

「ナノマテリアルの労働衛生に 関する調査」結果報告

(独)労働安全衛生総合研究所(JNIOSH)

(独)産業技術総合研究所(AIST)

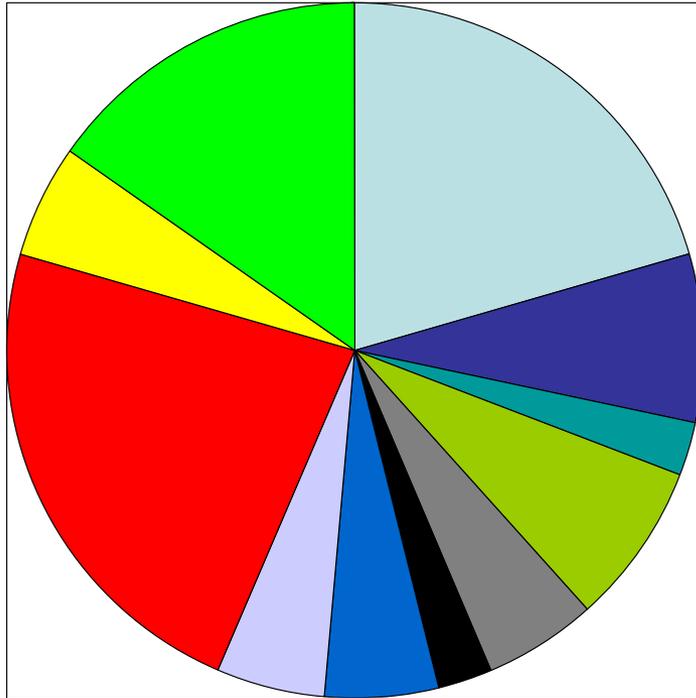
はじめに

- 今回の「ナノマテリアルの労働衛生に関する調査」は、「先端産業における材料ナノ粒子のリスクに関する研究」(JNIOSH:運営費交付金による所内プロジェクト)及び「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」:(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、AISTへ委託)との共同の調査研究として2007年9月～2008年2月にかけて実施された。
- この調査は、国際的にも関心の高い新規材料であるナノマテリアルの安全性や健康影響に関する研究を促進するために、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、について基礎的な情報を得ることを目的とした。

対象と方法

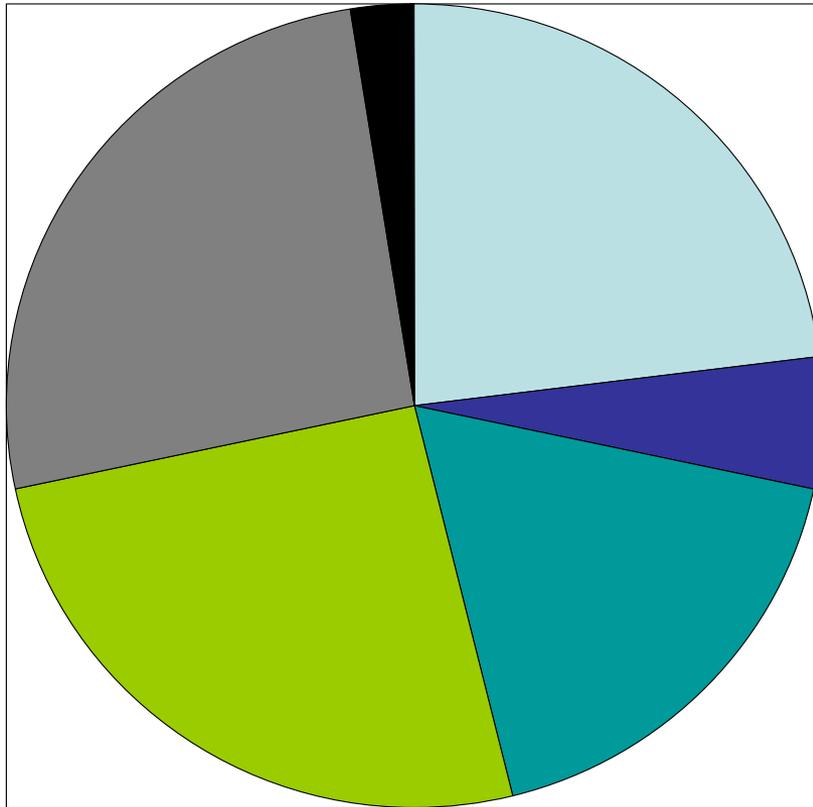
- 「ナノマテリアルの労働衛生に関する調査」はナノテクノロジービジネス協議会(NBCI)と協議した結果、ナノマテリアルを取扱っている企業80社を対象として、さらに、NBCIを通じて適切な担当者に調査票を送付し、調査への協力を依頼した。
- 調査票はA票とB票の二種類からなる。A票では事業所の基本的な情報、取扱っているナノマテリアルの情報、総合的な労働衛生管理の状況などについて調査した。ここでは、まずA票の結果について解説する。
- 記入の済んだ調査票は郵便にてJNIOSHまで返信していただいた。80社中39社よりA票への回答(回収率:48.8%)があった。

回答企業の業種分類



➤NBCIIに加盟する企業の特徴でもあるのだろうが、欧米のようにひとつの業種に限られた情報にはなっておらず、幅広い業種の事業所が調査票に回答しており、様々なナノマテリアルに関する情報が得られたのが、今回の特徴である。

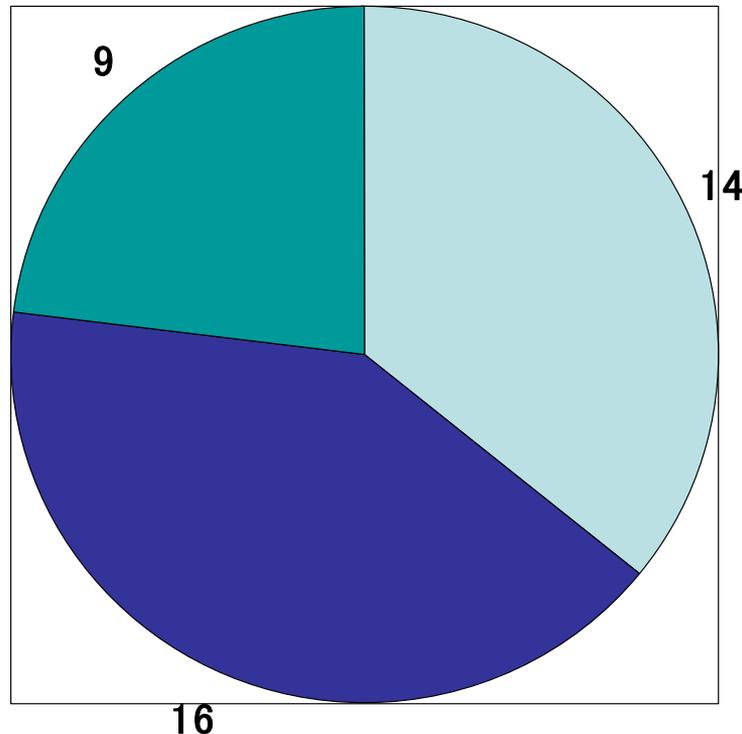
回答企業の企業規模



➤ 回答の寄せられた事業所の企業規模をみると、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。

➤ この結果は、ナノマテリアルという新しい素材・材料の持つ実用化ないしは産業化への可能性を反映しているものと思われる。

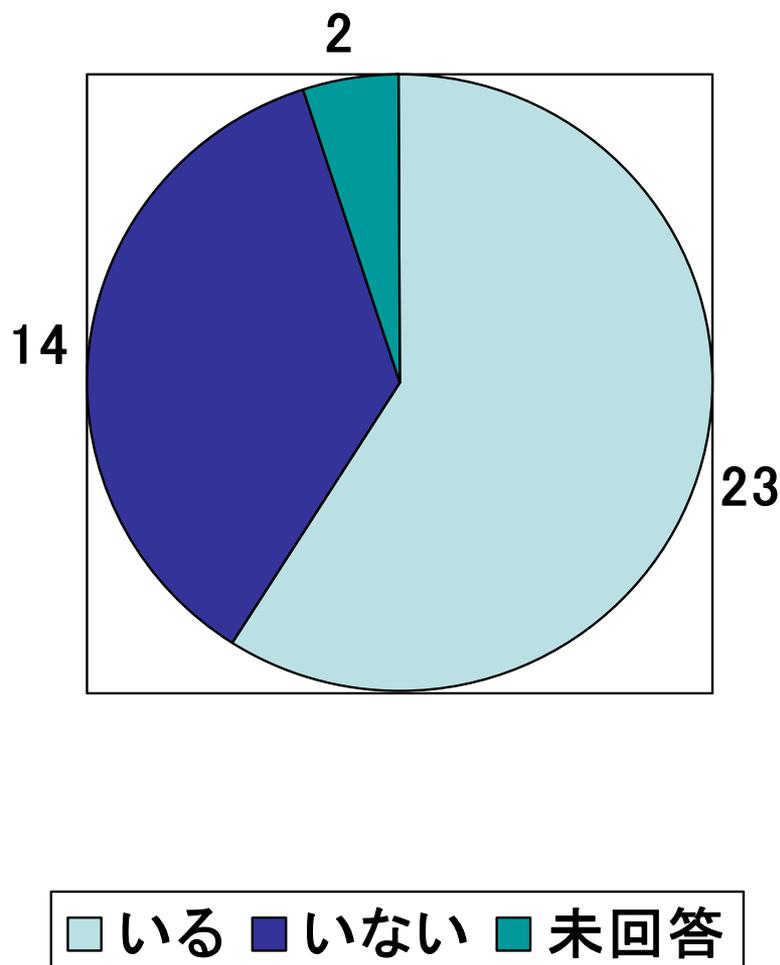
産業医の選任状況について



■ 専属産業医 ■ 嘱託産業医 ■ 産業医いない

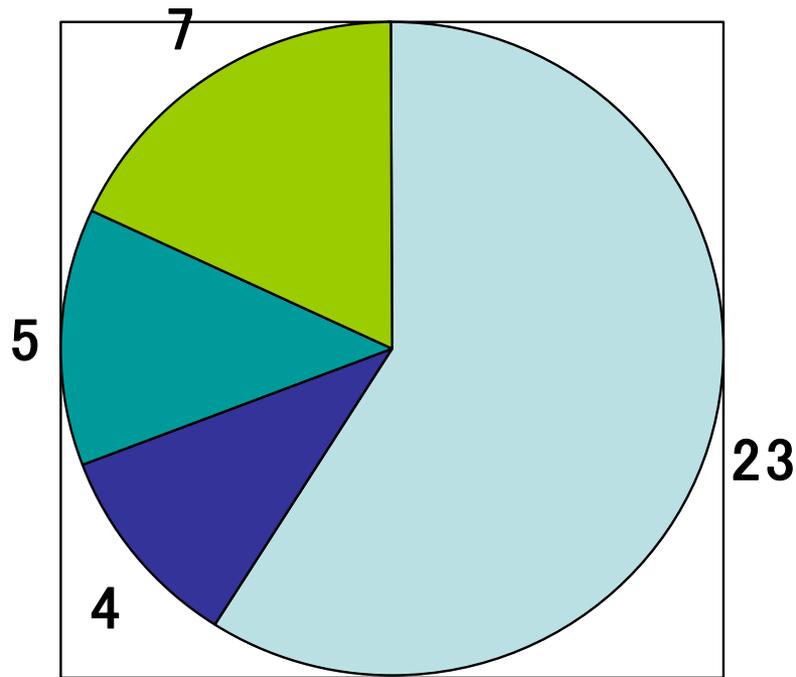
- 39事業所の産業医の選任状況を見ると、8割弱が専属ないしは嘱託の産業医を選任していた。
- 2割強の事業所で産業医を選任していなかったが、これは産業医の選任義務を要さない50人未満の企業規模が原因しているものと考えられる。

衛生工学の知識を持った衛生管理者について



- 労働衛生工学の知識を持つ衛生管理者が約3分の2の企業で認められた。
- このことは、多くのナノマテリアルが、生産・加工の現場で粉体として取り扱われ、労働現場での労働衛生管理の実際が労働衛生工学的な対策が主体となっているためであることを示しているものと推測される。

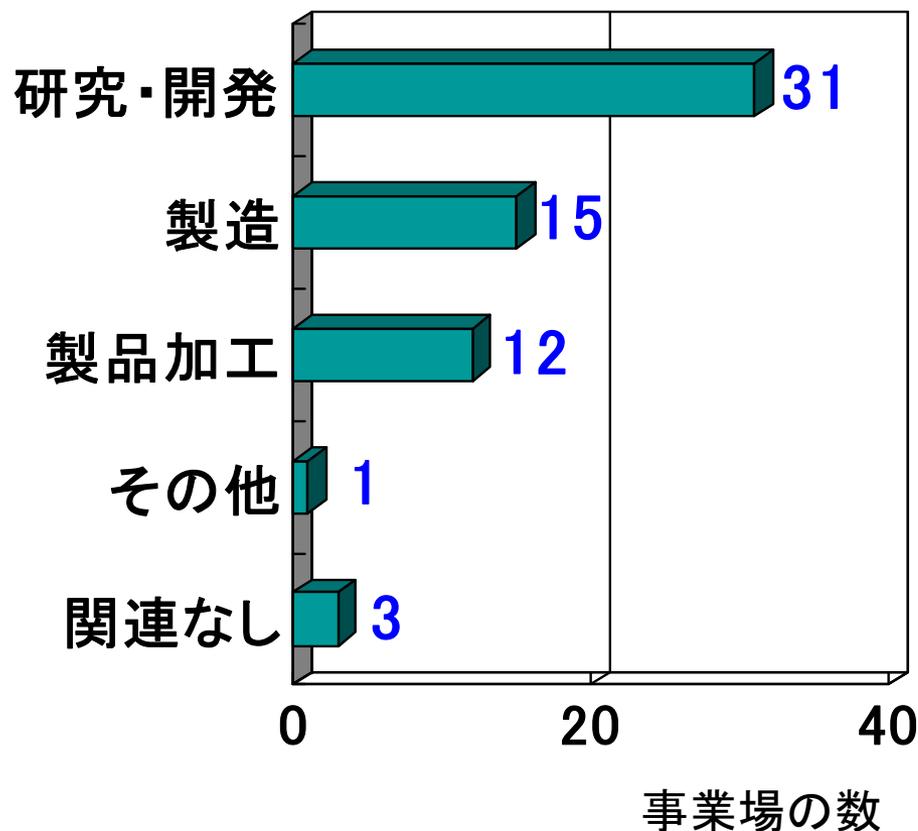
調査票の回答者の属性



➤今回、調査票に記入して頂いた方は製品開発・生産ラインに属する方が約6割で、労働安全衛生部門の方は約1割程度と少なかった。

➤その意味で、ナノマテリアルに関する製品や生産の情報等は詳しく記載されているものと推測できる。

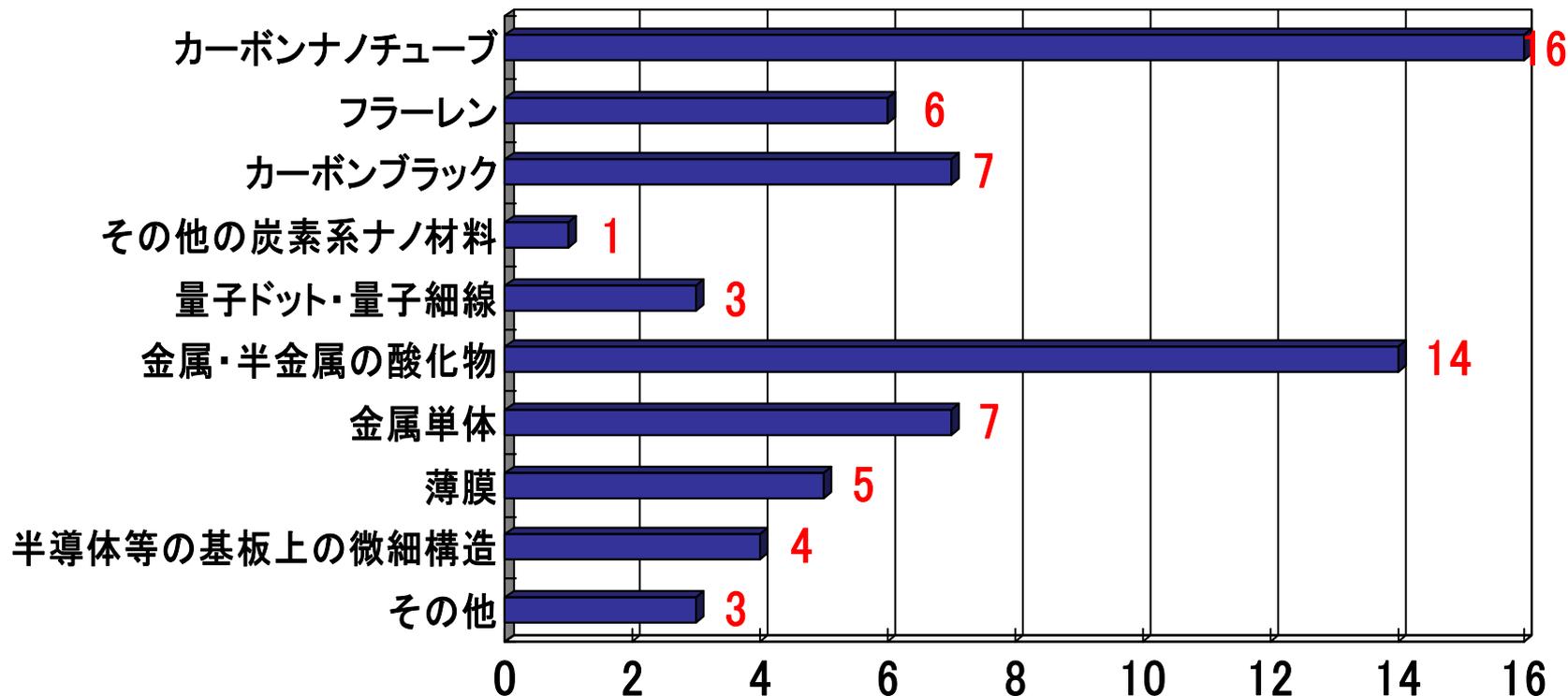
ナノマテリアルとの関わりについて



➤ 回答した39事業所のナノマテリアルとの関わりについては、31事業所が「研究・開発」、15事業所が「製造」、12事業所が「製品加工」、1事業所が「その他」であった（複数回答）。

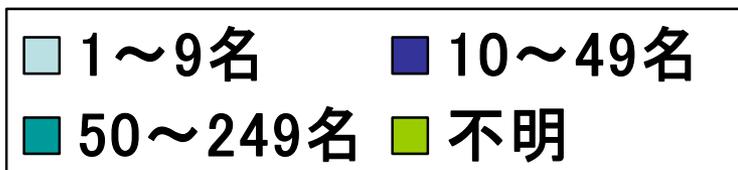
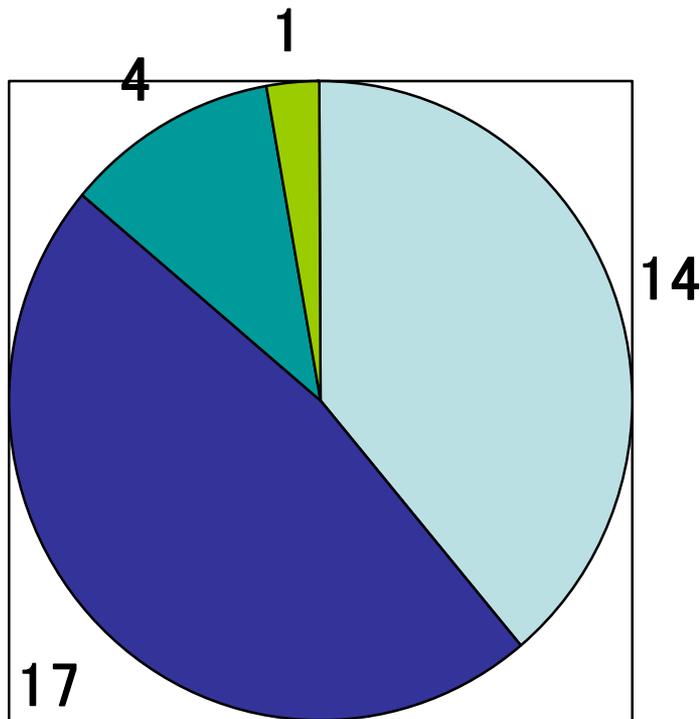
➤ 一方、3事業所が「ナノマテリアルと関連なし」としていたことから、有効回答数を36社（45%）とし、以下の分析を行った。

取扱っているナノマテリアルの種類



➤ 様々な種類のナノマテリアルが開発されているが、今回、回答のあった企業で多かったのは、カーボンナノチューブ、金属・半金属の酸化物、カーボンブラック、金属単体、フラーレンの順であった。以下、この五つのナノマテリアルに関してA票中の「具体的な安全衛生活動」と「取扱いに関する不安」を検討することとした。

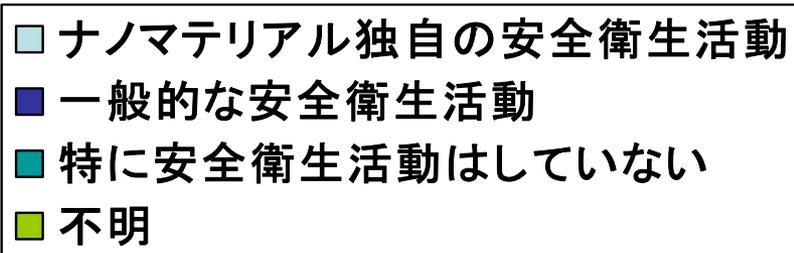
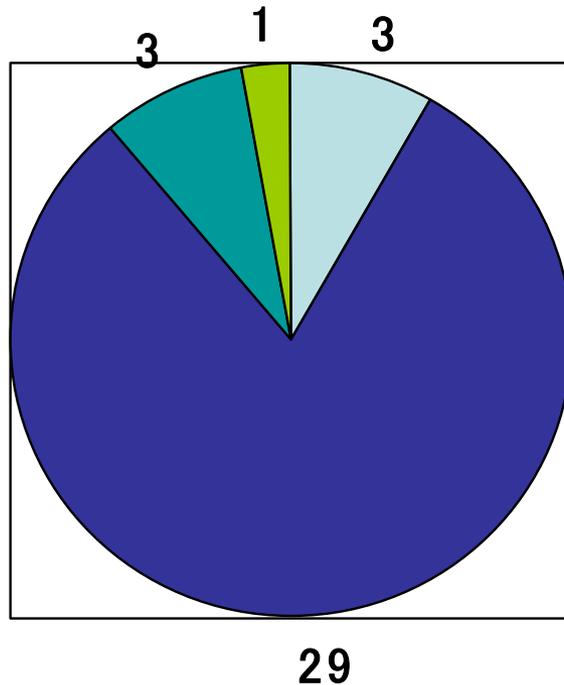
ナノマテリアルの従事者数



➤ 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名で両者で全体の86%であった。

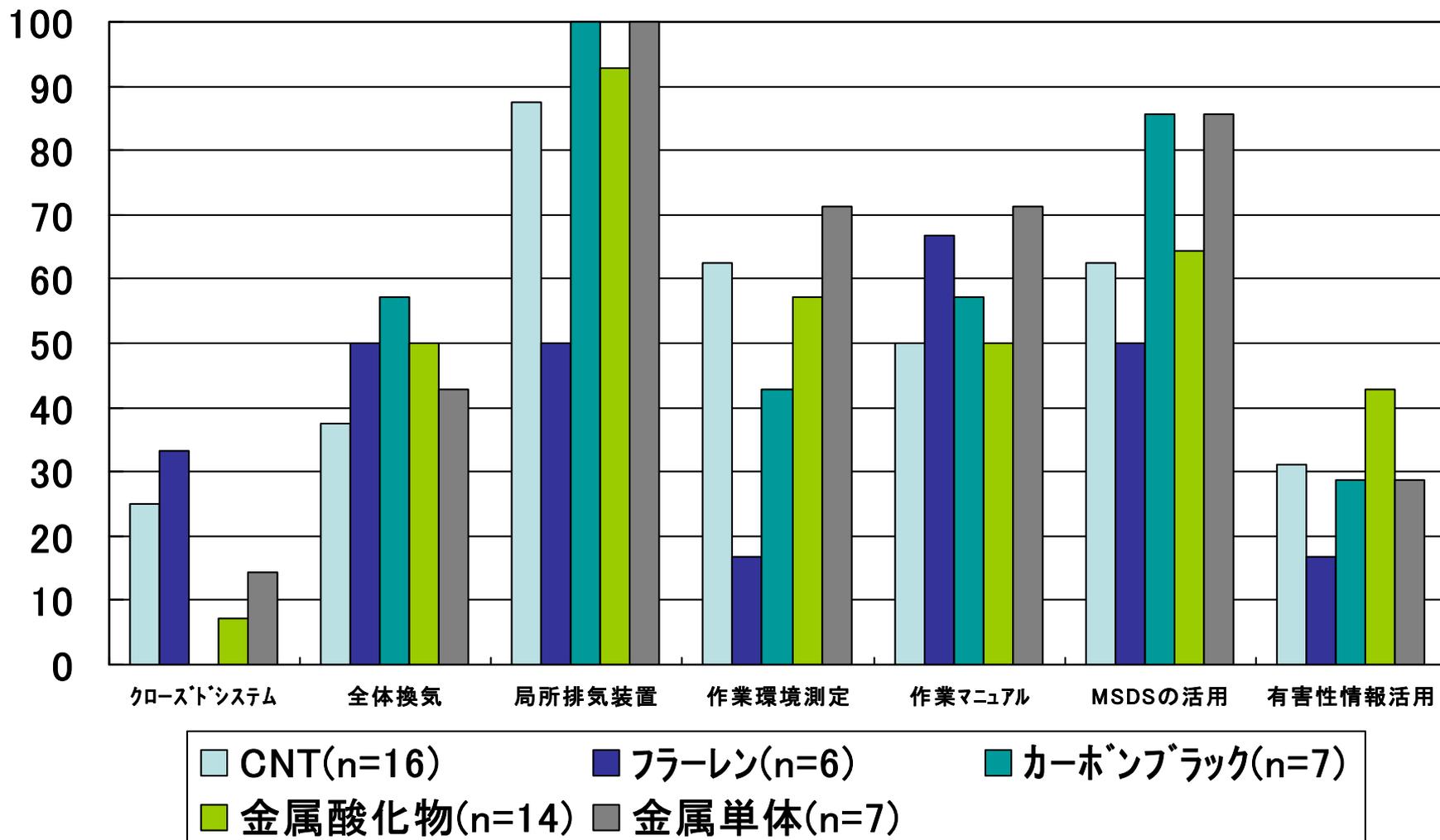
➤ 従って、ナノマテリアルへのばく露の危険性のある労働者数は現状ではさほど多くないことがわかる。

ナノマテリアルの労働安全衛生活動について

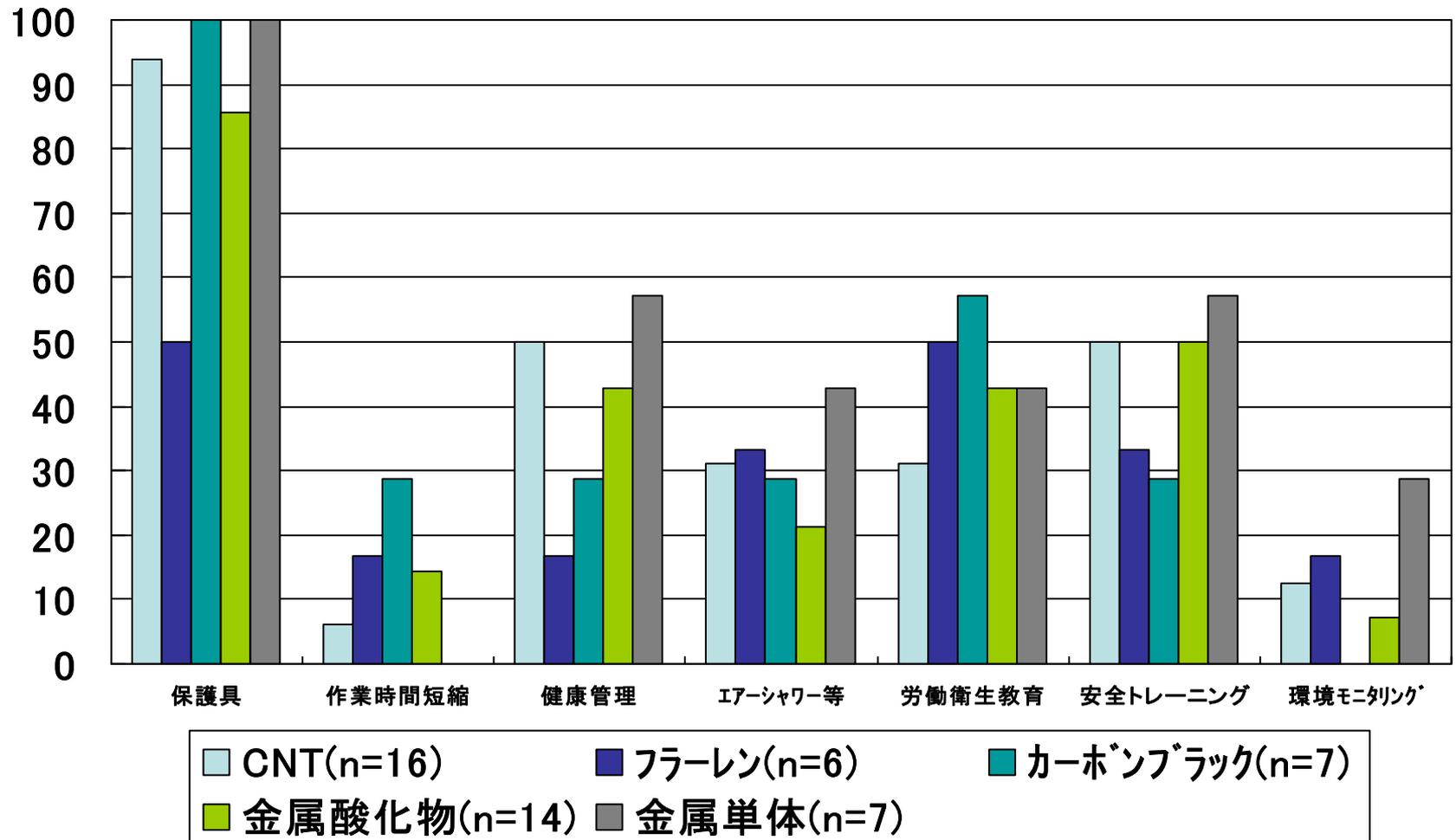


➤ ナノマテリアルの労働衛生管理としては、ナノマテリアル独自の安全衛生活動を実施している所は極めて少なく、一般的な安全衛生活動を行っている企業が約8割を占めていた。

主要なナノマテリアルの 具体的な安全衛生対策①



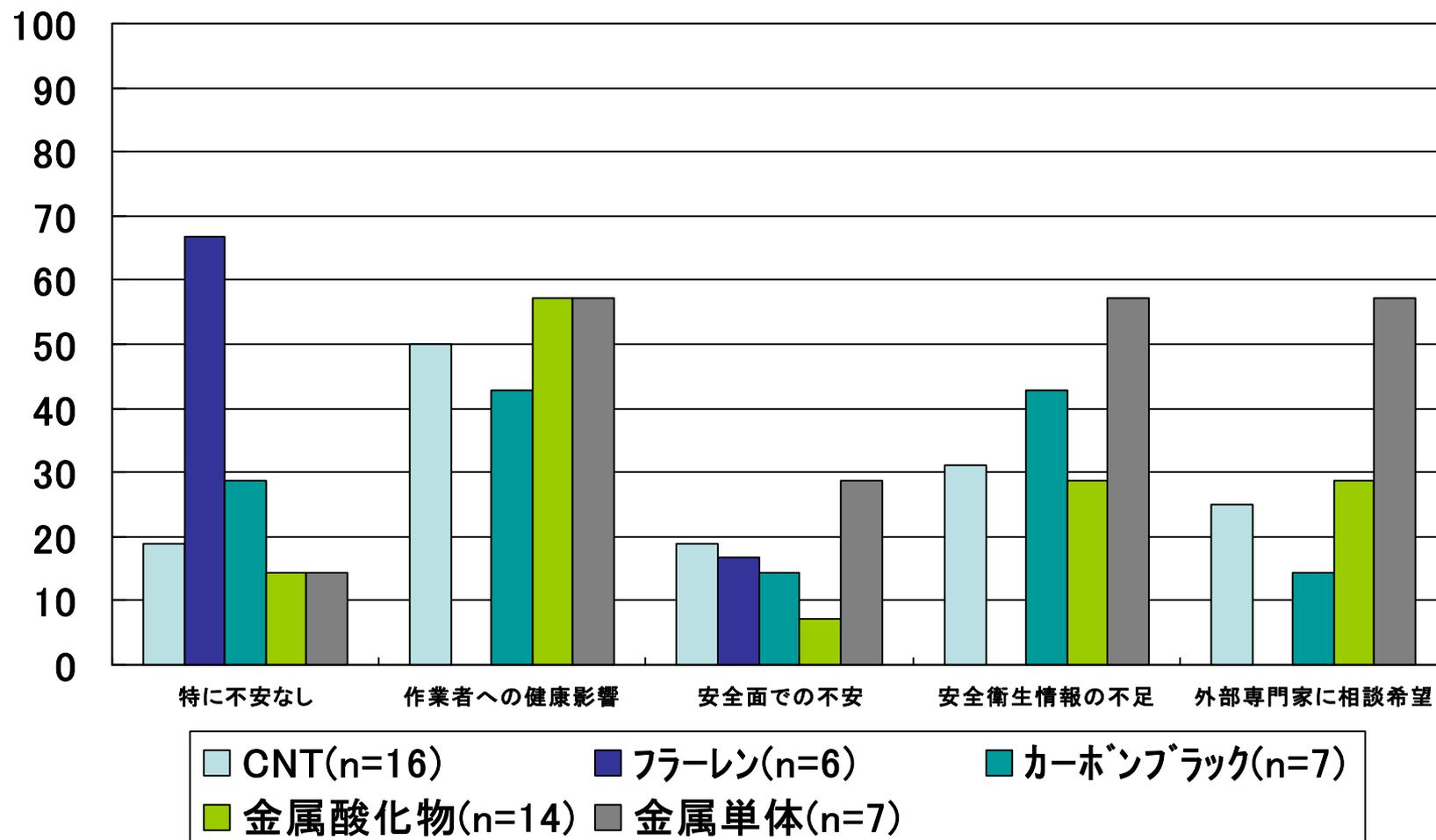
主要なナノマテリアルの 具体的な安全衛生対策②



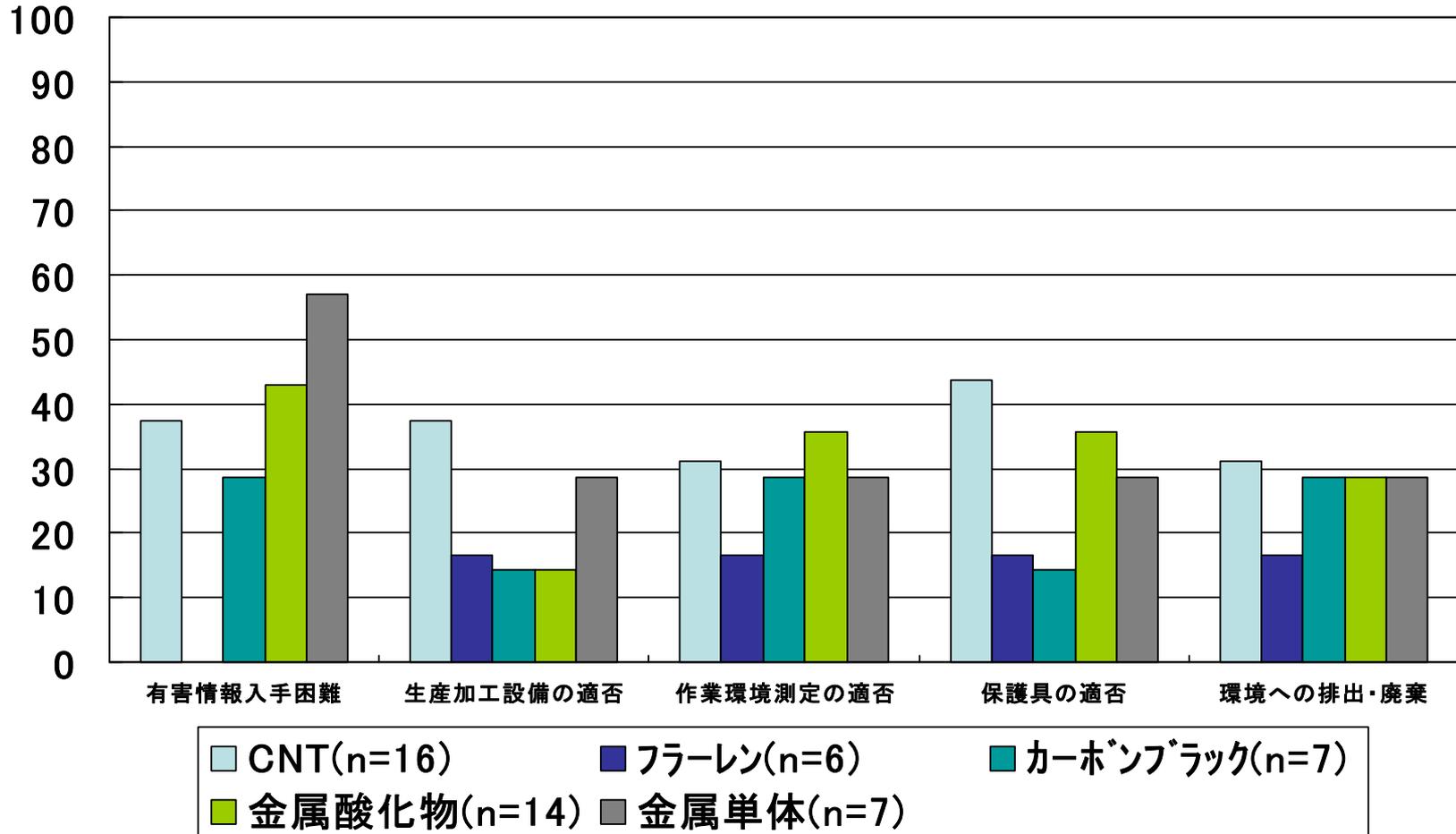
主要なナノマテリアルの 具体的な安全衛生対策③

- 具体的な安全衛生管理の実施状況は取扱っているナノマテリアルの種類によって異なるが、実施状況が多い順にみていくと以下のものであった。
 - 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への導入や環境モニタリングの実施(0-30%)

ナノマテリアル取扱いに関する不安について①



ナノマテリアル取扱いに関する不安について②



ナノマテリアル取扱いに関する不安について③

- ナノマテリアル取扱いに関する不安についてみていくと、ナノマテリアルの種類による違いが鮮明に出ていた。具体的には、フラーレン取扱いに関する不安が最も低かった。
- フラーレンを除いて、回答企業のナノマテリアル取扱いに関する不安は以下の通りであった。
 - 作業者への健康影響(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%)

ナノマテリアルの労働衛生管理に関する自由意見

- 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関する自由記入をみると、国・製造企業・加工企業の三者で果たすべき役割等に違いが見て取れた（寄せられた全ての意見を次頁より掲載した）。
 - 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、製造メーカーには「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かった。
 - 取扱い・加工ユーザーでは「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。

今後の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(自由意見)

1. 国が行うこと

- ・ 危険性を隠さず、速やかに情報公開する。
- ・ 実施されている研究プロジェクトの成果を各種メディア（インターネット、新聞、テレビなど）を通じて迅速かつ定期的に公開してほしい。成果公開が期待されているにもかかわらず、動きがほとんど感じられない。
- ・ グローバルに通用する安全性ガイドラインの確立。
- ・ ナノマテリアルの分類と人材の有害性についてグループ分けを行う
- ・ カーボンナノチューブ（CNT）に関しては、その棒形状から顧客側はアスベストと同一視することがあり、その心象から開発・事業化に支障をきたす場合がある。実際、過去に当社では『CNT はアスベストと同じではないか』との全くの心象から折角、当社材（CNT）充填により性能が発現されたにもかかわらず、その製品化事業化が無期延期になった事例を有する。このような心象や風評の解消は、私企業一社の努力では限界がある。またこうした事例によって、インハウス（社内）作業員自身が不安感を抱くことにもつながりかねない。一刻も早く、公式見解として CNT に対する『アスベスト論』の解消、また、取扱い指針の策定により、ナノカーボンのリスク議論を成熟させ、ナノカーボンの持つ本来、生来のベネフィット・プロフィットを明らかにし、早期にナノカーボン事業が産業化できるよう、活動していただきたい。
- ・ ナノマテリアルの利用、活用に対してガイド等々をまずは明確にすべき。
- ・ ナノマテリアルの安全性・有害性を MSDS レベルで製造者が公開するように法整備を進めるとともに、製造者が安全性・有害性データを得るための経費を補助する制度を確立するのが有効と考えます。
- ・ CNT は、日本発の新素材であり、大きな期待がある。安全性に対しても世界をリードする情報発信をしていくべきであると考えます。その観点から国にも是非サポートをお願いしたい。
- ・ ナノマテリアルに関する毒性、人体に与える影響を明確にし、その取扱いに関する指針を明確にすること。
- ・ ナノマテリアルに関する有害性調査方法を確立、実施し、結果を公開する。更にナノマテリアル取扱いに関する基準を明確化する。

- ・ 危険性のあるナノマテリアルを抽出し、使用方法、廃棄方法等に関して使用者に示す必要がある。
- ・ ナノマテリアルの人体への健康影響を正確に調査研究する機関を設立し、その活動を積極的にバックアップする体制を作ること。影響度が不明な中でむやみに規制ばかりを先行させないこと。
- ・ 安全評価方法の確立、統一、規格化。
- ・ ナノマテリアルに関して、早期に、1.リスク評価に必要な毒性評価方法の公表、2. 作業環境測定方法の確立と公表、安価な測定機器の開発。
- ・ アスベストの失敗を繰り返さないように、早めに調査し、情報を公開し指針を示すようにしてほしい。
- ・ しっかりとした事実を積み重ね、不安感をあおるような表現は慎重に行うべきである。
- ・ ナノマテリアルに関する有害性の検証と取扱い基準の規定。
- ・ 省庁間の情報交換を密にし、極端な（特異な）試験方法による結果に惑わされることなく、常識的な（多くの人が納得のいく）情報を公開する。
- ・ 環境影響評価、安全性評価等、一企業や一業界でできないものについて、積極的に取り組んでほしい。
- ・ ナノマテリアルの社会受容に向けた仕組み作りと安全性評価支援。
- ・ 主要なナノマテリアルについて人体への影響評価を行い、客観的データとして公表すべき。
- ・ 調査・研究で得られた情報を無料で開示する。
- ・ 各国の研究機関の情報を無料配布する。

2. 開発・製造している事業者が行うこと

- ・ 製造プロセス情報を含む品質情報の公開
- ・ 自社で製造しているナノマテリアルの人体への有害性評価を行うべき
- ・ 安全性についての情報収集・分析、責任の明示。
- ・ ナノマテリアルの安全性・有害性を MSDS レベルで公開すべく、上記のような補助金制度を積極的に活用し、データ整備・情報公開を推進することが責務と考えます。
- ・ 自身の持つ安全性データなどを積極的に開示していくべきである。
- ・ ナノマテリアルの取扱いの指針に基づき適切な作業環境、保護具の設置、安全教育を行い、外部環境に流出及び作業員への安全・衛生を徹底する。
- ・ 有害ナノマテリアルの取扱いは国の基準以下で取り扱うと共に暴露防止のための設備クローズド化、排気設備、出口での集塵装置を設置する。また、従事者の作業記録、健診記録を適宜モニタリングする。

- ・ 材料の危険性と対策を購入者に対して呼びかける必要がある。
- ・ 悪影響の可能性を無視あるいは過大評価するのではなく、取れる対策には積極的な実施を行うこと。また、作業者に対する適切な指導が大切。規制で縛ることよりも、自らを保護するための指針を与えることが大切。
- ・ 独自で実施している安全性評価データの開示。
- ・ 作業者、環境への影響に配慮すべき。
- ・ 有害情報の共有化。
- ・ 自らの製品の特性を把握し、相応の対策を講じる。
- ・ 安全性に関する情報をもっとオープンにしてほしい。
- ・ 自社製品の基本物性の公開。
- ・ 作業者の健康に注意を払い、ナノマテリアルが原因と考えられる健康障害は報告する。
- ・ 開発製造現場が「必要な」安全性が保たれていること。
- ・ 得られら情報を製品安全データシートに反映させる。

3. ナノマテリアルを用いて製品を製造している事業者が行うこと

- ・ 安全性データの取得と開示
- ・ ナノマテリアルの利用を明示
- ・ 無制限な二次拡散等のない使い方、活用にまずは留める。
- ・ 現状の安全対策がナノマテリアルもカバーしているかどうかの観点で、現状の安全対策を点検し適宜改善していく必要があります。この場合、ナノマテリアルに特化した見方ではなく、全体的な安全対策にナノマテリアルも含めていく考え方が有効と考えます。
- ・ ナノマテリアルを製造しているメーカーから得た情報についてきちんとその客先等に伝えていくべきと考える。
- ・ ナノマテリアルの取扱いの指針に基づき適切な作業環境、保護具の設置、安全教育を行い、外部環境に流出及び作業者への安全・衛生を徹底する。
- ・ **MSDS**に記載の安全対策をきっちり守って作業すべきである。
- ・ 社員への安全教育はもとより製品の安全使用に対して正しく公知させる義務がある。
- ・ 希望する素材納入の荷姿、形態（樹脂との混練等）の開示。
- ・ 予防的安全対策の実施。
- ・ 作業者、環境への影響に配慮すべき。
- ・ 使用するナノマテリアルの特性を把握し、相応の対策を講じる。
- ・ 作業者の健康に注意を払い、ナノマテリアルが原因と考えられる健康障害は報告する。

4. その他

- ナノマテリアルの安全性に関する情報は非常に少ないので、今後の積極的な情報開示の仕組作りが必要と考えます。
- カーボンナノチューブの安全性評価について、世界中から数多くの発信があるがそのほとんどが CNT のキャラクターゼーションが不十分である。ISO/IEC で論議されている様に標準化・評価方法の確立が急がれると考える。
- できることならやるべき。やってみたいことは多々あるが、財政上見送ることが多い。ベンチャー企業でもナノマテリアルの実用化に挑戦しやすいようモデル事業として研究委託するよう施策をとれませんか。
- OECD、ISO が推進している環境・安全に係わる標準作成動向に沿った対応が望ましい。
- 国を含めて上流から下流まで一体となって取り組むべきと考える。
- 各社の製品やその製造に関する情報を社会一般に無制限に公開するのではなく、機密を持ちながら国や専門機関が評価できるシステム機構が望ましい（米国の DMF 制度のようなシステム）。

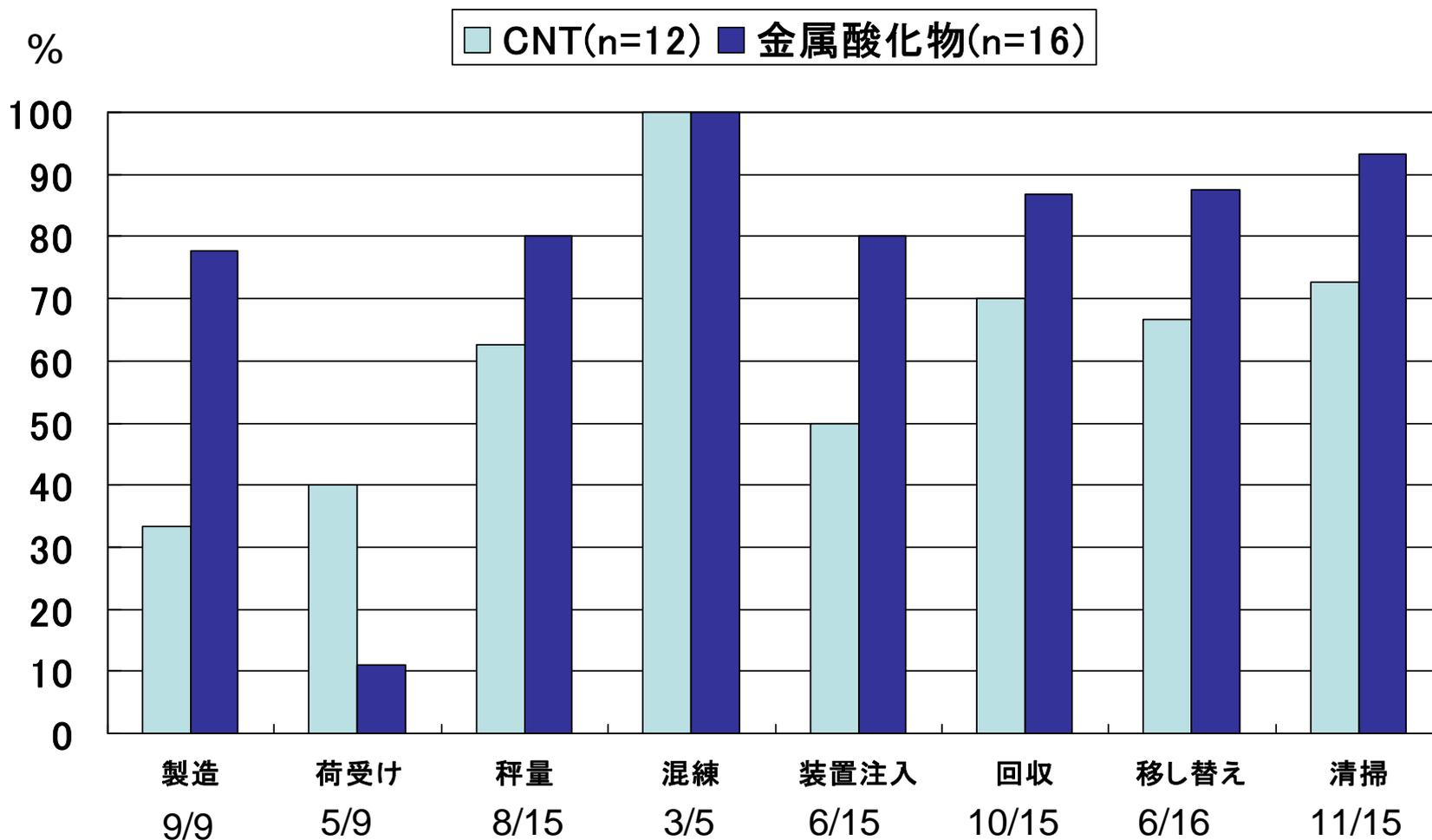
「ナノマテリアルの労働衛生に関する調査」 (B票)による調査結果より

- 「ナノマテリアルの労働衛生に関する調査」B票では取扱っている主要なナノマテリアルに関する情報、各生産プロセスごとの物質の性状、各生産プロセスごとの労働者ばく露への懸念、各生産プロセスごとの個別の労働衛生対策に関する情報が集められた。
- B票は80社中28社より回答され(回収率:35.0%)、主要なナノマテリアルとして情報が集まったのは全部で7種類のナノマテリアル、46の製品である。
- 7種類のナノマテリアルの内訳は金属酸化物(n=16)、カーボンナノチューブ(CNT,n=12)、フラーレン(n=5)、カーボンブラック(n=4)、金属単体(n=4)、その他の炭素系ナノ材料(n=3)、薄膜(n=2)であった。

「ナノマテリアルの労働衛生に関する調査」 (B票)による調査結果より(Cont.)

- ここでは、回答数の多かった金属酸化物とCNTの労働衛生管理の実際について解説する。
- しかしながら、前提として、回収率が約3分の1と低く、回答のあったナノマテリアル取扱い企業が全体の労働衛生管理の状況を反映しているかどうか疑問が残り、さらには、回答の寄せられた企業に限ってみてもナノマテリアルの生産規模による差異が考慮されていないこと(すなわち、大型プラントから実験室レベルのものまで含まれている)を考慮しておく必要がある。

各生産工程における労働者へのばく露の懸念 (CNTと金属酸化物)－B票より



各生産プロセスにおける ナノマテリアルばく露の懸念について

- 企業へのアンケートB票においては、ナノマテリアルの生産プロセスをあらかじめ「製造」「荷受け」「原材料や製品の秤量」「樹脂との混練」「装置への注入（原材料の投入）」「製造・加工装置からの回収」「容器などの移し替え（原材料の投入、中間品の移し替え等）」「装置や容器の清掃・メンテナンス」に分けて、ナノマテリアルを取り扱う労働者へのばく露の懸念を聞いた。
- 今回、回答の中でも最も多かったCNT(n=12)と金属酸化物(n=16)について以下考察していく。ただし、ナノマテリアルに当該する生産プロセスがある企業のみを母数としている。たとえば、製造の9/9はCNT(n=9)と金属酸化物(n=9)を意味する。

各生産プロセスにおける ナノマテリアルばく露の懸念について(Cont.)

- CNTと金属酸化物とでばく露の懸念について比較すると、「荷受け」を除いた他の生産プロセスで金属酸化物の方が労働者へのばく露を懸念する比率が多かった。
- その中でも特徴的なのは、CNTと金属酸化物の「製造」プロセスでは、金属酸化物の方がCNTに比べて、労働者へのばく露を懸念する比率が2倍以上多かった。
- また、「混練」プロセスでは、CNTと金属酸化物の両方で全ての企業が労働者へのばく露を懸念していた。

主要なナノマテリアルの具体的な 労働衛生管理の実際(CNTと金属酸化物)①

- ナノマテリアルの具体的な労働衛生対策としては「クローズドシステム・無人化・自動化」「全体換気」「局所排気」「グローブボックス」のような作業環境そのものに対する対策、「防じんマスク」「防護手袋」「防護メガネ」「防護衣」のような労働者レベルでの保護具対策、「作業環境測定(一般的な粒子)」「作業環境測定(ナノサイズまで)」のような作業環境評価に関わる対策に分かれるが、それらの実施状況について、ナノマテリアルの各生産プロセスごとに聞いた。
- CNTと金属酸化物の多くが粉じんとして作業環境中に放出する、ないしは、存在する可能性を考慮すると、「無人化・自動化」や「グローブボックス」のような封じ込めや効率的な「局所排気」の導入が労働者へのばく露を防止する有効な対策となる。

主要なナノマテリアルの具体的な 労働衛生管理の実際(CNTと金属酸化物)②

- しかしながら、「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実施されているのはCNTで1～2企業、金属酸化物で1企業のみであった。
- 粉じん対策としてより効果的な「局所排気」が導入されている比率はCNTの方が金属酸化物より多かった。特に、CNTでは「秤量」から「注入」「回収」のプロセスでは80%を超える比率で局所排気が導入されていた。
- CNTでは各生産プロセスごとに「局所排気」と「全体換気」の比率の合計が100%を超えていたが、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。

主要なナノマテリアルの具体的な 労働衛生管理の実際(CNTと金属酸化物)③

- 具体的な労働衛生管理として保護具による対策を実施していた比率が他の対策に比べて多かったが、保護具の中でも、保護手袋＞保護メガネ＞防じんマスク＞保護衣の順であった。
- 防じんマスクについてみていくと、CNTでは三分の二以上の企業で対策が実施されていたのに対して、金属酸化物では半数近くに止まっていた。
- 作業環境評価に関わる対策として「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CNTと金属酸化物ともに10～40%と低かった。

主要なナノマテリアルの具体的な 労働衛生管理の実際(CNTと金属酸化物)④

- ナノマテリアルによる健康影響として最も注目されているのは粉じんの経気道ばく露による健康障害である。今回実施したアンケート調査ではCNTと金属酸化物の粉じん対策には違いがあるようにみえるが、その詳細を判断するためには、今後、取扱いナノマテリアルを絞った上で、より大規模な実態調査を実施する必要があるだろう。
- もちろん、職場におけるナノマテリアルの管理濃度の設定等には中毒学の研究知見の寄与するところが大きいですが、今回のアンケート調査でわかるように、実際の職場での粉じん対策の実施状況の違いが労働現場の作業環境や労働者へのばく露に与える影響を検討していく必要がある。

主要なナノマテリアルの具体的な 労働衛生管理の実際(CNTと金属酸化物)⑤

- 今回の調査に応じた企業の規模や従事労働者数をみても、ナノマテリアルの生産体制はまちまちであることがわかる。そのため、年間数トンクラスの設備を有する企業と実験室レベルの生産設備の企業と同列に労働衛生管理の実際を比較することには無理がある。従って、このような事情も考慮して、今回の調査から得られた結果を読み取っていくべきである。
- 今後は、ナノマテリアルの生産量や施設規模ごとに、どのような労働衛生管理や対策が必要であり、グッド・プラクティスになり得るのか、についても検討し、具体案を提案していくことが重要となる。

表 生産プロセスにおける CNT と金属酸化物（赤字）への
具体的な労働安全衛生対策の実施状況について（数値は%）

生産 プロセス	無人化 自動化	全体 換気	局所 排気	グローブ ボックス	防じん マスク	防護 手袋	防護 メガネ	防護衣	一般環 境測定	ナノ環 境測定
製造 N=9/9	22.2 11.1	55.6 33.2	66.7 33.3	0 11.1	66.7 55.6	66.7 100	55.6 77.8	66.7 44.4	33.3 44.4	11.1 33.3
荷受 N=5/9	0 0	40 33.3	60 22.2	20 0	60 11.1	60 33.3	60 33.3	60 44.4	20 33.3	20 33.3
秤量 N=8/15	0 0	37.5 46.7	100 60	25 6.7	87.5 53.3	87.5 93.3	87.5 73.3	75 33.3	25 40	25 20
混練 N=3/5	0 0	33.3 20	100 80	66.7 0	100 40	100 100	100 100	100 20	33.3 20	33.3 20
注入 N=6/15	16.7 0	50 40	83.3 66.7	16.7 0	83.3 60	83.3 100	83.3 80	83.3 33.3	33.3 26.7	16.7 20
回収 N=10/15	10 0	30 46.7	80 33.3	10 0	90 46.7	90 100	80 66.7	70 33.3	20 40	20 20
移替え N=7/16	14.3 0	28.6 43.8	57.1 56.2	28.6 0	71.4 56.2	71.4 100	57.1 68.8	57.1 31.2	14.3 25	14.3 18.8
清掃 N=11/15	0 0	27.3 46.7	72.7 53.3	9.1 0	100 53.3	100 100	90.9 73.3	81.8 33.3	27.3 20	9.1 13.3