

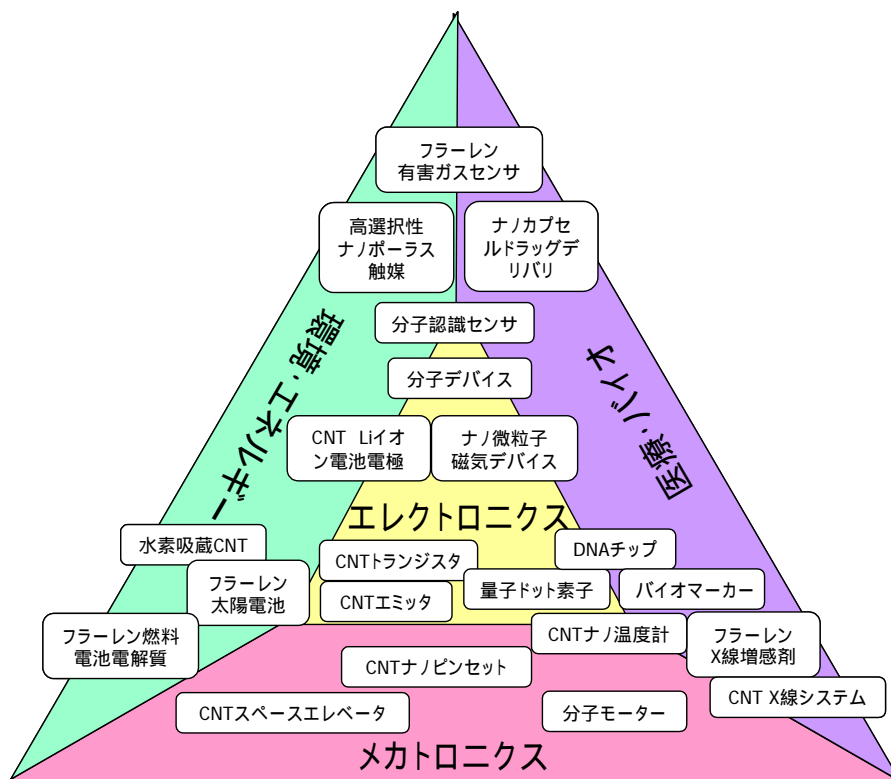
ナノテクノロジー - ボトムアップ型技術を中心に - に関する 特許出願技術動向調査報告

平成15年4月24日
特許庁総務部技術調査課

第1章 調査の概要

1. はじめに

ナノテクノロジーは、ナノスケール(10億分の1メートル)のスケールで物質や構造を制御する技術であり、第1-1図に例示するように、ナノテクノロジーはさまざまな分野への応用が期待されている基盤技術である。



第1-1図 ナノテクノロジーの応用分野イメージ

ナノテクノロジーは大きく分けて、マクロスケールのものを小さく加工するトップダウン技術と、ナノスケールあるいはそれ以下のサイズのものを組み上げてマクロスケールにするボトムアップ技術とに大別される。トップダウン技術はリソグラフィなどの従来技術を精緻化することによって構造を作り出すのに対し、ボトムアップ技術は化学的あるいは物理的な相互作用によって構造制御を行うものである。本調査ではナノテクノロジーの中でもとくにボトムアップ技術に着目し、その技術動向調査を行った。

現状ではナノテクノロジーという概念は非常に混沌としている。広義のナノテクノロジーではナノスケールの物質を取り扱う技術すべてを意味する。一方、狭義のナノテクノロジーで

は、物質をナノスケールにすることによってマクロサイズの物性とは異なる物性が発現することを利用した技術を意味する。前者は従来からの技術を包含するような定義であるのに対し、後者はナノテクノロジーの新規性を重要視した定義である。本調査では次世代の技術である後者の定義によるナノテクノロジーに着目して調査を行うこととした。

2. ナノテクノロジーの俯瞰

ナノテクノロジーの加工技術は大別してトップダウンとボトムアップの2つのアプローチがある。両者は典型的にはリソグラフィーと自己組織化といったように明確に区別されるが、実際にはその中間的な技術もある。第1-2図にナノテクノロジー関連技術の俯瞰図を示す。第1-2図ではナノテクノロジーに関連する技術をナノ材料および合成技術、ナノ材料集積体および配列化技術、およびデバイスおよび構築技術に階層化し、それらがどの加工技術に属するかを分類した。

技術項目	ボトムアップ	← 中間領域 →	トップダウン	
ナノ材料および合成技術	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>ナノカプセル</u> ・<u>ナノケージ</u> ・<u>巨大分子</u> ・<u>超分子</u> ・<u>合成DNA</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>フラーレン</u> ・<u>カーボンナノチューブ*</u> ・<u>ナノ微粒子</u> ・<u>ナノクラスター</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>量子ドット</u> ・<u>量子細線</u> ・<u>ナノ多孔体</u> ・<u>ナノ液滴</u> ・ガス中蒸発 ・レーザーアブレーション 	<ul style="list-style-type: none"> ・天然DNA ・メカニカルアロイ ・アモルファス材料
ナノ材料集積体および配列化技術	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>自己組織化</u> ・<u>セルフアッセムブリング</u> ・<u>セルフオーガニゼーション</u> ・<u>ナノファブリケーション</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>CNTバンドル</u> ・<u>LB</u> ・<u>ナノ結晶化</u> ・SPM* ・<u>ナノパターンニング</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>ナノレイヤー</u> ・<u>ナノ多層レイヤー</u> ・<u>ナノミネート</u> ・<u>ナノリソグラフィー*</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ナノコンボジット (ナノガラス、ナノポリマー) ・ナノ構造メタル・リソグラフィー (スーパーメタル) ・ナノセラミックス ・MBE ・CVD ・レーザーアブレーション ・FIB
デバイスおよび構築技術	<ul style="list-style-type: none"> ・分子スイッチ ・分子デバイス ・単電子デバイス ・ナノトランジスタ ・CNTトランジスタ ・SPM* 	<ul style="list-style-type: none"> ・分子モータ ・分子マーカ ・バイオチップ ・DNAチップ ・ナノ電極 	<ul style="list-style-type: none"> ・TMR ・GMR ・M-RAM ・コンビケム 	<ul style="list-style-type: none"> ・MEMS ・NEMS

第1-2図 ナノテクノロジーの俯瞰図¹

ナノ材料および合成技術はボトムアップ型ナノテクノロジーによって得られた材料であり、図中に例示したほとんどのものがボトムアップ型ナノテクノロジーと関連する。ただし、メカニカルアロイやアモルファス材料といった構造単位を単離できない材料については、本調査ではトップダウン技術と定義した。ナノ材料集積体および配列化技術はナノテクノロジーの中核をなす技術である。この技術項目では自己組織化やラングミュア-プロ

¹ 図中、__線は今回の調査で検索の対象となる項目である。なお、デバイスおよび構築技術に関してはナノテクノロジーの応用であり、直接の検索対象とはしていない。また*印はこれまでに特許庁技術動向調査が行われているものである。カーボンナノチューブ、SPM：平成13年度 特許出願技術動向調査分析報告書「ナノテクノロジーの応用 - カーボンナノチューブ、光半導体、走査型プローブ顕微鏡 -」、ナノリソグラフィー：平成12年度特許出願技術動向調査分析報告書「ナノ構造材料」。

ジェット (LB) といった代表的なボトムアップ技術が含まれる。デバイスおよび構築技術に関しては、ナノマテリアルおよびその集積技術の結果として得られるデバイスであり、構築技術に注目して分類した。

3 . 調査対象および方法

第 1-2 図に示した俯瞰図に基づき、本調査で対象とするナノテクノロジーを明確化した。ボトムアップ型ナノテクノロジーによって得られたナノマテリアル関連項目とナノ構造およびその形成技術に分類した。ナノマテリアル関連項目は、詳細項目として、 ナノ微粒子、 ナノカプセル、 ナノチューブ、 巨大分子、 フラーレン類、ならびに 量子効果マテリアルおよび分子細線の 6 項目を設定した。ナノ構造関連技術に関しては、 ナノ構造体および ナノ構造形成の 2 項目を設定した。これらの詳細項目別にキーワードおよび国際特許分類 (IPC) を指定し特許文献および学術文献検索を行った²。調査の対象としたナノマテリアル関連物質およびナノ構造関連技術の検索対象を第 1-1 表に示す。

第 1-1 表 調査の対象としたナノマテリアル関連物質およびナノ構造関連³

分類	項目	検索対象
ナノマテリアル	ナノ微粒子*	ナノ微粒子、ナノクラスター、ナノ微小球、ナノドット、ナノパウダー、ナノボール、ナノクリスタル、ナノスケールの超微粒子
	ナノカプセル	ナノカプセル、ナノ液滴、ナノエマルジョン、ナノケージ
	ナノチューブ	ナノチューブ、ナノワイヤ、ナノウイスカ、ナノロッド、ナノシリンダー、ナノ繊維、ナノコーン、ナノホーン
	巨大分子	デンドリマー、ベシクル、超分子、合成 DNA、巨大分子
	フルーレン	フルーレン、C ₆₀ 、C ₇₀ 、C ₇₂ 、C ₈₄
	量子効果マテリアルおよび分子細線**	量子ドット、量子ワイヤ、量子箱、分子ワイヤ、分子チェーンワイヤ
ナノ構造関連	ナノ構造体	ナノ構造体、ナノ多孔体、ナノレーヤー、ナノラミネート、分子レーヤー、ナノスケールの超構造および微細パターン、B82B1
	ナノ構造形成***	ナノファブリケーション、ナノリソグラフ、セルフアッセンブル、自己組織、ラングミュアープロジェクト

²日本国内の特許検索データベースには STN の JAPIO ファイルを、世界の特許検索データベースには DWPI を用いた。統計解析においては 1991 年から 2001 年までにデータベースに収録された特許を対象とした。キーワードおよび IPC による検索のため、ノイズは除去しきれていない。

³ *ナノ微粒子関連の検索ではナノ合金を取り除くため IPC に C22C を含むものは対象外とした。 **量子効果マテリアルおよび分子細線の検索では表面の物理的および電気、化学的処理に関連する特許を取り除くため IPC に H01L21/302、306 を含むものは対象外とした。 ***ナノ構造形成関連の検索ではナノ構造体との重複を避けた。

第2章 特許分析による競争力比較

ボトムアップ型テクノロジー分野について、様々な特許出願状況の分析を行い、各国、及び出願人組織の競争力比較を行った。

ナノサイズ（100nm 以下）を有する物質で、ボトムアップ型ナノテクノロジーに関連を持つ ナノ微粒子、 ナノカプセル、 ナノチューブ、 巨大分子、 フラーレン類、ならびに 量子効果マテリアルおよび分子細線に関する技術の集合和をナノマテリアル関連技術と定義した。

なお、ナノチューブに関し、とくにカーボンナノチューブと断らない場合には、カーボンナノチューブを含むナノチューブ全体を意味している。

また、ナノスケールの構造を有する材料およびその構築技術について、ナノスケールを有する構造特徴のある技術を ナノ構造体、ナノスケールの構造を形成する技術に関連した技術について ナノ構造形成と定義し、 と を併せてナノ構造関連技術と定義した。

なお、物理的、電気的、あるいは化学的な表面処理によるナノ構造形成に関してはトップダウン型技術と定義して除外した。

第1節 特許出願件数の出願人国籍別動向分析

1. ナノマテリアル関連技術に関する特許出願件数の出願人国籍別動向分析

(1) ナノマテリアル関連技術に関する特許出願件数の出願人国籍別年次推移

ナノマテリアル関連技術のうち、日本、米国、欧州、韓国、中国を出願人国籍とする特許出願について、 ナノ微粒子、 ナノカプセル、 ナノチューブ、 巨大分子、 フラーレン類、ならびに 量子効果マテリアルおよび分子細線の6項目毎に、出願人国籍別に特許出願件数の年次推移を第2-1図に示す。

ナノ微粒子系では、米国および欧州の出願数が年々増加している。これに対し、日本は絶対数が少なく、出願数の伸びも低い。韓国に関しては、1998年以降伸び始めている傾向を示している。

ナノチューブ系では、米国は1999年に、日本は1997年から増加を始め、米国を出願数で抜き、トップを維持している。1999年以降の韓国は増加傾向にある。1999年では、出願数が米国や欧州を上回っている。

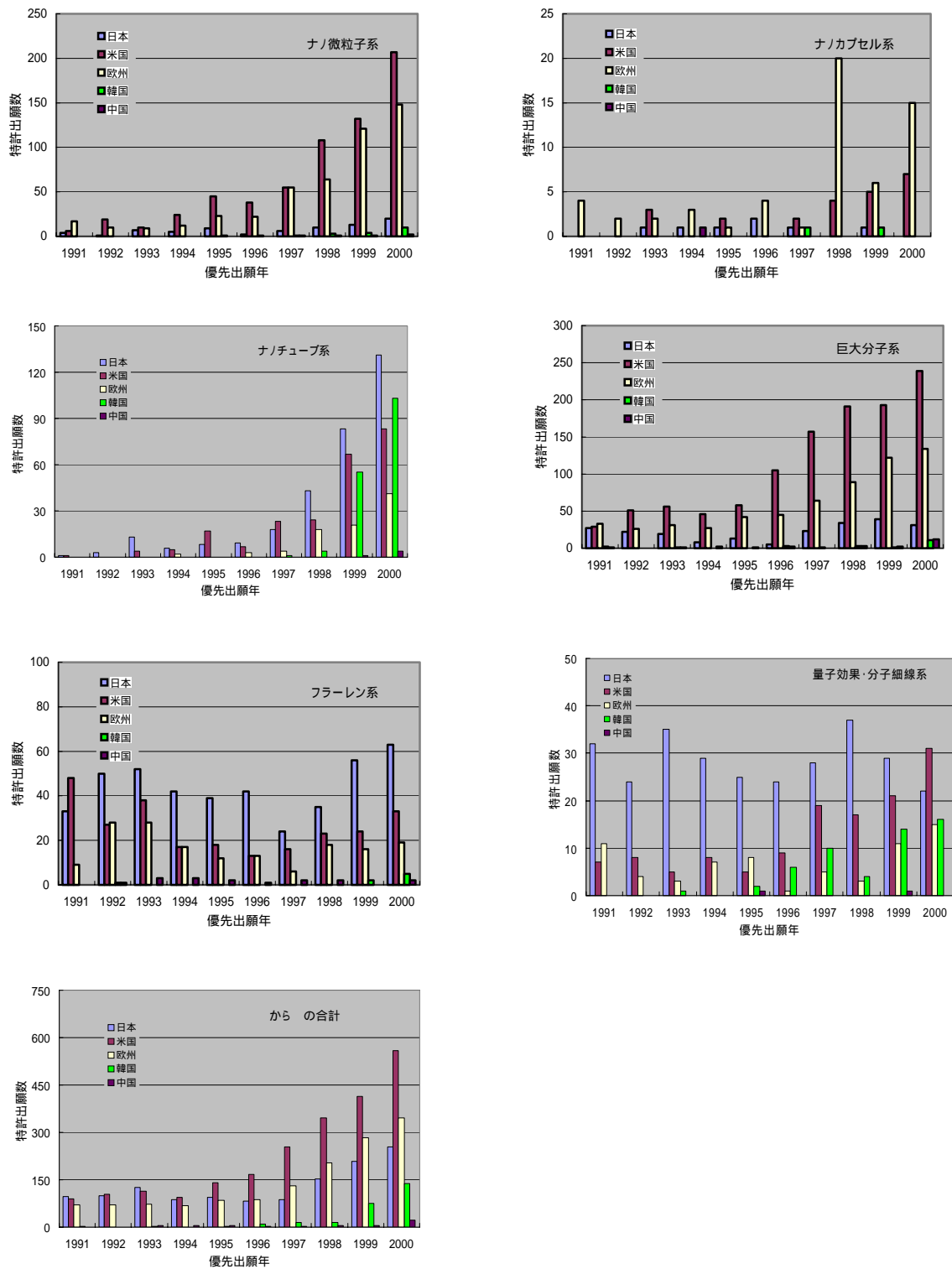
巨大分子系では、米国、欧州が1991年から2000年まで増加傾向にある。一方、日本は、1997年から出願数が伸び始めたが、その絶対数は少なく、さらに、1999年以降減少している。

フルーレン系では、出願数としては日本が多いものの、1991年以降での出願数の伸びは見られない。また、米国、欧州においても大きな伸びは見られない。

量子効果・分子細線では、日本は1990年の初めから多くの出願を行ってきているが、増減を繰り返しながらほぼ横這いであり、これに対し、米国は1996年から、欧州は1999年以降出願数が増加傾向にある。さらに韓国も、1998年以降増加傾向にあり、2000年には欧州を上回っている。

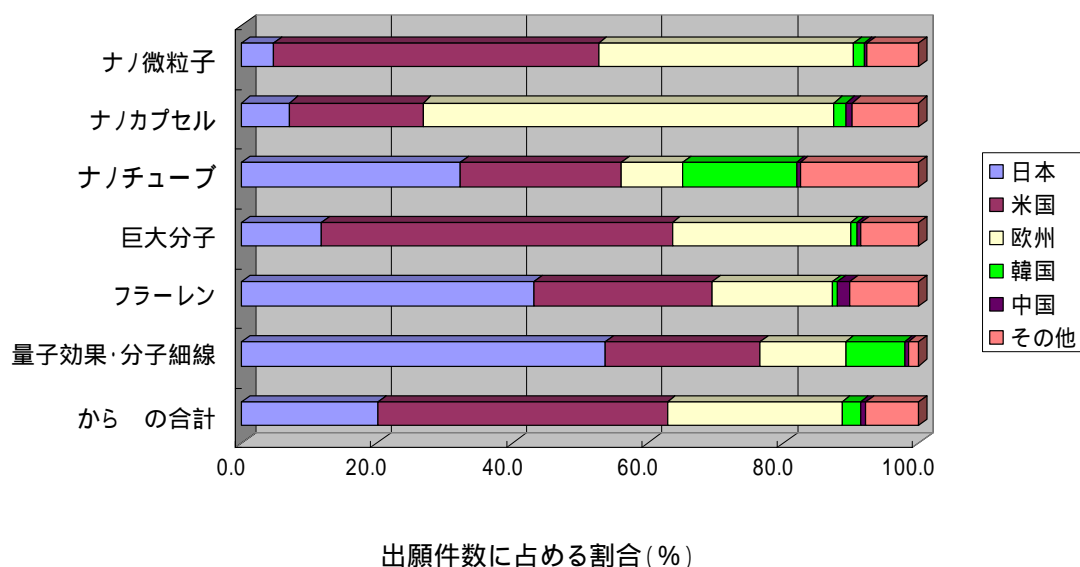
からの合計では、1994年までは、日米欧の三極がほぼ同数の出願を行っていたが、1995年から、米国の出願が急増している。さらに、1999年以降では、韓国の出願が増加している。

すなわち、日本は、1990 年はじめには世界レベルで出願数がトップであったが、1990 年代を通して、米国、欧州に逆転、引き離され、逆に、韓国に追い上げられる立場になっていることがわかる。



第 2-1 図 ナノマテリアル関連特許の各国の出願動向

1991年から2000年に全世界で出願されたナノマテリアル特許出願のうち、日米欧三極および韓国と中国から出願されたナノマテリアル関連特許の比率を第2-2図に示す。



第2-2図 ナノマテリアル関連特許の出願件数に対する各国の占める割合

第2-2図に示したように、日本に関しては「フラーレン」および「量子効果マテリアルおよび分子細線」に関連する特許の出願が他国に比較して多く、出願全体の40%以上を占めている。またナノチューブも30%程度を占めている。フラーレンに関しては、日本の電気・電子メーカーが積極的な特許出願を行っていることに加え、ソニーが燃料電池用プロトン導伝膜に関する特許を多数出願していることが影響していると考えられる。「量子効果マテリアルおよび分子細線」に関しては、単一電子素子等の応用を睨んだ研究開発が電気・電子メーカーで積極的に展開された結果であると考えられる。

一方、米国に関しては「ナノ微粒子」および「巨大分子」が全体の約50%を占めている。

欧州に関しては「ナノ微粒子」で全体の約40%、ナノカプセルでは約60%を占めている。ナノカプセルに関しては、フランスのL'orealが化粧品応用などで多数の特許を出願しており、これが出願件数に占める割合を高くしているものと考えられる。

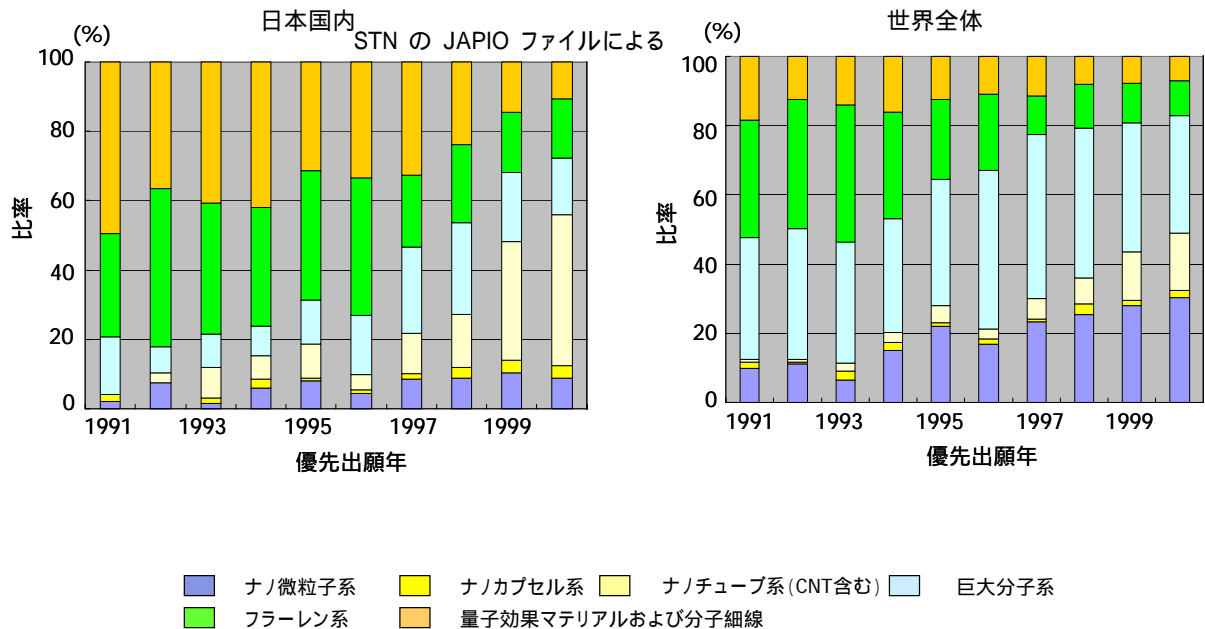
韓国に関しては「ナノチューブ」および「量子効果マテリアルおよび分子細線」でそれぞれ15%および9%となっている。ナノチューブに関しては韓国の大手電気メーカーであるSamsung電子、日進ナノテック（Iljin Nanotech：カーボンナノチューブの製造および応用を目的とし、2000年に設立。）が製造方法およびフィールドエミッション関連特許をそれぞれ31件、18件出願していることによると考えられる⁴。また、「量子効果マテリアルおよび分子細線」では、KOREA ELECTRONICS & TELECOM RESEARCH INSTITUTEからの19件の出願がある。

からのナノマテリアル合計でみた場合には米国が全体の約40%を占めており、日本と欧州が20%程度で並んでいる。これは「巨大分子」関連特許がからの合計の特許件数の約50%を占めていることが大きく影響している。巨大分子関連の研究開発は、他の物質に比

⁴ 2001年9月時点でのDWPIの検索結果による。

較して早期に立ち上がっている。これは医薬品など、明確かつ大きな市場を有していることもあり、積極的な特許出願がなされた結果であると考えられる。

ナノ材料関連特許において、各 ナノ微粒子、 ナノカプセル、 ナノチューブ、 巨大分子、 フラーレン類、ならびに 量子効果材料および分子細線のナノ材料の、 から の合計に対する特許出願件数の割合の年次推移を第 2-3 図に示す。



第 2-3 図 ナノ材料関連特許（ から の合計）の出願件数全体に対する各ナノ材料の占める割合

2. ナノ構造関連技術に関する特許出願件数の出願人国籍別動向分析

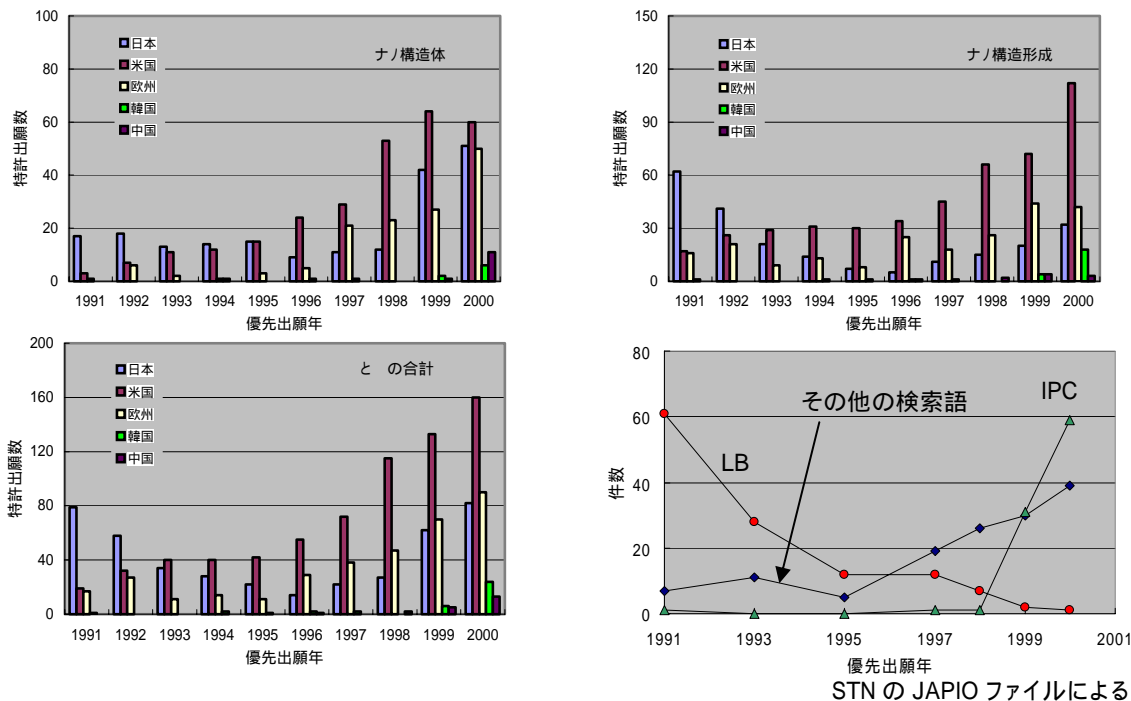
(1) ナノ構造関連技術に関する特許出願件数の出願人国籍別年次推移

ナノ構造関連技術のうち、日本、米国、欧州、韓国、中国を出願人国籍とする特許出願について、 ナノ構造体と ナノ構造形成の項目毎に、出願人国籍別に特許出願件数の年次推移を、及び LB (ラングミュア - プロジェクト) 膜及び LB 膜以外の技術に関する日本の特許出願件数の年次推移を第 2-4 図に示す。

ナノ構造体関連特許の出願では 1990 年代の初めは日本の出願数が欧米よりも多いが、1996 年以降は米国に追い越されている。

ナノ構造形成では、日本に関しては、1995~1996 年に谷をとる特徴を示す。これは、1990 年前半の LB 膜に関する研究開発の縮小とその後のナノ構造形成技術の展開の重ねあわせで理解できる (第 2-4 図中、右下の図)。米国および欧州は 1996 年以降に、また韓国では 1999 年以降に出願数が増大傾向となっている。

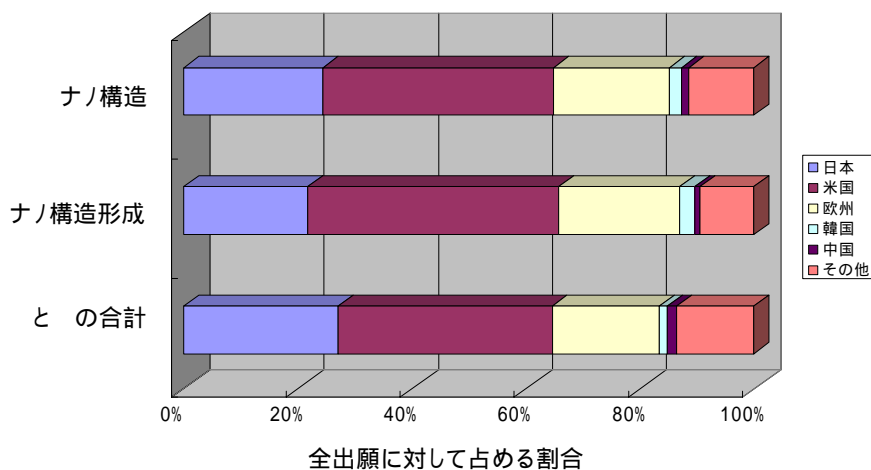
全体としては、日本は 1995 年まで出願数が減少し、1996 年以降出願数が増加する。米国および欧州で 1996 年以降、韓国で 1999 年以降、増加傾向にある。



上図は ナノ構造形成関連特許についての調査結果である。
 IPCとしては B82B1(ナノ構造物)および B82B3(ナノ構造物の製造または処理)を採用した。両 IPC ともに第 7 版から用いられている。

第 2-4 図 ナノ構造関連特許の各国の出願動向と LB 膜関連特許出願数の減少（右下）。

1991 年から 2000 年に、全世界で出願されたナノ構造関連特許出願のうち、日米欧三極及び韓国と中国から出願されたナノ構造関連特許の比率を第 2-5 図に示す。



第 2-5 図 ナノ構造関連特許の出願件数に対する各国の占める割合

ナノ構造体およびナノ構造形成のいずれでも、日本からの出願は全体の 20 ないし 30%程度となっている。三極で比較すると米国がわずかであるが優位にあることが分かる。

第2節 ナノテクノロジー関連技術の応用分野

ナノ材料、及びナノ構造関連技術について、応用分野別、各技術項目毎、出願人国籍別に、その特許出願件数の分布を調査した。

1. ナノ材料関連特許の応用分野、項目、出願人国籍別の分布

1991年から2000年までに申請されたナノ材料関連技術に関する特許出願について、「エネルギー・環境」「エレクトロニクス」「バイオ・医療⁵」「メカトロニクス⁶」の4分野に該当する各ナノ材料〔ナノ微粒子、ナノカプセル、ナノチューブ、巨大分子、フラレン類、ならびに量子効果材料および分子細線〕及び出願人国籍の分布を第2-6図に示す。また、併せて特許明細書から抽出した各材料の、上記応用分野に対応する具体的な技術例を第2-1表に示す。

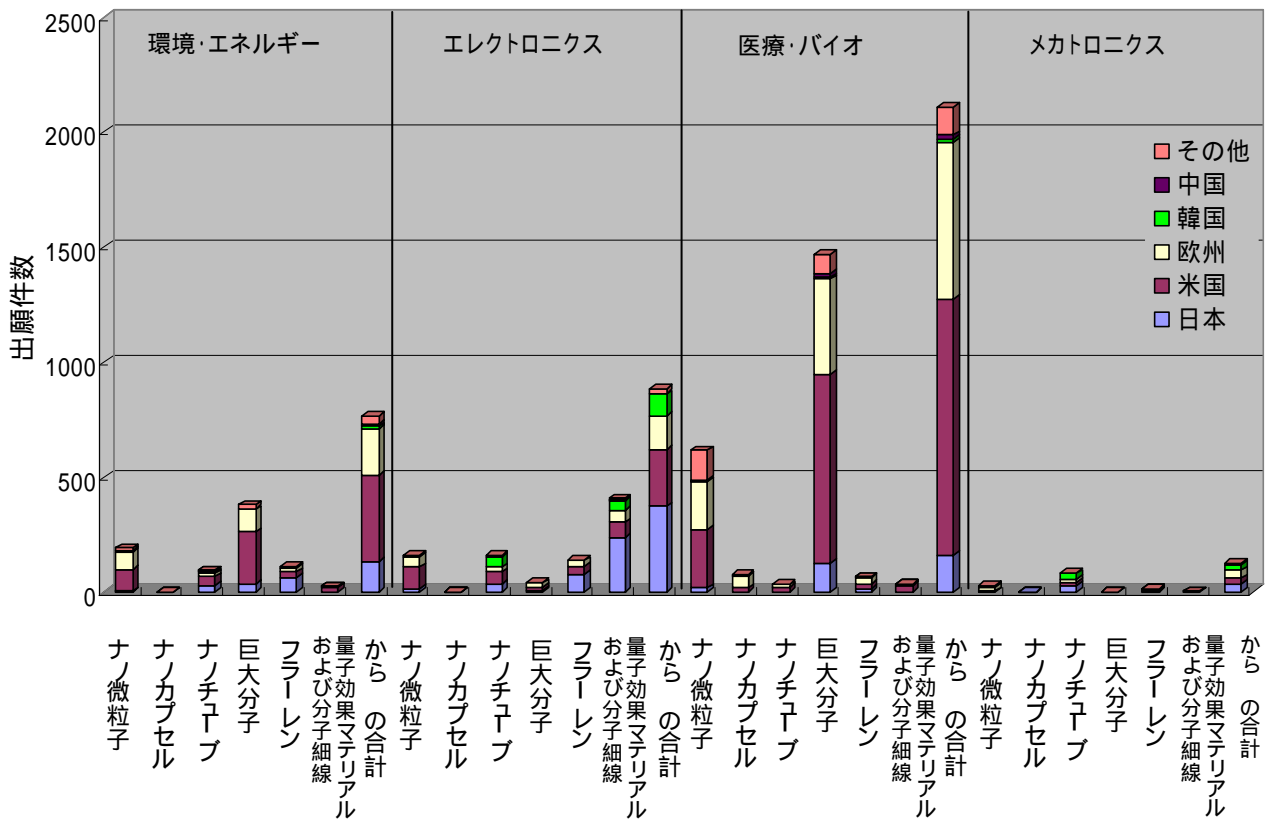
なお、検索によって抽出されたナノ材料関連特許のうち、上記応用分野に分類された特許出願件数は以下のとおりである。ナノ微粒子：767件/1221件(62.8%)、ナノカプセル：75件/109件(68.8%)、ナノチューブ：241件/462件(52.2%)、巨大分子：2398件/2,886件(83.1%)、フラレン：315件/992件(31.8%)、量子効果・分子細線：477件/568件(84%)。

第2-1表 ナノ材料関連技術の応用例

項目	エネルギー・環境	エレクトロニクス	バイオ・医療	メカトロニクス
ナノ微粒子	・ナノ微粒子分散電極 ・化学センサー ・湿式太陽電池 など	・電気泳動ディスプレイ ・発光素子 ・単電子デバイス ・磁気スイッチ など	・エアロゾル薬剤 ・ベクター結合ナノ粒子放射線治療剤 ・バイオセンサー ・化粧品組成物 など	・強化ポリマー ・表面改質コート剤 など
ナノカプセル	・燃料電池用触媒(カーボンナノカプセル) ・水素吸蔵材 など		・ナノエマルジョン化粧品、薬剤 ・生体適合性評価試薬 など	
ナノチューブ	・吸着剤 ・触媒担体 ・燃料電池用電極 など	・FED ・トリオード ・導電性高分子 など	・DNAハプロタイプ分析 ・バイオセンサー など	・SPMチップ ・強化ポリマー ・MEMSアンテナ など
巨大分子	・放射線センサー ・触媒金属担持 dendrimer など	・ベシクルインク ・導電性材料 ・液晶応用 など	・ドラッグデリバリー ・免疫検査薬 など	・熱硬化性樹脂 ・放射線硬化性樹脂 など
フラレン	・燃料電池用プロトン導伝膜 ・太陽電池 ・ガス吸蔵材 など	・分子コンピュータ ・FET ・単電子デバイス など	・X線増感剤 ・がん治療薬 ・MR増感剤 など	・磁性材へのコーティング ・超薄膜コーティング など
量子効果材料および分子細線	・熱電変換素子 ・赤外線センサー ・放射線検出器 など	・単一電子メモリー ・半導体レーザー ・単電子トランジスタ ・波長変換素子 など	・生体磁場測定 ・光化学発光センサー	・磁場シールド ・バイステープルメカニカルデバイス(分子ワイヤ) など

⁵ 化粧品なども含む。

⁶ 可動部分のあるもの、支持装置、圧電素子、電磁シールド、SPMなど、動きを伴うかその周辺で利用されるようなものを集めた。



第 2-6 図 ナノマテリアル別出願人国籍別の各応用分野への特許出願数

ナノ微粒子に関しては、バイオ、医療分野への応用が最も多く、次いで環境・エネルギー、エレクトロニクスとなっており、上記項目において、欧米の占める割合は、74%以上である。

ナノチューブに関しては、上記 4 項目に該当する技術は 53%であるが、そのうち、エレクトロニクス分野が多く、次いで環境・エネルギー、メカトロニクスとなっており、いずれも日本が 30%程度を占めている。

巨大分子に関しては、バイオ、医療への応用が圧倒的に多く（77%）、次いで環境・エネルギーの 20%となっている。この分野では欧米が圧倒的に優位になっている（医療・バイオ：84%、環境・エネルギー：86%）。

フラレンに関しては、上記 4 項目に該当する技術については 32%程度であり、他の分野、あるいは応用分野が特定されない技術に関する出願が多いことがわかる。そして、上記応用分野に該当する技術については、エレクトロニクス、環境・エネルギー分野への応用が多く、日本は各分野について 57%以上を占めており、これらの分野で日本が優位にあることがわかる。

量子効果・分子細線については、上記 4 項目に該当する技術については 84%程度あるものの、そのうちのほとんど（85%）がエレクトロニクス応用技術に関する技術であり、日本が優位にある。

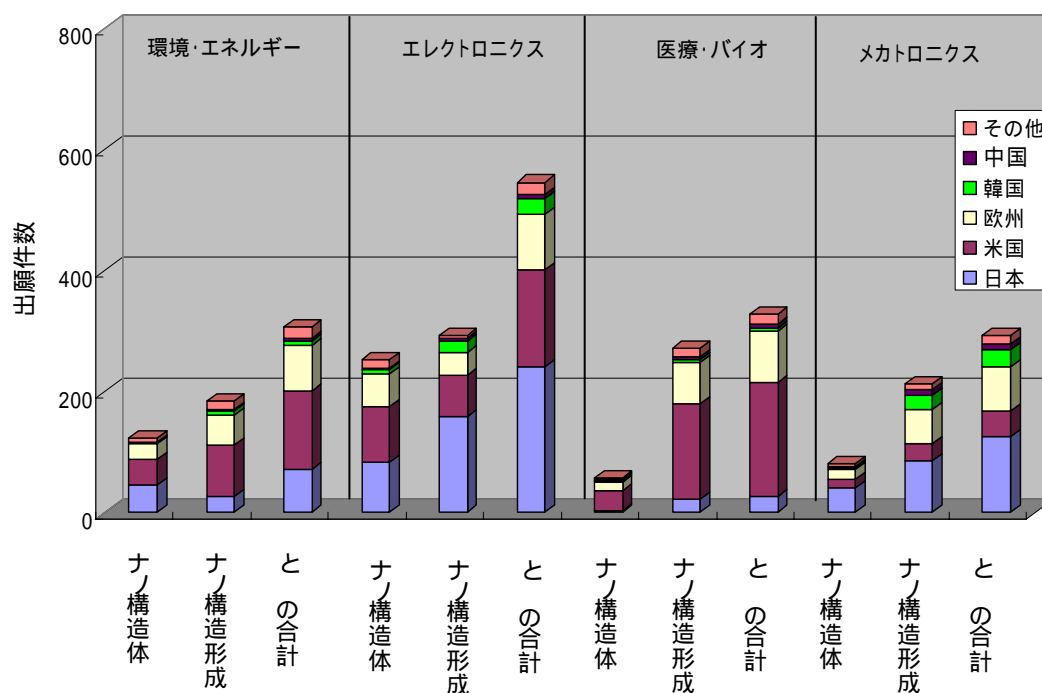
2. ナノ構造関連特許の応用分野、技術項目、出願人国籍別の分布

1991年から2000年までに申請されたナノ構造関連技術に関する特許出願について、「エネルギー・環境」「エレクトロニクス」「バイオ・医療」「メカトロニクス」の4分野に該当する各ナノ構造関連技術〔ナノ構造体 ナノ構造形成〕及び出願人国籍の分布を第2-7図に示す。また、併せて特許明細書から抽出した各構造関連技術の、上記応用分野に対応する具体的な例を第2-2表に示す。

なお、検索によって抽出されたナノ構造関連特許のうち、上記応用分野に分類された特許出願件数は以下のとおりである。ナノ構造体：587件/919件(63.2%)、ナノ構造形成：1298件/1,967件(65.4%)。

第2-2表 ナノ構造関連技術の応用例

項目	エネルギー・環境	エレクトロニクス	バイオ・医療	メカトロニクス
ナノ構造体	・フィルター ・Li電池電極材 ・水素吸蔵材 など	・半導体キャパシタ ・レーザー ・MRAM など	・ナノポーラスバイオリアクター ・ナノポーラスイムノセンサー ・ナノ構造バイオメンブレン など	・ナノチューブピンセット ・圧力センサー ・マイクロアレープロブ など
ナノ構造形成	・熱センサー ・化学センサー ・光エネルギー伝達デバイス など	・分子整流器 ・磁気記録媒体 ・量子コンピュータ など	・抗原センサー ・バイオセンサー ・バイオチップ など	・導波路用コーティング ・腐食防止膜 ・SPMチップ など



第2-7図 ナノ構造体およびナノ構造関連特許の出願人国籍別の各応用分野への特許出願数

ナノ構造関連特許においても、ナノテクノロジーの応用分野としては日本国内ではエレクトロニクスが中心になっているが、米国ではバイオ・医療やエネルギー・環境への応用も広く出願されている。これはバイオセンサーや化学センサーといったバイオテクノロジー関連の応用が多く含まれるためと考えられる。欧州に関しては、いずれの分野に対してもあまり偏りが無く出願されている。

ナノ構造体およびナノ構造形成に関連する特許の応用分野としては、エレクトロニクスが比較的多い。これはエレクトロニクス応用に際しては何らかの構造的特徴、及び構造形成を必要とする場合が多いことと関係していると考えられる。

第3節 特許出願件数上位組織

1991年～2000年に出願されたナノマテリアル関連特許出願のうち、日本及び世界における特許出願件数上位組織の3位までのランキングを第2-3表に、また、ナノマテリアル構造関連特許出願のうち、日本及び世界における特許出願件数上位組織の3位までのランキングを第2-4表に示す。

第2-3表 ナノマテリアル関連特許出願の上位3組織と組織分類および出願特許の概要(その1)⁷

技術項目		順位	組織名(出願件数)	組織分類(国籍)	出願特許の概要
(1)ナノ微粒子	日本	1	科学技術振興事業団(9件)	公的機関(日本)	ナノメートル粒子の結晶化方法や薄膜による発色法、2次薄膜集積法など(プロジェクト単位なので内容は多岐におよぶ)
		2	日立金属(7件)	民間企業(日本)	光触媒体を利用した装置の構成、磁性粒子の製造および用途など
		3	双葉電子工業(6件)	民間企業(日本)	ナノカーボンと金属微粒子を含む複合材料等による電子放出材
	世界	1	EASTMAN KODAK(25件)	民間企業(米国)	銀系ナノ微粒子の製造方法、X線増感ナノ粒子の製造方法、ナノ微粒子の凝集抑制方法など
		2	HENKEL(23件)	民間企業(ドイツ)	ナノ微粒子懸濁液の製造方法、吸湿剤を含むナノ微粒子の化粧品応用など
		3	UNIV. CALIFORNIA(22件)	大学(米国)	ナノ微粒子を利用したセンサーアレイ、バイオ応用半導体ナノクリスタルプローブ、化合物半導体ナノクリスタルの製造方法など
(2)ナノカプセル	日本	1	L'OREAL(13件)	民間企業(フランス)	化粧品成分等を含有したナノカプセルなどの化粧料用又は皮膚科用組成物
		2	双葉電子工業(4件)	民間企業(日本)	電子放出源の製造方法、電子放出源及び蛍光発光型表示器
		3	LAB. CUSI(3件)	民間企業(スペイン)	ナノカプセルの製造方法、貯蔵安定性の改善
	世界	1	L'OREAL(21件)	民間企業(フランス)	化粧品成分等を含有したナノカプセルなどの化粧料用又は皮膚科用組成物
		2	PROCTER & GAMBLE(7件)	民間企業(米国)	ビタミン等の薬剤あるいは香料を含むエマルジョンとその用途
		3	LAB. CUSI(4件)	民間企業(スペイン)	ナノカプセルの製造方法、貯蔵安定性の改善
(3)ナノチューブ	日本	1	NEC(52件)	民間企業(日本)	カーボンナノチューブの製造方法、加工方法、電子放出材利用など
		2	伊勢電子(24件)	民間企業(日本)	カーボンナノチューブの製造方法、電子放出材利用など
		3	双葉電子工業(22件)	民間企業(日本)	電子放出源の製造方法が中心、これ以外に水素吸蔵材料の製造方法
	世界	1	NEC(46件)	民間企業(日本)	カーボンナノチューブの製造方法、加工方法、電子放出材利用など
		2	日進ナノテック(41件)	民間企業(韓国)	カーボンナノチューブの製造方法、電子放出材利用など
		3	LEE CHEOL JIN(36件)	個人(韓国)	カーボンナノチューブの製造方法、電子放出材利用など

⁷ 日本はSTNのJAPIOファイルを用いた検索結果による特許出願の上位3機関、世界はDMPIを用いた検索結果による特許出願の上位3機関である。なお、DMPIは類似特許をファミリーとして1つのレコードにまとめており、JAPIOによる結果と不整合が生じることがある。

第2-3表 ナノマテリアル関連特許出願の上位3組織と組織分類および出願特許の概要(その2)⁷

技術項目		順位	組織名(出願件数)	組織分類(国籍)	出願特許の概要
(4)巨大分子	日本	1	東レ・ダウコーニング・シリコン(19件)	民間企業(日本)	カルボキシシラン系デンドリマーの合成と応用(熱硬化性樹脂、コーティング剤、ガス透過性フィルムなど)
		2	東洋インキ(10件)	民間企業(日本)	ビニル基含有デンドリマー、デンドリマーの硬化性樹脂への応用など
		3	産業技術総合研究所(8件)	公的機関(日本)	新規構造を有する脂質ベシクル(光合成たんぱく質組み込み、糖残基含有など)
	世界	1	L'OREAL(83件)	民間企業(フランス)	薬剤等を内包したベシクル(発汗抑制剤、消炎剤など)
		2	UNIV. CALIFORNIA(57件)	大学(米国)	薬剤内包ベシクル、ベシクルを利用したドラッグデリバリー、デンドリマーを利用したドラッグデリバリー等
		3	PROCTER & GAMBLE(47件)	民間企業(米国)	薬剤内包ベシクルを含有するのど飴、生分解性柔軟剤を含有する紙製品など
(5)フラーレン	日本	1	ソニー(35件)	民間企業(日本)	フラーレン誘導体の製造方法、プロトン導伝体膜の製造方法および燃料電池への応用、電子放出素子およびその製造方法など
		2	科学技術振興事業団(17件)	公的機関(日本)	新規フラーレン分子(双子型)、フラーレン誘導体(両親媒性)、金属内包フラーレンなど(プロジェクト単位なので内容は多岐におよぶ)
		3	日立製作所(16件)	民間企業(日本)	金属内包炭素クラスターおよび製造方法、フラーレン利用単分子電子トランジスタなど
	世界	1	ソニー(56件)	民間企業(日本)	フラーレン誘導体の製造方法、プロトン導伝体膜の製造方法および燃料電池への応用、電子放出素子およびその製造方法など
		2	HOECHST(36件)	民間企業(ドイツ)	フラーレンおよびフラーレン誘導体の製造方法、フラーレンの単離方法など
		3	科学技術振興事業団(24件)	公的機関(日本)	新規フラーレン分子(双子型)、フラーレン誘導体(両親媒性)、金属内包フラーレンなど(プロジェクト単位なので内容は多岐におよぶ)
(6)量子効果マテリアルおよび分子細線	日本	1	富士通(77件)	民間企業(日本)	半導体量子ドット構造の自己組織化方法および応用(光半導体、高配向皮膜など)
		2	ソニー(50件)	民間企業(日本)	量子ドットを利用した電子素子(メモリ、トランジスタ)、シリコン量子ドットの製造方法など
		3	NEC(42件)	民間企業(日本)	半導体量子ドットの素子とその製造方法、量子ドットカスケードレーザー、半導体発光素子
	世界	1	富士通(72件)	民間企業(日本)	半導体量子ドット構造の自己組織化方法および応用(光半導体、高配向皮膜など)
		2	ソニー(42件)	民間企業(日本)	量子ドットを利用した素子(メモリ、トランジスタ)、シリコン量子ドットの製造方法など
		3	NEC(35件)	民間企業(日本)	半導体量子ドットの素子とその製造方法、量子ドットカスケードレーザー、半導体発光素子

第2-4表 ナノ構造体、ナノ構造形成およびナノマテリアル×ナノ構造関連特許の出願件数上位3機関および出願の概要⁷

技術項目		順位	組織名(出願件数)	組織分類(国籍)	出願特許の概要
ナノ構造体	日本	1	松下電器(22件)	民間企業(日本)	LB膜関連、多孔質基板上への導電性高分子等の膜形成、潤滑層の形成など
		2	富士通(16件)	民間企業(日本)	LB膜関連、量子ドット形成など
		2	NEC(16件)	民間企業(日本)	ナノチューブ含有フィルム、フラーレンを含む超格子の製造方法など
	世界	1	松下電器(26件)	民間企業(日本)	多孔質基板上への導電性高分子等の膜形成、潤滑層の形成など
		2	キヤノン(22件)	民間企業(日本)	LB膜を利用した配向制御、LB膜を加工することによる素子構築(発光素子、電子閉じ込め構造)など
		3	NEC(12件)	民間企業(日本)	ナノチューブ含有フィルム、フラーレンを含む超格子の製造方法など
ナノ構造形成	日本	1	キヤノン(27件)	民間企業(日本)	LB膜製造装置、ナノホール基板の製造方法など
		2	産業技術総合研究所(12件)	民間企業(日本)	セラミックスや炭素系材料のメソ構造体など
		3	富士通(11件) 鐘淵化学工業(11件)	民間企業(日本)	量子ドット形成など フラットディスプレイ用液晶材料、配向LB膜(液晶利用)の形成方法など
	世界	1	松下電器(33件)	民間企業(日本)	配向LB膜(液晶利用)の形成方法、化学的に吸着した有機薄膜層による吸湿剤など
		2	鐘淵化学工業(28件)	民間企業(日本)	フラットディスプレイ用液晶材料、配向LB膜(液晶利用)の形成方法など
		3	産業技術総合研究所(26件)	公的機関(日本)	自己組織化を用いた有機薄膜微細構造の形成方法、低分子量有機分子を用いた記録媒体の形成方法など
ナノマテリアル ×ナノ構造関連 (+)	日本	1	日進ナノテック(8件)	民間企業(韓国)	ナノチューブによる電界放出素子など
		1	LEE CHEOL JIN(8件)	個人(韓国)	ナノチューブによる電界放出素子など(日進ナノテックとの共願)
		3	富士通(6件)	民間企業(日本)	量子ドットナノ構造の形成とその応用(光半導体など)
	世界	1	UNIV. CALIFORNIA (12件)	大学(米国)	自己集積量子ドットの製造方法、自己集積有機単分子層を利用して半導体ナノ結晶と無機表面との結合、タンパク質の自己集積によるナノ構造形成など
		2	日進ナノテック(11件)	民間企業(韓国)	ナノチューブによる電界放出素子など
		3	LG ELECTRONICS(10件)	民間企業(韓国)	ナノチューブによる電界放出素子、ナノチップを用いたデータの記録/読み込み方法と装置など

第3章 論文発表数の国別年次推移

第1節 ナノマテリアル関連技術に関する論文発表数の国別年次推移

第3-1図に各ナノマテリアル（ナノ微粒子、ナノカプセル、ナノチューブ、巨大分子、フラレン類、ならびに量子効果マテリアルおよび分子細線）に関する論文中、論文発表者（ファーストオーサー）の所属機関の在籍国（以下、発表機関国とする。）が、日米欧の三極及び韓国、あるいは中国である論文について、その発表機関国別に、発表された論文発表数の年次推移を示す。

ナノ微粒子系、ナノチューブ系では、いずれの国の発表数も増加している。中国は特許出願件数ではほとんど増加がみられなかったが、論文発表数は日本と同等のレベルで増加している。

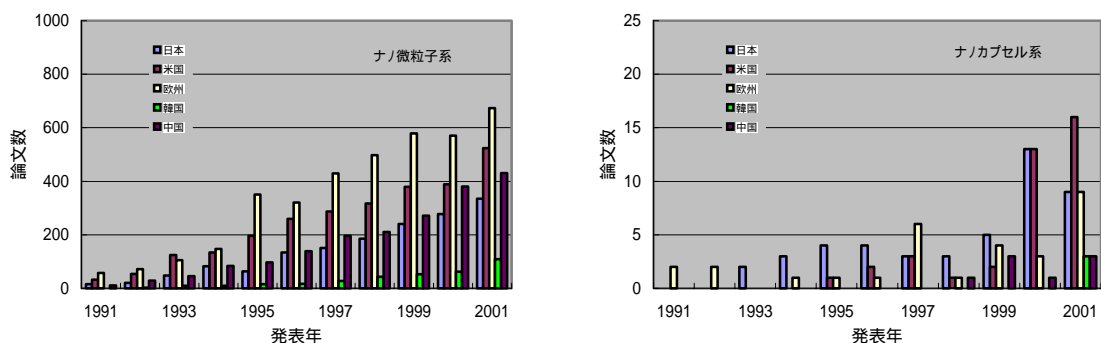
一方、ナノチューブにおいては韓国の特許文献数は近年急増していたものの、論文発表数ではそれほど伸びが見られない。

巨大分子系では、1990年をはじめから、欧米の論文数が増加し、1997年以降で横這い傾向にある。これに対して、日本は、1990年代を通して徐々に論文数を増加させつつある。この分野に関して、韓国や中国の論文数の大きな伸びは見られない。

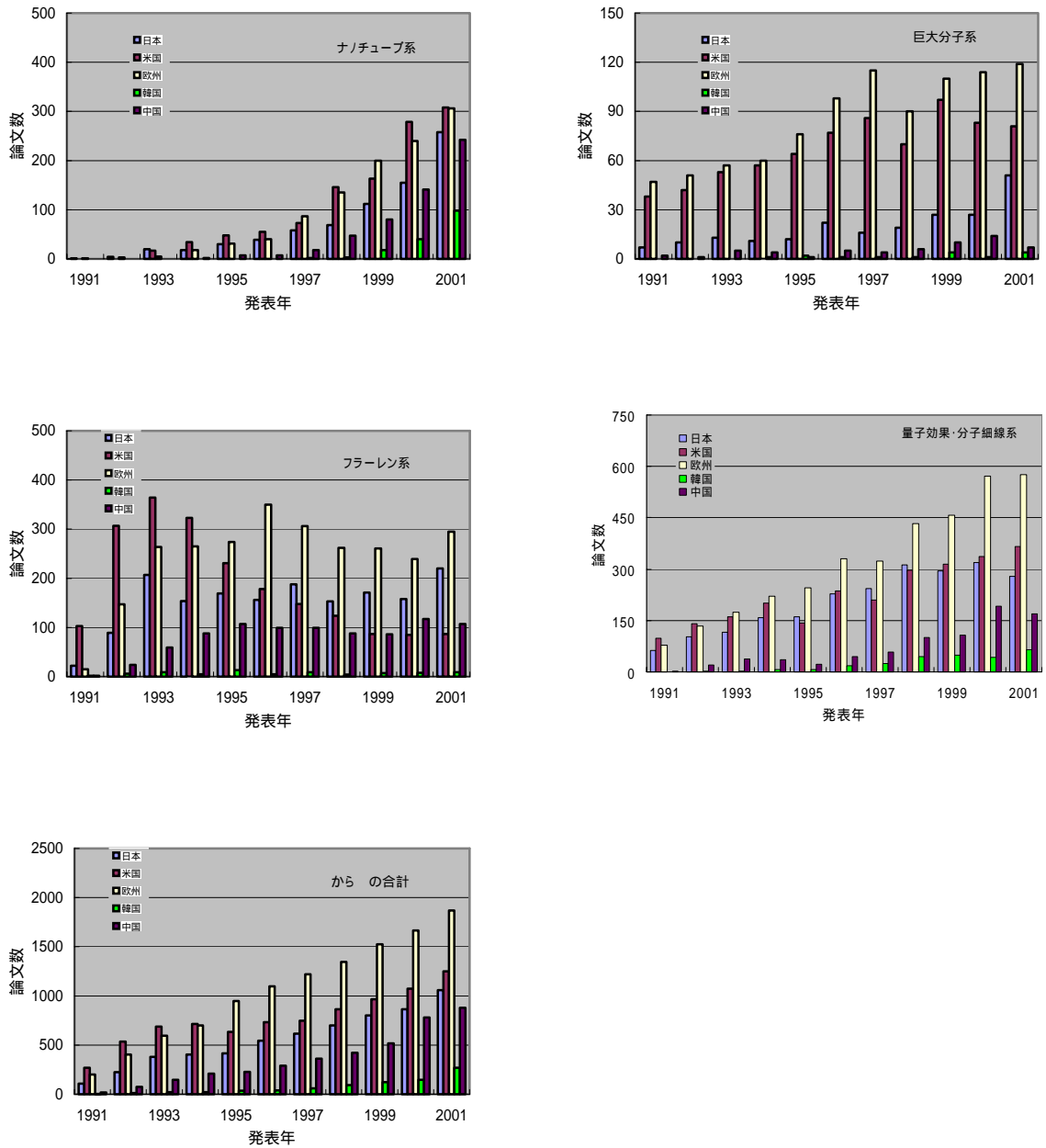
フラレン系では、1990年のはじめの日米欧の論文数の伸びが見られるが、その後は、日本や欧州では一定値を示し、米国は逆に減少している。中国も1990年をはじめに論文数が伸びたものの、その後、伸びが見られない。

量子効果・分子配線関連では、1990年代前半は、日米欧の三極がほぼ同じ数の論文を発表している。1995年以降は、欧州が日米に比して多くの論文を発表するようになり、日米は、論文数に伸びが見られない。韓国および中国も1995年以降論文数に伸びを示すようになるが、近年は大きな伸びは示していない。

からの合計では、1990年代前半は、日米欧の三極の論文発表数が多いことがわかるが、後半は、欧州の論文数の増加率が大きくなっている。また、中国の論文数は日本同程度で増加していることがわかる。



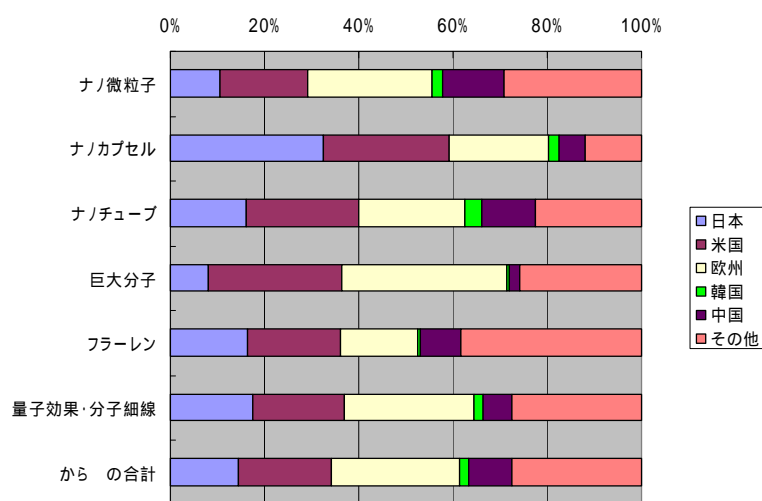
第3-1図 ナノマテリアル関連論文の各国の発表動向（その1）



第 3-1 図 ナノマテリアル関連論文の各国の発表動向 (その 2)

第 3-2 図は、ナノテクノロジー関連の学術論文の動向について 1991 年から 2001 年に発表された論文のうち、発表機関国の分布を示したものである。

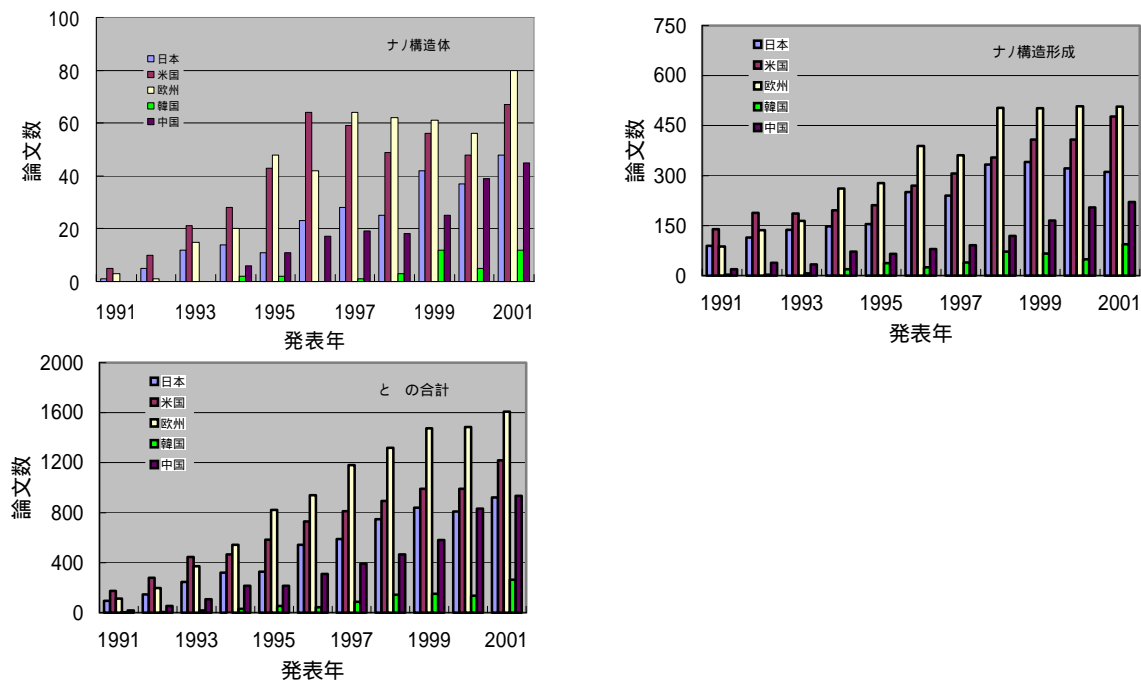
日米欧の三極の論文数が 80% を越えるのは、まだ、論文数の少ないナノカプセル系だけである。三極以外からの論文が多いナノ微粒子系およびフラーレン系では、三極の論文が占める割合は 60% を切っている。



第3-2図 ナノマテリアル関連論文に関する各国論文発表数の比率

第2節 ナノ構造関連技術に関する論文発表数の国別年次推移

第3-3図に各ナノ構造関連（ナノ構造体 ナノ構造形成）に関する論文中、ファーストオーサーの所属機関の在籍する国（以下、発表機関国とする）が、日米欧の三極、韓国、中国である論文について、その国別に、論文発表数の年次推移を示す。



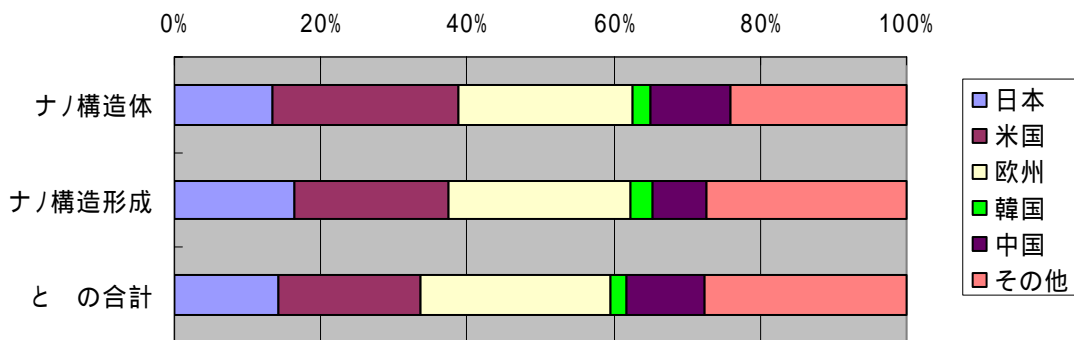
第3-3図 ナノ構造関連論文の発表国別論文数

ナノ構造体に関して、欧米は1996年までに論文数が増加し、その後、一定状態を示している。一方、中国と日本は同程度で増加傾向にある。また、ナノ構造形成関連では、日米欧三極が1990年代前半に論文数を伸ばしたが、1990年代後半には、論文数が伸びず、ほぼ一定

値を示している。中国、韓国に関しては、徐々に論文数が増加している。

ナノ構造関連全体では、日米欧の三極は 1990 年代前半は論文数を伸ばしたものの、後半には論文数の伸びが前半に比して緩やかになってきている。これに対し、中国は、1990 年代後半から論文数が伸び始め、2001 年には、日本とほぼ同数の論文を発表している。すなわち、三極がナノ構造関連に関して新しい展開を見出せない間に、中国が追いついてきたことを示す。

第 3-4 図に 1991 年から 2001 年に発表された各ナノ構造関連論文の発表機関国別論文数を示す。日欧米の三極が世界の論文数のほぼ 60%を占めている。日本は、いずれの分野においても、15%程度の比率を占めている。この値は、韓国と中国を合わせた値にほぼ等しくなっている。



第 3-4 図 ナノ構造関連論文に関する各国論文発表数の比率

第4章 ナノテクノロジー関連政策動向

現在ナノテクノロジーは、その多くが基礎研究フェーズにあるために、政府の研究開発施策は今後のナノテクノロジーの発展を左右しうるものと考えられ、各国で政策が進められている。

そこで始めに、ナノテクノロジーに関わる関連政策動向について、1992年から2002年までの日米欧の動きを第4-1表に示した。

第4-1表 ナノテクノロジーを巡る各国の動向(その1)

	日本	米国	欧州
1992年	・アトムテクノロジー研究体発足(ボトムアップナノテクに関連する国プロ)		・科学技術事務所(OST)設置(横断的な組織化)(英)
1993年		・科学技術政策総合調整機構(NSTC)設立	
1994年			
1995年	・科学技術基本法	・競争力委員会による産業競争力分析	・技術予測調査(目標の優先順位付け)(英)
1996年	・科学技術基本計画(政府R&D予算の大幅増)		
1997年	・経済構造の変革と創造のための行動計画(成長15分野を選定)	・合衆国イノベーションパートナーシップ(科学技術振興に関する連邦政府と州政府の協力スキーム) ・連邦政府資金による研究成果の民間への移転を最重視	
1998年			・第5次フレームワークプログラム(ナノテクを含む)発足(EU) ・競争力白書(バイオ優先)(英)
1999年	・産業再生計画(経済構造改革) ・雇用創出、産業競争力強化のための規制改革 ・ミレニアムプロジェクト	・WTECがナノテクノロジーに関する世界のR&D状況の調査レポートを発表	・戦略フレームワーク(英)
2000年	・第2期科学技術基本計画 ・国家産業技術戦略 ・物質・材料計科学技術の推進方策に関する懇談会(ナノ物質・材料の重点化) ・経団連「需要と供給の新しい好循環の実現に向けた提言」(強化すべきニューフロンティアのひとつとしてナノテクノロジーを明示) ・経団連「21世紀を拓くナノテクノロジー」 ・旧科学技術会議「ナノテクノロジーの戦略的推進に関する懇談会」	・米国大統領が国家ナノテクノロジー戦略(NNI)予算案を公表 ・NNIが発足	・技術競争力による報告:更なる研究開発投資が必要(独) ・産学連携プログラム(英) ・TOPNANO21(スイス) ・MINATEC構想検討開始(仏)
2001年	・総合科学技術会議にナノテクノロジー・材料プロジェクトが設置(ナノテクノロジーの重点分野5領域を選定) ・NEDO材料ナノテクノロジープログラムがスタート		・NCCRナノサイエンス発足(スイス) ・MINATEC整備スタート(仏) ・Foresight LINK Awardでナノテク採択(英) ・Interdisciplinary Research Center (IRC) in Biotechnology 発足(英)

第 4-1 表 ナノテクノロジーを巡る各国の動向（その 2）

	日本	米国	欧州
2002 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ナノテクノロジー総合支援プロジェクト発足 ・世界最先端IT国家実現重点R & Dプロジェクト発足 ・21 世紀COEにナノテク関連拠点多数採択 ・ナノ加工、ナノカーボンがスタート ・戦略的情報通信技術研究開発制度開始 ・萌芽的先端医療技術推進研究(ナノメディシン)スタート ・生体機能の革新利用ナノテク開発スタート 	<ul style="list-style-type: none"> ・NNIの目標が、「計画から実行へ」から「計画から産業化へ」にステップアップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・第6次フレームワークプログラム(ナノテク明記)発足(EU)

さらに、2001 年以降のナノテクノロジー関連政策動向についてまとめた。第 4-2 表に日米欧の最近のナノテクノロジーの関連政策について示す。日米では政府の研究開発投資額のオーダーはほぼ同程度である。欧州に関しては複数国の合計の値となっているため多くなっている。

第 4-2 表 日米欧のナノテクノロジー関連予算（確定分）と政策動向

地域	研究開発予算	政策動向
日本	<ul style="list-style-type: none"> 総額 606 億円*(2001 年度) ・文部科学省:394.4 億円 ・経済産業省:202.4 億円 ・総務省:6.4 億円 ・厚生労働省:1.4 億円 など 研究者数(自然科学全体):631000 人 	<ul style="list-style-type: none"> ・第 2 次科学技術基本計画で「ナノテクノロジー・材料」分野を重点 4 分野中の 1 つに設定。 ・科学技術・学術審議会にて 20 年後までの実用化、産業化を展望した 25 の研究課題が提示される。
米国 ⁸	<ul style="list-style-type: none"> 総額 46,385 万ドル** (FY2001) (556 億円、120 円/\$計算) ・DOD:12,300 万ドル ・DOE:8,795 万ドル ・NSF:15,000 万ドル ・NIH:3,960 万ドル ・NASA:2,200 万ドル ・NIST:3,340 万ドル など 研究者数(自然科学全体)1114000 人 	<ul style="list-style-type: none"> ・2000 年 1 月、クリントン大統領が 2001 年度 NNI 関連予算を前年比 84%増とする予算を公表。 ・2002 年度予算は 60440 万ドル、2003 年度要求額は 71020 万ドルに対し決定予算額は 77400 万ドル ・NNI の計画は 10 年ないし 20 年先を見据えた中長期戦略。
欧州(EU)	<ul style="list-style-type: none"> 第 6 次フレームワークプログラム(2002~)、総額 175 億ユーロ中、60%を重点分野に配分、ナノテクノロジーは 13 億ユーロ(1690 億円、130 円/ユーロで計算) 研究者数(自然科学全体):932000 人 	<ul style="list-style-type: none"> ・フレームワークプログラム(FP)は、欧州委員会が行う共同研究技術開発であり、研究内容が市場前段階または実用化前段階的なものを対象とする。 ・第 6 次は第 5 次に比較して 17%増加。

*内閣府資料による

**NNI レポート(<http://www.nano.gov/>)による

⁸ DOD: Department of Defense, DOE: Department of Energy, NSF: National Science Foundation, NIH: National Institutes of Health, NASA: National Aeronautics and Space Admin., NIST: National Institute of Standard and Tech.

第1節 日本国内におけるナノテクノロジー関連政策動向

2000年に、日本の政府は、科学技術戦略の基本となる第2期科学技術基本計画(2001～2005年)を閣議決定した。第2期基本計画の特徴は、産業競争力の強化を明確に意識した実利用重視の姿勢に立ったことであり、ナノテクノロジー・材料分野は、生命科学、情報通信、環境などと並んで4つの重点分野の一角に位置づけられている。これを受ける形で、総合科学技術会議の下に、ナノテクノロジー・材料プロジェクトが組織化され、政府としての推進戦略の検討や予算、人材その他の資源配分の方針が検討された。このプロジェクトでは、新しい製造技術体系の構築を通じ、産業競争力を強化し、経済の持続的成長の基礎の形成、環境・エネルギー問題、少子高齢化への対応などによる豊かな国民生活の実現、国民の安全・安心な生活の確保、戦略的技術の保有等安全保障的な観点からの国の健全な発展の実現という3つの視点から議論を行い、我が国として、以下の5領域を重点化すべき領域として取り上げた。すなわち次世代情報通信システム用ナノデバイス・材料、環境と調和した付加価値材料、微量な環境影響要因の管理技術、診断・治療・計測用極小システム、生体適合生物現象を観察し、そのメカニズムを活用し、制御するナノバイオロジー、計測・評価、加工、数値解析・シミュレーションなどの基礎技術、革新的な物性、機能を付与するための材料技術である。

一方、文部科学省の科学技術・学術審議会は、2002年6月に、「ナノテクノロジー・材料に関する研究開発の推進方策について」という報告書を取りまとめた。この中では、重点領域の抽出、人材育成への取り組み、研究成果の実用化への取り組み、として具体的な提言がなされている。このなかで、20年後までの実用化、産業化を展望した25の研究課題が提示されている。このうち、ボトムアップ型ナノテクノロジーと関連の深い技術であると思われる課題としては「超高分子メモリや単一分子センシング素子」「自己組織化を利用したバイオ分子デバイス」「生体分子や短波符室を用いたソフトナノマシン」「各種のポリ酸によるナノ空間材料」「超分子制御」「プログラム自己組織化」などがある。

第2節 米国におけるナノテクノロジー関連政策動向

米国のナノテクノロジー政策は、2001年から始まったNNI(国家ナノテクノロジー戦略)構想に集約される。NNIは短期的な目標設定ではなく、10年ないし20年先を見据えた中長期戦略である。予算のポートフォリオを見ると、学際的な基礎研究を重視していることが分かる。NNIの発表によれば、米国の2002会計年度のNNI予算は最終的に6.04億ドル(1ドル120円として、725億円)であり、2003年度は、約7.74億ドル(同929億円)である。2004会計年度の予算要求は、8.47億ドル(同1兆160億円)で1兆円の台を超えている。

最近、米国議会は、日韓欧等など各国のナノテク戦略の充実に対応し、この分野の世界のリーダーとしての競争力強化のための法案を策定した。これは、中長期的研究開発を推進するため、国家ナノテク研究プログラムを大統領が中心となって策定し、研究開発の中長期的な目標設定、および大学や公的研究機関、民間の協力体制を充実させることや、研究開発成果の民間への移転を推進すること、新たに10の「学際融合ナノテクノロジー研究開発センター」を設置すること(5年間、毎年300～500万ドル/センター)、ナノテクノロジーの社会的影響に関する調査研究を行うセンターを500万ドル/年で設置すること、等が策定されている。上記の予算の継続的な伸びを見ても日本を意識した研究開発投資がなされていることがわかる。

第3節 欧州におけるナノテクノロジー関連政策動向

欧州では、EU という枠組みとフランス、英国、ドイツ、スイスなどの各国という2つの枠組みの中でナノテクノロジーへの研究開発投資がなされている。

フレームワークプログラム（FP）は、欧州委員会が行う共同研究技術開発であり、研究内容が市場前段階または実用化前段階的なものを対象としたプログラムである。2001年1月に欧州委員会が支援する R&D 活動の基本コンセプトとなる「欧州研究圏構想」（European Research Area Initiative）が提案された。今後この構想を実現するための有力な手段となる第6次フレームワークプログラムがスタートしている。第6次プログラムの予算は、第5次に比べて17%増の175億ユーロ（約1.89兆円）であり、7つの重要分野に予算の6割を配分する計画である。このなかで、「ナノテクノロジー・インテリジェント材料・新規製造技術（13億ユーロ）」とナノテクノロジーが明確に位置づけられている。またその内訳を見ると、ボトムアップ型ナノテクノロジーに関連する研究課題が多いことが特徴である。

第5章 ボトムアップ型ナノテクノロジー関連市場動向

ボトムアップ型ナノテクノロジーは、現状ではほとんどが研究開発段階であり、その市場はほとんどゼロである。したがって、現状の市場規模を評価することは、全く意味がない。ボトムアップ型ナノテクノロジーの研究開発動向を見ても、市場を形成し得る時期は概ね2010年前後と推測される。したがって、ここでは10年後における市場予測を行い、その将来性を示すこととする。

ボトムアップ型ナノテクノロジーは技術コンセプト自体を変革し得るブレークスルーテクノロジーである。したがって、その創出し得る市場は、トップダウン型のような「既存製品における代替技術として普及し市場を形成する場合」のみならず「新規市場形成（新製品により市場創出される場合）」も想定し得る。しかしながら、現在まったくない製品群の市場を予測することは技術的に不可能である。ここでは、応用製品群の市場予測値を示すことにより、ボトムアップ型ナノテクノロジーの関連市場規模を分析する。

なお、ここで、ナノテクノロジー関連市場について、注意点を銘記する。ボトムアップ型ナノテクノロジーの場合、原子分子操作などにより作成したナノ構造体それ自身の市場はそれほど大きいとは考え難い。むしろ、ナノテクノロジーの関連市場とは、そのナノ構造体が応用される製品群の市場と捉えるべきである。ただし、以下に述べる市場規模の数値は、いずれも関連市場全体のものであり、ボトムアップ型ナノテクノロジーの関与分のみを指しているのではないことに留意しなければならない。

バイオ・医療分野で、もっとも大きな関連市場が期待される領域は、バイオ製剤である。しかしながら、この領域に寄与するボトムアップ型ナノテクノロジーの付加価値としての寄与率はそれほど高くはない。むしろ、自己組織化膜やリポソームを利用することによる的確で効率的な治療や副作用の大幅な低減を目的としたピンポイント DDS システムの実用化への寄与が期待される。この分野の2010年の市場規模は約2700億円と予測されている。

また、エレクトロニクス分野では、ボトムアップ型ナノテクノロジーが直接寄与する領域は、分子エレクトロニクスや次世代メモリなどの技術である。次世代メモリは、市場規模は大きいものの、分子ナノテクノロジーの寄与率は不透明である。仮に10%として、1630億円の寄与が見込まれる。分子エレクトロニクスは、2213億円となる。一方、薄型モニターは、6兆円規模の市場が見込まれている。カーボンナノチューブを用いたFEDで750億円となる。

エネルギー環境分野では、燃料電池等の市場が大きい。2010年の予測は各方面からなされているが、2500ないし4000億円である。

一方、メカトロニクスでは、各種プローブや保護膜などへの応用が期待されるが、部材要素の性格が強く全体の市場算出は困難である。比較的製品に近い次世代スーパーエンブラの市場は930億円と推測されている。

ボトムアップ型ナノテクノロジーの市場規模を、分野別に一覧して第5-1表に示した。

第5-1表 ボトムアップ型ナノテクノロジーの市場予測(2010年)⁹

	バイオ・医療				エレクトロニクス			エネルギー・環境				メカトロニクス		
ナノ微粒子	エアロゾル薬 剤、放射線治 療剤		バイオ センサ		発光素子、S ET、磁気スイ ッチ		電気泳動 ディスプレ イ	ナノ粒子分 散電極	化学セン サ	ナノ粒子 触媒 (1826)			表面改質 コート剤	強化樹脂
ナノカプセル	薬剤、生体適 合性評価試 薬							燃料電池 用触媒、水 素吸蔵剤						
ナノチューブ			バイオ センサ		トリオード		FED (750)	燃料電池 用電極、水 素吸着剤				SPM、 アンテナ		強化樹脂
巨大分子	免疫治療薬	DDS							放射線セ ンサー	触媒 (680)				熱効硬化樹 脂、放射線硬 化樹脂
フラレン	がん治療薬、 X線増感剤、 MR増感剤				FET、SET	分子コンピ ュータ		プロトン導 電膜					磁性材コ ート、超薄 膜コート	
量子効果マ テリアルおよ び分子細線					単一電子メモ リ 半導体レーザ SET 波長変換素 子				赤外線セン サ 放射線検 出器		熱電変 換素子 (143)	分子ワ イヤ	磁気シー ルド	
ナノ構造体				ナノポーラス イムノセン サ、バイオリ アクタ	キャパシタ レーザ MRAN			Li電池用電 極 (7500) 水素吸蔵 剤				マイクロ アレイブ ローブ		
ナノ構造形 成			抗原セン サ		分子整流器 磁気記録媒 体	量子コン ピュータ			熱センサ、 化学セン サ		光エネ ルギー 伝達デ バイス	SPM	腐食防止 膜、導波 路コート	
市場予測(単 位:億円)	6400 ²⁾¹⁾	2768 ³⁾ 2745 ⁵⁾	1193 ³⁾	1387 ³⁾	16309 ³⁾ (次世代メモ リ) 2213 ³⁾ (分子エレク トロニクス)	1380 ³⁾ (量子デバイ ス)	59250 ³⁾	2456 ³⁾ 4000 ⁶⁾	(算出 不能)	2506 ³⁾	143 ³⁾	(算出 不能)	(算出 不能)	930 ³⁾

⁹ 出典：1) 日経バイオビジネス編「日経バイオ年鑑2003」、2) 吉川医薬研究所の試算資料による、3) 三菱総合研究所と日本経済新聞社の共同調査に基づく予測値、4) 上記に三菱総合研究所の補正を加えた予測値、5) 財団法人マイクロマシンセンター資料(<http://www.mmc.or.jp/index-j.htm>)、6) 矢野経済研究所「2002年先端燃料電池システム市場の徹底研究」

第6章 ボトムアップ型ナノテクノロジー関連各技術項目毎の 総合分析、及び課題と提言

第1章から第5章においては、ボトムアップ型テクノロジー関連技術の動向について様々な観点から分析を行った。

本章では、各技術項目毎に調査結果を総合分析することにより現状を明らかにし、提言を示す。

1. ナノマテリアル関連技術

(1) ナノ微粒子関連

第2章第1節および第3章第1節に示した日本、米国、欧州、韓国、中国の特許出願および論文発表動向をみると、特許出願件数、及び論文発表数(5ヶ国合計)の2000/1991年の比は、それぞれ13倍、14倍と、世界的にみてナノ微粒子関連技術に関する研究開発はここ10年で急成長しているといえる。

出願人国籍別に特許出願件数の動向を検討すると、特許出願件数の伸びは、アメリカ、欧州は10年間で急増(100件以上)し、様々な分野において応用展開されている。また、特許文献のサイテーション分析では、被引用回数の上位8位は全て米国の出願人が占めている。

一方日本の伸びは20件程度と、ほとんど増加はしていない。また、日本の2000年時点の特許出願件数は、対米比で10%程度となっている。

上記分析から、欧米、特に米国がこの分野で競争力が強く、また日本は弱い立場にあるといえる。

しかしながら一方、2000年の論文発表数の比率は、上記対米比で日本は71%となっており、特許出願件数ほどの差はなく、学術・基礎研究レベルでは、日本は欧米に比してそれほど劣位にあるわけではない。また、例えば、新技術開発事業団(現、科学技術振興事業団)では、創造科学技術推進事業として「林超微粒子プロジェクト」(1981~1986年)が組織され、ナノ微粒子に関する物性及び応用研究等がなされる等、ナノ微粒子に関する国家的取り組みも存在した。日本におけるナノ微粒子の技術開発に関する取り組みは、欧米に比して遅れているものではなく、国家的関心が低いわけでもないことがわかる。

これらの事実は、論文発表数に示される基礎・学術研究の成果の産業への応用展開が、欧米では円滑に行われ、日本においてはあまり進まなかったことを示すものと考えられる。その原因として、産学の連携を通じた産業への技術移転の努力が欠けていた、あるいは産業全般におけるナノテクノロジーを念頭においた、潜在的可能性の認識が乏しかったなどがあげられるのではないか。

また、中国の論文発表数は日本と同程度の件数で推移している。これは中国の学術研究開発レベルが日本と同レベルにある可能性を意味し、この分野での競争が今後激化することを予測させる。

ナノ微粒子関連技術は、医療・バイオテクノロジーや発光素子といった先端技術から、プラスチック材料や食品にいたるまで、その産業応用可能性が多岐に渡る分野であるため、その市場規模は大きいと予測される。したがって、日本は、国際的な競争力を確保するべきである。

そのためには、国が基礎研究などを支援していくことも必要であるが、上述したように、研究者が、現在保有する学術・基礎研究の知識を TL0 等の組織を利用して産業界へ移転していく努力をすること、産業全体において、そのナノテクノロジーを意識した広い用途を視野に入れて技術開発を行うことが重要である。

(2) ナノカプセル関連技術

第2章第1節に示したように、各国の出願とも、その件数は増加傾向であるものの、1997年以降の欧州を除いては、毎年10件以下程度とその件数は非常に少ない。欧州における1998年の急増は、L'oreal 株式会社の出願が集中していることによる。この技術においては、未だ各国とも本格的な技術開発が行われていないことがわかる。

未だ各国とも本格的な技術開発が行われていない現状において、先行的に研究開発を行うことにより基本特許となるような技術を獲得すれば、将来的に優位性を得ることが可能となる。その際には、研究成果を如何に特許として確保していくか、といった特許戦略が重要になる。

今後は、その産業利用性の可能性を検討しつつ、技術開発を進めて行くべきであると考えられる。

(3) ナノチューブ関連技術

第2章第1節に示した日本、米国、欧州、韓国、中国の特許出願動向をみると、特許出願及び論文発表数とも急増しており、世界的にはナノチューブ関連技術に関する研究開発はここ10年で急成長している。

出願人国籍別に特許出願の動向を検討すると、特許出願件数は、日本、アメリカ、韓国の出願は急増している。また、2000年時点の日・米・欧・韓国の特許出願件数の比は1.58:1:0.49:1.24となっている。

一方、第3章第1節に示した国別論文発表数の動向を検討すると、各国とも急増傾向にある2000年時点においては、日本は米国の半分、中国と同等のレベルにあり、また韓国の論文の発表数は少ないことがわかる。

この結果、欧米中に比して、日本、韓国は特許文献数の比較においては優位にあると考えられるが、論文発表数など総合して考慮すると日米欧韓中の優劣は付け難く、今後競争が激化するものと予測される。

ナノチューブの主な応用技術としては、電圧負荷時における電界放出特性を利用した冷陰極素子、FED(電界放出型ディスプレイ)、蛍光表示管などのエレクトロニクス材料への応用、また、その触媒担持能力を利用した燃料電池、水素貯蔵材料への応用などであり、第5章で述べたとおり、その市場規模も大きいものと予測される。そして、日本においては、基礎研究から応用研究までが電気・電子メーカ、公的機関を中心に展開されている。しかしながら現在、その材料コストの高さが、実用化への課題となっている。

現在日本が比較的優位な位置にあるのは、カーボンナノチューブの発見が日本人によってなされたことと、エレクトロニクス技術への有用性が認められたこと、そして日本は全産業をみても、電気・電子分野に強みがあり、その技術、知識の蓄積を有していたことによると

考えられる。そして今後もこの優位性を維持し続けるには、基礎から応用までの技術・知識の集積をさらに行っていく必要がある。

しかしながら、企業のみで基礎研究から応用研究までを行うのは相当な負担となる。したがって、米国、中国、韓国といった国との競争を生き残るためには、例えば応用研究はメーカーで行い、現段階では直接応用技術に結びつかないものの将来性のある基礎研究は大学、公的機関が行う、などの産官学で技術開発の役割分担を行っていくことも一つの選択肢であると考えられる。

また、材料コストの低下にあたっては、昭和電工、日機装、カーボン・ナノテク・リサーチ・インスティテュート(三井物産の子会社)などといった会社が2000年以降本格的なナノチューブの生産を開始しており、今後も材料コストの低下に向けた動きが加速する可能性がある。(参考資料:「フラーレンとカーボンナノチューブ」,株式会社ダイリサーチマーテック,2002年7月,P26)

そして、さらなる材料コストの低下を図るためには、上記のとおり産官学の連携を利用した製造技術の開発に取り組むほか、炭素材料製造技術にノウハウを有する企業(化学会社など)が中心になって、他の企業との共同研究を行う、あるいはその製造を行う、などの企業間の連携を模索することも効率化への方法であると考えられる。

(4) 巨大分子関連技術

第2章第1節に示した日本、米国、欧州、韓国、中国の特許出願動向をみると、特許出願件数、及び論文発表数は2000年/1991年比でそれぞれ4.6倍、2.5倍と、増加傾向にある。

出願人国籍別に特許出願の動向を検討すると、米国、欧州の特許出願件数は急増しているのに対し、日本はほとんど増加していない。また、2000年時点での特許出願件数の割合は日:米:欧=0.13:1:0.56となっている。

また、2000年時点での国別論文発表数の割合は、日:米:欧=0.33:1:1.37となっている。

さらに、特許文献のサイテーション分析では、被引用回数の上位8位は全て米国の出願人が占めている。

以上のことから、この分野においては、欧米は競争力が強く、日本は弱いといえる。

第2章第2節における分析では、巨大分子の77%が医療・バイオ分野に应用され、またその出願人国籍がほとんど欧米となっている。この背景として、バイオ・医療の分野での技術開発が先行している欧米において、医療・バイオ材料として巨大分子の技術開発が進んだことが出願増加の原因であると考えられる。

そして、特に米国においては、1990年以降、この分野におけるドラッグデリバリーシステムへの応用研究が進んだことが米国の特許出願の増加につながったものと思われる。

現在、当該分野は日本と欧米の格差は大きい。したがって、今後日本においては、欧米ではあまり応用展開が進んでいない分野へ技術開発を進めて行くべきであると考えられる。

また、バイオ・医療などの分野において、米国、欧州の大学、企業などと提携し、技術導入を図る、あるいは共同研究を進めていく、などの道を模索していくことも一つの戦略であると考えられる。

(5) フラーレン関連技術

第2章第1節に示した日本、米国、欧州、韓国、中国の特許出願動向をみると、特許出願

件数、及び論文発表数の 2000/1991 年比は、それぞれ 1.3、4.2 倍となっており、増加傾向にある。

1991 年から 2000 年の 10 年間に特許出願件数の総計の各国の割合は、日：米、欧 = 1.7:1:0.65、1991 年から 2000 年の 10 年間に発表された論文の総発表数の割合は日：米：欧 = 0.9 : 1 : 1.3 と、特許出願件数とはやはり異なる動向を見せている。

特許出願件数からは日本は優位にあるといえるが、第 3 章第 1 節に示した論文発表数からは、欧米とほぼ同程度であり、研究開発全般において、日米欧は拮抗しているといえる。

フラレンは様々な応用分野への有用性が認められているが、日本においては、フラレンの n 型半導体特性を利用した太陽電池や半導体デバイスへの応用、プロトン電解質膜などのエレクトロニクスへの応用研究を中心に、電気・電子メーカ、及び公的機関を中心としてその技術開発が進められている。

フラレンに関する研究開発の伸びが 1990 年代に入って頭打ちになっている状況に関しては、通常技術の発達においてみられる成長期を過ぎて、定常状態に入っているということも一因ではあると考えられる。しかしながらその応用研究が様々に行われていながら、研究開発が停滞している状況の原因には、フラレンそのものの価格の高さが指摘されている。

フラレンの製品実用化には 10 円/g 程度の価格にすることが必要であると見込まれている。一方、価格は 2001 年時点で 5000 円/g であり、高付加価値の医薬材料以外としては製品化の可能性は少ない。ゆえに、研究開発のモチベーションが低迷したものではないかと考えられる。

しかしながら例えば、近年三菱化学と三菱商事が共同の出資会社「フロンティアカーボン株式会社」を設立し、大量生産にむけたプラントを立ち上げ、500 円/g という低価格化を実現したことをはじめ、日本においては材料供給にむけた様々な動きがある。よって、今後は、日本においてフラレンの低コスト化が進み、実用化に向けた動きが加速されるものと見られる（参考資料：「フラレンとカーボンナノチューブ」, 株式会社ダイヤリサーチマーテック, 2002 年 7 月, P17）。

ナノチューブ関連技術と同様に、企業のみで基礎研究から応用研究までを行うのは相当な負担となる。欧米との競争を生き残るためには、やはり応用研究はメーカで行い、直接応用技術に結びつかないものの将来性のある基礎研究は大学、公的機関が行う、などの、産官学で技術開発の役割分担を行っていくことも一つの選択肢であると考えられる（実際に、フロンティアカーボン株式会社は京都大学とライセンス契約を締結している）。

また、材料コストの問題についても、ナノチューブ同様に、上記のとおり産官学の連携を利用した製造技術の開発に取り組むほか、炭素材料製造技術にノウハウを有する企業（化学会社など）が中心になって、他の企業との共同研究を行う、あるいはその製造を行う、などの企業間の連携を模索することも効率化への方法であると考えられる。

(6) 量子効果・分子細線関連技術

第 2 章第 1 節に示した特許出願動向で、1991 年と 2000 年時点での特許出願数について、日本、米国、欧州、韓国、中国の総計を見ると、特許出願件数は 1.6 倍とあまり増加してい

ないのに対し、第3章第1節に示した論文発表数は6.0倍と増加している。

10年間の特許出願件数の国別の比は、日本：米国：欧州：韓国 = 2.2 : 1 : 0.52 : 0.41 となっている。

国別に論文発表数の動向を検討すると、2000年時点での論文発表数の比率は日本：米国：欧州：韓国：中国 = 0.95 : 1 : 1.7 : 0.13 : 0.57 となっている。

10年間の特許出願の総件数からは、日本の競争力は優位であるといえる。しかしながら、2000年時点での特許出願件数では、日本は米国に追い越されており、伸び率などから見ても今後、日本の優位性が継続するとは断言できない状況にある。また、論文発表数で比較すると、研究は欧州が最も先行しているといえる。

世界において特許出願件数が論文発表数の伸びに比して低い理由としては、その製造技術の難しさにあると考えられる。量子効果、分子細線技術は、デバイス、メモリ、トランジスタなど、エレクトロニクス分野への応用を前提とした技術であり、市場性という意味では非常に大きい。しかし現状では以下のような課題を有している。

- ・ 実用化にあたっての最大の課題は、任意の位置に量子ドットを形成する技術である。すなわち量子ドットはドットのみで作動するものではなく、例えばメモリ応用であればソース、ドレイン、ゲートなどの電極を各ドットごとに用意する必要がある。これは分子素子でも同様である。研究開発段階では1つのドットや分子について物性評価すればよいが、実用段階では多数の素子を基板上に構築する必要がある。そのための時間およびコストが課題となる。
- ・ レーザー等への応用においては、これは井戸型や量子細線型に比較して、サイズの揺らぎが与える影響が顕著であるため、量子ドットのサイズの厳密な制御が必要である。
- ・ トップダウン型加工技術の進歩により、従来型半導体の微細化及び高集積化が進んでおり、量子素子への切り替えが必要となる時期が遅れている。

したがって、この分野においては、まずその製造技術の確立を目指すことが重要な課題であると考えられる。

この分野においては現在、日本は比較的優位な位置にある。そして、量子効果マテリアル、分子細線技術は、現在のエレクトロニクス産業のトップダウン型微細化技術の限界を打ち破ることが可能であると共に、従来型半導体デバイスを凌駕する性能を持つ新しいデバイスを実現可能な技術であり、次世代のエレクトロニクス産業を担うという予測もある。

現時点では、量子効果素子は実用化の段階にはなく、基礎研究の段階にある。よって、国が予算を投じて、引き続き基礎研究を支援していくことが重要であると考えられる。また同時に、それらの成果を特許化するなどして、産業界に技術移転を円滑に行えるような体制の充実を図る必要もあると考えられる。

2. ナノ構造関連技術

(1) ナノ構造体関連技術について

第2章第1節および第3章第1節に示した日本、米国、欧州、韓国、中国の特許出願および論文発表動向をみると、特許出願件数、及び論文の発表数は増加傾向を見せている。したがって、世界的にはナノ構造体の研究開発はここ10年で成長しているといえる。

出願人国籍別に特許出願の動向を検討すると、米国は1991年より漸増傾向、欧州、日本は1996年以降に漸増している。また、各国とも論文発表数の件数は、特許出願件数の上昇に伴

って上昇している。

(2) ナノ構造形成関連技術について

第2章第1節および第3章第1節に示した日本、米国、欧州、韓国、中国の出願動向をみると、特許出願件数及び論文発表数の2000/1991年比は2.1及び4.4倍と、増加傾向を見せている。したがって、世界的にはナノ構造形成の研究開発はここ10年で成長しているといえる。

出願人国籍別に特許出願の動向を検討すると、米国は1991年より漸増傾向、欧州は増減を繰り返しながら増加、そして日本は1996年に谷をとる傾向を示している。

国別に論文発表数の動向を検討すると、いずれの国においても増加し、その後は一定である。また、10年間の出願件数を比較すると、米国が優位にあることがわかる。

上記結果から、各国とも学術的・基礎研究は発展しているものの、未だ研究は基礎研究を中心に行われ、実用化の段階にはいたっていないものといえる。

日本の自己組織化技術の研究開発は結晶成長制御型自己組織化、および有機薄膜を利用した自己組織化を中心として行われている。また、世界においてはその他に、ナノ微粒子の配列制御などの自己組織化、DNA、タンパク質を利用した自己組織化など、幅広いアプローチで研究がなされている。

しかしながら、その問題点は、やはり上記1.(6)量子効果・分子細線 において述べたものと同様、その製造技術の確立の難しさにあると考えられる。

ナノ構造形成技術は現在のエレクトロニクス産業のトップダウン型微細化技術の壁をうち破ることが可能である技術であり、次世代のエレクトロニクス産業を担うという予測もある。そして現時点では、実用化の段階ではなく、基礎研究の段階にあることから、国が予算を投じて、引き続き基礎研究を支援していくことが重要であると考えられる。また同時に、それらの成果を特許化するなどして、産業界に技術移転を円滑に行えるような体制の充実を図る必要もあると考えられる。

【お問い合わせ先】特許庁 総務部 技術調査課 技術動向班

TEL : 03-3581-1101 (内 2155) FAX : 03-3580-5741

E-mail : PA0930@jpo.go.jp