

平成18年度  
特許出願技術動向調査報告書

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 -  
(要約版)

<目次>

|  |    |
|--|----|
| 第1章 技術の背景 .....                        | 1  |
| 第2章 ナノテクノロジーに関する国内外の<br>政策やトピックス概要 ... | 4  |
| 第3章 カーボンナノチューブ(CNT)分野の要約 .....         | 6  |
| 第4章 光半導体分野の要約 .....                    | 16 |
| 第5章 走査型プローブ顕微鏡(SPM)分野の要約 ...           | 25 |
| 第6章 日本が目指すべき研究開発、<br>技術開発について .....    | 34 |

平成19年4月

特 許 庁

問い合わせ先

特許庁総務部技術調査課 技術動向班

電話：03 - 3581 - 1101 (内線2155)

# 第1章 技術の背景

2000年1月に米国で発表されたナノテクノロジー戦略構想（NNI）により世界に広がったナノテクノロジーの研究開発の潮流は、年々、種々の関連分野において、その幅と深みを増し、拡大の一途を辿っている。

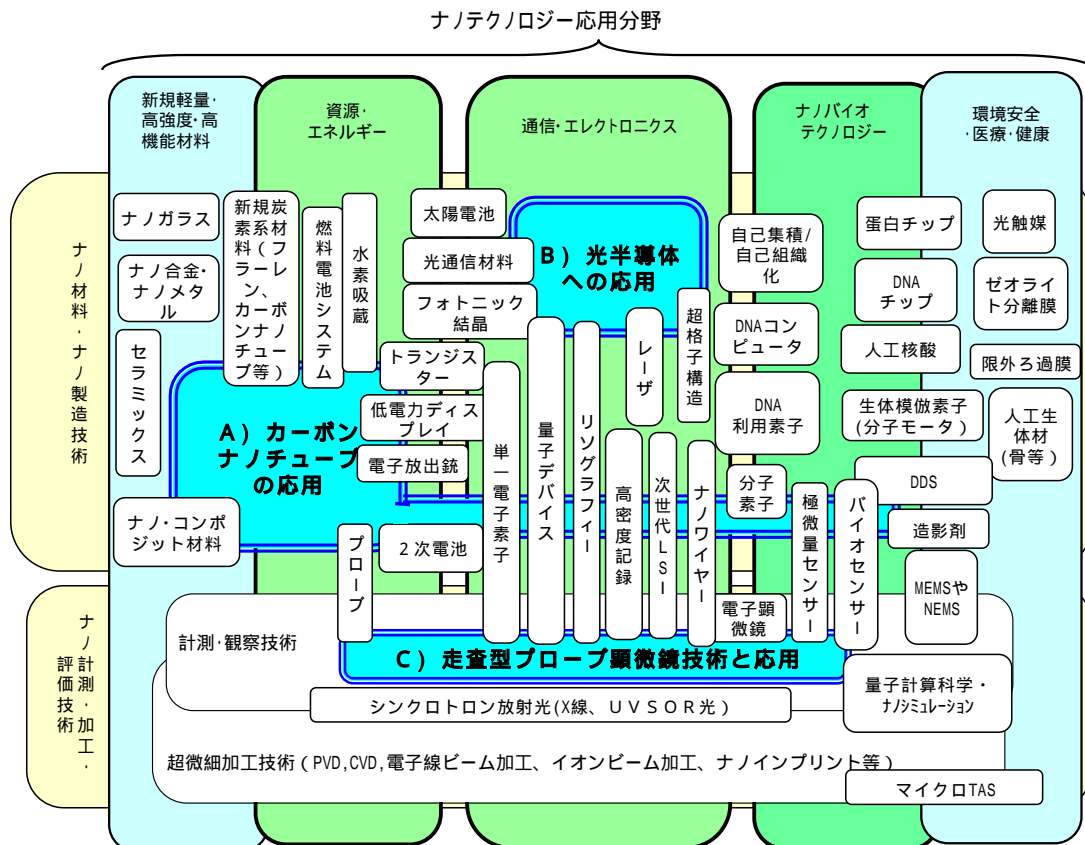
我が国においては、第2期科学技術基本計画に続き、第3期科学技術基本計画でも重点推進分野に指定されるなど、ナノテクノロジー分野の技術は依然として重要度が高い。特に、カーボンナノチューブ、光半導体、走査型プローブ顕微鏡は、経済産業省の技術戦略マップにも取り上げられており、ナノテクノロジー関連技術の中でも特に重要度が高い技術であるといえる。

これら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つの技術に関しては、平成13年度特許出願技術動向調査「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 - 」でも取り上げられたが、本調査では、その後の動向も踏まえて、特許出願動向分析と関連補強分析等を行うことを主題とする調査を行う。

## 第1節 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1-1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、複数のテーマと関連している場合が多い。

図1-1 「ナノテクノロジーの応用」技術俯瞰図



本調査報告では、図 1-1 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中から、下記の 3 つの重要な技術分野について、技術動向調査研究の結果を記述する。すなわち、

「カーボンナノチューブ」 そのサイズおよび構造の特異性と電氣的、機械的、化学的に多様で優れた性質をもち、ナノテクノロジーの分野で最も注目されている素材であるカーボンナノチューブとその関連分野

「光半導体」 半導体レーザや発光ダイオードなど実用化され市場競争が活発な化合物半導体とナノ粒子発光素子、量子ドットレーザなど今後実用化が期待される光半導体素子関連分野

「走査型プローブ顕微鏡」 ナノテクノロジーでナノオーダーの観察や測定における基盤技術であり、更にはナノサイズレベルで材料をコントロールしたり、微細加工を行うために不可欠な走査型プローブ顕微鏡技術分野

について、我が国のこれらの基礎技術および応用技術の水準、国際競争力に関して、特許情報を活用した詳細な調査・分析を行ない、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述する。

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、近く実用化される技術分野である。このため、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も、調査の対象としてとりあげた。

以下図 1-2 から図 1-4 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 1-2 「カーボンナノチューブ」の技術俯瞰図

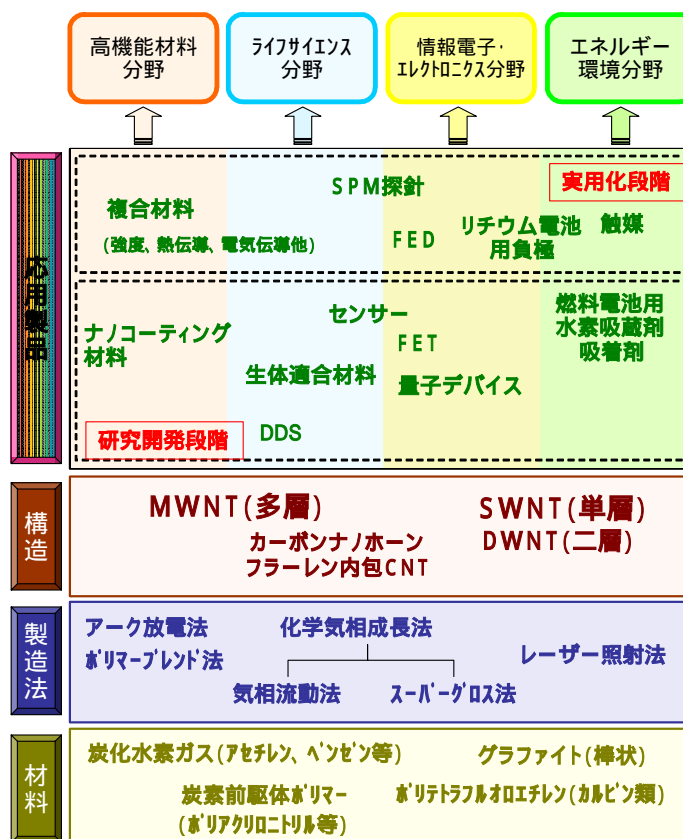


図 1-3 「光半導体」の技術俯瞰図

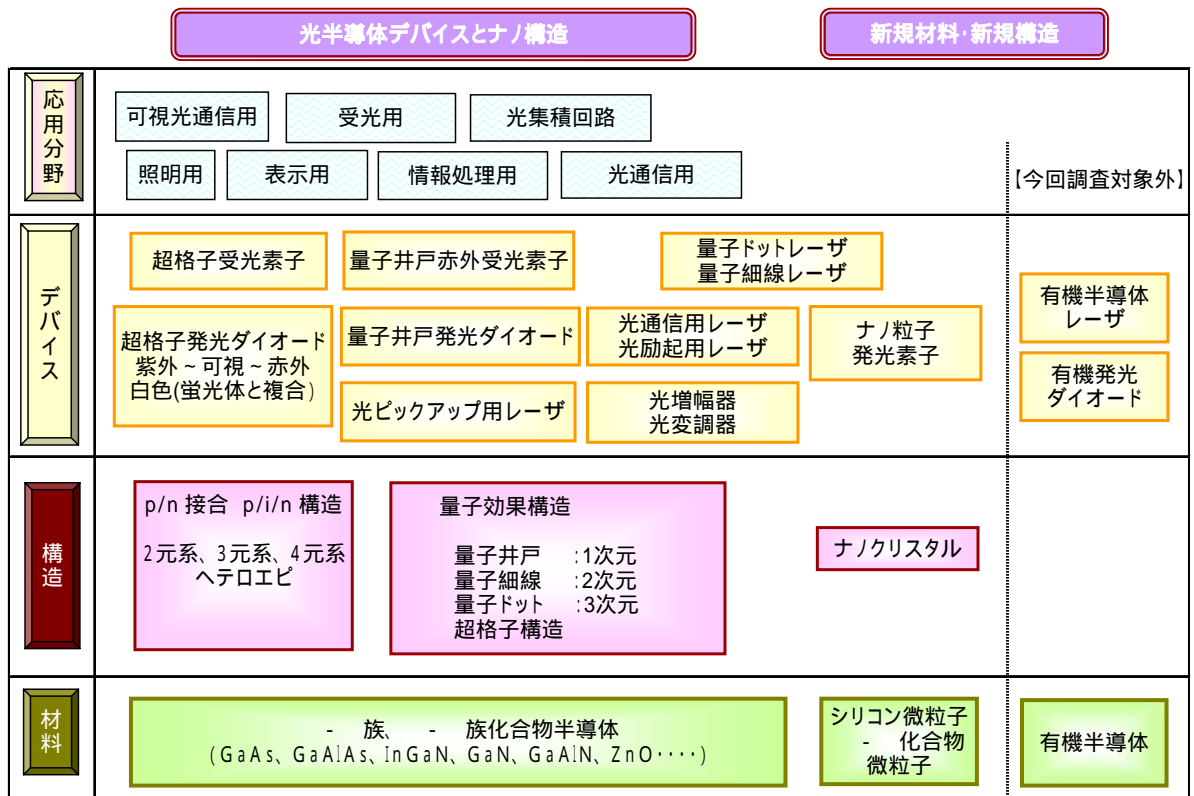
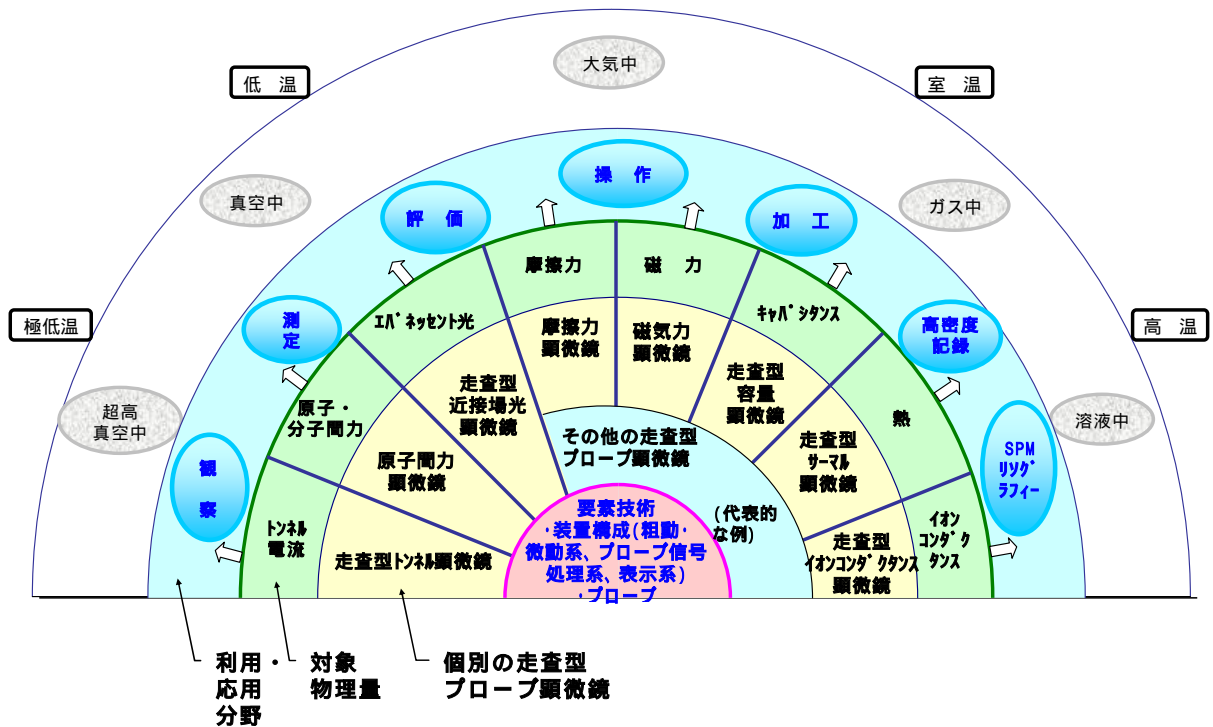


図 1-4 「走査型プローブ顕微鏡」の技術俯瞰図



## 第2章 ナノテクノロジーに関する国内外の政策やトピックス概要

ナノテクノロジーに関する国内外の政策等におけるトピックスを日米欧別に区分して図2-1に示した。また、図2-2には、今回の調査範囲である2001年～現在までの政策等について概要を掲げた。

日本では、2006年3月に「第3期科学技術基本計画」が策定され、ナノテクノロジー分野における戦略重点科学技術や国家基幹技術が定められた。

米国では、2005年5月に「NNIの5年間(The National Nanotechnology Initiative at Five Years)」において現状評価および今後の提言がなされている。

欧州では、2005年4月に欧州連合(EU)第7次フレームワーク計画についての提案がまとめられ、同年6月には欧州委員会(EC)から「ナノサイエンスとナノテクノロジーに関する欧州行動計画2005-2009」が発表された。

いずれにおいても、ナノテクノロジー分野における各国での政策強化の傾向がうかがえる。

図2-1 2000年までのナノテクノロジー政策等に関するトピックス

| 年代   | 日本   | 米国   | 欧州                                     |
|------|--|--|--|
| 1930 |  |  | 電子顕微鏡発明                                |
| 1950 |  | 微小世界に関する講義 1959 ファインマンがナノテクノロジーの概念を提唱          | 1931 クノール、ルスカ(独ベルリン工大)nm以下の分離能を実現      |
| 1970 | 造語「ナノテクノロジー」創出 1974 東京理科大 谷口紀男が初めて使う         | 分子線エビタキシー法 1968 ベル研究所 半導体の結晶成長に使用可             |  |
| 1980 |  | 走査トンネル顕微鏡 1981 IBM(ビニヒ、ローラー)                   |  |
|      |  | フラレーン(C60)発見 1985                              | 英サセックス大(クロー)、米ライス大(スモーリー、カール)          |
|      |  | 「創造する機械ナノテクノロジー」出版 1986 ドレクスラーナノテックの概念が普及      |  |
|      |  | 単一電子トランジスタ作製 1987 ベル研究所(フルトン、ドラー)              |  |
| 1990 | カーボンナノチューブ発見 1991 NEC飯島澄男                    | 原子の配列に成功 1989 IBM(アイグラー)がキセノン原子を並べて「IBM」の文字を書く | 第4次フレームワーク計画 1994～1998 ナノ関連80プロジェクト    |
|      | アトムテクノロジープロジェクト 1992～2002 METI 総額250億円       | IWGN設置 1998 NSTC下のナノ省庁間作業G                     | 第5次フレームワーク計画 1998～2002 ナノ関連予算230億円     |
|      |  | WTECナノテック国際比較調査 1998 公式報告書としてIWGNへ提出           |  |
|      |  | IWGN報告書取り纏め 1999                               | カーボンナノチューブのトランジスタ作製 1998 蘭デルフト工大(デッカー) |
| 2000 | 「21世紀を拓くナノテクノロジー」提言 2000.7 経団連               | 「国家ナノテクノロジー計画(NNI)」 2000 IWGN報告書を元に策定          |  |
|      | 「ナノテクノロジープログラム基本計画」制定 2000.12 (2004.2 新規に制定) | 「NNI先導策と実施計画」提出                                |  |

出典：ナノテクノロジーを巡る政策面の世界動向・分析(2005年1月7日 経済産業省 ナノテクノロジー・材料戦略室)

図 2-2 2001 年以後のナノテクノロジー政策等に関するトピックス

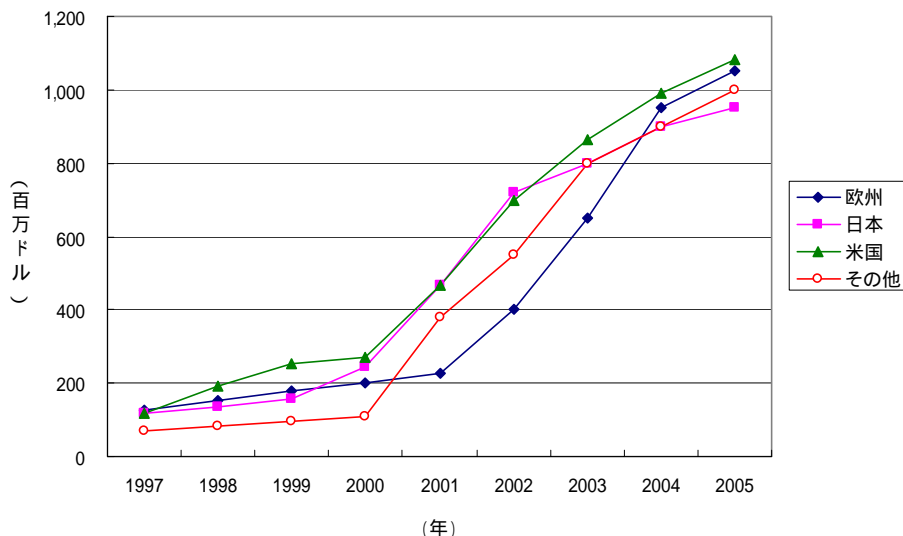
| 年代   | 日本   | 米国   | 欧州  |
|------|--|--|---|
| 2001 | 総合科学技術会議 (CSTP) 発足 2001.1                          |  |   |
|      | 「第2期科学技術基本計画」策定<br>2001.3 CSTP ナノテクノロジー・材料分野が重点分野に |  |   |
|      | 「n-Plan21」提言 2001.3 経団連                            |  |   |
|      | 「分野別推進戦略」策定 2001.9 CSTP                            |  |   |
| 2002 | 「産業発掘戦略」策定 2002 内閣府                                | NNIレビュー委員会の提言<br>2002 ナノテック諮問委員会の創設等10の提言                        | 第6次フレームワーク計画<br>2002～2006 ナノ関連予算1,690億円                   |
|      | 「n-Plan2002」提言 2002.11 経団連                         |  |   |
| 2003 | 「府省」連携」プロジェクト」開始 2003.7 CSTP                       | 「NNI実施計画改定版」提出<br>2003 NRC評価を踏まえたNNI実施計画改訂版                      |   |
|      | 「ナノテクノロジービジネス推進協議会(NBCI)」発足<br>2003.7 産業界有志        |  |   |
| 2004 | 「ナノテックサミット」開催<br>2004.5 与党、経団連、CSTP                | 「21世紀ナノテクノロジー研究開発法」制定<br>2003.12 2005～09の予算、推進体制を規定<br>総額4,000億円 | 「欧州のナノテクノロジー戦略<br>へ向けて」指針採択<br>2004.5                     |
|      | 「新産業発掘戦略」策定 2004.5 経産省                             | 「NNI戦略プラン」発表 2004.12   | 「ナノフォーラム」ナノテクノロジー<br>欧州戦略の公開諮問」<br>2004.12                |
|      | 「第2回ナノテックサミット」大会宣言 2005.2                          |  |   |
| 2005 | 「ナノテクノロジー政策研究会」<br>中間報告 2005.3                     | 「NNIの5年間で」国家ナノテクノロジー<br>諮問委員会による評価および提言」<br>発表 2005.5            | 「ナノサイエンスとナノテクノロジー<br>に関する欧州行動計画<br>2005-2009」発表<br>2005.6 |
|      | 「第3期科学技術基本計画」策定 2006.3 CSTP                        |  | 第7次フレームワーク計画<br>2007～2013                                 |
| 2006 | 「分野別推進戦略」策定 2006.3 CSTP                            |  |   |

出典：ナノテクノロジーを巡る政策面の世界動向・分析（2005年1月7日 経済産業省 ナノテクノロジー・材料戦略室）を基に DRMI 加筆

図 2-3 に、各国政府（地域）によるナノテクノロジー分野への投資額の比較を示した。

「日本」、「米国」、「欧州」、「その他」において、いずれも 2000 年以降、投資額が急増しており、各国の政策強化の傾向が反映されている。また、いずれもほぼ同程度の額で推移していることが特徴的である。

図 2-3 ナノテクノロジー R&D への各国政府投資額の国際比較



出典：The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel、[http://nano.gov/FINAL\\_PCAST\\_NANO\\_REPORT.pdf](http://nano.gov/FINAL_PCAST_NANO_REPORT.pdf)

### 第3章 カーボンナノチューブ (CNT)分野の要約

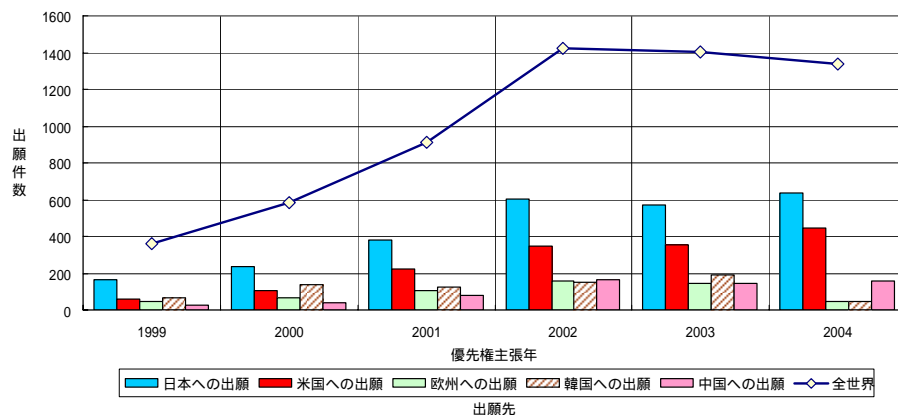
#### 第1節 CNTに関する出願先国別特許出願件数推移

CNTに関する出願先国別出願件数の推移と構成比率を図3-1に示す。

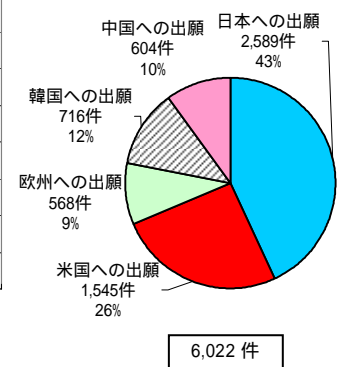
1999年から2004年に全世界で6,022件が出願された。特許出願件数は1999年から2002年にかけて毎年大幅に増えたが、2002年をピークにその後は若干減少する傾向がある。出願先国別では、日本への出願が最も多く全体の43%を占め、次いで米国(26%)、韓国(12%)、中国(10%)、欧州(9%)の順番になっている。

図3-1 CNTに関する出願先国別出願件数推移と構成比率(全世界)

a) 出願先国別出願件数推移



b) 構成比率

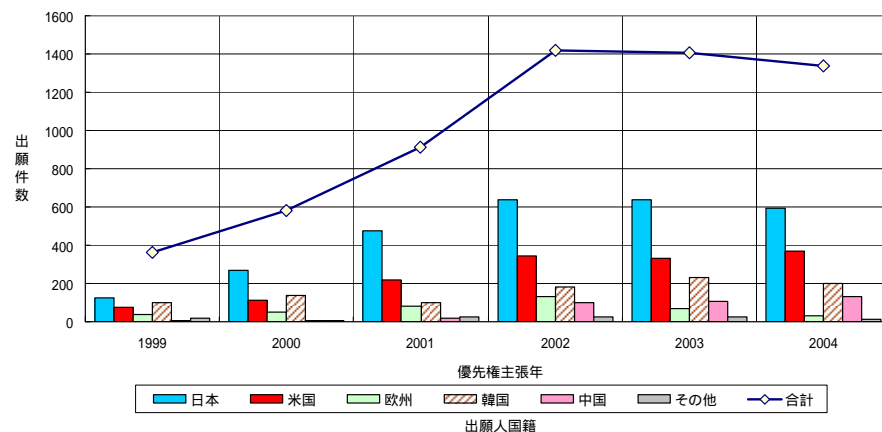


#### 第2節 CNTに関する出願人国籍別特許出願件数推移

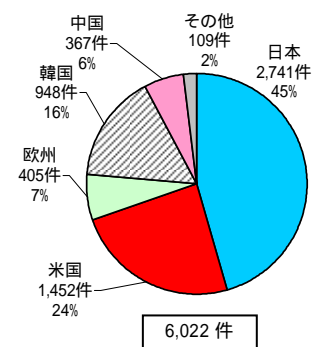
CNTに関する特許出願の出願人国籍別出願件数の推移と構成比率を図3-2に示す。

図3-2 CNTに関する出願人国籍別出願件数推移と構成比率(全世界)

a) 出願人国籍別出願件数推移



b) 構成比率



日本国籍出願人からの出願件数が最も多く全体の45%を占め、次いで米国国籍出願人(24%)、韓国国籍出願人(16%)、欧州国籍出願人(7%)、中国国籍出願人(6%)の順番になっている。日本国籍出願人からの特許出願は1999年から毎年増加し、2002年には600件を越えたが、その後は2004年までほぼ600件で推移している。米国国籍出願人と韓国国

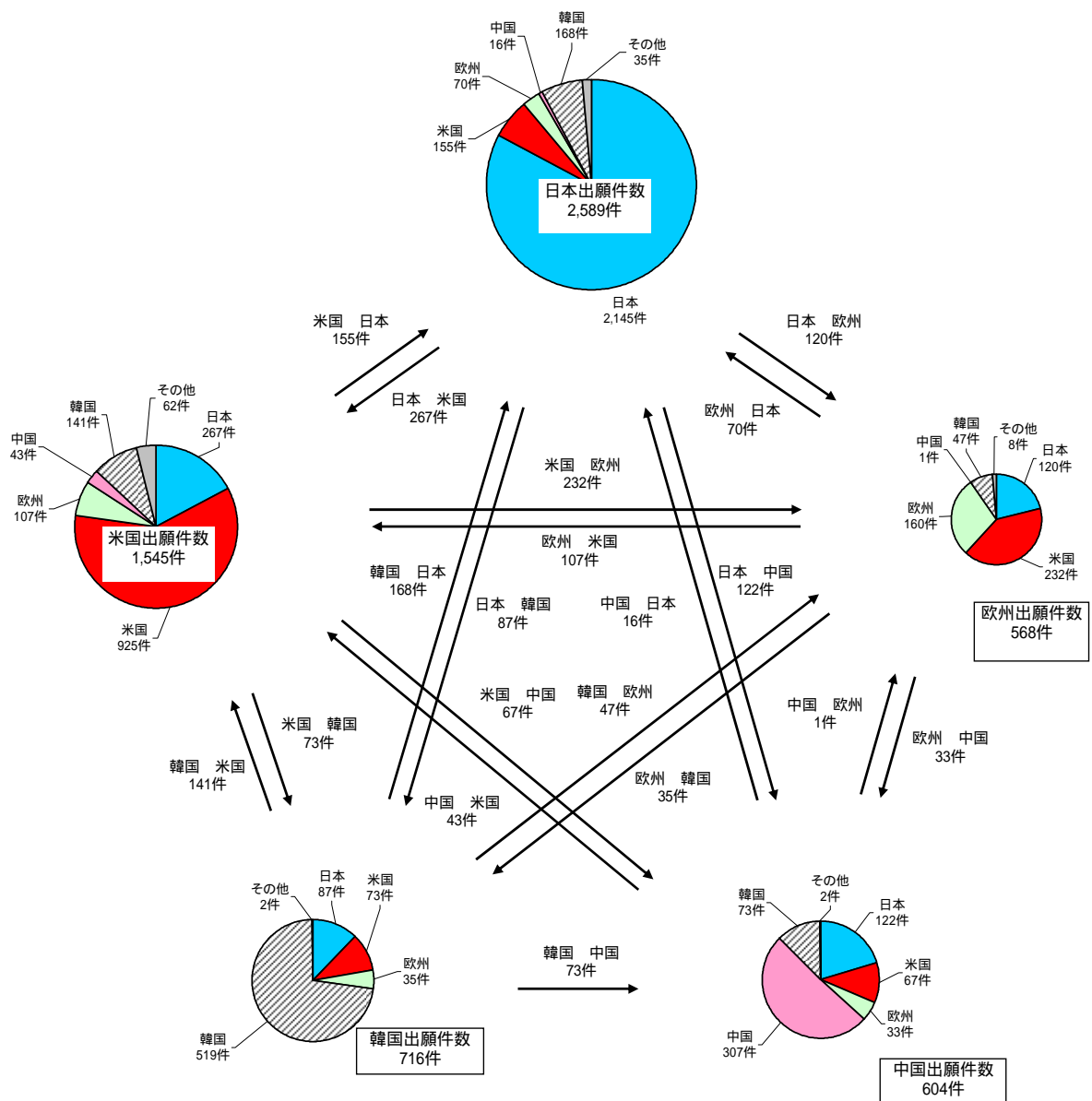
籍出願人からの出願は、日本国籍出願人からの出願とほぼ同様の推移を示すが、欧州国籍出願人からの出願は 2002 年をピークにその後の出願件数が減少している。一方、中国国籍出願人からの出願は、2001 年から増え始め 2004 年に至るまで増加傾向にある。

### 第 3 節 CNT に関する出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支

CNT に関する特許出願の出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支を図 3-3 に示す。

全体的に見て、日本国籍出願人の日本への出願が多いが、米国をはじめ中国、欧州、韓国への出願も多く見られる。米国国籍出願人も日本や欧州を中心に、韓国や中国へも出願している。韓国国籍出願人は、米国と日本を中心に、中国へも多数の特許出願を行っている。一方、中国から外国への特許出願件数はそれほど多くはないが、日米韓からは多数の特許出願が中国へ行われている。

図 3-3 出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支（全世界）



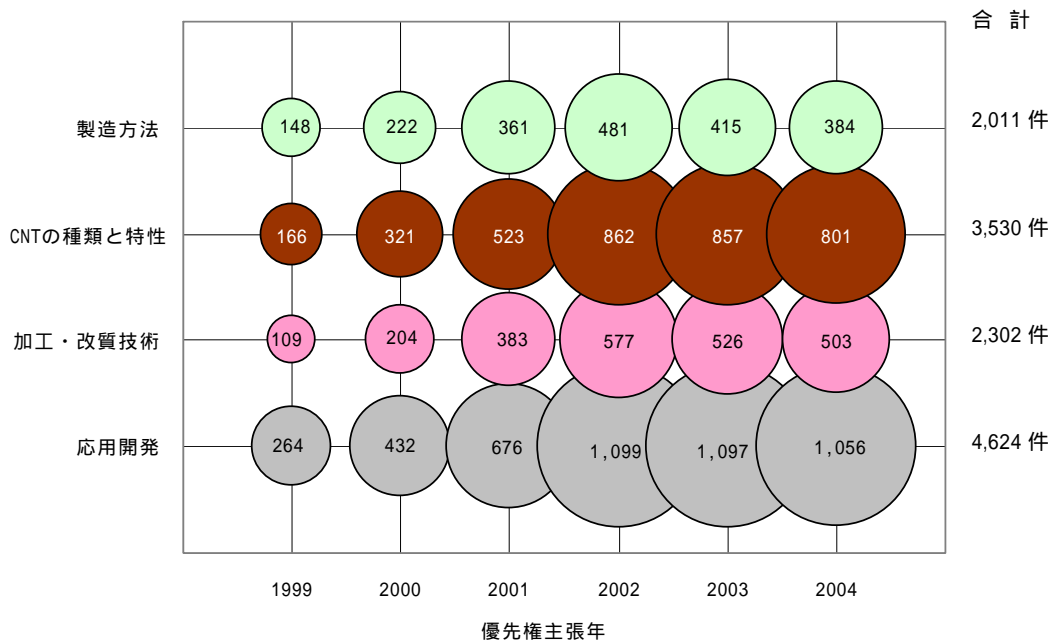


#### 第4節 CNTの技術項目別の出願件数推移

CNT関連特許出願から、1)製造方法(合成法、分離・精製、製造技術等)、2)CNTの種類と特性(MWNT、SWNT、DWNT等のCNTの種類、内包型CNT、機械的、物理的あるいは化学的等のCNTの特性等)、3)加工・改質技術(表面処理機能化・官能化、分散・可溶化、ドーピング等)および4)応用開発(高機能材料分野、情報電子・エレクトロニクス分野、エネルギー・環境分野、ライフサイエンス分野等)の4つの主要な技術項目に関連する出願件数推移を図3-4に示す。

いずれの技術項目も1999年から2002年にかけて出願件数が毎年大幅に増加したが、2002年をピークに若干の減少傾向が認められる。

図3-4 技術項目別の出願件数推移(全世界)



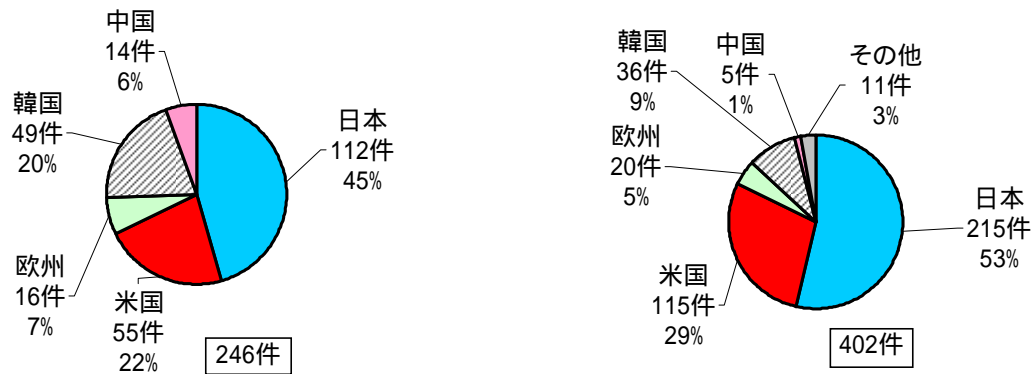
今後、安価で安全性の高いCNTを市場に供給するためには、CNTの量産化技術を含む製造技術、分離精製技術および分散化技術の構築が主要な課題と考えられる。

図3-5に示すように、「分離・精製方法」および「製造技術」に関し各々246件および402件と多くの特許出願があり、いずれも日本国籍出願人からの出願が50%前後を占め、次いで米国国籍出願人が続いている。「分離・精製方法」では、韓国国籍出願人が20%の出願比率であることが注目される

図 3-5 CNT の分離・精製方法および製造技術に関する特許出願（全世界）

a) 分離・精製

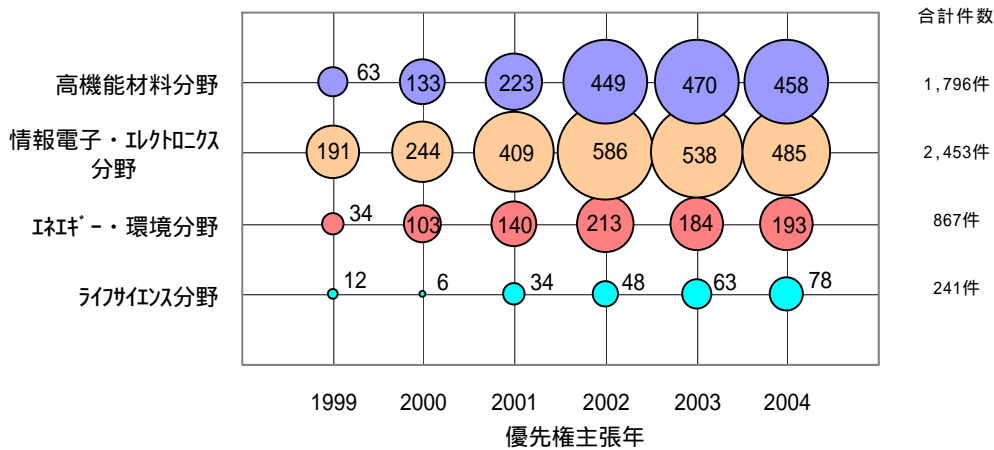
b) 製造技術



CNT の応用開発では、図 3-6 に示すように、情報電子・エレクトロニクス分野に 2,453 件と最も多くの特許出願が行われ、次いで高機能材料分野の 1,796 件、エネルギー・環境分野の 867 件が続いている。いずれも出願件数は 2002 年に至るまで大幅に増加し、その後 2004 年へと若干減少傾向にある。ライフサイエンス分野は、出願件数はまだ少ないが 2002 年以降も増加傾向にある。

量産化技術の発展により安価な CNT が供給され、合わせて CNT の実用化に向けての関連技術の開発が進むにつれ、複合材料等の高機能材料分野などでの実用化・商品化が着実に拡大することが期待される。

図 3-6 CNT の応用開発の中分類別の出願推移（全世界）



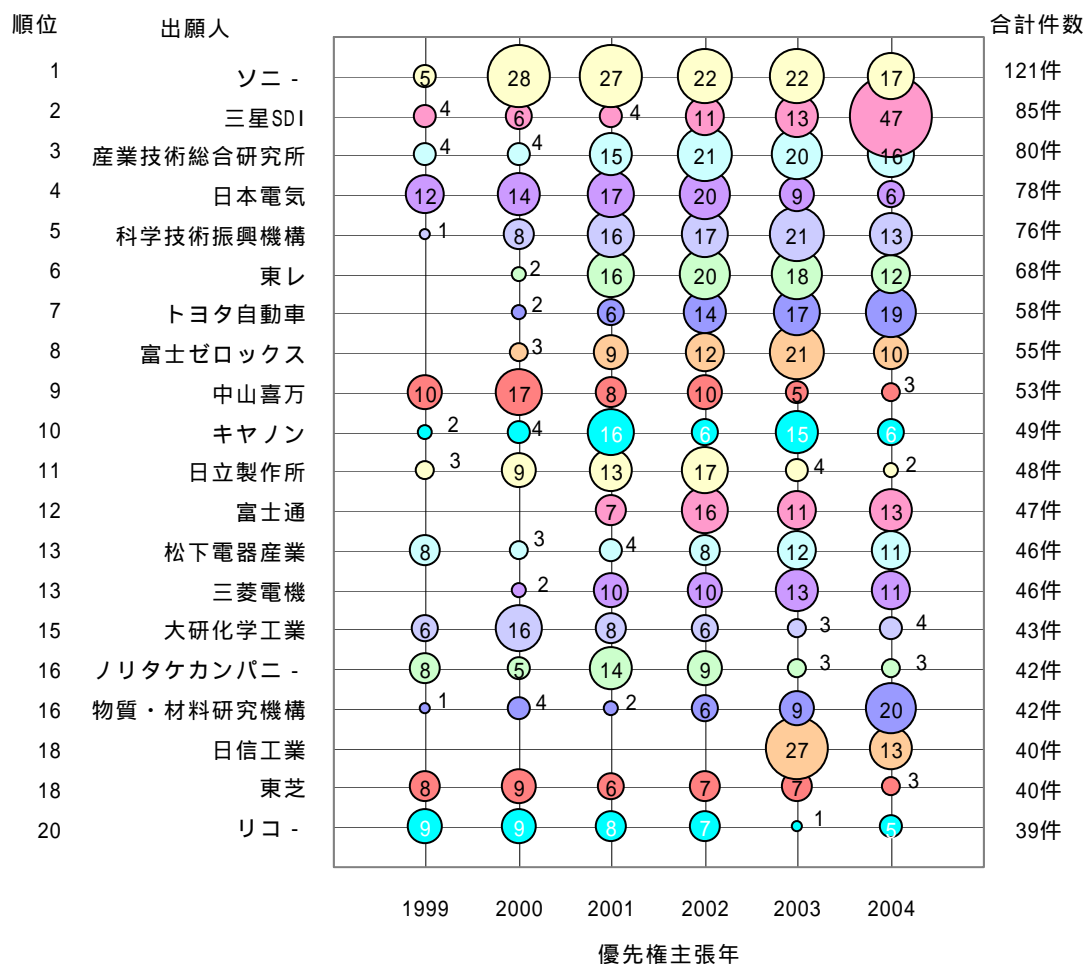
## 第5節 CNTの日本への特許出願件数上位ランキング

### (1) 出願人全体

CNT関連特許の日本への出願件数の上位20位を図3-7に示す。

ソニーが121件で最も出願件数が多く、三星SDI、産業技術総合研究所、日本電気が続いている。

図3-7 日本への出願件数上位ランキングおよび出願件数推移



### (2) 大学・研究機関

大学・研究機関から日本へ出願された特許出願件数の上位ランキングを表3-8に示す。

産業技術総合研究所、科学技術振興機構、物質・材料研究機構の日本の公的研究機関が上位を占め、次いで、信州大学、ファインセラミックスセンター、名古屋大学が続く。一方、海外からの出願ではITRI(台湾)、清華大学(中国)のほか、韓国科学技術院(韓国)、Rice大学(米国)、CEA(フランス)、North Carolina大学(米国)、CSIRO(オーストラリア)などの研究機関および大学からの出願が上位を占めている。

表 3-8 大学・研究機関から日本への出願件数上位ランキング

| 順位   | 大学・研究機関名       | 出願件数 |
|--|----------------|------|
| 1  | 産業技術総合研究所      | 80   |
| 2  | 科学技術振興機構       | 76   |
| 3  | 物質・材料研究機構      | 42   |
| 4  | 信州大学           | 23   |
| 5  | ITRI(台湾)       | 20   |
| 5  | ファインセラミックスセンター | 20   |
| 7  | 名古屋大学          | 17   |
| 8  | 清華大学(中国)       | 12   |
| 9  | 地球環境産業技術研究機構   | 10   |
| 9件:韓国科学技術院(韓国)<br>7件:Rice 大学(米国)、CEA(フランス)、産業創造研究所、科学技術振興事業団<br>6件:大阪府立大学、関西 TLO、名古屋工業大学<br>5件:名城大学、North Carolina 大学(米国)、CSIRO(オーストラリア) |                |      |

## 第 6 節 研究開発参入プレイヤー

### ( 1 ) 研究開発参入プレイヤー

特許出願件数から見た研究開発プレイヤーを、出願人国籍別に企業、大学、研究機関に分けて表 3-9 に示す

研究開発プレイヤーとしては、Hyperion Catalysis International、日進ナノテックなどの CNT のベンチャー企業もあるが、特に日米ではほとんどが電気・エレクトロニクス分野を中心とする大手企業により占められている。大学、研究機関においても、各国の主要な大学および研究機関が名を連ねており、次世代技術として取り組んでいると思われる。

表 3-9 CNT の研究開発プレイヤー

|      | 日本  | 米国  | 欧州   | 韓国                               | 中国   |
|------|---|---|--|----------------------------------|--|
| 企業   | ソニー、日本電気<br>東レ、トヨタ自動車<br>富士ゼロックス<br>キヤノン、富士通<br>日立製作所<br>松下電器産業<br>三菱電機、大研化学<br>リリタケ、日信工業 | Hyperion Catal.<br>GE<br>E.I.DuPont<br>Rockheed Martin<br>IBM<br>Intel<br>Motorola<br>Battele | Nantero<br>Infineon<br>Philips Elec.<br>Lucent Tech. | 三星SDI<br>LG電子<br>三星電子<br>日進ナノテック | Hongfujin Prec<br>Hon Hai Prec                 |
| 大学   | 信州大学<br>名古屋大学<br>大阪府立大学<br>名古屋工業大学<br>名城大学  | Rice大学<br>Kentucky大学<br>California大学<br>Oklahoma 大学   |  | Postech Found<br>Pohang SciTec   | 清華大学<br>浙江大学<br>上海交通大学<br>北京大学<br>天津大学<br>南京大学 |
| 研究機関 | 産業技術総合研究所<br>科学技術振興機構<br>物質・材料研究機構<br>ファインセラミックスセンター                                      | NASA  | 仏原子力委<br><br>CSIRO(豪州)                               | KIST<br>ETRI                     | 中国科学技術院<br><br>ITRI(台湾)                        |

## (2) 研究開発リーダーについての概要

主要な技術項目に関する特許出願状況から見た研究開発リーダーの概要について以下に示す。

### CNTの製造

産業技術総合研究所は、CVD法によりSWNT、DWNT、MWNTの各々を高純度、高効率で製造する方法、および量産化に適した製造方法の研究開発を進め、民間企業との協力で量産化を目指している。

東レは無機多孔体を担体とする金属触媒により、信州大学はFe/Mo系の触媒により高純度DWNTを製造する技術を開発した。

信州大学のCNT製造技術は、物産ナノテク、昭和電工、GSIクレオスおよびJFEエンジニアリングでの量産技術として適応されている。

### 内包型CNT

内包型CNTの製造関係では大阪瓦斯の特許出願が多い。応用では、演算・記憶素子(ソニー)、医薬・医療分野でのDDS(日本電気)などに多くの出願がある。

### 電子デバイス

電子デバイス分野での日本への出願では、富士通(24件)とソニー(24件)の出願が多い。ソニーは、トランジスタ、光電変換、演算素子、記憶素子など電子デバイス関連に広範な特許出願が行われている。富士通は特にLSI配線で世界の研究開発をリードしている。海外からは、IBM、三星電子、ITRI等からの特許出願が多い。

### 電子放出

韓国の三星SDI、LG電子、台湾のITRIなどがFED、冷陰極などの電子放出関連の特許を精力的に出願し、特にITRIは米国での登録件数が第1位となっている。

### 大学・研究機関

大学・研究機関では、産業技術総合研究所が出願件数、登録件数とも最も多い。次いで、日本では信州大学、名古屋大学、中国では清華大学、台湾ではITRI、韓国ではKIST、ETRI、米国ではRice大学などの出願件数が多い。

## 第7節 ビジネス参入プレイヤー

### (1) 市場概要

現在のCNTの主な市場は、複合樹脂用途、リチウム電池負極材用途および大学・企業への研究開発用のサンプル提供である。複合樹脂用途でHyperion Catalysis Internationalが、リチウム電池負極材用途で昭和電工がCNTを量産し商品として販売している。

世界中でCNTの生産が始まりつつあるが、製造方法、製品品質、純度、価格などバラバラであり、また小規模生産のベンチャー的企業が多いこともあり、CNTの生産量、市場規模とも実態は正確に把握できていない。CNT応用製品でも開発は進んでいるものの、複合樹脂用途およびリチウム電池負極材以外は大型商品が生まれていないことから、CNT応用製品の市場規模の把握は困難な状況にある。そうした中でも、生産量で100ton前後、売り上げとして200億円強程度のCNTの市場は2004年段階で出来ているものと推定される。

インターネットで公開されているCNTの価格は、CNTの種類、製造方法、純度、品質、メーカー等により大きな幅があり、精製SWNTは1g当たり1万円から20万円以上まで、MWNTは数百円から1万円以上のものまでである。複合材料等への利用では競合するカーボ

ン材料に取って代わるためには MWNT で 10 円/g が当面の価格目標とされており、CNT の実用化の観点からすると、CNT の大幅なコストダウンが求められる。国内メーカーの最近の MWNT の量産品価格は ~ 100 円/g 程度まで低下しているものと思われる。

今後 CNT のコストを CNT の生産規模を拡大することにより下げるためには、CNT 需要の拡大が必須である。そのためにも CNT を利用した商品開発の加速が求められる。

### ( 2 ) ビジネス参入プレイヤー

CNT の製造・販売等を行っている企業の例を表 3-10 に示す。

CNT の応用製品では、大研化学工業がナノピンセット、原子間力顕微鏡 ( AFM ) 向けプローブ、油化電子が導電性樹脂ハードディスク用搬送トレイを販売しているが、本格的な市場形成はこれからである。

表 3-10 CNT 製造・販売企業の例

|          | 日本   | 米国  | 欧州   | 韓国                               | 中国   |
|----------|--|---|--|----------------------------------|--|
| 企業       | 物産ナノテク研究所<br>昭和電工<br>GSI クレオス<br>JFE エンジニアリング<br>日機装<br>住友商事 ( 米 CNI 品 )<br>本荘ケミカル<br>日本電気 | Hyperion Catalysis<br>Bucky<br>Nanotechnologies<br>Carbon Solutions<br>Catalytic Materials<br>MER Corporation<br>Nanocs<br>International<br>Nanolab<br>SES Research | Bayer ( ドイツ )<br>Nanoledge<br>( フランス )<br>Nanothinx<br>( ギリシャ )<br>Rosseter Holdings<br>( キプロス )<br>Nanocarblab<br>( ロシア ) | Iljin<br>Nanotech<br>( 日進ナノテック ) | Sun Nanotech<br>Sunraynano<br>Advance<br>Science |
| 大学発ベンチャー | 名城ナノカーボン<br>ナノフロンティア<br>MEFS   | CNI ( Carbon<br>Nanotechnologies<br>Carbolex<br>SouthWest<br>NanoTechnologies   | Nanocyl ( ベルギー )   |                                  | Shenzhen<br>Nanotech Port<br>( NTP )             |

### ( 3 ) ビジネスリーダーについての概要

国内では、物産ナノテク研究所 / ナノカーボンテクノロジーと昭和電工が 100t/y 規模の量産体制を整えた。その他に、GSI クレオスはカップスタック型 CNT、本荘ケミカルと名城ナノカーボンはアーク法により用途に応じた SWNT、DWNT を、JFE エンジニアリングは多角形断面を有する CNT テープ、日本電気は CNH など各々特徴のある CNT を製造している。

米国では、Hyperion Catalysis International が、樹脂複合材料用途に CNT の各種マスターバッチを販売している。それ以外では、CNI が全世界の企業・大学に SWNT を供給しているほか、大学発ベンチャー企業として Carbolex、SouthWest NanoTechnologies などが CNT を製造・販売している。

欧州では Bayer が CNT の量産体制に入ったものと思われ、ベルギーの Nanocyl は 15 kg/day の製造能力を持つとされている。

中国では、中国科学技術院の技術をベースとした Shenzhen Nanotech Port ( NTP ) のほか Sun Nanotech ( 中国 ) など安価な CNT を供給している。韓国では、Iljin Nanotech ( 日進ナノテク ) が基板上に成長した MWNT、アーク放電法および CVD 法による MWNT および SWNT の製造を行っている。

日本の製造メーカーは CNT の種類、構造、純度を制御した製造方法を開発すると共に、その量産化技術の開発も行い、量産化体制を整えつつある。海外では中国の Shenzhen Nanotech Port (NTP) やキプロスなどの Rosseter Holdings などが、安価な CNT の供給を始めている。製品品質あるいは製品の独自性など考慮すると、日本企業の産業競争力は高いと判断されるが、今後とも競争力を維持するためには、品質を保持した上での大幅な製品価格の低減を達成することが求められている。

また、日本の産業競争力を保持するためには、品質レベルが低く安全性にも問題があるような“低品質 CNT”の流通を許さない、“国際的な CNT の標準化”を日本のイニシアチブのもとに強力に押し進めていくことが強く求められる。

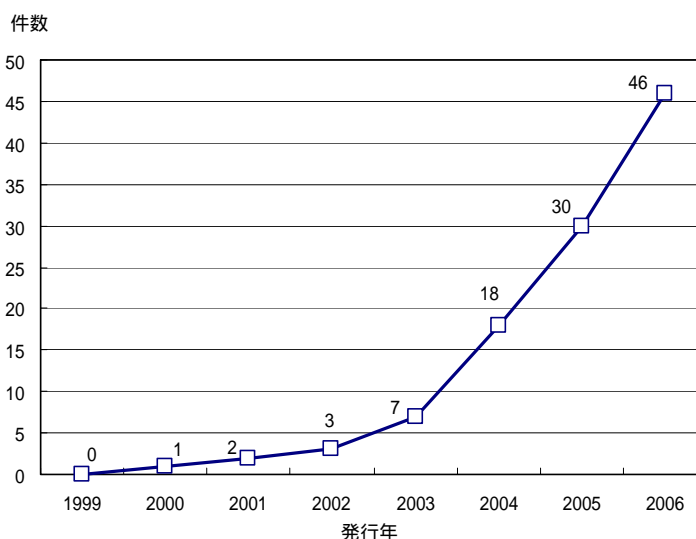
## 第 8 節 CNT の安全性

CNT、フラーレンなどのナノ粒子は、化学物質の規制という視点ではカーボンという既存物質に分類されており、生産に対する規制は受けないが、ナノサイズまで超微粒子にすることで呼吸器系や免疫システムなどにダメージを与えるという有害情報もある。有害情報の多くは、試験素材のサイズや形状、成分（化学構造、不純物）がはっきりせず、有害性がナノサイズに起因しているのか、その不純物や処理方法に起因するのかがはっきりしていないので、まず、物理的・化学的特性を測定しつつ、有害性試験をしていく必要がある。

日本では、ナノ粒子の安全性に関する研究開発（「ナノテクノロジーの社会受容のための研究開発」）は、「科学技術基本計画」と「分野別推進戦略」によって推進される。分野ごとの研究開発目標と成果目標、今後 5 年間に政府が取り組むべき重要研究課題、重点投資すべき戦略重点科学技術を示した「分野別推進戦略」のナノテクノロジー・材料分野の重要研究課題の 1 つに「ナノテクノロジーの責任ある研究開発」があげられている。2011 年までにナノ粒子の特性やリスクの評価手法、管理手法を確立すること、2020 年頃までにナノ物質による人の健康影響に関するリスクを最小化することなどを目標として、産業技術総合研究所の化学物質リスク管理研究センター、厚生労働省所管の国立医薬品食品衛生研究所などを中心に研究開発が進められている。

CNT のナノリスクに関連する論文の発表件数推移を図 3-11 に示す。

図 3-11 CNT のナノリスク関連論文発表件数推移



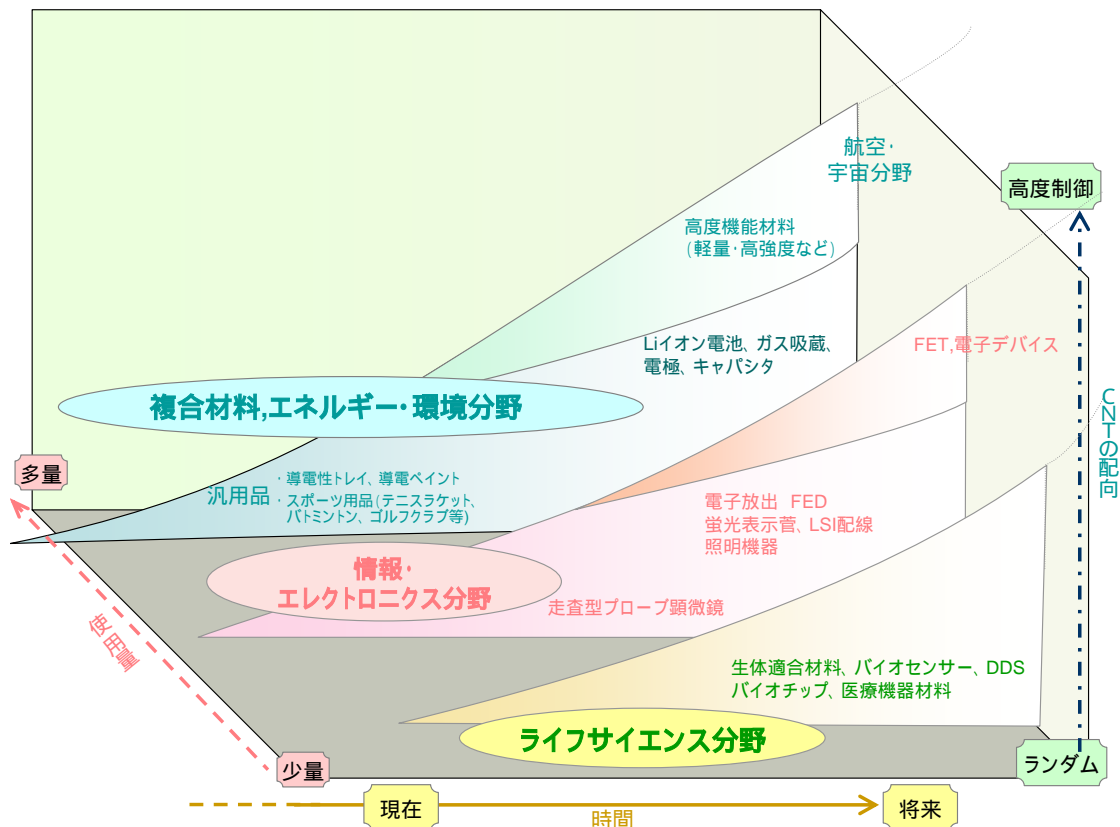
CNTのナノリスクに関連する学術論文は、2000年には1件であったが、2003年頃から急激に増加し、2006年には46件に達している。各国でのCNTのナノリスクに対する取り組みによる研究成果が、論文発表という形で社会に公開され、科学的な議論が始まりつつあることを示すものと思われる。

### 第9節 将来展望

CNTの技術開発の方向性のイメージを、図3-12に示す。

- 1) 複合材料分野およびエネルギー環境分野では、既に実用化されているリチウムイオン電池および導電性トレイ、テニスラケット、ゴルフクラブ等の汎用品から、現在技術的には実用化段階にあるガス吸着剤、触媒電極の実用化が進み、更に構造・配向性をより高度に制御した機能材料分野に発展し、自動車、航空機産業などでの大きな市場が期待される。
- 2) 情報電子・エレクトロニクス分野では、既に実用化されている走査型プローブ顕微鏡のプローブなどから、実用化に近い開発段階にあるFEDやLSI配線を経て、将来的にはCNTの位置や構造を厳密に制御するFET等の電子デバイスへと開発が進んでいくものと思われる。一方、ライフサイエンス分野では、CNTの表面処理、あるいは機能分子のCNTへの内包等の技術開発の中で、生体適合材料、バイオセンサそしてDDSへと開発は進むものと思われる。

図3-12 CNTの技術開発の方向性





## 第4章 光半導体分野の要約

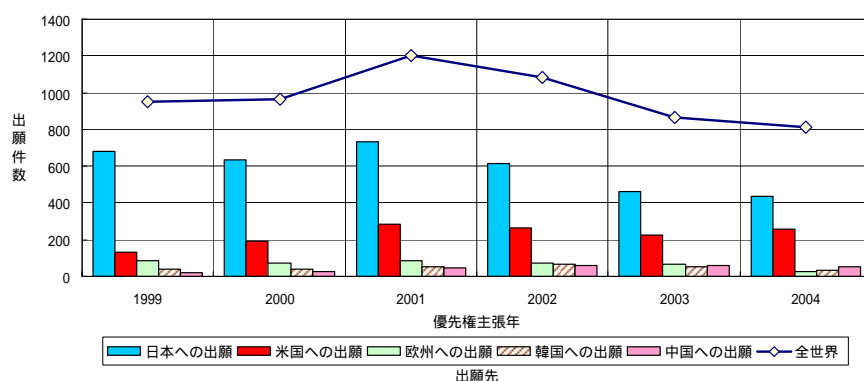
### 第1節 光半導体に関する出願先国別特許出願件数推移

光半導体に関する日本、米国、欧州<sup>1</sup>、韓国および中国<sup>2</sup>への、出願先国別特許出願件数推移と構成比率を図4-1に示す。

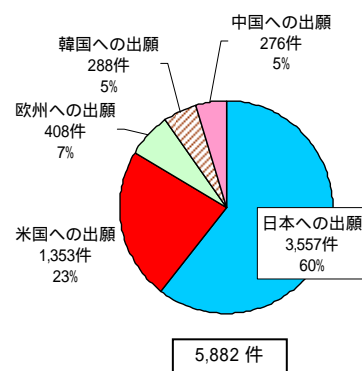
全世界への出願件数の合計は、2001年の1200件が最も多く、2002年以降は減少傾向である。日本への出願が最も多いが、2002年までは600件以上の出願があったのに対し、2003年以降は400件程度となっている。これに対して、米国への出願は2001年以降200件以上を保っており、日米の件数の差が縮まっている。欧州、韓国および中国への出願は数10件程度である。

図4-1 光半導体に関する出願先国別出願件数推移と構成比率（全世界）

a) 出願先国別出願件数推移



b) 構成比率



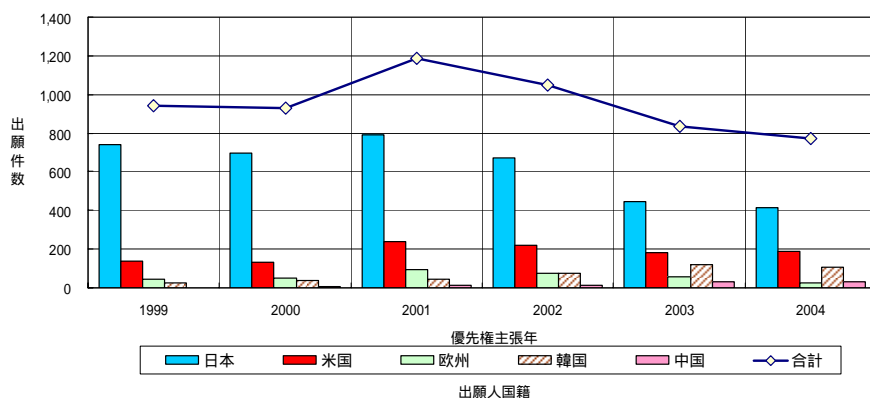
### 第2節 光半導体に関する出願人国籍別特許出願件数推移

光半導体に関する特許出願の出願人国籍別出願件数推移と構成比率を図4-2に示す。

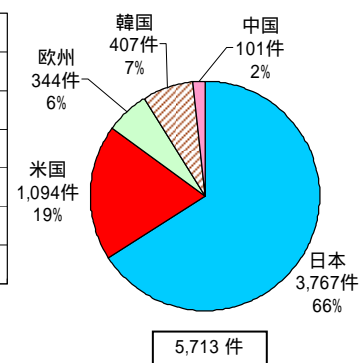
それぞれ自国からの出願が多いことを反映し、出願先国別の推移と類似の傾向を示す。1999年には日本国籍出願人が多いが、2004年には日本国籍出願人が減り、韓国国籍出願人と中国国籍出願人が増えている。図4-2では、その他国籍出願人からの出願を除いた。

図4-2 光半導体に関する出願人国籍別出願件数推移と構成比率

a) 出願人国籍別出願件数推移



b) 構成比率



<sup>1</sup> 欧州への出願は、欧州特許庁が発行した公報を対象とした。

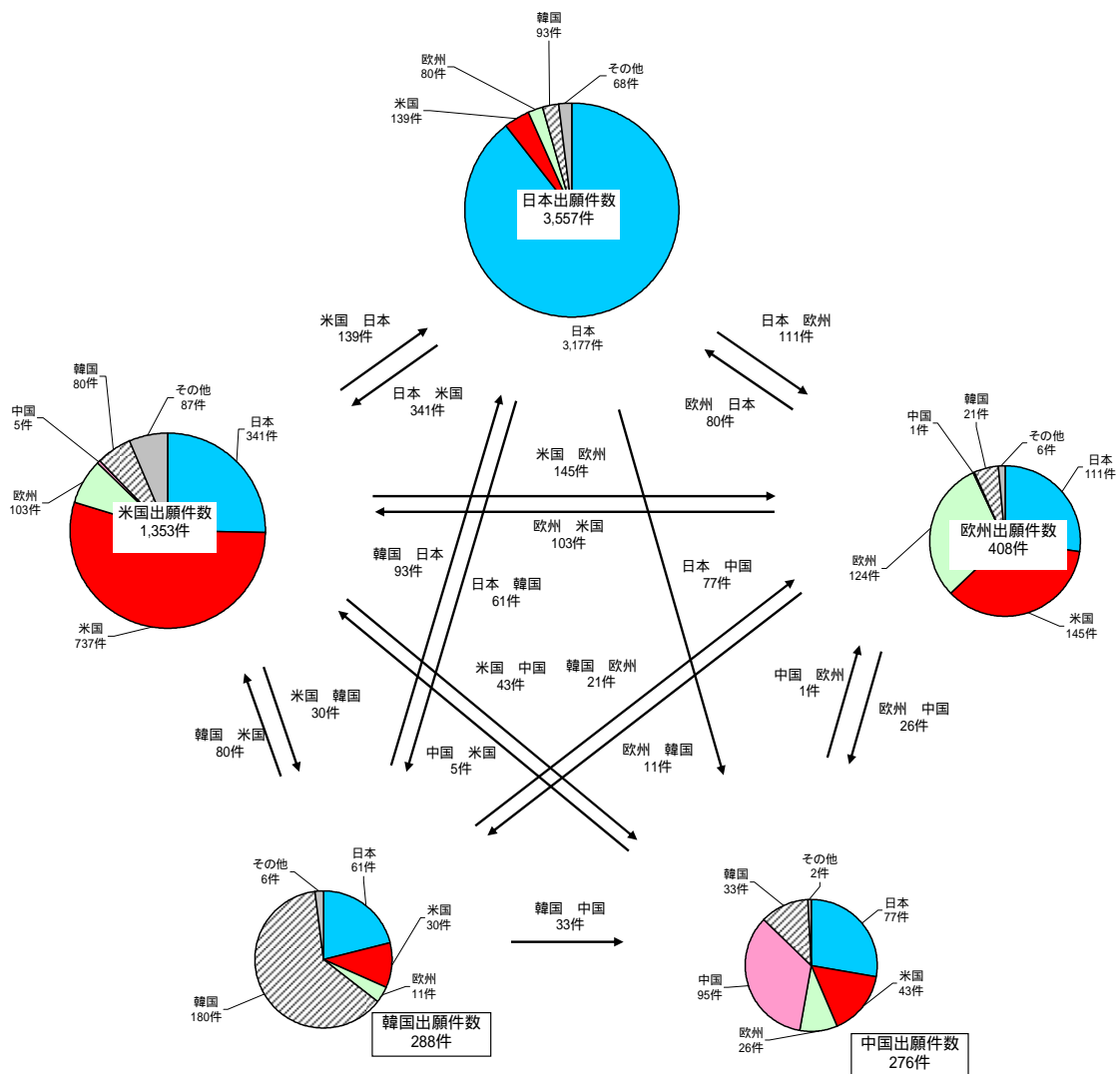
<sup>2</sup> この5カ国・地域への出願を、全世界への出願と定義する。

### 第3節 光半導体に関する出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支

光半導体に関する特許出願の出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支を図 4-3 に示す。

日本への出願件数は 3,557 件で、米国への出願件数 1,353 件の約 2.6 倍である。欧州、韓国および中国への出願件数はそれぞれ、408 件、288 件、276 件で、日米より少ない。日本、米国、韓国および中国では、自国からの出願件数が最も多いが、欧州への出願件数は、欧州国籍出願人より米国国籍出願人の方が多い。日本国籍出願人の出願件数は、米国と欧州では日本への出願件数より多いが、韓国と日本の間では、韓国国籍出願人から日本への出願件数の方が多。韓国国籍出願人の出願件数は、米国、欧州および中国との間でも、韓国への出願件数より多くなっている。中国国籍出願人は自国には出願するものの外国への出願件数は少なく、欧米に数件出願しているのみであり、日本と韓国へは出願していない。

図 4-3 出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支（全世界）



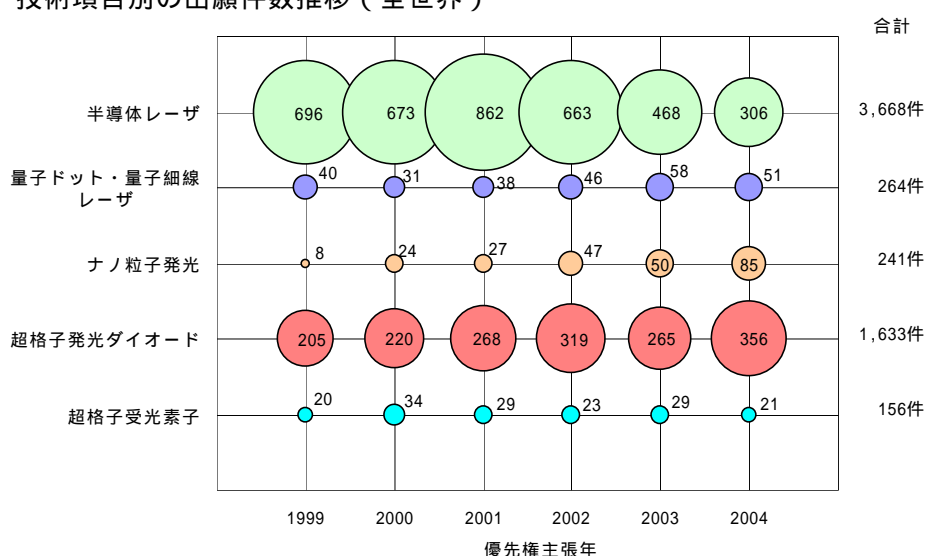
#### 第4節 光半導体の技術項目別の出願件数推移

光半導体関係の特許出願を、平成13年度調査と同様に、大分類としては、半導体レーザ、量子ドット・量子細線レーザ、ナノ粒子発光、超格子発光ダイオード、超格子受光素子の5項目に分類し、さらに中分類、小分類を設定して技術項目別出願動向を調査した。

大分類として設定した5項目の、全世界合計の出願件数推移を図4-4に示す。

半導体レーザは、2001年に最も多く、2002年以降は減少傾向である。量子ドット・量子細線レーザは30～60件程度で推移している。ナノ粒子発光は増加傾向で、1999年には8件であったところ2004年には85件と10倍になっている。超格子発光ダイオードも増加傾向で、2004年には半導体レーザより多くなっている。超格子受光素子は20～35件で推移している。

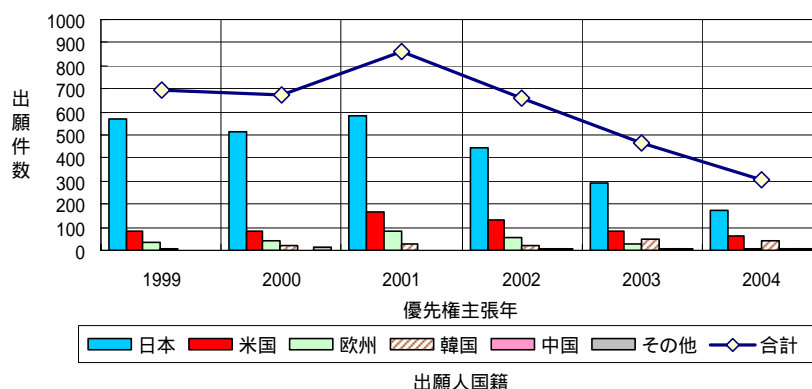
図4-4 技術項目別の出願件数推移（全世界）



次に、主な技術項目別解析結果を示す。

半導体レーザの出願人国籍別出願件数推移を図4-5に示す。全世界で見ると2001年の特許出願件数のピーク（862件）の後、出願件数は連続的に減少し2004年にはピーク時の約1/3の306件になった。日本国籍出願人からの出願件数は、1999年～2001年まで500～600件の間で推移したが、その後は連続的に減少し2004年には200件を下回った。米国と欧州国籍出願人からの出願件数も2001年に特許出願にピークがあり、その後減少傾向を示し、特に欧州国籍出願人からの出願件数の低下傾向が著しい。韓国国籍出願人からの出願件数は、件数自体はまだ少ないが、1999年以降緩やかに増加する傾向がある。

図4-5 「半導体レーザ」に関する出願人国籍別出願件数推移

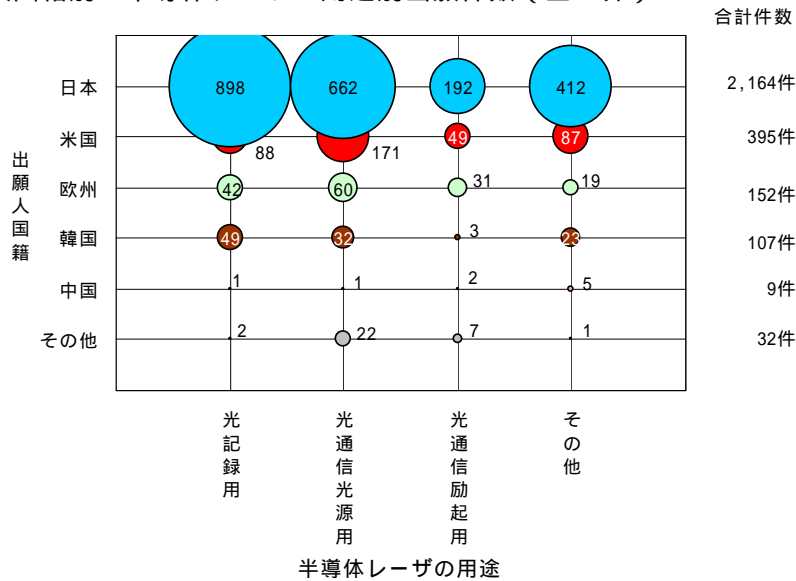


出願人国籍別の半導体レーザーの特許文献に示された用途別出願件数を図 4-6 に示す。

光記録用（光ピックアップ用）と光通信用（光源用と励起用）を比較すると、日本国籍と韓国国籍の出願人からの出願件数は光通信用より光記録用が多く、米国籍と欧州国籍の出願人からの出願件数は光記録用より光通信用半導体レーザーに関する出願件数が多いことが分かる。

その他の用途としては、医療用、レーザープリンター用、バーコードリーダー用などがある。さらには、移動する物体の角速度を検出するための、半導体リングレーザーを用いたジャイロスコープ、青緑赤の半導体レーザーを用いてスクリーン上に画像を投影するプロジェクターなどがある。

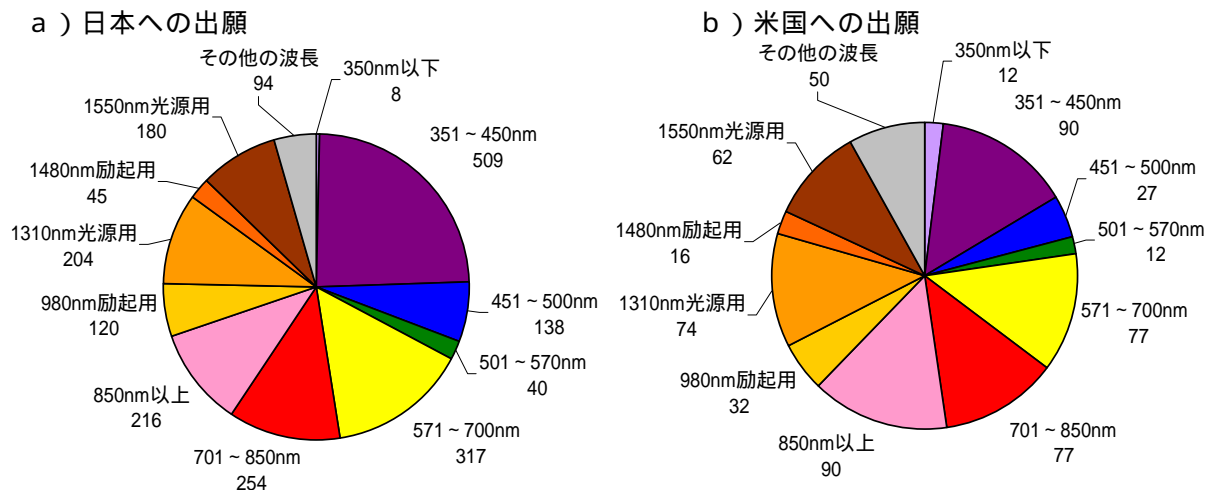
図 4-6 出願人国籍別・半導体レーザーの用途別出願件数（全世界）



半導体レーザーの波長別特許出願件数の日本と米国の比較を図 4-7 に示す。

日本への出願では 351～450nm（紫外から青紫色）が約 25% と特徴的に多い。米国への出願では特に多い波長域はない。日本において、次世代 DVD 用 405nm 半導体レーザーの開発が活発に行われていることを示すと考えられる。501～570nm の緑色レーザーに関する出願は日米とも少ない。

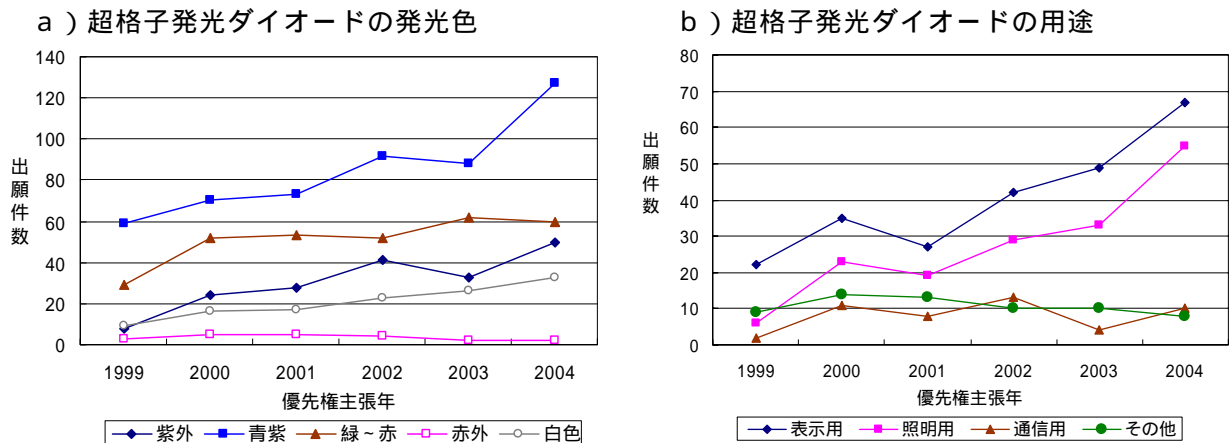
図 4-7 半導体レーザーの波長別特許出願件数（1999 年～2005 年出願）



超格子発光ダイオードに関する、発光色と用途について、日本に出願された特許出願件数推移を図 4-8 に示す。

発光色では青紫、紫外、白色が増加している。用途では、従来から使用されている表示用途として用いるものが最も多いものの、照明用途が表示用途に迫る勢いで伸びている。

図 4-8 超格子発光ダイオードの発光色と用途の特許出願件数推移（日本）

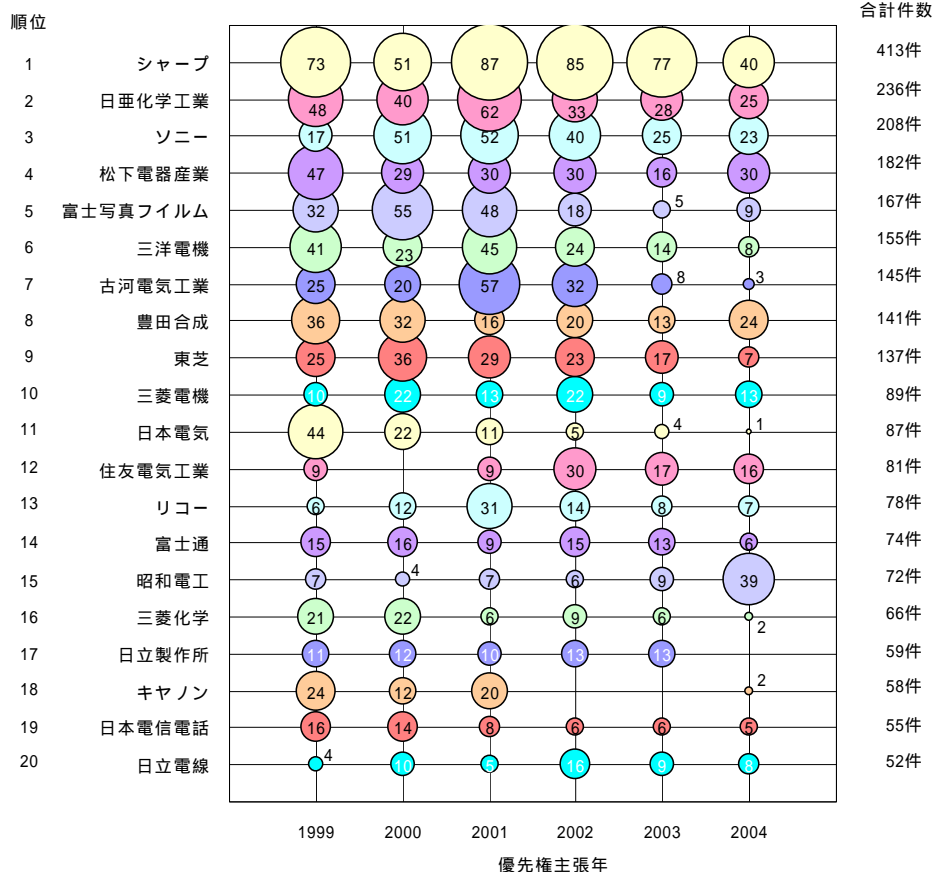


## 第 5 節 光半導体の日本への特許出願件数上位ランキング

### ( 1 ) 出願人全体

光半導体関係特許の日本への出願件数上位ランキングを図 4-9 に示す。  
シャープがトップ、2 位が日亜化学工業、3 位がソニーとなっている。

図 4-9 日本への出願件数上位ランキングおよび出願件数推移

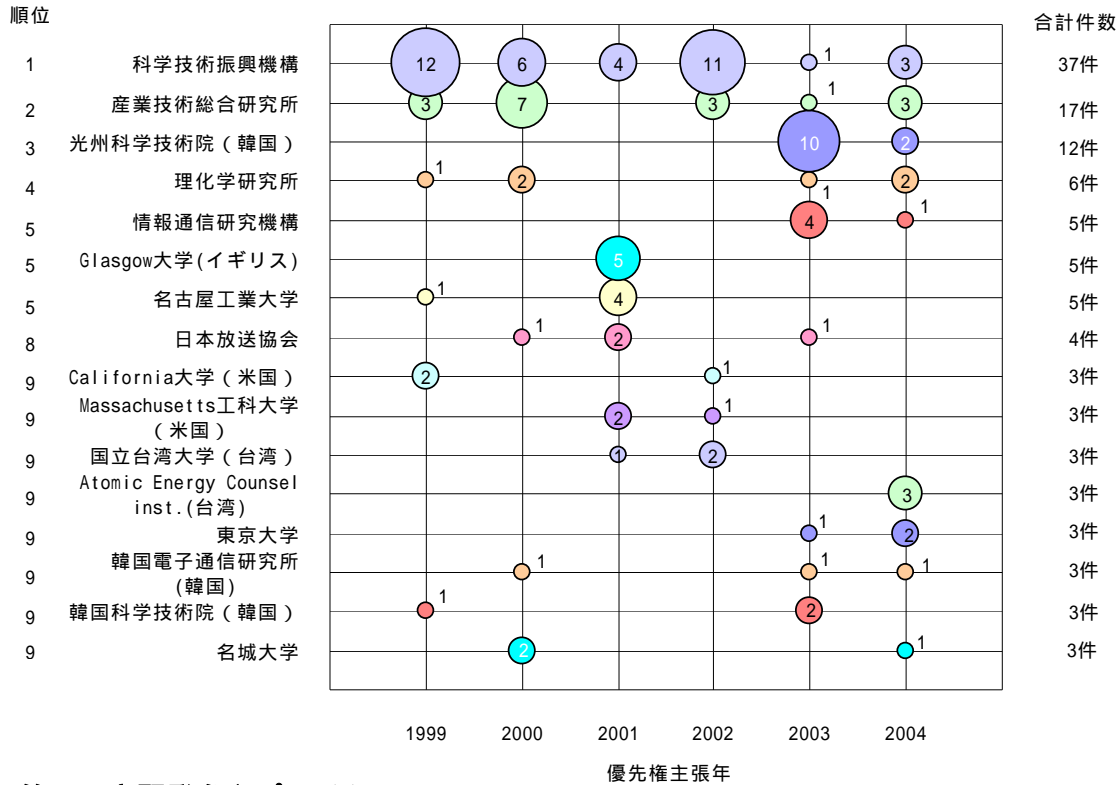


( 2 ) 大学・研究機関

大学・研究機関から日本への出願件数上位ランキングを図 4-10 に示す。

1 位は科学技術振興機構、2 位は産業技術総合研究所、3 位は韓国の光州科学技術院となっている。

図 4-10 大学・研究機関から日本への出願件数上位ランキング



第 6 節 研究開発参入プレイヤー

( 1 ) 研究開発参入プレイヤー

特許出願件数から見た、研究開発プレイヤーを表 4-11 に示す。

表中の数字は自国への出願 (米国は登録) における出願件数の順位を示している。日本企業は上位 10 社、大学・研究機関は 100 位まで、外国企業は 20 位まで、大学・研究機関は 50 位までからピックアップした。これらに含まれない企業でも、光半導体の研究開発で成果を上げている企業、あるいは学術的な貢献度が大きい大学・研究機関を含めた。

( 2 ) 研究開発リーダーについての概要

主要な製品の特許出願状況から見た研究開発リーダーの概要について以下に示す。

光通信用半導体レーザ

光通信光源用半導体レーザの特許出願件数 (日本への出願) は、古河電気工業が 77 件、リコーと日立製作所が 44 件、三菱電機 39 件、富士通 34 件となっている。光通信励起用半導体レーザは、古河電気工業が 42 件、三菱化学が 27 件、富士写真フイルムが 16 件、住友電気工業が 15 件、三井化学が 11 件となっており、化学系企業が 3 社入っている。光源用、励起用ともに古河電気工業が最も多い。古河電気工業は、米国と欧州でも半導体レーザの出願件数で上位にある。

表 4-11 光半導体の研究開発プレイヤー

|      | 日本   | 米国  | 欧州   | 韓国  | 中国   |
|------|--|---|--|---|--|
| 企業   | 1 シャープ<br>2 日亜化学工業<br>3 ソニー<br>4 松下電器産業<br>5 富士写真フイルム<br>6 三洋電機<br>7 古河電気工業<br>8 豊田合成<br>9 東芝<br>10 三菱電機<br>・ 日本電気<br>・ 富士通<br>・ 日本電信電話<br>・ 日立製作所 | 3 Finisar<br>3 Agilent Technologies<br>7 Applied Optoelectronics<br>10 Lucent Technologies<br>11 Xerox<br>13 Optical Communication<br>15 Cree<br>17 Lumileds Lighting | 4 Osram<br>4 Alpes Lasers<br>11 Bookham Technology<br>11 Avalon Photonics<br>20 Koninklijke Philips<br>20 Agfa-Gevaert | 1 三星電子<br>2 LG 電子<br>5 三星電機<br>5 LG Innotec<br>12 三星 SDI<br>14 Epivalley<br>18 Knowledge*On | 16 Jingyuan Photoelectric  |
| 大学   | 70 名古屋工業大学<br>87 東京大学<br>87 名城大学<br>・ 東京工業大学<br>・ 東北大学   | 3 California 大学<br>49 Illinois 大学<br>49 California 工科大学<br>・ Massachusetts 工科大学   | 7 Glasgow 大学   | 14 Postech<br>41 Dongkuk 大学   | 16 Qinghua 大学<br>16 Nanjing 大学<br>25 Jilin 大学<br>25 Beijing 大学<br><br>台湾大学(台湾) |
| 研究機関 | 24 科学技術振興機構<br>41 産業技術総合研究所<br>65 理化学研究所<br>70 情報通信研究機構<br>78 日本放送協会   | 28 U.S. Army  |  | 4 韓国科学技術院<br>8 韓国電子通信研究所<br>13 光州科学技術院  | 1 中国科学院<br>5 上海技術物理研究所   |

### 光記録用半導体レーザー

光記録用半導体レーザーの特許出願件数（日本への出願）は、シャープが 195 件、松下電器産業が 111 件、ソニーが 102 件、日亜化学工業が 73 件、東芝が 59 件となっている。青色レーザーで先行した日亜化学工業と、Blu-ray 陣営の中心的メンバーであるソニーと松下電器産業、それにシャープが入っており、HD-DVD 陣営をリードする東芝が入っている。次世代 DVD の開発競争と関連しているように見える。

#### 日亜化学工業の特許戦略転換

平成 13 年度版の調査時点では、日亜化学工業は青色発光素子に関して、製品は販売するがクロスライセンスや製造技術の供与はしない、という特許戦略のもとに、豊田合成、Cree、ロームなどと特許係争を行っていた。その後、2002 年 9 月に豊田合成と和解、さらに、この分野の大手企業である Lumileds、Cree と相次いでクロスライセンス契約を締結するなど大きな展開を見せた。

## 第 7 節 ビジネス参入プレイヤー

### (1) 市場概要

光半導体の市場について、現在比較的大きな市場が形成されている、半導体レーザーの光通信用、光記録用（光ピックアップ用）および発光ダイオードの世界市場規模を、2005 年までの実績と、2006 年の見込み、2007 年～2010 年の予測について図 4-12 に示す。

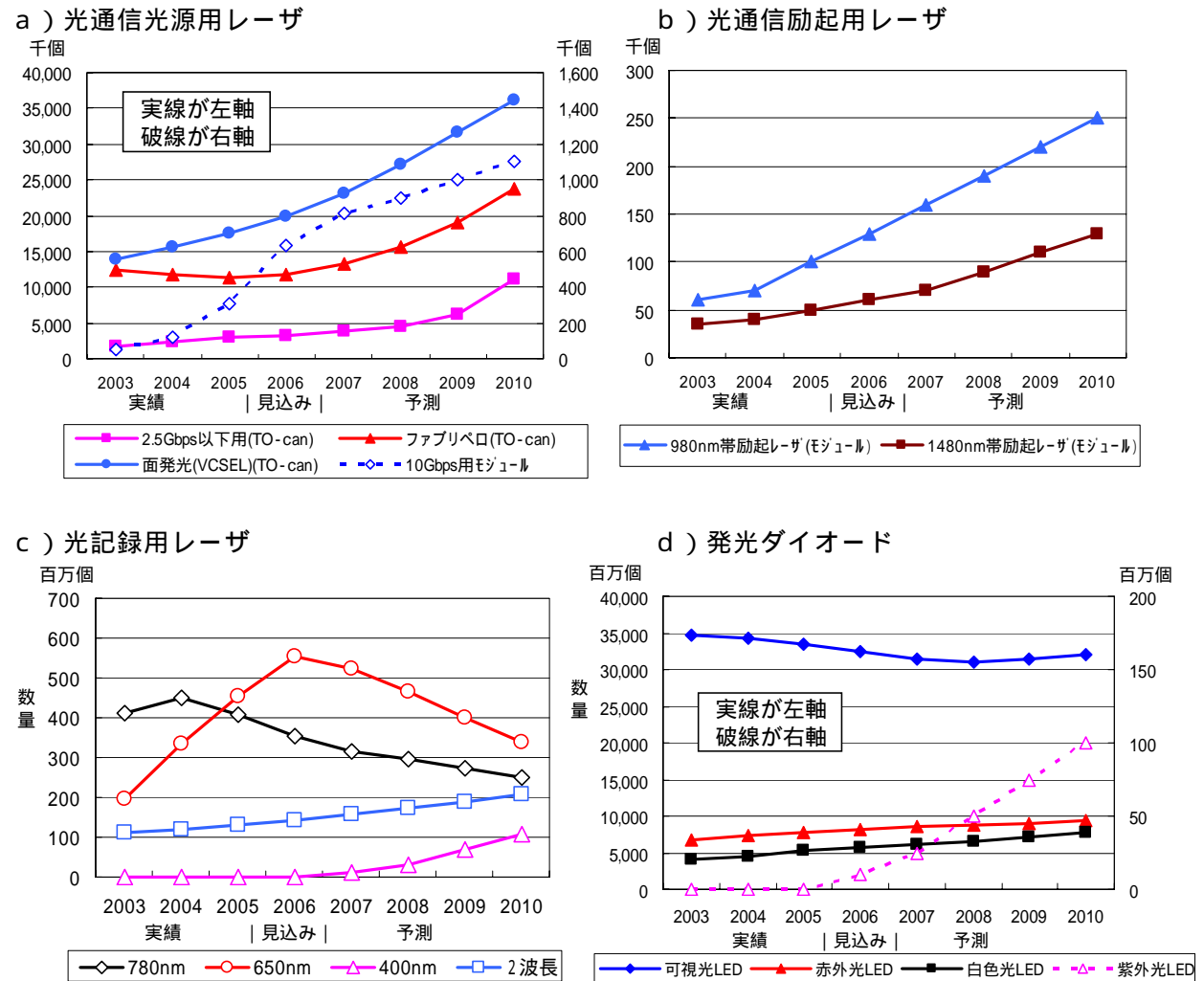
光通信光源用レーザーでは、VCSEL が順調に伸ばすものの、ファブリペロ型と 2.5Gbps 以下の光源は、しばらく現状維持の後、2008 年以降に立ち上がると予測されている。光通信励起用レーザーは、数量は少ないが順調に伸びると予測されている。

光記録用レーザーは、DVD ドライブの普及に伴い 650nm 品が増えるが、2007 年以降は減

少すると予測されている。780nm 品は 2004 年までは最も多いが、その後は緩やかに減少すると予測されている。400nm 品は 2007 年以降に立ち上がると予測されている。2 波長品は 2010 年まで一貫して増加すると見込まれている。

発光ダイオードの世界市場は、可視光 LED は毎年 300～350 億個で推移する見込みである。2003 年から 2010 年において、白色光 LED は倍増、赤外光 LED 約 40% 増加すると見込まれている。紫外光 LED は 2006 年以降立ち上がる見込みであるが可視光 LED 比べて市場規模は小さいものと予測されている。

図 4-12 光半導体市場と将来予測



出典：2006 光産業予測便覧 富士キメラ総研

(2) ビジネス参入プレイヤー

光半導体のビジネス参入プレイヤーについて、製品ごとにシェアの上位にある企業、および各分野で特徴的な製品を持つ企業を表 4-13 に示す。製品ごとのシェアの上位にある企業は、富士キメラ総研調査「2006 光産業予測便覧」による。

2001 年の IT 通信バブルの崩壊後から 2006 年にかけて、光半導体関係事業の買収や光半導体関係企業同士の合併が相次いだ。古河電気工業は、2001 年 7 月に米国の通信大手 Lucent



の光ファイバ部門を買収した。米国の Finisar は 2003 年に旧 Honeywell の VCSEL 事業を買収し、Advanced Optical Components を設立し、さらに、2004 年 5 月にドイツの Infineon Technologies の光通信部品事業を買収した。米国の Agilent Technologies の半導体事業部門が、2005 年 12 月に Avago Technologies として分離・独立した。また、米国の Lucent とフランスの Alcatel が 2006 年 11 月に合併して Alcatel-Lucent となった。

表 4-13 光半導体ビジネス参入プレイヤー

|    | 日本   | 米国   | 欧州  |
|----|--|--|---|
| 企業 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・シャープ</li> <li>・ソニー</li> <li>・日亜化学工業</li> <li>・ローム</li> <li>・三洋電機</li> <li>・古河電気工業</li> <li>・豊田合成</li> <li>・東芝</li> <li>・三菱電機</li> <li>・日本電気</li> <li>・NEC化合物デバイス</li> <li>・日本オプネクスト</li> <li>・住友電気工業</li> <li>・富士通</li> <li>・ユーディナデバイス</li> <li>・シチズン電子</li> <li>・スタンレー電気</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・Avago Technologies</li> <li>・Finisar</li> <li>・Advanced Optical Components</li> <li>・Emcore</li> <li>・JDS Uniphase</li> <li>・Cree</li> <li>・Lumileds Lighting</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・Osram</li> <li>・Bookham Technology</li> <li>・Avalon Photonics</li> <li>・Alcatel-Lucent</li> </ul> |

### (3) ビジネスリーダーについての概要

主要な製品のビジネスリーダーについて、以下に示す。製品ごとのシェアの上位にある企業は、富士キメラ総研調査「2006 光産業予測便覧」による。

#### 光通信用半導体レーザ

DFB タイプのモジュール用途では、ハイエンド、ローエンドとも日本の企業が大きな世界シェアを占めている。10Gbps 用では、日立系の日本オプネクストと NEC 化合物デバイスが上位にある。2.5Gbps 以下用では住友電気工業と三菱電機のシェアが大きい。端面発光のファブリペロタイプでは三菱電機のシェアが大きい。面発光(VCSEL)と 980nm 帯励起用レーザでは米国の企業が大きなシェアを占めている。

#### 光記録用半導体レーザ

780nm 品の世界シェアは、ローム、三洋電気およびシャープが上位にある。650nm 品の世界シェアは、三菱電機、ロームおよびシャープが大きい。2 波長品は東芝とソニーが競い合っている。いずれも、日本のメーカーが世界シェアの上位にある。

#### 白色発光ダイオード

白色発光ダイオードは、前回平成 13 年度調査以降に大きく数量を伸ばした製品である。2005 年の世界シェアは、青色発光ダイオードで先行した日亜化学工業がトップ、以下シチズン電子と Osram(ドイツ)が続いている。

## 第5章 走査型プローブ顕微鏡（SPM）分野の要約

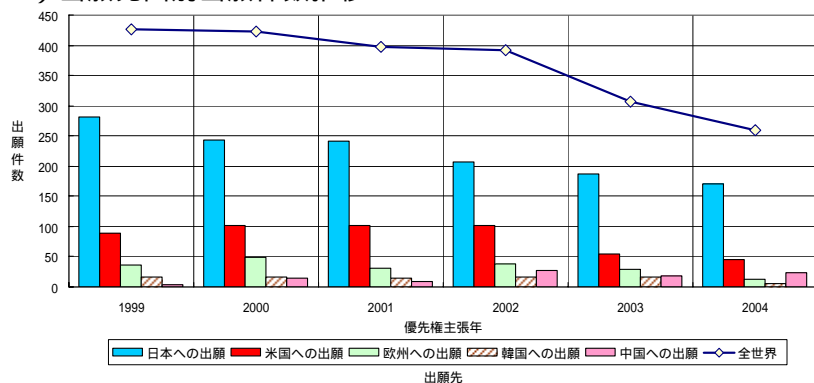
### 第1節 SPMに関する出願先国別特許出願件数推移

図5-1に出願先国別出願件数推移と構成比率を示す。

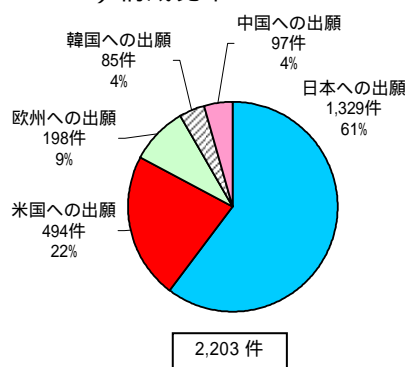
日本への出願は1999年の281件をピークに減少傾向にある。米国への出願は2001年と2002年のピーク後減少している。欧州への出願件数は2000年のピーク以後減少傾向にある。韓国への出願件数は2002年をピークに緩やかに減少している。中国への出願傾向は2002年にピークがあるが、全体的は緩やかな増加傾向を示している。

図5-1 SPMに関する出願先国別出願件数推移と構成比率（全世界）

a) 出願先国別出願件数推移



b) 構成比率



### 第2節 SPMに関する出願人国籍別特許出願件数推移

SPMに関連する特許出願の出願人国籍別出願件数推移と構成比率を図5-2に示す。同一の特許案件が複数の国・地域へ出願された場合は重複して積算されている。

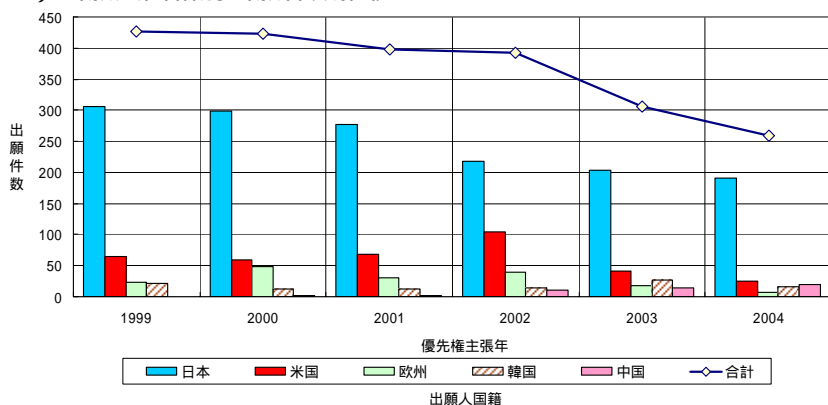
1999年～2004年の全世界でのSPM関連特許出願の総数は、2,203件であった。

出願件数は、1999年から2002年までは400件前後で緩やかな減少傾向にあったが、以後やや減少傾向が顕著になり、2004年には250件強になっている。

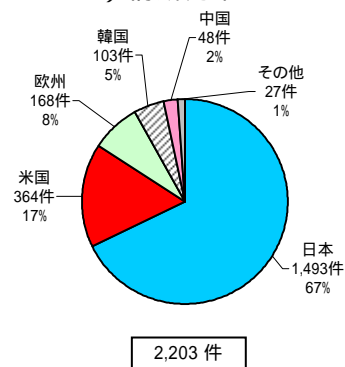
日本国籍出願人からの出願件数は1999年の300件強から年々減少傾向にあり、2004年には200件を割り込んでいる。米国国籍出願人からの出願件数は2002年の約100件をピークにその後減少している。欧州国籍出願人からの出願件数も2000年の約50件をピークにその

図5-2 SPMに関する出願人国籍別出願件数推移と構成比率（全世界）

a) 出願人国籍別出願件数推移



b) 構成比率



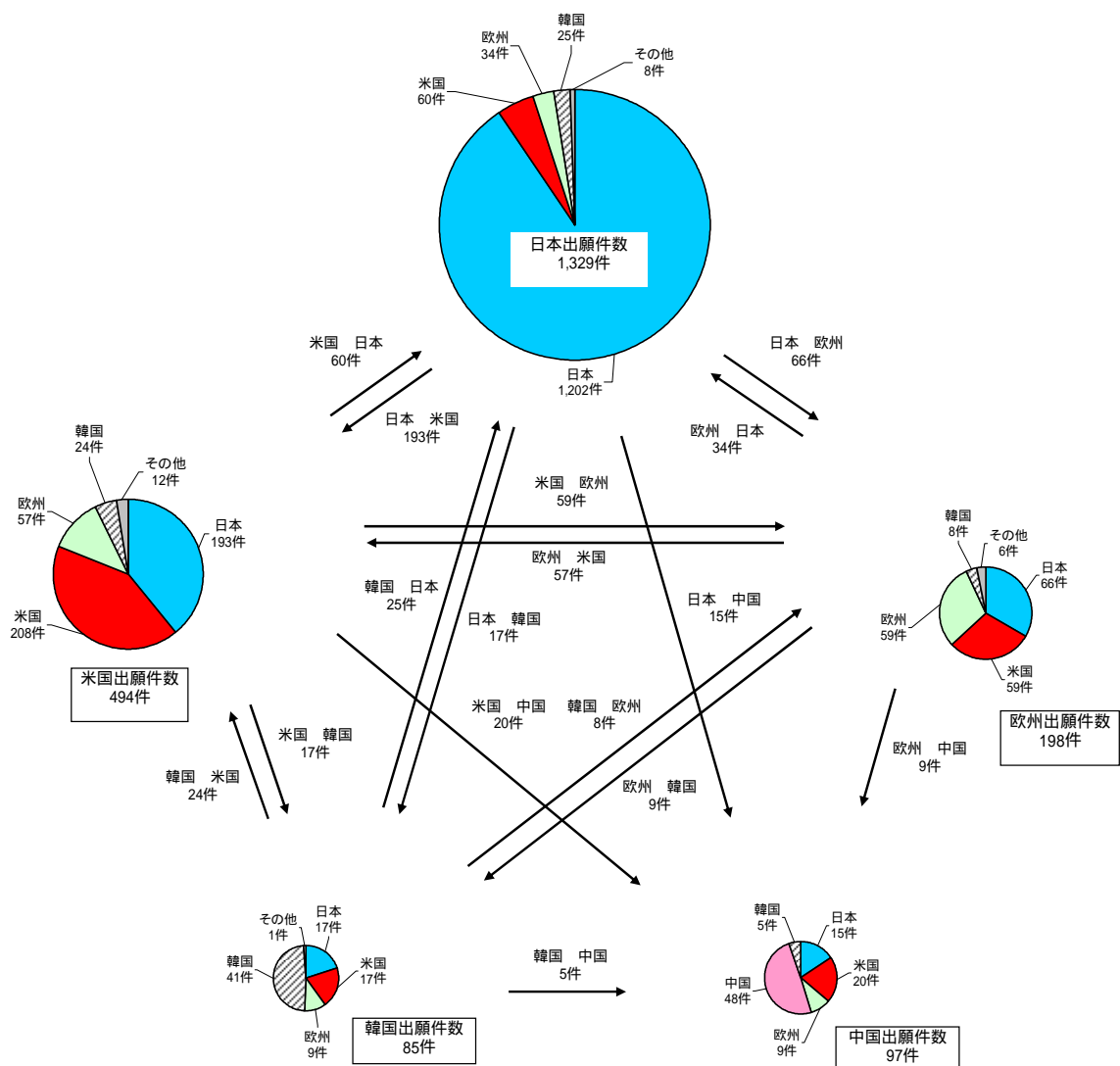
後減少傾向にある。一方、韓国国籍出願人からの出願件数は 2003 年にピークがあるものの毎年約 20 件程度で推移している。中国国籍出願人からの出願件数は明らかな増加傾向を示し、2004 年には約 20 件に達している。

### 第 3 節 SPM に関する出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支

SPM に関する特許出願の出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支を図 5-3 に示す。

日本への出願件数は 1,329 件で、米国への出願件数 494 件の約 2.5 倍強である。米国への出願件数 494 件のうち、日本国籍出願人からの出願が 193 件で約 40% を占めている。中国への他国国籍出願人からの出願はあるが、中国国籍出願人から他国への出願は見当たらない。

図 5-3 出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支

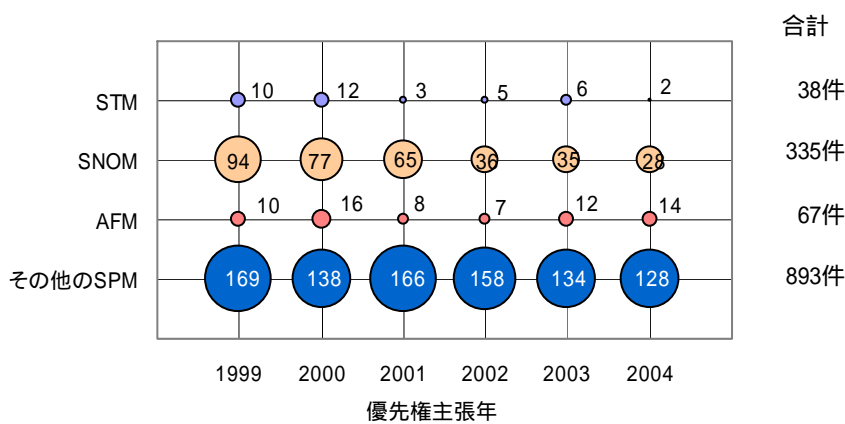


#### 第4節 SPMの方式別の出願件数推移

SPMの日本への特許出願におけるSPMの方式別の出願件数推移を図5-4に示す。

SPM全体を顕微鏡の方式（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（SPM）に分類した件数推移を示した。その他のSPMには、STM、AFM、SNOMを除くその他のSPM、例えば、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、一般的にSPMとして扱われている顕微鏡を含めた。STM、SNOM、その他のSPMは1999年以来減少傾向にある。SNOMの件数の減少が顕著である。一方、AFMは件数が少ないが全体的には、横ばい傾向にある。

図5-4 SPMの方式別の日本への特許出願件数の推移



## 第5節 SPMの日本への特許出願件数上位ランキング

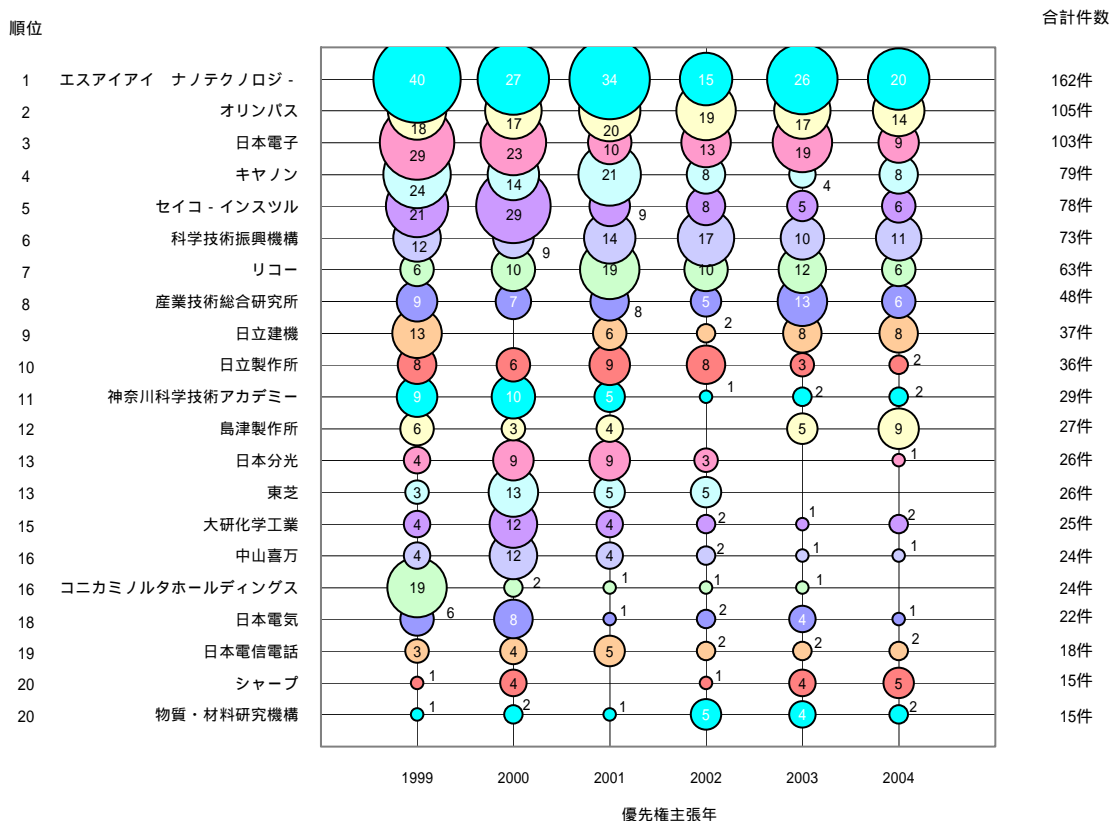
### (1) 出願人全体

SPMに関する1999年～2004年の日本への特許出願について、出願件数の多い上位20位までの特許出願人の出願件数推移を図5-5に示す。

SPMを販売しているエスアイアイナテクノロジー、オリンパス、日本電子がそれぞれ162件、105件、103件で、1位から3位までを占めているが、同様にSPMを販売している島津製作所と日本分光はそれぞれ27件、26件で12位と13位となっている。

装置販売会社以外では、事務用電子機器や科学機器を扱っているキヤノン、セイコーインスツル、リコーが4位、5位、7位にランキングされ、SPM関連の研究開発成果が特許出願されている。出願人別出願件数ランキング上位者の出願件数推移でみると、上位3社の出願件数は全体的に減少傾向を示している。コニカミノルタホールディングスは1999年には19件と多く出願したが、最近では激減している。公的研究機関として、科学技術振興機構、産業技術総合研究所、神奈川科学技術アカデミーがそれぞれ6位、8位、11位と、前回調査(それぞれ10位、18位、16位)より順位を上げている。

図5-5 SPMの日本への出願件数上位ランキングおよび出願件数推移



(2) 大学・研究機関

SPMの特許に関する1999年～2004年の大学・研究機関からの日本への特許出願件数の上位ランキングと出願件数推移を図5-6に示す。

出願件数のランキングでは、トップの科学技術振興機構が73件で、以下、2位の産業技術総合研究所(48件)、3位の神奈川科学技術アカデミー(29件)、4位の物質・材料研究機構(15件)、5位の関西TLO(12件)、6位の理化学研究所(10件)と続く。

出願件数推移でみると、1位の科学技術振興機構と2位の産業技術総合研究所は1999年から2004年までの間でやや変動があるもののほぼ一定数の特許出願が行われているが、3位の神奈川科学アカデミーは2002年以降の出願件数が激減している。

図5-6 大学・研究機関からのSPMの日本への特許出願件数ランキングおよび出願件数推移



## 第6節 研究開発参入プレイヤー

### (1) 研究開発参入プレイヤー

研究開発プレイヤーでは、特許出願件数ランキングの上位出願人から見た SPM の日本、米国、欧州、韓国、中国の研究開発プレイヤー（企業、大学・研究機関）について表 5-7 にまとめた。特許出願件数上位に現れないが研究開発の論文発表等で実績がある大学についても記入した。

表 5-7 SPM の研究開発プレイヤー

|          | 日本   | 米国   | 欧州   | 韓国              | 中国  |
|----------|--|--|--|-----------------|---|
| 企業       | 1 エスアイアイ<br>ナノテクノロジー<br>2 オリンパス<br>3 日本電子<br>4 キヤノン<br>5 セイコーインス<br>ツル<br>7 リコー<br>9 日立建機<br>10 日立製作所<br>・ 京都インスツルメ<br>ンツ(ベ) | 3 Veeco<br>9 IBM   | 11 Nanoworld(ベ)<br>11 JPK Instruments<br>・ Omicron(ベ)<br>・ Leiden Probe<br>Microscopy<br>(オランダ)(ベ) | 1 三星電子          |   |
| 大学       | ・ 大阪大学<br>・ 京都大学<br>・ 東京大学   | 5 Northwestern<br>大学<br>・ Stanford 大学<br>・ California 大学 | 7 Bristol 大学<br>・ Basel 大学<br>・ Hamburg 大学   | 10 Sogang 大学    | 4 上海交通大学<br>10 長春大学<br>10 天津大学<br>10 上海大学 |
| 研究<br>機関 | 6 科学技術振興事<br>業団<br>8 産業技術総合研<br>究所<br>11 神奈川科学技術<br>アカデミー<br>・ 理化学研究所<br>・ 物質材料研究機構  |  | 5 IMEC(ベルギー)<br>11 Fraunhofer<br>研究所(ドイツ)  | 2 韓国電子通信<br>研究所 | 10 長春応用化学<br>研究所<br>10 上海精密光学<br>装置研究所    |

脚注：研究開発参入プレイヤーとして、特許出願件数上位出願人を掲げた。開発プレイヤー名の前に記載されている数値は自国への出願における特許出願件数の順位を示す(データベース：日本は PATOLIS, 外国は WPINDEX(DIALOG))。表中(ベ)はベンチャー企業を示す。

### (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

世界初の STM を発明した IBM は基本特許を出願し、技術の有用性が一般に認識されると、非導電性物質にも有効な AFM を発明し、特許化するなど、この分野で革新的な派生技術を創製し続けた。応用技術についても注目すべき開発、例えば 32×32 構成の SPM カンチレバアーレイによる高密度記録システム「ミリピード」を継続して、開発してきた。この意味で、IBM 社は研究開発でのリーダーであり、SPM 関連特許で先行的な特許を多数出願取得している。しかし、2000 年以降は、それ以前に比べて特許出願件数が少なくなっている。

#### 日本への特許出願件数上位企業の特徴

日本国内市場でシェア 1 位であるエスアイアイナノテクノロジーは、日本への特許出願件数でもトップである。出願件数 2 位のオリンパスは現在商品数を少数に絞っており、売上高は極めて少ない。出願件数 3 位に位置する日本電子は 2005 年の売り上げでは、国内ランキ

ングで 3 位あった。前回調査で、日本への特許出願件数が国内で一番多かったキヤノンは SPM を製造・販売しておらず、今回の調査では 4 位に後退している。

#### 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（旧 Digital Instruments、旧セイコーインスツルメンツ、Omicron）が、その後の製品開発の展開で優位であった。DI を吸収した Veeco や旧セイコーインスツルメンツから分社化したエスアイアイナテクノロジーも依然製品開発研究ではリーダー的存在である。

#### アカデミアでの研究開発リーダー

- ・日本：NC-AFM 国際会議を設立し、室温での原子操作法を開発した大阪大学の森田、高速 AFM を開発し、その技術がライセンスの対象となった金沢大学の安藤、SNDM を創案し、それによる高密度記録の技術開発をした東北大学の長が日本におけるアカデミアで研究開発リーダーである。
- ・米国：SPM 研究開発の初期段階から参入し、最近では、高速 AFM を開発している California 大学の Hansma や Stanford 大学の Quate、また、1999 年に先行的に研究開発を発表、応用分野が進展しているディップペンリソグラフィーの研究開発をしている Northwestern 大学の Mirkin がリーダーである。
- ・欧州：STM を発明した IBM 社と人的交流があり、早期に SPM 研究分野に参入したスイスの Basel 大学が研究開発リーダーである。Basel 大学の関係者や出身者が ICN+T2006 国際会議で多数の発表を実施していた。Basel 大学からドイツ Hamburg 大学へ移った Wiesendanger も多くの学術論文を発表しており注目されている。英国では SPM 研究開発の初期段階から参入し、高速 SNOM や高速 AFM の開発で論文を発表している Bristol 大学の Miles がリーダー的存在といえる。

#### 大学・研究機関

大学・研究機関からの日本特許出願件数のランキング上位には、トップの科学技術振興機構（73 件）、2 位の産業技術総合研究所（48 件）、3 位の神奈川科学技術アカデミー（29 件）、4 位の物質・材料研究機構（15 件）、5 位の関西 TLO（12 件）、6 位の理化学研究所（10 件）が位置しており、これらの大学・研究機関が日本における研究開発リーダーの一翼を担っている。



## 第7節 ビジネス参入プレイヤー

### (1) 市場概要

日本国内市場は、その売上高の年次推移を図 5-8 に示すように 1997 年に 100 億円の規模に到達したが、その後全体的には緩やかな減少傾向を示している。2005 年には市場規模は 60 億円弱である。2005 年での日本国内市場のシェアは、図 5-9 に示すようにエスアイアイ ナノテクノロジーが 1 位で、Veeco が 2 位である。これらに日本電子、島津製作所、ユニソクが続いている。

図 5-8 市場規模の年次推移

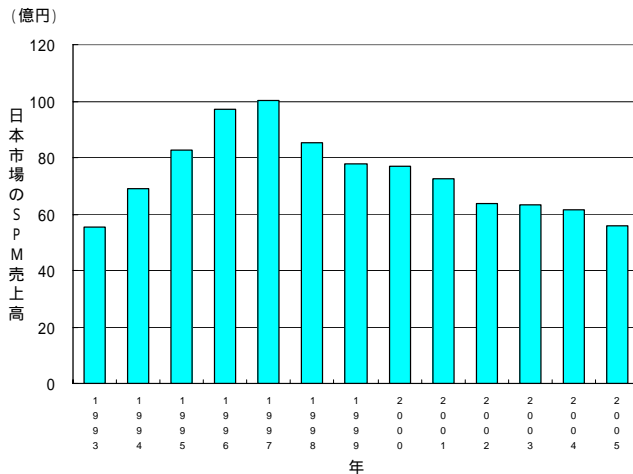
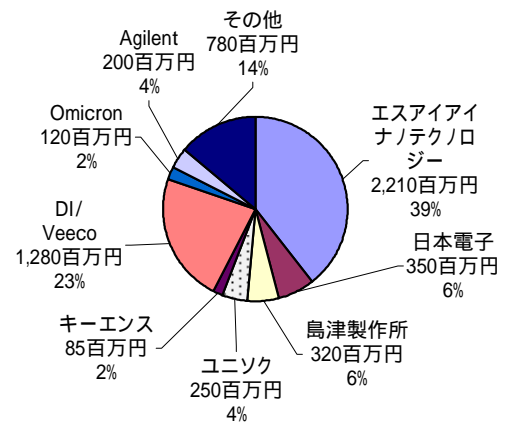


図 5-9 2005 年の市場シェア



出典：科学機器年鑑 1995 年版～2006 年版（株式会社アールアンドディ発行）中の数値を基に DRMI が編集・作図

### (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いない小規模なプレイヤーをも加えて、日本、米国、欧州、韓国のビジネス参入プレイヤーを表 5-10 にまとめた。

表 5-10 ビジネス参入プレイヤー

|    | 日本  | 米国  | 欧州  | 韓国   |
|----|---|---|---|--|
| 企業 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ エスアイアイ ナノテクノロジー (1)</li> <li>・ オリンパス (2)</li> <li>・ 日本電子 (3)</li> <li>・ 島津製作所 (12)</li> <li>・ ユニソク (ベ)</li> <li>・ キーエンス</li> <li>・ 日本分光</li> <li>・ 京都インスツルメンツ (ベ)</li> <li>・ 日本ビーコ (代)</li> <li>・ アルバックファイ (代)</li> <li>・ アジレント (代)</li> <li>・ 東陽テクニカ (代)</li> <li>・ アサイラム ナノテクノロジー (代)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Veeco (3)</li> <li>・ Agilent</li> <li>・ Pacific Nanotechnology (ベ)</li> <li>・ Asylum Research (ベ)</li> <li>・ RHK Technology</li> <li>・ 3rdTech (ベ)</li> <li>・ NanoInk (ベ)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Omicron (ドイツ) (ベ)</li> <li>・ CSEM (スイス)</li> <li>・ Nanoworld (スイス) (ベ)</li> <li>・ Swissprobe (スイス) (ベ)</li> <li>・ Leiden Probe Microscopy (オランダ) (ベ)</li> <li>・ Infinitesima (イギリス) (ベ)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PSIA (ベ)</li> </ul> |

脚注：表中において、(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にランキングされている企業のランクを示す。中国はビジネス参入プレイヤーが見当たらないため、表には中国の欄はない。

### (3) ビジネスリーダーについての概要

#### 世界市場のトップリーダー

Veeco が現在、世界的な売り上げトップリーダーである。

Veeco は、大学関連研究者により SPM 研究開発の揺籃期に創設され、業界トップ 3 と言われたベンチャー(旧 Digital Instruments、旧 Park Scientific Instruments、旧 Topometrix) を 2001 年に最終的に買収して、市場でのリーディングプレイヤーとなった。

#### 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・研究機関と提携した企業が強い。典型例として、

- ・ 日本：技術の揺籃期から旧電子技術総合研究所と共同研究を行い、技術蓄積をした旧セイコーインスツルメンツが優位に立った。「選択と集中」戦略で、同社から分社化されたエスアイアイナテクノロジーにその財産が引き継がれ、日本市場でのトップリーダーの地位が引き継がれている。日本電子と島津製作所は、それぞれある程度の市場シェアを確保している。これは SPM 以外の既存の強い基盤技術を活用したことも影響している。最近のトピックスとして、島津製作所とオリンパスは両社がそれぞれ得意とする SPM とレーザ顕微鏡を組み合わせた機種を共同開発・商品化し、製品開発に新機軸を示した。
- ・ 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 ( Digital Instruments、Park Scientific Instruments、Topometrix ) 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したが、これらの企業は Veeco に吸収合併された。
- ・ 欧州：スイスの Basel 大学と連携したドイツのベンチャー企業(Omicron)が市場を確保した。

#### 応用機器関連

SPM の記録技術への応用として、IBM のミリピードの開発が注目されたが、商品は未だ上市されていない。SPM のリソグラフィー技術への応用では、米国、NanoInk がディップペンナノリソグラフィーのシステムを開発・販売している。

## 第6章 日本が目指すべき研究開発、技術開発について

### 第1節 カーボンナノチューブ分野

カーボンナノチューブ(CNT)は、日本の研究者により1970年代に見出され、1990年代に入ってナノテクノロジー先端材料としての注目を集めるようになり、次世代材料としての大きな期待のもとに、基礎研究から実用化を目指した製造方法あるいは用途開発まで広範な研究が展開されてきた。しかしながら、実用化の観点からすると、リチウムイオン電池などの実用が開拓されたものの、その他には樹脂複合材料あるいはSPMプローブなどに限られ、その実用はまだ大きくはない。

現在供給されているCNTは高価で、その供給量も限られていることから、種々の用途への実用化検討を行ううえでまだ困難な状況にある。実用化の進展には、生産規模の増大によるCNT価格の低下と、大規模生産に適した新たな製法の開拓も望まれるところである。

また、ナノ物質の安全性に対する社会一般の漠然とした不安感もCNTの実用化を阻害する要因の一つと考えられ、安全性評価と社会受容の推進は緊急の課題である。

CNTの実用化を促進するためには、まず発展の前提条件として、ナノ物質の安全性に対する科学的知見の集積、標準化を進めるなどナノリスクへの適切な対応を行い、次いで安全性が高く品質の安定したCNTを安価に供給するとともに、当面その安全な取り扱い方法を早急に確立することが必要である。

また、長期的な視点に立ってCNT分野での日本の優位性を確保するためには、CNTの製造技術だけではなく広範な応用開拓にも力を入れ、日本国内ばかりでなく生産拠点および市場となる地域での戦略的な特許戦略の構築も必要であろう。

これらを踏まえ、日本の競争力の優位性を保ち、また前進させるために以下の3項目の提言を行うが、いずれも同じような重要性をもつと考える。

#### 提言 ナノリスク・標準化分野

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. 科学的な検証に基づく安全性の確保、日本におけるナノリスク研究体制の整備</li><li>2. CNT産業の健全な発展のための民間を含めた適切なナノリスク対応<br/>(研究開発および製造現場での安全性確保のためのガイドラインの作成など)</li><li>3. 国際的なナノ物質の取り扱いの基準/標準化における日本のイニシアチブ</li></ol> |
|--|

#### 1. 科学的な検証に基づく安全性の確保、日本におけるナノリスク研究体制の整備

ナノ物質の実用化に向けては、「技術の提供者はベネフィットを、受容者はリスクを述べて抵抗」といったこれまでの図式に対し、提供者は「現時点での技術のベネフィットと共に、避けられないリスクを明示する」とともに、受容者(消費者)は「技術のリスクを理解しながら、そのリスクに対する受容に関する社会的な合意を作り、その技術を認めていく」というプロセスが必要とされる。リスクに関する情報は公開され、必要とする人に対して全て公平に提供されなければならない。

第3章第8節「CNTの安全性」の項に述べたように、これまでのCNTの毒性に関する研究報告は必ずしも科学的に説得力があるものとはいえず、CNTが新技術として認知され、広く一般的に使用されるためには、CNTの物質特性やナノリスクの客観的な評価の判断材料

となるデータを提供することが求められている。

しかし、CNTの安全性に関してはこれまで多くの議論がなされてきたが、日本のみならず世界的にも、科学的な評価研究は最近になってようやく本格的に着手したといってもよい状況にある。2003年以降のCNTのナノリスクに関連する学術文献数が急増しているのは、社会的な要請に応えるものである(図3-11)。

日本のナノ粒子の安全性に関する研究は、「第3期科学技術基本計画」のもとに進められている。政府においては、実用化に向けて必要とされるリスク研究を優先した計画を策定し、適切な助成策のもとに速やかに計画を遂行するなど、日本におけるナノリスク研究体制を整備し、ナノリスク評価において主導的な役割を担うことが期待され、毒性の予測のような長期的な課題への取り組みも同様に求められる。

## 2. CNT産業の健全な発展のための民間を含めた適切なナノリスク対応

民間企業においては、CNTを安全に取り扱うための自主的な取り組みが必要で、研究開発および製造現場での安全性確保のためのガイドラインの作成などが当面の課題であろう。

民間組織であるNBCIで行われているCNTの標準化に向けての活動は、日本企業の積極的な取り組みとして注目される。

## 3. 国際的なナノ物質の取り扱いの基準/標準化における日本のイニシアチブ

ナノリスクへの取り組みには国際的な強調が必要であり、その中での“ナノ物質の取り扱いの基準/標準化”に際して日本がイニシアチブをとることが、日本の国際競争力を確保する上で重要である。

CNTの健全な発展のためには、国際的な製品規格を構築することなどにより、安全性に問題があるようなCNTを市場から排除するシステムが必要である。

### 提言 製造技術開発、用途開発分野

#### 1. 品質の安定したCNTの安価な供給

- ・量産化技術の確立：これまでの開発技術をもとに、品質の安定したCNTを安価に製造
- ・分散化技術の開発：CNTの本来の機能を発現させる
- ・分離・精製技術の開発：製品品質、安全性の確保、品質保証

#### 2. 高機能材料分野での用途開発の促進

#### 3. 電子デバイス分野、バイオ・医療分野での応用に向けての研究開発体制の構築

- ・産学官の連携による研究開発プロジェクト
- ・構造を制御したCNT選択的製造法と、高機能化、量産化

#### 1. 品質の安定したCNTの安価な供給

CNTの応用開発に関連する特許出願は、全世界のCNT関連特許全体の6,022件に対し4,624件にのぼり、その出願件数は年々増加する傾向にある。2002年以降は年間出願件数が1,000件を越え、CNTの製品化に対する企業側の高い意欲がうかがえる(図3-4)。

一方CNTの市場価格は、CNTの種類、製造方法、純度、製造メーカーなどにより大きく異なるが、インターネット上に公開されている価格から判断するとSWNTおよびDWNTで

は1～10万円/g、MWNTで100円前後～2万円/g程度と思われる。

CNTの生産量の正確な把握は困難であるが、2005年時点での全世界での生産量は年間200トン程度と推定され、最近数年間での生産量の急激な伸びはないようである。

当面、CNTの市場として立ち上がると予想される樹脂添加剤などの高機能材料分野では、「CNT価格が高い」ことが原因で「用途開発が進まない」という「負のスパイラル状態」があるように思われる。この状況を打破するために、企業が商品化検討を進められる程度の価格で必要量のCNTが供給されることが必要である。そのためには、CNTの量産化技術を含む製造技術、分離精製技術および分散化技術の構築が主要な課題であり、これらの技術に関して多くの特許出願が見出された（図3-5）。

1) 量産化技術の構築：これまでに開発された基本的な製造技術をベースとして、MWNT、SWNT、DWNTなど、各々のCNTの用途に応じて製品化して使用出来る程度までにコストダウンが可能な量産化技術を構築することが必要である。競合する炭素材料であるカーボンブラックの高機能グレード品価格が数円/g程度であることを考えると、汎用のMWNT価格としては10円/g程度が量産化の目標と考えられる。

量産化技術には、製品品質の安定性（純度、結晶性、金属含有量などの製品スペックで同じものが供給出来る）、製品の安全性（有害な金属、未反応物、タール分を含まない）、必要とするスペックの製品の供給（用途に応じた純度、価格）を可能にする技術が含まれる。

2) 分散化技術の開発：CNTに期待された性能が発現しないことの原因の一つとしてCNTの分散状態が良くないことが考えられる。分散状態が改善出来ればCNTの使用量も少なくなり、応用製品の商品化が加速することが期待される。

3) 分離・精製技術の開発：品質の安定性及び安全性の面から、構造、形状、タール分、触媒金属等残留量の不純物量、結晶化度などが制御されたCNTを製造するために、CNTの分離・精製技術の開発が必須である。この場合、単に高純度化するのではなく、コストを意識した高効率な分離・精製技術の構築が重要である。

## 2. 高機能材料分野での用途開発の促進

高機能材料分野はCNTの特性を生かした商品の早期の実用化が期待されることから非常に多くの特許が出願され、その出願件数は2004年に至るまで増加傾向を示している（図3-6）。

前項で述べた量産化技術により安価なCNTが供給され、合わせてCNTの実用化に向けての関連技術の開発が進むにつれ、複合材料等の高機能材料分野での実用化・商品化が着実に拡大することが期待される。その結果として、CNTの量産化が進みCNTのコストダウンが期待でき、CNTの商品化が成長のスパイラルに転じることが期待される。

CNTを用いる新材料が、例えば自動車や航空機の構造材料として使われれば、車体の軽量化による燃費の大幅な改善をもたらし、CO<sub>2</sub>削減による地球温暖化抑制に大きく貢献することが期待される。

## 3. 電子デバイス分野、バイオ・医療分野での応用に向けての研究開発体制の構築

経済産業省は、これまでもNEDOプロジェクトとして、FEDの開発を目的としたFEDプロジェクトの他、電子デバイスの高性能化のためのLSI配線技術、燃料電池用の電極材料開発などのプロジェクトを推進し、平成18年度からはキャパシタ開発プロジェクトがスタートする

など、政府の施策としてとしてナノカーボンの応用技術の創成に取り組んできた。

一方、今回の調査によると、将来のCNT利用分野として期待されている電子デバイス分野およびDDSを初めとするライフサイエンス分野に関しては、特許出願動向および文献発表件数などからすると、特に日米の企業および研究機関で基礎研究が精力的に進められている。

これらの技術は、今後の技術戦略においての最も重要な技術となる可能性のあることから、産学官の協力体制の下、長期的な科学技術の視点および実用化の視点のもと戦略的に進める必要がある。

また、電子デバイスとしての利用の観点からすると、CNTの金属性/半導体性を制御する技術、カイラリティを自由にコントロール出来る製造技術の構築なども挑戦的な技術課題と云えよう。

#### 提言 特許戦略分野

- ・生産拠点および市場となる地域で日本のCNTビジネスの競争力を強めるために、それらの地域での知的財産ポジションの優位性を確立するための戦略的な特許出願とその権利化の促進

CNTのビジネスとしては、Hyperion Catalysis Internationalが樹脂添加剤としてCNTを販売してきたが、それ以外の企業は研究開発研究へのサンプル供給が主であった。これまで特許係争が発生していなかった理由のひとつには、すでに実用を進めているリチウムイオン電池分野を除くと、実質的にCNTの商品市場は未成立の状態にあったことがある。しかし、最近は何々の用途への研究開発も活発化し、日本、米国、欧州、カナダ、中国などでは量産に向けての製造メーカーの生産能力の整備が進みつつあり、CNTは徐々にビジネスの段階に入りつつあるものと思われる。

1999年～2004年のCNT技術に関する日本からの出願件数は全世界の45%（2,741件）を占め（図3-2）、CNTの製造方法から処理技術、応用分野に至るまで広範な出願が行われている。

しかし、海外への出願件数の観点から見ると、日本からの特許出願が596件と件数としては世界で最も多いものの、米国からの外国への特許出願件数（527件）との差はわずかで、海外への出願比率の高い韓国（429件）との差も大きくない（図3-3）。登録特許件数でも、日米間が拮抗した状態になっている。

技術的に競合する可能性のある中国、韓国からの特許出願件数は増加する傾向にある。（図3-1）今後のCNT事業の国際化を考えると、生産拠点および市場となる地域で日本のCNTビジネスの競争力を強めるためには、それらの地域での知的財産ポジションをいっそう強化することが必須である。

CNTのような今後の技術・産業の根幹となる先端技術分野では、今まで以上に戦略的な国際的特許出願およびその権利化を進めていくことが重要であろう。

## 第2節 光半導体分野

光半導体分野で日本の優位性の維持、および将来にわたって国際競争力を持つために、以下の事項を提言する。

### 提言1 光記録用半導体レーザ分野

- ・次世代光ディスク用 405nm 品の研究開発の優位性の維持
- ・光ディスクの大容量化を目的とした高出力半導体レーザの研究開発の推進

#### 1. 次世代光ディスク用 405nm 品の研究開発の優位性の維持

特許出願動向で半導体レーザの用途を見ると、光記録用の日本国籍出願人の出願件数（全世界）は 898 件で、米国国籍出願人の 88 件、韓国国籍出願人の 49 件と比較して極めて多い（図 4-6）。また、日本国籍出願人からの出願件数は光通信用より光記録用の方が多く、欧米国籍出願人では光通信用の方が多いのに対して特徴的である（図 4-6）。これらの結果から、光記録用半導体レーザの分野で日本が研究開発面で優位性を維持していることが分かる。

市場調査結果を見ても、光記録用半導体レーザ分野は 5 年前と同様に、日本の企業はどの波長・製品においても市場シェアの上位にあり、ビジネスリーダーであると考えられる。今後も、高い製造技術の維持・向上により、日本の企業が 780nm 品、650nm 品、2 波長品の高いシェアを維持することが重要である。

また、次世代光ディスク(Blu-ray、HD-DVD)用 405nm 品については、日本への出願では、405nm 品を含む波長域の特許出願が最も多く、米国への出願では日本ほど顕著ではない（図 4-7）ことから、日本では次世代光ディスク用青紫色レーザが盛んに研究開発されていることがわかる。今後は次世代光ディスクの市場拡大を進めることが必要である。

#### 2. 光ディスクの大容量化を目的とした高出力半導体レーザの研究開発の推進

これまで、光ディスクの大容量化は、ピックアップレーザの短波長化によって達成されてきたが、今後のさらなる大容量化については、より短波長の 350nm 以下のレーザの特許出願はごく少ないことから（図 4-7）短波長化の方向には進まないと考えられる。

経済産業省の「技術戦略マップ 2006」によると、大容量化の方向は、4 層記録、8 層記録といった多層記録方式、あるいは多値記録方式となっている。2 層記録は Blu-ray ディスクや HD-DVD で既に実用化されているが、多層記録する場合、下の層になるに従って光の強度が弱くなるため、現状では書き込み速度を落として書き込みを行っている。書き込み速度を確保するために、半導体レーザの出力をより一層高めるための研究開発が必要である。また、多値記録方式は、形状変化方式と深さ変化方式が検討されているが、特に深さ変化方式では半導体レーザの高出力化が必須である。

また、半導体レーザの研究開発の目標は、高出力化に限ったわけではなく、高温動作、長寿命化、低しきい値化など、求められる特性は多い。特に、高温動作は重要であり、DVD ドライブなどの電子機器でも 80℃での動作保証が求められている。また、高出力化により、素子温度が上昇することもあり、高温動作を保証した半導体レーザの研究開発が必要である。

なお、半導体レーザの短波長化の方向性は全くなくなっただけではなく、例えば、紫外光

レーザは、水銀ランプに代わる光源として、フォトリソグラフィ用光源や水処理における殺菌用光源等の用途のために、研究開発が進められている。

## 提言 2 光通信用光半導体分野

- ・次世代光通信用光半導体部品の開発による競争力強化
- ・光通信用半導体レーザの高出力化、波長制御、高温動作および低価格化
- ・光通信用光検出器、光増幅器および光変調器の低価格化

### 1 次世代光通信用光半導体部品の開発による競争力強化

光通信システムは地球規模で拡大しており、光通信用半導体レーザ市場は、今後とも拡大する見込みであるとされている（図 4-12）。光通信システムは、高速インターネットに代表されるような通信容量の拡大や、市内電話局などのノードからユーザーまでのアクセス系光通信網の拡大が続いている。米国では、近年、既存のファイバ網の使用効率が高まり、新たにコア系やメトロ系の通信網の増強がなされているといわれている。この市場は、部材ごとに分業化が進んでおり、得意分野の製品の市場を確保・維持と拡大を進めていく必要がある。市場調査の結果、ビル内などの短距離光通信に用いられる VCSEL と 980nm の励起用レーザは米国が強いものの、新たに開発されたより高速で高性能な光通信用光源では日本メーカーのシェアが高くなっている。このことから、光通信システムの世代交代時にタイムリーに製品を生産し、通信システムを変革していくことが、シェア拡大に有効であると考えられる。

### 2 光通信用半導体レーザの高出力化、波長制御、高温動作、低価格化、並びに光通信用光検出器、光増幅器および光変調器の低価格化

光通信用半導体レーザの特許出願件数（全世界）は、日本国籍出願人から 854 件（光源用と励起用の合計）であり、米国籍出願人の 220 件、欧州国籍出願人の 91 件、韓国籍出願人の 35 件と比較して圧倒的に多く、日本は特許出願件数で諸外国をリードしていると考えられる（図 4-6）。

この分野の特徴として、例えば 1980 年代の DFB レーザのように、部品の開発が光通信システムの変革をコントロールするということがあげられる。すなわち、部品の研究開発が主導して次々と通信速度、通信容量の世代交代を推し進め、製品を市場に提案していく市場創造型の分野であるということが出来る。従って、変化する市場に対応する研究開発力、および、世代交代時に新規製品を適正な価格でタイムリーに生産する製造技術の確立が必要である。今後の光通信用半導体レーザの研究開発においては、高出力化、波長制御、高温動作、および、低価格化がキーワードとなる。

さらには、半導体レーザ以外の光検出器、光増幅器および光変調器についても、大幅な低価格化が期待される。

## 提言 3 新規半導体レーザ用途分野

- ・緑色半導体レーザの開発による半導体レーザの新たな用途の開拓
- ・半導体レーザの新たな用途（カーエレクトロニクス分野等）の開拓



## 1. 緑色半導体レーザーの開発による半導体レーザーの新たな用途の開拓

半導体レーザーの特許出願件数は、全体としては2001年をピークに減少傾向である(図4-5)。一方、光通信用レーザーの市場予測では、VCSELは順調に数量を伸ばすものの、他の製品は2008年あるいは2010年頃に伸びると見込まれている(図4-12)。すなわち、バブル崩壊後の低迷期は脱したものの、すぐには大きな市場拡大は見込めないという予測である。このため、半導体レーザー市場を今後とも継続的に拡大させるためには、既にある2大用途である光記録用と光通信用に加えて、第3の用途といえる分野を開発することが重要であり、これにより日本の産業を牽引し競争力を伸ばすことが期待される。

現状では、赤外、赤色、青色および紫外の半導体レーザーは存在するが、緑色半導体レーザーが実現されていない。特許出願件数からみても、緑色前後の波長域は極端に少なくなっている(図4-7)。

緑色レーザーが作製されると、光の3原色が揃い、例えば小型プロジェクターなど、従来とは異なった新たな用途開拓につながることを期待される。

## 2. 半導体レーザーの新たな用途(カーエレクトロニクス分野等)の開拓

最近の自動車は、情報伝達の面においてもますます電子化が進んでおり、多くのセンサを使用し、多数の電気配線を有し、数十台の小型CPUを搭載した自動車も販売されている。情報伝達方式の電気から光への変換は、エンジンからの電気ノイズの影響を無視でき、自動車の安定性と安全性の向上を図ることができる。さらには、車体の軽量化を図ることができ、燃費が向上し、ひいては省エネルギーにも貢献できる。

なお、カーエレクトロニクス分野においては、光通信用半導体レーザーばかりではなく、ヘッドライト用、テールライト用およびインパネ用に用いられる発光ダイオードも注目される。

### 提言4 発光ダイオード分野

- ・白色発光ダイオードを用いた一般照明用途への進出

特許出願動向で、発光ダイオードの用途を見ると、従来から使用されている表示用途が最も多いものの、近年、照明用途が表示用途に迫る勢いで伸びている(図4-8)。また、発光色別の推移を見ると、発光色が白色の出願が増加しており、さらに、蛍光体と組み合わせて白色発光ダイオードを作製することができる紫外用と青紫用の出願件数を伸びてきている(図4-8)。これらのことから、白色発光ダイオードを用いた照明用途が、表示用途と並んで発光ダイオードの2大市場になると期待される。

今後、継続的な市場拡大を図るためには、高輝度化や低消費電力化を進めるとともに、交通信号機の例に代表されるような、従来の電球や蛍光灯による照明製品を発光ダイオードへの置き換えを進めて、市場の拡大を図っていくことが必要である。発光ダイオードを用いた照明は、メンテナンスフリー、水銀などを含まない環境にやさしい製品として、光半導体の大きな市場になると考えられる。

### 第3節 走査型プローブ顕微鏡分野

走査型プローブ顕微鏡（SPM）分野で日本の優位性の維持、および将来にわたって国際競争力を持つために、以下の事項を提言する。

今回の調査では、特許の出願・登録件数出願人動向調査における日本の数量的優位に加えて、注目研究開発テーマでの重要特許や重要文献（論文や学会発表）動向調査においては、日本の大学発の特許や研究開発に、国際競争力のある有望な幾つかの研究技術開発例が存在していることが判明した。今後の日本における SPM に関する研究開発について提言するには、現在日本が世界的レベルで、SPM の研究技術開発で優位なポジションにあり、競争力に強みのある研究開発テーマを考慮する必要がある。具体的には、SPM の高速化（video-SPM）の開発、新規顕微鏡の開発とその高密度記録への応用、NC-AFM の研究と原子・分子の操作技術である。これらの研究開発テーマについては、SPM はナノテクノロジーの重要なキーテクノロジーであり、基盤技術開発という戦略的な面からも、研究開発を強化することを提案する。

また、市場規模は、光半導体に比べ小さいが、今後のこれら技術が反映された新規な SPM 製品の国際競争力の確保のためには、近隣アジアを含めた海外展開を考慮した海外特許の出願が望まれる。

#### 提言 1

走査型プローブ顕微鏡（SPM）の高速化及びそれに伴う高分解能化・多機能化開発に注力

この数年、高速 SPM の研究開発が進んでいる（第5章第6節（2）「アカデミアでの研究開発リーダー」）。欧州、米国および日本で、それぞれ特徴ある技術が開発され、複数の研究グループの研究開発成果に基づく製品がそれぞれ市販され始めた。

現在開発されている高速 SPM の描画速度は video-rate を達成しているものの、画像の分解能や精度を犠牲にしている面もある。また、現在の高速 SPM は表面構造の観察に注力されており、各種の表面物性を測定する各種 SPM の高速化にも、今後にはチャレンジすべき研究開発ターゲットが多々ある。すなわち、高速化と併行して、高速化を踏まえた高分解能化と多機能化の推進が急務である。

今後の高速 SPM の開発では、各種の要素技術が必要とされるが、そのための技術資産として、日本は、SPM 特許の出願や登録を米国以上に有し、技術力に優位な強みがある（図 5-3）。さらには日本の大学・研究機関の特許出願件数（図 5-6）や登録件数も欧米のそれらに比べて多い。これらの知的財産を活用できる利点がある。

さらには、日本の学術研究レベルも 2006 年の 2 つの SPM 関連国際会議での報告や論文発表では、欧米と互角であり、新規技術開発力に期待がもてる。

したがって、日本の企業、大学・研究機関の研究開発力を結集、あるいは競争的に研究開発を実行すれば、高速 SPM の開発において、欧米に劣ることは無いと考えられる。実際、金沢大学では、オリンパス社と協力して、先行的に高速 AFM を開発した。

日本の SPM 開発企業や大学研究者等が、結集あるいは競争的に新規高速 SPM を開発商品

化すれば、現在の SPM のユーザーの買い替え需要を引き起こし、緩やかな縮小傾向にある市場（図 5-8）の活性化を呼び起こすものと期待できる。現在の SPM には、1 枚の像を得るのに 1 分のオーダー（画像サイズと分解能にもよる）を必要とする欠点がある。高速 SPM 開発では、この撮像時間を 2 桁から 3 桁改善することを目標とし、一部の企業・研究グループで実現されている。一般のユーザーの SPM の利用では、高速化は、測定・観察・評価等の作業における効率化の点でメリットが大きく、価格が妥当であれば、買い替え需要は大きくなるものと期待される。別の視点として、SPM はナノテクノロジーにおける重要な基盤技術の 1 つであり、SPM により高速観察・評価が常套手段となれば、SPM の利用面を拡大することになる。このような利用分野として、「溶液環境中の生体分子の動的挙動の観察」、「溶液環境中での電極表面の電気化学反応の観察」、「金属触媒表面での関連化学種の挙動の観察」などがある。これらの分野では、高速 SPM は新規ユーザーを拡大することとなり、ひいては、SPM 市場をさらに活性することに繋がると思われる。なお、溶液環境中の生体分子の動的挙動の AFM 観察だけでなく、溶液中の原子分解能 AFM 観察も、日本が世界に先駆けて達成しており、今後は両者の融合による「溶液環境中の生体分子の動的挙動の原子分解能 AFM 観察」に発展する可能性も高く、生体分子の研究にブレークスルーをもたらすと思われる。

## 提言 2

大学・研究機関における走査型プローブ顕微鏡関連の新規技術開発の継続育成とその研究成果の民間企業等への技術転移の強化

1979 年の STM の基本特許の出願以来、SPM の研究開発や SPM の応用技術開発活動はその時期により多少の変動が見受けられるが、SPM の研究開発動向は、ナノテクノロジーの基盤技術として、常に衆目の的になってきた。SPM の研究開発や応用開発では、従来のマクロな世界の固定概念の枠を超えた「ナノの世界」についての研究例が発表され、それがナノテクノロジー分野では新規な注目技術として成長する場合もある。

新規な技術として日本への特許出願を例としてみると、研究機関としての科学技術振興機構や産業技術総合研究所などによる SPM 関連特許が上位にランキングされている（図 5-5）。また、国際的な学術雑誌や国際会議でも、日本の大学や研究機関の研究成果には、欧米と伍するどころか、欧米を凌ぐレベルものが散見される。その典型例が第 5 章第 6 節（2）「アカデミアでの研究開発リーダー」で述べたように、SNDM（走査型非線形誘電率顕微鏡）の発明と高密度記録への応用および NC-AFM（Non-Contact AFM）の原子識別・操作技術への応用技術の開発である。前者の SNDM では、東北大学の長教授の方式は、次世代高密度記録として、将来有望なタイプであるとの期待に加え、半導体表面の評価に現状利用されている SCaM（走査型容量顕微鏡）の性能を凌ぐ可能性もあると指摘されている。後者の例では、大阪大学の森田教授の NC-AFM による原子識別・操作技術が注目されているが、この技術については、中長期（10 年～20 年程度）に渡る将来的な展望では、アトミックレゾリューションストレージ、更には原子 1 個による究極の超高密度記録装置の実用化へと発展する可能性もある。また、「元素の区別・識別がどこまで可能か？」などの課題とともに、新規分析ツール開発へと展開する可能性も高い。

これらの例を含め、日本の大学・研究機関による研究成果は欧米の研究開発力を凌駕した

レベルのものがあ、今後、中長期的観点から研究継続を支えることや、今後の実用化の展開を視野に入れ、その実用化を支援することが必要である。

### 提言 3

#### 日本の SPM メーカーは近隣海外市場への展開を意識した海外特許出願戦略の構築を

日本国籍出願人の SPM に関する特許出願件数は多い(図 5-3)。しかし、日本の SPM メーカーの商品の海外への輸出は、日本国内への外国メーカー品の輸入(図 5-9)に比べると極めて少ない。少数の輸出の例としては、日本電子が、超高真空タイプの STM や SPM を米国やカナダに輸出した実績がある程度である。海外への輸出が少ない理由の 1 つは、一般ユーザー向けの大気中タイプの SPM では、特許の基本的部分を米国メーカーに押さえられているため、海外での商品競争力が弱いといわれている。

今回の調査では、第 5 章第 6 節(2)「アカデミアでの研究開発リーダー」で述べたように高速 AFM や SNDM 等日本独自の技術であって特許出願されている有望なものがあ。このような技術を織り込んだ製品は国際競争力を有すると考えられるので、今後の商品の海外輸出をにらんで、特許出願人やメーカーは、今後の海外展開を強化する方向で、海外出願を図っていくことが期待される。米国への特許出願ではセイコーインスツルやエスアイアイナノテクノロジーが、それぞれランキング上位にみられた。しかし、日本近傍の中国や韓国への特許出願では欧米への特許出願ほどには多くはみられない。

最近、中国、韓国、インドを含むアジア地域での科学技術の進展や工業化の顕著な進展が世界的に注目されている。特に中国では 2006 年末には研究開発投資額がアメリカに次いで世界で 2 位になるとの予想が OECD レポートで発表された(脚注)。中国においては、研究開発投資の増加に対応して、関連機器市場の拡大が期待される。このような状況において、これら日本の近隣地域への戦略的な特許出願の構築は、低迷する日本の SPM 市場を今後において支え、ナノテクノロジーの基盤技術としての SPM の製造技術を保ちつづける点からも重要と思われる。

(脚注：[http://www.oecd.org/document/26/0,2340,en\\_2649\\_201185\\_37770522\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/26/0,2340,en_2649_201185_37770522_1_1_1_1,00.html))



