

# 光触媒のナノ粒子放出によるリスク

## — 環境医学的考察 —

小林 剛 (カリフォルニア大学環境毒性学部元客員教授)

### 1. 光触媒の光と影 — 安全性に懸念 —

光触媒の有用性については、その先進的技術による広範な用途が高く評価され、その製品は日本のみでなく、世界的にも広く販売され、知名度は極めて高い。しかも、それが日本発のイノベーションであることは、日本人としての矜持を触発させる快挙であるといえよう。

しかし、光触媒のマイナスの側面については、かねてより、内外の識者らから、その材料物質である二酸化チタンナノ粒子類による EHS (環境・健康・安全) リスクの問題が提起されてきた。特に、その経年変化による光触媒の分解/摩耗/剥離などの品質の劣化および性能低下のほか、さらに重視すべきナノ粒子類の環境中放出がヒトの健康や生態系に有害影響を与える懸念は、その分野の研究の進展により高まりつつあった。

これらの危惧に対して、研究開発・製造者は、プラス面の性能向上には極めて熱心 (やや滑稽なほど) であったが、「粒子類の放出については、光触媒は膜状態化されているので心配はない」と強調し (裏付けテストの実施の有無は不明)、楽観視していたようである。

### 2. 光触媒はナノ粒子を放出する

ところが、先般、欧州の有力研究機関 TECNALIA の環境部門 (大規模で高度の研究能力で知られ、研究者約 1,350 名を擁するとのこと) からの研究報告で、光触媒の劣化促進実験装置により、セルフクリーニングガラスの有名ブランド「ピルキングトン・アクティブ」(日本板硝子の特許ライセンス製品、英国およびイタリアにて販売) と実験用コーティングから二酸化チタンナノ粒子類の放出の存在を検出し、世界初の重大な事態がクローズアップされた。堅牢であると信頼されていたナノフィルムが、意外に脆くて危険なことが判明した。本論文は、触媒化学の専門誌「Applied Catalysis B: Environmental」(2012 年 7 月 23 日) に発表されたが、この画期的な成果により、性能低下のほか、自然環境、ヒト、野生生物、植物への影響についての我々の長年にわたる危惧が顕在化するに至った (付属資料 1、2)。

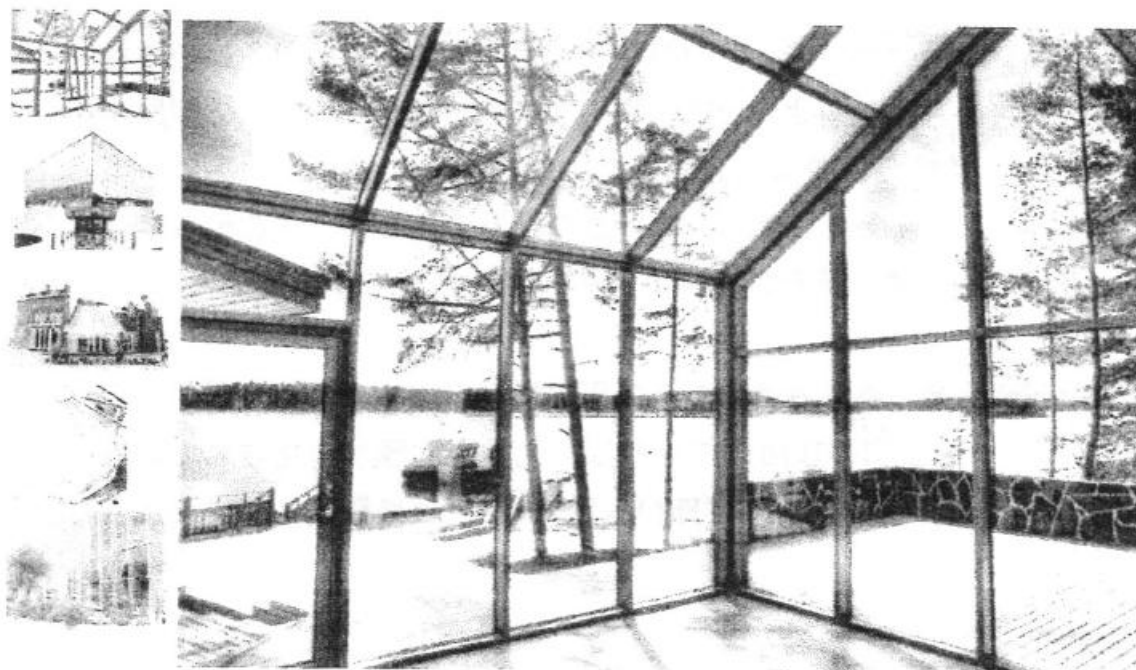
今後、これらの新知見発見を契機として、触媒化学の周囲をめぐる環境生物学や生態学を含む科学分

野において、光触媒応用の種々の製品の有用性と安全性についての本質的な論議が盛り上がることを期待したい。

**archiproducts**  
the worldwide source for architecture & design products

PILKINGTON ITALIA

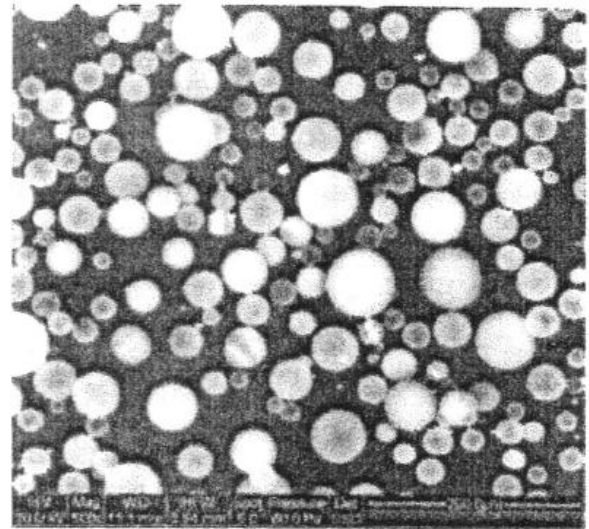
**Pilkington Activ™**



セルフクリーニングガラス「ピルキングトン」のベネフィット

- 魅力的なブルーカラーは、素晴らしく美的な最適の性能を提供します
- 優れた光線の透通性と、ソーラーコントロールの組み合わせです
- 日光と雨水により、ガラスの表面から有機性の汚れを分解し洗い流します
- 曇りの日も、夜間でも機能します
- Pilkington Activ™ のコーティングは、ガラスの寿命の限り有効です  
(今回の研究結果から言えば「誇大広告?」)
- 外部反射を減らし、温室を美しく見せます

光触媒より放出されたナノチタン粒子類の電顕像 (Basque Research 提供)。多数の遊離状態の微小サイズの球状ナノ粒子により構成され、凝集/凝結状態は認められないため、その影響マグニチュードは比較的高いことが憂慮される。さらに排出実態の十分な検討とその効果的な防止対策の開発が必要。



光触媒のリスクは、金属としての二酸化チタンと、バルク状物質とは著しく異なるナノサイズの形状による物理/化学/生物学的特性の活性化発現の両面から派生している。さらには、その分解遊離後の挙動などについて、物質化学や物質物理学 (material physics) の検討により、最強の吸入毒性を示す分離単体一次粒子 (free crystal) /結合力の強力な一次凝結粒子集合体 (aggregate) /結合力の弱い二次凝集粒子集合体 (agglomerate) などの構成状態の変化について、化学的/物理的条件 (気温・湿度・共存大気汚染物質・照射光線など) と時系列的变化などの研究が不可欠である。

セルフクリーニングガラスのメーカーは、発売以前に、自社内で劣化確認実験を行い、先手を打っておくべきであったにもかかわらず、これらの一連の実態を解明した報告は見当たらず、このような事態に至ったのは、製品の先進性の点からも残念である。これは光触媒の有用性の「盲点」乃至「陥穽」ともいべき、早急に解決すべき重要課題であろう。

種々の用途に用いられる光触媒材料から放出されたナノチタン粒子類は、塗料として施工された建築物などから、風雨による劣化分解により、土壌や排水路を経て下水処理場において処理され、汚泥肥料として、畑地での農作物として、食物連鎖により人間の食卓に至り、種々の有害影響が推定される。この問題については、先に、筆者発行の環境医学ニュースレター「農作物のナノ粒子汚染」(2012-09) および「ナノチタン粒子の生態学的影響」(2012-10) として報告した。

最終結末として憂慮される生態系への影響についての一般的な参考文献として、筆者訳注の「加工ナノ粒子類物質の生態毒性」(Wiley 社刊:「ナノ素材の毒性・健康・環境問題」Oberdorster 博士らによる名著) を添付したので参照されたい (参考資料)。

### 3. 光触媒の性能評価の問題点 —JIS 審議体制の見直し—

光触媒の品質を維持し、粗悪品の排除を目的とした光触媒材料試験方法としての JIS 規格には、セルフクリーニング・空気浄化（一酸化窒素ほか）・水浄化・生物応用（抗菌ほか）・試験用光源などについては具体的かつ定型的に制定されているが、EHS の安全性能試験については、何故か全く言及されていない。製品の安全・安心が叫ばれる今日、これは大きな手落ちであるといわざるを得ない。

このような事態に至った理由は、JIS 調査会委員（定員 30 名、現在 22 名が選任）は産業振興省庁主導で、医学生物学的領域の専門家は僅か 1 名のみ（厚生労働省系国立研究所所長）で工学系に偏重しているためとの批判も仄聞しているが、今後は、すべての関連省庁（文部科学省、環境省、農林水産省、消費者庁など）のほか、各分野のステークホルダーにより構成される挙国体制ともいべきオールジャパンにより実施されるべきである。

現状においては、メンバーの出身母体の構成の偏在から、必然的に推進側の企業よりの決定になり、中立性の確保が困難であり、「セーフティマインド」指向が十分でないと考えられる。その補完のためには、欠員の委員 8 名の充当に、環境医学・労働安全衛生・毒性学・人間工学・安全工学・衛生工学などの専門家を充て、閉鎖的運営を避けるべきであろう。さらに、光触媒の場合には、その抗菌性の適正な評価と意義については、後述の通り、細菌学や免疫学の専門家の参加も不可欠である。

また、現在の JIS の審議内容は、工業製品の性能を、製品販売時点の工学的・機械学的範疇と限局的にとらえ、単なる性能テストではなく、消費者の健康、環境影響、安全性などを含む「真の性能」には全く配慮されていない。さらに、商品には劣化が付きものであるにもかかわらず、製造→使用（消費）→廃棄に至るまでのライフサイクルアセスメントおよびリスクマネジメントによる環境安全性への視点は欠落している。この「劣化加害性」を想定したテストガイダンスを至急策定すべきである。現に、前述の通り、光触媒では製品（商品）による劣化の差異が報告されており、その生物学的影響も劣化因子に支配されている筈である。

これらの点から、JIS においては、ヒトや環境への有害影響を極力低減するため、光触媒の劣化による二酸化チタンナノ粒子類の環境放出に対しては、具体的なテスト方法を明示すべきである。

また、わが国から光触媒の国際標準について ISO（国際標準化機構）などへの積極的な働きかけが行われているが、前述の光触媒の「副作用」も国際品質基準に包含するよう進言すべきである。

さらに、現在の JS 審議体制の改善は、製造物責任法（PL 法）の精神の点からも早急に行うべきである。その上、先進的な REACH（EU の化学物質規制法）の「no data, no market」（安全データなくして市販なし）による消費者の権利尊重の理念にも思いを致し、企業側に課せられている安全性の挙証責任

を果たすために援助すべきであろう。

光触媒の性能が JIS の範疇にのみ限局される限り、消費者の信頼を得ることは困難であり、リスクの可能性を赤裸々に公表し、それらへの対応法を明示すべきであろう。これは、ナノマテリアルの風評被害というには当たらず、究極的には、将来の光触媒技術の繁栄に直結する賢明な道であることを理解すべきである。

#### 4. 光触媒の性能をどう考えるべきか

光触媒の性能には、プラスのみでなくマイナス面も存在することは、もはや否定できないであろう。新製品がプラス面を最大化し、マイナス面を最小化するための努力は自明の理である。光触媒もその例外ではあり得ない。

そのためには、現段階では、ベネフィットの大々的な PR よりも、リスクの発掘や精査に努力を傾注し、光触媒の包括的影響を明らかにし、社会の理解と信頼を獲得すべきである。ベネフィットの利便性のみ目を奪われて、隠れたハザードを見逃してはならない。

そこで最も重視すべきは、企業サイドの自主的な情報の徹底的公開である。これこそ「健全な科学社会」のあるべき姿であり、企業の社会的責任が問われている。安全責任の保証には、光触媒の将来の繁栄の前提としての使命が課せられている。

ここでは、光触媒の大きなメリットとされている「抗菌効果」のマイナス面と、ナノマテリアルの潜在リスクとして注目される「二酸化チタンナノ粒子の次世代健康影響」および最近における画期的な研究論文「ナノ粒子類による自己免疫疾患の誘発」について述べ、読者諸氏のご理解と自己判断の参考に供したい。

これらの成果を含めて、ナノ粒子類がヒトの健康や環境に「無害」あるいは「不活性」で、完全に安全であるという研究結果は存在しないことに驚かされる。

##### 4-1. 抗菌・抗微生物作用の問題点

細菌叢 (bacterial flora) 全般に対し、いわゆる「善玉」の有用微生物/細菌を含めて、無差別に「絨毯爆撃」のように殺菌することは、人間社会全体の公衆衛生的見地に立つ正統派の科学者らからは「反医学的暴挙」と見なされている。現代人の極度の潔癖症の風潮とそれに便乗する企業が、バイキン即患者の過剰反応を助長させている。

この深刻な問題に関して、代表的なナノマテリアル抗菌剤のナノシルバーの例について紹介しよう。光触媒の抗菌作用についても、本質的にはこの批判の対象になることはいうまでもない。(参考資料：Friends of the Earth：「国民の健康をリスクに曝すナノシルバー政策の失敗」)。(附属資料 5)。

- 1) ナノシルバーを広範囲に漫然と不適正に使用する事態により、悪性度の高い抗生物質耐性菌による入院患者の死亡者数は増加し続け、毎年、米国では約 10 万人、欧州では約 15 万人に達している。代表的な抗生物質耐性菌、MRSA (メチシリン耐性黄色ブドウ球菌)、PRSP (ペニシリン耐性肺炎球菌)、VRSA (バンコマイシン耐性黄色ブドウ球菌) などの激増が深刻化している。
- 2) 汎用抗菌剤の多用/乱用は、先進国における免疫不全症の喘息・アレルギー疾患の多発などを誘発させ、米国においては全国民の 54% がアレルギー原因物質テストに陽性を示し、オーストラリアの幼児の 40% 近くがアレルギーに罹患している。



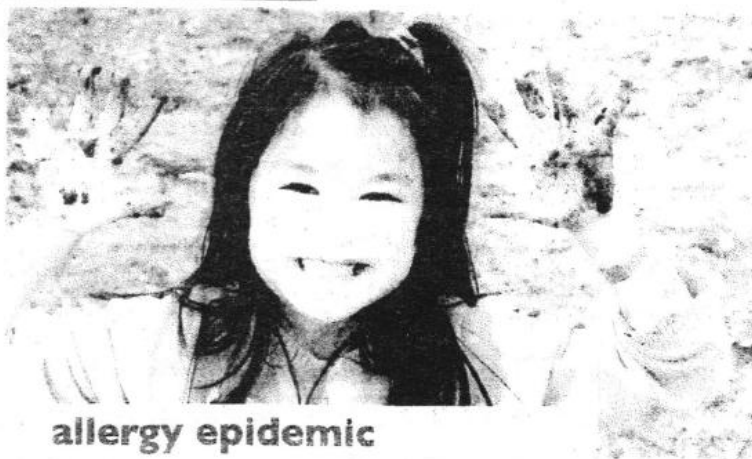
- 3) メルボルン大学の Peter Doherty 教授 (1997 年、免疫システムの研究により、ノーベル医学・生理学賞を受賞) は、「幼児期における微生物類との相互作用は、人間の免疫システムにベネフィットをもたらす。子供らには、家の中ではなく、ドロンコ遊びをさせるべきである。」と述べている。また、自己免疫とアレルギー疾患の比較研究を実施したオーストラリア小児医学研究所の Peter Sly 教授は「先進国はあまりにもクリーン (too clean) になってしまった」と必要以上の無菌化を嘆いている。

- 4) WHO はこのような危機状態を憂慮して、世界保健デー（2011 年 4 月 7 日）に際して特別声明を発表し「明日の治療を確保するため、抗生物質への耐性に対し、今日、アクションを起こそう」とのスローガンを掲げ、この問題についての、国際社会の注意と行動を喚起している。
- 5) 結論：政府は、消費者用・工業用・環境製品に対するナノシルバーの使用を禁止すべきである。以上の諸点は、光触媒の抗菌目的による無制限な使用に貴重な教訓を示唆している。



**bacterial resistance**

バクテリアの反乱



**allergy epidemic**

アレルギーの蔓延

備考：Friends of the Earth（地球の友）は、世界 77 か国に支部を置き、会員約 200 万人を有する世界最大の国際環境 NGO。

## 4-2. ナノマテリアルの健康影響

### 1) ナノ粒子類の生体影響

ナノマテリアルは、その超微小のサイズ形状により、通常バルクサイズでは想定もされなかった、異常に高い物理/化学的/生物学的活性を発現することは周知されている。

ナノマテリアルと生物体との相互関係は、東京理科大学ナノ粒子健康科学研究センターの武田健教授によれば「未知なる遭遇」ともいふべき特異疾患を誘発し、「ナノ粒子は、潜在的な様々な疾患の発症並びに増悪の重要な要因と考えられる。ナノ粒子は細菌、ウイルス、プリオンに続いて第 4 の病原体（正確には病原物質）と表現したくなるほど様々な病態を引き起こす」と報告されている。

「ナノ粒子は、呼吸器や消化管から、また極めて僅かではあるが皮膚からも取り込まれ、血液を介して全身のあらゆる組織に運ばれる。病理学的な観察から、特に血管及び血管周囲の細胞に大きな影響を及ぼしている。ナノ粒子は、重量あたりの表面積が大きく、粒子表面に分子が露出している割合が大きいこと、活性酸素による酸化ストレスなどが生じやすい。さらに、蓄積され排出されにくい特性を持っている」（武田 健、管又昌雄、フアルマシア:vol.45 N0.3 2009）。

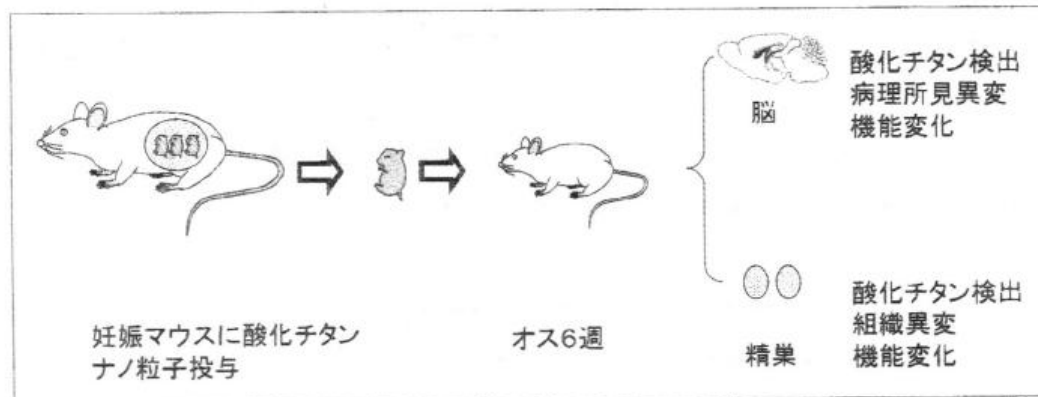
本研究は、ナノ粒子類は、生体内を自由自在に移動し、多様な疾患を多発させる原因であることを明確に示している。ナノマテリアルが「第 4 の病原物質」的存在であることは、現在、原因不明と目されている種々のいわゆる難病（厚生労働省指定の特定疾患は、2012 年現在 130 疾患）との関連性において重要な clue（手掛かり）をもたらす可能性が高いであろう。

### 2) ナノマテリアルの次世代影響

同じく、東京理科大学の武田教授らによる脳における酸化チタンナノ粒子類の検出においては「チタンナノ粒子を妊娠マウスに皮下注射で投与すると、生後 6 週齢の仔マウス精巣の細胞（ライディヒ、セルトリ、精子細胞など）でも認められ、これら組織への酸化チタンの移行が証明された。組織観察の染色で精細管の異常が認められ、また、セルトリ細胞の電子顕微鏡観察ではミトコンドリアの膨潤化、クリステの消失が認められ、1 日精子産生数、セルトリ細胞数の有意の低下が認められた。酸化チタン以外の他のマテリアルにおいても、その程度に差はあるものの精巣に対する影響が認められた。一方、吉田らは成熟マウスの実験系において、気管内投与したカーボンブラックナノ粒子が生殖系に影響することを明らかにしている。」



本報告は、現在問題になっている社会経済的要因による「少子化」とは別に、さらにナノ粒子類による生殖能力低下による「第二の少子化」を示唆している。



図：酸化チタンナノ粒子を妊娠期のマウスに曝露すると、成長後の仔の脳や精巣に粒子が検出され、様々な影響が認められる

### 3) ナノ粒子類による難治性疾患の誘発

化粧品から光触媒塗料にまで遍在する二酸化チタンナノ ( $\text{TiO}_2$ ) 粒子類は、先年、カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) ガンセンターの研究者らにより、マウスの遺伝的損傷を見出し、DNA 鎖切断を誘発するほか、染色体損傷や炎症を発生させ、これらの相乗効果はガンリスクを増強させる、と発表されている。

因みに、IARC (国際ガン研究機関) は、 $\text{TiO}_2$  を発ガン物質 2B (ヒトに対して発ガン性を示す可能性がかなり高い) に指定し、米国国立労働安全衛生研究所も、職業発ガン物質 (occupational carcinogen) と決定している。このように、その発ガン性についての確実性は、一層強固になりつつある。

さらに、前述のナノマテリアルの「万病の根源説」を補強する一部として、今回、アイルランド・ダブリンのトリニティカレッジ分子医学部の Volkov 教授らは、ナノ粒子類の吸入による自己免疫疾患の誘発を発表した (附属資料 3)

本研究では、吸入された種々のナノ物質に暴露されたヒトおよびマウスの気道や肺胞の細胞はシトルリンを形成し、シトルリン化された蛋白質のプログラム化により、免疫システムは、自身の組織や臓器を攻撃し、慢性関節リウマチのような自己免疫疾患を発症するという画期的な結果を発表し、それら両者間の関連性を実証した。

ナノ粒子類の吸入によっては大気汚染関連の呼吸器疾患 (喘息・気管支炎・肺気腫・肺ガンなど)、心臓血管系疾患の発症は既に古典的な学説として確立されているが、さらに、次のような多様な有害健康

影響との関連が明確化されている。

- 脳への進入による神経系への影響は、パーキンソン病やアルツハイマー病
- 胃腸管での吸収は、クローン病（訳者注：腸壁全般にわたる難治性の慢性炎症性腸疾患で、腹痛・下痢・体重減少・発熱などの症状を呈する。国の難病特定疾患に指定されている）や結腸ガン
- 心臓・肝臓・腎臓への進入は、各臓器の機能不全および疾患
- 子宮内暴露は、産仔の生殖能力低下（前述「次世代影響」）

上記 2 件の武田論文は、多数のナノ粒子類の健康影響研究の中でも、傑出した成果であり（最多アクセス文献賞を受賞）、動物実験はヒトのリトマス試験紙あるいは人間よりも検出精度が低いとされる研究システムにおいて、ナノマテリアルの有害作用を浮き彫りにしていることは、重要視すべきであろう。

## 5. まとめ

光触媒の劣化によるナノチタン粒子類の放出が発表されたのを機会に、それらのヘルスリスクについて環境医学的見地から忌憚のない所見と提言を述べた。その究極的な趣旨は、光触媒の問題点を解決し、この画期的な先進技術の将来に対して、ナノテクノロジーの研究開発を支援することである。関係諸氏のご努力に期待したい。

さらに、今回の光触媒のナノ粒子放出による有害健康影響との関連性の問題が発生した背景には、日本におけるナノ化学/工学研究者と健康/環境医学専門家との間の協力体制の欠落が災いしている。理工学—医学生物学の一体化チームによる連携が必要であり、早急にその具体化を構築できるかどうか、先進技術の成否を分かつことになるであろう。その接点を占める「安全医学/製品毒性学」に、日本が先導的役割を果たすべく、その協力の場の設営に、関連産官学の努力が求められている。

現在、ある大学において、大規模の光触媒総合研究センターが建設中と仄聞しているが、是非とも、前述の工学—医学—一体の製品安全保証システムを導入されるよう進言している。もし、実現できれば、ナノリスク対応の研究施設として、世界初の快挙となるであろう。

## 付属資料 :

- 1) Josune Olbarietta et al., 「流出水における光触媒コーティングの劣化：長期性能と二酸化チタンナノ粒子類の放出」、Allied Catalysis B: Environmental, Vol.123-124, 23 July, Pages 182-192
- 2) 「表面流出水におけるナノマテリアルの出現」、The Iconocast news, Sep.19, 2012
- 3) April McCarthy, 「ナノ粒子類は自己免疫疾患を発症」、Health&Wallness、2012-6-11
- 4) 書評欄「マクズラック著：細菌が世界を支配する」読売新聞 2012-10-29

## 参考資料 :

Eva Oberdorster et al., 「加工ナノ物質の生態毒性 (原著:Wiley 社「ナノ素材の毒性・健康・環境問題」2007、日本語版 NTS 刊

## 追記 :

ここまで執筆してきたところ、下部に収載の「可視光でも光触媒」の新聞記事を見た。光触媒の利用範囲が戸外の紫外線から屋内の可視光線にまで拡大されたという画期的な技術開発である。

ここで当然検討すべき銅の毒性は、ヒトには弱い、水生生物特に淡水魚類のコイ・フナなどには極めて強いことが知られている。銅葺き屋根からの水を用いた池で、鯉の死亡が起きている。水中の銅は沈降し、底質において銅濃度は濃縮される。魚類を経て生態系から食物連鎖に入る可能性も否定できない。

可視光光触媒の経年変化による劣化(風化)や摩耗/剥離脱落に対する対策は、紫外線光触媒のチタンナノ粒子放出のほか、さらに、銅化合物や銅イオンの放出による環境汚染やヒトの健康影響について、追加的に十分な調査研究が必要である。今回の紫外線光触媒からのナノ粒子放出を教訓として、これらのテストをクリアし「安全証明」を付した上での発売が望ましい。

12.10.12

**可視光でも光触媒** 東大など新素材

紫外線で有機物を分解する「光触媒」と呼ばれる特性を、可視光でも可能にする新たな素材を東京大などが開発し、11日発表した。この素材に光をあてて、ウイルスや細菌の99%以上を、1時間以内に死滅させる効果を確認した。光触媒はこれまで、屋外での利用が中心だったが、可視光でも効率的に反応を起こせるようになったことで、屋内などに用途が格段に広がると期待される。

橋本和仁・東大教授(化学)らは、光触媒を起す酸化チタンの表面に、銅化合物をまぶす手法を使い、新たな素材を開発した。光触媒による酸化反応には、病原体の表面を覆うたんばく質や脂質を壊す作用がある。新素材の上に大腸菌を載せて可視光をあてた結果、1時間後に菌の99%が死滅した。ウイルスも同様の結果だった。

研究チームが新素材を病院の壁や空港のカーポートに塗って試した結果、塗らない時よりも菌が70〜97%減った。研究チームは「ドアノブのようなウイルスなどが多く付く場所には強い光をあてるなど、場所に応じた使い方が可能」と話す。

**付属資料 1**流出水における光触媒コーティングの劣化：  
長期性能と二酸化チタンナノ粒子類の放出

Josune Olbarietta et al.,

(TECNALIA 環境部門および TECNALIA フランス)

Applied Catalysis B:Environmental, Vol123-124,23 July 2012,Pages 182-192

訳注：小林 剛

**要約**

光触媒はそれらの大部分の適用において、過酷な摩耗状態を経験するであろうが、包括的な経過におけるそれらの劣化についての研究は殆ど行われていない。本論文においては、我々は流出水における光触媒コーティングの劣化加速にシミュレートした独自の実験プロトコルを提示し、知名度の高い市販製品のピルキングトン・アクティブ(Pilkington Active™)と実験用コーティングの2種類のマテリアルをテストした。

ここでは、コーティングの本質的な特性（化学特性・肉厚）への影響のほか、環境パラメーター（water matrix、紫外線）への影響が、光触媒コーティングの長期性能あるいはそれらの環境インパクトに関連する（1）光触媒活性の喪失（2）機械的特性の減成（3）二酸化チタンナノ粒子類の放出など、など3種類の最終結末に対する劣化の影響が検討された。

光触媒コーティングには、長期間の液浸（prolonged immersion）により、それらの作用サイトにおける不活性化（a deactivation of their active sites）が認められた。不活性化の程度はコーティングにより異なり、実験用コーティングにおいては約 20%、Pilkington Active™ では 65%を示したが、water matrix と照明との低い依存性が認められた。実験用コーティングの機械的特性の変化は、二酸化チタンの  $150.5 \mu\text{g/L}$  を伴い観察された。Pilkington Active™ のフィルムの硬度（hardness）あるいは密着性（adhesion）の低減の無いことは実証されたが、劣化実験用水中では  $30.8 \mu\text{g/L}$  以上の二酸化チタンの濃度が検出され、このマテリアルからの一部の二酸化チタン放出が示された。

興味深いことに、放出の通常メカニズムは、二酸化チタンと塩化ナトリウムおよび紫外線との相互作用による誘発が確認された。最も重篤なダメージは塩化ナトリウムの存在下において観察された。これらの結果は、環境中で適用される表面結合のナノ粒子類による光触媒コーティングの水生媒体中への進入を示唆している。彼らは、また、劣化アッセイは、それらの排出評価の有効な方法であることも立証している。

**付属資料 2**表面処理からの流出水における  
ナノマテリアルの出現

The Iconocast News, Sep. 19, 2012

訳注：小林 剛

TECNALIA 研究所の科学者らは、科学誌 Applied Catalysis B: Environmental において、ナノマテリアルをふくむ表面からの流出水によるナノマテリアルの排出を明らかにした。これらの表面処理は、多数の消費用および建築用製品に採用されているが、加工ナノマテリアルの存在の証拠は環境中では最初である。近年においては、それらのヒトや環境への毒性についての懸念が提起されているため、さらに研究が必要である。

この結果は、分析されたすべての表面処理において、ナノマテリアルと特性の喪失を示している。TECNALIA 研究所は、それらの製品の開発に最大限の利用を希望する表面処理を扱うすべての会社が必要とする、高度に専門的な技術サービスと、実際の使用条件下における製品の挙動と、環境中における機能性の喪失の予測についての特殊な知識を創出した。

その研究は「流出水における光触媒コーティングの劣化：長期性能と二酸化チタンナノ粒子類の放出」とのタイトルで、ナノマテリアルの最大の成功例である酸化チタンナノ粒子類による光触媒表面処理に焦点を絞っている。

これらのナノ粒子類は、紫外線で照射された際には、大気および空気中に見出される汚染物質類を含む有機物質を分解する能力がある。この特性と疎水性のおかげで、これらの表面処理は、特定のペイントや除染舗装、現在は実験段階であるが、水および大気処理システムに適用されている。

研究者らは、ナノマテリアル含有の表面からの流出水によるナノマテリアルの排出を示した。これらの表面処理は多くの多数の消費用および建築用製品に採用されているが、加工ナノマテリアルの存在の証拠は環境中では最初である。

**付属資料 3**

## ナノ粒子類は自己免疫疾患を発症

Health&amp;Wellness 誌

April McCarthy, 2012 年 6 月 11 日

訳注: 小林 剛

トリニティカレッジ・ダブリン校 (TCD) の科学者らによる画期的な研究は、サンスクリーン・化粧品類・その他の保健衛生用品に広く用いられているナノ粒子類への暴露は、慢性関節リウマチその他の深刻な自己免疫疾患に関連する重大な健康へのインパクトを有することを発見した。

この知見は、ナノテクノロジー製品とナノマテリアルの使用と最終廃棄について、メーカーの健康と安全を扱った最近発行された国際ジャーナル「ナノ医学」(Nanomedicine) において発表された。

プリムス大学の研究者らは、中枢神経系の脳やその他の部分に致命的な影響を与える、と世界で初めて提示した。

ナノテクノロジーはナノメートルスケールのテクノロジーで、新しい量子効果 (quantum effects) は、元素および化合物の化学的物物理的特性を変化させ、工業的利用の可能性をもたらし、それと全く同様の理由で、健康と環境に先例のないリスクを派生させる。

化粧品からサンスクリーンやペイントおよびビタミン類に至るまで、どこにでも見出される二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) ナノ粒子類は、既にマウスにおける全身的な遺伝的ダメージの発生が、カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) Jonsson がんセンターの研究者らにより、以前に行われた包括的研究により発見されている。

TiO<sub>2</sub> ナノ粒子類は DNA の一本鎖および二本鎖切断を誘発し、染色体損傷のほか炎症も引き起こし、これらのすべてはがんのリスクを増強させる。

自動車排気・喫煙・種々の発生源のダストの長期間吸入による炭素粒子類を含む環境汚染は、肺の慢性炎症のリスクファクターとして確認されてきた。喫煙と慢性関節リウマチのような自己免疫疾患との関連性も確立されている。この新しい研究は、もし、適切に取扱われない場合には、世界の健康リスクを生じさせるナノテクノロジー製品の空气中汚染物質による同様のリスクを初めて提起している。

この研究において、トリニティカレッジ・ダブリン校医学部分子医学教授 Yuri Volkov 博士のナノ医

学・分子画像研究チームは、種々の物理・化学的特性を有する広範囲のナノ粒子類への暴露後におけるヒトの細胞における自己免疫疾患の形成に影響する、根底に共通して存在するメカニズムの有無について検討した。

研究者らは、20~400 ナノメートルの種々のサイズの超微小カーボンブラック・カーボンナノチューブ類・二酸化シリコンから、ヒトの気道経路内層細胞、吸入異物に最も頻繁に暴露され、それらを我々の身体から浄化する、いわゆる食菌部位由来の細胞などを含む広範囲を検討対象とした。同時に、彼らは米国国立労働安全衛生研究所の健康影響ラボラトリー部門（ウェストバージニア州モーガントウン）の研究者らと協力して、単層カーボンナノチューブにより汚染された空気により慢性暴露吸入を受けたマウスについての研究を実施した。

その研究結果は明確で信頼性の高いものであった。すべてのタイプのナノ粒子類は、TCD と米国の双方の研究において、ヒトの細胞とマウスの肺において全く同じ反応を示し、シトルリン (citrulline) と称する分子が慢性関節リウマチのような自己免疫疾患状態を誘発させた。

シトルリンの変化において、構成ブロックとして、この変化したアミノ酸を、構成ブロックとして取り込むヒトの蛋白質は、もはや機能が適切に働かず、生体防衛システムによる破壊や除去の対象とされる。一度、シトルリン化された蛋白質が抜け出してプログラム化されれば、免疫システムは自身の組織や臓器の攻撃を開始でき、それにより、慢性関節リウマチの原因となる免疫システムは、自身の組織や臓器の攻撃を開始できる。この知見の重要性について、TOD の Volkov 教授は「この研究は、自己免疫疾患とナノ粒子類との間の関連性を明らかに実証している」と述べている。

吸入されたナノ粒子類と関連する疾患には、喘息・気管支炎・肺気腫・肺ガン、パーキンソン病やアルツハイマー病などの神経変質性疾患が含まれる。胃腸管におけるナノ粒子類はクローン病（訳者注：口から肛門までの消化管、特に小腸末端部位に炎症を好発する難治性疾患で、国の難病特定疾患に指定されている）や結腸ガンとの関連を示している。循環系に進入したナノ粒子類はアテローム性動脈硬化症、血液凝固、不整脈、心臓疾患と終局的には心臓疾患による死亡と密接な関係を示す。肝臓・脾臓・その他の臓器に進入したナノ粒子類は、それらの臓器における疾患を誘発するであろう。一部のナノ粒子類は、全身性狼瘡紅斑、強皮症、慢性関節リウマチとの関連を示す。

（April McCarthy は、健康・環境問題の分析を積極的に報道する社会ジャーナリスト。）

付属資料 4

書 評 12.10.29

細菌が世界を支配する  
ALLIES AND ENEMIES (味方と敵)



恩恵大きい最小生物

◇Anne Maczulak—  
微生物学者。ラジオなど  
に出演する。微生物につ  
いて、微生物についての  
教育に取り組む。

細菌は誤解されている。細菌名をざっと挙げてみて欲しい。結核菌、ペスト菌、O157…多くは病原菌だろう。「細菌から受ける恩恵は害よりもはるかに大きい」とも関わらずだ。有害作用は、不衛生や怪我など、人間側の過ちから細菌を優位に立たせた結果だと本書は言う。体には数千種類もの常在菌が住む。無害なものが大半だが、腸内の細菌のように消化や免疫を助けてくれる有益細菌も少なくない。

とくに皮膚や気道や腸には、ヒトの細胞の10倍以上の細菌が住む。人体から全DNAを集めたら、ヒトよりも細菌のそれに近くなる。ただし住む細菌の組み合わせは人により異なる。たとえば、体臭の個人差は、細菌の差に由来する。しかし人体に着目しているだけでは、細菌の真の姿を見損なうだろう。実際、細菌は海拔数千メートルの高所から、深海底、数百度の高温水など、地球のあらゆる場所で見つかる。地球上の細菌の総数は10の30乗にも達する。宇宙全体の星の数を1億倍してもまだ足りないほどだ。

そんな細菌たちのほとんどは、やはり、人畜無害だが、意外なところで人類に益をもたらす。石油などの化石燃料や抗生物質は、細菌の貢献が大きい。人類は「脇役」としてこれらを活用させてもらっているわけだ。こんな風に人に役立つとは細菌にも想定外だったろう。

近年では遺伝子工学にも細菌が欠かせない。大腸菌は20分に1回分裂する。一つの大腸菌が1日で4千トンにも増える計算だ。この増殖力は強力な医薬品合成の武器になる。

細菌は独立した生物としては地球上で最小だ。「肝」も「腎」も持たないが、生きるために「肝腎」な機能はすべて備えている。単独でも増殖できるから婚活さえ不要。むしろヒトこそが過剰の肥満体なのだ。煩惱フリーの「人生」を送る細菌は世界一の幸せ者かもしれない。病原菌にしか興味のない人類は、なんと器量の「小さな生き物」だろう。西田美緒子訳。

アン・マクズラック 著  
白揚社 2400円

評・池谷 裕二 (脳研究者  
東京大准教授)