

## 第2章 国際会議での議論（国際会議参加報告）

今回の業務では海外で開催される国際会議に参加し、最新の海外情報の入手と議論の方向性に関する調査も行った。今回参加した国際会議は、2008年10月に開催された“Nano Risk 2008”と2009年2月に開催された“NNI Human Exposure and Environmental Assessment Workshop”の2つである。以下に講演内容などを報告する。

### 2-1. Nano Risk 2008

日時：2008年10月21日-23日

場所：フランス、パリ

主催：Global Information, Inc. -International Marketing Partner of UPPERSIDE CONFERENCES

2008年10月21日から23日にかけて、ナノマテリアルの環境や健康に対する影響、また社会での取り組み方や情報発信のあり方などに関して、国際会議が開催された。以下に、会議の目的、講演者・講演題目・概要、さらに所感を記す。

#### 1. 会議の目的

ナノテクノロジーは世界の社会および経済に大きな影響を与えるものと予想されているが、欧米ではリスクに関する一般の認識は非常に低いと考えられている。この会議では欧米においてナノマテリアルの有害性に関する研究を行っている研究者および社会での取り組み方や情報発信のあり方などについて取り組んでいる研究者による、最新の研究成果を集めたものである。

#### 2. 会議の内容

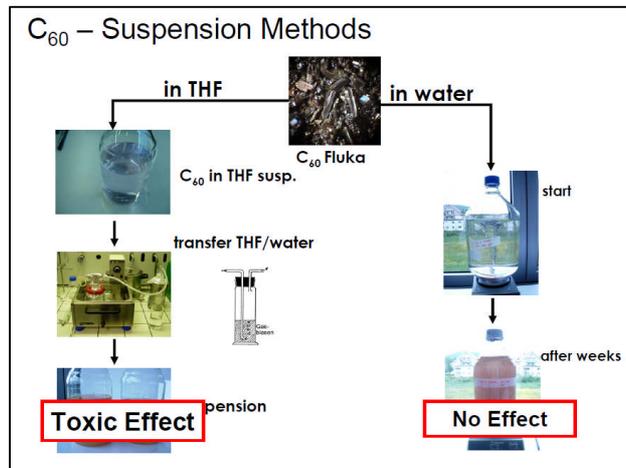
10月21日

講演者：Dr. Peter Wick 所属・国：EMPA, Swiss

講演題目：What are the methodologies to estimate toxicity?

アブストラクト：

ナノマテリアルの毒性などの分散環境の影響。フラーレンを水分散系に関し、初期 THF から溶媒置換したものは有害であるのに対し、水に分散したものは無害であることを例示。



NanoRisk 2009 予稿集より引用

講演者：Paul Borm 所属・国：Zuyd University・Netherlands

講演題目：Practical aspects of Nanotechnology: Good practices

アブストラクト：

ナノマテリアルの市場動向と、それに対するリスク判断残量の乏しさと製造現場での取り組みなど企業での対策の取り組みに困惑が生じている現状に関する報告。下表は現在企業で取り扱われている主なナノマテリアル。

Main type of nanomaterials
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanosilver</li> <li>• Metal-oxides (Al, Fe, Ti, Sn, Zn, Sb, Ce)</li> <li>• Carbon black</li> <li>• Carbon nanotubes (CNT)</li> <li>• Clays</li> <li>• Silica, amorphous</li> <li>• Fullerenes (C<sub>60</sub>)</li> </ul>
In red: used in largest quantities (kg/tons)

NanoRisk 2009 予稿集より引用

講演者：Michael Riediker 所属・国：Institute for Work and Health, Lausanne, Swiss

講演題目：The NanoImpactNet FP7-Coordination-Action

アブストラクト：

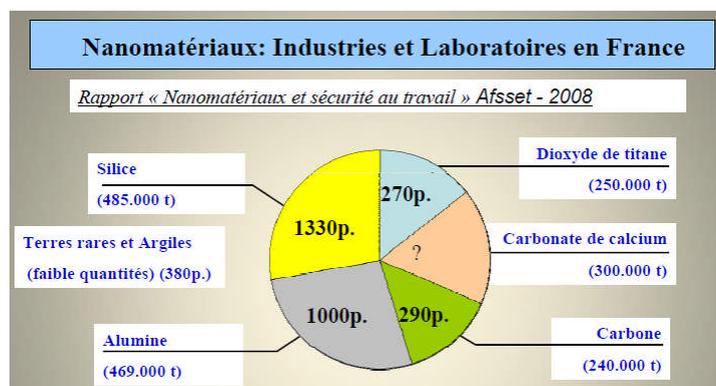
ナノマテリアルに関するヒト暴露問題や環境問題に関する情報交換機構である NanoImpact の紹介

講演者：Dr. E. Gaffet 所属・国：フランス環境労働衛生安全局(Afsset), France

講演題目 : Nanomaterials and WorkPlace Safety : Informations related to the Nanoproduction (France)

アブストラクト :

フランスにおける労働環境などの概説



フランスの企業で用いられているナノマテリアルの種類と量

NanoRisk 2009 予稿集より引用

講演者 : Prof. Sharon M. Friedman 所属・国 : Lehigh University, USA

講演題目 : Communicating about Nanotechnology's : Potential Health and Environmental Risks in the Mass Media

アブストラクト :

アメリカにおけるナノマテリアル関係のニュースの分析結果の概説と広報活動の重要性の報告。原子力発電との類似性。アメリカでは GoodNews:BadNews=1000:1

講演者 : Kuan-Ting Chi 所属・国 : University of Sheffield/ TUDelft, USA

講演題目 : What "Risk" Means?

アブストラクト :

特に日焼け止めに使用されている TiO<sub>2</sub> に関する問題提起

講演者 : Del Stark 所属・国 : European Nanotechnology Trade Alliance

講演題目 : "Building customer and regulator confidence while selling the nano inside" アブストラクト :

ナノマテリアル系の産業を推進するための方策 (ファンディングやコミュニケーション)。欧州企業の共同研究体である "ENTA's" の紹介。

講演者 : David M. Berube 所属・国 : North Carolina State University, USA

講演題目 : Seven Guides to Communicating Risk

アブストラクト：

リスクコミュニケーションの重要性と落とし穴について一科学的な手法は必ずしもよい結果をもたらさない。

10月22日

講演者：Khara D. Grieger 所属・国：Technical University of Denmark, Denmark

講演題目：Environment, health and safety risks of nanomaterials: Research gaps, recommendations, and government funding

アブストラクト：

ナノリスクには非常に多様な因子が絡み合っていることをきちんと認識する必要がある。知識地図のようなものをきちんと把握し、あらゆる可能性を排除しない。

講演者：Susan Dekkers 所属・国：National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)

講演題目：Missing Links in Human Risk. Assessment of Nano-Particles. Nano-Silver as a Case Study

アブストラクト：

暴露や毒性に影響するナノマテリアルの特性に関しては、まだ知見が不足している。粒子数、サイズ分布、表面積などを可能な限りよく同定することが求められる。

講演者：A. Simon-Deckers 所属・国：IRAMIS, Saclay, France

講演題目：In vitro investigation of nanoparticle and carbon nanotube toxicity and intracellular accumulation in A549 cells

アブストラクト：

MWCNT, TiO<sub>2</sub> などの細胞毒性に関する研究。高濃度、長時間の暴露がポイント。アナターゼ TiO<sub>2</sub> の毒性は高い。

講演者：PhD. Sophie Lanone 所属・国：“Faculté de Médecine Xavier Bichat”, France

講演題目：Pulmonary Toxicity of Carbon Nanotubes – An Update

アブストラクト：

X線によるCNTの局在化の解析実験—マーカーなしで同定が可能である。

講演者：Dr. Yuri Volkov 所属・国：Trinity College Dublin

講演題目：MUIRI-CENTRE ANALYSIS OF CYTOTOXICITY AND SPECIFIC RESPONSES OF HUMAN CELL LINES OF TO SiO<sub>2</sub> NANOPARTICLES

アブストラクト：

シリカナノ粒子の細胞および遺伝毒性に関する研究

講演者：PhD. Amornpun Sereemasun 所属・国：Chulalongkorn University, Thailand

講演題目 : Effects of Gold Nanoparticle to Human Biological Fluids: Implication for Possible Exposure Risk

アブストラクト :

金ナノ粒子の毒性に関する研究。瞬時的あるいは永続的なヒト体液への影響を見極めることが重要である。

講演者 : Bistra Galunska 所属・国 : Medical University of Varna, Bulgaria

講演題目 : Comparative study on acute and chronic toxicity of silica and titanium dioxide nanogels with respect to their potential use as drug carrier systems

アブストラクト :

両者とも慢性的な毒性を示し、特に SiO<sub>2</sub> は腎臓に負担を与える。但し、低含有量である場合には、その毒性は低いと考えられる。

講演者 : PhD. Emppu Salonen 所属・国 : Helsinki University of Technology, Finland

講演題目 : Interaction of C70 with a Natural. Phenolic Acid Induces Cytotoxicity

アブストラクト :

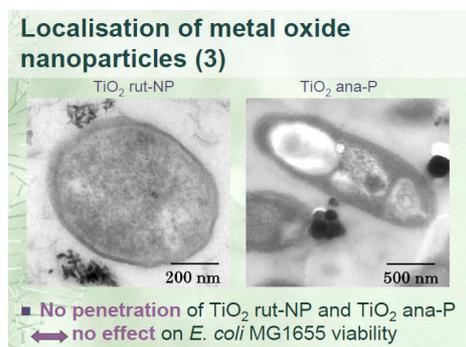
C70 の毒性に関する研究。コンピュータシミュレーションの利用法の検討。

講演者 : A. Simon-Deckers 所属・国 : Laboratoire Pierre Sûe, Saclay, Paris, France

講演題目 : Impact of physico-chemical characteristics on nanomaterials interactions with bacteria in terms of ecotoxicity or nanoproducts lifecycle.

アブストラクト :

MWCNT, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の環境毒性に関する研究。バクテリアを用いた検討では、特に正電化を持つものの細胞壁の透過が見られた。表面の特性の影響が大きいと思われる。



NanoRisk 2009 予稿集より引用

講演者 : Dr Périne Landois 所属・国 : CIRIMAT Université Paul Sabatier

講演題目 : What about the potential toxicity of Double-Walled Carbon Nanotubes (DWNT) in Amphibian larvae?

アブストラクト：

DWCNT の毒性に関する研究。遺伝毒性は、高濃度において一部のものに関して見られたが、実験条件にも依存する。

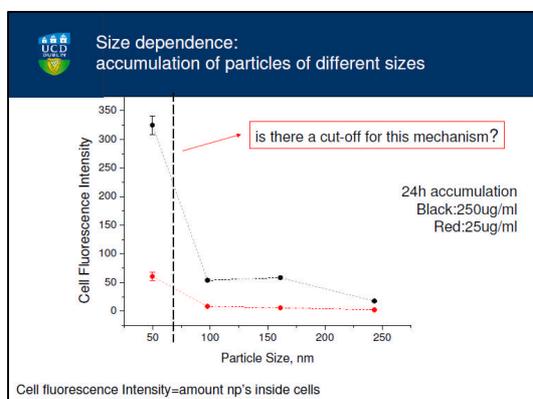
10月23日

講演者：PhD. Anna Salvati 所属・国：“University College Dublin”, Ireland

講演題目：Extremely Rapid Endocytosis and Exocytosis of Nanoparticles by Live Cells

アブストラクト：

粒子サイズが小さくなると、多くの微粒子が非常に速い速度で細胞内に取り込まれ、これを防ぐことは難しい。



NanoRisk 2009 予稿集より引用

講演者：O. Zeyons 所属・国：CEA Saclay

講演題目：Interaction between cerium oxide nanoparticles and bacteria. Role of physico-chemistry in the impact of the nanoparticles.

アブストラクト：

バクテリアと CeO<sub>2</sub> との相互作用について。強い凝集を引き起こす。

講演者：Jennifer Conroy 所属・国：Trinity College Dublin, Ireland

講演題目：CdTe Nanoparticles display Tropism to Core-Histones and Histone-Rich Cell Organelles

アブストラクト：

Fluorescent Lifetime Imaging 手法により、ライフタイムや細胞内での局在化などの検討ができることを見出した。

講演者：Yvonne Williams 所属・国：Trinity College Dublin, Ireland

講演題目：Characterisation of Intracellular Compartmentalisation Patterns in

## Different Cell Types using Size Tuned Quantum Dots

アブストラクト :

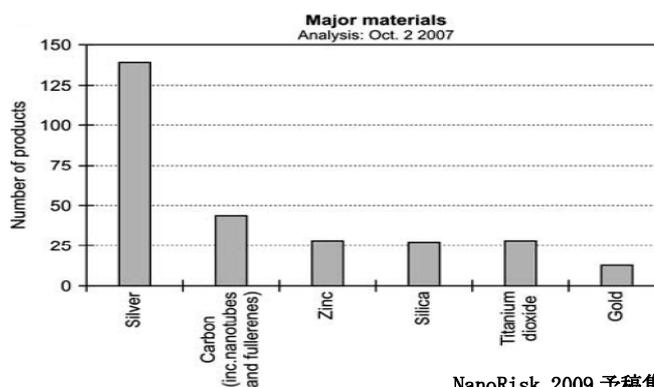
QD の細胞内への侵入について、電荷や細胞依存性を調べ、QD が 500nm 前後にサイズの閾値があること、また電荷よりも細胞種依存性のあることを見出した。

講演者 : PhD. Steffen Foss Hansen 所属・国 : Technical University of Denmark, Denmark

講演題目 : Categorizing Nanomaterials

アブストラクト :

ナノマテリアルの分類に関する研究例の提示。600 近くの物質に関し調べた結果、約 75% がカテゴライズできるとした。



NanoRisk 2009 予稿集より引用

講演者 : Donald C. Maclurcan 所属・国 : University of Technology Sydney, Australia

講演題目 : Nanotechnology and Regulation in the Global South: Perspectives from Thailand and Australia

アブストラクト :

タイやオーストラリア (特にタイ) におけるナノマテリアル、特に金粒子に関する研究の現状に関する報告。

講演者 : Ivanov Anton 所属・国 : St. Peterburg State University Chemical Faculty, Russia

講演題目 : Photo-active Atmospheric. Aerosols and Human-health Risk

アブストラクト :

主にエアロゾルに関して、大気中での振舞いや特に光学活性なもののリスクに関する研究。

講演者 : Elisabeth Nilsson 所属・国 : Lund University, Sweden

講演題目 : Teaching nanostudents sustainability and risk assessment

アブストラクト :

ナノマテリアルの研究に取り組む学生に対する教育に関する実施例の提示。

講演者 : Hubert Jeanson 所属・国 : Responsable Pédagogique, CEA

講演題目 : Nanosmile: Information and Training Processes at the CEA

アブストラクト :

ベネフィットとハザードの両面の性質を持つナノマテリアルに関する情報交換のコミュニケーションとして設立した“Nanosmile”に関する報告。

### 3. トピックス

今回の会議では参加者同士のディスカスの時間が豊富に設定されていたことが特徴的であった。欧米各国の参加者とのディスカスから受けた、諸外国でのナノマテリアルのリスクに関する認識を以下に示す。

- ・ ナノマテリアルにリスクがあることは多くの参加者が認識していた。
- ・ しかしながら欧州の参加者はどちらかと言えばナノマテリアルがもたらす利便性に関する関心が特に高い様子であり、冷静なコミュニケーションのための工夫が必要と言う認識が示されていた。
- ・ 用途としては、直接人体に触れない電子材料系やあるいはコーティングへの複合材料などへの展開を想定している様子であった。
- ・ 一方で化粧品として用いられているチタニアに関しては、利便性と危険性を明確にし、リスクの明確化が必要という認識のようであった。(交通事故とどちらがリスクか?)
- ・ 米国、カナダなどの北米からの参加者は、ナノマテリアルの危険性に関する一般の認識が非常に低いことを問題視していた。
- ・ 特に米国ではマスコミに流れるニュースの大半(1000:1)が利便性を述べたものであり、危険性を認識していない人が多いことを問題視していた。このために、危険性を前面に出すことも必要という認識が示されていた。(原子力発電所と同じ程度、危険性があることを提示する必要がある。)
- ・ 韓国からの参加者は、電子材料への応用と保険研究所からであった。両面が示されており、興味深い。
- ・ 日本はナノマテリアルの進展に大きなファンドをつぎ込んでいる、と言うのが諸外国の認識である。リスク研究が行われている事はあまり知られていない。

## 2-2. NNI Human Exposure and Environmental Assessment Workshop

### (ナノマテリアルの安全性調査プロジェクト)

日時：2009年2月24日、25日

場所：メリーランド州ベセスダ (Bethesda, Maryland)

主催：Nanoscale Science, Engineering, and Technology Subcommittee, Committee on Technology, National Science Technology Council (NSTC) & National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

2009年2月24日から25日にかけて、ナノテクの環境や健康に対する影響、労働環境における安全性 (Environment, Health, and Safety: EHS) に関するワークショップが開催された。以下では、ワークショップの概要、所感と、各議論の概要を説明する。

### ワークショップ概要

#### 目的・概要

このワークショップは、米国の連邦省庁横断型のイニシアチブである、国家ナノテクイニシアチブ (National Nanotechnology Initiative: NNI) のもと、労働環境化のナノテクの安全性に関する研究面についてリーダーシップを取っている、国立労働安全衛生研究所 (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH) が主催した。NNIでは、2006年、2007年、2008年と毎年ナノ EHS 研究に関する戦略を発表してきた (以下参照)。

発表年	タイトル	URL
2006年	Environmental, Health, and Safety Research Needs for Engineered Nanoscale Materials	<a href="http://www.nano.gov/NNI_EHS_research_needs.pdf">http://www.nano.gov/NNI_EHS_research_needs.pdf</a>
2007年	Prioritization of Environmental, Health, and Safety Research Needs for Engineered Nanoscale Materials	<a href="http://www.nano.gov/Prioritization_EHS_Research_Needs_Engineered_Nanoscale_Materials.pdf">http://www.nano.gov/Prioritization_EHS_Research_Needs_Engineered_Nanoscale_Materials.pdf</a>
2008年	Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health, and Safety Research	<a href="http://www.nano.gov/NNI_EHS_Research_Strategy.pdf">http://www.nano.gov/NNI_EHS_Research_Strategy.pdf</a>

今回のワークショップでは、こうした NNI の EHS 対策の一環として、特に労働者の安全性を中心に以下の5つの点に関する現時点での研究状況の把握と、向こう5年間の具体的な研究ニーズの洗い出しを目的として、ステークホルダーを集めて討議した。

- 労働者の被曝状況を把握する (Characterize exposure among workers)

- 人造ナノマテリアルに被曝している環境・人口の特定 (Identify population groups and environments exposed to engineered nanoscale materials)
- ナノマテリアルを含む産業・消費者製品と産業プロセスにおいて被曝する人口層の被曝状況の特徴を明らかにする (Characterize exposure to the general population from industrial processes, industrial and commercial materials, and consumer products containing nanomaterials)
- 被曝した人口と環境の健康状態の特徴を明らかにする (Characterize health of exposed populations and environments)
- ナノマテリアルの暴露を決定付ける労働環境におけるプロセスの理解 (Understand workplace processes and factors that determine exposure to nanomaterials and effective methods to control exposures and environmental emissions)

ワークショップでは、上記5点に関して、まずはテーマごとに現状とその課題などをまとめた発表があり、その後各テーマに分かれて、議論が行われた。各論に関する議論では、20名以下程度の小グループに分かれて1日半続けられ、1日目の終わりと2日目の終わりに、各グループの議論の概要と論点が発表された。NIOSHによれば、これらの論点などは、NNIのナノテクEHS戦略に盛り込まれるとのことである。

## 所感

- 本ワークショップの参加者はほとんどが研究者であり、従って非常に技術的な内容となっている。参加者は合計214名の登録があり、1日目の参加者は120名ほどであった。その大半は、連邦政府各省庁（特にEPA、FDA、NIOSH、DOE、DOD<sup>1</sup>など、EHS問題に直接取り組んでいる省庁）の研究者である。それ以外には、OECDにおけるナノテク関連のワークショップが近日中にワシントンDCで開催されることもあり、カナダ、ドイツ、デンマーク、日本などのEHS関連省庁担当者なども参加していた。
- ワorkshop参加者は、司会者を務めたNIOSHのウラジミール・ムラシヨフ (Vladimir Murashov)、NNIの事務局を率いるクレイトン・ティーク (E Clayton Teague)、NNIの創設の立役者であり、国立科学財団 (National Science Foundation: NSF) のナノテク顧問であるマイク・ロコ (Michael Roco)、ウッドローウィルソン国際学術センター (Woodrow Wilson International Center for Scholars: WWICS)

<sup>1</sup> 正式名称はそれぞれ、環境保護庁 (Environmental Protection Agency)、食品医薬品局 (Food and Drug Administration)、エネルギー省 (Department of Energy)、国防総省 (Department of Defense) である。

のアンドリュー・メイナード (Andrew Maynard)、その他、米国のナノテク EHS 政策を率いる各省庁の担当者がそろい、少人数によるワークショップではあるが、同時にキーパーソンによる議論が展開されたという意味では、重要な意味を持つといえる。

- ワークショップにおける議論はしばしば各論でもオーバーラップする問題が多かったが、基本的な論調は、①最先端の測定方法などを開発する傍ら、既に実施している監視プログラムや全国調査などを活用して、暴露量や被曝経路などを特定することができる、②次のステップとして、ロードマップを作成する必要がある、③優先順位を決めて効率的に研究するべきである、④研究は体系的に行うべきである、に集約することができる。
- NIOSH の実地調査<sup>2</sup>を手がけるチャールズ・ゲラシ氏 (Charles L. Geraci) は、「今回のようなワークショップは既に 10 回以上同じテーマで行っている」と発言しており、ワークショップ参加者らとの非公式の会話などにおいても、「われわれは過去数年間、同じ議論を繰り返しており、あまりに進展がない」との声が聞かれた。実際、議論の中には、ロードマップの作成など、特に目新しくもないものも多く、こうしたワークショップにおける提言に対して、結局連邦政府が具体的に行動を起こせていない点が最大の障害となっているようにも見受けられた。ただし、これに対して、今回のワークショップでは共有されていない詳細な研究結果や情報もあり、そういう点に目を向ければ、過去数年間において、EHS 問題に関する議論は進展してきているのだ、という反論もあった。
- さらに、NNI の事務局長であるティーク氏は、こうしたワークショップでのフィードバックや研究ニーズを受けて、NSF など NNI に参加している省庁は公募内容も適宜修正しているとし、ワークショップの重要性を強調した。また、NIOSH のゲラシ氏も、こうしたワークショップへの参加者は毎回増加傾向にあり、国家アジェンダを形成する重要なものになっていると述べた。
- 一方で、そうした重要な会議であるにも関わらず、出席者は連邦省庁関係者が多く、研究者の専門分野も広がりがないため、もっと分野横断的な研究者や関係者をこうしたワークショップに招く努力が必要であるとの指摘があった。
- また今後、同様のワークショップが開催される予定であるとのことである。

---

<sup>2</sup> NIOSH では、ナノテクを取り扱う企業に対して実地でナノテクのリスク管理について調査し、適宜助言するプログラムを実施している (参照：<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2008-120/>)。

## 開会の辞

会議の開催に当っては、会場を提供した消費者製品安全委員会（Consumer Product Safety Commission: CPSC）のナンシー・ノード委員長（Nancy A. Nord）、NNI 事務局長のクレイトン・ティエグが挨拶し、今回のワークショップに貢献した人々や参加者に対して、謝辞を述べ、今回のワークショップの背景や目的について説明した。

### セッション1：EHS 関連の研究動向

#### 研究ニーズ1：労働者の被曝状況の把握

研究ニーズ1については、ハーバード大学（Harvard University）のロバート・ヘリック教授（Robert Herrick）が発表した。ヘリック教授によれば、労働者の被曝状況の把握については、①定性的・定量的な暴露調査プロトコルの作成、②被曝に関する登録システムの有用性と実行可能性の模索、の2点が鍵となっている。現在、主要研究報告書データベース<sup>3</sup>などを見ると、ナノ粒子に関する研究は、2万件～7万件存在するが、ナノ粒子の暴露研究は、21件～1246件と、非常に少ない。このため、同分野におけるツールの開発とさらなる研究が次のステップとなるといえる。

①については、EPAのナノマテリアルスチュワードシッププログラム（Nanomaterial Stewardship Program: NMSP<sup>4</sup>）とリンクさせ、NMSPで求められる報告内容を拡大することで対応することができる。また、ナノテクを扱う労働者の労働履歴を追跡したり、既存の全国調査をモデルとして、同様の調査を補足的に実施することもできる。こうした全国調査は新しいものではなく、さらにNIOSHやEPAなどの各規制当局で既に（ナノマテリアル以外では）そうした調査を実施してきたという実績もある。

②については、リアルタイムで被曝を測定することも近い将来可能になると思われるが、それまでは既存の測定方法を活用することが望ましい。これらは、NIOSHのガイドラインやEPAの『ナノテク・ホワイトペーパー（Nanotechnology White Paper<sup>5</sup>）』など、既存のプロトコルを活用することができ、実行可能であると考えている。

---

<sup>3</sup> ここでは、NIHの所有するメッドライン（MEDLINE: [http://www.nlm.nih.gov/databases/databases\\_medline.html](http://www.nlm.nih.gov/databases/databases_medline.html)）とISIデータベース（ISI: <http://www.thomsonscientific.jp/products/literature.shtml>）によるデータが引用されている。

<sup>4</sup> NMSPはナノテクを扱う企業・研究所から、ナノマテリアルに関するデータを自主的に提供させるプログラムである（参照：<http://www.epa.gov/oppt/nano/stewardship.htm>）。

<sup>5</sup> <http://www.epa.gov/osa/pdfs/nanotech/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>

## 研究ニーズ2：人造ナノ材料に被曝している環境・人口の特定

研究ニーズ2については、環境分野を専門とするコンサルティング会社のエンヴァイラメンタルヘルス&エンジニアリング社 (Environmental Health & Engineering) のデイビッド・マッキントッシュ氏 (David MacIntosh) が、現段階で行われている研究の状況や課題などについて発表した。

マッキントッシュ氏によれば、環境におけるハザードとリスクをリンクさせることと、ナノ材料の移動、経路、受容体 (receptor) を理解することが、リスク管理上非常に重要であり、「暴露源から被曝量に至る包括的なアセスメント (source to dose assessment)」と呼ばれるアプローチが主要な研究方法となっている。この考え方は、NNI のEHS 戦略においても説明されており、連邦政府においても理解を得られている。

人造ナノ材料に被曝している環境・人口の特定に関する研究については、WWICS のナノテクプロジェクト (Project on Emerging Nanotechnology: PEN) においてナノテク研究マップを作成しており、そうしたロケーションを特定することは手始めとしては良いと考えられる。また、排出量についても、地域ベースで特定することができると思われる。次に、製品ベースの暴露源の特定に目を向けてみると、トップダウン型とボトムアップ型ではナノ材料の排出や移動・運命が異なるかもしれないし、エレクトロニクス、医療、コーティング、食品、パーソナルケアなど、製品の分類によっても異なるという問題があるが、現時点では少なくとも、化粧品など、ナノチューブやナノ粒子がコーティングされずに (free form) 含まれている製品を特に重点的に研究するべきである。このほかナノ粒子の形状、濃度によっても、被曝状況は変わってくるかもしれない。少なくとも本日のワークショップでは、何を優先して研究すべきかについて、特定する必要がある。このように、暴露源や被曝経路が非常に多様であるため、集積的暴露 (agglomerate exposure) と、累積的暴露 (cumulative exposure) という考え方が重要となっている。

さらに、ナノ材料の移動や運命の理解や測定方法についても、既存のモデルや測定方法が適切なのかどうかについても不明であり、そういったレベルから研究しなければならない。

排出量、移動と接触などの研究を行うためのツールとしては、空気、水、暴露の全ての経路については、既存のプログラムや調査方法があるため、現時点で必要なのは、こうした既存の監視プログラムにナノ材料を組み込むことができるのか、を明らかにすることである。また人体への負荷については、バイオマーカーが必須であり、分析に必要な人体への負

---

<sup>6</sup> 集積は、同じ暴露源に何度も被曝すること、累積は、異なる暴露源に何度も被曝することを指す。

荷に関する記録をどうやって構築するか、が重要となっている。こうしたデータは既にある厚生省傘下の疾病対策予防センター (Centers for Disease Control and Prevention: CDC) や EPA が実施しているプログラムなどを利用することができ、ポイントはそれらにナノマテリアルに関する調査を盛り込めるかどうかとなっている。

結論として、人造ナノマテリアルに被曝している環境・人口を特定するためには、我々は体系的な研究が必要であり、ライフサイクル・アプローチが重要である。また、「これが現時点で実施可能な研究だから、この研究をやるのだ」という考え方ではなく、「どういう研究が必要なのか」という点に基づいて、研究をすすめるべきである。

研究ニーズ 3 : ナノマテリアルを含む産業・消費者製品と産業プロセスにおいて被曝する人口層の被曝状況の特性解明

研究ニーズ 3 については、ラッガース大学 (Rutgers University) のポール・リオイ教授 (Paul Liroy) が発表している。リオイ教授は、現在の EHS 対策では、労働者の被曝に関する研究について語られている一方で、EPA では製品が廃棄された後の研究についてのみ目を向けており、暴露源として、その中間である、消費者が手にする「消費者製品」への関心が低いと指摘した。ただし同教授は、ナノテクは非常に利用価値の高い技術であって、意図しないアクシデントを避けなければならないだけである、とも強調している。

消費者製品による被曝状況を理解するためには、どのようにナノマテリアルは放出され、どれくらい移動し、その物性が途中で変化することがあるのかどうか、といった研究や、直接的な接触と、間接的な接触とでは、暴露量に変化はあるか、といった研究を行う必要がある。

研究ニーズ 4 : 被曝した人口と環境の健康状態の特性解明

研究ニーズ 4 の現状把握と課題に関しては、ニュージャージー医科歯科大学 (University of Medicine & Dentistry of New Jersey) のウィリアム・ハルペリン教授 (William Halperin) が、ナノ EHS 問題における疫学の役割について、説明した。

まず疫学では、健康への被害を予防する際、「予防の流れ (cascade of prevention)」という考えが定着している。予防の流れとは一般に、「(予防システムの) 設計→毒性テスト→(マテリアルの) 代替→工学的制御→暴露のモニタリング→医療スクリーニング→医療ケア→リハビリ→適応」という上流から下流へ流れるような流れを指す。この流れには、「監視 (監視とは、情報の収集が目的である)」が入っていないが、これらは登録システム (registry) や遡及的研究 (retrospective study)、前向き研究 (prospective study)、などで行うこと

ができる。

次に、既存の文献、現在実施されている研究、グラントの現状を見てみると、暴露アセスメントなどの論文や同分野のグラントは皆無に等しく、登録システムの構築に対する予算もほとんどなく、医療モニタリングなども実施されていない状況である。特に連邦政府のグラントについては、現在実施されている研究は、ナノテクの利点に関するものがほとんどで、暴露研究は非常に少ない。

このため、次に行うべき研究は、被曝した可能性のある人口を特定した後の対応方法で、バイオモニタリング、医療モニタリングとテスト、疫学的方法論の構築、などが挙げられる。さらに、こうした研究を進める上では、「体系的な」研究を行うことが重要であり、こうした EHS 対策の研究に対しては、連邦例府のナノテク予算の 5%~10%を充てる必要がある。

#### 研究ニーズ 5 : ナノマテリアルの暴露を決定付ける労働環境におけるプロセスの理解

最後の研究ニーズについては、マサチューセッツ大学ローウェル校 (University of Massachusetts, Lowell) のスーザン・ウォスキー教授 (Susan Woskie) から説明が行われた。

ウォスキー教授によれば、ナノマテリアルの暴露を決定付ける労働環境におけるプロセスの理解は、基本のナノマテリアル、機能性を追加したナノマテリアル、ナノマテリアルを使った中間財・製品の製造段階の流れに沿って、各段階においては R&D、パイロット・プラント、実用化、というレベルごとに分けて考えることができるという。

マクロレベルでの決定要因を考えるため、ライス大学 (Rice University) に設置されている国際ナノテク審議会 (International Council on Nanotechnology: ICON) が収集したデータ<sup>7</sup>を参考に見てみると、ナノテクを取り扱う組織 (研究所、企業など) のタイプは、42%が R&D、27%がナノマテリアルの製造、19%が実用化製品の製造に携わっていることがわかる。また、それら組織の 47%が 50 名以下の組織であり、56%の組織がナノマテリアルの取り扱い経験が 5 年以下であることがわかる。さらに、取り扱われているマテリアルを見てみると、基本的には 6 種類 (酸化物、金属、カーボンベースのナノ粒子、量子ドット、マクロ分子、自己組成したマテリアル) あり、そのほとんどが金属もしくはカーボンベースのナノマテリアルであることがわかっている。ここから言えることは、結局現時点では、マクロレベルの決定要因と実際の暴露の測定とを関連付けるようなデータは存在しないことである。ただし、

---

<sup>7</sup> このデータは、『(ICON Survey of Current Practices in the Nanotechnology Workplace 2006)』による (参照: [http://cohesion.rice.edu/centersandinst/icon/emplibrary/ICONNanotechSurvey\\_indexed\\_Full%20Reduced.pdf](http://cohesion.rice.edu/centersandinst/icon/emplibrary/ICONNanotechSurvey_indexed_Full%20Reduced.pdf))。

ICONの研究を利用するのであれば、R&D段階にある基本のナノマテリアルとその製造者（特に50名以下の比較的新しい組織）を対象とし、カーボンナノチューブや金属をターゲットとすればよいことになる。しかしこのアプローチでは、毒性に関する情報が入っていないため、非常に毒性の強いマテリアルを少量製造しているような組織があった場合、対象からもれてしまう可能性がある。

中間レベルでの決定要因としては、ナノマテリアルの製造分野別（ナノマテリアルのR&D、ナノマテリアルの製造、ナノマテリアルを含む製品の製造）、ナノマテリアルの用途別（製品、コンポジット、繊維、コーティングなど）のデータを比較する必要がある。決定要因の候補としては、製品のタイプ、製造規模、組織プロフィール（収益、民間か公的機関かなど）、物理的な労働施設（規模や施設の築年数）、施設におけるEHS管理プログラムのレベル、所在地、ターゲットとしている販売先、などが挙げられる。これに関する研究は、現時点では1件しか行われていない。

最後に、マイクロレベルでの決定要因としては、作業内容についての研究が行われることになる。

次なる研究としては、重要な暴露指標は何かを明らかにし、異なる組織における同じタスクに関する一貫性のあるサンプルを収集すること、モニタリングするための特定の暴露決定要因を決めること、などである。

## セッション2：各論に関する議論

各論に関する議論では、テーマごとに各グループに分かれ、以下の3点について議論された。

- 研究ニーズを提起するに当たり、我々はどのような状況にあるのか？
- 向こう5年間の研究ニーズを決定するのに必要なアクションは何か？
- ナノ科学は日々進展しているが、現在の研究ニーズは正しく策定されているか？  
ナノEHS研究ニーズにおける新しいトレンドとは何か？

各グループにおける議論の内容

### <研究ニーズ1：労働者の被曝状況の把握>

研究ニーズ1グループでは、労働者の被曝状況の把握方法として、以下を挙げている。

- 潜在的にナノマテリアルに被曝している労働者は、国家機関による調査（survey）やスチュワードシッププログラムの実施、ナノマテリアルのライフサイクルの追跡などにより、体系的に特定することができる。
- 人の被曝については、測定することは可能であるが、粒子を数えるだけで良いのか、具体的な方法論については議論の余地がある。
- ナノマテリアルの排出量の測定については、手始めとして適切なプロトコルは存在する。
- 体系的な被曝者の把握方法として、限界はあるが、登録システム（registry）はある程度実施可能である。

さらに研究ニーズ1については、労働者の被曝状況の把握について、向こう5年間の研究ニーズを策定する上で、以下のアクションが必要である。

- ナノテクに関する潜在的な労働環境下での被曝に関する、全米調査を実施する。
- EPAのNMSPなど、既存のメカニズムを通して、潜在的に被曝している労働者を特定する。
- 実験的なデータを利用し、人造ナノマテリアルの排出と移動に関する新しいモデルを開発する。
- 登録システムを実施する。

#### <研究ニーズ2：人造ナノマテリアルに被曝している環境・人口の特定>

研究ニーズ2のグループは、人造ナノマテリアルに被曝している環境・人口の特定における現状について、以下のように結論付けている。

- 「暴露源から被曝量に至る包括的なアセスメント」が必要となっている。
- 人造ナノマテリアルに被曝している環境・人口の特定には、化学物質、移動やヒト・環境との接触、モニタリング、バイオマーカーを使った人体への負荷などに関する、既存のメカニズムを適用することができる。

次に、研究ニーズ2では、人造ナノマテリアルに被曝している環境・人口の特定に関して、向こう5年間に実施すべき対策として以下を挙げた。

- どのグループを被曝人口としての的を絞って研究するのか、優先度を決定する。
- 製品のライフサイクルという観点で被曝状況について研究する。
- 被曝経路を研究する。

- 分解、生物学的変化、消費された場合などにおける、人造ナノマテリアルの変化について研究する。
- データ収集方法を絞り込むため、バイオマーカーを体系的に特定する。
- ナノテクをカバーしている保険会社や、(ナノマテリアルの) 販売業者などから、環境に放出される人造ナノマテリアルの製造業における汚染源に関する情報を収集する。

### <研究ニーズ3: ナノマテリアルを含む産業・消費者製品と産業プロセスにおいて被曝する人口層の被曝状況の特性解明>

研究ニーズ3グループでは、ナノマテリアルを含む産業・消費者製品と産業プロセスにおいて被曝する人口層の被曝状況の特性解明における現状について、以下のように結論付けている。

- 現時点では、粒子のサイズ、数、表面積など、ナノマテリアルの暴露を特定するツールは存在する。
- マテリアルのライフサイクルを通じ、さまざまな方法で、ナノマテリアルと分解産物 (degradation products) を測定することはできる。
- 消費者製品の人造ナノマテリアルの排出量に関する限定的なデータは存在する。

また研究ニーズ3に関する、向こう5年間における対応策としては、以下が挙げられた。

- ナノマテリアルに被曝した人口に関するロードマップを策定する。
- 製品の利用状況を分析し、暴露量を測定する。
- (測定) 技術の正当性を立証し、有効なモデルを開発する。
- 排出・流出の時点における状況を分析する。
- 暴露源を分析し、暴露の特性を明らかにする。
- 研究の規模と目的の優先順位をつけるためのツールを開発する。
- 人造ナノマテリアルの排出については、その製造、処理、利用、廃棄・再利用の状況に基づいて研究する。

### <研究ニーズ4: 被曝した人口と環境の健康状態の特性解明>

研究ニーズ4グループでは、被曝した人口と環境の健康状態の特性解明について、現時点で対応可能な戦略として、以下を挙げている。

- 超微粒大気汚染物質に関する前向き研究 (prospective study) を実施する。
- 複数の研究所や企業において医療モニタリングを開始する。

- NIOSH や CPSC などが実施している既存の監視システムを活用し、原型的な (prototypical) 監視システムを実施する。

次に、研究ニーズ 4 では、被曝した人口と環境の健康状態の特性解明に関して、向こう 5 年間に実施すべき対策として以下を挙げた。

- 厚生省傘下の CDC が現在実施している、国民栄養健康調査 (National Health and Nutrition Examination Survey: NHANES<sup>8</sup>) や国民健康聞き取り調査 (National Health Interview Survey: NHIS<sup>9</sup>) の質問内容に、消費者製品に関するものも追加する。
- 一般社会と、労働環境における両方の環境について、クラスター調査を行う。
- NIOSH、産業界、もしくは労働組合などが特定したグループについて、産業界全般的な調査を実施する。

#### <研究ニーズ 5 : ナノマテリアルの暴露を決定付ける労働環境におけるプロセスの理解>

研究ニーズ 5 グループでは、ナノマテリアルの暴露を決定付ける労働環境におけるプロセスの理解について、現時点で可能な対策として以下のように説明した。

- ライス大学の ICON で収集しているデータなど、ナノマテリアルに関連する産業界や製品の種類ごとの暴露に関する決定要因については、多少のデータはある。
- 組織レベルやナノマテリアルの種類ごとの、潜在的な暴露の決定要因に関する研究は非常に限定的である。
- 潜在的な、(ナノマテリアルの製造などの現場における) 操作や処理レベルの暴露の決定要因に関するデータは非常に限られている。

次に、研究ニーズ 5 では、ナノマテリアルの暴露を決定付ける労働環境におけるプロセスの理解に関して、向こう 5 年間に実施すべき対策として以下を挙げた。

- 調和の取れた調査アプローチを開発する。
- 潜在的な皮膚への暴露源を含め、段階ごとのプロトコルを開発し、暴露源を特定する。
- 吸引による暴露の特徴を解明するための方法論を開発する。

<sup>8</sup> NHANES は、対面による聞き取り調査と医療診断の両方による、米国で唯一実施されている大規模な調査である。同調査で収集されるデータは、主要な栄養、感染、環境、慢性の健康障害などについて、研究するために利用されており、データは 2000 年以降、一般に公開されている。(参照：<http://www.cdc.gov/nchs/nhanes.htm>)

<sup>9</sup> NHIS は、米国民の障害や疾病に関する統計収集を目的とした聞き取り調査である。(参照：<http://www.cdc.gov/nchs/nhis.htm>)

- 皮膚への暴露に関する特徴を解明するための方法論を開発する。
- 調査 (survey) で使う暴露の決定要因とプロセスを優先する。

#### <注目すべき、新しいナノ EHS 研究ニーズ>

- 情報科学的なアプローチ (informatics approaches) を模索する。
- 集積・分解 (agglomeration and de-agglomeration) 効果を考慮に入れる。
- 機器を開発する。
- (EHS に関する) 国際的な問題についても考慮する。
- ハザードカテゴリを作成する。
- テスト施設を設置する。
- 登録システムを導入する。
- 第2世代<sup>10</sup>以降のナノマテリアルについても検討する。

#### セッション3：各論に関する議論（続き、2日目）

2日目の議論では、以下の点を中心に議論が続けられた。

- ① 情報科学の役割は何か、どうすればより効率的に情報交換を行うことができるか
- ② 学際的な研究に関する問題はどのように扱うべきか、そうした分野における障害は何か
- ③ 産学官・NGOの役割は何か
- ④ 研究ニーズを特定していくためのメカニズムは存在するか、そうしたメカニズムを構築すべきか

いかは、各グループにおける議論の争点である。

#### <研究ニーズ1と5：労働者の被曝状況の把握と、ナノマテリアルの暴露を決定付ける労働環境におけるプロセスの理解<sup>11</sup>>

- ①については、情報がありすぎることは問題なので、有効に利用すべきである。ライフサイクルを通じたナノ EHS 問題のベストプラクティスを作成するべ

<sup>10</sup> これは、NSFのマイク・ロコが提唱している、ナノテク開発段階に対する考え方で、ロコによれば、ナノテクの開発は、第1世代から第5世代までに分けることができるという。詳細は以下の発表資料を参照のこと ([http://www.nanoed.org/news/docs/011207/MikeROCO\\_NNI\\_Day1.pdf](http://www.nanoed.org/news/docs/011207/MikeROCO_NNI_Day1.pdf))。尚、この資料では第4世代までしか記載されていないが、2008年に開催されたINC4会議では、第5世代が提唱されている。

<sup>11</sup> 研究ニーズ1と5は合同で議論が行われた。

きである。登録システムについては、企業のプロプライエタリ情報や、プライバシーの問題に関する懸念がある。

- ③については、コホート研究 (cohort study) の実施や、規制の策定が、連邦政府の役割となる。産業界は、一方で、MSDS の記載などを徹底する必要がある。
- ④については、研究の優先順位の決定と、モデルの開発が必要である。

### <研究ニーズ3: ナノマテリアルを含む産業・消費者製品と産業プロセスにおいて被曝する人口層の被曝状況の特性説明>

- まずはロードマップを策定し、優先順位を決めて研究を進めるべきであるが、同時に既に EPA、NIOSH など各省庁では戦略計画を持っているので、それらを統合すること、ステークホルダーの意見を取り入れたものとする、が重要である。
- ②について、毒性研究や暴露研究は、研究資金が提供されていないために行われていないが、そういう研究は、省庁横断的に、共同研究支援という形で実施するやり方もある。ナノテク研究は、(NSF が実施しているような) 研究センターごとに資金を提供するやり方だと、それぞれの研究所内で情報が留まるため良くない。疫学、暴露研究、毒性研究など、分野ごとにグラントを提供しつつも、1年に1回は、関係する専門分野の研究者が全員集まり、情報交換する機会を設けるべきである。
- ロードマップの作成は、教育者、科学者、労働衛生研究者、看護師、業界団体、貿易団体その他、あらゆるステークホルダーを集めて実施すべきであり、同時に一般社会に対しても、EHS 戦略についてアウトリーチするべきである。

### <研究ニーズ4: 被曝した人口と環境の健康状態の特性説明>

- ①については、登録システムを是非とも構築すべきである。そこでの鍵は、ステークホルダーのコンセンサスを得ることである。
- ③について、連邦政府の役割は、データの収集、研究資金の提供、標準化の策定、などがあり、特に EPA については、NMSP の改善が必要である。
- ④については、連邦政府はグラントの公募を作成する前に、まずは各分野の専門家から情報を収集し、より照準を絞った公募となるようにすべきである。一方で、EHS 関連の問題について、逆に誰に報告すればよいのか、連邦政府による EHS 戦略の発表だけでなく、逆方向からの情報の流れについても道筋をつける必要がある。尚、連邦政府は、EHS 研究に対して、連邦政府のナノテク予算の10%を割り当てるべきであるとの意見があった。

### <注目すべき、新しいナノ EHS 研究ニーズ>

- ナノ EHS 戦略については、同じ議論が繰り返されている。
- ①に関して、登録システムについては、最低限の情報のみを入れるようにする。
- ②については、次回のワークショップでは、全ての関連科学分野の専門家を招く必要がある。
- 現在の連邦政府の EHS 戦略は、ただの EHS 研究リストであって、本来の意味での戦略計画が必要となっている。

### まとめ

最後のまとめでは、各論ではなく全体でのディスカッションタイムとなり、以下の点が指摘された。

- ナノの EHS 研究についても、ICON が立ち上げたような、ウィキ (Wiki) を利用すべきである。
- 今回、ナノ EHS 研究があまり進展していないとの意見があったが、5~7 年前に比べれば、研究結果は出てきており、進展がないことはない。
- 現在、EHS 研究がほとんど行われていないとの指摘があったが、それよりも実用化に対する研究へグラントを提供すべきである。実用化が行われなければ、労働環境や製品に関するナノマテリアルの影響に対する研究も進まない。

### 2-3. 2章まとめ

今回の2つの国際会議ともに共通するのは、会議での発表内容がナノマテリアルの環境や特にヒト健康に対する安全性に対する非常に高いレベルでの懸念を示したものが多いのに対し、その場で展開される議論あるいは関係者での会話内容が研究内容の標準化の遅れによる研究成果の不確かさを指摘するものが多かった、ということである。

特に2月に開催された“NNI Human Exposure and Environmental Assessment Workshop”においては、多くの参加者からナノのEHS研究の進展が遅いことが指摘されており、政府の対応に対する不満が表明されていた。これはナノマテリアルの安全性に多く懸念を保有する研究者からだけでなく、逆に従来どおりの規制でもそれほどの危険性はないのではないかと考えている研究者も同様の意見を持っているようであった。特に注目すべき意見としては、この種の研究においては戦略的な視点での計画立案が必要という発言を上げることができる。

これは一方ではナノマテリアルが産業にイノベーションを起こす素材として長年注目を集めていながら、なかなかその成果が現れていないこととも関連していると思われる。即ち、まだ大きな産業を引き起こす素材であるという確証も無いものに対して、安全性の議論を行うことに意味があるのだろうかという、一種のフラストレーションと捉えることができる。ナノマテリアルは現状、安全性もグレイであり、ベネフィットもグレイという八方塞の状況におかれているという認識である。このような認識は、欧米では一般化しつつあるようであり、その結果として現在は、まず大きなベネフィットを確立し、その恩恵が確信できるようになって初めて安全性の議論を実施し、それを持ってリスクを評価すべきである、という傾向が強まっていると感じられる。

今後はその過程での研究成果が確実に公開されているかが問題になろう。“Nano Risk 2008”の発表では、アメリカにおけるナノマテリアルの安全性に関する報道は、非常に少ないことが指摘されており、このように偏った報道がなされていることが事実であるならば、将来に大きな禍根を残すことになると考えられる。実施されている研究の冷静な評価などを含めた、開かれたコミュニケーションのための工夫が今後の課題となると考えられる。

