

# 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 - に関する特許出願技術動向調査

平成 14 年 5 月 10 日  
総務部技術調査課

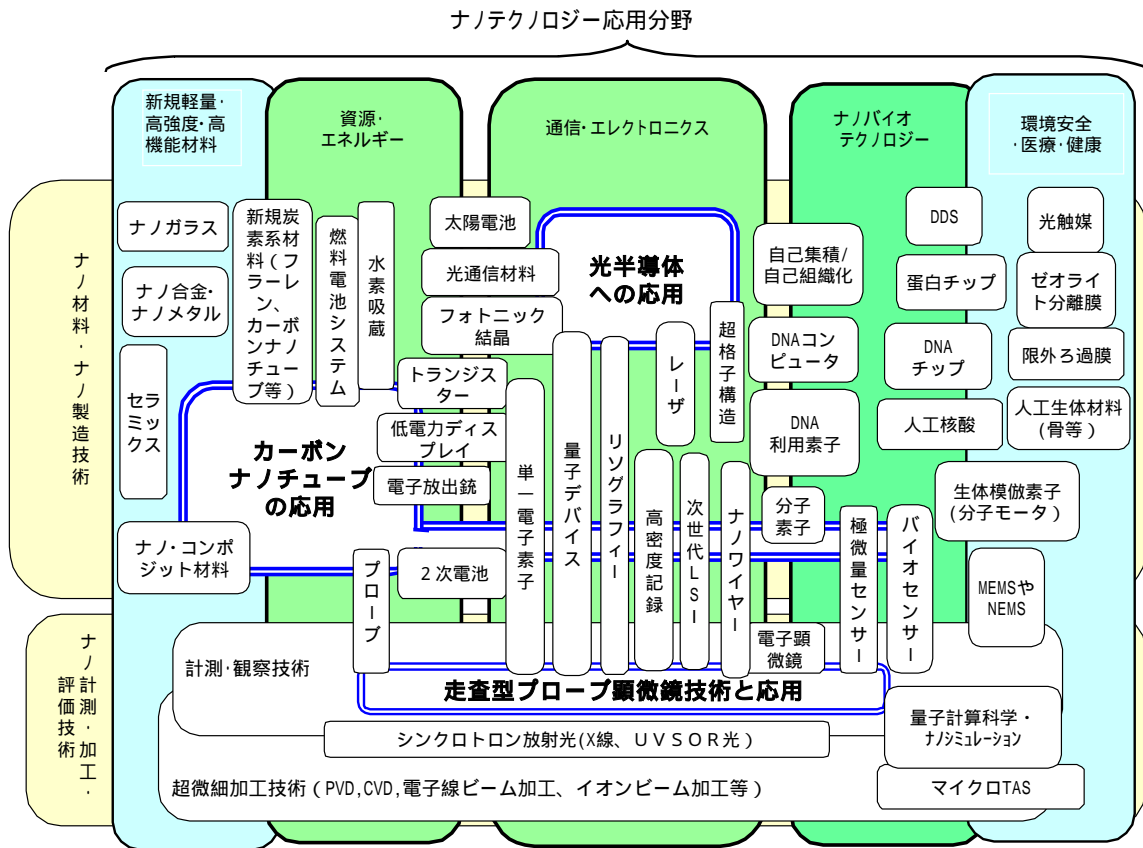
## 1. 技術の背景

ナノテクノロジーは物質をナノサイズレベルで操作・加工・制御することにより、物質の機能や特性を大幅に向上し、同時に、資源やエネルギーの使用を大幅に節約することで、豊かな社会と安全な環境の構築に貢献すると予想されるのみならず、情報技術（IT）、環境、ライフサイエンス、医療などにも飛躍的な革新をもたらすものと期待されている。わが国では、科学技術基本計画の重点分野として取り上げられており、欧米諸国でも、膨大な投資をともなって、産官学協力下、戦略的な研究開発が行われているところである。特に米国では、世界のイニシアチブを取るべく「国家ナノテクノロジー戦略」をかかげている。

### 1.1 技術俯瞰図

「ナノテクノロジーの応用」全体の技術俯瞰図を図 1 に示す。ナノ材料・ナノ製造技術やナノ計測・加工・評価技術をベースにし、それらの材料や技術に関わる応用技術分野を 5 テーマに分類した。ナノテクノロジーは分野横断的な技術の集合体であるため、複数の項目と関連している場合が多い。

図1 「ナノテクノロジーの応用」全体の技術俯瞰図



出典：ダイヤリサーチマーテック作成

脚注：ここに記載した「ナノテクノロジーの応用」の技術俯瞰図における個別の技術例は、各種の報告書・技術文献・総説・メディア等に顕著に見られるものから項目として例示したものであり、ここに示したものが全てではない。これらの技術のうち、本報告書では、特許動向、市場動向、技術開発の展開の観点から「ナノテクノロジーの応用」として重要な2重括弧線を施した3技術分野（カーボンナノチューブとその応用、光半導体とその応用、走査型プローブ顕微鏡とその応用）について記載する。

本調査報告では、上記に例示した種々の興隆しつつあるナノテクノロジー技術のうち、下記の3つの重要な技術分野について、技術動向調査結果の要約を記述する。すなわち、

「カーボンナノチューブとその応用」 ナノテクノロジーの注目材料であるカーボンナノチューブの応用として、応用技術の実用化が一番近いと期待されている次世代フラットパネルディスプレイの電子放出源を中心としたカーボンナノチューブの応用技術関連分野（以下、カーボンナノチューブ分野と略記）

「光半導体素子とその応用」 ナノ粒子発光素子、量子ドットレーザなど実用化が期待される光半導体素子や実用化され市場競争が活発な化合物光半導体関連分野（以下、光半導体分野と略記）

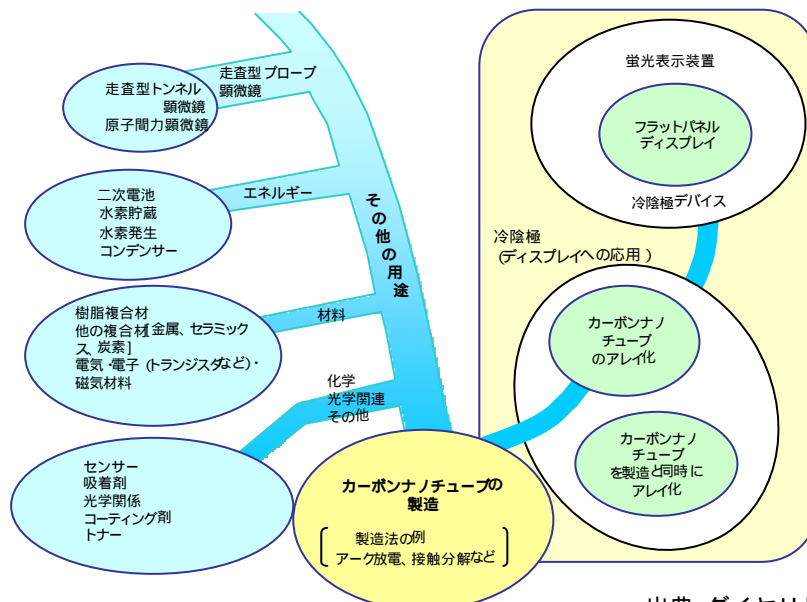
「走査型プローブ顕微鏡技術とその応用」 各種ナノテクノロジー材料のナノスケールでの観察ツールとしての利用や、ナノサイズの微細加工やリソグラフィ、更には、高密度記録への応用研究が行なわれている走査型プローブ顕微鏡技術関連分野（以下、走査型プローブ顕微鏡分野と略記）

について、我が国のこれらの基礎技術および応用技術の技術水準、国際競争力等に関して、特許情報を活用した調査・分析を行なった結果概要とともに、今後の研究・技術開発の方向性と取り組むべき課題について記載する。

これら3技術分野は、「ナノテクノロジーの応用」として、一部がすでに実用化されている、若しくは、近く実用化されるために、技術の創生・萌芽・成長、研究開発の展開、研究成果としての特許の件数、それらの特許活用戦略、製品化、市場の規模等について、調査の対象としてとりあげた。

図2、図3、図4に「カーボンナノチューブ」、「光半導体」、「走査型プローブ顕微鏡」の3技術分野のそれぞれの技術俯瞰図を示す。

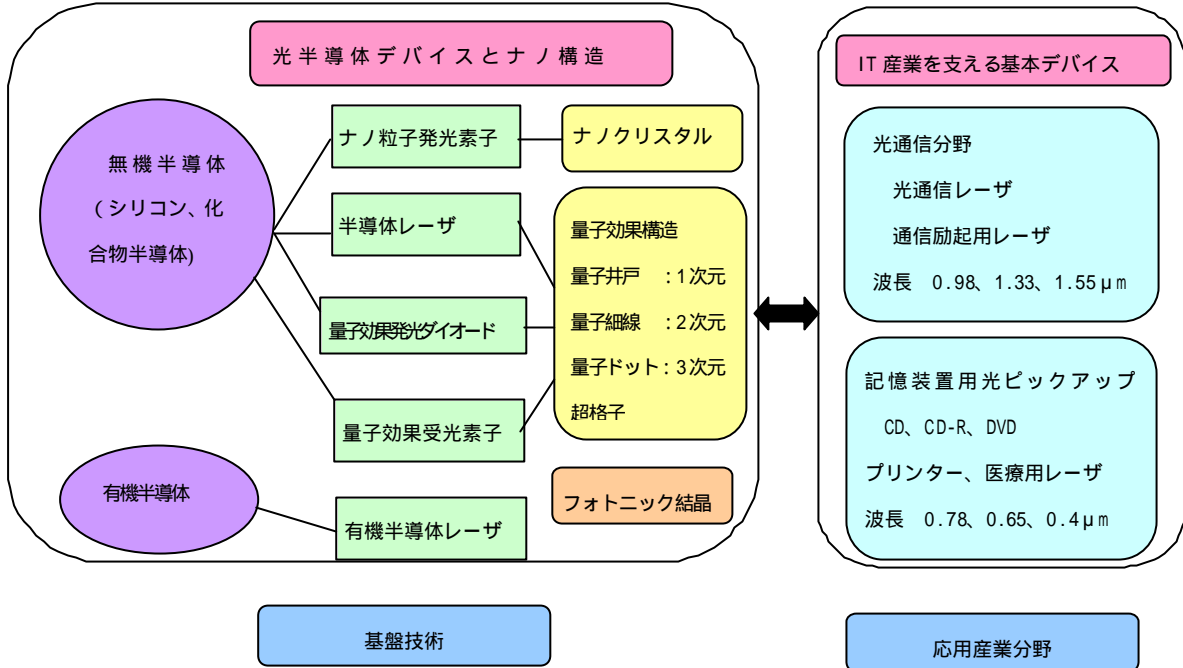
図2 「カーボンナノチューブ」分野の技術俯瞰図



出典：ダイヤリサーチマーテック作成

カーボンナノチューブは新規炭素材料としてナノテクノロジーの各分野と関連が深く、環境にやさしい新規材料としても、重要である。カーボンナノチューブを電子銃に用いたディスプレイの試作発表が、伊勢電子やサムソン SDI からあり、数年後に市販される見込みである。燃料電池の市販品プロトタイプ（カーボンナノチューブを用い性能が20%向上）の発表も2001年8月末に日本電気よりあった。このように実用化に近い応用もある。

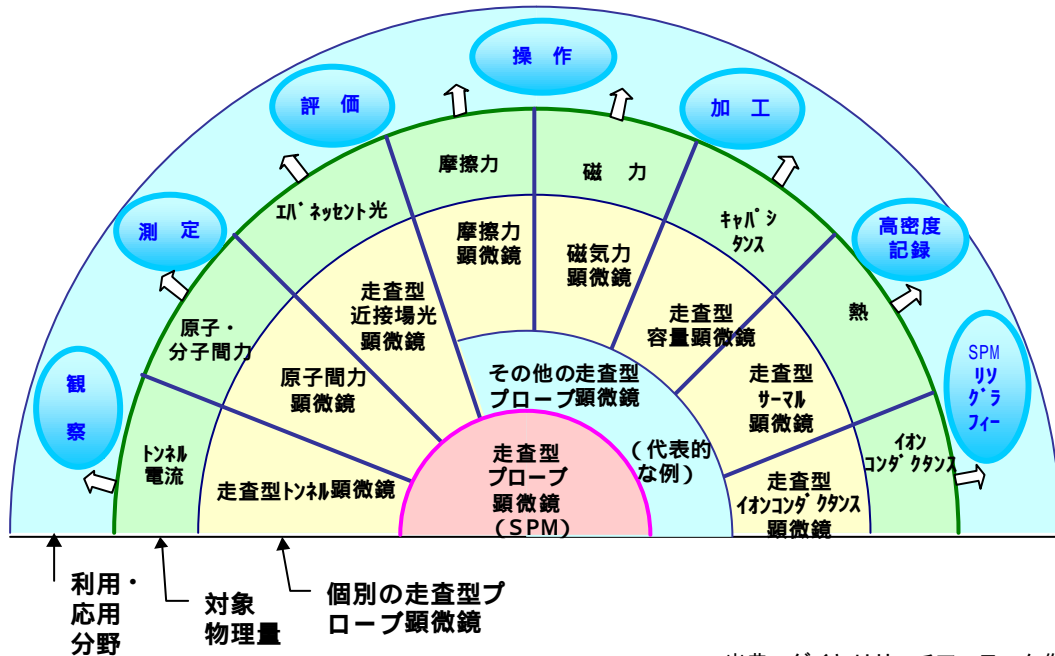
図3 「光半導体」分野の技術俯瞰図



出典：ダイヤリサーチマーテック作成

光半導体素子は光通信など今後のIT化社会の技術展開として重要な分野である。青色半導体レーザーでは、高密度光ディスクシステム等への実用化が始まっている。又、ナノクリスタル、量子ドットレーザーなど、ナノテクノロジーによって光半導体の性能が飛躍的に向上し、次世代半導体レーザーとして実用化が大いに期待されている。

図4 「走査型プローブ顕微鏡」分野の技術俯瞰図



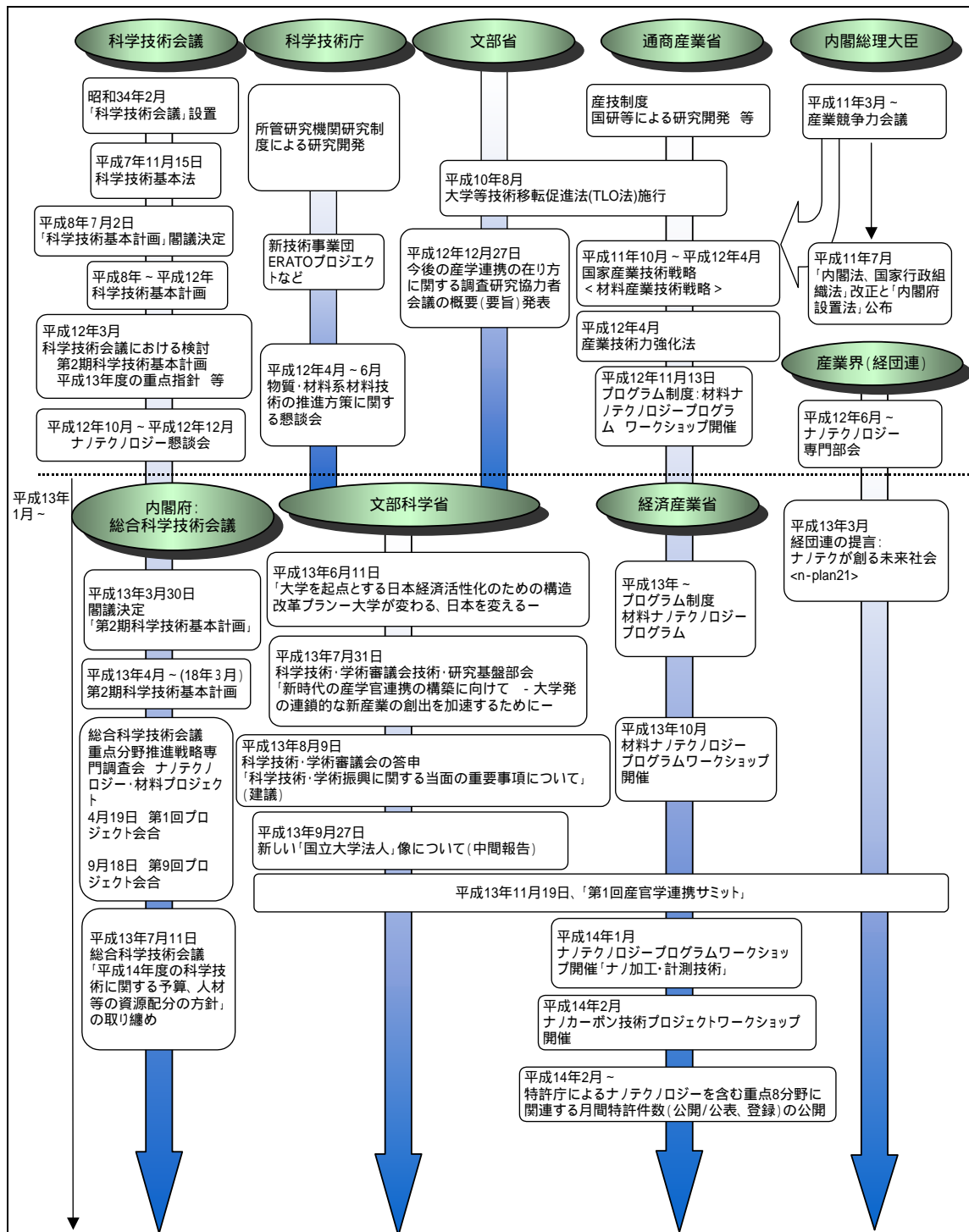
出典：ダイヤリサーチマーテック作成

走査型プローブ顕微鏡は各種ナノテクノロジー材料の観察・評価に不可欠の技術であるのみならず、原子・分子の操作やナノサイズの微細加工、さらには、ナノサイズレベルの高密度記録への応用など、ナノ加工・計測技術の基盤技術としても重要である。走査型プローブ顕微鏡を応用した卓上型超微細加工システム製品の発売発表が日立製作所から2001年9月にあり、実用化直前の段階にある。

## 2. 日本の政策と予算

日本の「ナノテクノロジーに関わる政策等」の経緯の概要を図5に示す。平成13年1月以降、内閣府の総合科学技術会議、文部科学省、経済産業省、産業界では経団連が重点的に取り組んでいる。

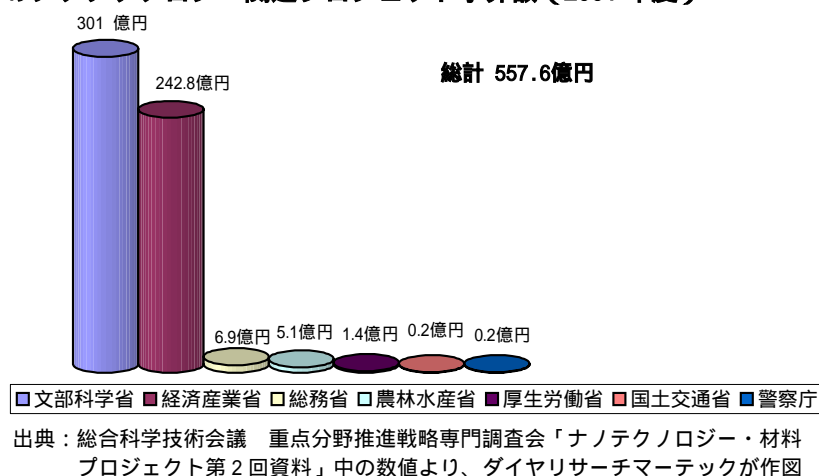
図5 日本の「ナノテクノロジーに関わる政策等」の経緯概要



出典：セラミック 36 巻 No.5 (2001), p.331 図2 をベースにダイヤリサーチマーテックが追記・編集・作成

2001年度の「ナノテクノロジー関連」のプロジェクト予算額を図6に示す。  
日本では、文部科学省と経済産業省が予算のほとんどを占めていることがわかる。

図6 日本のナノテクノロジー関連プロジェクト予算額（2001年度）



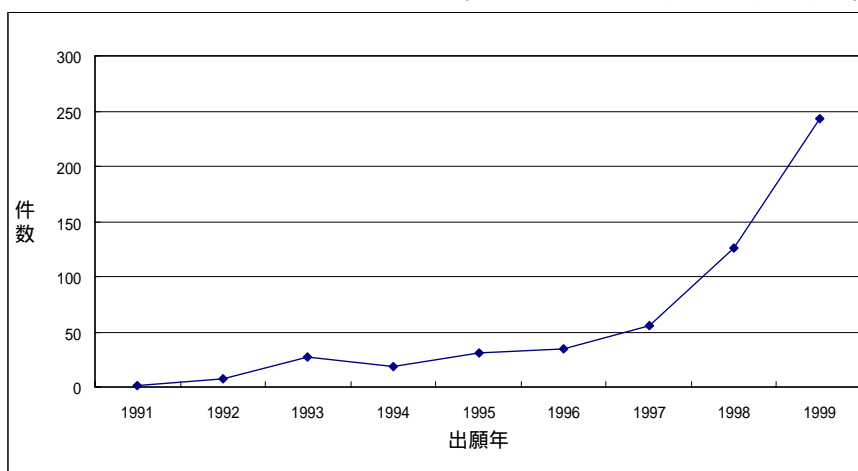
### 3. カーボンナノチューブ分野の要約

#### 3.1 特許件数の年次推移

図7にカーボンナノチューブの世界特許出願件数の年次推移を表したグラフを示す。1991年の日本電気による出願に始まり、1994年に減少が見られるものの、1997年までは全体としては、技術の揺籃期で特許件数が少ない時期である。1998年以後、急激に件数が増加している。これは日本において、NEDOの新材料プロジェクト「炭素系高性能材料技術（フロンティアカーボンテクノロジー）」の研究成果に由来する出願および電子放出の出願が増加したことなどが原因である。

図7 カーボンナノチューブ特許出願件数の年次推移

(データベース：日本;PATOLIS,外国;WPI)

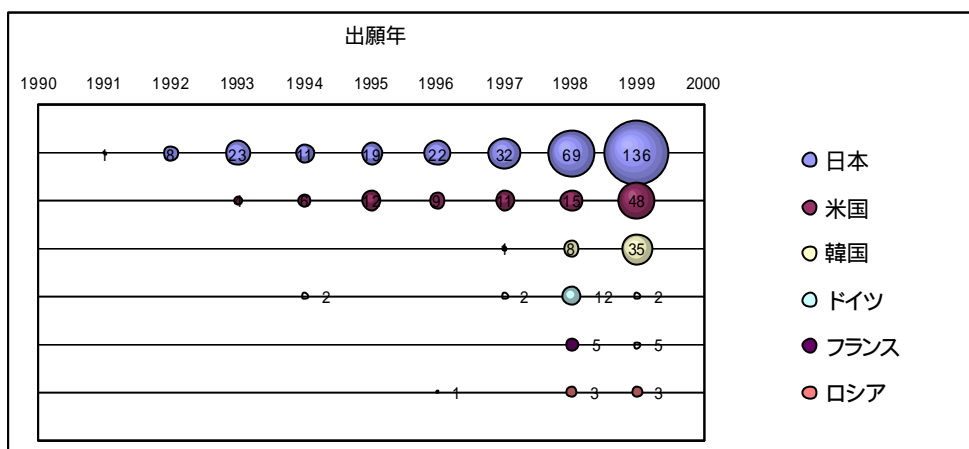


### 3.2 国籍別件数の年次推移

カーボンナノチューブの特許出願の国籍別件数の年次推移を図8に示す。日本からの出願が約60%を占める。海外からの出願では、米国が20%、韓国が8%、ドイツ3%で、それらの国は98年以降出願件数が著しく増加した。日本の場合、先にも述べたが1998年以降の急激な増加はNEEDOの産業技術基盤研究開発で新材料プロジェクトとして「炭素系高性能材料技術(フロンティアカーボンテクノロジー)」がスタートしたことと電子放出の出願が増加したためである。韓国では1999年の急増が目立つがこれは電子放出の出願が活発になったためである。米国では電子放出のみではなく種々の用途について出願されている。

図8 カーボンナノチューブ特許の国籍別件数の年次推移

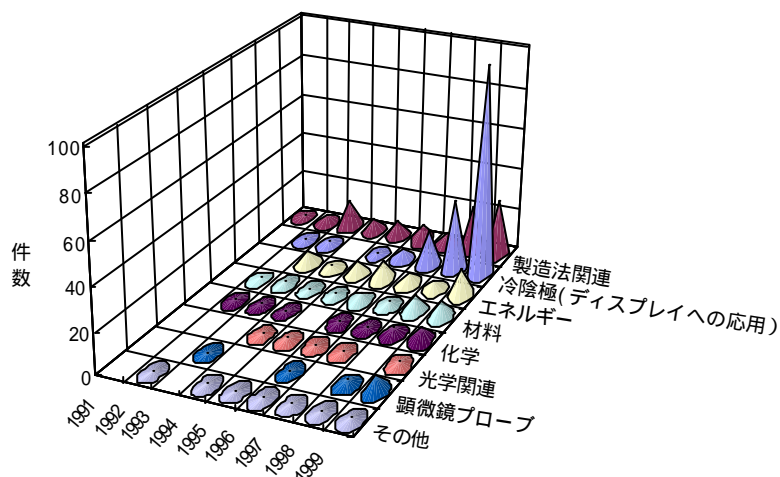
(データベース: 日本; PATOLIS, 外国; WPI)



### 3.3 日本特許出願における細技術項目毎の出願件数推移

カーボンナノチューブの細技術項目毎の日本特許出願件数推移を図9に示す。カーボンナノチューブでは、製造法関連と冷陰極(ディスプレイへの応用)の増加が大きい。特に冷陰極(ディスプレイへの応用)の急増が顕著な特徴である。冷陰極(ディスプレイへの応用)の特許は初期の頃は冷陰極アレイの作製および冷陰極システムの特許が多かったが最近ではそれらを応用したフラットパネルディスプレイ関係の特許の出願が増加しており、ディスプレイへの応用が実用化に近づき活発な研究開発が行われていることが窺われる。

図9 細技術項目毎の出願件数推移 (データベース: PATOLIS, 出願年)

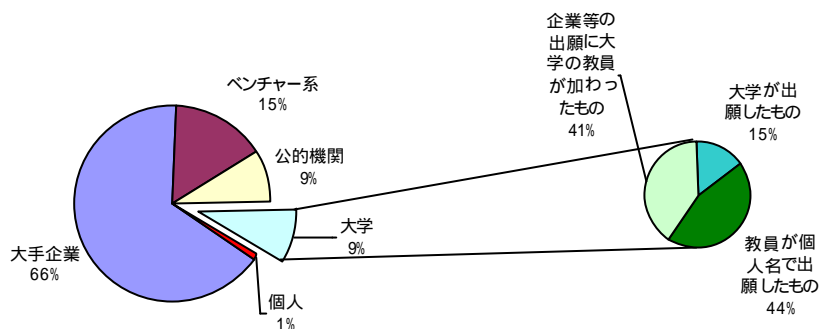


### 3.4 日本特許出願における大学発特許の件数

カーボンナノチューブの日本特許出願における企業、公的機関、および大学発特許件数の割合を図 10 に示す。

図 10 日本特許出願における企業、公的機関、および大学発特許件数の割合図

(データベース：PATOLIS、出願年 1991 年～1999 年)



大学および公的機関発の特許出願が全体の 2 割と比率が高いことから、大学や公的機関で基礎研究が盛んに行われている段階と捉えることが出来る。大学発の特許出願では、「教員が個人名で出願したもの」が、「企業等の出願に大学の教員が加わったもの」と同等程度に多いことも特徴である。

### 3.5 研究開発参入プレイヤー

#### (1) 研究開発参入プレイヤー

特許出願の上位出願人から見たカーボンナノチューブ技術分野の日本、米国、欧州の研究開発プレイヤーについて、表 1 にまとめた。

表 1 カーボンナノチューブの研究開発プレイヤー

		日本	米国	欧州
カーボンナノチューブ	企業	1 日本電気 2 伊勢電子工業 3 双葉電子工業 4 松下電器産業 5 東芝 7 ソニー 8 大阪ガス 10 シャープ ・ 大研化学工業	1 ハイピリオン カタリシス (ベ) 2 ルーセント テクノロジーズ 5 アグレ システムス ガーデアン 7 デュボン 8 キャタリティックマテリアルス 8 ビレリケーブルアンドシステム	2 エレクトロバック 4 アベンチス ファーマシューチカル 4 アクシバ 4 マンネスマン
	公的機関 (大学含む)	6 経済産業省産業技術総合研究所 8 科学技術振興事業団 ・ 名城大学 ・ 三重大学	2 ライス大学 4 ハーバード大学 5 ノースカロライナ大学 8 タン ケーエル	1 コモンウェルス サイエンス アンド インダストリアル リサーチ 2 セントラル ナショナル リサーチ サイエンス 4 コミサリート エネルギ アトミック 4 テクニック ホッホシューレ チューリッヒ 4 アンゲバンテヘミー ベルリン

脚注: 研究開発参入プレイヤーとして、3 極とも特許件数上位 10 出願人を掲げた。特許件数上位 10 社に含まれない企業でも、研究開発に参入していると推定される主要な企業を追加した。開発プレイヤー名の前に記載されている数値は 3 極それぞれにおける特許件数の順位を示す (データベース: 日本は PATOLIS, 外国は WPI)。表中(ベ)はベンチャー企業を示す。また大学については学術的な面で貢献度が大きい機関を加えた。

## (2) 研究開発リーダーについての概要

### <企業>

日本企業：

カーボンナノチューブの発見者である日本電気は、特許出願が54件と世界最多である。その内訳は、製造関連の特許が多く、電子放出への応用（冷陰極デバイス、カーボンナノチューブのアレイ化など）の特許出願が次に多い。ディスプレイへの応用では、N字を表示したディスプレイ試作機を新聞発表した。2001年後半には、カーボンナノホーンを用いた燃料電池の試作を発表した。

伊勢電子は、経済産業省産業技術総合研究所の協力を得て2000年にカーボンナノチューブを応用した壁掛けテレビ用のディスプレイの試作品を発表し、日本のこの分野のリーディングプレイヤーである。しかし、その技術はディスプレイで動画がすでに可能なサムソン SDI の技術に比較して遅れている。

海外企業：

韓国サムソン SDI がカーボンナノチューブのディスプレイへの応用で世界的にリード（動画を表示、寿命3万時間、輝度と色に問題あり）。

### <ディスプレイへの応用特許>

スイス連邦工科大学ローザンヌ校（EPFL）が先行特許を国際出願（WO 96/42101）、しかし、登録特許にはなっていない。

### <大学での研究開発>

日本

三重大学の齋藤教授は、産総研のフロンティアカーボン・プロジェクトで企業（伊勢電子）とも協同研究を実施しており日本のリーダ的の大学研究者。

米国

ライス大学はカーボンナノチューブの安価な製造法研究に注力。

## 3.6 ビジネス参入プレイヤー

### (1) 市場規模概要

カーボンナノチューブの市場規模は応用製品が研究開発段階にあるため、研究用のサンプル供給レベルの市場規模であり、世界的に極く僅かと推定される。カーボンナノチューブの用途として現在最も期待され、商品化も近いと考えられているディスプレイ分野に関しては、低電力で、電流密度が大きく、高輝度で常温で作動でき、コスト的にも液晶ディスプレイより安くできる可能性があると考えられており、薄型の大型フラットディスプレイとして有望である。ディスプレイの現在の市場は数兆円であり、カーボンナノチューブを用いた素子が使用される可能性が十分にある。カーボンナノチューブの大量にさばける市場としてもっとも期待されるのは、カーボンナノチューブで強化した高剛性、高強度プラスチックである。それを作製するためには欠陥の少ない構造のカーボンナノチューブが必要である。欠陥の少ないものは現在アーク放電法でしか作製できない。アーク放電法ではコストが高くしかも大量生産が難しい。欠陥の少ないカーボンナノチューブの安価な大量合成がカーボンナノチューブの市場規模を拡大するための最大の問題点である。なお携帯用の燃料電池の将来市場は

数十から百億円程度と予想され、カーボンナノチューブが安価になればそれに利用されることが期待される。いずれにしてもカーボンナノチューブは数兆円以上の規模の産業に役立つ一次製品となる可能性がある。

## (2) ビジネス参入プレイヤー

カーボンナノチューブの日本・米国・欧州のビジネス参入プレイヤーを表2にまとめた。

表2 ビジネス参入プレイヤー

		日本	米国	欧州・韓国・中国
カーボンナノチューブ	企業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日機装</li> <li>・昭和電工</li> <li>・本荘ケミカル</li> <li>・日本電気(1)</li> <li>・GSI クレオス</li> <li>・伊勢電子工業(2)</li> <li>・大研化学工業</li> <li>・三井物産</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カーボンナノテクノロジー</li> <li>・ハイピリオンカタリシス(1)</li> <li>・アブライド ナノテクノロジーズ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ナノリッジ(フランス)</li> <li>・サムソン SDI(韓国)</li> <li>・精華大学(中国)</li> </ul>

脚注：企業名の後の( )中の数字は日米欧においてそれぞれ特許出願上位10社にランキングされている企業のランクを示す。

## (3) ビジネスリーダーについての概要

### <材料市場>

市場規模が小さいため特定のリーダー的な市場参入プレイヤーは不確定であるが、下記のような特徴が見られる。

本荘ケミカルはアーク放電法で作製したカーボンナノチューブを電子放出利用の研究サンプル、ハイピリオンカタリシスは気相成長法で作製したカーボンナノチューブを樹脂複合材料などに少量供給。

日機装は気相成長法で安価で機械物性の良好な多層カーボンナノチューブの製造法を開発(供給予定価格、グラム100円)と報道されている。

### <ディスプレイ市場関連>

2001年春の日本物理学会でカーボンナノチューブを応用したフラットパネルディスプレイの試作品を発表したサムソンSDIは、2001年秋の研究会では、2004年に製品を販売する予定であると発表しており、カーボンナノチューブを利用したディスプレイ分野でのビジネスリーダーの地位を狙っている。

### <ベンチャー企業動向>

海外では大学発のカーボンナノチューブ関連のベンチャー企業の創業があり、今後のビジネスリーダーの地位を狙い、形成されるであろう市場への参入を企てている。例として、

米ライス大学スモーリー(フラレンの発見でノーベル賞)らのベンチャー、カーボンナノテクノロジー社(カーボンナノチューブの製造と応用開発)。

米ノースカロライナ大学のベンチャー、アブライド ナノテクノロジーズ社(カーボンナノチューブを冷陰極に用いた応用開発)。

フランス・モンペリエ第二大学のナノリッジ社(単層カーボンナノチューブの開発とコンポジット等の応用開発)。

中国の清華大学、ナフインググループとの提携(多層カーボンナノチューブを製造)がある。

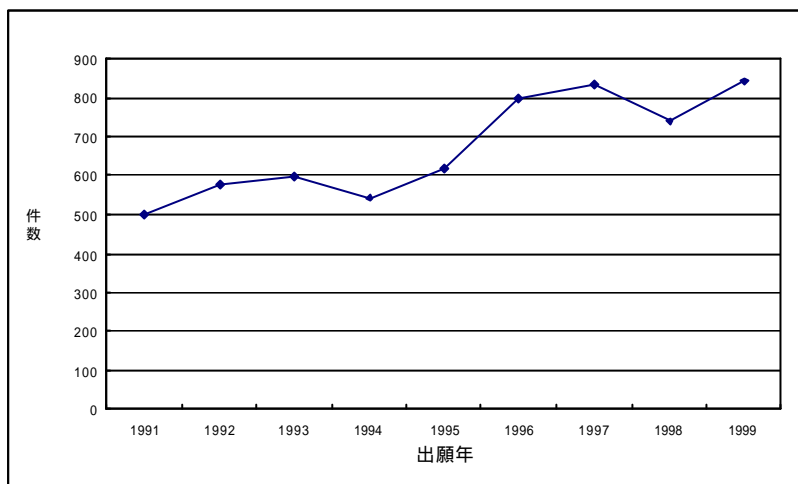
## 4. 光半導体分野の要約

### 4.1 特許出願件数の年次推移

1994年にわずかな減少があったが、主たる応用である記録分野、通信分野の成長に対応して、その後平均的に60件/年の割合で着実に増加している。GaN系を中心とする青色発光素子の開発および光通信における波長分割多重伝送(WDM)導入による伝送容量の拡大に対応した光半導体デバイスの研究開発結果が出願件数の増加としてあらわれている。

図 11 特許出願件数の年次推移

(データベース: 日本;PATOLIS,外国;WPI)

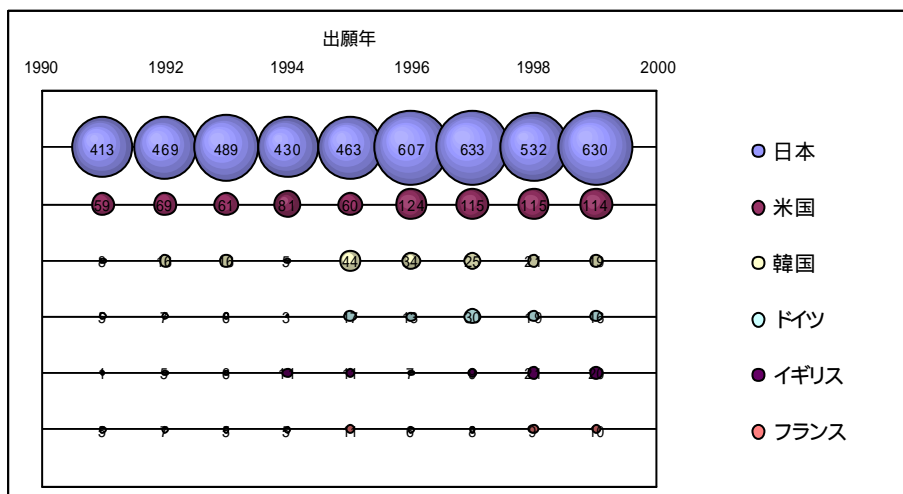


### 4.2 国籍別出願件数の年次推移

国籍別の出願数では日本からの出願が8割以上を占める。次に米国からの出願が15%前後となっている。日本、米国ともに出願件数は増加しており、この分野の研究開発が活発に両国で行われている。また韓国からは、出願件数が少ないながらコンスタントになされており、この分野への韓国の関心がうかがえる。欧州では、件数は少ないものの、ドイツ、イギリス、フランスからの特許が出願されている。

図 12 国籍別件数の年次推移

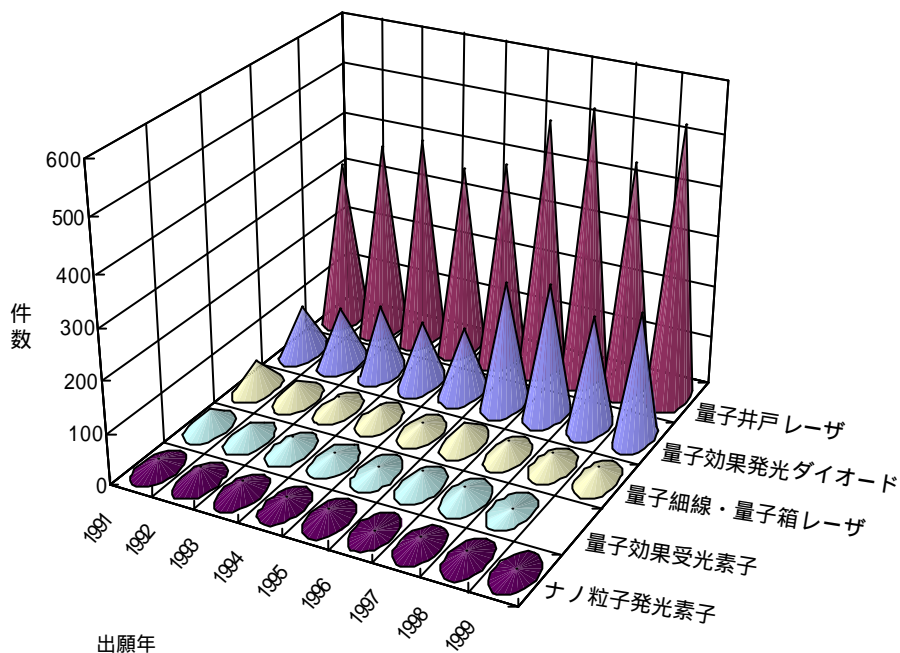
(データベース: 日本;PATOLIS,外国;WPI)



### 4.3 日本特許出願における細技術項目毎の出願件数推移

従来技術の延長である量子井戸レーザ、量子効果発光ダイオードの出願割合が高く、また両者とも応用分野の発展に対応し増加傾向を示している。ナノ構造を進展させた、量子細線・量子箱レーザ、ナノ粒子発光素子についても更なる性能の向上、新規発光デバイスの開発を目標に出願がなされている。量子井戸・細線・量子箱などの量子効果による性能向上への期待の少ない受光素子の出願件数は減少し 1999 年にゼロとなっている。

図 13 細技術項目毎の出願件数推移 (データベース: PATOLIS)

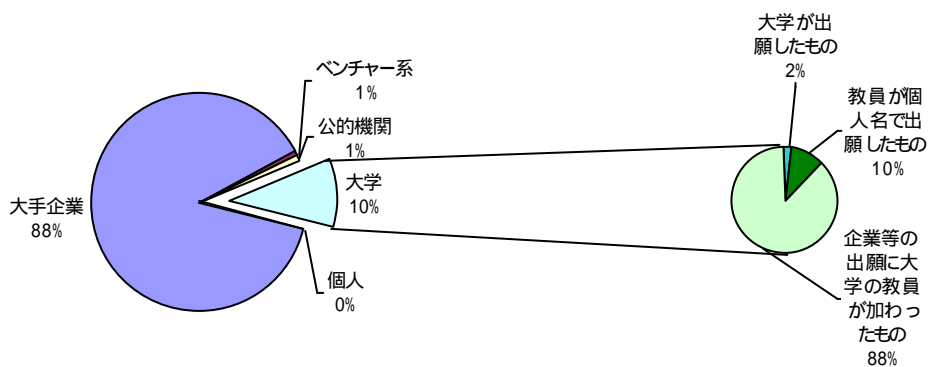


### 4.4 日本特許出願における大学発特許の件数

全体の出願数に対する大学の関与した出願数は 10%である。この 10%のうち企業との出願に大学の教員が加わった出願は 88%であり、この分野での産学の連携が進んでいることがうかがえる。

図 14 日本特許出願における企業、公的機関、および大学発特許件数の割合図

(データベース: PATOLIS、出願年 1991 年 ~ 1999 年)



## 4.5 研究開発参入プレイヤー

### (1) 研究開発プレイヤーについての概要

特許出願の上位出願人から見た日本、米国、欧州の研究開発プレイヤーについて、表3にまとめた。

表3 研究開発参入プレイヤー

	日本	米国	欧州
光半 導 体	企業 1 日本電気 2 日立製作所 3 日本電信電話 4 富士通 5 ソニー 6 東芝 7 シャープ 8 松下電器産業 9 日亜化学 10 三菱電機 ・ キヤノン ・ 古河電気工業 ・ 三洋電機	1 ATT 2 モトローラ 3 ゼロックス 4 ヒューレットパッカード 5 IBM 7 アジレントテクノロジー 8 ロッキードマーチン 10 イーストマンコダック	1 アルカテル 2 フィリップス(オランダ) 3 フランステレコム 4 ジーメンス 5 フィリップス(ドイツ) 6 トムソン 8 ダймラー-クラスラー 9 エリクソン 10 ボッシュ
	学 含 む 公 的 機 関 ( 大	・ 科学技術振興事業団 ・ 経済産業省産業技術総合研究所 ・ 財団法人電気磁気材料研究所 ・ 東北大学 ・ 東京工業大学 ・ 名城大学	6 カリフォルニア大学 8 マサチューセッツ工科大学

脚注：研究開発参入プレイヤーとして、3 極とも特許件数上位 10 出願人を掲げた。特許件数上位 10 社に含まれない企業でも、研究開発に参入していると推定される主要な企業を追加した。開発プレイヤー名の前に記載されている数値は 3 極それぞれにおける特許件数の順位を示す（データベース：日本は PATOLIS、外国は WPI）。また公的機関については学術的な面で貢献度が大きい機関を加えた。

### (2) 研究開発リーダーについての概要

#### <通信用レーザー>

特許出願件数は日本電気(110 件)、キヤノン(77 件)、富士通(59 件)、日本電信電話(54 件)と続く。ビジネスリーダーの大手通信機メーカーが現在では研究開発をリードしている。日本電信電話は自社関連企業での生産量は少ないが、光通信の最大ユーザーとして、重要部品であるレーザーの研究開発に注力している。

#### <光ピックアップ関連レーザー>

特許出願件数は日本電気(94 件)、ソニー(84 件)、日立製作所(79 件)、松下電器(69 件)、シャープ(63 件)が上位であり、大手メーカーが開発を主導している。

#### <レーザーの大学での基礎研究>

東京工業大学伊賀教授による面発光レーザー、東京大学荒川教授による量子井戸レーザー、など重要なコンセプトが大学より提案されている。

#### <日亜化学の青色発光素子開発>

技術を独自開発した日亜化学の青色発光素子に関する特許は競争に大きな影響を与えている。日亜特許を回避する新技術の開発を促している面もある。

#### <フォトニック結晶>

今後の製品化に期待がかかるフォトニック結晶については、光通信分野を主要な目的として全世界的にマサチューセッツ工科大学、東北大学、バース大学、カリフォルニア大学、ア

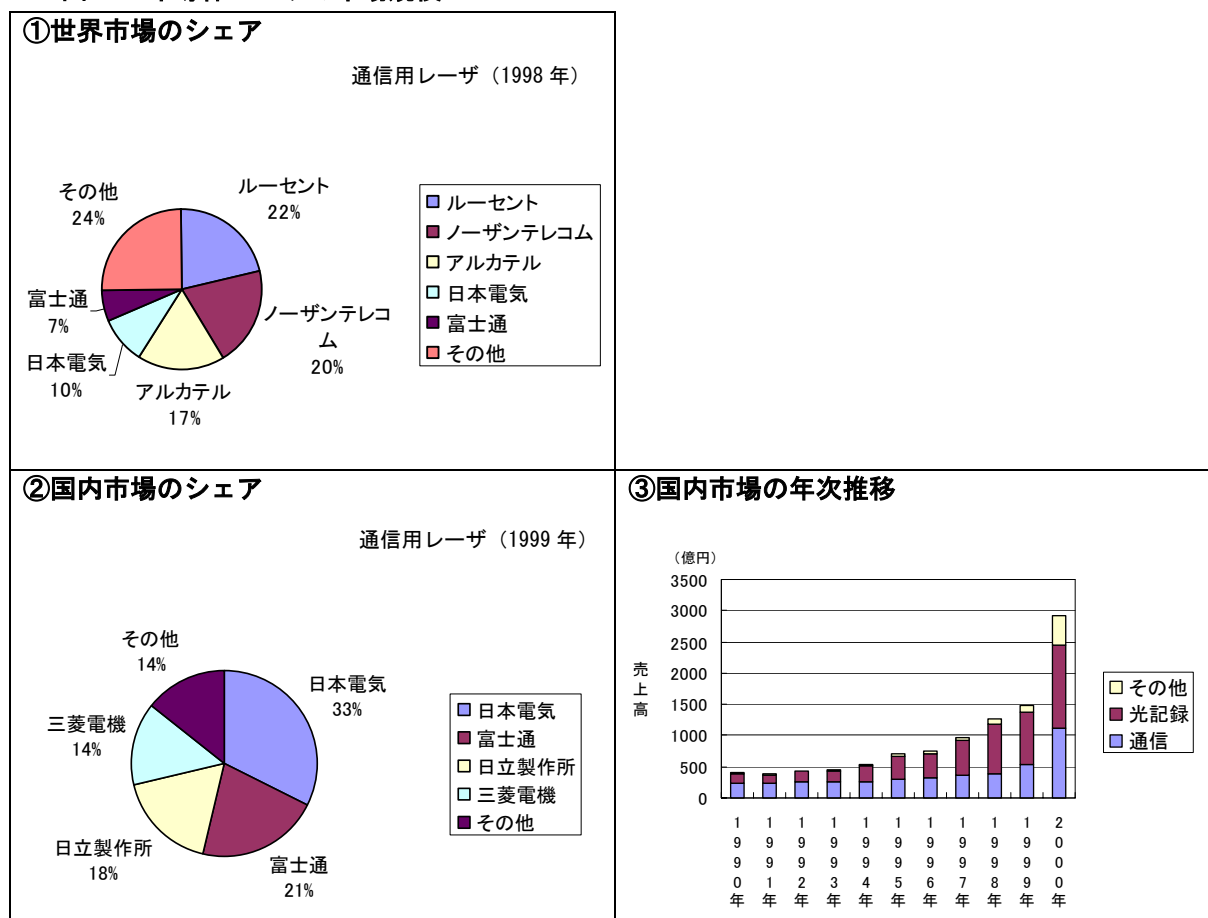
ラバマ大学など大学からの出願が多い。また、通信大手のコーニング、ルーセント、日本電信電話が出願上位を占めている。学界、公的機関では東北大学、京都大学、横浜国立大学、北海道大学、理化学研究所などで研究が行われており、ミノルタ、住友電工、日本電気などの企業が大学と共同研究を実施している。

#### 4.6 ビジネス参入プレイヤー

##### (1) 市場規模概要

半導体レーザの市場規模を図 15 に示す。世界市場と日本市場の 1999 年から 2000 年の伸びは世界的な IT 化の技術の流れを反映していると推定される。通信用レーザでは、世界市場は日米欧の世界 5 社（ルーセント、ノーザンテレコム、アルカテル、日本電気、富士通）で 75%が寡占されている。日本国内市場は日本企業 4 社（日本電気、富士通、日立製作所、三菱電機）で 8 割強を占めている。光記録、光通信用の発光素子の市場は IT 化の進展にともない年率 10~20%の割合で伸張すると予測されている。量子細線、量子ドット、ナノクリスタルなどの高次ナノ構造を利用した光半導体素子は、応用分野からの高性能化の要求に応えることにより、大きな市場を形成するものと期待されている。一例として 2001 年 10 月に発表された低コスト WDM 向けの  $1.3\mu\text{GaInAs}$  量子ドット面発光レーザがあげられる。

図 15 半導体レーザの市場規模



出典：世界市場 2000年 光産業予測便覧 富士キメラ総研 p.234

日本市場 1. 光産業技術振興協会編 光産業の動向 1992年~2000年版より作成

2. 2000年 光産業予測便覧 富士キメラ総研 調査データよりダイヤリサーチマーテックが作成

## (2) ビジネス参入プレイヤー

光半導体分野の日本・米国・欧州のビジネス参入プレイヤーを表4にまとめた。

表4 ビジネス参入プレイヤー

		日本	米国	欧州
光半導体	企業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ローム</li> <li>・ソニー(5)</li> <li>・シャープ(7)</li> <li>・三洋電気</li> <li>・松下電器産業(8)</li> <li>・日本電気(1)</li> <li>・富士通(4)</li> <li>・日立製作所(2)</li> <li>・三菱電機(10)</li> <li>・日亜化学(9)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ルーセントテクノロジー</li> <li>・ノーザンテレコム</li> <li>・アジレントテクノロジー(7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アルカテル(フランス)(1)</li> <li>・エリクソン(スウェーデン)(9)</li> </ul>

脚注：企業名の後の( )中の数字は日米欧においてそれぞれ特許出願上位10社にランキングされている企業のランクを示す。

## (3) ビジネスリーダーについての概要

### <ビジネスリーダーの背景>

ビジネスの中心を占めている半導体レーザは1970年に室温連続発振に成功し、1975年には1次元ナノ構造である量子井戸が開発されている。1980年代前半より2大用途である光記録、光通信への応用が始まった。当時より研究開発を行い市場に参入した大手電気機器、通信機器メーカーがビジネスの主導権を握った。日亜化学は青色発光素子の発明により売上を拡大している。

### <通信分野用のレーザ>

日本市場：市場の拡大にも拘わらず、トップ4社(日本電気、富士通、日立製作所、三菱電機のマーケットシェアの変化はほとんどなく特許の出願数もこれらの企業が上位を占めている。

世界市場：通信大手のルーセント、ノーザンテレコムの北米メーカー、フランスのアルカテルがそれぞれ20%前後のシェアを占め、日本企業全体のシェアは32%程度である。高い信頼性が要求され新規参入の困難な分野である。

### <光ピックアップ用の半導体レーザ>

日本がほぼ100%の世界シェアを占めている。シャープ、ロームなどの大手半導体メーカーがビジネスをリードしている。ロームがこの市場に参入し、1995年、1996年にマーケットシェアの構成に変化があった。トップシェアにたったロームの特許出願は少ないという特徴がある。この分野は家電用であって、共通のスペックがあり、品質に加えコスト競争の激しい分野であり、研究開発の他に製造技術の優劣がシェアに影響を及ぼしていると考えられる。ロームは最先端の分野ではなく、ある程度成熟したCD向けレーザ市場に、優れた製造技術による、安定した品質、量産性、コストを武器に参入しシェアを確保するビジネス戦略で成功した。

### <日亜化学>

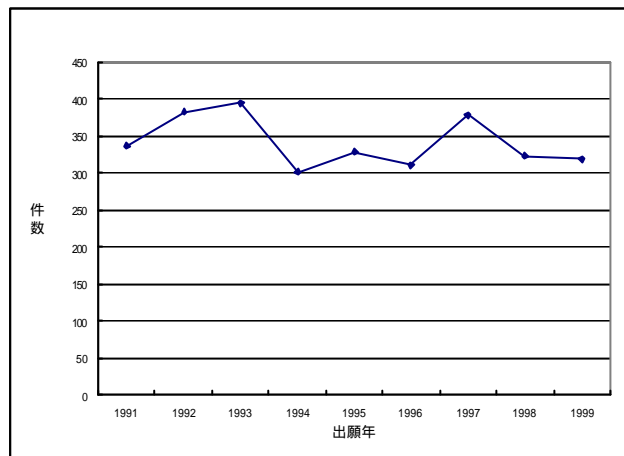
青色発光素子の開発に成功した日亜化学がダイオードの分野で業績を伸長させている。従来の日本の電気業界におけるクロスライセンス手法ではなく、特許で新規参入を排他的に排除する方針で他のメーカーと特許係争を起こしている。

## 5. 走査型プローブ顕微鏡分野の要約

### 5.1 特許出願件数の年次推移

走査型プローブ顕微鏡に関する世界の特許件数の動向を図 16 に示す。1993 年にピークがあるが、全体的には 1991 年より毎年 350 件 ± 50 件の範囲で推移している。1994 年の減少は日本特許出願件数の減少の影響であると思われる（図 17 参照）。

図 16 走査型プローブ顕微鏡特許件数の年次推移（データベース：日本；PATOLIS, 外国；WPI）

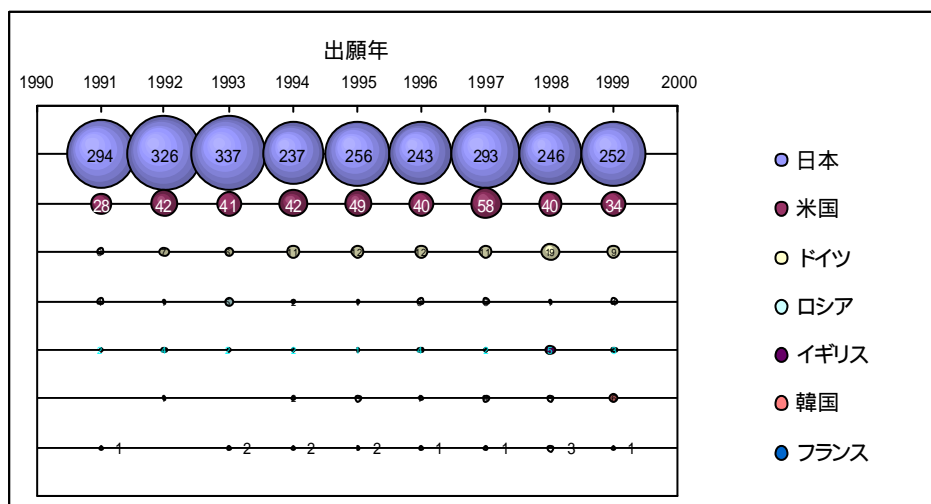


### 5.2 国籍別出願件数の年次推移

走査型プローブ顕微鏡に関する特許出願の国籍別年次推移（1991 年～1999 年）を図 17 に示す。国別で一番件数の多い日本は毎年 300 件前後で推移している。1993 年に 337 件でピークとなっているが、1994 年には 237 件と減少し、谷となっている。この減少は日本特許全体の件数における 1994 年の減少（年次推移での谷）と対応している（前年 1993 年に民間企業設備投資額が前年度比 -10% と減少した景気の谷があり、研究活動が衰えた）。米国は 1997 年にピークがあるが全体的には毎年 50 件弱で推移している。件数 3 位のドイツは 10 件程度で推移しているが、1991 年の 3 件から増加傾向を示し 1998 年に 19 件のピークがある。3 極以外では、件数 6 位の韓国が 1999 年に件数が 6 件へと増加した。

図 17 走査型プローブ顕微鏡特許の国籍別件数の年次推移

（データベース：日本；PATOLIS, 外国；WPI）

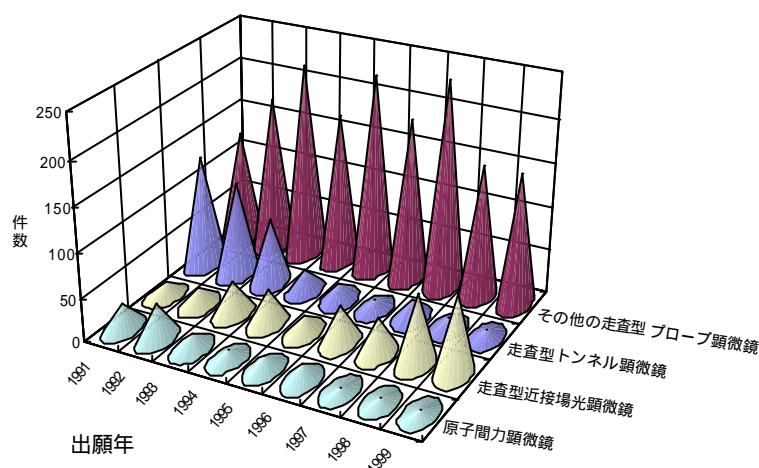


### 5.3 日本特許出願における細技術項目毎の出願件数推移

走査型プローブ顕微鏡全体を顕微鏡方式（顕微鏡のタイプ）により、走査型トンネル顕微鏡（STM）、原子間力顕微鏡（AFM）、走査型近接場光顕微鏡（SNOM）、その他の走査型プローブ顕微鏡（STM、AFM、SNOMを除くその他の走査型プローブ顕微鏡、例えば、摩擦力顕微鏡、磁気力顕微鏡、走査型容量顕微鏡、走査型サーマル顕微鏡など、および、STM、AFM、SNOMの複合装置など）の主要な4つのカテゴリーに分類し、特許件数の分析を行なった。

4カテゴリーの顕微鏡方式別出願件数の年次推移を、図18に示した。走査型近接場光顕微鏡の件数は年次推移とともに全体的には増加の傾向を示している。走査型トンネル顕微鏡の件数は1991年をピークに最近では減少傾向にある。原子間力顕微鏡の件数は1992年にピークをもつ。これらから、走査型プローブ顕微鏡における研究開発が、走査型トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡から、走査型近接場光顕微鏡、あるいはその他の走査型プローブ顕微鏡に移行しつつあることが窺われる。

図18 細技術項目毎の日本特許出願件数の推移（データベース：PATOLIS、出願年）

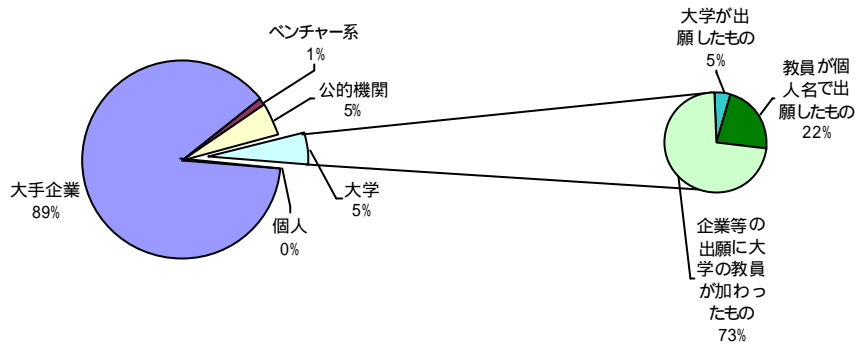


### 5.4 日本特許出願における大学発特許の件数

走査型プローブ顕微鏡の日本特許出願における企業、公的機関、および大学発特許件数の出願人種別件数の割合を図19の円グラフに示す。9割近くが大手企業発であるが、大学及び公的研究機関発の特許件数の割合がほぼ5%ずつである。大学発特許の出願人等の構成割合では、「企業等の出願に大学の教員が加わったもの」の73%は「教員が個人名で出願したもの」の22%の3倍程度であり、大学が出願したもの5%とくらべても遥かに多い。企業の研究開発に大学の研究成果が技術移転されていると考えられるが、大学発の技術を大学関係者が直接に特許権利化する意識が低かったと言える。今後の大学研究者の特許権利化意識の向上が大学発特許出願件数の増加として具体的に数値で明白になる可能性がある。

図 19 日本特許出願における企業、公的機関、および大学発特許件数の割合

(データベース：PATOLIS、出願年 1991 年～1999 年)



## 5.5 研究開発参加プレイヤー

### (1) 研究開発参加プレイヤー

特許出願の上位出願人から見た走査型プローブ顕微鏡の日本、米国、欧州の研究開発プレイヤー（企業及び公的研究所）について、表 5 にまとめた。

表 5 走査型プローブ顕微鏡の研究開発プレイヤー

		日本	米国	欧州
走査型 プローブ 顕微鏡	企業	1 キヤノン 2 オリンパス光学 3 日立製作所 4 ニコン 5 セイコーインスツルメンツ 6 日本電子 7 松下電器産業 8 島津製作所 9 日本電気 ・ 日本分光 ・ 京都インスツルメンツ (ベ)	1 IBM 2 ビーコインスツルメンツ 3 モレキュラーイメージング 6 ATT 7 パイオテクノロジー リサーチ アンド デバイス (ベ) 9 AMD 10 ヒューレットパッカード	1 カライアンドハイネス (ベ) 3 ツァイス 4 CSEM 5 BASF AG 9 マインツマイクロテクニク 研究所 10 ワイテック (ベ)
	公的機関 (大学含む)	10 科学技術振興事業団 ・ 経済産業省産業技術総合研究所 ・ 神奈川科学技術アカデミー ・ 大阪大学 ・ 京都大学 ・ 東京大学	4 カリフォルニア大学 5 スタンフォード大学 8 ペンシルベニア大学 ・ ハーバード大学 ・ コーネル大学	2 フォルシュングスツェントルム ユーリッヒ 6 マックスプランク研究所 7 インスティチュートフェストケ ルパーウントヴェルクストッフ フォルシュンク 8 フツヒス (個人) ・ パーゼル大学 ・ ハンブルグ大学

脚注：研究開発参加プレイヤーとして、3 極とも特許件数上位 10 出願人を掲げた。開発プレイヤー名の前に記載されている数値は 3 極それぞれにおける特許件数の順位を示す（データベース：日本は PATOLIS, 外国は WPI）。表中(ベ)はベンチャー企業を示す。ビーコ社にはデジタルインスツルメンツ、パークサイエンティフィックインスツルメンツ、トボメトリックスを含めた。大学については学術的な面で貢献度が大きい機関を加えた。

### (2) 研究開発リーダーについての概要

#### <世界の研究開発リーダー>

走査型トンネル顕微鏡を発明した IBM 社は特許を論文発表前に出願し、技術の有用性が一般化するや、新たな走査型プローブ顕微鏡である原子間力顕微鏡の特許出願及び論文発表するなど、この分野で常に革新的な派生技術を創製するとともに、応用技術についても注目す

べき開発（32x32 構成の走査型プローブ顕微鏡カンチレバーアレイによる高密度記録）を継続している。IBM 社が基礎研究でのリーダーであり、走査型プローブ顕微鏡関連特許で先行的な特許を多数出願取得している。

#### < 製品開発研究リーダー >

日米欧とも、技術の立ち上がり直前もしくは、揺籃期に公的研究機関と連携し、参入した企業（デジタルインスツルメンツ、セイコーインスツルメンツ、オミクロン）が、その後の製品研究開発の展開で優位にある。

#### < 日本特許件数における出願企業別特徴 >

装置市場に参入していないキヤノンの日本特許出願件数が国内で一番多い。走査型プローブ顕微鏡の応用技術分野で、キヤノン社の「記録技術への応用」に関する特許が他社に比べて、顕著に多い特徴がある。走査型プローブ顕微鏡の構成技術やカンチレバー・プローブ技術を利用した微細・高密度記録等の情報機器の開発に注力していると思われる。

#### < 公的研究機関 >

日米欧とも、技術の萌芽期に装置開発の段階から参入した大学や公的研究機関の研究者がその後も優位にある。典型的には、米国ではカリフォルニア大学とスタンフォード大学、欧州ではバーゼル大学、日本では産業技術総合研究所（旧工業技術院）が掲げられる。

日本を代表する公的研究機関である産業技術総合研究所と科学技術振興事業団（文部科学省）からの特許出願累積件数の年次推移には異なる特徴がある。産業技術総合研究所が科学技術振興事業団に比べ先行的に研究開発に参入したことを反映して、特許件数の年次推移でも先行している。

#### < 走査型プローブ顕微鏡の応用分野 >

走査型プローブ顕微鏡の記録技術やリソグラフィ技術への応用分野では、日立製作所など情報電子機器系の日本の大企業および米国の IBM やスタンフォード大学等が主たる研究開発プレイヤーである。市場は萌芽期の段階である。分子を操作するナノハンドリング装置の簡易型（既存の特定メーカー製走査型プローブ顕微鏡へのアダプター）が米国企業（サードテック社）から発表されている。

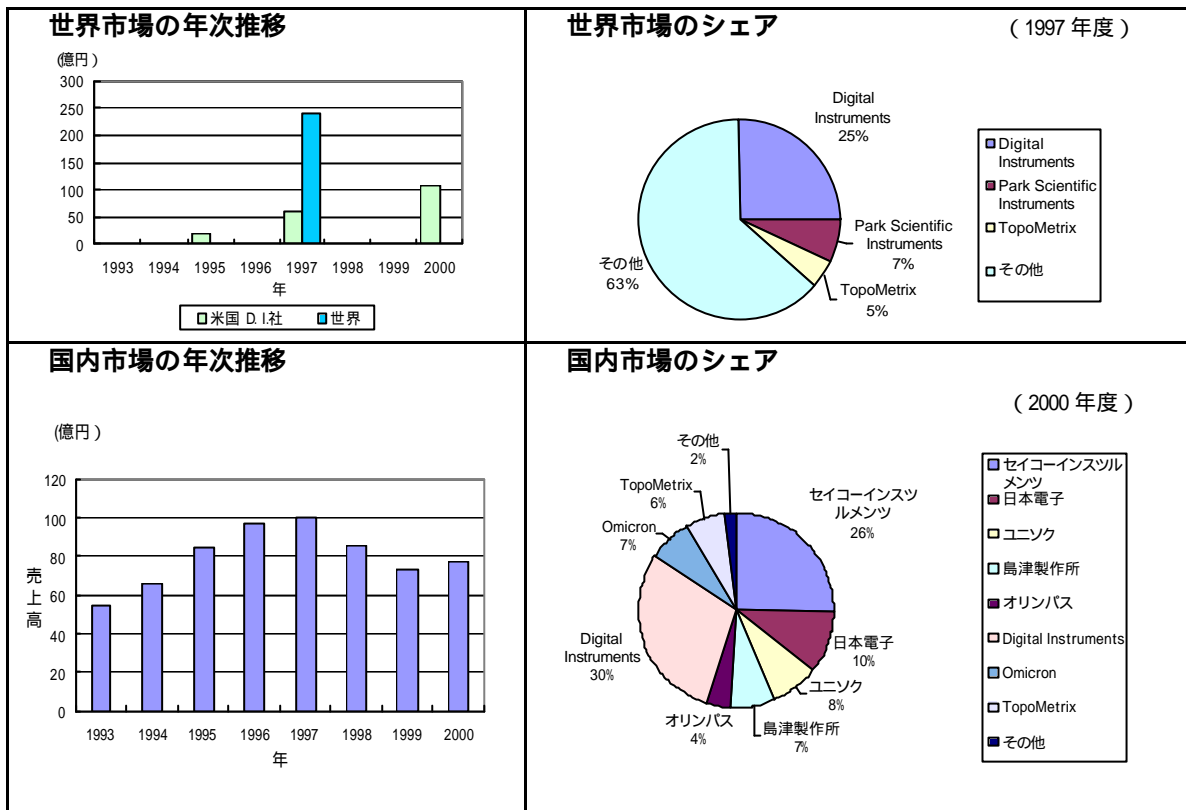
## 5.6 ビジネス参入プレイヤー

### (1) 市場概要

走査型プローブ顕微鏡の市場規模を図 20 に示す。走査型プローブ顕微鏡の世界市場は 1997 年に 240 億円程度であり、そのうちデジタルインスツルメンツが 25% を占める。2 位はパークサイエンティフィックインスツルメンツ、3 位はトポメトリックス社であり、3 社とも米国企業である（出典-1）。2000 年にはデジタルインスツルメンツは 1997 年から売上を倍増し、110 億円程度に達している（出典-2）。2001 年 7 月には、これら 3 社は米国ビーコインズインスツルメンツの傘下に入り、走査型プローブ顕微鏡市場の寡占化が進行すると予想される。

日本国内市場は 1997 年に 100 億円の規模に到達したが、その後やや減少した水準で推移している（出典-3）。2000 年の日本国内市場のシェアは、世界トップのデジタルインスツルメンツが 1 位で、セイコーインスツルメンツが 2 位である。国内企業 5 社（セイコーインスツルメンツ、日本電子、ユニソク、島津製作所、オリンパス）の市場シェア合計が海外企業 3 社（デジタルインスツルメンツ、オミクロン、トポメトリックス）の市場シェア合計をやや上回る（出典-4）。

図 20 走査型プローブ顕微鏡の市場規模



出典： 1. Nanotechnology (STT Netherlands Study Centre for Technology Trends) p.321 の数値を基にダイヤリサーチマーテックが作成  
 2. アドバンスドサーフェスマイクロスコープ社 Don Chernoff 氏よりの情報  
 3. 科学機器年鑑 1996年から2000年版(株式会社アールアンドディ刊)の数値データよりダイヤリサーチマーテックが作成  
 4. 科学機器年鑑 2001年版(株式会社アールアンドディ刊)の数値データよりダイヤリサーチマーテックが作成

(2) ビジネス参入プレイヤー

上記の図に市場規模と市場シェア率が顕著な主要な企業を記載したが、市場シェア率に現われてない小規模なプレイヤーをも加えて、日本・米国・欧州のビジネス参入プレイヤーを、表6にまとめた。

表6 ビジネス参入プレイヤー

		日本	米国	欧州
走査型 プローブ 顕微鏡	企業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セイコーインスツルメンツ(5)</li> <li>・日本電子(6)</li> <li>・島津製作所(8)</li> <li>・オリンパス光学(2)</li> <li>・日立製作所(3)</li> <li>・日立ハイテクノロジーズ</li> <li>・ユニソク</li> <li>・アルバックファイ(代)</li> <li>・日本分光</li> <li>・日本ビーコ</li> <li>・京都インスツルメンツ(ベ)</li> <li>・日本ローバー(代)</li> <li>・東陽テクニカ(代)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ピーコインスツルメンツ(9)</li> <li>・アールエッチケーテクノロジー</li> <li>・パーレイ</li> <li>・サードテック(ベ)</li> <li>・ナノデバイス(ベ)</li> <li>・ティエムマイクロスコプス</li> <li>・モレキュラーイメージング(ベ)</li> <li>・ピエゾマックステクノロジー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オミクロン(ドイツ)</li> <li>・ナノセンサー(ドイツ)</li> <li>・CSEM(スイス)</li> <li>・ツァイス</li> <li>・ティエーインスツルメンツ(イギリス)</li> </ul>

脚注1：表中(ベ)はベンチャー企業、(代)は海外メーカーの日本国内販売代理店を示す。企業名の後の( )中の数字は日米欧においてそれぞれ特許出願上位10社にランキングされている企業のランクを示す。

脚注2：走査型プローブ顕微鏡の代理店・子会社関連

- ・日本ビーコは米国ビーコインズツルメンツの日本子会社
- ・日立ハイテクノロジーズは日立製作所系の科学機器販売および代理店（旧日製産業）
- ・東陽テクニカは 2001 年夏までパークサイエンティフィックインスツルメンツ、トポメトリックスの日本国内販売代理店。
- ・日本ローバーはモレキュラーイメージング（米）の代理店。
- ・アルバックファイはアールエッチケーテクノロジー（米）やオミクロン（ドイツ）の代理店

### （３）ビジネスリーダーについての概要

#### < 研究開発リーダーの IBM 社 >

IBM 社は走査型トンネル顕微鏡を含め各種の走査型プローブ顕微鏡の基本特許を取得しているが、走査型プローブ顕微鏡の装置ビジネスには表面上参入していない。現段階では、他社への特許ライセンスの有無は不明である。応用技術の裾野を拡大し、その後応用技術で必然的に用いられる基本特許のライセンスなどで関連特許の先行・優位性を活用するビジネス戦略も予想される。IBM は自社開発技術をすべて自社ブランドとして商品化するのではなく、他社に特許ライセンスを行う戦略を採用している。

#### < 市場売上上位プレイヤーの特徴 >

日米欧とも技術開発の初期に大学・公的機関と提携した企業が強い。典型例として、

米国：大学関連研究者が技術の揺籃期に提携あるいは創設したベンチャーが先行開発者優位を保持して装置市場での優位性を保持（デジタルインスツルメンツ、パークサイエンティフィックインスツルメンツ、トポメトリックス）。

日本：技術の揺籃期から国研と共同研究を行い、技術蓄積をしたセイコーインスツルメンツが優位に立った。

欧州：スイスのバーゼル大学と連携したドイツのベンチャー企業(オミクロン)が市場を確保した。

#### < 市場寡占化の動き >

2001 年 7 月には、売上げ世界一の米国デジタルインスツルメンツを保有するビーコインズツルメンツが 1997 年売上世界 2 位と 3 位のトポメトリックス、PSI 社を保有するサーモマイクロスコプスを吸収し、市場寡占化の動きが見られた。

#### < 応用機器関連 >

日立製作所は、走査型プローブ顕微鏡を利用したリソグラフィ装置の市場投入を 2001 年 9 月に発表し、応用製品の市場に他社に先行して参入を開始した。

#### < プローブ関連 >

走査型プローブ顕微鏡用プローブ（カンチレバー）の世界市場は 2000 年で 20 億円。トップがナノセンサー（ドイツ）、オリンパスが 2 位。カーボンナノチューブを探針に用いたプローブの市場（プローブ 1 本数万円）への参入が日米（セイコーインスツルメンツ、島津製作所、米国はピエゾマックステクノロジー）である。

## 6. 日米欧の3技術分野における特許上位出願人の研究開発動向

日米欧の特許出願人を当調査対象の3技術分野について整理し、研究開発の選択・集中度を把握するとともに、日米欧の当調査対象技術での研究開発の競争度を特許統計数より分析した。表7に、対象技術毎出願件数の世界ランキングを示す。各3技術分野毎にWPIデータベースにおける特許件数の世界ランキングを行い、日米欧3極それぞれにおけるランキング上位10社（欧州のカーボンナノチューブ関連企業については同数10位企業が多いため、9社までを採用）をリストアップした。

表7 対象技術毎出願件数世界ランキング（1～5位、6位～10位、11位～20位、20位以下）

出願人業種 対象技術		日本																競争度								
		電気機器 1	電気機器 2	ガス業 1	公的機関 1	公的機関 2	個人 1	化学系 1	電気機器 3	電気機器 4	電気機器 5	通信業 1	電気機器 6	電気機器 7	電気機器 8	電気機器 9	電気機器 10		電気機器 11	精密機器 1	精密機器 2	精密機器 3	精密機器 4	精密機器 5	精密機器 6	
(1)カーボンナノチューブ	製造法																									
	冷陰極(ディスプレイへの応用)																									
② 光半導体	ナノ粒子発光素子																									
	量子井戸レーザー																									
	量子効果発光ダイオード																									
	量子効果受光素子																									
	集中度																									
(3)走査型プローブ顕微鏡	走査型プローブ顕微鏡																									
	集中度																									

出願人業種 対象技術		米国																競争度									
		化学系 1	大学 1	大学 2	サービス業	大学 3	化学系 2	化学系 3	電気機器 1	個人 1	通信業 1	電気機器 2	精密機器 1	精密機器 2	精密機器 3	精密機器 4	精密機器 5		精密機器 6	精密機器 7	精密機器 8	精密機器 9	精密機器 10	精密機器 11	精密機器 12	精密機器 13	精密機器 14
(1)カーボンナノチューブ	製造法																										
	冷陰極(ディスプレイへの応用)																										
② 光半導体	ナノ粒子発光素子																										
	量子井戸レーザー																										
	量子効果発光ダイオード																										
	量子効果受光素子																										
	集中度																										
(3)走査型プローブ顕微鏡	走査型プローブ顕微鏡																										
	集中度																										

出願人業種 対象技術		欧州																競争度													
		公的機関 1	公的機関 2	電気機器 1	医薬品 1	サービス業 1	公的機関 3	大学 1	公的機関 4	鉄鋼・機械 1	電気機器 2	電気機器 3	通信業 1	電気機器 4	電気機器 5	電気機器 6	公的機関 5		輸送用機器 1	輸送用機器 2	輸送用機器 3	輸送用機器 4	輸送用機器 5	輸送用機器 6	輸送用機器 7	輸送用機器 8	輸送用機器 9	輸送用機器 10	輸送用機器 11	輸送用機器 12	輸送用機器 13
(1)カーボンナノチューブ	製造法																														
	冷陰極(ディスプレイへの応用)																														
② 光半導体	ナノ粒子発光素子																														
	量子井戸レーザー																														
	量子効果発光ダイオード																														
	量子効果受光素子																														
	集中度																														
(3)走査型プローブ顕微鏡	走査型プローブ顕微鏡																														
	集中度																														

注1：当調査3技術分野の技術特許(1991年～1999年)を対象技術項目毎に順位づけた。

注2： の定義：集中度 = の数 / 全記号の総数 50%、競争度 = の数 / 2

### (1) 出願企業の研究開発の選択・集中度

日米とも光半導体分野に参入している電気機器企業は、ナノテクノロジーの応用としてのカーボンナノチューブ、光半導体、走査型プローブ顕微鏡の3技術分野に関わりが見られるが、カーボンナノチューブの分野と走査型プローブ顕微鏡の分野は、それぞれ技術の背景となる業種（カーボンナノチューブは化学系、走査型プローブ顕微鏡は精密機器系）がリストアップされる傾向がある。一方、欧州では3技術分野毎に分散している傾向がある。日本で重複(脚注)が多いのは、日本の電気機器メーカーが幅広い分野の研究に参入していることと関連すると思われる。米国分での重複は大手電気機器メーカー(2社)と通信業(1社)および1大学である。

3極個別に集中度を見た場合、日本では、それぞれの技術分野で上位5位に入る企業(「」マーク)の選択集中度が高く見える。一方、米国では、カーボンナノチューブの技術分野で大学や化学系企業がリストアップされている。カーボンナノチューブの製造法で集中的に研究開発を行い特許出願をしているためである。通信業に分類される企業1の会社は、光半導体分野およびカーボンナノチューブの応用である冷陰極(ディスプレイへの応用)で出願上位5位に入っている。この両方の技術はIT関係に深く関わりのある技術であり、IT技術の観点から選択集中度が高いと理解できる。欧州は日米に比べて出願件数が少ないため上位5位に入る企業の「」マークがついてないが、3技術分野間での重複がみられず、3技術分野毎に特化しており、その意味では、集中していると思われる。

### (2) 日米欧3極の競争度

日本は、カーボンナノチューブ、光半導体、走査型プローブ顕微鏡の3技術分野のそれぞれの対象技術において、特許件数のランクから見て、欧米に対して優位な位置にある。米国はカーボンナノチューブの製造法あるいは光半導体分野のナノ構造受光素子で日本と同等レベルにあると言える。欧州は、3技術分野とも、特許件数面で日米より劣位にあり、この意味では競争力に劣ると見なせる。

### (3) その他の特徴

日本は欧米よりカーボンナノチューブ、光半導体、走査型プローブ顕微鏡の3技術分野で特許件数が多いため、日本優位の傾向が強い。しかし、個別3技術分野の出願人の業種には、日本と欧米との間に相違が見られる。即ち、日本では、大学が上位にリストアップされないが米国では7大学がリストアップされている。

日本には、欧米に比べ、総合電気機器メーカーの参入傾向が強い。一方、ベンチャー系企業が日本では、件数上位にランキングされてこない傾向がある。

---

脚注： 3技術分野はそれぞれ左から特許件数の多い順に並んでいるが、重複出願人分については、光半導体関連の記述部分に集約した。

## 7. 日本が目指すべき研究開発、技術開発について

### << 提言1 カーボンナノチューブ分野 >>

カーボンナノチューブはナノテクノロジーの各技術分野とナノ材料応用レベルで関連が深く、新「産業の米」として期待されている新材料であり、研究活動の更なる活発化および共同研究開発施設の更なる拡充が重要である。

#### **構造欠陥の少なく、安価なカーボンナノチューブの製造技術の確立**

カーボンナノチューブの製造に関する研究開発は、欠くことのできない重要な課題である。カーボンナノチューブの製造法は主にアーク放電法と気相成長法で作製されている。気相成長法は、安価なカーボンナノチューブができる反面、構造欠陥が多い。逆にアーク放電法では、構造欠陥は少ないが高価である。構造欠陥の少なく、安価な製造法の開発が望まれている。

そのような方向として我が国では、日本電気や産業技術総合研究所をはじめとして、各企業・公的機関等が製造方法に関する研究開発をそれぞれ行っている。しかしカーボンナノチューブの製造法を確立するためには一企業だけではなく、共同プロジェクトとして開発を行う方が効率がよい。

その開発の中には構造欠陥を無くす検討の他に将来必要となるカーボンナノチューブの単層、多層の作り分け、直径の制御も含まれる。欠陥の制御、単層、多層の作り分けおよび直径の制御は触媒の種類・製造方法、原料、反応場、反応条件などに依存する。

#### **フラットパネルディスプレイへの応用**

カーボンナノチューブの用途としてフラットパネルディスプレイが現在もっとも工業化に近い。省電力で、電流密度が大きく、高輝度で常温で作動でき、しかもコスト的にも安価にできる可能性のあることから注目されている。しかも、ディスプレイ市場は、世界的には数兆円の規模といわれ、現在良く用いられているCRTや液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイを上回る製品が実現できれば、大規模な産業となるものと考えられる。現在の問題点はアレイの作製法、電子放出の効率をさらに高めて、均一性を保つこと、安定な電流特性、低電圧駆動、発光ムラを無くすこと、ゲート電圧を低くすることなどがある。アレイの作製法としては基板に垂直配向させる方法が有効と思われるが、現在その点も不明で理論説明が急がれる。ディスプレイへの応用とその商品化の技術開発について、サムソン SDI が実用化に近いデモ品を展示して優位に競っており、世界に先駆けて製品化のスケジュールを公表している。韓国から日本へのこの関係の出願も、最近顕著な増加傾向にある。日本が世界に対してイニシアチブをとるために、電気メーカー、ディスプレイメーカーと公的機関、大学を含めた共同プロジェクトを早急に立ち上げる必要がある。

#### **高性能複合材料への応用**

カーボンナノチューブ自体の大量需要に結びつく可能性のある第一候補は高性能複合材料で、特に高分子複合材料である。この複合材料は極めて高い剛性および強度をもつ材料として期待される。しかも比較的軽量で帯電防止性を有する。この材料は航空機用材料を始めとしてセラミックや金属や超エンブラを代替する軽量材料として大量のカーボンナノチューブ需要に結びつく。そのためには先にカーボンナノチューブの製造法の提言で述べたような構造欠陥のない安価なカーボンナノチューブの開発が必要である。また航空機製造業界とタイアップして研究を進める

ことが有効である。

### **先行開発で有利な状況の活用と大学発ベンチャー企業の設立**

カーボンナノチューブの場合は、日本電気特別主席研究員の飯島澄男・名城大教授が発見し、基礎研究で先行したため、基礎科学的知見の蓄積、及び、国際的なレベルの基礎研究開発力がある。カーボンナノチューブの研究分野で、第1位を保って世界一の技術を他国よりも早く完成させるためには、日本の先行開発で有利な状況にあるこの利点を活用すべきである。

カーボンナノチューブは、黎明期にあることから大学や公的機関での研究開発が盛んであり、特許出願も比較的多い。また、このような黎明期の技術では、新規の応用分野における、先進的研究開発と基本特許の取得は、後のビジネス展開のために重要である。海外では、カーボンナノチューブに関して、大学（例えば、米国のライス大学、フランスのモンペリエ第二大学）からの研究開発ベンチャー企業（それぞれ、カーボンナノテクノロジー社、ナノリッジ社）の設立があるが、日本では見当たらない。技術の黎明期には種々のアイデアや応用展開が考えられるので、状況の変化に対応して迅速な技術開発が可能なベンチャー企業は有利といえる。大学発のベンチャー企業の設立が我が国の産業発展に寄与することが、期待される。

### **<< 提言2 光半導体分野 >>**

光半導体分野の市場規模は、現在でも比較的大きく、将来的にも、世界的なIT技術革新の潮流に相応して、更に、光通信デバイス・光半導体デバイスの市場規模は拡大することが予想される。

欧州では、次世代技術として、光デバイスの研究開発が重要視されており、また韓国もこの分野での開発を強化している。将来的には、国際競争で不利な立場に追い込まれないためには以下の政策、施策により競争力を強化する必要がある。

### **光記録用の分野での優位性の維持**

この分野では、日本はビジネスリーダーであり、製造技術に関しても世界的レベルにある。また、この分野では大学発の技術が企業からの特許申請に反映されているように、産学の連携が進んでおり、西澤潤一東北大学元教授、伊賀健一東京工業大学教授、榊裕之東京大学教授など、大学レベルでの基礎研究開発能力も高い水準にある。高密度記録を達成するための低波長域レーザの開発を継続すると共に、現在世界的レベルにある製造技術を維持して、現在世界市場でほぼ100%を占めるシェアを維持することが重要である。

そのためには、基礎技術を有する大学関係者が主導し、ベンチャー企業の創業までを視野に入れた産学官連携の研究開発体制の構築が必要である。また、次世代の光通信分野の研究課題として極めて重要なナノクリスタル、量子ドットレーザ、量子細線レーザ、フォトリソグラフィ結晶が本来の予想される性能を発揮して実用化されるためには、いずれもナノレベルでの構造制御と製造技術が要求される。ナノ構造の制御をキーワードとした、異なる分野のナノテクノロジー研究者の交流、連携をはかる産学官連携体制の構築が必要である。

### 通信用分野での競争力強化

この分野ではアメリカに比べ、技術の成長期に参入が遅れた等の事情により、必ずしも優位な立場でない。しかし、今後の光半導体を基幹技術とする光通信技術に支えられた高速ブロードバンド IT 化社会を考えると、光通信用の光半導体技術の開発とその成果の製品化のための製造技術水準の維持・向上は不可避である。伝送容量の拡大の著しいこの分野では、送受信素子には超高速光源、波長多重光源、低コストリンク部品など究極の性能が要求される。

この要求に応えられる可能性のある、量子細線・ドットレーザ、Si 基板で発光するナノ粒子発光素子、フォトニック結晶などナノテクノロジー応用の技術に注力すべきである。

### << 提言 3 走査型プローブ顕微鏡分野 >>

走査型トンネル顕微鏡装置の基本特許および関連する各種の走査型プローブ顕微鏡の特許は先行的に IBM 社から出願されている。しかし走査型プローブ顕微鏡は、各種ナノテクノロジー材料の観察・評価に不可欠の技術であるのみならず、原子・分子の操作やナノサイズの微細加工やリソグラフィ、さらには、ナノサイズの高密度記録への応用など、ナノ加工・記録技術の基盤技術としても重要であるので、走査型プローブ顕微鏡装置技術の維持・向上は勿論、走査型プローブ顕微鏡の要である各種プローブの作成技術や走査型プローブ顕微鏡を利用した微細加工や高密度記録等への応用技術の開発を強化することが望まれる。

### プローブ技術の強化

走査型プローブ顕微鏡分野において、強化すべき技術の 1 つとして、プローブ技術がある。これは、プローブが走査型プローブ顕微鏡のキーテクノロジーであることから必須である。

プローブ技術の開発には、半導体加工用の微細加工技術や精密制御技術等が用いられるが、日本の半導体加工技術は、欧米に引けをとらない技術水準にあり、基盤技術力としてそれらを走査型プローブ顕微鏡のプローブの開発に転用することが可能である。市場的には、オリンパス社がカンチレバー・プローブの商品開発で世界的レベル（世界市場で 2 位）にあることから、このプローブ関連の技術強化は有望である。大学でのプローブ技術と企業の潜在的な半導体微細加工技術の融合により、新規技術の開発や国際競争力のある新規プローブの創製が望まれる。

### 高密度記録、微細操作・加工への応用

走査型プローブ顕微鏡分野における、もう一つの重要な点は、走査型プローブ顕微鏡の応用技術として、高密度記録分野や微細操作・加工への応用技術開発を強化すべきである。

走査型プローブ顕微鏡は各種ナノテクノロジー材料の観察のみならず、原子・分子の操作やナノサイズの微細加工やリソグラフィ、さらには、ナノサイズの高密度記録への応用などでも、重要な技術である。IBM 社では、プローブ技術を応用した高密度記録装置（32x32 配列のプローブアレイを有するミリペード）をスタンフォード大学と共同研究しており、次世代高密度記録手法の 1 つとして有望視し、技術開発を世界に先駆けて行っている。本来、高密

度記録装置の日本の技術は、光磁気記録あるいはハードディスク磁気記録技術等で、欧米と同等の技術水準にあり、基盤技術力としてそれらを走査型プローブ顕微鏡を利用した高密度記録装置の開発に転用することが可能である。

個々の分子を操作するナノハンドリング・ツールの簡易型（既存の特定メーカー製走査型プローブ顕微鏡へのアダプター）も米国企業から発表されている。ナノテクノロジーでは、原子・分子のハンドリングや分子サイズレベルの加工が必要となるが、現在、効率よくハンドリングが可能であるような汎用品は無い。今後、スループットが改善された本格的なナノハンドリング装置の開発が期待される。

### 大学発技術の技術転移を活発化

走査型プローブ顕微鏡の日本市場は、海外企業と日本企業のシェアがほぼ拮抗している状況にある。今後の走査型プローブ顕微鏡を利用したナノサイズのリソグラフィやナノサイズの情報記録による高密度記録等の応用技術開発に必要な装置需要の展開を考慮すれば、現在の海外企業による走査型プローブ顕微鏡に関する日本市場参入状況に対抗することが必要である。そのためには、外国勢と伍して市場シェアを拡大できるような競争力のある走査型プローブ顕微鏡を開発する実力を、大学での研究成果を活用して、日本メーカーが強化・蓄積することが、重要かつ実効的な手段と思われる。既に図に示したように大学発の技術が企業からの特許申請に反映されており、大学発の特許も、2桁の件数にあることから、企業への技術転移のための技術水準は十分にあると推定される。今後、技術転移をさらに活発にするためには、大学での研究成果について大学が特許権利化を TL0 等を通じて現状以上に積極的に行い、日本企業等に新規な技術を TL0 等を通じて広く知らせ、従来の特定大学と特定企業の組み合わせ以上に、幅広い大学と企業の間で技術移転していく活動を活発にすることが確実な筋道であると思われる。

産業界での大学発技術の活用手法として、大学発ベンチャーの設立も有用であると考えられる。米国では、大学発の研究開発ベンチャー企業の設立（デジタルインスツルメンツ等）があり、大気中仕様の走査型プローブ顕微鏡を開発販売した同社が業界のトップとなったが、日本では大手企業が当初参入したのみであった。米国の動きに約 10 年遅れ、大学発のベンチャーが 1 社スタートアップしたのみである。今後、この種の大学発のベンチャーの育成を通じて、新たな視点からの技術の強化・実用化が必要と思われる。

#### 【お問い合わせ先】

〒100-8915 東京都千代田区霞ヶ関 3-4-3  
特許庁 総務部 技術調査課 技術動向班  
TEL : 03-3581-1101 (内線 2155)  
FAX : 03-3580-5741  
E-mail : PA0930@jpo.go.jp