

2007年7月20日発行

### CONTENTS

- 巻頭言：  
化学物質の安全性確保の  
あり方への提言 ..... 1
- 特集：  
工業ナノ材料のリスク評価  
—その2—  
①ナノテクノロジーの標準化  
とリスク ..... 2
- ②ナノリスクネットパネル  
..... 4
- 技術の社会受容性研究  
—リスク便益解析を軸とした  
代替物質評価—  
..... 6
- お知らせ  
学会発表 ..... 8
- 編集後記 ..... 8



明治大学 理工学部 応用化学科  
環境安全学研究室  
教授 北野 大

### 化学物質の安全性確保のあり方への提言

20世紀は安全を求めた世紀でありましたが、21世紀は安全と安心の世紀にせねばならないといわれています。安全と安心はどう違うのでしょうか。「安全とは、人とその共同体への損傷、並びに人、組織、公共の所有物に損害が無いと客観的に判断される事」と文部科学省の「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」では定義しています。ここで客観的事実という言葉に注目してください。一方、安心とは自ら理解し、納得した主観的事実を言います。最近では安心の代わりに信頼という言葉の方がよいと言う考えも有ります。しかし「安全と安心」は「安全と信頼」よりも語呂が良い為か、前者が多用されています。またこの安全と安心の橋渡しをするのがリスクコミュニケーションです。

本論の化学物質に入る前に、製品安全での安全性の考え方をおさらいしてみます。製品安全では機械は故障するものであり、人は過ちを犯すものであると言う大前提が有ります。また製品安全でのリスクの定義は化学物質の場合と同じように、以下のよう示されます。

$$\text{リスク} = f(\text{ひどさ} \times \text{遭遇確率})$$

化学物質の場合、ひどさはハザード、遭遇確率は曝露という事になります。

そしてこのリスクを削減する為に次の3つのステップが取られます。

- 第1段階 本質的安全設計
- 第2段階 安全防護によるリスクの削減
- 第3段階 残ったリスク(残留リスク)については情報公開

これらの考え方は化学物質の安全性にもそのまま応用できます。まず行うべき第1段階の本質的安全設計での優先順位は、ハザードの除去、そして次にハザードの緩和です。化学物質の場合、ハザードの除去とは毒性の強い物質の使用を規制すること、またハザードの緩和とは毒性のより低い物質への代替です。第2段階の安全防護は化学物質への曝露を減らす事、すなわち使用量の削減、閉鎖系での使用などがあります。そしてこれらの配慮をした上でも更に残る第3段階の残留リスクについてはMSDS(製品安全データシート)の活用があります。

人は過ちを犯すものと言う前提を初めに述べましたが、人は安きに流れ、またきちんと理由を説明しないと手順などは守ってくれない、お願いは守られないという前提で考える事も必要です。

現在環境省と経済産業省の合同の委員会において今後の化学物質の安全性の確保のあり方について検討がなされていますが、ここで紹介した製品安全の考え方を是非参考にしたいものです。化学物質の管理においてハザード管理からリスク管理へという流れも見られますが、ハザードの大きな物質は曝露に関係なく規制すべきです。ハザード管理か、リスク管理かの2者択一ではなく相互に補完すべきものと考えべきです。

なお明年4月から、筆者の属する明治大学大学院理工学研究科に新領域創造専攻と言う新しい専攻が開設されます。ここでは現代の種々の安全問題を、技術、システム、社会、人間という視点から系統的に学び研究します。有職の社会人も学べるよう講義は夕方や休日に配置されています。多くの関心のある方のご参集を期待しております。

## 特集:工業ナノ材料のリスク評価 —その2—

ニュースレター第16号に掲載した工業ナノ材料のリスク評価の特集に引き続き、この分野におけるCRMの活動をご紹介します。

### ①ナノテクノロジーの標準化とリスク

#### 健康リスク評価チーム チームリーダー 川崎 一

ナノ粒子は、サイズが小さいが故に特異的な有害性を持つことが懸念されている。これまでに、培養細胞とナノ粒子を非遮光で培養すると遮光下での培養に比べて細胞障害作用が100倍以上増強されること、培養細胞とナノ粒子を培養すると細胞内のエネルギー産生小器官であるミトコンドリアを選択的に破壊すること、また、魚を用いた研究で脳の一部である臭球で酸化ストレスを生じたことを示唆する所見などが報告されている。これらの研究報告は、試験管内 (*in vitro*) での細胞培養によるデータあるいは水槽での魚を用いた予備的な実験結果であり、これらのデータからナノスケールの微粒子が粒子サイズに特異的な有害性をもつことが示されたわけではない。そもそも粒子サイズに特有の有害性があるかどうかは未知である。また、報告されている生物反応が正しく粒子のサイズに起因する現象であるかどうかについては検証されていない。これは、試験系である培養液中あるいは水槽中のナノスケールの粒子サイズを正確に計測する技術がまだ確立されていないためである。

ナノテクノロジーは日本が先導する有望な技術の一つであるが、製品としてはこれから普及する段階であり、安全性(有害性)に関する情報やデータも少ない。また、革新的な技術であるが故に、安全性に対する懸念が提起されやすい。従って、安全性上の懸念を払拭することがこのような革新的な技術の開発・普及には不可欠であり、ナノテ

クノロジーも例外ではない。

ナノテクノロジーに用いられる化学物質は、すでに安全性が確認されていたり、あるいは長期間、安全に使われてきた物質と全くの新規物質とに分けられる。今、ナノテクノロジーの安全性で議論になっている問題の一つは、通常の安全な化学物質をナノスケールの微粒子状とした場合に新たな有害作用を生じるかどうかについての議論である。例えば、カーボンナノチューブやフラーレンの構成成分は炭素だけであるが、このようなナノ物質に、既存のカーボンブラックとは全く異質の毒性があるかどうか議論の焦点のひとつである。2005年11月米国労働安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)は、二酸化チタンの職業暴露での許容暴露限界濃度をファイン粒子(粒径1  $\mu\text{m}$ 以下)では1.5  $\text{mg}/\text{m}^3$ 、ウルトラファイン粒子(粒径100  $\text{nm}$ 以下)では0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ と異なる値を提案した。これは、吸入暴露による動物試験でウルトラファイン粒子の方がファイン粒子よりも強い炎症反応と高い肺癌発症率を示すためであり、二酸化チタンを含め多くの粒子状物質の有害性が肺に沈着した粒子の総表面積と相関するという現象から導かれた一つの結論である。このような考え方がそのまますべてに当てはまる訳ではなく、結晶構造などによる例外が知られているが、粒子の表面積の大きさが有害性発現において重要な要因であることは間違いが

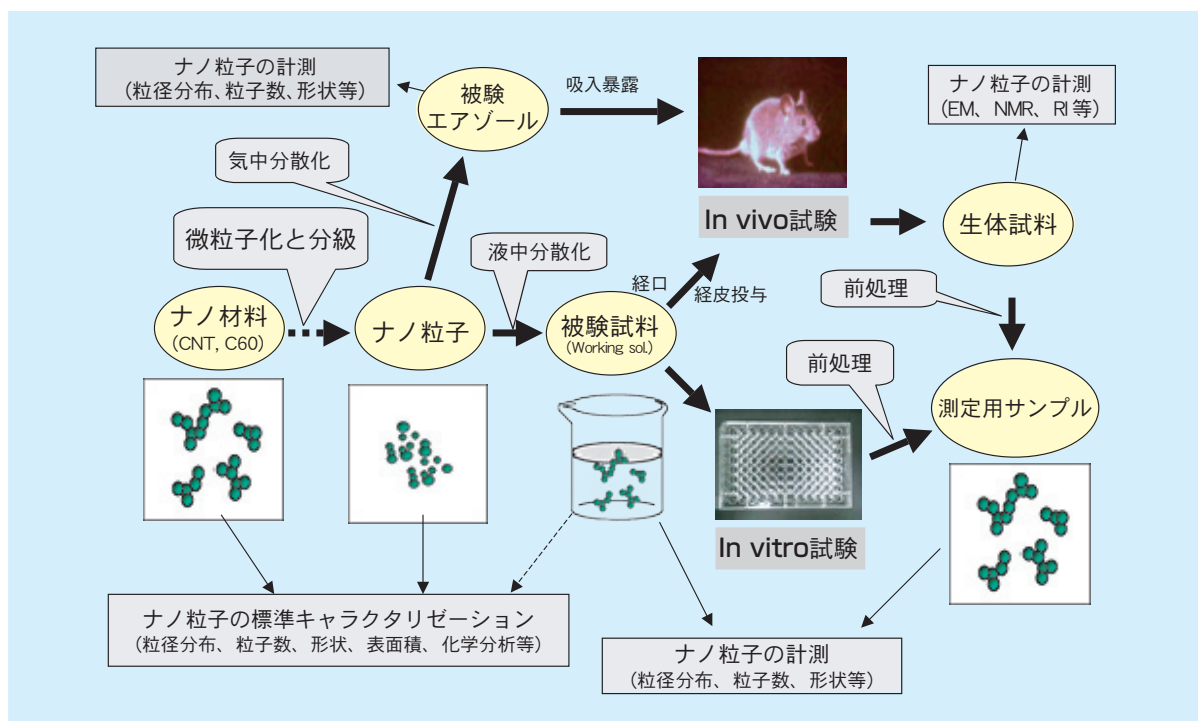


図1 ナノテクノロジーの安全性評価試験法の標準化に必要な計測技術

ないと考えられる。

上述の表面積に関わる議論も含めて、粒子サイズに特有の有害性の有無については、日本や米国ですでに幾つかの物質について安全性試験が計画、あるいは実施されつつある。これに関連し、試験法の妥当性及技術的な課題についての議論（有効性、評価方針など）が OECD 化学品委員会合同会合（OECD Joint Meeting of the Chemicals Committee）や国際標準化機構（International Organization for Standardization, ISO）などで始まっており、ナノリスクの議論には、先ず、ナノ材料あるいはナノ粒子の特性（粒子サイズ、個数、形状、比表面積など）を明確にすることが必要であるという考え方が認識されてきている。すなわち、ナノ材料の安全性を評価するためには、安全性試験に供する試験サンプル原体の粒子特性を明らかにしておくと同時に試験管内（*in vitro*）や動物などの試験系内でのナノ材料の特性を明らかにすることが必須条件となってきている。しかし、試験系内、特に水中に分散したナノスケールの微粒子の特性を計測する技術は、まだ確立された状況とは言えず、ナノテクノロジーの安全性評価には、このような計測技術の確立が先ず必要である。

試験に供するナノ材料の微細化法も議論の焦点のひとつである。特に、ヒトの暴露経路として想定される吸入による安全性の確認には、実験動物を用いた吸入毒性試験を実施することが必要であり、その際、動物に吸入させるナノ材料は、できるだけ微粒子化することが求められる。また、試験管内で培養細胞への影響を評価する際にも、培養液中には、微細化したナノ材料を加えて試験する必要がある。というのは、多くのナノ材料は、製造、加工、使用あるいは廃棄の段階でナノスケールの微粒子として存在する可能性があり、特に将来、我々の身の回りの製品の多くにナノ材料が使われると想定した場合、それが何らかの形で元の一次粒子に近い形で体内に取り込まれたり、あるいは体内で一次粒子にまで分散化されることが想定されるためである。工業的には、界面活性剤を用いた分散化が行われているが、これらは培養細胞や実験動物に少なからず影響を与えるため、代替物質を含め、微細化法についての課題が残されている。以上のように、ナノ材料の安全性評価には、①水中などの試験系に存在するナノ材料の粒子特性を計測する技術とともに②ナノ材料を微粒子化する技術の確立が急務であり、これらが標準化の大きな標的の一つである。これらの技術が確立されて初めて、ナノスケールの微粒子に特有の有害性に関する研究や試験法の検証・開発が可能となり、安全性試験法標準化の議論へとつながる。ナノ粒子の安全性を評価するために必要な計測技術および関連技術について鳥瞰的に図1にまとめた。この図からもナノテクノロジーの安全性評価には高い計測技術が必要であると同時に、それらの技術の標準化が重要であることが理解いただけると思う。

このようなナノテクノロジーの安全性の議論が、実は ISO で非常に活発に行われていることは意外と知られていない。すでに述べたようにナノテクノロジーに関する用語、計測やキャラクタリゼーションについて国際的な合意が形成されていないため、先ずナノテクノロジーに関する用語や計測技術の標準化が必要であることが認識され、2005年1月に ISO 内にナノテクノロジーの標準化に関わる委員会（ISO/TC229）の設置が提案され、正式には同年11月に第1回総会がロンドンで開催された。ISO/TC229 設置提案の際に、ナノテクノロジーに派生する環境・安全問題についても標準化の議論を進めるということで各国が合意し、用語・命

名に関する小委員会（WG1）、計測に関する小委員会（WG2）とともに、環境・安全に関わる小委員会（WG3）が設置された。

ナノテクノロジーの安全性問題は化学物質などの管理・規制を協議する場である OECD での重要議題であり、工業標準化の議論とは馴染まないという反対意見もあったが、ISO/TC229 と OECD 化学品委員会合同会合とがリエゾンを形成し、相互に密接な情報交換を行うことで、混乱を避ける方策が取られている。このような経緯で日本国内にも ISO/TC229 に対応する組織として、第1回ロンドン総会の前に「ナノテクノロジー標準化国内審議委員会」および「用語・命名分科会」、「計測分科会」、「環境・安全分科会」が2005年9月に設置された。

CRM は、2005年度からナノテクノロジー技術の国際標準化を目的として、経済産業省の委託事業である基準認証開発事業「ナノ粒子の安全性評価法の標準化に関する研究」を受託するとともに「ナノテクノロジー標準化国内審議委員会」に委員および「環境・安全分科会」の主査として参画し、ナノテクノロジーの国際標準化に深く関わってきた。このような標準化活動を通じて、ナノテクノロジーの安全性評価試験法の確立には、上述のような計測関係技術の確立と標準化が必要であることを改めて強く認識したところである。

さて、その成果であるが、これまでに肺胞を構成する細胞群のうち線維芽細胞、マクロファージ、血管内皮細胞および中皮細胞などの培養細胞系を確立できた（図2）。また、これらの培養細胞系を用いて、アスベスト、二酸化チタン、シリカなどを標準物質として細胞機能（生理活性物質の産生能）に対する影響を確認し、次いでカーボンナノチューブ、フラーレンなどの炭素系ナノ物質の培養細胞に対する影響を評価した。これまでの研究から、これらの物質の細胞機能に対する影響は一様ではなく、組み合わせによって異なる反応を示すことが明らかとなった。今年度中に肺胞上皮細胞系を確立して肺胞を構成する細胞系を一通り揃え、試験物質と培養細胞系の組み合わせによる反応マトリックスを完成させ、それにより試験管内（*in vitro*）の反応ではあるが、総合的な評価システムの構築に必要な情報を整理し、*in vitro* で強い生物反応を有するナノ物質の選別や生体影響の発現メカニズムを解析できるような試験システムを、構築する予定である。

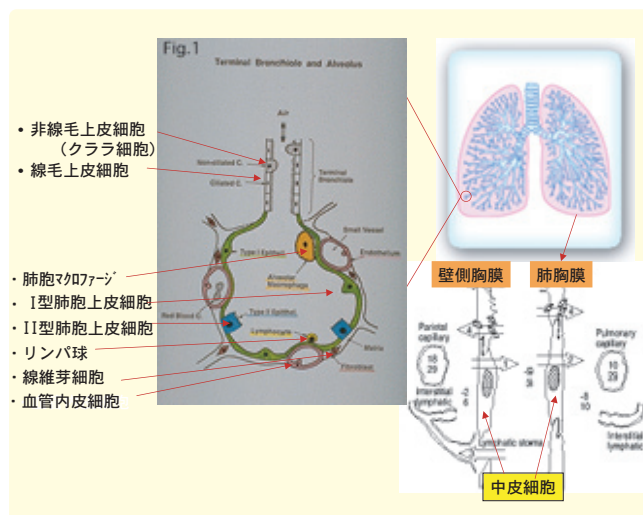


図2 肺胞の構造とそれを構成する細胞および中皮細胞

## ②Nano-Risk-Net-Panel:ナノリスクネットパネル

リスク管理戦略研究チーム チームリーダー 蒲生 昌志

CRMでは、工業ナノ粒子（以後、単に「ナノ材料」）のリスク評価研究の一環として、Nano-Risk-Net-Panelというサイトを立ち上げた。これは、ナノ材料のリスクに関連する主要な論文を取り上げ、複数の専門家がそれぞれの専門分野の見地から自由にコメントし、それをインターネット上で公開するものである。平成18年度中旬から準備した第1期の論文に対するコメントが、8月上旬に公開される。

### ◆科学的な議論の基盤として

ナノ材料については、その新規な物性から様々な分野での技術革新をもたらすものとして期待される一方で、ヒトや生態系に対するリスクを懸念する声も聞かれる。ナノ材料のリスクの問題は、新規の材料であるために有害性や暴露に関する情報が十分でないということの特徴として挙げることができる。そのため、現状では、ナノ材料に関するリスク評価を一般の化学物質と同様のレベルで行なうことは困難である。このような状況では、ナノ材料のリスクが顕在化する可能性を否定できず、一般の人々の不安が不必要に高まり、材料・応用製品の開発・普及が阻害される危険性ははらんでいる。

これまでもナノ材料のリスクに関連した報告は幾つもあるが、最近では、たとえば有害性試験の結果を解釈する際に、試料調製やキャラクタライズ（被験物質の性状を把握すること）など、考慮すべき要素が多々あることが認識されつつある。このため、例えば有害性試験を一つとっても、必ずしも毒性学の専門性だけでなく、試料を適切に調製するためのナノ材料の物性に関する専門性、また、試料をキャラクタライズするためのナノスケールでの計測に関する専門性など、複数の専門分野の視点が必要となる。また、ナノ材料のリスクに関連する科学的知見が十分でない現状においては、ある一つの現象に対する解釈が、必ずしも一

つに収斂していないことも十分考えられる。

こういったことから、一般市民、マスコミ、行政、企業、研究者など、多くの人々にとって、ナノ材料のリスクに関連する論文について、単に結果を知るだけでなく、意義や問題点も含め、様々な解釈や視点がありうる状況を理解することが極めて重要だといえる。

Nano-Risk-Net-Panel（ナノリスクネットパネル）は、ナノ材料のリスクに関連する主要な論文を取り上げ、複数の専門家にそれぞれの専門分野の見地からの自由なコメントを依頼し、それをインターネット上で公開する仕組みである。ナノ材料のリスク（＝ナノリスク）に関する情報について、ネット上で行なうパネルディスカッションのようなものであることから、この仕組みのことをナノリスクネットパネルと呼び、コメントをお願いする専門家をパネリストと呼ぶことにした。以下に、その内容を紹介する。

### ◆ Nano-Risk-Net-Panel の立ち上げ

昨年度の第1期については、次のようなステップで立ち上げを行なった。

#### 1) 論文の選定

まず、CRMをはじめ、(独)産業技術総合研究所 技術情報部門や(独)物質・材料研究機構の研究者の協力を得て、比較的新しく、社会的、科学的意義の高いと思われる文献（合計約30報）をリストアップした。なるべく多様な論文を含むように、材料の種類（金属系か炭素系か）や有害性試験の種類（*in vivo* か *in vitro* か）などに配慮し、また、暴露評価関連のものも含めるようにしながら、まず20報に絞り、最終的には10報を対象論文として決定した。選択された論文は表1の通りである。

表1 Nano-Risk-Net-Panel（第1期：平成18年度）の対象として選択された論文

著者(年)	タイトル	雑誌 巻(号) ページ
Braydich-Stolle et al. (2005)	哺乳類の生殖幹細胞におけるナノ粒子の <i>in vitro</i> 細胞毒性	Toxicological Science, 88 (2), 412-419
Gharbi et al. (2005)	[60] フラーレンは、急性あるいは亜急性毒性を伴わない <i>in vivo</i> における強力な抗酸化剤である	Nano Letters, 5 (12), 2578-2585
Isakovic et al. (2006)	純粋とヒドロキシル化フルーレンの異なる細胞毒性メカニズム	Toxicological Science, 91 (1), 173-183
Isobe et al. (2006)	水溶性で遷移金属を含まないカーボンナノチューブ凝集塊の調製、精製、特性評価、および細胞毒性評価	Angewandte Chemie International Edition, 45 (40), 6676-6680
Kashiwada (2006)	透明メダカ ( <i>Oryzias latipes</i> ) 体内におけるナノ粒子の分布	Environmental Health Perspectives, 114 (11), 1697-1702
Lam et al. (2004)	気管内滴下から7および90日後のマウスにおける単層カーボンナノチューブの肺毒性	Toxicological Science, 77 (1), 126-134
Maynard et al. (2004)	カーボンナノチューブ材料への曝露：未精製単層カーボンナノチューブの取扱い中のエアロゾル放出	Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A 67, 87-107
Sayes et al. (2006)	ナノスケール・チタニアの組織と毒性の関係：人の皮膚繊維芽細胞と肺の上皮細胞を用いた炎症反応に関する研究	Toxicological Science, 92 (1), 174-185
Schrand et al. (2006)	ダイヤモンドナノ粒子は細胞毒性を有するか？	The Journal of Physical Chemistry B, 111 (1), 2-7
Warheit et al. (2006)	ラットを用いたTiO <sub>2</sub> ロッドおよびドットの肺内注入試験：毒性は粒径および表面積に依存しない	Toxicological Science, 91 (1), 227-236

## 2) パネリストの選定

論文の候補を挙げる際に協力をお願いした研究者には、パネリスト候補も挙げていただいた。加えて、JFEテクノロジー株式会社平成17年度に経済産業省の委託調査として実施した「化学物質国際規制対策推進等」(超微粒子の特性評価に関する研究実態調査) 報告書からナノ材料の計測法や有害性に関する専門家を拾い上げ、合計46名をリストアップした。リストアップされた専門家を10報の論文に割り当てる作業を行ないながら、20名のパネリスト候補を決定した。割り当てにおいては、パネリストごとに最大3報、各論文に最大5名ずつのパネリストになるようにした。

パネリスト候補に対してNano-Risk-Net-Panelの趣旨を伝え、パネリストとなることを依頼したが、その過程で辞退者がでた場合には、担当予定であった論文の内容を考慮して、可能な限り代替りの専門家をあてることにした。最終的に、表2に示す専門家の方々にパネリストとなることを承諾していただいた。

表2 Nano-Risk-Net-Panel パネリスト  
(第1期：平成18年度)

氏名*	所属
石原 陽子	久留米大学 医学部 公衆衛生学講座
市原 学	名古屋大学大学院 医学系研究科
遠藤 茂寿	(独)産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門
神谷 秀博	東京農工大学大学院
日下 幸則	福井大学 医学部環境保健学
小山 省三	信州大学 医学部
櫻井 博	(独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門
佐藤 義倫	東北大学大学院 環境科学研究科
芹田 富美雄	(独)労働安全衛生総合研究所
田中 昭代	九州大学 医学研究院 基礎医学部門 社会医学講座
出口 茂	(独)海洋開発研究機構 極限環境生物圏研究センター
中山 喜萬	大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻
宮田 直樹	名古屋市立大学大学院 薬学研究科
明星 敏彦	産業医科大学 産業生態科学研究所
森本 泰夫	産業医科大学 産業生態科学研究所

\* 50音順、敬称略

## 3) コメントの収集

各パネリストに担当の論文およびその翻訳(翻訳については、(独)物質・材料研究機構の協賛を得た)を送付して、各々の専門分野の見地からの、技術的な問題点、結果を解釈する際の留意点、社会的な意義等に関する感想・考察といったコメントを収集した。その作業は、三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社を事務局として実施した。

コメントは、1次コメントと2次コメントから成る。論文に対する最初のコメントを1次コメントと呼ぶ。それぞれの論文について、担当する全パネリストからの1次コメントが集まった段階で、まずそれをパネリスト間で閲覧し、その後、各パネリストには、自身の1次コメントの修正、コメントの追加、他のパネリストによるコメントへの意見を依頼した。これを2次コメントと呼ぶ。

## 4) Nano-Risk-Net-Panel ホームページへの掲載

CRMおよび事務局は、パネリストからの意見について調整や集約などは一切行わず、文章の体裁や表記の確認のみ行なった後に、ホームページ(図1)上に掲載することになっている。



図1 Nano-Risk-Net-Panel ホームページトップ画面  
(作成中、8月6日より <http://www.riskcenter.jp/nanorisknetpanel/>)

## ◆おわりに

パネリストを依頼した専門家の方々の中には、以下のような疑問を呈された方もおられた。

- なぜ委員会形式のような、権威付けならびに合意形成を怠るのか。逆に混乱を招くのではないか。
- なぜ記名式なのか。有識者は匿名としたうえで、事務局が編集者としての責任のうえで、取りまとめるべきではないか。
- なぜ、パネリスト間のインタラクションをもっと増やさないのか。
- 環境ホルモンのときのように、不安を煽ることになるのではないか。
- パネリストの専門性と、論文のテーマが一致していないのではないか。

Nano-Risk-Net-Panelは、科学の分野であまり例のない取り組みなので、同様の疑問を持たれる方も少なくないと思われる。今回、ナノ材料のリスクに関連する科学が十分に成熟していない現状を鑑み、あえて、コメントの取りまとめや、意見の収斂を図らないことにした。一つの論文や試験結果について多様な分野の研究者が自由にコメントし、その多様な内容がそのままの形で提示されることによって、ナノ材料のリスクに関心を持つ様々な人々による健全で科学的な議論が促進されることを期待している。また、このような科学的な議論こそが、今後のナノテクノロジーの発展と普及にとって極めて重要であると考えている。

# 技術の社会受容性研究

## —リスク便益解析を軸とした代替物質評価—

水圏環境評価チーム チームリーダー 東海 明宏

### ◆はじめに

これまでCRMでは、プライオリティーの高い物質を対象として、暴露解析・有害性評価・リスクの定量化・対策の費用対効果の推定、という流れでリスク評価を実施してきた。その結果、ある物質のリスクが高いと判明した際、それまでその物質が担っていた役割は、代替物質や代替技術に置き換えられる場合があることがわかった。また、政府による規制や企業の製品開発は、代替というダイナミクスをより加速させる方向に作用するため、目的とする機能を実現する候補代替物については、ある一定のクライテリアでチェックした後、市場で受け入れるかどうかを問う視点のリスク評価が必要となってきた。すでに、この文脈で制度化されたものが、化学物質審査規制法であるが、化学物質の開発や製品設計における、意思決定空間の特性のために、しばしば後に判明する実環境での暴露特性や、有害性の問題への対処も見込んだ目的関数による評価を事前に行うことが必要となってきた。

例えば、臭素系難燃剤は、臭素系ダイオキシンの生成が問題となり、すでに特定臭素系難燃剤のリスク管理に関する自主的管理計画が策定され、ユーザーに対する安全性情報の提供、製造過程からの排出抑制、デカブロモジフェニルエーテル(DecaBDE)の生産においては97%以上の純度とする等の対策が実施されている。また継続してモニタリング調査も行われてきており、現況の暴露に関する情報は蓄積されつつあるものの、代替品を含めた評価は明示的にはなされてきていない。また、代替品は、未規制物質から選択されるため、暴露・有害性に関し、量、質ともに乏しい情報に基づく評価とならざるを得ない。

代替がもたらす波及効果には、規制・自主管理の遵守といったプラス効果がある一方、これまで使ってきたプロセスの交換、廃棄など費用負担の増加も見込まれる。大づかみにみると、図1に示すように、物質の代替構造は、技術開発の進展といった押しの要因、国際的管理の枠組みの導入といった引きの要因、そして、政府による規制発動のバランスのもとで、構成される必要がある。代替のシステム化は、規制・国際対応支援への貢献、リスク管理を内蔵した製品開発への貢献につながるという。

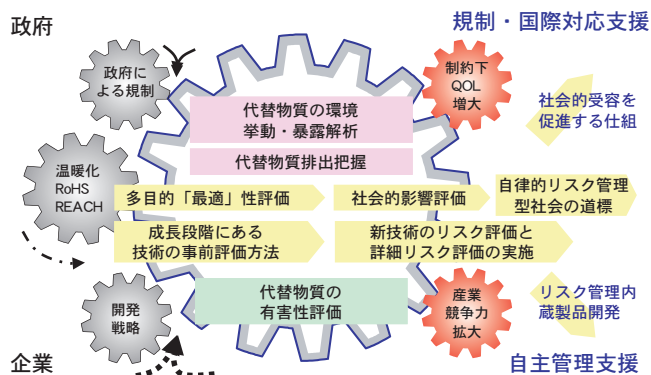


図1 物質代替のメカニズム

そこで、このような背景条件の整理に基づき、平成15年度から17年度にかけて、産総研において設定された分野別重点課題において、分野別推進課題と認められ、助成をうけた技術の社会受容性研究—リスク便益解析を軸とした代替物質評価について、概要を以下に紹介する。

### ◆研究の目的・概要と実施体制

プラスチック難燃剤の開発は、国の産業政策と安全政策、国際競争の面で極めて重要である。従来の臭素系難燃剤が、環境影響やリサイクルへの対応不適で、禁止又は忌避されつつあり、精力的な代替物開発(「新規難燃剤競争」)が行われているが、臭素系難燃剤を越えるものは未だ見つかっていない。他方、環境規制の厳しい北欧ではテレビ等の火災が、米国に比べ50倍も多いと言われている。我が国も米国並みであるが、火災による総死者数は圧倒的に多く、年間2,000人で、交通事故死のほぼ5分の1と極めて大きなリスク要因である。その意味で、我が国における難燃剤の開発の意味は大きい。臭素系難燃剤が禁止または忌避されている理由は、環境影響とリサイクル性能であり、確かに疑いは持たれているが、本当にどの程度リスクがあるのかは、判然とはしていない。また、新規代替物質の候補はかなり開発されているが、それらも現時点では、難燃特性の面からのみ調べられているだけで、“非臭素系”ならいいというような、考え方も残っている。

代替品開発の動向を知るために、特許の調査を行った。ここでは、評価手法そのものではなく、製品の開発を対象としている。検索用語(ハロゲン系難燃剤、リン系難燃剤)でヒットする特許件数でみると、平成14年から15年にかけてハロゲン系で減少、リン系で増加していたが、ここ10年の傾向をみると、件数としては、両者とも同様な傾向を示していることと、件数としては、ハロゲン系がリン系を上回っていることが確認できた。

そこで、本プロジェクトでは、図2に示すような手順でこの問題に取り組んだ。

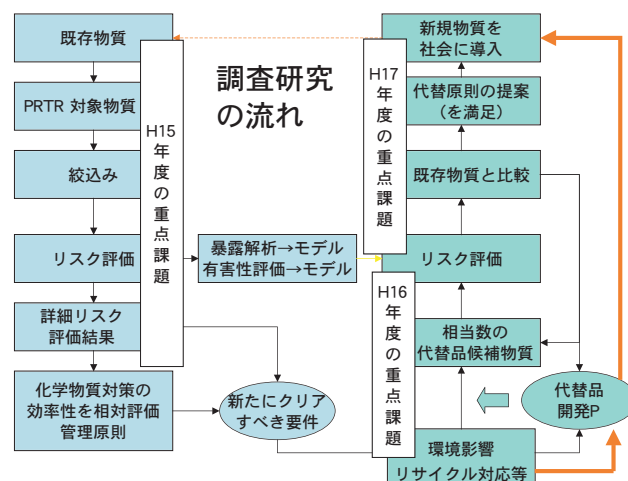


図2 各年次での検討課題と構成

この研究は、複数の分野が共同してアプローチするプロジェクトであり、産総研企画本部環境エネルギーチームの下で、CRMと環境管理技術部門が研究を推進した。

### ◆研究成果

研究成果の概要は次のとおりである。図3に、平成15、16、17年度における、個々の検討の経緯を示した。

#### 1) 物質代替を対象としたリスク評価手法の開発と適用

代替物質の導入動向を調査するとともに、DecaBDEで構築した暴露解析モデルを他の代替物質に援用した。適宜、不足するデータに関しては、データ補間支援方法をリン系難燃剤、無機系難燃剤に適用し、経路別摂取量を求め、別途有害性評価を行い、暴露マージンと不確実性係数の比較によってリスクを推定した。ついで、エンドポイントをそろえた評価手法として、エキスパートの判断を活用する方法を援用し、DecaBDEから他の物質への代替によるリスク・リスクトレードオフの解析を行った。その結果、DecaBDEからエチレンビスペンタプロモフェニル（EBPBP）への代替は、リスク低減に向かっていることが確認できた。

#### 2) DecaBDEの確率的排出量推定手法の構築

DecaBDEの排出量推定に用いたデータを精査するとともに、生産、使用、廃棄の個々の段階からのDecaBDE排出量の推定を行い、大づかみにいって、国内需要数量の約1/1000が環境へ排出されていることがわかった。さらに、排出量推定過程に含まれるデータの変動性を対象とした、2次元モンテカルロシミュレーションによる不確実性分析を実施し、排出量の上限值を推定した。また、屋内空間を含んだ多媒体モデルをもちいて暴露解析を行い、経路ごとの摂取量を推算し、暴露マージンを経年的に推定した。DecaBDEへの削減対策によって暴露量の低下が実現していることを確認した。

#### 3) 生体試料バンクを活用した暴露実態の把握

京都大学医学部で運営されている生体試料バンクに保存された生体試料（血液、母乳、食事）を用い、臭素系難燃剤のうち、DecaBDE、EBPBP、ヘキサブロモシクロドデカン（HBCD）、アンチモンの食事、血液中の残留濃度を測定した。ヒト血清試料中のDecBDE濃度は、近年上昇していることが確認できた。DecaBDE以外の物質は、一部のサンプルを除いて、いずれも痕跡量程度であった。

#### 4) 代替物質のリスク比較

代替動向を調査し、臭素系内部での物質の代替、臭素系からリン系等への代替シナリオを策定し、代替物質のリスクトレードオフについて検討した。これらの検討の過程で、臭素系難燃剤のリスク評価、リン系難燃剤（有機リン酸エステル）のリスク評価、アンチモンのリスク評価書を策定した（継続中）。臭素系難燃剤は、DecaBDEとEBPBPを対象とし、代替によるリスク管理に焦点をあてた評価を行った。リン系難燃剤に関しては、トリキシレニルホスフェート（TXP）、トリクレジルホスフェート（TCP）、トリフェニルホスフェート（TPP）の各物質のリスク評価を実施するとともに、それらと代替関係にある物質からの代替に伴うリスクの変化に焦点をあてた評価を行った。アンチモンに関しては、大気、水経由の暴露データを収集整理するとともに、モデ

ル解析によって、発生源と暴露濃度との対応付けを図るとともに、これまでとられた対策の総括、今後必要となる調査研究をとりまとめた。

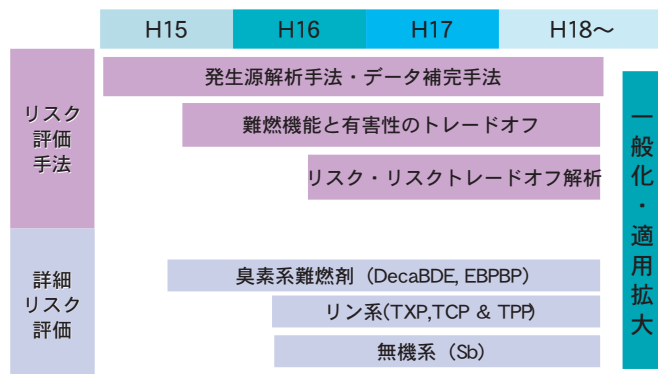


図3 プロジェクトのロードマップ

### ◆総括的考察

CRMのミッションである、リスク評価手法の開発と詳細リスク評価書の策定という課題に沿って検討を進めることができたため、リスクの定量化に関しては先行知見を活用して進めることができた。しかし、異なるタイプのリスクを統一指標にそろえる部分や火災のリスクとの等価変換に関しては、今後とも検討の余地を残している。

推進体制面では、環境管理技術部門の分析技術を担うグループの参加によって、各種の環境試料中の化学物質分析値を暴露評価、リスク評価に用いる際のデータの精度点検等に資する知見を入手でき、また、暴露媒体に関するデータ収集（平成16年度実施課題：家屋内の埃に含まれる臭素系難燃剤の分析）を担当していただいた。このような協力体制によって、リスク評価に必要なデータの整備体制の充実を図ることができた。これは、産総研におけるユニット間の連携によって成しえたことであり、計測技術を担当する部門との連携は今後とも重要であることを再確認した次第である。

化学物質のリスク管理は、リスクが高いと判定された物質に対するリスク削減対策の導入が必要となるが、一方で、その化学物質をゼロにすることはできないため、必然的に代替物質が求められる。また、リスク回避が、定量的なリスク評価に基づかず、部分的な情報（例えば、脱臭素化をめざす）によって、材料調達方針が、川下から川上側に要求されると、代替品開発もその場しのぎ的なものとならざるをえない。代替物質は未規制物質であり、有害性、暴露情報が十分でない場合がほとんどであり、結果として、代替によってリスクが低減したかどうかがあいまいになることすらありうる。このようなデータの質を考慮し、さらに化学物質の導入によって削減可能なリスクと物質由来のリスクという異種のリスクを比較考量し、方針を求める方法は、産業部門にとって極めて重要な課題である。本プロジェクトが、化学物質管理を軸とした生産技術・製品由来のリスク評価・管理のプラットフォームの構築にむけての一筋道となると考えている。

## お知らせ

### ◆学会発表(2007年8月～10月)

#### ■第3回ナノテクノロジーの労働・環境衛生に関する国際シンポジウム

台北、台湾、8月29～9月1日

3rd International Symposium on  
Nanotechnology, Occupational and Environmental Health  
August 29 - September 1, Taipei, Taiwan

小倉 勇、櫻井 博、蒲生昌志：Dustiness testing of engineered nano-materials

#### ■第48回 大気環境学会年会

岡山理科大学 (岡山県岡山市)、9月5～7日

井上和也、吉門 洋、東野晴行：関東地方におけるオゾン濃度の前駆物質排出量に対する感度の推定

井上和也、安田龍介、吉門 洋、東野晴行：「リスク評価用次世代大気モデル」の開発と検証

井上和也、篠崎裕哉、吉門 洋、東野晴行：関東地方におけるオゾンの曝露・ヒト健康リスク評価

小野恭子、豊田照子、嶋田真次：日本における大気中六価クロム濃度の実測および吸入曝露評価

梶原秀夫、高井 淳、吉門 洋：METH-LISモデルを用いた高濃度観測地点周辺における発生源逆解析

—新潟県燕におけるトリクロロエチレンについて—

川本朱美、恒見清孝：局所におけるニッケルの曝露解析 (1) 大気排出量の推定

岸本充生：大気汚染防止法改正によるVOC削減対策の費用対効果

篠崎裕哉、高井 淳、井上和也、吉門 洋、東野晴行：空気清浄機からのオゾン発生と室内オゾン濃度の推定

篠崎裕哉、井上和也、東野晴行：植物に対するオゾンのリスク評価

恒見清孝：アンチモンの大気中濃度の推定

恒見清孝、川本朱美：局所におけるニッケルの曝露解析 (2) 大気中濃度分布の推定

東野晴行、篠崎裕哉、吉門 洋：ADMERサブグリッドモジュールを用いたベンゼンの曝露人口推定

#### ■(社)環境科学会2007年年会

長崎大学、9月10～11日

手口直美、神子尚子、吉田喜久雄：フタル酸ジ(2-エチルヘキシル)のヒト健康リスク評価 (論文賞受賞記念講演)

#### ■環境経済・政策学会2007年大会

滋賀大学、10月7～8日

岸本充生：自主的取組は費用効果的か?—揮発性有機化合物 (VOCs) の場合

栗山浩一、岸本充生、金本良嗣：死亡リスク削減の経済的評価とスコープテストによる信頼性の検証

佐脇政孝、井上佳久、岸本充生、増田幸治：産業部門の環境効率指標を用いた新技術評価法の開発

柘植隆宏、岸本充生、竹内憲司：表明選好法による次世代リスクの経済評価

#### ■第44回 欧州毒科学会

アムステルダム、オランダ、10月7～10日

44th Congress of European Society of Toxicology  
October 7-10, Amsterdam, Netherland

納屋聖人：Toxicity assessment of chemical mixture; combinations of carbon tetrachloride, phenobarbital, chlorthalidone *in vitro*

#### ■第17回 国際曝露分析学会年会

米国ノースカロライナ州ダーラム、10月14～17日

17th Annual Conference of International Society of Exposure Analysis  
October 14-17, Durham, North Carolina, U.S.A.

小野恭子、豊田照子、嶋田真次：Determination of airborne hexavalent chromium (Cr(VI)) fractionated by particle size and estimation of ambient air concentration of Cr(VI) in Japan

## Editor's Comment 〈編集後記〉

「新技術や新物質には、スペックのひとつとしてリスク評価の結果、リスク管理の方法が付け加えられるべきである」というCRMの主張に対応する具体的なプロジェクトとして、「工業ナノ材料のリスク評価」に関する研究が多角的に進められています。昨年7月発行のニュースレター第16号では、第1回目の特集として、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の平成18年度新規研究開発プロジェクト「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」をご紹介しました。ニュースレター第20号では、特集—その2—として、NEDOのプロジェクトに先行して進められていたナノテクノロジーの国際標準化におけるCRMの取組みと成果、そして、独自の新たな試みであるNano-Risk-Net-Panelを取り上げました。この分野におけるCRMの研究活動には国際的な関心も高まっています。既存化学物質のリスク評価での経験と成果を基に、対象を拡大するCRMのリスク評価研究にご注目下さい。

\* 禁無断転載複写：ニュースレター掲載記事の複写、転載、磁気媒体等の入力等は、発行者の承諾なしには出来ません。  
\* この印刷物は、環境にやさしい紙とインクを使用しています。

### お問い合わせ・連絡先



#### 独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター

〒305-8569 つくば市小野川116-1  
Phone 029-861-8257 FAX 029-861-8934  
E-mail: [crm\\_webmaster@m.aist.go.jp](mailto:crm_webmaster@m.aist.go.jp) URL: <http://unit.aist.go.jp/crm/>

2007年7月20日発行 第20号  
発行者：独立行政法人産業技術総合研究所  
化学物質リスク管理研究センター  
企画・編集：有限会社 イカルス・ジャパン 武居綾子  
プリント・デザイン 株式会社デジタル印刷