

# 労働現場におけるナノマテリアル取扱いと労働衛生管理 事業所を対象としたアンケート調査結果より

甲 田 茂 樹<sup>\*1</sup>

ナノマテリアルは新素材として産業現場に登場してきたが、ナノマテリアルが実際に取扱われている労働現場における労働衛生管理上の課題について、ほとんど情報が得られていないのが現状である。そこで、本研究では、ナノマテリアルを取扱っている企業を対象に、質問紙によるアンケート調査を実施した。その結果、回答のあった企業で取扱っているナノマテリアルはカーボンナノチューブ(CNT)、金属酸化物、カーボンブラック、金属単体、フラーレンであった。これらナノマテリアルは生産規模がさほど大きくないためか、ばく露する労働者数も少なく、具体的な労働衛生管理をみても、局所排気装置の設置と保護具の支給、MSDSの活用、作業マニュアルの作成や作業環境測定、全体換気などで、ナノマテリアル特有な労働衛生管理ではなく、一般的なものであった。一方、ナノマテリアル取扱いへの不安では、作業員への健康影響、有害性情報の入手が困難、安全衛生情報の不足や外部専門家への相談希望、保護具の適否などがあげられていた。代表的なナノマテリアルであるCNTと金属酸化物について詳しくみていくと、金属酸化物の方が労働者へのばく露の可能性があるとは指摘している。とりわけ、製造・秤量・装置への注入・回収・移し替え・清掃の各工程で80%以上の企業がばく露の可能性を指摘していた。労働現場で実施されている労働衛生対策は主として粉じん対策であり、保護具（保護手袋>保護メガネ>防じんマスク>保護衣）が最も多く、ついで局所排気装置と全体換気が多く、無人化・自動化は一部のCNT企業にしか認められなかった。

キーワード：ナノマテリアル、労働衛生管理、粉じん対策、CNT、金属酸化物。

## 1 はじめに

ナノマテリアルは世界的に注目を集めている産業用の新しい素材であり、今世紀に入って様々な種類のナノマテリアルが開発され、電気・電子製品や化粧品、塗料・インク、繊維、家庭用品、スポーツ用品、タイヤなどでは既に製品化されている。この新しい科学技術が人類にもたらすベネフィットや可能性を考えれば、ナノマテリアルを用いた製品の市場化はますます拡大していくことが予想される。

しかしながら、物質の構成元素が同一であっても、そのサイズや形状が異なることから、従来の産業医学や労働衛生工学的な分析手法を用いてリスク評価を行うことが適切かどうかについては議論のあるところである。労働現場におけるナノマテリアルの取り扱いに関する安全衛生上の吟味については、OECDやISO、各国の労働衛生の研究機関等で検討されている。OECDでは当面、表1に示した14種類のナノマテリアルの危険有害性を含む安全衛生情報を広く収集することとしている。わが国でも大学や研究機関等でナノマテリアルの調査研究がはじまった段階にあり、厚生労働省や経済産業省などの行政レベルでもナノマテリアルの安全性や健康影響に関する情報を検討し始め、厚生労働省ではいち早く「ナノマテリアル製造・取扱い作業現場における当面のばく露防止のための予防的対応について」（基発第0207004号、平成20年2月7日）を發布した。

表1. OECDが安全衛生情報を収集するナノマテリアル

フラーレン	酸化アルミニウム
単層カーボンナノチューブ	酸化セリウム
多層カーボンナノチューブ	酸化亜鉛
銀ナノ粒子	酸化シリカ
鉄ナノ粒子	ポリスチレン
カーボンブラック	デンドリマー
酸化チタン	ナノクレイ

ナノマテリアルを取扱う作業現場においてどのような労働衛生上の課題が存在するのかについて吟味していくためには、ナノマテリアルの生産・加工現場でどのような労働衛生管理や安全対策が実施されているのか、具体的かつ基礎的な情報を収集する必要がある。

## 2 対象と方法

ナノマテリアルが実際の労働現場でどのように取扱われ、労働安全衛生面での課題を有しているか、国内外で関心が高まる一方、これらに関する情報は極めて乏しいために、まず、職場でのナノマテリアル取扱いの実態を把握するためにアンケート調査を実施することとした。アンケート調査は、産業技術総合研究所と共同で「ナノマテリアルの労働衛生に関する調査」を実施した。具体的には、ナノテクノロジービジネス協議会(NBCI)に調査実施への協力を要請し、ナノマテリアルを取扱っている企業80社の適切な担当者に対して、NBCIを通じて調査票を送付し、郵送法にて回収した(2007年9月～2008年2月)。

\*1 有害性評価研究グループ。

アンケート調査では、取扱っているナノマテリアル全般に関する労働衛生管理の状況を把握し、さらには、具体的な個々のナノマテリアルに関する詳細な情報が必要となるため、2種類の調査票（A票とB票）を作成した。まず、A票では、企業の業種と規模、安全衛生委員会の設置や産業医・衛生管理者・衛生工学衛生管理者の選任などの安全衛生管理体制、取扱っているナノマテリアルの種類や実施している具体的な労働衛生管理の状況、ナノマテリアル取扱いに関する不安などについて設問項目を設けた。ついで、B票では、主要なナノマテリアル製品とその基本的情報、具体的な生産プロセスごとのばく露予測や労働衛生管理の状況などにかかわる設問項目を設定した。

調査票の回収状況は、A票で39社（回収率：48.8%）であり、B票では28社（回収率：35.0%）より46のナノマテリアル製品に関する情報が得られた。回収された調査票に記載されている情報はSPSS Ver.16.0によって集計・解析を実施した。

### 3 結果と考察

#### 1) ナノマテリアルを取扱っている事業所特性と労働衛生管理の実状について

配布したA票に対して回答のあった39社であるが、その業種分類は幅広く、企業規模も大企業から10名程度のベンチャー企業まで様々であった。回答企業の産業保健スタッフの配置状況では、約80%で産業医、約95%で衛生管理者、そのうち約60%で衛生工学衛生管理者を選任していたことが特徴的であった。なお、調査票の回答者の約60%は製品開発・生産ラインの担当者であった。

回答企業のナノマテリアルとの関わりを見ると「研究開発」31社、「製造」15社、「製品加工」12社であった。以下の分析では「関連なし」3社を除いた36社を有効回答とした。

36社で取扱っているナノマテリアルで多い種類に見ていくと「カーボンナノチューブ(以下、CNT)」16社、「金属・半金属の酸化物」14社、「カーボンブラック」と「金属単体」7社、「フラーレン」6社、などであった。これらのナノマテリアルの取扱い従事者数の分布は「10～49名」17社、「1～9名」14社、「50～249名」4社、「回答無し」1社であった。このことは、たとえ大企業であってもナノマテリアルの生産現場は限られており、結果的にナノマテリアルにばく露する労働者も限られていることを示唆している。さらに、取扱っているナノマテリアルへの労働衛生管理の特徴をみると、一般的な労働安全衛生活動を行っている企業が29社と大半を占め、ナノマテリアル独自の労働衛生活動を行っている企業はわずか3社であった。以下、前出の五つの主要なナノマテリアルを分析する。

主要なナノマテリアルでの具体的な安全衛生対策を図1～2（図中のNMはナノマテリアルの略）に示したが、「局所排気装置の設置」「保護具の支給」50～100%、

「MSDSの活用」50～85%、「作業マニュアルの作成」「作業環境測定」「全体換気」20～70%、「労働衛生教育」「安全トレーニング」「健康管理」20～50%、「クローズドシステムの導入」「環境モニタリングの実施」0～30%であった。

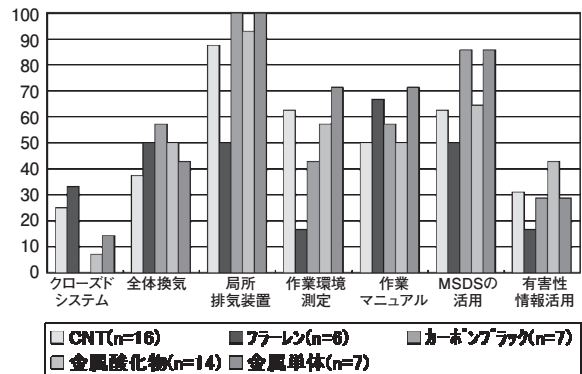


図1. 主要なNMの具体的な安全衛生対策①

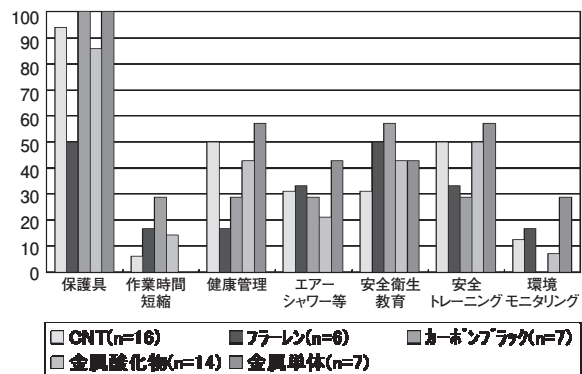


図2. 主要なNMの具体的な安全衛生対策②

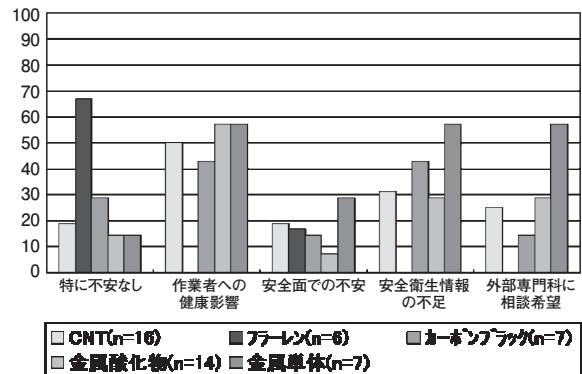


図3. NM取扱いに関する不安について①

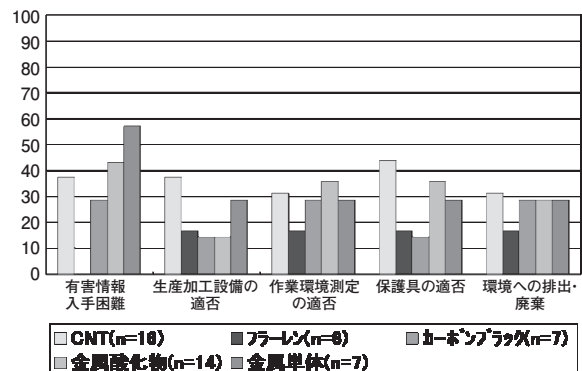


図4. NM取扱いに関する不安について②

ついで、主要なナノマテリアルでの取扱いに関する不安を図3～4に示したが、フラーレンを除いて「作業員への健康影響」40～55%、「有害性情報の入手が困難」30～55%、「安全衛生情報の不足」「外部専門家への相談希望」15～55%、「保護具の適否」10～40%であった。

A票ではナノマテリアルの労働衛生管理に関する自由意見を調査しているが、国・製造企業・加工企業の三者で果たすべき役割等に以下のような違いが認められた。すなわち、国に対しては「危険有害性等に関する情報公開」や「ナノマテリアル取扱いの基準ないしは指針の策定」を、製造企業には「危険有害性等に関する情報公開」や「事故や健康障害の情報提供」を、加工企業には「MSDS等の安全衛生情報や指針の遵守」などを求める意見が多かった。

## 2) 個別のナノマテリアルのばく露予測と具体的な労働衛生管理の状況

B票で得られたナノマテリアル46製品を種類別に分類すると「金属酸化物等」16製品、「CNT」12製品、「フラーレン」5製品、「金属単体」5製品、「カーボンブラック」4製品、などであった。以下、製品数の多い金属酸化物等とCNTの労働衛生管理の実際について比較検討する。このことはわが国におけるナノマテリアルの開発状況をよく反映しており、主力のナノマテリアルと考えられる金属酸化物やCNTの労働衛生管理の状況を検討する上で有力な情報が得られるものと期待できる。

各生産プロセスにおける労働者へのばく露の懸念について図5に示したが、一般的に金属酸化物等の方がCNTに比べて高い傾向にあり、秤量・装置注入・製品回収・清掃の工程で労働者がばく露する懸念があると回答する比率が金属酸化物等では80～90%、CNTでは50～70%となっていた。なお、混練という生産工程については、CNTと金属酸化物等共に労働者へのばく露の懸念が100%であったが、そもそも、混練という生産工程が存在するのはCNTで3社、金属酸化物等で6社と比較的限られたものであった。

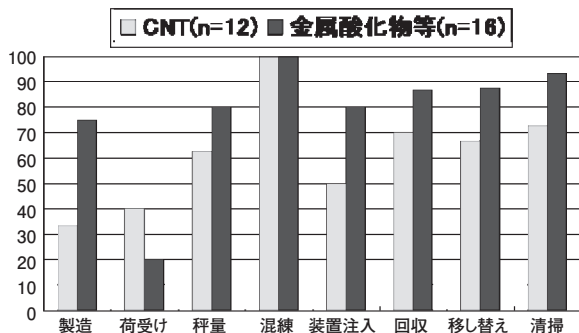


図5. 各生産工程における労働者への曝露の懸念

「無人化・自動化」や「グローブボックス」のような封じ込め対策が行われているのはCNTで2製品、金属酸化物で1製品とわずかであった。つぎに効果的な粉じん対策である「局所排気装置」の設置されている比率(図

6)、さらには「全体換気」の導入されている比率(図7)をみると、CNTの方が金属酸化物に比べて「局所排気装置」の設置状況が高く、CNTの秤量～注入～回収というプロセスでは80%を超えていた。CNTでは「全体換気」をこれに加えると100%を超える結果となっていた。「全体換気」(図7)はCNTより金属酸化物を製造している事業所で高くなっていったが、金属酸化物では「局所排気」や「全体換気」が実施されていない企業も存在していた。

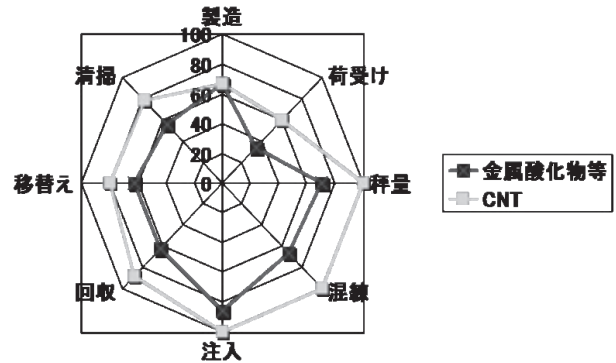


図6. CNTと金属酸化物での局所排気装置の設置状況

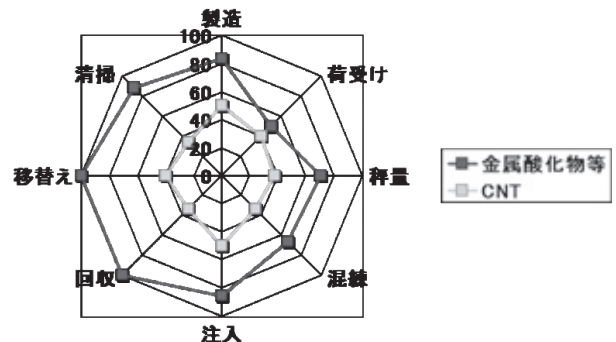


図7. CNTと金属酸化物での全体換気の実施状況

その他の実施されていた対策の中で最も多かったのは保護具であり、実施されている保護具の内容を見ると、保護手袋>保護眼鏡>防じんマスク>保護衣の順となっていた。

また、作業環境評価に係わる対策として「作業環境測定(一般的な粒子)」や「作業環境測定(ナノサイズまで)」の実施状況は10～40%と低かった。

ナノマテリアルを取扱っている企業を対象にした調査は今までにあまり実施されていない。論文として報告されているものや研究機関のホームページを通じて公表されているものをあげると、International Council on Nanotechnology (ICON) の実施した調査<sup>1)</sup>(n=64)、ドイツのBundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) の実施した調査<sup>2)</sup>(n=71)、スイスのローザンヌ大学の実施した調査<sup>3)</sup>(n=43)くらいである。ナノマテリアルが新技術であるために、産業界での広がりや正確に把握できていないことに加えて、特許に絡んだ新技術に関連する情報を社外に出したくないという企業心理などが、調査研究を難しくしている。その

意味で、今回の調査は貴重な情報を提供しているが、以下の二点、すなわち、回答企業はナノマテリアルを取扱っている企業の一部である、取扱っているナノマテリアルの生産規模の差異(実験室レベルから大型プラントまで)が把握されていない、について考慮する必要がある、その上で、今回の調査結果を解釈すべきである。

#### 4 まとめ

今回、ナノマテリアルを取扱っている事業所を対象にして、労働現場でどのような労働衛生管理を実施しているのか、さらには、労働衛生管理を実施する上でどのような課題を抱えているのか、それらの概要を知るためにアンケート調査を実施した。その結果、

- ① 回答のあった企業において取扱っているナノマテリアルで最も多かったのはCNT、金属酸化物、カーボンブラック、金属単体、フラーレンであった。
- ② ナノマテリアル取扱いの従業員数で最も多いのは10～49名、ついで1～9名、両者で全体の86%であった。
- ③ ナノマテリアルの労働衛生管理としては一般的な安全衛生活動を行っている企業が約8割を占めていた。
- ④ 具体的な労働衛生管理で最も多いのは局所排気装置の設置と保護具の支給(50-100%)、MSDSの活用(50-85%)、作業マニュアルの作成や作業環境測定、全体換気(20-70%)、労働衛生教育や安全トレーニング、健康管理(20-50%)、クローズドシステムや環境モニタリング(0-30%)であった。
- ⑤ ナノマテリアル取扱いに関する不安では、ナノマテリアルの種類による違いが鮮明に出ており、フラーレン取扱いに関する不安が最も低かったが、これを除くと、作業員への健康影響(40-55%)、有害性情報の入手が困難(30-55%)、安全衛生情報の不足や外部専門家への相談希望(15-55%)、保護具の適否(10-40%)となっていた。
- ⑥ 企業から寄せられたナノマテリアルの安全衛生に関する調査研究や情報提供についての自由記入欄をみると、国が行うこととして要望が多かったのは「危険有害性等に関する情報公開」と「ナノマ

テリアル取扱いの基準ないしは指針の策定」であった。片や、製造する企業には「危険有害性に関する情報提供」や「事故や健康障害の情報提供」などを求めるものが多く、取扱い・加工を行うユーザー企業では「MSDS等の安全衛生情報や指針の遵守」を求める声が多かった。

- ⑦ 個別のナノマテリアルの取扱いについて、事例の多かったCNTと金属酸化物でみていくと、金属酸化物の方が労働者へのばく露の可能性があると指摘している。とりわけ、製造・秤量・装置への注入・回収・移し替え・清掃の各工程で70%以上の企業が回答している。混練作業についてはこのような作業がありとする企業自体が少ないものの、全企業が労働者へのばく露の可能性があるとしていた。
- ⑧ ナノマテリアルの中でも主要な金属酸化物やCNTについては、主として粉じん対策としての労働衛生管理が行われている。
- ⑨ 個別の労働衛生対策では保護具(保護手袋>保護メガネ>防じんマスク>保護衣)が多く、ついで局所排気装置と全体換気が多く、無人化・自動化は一部のCNT企業にしか認められなかった。

などの知見が得られた。

今後は、この事業所に対するアンケート調査を参考にして、指摘されたナノマテリアルのばく露の懸念される、いわゆる「ホットスポット」でナノマテリアルの測定・評価を行う必要がある。

#### 5 参考文献

- 1) International Council on Nanotechnology (2006) A review of current practices in the nanotechnology industry. (<http://icon.rice.edu/>)
- 2) Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2008) Exposure to Nanomaterials in Germany. (<http://www.baua.de>)
- 3) Kaspar Schmid and Michael Riediker (2008) Use of Nanoparticles in Swiss Industry: A Targeted Survey. Environmental Science & Technology Vol.42, No.7, 2253-2260.

(平成22年9月17日受理)