

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

# ナノテクノロジーの動向と 中小企業のビジネスチャンス

I. ナノテクノロジーの概要

II. ナノテクと中小企業の役割

III. ナノテクと中小企業の取り組み

IV. 中小企業によるナノテクの取り組み事例

V. ナノテクの事業化に向けて

参考編

中小企業金融公庫調査部

## 要 約

ナノテクノロジーへの関心が高まっている。ナノテクはエレクトロニクスやバイオ、環境、材料など様々な分野での技術を発展させ、社会に変革をもたらすと期待されている。

ものづくりの中心にある中小企業にとっても、ナノテクは大きく飛躍するチャンスではなかろうか。本調査は、中小企業へのヒアリング調査をもとに、ナノテクに取り組んでいる中小企業の事業内容、参入した動機や経緯、抱えている課題や求められている役割を分析し、中小企業がナノテクを事業化する際に必要と思われる方策や示唆についてまとめたものである。

各章の主な内容は次の通りである。

### I ナノテクノロジーの概要

本調査の背景となる基礎知識として、物質がナノサイズまで小さくなると様々な性質が変わること、光触媒や燃料電池、集積回路、DNAチップなど幅広い用途でナノテクの応用が考えられていること、ナノサイズ物質の製造技術が現在の大きな研究課題であることを概観している。

### II ナノテクと中小企業の役割

中小企業支援機関や大学、商社など中小企業のパートナーとなる各プレイヤーにヒアリングを行い、ナノテク産業における中小企業の役割について検討している。

ものづくりに関して中小企業が有している豊富な経験、コア技術は、多くの可能性の中からナノテクの事業化の途を探り当てるのに有用であると評価されている。また、中小企業のものでづくり現場の悩み事を改めて見直すことがナノテクの技術開発・製品開発ニーズの明確化につながり、そこからナノテクへの挑戦が始まることがある。それゆえ、技術シーズを保有している大学や研究機関などをもっと積極的に活用することによって、技術シーズと中小企業が持っているコア技術、実用的製品ニーズを融合できるのではないかと考えられる。中小企業内にナノテクを咀嚼できる人材をもっと育成する必要があるとの指摘もあった。

### III ナノテクと中小企業の取り組み

IVでみていく事例先について、技術分野、市場のタイプ、ネットワークの3つの視点から全体的な特徴を概観している。

技術分野別では、材料・素材を取り扱うケース、加工技術を駆使するケース、計測技術の特徴とするケースがあり、加工技術の中には精度向上と半導体微細加工系がみられた。

現在の市場については、研究開発型市場が中心であること、従来からある市場の縮

小を伴って拡大していくものが多いことも事例から窺える。ネットワークについては、事例先企業は産学連携などを積極的に活用していることがみてとれる。

#### IV 中小企業によるナノテクの取り組み事例

本調査のメインとなる章で、中小企業がナノテクに参入した動機や経緯などを中心に事例調査を行っている。

この結果をみると、ナノテクに参入している中小企業は、外部環境の変化に伴い自社の先行きに対する危機感を感じ、いち早く新事業の芽を求める決断と行動を起こしていることが分かる。具体的には、取引先からの提案を検討する、地域支援機関に相談する、新たに研究開発を始めるなどである。

技術開発の進め方では、顧客のニーズを実現する過程でナノテクに行き着いた例が複数みられた。部品製品に使用している材料の見直しが顧客の悩み事を解決する糸口になるのではと試行錯誤している企業もある。

今後の課題としては、市場開拓、知的財産権に関する戦略、収益と開発負担のバランス、自社技術の再評価などがあげられる。特に市場開拓については、顧客が何に悩んでいるのか、何をしようとしているのかを掴むこと、自社が保有する技術をいかに顧客にアピールするか、デザイン・インのかたちで具体的に提案できるかなどを意識していくことが肝要と思われる。

#### V ナノテクの事業化に向けて

以上のような状況の下、中小企業がナノテクを事業化するための課題を整理してみると、次の6点を挙げることができる。

- ユーザーニーズや悩み事を正確に把握し対応すること
- 自社のコア技術を今一度見直し、新技術導入も含めた技術の高度化を目指すこと
- 研究機関等とのネットワークを持ち、外部の知恵を活用すること
- ナノテクに手の届く人材を増やすこと
- 喜ばれるものづくりを提案するなどしてナノテクの市場を開拓すること
- 経営者が現状や将来の経営に危機感を抱き、第二の創業を目指すこと

以上を踏まえ、ナノテクは中小企業にとって必ずしも敷居の高いものではないこと、支援機関等の活動が積極化してきている中で中小企業がナノテクを企業発展の梃子として活用していくことへの期待を述べて結論としている。

なお、本調査は財団法人政策科学研究所への委託により実施したものである。

(産業調査課 酒井 宏知)

## 目 次

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 序 調査の概要                             | 1  |
| 1 背景、目的                             | 1  |
| 2 調査の方法                             | 2  |
| I ナノテクノロジーの概要                       | 3  |
| 1 ナノテクとは？                           | 3  |
| 2 ナノテク研究開発のブレークスルー                  | 5  |
| 3 ナノテク研究開発の現況                       | 8  |
| 4 ナノテク市場化に向けての課題                    | 20 |
| II ナノテクと中小企業の役割                     | 23 |
| 1 大学・国立研究所、業界団体、商社、その他識者からみた中小企業の役割 | 23 |
| 2 支援機関からみた中小企業の役割                   | 28 |
| 3 まとめ                               | 33 |
| III ナノテクと中小企業の取り組み                  | 34 |
| 1 調査対象企業選定の考え方                      | 34 |
| 2 事例先企業の特徴                          | 34 |
| 3 事例企業の技術分野・製品分野別特徴                 | 36 |
| 4 市場形態の特徴（研究開発型市場⇔従来型市場、置換市場⇔新規市場）  | 44 |
| 5 ネットワークにみられる特徴                     | 44 |
| 6 まとめ                               | 45 |
| IV 中小企業によるナノテクの取り組み事例               | 46 |
| 1 ナノ素材に取り組む                         | 49 |
| 2 半導体微細加工で蓄積された技術を採用する              | 51 |
| 3 コア技術がナノ領域と関連が深く、技術が深化してナノテクとなる    | 53 |
| 4 加工精度の追求によってナノテクに近づく               | 56 |
| 5 ナノオーダーの計測技術を持つ                    | 58 |
| 6 ナノ素材への関心が高い                       | 59 |
| 7 まとめ――事例から得られる示唆等                  | 62 |
| V ナノテクの事業化に向けて                      | 69 |
| 1 中小企業がナノテクを事業化するための課題              | 70 |
| 2 結語、ナノテクを足がかりとして第二の創業を！            | 74 |



|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 参考編                                  | 76  |
| 参考Ⅰ－１ ナノ物質の製造法                       | 77  |
| 参考Ⅰ－２ 酸化物ナノホールアレイの生成方法と応用分野          | 79  |
| 参考Ⅰ－３ ナノ材料の技術開発分野                    | 85  |
| 参考Ⅱ－１ 大学・国立研研究所・業界団体・商社・その他個別ヒアリング詳細 | 86  |
| 参考Ⅱ－２ 支援機関の取り組みの実態                   | 91  |
| 参考Ⅲ－１ 計測精度について                       | 94  |
| 参考Ⅲ－２ MEMS（マイクロシステム、マイクロマシニング）について   | 94  |
| 参考Ⅲ－３ 半導体微細加工技術と従来型機械加工技術の違い         | 95  |
| 参考Ⅲ－４ 加工精度について                       | 95  |
| 参考Ⅲ－５ 薄膜技術の概要について                    | 96  |
| ナノテク関連用語集                            | 98  |
| 参考文献                                 | 101 |
| ナノテク関連のホームページ一覧                      | 102 |

## 序 調査の概要

### 1 背景、目的

ナノテクノロジー、略してナノテク。昨今、この言葉ほど注目される技術はないと言っても過言ではない。産業系の新聞はもとより、一般紙やTVにおいても今やナノテクばかりである。

ナノテクは、物質がナノサイズに微小化すると、全く新しい物性が発現することでまず科学技術の世界で注目を浴びた。新しい物質（フラーレン）の発見者がノーベル賞を受賞する、米国のクリントン大統領がナノテクに関する国家戦略を発表する等、話題性に富んだニュースが続いたこと、また、我が国に於いても経団連や、内閣府の総合学術会議等の場で議論が盛んになったことでナノテクに一気に関心が集まり、今や大手企業で関心の薄い企業はないくらいに盛り上がっている。欧米を始め、中国、韓国、台湾など各国も一斉にナノテクに挑戦している。

ナノテクの社会に与えるインパクトについて様々な見方がある。ナノテクは、20世紀型の技術・工学の限界を超える産業技術のパラダイム変換、ひいては社会生活の変革をも引き起こす可能性を秘めた戦略的技術分野という見方の他、19世紀が鉄の時代、20世紀がシリコンの時代とすれば、21世紀は炭素の時代という見方もある。原子や分子を直接見たり操作したりという世界が現実のものになりつつある。相当の期間にわたって大きな影響を及ぼすとの見方で一致しているようだ。

それほど技術革新力を秘めた技術であるなら、これをてこに何とか中小企業のさらなる発展につなげることが出来ないだろうか。

現在多くの中小企業は中国をはじめとする東アジアとの競合や、国内生産拠点の海外進出、空洞化の懸念など、さまざまな問題に直面している。経営環境の変化に対応し、中小企業が競争力を維持・強化するためには、世界一厳しいと称される我が国のユーザーニーズを直接反映できるという立地優位性を活かし、他国に一步先んじた技術及びそれを体化させた製品を生み出す技術開発力を強化していくことが求められる。

ナノテクはまさにこのような期待に応えられる可能性を秘めた革新技術が含まれている。と同時に、もともと製造業の加工精度が趨勢的に向上してきた事実をナノテクという言葉でさらにクローズアップさせ、一層の精度アップという方向性を示した意義も大きい。ナノテクという微細な世界に焦点を当てた技術革新に、中小企業として後れを取ることなく対応し、事業化することが、大きな飛躍のチャンスを掴むことに繋がる。

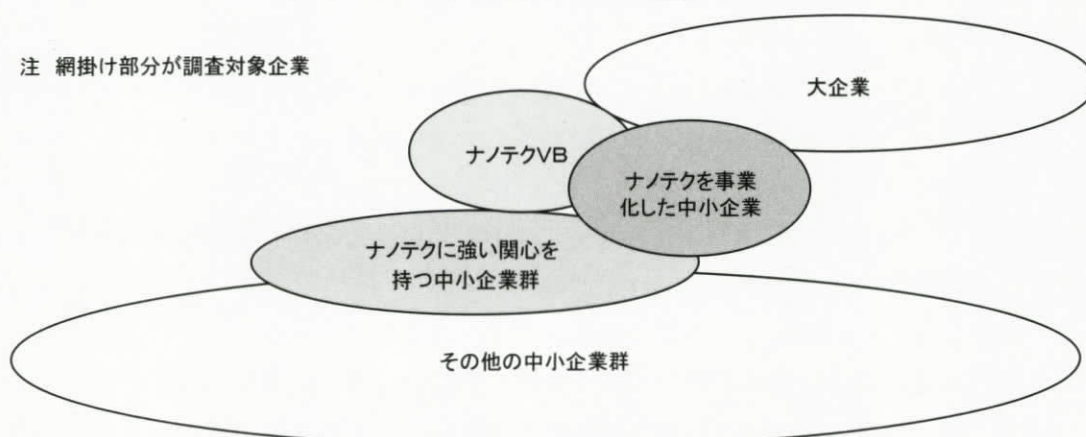
このような観点から、本調査はナノテクの現状について簡単にサーベイするとともに、既に先駆的にナノテクに取り組んでいる活動的な中小企業に焦点を当てることにより、中小企業がナノテクを事業化するに当たり必要となる方策や示唆を得ることを目的として実施したものである。

## 2 調査の方法

本調査は、まず、ナノテクノロジーに関する基礎知識及び開発の現状とその動向について、主として文献調査と有識者ヒアリングを中心にとりまとめた。第二にナノテクにおける中小企業の役割を探るために、中小企業を支援できる機関として、大学、国公立研究所、地方公共団体の支援機関、業界団体、商社、有識者などにインタビューを行った。第三に、先駆的にナノテクに取り組んでいる企業や意欲的にナノテクに挑戦している企業の事例について、HP、文献、新聞・雑誌、地方公共団体支援機関ヒアリング等を通じて収集し、直接訪問調査を実施、加えて、ナノテクに関する展示会場等にて質問を行った他、電話調査やEメールも併用した。

また、ナノテクの範囲は100nm以下を一つの基準としてスタートしたが、マイクロメートルレベルでも他のナノテクに関わりがある技術、現在はマイクロメートルだがニーズが出てくればナノテクで対応できる技術、加工精度がナノに達している技術もナノテクに含めて考える等、ナノテクを広く捉えることにより、ナノテクに積極的な意欲を持つ企業を対象に加えるよう努めることにした。この結果、対象企業はナノテクを扱っている企業に加え、微細化の方向を目指して奮闘している企業、ナノ素材を積極的に研究中という企業もナノテクに関心の高い企業として調査対象に含めている（図表 0-1）。

図表 0-1 調査対象企業の位置づけ



図表 0-2 ヒアリング調査の実施要領

有識者ヒアリング（2003. 8. 18～10. 3、12. 8）

|    |            |     |
|----|------------|-----|
| 対象 | 大学         | 2校  |
|    | 国立研究所      | 1カ所 |
|    | 業界団体       | 1カ所 |
|    | 商社         | 2社  |
|    | 地方自治体の支援機関 | 5カ所 |
|    | 有識者        | 1人  |

事例ヒアリング（2003. 8. 20～11. 10 実施）

|                                                                                                                   |                            |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|
| 対象                                                                                                                | 企業訪問による対面調査                | 16社 |
|                                                                                                                   | 展示会等 <sup>注</sup> での聞き取り調査 | 5社  |
|                                                                                                                   | 電話による聞き取り調査                | 1社  |
| 注 展示会名：日経ナノテクフェア 2003、TOYRO新事業創出推進協議会ビジネスマッチングフェア 2003（近畿経済産業局、大阪府等後援、池田銀行共催、企業106社、大学7校出展）、八尾市産業博ビジネスマッチング博 2003 |                            |     |

## I ナノテクノロジーの概要

### 1 ナノテクとは？

【1ナノメートル（nm）は、10億分の1メートルの大きさである】

ナノテクノロジーは、その名の通り「ナノメートル」という大きさを扱う。大きさ（長さ）の単位は、1メートルの千分の1が1ミリメートル、その千分の1が1マイクロメートル（ $\mu\text{m}$ ）で、そのまた千分の1が1ナノメートルであり、 $1\text{nm}=10$ 億分の1mということになる。ナノメートルという大きさを小さいものの例と比べると、人間の髪の毛やスギ花粉の直径が数十マイクロメートル、赤血球や大腸菌が数マイクロメートル、ウイルスが数十～100ナノメートルであり、1ナノメートルは金の原子の直径の約3倍という小ささである。

従来から最も微細加工技術が進んできた半導体産業においても、マイクロメートルの壁を乗り越える加工精度が標準的となったのはそれほど昔のことではない。それなのになぜ「ナノ」が注目されるのだろうか。

【なぜナノメートルサイズが注目されるのか】

IT、バイオ、環境・エネルギーといった成長分野をはじめ、産業技術の様々な分野で、高機能化や環境配慮などのために「小さいことはよいことだ」と考える方向性がある。例えば、

- ① より微小な構造を作れば、半導体、記憶素子などを高集積化できる。
- ② 小さくとも表面積の大きいものを作れば、触媒やフィルター、センサーなどの機能を高めることができる。
- ③ ごく微小な組織体を作れば、人体の中で患部に薬剤を集中投与したり、患部の治療作業などもできる可能性がある。

また、これらに加えて、物質の構造がナノレベルまで小さくなると、通常目に見える程度の塊の時とは異なる性質が出てくる。物質の特性を決定する構造には、結晶の大きさ、膜の厚さ、粒子の直径などがあり、これらの大きさや組み合わせ方が変わると同じ原子・分子でできている物質であっても異なる性質を示すようになるのである。例えば、

- ④ 同じ炭素でもダイヤモンドとカーボンナノチューブ<sup>※1</sup>では強度、弾性などが異なるように、原子や分子の結合構造が変わるために物理的特性が変わる。
- ⑤ 同様に、ナノ構造を持った物質には半導体の性質が現れるなど、特異な電磁気的特性が現れることもある。

このような物理的、電磁気的などの特性をうまく活かしていけば、様々な高機能・新

---

<sup>1</sup> ※印は巻末「ナノテク関連用語集」に解説のある項目を指す（以下同じ）

機能を持つ材料・製品を生み出せる可能性がある。

これらの特徴を持つ「ナノレベル」を扱うナノテクノロジーは、IT、バイオ、環境、材料など広範な科学技術分野に共通する要素を持つ基盤的な技術でもある。現代の産業技術は、まだこのような性質を持った「ナノサイズの構造物」の特性を十分に生かしてはいない。それだけに、この分野の研究開発や実用化が進めば「21世紀の産業技術のパラダイム転換をもたらす」可能性があり、ナノテクノロジーの将来には大きな期待が寄せられている。

#### 【ナノテクの範囲はどこまでなのか？】

ところで、このナノテクと呼ばれる技術の定義や範囲は、必ずしも明瞭とは言い切れない。

平成13年9月に策定された総合科学技術会議の報告書<sup>2</sup>によると、ナノテクノロジーとは「ナノ（ $10^{-9}$ ）メートルのオーダーで原子・分子を操作・制御し、ナノサイズ特有の物質特性等を利用して新しい機能、優れた特性を引き出す技術の総称」と定義されている。これを「典型的なナノテク」と称すれば、大学の研究室や国家プロジェクトとして進められているナノテク事業については、確かにこの定義に即しているといえよう。

しかし一方、II以降でみていくように、加工技術の進展によって、微細加工の精度の限界もマイクロメートルのオーダーからナノのオーダーに達してきており、典型的なナノテクの他にもう一つのナノテクの流れを捉えることができる。このようなナノテクは、加工精度の向上を可能にした生産技術系のナノテクとみることができる。

またIII以降のナノテクに取り組む中小企業の事例にみられるように、現時点では、ナノテクを狭く捉えるより広く捉えておく方が、ナノテクに取り組む中小企業の実態をよりの確に把握することができる。

そこで、本報告書では、中小企業の事業との関わりを重視して、ナノテクの範囲をおおむねマイクロメートルレベルよりも微小なものを扱う技術として幅広く捉えることとする。ただし、このIに限っては、ナノテクノロジーの概要を論じることから、上記総合技術会議の規定を念頭に置いた「典型的なナノテク」に主眼を置いて、現状と課題を解説していくこととする。

---

<sup>2</sup> 総合科学技術会議重点分野推進戦略専門調査会ナノテクノロジー・材料プロジェクト「ナノテクノロジー・材料分野推進戦略（プロジェクトとりまとめ）」

## 2 ナノテク研究開発のブレークスルー

ナノテク、すなわち「ナノのオーダーで原子・分子を操作・制御し、ナノサイズ特有の物質特性等を利用して新しい機能、優れた特性を引き出す技術」が本格的に歴史に登場してきたのは、実にここ 10～20 年のことである。なぜナノテクが急速に発達するようになったのか？

ナノテクの発展を大きく推し進めるブレークスルーは、2 つあったと言われている。1 つは走査トンネル顕微鏡<sup>※</sup>の発明であり、もう 1 つはカーボンナノチューブなどのナノ物質<sup>※</sup>の発見であろう。

### (1) 計測装置の発達<sup>3</sup>

【走査トンネル顕微鏡の発明は、物質の原子構造を直接見ることを可能にした】

走査トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscope : STM)は、1981 年に IBM のビニッヒ、ローラーらによって作られた。走査トンネル顕微鏡の原理は、次のとおり。

- ① 顕微鏡の先端に取り付けられた細い針を物質に近づけていく。
- ② 物質と針との間の距離がナノメートルのオーダーになると、物質と針との間に微弱な電流(「トンネル電流」という)が流れる。
- ③ トンネル電流は、物質と針との間隔に非常に敏感なので、針で物質の表面をなぞっていくと、原子の大きさの凹凸を見ることができる。

観察技術の向上、すなわち見ることができることは、大変重要である。

例えば、光学顕微鏡の発達によって、細胞が人体を構成していることも、細菌が病気の原因であることも、疑いがなくなった。同様に、走査トンネル顕微鏡の発達によって、原子・分子の結合構造が把握できるようになったことは、ナノテクという新しい分野を切り拓くうえでの最初の手掛かりを提供したと考えられる。

その後、STMのようにトンネル電流を検出するのではなく、原子間力を検出する「原子間力顕微鏡(AFM)<sup>※</sup>」、近接場光を検出する「近接場光学顕微鏡(NSOM)<sup>※</sup>」も発明された。

【走査トンネル顕微鏡は、原子を動かすこともできるようになってきた】

さらに走査トンネル顕微鏡は、顕微鏡の針に流れるトンネル電流を用いて、試料の表面を意識的に変化させることにより、加工をすることもできる。

このように、人工的に原子・分子レベルで材料操作を行えるようになったことにより、研究開発の手法が飛躍的に発展した。この結果、10 年余りで、原子・分子の物理・化学的な研究や、原子レベルで構造を制御した物質・材料の研究が多く行われた。

<sup>3</sup> 文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター資料から政策科学研究所作成

## (2) 新素材（ナノ物質）のインパクト

先端材料や新素材の開発は、エレクトロニクス、環境・エネルギー、バイオテクノロジーなど幅広い分野の科学技術や産業を支える基盤として大変に重要である。

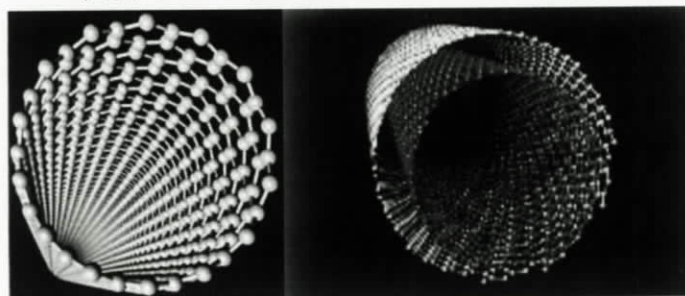
ナノテクは、2つの新たな物質の発見によって、多くの研究者が触発され、ここ10年程の間に大きく進歩することとなった。

### 【フラーレン<sup>\*</sup>とカーボンナノチューブの発見】<sup>4</sup>

炭素の同素体（同じ元素からなるが互いに性質や構造が異なる単体のこと）には、ダイヤモンドや黒鉛（グラファイト）があるが、1985年秋、星間物質の研究の中で60個の炭素原子で構成された炭素同素体としてフラーレン（ $C_{60}$ ）が発見された。 $C_{60}$ は12個の五角形と20個の六角形からなるサッカーボール状の構造をしており、直径が約0.7nmである。発見者のクロトー（サセックス大学教授）、スモーリー（ライス大学教授）、カール（ライス大学教授）の3人は1996年のノーベル化学賞を受賞した。フラーレンは、 $C_{60}$ の他にも $C_{70}$ 、 $C_{78}$ などが存在している。

1991年にNECの飯島澄男主席研究員（現名城大学教授）は、フラーレンを製造していて、その中に奇妙なススのようなものがあるのに気づいた。カーボンナノチューブの発見である。分子構造は、炭素を六角形につないでできる網目状のものをグルッと巻いた形になっていて、直径0.4～数十nmの円筒を形成している。見た目は黒く、ススのかたまりのようである。

図表 I-1 カーボンナノチューブの形状



単層カーボンナノチューブ

多層カーボンナノチューブ

(C)NEC Corporation

(C)NEC Corporation

出所 金沢工業大学材料系西川・谷口研究室ウェブサイト

<http://www2.kanazawa-it.ac.jp/nanotech/nanotube.htm> より転載

<sup>4</sup> 文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター資料、三重大学工学部電子材料研究室齋藤グループウェブサイト <http://www.elec.mie-u.ac.jp/em/saito/douso.html>などを参考に（財）政策科学研究所作成



### 【カーボンナノチューブの驚き】

ところが、カーボンナノチューブ（以下「CNT」とする）は、その特性がわかるにつれ、研究者の間で驚きが生まれた。ファイバーとしては最強で、電気の伝えやすさは銅よりも高く、熱の伝えやすさはダイヤモンドを上回る。しかも高熱に耐えてアルミニウムよりもはるかに軽い。電子放射性がよく、チューブの構造の違いによって、伝導体あるいは半導体の特性を持たせることができる。CNTには単層CNTと多層CNT（径が異なるいくつかの中空のチューブが、同心状に入れ子になっているもの）があるが、このようなさまざまな特性は、多層CNTと単層CNTでは異なっている。

現在ナノテクというと最初に思い浮かべるのが、このカーボンナノチューブであると言ってよい位である。この後解説するフラーレンと並んで典型的なナノテクの代表例であり、大きな注目を集めている。

### 【カーボンナノチューブの応用研究】

多層CNTは91年に、より面白い性質を持つ単層CNTは93年に飯島澄男により発見された。その後、96年にライス大学のスモーリーらの研究チームが、単層CNTの新しい大量合成法を発見し、体系的にCNTの研究が行われるようになった。このような優れた特性を有するCNTは、現在、フラットディスプレイパネル（電子源の素材に利用）や燃料電池などへの応用が、急ピッチで進められている。

### 【フラーレンの性質】<sup>5</sup>

一方、CNTよりも先に発見されたフラーレンも、見た目は黒く、ススのようなものであるが、その特異な性質に注目が集まった。

フラーレンは、化学的に非常に安定しており、ダイヤモンド並かそれ以上に硬く、強い圧力をかけても変形しない。表面に他の元素を付けたり炭素の一部を他の元素に置き換えることができ、例えばカリウムなどを添加すると超伝導体になる。あるいは、表面にカルボン酸などをつけた有機フラーレンは、DNAの切断、細胞増殖の抑制、酵素活性の阻害、抗酸化作用などを発揮する。さらには球の内部に様々な元素、とくに金属元素を取り込むことが可能で、いろいろな機能を持たせられる。フラーレン同士を結びつけたフラーレンポリマー<sup>※</sup>は、金属ではないのに磁性が出る。カーボンナノチューブと同様ナノテクの代表例の一つといえよう。

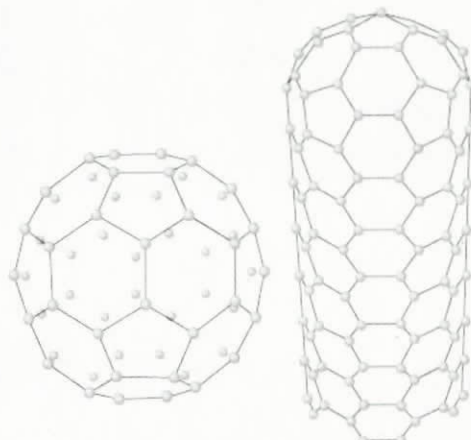
フラーレンの応用研究では、がん治療薬など医薬品の他、超電導やリチウムイオン電池などへの応用が有望とされている。

---

<sup>5</sup> 文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター資料、有機化学美術館HP  
<http://www1.accsnet.ne.jp/~kentaro/youki/youki.html>などを参考に政策科学研究所作成



図表 I-2 フラーレン (C<sub>60</sub>) とCNTの形状



フラーレンC<sub>60</sub>、ナノチューブ

(出所) 三重大学工学部電子材料研究室齋藤グループウェブサイト  
<http://www.elec.mie-u.ac.jp/em/saito/douso.html>

### 3 ナノテク研究開発の現況

このように、走査トンネル顕微鏡の発明とフラーレンなどの新素材の発見によって、ナノテクはここ10～20年の間に飛躍的な発展を遂げた。ここでは、ナノテク各分野の研究開発について、産業化の実現に向けたものを中心に、順を追って現況を述べたい。

#### (1) 素材分野

【ナノ物質の特徴はなにか】<sup>6</sup>

CNTやフラーレンなどの新素材に加え、金属ナノ粒子などの物質については、総称して「ナノ物質」と呼ばれるようになった。

ナノ物質の特徴は、端的には、我々が目にすることができる通常の物質と比較して表面積が大きいことである。粒子の直径と表面積の間には、直径が小さくなればなる程、表面積は増大するという関係がみられる。

このため、通常の物質をどんどん小さくして、ナノ物質と呼べる程小さくなると、融点などが変化する。あるいは電子の状態が変化し、シリコンのように通常の物質の時は発光しない物質がナノサイズになると発光を示すというように、興味深い特性が報告されている。

さらに、このような超微粒状物質を固めたり、内部に分散させて作られるナノセラミックス※やナノメタル※は、強度が数倍向上したり、あるいは超塑性と呼ばれる性質が現れ、数倍から数千倍に伸びたりする場合もある。

<sup>6</sup> 文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター資料から政策科学研究所作成

【主なナノ物質の種類にはどのようなものがあるか】

最近数多くの新規なナノ物質が発見され、それぞれが特異な構造や優れた性質を示すことが明らかになりつつある。ナノ物質は、ナノテクを支える最も重要な基盤材料として、特にその合成や評価・解析技術の開発に今大きな関心と注目が集まっている。ここでは、その特性と主な用途について触れることとする。

(ア) カーボンナノチューブ

前述(7頁)した特異な性質を持つCNTは、次のような特性を生かした応用分野について、研究が続けられている。

図表 I-3 カーボンナノチューブの特性

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 機械特性              | CNTは次のような機械的強度がありながら、密度はおよそ $1.4 \text{ g/cm}^3$ (アルミニウム $2.7 \text{ g/cm}^3$ の半分程度) と軽く、理想的な素材である。<br>引っ張り強度は数十 GPa に達するとの実験結果もあり、高張力鋼 (2 GPa 程度まで) に比べても非常に強い。しかも、引っ張っていても破断せずに、最後は一炭素原子列になって両端がつながった状態になると予測されている。金属は、曲げると弾性限界を超えたところで破断するのに対し、CNTは破断しにくく、うねり構造をとりながら変形していくことが透過型電子顕微鏡 <sup>※</sup> などで観察されている。また変形しても復元する。 |
| 熱伝導性              | 熱伝導性は相当高い。放熱材での利用などが期待できる。                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 化学反応              | CNTは安定性が高く、化学的な反応性は低い。またフラーレンは有機溶媒に溶けるが、CNTの溶解度は著しく低い。しかし、CNTの末端を化学修飾 (水酸基等をつけること) すれば、可溶性を示すという報告がある。                                                                                                                                                                                                                         |
| 電界放出性<br>(多層 CNT) | CNTはシリコンやモリブデンのマイクロチップに比べて、真空の制約が緩くアスペクト比 (長さ方向と幅方向の比率) が高く、電流密度、電流輸送量が大きい。CNTは最も電界放出源として向いていると思われ、電界放出型ディスプレイの開発が進められている。                                                                                                                                                                                                     |
| 電気伝導性             | CNTの表面積が大きいこと、なおかつ伝導性が高いことを利用して、燃料電池やリチウムイオン電池、LSI配線、導電性プラスチックへの実用化が進められている。                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 水素吸蔵              | 97年に単層CNTの水素吸蔵が10重量%に達すると報告されたのを契機に、CNTの水素吸蔵タンクへの研究開発が始まった。ちなみにこの値は水素吸蔵合金の5倍近く、しかも炭素なので軽量である。ただし、実験によれば吸蔵量の値がまちまちであり、今すぐ吸蔵タンクに実用化できる段階にはないことが判明してきた。                                                                                                                                                                           |
| 超伝導               | CNTが約絶対温度1度以下で超伝導を示すことが確認されている。                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

(出所) ナノエレクトロニクス.jp ウェブサイト <http://www.nanoelectronics.jp/> を基に政策科学研究所作成

## (イ) フラーレン

フルーレンについても、前述（7 頁）した性質を生かした応用分野について、次のような研究が続けられている。

図表 I-4 フラーレンの特性

|           |                                                                                                                                                                                                            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 伝導性       | C <sub>60</sub> だけの結晶では絶縁体であるが、C <sub>60</sub> の薄膜にアルカリ金属をドーブ <sup>*</sup> すると、室温で伝導体になる。その伝導性は、伝導性プラスチックであるポリアセチレン並である。さらに、K <sub>3</sub> C <sub>60</sub> など、K（カリウム）などのアルカリ金属をドーブした結晶が超伝導体にもなることが発見されている。 |
| 磁性        | 高温高圧化でフルーレンC <sub>60</sub> の結晶は磁石になりうるということが 2001 年末に発見された。この C <sub>60</sub> による磁石は伝導性もよく、従来の分子磁石に比べて磁性が強く、将来的には応用分野があると考えられている。                                                                          |
| 金属内包フルーレン | 金属内包フルーレンは、内部にとりこんだ金属原子からフルーレンが電子を受け取り、金属が正に帯電し、フルーレンは負に帯電する。ちょうど正を帯びた原子核の周りに電子が覆っていることと似た関係にあるので、「超原子」と呼ばれている。<br>金属内包フルーレンが大量に合成できるようになれば、将来的には放射性元素を取り込んで、ガン細胞の局所的な治療に活用できる可能性もある。                      |
| フルーレンポリマー | フルーレン同士を結びつけて、ポリマー <sup>*</sup> をつくる研究が脚光を浴びている。特に磁性が発生することが注目されている。                                                                                                                                       |
| 化学反応      | フルーレンは溶媒に溶解、有機反応により C <sub>60</sub> の球面上に化学修飾（水酸基等をつける）ができる。さらに、フルーレン誘導体 <sup>*</sup> を設計し合成することも可能になってきており、電磁界面反応やイオン移動能を利用した燃料電池、感光性を利用した電子材料、樹脂やフィルムへの添加による素材への応用が期待されている。                              |

（出所）ナノエレクトロニクス.jp ウェブサイト <http://www.nanoelectronics.jp/> を基に政策科学研究所作成

## (ウ) ナノメタル<sup>7</sup>

金属材料の構造・組織をナノレベルで制御して造り出した合金のことで、今までの金属が持ち得ない特性を持たせることができる。こうした材料を「ナノメタル」あるいは「ナノ組織金属」と呼んでいる。

ナノメタルは、母体金属の中にナノサイズの微細粒径化合物が分散して混合した状態になっている。製法としては、ジュラルミンのように、異なる物質が互いに均一に溶解した状態から時間をかけて硬化析出していく方法が古くから知られている。加えて最近では、様々な新しい手法で従来にないようなナノ組織を作ることなどにより、新しい特性を持ったナノメタルを作る研究開発が進んでいる。

同じ金属であってもナノサイズにすることにより、通常の結晶材料では得ることができないナノメタル独自の特性が得られる。例えば強度、弾性などの点で有用な特性があるといわれており、新規な電機特性・磁気特性を持つとされる。図表 I-5 にみられるように広範な分野での応用が期待されている。

<sup>7</sup> 物質・材料研究機構、材料研究所ナノ組織解析グループ「ナノ組織金属入門」、<http://www.nims.go.jp/apfim/nanometal.html>、「ナノテクビジネス用語検索」サイト、<http://member1.warp-crew.com/nano/warpbase.php?warpkey=11&method=id>等を基に政策科学研究所作成

図表 I-5 ナノメタルの特性

|                      |                                                                                                                                              |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| アルミニウム、マグネシウム系合金     | 重量当たりの強度や弾性が大きい特性があり、高速機械部材、ロボット部材、金型、車椅子、二輪車、釣具、工具、スポーツ用部材に実用化されている。また高速輸送機関部材、携帯電子機器部材としての商品化に向けて、現在応用研究が進められている。                          |
| マグネシウム、バナジウム系合金      | 電池特性を生かして、電池材料、水素透過膜の商品化に向けて応用研究が進められている。                                                                                                    |
| パラジウム、プラチナ系合金        | 水素透過性や電磁特性が注目されており、電極材料に実用化されている。また生体・医療材料、装飾材料、精密機械部材、水素透過膜の商品化に向けて応用研究が進められている。                                                            |
| 鉄、コバルト系合金            | 磁性上の特性を活用して、チョークコイル、電源用トランス、センサー、磁気シールドが実用化されている。また柱上用トランス、モーター素子の商品化に向けて応用研究が進められている。                                                       |
| ジルコニウム、チタン、ニッケル、銅系合金 | ジルコニウムでは高強度と高たわみ性、チタンでは重量当たり高強度と高たわみ性、ニッケルと銅では高強度と高耐食性があり、メガネフレームやスポーツ用部材が実用化されている。また生体・医療材料、バネ材料、制振装置、高速輸送用機器部材、衝撃吸収材料の実用化に向けて応用研究が進められている。 |

(出所)「図解 ナノテクノロジーのすべて」を基に政策科学研究所作成

### (エ) ナノセラミックス

通常ファイナセラミックスは結晶粒子が $0.1\mu\text{m}$ 以上あるが、ナノセラミックスはナノサイズに微細化した結晶粒子を用いて、多結晶体や、厚さ数nmの組成制御を行っている。また結晶粒内にナノサイズの粒子を分散させた複合体もわが国において先駆的に開発されてきた。

図表 I-6 ナノセラミックスの特性

|           |                                                                                                                                                                                |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 構造材料      | アルミナ、ムライト、ジルコニウムなどの酸化物や炭化ケイ素、窒化ケイ素などは、金属を使用できない高温、腐食性の環境で使える構造材料であるが、その構造がナノ多結晶化することで従来のセラミックスに比べて飛躍的に高強度で高靱性（ねばり強い）になり、塑性変形性 <sup>*</sup> の発現も期待されている。この他、光学的、電磁氣的機能も期待されている。 |
| 小型積層コンデンサ | 携帯電話に使用する小型積層コンデンサも、一層薄くでき、部品の小型化とともに電子機器の軽量化を促進できる。                                                                                                                           |

(出所)「図解 ナノテクノロジーのすべて」を基に政策科学研究所作成

### (オ) ゼオライト

ゼオライトは結晶構造中に「あな」がたくさん空いた、分子サイズの空間を持つアルミノケイ酸塩の総称である。類似物質を含めると130を超える骨格構造が知られている。ゼオライトの細孔構造は1次元から3次元まで、パイプ状のものからカゴ状のものまで多岐にわたっているが、すべて直径2nm未満の細孔を持っている。また、90年代初頭、直径2～50nmの細孔を持つ「メソポーラスシリカ」も創出されている。触媒、吸着剤、イオン交換剤の用途で実用化されている。

図表 I-7 ゼオライトの特性

|        |                                                                                                                 |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 触媒     | 重質油を高付加価値のガソリンに分解する触媒（接触分解装置）は、Y型ゼオライトが使われている。                                                                  |
| 吸着剤    | Ca-A型ゼオライトは、直鎖アルカン※と分岐アルカンをその大きさや形状で識別し、分離できる「分子ふるい」吸着剤として幅広く利用されている。                                           |
| イオン交換剤 | 合成洗剤に使われ、水中の $\text{Ca}^{2+}$ や $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ をイオン交換して、界面活性剤を効果的に働かせるために、Na-A型ゼオライトが加えられている。 |
| 磁性材料   | A型ゼオライトの細孔の中にカリウムのクラスターが形成されると、強磁性が観察される。                                                                       |
| 光素子    | アルミノリン酸化合物である $\text{AlPO}_4-5$ に色素分子（ピリジン2）を高密度に閉じ込めると、単結晶からレーザー※発振が観測されている。                                   |

（出所）「図解 ナノテクノロジーのすべて」を基に政策科学研究所作成

【ナノ物質は、どのようにして合成するのか】

さて、このようなナノ物質はどのようにして合成されるのでしょうか。図表 I-8 に、ナノ物質の主な合成方法をまとめた。（詳細は巻末 参考 I-1 参照。なお、Ⅲ及び参考Ⅲ-5 にも関連解説がある）

図表 I-8 ナノ物質の主な合成方法

| 方法  |                                                                                                                                                                                                                                                   | 特徴                                                                                                |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理的 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザー照射法</li> <li>・ガス中蒸発法</li> <li>・スパッタリング※法</li> <li>・アーク放電法※</li> </ul>                                                                                                                                 | 電子ビームやレーザービームなどを、バルク物質に照射する方法である。これによって、分解・蒸発して小さな微粒子や薄膜ができる。                                     |
| 化学的 | 気相法 <ul style="list-style-type: none"> <li>・化学気相成長 (CVD※) 法               <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱 CVD</li> <li>・プラズマ※CVD</li> <li>・レーザーCVD</li> <li>・MOCVD</li> </ul> </li> <li>・有機金属化合物の熱分解法</li> <li>・金属塩化物の水素中還元法</li> </ul> | 化学気相成長 (CVD) 法は、各種のガスを高温で化学反応させる方法である。アセチレンやベンゼンなどの炭化水素を、金属微粒子の触媒を用いて高温で化学反応させると、カーボンナノチューブが析出する。 |
|     | 液相法※ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ゾル-ゲル法</li> <li>・加水分解法</li> <li>・沈殿法</li> </ul>                                                                                                                                                      | 液相法とは、液体状態から固体を析出させる方法である。ゾル-ゲル法は、ゾル状の液体を乾燥させてゲル化して合成する方法で、特にナノセラミックス※やナノガラス※の合成に良く用いられる。         |

（出所）文部科学省 ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター資料から政策科学研究所作成

上記の合成方法に共通する特徴は、原子や分子を物理的あるいは化学的な方法で反応させて、ナノ構造物を自発的に形成させる手法が用いられていることである。このように、物質の持つ独自の性質を利用してナノ単位の構造を自己増殖させて作る方法は、「ボトムアップ※法」と呼ばれている。

これらのナノ物質の合成においては、大きさや形状をいかに制御して、できるだけ多くの量を合成できるか、その制御技術の開発が最も重要である。

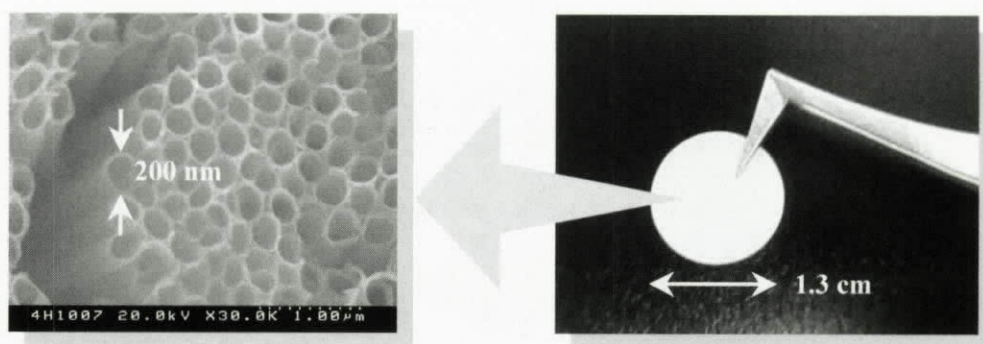
### 【ナノ物質開発の具体例 ―酸化物ナノホールアレイの生成―】

さて、もっとローコストで、中小企業であっても容易にナノ物質を開発できる事例はないだろうか。

ここでは、大阪大学大学院原子力工学専攻の山中研究室が開発した「酸化物ナノホールアレイ」を紹介する。この物質は、2002年6月、修士1年生の学生が酸化チタンの薄膜を生成させる実験をしていたところ、偶然に発見したものである。

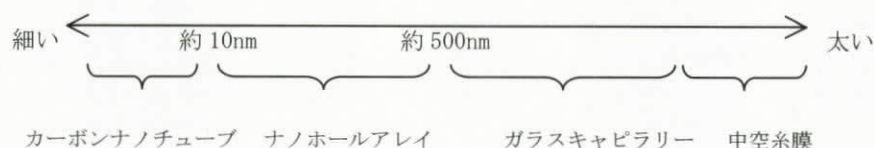
「アレイ」とは配列のことである。ナノホールアレイは、無数のチューブ状の管が集合して、広い面積にわたり規則的に配列している。このチューブ状の管の穴は、薄膜の表面から裏面まで貫通した構造になっている。このため、管の内外に非常に広い表面積を持った、フィルターのような物質となっている。

図表 I-9 酸化物ナノホールアレイの形状



(出所) 大阪大学山中研究室資料

チューブの太さは、カーボンナノチューブより大きく、ガラスキャピラリー※より小さいので、ちょうど 10～500nm の領域を埋めるものと考えてよい。



### 【酸化物ナノホールアレイの生成方法と応用分野】（詳細は巻末 参考 I-2 参照）

チタンフッ化物錯体溶液の中に、陽極酸化アルミナを入れて数時間放置すると生成する。非常に簡単な方法で短時間で生成でき、製造単価が安い。

さらに、酸化物ナノホールアレイの材質は酸化チタンに限らず、多種多様な金属酸化物を用いて同様の構造が創製できることがわかっている。

酸化物ナノホールアレイは、有害ガスの分解フィルターやセンサーなど環境分野、太陽電池やバッテリー、熱電変換材料などエネルギー分野、医療・生体・バイオ材料の分野、記憶媒体など IT 分野といった広い応用分野が考えられる。

## (2) 加工分野：2つの流れ (top down, bottom up)<sup>8</sup>

さて、ナノ物質の創製法で見たように、物質の持つ独自の性質を利用してナノ単位の構造を自己増殖させて作る方法を「ボトムアップ法」と言った（前述 12 頁）。この方法を用いると、細かい構造を一つ一つ作る必要がなく、ナノ単位で構造を制御した物質を自動的に作ることも理論的には可能である。しかし現段階では、まだナノ単位で構造を制御した物質を作ること自体が大きな研究テーマであり、さらにそれらを組み合わせて部品やシステムを形成していく汎用的な加工技術は、まだ確立されてはいない。

これまでナノサイズの加工は、産業的には主として半導体の分野で、リソグラフィ<sup>※</sup>を中心とした「トップダウン<sup>※</sup>法」によって行われてきた。トップダウン法は、微細構造を自己増殖させて作るのではなく、まさに製造物の外部から機械的な加工をすることによって、ナノレベルの構造物を作る方法である。いわば、物質を削って小さくするなど、の微細加工によりナノスケールレベルにまでもっていく技術といえよう。

### 【半導体製造技術を中心に発達してきた「トップダウン法」とは】

一般に車や機械などを作るときには、金属やプラスチックを、切る、削る、磨く、組み立てるなどの加工操作をする。この加工精度は 5～50  $\mu\text{m}$  程度である。ボールベアリング、ビデオデッキの磁気ヘッドなどでは、500 ナノ程度の精度が求められる。

さらに、半導体の集積回路 (IC) では、機械加工ではなく、いわゆるリソグラフィ<sup>※</sup>技術が使われる。リソグラフィ<sup>※</sup>技術は、光や電子線を使って回路パターンを転写して、露光した部分の酸化膜を化学反応で削り取り、そこに不純物などを注入するといった過程を何度も繰り返すことによって、半導体の n 型、p 型素子や回路を形成していく手法である。最先端の加工精度は現在のところ線幅 90 ナノ程度と言われており、65 ナノを目指して研究開発が進められているという<sup>9</sup>。

リソグラフィ<sup>※</sup>技術は回路パターンを転写するので、従前に書いた回路パターンに一致すれば、同時に膨大な量の微細加工が可能になる。これは、よく「スループット (処理速度) が高い」と言われている特徴である。指先の上に乗るチップに数千万個の素子が組み込まれているのは、このような製造プロセスをうまく活用しているから可能となるものである。しかし、露光に用いる光には解像度の限界などがあるため、リソグラフィ<sup>※</sup>による微細加工も数十ナノが限度と言われている。

<sup>8</sup> 文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター資料、及び (独) 産業技術総合研究所：科学の豆知識 [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/dream\\_lab/mame/03/03.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/dream_lab/mame/03/03.html) などから政策科学研究所作成

<sup>9</sup> 日経産業新聞、2004. 2. 18

【電子ビームおよびプローブ顕微鏡を用いた加工とは】

これに対して、電子ビームなどによる直接加工は、より精密で、ナノ単位以下の細かい構造を作ることができる。しかし現状は、大量生産に向かない「一筆書き」である。そこで、短時間で大量の回路パターンを作ることが研究開発課題となっている<sup>10</sup>。

電子ビームは、加速エネルギー量やビーム径などを精密に制御しやすい。この特性を利用して、透過型電子顕微鏡(TEM)<sup>\*</sup>をはじめとする様々な電子顕微鏡<sup>\*</sup>が開発されてきた。このビーム技術を利用して、原子や分子などを操作する。

また、STMの探針にパルスでより高い電圧をかけると原子を引き抜くことができる。この技術を利用すれば、ナノサイズのトランジスタを作製できる。シリコンの表面に水素を吸着させて絶縁化し、必要な部分の水素だけを引き抜いてトランジスタ回路を作るという訳である。

この他に、イオンビーム<sup>\*</sup>、分子ビーム、レーザービームを用いた微細加工が可能である。これらの方法によって原理的には半導体回路を製作できるが、例えば原子1個ずつをつまんで移動させるような方法は、処理速度が遅く、規格が揃った回路パターンを大量生産するにも不向きであり、対象とするものも限られてしまう。

【トップダウン法とボトムアップ法との関係は何か】

上記のような技術上の限界点、すなわち加工精度とスループット（処理速度）が両立しないという課題を克服しようと、ボトムアップ法が注目されることとなった。核生成、拡散、結晶成長、反応などの自己組織化を、ICチップのような微細構造の形成に利用できないかということである。

図表 I-10 ナノ構造形成に関する3つのアプローチ

|    | トップダウン                            | (注1)                      | ボトムアップ               |
|----|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|
|    | リソグラフィ                            | 走査プローブ顕微鏡 <sup>*</sup>    | 自己組織化                |
| 利点 | 大量生産可能で、技術的に確立している。               | 原子レベルで加工が可能、物性などを調べるには最適。 | 大量生産・自己修復・低コスト・低消費電力 |
| 欠点 | 加工寸法が50nm程度で限界に。設備コストが年々膨大になっている。 | 大量生産はほぼ不可能。               | 技術的に確立されていない。        |

(注1) 走査プローブ顕微鏡による加工は、識者によりトップダウン、ボトムアップのいずれに分類するかが異なっており、ここではいずれにも分類しなかった。

(出所) ナノエレクトロニクス.jp ウェブサイト <http://www.nanoelectronics.jp/> を参考に政策科学研究所作成。

<sup>10</sup> IVの中で、中小企業による面発光装置の開発事例(H社)を紹介している。



自己組織化は、生体内では当たり前のように行われてきた。例えばDNAの複製は、自己組織化そのものである。生命体は、自己組織化の仕組みを使って、複雑な生体組織を構成している。この自己組織化をうまく活用すれば、例えば、巨額の投資を必要とする半導体製造装置がなくとも、より微細な構造を持った半導体が製作できるのではないかという発想である。

前述したとおり、現段階では、自己組織化はまだ確立された技術ではない。ナノ単位で構造を制御した(カーボンナノチューブなどの)物質を作ること自体が大きな研究テーマであり、さらにそれらを組み合わせて部品やシステムを、大量にかつ均質な性能を確保しつつ創製するような加工技術は、まだできていないのである。

### (3) 製品群別の開発の現状<sup>11)</sup>

以上で、ナノテクの主な基礎技術分野の概略を説明した。そこで次に、ナノテクの応用製品としてよく報道される製品群について、現在のところどういった部分でナノテクが活用されているのか、または活用しようとしているのか、製品群別に、ごく簡略に紹介する。

#### (ア) 光触媒<sup>12)</sup>

光触媒とは光のエネルギーを使う触媒で、代表的な物質は、二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)である。二酸化チタンには、水の分解による水素生成能力や、抗菌・殺菌能力、空気中の有害物質を取り除く浄化能力、および外壁などの汚れを防ぐ防泥能力などがある。

二酸化チタンのサイズをナノ化すれば、表面積が増大して反応しやすくなることから、微粒子化や前述(13頁)のアレイ化などの研究が進められている。応用分野としては、冷蔵庫、空気清浄機、衣類、建築用資材などがある。

#### (イ) 水素吸蔵材

クリーンな燃料電池車を走らせるには、水素をコンパクトに貯蔵するという課題がある。現状は、圧縮ボンベでは十分な水素量を確保できず、液体水素は極低温の冷却が必要であり、しかも気化ガスが常時発生してその処理が困難である。カーボンナノチューブは、これらの問題点を解決できる高性能な水素吸蔵材として注目されたが、その後の詳細な実験により、水素吸蔵量が実験によりまちまちであり、ナノチューブ・ナノホーンの水素吸蔵能力は常温では明確ではないといわれている<sup>13)</sup>。現在も研究が続けられている。

<sup>11)</sup> 石川正道編「ナノテク&ビジネス入門」等を基に政策科学研究所作成

<sup>12)</sup> (株)光触媒研究所HPなどを参考に政策科学研究所作成 <http://www.photocatalyst.co.jp/>

<sup>13)</sup> 東京大学丸山茂夫助教授「カーボンナノチューブによる水素吸蔵」を参考に政策科学研究所作成 <http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/~maruyama/papers/02/0yobutsuri.pdf>

#### (ウ) 燃料電池<sup>14</sup>

燃料電池とは、水素と酸素を化学反応させて、直接電気を発電するもので、環境に優しく、高効率な次世代エネルギー源として期待されている。

NEC<sup>15</sup>が、カーボンナノチューブの一種であるカーボンナノホーンを電極材料に用いた燃料電池を2003年10月にノートパソコン用に試作、発表した。ナノホーンの内部空孔に白金触媒を支持体として利用することで、高い効率を実現している。

また、ソニー<sup>16</sup>がフラーレン系材料を使った燃料電池向け固体電解質膜を研究開発中である。固体電解質膜は水素イオンの伝導のために水分が不可欠であったが、水が必要な場合、0℃以下では水が凝固してしまい、使用できないという問題があった。しかし、フラーレンを使用すると水が存在しなくても水素イオンが伝導するという。

#### (エ) リチウムイオン電池

リチウムイオン電池の負極材料としてカーボンナノチューブを用いると、伝導性の改善によって電池性能の向上が可能な材料になるとして注目されている。

#### (オ) 有機系太陽電池

これまで、太陽電池はシリコンが主流であったが、発電システムや製造プロセスが異なり低コスト化が可能な次世代太陽電池としては、有機系太陽電池と色素増感型太陽電池がある。

有機系太陽電池には、現在3種類あるが、そのうちの1つにポリマー／フラーレンを用いたものがある。このフラーレンを用いた太陽電池も徐々に性能が向上してきている。有機系太陽電池は、廃棄されても環境負荷が小さく、しかも薄膜は柔軟で軽量である。ただし、耐久性がネックとなっている。

#### (カ) 色素増感型太陽電池<sup>17</sup>

色素増感型太陽電池は、光半導体（主に二酸化チタン多孔質膜）、光の吸収効率を高める色素分子および電解質（主にヨウ素）からなる。理論的にはかなり高い変換効率が可能。また、材料・製法面から、シリコン半導体太陽電池よりかなり安価に大量生産できる可能性があり、次世代太陽電池として研究開発が進められている。変換効率や信頼性・長期安定性の向上が、今後の課題とされる。この太陽電池は、二酸化チタンの数十nmオーダーの超微粒子を開発することによって、初めて技術的に可能となった。

<sup>14</sup> 燃料電池実用化推進協議会HP等を参考に政策科学研究所作成 <http://fccj.jp/index6.html>

<sup>15</sup> 日本経済新聞 2003.7.10 夕刊、nanotech 2003 展示会場等を基に政策科学研究所作成

<sup>16</sup> 独立行政法人工業所有権総合情報館HP等を参考に政策科学研究所作成  
<http://www.ryutu.ncipi.go.jp/chart/kagaku/kagaku8/2/2-1.pdf>

<sup>17</sup> 柳田祥三（大阪大学大学院教授）「色素増感太陽電池」月刊エコインダストリー2004.1、韓礼元「色素増感太陽電池の現状と展望」シャープ技報第79号2001.4等を参考に政策科学研究所作成

#### (キ) フィルター<sup>18</sup>

排ガスや排水、廃液処理、汚水や溶剤の浄化、回収、再利用の分野、あるいは、半導体産業における薬液清浄度、特に不純物除去に対する要求の高まりから、経済的に安価で性能の良い分離膜（フィルター）に関するニーズが非常に高くなっている。このような、いわゆる多孔質膜のフィルターは、細孔径、基質と膜表面との親和性や膜の電荷によっても性能が変わる。このため、膜材料のナノ構造をいかに制御するかが重要である。とくに耐熱、耐圧、耐磨耗性に優れたセラミックフィルターの開発が進められている。

#### (ク) バイオマスアルコール<sup>19</sup>

三井物産のバイオマスエネルギーを推進する研究開発会社であるBNRIは、ナノポーラス膜（ナノ多孔質膜）を利用したバイオマスアルコール製造プロセスの開発を進めている。トウモロコシやサトウキビを発酵させて作るエタノールを分子レベルで濾過することによって、バイオマスアルコールを製造しようというもので、従来の分離プロセスに比較して、精製コストや効率の面で大幅な改善が期待できるという。

#### (ケ) ディスプレイ<sup>20</sup>

電界放出ディスプレイ（FED、フィールドエミッションディスプレイ）は、平面状の電子放出源から真空中に電子を放出し、蛍光版にぶつけて発光させる原理の表示装置である。フラットな構造に加えて、消費電力が少なくブラウン管の半分程度で済むといわれており、高輝度・高精細な次世代のディスプレイとして期待されている。CNTは先端が非常に鋭いので、かなり低い電圧でも電子を放出し、また寿命が長い利点があることから、FEDの電子放出源として実用化に向けた研究が進んでいる（韓国サムスン社）。FEDは液晶やPDP（プラズマ・ディスプレイ・パネル）と並んで次世代の大型平面ディスプレイとして期待されているが、FEDの技術が確立されれば、PDPに取って代わる可能性があると考えられる。

#### (コ) 高密度メモリ

磁気ディスクの記録容量は、「垂直磁気記録」が実現できると、記録の高密度化と正確さの点で大幅な向上が期待できる。これには、記録の単位となる「磁区」を、精密に規則正しく固定しなければならず、結晶粒の均一化などのナノスケール技術を確立することが必要となる。

加えて、このような垂直磁気記録媒体のデータを正確に読み取るには、高感度なTMR（トンネル磁気抵抗効果）ヘッドと呼ばれる記録再生ヘッドの開発も重要である。こ

<sup>18</sup> 荏原総合研究所HPなどを参考に政策科学研究所作成  
<http://www.er.ebara.com/japan/research/nano/c2.html>

<sup>19</sup> 三井物産HPなどを参考に政策科学研究所作成  
<http://www.mitsui.co.jp/tkabz/swnth/challenge/nano01.html>

<sup>20</sup> 経済産業省技術調査レポート第1号「ディスプレイの今後について」などを参考に政策科学研究所作成  
<http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0002386/1/020221display.pdf>

れは、スピントロニクスと呼ばれる技術<sup>21</sup>を応用し、これとナノテクノロジーを組み合わせることによってできると言われている。

#### (サ) 光素子、光集積回路<sup>22</sup>

光素子や光集積回路については、フォトニック結晶を用いた研究が続けられている。フォトニック結晶は、光の波長（500nm 程度）と同程度の誘電率の物質を周期的に形成した材料をいう。フォトニック結晶を用いると、ちょうど半導体で電子を制御するのと同じように、光を制御することができ、光を曲げたり、閉じこめたり、特定の波長の光だけを取り出したりできる。

この原理を利用して、素子を集積した電子回路であるLSIと同様に光素子を組み込んだ光集積回路、さらにこれを発展させた光コンピュータの実現に向けて研究がされている。なお、光デバイスを光導波路で結びつけたコンパクトなモジュールのことを光ICあるいはフォトニックICと呼んでいる。電子回路と比べると光回路については現状ではまだ集積化と呼ぶにはほど遠いレベルにあるとされる。

#### (シ) DDS（ドラッグデリバリーシステム）※

DDSとは、患部に効率よく薬品を搬送するため、ドラッグキャリアに薬物を封入して体内を動き、患部に集中的に薬物を到達させるシステムである。DDSにおいては、標的指向性と薬物の放出制御が重視される。

DDSで使われるキャリアには、マイクロマシン※型のものやナノ粒子※を使うものなどが考えられている。

#### (ス) バイオセンサー<sup>23</sup>

バイオセンサーとは、生体が持つ優れた物質識別機能を利用した、あるいは模倣した化学センサーのことである。バイオセンサーは、基質認識部と信号変換部からなり、基質認識部であるセンサー部に、酵素、抗原・抗体、脂質膜、一本鎖DNAなどを配置し、それらの変化（物質の変化、色の変化、吸発熱、質量の変化など）を信号変換部（電極、受光素子、感熱素子、圧電素子など）によって電気信号に変換して、センサーとしての機能を果たす。酵素を用いるもの、細胞を用いるものなど様々なバイオセンサーがあり、医薬品や危険物質のスクリーニング、環境モニタリングなどへの応用が研究されている。

バイオセンサーの構成要素である生体分子や、それをセンサー部に固定するための薄膜の生成などに、ナノテクが利用されている。

<sup>21</sup> 電子の性質の中で、従来使われていなかった「スピン」という性質を利用する技術

<sup>22</sup> 早稲田大学、中島研究室「光集積回路とその応用」などのサイトを参考に政策科学研究所作成  
[http://www.phys.waseda.ac.jp/pic/kenkyu\\_syokai.htm](http://www.phys.waseda.ac.jp/pic/kenkyu_syokai.htm)

<sup>23</sup> 東京大学生産技術研究所立間研究室「バイオセンサーとは」のサイト等を参考に政策科学研究所作成  
<http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/~tatsuma/bs.html>

#### (4) ナノテク技術の分類

以上のように、現状を見る限り、それぞれの製品分野の技術開発レベルは個々別々であり、ナノテク全体の統一的な技術評価は困難である。

このため、ナノテクの技術分類は、本来はさまざまな視点から多次的に位置付けられるべきものと考えられる。

ここでは、ナノテクの全体像を整理する1つの方法として、①計測分野、②ナノ材料分野、③加工分野の3つに分け、それぞれの分野の技術の特徴、応用分野・製品群、代表的な参入企業の例をまとめると、「図表 I-11 ナノテクの基礎技術と応用分野」のようになる。昨今のナノテク応用分野は多岐にわたり、しかも日進月歩の発展を遂げているため、この図は全体を網羅したものとなっていない。しかし、あるナノテク技術が、全体のどの位置にあるかを鳥瞰図的に把握する際の参考として作成したものである。

(留意点)

- a. 計測分野、ナノ材料分野、加工分野の3分野に分けたが、これらの各分野は相互に関連している。とくに応用分野または製品群に近づくほど、そうである。しかしながらここでは、分かりやすさを重視して、各応用分野、各製品群が、どの基礎技術を最も活用したものであるかに着眼して分類している。
- b. この結果「電子デバイス」「バイオ」については、「ナノ材料分野」「加工分野」の両方において、それぞれ応用分野、製品群を持っている。
- c. なお、広い応用分野を持つ「ナノ材料分野」については、機能と応用製品のマトリックス表を巻末参考1-3に示した。

#### 4 ナノテク市場化に向けての課題

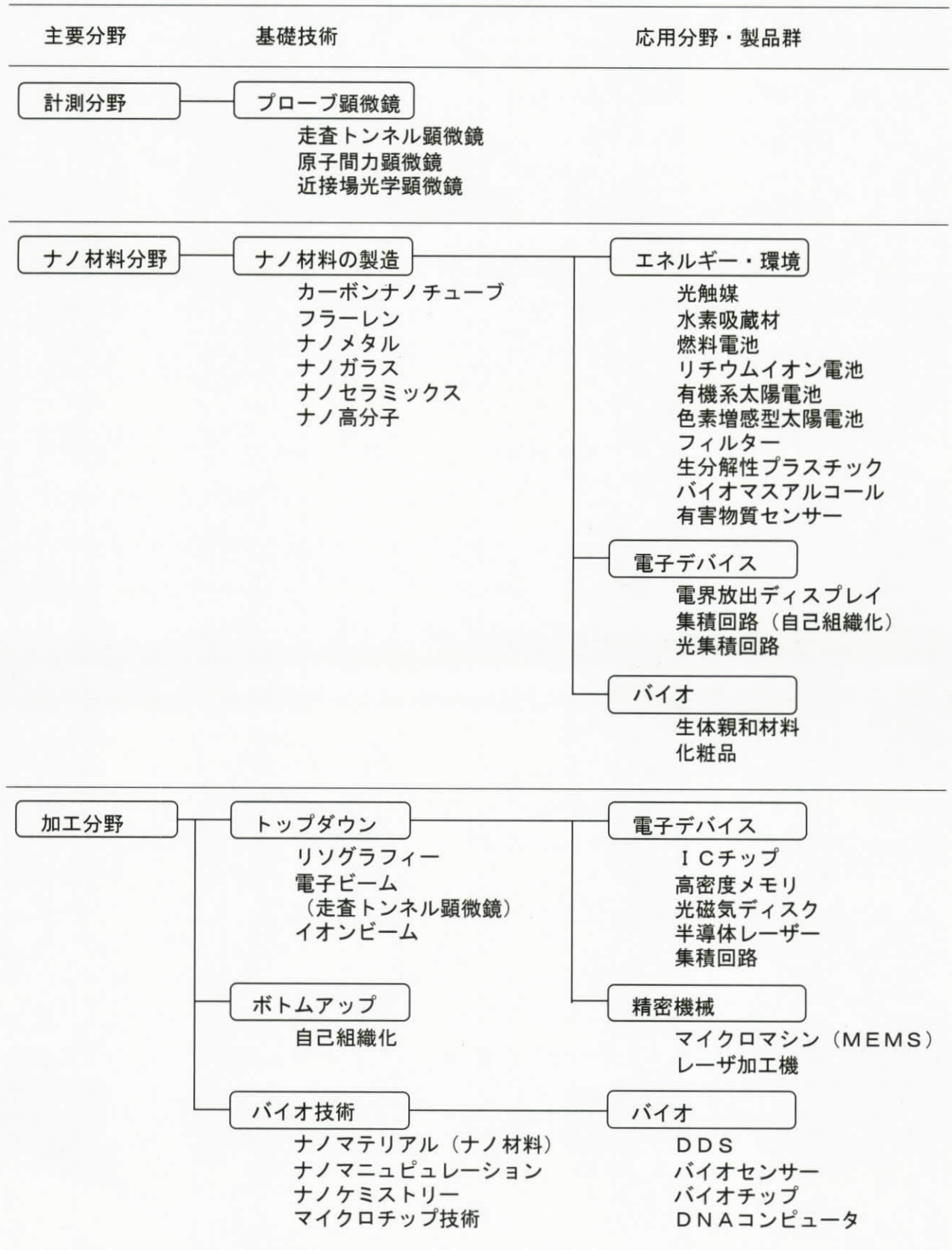
以上のように、ナノテクの応用技術の分野は広く、将来的なポテンシャルも非常に大きいと予想されている。

しかしながら、ナノテクの最大の課題は、一部の素材分野を除いて、未だ大量生産可能な加工技術、とくに自己組織化の技術が確立されていないことである。これに加えて、現状ではナノ物質の製造を始めとするナノテク関連製品は、大学、研究機関、企業内研究所を主要な販売先としている。このような研究開発を対象とした市場も一定規模はあるが、より広い生産財、消費財の市場への脱皮も必要である。

このIで採り上げた「典型的なナノテク」は脚光を浴びている分野であり、これからおおいに研究開発の進展と今後の実用化が期待される分野である。一方、産業としての実用化の観点から見れば、このような「典型的なナノテク」と加工精度の向上などを含む広い意味でのナノテクが混在したような形で、多様な研究開発・実用化への動きが進みつつある。

次章以降では、広い意味でのナノテクに対象を広げて、中小企業とナノテクの関係をみていくことにしよう。

図表 I-11 ナノテクの基礎技術と応用分野



日本電子、島津製作所

Ⅳ 5. 「計測技術を持つ企業群」

TOTO、豊田中央研究所、住友化学工業、エコデバイス  
大阪ガス、本田技研工業、東芝  
NEC、ソニー  
日機装  
東芝、住友化学、出光興産、大阪ガス、日本触媒、三菱化学  
富士写真フィルム、ニコン、シャープ、積水化学

ユニチカ  
三井物産（BNRI）

伊勢電子工業、モトローラ、サムスン  
IBM、富士通研究所

資生堂

Ⅳ 1. 「ナノテク新素材に  
挑戦した企業群」

または

Ⅳ 6. 「ナノテクに関心を寄せ  
研究中の企業群」

（略）

Ⅳ 2. 「半導体微細加工技術を  
採用した企業群」

セイコーエプソン

Ⅳ 3. 「薄膜製造技術、  
光学関連微細加工技術  
を採用した企業群」

テルモ  
松下電器産業  
日立製作所、東レ  
オリンパス光学工業

## II ナノテクと中小企業の役割

本章では前章での基礎知識を踏まえ、現在までナノテクがどの程度事業化されており、中小企業にはどのような役割があるのかについて探ることにした。そのため、中小企業を取り巻く関係機関として、大学、公立研究機関から民間の識者まで幅広くヒアリング調査を実施した。

調査対象は、地域の公的な支援機関とそれ以外の大学や国立研究所、業界団体、商社、民間識者のグループの二つである。後者には大学のようなナノテクを研究する立場から中小企業をどのように見ているかを、また、前者の支援機関には中小企業を地域で支援する立場からナノテクと中小企業をどのように見ているかを調査した。まず大学などの主としてナノテクを研究している立場からの見方を、次いで、地域の研究機関や産業支援機関の見方を紹介し、中小企業に期待される役割を明らかにする。

### 1 大学・国立研究所、業界団体、商社、その他識者からみた中小企業の役割<sup>24</sup>

本節では、ヒアリング結果をもとに、ナノテクとはどのようなモノか、市場としてどう見るか、中小企業に活躍の余地はあるのかといった観点から、実際に研究している立場あるいは実用化を考えている立場である識者の見方を紹介する。

#### (1) ナノテクについての見方

##### 【ナノテクとは】

ナノテクについての見方は二つの大きな流れが見られる。一つはIで見たような典型的なナノテクのイメージであり、もう一つは加工精度<sup>25</sup>の向上によるナノテクへの接近である。前者の立場で「ナノテクとは」を一言でいうと、「ナノレベルで原子・分子を操作する技術だ」となる。ナノテクは従来型技術と異なり、多くの材料、多くのプロセスに係わり、物理、化学、生物など学際的で多分野と関連する。

後者、すなわち生産技術専攻の立場からみると、ナノテクの現状はIでみたような典型的なナノテクに目が奪われ、もっと肝心な点が疎かになっているようだ、という。生産技術自体はかねてより、着実に加工精度などの性能が向上している。精度アップという着実な道にもナノテクに通ずる道があるとの指摘である。

さらにこのようなナノの世界を扱うことができるようになったという意味で走査型電子顕微鏡<sup>※</sup>などの観察技術の飛躍的発展の功績が大きいという点が重要である。ナノの世界は「漸く見ることができた」という世界で、これがナノテクの出発点であるという。

<sup>24</sup> 個別のヒアリングの詳細については参考Ⅱ－1を参照のこと

<sup>25</sup> 加工精度とは正確さ（目標値との乖離）と精密さ（ばらつきの大きさ）のこと。参考Ⅲ－5参照



またこれらとは違う角度で、ユーザー市場に近い立場から見ると、ナノテクとはサイズを規定した技術であるという指摘もある。この見方では、科学・技術の分野を問わず「あらゆるところをサイズで横串しにした」ものだという特徴が重要である。

### 【ナノテクの開発の現状】

ナノテクの開発の現状については、ナノテクの分野により異なった指摘が見られた。

CNTのようなナノ新素材※専攻の立場からみると、ナノテクの開発の現状は、富士登山で言えばまだ一合目程度。おそらく21世紀の中で最初の50年間位の時間が必要なジャンルである。研究者としてはまだやるべきことが山積している。だからこそ可能性の萌芽がたくさんあるジャンルとして方々で期待が膨らんでいる、という。

典型的なナノテクの研究をしている立場から開発の現状をみると、次の点がナノテクらしいとの指摘があった。一般的には、時間と共に研究、開発、実用化と進むものであるが、ナノテクの研究では、基礎研究と応用研究の区別がはっきりせず、基礎と応用が同時に起きてしまい、後付で理論化することが生じるという。このことは、基礎研究にも目配りする必要性があるということに繋がる。ナノテクと従来技術の違いの一つとして指摘できよう。

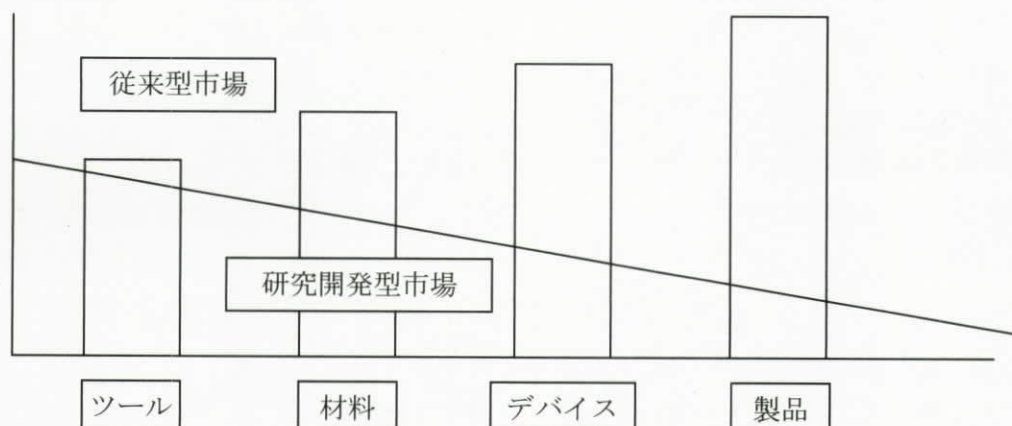
ナノテクの分野で従来の枠と異なる戦略を打ち出しつつある商社の見方は、また独特である。ナノテクは多分野と関わるが故に、商社向きのジャンルだという。ナノカーボン※のように多様な機能を発揮する素材の用途開発を進める場合、多方面への随時弾力的対応が必要となり、商社の対応力こそ開発に適している、という考え方である。

### 【ナノテクの市場】

ナノテク市場については、ナノテクが「あらゆるところをサイズで横串しにした技術」であるとの見方から、その特徴のためにナノテクならではの市場の見方が必要であるとの指摘があった。具体的には、次の二つの見方が挙げられる。まず、従来のような電気、自動車という最終製品で分類するのではなく、ナノテクを活用した財別にマーケットを見る方法である。電子顕微鏡などのツール関係、CNT、フラーレン、ナノメタルなどの材料系、電子材料などのデバイス系、それに最終製品の市場という区分になる。もう一つの見方は、研究開発型市場と従来型市場という区分である。前者は大学の研究室の他、公立や企業の研究所などの予算がターゲットになる。財別マーケットのそれぞれにこの二つのタイプの市場がある（図表 II-1）。

この見方からすると、現在のナノテク市場の特徴として、研究開発型市場が主であることが指摘される。

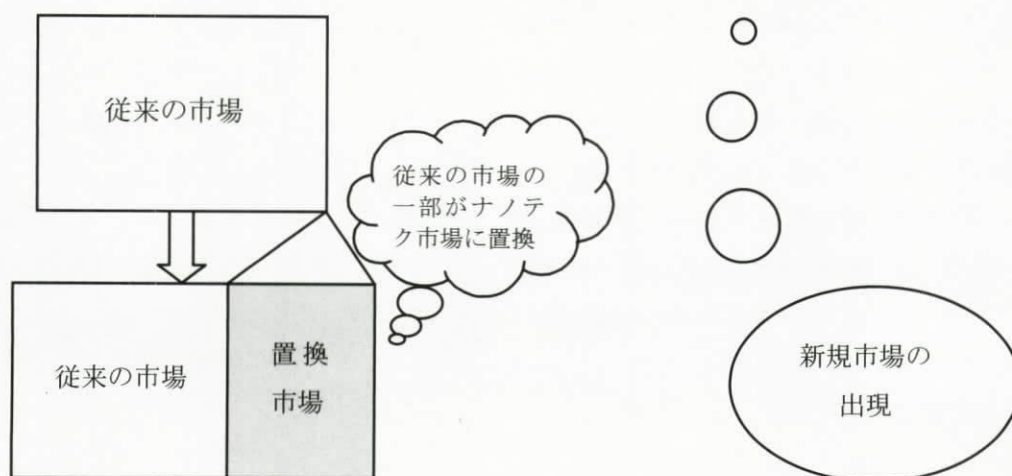
図表 II-1 研究開発型市場と従来型市場



(注) ナノ・ビジネス・マーケティング研究所所長 松井高広氏ヒアリングに基づき作成

さらに、ナノテクを活用した製品が従来の延長上にあるのか、あるいは全く新しいかという視点から市場を区分する見方がある。置換市場と新規市場という区別である。置換市場の例として、ディスプレイや電池のように既にある製品がナノテクを活用することによって、より小型化できる、より明るくなる、より軽くなるなど性能がアップするケース、あるいは環境・省エネ対策の役に立つことで、ブラウン管などの従来製品に置き換わるケースなどがある。また、新規市場の例として、DDS、HIVの治療薬、曲げられるディスプレイなど従来存在しなかった新製品などがある。現状では新規市場はその多くがまだこれからという段階にある。

図表 II-2 ナノテクにおける置換市場と新規市場



(注) ヒアリングを基に (財) 政策科学研究所作成

## (2) ナノテクと中小企業

中小企業に活躍の余地はあるのかという質問に対する回答は、一様に「大いにある」であった。

CNTなどの新素材系では多様な中小企業のものづくり能力に期待が寄せられ、また、加工精度のアップによりナノテクを目指す立場からも、その必要性が指摘されている。

### 【CNTなどの新素材系】

中小企業の役割についてナノ新素材の立場から考えると、大企業は大きな組織ゆえの縛りがあるので、中小企業にこそ期待したいとの指摘があった。半導体のような大がかりな設備がなくても挑戦できる分野であり、未知の可能性が豊富にある分野であるから、アイデア次第で職人芸的技能やノウハウを持つ中小企業にも十分チャンスがあるという。

### 【ナノカーボンに取り組む商社の期待】

ある商社は、中小企業はものづくりの一番小さなところと見ており、大量生産より開発試作に向くという。ナノテクという難解な理屈を中小企業の匠の技に落とし込むマッチング機能を、商社が担いたいとしている。

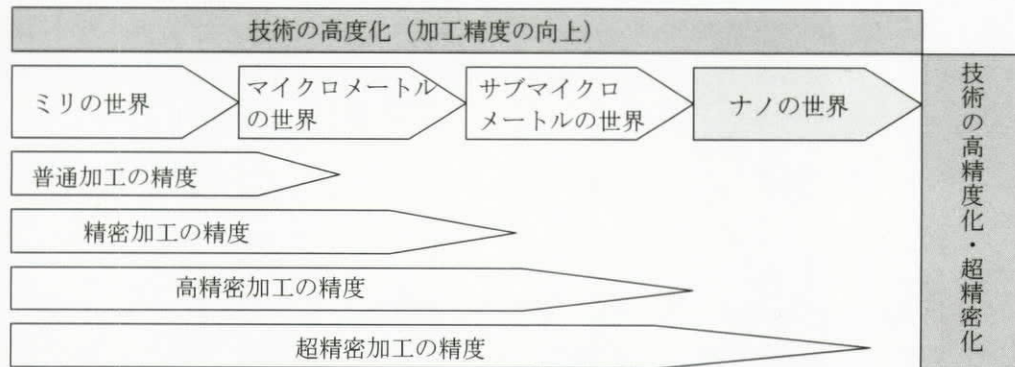
別の商社は、素材系のナノテクは非常に多様な機能が売り物であり、単価が相応のレベルになれば実用化が進む。用途開発は無限と言ってもいい程多くの可能性を秘めている。CNTの発見自体がそうであったように、CNTの用途もそれこそ意外な用途が見つかる可能性がある。このような分野は即断即決で小回りが利く中小企業にこそチャンスがあると見ている。

### 【加工精度のアップからナノテクを目指す立場】

現代のように環境が激変する中で中小企業が生き残る道は、技術の差別化において他にないとの考えから、生産技術すなわち加工精度のアップによりナノテクを目指す立場がある。そのためには、現在使用している機械装置の精度・分解能※をもう一桁上げる工夫、つまり、今までのやり方のさらなるレベルアップや、自社の技術をより良く知り改善する努力が必要ということになる。このような努力を極めていけばその結果、ナノテクに繋がるという見方である（図表 II-3）。

さらにこのような従来型技術に加えて、MEMS※に使われるような新しい技術の採用も検討すべきであるという。この技術は半導体微細加工技術の蓄積を活用するもので、これからの基盤技術になるとのことである。

図表 II-3 技術の高度化



（注）ヒアリングを基に（財）政策科学研究所作成

### （3） まとめ

以上から明らかなように、ナノテクは中小企業にとっても大いに活躍の余地がある技術であるという。

特にナノ系新素材分野のような多様な特性を有する分野では、中小企業の特性を活かす方途は無限といえる程多くの可能性があるといわれている。多くの可能性の中から事業化の途を探り当てるには、数多くの中小企業のものづくりから得られた経験が有用であり、知恵を結集して用途開発を進めることが求められている。現にそのような中小企業の事例がある。このような指摘は大学の研究者から商社に至るまで同様に見られた。

また、ナノテクは新素材の他に加工方法でも大きな可能性がある。一つは、従来型の機械加工や成形加工であっても加工精度のさらなるアップを追求してナノを目指すという方向（参考Ⅲ-4）である。もう一つは、レーザー加工やビーム加工など半導体微細加工技術を半導体以外の微細加工に応用するという考え方である。前者は中小企業が目指すべきものづくりの基本であり、後者は中小企業でも採用を検討すべき論点である。

半導体微細加工技術には様々の種類がある。レーザー加工やビーム加工などの他、リソグラフィ※、エッチング※などである。半導体製造関連設備というと高価なイメージがあるが、最先端設備である必要はないことから、中小企業にも資金的に導入可能な設備があるという。このように中小企業がナノテクを考えていく上で、特に生産技術が重要なポイントであるように思われる。

## 2 支援機関からみた中小企業の役割<sup>26</sup>

地域の中小企業、地域産業の振興を目的に研究技術開発や製品開発・販路開拓等の支援事業を展開する地域の支援機関は数多い。ここでは、中小企業との関わり方、ナノテクの開発・事業化段階からみて、次のような川上、川中、川下の3つに区分し、各支援機関からみた中小企業に期待される役割を検討する。

- ① 研究開発機関——国の知的クラスター事業等の活用を図りながらナノテク技術の研究開発とその実用化研究に取り組む(A研究開発機関、B研究開発機関)
- ② 公設試験研究機関——都道府県の公設試験研究機関で、地域中小企業の技術指導や技術・製品開発を支援する一方で、ナノテク等の先端技術の研究開発にも取り組む(C公設試験研究機関)
- ③ 地域産業支援機関——地域に密着し、技術、経営相談・指導から異業種交流・産学官連携事業、技術・製品開発や新規事業開拓支援事業に取り組む(D地域産業支援機関、E地域産業支援機関)

### (1) ナノテクと中小企業

ナノテクの技術開発に取り組む地域の研究開発機関からみると、意欲的な中小企業は、ナノテクの市場性に期待感を持ち、新しいシーズ獲得や販路開拓、ネットワーク拡大に向け、展示会、共同研究・成果発表会、交流会等に積極的に参画している。しかし、多くの中小企業はナノテクへの関心が薄く、その必要性すら感じていない。加えて、新しい事に対する関心や人材投資意欲が薄い。中小企業の新事業開発に対する挑戦意欲やナノテクへの関心を高めていく事が必要となっている。

一方、地域の中小企業への技術支援、技術移転、新製品開発の支援を行いながら、ナノテク技術の研究開発・実用化に取り組む公設試験研究機関からみると、中小企業の一部には「ナノテクフォーラム」に参加するなどナノテクに関心をもつ企業もあるが、多くは新技術、基礎技術に対する関心が薄い。しかし、中小企業の中には、公設試験研究機関が取り組んできた金属超微粒子の表面処理技術や光触媒などのシーズを活用し、ホルムアルデヒド除去装置や酸化チタンを使った化粧品の開発などを手がけるところも出ており、ナノテクに関する特許を保有するに到った企業が4社ほどある。このような事例は、「ナノテクの中にビジネスチャンスを発見する」というよりも、産業界からの受託研究ニーズがまずあり、「従来材料よりもナノ材料を使ったほうがよい」ことからナノテクに関わることになったことを示している。中小企業にとっては、基礎技術から入るよりも、製品開発に関わるニーズから取り組んだ方がナノテク分野に入り込み易い。特に、公設試験研究機関が中小企業のナノテクの製品化、事業化を支援しようとする場合には、ものづくりに不可欠な特定材料を自ら探している企業に対して新技術を提供する方が成

<sup>26</sup> 支援機関に関する詳細については参考Ⅱ-2参照

功しやすいという。

また、地域の中小企業に密着し、技術・製品開発や受発注・販路開拓、産学連携・ネットワークなどの支援事業に取り組んでいる地域産業支援機関からみると、多くの中小企業は研究技術シーズから入るのではなく、ものづくりの現場から発想することが多いので、ナノテクと言われても「なんのこっちゃ」というのが現状である。しかし、中小企業の中には、ナノテク市場に参入する中小企業が出始めたことに、刺激を受けてナノテクに関心を持つようになり、情報収集や産学連携に走り、自社のコア技術をベースに開発に挑戦する企業も出てきている。ナノテクをどう使うかではなく、自社の技術高度化や製品開発などの悩み事を相談することからスタートし、その相談の延長線上にナノテクの利用ニーズが生まれ、ナノテク分野への挑戦が始まるケースがみられる。

中小企業のナノテク等新技術分野への参入形態としては次の4つの形態がある。第一に基礎研究の補助で入ってくるケース。第二に、製品化段階でトラブルを抱えたため、それをなんとか解決しようとして入ってくるケース。これはマイクロモーターの潤滑剤が代表例で、僅かでも大きめの粒子があれば正常に作動しなくなるため、均一なナノレベル微粒子の生成が求められる。第三に、技術利用で入ってくるケース。第四が、表面処理状態の測定など評価装置、設備利用で入ってくるケースである。一般的には、ナノテクを含めて新技術に対する中小企業の関心は薄い。中小企業の反応には、基礎的技術に関しては鈍いが、応用技術に関しては関心が高いという特徴がみられる（図表 II-4）。中小企業の場合には、製品開発ニーズから入っていく方が、ナノテクと結びつき易い。公設試験研究機関では、中小企業から問い合わせが来れば紹介してあげられるような技術を多く抱えている。

中小企業の中にはキラリと光る技術を持っていても、中小企業の経営者自体が気づいていないことがよくある。自社の技術、技能を再評価するとともに、自社の技術・製品開発ニーズを明確にした上で、このような公設試験研究機関、地域産業支援機関を積極的に活用していくことが、ナノテク分野への参入に結びつくこととなる。

## (2) 中小企業に期待される役割

支援機関ではナノテクの技術開発と事業化に向けて様々な試みが展開されており、ナノテク技術の事業化や中小企業のナノテク市場への参入等の芽を作るなど一部成果を生み出し始めている。しかし、これら支援機関が研究技術開発から応用、事業化、実用化に結びつけ、これまでの一部成果を拡大していくためには、次のような課題を抱えている。

地域中小企業の多くはナノテク等先進技術分野から入るのではなく、自社のコア技術活用による新規事業開発や、新材料の確保等のニーズから入り、結果としてナノテクの活用に結びついている。一部に先端技術開発から取り組む企業がみられるが、このよう

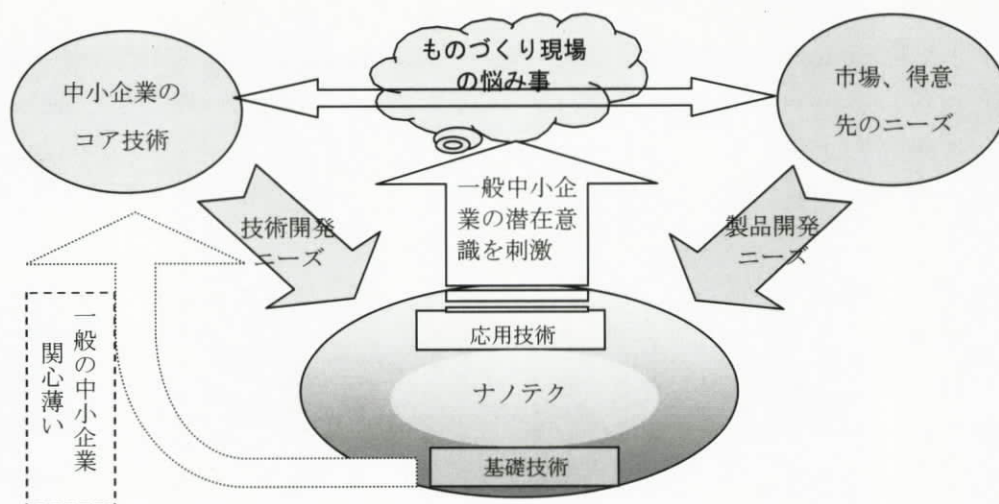


な企業は、既に大学との連携や人材を確保している中小企業である。支援機関の課題は、地域中小企業とのパイプが強い地域産業支援機関や公設試験研究機関と高度なナノテクの研究開発機関等との相互連携を強化し、中小企業のニーズを吸い上げることができる広域的なネットワークを構築することである。

支援機関における今後の取り組み課題等をみると、研究技術開発シーズの事業化、市場開拓が急務となっている。事業化等の成功事例として、支援機関が進めるナノテクの技術シーズを活用し、自社のコア技術と組み合わせながら事業化、製品化を進める中小企業の例が出てきている。また、中小企業の中には、自社のコア技術を基盤に、取引先や自社の仲間のネットワーク等を活用してニーズ等を収集し、新製品開発に意欲的に取り組んでいる例が見られる。研究開発シーズと市場ニーズとのマッチングや実用的な製品化、企業ネットワークの拡充等の面で中小企業に期待される役割は非常に大きい。支援機関が、中小企業に期待している役割をまとめると、次のようになる。

- ① ナノテク開発の川上段階と位置づけられる研究開発シーズの応用と川中段階である実用化研究への参画
- ② ナノテク開発の川中段階である実用的な製品開発から、川下段階である事業化への参画
- ③ 産学連携、ネットワークの拡充への参画
- ④ 研究開発シーズと実態的市場ニーズとのマッチング

図表 II-4 ナノテクに対する中小企業の反応



(出所) 事例調査に基づき (財) 政策科学研究所作成

### (3) 中小企業が対応すべき課題

中小企業が支援機関から期待される役割に積極的に対応し、ナノテク分野への参入を図っていくためには、支援機関からみると次のような課題が指摘される。

#### 【大学との連携、研究機関等の積極的活用】

中小企業が有するコア技術や実態的な市場ニーズ等の活用について、ものづくりの現場からの視点だけでなく、ナノテク等の先端的技術開発動向の面からも考え、企画、アイデアを積極的に出して行くことが求められる。このためには、これまでにはあまり縁のなかった大学や研究機関等との交流、連携を促進し、自社のコア技術や市場ニーズからみたナノテクの活用方法について情報収集、活用方策の相談等を積極的に進めることが必要である。特に、大学や研究機関等との交流がなく、大学、研究機関等へアプローチする方法がわからない中小企業については、産学連携事業を積極的に進めている公設試験研究機関や地域の産業支援機関の相談窓口等を活用することも必要となろう。

#### 【ベンチャー企業、研究機関等とのネットワーク拡充】

中小企業にとって、ナノテク等の研究開発シーズを活用して市場ニーズに応え、あるいは実用的製品化への参入を果たしていくためには、ナノテクの研究開発を実施しその事業化に取り組んでいる研究機関やベンチャー企業との関係強化が重要である。彼等が抱える技術開発の成果に関する情報や様々なニーズを具体的に収集し、自社が有する技術資源や市場ニーズ等からどのような対応・企画が考えられるのか、活用方策を提案して行くことが必要となる。

ベンチャー企業や研究機関等は技術開発成果の広報を行うとともに、市場化に向けてナノテクマートなど展示会や見本市等のイベントに積極的に参画している。中小企業も自社の技術や製品開発には関係がないと考えるのではなく、展示会等にも積極的に顔を出し、接触のなかったベンチャー企業や研究機関等とのコミュニケーションを深め、ネットワークを広げて行くことが必要となろう。

#### 【人材の確保、育成】

中小企業にはナノテク技術等の科学技術に精通する人材がほとんどいないので、ナノテク分野への取り組みは難しいのではないかと、ということが言われている。ナノテクの技術開発シーズを自社のコア技術や市場ニーズ等に結びつけるといっても、ナノテクに関する知見がある程度ないと結びつけることは難しい。また、その役割を大学や研究機関との連携に求めるといっても、大学や研究機関から得られる先端技術情報を咀嚼するだけの人材がいなければ、単なる基礎的な情報に終わってしまい、その活用は難しい。生産加工技術など自社のコア技術を基盤とするとしても、これからのナノテク等の先端技術市場分野で一定の役割を発揮し、事業参画を図るためには、ナノテクに手が届く人



材の確保、育成が不可欠となっている。

#### 【自社コア技術の評価と技術製品開発ニーズの具体化】

ナノテクに関する技術シーズと製品化のための技術や市場ニーズとのマッチング等を行っていくためには、ナノテク等の先端的な科学技術にある程度手が届く人材の確保や知見の集積を図るだけでなく、自社のコア技術がどのレベルにあるのか、同業者やユーザー等から見たコア技術の評価を明確にするとともに、コア技術を活用した事業・製品開発のニーズを具体的に詰めておくことが必要となる。

自社のコア技術进行评估するといっても、社内だけで評価することは難しい。むしろ、取引先の企業や同業者等による評価について具体的に情報収集することや、公設試験研究機関や地域産業支援機関の技術相談・指導窓口に相談して確認すること等により、他者から見た評価を明確にし、技術開発課題を整理しておくことが必要である。コア技術を活用した製品開発等の悩み事でも、公設試験研究機関や地域産業支援機関等へ相談し、具体的に何が問題なのか、その課題をクリアするためにはどのような方策が必要なのか、製品化ニーズを具体的に掘り下げていくことが、その解決策としてナノテク等の先端技術研究シーズに結びついて行く。公設試験研究機関や地域産業支援機関等の積極的活用が必要となる。

#### 【起業家精神、事業開拓意欲の発揮】

支援機関が中小企業に期待する役割をみると、多くの中小企業にとっては、これまでの事業展開の延長線上では簡単に飛び越えられないハードルが並んでいるといえる。大学や研究機関等の活用やベンチャー企業等とのネットワーク化、先端技術者・科学技術に手が届く人材の確保・育成など、従来の延長線上では考え難い取り組み課題となっている。しかし、支援機関自体の役割が技術の事業化であり、市場開拓である。その支援機関が大企業とは異なる役割を中小企業に期待している。支援機関の立場からみると、既存の事業が成熟する中で、新たな事業の創出が求められている今、中小企業もこのハードルに積極的に挑戦し、第二の創業を目指して、起業家精神を呼び起こし、事業化意欲を高め、新規事業開拓に積極的に挑戦して行くことが期待されている。

### 3 まとめ

以上のように、本章では大学や業界団体、有識者、地域産業支援機関、あるいは連携の可能性のある商社などからみたナノテクにおける中小企業の役割をみてきた。いずれも中小企業に対して大きな期待を抱いている点が共通している。

技術面では、ナノ新素材の応用開発は中小企業向きであり、半導体系技術は中小企業にも可能性がある。加工精度のアップからナノテクへ至る道が有ることなどの指摘があった。市場の特徴については、研究開発市場が主体であり、ナノテクで可能となるような新規市場はこれからである。また、ネットワークについては、商社が中小企業のものづくりに注目しており、連携する余地がある。

産学連携についてはヒアリングをした大学、国立研究所いずれも相当前向きであり、ナノテクは中小企業に向いている。

地域支援機関からはもっと中小企業に活用して欲しいという期待が表明されている。しかし、中小企業の多くは、ナノテクに関心が薄く、応用技術には関心を示すが基礎技術には関心を示さない傾向がある。また、中小企業はナノテクという技術から入るより、現場の悩み等から入って、その延長線上に結果としてナノテクを使うニーズが生まれて来るといふ。今後ナノテクへの関心を高めていく必要がある。同時に、大学や研究機関との連携の促進、ナノテクがわかる人材確保の問題、自社技術の評価の重要性、等の課題がある。中小企業がナノテクを事業化するには簡単に乗り越えられないハードルがあるが、それにもかかわらず、積極的に挑戦していく必要があるという。

ナノテクの分野は、中小企業のものづくり能力が大いに期待されている分野であるように思われる。

### III ナノテクと中小企業の取り組み

Iでは、典型的なナノテクについての整理を行い、IIでは、大学等のナノテクを研究する立場、並びに地域支援機関などの中小企業を支援する立場からの「ナノテクと中小企業の役割」について考察してきた。ナノテクにはナノ素材のような「典型的なナノテク」の他に、精度からアプローチする「より広いナノテク」があること、大学、商社、地域支援機関など様々なネットワークが大切であること、中小企業の活躍の余地があることなど、多くの知見が得られた。

本章では、収集した中小企業の取り組み事例を基に、様々な角度から事例の分析を行い、その特徴を見ていくこととしたい。

#### 1 調査対象企業選定の考え方

本調査を進めるに当たり、事例の収集方法については、ナノテクに取り組んでいる企業と、ナノテクに関心のある企業を候補とし、保有する技術の内容を見て選定することとした。保有技術については、中小企業に可能性がある技術として次の四つの技術分野を想定した。

- ① ナノ新素材を取り扱うケース：ナノテクといえば、CNTなどが連想されるが、この分野は用途開発などの応用面で中小企業への期待が大きい分野であった。
- ② 半導体微細加工技術を駆使するケース：中小企業にも扱える技術であるという指摘があった。
- ③ 加工精度の点でナノオーダーを実現しているケース：機械加工などの従来型技術は中小企業の得意の分野である。加工精度でナノを目指す企業が該当する。
- ④ 顕微鏡などの計測技術に関わるケース

#### 2 事例先企業の特徴

##### (1) 事例先の属性

前節の考え方に従って選定した結果が図表 III-1 である。

この表の事例企業をタイプ別にみると、中堅企業には概して業歴が古く、ニッチトップといわれる企業が含まれる。VB（ベンチャー企業）では、タイプIのベンチャーキャピタルからの資本受け入れ組と、業歴が浅く、研究者の独立組が目立つ小規模のタイプIIとがある。それ以外にも業歴が古い企業、ニッチトップ企業、下請けを脱して開発型企業に転進した企業等がみられる。このように選定された事例先は、総じてナノテクに関心が高いか、あるいは意欲的に取り組む先進的な企業群であるといえよう。

図表 III-1 事例企業の属性

| 事例<br>先 | 企業規模       |              |             | 設立<br>年代 | ナノテクとの関わり・経緯等 |                   |                   |
|---------|------------|--------------|-------------|----------|---------------|-------------------|-------------------|
|         | タイプ<br>(注) | 資本金<br>(百万円) | 従業員<br>数(人) |          | 事業内容          | ナノテク関連の<br>事業経緯   | その他特徴             |
| A社      | 中堅         | 100～200      | 200         | 1960     | 化学            | 事業多角化             | フラーレン             |
| B社      | 中堅         | 50～100       | 260         | 1940     | レンズ           | 本業追求              | 特注品対応             |
| C社      | 中堅         | 100～200      | 259         | 1940     | ガラス           | 本業追求              | 製品シェア世界一          |
| D社      | 中堅         | 50～100       | 195         | 1950     | コンデンサ<br>用端子  | 事業多角化             | 製品シェア世界一          |
| E社      | 中堅         | 100～200      | 650         | 1930     | 制御技術          | 本業追求、本業へ<br>の素材応用 | 特注品対応             |
| F社      | VB I       | 200 以上       | 12          | 1950     | メッキ           | 本業追求              | 第二創業              |
| G社      | VB I       | 200 以上       | 47          | 1990     | 精密成形          | 事業多角化             | 下請け脱皮、<br>世界初製品   |
| H社      | VB I       | 200 以上       | 25          | 1990     | 計測装置          | 本業追求              | スピニアウトVB          |
| I社      | VB II      | 10～50        | 2           | 1990     | CNT           | 研究者の独立            | 大学発VB             |
| J社      | VB II      | 10 未満        | 1           | 2000     | ナノ粒子          | 研究者の独立            | 大学発VB、SOHO        |
| K社      | VB II      | 10 未満        | 5           | 2000     | ナノ粒子          | 研究者の独立            | 大学発VB、<br>研究室段階   |
| L社      | VB II      | 10～50        | 8           | 2000     | 電気鋳造          | 開発者への支援           | 本業外で別途起業          |
| M社      | VB II      | 10～50        | 4           | 1990     | 観察受託          | 技術者の独立            | 大学発VB             |
| N社      | VB II      | 10 未満        | 7           | 2000     | 薄膜加工          | 営業担当者独立           | スピニアウトVB          |
| O社      | 大規模        | 10 未満        | 150         | 1930     | 粉体処理          | 本業追求              | 創業以来一貫            |
| P社      | 大規模        | 100～200      | 140         | 1970     | 素材の加工<br>サービス | 本業への素材応用          | セラミックス系素<br>材     |
| Q社      | 中規模        | 10～50        | 70          | 1960     | ゴム成形          | 事業多角化             | CNTの用途開発          |
| R社      | 中規模        | 50～100       | 59          | 1900     | 粉砕機           | 本業追求              | 創業以来一貫            |
| S社      | 小規模        | 10～50        | 30          | 1980     | 電気鋳造          | 本業追求              | 技術者創業<br>製品シェア世界一 |
| T社      | 小規模        | 50～100       | 20          | 1990     | 工作機械          | 製品開発に進出           | 下請け脱皮             |
| U社      | 小規模        | 10～50        | 30          | 1970     | 計測装置          | 本業追求              | STM国内トップ          |
| V社      | 小規模        | 10～50        | 12          | 1960     | 制御技術          | 本業への素材応用          | CNTの応用研究          |

(出所) 事例調査を基に(財)政策科学研究所にて作成

(注) タイプの定義は次の通り。中堅：グループ企業含めて200人以上、VB I：ベンチャーキャピタルの出資を受けるベンチャー企業、VB II：大学発などのスタートアップベンチャー企業、大規模：従業員数100～200人、中規模：50～100人、小規模：～50人

## (2) 事例先の特徴

本項では、IIで得られたナノテクと中小企業の間関係を踏まえ、技術・市場・ネットワークの三つの視点から、事例についての特徴を明らかにする。

図表 III-2 は、事例先企業がどのような技術・市場・ネットワークを持っているかについて、まとめたものである。

図表 III-2 事例先の特徴

| 事例先 | 規模タイプ | 技術分野  |       |       |        | 市場のタイプ    |               | ネットワーク |      |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|---------------|--------|------|------|
|     |       | ナノ新素材 | 半導体技術 | 精度アップ | 計測技術関係 | 研究市場／従来市場 | 置換市場／新規市場     | 商社との連携 | 産学連携 | 支援機関 |
| A社  | 中堅    | ○     |       |       |        | 研究        | 置換、新規（DDS）    | 商社との連携 | 有り   | ---  |
| B社  | 中堅    |       | ○     | ○     |        | 特注品       | 従来            | ---    | 有り   | ---  |
| C社  | 中堅    |       | ○     | ○     |        | 従来        | 従来            | ---    | 有り   | ---  |
| D社  | 中堅    |       | ○     | ○     |        | 従来        | 置換            | ---    | 有り   | ---  |
| E社  | 中堅    | ○     |       | ○     |        | 特注品       | 置換            | ---    | 有り   | ---  |
| F社  | VB I  |       | ○     |       |        | 両方        | 置換、新規（DNAチップ） | ---    | 有り   | 活用   |
| G社  | VB I  |       | ○     | ○     |        | 両方        | 置換、新規（DNAチップ） | ---    | 有り   | 活用   |
| H社  | VB I  |       | ○     |       | ○      | 研究        | 置換、新規（面露光）    | ---    | 有り   | ---  |
| I社  | VB II | ○     | ○     |       |        | 研究        | 置換            | ---    | 有り   | 活用   |
| J社  | VB II | ○     |       |       |        | 研究        | 置換            | ---    | 有り   | 活用   |
| K社  | VB II | ○     |       |       |        | 研究        | 置換            | ---    | ---  | ---  |
| L社  | VB II |       | ○     |       |        | 研究        | 置換            | ---    | ---  | ---  |
| M社  | VB II |       |       |       | ○      | 研究        | 新規（受託サービス）    | 提携     | ---  | ---  |
| N社  | VB II |       | ○     |       |        | 従来        | ---           | ---    | ---  | ---  |
| O社  | 大規模   |       | ○     | ○     |        | 両方        | 置換            | ---    | 有り   | ---  |
| P社  | 大規模   | ○     | ○     | ○     |        | 両方        | 置換            | ---    | 有り   | 活用   |
| Q社  | 中規模   | ○     |       |       |        | 研究        | 置換            | 提携     | 有り   | 活用   |
| R社  | 中規模   |       |       | ○     |        | 両方        | 置換            | ---    | ---  | ---  |
| S社  | 小規模   |       | ○     |       |        | 両方        | 従来            | ---    | 有り   | ---  |
| T社  | 小規模   |       |       | ○     |        | 従来        | 置換            | ---    | 有り   | 活用   |
| U社  | 小規模   |       |       |       | ○      | 研究        | 置換            | ---    | 有り   | ---  |
| V社  | 小規模   | ○     |       |       |        | 研究        | 置換、新規（ロボット）   | 大手     | 有り   | 活用   |

（出所） 事例調査を基に（財）政策科学研究所にて作成

技術分野では、中小企業に挑戦可能なナノテクとしてナノ新素材とその応用、半導体微細加工技術の応用、加工精度のアップ、計測技術の四つを、また、市場のタイプとして、研究開発型市場と従来型市場、置換市場と新規市場を、ネットワークは、商社との連携、産学連携、地域支援機関を如何に活用するかという視点から、事例先がどのタイプに該当するかを見てみた。

以下、このような視点ごとに、事例企業の特徴を見ていくことにする。

### 3 事例企業の技術分野・製品分野別特徴

前節で見たとおり、事例として選定した企業は、4つのナノテクのうちのいずれかに取り組んでいるか、あるいは関心を持っている企業である。本節では事例企業が保有している技術を中心としてその特徴・特性を分析することにより、中小企業で使われるナノテクがどのようなものであるのか、また、ナノテクを活用した製品にはどのような傾向が見られるのかについて紹介する。また、個別技術に関する知識についても若干の整理をしておくこととしたい。



### (1) 事例企業が取り組んでいる技術の特徴

事例企業が取り組む4つのナノテクそれぞれについての特徴を見ることにする。

#### 【ナノ素材系】

今回採り上げた事例では、素材としてCNT、フラーレン、金及びダイヤモンドのナノ粒子の四つが登場する。前二者は生産技術の開発から用途開発の段階まで幅があり、後二者は基礎研究から応用への移行段階にある。また、実際にはまだ取り組んではいないもののCNTに高い関心を持っており、自社への応用を検討している事例が三社ある。

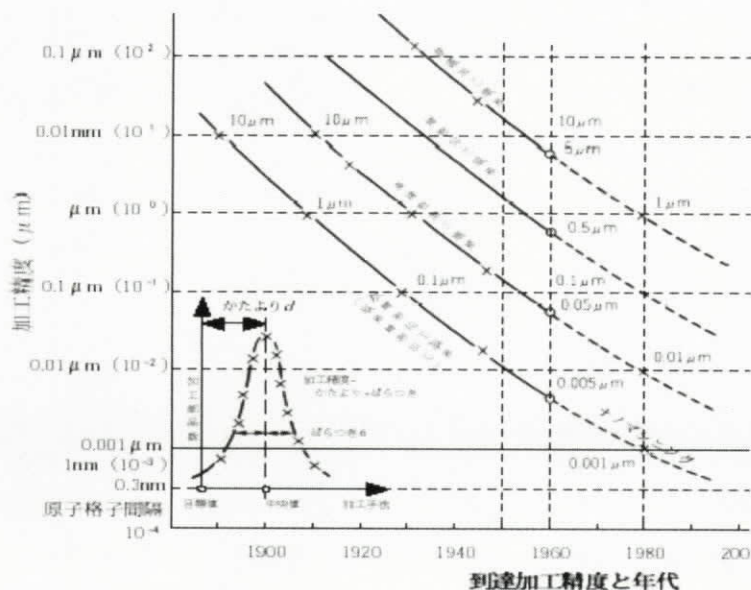
#### 【半導体微細加工技術系】

半導体微細加工技術を応用した新しい加工技術の採用に積極的だった事例が数多く見られたことは一つの特徴といえる。特に、イオンやレーザー※その他さまざまな手法を用いた表面処理技術、LIGAプロセス※などのマイクロマシン技術<sup>27</sup>にも積極的に挑戦している例が少なからず見られた。

#### 【加工精度の向上系】

一般にものづくりにおける技術開発の大きな流れとして、高精度、高精密という方向が観察できる(図表 III-3)。精度を如何に上げるか、如何に精密に加工するかが絶えず問われている。このような技術高度化の行き着く先がナノテクに近づく道であると考えられる企業がみられる。現状に甘んじず、量産下請けからの脱皮を果たすという意欲や決意がこのような技術高度化の重要なファクターとなっている企業もみられる。なお、現在の最先端の加工精度はナノレベルを超えるものまで現れている。

図表 III-3 加工精度の推移 (1974年発表のグラフ)



(注) このグラフの作成者は故山梨大学工学部長谷口紀男教授。1974年、生産技術国際会議で、「精密加工技術精度は西暦2000年には1ナノメートル程度になる」と予測し、そのための総合生産技術が必要になるとして「ナノテクノロジー」という概念を世界ではじめて提唱した。(但し、1974年発表当時は東京理科大学理工学部教授)

(出所) 山梨大学工学部HPより。詳細は参考Ⅲ-4参照

<sup>27</sup> 参考Ⅲ-2参照

歴史をさかのぼると、ナノテクノロジーという言葉そのものはナノレベルの加工精度を実現する技術を表す言葉として 1974 年に我が国の学者によって提唱<sup>28</sup>されている(図表 III-3 注)。この提唱者は、精密加工技術の精度が、将来 1 ナノメートル程度になると予測し、そのための総合生産技術が必要になるとして、新しいテクノロジーの創造の必要性を提案した。それが「ナノテクノロジー」である。

#### 【計測技術系】

ナノテクの世界を切り開いた走査型顕微鏡を我が国で初めて開発した事例、あるいは計測という特殊技能を専門に受託する事例などナノテクらしい技術分野である。

### (2) 事例企業の技術特性

事例先企業の技術の特性を理解するには、どんなタイプの技術が使われているのかを見る必要がある。そこで技術を分類する観点として、プロセスを重視した類型と取り扱い製品の形状を重視した類型の二タイプに分類し、先の 4 分類と重ねた(図表 III-4)。プロセス的な分類として材料素材系、加工技術系、計測・観測技術系の三つを、また、製品形状的観点から、粒子状・線状・面状・立体形状の四分類とした。

図表 III-4 ナノテクの技術分類<sup>29</sup>

|           |                                     |                     |     |                                               |
|-----------|-------------------------------------|---------------------|-----|-----------------------------------------------|
| ナノテクの技術分類 | 材料・素材系                              | 素材                  | 粒子状 | ナノカーボン（CNT・フラーレン、ダイヤモンド）<br>その他のナノ粒子（金、酸化チタン） |
|           | 加工技術系                               | 半導体系                | 線状  | 細管、細線関連                                       |
|           |                                     |                     | 面状  | 微細パターン形成（リソグラフィ）関連                            |
|           |                                     |                     |     | 薄膜：表面加工、改質関連<br>付加加工（真空蒸着※等）、除去加工（エッチング等）     |
|           |                                     |                     |     | 立体形状                                          |
|           |                                     | 超精密（高精度）機械加工、成型加工関連 |     |                                               |
|           | 顕微鏡等測定装置関連<br>超高真空、極低温、微弱測光、ソフト開発 等 |                     |     |                                               |
|           | 計測・観測技術系                            | 計測                  |     |                                               |
|           |                                     |                     |     |                                               |

(出所) 事例調査、各種資料を基に(財)政策科学研究所にて作成

結果として、前項でみた半導体系の技術は機械加工・成形加工を除けば多くの技術に関わりがあり、形状の面から、線状・面状・立体形状に細分化されている。

<sup>28</sup> 詳細は図表Ⅲ－3及び参考Ⅲ－4参照

<sup>29</sup> 技術用語については参考Ⅲ及び用語集参照

### 【材料・素材系技術――粒子状のナノ物質製造技術】

ナノテクの新素材として脚光を浴びるナノカーボンやその他のナノ粒子の製造方法は非常に沢山ある。図表 III-5 はその主なものを一覧にしたものである。必ずしも大規模な設備を要さなくても可能なものがあると言われている。現に事例企業では創業間もないベンチャー企業が果敢に挑戦している。

事例先の技術を見ると、カーボンナノチューブの製造方法として気相法・液相法（I社）、ダイヤモンドの微粒子化技術（K社）、金微粒子の用途開発技術（J社）、ナノカーボンと合成ゴムとの混合技術開発（Q社）等がみられる。

図表 III-5 ナノ素材の製造方法

|        |          |                                 |
|--------|----------|---------------------------------|
| ナノカーボン | フラーレン    | アーク放電法、抵抗加熱法、高温レーザー蒸発法、高周波誘導加熱法 |
|        | CNT      | アーク放電法、CVD法、高温レーザー蒸発法           |
| その他粒子  | ナノメタル    | 気相法、固相反応法、液相法                   |
|        | ナノセラミックス | CVD法、ゾル-ゲル法、ブレイクダウン法            |
|        | ナノガラス    | プラズマレーザー、ゾル-ゲル法、イオン注入法          |
|        | ナノ粒子     | 乾・湿式混合法・粉砕法、レーザーアブレーション※        |
|        | ナノクラスター  | 熱分解法、超音波照射法、還元法                 |
| 多孔質材料  |          | 水熱合成法                           |

（出所） 図説ナノテクノロジーのすべて、薄膜作製応用ハンドブック、ヒアリング等を基に（財）政策科学研究所にて作成

### 【加工技術――線状・面状・立体状の微細構造物加工技術】

#### （ア） 線状の微細構造物を対象とした加工技術

線状の微細構造物を製造している事例はマイクロチューブ、フェルルール※、キャピラリー※などといわれる微細管の製造が主である。ノズルの微細化ニーズが支えている。求められる加工精度は数百ナノオーダーである。マイクロチューブ専門の事例では電気鋳造法<sup>30</sup>が使用されている（L社）。セラミックスの焼結技術を活用する例もある（D社）。

#### （イ） 面状の微細構造物を対象とした加工技術

面状の微細構造物を対象とした技術<sup>31</sup>には、微細パターンを平面に描く技術と薄膜や薄膜の表面を加工し、改質する技術がある（図表 III-6）。それぞれ、半導体製造技術として発展してきたが、今回の事例では多くの中小企業に於いて半導体以外の製造目的に幅広く使用されている。ナノテクの重要技術の一つといえる。

<sup>30</sup> 電鋳法、エレクトロフォーミングともいう。通常のメッキはメッキして基板ともどもそのまま使うのに対し、電鋳法は一旦メッキした後、メッキ部分を剥離し、剥離部分を使うという違いがある。

<sup>31</sup> 参考Ⅲ-5 参照



図表 III-6 面状の微細構造物を対象とした加工技術の一覧

|                |                |                              |
|----------------|----------------|------------------------------|
| 微細パターン形成関連     | フォトリソグラフィ※     | UV※、EUV※、X線、電子ビーム            |
|                | ソフトリソグラフィ※     | ナノインプリンティング、インクジェット、プロープ※    |
| 薄膜、表面加工・改質関連技術 | PVD(物理的气相成長法)※ | 真空蒸着※、スパッタリング※、レーザーアブレーション※  |
|                | CVD(化学的气相成長法)※ | 熱CVD、プラズマCVD、光CVD            |
|                | 液相成長法※         | 加水分解法など                      |
|                | 塗布・ゾル-ゲル法      | スピンドーティング、インクジェット、エンボシングプロセス |
|                | めっき法           | 機能性材料成膜法、微細加工めっき法            |

(出所) 薄膜作製応用ハンドブック、ヒアリング等を基に(財)政策科学研究所にて作成

薄膜に関係する技術をあげると、微細管の内径にメッキする技術(L社)、球面に蒸着して薄膜を形成する技術(C社)、ミラーやプロジェクターの薄膜処理技術(C社)、リソグラフィ技術で微細パターンを形成して加工する技術(S社、B社、H社)、微粒子にさらに薄い膜で覆う技術(O社、R社)、レーザーの熱エネルギーを使用して薄膜を形成する技術(O社)など様々である。さらに、原子の層を制御して薄膜を作製する技術、いわゆるボトムアップと言われる最先端の技術まで駆使している企業(F社)もある。

なお、面状加工技術として紹介されており、薄膜、表面加工・改質技術にも出てくるリソグラフィ、PVD、CVD、等の技術や電子ビーム、イオンビーム、レーザーなどの技術は、面状以外にも、粒子状や線状加工技術の他に三次元立体形状の加工技術にも使われる。同じレーザー加工であっても、レーザー光の波長としての性質を利用する場合やレーザー光の熱エネルギーを利用しようとする場合のように、目的に応じて薄膜形成技術に使われたり、立体加工技術に用いられたりと多様な利用方法<sup>32</sup>がある。

#### (ウ) 立体形状を対象とした加工技術

3次元の立体加工技術として超精密加工がある。この技術には半導体製造に関わって発展してきた技術と従来型機械加工技術が高精度化したものの二つのタイプがある。

まず半導体系の技術(図表 III-7)であるが、薄膜技術で見たとおり、半導体以外の用途にも幅広く使用され、微細な立体加工を可能にしている。

図表 III-7 半導体微細加工技術を用いた微細立体加工技術

|                                       |
|---------------------------------------|
| レーザー加工、ビーム加工(集束イオンビーム※、電子ビーム、イオンビーム※) |
| マイクロマシニング※(LIGAプロセス*など)               |

(出所) 薄膜作製応用ハンドブック、ヒアリング等を基に作成

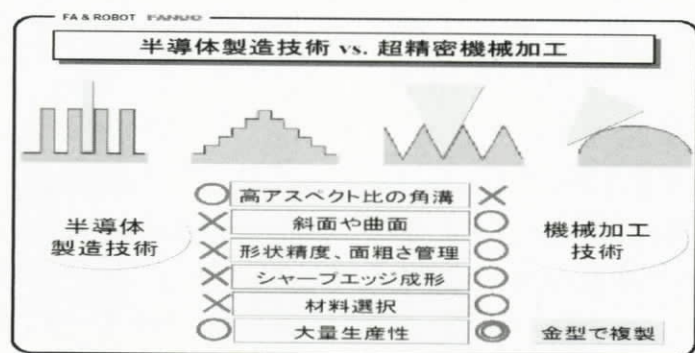
マイクロマシニングのような微細な立体加工技術は、これからのものづくりに於いて

<sup>32</sup> 詳細は参考Ⅲ-5を参照

大いに期待される技術と言われている。微細化の限界を突破できる技術として、近年クローズアップされており、事例でも活用例<sup>33</sup>がみられる（S社、F社、B社、G社）。

次に、超精密超高精度機械加工技術（図表 III-8）である。現代のものづくりは対象物が微細でなくとも、ナノオーダーの加工精度が求められつつある。まさに故谷口教授の予言<sup>34</sup>どおりになってきたといえる。工作機械の加工精度（T社、P社）や、角度センサーの精度がナノオーダー（E社）という事例がみられる。

図表 III-8 半導体製造技術と超精密機械加工技術



ファナック（株）のHPより転載

<http://www.fanuc.co.jp/ja/product/presentation/nanomachine/nanomachine.pdf>

#### 【計測・観測技術】

各種顕微鏡、分光器、粒子・膜測定器、角度検出器などの製造技術である。ナノの世界では空気中のチリやホコリがあると対象物の観測に支障が生じるので、多くは超真空の中で観測が行われる。真空技術、耐震技術、温度制御技術、解析ソフト技術などが求められる。計測精度はナノオーダーの分解能、すなわち距離や角度をナノオーダーまで識別できる能力が求められる（参考Ⅲ－1）。

### （3） 事例企業の製品・サービス分野

ナノテクを活用した製品・サービスにはどのような傾向が見られるのかについて明らかにする。Ⅱでみたように、「ナノテクはあらゆるところをサイズで横串した技術」であるが故に、その製品・サービス分野も幅広い分野に跨っている。

具体的に事例各社の製品をみると、微細な部品・資材が多く、最終製品のイメージがつかめないものが多い。そこで特徴を明確にするために、材料系、製品・資材系、サービス系と分け、さらに製品・資材系はIT系（電子・光関連）、BT系（医療・バイオ関

<sup>33</sup> この活用例に出てくるマイクロマシン技術について、及び、半導体微細加工技術と従来型機械加工技術の違いなどについては参考Ⅲ－2のMEMS、同Ⅲ－3半導体微細加工技術と従来型機械加工技術の違い、及び同Ⅲ－4加工精度についてを参照。

<sup>34</sup> 図表 III-3 参照

連)、E T系(環境・エネルギー関連)、機器類・その他の製品資材系と分け、全部で6つのタイプに分けてみた(図表 III-9)。

・ナノテクを活用した製品等に固有にみられるナノテクらしい傾向として次の点が挙げられる。I T系では、光の波長が数百ミクロンであることと関連して光通信などの光関連が多い。I Tの主役は電子から光へといわれているが、その移行を促す技術としてナノテクが大きく貢献している。B T系はDDS<sup>35</sup>やバイオチップ<sup>※</sup>のようにナノテクによって初めて製品化できる分野であるともいえ、将来の新規市場の芽として期待される。E T系では燃料電池の部材や環境センサーなどナノテクによってその性能が従来の部材に比べ、格段に向上するとされており、ナノテクの一段の進歩が期待される。

インクジェットノズルのような微細構造物は、まさにナノ金型などのナノテクの力によって、より高い精度の製品作製が可能になった。また、フィルターやノズル、メッシュなどのように、ユーザーの仕様に合わせればI T系でもB T系でもE T系でも使えるという、ナノテクらしい製品もある。

機器類などでは、ナノテク推進に不可欠の走査型顕微鏡や電子顕微鏡などの計測機器類、高精度、高精密な加工を可能にする機械装置などナノテク支援機器が重要である。このような装置は高価で使用頻度も高くない場合があることから、ナノを計測・観察する機能をアウトソーシングするニーズが生まれる。そこから受託サービスというサービス系の業態が生じる。また、解析ソフトの開発受託というサービスもみられる。

図表 III-9 ナノテクを利用した製品例

|               |                     |              |                                         |
|---------------|---------------------|--------------|-----------------------------------------|
| ナノテクを活用した製品分類 | 材料                  | 新素材          | CNT、フラーレン、金、ダイヤモンド、酸化チタン等               |
|               | I T系                | 電子関連         | 電子部品、微細回路、メタルマスク                        |
|               |                     | 光関連          | 光学素子、光制御部品、光コネクタ                        |
|               |                     | その他          | センサー、電磁波吸収体                             |
|               | B T系                | 医療・バイオ関連     | 試薬、DDS、DNAチップ、バイオチップ                    |
|               | E T系                | 環境・エネルギー     | 電池材料、環境センサー、ガス吸着剤                       |
|               | 機器類<br>その他<br>製品・資材 | 測定機器類        | プローブ顕微鏡、測定機器、検出器                        |
|               |                     | 加工機器類        | 超精密工作機械、表面改質装置、粉碎機                      |
|               |                     | その他製品・資材     | MEMS、エンコーダ、インクジェットノズル、レジスト <sup>※</sup> |
|               | サービス                | 受託サービス・ソフト開発 | 顕微鏡の観察受託・撮影受託、解析ソフト                     |

(出所) 事例調査、各種資料を基に(財)政策科学研究所にて作成

<sup>35</sup> Drug Delivery System の略。患部に集中的に薬を送り込む仕掛けのこと。用語集参照。

事例でみると、材料系分野では、CNT、フラーレン、金やダイヤモンドなどのナノ粒子に取り組む（I、A、J、K社）、CNTの用途開発（Q社）、CNTの応用研究（E、P社）などである。IT系では、半導体で使うノズル、光学素子、光の接続部品など（L、D、B、S、G社）、BT系では生体診断薬、DDS、DNAチップ<sup>36</sup>、MEMS製品など（L、F、G、B、J社）、ET系では、燃料電池の正極材やガスの吸着剤、環境フィルターなど（F、S社）。機器類その他製品・資材では、走査型顕微鏡や検出器、各種測定機器、電子ビームの描画装置、超精密工作機械、粉粒体の製造装置等の産業機械などがある（H、U、T、O、E、P社）。関連サービスでは計測、観測、解析ソフト専門のサービス受託（M、I、K社）などの事例がみられた。

#### （４） 事例企業の技術分野・製品サービス分野別特徴

事例先を技術分野と製品分野の双方から配列したものが図表 III-10 である。全体では新素材系、IT系、BT系が多く、計測装置、超精密機械加工、成形加工関連や超精密微細加工関連も多い。多くの企業で技術を軸とした多用途展開や、応用製品分野を軸とした多種技術の活用が行われていることが伺える。なお、ナノテクを狙いとした受託サービスの存在は、ナノテクに参入する企業にとって参考になると思われる。

図表 III-10 事例先の技術分野別、製品分野別分布

|        | 応用製品分野                                                                                          | 材料    | IT系      |          |       | BT系      | ET系     | その他製品・資材 |          |           | 関連サービス                |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|----------|-------|----------|---------|----------|----------|-----------|-----------------------|
| 形状     | 要素技術  応用製品分野 | 新素材   | 電子関連     | 光関連      | その他資材 | 医療・バイオ関連 | 環境エネルギー | 計測装置類    | 加工機械装置類  | その他製品・資材等 | 受託加工・受託計測・ソフトウェア（解析等） |
| 粒子状    | ナノカーボン関連                                                                                        | I社、A社 |          |          |       |          |         |          | I社       | Q社        | I社                    |
| 粒子状    | その他ナノ粒子関連                                                                                       | J社、K社 |          |          |       | J社       |         |          |          |           | K社                    |
| 線状     | 微細管・微細線関連                                                                                       |       | L社       | D社、L社    | L社    | L社       | S社      |          |          | L社        |                       |
| 面状     | 微細パターン形成関連                                                                                      |       | S社、B社    | B社       |       | (B社)     |         | H社       |          |           |                       |
| 面状     | 薄膜、表面加工・改質関連                                                                                    |       | S社、B社、F社 | C社、B社    |       | (B社)、F社  | F社      |          | O社       |           |                       |
| 立体状    | 超精密微細加工関連                                                                                       |       | S社、B社、G社 | B社、C社、D社 |       | G社、(B社)  | S社      | H社       |          |           |                       |
| 立体状    | 超精密機械加工、成形加工関連                                                                                  |       | B社、G社    | B社、D社    |       | (B社)     |         | E社、U社    | P社、O社、T社 | E社、T社     |                       |
| 計測技術関連 |                                                                                                 |       |          |          |       |          |         | H社、U社    |          |           | M社                    |

（出所） 事例調査を基に（財）政策科学研究所にて作成

<sup>36</sup> チップの上に複数のDNAを高密度に配置し、特定遺伝子などを検出できるようにしたもの。用語集参照。

#### 4 市場形態の特徴（研究開発型市場⇔従来型市場、置換市場⇔新規市場）

Ⅱの有識者ヒアリングの中で、ナノテクの市場は現在のところ、研究開発型市場が中心であり、従来型市場はこれからである、との指摘があった。今回対象とした事例でこの指摘を検証してみると（図表 III-2）、概ねそのとおりであるとの傾向が得られた。販売先をさらに詳しくみたのが、図表 III-11 である。

図表 III-11 事例先の販売先

| 研究開発型 | 研究開発・従来市場 | 特注品 | 従来市場 |
|-------|-----------|-----|------|
| 10社   | 6社        | 2社  | 4社   |

この表の中で特注品は事実上「研究開発・従来市場」の両方を行っているので、事例の販売先の大半は、研究開発部門との関わりがあることになる。つまり、販売先は、公的機関や民間の研究所、研究室、実験室、開発部門ということになる。従来市場と回答した事例ではナノテクを自社で研究中という二社がここに入る。

次に置換か新規かという区分けでは、大半が置換市場であった。一部にBT系の製品などを手がけているところが新規市場となる例が若干見られた程度である。

#### 5 ネットワークにみられる特徴

Ⅱで指摘されたように、ナノテクに進むにはネットワークの幅を広げることが大切である。本節では、商社の活用、大学、公的研究機関などとの産学連携、協力企業との関係構築、自治体や自治体の地域支援機関などの活用実態を概観する。

##### （ア） 商社などの大手企業の活用

活用例としては、①ナノ素材にかかわる知的財産権管理を商社に依頼する、②開発を自社で行い、販売は商社に依頼する、③ベンチャー企業を起業するに当たり、取り扱い機器の情報収集を商社に依頼するという三つのケースが見られた。

##### （イ） 産学連携の活用

事例先が先進的な企業であるだけに、大半の企業がいずれかの大学や国立・公立の研究機関との関わりを持っており、産学連携は当たり前という状況である。研究会、講演会、学界に参加し、人脈を拡げて有用な情報を得、それを技術開発や経営戦略の参考にし、ビジネスに活かしている。

##### （ウ） 協力企業にみられる特徴

協力企業とのネットワークも大事な視点である。ファブレスに近い事例先について両者の関係構築経緯、協力関係構築の条件について調査した。ベンチャー企業のほか、業歴の古い企業でも該当する事例が数例あり、外部企業の協力を得て製造している。その

多くが、以前から付き合いがあった企業である。新規に協力先を開拓する経緯をみると、まず試作品を発注して様子を見ながら、助走期間を経て本格的な取引に至るというパターン（H社）、あるいは自社にない技術を補完する必要があるときには、地場の産業集積を活かし、仲間の紹介などを通じて協力企業の輪を広げるパターン（T社）がみられた。

ただ、ナノテクの市場は現在のところ研究開発型市場が主であり、試作品分野での協力関係が中心になる。ナノテク関連技術の中には、クリーンルームやクリーンブース内で作業が行われるなど、精密な加工、精度の高い加工技術が求められる。協力企業の候補になるためには、研究・試作に対する様々なニーズに対応できること、相互補完的技術、温度・振動等に対する環境制御技術、真空対応技術、特殊精密加工技術、半導体製造技術の応用技術等の強みが求められる可能性が高い。

### （エ） 地域支援機関等の活用状況

事例企業はやはり積極的である。事例先自ら出かけるケース、あるいは先方から声をかけてくれるケースの双方の事例が見られた。支援機関に出向き、大学の研究室を紹介してもらい、それが機縁となり、産学連携が進み、ナノテク企業に成長したケース（F、G社）、大手が抱える問題を支援機関経由で事例先に協力依頼されたケース（T、V社）、支援機関の研究会でCNTの自社応用を検討しているケース（E、P社）がある。

## 6 まとめ

本章では、ナノテクに取り組む、あるいは関心を抱く中小企業を事例先企業として選定し、前章までに得られた知見に基づいて、技術的側面、市場形態、ネットワークの動向について分析した。概ね前章での指摘のとおりの結果が得られた。

事例先企業については、先進的企業と言っている企業が多くを占めた。

技術的側面では、中小企業で使われるナノテクがどのようなものであるのか、また、ナノテクを活用した製品にはどのような傾向が見られるのかについて明らかにした。中小企業に向くとされたナノテクの典型であるナノ新素材に関する技術、中小企業に可能性があるといわれた半導体微細加工技術、加工精度のアップに関する技術、計測技術についてみてきた。

ナノテクを活用した製品等に固有にみられるナノテクらしい傾向として、IT系では、光関連でナノテクの活躍が目立つこと、BT系はナノテクが将来の新規市場の芽として期待されること、ET系ではナノテクによって性能の向上が期待されることが挙げられる。ある製品がIT系、BT系、ET系のどこでも使えるという、ナノテクらしい製品もある。

販売市場では、研究開発型市場が優位にあること、ネットワークでは、産学連携が当然のごとくであったこと、また一部には商社の活用も見られた。支援機関等をうまく活用しているところは成果を出していること等が明らかになった。



## IV 中小企業によるナノテクの取り組み事例

前章では、事例企業収集の考え方、及び収集した事例について、技術的側面、市場形態、ネットワークの点からどのような特徴があるかについて考察してきた。中小企業が取り扱うナノテクとその製品・サービスがどのようなものかについて、調査時点における20数例の事例の中ではあるが、およその傾向が明らかになった。また、事例先が直面している市場の特性や、ネットワークの活用程度についても、大まかな傾向が把握できたところである。本章では、個別事例について、ナノテクの種類、生産技術、ナノテクへの参入経緯、ナノテクに取り組んだ背景や考え方などについてみていくことにより、一般の中小企業にとってのナノテクを考える際の示唆を得る材料を抽出したい。

### 【事例先分類の考え方】

ナノテクは文字通り技術であるから、事例先を見ていく時には、類似の技術ごとに括るのが便利である。前章では、技術分野をナノ素材系、半導体系、加工精度系、計測技術系と4つに分けた。一方、ナノテクへの入り方をみると「CNTを始めた」、あるいは「レーザー加工法を採用した」というように途中からナノテクに参入している企業がみられるのに対し、特定の分野ではコア技術の特性が本来的にナノ領域と関連が深く、その技術を深化させてナノテクとして活用している企業もみられる。また、ナノ新素材に強い関心を持って応用を検討している企業についても独特の見識が伺われた。そこで、事例全体を、上記の4つの技術分野の他に「技術深化」と「関心を持つ」を加えた計6つに分類して（図表 IV-1）以下の個別事例を紹介していく。

図表 IV-1 事例先の6分類



第1がナノテク新素材に挑戦した企業群。ナノ素材を製造する事例と、用途開発を行う事例の両方がある。第2は主として半導体微細加工技術で蓄積された加工法を採用してナノテクに入っていった企業群。第3は、メッキや光学技術のように技術自体がナノ領域と関連が深く、その技術を深化させた企業群。第4は、加工精度の追求と微細化の推進によってナノテク領域に近づいていった企業群。第5は、ナノ単位で計測する技術に関連する企業群。最後は、ナノテクに深い関心を寄せ、鋭意研究中のグループである。図表 IV-2は全事例を6分類に基づいて一覧にしたものである。また、事業内容、ナノテクの内容、生産技術、動機・経緯、背景等についても同様に一覧にした。同一の事例が複数の分類に該当する場合、その事例に最も相応しい分類を○で、それ以外を・で表示している。

図表 IV-2 事例企業一覧

(6 分類、事業内容、ナノテクの内容)

| 事例先 | タイプ   | 素材<br>挑戦 | 半導<br>体技<br>術 | 技術<br>深化 | 加工<br>精度 | 計測<br>技術 | 関<br>心・<br>研究 | 事業内容                                                              | ナノテク                                                              |
|-----|-------|----------|---------------|----------|----------|----------|---------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| I 社 | VB II | ○        | ・             |          |          |          |               | CNT製造、CNTの合成装置製造、TEMの観測受託、解析ソフト受託                                 | CNTの製造、CNTの合成装置開発、TEMの観測技術、電子ホログラフィー                              |
| J 社 | VB II | ○        |               |          |          |          |               | 貴金属ナノ粒子を用いた生体成分分析試薬の研究開発販売、各種分析法の開発                               | 金コロイドなどナノ粒子の取り扱い(「分子の色」を測定する技術)                                   |
| K 社 | VB II | ○        |               |          |          |          |               | ナノ炭素材料の研究開発、製造販売 ナノテクのコンサルティング 計算科学アルゴリズム受注                       | フラーレン、ナノダイヤモンド、計算科学アルゴリズム                                         |
| A 社 | 中堅    | ○        |               |          |          |          |               | 有機、無機材料製造(PDP用電極加工、医薬品中间体、リチウム2次電池材料など)                           | フラーレンの量産技術                                                        |
| Q 社 | 中規模   | ○        |               |          |          |          |               | 静電気関連機器、射出成形装置、工業用センサ、及びCNT入り電磁波障害シート製造                           | CNTを合成ゴムに混合する技術                                                   |
| G 社 | VB I  |          | ○             |          | ・        |          |               | プラスチックの複合材料開発からアプリケーション開発(DNAチップなど)まで一貫製造(プラスチック製品の精密樹脂成形)        | ナノコンボジット、集束イオンビームによるナノメートル加工技術(MEMS金型)                            |
| O 社 | 大規模   |          | ○             |          | ・        |          |               | 粉体処理装置製造(粉碎装置、乾燥装置、表面改質、複合化、固相反応装置)                               | レーザーアブレーションによるナノオーダー粒子の生成、ナノ複合化合物の生成、ナノコーティング                     |
| N 社 | VB II |          | ○             |          |          |          |               | 光学薄膜加工及び光学部品の販売                                                   | 数十nm～数μmの薄膜制御による薄膜形成                                              |
| S 社 | 小規模   |          | ・             | ○        |          |          |               | メッシュ・フィルター等製造(医療機器・半導体検査機器・電子部品用)、ターボライター部品製造(ノズル部分は世界シェアの9割)     | 保有技術自体が原子・分子レベルの技術(数十年前からナノ) 1cm <sup>2</sup> に5μmの穴を2万個→ナノの精度が必要 |
| F 社 | VB I  |          | ・             | ○        |          |          |               | 高耐食性メッキやチタンメッキなどの表面処理製品、DNAチップ等医療関連、プリント基板向け新メッキの開発製造             | ナノテクメッキ(折出結晶配列制御、オングストロームの膜圧制御、折出粒径ナノ制御)                          |
| B 社 | 中堅    |          | ・             | ○        | ・        |          |               | プラスチック光学部品製造(マイクロレンズ、リフレクター、プリズムなど)                               | ガラスナノインプリンティング、フォトニック部品、バイオへも展開、製品はミクロン、精度はナノオーダー。                |
| C 社 | 中堅    |          | ・             | ○        | ・        |          | ・             | 高精密ガラス、WDM光学素子、光制御部品、デンタルミラー・液晶プロジェクター用反射鏡                        | 薄膜技術、ガラス中の結晶粒子の大きさが、ナノ～サブミクロン、ナノガラスに挑戦中                           |
| L 社 | VB II |          | ・             | ○        |          |          |               | マイクロチューブ製造(半導体デバイス用部品、バイオ、工業用ディスペンサー用ノズル)                         | マイクロチューブの面粗度:0.27μm(270nm)                                        |
| T 社 | 小規模   |          |               |          | ○        |          |               | 工作機械製造(超精密非球面施削盤、超小型CNC旋盤、高速サーボ機械等)                               | 超小型精密CNC旋盤の加工精度ナノオーダー実現(真円度90nm、表面粗さ20nm)                         |
| D 社 | 中堅    |          | ・             |          | ○        |          | ・             | アルミ電解コンデンサ用リード端子のシェア世界トップ他に光ファイバー用部品(多芯キャピラリー・ファイバアレイ)            | 光ファイバーはミクロンオーダーだが、接続用の穴の精度は0.5μm～0.3μmとナノレベル、ナノガラスにも挑戦中           |
| R 社 | 中規模   |          |               |          | ○        |          |               | ビーズミル(湿式 微粉砕・分散機)を中心とする粉体処理機械を製造                                  | ビーズミル(湿式微粉砕・分散機)でナノ領域(数ミクロン～数十ナノ)を実現                              |
| H 社 | VB I  |          | ・             |          |          | ○        |               | 装置事業;(高分解能電子線描画装置、EBマスタリング装置、面電子源EBリソグラフィ)、受託事業;(光集積デバイス等の精密微細加工) | 電子ビーム描画装置の開発、Åのパターン制御(0.0012nm)、面露光用シリコン粒子(径4nm)                  |
| U 社 | 小規模   |          |               |          |          | ○        |               | STM、SPM、AFM等の顕微鏡製造、STMは国内で初めて完成、STM国内トップ                          | AFM、STM製造能力(ナノ世界の観察)、高速分光測定装置(フェムト秒で測定)                           |
| M 社 | VB II |          |               |          |          | ○        |               | 電子顕微鏡の観察受託(試料作成、撮影、試験、検査、分析)、技術指導、コンサルティング                        | ナノオーダーの粉体粒子測定、ナノチューブの形態構造解析                                       |
| P 社 | 大規模   |          | ・             |          | ・        | ○        |               | 光学ガラス、シリコン、フェライト、アルミナ、ジルコニア、等の広義セラミックス素材の加工サービス、及び産業機械販売          | ナノカーボンなどナノテクの研究会に参加、ナノテクの応用を研究中、研磨では表面粗度10nm～70nm達成               |
| E 社 | 中堅    |          |               |          | ・        | ○        |               | 航空、宇宙から産業用、レジャー用まで使われる各種電気計器、アクチュエータ、ACサーボモータ、制御機器製造              | CNTを金属や樹脂に混ぜるなど試行錯誤中、角度の分解能:ナノ精度(10億分の1度)                         |
| V 社 | 小規模   |          |               |          |          | ○        |               | 特殊シリンダ等の空気圧機器、自動制御機器等の設計製作、超音波モーター応用ロボットの開発                       | 機械加工はサブミクロン精度を手動で実現 CNTに関心高く、応用方法を構想中                             |



事例先一覧 続き (生産技術、動機・経緯、背景・考え方事業内容)

| 事例先 | 生産技術                                                        | 動機・経緯                                                  | 背景・考え方                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| I社  | 液相合成、気相合成、CVD 電子顕微鏡でナノを見るという技術(TEM、SEM)                     | チャレンジ精神、大学で研究論文を書いていても直接役に立つわけではない、起業する方が面白い           | CNTの液相技術は当社が専有実施権保有、この市場は国の補助金頼み、役に立つかは現状不明                    |
| J社  | 分析化学と超微粒子の技術(分散、自己集合、自己組織化)、小型超純水精製装置と卓上クリーンベンチ、新開発の専用測定機保有 | リストラで大学に戻り、VB立ち上げ(京都企業家学校第一期生 京都市V企業目利き委員会でA認定獲得)      | 新技術で、従来製品の置換市場を狙い、ライフサイエンス分野の基幹技術を目指す                          |
| K社  | ダイヤモンドの一次粒子の水中分散爆発法                                         | 工具等に応用可能な世界初の成果を社会に還元する(過去40年間出来なかった)                  | ダイヤモンドは最も硬い物質で他の人がやっていない分野。超高精度研磨砥粒などの用途を想定                    |
| A社  | 亜鉛、リチウム、マグネシウムなど非鉄金属等無機物、及びタウリン臭素等有機物の取扱技術 電池の正極材           | 大手商社トップからフラーレンについての打診があり、当社トップが即応諾                     | 新しいものや大企業がやらないことに取組む伝統 フラーレンの応用分野が既存分野と重なり、従来の延長感覚で取組む         |
| Q社  | 射出成形(シムゲート)バリが出ない工夫をした当社の成形機)、静電気関連技術                       | 大手商社の説明会に行った担当者の報告を鶴呑みにせず、社長自ら視覚、触覚で確認、練り込むという着想に到達    | 企業を支える柱が1つしかない、今後陳腐化したらおしまい R&Dが大事 絶えずこのことを頭に入れて仕事             |
| G社  | 樹脂成形インクジェット製造技術(世界初)、アモルファスカーボン射出成形技術                       | 99年受注激減、資金調達での苦労から下請け脱皮を決意 商工会議所経由で大学研究室に行ったことが転機      | 金融で苦労しないように、ナノテクをバネにする戦略 優秀な若者が集まり、VBとして独立でき、将来展望等の発信ができる会社を志向 |
| O社  | 粉体処理技術、ナノレベルからの微粒子ハンドリング、精密混合、乾式表面改質                        | 一貫して本業である細分化する技術を追求、ナノテクは以前から意識、新技術採用でナノの世界に           | ナノはあくまで単位 どうすれば細かくできるか、どうすれば楽に取扱いできるか 絶えず研究                    |
| N社  | 各種金属や誘電体の真空蒸着(→光学・物理特性を付与)                                  | 光学関係の企業にて営業職に従事、人脈を活かして独立、VB起業                         | ユーザーニーズに合わせた試作、単品受注生産                                          |
| S社  | エレクトロフォーミング、LIGAプロセス(金属折出技術、UV露光、フォトリソグラフィ、射出成形を合わせたもの)     | 帰郷して職探しをするも無く、所有技術(エレクトロフォーミング)で超精密部品を作る会社を起業          | 微細化の流れがあることは間違いない ナノ粉末はすぐ対応可能 現実はまだミクロンレベル ナノレベルのニーズはまだこれから    |
| F社  | 高耐食性メッキ、チタンへのメッキプロセス 新メッキ技術 電鍍法、MEMSナノ金型 次世代金属強化技術          | 量産品の下請加工時代、ユーザーの指示に対し、逆提案するも無視される そこで、高付加価値事業への脱皮を決意   | 今メッキでできないことを工夫して新しく開発する 他社のやれないことをやる 次々と技術を高度化し続ける これが生きる道     |
| B社  | 光学設計、超精密加工(三次元ナノ加工、エッチング、電子ビーム、薄膜コーティング)、オンダストルーム精度のCAM     | 社長が非球面レンズに挑戦して以来、光学関係に特化 その中で自然とナノテクに関与                | ユーザーのニーズありきで設計、後は現実化する手段を追及していくとナノテク(レーザーアブレーションなど)に行き着く       |
| C社  | 球面蒸着技術(当社独自技術)、ガラス製造、成形技術、真空蒸着、イオンプレーティング、膜設計技術、表面処理技術      | 紫外線吸収ガラス、結晶化ガラス、波長の1/4の厚さの薄膜を作る必要→そこはまさにナノ領域           | はじめからナノテクというより、客の厳しい要求に応えようとして、技術を極めていったら、結果的にナノテクの世界であった      |
| L社  | 電気鋳造法、マイクロチューブ切断技術、内径面金メッキ技術                                | 当該技術事業化に関する相談を受け、市場調査を実施、開発資金を支援、その後直接経営に関与            | 既存のパイプ延伸法の限界を超えた細径化及びニーズに対応した内外径の組合せが可能、精密・微細チューブの潜在ニーズの大きき確信  |
| T社  | ビジュアルベリック及びガリルボードによる制御ソフト技術                                 | 下請けからの脱皮を模索 大学の先生に誘われて出席した米国精密工学会でナノの時代だと認識、ナノをやろうと決意  | 防衛産業の仕事で先行に強い不安 工作機械業界も韓国・台湾へ技術移転、需要変動大                        |
| D社  | 石英粉体を焼結する技術(手作業、視力が必要な技術 精密成形技術(クリーンルーム中で成形、電気炉で焼結させる))     | 社長が産学連携に熱心、社長が懸念にしている大学の先生のアドバイス 光通信業界の人がたまたま見て「使えそうだ」 | 専門ゆえに、先行不安が強い 競合技術出現の恐怖を背景にR&Dに注力、共同開発の話があると、面白そうだと開発費を出す風土    |
| R社  | ビーズミル(湿式微粉砕・分散機)で、微粉砕、分散、混合、混練、攪拌する技術                       | 粉砕技術の追求、細かい領域の粉砕・分散に特化する戦略                             | ニーズの微細化に対応することによって、国内素材メーカーの高付加価値創造をバックアップ                     |
| H社  | 弾道電子発生機構(4nmシリコン粒子、自己組織化製法開発)、電子ビーム関連技術                     | 電子ビームの超微細加工の時代が来るとの信念で、スピンアウト、技術先行ではなくユーザー主導の開発を志向     | ユーザー指向の会社を作るという使命感 ユーザーニーズ追求の結果が高評価の獲得、さらに、面露光の開発に繋がった         |
| U社  | 測定機器製造技術(真空技術、試料処理付属品製作技術等、電気回路とソフトと機械加工を総合した技術)、圧電素子       | SPMのニュースを開き、これから伸びると直感、開発に着手 国内で最初に製品化、引き合い殺到 トップメーカーに | 今のナノテク予算は大半が建物や組織構築向けに費消 今後は予算が測定器に回ってくると目算                    |
| M社  | 電子顕微鏡の専門受託(形態観察、構造解析など)、TEM、SEM、X線検出器など                     | 観察技術の蓄積と中古装置取得の目処を立てて起業、大学発VB                          | 電子顕微鏡は高価、使用頻度少なく、試料作成と観察に熟練が必要、外部委託向き                          |
| P社  | 超微細加工、超精密加工(ポリッシング鏡面仕上げ加工、イオンプレーティングなど)                     | 講演会等に幅広く参加、大学や地公体との関係構築→ナノテク研究会に参加要請                   | 加工素材はビジネス上の大きなポイント 新素材は絶えず研究して行く必要 ナノカーボンも新素材であるから当然チャレンジ      |
| E社  | アンテナ角度制御、位置制御、速度制御 精密機器要素+電子回路+制御技術の3つをハイブリッドしたもの           | 研究会に参加に熱心、CNTの研究会がスタートしたので、いつものように参加した                 | CNTの多様な特性を活かせれば、二大ユーザー(航空宇宙と自動車)の厳しい要求(信頼性、高性能軽量化、対振性)に応えうる    |
| V社  | 超音波アクチュエーター(ミクロンオーダーで制御)、自動制御機器開発技術                         | 微細ニーズ、制御技術、加工、設計のどれをとってもこれからはナノテクが必要 CNTの特性に注目         | 従来型の下請け仕事では、反復作業の中で受注単価は低減 お客に喜ばれるようなものづくりの提案が必要 CNTは面白いのでは    |

(出所) 事例調査に基づき (財) 政策科学研究所作成

以下では、ケース別にそれぞれ特徴のある個別事例について紹介する。

## 1 ナノ素材に取り組む

この分類は、基礎研究に近いところに位置して用途開発を展望するケースとより実用化に近く量産化・用途開発に携わるケースに分かれる。前者にはベンチャー企業が、後者には既存事業からの参入組が該当する。ベンチャー企業ではI社を、参入組ではA社とQ社の例を採り上げる。典型的なナノテクであり、全体として基礎研究から応用研究、用途開発の段階にあり、本格的な実用化の段階にまで進むには時間がかかりそうである。

### (1) 基礎研究で活躍するケース

#### (ア) CNTの新しい製法開発に挑戦する事例——I社

【概要】当社は大学発ベンチャーである。代表者は大学講師から起業した。事業内容は、気相合成法によるCNTの製造と応用開発を手がけるほか、国の研究機関から液相法というCNTの新製法開発事業を受託している。また、得意の計測技術を活かして、電子顕微鏡の観察受託サービスも行う。液相法については当社がその専用実施権を有していることが強みとなっている。

【動機・経緯】当社の代表者がナノテクに関わるきっかけは、大学在職中に国の研究プログラムに参加したことにある。そこで長いこと「ナノ」の世界を見る仕事に従事、その過程でCNTを研究するようになり、論文を発表してきた。論文が公刊されると当初はそれが喜びであったが、直接社会の役に立つわけではないことをもどかしく思うようになり、一大決心して起業したもの。起業した後も大学とのつながりが続いており、CNTの観察・評価に使う高価な装置については大学の設備を利用している。教官も兼務していたが現在は企業経営に集中している。

【ナノテクの見方】現在のマーケットは国の補助金で回っている面がある。CNTについてはいろいろな結果が報告されている。CNTが本当に役に立つかどうかは現状ではまだはっきりしない状況にあるという。

【経営戦略】顧客の要望にあったCNTを製造し、顧客の評価結果をフィードバックさせながらCNT製造法に反映させていくという方針を掲げている。

#### (イ) その他の事例

- ・ J社は、大学研究室をベースに離職者が個人で創業したという経緯を持ち、研究の過程で発見した機能の実用化を目指す大学発ベンチャーの一つである。この機能を使うことで従来使われていた蛍光色素の持つ問題点を解決することができるという。IIでみた置換市場及び研究開発型市場がターゲットである。
- ・ K社も大学発ベンチャーである。高純度の一桁ナノダイヤモンド単結晶の量産に世界で初めて成功したが、これは基礎研究の一種なので、むしろ勝手知った道であつ

た。これから用途開発という未知の分野に足を踏み入れるので、経験者の助言を求めている。

## (2) 応用開発で活躍するケース

### (ア) 商社との連携を活かしたフラーレンの量産化事例—A社

【概要】当社は創業から数えると80年を超える伝統ある企業である。当社は、亜鉛粉末の事業化でスタートし、非鉄金属の精錬に取り組み、現在は有機・無機化合物を製造している。主な製品分野は、リチウム化合物、亜鉛化合物、ストロンチウム化合物、フラーレン、医薬品中間体、リチウム二次電池正極剤などである。ナノテク部門ではフラーレンとCNTをアーク放電法により製造している。フラーレンについては、大学や他社と共同で、ガンの治療薬、燃料電池、化粧品などへの用途開発を進めている。当社のフラーレンを使用したゴルフクラブヘッドは取引先が製品化した。

【動機・経緯】大手商社のトップから話があり、当社トップが即断即決したことが始まりである。商社は知的財産権関係のとりまとめと資金提供を、当社はフラーレンの生産を引き受けるという役割分担で合意したものの。当時、フラーレンはグラム300万円もしたのでどこもやろうとすることがない中での決断であった。

【背景・考え方】フラーレンに進出できた背景をみると、まず、創業以来、その時代の新しいものに挑戦する当社の伝統がある。また、意思決定のスピードや「最新の技術を駆使」することを経営理念で謳う風土も預かっていると考えられる。また、フラーレンの応用分野である電池、医薬、ディスプレイの3分野は、従来から当社の取り扱い分野でもある。このように分野が重なることも進出を容易にした。

【ナノテク実用化に向けた課題】当社は、フラーレンを中心に用途開発を進めているが、現状は置換市場が中心になるため、置換に伴う問題が出て来るという。既存の商品より機能がアップしても、既存商品の価格に引きずられる可能性があり、うまみを十分とれないリスクがあること、既存商品の供給サイドは既存商品が売れなくなることを恐れ、置換商品の出現を喜ばない場合がありうること、フラーレンのように他の部材に混ぜて使う場合、たとえ量産してもそのロットはたかがしれていること、等である。今後の展開については、ナノ素材に関わる新規市場を創造できるか否かにかかっているという。

### (イ) 商社と役割分担しながらCNTの応用開発に成功した事例—Q社

【概要】当社は、業歴40年を超える静電気関連機器と射出成形装置の開発型企業である。当社は、プラスチックのチリ・埃対策、IC・液晶の絶縁破壊対策などの静電気対策とシリコンゴムなど弾性のあるゴム系の成形を得意とする。このゴムの成形装置を使って初めてCNTをゴムに混ぜることに成功し、中小企業でCNTに関す

る応用試作の第1号となった。このCNT入りゴムは半導体製造装置や液晶パネル、プリント基板などで使われる静電気除去装置への利用や携帯電話などの電磁波防止用具などへの応用が検討されている。

【動機・経緯】大手商社が、中小企業のものづくり能力を活用したCNTの用途開発を進めようとして、当地区で説明会を実施することになった。関心を示した当社は当初、担当者を参加させたが、スス状のCNTを見た担当者は自社技術との関連が分からないと社長に報告している。しかし、社長はその後自ら出向き、視覚と触覚で直接確認したところ、ゴムと混ぜてみようと思ったという。即開発に取りかかり、見事に混ぜることができ、パテント取得に結びついている。ナノ素材の用途開発は中小企業向きというIIでの指摘の正しさを実証した事例といえる。

【背景・考え方】当社は早くから下請けから抜け出し、開発型の企業として生き抜いてきた。以前と異なり、現代は新しいものを一つ開発してもせいぜい3～4年しかもたないという。開発型の企業にとって開発は休むわけにはいかず、常に「何ができるか」について考えているので、研究開発という作業自体に慣れているものだという。こうした背景が、スス状のCNTをゴムに混ぜると言う発想に繋がっていると考えられる。ススのままでは何も生まれないがゴムにすればどんな使い方ができるか誰にも見当がつくようになるという発想は、絶えず開発を念頭に置いて経営しているからこそこの発想といえよう。

【経営戦略】企業を支える柱はいつかは陳腐化する。柱が一つでは安泰とはいえない。7～8割の業務で力を付け、残りは開発投資に回す必要があるという。また、営業強化という観点から独特の工夫が見られるのも当社の特徴である。すなわち、営業という「ものを売る能力」は人それぞれであり、わかりやすく説明できる能力などは簡単には身に付かない。「営業や販売にもスキルという技術が必要である」という考え方に立ち、営業に必要なステップと技術の平易な解説をビジュアル化して簡単な講習を実施し、ビデオを携行させることにより、誰でもセールスエンジニアとして営業できる態勢を取っている。

## 2 半導体微細加工で蓄積された技術<sup>37</sup>を採用する

この分類には、下請けから開発型企業への転進を図る手段として半導体系技術というナノテクを採用したケースと微細化というはっきりした目標を持ってその実現手段として半導体系技術を採用したケースが見られた。前者がG社、後者はO社の例である。新技術の採用に当たり、両者とも産学連携をうまく活用して自社の開発力を高めている。

なお、本節ではこのタイプに最もふさわしい事例として2社を取り上げたが、事例先

<sup>37</sup> 電子ビーム、集束イオンビーム、エキシマレーザー、フェムト秒レーザー、イオンエッチング、リソグラフィ、レーザーアブレーションなど多彩な技術が活用されている。ナノテク関連用語集参照。

一覧表に見られるとおり、今回たまたま従たるケースに分類した企業を含めると、この技術を駆使する企業は少なくないといえる。

## (1) 開発型企業への脱皮手段として半導体系技術を採用したケース

### (ア) 集束イオンビームなどナノテクを下請け脱皮の手段にできた事例——G社

【概要】G社は、硬化性樹脂成形材料メーカーであったが、現在は、熱硬化性超精密射出成形材料、集束イオンビーム※によるナノ金型（MEMSの一種）、光磁気ピックアップデバイス、ビデオカメラの駆動部分などを製造している。樹脂成形によるインクジェットのヘッド部品の製造技術は世界初であり、ヘッド部品のノズルは径が20 $\mu$ m、ピコリットル単位<sup>38</sup>の着弾精度で微量液滴制御が可能である。

【動機・経緯】電気メーカーなどからの受注量が激減し、危機感が増大したことが直接の引き金となって、量産下請けからの事業転換を決意した。新事業を探そうと地域支援機関に紹介された大学を尋ねたことが転機となり、インクジェットヘッド部品の実装技術の開発に邁進、ナノ加工技術やナノコンポジット※などのナノテクを生み出している。

【背景・考え方】受注量が激減した当時、金融調達で苦労したことを背景に、金融調達が容易になるような企業への変身を決意したこと、及び、下請けは行わず、共同開発のパートナーとしての立場を取ること、若者が将来スピナウトする夢を持てることという理念を固め、そのための実践を行ってきたことが挙げられる。この結果、当社には大学院卒業の学生が入社するようになっている。

【ものづくりへのこだわり】ものづくりは工程の前後関係が大事であるという。材料、金型、成形、デバイスという流れの中で、その一部だけをやるというスタイルは高度成長期までのビジネスモデルであって、現在は全工程を視野に入れてこそ新しいものを生み出せる時代だ。当社は取引先の厳しい要望に合うように材料段階からどこにも売っていない新しいものを開発する。射出成形は自社製機械で行い、金型は従来技術では対応できないのでMEMS※のようなナノ加工を施した金型を開発した。このような全工程をにらんだ対応力、開発力がナノテクという手段を身につけた原動力であると考えている。

## (2) 微細化をナノレベルまで進めるために半導体系技術を採用する

### (ア) レーザー技術を活用してナノテクを実現した事例——O社

【概要】O社は80年前から一貫して粉体処理技術の開発に努めてきた技術開発型の專業メーカーである。当社は粉碎・分級、乾燥等の粉体に関する機械式技術を専門に蓄積してきた。先端技術分野では新素材開発がクローズアップされてきており、粉

<sup>38</sup> ピコリットルは一兆分の一リットルのこと

体処理に対するニーズは、より微細化する方向にある。またこれからはナノがらみのニーズが増えると見て、レーザーアブレーションシステム<sup>39</sup>を米大と共同で開発している。この装置はナノオーダー粒子の生成、ナノ複合化合物の生成、基盤表面や微粒子表面へのナノコーティングが可能であり、紫外線レーザーを使用している。

【動機・経緯】ナノテクについては以前から意識していた。20-30年前から機械的に細かく粉砕していくとどうなるかという議論をしている。細かくすると表面活性が変わり、性質が変わることが分かり、開発に熱が入った。当時機械式では3マイクロメートルの壁があるといわれていた<sup>40</sup>が、何か方法があるだろうと考え独自に研究してきた。そこでたどり着いたのがレーザーアブレーション<sup>\*</sup>である。付き合いのあった国内大学経由で米大から共同開発の声がかかったもの。

【新技術開発の成功要因】これからはナノレベルにまでニーズが広がるという先を読む力、粒子を微細にするという技術を磨き続けてきた一貫性、国内大学との密接な関係構築、ミクロンの壁を突破する何らかの方法があるという見当力、こうした要因が複合して米大との共同研究が成果を得たものとみている。

【ナノテク実用化に向けた課題】粉体処理技術は粉砕・分級、乾燥、混合・造粒・整粒、集塵、表面改質など多岐にわたり、どんな材料を使って何をするかはユーザー次第である反面、ユーザーに技術特性を理解してもらうまでが大変であるという。当社サイドでもユーザーが何をしたいのかが分かりにくく、相互のギャップを埋める苦労がある。当社の幅広い製品ラインを活かした提案営業や、共同研究・共同開発の提案に活路を見いだそうとしている。

### 3 コア技術がナノ領域と関連が深く、技術が深化してナノテクとなる

この分類には、メッキのようにもともと薄い膜を造る技術を持っており、その技術が深化し、新しい技術要素を付加してナノテクとして成長したケースと、光・光学に関する技術が深化したケースがみられた。光の波長は数百ナノオーダーであるが、光に関連する機器は微細で高度な精度が必要になり、ナノテクが求められる。前者に該当する事例として、S社、F社を、後者として、B社、C社を採り上げる。今になってみれば「昔からナノテクをやっていた」ことになるという事例である。

#### (1) メッキ系の技術が深化したケース

##### (ア) 電鍍法をベースに超微細化のニーズに対応する事例—S社

【概要】当社のコア技術は電気鍍造法<sup>\*</sup>であるが、この技術は当社社長が、十数年前に独立する以前に勤めていた企業時代から蓄積してきた技術である。この技術を核に

<sup>39</sup> ターゲット材料表面をレーザーで励起・放出させ、目的基板に分子レベルで材料の薄膜を堆積する方法

<sup>40</sup> なお、当社では従来技術でも百ナノレベルの製品化に成功している。

して、インクジェットノズル、メタルマスクなど医療機器部品、半導体検査機器部品、電子部品向けに幅広く超精密部品を供給している。電鍍法とリソグラフィなどを組み合わせたLIGAプロセス<sup>※</sup>では、波長 0.6nm のX線を使ってリソグラフィの露光を行っている。先端技術に挑戦する開発型企業である。

【動機・経緯】当社社長は、起業する以前に勤めていた会社で電鍍法のプロジェクトに参加していたが、途中でプロジェクトが解散した。そのときの知識を元に起業後もこの技術の研鑽に励み、今日に至っている。電鍍法という技術自体が原子分子レベルの技術であり、昔からナノの世界でやっていたわけで、ナノテクという言葉は後から出てきただけだという。

【ナノテクについての見方】技術の流れとしてはどんどん微細化していくことは間違いない。当社の取り扱い製品自体の大きさはまだミクロンの段階で、ニーズ自体がミクロンで対応可能なものだという。X線にしてもまだ利用価値が議論されている段階であり、X線の特長を生かしきれるマーケットは今のところほとんどない。ただ、当社としてはナノ物質を作れというニーズさえあれば、いつでも対応可能だという。

【ナノテクの課題】自動車エンジンの噴射ノズルは当社のやり方でやればもっといいものが作れる。しかし、いくら性能が良くてもグラム 20 円のものは 20 円でしか買ってもらえないという現実があるという。この点は置換市場特有の問題としてA社でも指摘があった点である。

#### (イ) 世界唯一のナノ微粉体への表面処理技術を開発した事例—F社

【概要】当社は、先代が 50 年前に家内工業として始めたメッキをコア技術に持つ開発型企業である。量産品メッキの下請け時代を経て、現在はメッキバイオペンチャーの側面を持つ。DNAチップ<sup>※</sup>の基幹部品で世界シェア 7 割、チタン表面処理プロセスで同 9 割を占める。当社はメッキ技術を、MEMS ナノ金型に使われる「nm の膜厚制御技術」、DNAチップを製造する「析出結晶配列制御技術」、ナノ触媒用の「Å 膜厚<sup>41</sup>制御技術」などのようにナノテクレベルに深化させた企業といえる。

【動機・経緯】当社がまだ下請けをしていた頃、仕様書の内容に不具合を見つけて提案するも無視されることが重なるようになった。現状を打開するため、いつしか自社技術を活かせる開発型企業へ転進しようと固く決意するようになり、情報収集からスタートして人脈形成と技術開発に注力した。DNA増幅装置部品開発のきっかけは地方公共団体経済部が企画した交流会である。そこで紹介された大学教授と連携して、自社の無電解メッキ技術（＝化学的に析出させる方法）をDNAチップ開発に応用することに成功した。

【ナノテクへの見方】メッキとは元来Åの世界で金属を析出する技術である。一般にナ

<sup>41</sup> Å：オングストローム。ナノのさらに 1/10 の大きさ、100 億分の 1 メートル



ノテクという革新的なイメージが先行するが、シンボリックに採り上げすぎである。技術がミリ、ミクロン、ナノと微細化するのは当然のことである。

また、ものづくりは技術とともにニーズをきちんと捉えておく必要がある。新しい仕事 came 時、どんな使われ方をするのかを把握して初めて、必要な機能が特定できる。そのために如何にして微小なものに必要な機能を持たせることができるか、その加工技術を工夫することが、すなわち結果的にナノテクになるのだという。

## (2) 光学系の技術が深化したケース

### (ア) ユーザーニーズの実現手段の追求がナノテクへの道——B社

【概要】当社は40年以上一貫してプラスチック光学部品の研究開発に従事してきた。

超精密ナノ加工・量産成形加工・評価測定・真空蒸着<sup>※</sup>等の技術をもとにコネクタ、光導波路、マイクロレンズ、レンズアレイなどの微細構造光学素子などを開発製造している。中には、ハワイのスバル天文台のマイクロレンズのような特注品の開発実績もある。当社のナノテクは、非球面の三次元ナノ加工、ダイヤモンド砥粒による金型加工、波面制御に用いるレーザーアブレーション<sup>※</sup>、エッチング<sup>※</sup>加工、回折格子<sup>42</sup>向けの電子ビーム加工などで、機械加工・成形加工や半導体系技術を駆使してナノオーダー精度を実現している。

【動機・経緯】現社長が以前から不可能といわれていた非球面レンズに挑戦していた。以降、光学に特化し、光学関係という環境の中で自然とナノテクに関わってきたという。最近では当社のナノテクが注目され、レンズだけでなくバイオなど他の応用分野の引き合いが来るようになってきている。

【背景・考え方】光の波長が数百ナノメートルであること、光を制御するにはナノオーダー精度が求められるという環境があったことに加えて、当社には市場が求めるものを追求する、設計を重視するという方針があり、ユーザーの厳しい要求をクリアしていく過程でナノの領域、ナノテクに到達したといえる。技術戦略をみると、転写技術・金型加工・金属機械加工でそれぞれナノオーダーの精度を追求し、リソグラフィ<sup>※</sup>・エキシマレーザー<sup>※</sup>は大学と連携中など、設計技術と生産技術の開発を重視している。

当社の考え方でユニークな点は「ニーズを取り入れた光学設計であれば、設計に必要なことは現時点の技術水準に縛られずに自由に設計せよ」という点である。その結果、2nm という精度が必要になり、ナノテクが生まれる。設計重視ということとはニーズ重視と同義であるという考えかたである。

【ナノテクの課題】当社の技術はトップダウン型のナノテクであるが、現状のボトムアップ方式については、分子を一つ一つ操作する時間がかかり過ぎであり、ビジネ

<sup>42</sup> 回折格子とは、光を波長ごとに分波する（分ける、選択する）光学素子のこと

ス上応用できる分野については見極めが大事であるという。

#### (イ) 取引先の打診を契機に表面処理を手がけたことがナノテクへの道に――C社

【概要】当社は、昭和初期に工芸ガラスメーカーとして創業、現在は工業用特殊ガラスと多層膜蒸着製品を製造する。主力製品の一つである高耐熱高破壊靱性結晶化ガラス反射鏡は、数百 nm の結晶粒を析出したガラスでナノテクを先取りした製品である。熱を透過させ光だけ反射させる反射鏡（コールドミラー）の分野で世界のトップシェアを有するニッチトップ企業である。反射鏡にはガラスに真空蒸着<sup>※</sup>等の成膜技術を用いて酸化チタン等の多層薄膜を形成する。当社のナノテクは、厚さ100nm 程度の多層薄膜を利用したコールドミラーの他、ナノメートル精度の制御が必要な光通信用多層膜フィルターがあり、さらにはナノガラス国家プロジェクトの中でフェムト秒レーザー<sup>※</sup>によるガラス中の微粒子析出や光導波路、光回折素子等の導入という最先端のナノテクにも挑戦している。

【動機・経緯】当社も先代が社運をかけてガラスにコーティングするマルチコートという薄膜形成技術分野への進出に踏み切るまでは、普通のガラスメーカーであった。当時、取引先の照明器具メーカーは、当社にガラスを、別の会社に成膜を発注していたが、生産量が増大し、当社にも両方やらないかと打診してきた。このときの決断が現在の当社発展のベースとなっている。当社がナノテクに到達したのは、この薄膜の機能追求の結果である。薄膜の厚さが赤外線や紫外線を透過したり、反射させたりする機能を左右する。そこで様々なニーズに応じて薄膜の研究開発を進めたところ、ナノテクの領域にたどり着いていたという事例である。当社がナノテクの国家プロジェクトに参画できたのもこうした技術的蓄積があったからである。

【背景・考え方】先代が薄膜生産への進出を決意した背景には、もはや単なるガラス製造では生き残れないという見極めと、取引先からの打診を新事業展開への突破口にするという果敢なる経営判断とがある。現在は「光を科学する」企業を標榜して、来るべき光の時代に備えている。

#### 4 加工精度の追求によってナノテクに近づく

この分類は、従来型の機械加工において、精度を追求した結果、ナノオーダーの精度を実現できたケースと超精密成形でナノテクに近づいたケースがある。ここでは前者としてT社を、後者ではD社を紹介する。いずれも現状に危機感を強く抱いて新事業を目指している点に特徴がある。

(1) 機械加工の精度を追求して、ナノオーダーの精度を実現したケース

(ア) 米国の学界で聞いたナノという言葉に触発され、挑戦した事例——T社

【概要】当社は、熟練工のキサゲ・ラップによる精密加工及び若手技術者の制御ソフト構築を得意とする、超精密工作機械及び精密工作機械の製造販売業である。現在は、大手企業からの受注以外に自社開発を手がけ、開発型企业としてナノ精度を目指している。表面粗度 30nm の超小型精密 CNC 旋盤、分解能 2 nm の高速工具サーボ機構、分解能 1 nm の超精密非球面旋削盤などを開発、また、20cm×30cm の大きさの卓上式工作機械などで構成するマイクロファクトリーで省エネ・省スペースを提案している。

【動機・経緯】研究などで付き合いのあった国立研究機関から紹介された大学教授から、米国精密工学界へ誘われたことが契機となった。ミクロンでなくナノという発表を聞き、これからはナノの時代なのだと実感し、ナノテクを事業にしようと決意した。その後、内外の学界での情報が役に立ち、助力を受けながら自社開発を進めた。開発ができるということで人材が集まり、優秀な学生や博士号を持つ人まで入社するという。

【背景・考え方】当社の場合は、国際関係の激変などで受注環境の先行きに大きな不安を抱いたことと、工作機械についても中国への生産拠点シフトや需要変動の波が大きく、現状のままでは立ちゆかないという危機感を強めたことが背景にある。学界など社外の人脈を活かして情報収集に努め、いち早く時代の流れを掴んで自社開発に進出しようと決断したことがポイントである。

【ナノテクの見方】微細加工の進展をみると、どんどん微細化の方向にある。自動車部品は 70-80 ミクロン、精密部品は 10 ミクロン前後、世間で超精密というと 1 ミクロン前後といわれる。しかし、1 ナノメートルを作ることと並行して測定することができるようになったことも大きいという。

(2) 精密成形技術を武器に光産業への参入を果たし、ナノテクに近づいたケース

(ア) トップシェアに安住せず新事業進出で精度を追求した事例——D社

【概要】当社は、設立以来 40 数年間、アルミ電解コンデンサ用リード線端子を製造する世界のトップメーカーである。設備機器類の自社開発の蓄積が競争力を育んできた。その後、この製造技術や革新的なセラミックス技術をベースに半導体に使われる次世代ボンディング・キャピラリー※を開発、続けて光ファイバーの接続部品であるフェルール※、光ファイバーアレイ※で光通信産業に進出を図る。当社の強みは精密スラリーキャスト法という成形技術であり、ジルコニアや石英ガラスの微粉体を焼結する。多数のファイバーを同時にアレイ化できるマルチホール技術を開発しており、ホールの精度アップを実現できたことが強みである。要求精度は 500nm 程度であるが、この技術が梃子となってナノテクの国家プロジェクトに参加することが

できた。

【動機・経緯】当社は世界トップのシェアを有する特定部品生産に依存してきた。それだけに社内には競合技術の出現に対する強い危機感があった。当社がフェルールに進出するきっかけは、当社の次世代ボンディング・キャピラリーを、光通信業界の人がたまたま見て、使えそうだと判断してくれたことにある。他社技術にない特性を有するため、評価が高く、本格的なナノテクに近づくこととなった。

【背景・考え方】当社は、トップから社員まで危機感を共有していたこと、また、新規事業案件には「面白そうだ」ということで開発費を出し惜しみしない風土が醸成されていたことに加えて、創業から培ってきた精密加工技術の素地が光産業への進出を可能にしたといえる。

【経営上の課題】光関連市場には市場の拡大を期待して多くの企業が参入している。このような市場環境の中で競争力をつけていくためには、適切なパートナー探しとともに安く作るための仕組み作りなどR&Dが大切である。素材メーカーはその素材が最終的にどのように使われるかについて教えてもらえないケースが多い。これではせっかくのアイデアが活かせない。そこでデザイン・インのように素材サイドが提案できる仕掛けを考えていく必要があるという。

## 5 ナノオーダーの計測技術を持つ

この分類には、顕微鏡などの機器類を製造するケースと顕微鏡を駆使してナノの世界の観察・評価を受託するケースがある。前者ではU社の例を、後者ではM社の例を紹介する。

### (1) ナノオーダーを観測できる計測装置製造のケース

#### (ア) STMを我が国で初めて開発、トップを維持している事例——U社

【概要】当社は、高速分光機器の製造からスタートした測定機器の専門メーカーである。現在は、国内で最初に製品化したSPM(走査型プローブ顕微鏡)<sup>43</sup>、ナノ秒時間分解分光測定装置、等を製造している。

【動機・経緯】1981年にIBMの研究者がSTM(SPMの一種、走査型トンネル顕微鏡)を使って「世界で初めて原子を見た」と発表して世界に衝撃を与えた。このニュースを聞いた当社社長は、従来の当社主力製品である分光機器とは畑違いながら、開発に踏切り、3年後には国内で最初の開発に成功する。展示会に出展したところ、引き合いが殺到した。その後は研究者のニーズに合わせたセミオーダー的な手法が強みとなり、国内トップを維持している。現在は、STMの観察対象は導電

<sup>43</sup> Iで言及したSTM、AFMはSPMの一種である。プローブとは探針のこと、走査型とは、針の先でなぞりながらものを見るというイメージの顕微鏡

性のものに限られるため、絶縁物でも観測できるAFM<sup>\*</sup>を開発している。

【背景・考え方】SPMは研究者の目に相当するものであるから安定した需要が見込めるということと、SPMに使われるピエゾ素子<sup>44</sup>について学生時代に研究経験があり、卒論を書いていたことから、開発に踏み切っている。

【顕微鏡の市場、技術、プローブ】SPMは、研究用市場が主体であるので、台数が多く出ない、ニーズが絶えず変わるという問題を抱える。複合的技術であるために真空や光などの技術が必要である。SPMはプローブがポイントであり、現状はタングステンやシリコンを使っている。新素材として注目されているCNTは、汚れにくい、反応性がないという良い面もあるが、すぐ折れる、高い、使いづらい、という欠点がある。しかしながら、バイオの場合、CNTは使い勝手がよく、要は使い道次第だという。

## (2) 観察技術で受託を始めたケース

### (ア) 熟練を要する電子顕微鏡の観察を専門に受託する事例—M社

【概要】当社は、大学発のベンチャー企業で、社長は電子顕微鏡の利用技術に関する専門家として受託サービスを起業した。透過型電子顕微鏡、X線検出器などの装置を保有し、バイオからナノ領域までを専門として、観察のための試料作製から形態観察、検査・分析などを受託している。

【動機・経緯】顕微鏡観察に長いこと従事してきたために取扱商社とのパイプがあったことで、機械装置を安く仕入れる目処ができたことを契機として、独立を決意した。

【背景・考え方】電子顕微鏡は高価な割に使用頻度は高くないことに着目し、試料の前処理工程とその観察には熟練を要することからアウトソーシングの需要はあると考えた。また、機械装置の仕入れを工夫し、サービスコストを下げることもできたことも起業を後押しした。

【受託市場】受託先は、顕微鏡の観察を必要とするところである。従って取引の大宗を占めるのは、化粧品会社などの企業、大学研究室、メーカーのクレーム対策部門、国立研究所、等様々な研究所である。

## 6 ナノ素材への関心が高い

この分類には、機械加工をコア技術に持ち、顧客の抱える問題解決の手段としてCNTやその他のナノテクの利用を研究しているケースと、制御技術などをコアに持ち、顧客のさらなる制御ニーズに応えていくために、素材の見直しを研究していく中でCNT

<sup>44</sup> ピエゾとは、「ピエゾ圧電効果」あるいは、「ピエゾ逆圧電効果」を示す略称。ピエゾ圧電効果とはある結晶に機械的圧力を加えると電荷を発生することをいう。ピエゾ素子とはこの効果を応用した素子のこと、精密な位置決めなどに使われる。

を研究しようとするケースとがある。前者ではP社を、後者ではE社を採り上げる。両社とも顧客の厳しい要求を満たしていくには材料素材段階からの見直しが必要であり、CNTは格好の研究対象と見ている。

## (1) 機械加工をコア技術に持つケース

### (ア) ユーザーが困っている問題に使えるかもしれないという見方—P社

【概要】当社は、電子材料の切断から出発した会社である。事業部門は加工サービス部門と産業機械部門がある。電子・光学関連産業向けに超精密加工、超微細加工の加工サービスを行う。切断・研削・研磨・接合・成膜に関する加工技術を持つ。当社のポリッシング鏡面加工は表面粗度が10~70nmを達成しており、加工精度の点で既にナノテクに該当している。

当地域では、現在、地域支援機関が中心になってナノテクフォーラムを開催している。大学研究室を中心にしたナノテクの勉強会であるが、当社はそのフォーラムの幹事を務めるなど、ナノテクへの関心が高い先進企業の一つである。

【ナノ新素材への関心】当社にとって加工素材はビジネス上の大きなポイントであり、新素材は絶えず研究していく対象である。ナノカーボンも新素材であるから当然チャレンジする。光学部品ユーザーは明るさ、耐熱・放熱、強度など絶えず問題を抱えている。CNTの熱伝導性を利用することで新しい貢献が可能になるとみている。

【関心の背景・経緯】当社は広義のセラミックスを扱う。加工素材は石英ガラス、水晶、ニオブ酸リチウム、酸化マグネシウム、シリコン、フェライト、チタン酸バリウム、窒化珪素、アルミナ、圧電セラミックス、と多彩である。周期律表などに関する知識は必須であり、ナノテクに関心があつて当然であるという。

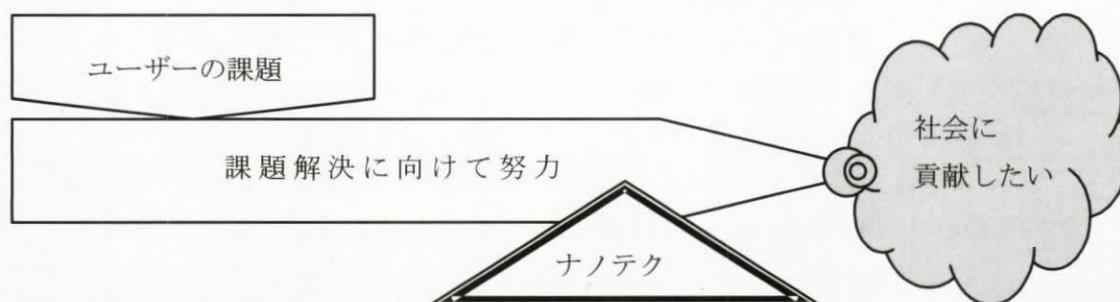
ナノテクの研究会に声がかかる背景には、地方公共団体関係や関連の勉強会などによく顔を出すので、関係者とも自然と顔なじみになっていることがある。

【ナノテクへの見方】現状は、やや話題先行である。当社は、ナノテクという言葉が出てくる以前から、超微細加工、超精密加工をやってきた。こういう微細な世界を解き明かして、人間社会に貢献できるかどうか問われる。ナノカーบอนは応用範囲が広い。イノベーションを起こす材料として期待している。ナノテクをやるには機械のことだけ解っているという人にはできない。物理の知識も化学の知識も両方必要だ。当社はもともと広義のセラミックスを扱っている企業なので、幸い、物理と化学の両方に強い人材を揃えている。当社にとって加工素材はビジネス上の大きなポイントである。新素材は絶えず研究していかなければならない。従ってナノカーボンもチャレンジしていくことになる。

【経営戦略】当社は、電子部品メーカーとしてでなく、加工サービスに徹する戦略を採る。電子部品のように明確な事業は、いつか中国にシフトされる、また、自分で販

路を開拓しなければならない。加工サービスに徹していれば、ユーザーが困った時に向こうから声をかけてくれる。「何をやっているかわからないが相談すれば応えてくれる」、それが逆にビジネスになる。また、ナノカーボンという新素材だけを見るのではなく、もっと幅広く新しい技術動向を視野に入れて行くことによって、産業社会、人間社会に貢献していきたい。その技術動向で大きな注目を浴びているのがナノテクだ、という位置づけである（図表 IV-3）。

図表 IV-3 ナノテクの経営戦略上の位置づけ



（出所） 当社ヒアリングを基に（財）政策科学研究所作成

## （２） 制御技術などをコアに持つケース

### （ア） 角度センサーなどの製品の材料部分で新しい機能を引き出したい事例—E社

【概要】当社は、60 数年前、計測器メーカーとして出発した。現在は、民需産業向機器分野では、宇宙観測用のアンテナ角度検出や、位置制御、速度制御と言ったミクロン単位の精度を要求する分野から、FA分野の産業用ロボット、工作機械や鉄鋼、原子力発電関連の省力化、自動化等に制御技術を活用する分野まで幅広く事業を行っている。

また、当社は宇宙観測用アンテナ向けの角度センサーでナノターン（ナノオーダーの角度分解能）を実現している。世界でもトップクラスの分解能だという。当社は開発型企业として歴史も古く、地域の交流会、研究会などには積極的に参加している。現在、地域の大学や自治体を中心とするナノテクの研究会に参加して、CNTの新しい利用法を模索中である。

【ナノテクの研究会に参加したきっかけ】大学の先生との関係では、特にこれというきっかけはない。以前からの知り合いが多い。このような顔合わせの機会はたくさんあり、どのサークルにも顔なじみが集まる。出席する企業はどの企業もこのような会合に熱心であり、勉強家が多い。

【関心を持つ背景・考え方】当社の製品が使われる環境は、航空・宇宙といった厳しい条件が求められるところである。宇宙用で高温から極低温まで耐えられるもの、航空用で高々度に耐えられるものというように、当社製品はユーザーの様々な厳しいニーズに対応することが求められてきた。このような要求に応えていくためには、



材料段階から見直していく必要がある。そこでCNTのようなナノ新素材に着目し、CNTが持つ熱の伝導性、導電性、強度などの広い特性をサーボモーターや角度センサーなどに活かさないか、検討し、研究することにしたという。

【経営上の課題】E社の場合、材料から見直す必要性を強く意識している。ただ、材料をどうするかという問題なので、本来は当社より材料メーカーこそ腕を振るえる分野であると感じている。収益と開発のバランスの問題もあるので、どんどん開発先行で行くわけにも行かず、舵取りが難しい。今のところはまだ興味、関心を持って取り組んでいるところだという。

#### (イ) その他の事例

V社は、アクチュエータのような精密制御技術を柱として絶えず新しいものに挑戦している企業であり、ヒューマノイド型ロボットを開発中である。当社では、材料段階を含めた全工程でナノテクは不可欠の要素技術として認識されており、現在、潤滑剤としてCNTの活用を構想中である。

### 7 まとめ——事例から得られる示唆等

これまで見てきた事例各社は、ナノテクに関して積極的な事例か、あるいは相当の関心を有するか、いずれかである。本節では、このような先進的事例各社がどのようなきっかけでナノテクに参入したのか、その動機・経緯、あるいは事業化に必要な技術やナノテクへの入り方などを整理することによって、中小企業がこれから参入する時の参考となるような示唆を得ることとしたい。

#### (1) 参入動機・経緯、内発要因・外発要因

事例先の参入要因をみると、その企業固有の事情からナノテクに参入した内発要因と呼ぶべき要因と、その企業の外部からの働きかけが契機となってナノテクへの参入に結びついた外発要因とに分けられる。

内発と外発は截然と分かれるものではなく、外発要因があってもそれを受け止める内発要因が無くては活かすことができない。ここでいう内発要因(図表 IV-4)とは、東アジアへの生産拠点のシフト、系列関係の劣化など社会・経済環境の変化に促されて経営者が意識したこと、及び経営者が下した決断を指す。また、外発要因(図表 IV-5)は事例を取り巻く関係者からどのような働きかけがあり、経営者はどのように反応したかに注目したものである。

内発要因は、まず、環境変化に伴う先行き不安感の増大を受けて、自社の経営に危機感を強く抱く(C、D、G社など)。次に量産下請けという現状からの脱皮を固く決意する(F、T社など)とともに、自社技術を見直し、独自技術の開発(F、G社など)等の努力がナノテク企業への変身を促したという事例を要約してまとめたものである。

いずれも外部環境の異変や異常を的確に察知し、危機感を醸成し、そこからの脱出、あるいは、量産下請けからの脱皮という経営の舵取りを大きく切る決意を固めることから、今日の開発型企业への発展が導かれた点が共通している。危機感をバネとしたチャレンジ精神の大切さともいえよう。ベンチャー企業の本質に通じるものがある。

図表 IV-4 ナノテクに関わるきっかけ（内発要因）

| ナノテクに係わるようになったきっかけ |                |                                                                                |
|--------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 内<br>発<br>要<br>因   | 先行き不安からの危機感    | 先行き不安増大（現マーケットの縮小予想）<br>受注激減（ユーザーが中国へ）<br>専業故の恐怖感（市場消滅の可能性意識）                  |
|                    | 下請けからの脱皮       | 下請けは単なる賃加工、人材も遠のく                                                              |
|                    | 自社技術をナノの視点で見直し | 絶えず新しいものに挑戦<br>新事業展開を絶えず意識<br>メッキをナノメッキと捉え直す：EF（電鍍法）<br>顕微鏡の進歩（見えるようになる、膜、粉体等） |

（出所） 事例調査に基づき（財）政策科学研究所作成

外発要因は、外部からの働きかけにどのようにして適切に対応できたかを示したものである。ユーザーの要求というものは本来厳しいものであるが、要求を当然のこととして乗り越える工夫をしている例（F、B、H、U社）が少なくない。「お宅でこれをやってみないか」という話がたまたま来た時の対応（A、C、Q社）や、知り合いの大学等からのアドバイスの受け止め方（F、G、T、P社）をみると、その受け止め方、自社への取り込み方には共通して真剣さが感じられる。社外からの打診を活かして、ビジネスチャンスに昇華させる経営といえる。

図表 IV-5 ナノテクに関わるきっかけ（外発要因）

| ナノテクに係わるようになったきっかけ |               |                                                                      |
|--------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------|
| 外<br>発<br>要<br>因   | ユーザーの厳しい要求に対応 | 大手メーカーが出来ないことに挑戦<br>ユーザーのリスク管理の都合上の要請に対応<br>ユーザーのニーズありき（生産技術はあとから開発） |
|                    | 取引先から打診       | 大手商社の打診に即決で参画                                                        |
|                    | 大学等から打診       | 国際学会への出席を勧められ、そこで啓発<br>大学教授から勧められて、即、挑戦を決意<br>大学の研究室のやり方を見て、逆提案      |

（出所） 事例調査に基づき（財）政策科学研究所作成

## （2） ナノテクの事業化

ナノテクを活用した事業化を進めるにはどのような条件が必要であろうか。本節では、

事例を参考に技術面、事業化要因、ナノテクへの入り方について考えてみたい。

#### 【技術面】

Ⅲ及び本章の事例で見てきたことから、現在活用されているナノテクを、ベンチャー企業以外の企業が参入する場合に重要と見られる技術として整理すると、次のようになる。

ナノ素材系ではCNTやフラーレンを「混ぜる」技術である。どのように混ぜるかがポイントになる。混ぜる材料や混ぜ方など組み合わせは数限りなく有りそうである。

半導体微細加工技術は多くの種類がある。事例でも、レーザー、イオンビーム、リソグラフィ、エッチング、真空蒸着などの例が見られた。ただ、値の張る最先端装置である必要はない<sup>45</sup>とのことであり、検討すべき技術であろう。半導体系ではLIGAプロセスなどのMEMSがこれから重要度を増すとの見方がある（F、G、S社）。

加工精度への挑戦は多くの機械加工・成形加工に従事している企業にとって着手しやすいテーマではないだろうか。Ⅱの大学ヒアリングでも指摘のあった「精度の一桁アップを狙う」という事例が見られた。

では、新技術の導入や精度のアップを実現することは可能であろうか。多くの事例から見ると、産学連携の活用、あるいは地域支援機関の活用がポイントである。従来の自社技術を高度化できた企業は、ネットワークを上手に活用して大学や公的研究機関の知識を自社に役立てている。

#### 【事業化要因】

最後はやはりその企業の内発要因があるかないかにつきるように見える。つまり、経営者の強い意志である。下請けからの脱皮、高付加価値企業への変身、ナノを旗印にするという決意が先進事例に共通している。

#### 【ナノテクへの入り方】

事例で見たとおり、すべての企業が最先端の技術から入っているわけではない。最先端の技術から入る企業に多いのはベンチャー企業である。ナノテクへの入り方をみると、ベンチャー企業のような「シーズ先行型」とニーズを追求してナノテクにたどり着く「ニーズ先行型」、及び、両者の折衷型である「シーズ先行ニーズ併走型」に分けられる。

図表 IV-6 ナノテクへの入り方

|             |             |
|-------------|-------------|
| シーズ先行型      | 5社（うち4社がVB） |
| ニーズ先行型      | 6社          |
| シーズ先行ニーズ併走型 | 5社          |

「シーズ先行型」は、ナノ新素材などの技術開発力をベースに持ち、その応用を目指

<sup>45</sup> Ⅱ「大学から見た中小企業の役割」を参照

すベンチャー企業（I、J、K、L社）が主である。このケースは技術上の問題は少ないが、逆にユーザーを捜すことが大きなテーマとなっている。

「ニーズ先行型」はユーザーニーズ第一主義を打ち出している点が大きな特徴といえる。大手メーカーや大学研究室等ができないこと、困っていることなど、市場のニーズを徹底的に追求する、あるいはユーザーの抱えるネック、問題点を正確に把握し、解決して行くという方針をとる。課題を解決していく過程で産学連携などの外部人材のネットワークとその知恵を有効に活用しながら、結果的に自社技術のレベルアップを達成していく（B社）。

「シーズ先行・ニーズ併走型」は、やや技術先行ではあるが、ユーザーのニーズも確実に捉えている（U、D社）。

ニーズを捉える努力を積み重ね、産学連携を上手に活用できた企業が浮上するチャンスを含んでいるといえよう。

### （3） 各社が抱える課題

本節では、ナノテクを取り入れた先進事例各社が、ナノテクを推進していく上でどんな課題を抱えているのかについて、まとめて整理する。企業を取り巻く環境が絶えず変化するように、企業もその変化に対応していく必要がある。その過程で抱える課題は、他の企業にとっても経営上の参考になるものと思われる。

#### 【市場開拓】

やはりものを売ることは大変である。特に、シーズ先行気味の事業の場合、その傾向が強い。例えば、微細化してみたが、ユーザーにどのように使ってもらえばいいか見当がつかない、あるいは、顧客の最終的な使い道がわかればもっといい提案ができるというケースである。しかし、顧客志向であることを明確に位置づけて事業を進めていると、顧客評価が高まり、顧客の問題意識が見えてくる場合がある。また、どんな注文も引き受けているうちに、顧客の本当のニーズの在処がみえて来る場合もある。ナノテクというわかりにくい技術の良さをアピールするには営業人材が不足するので、営業というテクニックをビデオ化して「誰でもセールスエンジニア」にしてカバーしている例もある。商社に販売機能を委託する例や、共同開発・共同研究を提案する、あるいは、技術力を磨いて顧客から相談を持ちかけられるよう仕向ける戦略等参考にすべき例がみられる。

#### 【知的財産権】

独自に開発した技術は貴重な財産である。特にナノテクは世界中で激しい開発競争が繰り広げられており、注意深い取り扱いが求められる。意図せざる侵害で訴えられるリスク、模倣されるリスク、周辺特許を押さえ損なうリスク等複雑な問題を抱え込む可能性がある。このようなリスクを回避するには知的財産権に関する明確な戦略と対策が必

要だといわれる。外部の専門家の力が不可欠である。事例では商社の機能を活用して、商社と共同出願や役割分担をすることにより、そのリスクを回避した例が見られた。

#### 【収益と開発負担のバランス】

事例に見られたように、受注した仕事を毎日反復するだけの仕事を続けていると受注単価は確実に下がり、先行きはじり貧になる、あるいは、ある日突然仕事なくなるというリスクが増大する。そこでナノテクなどの技術開発、新製品開発等の開発の必要性が高まるわけであるが、では経営資源をどの程度開発に回せばいいのかが次の問題になる。事例でもこの点で苦悩している例が見られた。Ⅱでみた有識者の指摘には、ナノテク開発では、大企業の場合は組織に縛られて計画どおり進めることが要求されるのに対し、中小企業は計画に縛られない自由度の高さが優位だとの話があった。収益とのバランスを見ながら随時弾力的な開発態勢が求められているといえよう。

#### 【自社技術の評価】

Ⅱでみた地域支援機関のコメントに、中小企業は自社の価値を知らないケースがみられるという指摘があった。シーズ先行型の場合、苦勞して開発した自社技術の本質が解ってもらえないケースもあり得る。事例では国立研究機関の担当者がなかなか評価してくれなかったが、技術レベルが高いとされる国に留学して帰ってきて見たら、自社の技術力が留学先以上だということによろしく気がついてくれたという例があった。ことほど左様に技術評価は難しい。要はまず自社技術の客観的レベルを知ることであり、それを顧客にアピールし理解させる力をいかに身に付けていくか、という課題に取り組む必要があるといえるのではないだろうか。

#### 【ナノ素材の課題】

CNTなどナノカーボンの場合、報道機関に採り上げられることが多く、世の中の脚光を浴びているように見えるが、実際には実態と乖離があるという指摘が見られた。CNTを活用した製品が実用化に成功して大量生産されたとしても、CNT自体がナノオーダーという元々微小なものであるだけに販売ロットがそれほど大きなロットになることは期待しにくい。従来部品や部材に替わる高性能の新製品を出すことができて、旧来の単価に引きずられ、なかなか値上げは通らないといわれている。また、現状ではその多くが、最終製品として店頭に並ぶほど十分に実用化するところまで行っておらず、その見極めが難しいという指摘もある。用途開発の成功例にしても、まだ緒についたばかりの段階である。しかし、これらは技術革新の開発初期に固有にみられる問題でもあり、冷静な目で発展の可能性に留意していく必要があるだろう。

#### (4) 事例から得られる示唆

本調査にはたくさんの興味深い事例がある。これまでの説明とやや重複するが、経営者、技術開発、市場開拓、ネットワーク、人材についてまとめて整理すると次のようになる。

##### 【経営者――決断と決意】

開発型企業への転進に成功した企業に共通するのは、外部環境の変化を注意深く観察し、その異常性を察知し、自社の先行きに対する危機感を強めて、必要な決断を下していることである。現状のままではやっていけないことに気づき、新事業の芽を求めて新たな行動を起こしている。取引先からの提案を検討する、あるいは地域支援機関に相談する、大学を紹介してもらう、新たな研究開発を始める等である。その過程で開発型企業への脱皮を強く決意する、今までと違う企業になると宣言するという点に特徴がある。企業を支える柱が絶えず複数になるように新事業を開発していくというリスク管理の視点もある。

##### 【技術開発――顧客の要求を糧に】

技術開発の進め方で共通する点を挙げれば、間違いなくどの企業も顧客の要求を技術開発の糧としていることである。顧客のニーズを実現する技術の開発がナノテクに行き着いた例が典型である。逆になかなかそのニーズの在処がつかめず苦勞するというのも同じことであり、共同研究などの提案はまさにこの苦勞を乗り越える策と考えることができる。

また、事例の中で、ものづくりはその上流工程から下流工程の全貌を理解して始めて担当する工程に関する新しいノウハウやイノベーションを生み出すことができるとする考え方が見られた。材料工程を絶えず吟味する、ユーザーがどのように利用しようとするのか、そこで必要な機能は何かについて追求するという姿勢が必要だという。このような開発姿勢は、大きな組織を抱える大企業にはなじみにくい考え方であり、小回りが効き、見通しの効きやすい中小企業に向いていると考えられる。特にCNTに関心を寄せる企業が、新しい材料を活用することで顧客の抱える問題の解決に役立ちたいと考えているのがこの例である。

##### 【技術の高度化――精度アップ】

技術の高度化は、より精密に、より高い精度をとという方向にある。今の技術はいつかは陳腐化し、やがてローテクになる。絶えず技術を見直し、工夫し、改善し、次世代技術に挑戦していく必要がある。

#### 【研究開発——未来の保険として】

現在は、東アジア地域の多くが急速な工業化を遂げつつあり、ものづくりの生産構造は急激に変化している。また、同地域は単に量産能力だけでなくその技術レベルの改善度合いも著しいといわれている。昨日まで通用したノウハウや技術が、ある日突然競争力を失うリスクは日ごと高まりつつある。新しいノウハウや技術を蓄積し続けること、すなわち将来の競争力喪失に対する未来の保険として研究開発に投資することが求められるといえよう。

#### 【市場開拓——喜ばれるものづくりを提案】

どの企業も苦勞しているのがこの市場開拓である。事例の中でこれはという狙い目を挙げると、顧客の使い方を理解してその使い方に必要な機能を抽出し、その機能を実現する手段の提供という形で「喜ばれるものづくりを提案する」という方法や、大企業がやりたがらない小ロットものに着目する方法がある。顧客が満足すれば喜んでくれるはずという考え方がポイントである。また、ユニークな例として、自社開発製品の売り込みに際し、売り方のテクニックをビデオで視覚化することにより、社員の誰をもセールスエンジニアにできる方法が見られた。話し下手の人でも自信を持って得意先に行くことができるという効果が出ている。

#### 【ネットワーク——社外の知恵を味方に】

「産学官連携は当たり前」というのが事例各社に共通する特徴である。大学、地域支援機関、異業種交流会等可能な限りネットワークを拡張、社外の資源をできる限り取り込むことによって、自社の発展に役立てようという考え方である。人脈の重要性は、キーマンが次々と必要な人材を紹介してくれた事例でも明らかである。また、学界も大事な情報源である。ナノテクは外部の知恵をうまく取り込むことができれば、中小企業にも事業化できる可能性があることを示している

#### 【人材——開発ができる】

博士などの学位を持つ人材が中小企業に喜んで就職するという事例が見られるようになってきた。そのポイントは「好きな開発ができる」ことである。開発型企业になって一番良かったことが優秀な人材が来てくれるようになったことであるという事例がこのことを象徴している。

従業員のやる気を引き出す工夫も重要である。例えば、設計、加工、組み立て、最終調整まで全工程を一人でこなすことができるようになると、トラブル処理もできる、原因追及が新しいノウハウを生む、意欲が出てくるというメリットが生まれる。

これらの諸点は中小企業の経営を考えて行くに当たり、参考になる点が含まれていると思われる。



## V ナノテクの事業化に向けて

ナノテクは、毎日報道されない日がない位、どこかでスポットライトを浴びていると言って良い。新しい研究成果や開発成果が目白押しである。日進月歩の技術といえる。中小企業が積極的に挑戦している。中小企業にも大いにチャンスのある技術である。むしろ、進んで取り入れていくべき技術であるとさえいえよう。

本調査は、話題の多いナノテクがどのようなものか、中小企業にとってその発展を後押しするイノベーションになりうるのかどうか、このような問題意識で中小企業の事例を中心に調査を進めてきた。

I では、典型的なナノテクについての概略をまとめた。

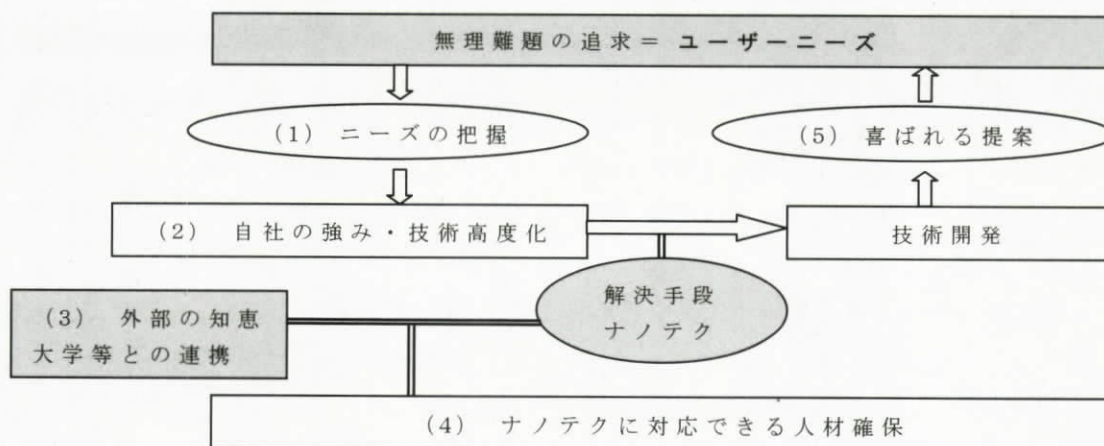
II は、大学等のナノテクの研究者等にヒアリングを行い、ナノテクの事業化における中小企業の役割について調査した。この結果、調査すべき視点として技術の視点、市場の視点、ネットワークなどの視点が得られた。技術的には、ナノ素材や半導体系の典型的なナノテク以外にもナノ精度という重要なナノテクがあること、基礎と応用が同時に起こるなどの特徴があること、市場の観点からは、現在は研究開発型市場が主であること、置換市場と新規市場という見方、ネットワークの視点では、大学等研究機関との連携、商社の活用、地域支援機関などの活用などの他、人材の重要性などの視点が得られた。

III では、前章までの知見をもとに事例先企業の選定と分析を行い、II の知見を実際に確認した。また、実際の事例で使われている技術进行分析して、中小企業で使われる技術を確認し、技術をタイプ別に分類してIVの予備知識を整理した。

IV では、ナノテクに取り組む中小企業の事例を個別に紹介し、その特徴をまとめた。

本章では、中小企業がナノテクを事業化する際の課題を整理するとともに、ナノテクを足がかりとして第二の創業に踏み出すべきという方向とその考え方を示している（図表 V-1）。

図表 V-1 ナノテクの事業化の考え方



（出所） 事例調査に基づき（財）政策科学研究所作成

## 1 中小企業がナノテクを事業化するための課題

### (1) ユーザーニーズを正確に把握する

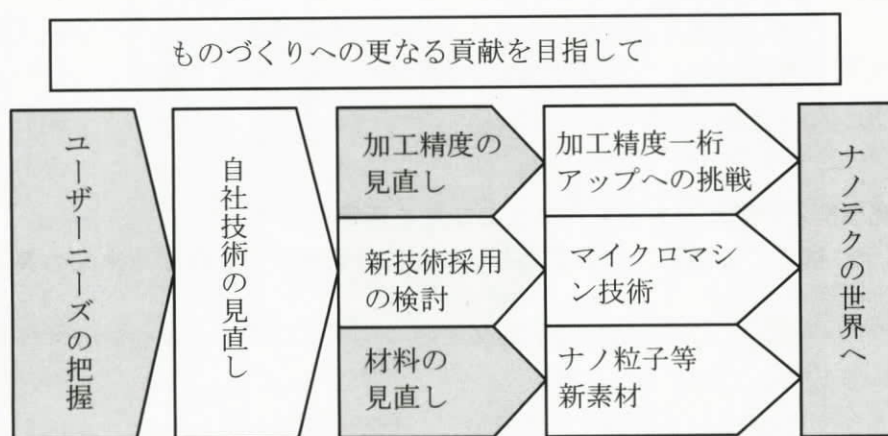
——ユーザーの無理難題こそ宝の山、解決手段はものづくり技術の工夫と高度化、ナノテクはその結果

「顧客の要求は技術の母である」という。事例に登場した企業は、ユーザーの厳しい要求にいかに対応していくかという課題に直面し、その課題解決の手段としてナノテクを利用、活用してきた。

F 社社長はこの点に関連して、「とにかくナノテクに目が行ってしまい、本来の中小企業のものづくり技術がおろそかになることを恐れる。」と語っている。ここでいう本来の技術とは、「新しい仕事 came 時、どういう使われ方をするのか、どういう機能が求められているのか」というニーズをきちんと捉えることができ、その機能が得られるように工夫・改善された加工技術」のことであり、このような技術体系全体を指すのだと考えられる。必要な機能を如何にして微小なものに持たせることができるか、それが結果的にナノテクということに繋がる（図表 V-2）。

また、地域産業支援機関等は、中小企業の相談に応じる時には、中小企業の悩み事からアプローチすることの重要性を指摘している。多くの中小企業は、ナノテクをどう使うか、から入るのではなく、現場でどのような悩み事を抱えているのか、その相談の延長線上にナノテクの活用ニーズが生まれてくるとみている。この悩み事を聞き出すということは、ユーザーからの要求にどう応えるかという生産上の技術的な悩みを聞き出すことと同じであり、その解決手段としてナノテクが有力なツールになりうると考えられている。

図表 V-2 ものづくりの更なる貢献を目指して



(出所) 事例調査に基づき (財) 政策科学研究所作成

## (2) 「自社技術の強み」を見直し、技術を高度化する

### ――ナノテクにヒントあり、新技術の導入と精度アップの追求、ナノ精度も視野に

地域産業支援機関や公設試験研究機関によれば、キラリと光る技術を持っていたとしても、中小企業の経営者自身が気づいていないケースがあるという。自らの価値を知らずに顧客に自社の技術を理解させることはできない。その技術で工夫すれば解決できるユーザーの難題があるかもしれないのに、である。

また、中小企業との役割分担を模索している商社によれば、中小企業は、まず自社技術の強みを分析して、対外的に説明できることが大事であるという。依頼する中小企業を見つけるには、何ができるかのアピールが無ければ依頼するわけには行かないからである。

そこで、自社のコア技術がどのレベルにあるのか、同業者やユーザー等から見たコア技術の評価・位置づけを明確にするとともに、コア技術を活用した事業・製品開発のニーズを具体的に詰めておくことが必要となる。この面でも公設試験研究機関や地域産業支援機関等の積極的活用が必要となろう。

自社技術の強みを見直すことができて、現状のままでいいというわけには行かない。顧客の要求は厳しくなる一方であり、新しいニーズに対応できる技術を用意する必要がある。大学等の有識者の指摘にあったように、中小企業が生き残る道は技術の差別化においてほかになく、中小企業は技術を磨き続けること、すなわち技術を高度化し続けることが必要である。

差別化を工夫するには、たとえば、現在使用している機械装置の精度・分解能をもう一桁上げる工夫、つまり、自社の技術をより良く知り、改善する努力が必要になる。

ナノテクは差別化のヒントになる(図表 V-2)。①材料段階から見直し、ナノ新素材を検討してみる。②従来型の機械加工や成形加工であっても加工精度を見直し、ナノ精度を目指す。③半導体微細加工技術などを半導体以外の微細加工に応用する新技術の採用を検討する。①と②は中小企業が目指すべきものづくりの基本であり、③は中小企業でも採用を検討すべき論点である。

## (3) 研究機関との繋がりを持ち、外部の知恵を活用する<sup>46</sup>

### ――ナノテクはそこにある、今の技術もいつかは陳腐化、R&Dこそ未来の保険

生き残るために技術を高度化して差別化を図るにはどうすればよいか。それは外部の知恵を使っていくことである。

「我々を使って欲しい」、今回、ヒアリングした関係者は同じように口を揃える。ある

<sup>46</sup> 産学連携については参考Ⅱ-2、同Ⅱ-3参照。また、中小公庫レポート2001-4『中小企業にとっての産学連携の現状と課題』2002.2、同2003-2「産学連携・公設試験研究機関等を活用した開発型中小企業の戦略」2004.2でも詳しく扱っている。

産業支援機関では中小企業に対してヒントをあげられる機会がほしいという。大学、国公立研究機関、地方自治体やその関係機関から商社に至るまで、中小企業の利用を待ち受けているはずである。事例にも多くの活用例が見られたように、異業種、異分野の人との交流から思いがけない展開が期待できる。

ナノテクに関しては現在戦略的に研究開発予算が付く傾向があり、予算それ自体が市場と見なせるところがある。研究機関に行くことは市場開拓のきっかけにもなりうる。商社も新しいビジネスモデルを模索しており、販路開拓面、知的財産権の問題処理等の面で、補完関係が成り立ちうる。ナノテク分野は特に内外企業との競争が激しい。模倣や特許訴訟等の問題に直面するリスクは小さくない。知的財産権をめぐる戦略をどうするかは、難しい課題の一つである。外部の知恵を活かすべき分野である。

また、中小企業もナノテクマートなど展示会や見本市等のイベントに積極的に参画することにより、ベンチャー企業や大学、研究機関、商社等との繋がりを持ち、ネットワークを広げて行くことが求められる。その際、支援機関の指摘や事例の中にもみられたように、従来型下請け構造から脱却し、相互対等の関係に移行するよう努めることが大切である。

顧客が困っていることを見つけ、解決していく手段を開発する、開発は繋がりのある研究機関の助けを借りる。このようにして外部の知恵を取り込んで技術開発を進めることが将来に備える保険になると考えられる。

#### (4) ナノテクに手の届く人材を増やす

――自社開発が可能になれば、博士・修士も入社の時代――技術者に夢を！

ナノテクを進めるにはナノテクに手の届く人材を増やす必要がある。外部の知恵を利用できるとは言っても、精度をさらに上げる、新しい素材を使う、新しい機械を入れるという状況の中で、外部の専門家とコミュニケーションを取り、相応に新技術を咀嚼できる人材は必要である。少ないよりは多い方がよいのは当然であり、人材の問題を避けて通ることはできない。

地方自治体の産業支援機関によると、中小企業にはナノテク等の科学技術に精通し、咀嚼できる人材は少ないことから、ナノテク分野への取り組みは難しいのではないか、という問題点が指摘されている。

反面、事例の中に「若者に夢を与えたい」という社長の言葉があった（G社）。印象的な言葉である。開発型企業には中小企業であっても大卒、院卒、学位のある若者など、優秀な人材が集まる傾向が出始めている（T、G社）。厳しい時代に生き残れる企業の一つの典型を示していると思われる。

中国など東アジアの勃興によって我が国では、量産下請けを主体とした従来型事業の多くが成り立ちにくくなりつつある。人材が集まる環境作り、若者に夢を与えられる事業経営を目指す決意が求められる。

## (5) 市場開拓と営業強化

---ナノテクを活用した顧客が喜ぶものづくりを！

---営業スキルを視覚化すれば、誰でもセールスエンジニア

事例各社が一様に抱える課題、それが販路の開拓と拡大である。事例で見たとおりナノテクの主要マーケットは研究開発型市場である。つまり、電子顕微鏡のように従来型市場の開拓に向いていない商品であるか、あるいは、まだ従来型市場の開拓に成功していない段階の商品である。新たな用途開発を進めることの必要性が各方面から指摘されている。用途開発の際には、ナノテクというシーズから入る方法もあるが、顧客はどうすれば喜ぶだろうかという視点から入ることの重要性を指摘する声が多かった。顧客の抱える真の課題を正確に掴み、その解決の手段としてナノテクの活用を検討する、結果的にナノテクの新しい用途開発が誕生し、顧客も満足するというプロセスである。商社や取引先等を巻き込んで、共同プロジェクトを提案するという事例がみられたが、ユーザーの真のニーズがどこにあるのかを模索する動きとして注目される。

また、現場が営業を兼ねることが多い中であって、営業に必要なスキルをビデオなどで視覚化することによって「誰でもセールスエンジニア」(W社)にできる、という発想は、特に営業力の強化を志向する中小企業には参考になるのではなかろうか。

## (6) 第二の創業を目指して意識改革を！

---ナノテクを取り入れ、開発の促進を！

『「ナノテク、関係ないよ」という企業に明日はない」という指摘があった(P社)。

本調査の事例先企業は総じて、従来型企业から開発型企业に変身した企業が多いことが特徴である。経営者自身が強い危機感を抱き、現状打破を目指して開発型企业への変身を強く決意している例が少なくない。業績が好調にもかかわらず、明日への不安から危機感を抱くケース、明日の仕事への不安感をバネにして新しいものに挑戦しようとするケース、いずれもまず経営者が自ら決意することからスタートしている。

しかし、事はそう簡単には進まない。セットメーカー自身が環境問題、コストの一段の削減など厳しい課題を抱えており、必然的にユーザーの要求するハードルは高くなる一方であろう。多くの中小企業にとって、これまでの延長線上で考えているだけでは乗り越えられないハードルが課されてくる可能性がある。大学や研究機関等外部の知恵の活用やベンチャー企業等とのネットワーク化、先端技術や科学技術に手が届く人材の確保・育成などの難題が並ぶ。

このようなハードルの他にもう一つクリアすべきハードルがある。事例の中にも見られた「収益と開発負担のバランス」をどう取るかという課題である。

内外の厳しい経営環境を直視し、生き残りをかける中小企業にとって、今後拡大が見込まれるナノテクを活用した市場に参画していくためには、やはりこのハードルに積極

的に挑戦することが必要となろう。既存の事業が成熟する中で、新たな事業の創出が求められている今、中小企業においても第二の創業を目指し、起業家精神を今一度呼び起こし、事業化意欲を高め、新事業開拓に積極的に挑戦して行くことが期待される。

## 2 結語、ナノテクを足がかりとして第二の創業を！

ニューエコノミーがもてはやされ、製造業のシェアが約 16%にまで下がった米国においてなお、「アメリカ経済の成長はテクノロジー主導である<sup>47)</sup>」と言われている。技術が競争力の源であることが強く認識されている。世界中でナノテクが注目され、国を挙げて取り組もうとする理由が、この競争力の源だという点にある。まさに世界大競争である。

現在、ナノテクが活用されている製品群をみると、その幅広さに特徴がある。ボーリングのボールや化粧品のように身近な製品群で外見の違いが不明瞭なものから、燃料電池や新型ディスプレイのような似てはいるが外見の違いが明らかなもの、DDSやDNAチップのように新しく登場した製品まで、ナノテクの応用範囲は広い。これは、ナノテク自体がCNTのような新素材を作製する技術から、精度を上げる技術まで幅のある技術であることを反映している。

ナノテクは一言でいうと、「ナノ領域に関わる加工・計測技術」と言うことになる。例えば、取り扱い粒子の直径がナノオーダーである、加工対象物の表面粗さがナノオーダーである、計測器がナノオーダーの分解能を持つ、というように、加工精度・計測精度の単位にナノを冠することができれば、それはナノテクなのである。ナノテクだからといって即敷居が高いと考える必要はないのではあるまいか。

事例で採り上げた企業の多くが、中堅、ニッチトップ、オンリーワンなどの錚々たる開発型企业であり、一般の中小企業とは異なるのではないか、という見方もある。しかし、開発型企业への変身、あるいは、技術の一段の高度化という方向は「待ったなし」という状況認識が必要ではないか。今の技術に安住していると、内外の競争相手に、いつか追い抜かれる。事例企業がそうであったように、受注が激減する。そこであきらめずに新事業や技術の高度化を目指したからこそ、現在がある。目に見える加工や計測はそのうち陳腐化する。ナノの世界のような目に見えない大きさの加工・計測が目指すべき一つの方角であろう。「精度を一桁アップせよ」という言葉<sup>48)</sup>が思い出される。

また、事例の中にはファブレス企業やそれに近い企業もあり、ナノテクにおいても協力企業とのネットワークが生産を支えているケースがみられた。このような協力関係における技術面での特徴を見ると、従来から見られたようなものづくり能力が求められるという点でそれほど大きく変わるものではないといえる。ただ、その中でナノテク協力

<sup>47)</sup> 2000.4 米国「ニューエコノミー会議」でのマーチン・ペイリー氏（大統領経済諮問委員長）発言

<sup>48)</sup> II 1 (2)

企業らしさをヒアリングからあえて考えると、真空、クリーンといった特徴が浮かんできた。微細な世界を扱うナノテクは半導体系技術や計測技術などにみられるように、ゴミやチリを嫌うことから、クリーンブースや真空装置などの設備が必要な場合があるという。従来型技術に強みを持つ協力企業としては、このような特徴を持つナノテク企業の要求に応えられるように技術をさらに磨くことによって、ナノテクが切り拓いていく新たな事業機会を適切に活用していくことが望まれよう。

ナノテクノロジーは日本の学者が提唱した概念である。我が国には世界のトップクラスを行く研究機関がたくさんある。ナノテクには研究予算がある。産業政策は、業界志向から、開発する意欲のある個々の企業を引き上げようという方向に変わりつつある。地域支援機関は企業にさらなる活用を求めている。このようなフォローの環境をもっと活かすべきであろう。

顧客ニーズの在処を見据え、研究機関との繋がりを求め、ナノテクをニーズ解決の手段とする決断と行動が求められる。ナノテクを一つの足がかりとして第二創業への一歩を踏み出す決意を強く期待したい。



## 参 考 編

## 参考 I-1 ナノ物質の製造法

### 1. カーボンナノチューブ（以下「CNT」とする）<sup>49</sup>

CNTの成長機構についてはおおよそ解明され、現在の課題はその成長を制御し、目的に適合するCNTの生成に進んできている。使用目的によっては生成時に発生する炭素構造物や触媒金属を取り除く必要がある。この精製法の確立が今後の大きな研究課題となっている。

#### (1) アーク放電法

大気圧よりやや低い圧力のアルゴンや水素雰囲気下、炭素棒の間にアーク放電を行うと、陰極堆積物の中に複層CNTが生成される。また炭素棒中にニッケルやコバルトなどの触媒を混ぜてアーク放電を行うと、容器の内側にススとして付着する物質の中に単層CNTが生成される。アーク放電法では欠陥が少なく品質の良いCNTが得られるが、まとまった量を得るのは難しいと言われている。

#### (2) レーザ蒸発法

ニッケルやコバルトなどの触媒を混ぜた炭素にYAGレーザの強いパルス光を照射すると単層CNTが得られる。比較的高い純度の単層CNTを得る事ができ、また条件変更によりチューブ径の制御が可能であるが、収量が少なく、CNTの工業的製造技術としては難しいと言われている。

#### (3) 化学気相成長法（Chemical Vapor Deposition：CVD法）

信州大学の遠藤守信教授が開発した。炭素源となる炭素化合物を500～1000度で触媒金属微粒子と接触させることによりCNTが得られる。触媒金属の種類およびその配置の仕方、炭素化合物の種類などに種々のバリエーションがあり、条件の変更により複層CNTと単層CNTの何れも合成することができる。この方法は、原料をガスとして供給出来るために大量合成に最も向いている手法と言われているが、合成されたCNTは一般に欠陥が多い。

また、触媒を基板上に配置することにより基板面に垂直に配向したCNTを得ることも可能である（触媒化学気相成長法）。最近、炭素供給源の炭化水素をアルコールに代えると、高純度の単層ナノカーบอนを比較的低温でかつ簡単な装置で生成できることが分かってきた。

以上、まとまった量のCNTを合成するにはCVD法が最も向いており、比較的量は少なくとも欠陥の少ないCNTを合成したい場合はアーク放電法が向いていると考えられる。レーザ蒸発法はCNT生成機構の解明など研究目的に限定されると思われる。

### 2. フラーレン

#### (1) アーク放電法

フラーレンの製造方法として90年以降標準的に用いられてきた。炭素棒を電極にしてアーク放電を行い、蒸発した炭素が凝縮してできたススを有機溶媒で抽出すると、ススから10～15%のフラーレンを得られる。この方法は高電流を必要とするため装置のスケールアップが困難で、量産化には限界がある。

#### (2) 燃焼法

炭化水素を特定の条件で不完全燃焼させるとフラーレンが生成する。連続プロセスであり大量生産に向いており、原料としても安価な炭化水素を利用できる。現在ではベンゼンやトルエンを用いて減圧条件下1,000度以上の高温で不完全燃焼させると、ススから約20%の高い収率

<sup>49</sup> 科学技術政策研究所 カーボンナノチューブ製造技術開発の動向より作成

でフラーレンが得られる。91年にマサチューセッツ工科大学(MIT)が開発し、米TDA社がMITから基本特許のライセンスを受けて製造装置を開発した。

### (3) その他

減周波誘導プラズマで生成する方法や、化学的に合成する試みもある。純度の高いフラーレンを大量に得るためには、ススから抽出、分離、製造する技術が重要であるが、フラーレンが溶媒に溶ける性質を利用して、量産が可能になってきた。

## 3. ナノメタル<sup>50</sup>

ナノメタルを作る方法としては、スパッタなどの「気相凝縮法」、メカニカルアロイングなどの「固相反応法」、急速凝固などの「液相制御法」などが知られているが、特にバルク形状材料の作製効率、量産性などの点から、液相制御法にもっとも注目が集まっている。液相制御法とは、液相からの冷却速度を変化させて、合金の凝固組織を制御する方法のことである。

液相制御法では、過冷却状態の液体金属に現れる「安定化現象」(結晶が析出せずに、過冷却液体が低温まで保持される現象)を利用して、液体金属相の過冷却液体が融点の80%以下の低温域に過冷される、いわゆる大過冷却状態で液体から結晶へと移行する際の核生成頻度、成長速度をコントロールすることが最重要となる。

## 4. ナノセラミックス<sup>51</sup>

通常、セラミックスは、①原料粉体の合成、②原料粉体を液中混合して凝集・分散状態を制御、③成形、乾燥、④焼結、⑤加工、特性評価の順を追って製造される。

このうち、「焼結」の過程で原料粒子が成長、合体を起こすため、焼きあがったセラミックスは、結晶粒子がどうしても原料粉体より大きくなる。したがって、結晶粒子をナノサイズにするために、原料粉体の粒子径をナノサイズにすることが課題となる。

この原料粉体の超微粒子化は、化学的気相析出法や液相合成法(ゾル-ゲル法など)の進歩で、分子からの合成が比較的容易になった。逆にトップダウン法的に、粗大粒子を微粉砕するブレイクダウン法でもナノサイズの粒子を得ることができる。

しかし、こうした超微粒子は生成過程で不規則で空隙の多い凝集体を作りやすく、界面活性剤や超音波分散操作などで破壊するのは困難である。凝集構造が残らないよう、さまざまな手法でナノ粒子の均一・高密度成形が試みられている。

## 5. ゼオライト<sup>52</sup>

水熱合成法によってゼオライトは合成される。シリカ源、アルミナ源、鉱化剤(アルカリ、フッ化物)および水を原料に、これらを混合して、反応性の高い非晶質のヒドロゲルを調製し、これをオートクレーブに仕込んで加熱するとゼオライトが生成する。ゼオライトは準安定剤として得られることがほとんどで、その合成は温度、原料組成、混合の仕方、pH、攪拌法、反応容器などからさまざまな影響を受ける。

ゼオライトを触媒や吸着剤、イオン交換剤として利用するためには微粒子が適している。そのためゼオライトの合成は、微粒子を対象に研究されてきた。しかし大きな単結晶や薄膜、ナノ結晶やその分散系の取り組みも始まっている。

<sup>50</sup> 「図解 ナノテクノロジーのすべて」を基に政策科学研究所作成

<sup>51</sup> 脚注50に同じ

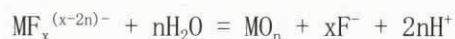
<sup>52</sup> 脚注50に同じ

## 参考 I - 2 酸化物ナノホールアレイの生成方法と応用分野<sup>53</sup>

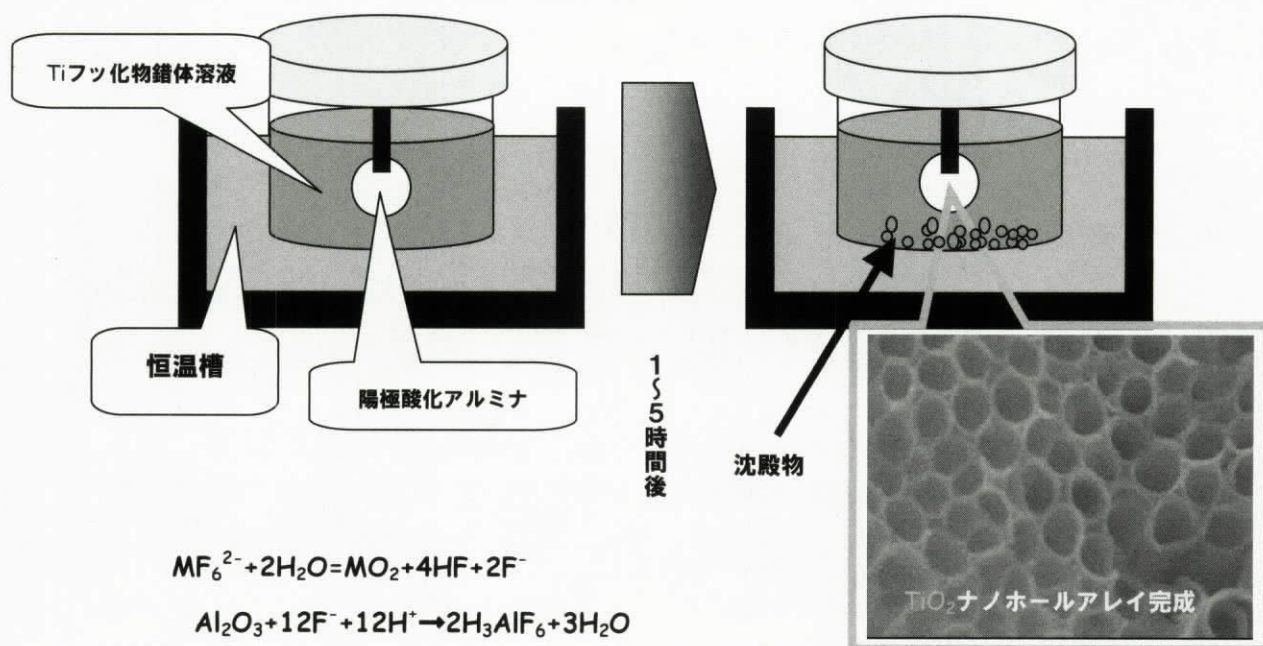
### ○生成方法

チタンフッ化物錯体溶液の中に、陽極酸化アルミナを入れて数時間放置すると生成する。

液相析出法 (Liquid Phase Deposition: LPD) で酸化物薄膜を生成する反応は、次の加水分解平衡反応式で記述でき、これにより右辺の F が消費されると平衡反応は右にシフトすることは容易に確認できる。



基盤に陽極酸化  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を用いたことで、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  が  $\text{F}^-$  イオンの捕捉材として働き、 $\text{TiO}_2$  が析出する反応と同時に、基盤である  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の溶解が起こり、ナノホールアレイ構造が生成されたものと考えられる。



(出所) 大阪大学山中研究室資料

この酸化物ナノホールアレイは、生成に特殊な装置が必要ではなく、室温でも合成できる。生成コストは、実験室レベルで直径約 1.3 cm (本文 17 ページ写真のサイズ) のもので 1 枚 200 円程度と安く、大量生産が可能である。

反面、脆く、電気抵抗が高く、純度が低いという問題がある。

これまでに  $\text{TiO}_2$  をはじめ、 $\text{SnO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{Fe}$  水酸化物の各ナノホールアレイ、さらには  $\text{TiO}_2$  と  $\text{SnO}_2$  が積層した構造を持つコンポジットナノホールアレイなどの作製に成功している。

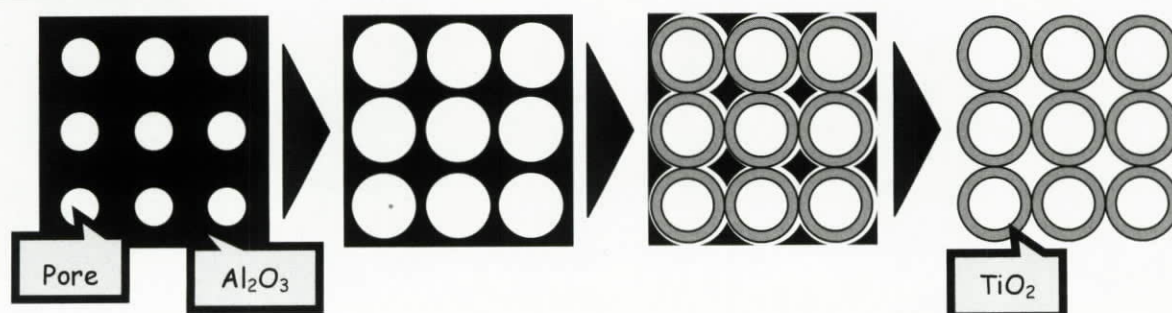
<sup>53</sup> 参考 1-2 は本文及び図表とも大阪大学大学院原子力工学専攻山中研究室の資料による

### (参考) 生成のしくみ

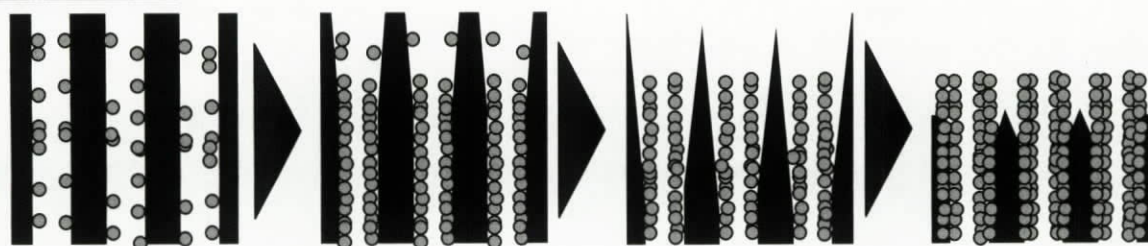
この反応では、陽極酸化アルミナの孔の中に多数のアレイが生成する。

アルミナが全部溶解してしまうと、アレイが分離してしまうので、一部を残すようにする。

#### 表面構造



#### 断面構造

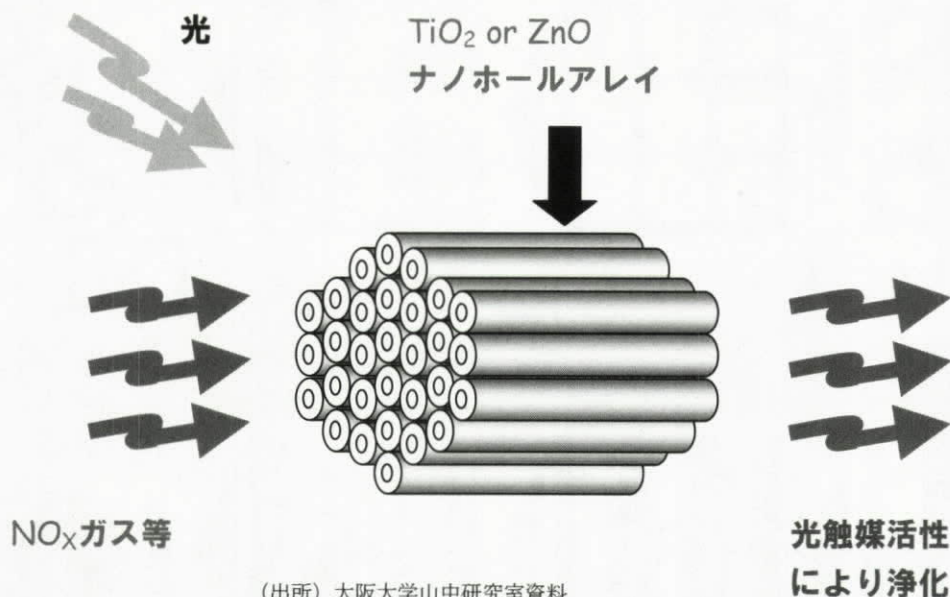


(出所) 大阪大学山中研究室資料

## ○環境分野での応用

### 有害ガス分解

TiO<sub>2</sub>、ZnO の光触媒特性を利用して、環境汚染物質であるダイオキシンや NO<sub>x</sub> の分解、滅菌用にするものである。ナノホールアレイは、表面積が広くチューブ状をしているため、このようなガスの浄化に適している。



### 脱臭

光触媒特性を利用することで有害ガスの分解に加え、脱臭、抗菌効果がある。

- 具体例 ・アセトアルデヒドの分解（タバコ臭）  
・メチルメルカプタン、アンモニアの分解（排便臭）  
・大腸菌、レジネオラ菌、ハクセン菌などの抗菌、殺菌

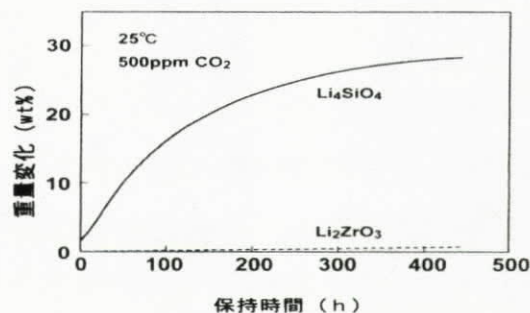
### 二酸化炭素の固定化

地球温暖化防止のため、二酸化炭素の固定化が必要であるが、リチウム複合酸化物ナノホールアレイを利用して、これを行えないかという試みである。

(例) Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> の場合：



(出所) 右図、大阪大学山中研究室資料



### 各種ガスセンサー

ナノホールアレイは、大きな比表面積を持つため気体分子の吸着面積が大きく、高感度のセンサーを作ることが期待される。TiO<sub>2</sub>、ZnO、SnO<sub>2</sub> を使ったナノホールアレイが考えられる。実験では SnO<sub>2</sub> ナノホールアレイに、高温（500℃）の水素ガス（H<sub>2</sub>）が通して、一定の電気抵抗値の低下が観測されている。



## 機能性フィルター

ナノホールアレイは、貫通孔の大きさや材料となる酸化物の種類を変えることができるため、フィルターとしての用途が考えられる。次のように様々な用途に合わせて、利用するナノホールアレイの種類を選択できる。しかも高温でも安定しているため、扱いが容易である。

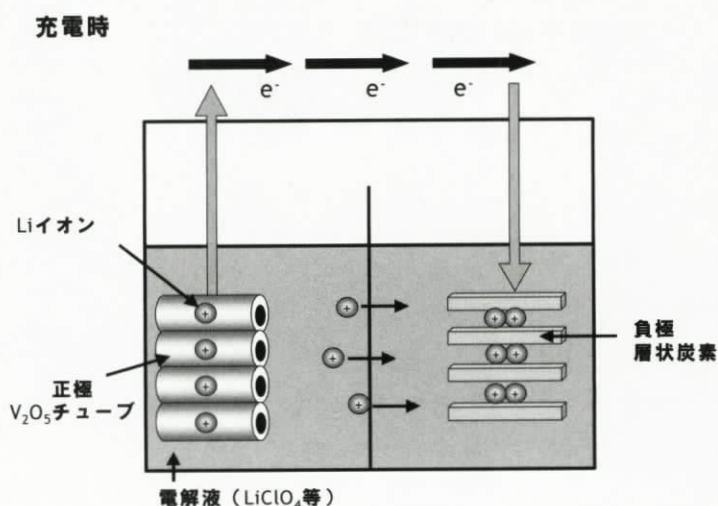
| 用途        | 種類                        |
|-----------|---------------------------|
| 光触媒フィルター  | TiO <sub>2</sub> ナノホールアレイ |
| 磁気吸着フィルター | 鉄酸化物ナノホールアレイ              |
| 高温フィルター   | 各種酸化物ナノホールアレイ             |
| 通電加熱フィルター | 各種金属ナノホールアレイ              |

## ○エネルギー材料分野

### リチウムイオン電池

V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ナノホールアレイは、リチウムイオン電池の正極材料として応用が可能である。比表面積が大きいので、正極における反応面積を増大させ、効率を上げることができる。

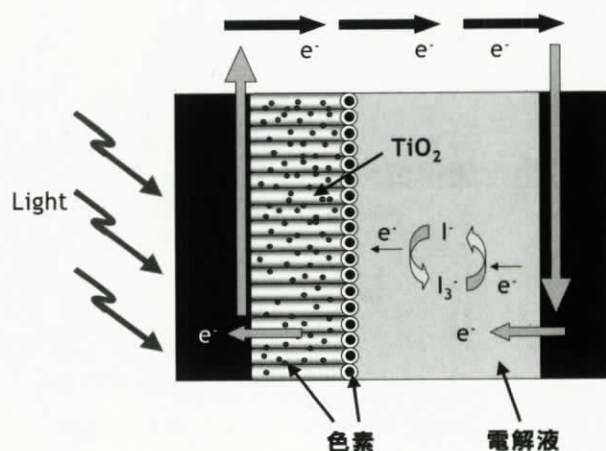
(出所) 大阪大学山中研究室資料



### 太陽電池

TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> ナノホールアレイについては、色素増感型太陽電池としての応用が期待される。これによって、電解液だけでなく、色素との接触面積を増大させられる。

(出所) 大阪大学山中研究室資料



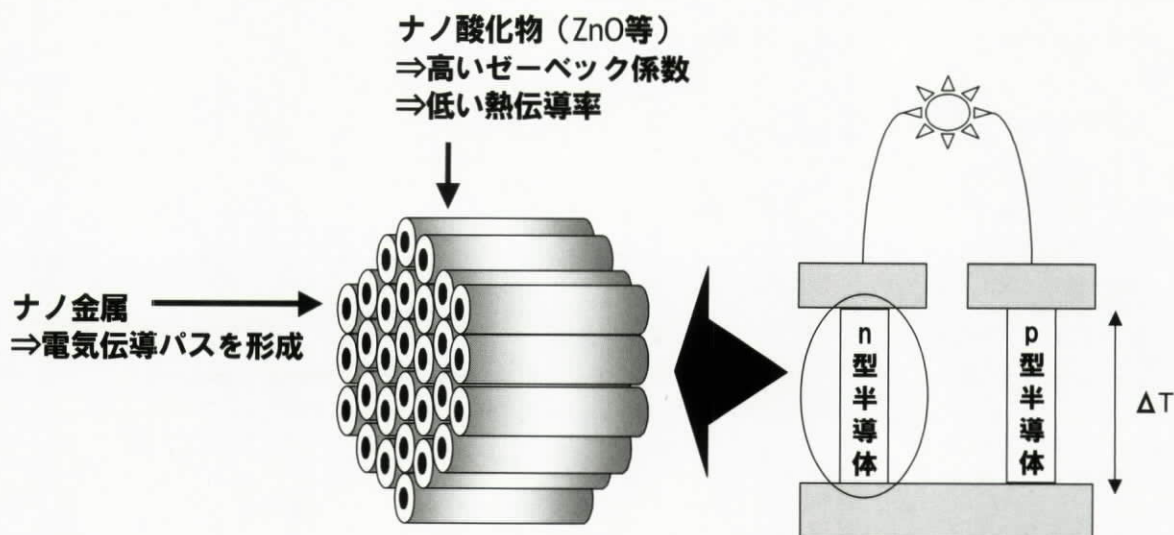
### 水素製造

これはチタン酸化物ナノホールアレイの光触媒特性を利用して、水を分解することによって水素を製造しようとするものである。これには、Ag, Pt, Cu などの各種ナノ金属とのコンポジット化による、可視光応答型光触媒材料の開発が成功するか否かが課題である。



## 熱電変換素子

酸化亜鉛ナノホールアレイは、温度差を利用して、熱起電力が発生するので、熱電変換素子としての応用が期待される。



## ○医療・生体・バイオ材料分野

### 麻酔ガスの浄化

麻酔ガスの成分である $N_2O$ 、 $CO_2$ は、環境に影響を与える物質であるが、現在大気中にそのまま放出されている。これらを分解・吸収するため、ナノホールアレイの利用が考えられる。

### $N_2O$ を $N_2$ と $O_2$ に直接分解!!!

➡ ZnOナノホールアレイと  
Ru, Rhナノ金属との複合材料

### $CO_2$ の固定化!!!

➡ Li複合酸化物ナノホールアレイ

(出所) 大阪大学山中研究室資料



## バイオセンサー

酸化物半導体ナノホールアレイの特性として、温度変化によって、抵抗値が著しく変化することが挙げられる。この特性を用いて、酵素反応熱に伴う発生熱を感知することで、生体物質を計測するバイオセンサーとして、応用が考えられる。

## 生体親和材料

TiO<sub>2</sub>ナノホールアレイを擬似体液に浸透させると、表面に骨類似型アパタイトが形成される。このことから、骨修復材料への応用も可能ではないかと考えられる。

## バイオフィルター

酸化物ナノホールアレイ（直径 200nm）をバイオフィルターとして利用することが期待される。

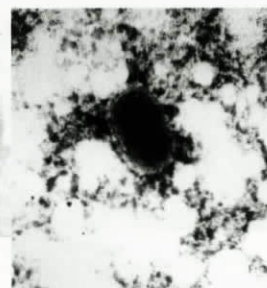


大腸菌

### 各種ウィルス用フィルターとして有効



ヘルペスウィルス



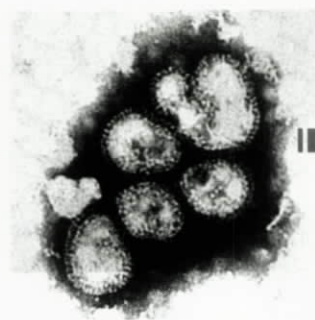
ワクチニアウイルス  
：天然痘のワクチン

赤血球

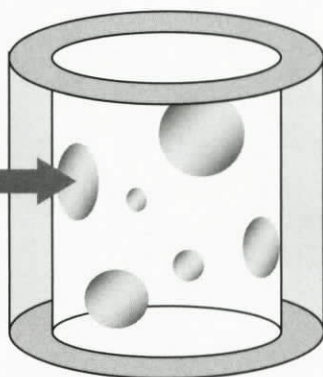
（出所）大阪大学山中研究室資料

## バイオリアクター

酸化物ナノホールアレイの中で、さまざまな菌・ウイルスを培養することが期待される。



インフルエンザウィルス  
（直径80-120 nm）



内径約200 nm



（出所）大阪大学山中研究室資料

参考 I - 3 ナノ材料の技術開発分野

|               |          | 炭素系                 |                            | 無機                             |                  |                                 | 有機                  | <大きさ, 形状による分類>     |                            |          |
|---------------|----------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|----------|
|               |          | ナノチューブ・ナノホーン        | フラーレン                      | ナノガラス・フォトニック結晶                 | ナノセラミックス         | ナノメタル                           |                     | ナノクラスター、ナノ粒子       | メソポーラスシリカ等多孔体              | バノスコピック  |
| 利用する機能とその応用製品 | 機械的 強度   | ○                   | ○                          |                                | ○                | ◎金型                             |                     |                    |                            |          |
|               | 機能 加工性   |                     |                            |                                |                  | ○                               |                     |                    |                            |          |
|               | 熱変形性     | ○金型                 |                            |                                |                  |                                 |                     |                    |                            |          |
|               | 光・電磁気機能  |                     |                            |                                | ○積層コンデンサ (携帯電話等) | ○電極材料                           | ○                   |                    |                            |          |
|               | 光屈折性     |                     | ○光変換素子                     | ○高密度光ディスクメモリ                   |                  |                                 |                     |                    |                            |          |
|               | 光・電の導性   | ○素子配線<br>○導電性プラスチック | ○超伝導性                      | ○光導波路<br>○ガラス基板                | ○超伝導材料           |                                 |                     |                    |                            |          |
|               | 半導性      | ○単電子素子              |                            | ○光スイッチ<br>○光集積回路               |                  |                                 | ○DNAトランジスタ          | ○単電子素子             | ○光スイッチ                     |          |
|               | 光・電子の放出性 | ◎ディスプレイ<br>◎プロープ顕微鏡 |                            | ○発光・増幅素子<br>○レーザー<br>○高度リソグラフィ |                  | ◎LED (信号機)<br>有機EL              | ○光電変換素子             | ○発光素子              | ○レーザー                      | ○高輝度発光材料 |
|               | 生体親和性等   |                     | ○有機フラーレン<br>○抗エイズ薬<br>○光メス | ○高機能人工骨                        |                  | ○                               | ○化粧品<br>○DDS        | ◎メイクアップ化粧品         |                            | ○人工骨     |
|               | その他      | ◎燃料電池               | ○燃料電池<br>○太陽電池             | ○環境浄化機能                        |                  | ○電池材料                           | ○                   |                    |                            |          |
|               | 吸着剤      | ○燃料電池用の水素供給源        | ○                          |                                |                  |                                 |                     |                    | ○環境吸着剤<br>◎洗剤等<br>○脱臭剤     |          |
|               | 触媒機能     |                     | ○光触媒<br>○ディーゼルのNox低減触媒     |                                |                  | ○                               |                     | ○光触媒 (酸化チタン)       | ○排ガス浄化<br>◎重油分解触媒<br>○石油合成 | ○光触媒     |
|               | センサー     |                     |                            | ○光検知器                          |                  |                                 | ○バイオチップ<br>○バイオセンサー |                    |                            |          |
|               | 耐腐食性     |                     |                            | ○放射性廃棄物固化                      | ○自動車・航空機のエンジン材料  | ○                               |                     |                    |                            |          |
|               | 薄膜       |                     |                            | ○ガス選択透過膜                       |                  | ○水素透過膜                          |                     | ◎コーティング剤<br>◎配線材料  |                            |          |
|               | 耐磨耗性     |                     | ○ボールペアリング                  |                                |                  | ◎工具<br>◎スポーツ部材                  |                     | ○研磨材               |                            |          |
|               | 熱伝導性     | ○放熱用複合材             |                            |                                |                  |                                 |                     |                    |                            |          |
|               | 磁性       |                     | ○MRI造影剤                    |                                | ○磁性材料            | ◎電源用トランス<br>◎磁気シールド<br>○柱上用トランス |                     | ○磁気抵抗素子<br>○電磁波遮蔽材 | ○強磁性材料                     |          |

(注) ◎は実用化の目途のあるもの、○は可能性のあるものを示す。

(資料) 各種資料、HPに基づき (財) 政策科学研究所にて作成

## 参考Ⅱ－１ 大学・国立研研究所・業界団体・商社・その他個別ヒアリング詳細

### 1. 大学からみた中小企業

#### (1) 名古屋大学大学院理学研究科 物質理学専攻 理学博士 篠原久典教授

(専門：フラーレン、カーボンナノチューブ)

##### 【ナノテクについての見方】 — ナノ新素材の立場から —

ナノテクの開発の現状を例えると、富士登山で言えばまだ一合目程度。多分 21 世紀の中で最初の 50 年間位の時間が必要なジャンルであろう。研究者としてはまだやるべきことが山積している。だからこそ可能性の宝庫であり、可能性の萌芽がたくさんあるジャンルとして方々で期待が膨らんでいるといえる。ただ、ようやく見えた段階であるにもかかわらず、米国大統領の発言などでマスコミの注目度がアップし、ややバブル的な要素も出てきた。ナノサイエンスとナノテクノロジーの両方が必要であるにもかかわらず、後者のナノテクだけがもてはやされている。

ナノテクの事業化については、大企業を中心に、非常に多くの企業が取り組みつつあるといえる。しかし、大企業の特徴としてどこも 3～5 年のショートレンジで考えているところが多いように見受けられる。ナノテクは 3～5 年では短すぎるのではないか。地道にやる必要がある。やっとナノスケール物質を見ることが出来た段階だということに留意する必要がある。これは、ナノ素材を念頭に置いたお考えである。

##### 【ナノテクと中小企業】

新素材の立場から見る中小企業の役割について、大企業は大きな組織ゆえの縛りがある、ゆえに大企業ではなく、中小企業にこそ期待したいという。急がば回れで、3～5 年と時間を限らずに取り組んで欲しい、半導体のように大がかりな設備は不要だから大金も不要、電子顕微鏡など高価な装置は社ごとに持つ必要はなく、共同で出資して使い回せばいい、未知の可能性があるのでアイデア次第で職人芸的技能やノウハウを持つ中小企業にも十分チャンスがある、とのご指摘である。

同教授の研究室を訪れる中小企業は多いという。ナノカーボンの利用法を探りたい、自社取り扱い材料に混ぜたらどうか、というタイプから、自社技術を使えば CNT の生産コストを下げられるのでは、という製法に関するものまで非常に活発だという。このほか、CNT の製法について、我々が考えもつかなかったような製法を編みだそうとしている中小企業、あるいは、ポリマーにコンポジット材料をドーピングすると導電性が高くなるが、そのポリマーの作り方で面白いアイデアを出してきた中小企業などがある。

そもそも、天才にしかできないことであれば、誰もやろうという意欲がわいてこない。偶然に賭けることが出来れば、ひょっとすると自分にもチャンスがあるかもしれない。それなら誰にもできる。ということは中小企業にも参画余地は十分にある、ということであり、中小企業であつてもどえらいことをやりかねない、そういう可能性を秘めた分野、それが CNT などの新素材の分野ということになる。

#### (2) 京都大学大学院工学研究科 機械工学専攻 工学博士 田畑修教授

(専門：フラーレン、カーボンナノチューブ)

##### 【ナノテクについての見方】 — 生産技術の立場から —

生産技術をご専門とするお立場からは、「ナノ素材を別にすれば」という断りつきで、別の角度からのご指摘をいただいた。

現状は、ナノテクというバスに乗り遅れまいという強迫観念があるのではないか。わざわざ特別なバスに乗らずとも普通の路線バスでいけるはずである、というものである。生産技術は

かねてより、着実に精度などの性能を上げてきており、着実な道もあるとのご指摘である。

ナノテクはマスコミ受けする新素材の面と同様に、生産技術で見られる着実に目立たない動きの両方に着目する必要がある、ということになる。

### 【ナノテクと中小企業】

ナノテクと中小企業に関しても、ナノ素材を別にして、次のような視点をご提供いただいている。

ナノテクという言葉が飛び交うと、技術に力を入れていないところほど焦りを覚えるのではないかと、たとえば、購入した機械装置を何も手を加えず、買ったままの状態のままオペレーションしているようなところなどだ。現代のように環境が激変して生産拠点が海外へ移転し、国内に安い海外製品が流入してコスト競争を強いられる中で、中小企業が生き残る道は技術の差別化において他にないのではないかと。中小企業はより良い技術を磨き続けるしかない。

差別化の工夫はどうすればいいか。たとえば、購入した機械装置の限界性能を引き出すことも大事だが、プラスαの何らかの工夫が必要である。それは、一言で言えば今現在使用している機械装置の精度・分解能をもう一桁上げる工夫、つまり、今までのやり方のさらなるレベルアップ、自社の技術をより良く知り、改善する努力が必要、という指摘であった。

この指摘はなかなか難しそうであるが、そのヒントとして、次のような指摘をされている。「この部品はこの大きさ」という思いこみ、先入観、固定観念に囚われているケースが多いのではないかと。「こんな小さな部品があるのだ」、「こんな小さな部品ができるのだ」、という発見をし、気がつくことができると、今まで見えなかったものが見えてくるようになるはずだという考え方である。

要は、小さくすることの可能性、スケールダウンの重要性、と更なる加工精度のアップの重要性を指摘されている。この点はⅢで採り上げている。ナノテクが示す方向の一つとして大事なポイントである。今回、中小企業でナノテク関連の事例を調査したが、その中に加工精度がナノ領域であるとするのをセールスポイントにする企業が少なからずある。ナノテクのもう一つの方角を実践している企業群であり、ご指摘のとおりであった。

## 2. 国立環境研究所 ——— 国立研究所から見た中小企業への期待 ———

### 【ナノテクについての見方】

同研究所では環境の側からのナノテクへのアプローチを考えているところであり、主にナノテク・材料の特性を生かして環境のための応用技術を開発しようとしている。そのひとつとして、フラーレン、CNT、ダイヤモンドなどの材料特性にナノテクの超微細加工技術を併せて、高機能で小型省電力環境計測機器を作る予定である。炭素系では特にダイヤモンドに注目している。産総研のダイヤモンド研究センターで作ったものを使用する。CNTは沢山できるが気まぐれで狙ったものを取り出すのが大変、歩留まりが悪く、電子の出方も不安定、あっという間に酸化してしまうので扱いにくい。

### 【ナノテクと中小企業】

中小企業との関わりという意味では、開発を予定している環境モニタリングの計測機器では極小の電子線源を使用する。この電子線源は小さくすることが一つのターゲットになる。電子線源の製造企業は数が少なくなっているが中小企業の分野ではないかと。

企業に求められる技術としては、例えば、大気汚染物質センサーがある。この構成は、スライドガラスのようなガラスに極微の孔を空けることと、そこにリトマス試験紙のような発色剤となる色素を正確に塗る技術が必要になる。センサーは元々ガスセンサーから発展してきたが、環境の場合、低濃度であってもそこでしっかりと働きができることが必要であり、しかも一般

の環境下できちんと使えることが求められる。

中小企業との取引については、具体的にどういうことができるか、何に使えるかを見せてあげること、環境関係市場の大きさを示してあげることが必要であろう。どこに頼むかは個人的なつてに頼るしかない。商社のようなところがマッチング機能を果たしてくれると助かる。

本研究所は、基礎技術を開発してそれを一般企業に普及させる機関ではなく、環境のための応用研究が主体である。しかし、このように中小企業とのパイプを求める動きがあることには注目したい。

### 3. 社団法人ニューガラスフォーラム —— 業界団体から見た中小企業 ——

#### 【ナノテクについての見方】

ガラスを分類すると、窓ガラスや瓶などの伝統的ガラス分野、光ファイバー・レンズ、ディスプレイ用ガラス基板などのニューガラス分野、ガラスをナノレベルで制御するナノガラスという未来分野がある。製造法でみると、情報通信、医療用などに使われるニューガラスはトップダウン、光デバイスなどに使われるナノガラスはボトムアップとなる。ナノガラスは、割れないガラス、光通信用三次元光回路、血液検査用バイオチップなど幅広い応用が期待されている。全体としてはまだ研究段階にとどまっているが、一部が製品化研究に発展している。

開発段階には基礎・応用・実用化とあるが、この世界では、この区別ははっきりしない。応用と基礎が同時に起きてしまい、あとから理論化するというケースがナノガラスで生じた。

#### 【ナノテクと中小企業】 — ナノガラスへの参画状況 —

ナノガラスのプロジェクトには現在大手メーカーの他中小企業が二社参加している。その内の一社はセラミックス系でガラスとは異なるジャンルの会社であるが、光ジョイント(フェルル)を作り上げることに成功したという実例があるという。

### 4. 商社から見た中小企業

#### (1) α社

#### 【ナノテクについての見方】 — 商社の新しいビジネスモデル —

当社は、商品を右から左へという従来のやり方を見直し、ナノテクに関して研究開発から手を染め、実用化まで手がけるという新しいやり方をスタートした。

また、大手メーカーなどから出向者を集めるコンソーシアム方式などの従来型組織の枠組みでは対応できないと考え、実行部隊を子会社化し、中小企業も含めた多くの企業と提携・協力する態勢を整えた。

#### 【ナノテクと中小企業】 — 商社から見た中小企業の特徴 —

当社の見方は、中小企業は物作りの一番小さなところ、大量生産より、開発試作に向く、というもの。当社はナノテクという難解なサイエンスという理屈を、中小企業の巧みの技に落とし込むマッチング機能を担うとしている。具体的には、開発に必要な機能をとくさんの要素に分解し、最も能力の高いところへ発注、併せて、知的財産権の管理とその取得支援も行う。開発後は適当なメーカーに量産化を発注する。改良・改善を進めるときは再び開発プロセスを反復する。

また、当社が注目している分野として、環境・エネルギー社会に貢献する自動車・家電等の次世代部品分野がある。特に、CNTのような新規ナノ材料や、超微細加工技術を利用した分野が中小企業との連携に有望な分野と考えている。

中小企業に期待することは、携帯やコンピュータ部品に必要な機械加工などの生産や、開発試作・用途開発などに関わる提案機能である。



## (2) β社

### 【ナノテクについての見方】 — 商社の新しいビジネスモデル —

当社は、4－10年位先の有望なシーズについて、研究開発から商業化までを担い、投資後3－5年で事業価値を最大にしてリターンを得る戦略を取る。

また、技術を事業化するという観点から、中小企業を含む自社と取引のある先を中心にアライアンスを組み、ウィン・ウィンの関係構築を期待する態勢である。IPO、M&A、事業収益、ライセンス収入など、事業化の出口を重視している。

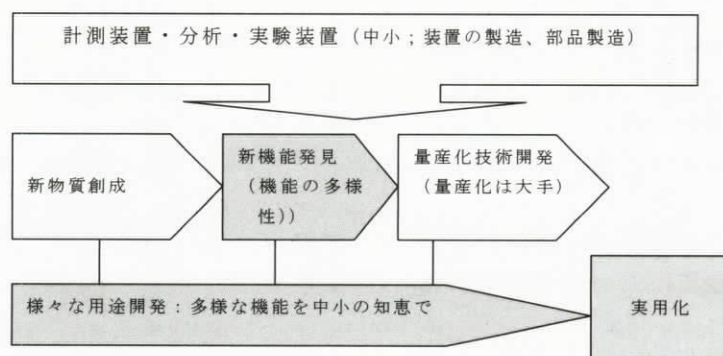
### 【ナノテクと中小企業】 — 商社から見た中小企業の特徴 —

当社の見方は、素材系のナノテクは非常に多様な機能が売り物であるだけに、用途開発は無限と言ってもいい位多くの可能性を秘めている。あらかじめ一定の方向を特定して開発する大手企業より、いろいろ試行錯誤する内に、思わぬ発見に巡り会えるかもしれないという面白さに魅了されるような中小企業にとって宝の山となる可能性が大きい。CNTの発見自体がそうであったように、CNTの用途もそれこそ意外な用途が見つかる可能性がある。このようなセレンディピティは組織に縛られる大手企業より、即断即決で小回りが利く中小企業にこそチャンスがあるという。

## (3) 商社に共通すること

中小企業に期待することは、まず自社技術の強みを分析して、商社などに対外的に説明できることが大事であるとして、特に微細加工技術の重要性を強調している。商社は出資するだけでなく共にリスクテイクする相手として情報網などのインフラを活用し、相互補完関係の構築を呼びかけている。以上のように、上記二社の他にも商社の中には用途開発の機能を中小企業に期待する戦略を採っているところが複数あるが、ナノ新素材のもつ多様な特性が背景にあるからと考えられる。

図表 中小企業に期待される新物質の用途



## 5. ナノ・ビジネス・マーケティング研究所所長松井高広氏 — 有識者から見た中小企業 —

### 【ナノテクについての見方】

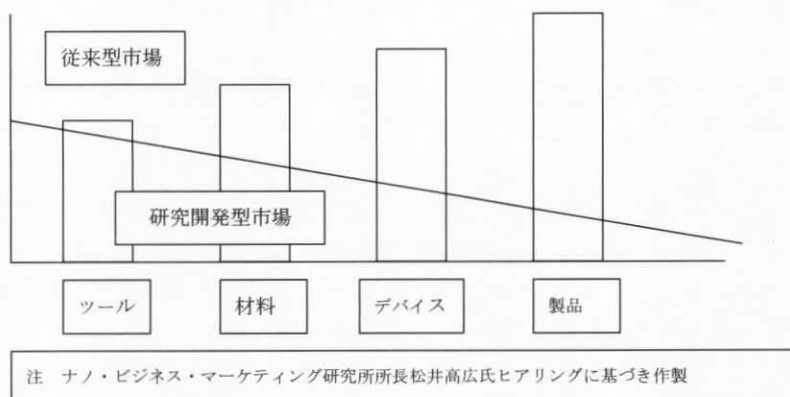
ナノテクとはサイズを規定した技術であり、あらゆるところをサイズで横串した技術だといえる。ナノの世界を技術的に括って報道されることが多いので、中小企業の社長にはびんと来ないところがあるのではないかと。

ナノテク市場については、従来のような製品別に見る方法もあるが、マーケット別に見ていく方法もある。電子顕微鏡などのツール関係の市場、CNT、フラーレン、ナノメタルなどのマテリアル系市場、そのナノマテリアルまたは微細加工技術を使ったデバイス系、それと最終



製品市場である。この四つのそれぞれについて研究開発型のマーケットと従来型のマーケットがある。ツールに近いところほど研究開発型市場のシェアが大きく、最終製品市場になるほどその割合が低下する（図表 2-1）。研究開発型市場にこそ中小企業の活躍余地がある。

図表 2-1 研究開発型市場と従来型市場



#### 【ナノテクと中小企業】 — ナノテクの実用化における中小の役割 —

一般に、技術を開発している人は既存市場の中でしか発想できず、そこから抜け出せないことが多いのではないかと。VHSもレンタル市場がここまで拡大するということは誰も予想できなかった。風が吹けば桶屋が儲かる式の発想はなかなか出来ないということだ。ナノテクに於いても分野横断的に基礎技術が実用化されていく。例えばリソグラフィ技術でDNAの分離に成功、その応用がDNAチップというような例だ。このようにこれからは分野の異なる人の意見を取り入れて行く必要が出てきている。大手の自前主義では立ちゆかない可能性があり、ベンチャー企業や中小企業とも連携してネットワークを構築していくことが必要である。ネットワークではスピードが必要となるため、独自のアイデアを持つネットワークの良い中小企業との連携が重要となってくる。そこでは、従来型下請け構造の発想が無意味なものとなる。そのような考え方を持つ例（本文Ⅳの事例G社）が出てきている。

## 参考Ⅱ－２ 支援機関の取り組みの実態

### 1. A 研究開発機関

#### 【事業の概要】

当地域には多くの大学を中心にマイクロ、ナノテクノロジー関連の基盤技術開発が進められ、研究シーズが豊富にある。一方、ハイテクベンチャー創出の地域でもあり、自由で先駆的な気風と匠の技と高付加価値を併せ持った「ものづくり」の文化をもつ。これらの地域資源にナノテクを融合させ、当地域の得意分野における国内外との競争力を強化し、地域産業活力を生み、ベンチャー企業の創出に結びつけることを目標に展開している。

ナノテクと産業界との融合、交流を目的に交流会を設置し、産学 550 名の会員を集めている。情報提供と交流（二月に一度の開催）を意図し、産学のネットワーク化を図っている。

#### 【事業の課題】

大企業スピンアウト型のベンチャーは、親元の協力体制があり、製造のネットワークは限定されがちである。大学発のベンチャー企業は、製造機能とのネットワークが限定されるなど、参加企業のネットワークだけではシーズの事業化に限界がある。大都市中小企業集積地などコア技術と多様なネットワークを有する他地域の産業集積地とのネットワークが求められる。

### 2. B 研究開発機関

#### 【事業の概要】

研究開発事業としては、ナノカーボンコンポジットによるスマート機能デバイスの研究開発、及び、機能性ナノ高分子材料によるスマート情報デバイスの研究開発の 2 テーマに焦点を当て取り組んでいる。本事業に参画する企業は、地元の大手、中堅企業を中心とした 22 社で、そのうち中小企業は 4 社程度である。参加企業は原則として研究員、資金を出すことになっており、負担金は 25 万円/年となっている。また、各企業から研究者が参加するが、必ず、参加企業の中に支援グループを置くことにし、参加企業に当事者意識をもってもらうとともに、成果の産業への移転、還元や産業化ニーズの研究開発への取り込み等を円滑に進めることに留意している。4 ヶ月に一度、大学だけでなく、企業も発表する場を設け、企業が何をやりたいのか、やってどうするのか、情報交換の場もセットしている。

このような研究開発事業の成果や大学の知的ポテンシャルを活用し、地域中小企業等既存企業と大学等の研究者との情報交換、技術交流を推進し、付加価値創出型プラットフォームの実現を目指し、「ナノテクフォーラム」を立ち上げた。この会には企業 123 社（159 名）、大学等の研究者 57 名、支援機関 35 団体の計 251 名が参加し、自主的運営を展開し、ナノテクの啓蒙、普及等を推進している。運営は、企業を中心に世話人会を作り、事業企画を行い、各種事業を展開している。

#### 【事業の成果】

地元中堅企業と大学が共同で、電解析出技術を用いたカーボンナノファイバー※複合電解粉の製造技術を開発した。この企業は、メッキ技術等を技術基盤とする企業が、既存の材料加工部門をタイへ移す一方、新素材部門を設置し、複合メッキ技術開発に取り組んでいたところ、大学のシーズ、知的情報に出会い、一緒に組んでみたいというニーズから出発したものである。このように成果を出していくためには、産業界からのニーズが不可欠である。

#### 【事業の課題】

問題は、製品開発にあたってのパートナー企業との出会いである。特に、上記のようなニーズに精通する企業とのネットワークを拡げていくことが不可欠となっている。地域を越えたパートナー企業の発掘が今後の課題である。

### 3. C公設試験研究機関

#### 【事業の概要】

既存試験場を再編統合する時の目的に 21 世紀の成長分野である先端技術の開発を目指すことを掲げ、基礎研究に関しては大学とベンチャー企業等によるグループを事前に設置していたことから、ナノテクに着目、ナノ材料チームを創設した。単年度 5 億円の投資をして中心となる装置・設備を整え、超微粒子、ナノクラスターなどに関する研究を進めている。

#### 【事業の成果】

実用化に重点を置いた研究を進めており、県内企業 2 社が既存光触媒の 5～10 倍の機能を持つ光触媒関連の装置を実用化している。

A 社 —— 超微粒子の製造。特許名：「高活性表面修飾酸化チタン光触媒及びその製造方法」

B 社 —— 建築材料中の VOC を分解するフィルターの製造。特許名：「光触媒を用いたガス除去用フィルタ及びその製造方法」

### 4. D地域産業支援機関

#### 【事業の概要】

当地域は、機械金属関連の中小企業の集積地で、高度な機械加工技術をコア技術とする中小企業、オンリーワン企業が集中するものづくり技術集積地である。人材・後継者難、長引く不況等の影響によりピーク時に 9 千社を超えた企業数も 6 千社までに減少し、集積機能は低下している。衰退傾向の歯止めと地域産業の活性化を目的に、技術開発・経営支援サービスや受発注・販路開拓支援、産学交流・企業ネットワーク支援事業を実施している。近年では、異業種交流事業の推進による企業間ネットワーク拡大、新製品開発・新規事業開拓の推進、起業支援事業を中心に展開している。また、受注開拓支援として共同受注できる HP を立ち上げた。研究開発が中心であるが市場開拓は難航している。

中小企業に対する研究開発支援としては、産学連携事業として国立大学の TLO と連携し、水上飛行機のプロジェクトを進めたり、行政主催で新製品、新技術コンクールを実施するなどの連携事業を展開している。

### 5. E地域産業支援機関

#### 【事業の概要】

当地域は、工業の町として発展してきたが、企業数の減少が顕著となり、平成 11 年に全数調査を行い、企業ニーズの収集に努めるとともに、企業台帳の整備を図った。その結果、ピークの 154 社が 84 社までに落ち込み、コア技術の活用や小ロット・短納期生産など強みが確認される一方で営業販売力が弱みとなっていた。特に、販路開拓では、当地域ブランド作りを進め、42 社のオンリーワン製品、高付加価値製品、自社得意技術等 95 製品を集め、内外に発信するとともに地域ブランド展を開催し、受注開拓支援を実施している。

また、11 の大学、8 の支援機関等と地域中小企業との連携を促進、異業種グループ、共同受注グループ活動の支援を実施し、中小企業の産学連携、企業間のヨコ受け連携の促進を図り、企業の経営革新、新規事業開拓を促進している。

#### 【事業の成果】

かつては下請け生産が多かったが、今では系列取引は 3 割に減少し、7 割は複数販路か独立型に転換するようになり、自立化が進んだ。特に、専門技能の集団化、ヨコ受け連携が進み、自社製品化への挑戦やファブレス企業への転換等意欲的企業が輩出されるようになってきた。

メッキ技術をコアとする中小企業は、産学連携交流会をきっかけに、奈良先端技術大学院と

提携し、ナノテク市場に参入し、DNAチップ等の開発に着手している。

異業種交流事業等を契機に 10 社が協議会を作り人工衛星の打ち上げに取り組むなど宇宙事業分野への参入意欲の高まりや、中小企業のコア技術を見直すきっかけ作りになる等の効果を生み出している。特に、協議会の中から金型製作の企業が積極的にナノコンポジット材料の開発などを手がけるようになるなど先進技術の活用、市場参入も進み始めている。

## 6. 中小企業に求められる役割

支援機関におけるナノテクの技術開発と事業化への取り組み状況をみると、様々な試みが展開され、ナノテクの事業化や中小企業のナノテク市場への参入等の芽を作るなど一部成果を生み出し始めている。

- ・ 研究開発機関では産学連携による共同研究グループを作り、ナノテクの研究開発と事業化に取り組み、試作段階ではあるが、実用化面で一部成果を出す。
- ・ 公設試験研究機関ではナノテクの研究開発から応用研究、中小企業に対する技術サービス等多面的に展開し、技術研究開発と、シーズと中小企業との出会いの接点的役割を演じ、中小企業におけるナノテク導入と製品化など一定の成果を出し始める。
- ・ 地域中小企業を対象とする地域産業支援機関は、ナノテクの研究開発よりも、研究技術開発シーズを有する大学を活用する産学連携の推進や地場中小企業ニーズの発掘と対応、技術・経営支援サービスなど密着的な事業に軸足を置き、中小企業のコア技術とナノテク等研究シーズとの出会いの場づくりを担い、中小企業のナノテク等先進技術市場への展開を支援し、一部はナノテクの活用により事業開拓を進める等成果を出す。

しかし、これら支援機関が研究技術開発から応用、事業化、実用化に結びつけ、これまでの一部成果を拡大していくためには次のような課題を抱えている。

- ・ 試作開発の成果を出すものの、応用・実用化、事業化段階では足踏み状態で、実用レベルの製品化とその市場開拓が課題。
- ・ このためには、産学による共同研究開発グループに留まらず、地域、取引先、業界等既存のネットワークを越えた多様なニーズや技術シーズを有する企業との出会いが必要不可欠であり、企業ネットワーク支援が急務。
- ・ 中でも、都市型の中小企業は特定分野でニッチな市場ではあるが、具体的な市場ニーズに精通し、試行錯誤的な技術・製品開発への取り組み意欲が高い。このような中小企業と研究開発成果・シーズとのマッチングも必要。
- ・ また、地域中小企業の多くはナノテク等先進技術分野から入らない（一部先端技術開発から取り組む企業は、既に大学との連携や人材を確保している中小企業）。自社のコア技術活用による新規事業開発や技術開発、新材料の確保等のニーズから入り、結果としてナノテクの活用に結びつく。中小企業ニーズから出発することも必要となり、地域中小企業とのパイプが強い地域産業支援機関や公設試験研究機関と高度なナノテクの研究開発機関等との連携を強化し、広域的なネットワークを構築することも必要。

以上から中小企業に期待される役割をまとめると、次の4点が挙げられる。

- ① 研究開発シーズの応用、実用化研究への参画
- ② 実用的製品化、事業化への参画
- ③ 産学ネットワークの拡充への参画
- ④ 研究開発シーズと実態的市場ニーズとのマッチング

参考Ⅲ－１ 計測精度について

計測の精度には「長さ」と「比」の二つの観点がある。

「長さ」とは2点間の距離が近づいて行く時どれくらい離れた距離が認識できるかということである。「比」とは、例えば、1回転360度に対し何分の1回転までで細かく回転位置を刻むことができるか、ということである。1mの真直さを1nmの確からしさに保証すると言うような例もある（今回の事例の中にも、真円度、表面粗さなどの精度でナノを達成している例がある）。

図表 3-1-1 ナノ世界の計測技術

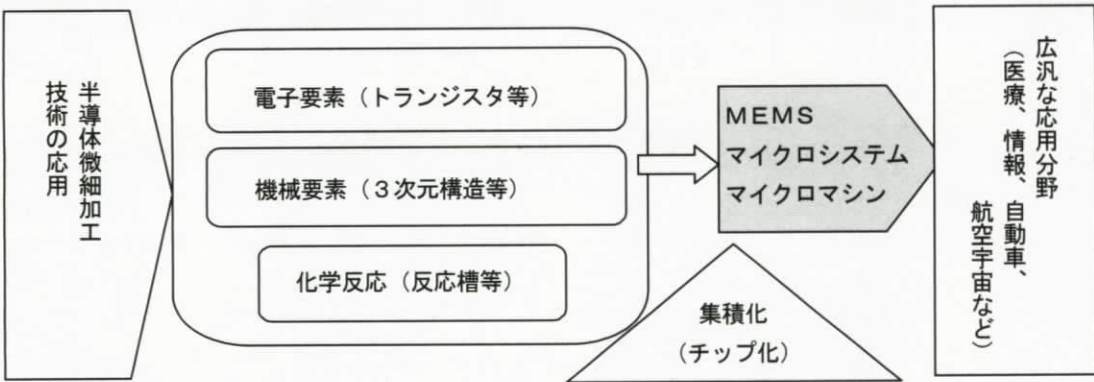
|                                             |                                                                                          |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 長さの分解能という観点<br>=nm レベルの「目盛り」<br>=nm の「識別能力」 | 物差しの目盛り——長さの分解能はnm を超える<br>ex. 人工メートル原器の長さを分割した目盛り<br>ex. 光波長単位の日盛り, 結晶の格子間隔の日盛り         |
| 比として何分の1 まで確かといえるかという観点<br>=「10 億分の1」の測定能力  | 角度の検出：一回転の回転位置の測定<br>(360 度を数ナノで刻むというイメージ)<br>真直さ：真直形状を1nm の確からしさに測定<br>(このほか、真円度、表面の粗さ) |

出所 図解ナノテクノロジーのすべて、工業調査会を参考に（財）政策科学研究所にて作成

参考Ⅲ－２ MEMS（マイクロシステム※、マイクロマシニング）について

図表 3-2-1 MEMSとは

半導体微細加工を応用して電子要素、機械要素等を一体的に集積し、チップ化したシステム



MEMSの他にマイクロシステム、マイクロマシン、とも呼ばれる。類似のものにデバイス全体がナノオーダーあるいは要素部品がナノオーダーであるNEMS、ナノシステム、ナノマシンがある。MEMS自体の大きさはせいぜい数ミリメートル、それを構成する各要素はミクロンオーダー、その要素の中にはナノ加工が含まれる。将来、原子分子で直接積み上げて部品を作製することが普通になるまでは有力なナノテクの一つとされる。

MEMSの基本技術は次の表のように大きく三つに分かれる。

図表 3-2-2 MEMSの基本技術

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| LIGAプロセス       | 電気鋳造法＋X線露光＋射出成形 |
| サーフェスマイクロマシニング | シリコンの表面を加工      |
| バルクマイクロマシニング   | シリコンの結晶を立体的に加工  |

（資料） 京都大学 田畑修教授ヒアリングに基づき（財）政策科学研究所にて作成



参考Ⅲ－３ 半導体微細加工技術と従来型機械加工技術の違い

図表 3-3-1 技術の比較

|          | 半導体微細加工技術 | 機械加工技術      |
|----------|-----------|-------------|
| パターン形成技術 | リソグラフィー   | 該当なし注       |
| 表面付加加工   | デポジション    | 付加加工(めっき)   |
| 除去技術     | エッチング     | 除去加工(切削)    |
| 成形技術     | 該当なし      | 射出成形、鍛造、プレス |

注. 除去加工でどこを削るかに相当

出所 京都大学大学院工学研究科 機械工学専攻 工学博士 田畑修教授ヒアリングに基づき (財) 政策科学研究所にて作成。

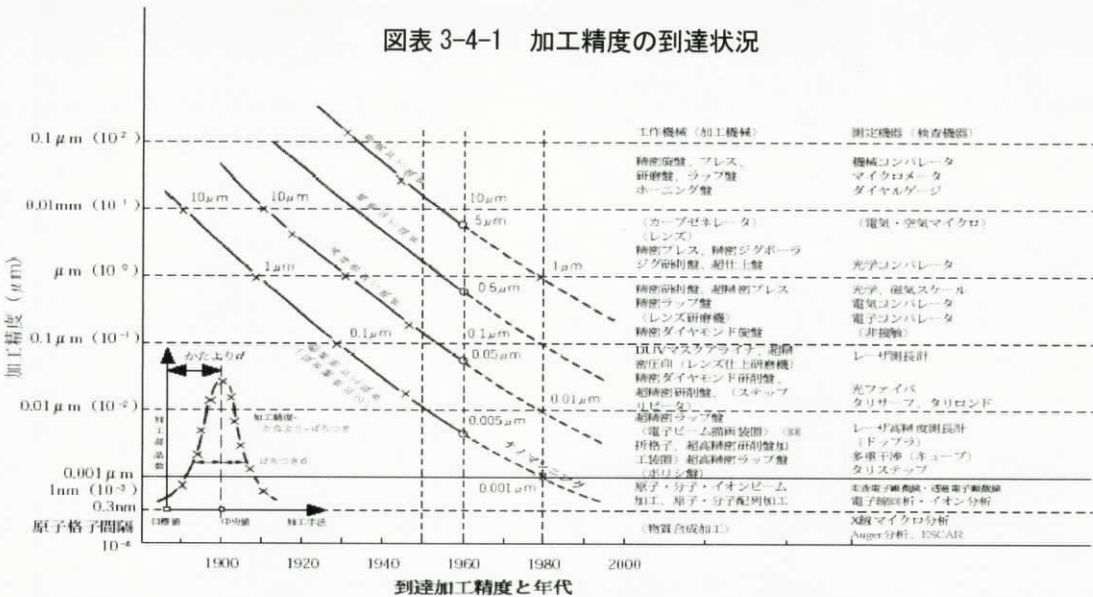
参考Ⅲ－４ 加工精度について

【加工精度、精密加工とは何か】

加工精度とは「偏り」と「ばらつき」の和であると定義される (図表 3-4-1 加工精度の到達状況の左隅のグラフ参照)。偏りは目標値と加工対象を観測した値の中央値との乖離幅のことであり、いわゆる正確さを表す。ばらつきは観測値の散らばり度合いであり、散らばりが小さいほど精密であると考ええる。

【加工精度の趨勢的向上——行き着く先にナノの世界が】

生産技術をその時代時代に出現した工作機械、測定機器の性能から見て、その時代の最も精度の高いものから順次、超精密加工 (限界精密加工)、高精密加工、精密加工、普通精密加工の四段階に分ける。こうしてそれぞれの加工限界が過去からどのように精度が向上してきたか、今後どのように精度が向上するかをグラフ化したものが下記の図表「加工精度の到達状況」である。グラフは歴史的に加工精度が向上してきていることを示している。



出所 上図は山梨大学 HP ( [http://www.yamanashi.ac.jp/message/0305\\_02/graph\\_0610.pdf](http://www.yamanashi.ac.jp/message/0305_02/graph_0610.pdf) ) より引用、作製者はナノテクの提唱者故谷口紀男第四工学部長

【加工精度の考察から「ナノテクノロジー」が生まれた】

この1974年に発表されたグラフの作成者故谷口紀男山梨大学教授(1974年発表当時は東京理科大学教授)は、このような歴史的趨勢的加工精度の向上から将来(西暦2000年)には精密加工技術精度が1nmになるとして「ナノテクノロジー」という言葉と概念を提唱された。加工精度こそナノテクを生んだ基礎概念であり、ナノテクの重要なファクターであることがわかる。

このグラフを見ると、普通加工の精密レベルが高精密加工のレベルに達する場合など、一つ上のクラスの精度に達するには概ね20年から30年近くかかっていること、あるいは、各加工工程の中で精度を一桁上げるにも同じようにおよそ20年から30年弱ほどかかることがわかる。精度上昇のピッチは精度が高くなるにつれ緩慢になる傾向が見られる。この精度アップのスピードは限界に近づくにつれ徐々に緩慢になると予想されている。

このグラフで言う加工精度とは、正確さと精密さを兼ね備えたもの、具体的には「目標値との乖離」に「観測値のばらつき度合」を加えたものを指している。

加工精度＝正確さ＋精密さ

＝目標値との乖離＋観測値のばらつきの大きさ

参考Ⅲ－5 薄膜技術の概要について

以下の表は、薄膜技術などのナノ加工技術を理解しやすくするために薄膜、表面加工・改質技術についていくつかの切り口から並べたものである。

薄膜を作製する技術から見た要素技術の分類が図表3-5-1である。ナノ構造を造る時に、作製方法から分類したものが図表3-5-2、薄膜の加工・改質技術としてどんなものがあるか見たものが図表3-5-3、薄膜の計測関係の手法を見たものが図表3-5-4、薄膜技術を応用した製品群が図表3-5-5、表層除去などの表面改質法について各種手法を整理したものが図表3-5-6である。

図表 3-5-1 薄膜製作技術

|            |           |                                                |
|------------|-----------|------------------------------------------------|
| 気相法        | PVD       | 真空蒸着、分子線エピタキシー、スパッタリング、イオン化蒸着、レーザーアブレーション、熱CVD |
|            | CVD       | プラズマCVD、MOCVD、光CVD<br>ALE法(アトミックレイヤーエピタキシー)    |
| 液相法        | 液相エピタキシー法 |                                                |
| 塗布法、ゾル-ゲル法 |           | 塗布法、インクジェット塗布法、ゾル-ゲル法、めっき法                     |

(出所) 権田俊一監修『21世紀版 薄膜作製応用ハンドブック』2003.4(株)エヌ・ティー・エス発行、の目次を中心に本文等参照の上、(財)政策科学研究所にてまとめたもの

図表 3-5-2 ナノ構造作成法

|                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------|
| トップダウン型：半導体集積回路製造技術<br>リソグラフィ、<br>レジスト(エキシマレーザー、電子線、イオン線、X線)<br>エッチング(イオン、プラズマ) |
| ボトムアップ型：自己組織化利用のナノ構造形成技術(CNT、フラーレン)<br>アーク放電法、抵抗加熱法、高温レーザー蒸着、CVD法               |
| 従来と異質な立体ナノ構造形成技術<br>レーザー、集束イオンビーム、電子ビーム                                         |

(出所) 図表3-5-1に同じ。以下図表3-5-5まで同じ。



図表 3-5-3 薄膜の加工・改質技術

|                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CMP (ケミカルメカニカルポリッシング)                                                                                                       |
| レーザービーム再結晶化法 (エキシマレーザー)                                                                                                     |
| プラズマエッチング (堆積、エッチング、表面処理、(クリーニングに応用))                                                                                       |
| X線 (放射光)、電子線加工・改質                                                                                                           |
| ビーム加工<br>電子ビームリソグラフィ (マスクレス描画機能)<br>電子ビーム加工 (デポジション※、エッチング)<br>集束イオンビーム加工 (リソグラフィ、エッチング、デポジション、イオン注入、イオンビーム改質、等、多機能プロセスが可能) |
| STM (走査トンネル顕微鏡)、AFM (原子間力顕微鏡) による加工                                                                                         |

図表 3-5-4 薄膜・表面・界面の分析評価 (構造・組成分析)

|                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| 電子線 (電子回折法、電子顕微鏡法) | SOR光 (シンクロトロン放射光) — 高精度測定 |
| イオンビーム—元素組成・構造分析   | 光電子分光法—X線、紫外線利用           |
| 光—形態、構造、組成、状態分析    | 走査プローブ顕微鏡—STM、AFM         |
| X線—X線回折を利用         |                           |

図表 3-5-5 薄膜技術の応用製品

|                                                               |                                                      |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 光部品<br>光学多層膜光部品、光導波路デバイス、<br>発光ダイオード、半導体レーザー、<br>CCD/CMOSセンサー | 記録                                                   |
| ディスプレイ<br>薄膜ELディスプレイ、LCD、PDP、<br>透明導電膜、FED                    | センサ                                                  |
|                                                               | マイクロマシン                                              |
|                                                               | 環境エネルギー<br>太陽電池、燃料電池、光触媒、選択透過膜、<br>親水・撥水膜、金属酸化物多孔性薄膜 |
|                                                               | 有機バイオデバイス                                            |
|                                                               | カーボンナノストラクチャー                                        |

図表 3-5-6 主な表面改質法

|             |       |                      |                                           |       |                           |
|-------------|-------|----------------------|-------------------------------------------|-------|---------------------------|
| 機<br>械<br>的 | 表層除去  | 研削・切削・研磨、<br>ブラスト    | プ<br>ラ<br>ズ<br>マ                          | 被膜付加  | プラズマ溶射、プラズマ重<br>合、プラズマCVD |
|             | 被膜付加  | 塗装、めっき               |                                           | 薄膜層生成 | プラズマ表面反応                  |
| 化<br>学<br>的 | 被膜付加  | めっき、CVD              | イ<br>オ<br>ン                               | 表層除去  | プラズマエッチング                 |
|             | 薄膜層生成 | イオン交換、酸化・還元          |                                           | 被膜付加  | イオンプレーティング、ス<br>パッタリング    |
|             | 表層除去  | 化学エッチング、酸・ア<br>ルカリ洗浄 |                                           | 表層変成  | イオン注入                     |
| 電<br>気<br>的 | 被膜付加  | めっき                  | レ<br>ー<br>ザ<br>・<br>光<br>・<br>放<br>射<br>線 | 表層除去  | イオンエッチング※                 |
|             | 表層除去  | 電解研磨                 |                                           | 被膜付加  | 光CVD、レーザーCVD              |
| 熱<br>的      | 被膜付加  | 真空蒸着、表面析出            |                                           | 表層変成  | レーザードーピング、レ<br>ーザ溶接硬化     |
|             | 表層変成  | 焼き入れ                 | 紫外線                                       | 表層除去  | 紫外線照射                     |
|             |       |                      | 放射線                                       | 表層変成  | 放射線硬化                     |

(出所) 実用新素材技術便覧、通産資料調査会を基に (財) 政策科学研究所にてまとめたもの

## ナノテク関連用語集

各種資料、HPに基づき（財）政策科学研究所にて作成

**ナノ、n、nano** : 十億分の1を表すギリシャ語で単位系の接頭語、nm(ナノメートル: 1メートルの10億分の1の長さ、100万分の1ミリメートル)、ng (ナノグラム; 1グラムの10億分の1の質量)と表記する。

**ナノテク** : ナノテクノロジーの略称、ナノ領域に関わる加工・計測技術。

**ナノテクノロジー** : 通常は概ね100ナノ以下を対象とするが、本調査では、ミクロンサイズよりも微小なものを扱う技術に拡大している。

**ミクロン、μ、micro** : 百万分の1を表すギリシャ語で単位系の接頭語。千ナノに相当。

**サブミクロン** : ミクロンより一桁小さな領域、千万分の一。

**ピコ、p、pico** : 1兆分の1を表すギリシャ語で単位系の接頭語。千分の1ナノに相当。

**フェムト** : 千兆分の1を表すギリシャ語で単位系の接頭語。千分の1ピコで、百万分の1ナノに相当。

**フェムト秒レーザー** : フェムト秒時間領域で発光するレーザー。微細加工用。

**GPa (ギガパスカル)** : 圧力の単位。 $1\text{ GPa} = 10^9\text{ Pa}$ 。1㎡に1kgの重量がかかる時の圧力は9.8Paに相当する。

**ナノ新素材** : ナノスケール(100nm以下)を持つ微細な物質。新しく発見されたCNT、フラーレンなどを指す。新しい性質・機能を有する。0.1nm~10nmの範囲にあるものが多い。

**ナノ物質** : ナノスケールの微細な物質、ナノ新素材を含む。球状の粒子、針状のナノチューブ、ナノワイヤ、膜状のナノシート、立体状のナノセラミックス、ナノメタルなどがある。

**ナノ粒子** : 原子・分子は集合・反応・成長してクラスター(ナノメートルサイズの超微粒子)になり、さらにナノ粒子となる。粒径は、1~100nm。

**ナノメタル** : 金属材料の構造・組織をナノスケールで制御したもの、今までの金属であれば持ち得ない新しい特性を持たせることができる。ナノ組織金属という場合がある。

**ナノガラス** : ガラスの材料をナノスケールで制御した、強くて軽量のガラス。超高速通信の光デバイス材料などがターゲット。

**ナノセラミックス** : 金属酸化物、炭化物、窒化物などのファインセラミックスをナノレベルで構造制御を行い、超高度、超靱性、高速超塑性などの新機能を付与したもの。宇宙航空などへの応用を模索。

**ナノカーボン** : 炭素原子で出来たナノ粒子。CNT、フラーレン、ダイヤモンドなど。

**カーボンナノチューブ** : 炭素原子のみから出来た筒状の新素材。多様な機能特性を持つ。直径数nm、長さ約1μm程度、単層、多層など種類が多い。1991年飯島博士が発見した。

**CNT** : カーボンナノチューブの略称。

**フラーレン** : 炭素原子のみが60個サッカーボールのような球状に並んでいる(C<sub>60</sub>)物質。CNTと同様に多様な機能特性が期待されている。C<sub>60</sub>は、直径約1nm。1970年大澤博士が存在を予言した。

**カーボンナノファイバー** : 高機能極細炭素繊維、200~500nm程度の大きさ

**デポジション** : 付着させること。

**トップダウン** : 物質を削って小さくし、微小なものを造る技術。設計したパターンを縮小して作る半導体微細加工技術でよく使われる。

**ボトムアップ** : 原子や分子を物理的、化学的な方法で反応させながら大きくしていくことで微細なものを造る技術。自己組織化、化学気相蒸着法、ゾル-ゲル法、レーザーアブレーションなどがある。

**リソグラフィー** : 写真の露光技術を応用して、平面に微細なパターンを転写する技術、フォトリソグラフィーともいう。レジスト塗布、マスク露光、エッチングという手順。これに対し、露光技術を使わず、インクジェットやプローブなどで直接パターンを描画する方法がソフトリソグラフィーといわれる技術。

**フォトリソグラフィー** : 「リソグラフィー」参照

**ソフトリソグラフィー** : 「リソグラフィー」参照

**エッチング** : 化学反応を利用して薄膜を形状加工すること、除去加工の一種、ドライエッチングとウェットエッチングがある。ドライはガスを使って反応を起こさせるが、ウェットは薬液を用いる。

**イオンエッチング** : 最も一般的なドライエッチング。ガスをプラズマ化してできるイオンを使って化学反応を引き起こし、必要箇所を除去する。

**レジスト** : 感光性樹脂。感光させたところと感光しないところの反応の差異を利用してパターンを描く。リソグラフィーで使われる。

**レーザー** : 電磁波の誘導放出の原理で光を発信、誘導放出し、増幅させた光源。レーザー光は波長、振動数が揃い、強度がアップした光。化学反応を起こすことができる。

**エキシマレーザー** : 媒質が励起されているときにのみ、ごく短時間しか存在しないエキシマ分子からの放射光を利用するレーザー、利点はターゲットを光化学反応により加熱し、表面形態の優れた薄膜が得られること。

**UV** : ultraviolet の略で紫外線のこと。

**EUV** : extreme ultraviolet の略で極めて波長の短い(15~19nm)紫外線のこと、リソグラフィーの露光に使われる。

**レーザーアブレーション** : レーザービームを照射することによってターゲット材料表面を励起・放出させ、目的基板に分子レベルで材料の小さな微粒子や薄膜を堆積する方法、ボトムアップ法の一つとされる。

**イオンビーム** : イオンとは正または負の電気を帯びた原子または原子団でその流れをいう。電子の場合には電子ビームという。

**集束イオンビーム** : ガリウムイオン源からイオンビームを取り出し、5~10nm に集束させた上で、試料に照射させる技術、マスクを使わないリソグラフィー、エッチング、デポジション、イオン注入などの多様な加工プロセスがある。

**プラズマ** : イオン、電子、中性粒子からなる電氣的にほぼ中性の気体、粒子集団。

**薄膜作製法** : レーザーの熱などの物理的方法で気相を得る物理気相成長法(PVD)と高温のガスの中で化学反応を利用する化学気相成長法(CVD)などがある。

**気相法** : 「気相」の中で結晶を成長させる手法。

**PVD** : 物理的気相成長法(Physical Vapor Deposition)。電子やレーザーなどの熱や高エネルギー粒子を利用して必要な物質の結晶を成長させる。真空蒸着法、スパッタリング法、イオン化蒸着法、レーザーアブレーション法、分子線エピタキシー法などがある。

**真空蒸着** : 真空中で物質を加熱蒸着させ、基盤に付着(デポジション)させる方法。

**スパッタリング** : メッキや蒸着のように樹脂などの表面に金属皮膜を形成する技法の一つ。スパッタリングは加速イオンを金属に衝突させて、その反動ではじき出された金属原子を樹脂に付着させる。

**アーク放電法** : アークとは電弧(弓状)のことで、フラーレンは、ヘリウムガスの中でアーク放電を利用して炭素電極を蒸発させて作る。

**CVD** : 化学気相成長法 (Chemical Vapor Deposition)。堆積させたい元素を高熱にして水素・窒素などの運び役とともに基板上に供給し、化学反応を進行させて薄膜を成長させる手法。

**液相法、液相成長法** : 「液相」のなかで結晶を成長させる手法。低融点の金属を溶媒として、溶質としての目的の結晶を析出させる。成長速度が大きく厚い結晶層が容易に得られる。

**マイクロマシン** : 電氣的要素、機械的要素、化学的要素のいくつかの組み合わせを集積した微小なチップ状のもの。半導体チップで蓄積してきた技術を応用して構造物を作製する技術。ナノの時代の基盤技術といわれる。MEMS (米国)、マイクロシステム (欧州) ともいう。通信、光、バイオなどが応用分野。I 3 (3) 参照。

**MEMS** : Micro-Electro-Mechanical System の略、マイクロマシン参照。

**マイクロシステム** : マイクロマシン参照、欧州での呼称。

**LIGAプロセス** : X線を使ったリソグラフィと電気鋳造法、成形・離型技術を組み合わせたもの。様々な物質を立体形状で微細加工が出来る。マイクロマシニング技術の一つ。

**電気鋳造法** : エレクトロフォーミング、あるいはエレクトロプレーティング、電気メッキともいう。通常のメッキはメッキして基板ともどもそのまま使うのに対し、電鋳法は一旦メッキした後、メッキにより鋳型に堆積させた金属部分を剥離し、剥離部分を使うところが、従来型メッキと異なる点。

**エレクトロフォーミング** : 電気鋳造法に同じ

**エレクトロプレーティング** : 電気鋳造法に同じ

**プローブ** : 極微の探針。走査型顕微鏡でこの針が目の役割をする。シリコン、タングステン、CNTなどが使われる。

**走査プローブ顕微鏡** : プローブを試料表面の原子や分子に近づけると生ずる反応を検出して、試料を観察したり、評価・分析したり、操作する。

**走査トンネル顕微鏡** : プローブを近づけると発生するトンネル電流を検出することによって対象試料を観察したり、評価・分析したり、操作したりできる。試料は電気を通すものに限られる。

**原子間力顕微鏡** : プローブを近づけると発生する原子間力 (引力のようなもの) を検出することによって対象試料を観察したり、評価・分析したり、操作したりできる。試料が非導電性でも観察できる。

**電子顕微鏡** : 電子を光の代わりに当てて「観察する」顕微鏡。水平分解能は高いが、垂直分解能が弱く、観察に真空が必要であるため、生き物を生きたまま観察することは出来ない。

**走査型電子顕微鏡** : 電子を走査させて (触らなくなぞるというイメージ) 対象を「観察する」顕微鏡、水平分解能は一般的なので 10nm 程度。

**透過型電子顕微鏡** : 電子を対象物の中を透過させて、その反応を「観察する」ことで「見る」ことができる顕微鏡。

**微小領域の計測・観測技術** : 電子顕微鏡 (形態観察)、X線マイクロアナライザ (元素分析)、走査型プローブ顕微鏡 (表面形状観察)、顕微ラマン分光・顕微フォトルミネッセンス分光 (試料表面の化学情報、空間分解能ミクロンスケール)、走査型近接場光顕微鏡 (試料表面の化学情報、空間分解能数百ナノスケール)。

**分解能** : 二つのものをどの程度識別できるかという能力。垂直方向と水平方向の二つの分解能がある。

**バイオチップ** : 例えば網膜チップのようなもの。網膜チップは、網膜に必要な機能をチップ上に集積し、人工の網膜として使う。

**DNAチップ** : バイオチップの一つ。I 3 (3) 参照。

DDS : Drug Delivery System。患部に集中的に薬を送り込む仕組み、フラーレンをその運び役とする研究などが進んでいる。I3(3)参照。

ポリマー : 高分子、重合体のこと。

コンポジット : 複数の物質を複合化したもの。

ドープ : 注入すること、塗ること。

キャピラリー : 毛細管のような形状をしたもの、ガラスの毛細管。

フェルル : 光ファイバー同士を着脱可能に光接続する光ファイバーコネクタに用いられる光接続部材のこと。

光ファイバーアレイ : 光回路などで光ファイバーを一括統合する接続部品。

塑性変形性 : 弾性の逆のこと。金属などに力を加えると変形するが、そのまま元に戻らず形状を変えることができる性質をいう。

アルカン : 炭素と水素だけからなる有機分子のこと。このうち全て単結合(C-H、C-Cのように線が一本しかないこと)の物質をアルカンといい、二重結合(C=C)を含む物質をアルケンという。

誘導体 : ある化合物の分子内の小部分を変化させて生成した別の化合物。

## 参考文献

### 1. ナノテクの解説関連

- 21世紀版薄膜作製応用ハンドブック、権田俊一、エヌ・ティー・エス、2003年
- 実用新素材技術便覧、田中良平 実用ニューマテリアル研究会、通産資料調査会、1996年
- ナノテクの衝撃日本経済を救うキーテクノロジー、日刊工業新聞特別取材班 財団法人大阪科学技術センター 関西ナノテクノロジー推進会議、B&T ブックス 日刊工業新聞社
- 図解 ナノテクノロジーのすべて、河合知二、工業調査会
- 図解 ナノテク活用技術のすべて、川合知二、工業調査会
- 日本発 ナノカーボン革命 技術立国ニッポンの逆襲がナノチューブで始まる、武末高裕、日本実業出版社、2002年
- ナノテクが日本を救う、池澤直樹、講談社、2002年
- ナノテクノロジーを追う、辻野貴志、日経BP社、2003年
- 産学連携「革新力」を高める制度設計に向けて、原山優子、東洋経済新報社
- ナノテクノロジーの夢と今、森谷正規、文春新書
- ナノテクビジネス成功へのシナリオ、松井高広、実業之日本社
- ナノテク&ビジネス入門、石川正道、オーム社
- 日経センターセミナー、「ナノテク事業化最前線」、三井物産、ナノテク事業部長、前野拓道
- みずほ産業調査、「ナノテクノロジーの現状と求められる戦略的支援策について」
- 大和総研調査 「ナノカーボン材料実用化の見通し」
- ナノテクの衝撃、日刊工業新聞社 日刊工業新聞特別取材班+財団法人大阪科学技術センター+関西ナノテクノロジー推進会議編
- ナノテクノロジービジネス推進協議会
- ナノテクノロジー極微科学とは何か 川合知二 PHP新書
- ナノテクノロジー：ハイテクを支える超精密科学、田中充、産業図書

- ナノテクノロジー・ハンドブック Open knowledge、産業技術総合研究所
  - 量子力学が見る見るわかる、橋本淳一郎、サンマーク出版
  - 日経ナノテク年鑑
  - 日経サイエンス、2003、8月号
  - 日経エコロジー9
  - Nano tech 2003 + future ナノテクノロジーに関する国際会議および国際展示会 ガイドブック、ナノテクノロジー・材料技術開発室 新エネルギー・産業技術総合開発、2003 年
  - 日経ナノテクフェア 2003 ガイドブック
2. 地方公共団体等の支援機関関連
- 八尾市産業博 ビジネスマッチング博 2003 出展企業ガイド
  - TORYO ビジネスマッチングフェア 2003 ガイドブック
3. ベンチャーキャピタル関連
- 中小企業事業団、平成14年度中小企業実態調査「主要ベンチャーキャピタルの投資の投資重点分野と支援の実際」
  - 公益信託みずほニュービジネス育成基金、助成金給付先
  - イノベーションエンジン投資先
  - 日本ベンチャーキャピタル (HP)
4. その他
- 「技」と日本人伝統に根ざすテクノロジー、風見明、工業調査会
  - セレンディピティー - 思いがけない発見・発明のドラマ、R.M. ロバーツ、化学同人
  - 量子力学が見る見るわかる 摩訶不思議な世界を読み解く 76 項、橋元淳一郎、サンマーク出版、2002 年
  - ローテクの最先端は実はハイテクよりずっとすごいんです、赤池学、ウェッジ
  - 現場の力、森谷正規、毎日新聞社
  - いま、三菱商事が面白い ナノテクからコンビにまで価値創造戦略を担う挑戦者たちの物語、奥田耕士、B&Tブックス 日刊工業新聞社

## ナノテク関連のホームページ一覧

### 【ナノテク全般】

- ナノテクとは (ナノテクってなにあに、研究の最前線、超微細技術、子供向けナノテク講座など)、ナノテク便利帳、京都とナノテク等がある。: 京都ナノテククラスター;  
<http://www.astem.or.jp/kyo-nano/index.html>
- ナノテク要覧 目次、日経産業消費研究所のナノテク専門ニューズレター: 日経先端技術;  
<http://www.nikkei.co.jp/rim/nano2002/youranmokuji.htm>
- 日経ネットによるナノテクに関する動画を使った解説: Nikkei Net Science and Future;  
<http://www.nikkei.co.jp/hensei/future/nano/>
- 「科学の豆知識」、辞典代わりに使える: (独) 産業技術総合研究所;  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/dream\\_lab/mame/03/03.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/dream_lab/mame/03/03.html)
- 「ナノテクノロジー」 発祥の地=山梨大学、 「ナノテクノロジー」という概念と言葉の提唱者、第四代山梨大学工学部長の谷口紀男先生作成のグラフがみられる  
[http://www.yamanashi.ac.jp/message/0305\\_02/0610\\_01.html](http://www.yamanashi.ac.jp/message/0305_02/0610_01.html)

## 【政府・業界などの動向】

- ナノテクが創る未来社会 2001 年 3 月 27 日(社)経済団体連合会、2000 年 7 月の「21 世紀を拓くナノテクノロジー」と題する提言書の続編  
<http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2001/014.html>
- 「ナノテクノロジー材料分野」 ナノテクについての解説があるほか、重点分野推進戦略専門調査会ナノテクノロジー・材料研究開発推進プロジェクトチームの配付資料、議事録がみられる:総合科学技術会議;  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/nanotech/index.htm>
- ナノテクノロジーに関する白書・政策をみるのに便利:文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトセンター;  
<http://www.nanonet.go.jp/japanese/info/policy.html>
- ナノテクノロジー・材料分野産業発掘戦略、我が国の戦略  
[http://www8.cao.go.jp/cstp/project/ntpt/ntpt\\_nol/material\\_5\\_2.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/project/ntpt/ntpt_nol/material_5_2.pdf)
- 経済産業省平成 15 年度ナノテクノロジープログラムに関する事前評価書  
[http://www.meti.go.jp/policy/policy\\_management/15fy-hyouka/h15fy082.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/policy_management/15fy-hyouka/h15fy082.pdf)

## 【地域支援機関などの動向】

- 近畿地域インキュベータ施設一覧 (財)京都高度技術研究所、京都リサーチパーク(株)、島屋ビジネス・インキュベータ((財)大阪市都市型産業振興 センター) など  
[http://www.nb-net.or.jp/KINKI-INCUBATOR/vi\\_sisetsu.html#n4](http://www.nb-net.or.jp/KINKI-INCUBATOR/vi_sisetsu.html#n4)
- 平成 15 年度ナノテクスーパーカレッジ「ナノ加工技術コース」についての案内 がみられる 財団法人長野県テクノ財団/長野県  
<http://www.forum-nagano.jp/file/1069387106A5CAA5CEB2C3B9A9B5BBBD1A5B3A1BCA5B9B3ABBAC5B0C6C6.pdf>
- 微細加工で切り拓く新たな市場～ものづくり新成長事業『MEMS』 次代に勝ち残る製造業のヒントとなる啓発セミナーを 7 月に開催!大阪市のベンチャー・中小企業支援拠点の大阪産業創造館のHP大阪市のベンチャー・中小企業支援拠点の大阪産業創造館  
<http://www.sansokan.jp/release/html/030613.html>

## 【展示会などの動向】

- nano tech 2004 3/17～19の開催要領、シーズニーズセミナー情報:2003 の出展者のカテゴリ別情報等:国際ナノテクノロジー総合展・技術会議;  
[http://www.ics-inc.co.jp/nanotech/;](http://www.ics-inc.co.jp/nanotech/)
- 2003 ナノテクソリューションフェア、日刊工業新聞社と独立行政法人 物質・材料研究機構の共催  
[http://www.nikkan.co.jp/eve/03\\_nanotech/frame\\_set.html](http://www.nikkan.co.jp/eve/03_nanotech/frame_set.html)
- nano tech 2003 + future、ナノテクに関する国際会議及び国際展示会、NEDOにはナノテクノロジー・材料技術開発室がある:NEDO;  
<http://www.nedo.go.jp/nanoshitsu/nanotech/index.html>

## 【企業などの動向】

- ナノテクベンチャーの先行事例、ナノテクノロジーの技術展開等の論文がみられる:大和総研経営情報サーチ;  
[http://www.dir.co.jp/kj/bknumber\\_idx.html](http://www.dir.co.jp/kj/bknumber_idx.html)
- 公益信託みずほニュービジネス育成基金、助成先のベンチャーの中にナノテク企業がある



<http://www.mizuhobank.co.jp/company/release/2003/pdf/news030314.pdf>

- ナノテク企業情報などがみられる:産業総合研究所ナノテクノロジー研究部門;  
[http://unit.aist.go.jp/nanotech/index\\_j.html](http://unit.aist.go.jp/nanotech/index_j.html)

### 【学界などの動向】

- ナノ学界、ナノ学界の案内など  
<http://edpex104.bcasj.or.jp/s-nano/>
- フラーレン・ナノチューブ研究会 シンポジウムの案内、関連業者一覧リンク集等がある。  
<http://www.fullerene-jp.org/>

### 【米国などの動向】

- 米国大統領に対する科学技術の諮問機関のHP, 米国の考え方、原子の写真などが見られる:National Science and Technology Council Committee on Technology The Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology September 1999, Washington, D.C.;  
<http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure/IWGN.Nanotechnology.Brochure.pdf>
- ナノテク研究に関する世界の動向を調査したもの:Nanostructure Science and Technology A Worldwide Study Prepared under the guidance of the IWGN, NSTC;  
<http://www.wtec.org/loyola/nano/>
- 米国のナノテクに関する国家戦略:National Nanotechnology Initiative;  
<http://www.nano.gov/>
- 世界技術評価センターによるナノテクの解説:World Technology Evaluation Center;  
<http://www.wtec.org/welcome.htm>  
[http://www.wtec.org/loyola/nano/00\\_es.htm](http://www.wtec.org/loyola/nano/00_es.htm)
- 米国の国家戦略上のナノテクの定義がみられる:National Nanotechnology Initiative;  
[http://www.nano.gov/omb\\_nifty50.htm](http://www.nano.gov/omb_nifty50.htm)
- 米国教育用ナノプログラム、ウィスコンシン大学による各層を対象にした解説プログラム  
<http://www.mrsec.wisc.edu/edetc/index.html>

### 【個別のナノテクに関する情報等】

- ニューガラスフォーラム、ナノガラス技術プロジェクトがある  
<http://www.ngf.or.jp/>
- ナノエレクトロニクスの諸解説、分子コンピューティング、DNAコンピュータ、自己組織化、走査顕微鏡、有機EL、光ディスク、LEDなど多くの解説がある。  
<http://www.nanoelectronics.jp/dir/molescalecom.htm>  
<http://www.nanoelectronics.jp/dir/nanoscience.htm>  
<http://www.nanoelectronics.jp/dir/orgelect.htm>  
<http://www.nanoelectronics.jp/dir/others.htm>  
<http://www.nanoelectronics.jp/dir/scbasics.htm>
- ナノガラス技術プロジェクトについての解説  
<http://www.nedo.go.jp/iinkai/hyouka/bunkakai/15h/15/1/5-7.pdf>
- CVDとは、プラズマとはの解説がある:東洋大学工学部応用化学科  
<http://www.eng.toyo.ac.jp/appchem/nmfc/yoshilab/CVD.html>
- PVD、パルスレーザーデポジションとはの解説がある:名古屋大学大学院工学研究科

- [http://www.ees.nagoya-u.ac.jp/~web\\_dail/PLD.html](http://www.ees.nagoya-u.ac.jp/~web_dail/PLD.html)
- ナノリソグラフィー、ソフトリソグラフィー、SPM、自己組織化等に関する解説がある：日経先端技術  
<http://www5.ocn.ne.jp/~report/appliedscitech/nanotech/howto/softlithography.htm>  
<http://www5.ocn.ne.jp/~report/appliedscitech/nanotech/howto/lithography.htm>
  - フォトリソグラフィー、エッチング、露光、パターニングなどの解説がある：山形大学  
<http://syllabus-pub.yz.yamagata-u.ac.jp/amenity/Knowledge.asp?DSN=Electrochem&nKnowledgeID=1667>
  - 真空アーク放電などについて詳しく解説、プラズマナノマテリアル研究室、豊橋技術科大学 電気・電子工学系 電気システム大講座 榊原・滝川研究室  
[http://www.arc.eee.tut.ac.jp/research/nanotube/va/va\\_nt\\_01.htm](http://www.arc.eee.tut.ac.jp/research/nanotube/va/va_nt_01.htm)
  - LIGAプロセスに関する詳しい解説、立命館大学杉山研究室、このほか同大学内のMEMSなどナノテクに関する研究室も解説が出ている  
[http://www.ritsumei.ac.jp/se/~sugiyama/research/re\\_5.1.html](http://www.ritsumei.ac.jp/se/~sugiyama/research/re_5.1.html)
  - エレクトロフォーミング製造技術についての解説、DNP電子デバイス事業部のHP  
<http://www.dnp.co.jp/semi/j/metal/03.html>
  - NEDO技術情報データベース、成果報告書の検索などができる  
<http://www.tech.nedo.go.jp/Index.htm>
  - MEMS等に関するサイト：財団法人マイクロマシンセンター；  
<http://fsic.mmc.or.jp/>
  - カーボンナノチューブなどの解説がある：金沢工業大学材料系西川・谷口研究室；  
<http://www2.kanazawa-it.ac.jp/nanotech/nanotube.htm>
  - フラーレンなどの解説がある：三重大学工学部電子材料研究室齋藤グループ；  
<http://www.elec.mie-u.ac.jp/em/saito/douso.html>
  - 個別のナノテクの解説がある：奈良先端大 物質科学教育研究センター、  
<http://mswebs.aist-nara.ac.jp/center/LABs/hashizume/keyword/tmr.htm>
  - 「カーボンナノチューブによる水素吸蔵」についての論文：東京大学丸山茂夫助教授；  
<http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/~maruyama/papers/02/0yobutsuri.pdf>
  - 「スピニエレクトロニクスの研究の現状と展望」：東京大学工学系研究科電子工学専攻田中雅明助教授；  
[http://www.nanonet.go.jp/japanese/event/japannano2003/web/itbasis/it\\_tanaka.pdf](http://www.nanonet.go.jp/japanese/event/japannano2003/web/itbasis/it_tanaka.pdf)
  - 「バイオセンサーとは」の解説がある：東京大学生産技術研究所立間研究室；  
<http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/~tatsuma/bs.html>
  - 燃料電池実用化推進協議会HP、解説がある  
<http://fccj.jp/index6.html>
  - 「光集積回路とその応用」の解説がある：早稲田大学、中島研究室；  
[http://www.phys.waseda.ac.jp/pic/kenkyu\\_syokai.htm](http://www.phys.waseda.ac.jp/pic/kenkyu_syokai.htm)
  - 「太陽電池が地球を救う」についての解説：東北大学反応化学研究所伊原学助手；  
<http://www.bureau.tohoku.ac.jp/manabi/manabi8/mm8-3.htm>
  - 「ナノ組織金属入門」の解説：物質・材料研究機構 材料研究所ナノ組織解析グループ；  
<http://www.nims.go.jp/apfim/nanometal.html>
  - 光触媒に関する全般的な解説がある：(株)光触媒研究所；  
<http://www.photocatalyst.co.jp/>

以上

本調査は中小企業金融公庫から委託を受けた(財)政策科学研究所が2003年度に実施したものである。

なお、本レポートは調査結果を基に調査部において編集を行った。

## 中小公庫レポート No.2003-6

発 行 日 2004年3月

発 行 者 中小企業金融公庫 調査部

〒100-0004

東京都千代田区大手町1-9-3

電話 (03) 3270-1269

(禁 無断転載)