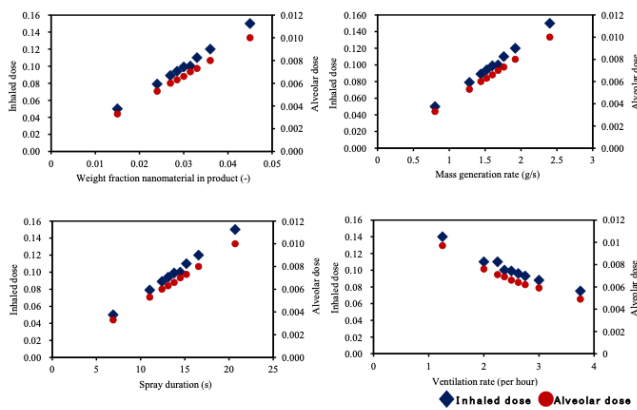


図 6. 曝露量と線形関係にあったパラメータ

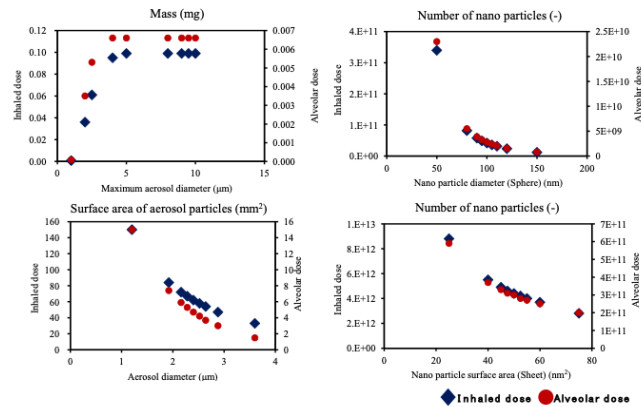


図 7. 曝露量と非線形関係にあったパラメータ



図 8. テクニカルガイド