

ナノ構造材料技術に関する技術動向調査

平成 13 年 6 月 15 日

技 術 調 査 課

第 1 章「ナノ構造材料技術」の技術俯瞰

ナノメートル (nm と表記: 1 メートルの 10 億分の 1) サイズのナノ構造 (概ね 0.1nm ~ 200nm) 材料・部品の構造制御や製造法には、大別すれば、次の 2 つの方法がある。

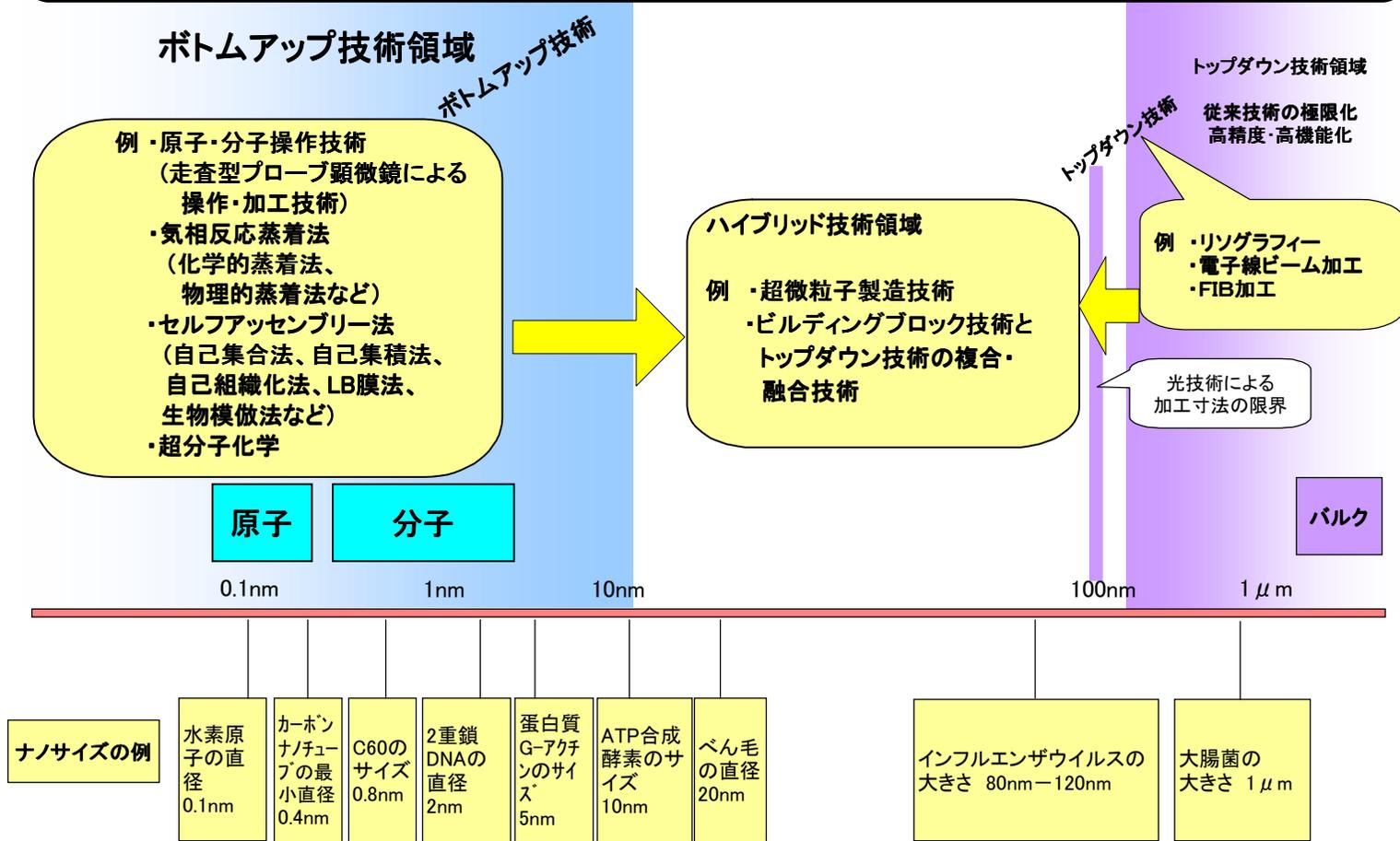
1 トップダウン技術: 従来技術の極限化、高精度化、高機能化による超微細加工技術

2 ボトムアップ技術: 注目すべき新規技術であり、典型的には、原子・分子のハンドリング・操作技術により、原子・分子を数十から数百の単位で構築することでナノ構造をビルディングアップする技術である。先のトップダウン技術では、半導体回路製造等で顕在化しているように 100nm 程度のサイズに微細構造を構築する技術の限界があると予想される。一方、ボトムアップ技術では、原子・分子レベルでの超微細構造のハンドリング・操作技術や自己組織化プロセス等を有効に活用して、ナノ構造体を製造する活路が開けつつある。

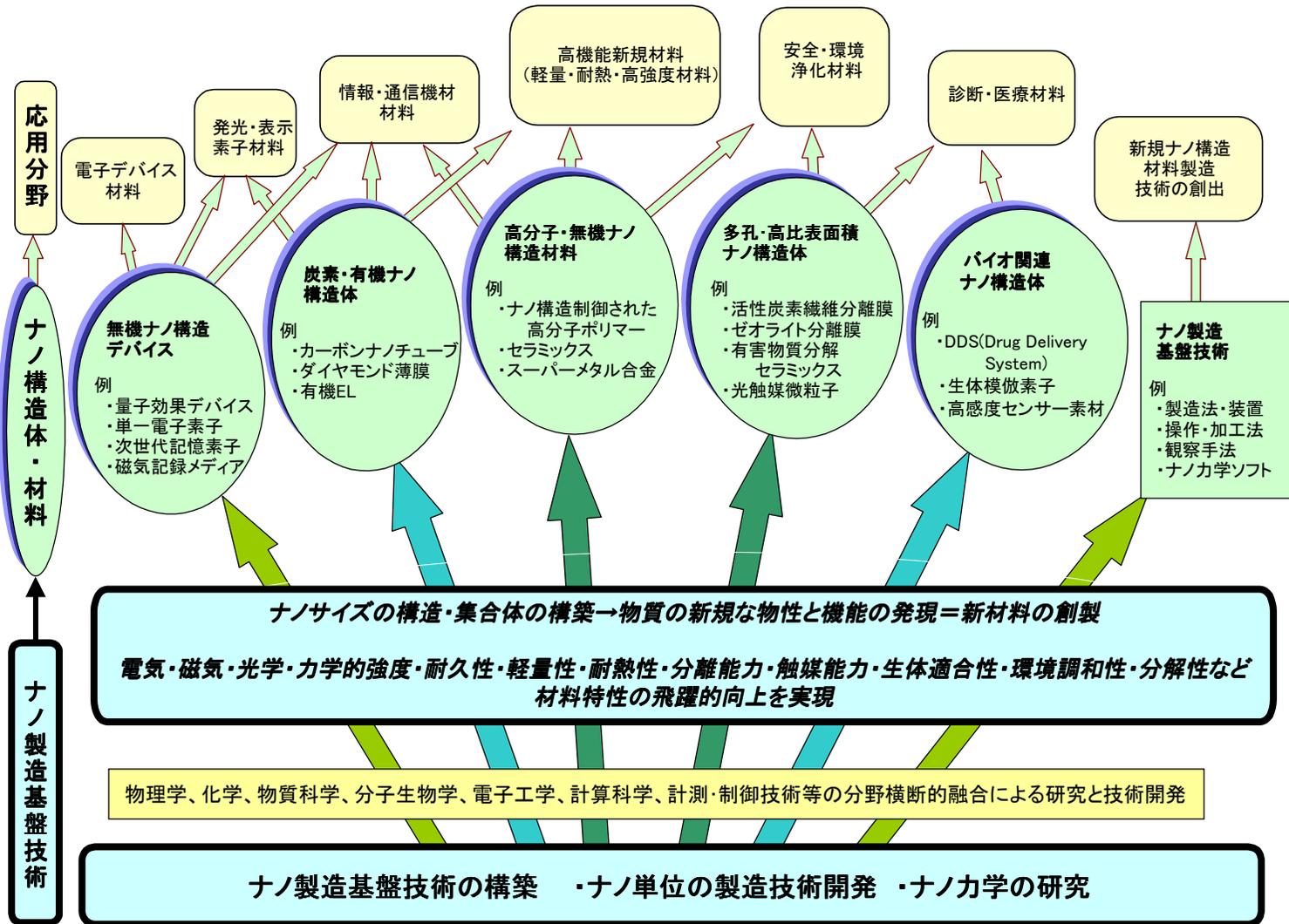
この両者の技術は、概ね 1nm ~ 100nm サイズのナノ構造体の加工・製造技術として、ある種の材料・デバイスでは互いに独自の技術開発が、また別の局面では、互いに補完するようなハイブリッド技術の開発が展開されると期待される。上記のような技術の開発には、とりわけ、ボトムアップ技術では、ナノ構造レベルでの物質の力学的特性等の知見が必須であり、いわゆる「ナノ力学」の理論計算的研究「ナノダイナミクス」も必要となる。

今回取り上げる「ナノ構造材料技術」における、ナノ製造基盤技術と関連「ナノ構造体」について、本テーマの位置づけと相互の関係をまとめた俯瞰図を図 1 と図 2 に示す。

ナノ製造基盤技術の構築 ・ナノ単位の製造技術開発 ・ナノ力学の研究



1図—(2/2) 「ナノ構造材料技術」の俯瞰図



ナノ構造材料技術における典型的なナノ構造材料および関連する基盤技術の研究開発の例について、ナノサイズの視点からの纏めを表 1 に掲げた。表 1 では、各分野において、先駆的な研究開発例であるもの、技術文献で引用度が高いもの、最近の発表で今後の展開が注目されるもの、ナノサイズとして典型的なもの、極限的なサイズのナノ構造材料であるものなどから、各分野の代表的な事例を掲げた。

表 1 ナノ構造材料技術でのナノサイズの視点からの典型例

分野	用途分野	サイズ				
		0.1nm	1nm	10nm	100nm	1000nm
ナノ製造基盤技術	製造基盤技術 (SPM による操作)		STM 探針により基板上の Xe 原子を操作し、英文字列 (IBM) を作	AFM 探針を利用した「ナノテスター」(理化学研究所)	対象サンプル幅 100nm の「ナノ箸」(東大)	
			STM 探針により銅基板上の CO 分子を操作 (ベルリン自由大学)		カーボンナノチューブ探針を有する AFM による「ナノピンセット」(大阪府立大学)	
	製造基盤技術 (SPM による分子の合成)		STM 探針により 2 個のフェニル基から C ₁₂ H ₁₀ 分子を合成 (ベルリン自由大学)			
	製造基盤技術 (原子・分子操作)	PVD による薄膜作製では厚み方向 0.1nm の制御可能		1 nm(原子 20~50 個分)の微細粒子を仕分ける装置(ワイコフ興業)		
	製造基盤技術 (リソグラフィー)			SPM を利用した SPM リソグラフィーによる超極細線の作成 (スタンフォード大学)		電子ビーム描画装置 130nm の回路線幅 100nm も近々 (アドバンテスト・富士通) ルーセントも 100nm 可能
	製造基盤技術 (SPM による微細加工・記録)			MoS ₂ 基板上で S 原子を蒸発させて作製した原子サイズレベルの世界最小文字(日立)		SPM による直径 100nm、高さ 20nm のシリコンドットの 2 次元配列構造の作製 (融合研、JRCAT)
	製造基盤技術 (自己組織系)			LB 膜 1 層の厚み (鎖状分子長) (2nm-5nm)	フェリチン蛋白質 (10nm 程度) の 2 次元薄膜状集合体の作製 (明治大学、松下電器)	
製造基盤技術 (超微粒子)			各種 dendrimer (1 nm-数 nm)		超微粒子のサイズ分布	

無機 デバイス 構造	量子デバイス	直径 0.6nm、長さ 15nm の金原子ワイヤー (東)	大きさ 10nm の量子箱 3 個を幅 2nm のリード線で結合した回路 (NTT)			
			コバルト原子を楕円形に配置した構造体で量子屋気楼現象を観察 (IBM)			
無機 デバイス 構造	電子回路素子	Xe 原子 1 個を利用した 3 端子スイッチ (IBM)	カーボンナノチューブを用いたトランジスタ (スタンフォード大学)	回路線幅 60nm のナノトランジスタ (ルーセント)		
		直径 0.7nm のフラーレンを使った最小の増幅器 (IBM チュルク)	大きさ 10nm の単一電子トランジスタ 4 個で加算回路の動作を確認 (NTT)			
炭素・有機 ナノ構造体	ナノチューブ/ ナノコイル	世界最小直径 0.4nm のカーボンナノチューブの製造 (理化学研究所)	多層カーボンナノチューブ外径:10nm	多層カーボンナノチューブ製のナノシリンダー	カーボンナノコイル 太さ: 数十 nm ピッチ: 数 10nm - 数 100nm 外径: 数 100nm	
高分子・無機 ナノ構造材料	ナノ結晶合金		ナノ結晶分散型アモルファス Al 合金では、アモルファス中に、5 ~ 10nm 径の Al 粒子が分散			
多孔・高比表面積 ナノ構造体	触媒	ゼオライトの孔の最小サイズ: 0.3nm - 10nm				
	ろ過膜			限外ろ過膜の細孔径の分布 数 nm ~ 200nm		
バイオ関連 ナノ構造体	生体模倣材料		分子モーターの作製 (工技院、IBM 等) 1.5-10nm			
	医療用材料			DDS(Drug Delivery System)用のリボソーム 50-100nm		
自然界の典型的な例		水素原子直径 0.1nm	2重鎖 DNA の直径 2nm	ATP 合成酵素 (最小のモーター) のサイズ	大腸菌の大きさ約 1000nm	
		C60 のサイズ:		インフルエンザウイルスの大きさ		
	サイズ	0.1nm	1nm	10nm	100nm	1000nm

第2章「ナノ構造材料技術における対象市場の概況」

<主たる参入プレイヤーの違いと市場の大きさの関係>

1 ナノ製造基盤技術

STM や AFM 等の走査型プローブ顕微鏡 (SPM) を利用した原子・分子の操作加工技術の開発及び同技術によるナノ構造材料の開発では、IBM 社による基礎技術が顕著であるが、それらの研究で試作された材料については、未だ商品市場を形成していない。この技術分野の研究参入プレイヤーでは、STM を世界に先駆けて考案・開発した IBM 社が全体的に優位の位置にある。関連する SPM 装置の世界市場は 1997 年度で 200 億円程度(出典:Nanotechnology, The Netherlands Study Centre for Technology Trends, 1998 年)であったが、アメリカが約 4 割を占めている。

半導体製造に関わる主要な製造装置の市場は 1999 年世界で約 2 兆円と推定(出典:1999 半導体製造装置データブック、電子ジャーナル発行, 1998 年 8 月)され、その内、トップダウン技術の範疇に含まれる半導体微細構造の加工・製造装置関連が半数を占めている。

ナノ力学に関わる分子計算ソフトでは、米国の MSI 社が全世界の市場の 3 分の 2 を占めているが金額規模は不明である。

2 無機ナノ構造デバイス

半導体製品関連は 1999 年で世界で 17 兆円程度(出典:WSTS(世界半導体市場統計)資料, 電波新聞, 2000 年 11 月 1 日, WSTS2000 年 10 月 31 日発表資料)であるが、このうちナノ構造体に関与する半導体レーザー素子関係の日本市場は、1998 年度は 1270 億円であり、1999 年度は 1440 億円程度と見込まれている(出典:1999 年度光産業の国内生産額等調査結果,(財)光産業技術振興協会発行, 2000 年 3 月)。これらの分野では、大手電機メーカーが主たるプレイヤーである。

3 炭素・有機ナノ構造体

有機 EL 材料は、現在、日本のメーカーの商品が市場に普及しはじめた段階であり、2002 年に国内有機 EL パネル市場で 170 億円程度と予想されている(出典:1999 光産業予測便覧, 富士キメラ総研発行, 1999 年 8 月)。

カーボンナノチューブは、将来の応用(表示素子など)に期待が大きいですが、量産技術の開発が行われている段階であり、2001 年 3 月時点で市場規模の数値は明らかでない。

4 高分子・無機ナノ構造材料

ナノ構造制御ポリマー関連は、市場規模に関して、公表されている数値は確認できなかったが、化学系メーカーが主たるプレイヤーである。

5 多孔・高比表面積ナノ構造体

多孔・高比表面積ナノ構造体である分離膜・光触媒関連では、日米欧ともそれぞれ 1000 億円程度であり、この分野の企業が参入している。透析用の機能性分離膜では、日本の技術貿易に 157 億円のプラス面がある。

6 バイオ関連ナノ構造体

DDS に代表されるナノ構造体バイオ関連市場は、技術が萌芽的レベルにあり、日本では、ベンチャー企業（定義：新技術を開発するに必要な高度な専門的知識と技術力を基に、創造的なビジネスを行う中小企業）が誕生しつつある段階で、市場規模は極めて小さい。

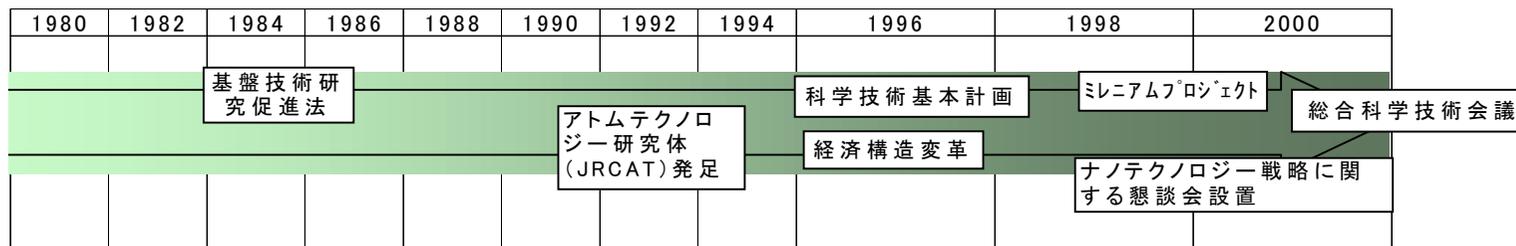
以上典型的な場合を記載したが、材料的には、ナノテクノロジーの視点が意識される以前からナノサイズの構造制御を実施しているナノ構造体の範疇に入る分野（単なるナノスケールのテクノロジー）で市場が形成されている反面、ナノテクノロジーの視点が強く意識された新規なナノテクノロジー（革新的なナノテクノロジー）による市場は、萌芽的段階である。

<最近のナノ構造材料技術関連の日米欧の政策と予算の概要>

ナノ構造材料技術に係る日米欧の最近の政策と予算の概要について、調査し、要点を纏めた。ナノ構造材料技術関連の日米欧の主要な基本政策の年次推移を表 2 に、最近のナノ構造材料技術関連の日米欧主要プロジェクトの概要を表 3 に、国際協力プロジェクトを表 4 にそれぞれ示す。

表2 ナノ構造材料技術関連の日米欧の主要な基本政策の年次推移

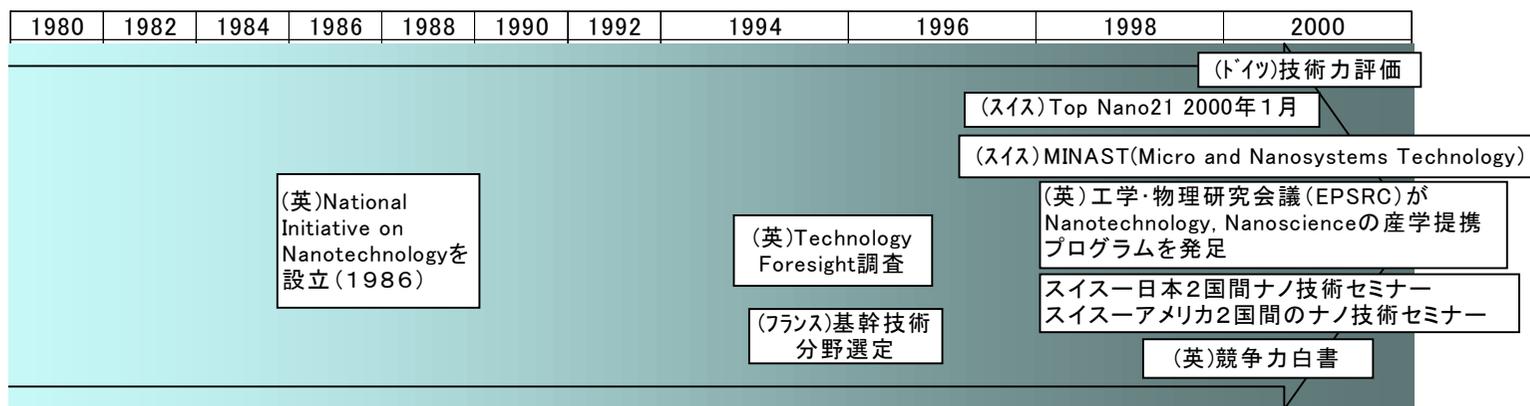
日本



米国



欧州



注) Top Nano21 : Technology - Oriented Program Nano21

表3 最近のナノ構造材料技術関連の日米欧主要プロジェクトの概要

関係国	プロジェクト名あるいは予算名	実施期間	予算金額	内 容	関係機関
アメリカ	National Nanotechnology Initiative (国家ナノテクノロジー戦略)	2000年10月 ～2001年9月 (2001年度 会計予算)	497百万ドル (534.6億円) 2000年会計年度予 算 270百万ドル (291.6億円)に比べ 8割増で、注目さ れる	1 基礎的研究 2 グランドチャレンジ(挑戦的研究) 3 中核研究所及びネットワークの構築 4 研究基盤整備社会 5 倫理、法整備及び教育・訓練	米国商務省/米国国立 標準・技術研究所 米国国防省 米国エネルギー省 米国航空宇宙局 米国国立衛生研究所 全米科学財団
日本	平成13年度予算、新規産業創出型産 業科学技術研究開発制度予算	2001年4月～ 2002年3月 (平成13年 度)	39.0億円	1 シナジーセラミックス 2 スーパーメタル 3 炭素系高機能材料技術 4 独創高機能材料創製技術	経済産業省
	平成13年度材料ナノテクノロジープ ログラム	2001年4月～ 2002年3月 (平成13年 度)	43億円	1 精密高分子技術 13億円 2 ナノガラス技術 6億円 3 ナノメタル技術 3億円 4 ナノ粒子の合成と機能化技術 9億円 5 ナノコーティング技術 5億円 6 ナノ機能合成技術 2.5億円 7 ナノ計測基盤技術 2.3億円 8 材料技術の知識の構造化 2.2億円	経済産業省 新エネルギー・産業技 術総合開発機構 (NEDO)
	「ナノテクノロジー」研究プロジェク ト	2000年度(平 成12年度) の補正予算	40億円	国内初のナノテク専門の大型研究施設設 立	理化学研究所
	「平成13年度科学技術振興に関する 重点指針」(平成12年6月)に沿った 関係省庁の平成13年度概算要求及び 日本新生特別枠要望における科学技術 関係経費の分野別経費	2001年4月～ 2002年3月 (平成13年 度)	134億円 8億円	ナノ融合物質・材料 ナノ単位の製造基盤技術	文部科学省
ドイツ	「ナノコスモス」プロジェクト	1999年～5年 間	1.5億ドイツマル ク(93億円)	ナノ微細加工、機能性超薄膜、光エレクト ロニクス、ナノ材料、分子操作、超精 密表面、ナノ解析	産官学
スイス	「TOP NANO 21」	2000年1月 ～2003年12 月	100万スイスフラ ン(0.6億円)まで /件	医療技術、バイオ、環境技術、情報技術 などの分野でナノテクノロジーに関連す る研究	産官学

英国	産業連携プログラム Interdisciplinary Research Network in Nanotechnology And Nanoscience	2000年～	6万ポンド(972万円) x 10テーマ		工学・物理研究会議
オランダ	ナノテクノロジー関連の研究費	1998年	2.9百万ドル(3.8億円)	1 ナノ物理 2.1百万ドル 2 ナノ化学 統計データなし 3 ナノ生物科学 0.8百万ドル	オランダ科学研究機構
EC	研究プログラム予算	内容の1～4は 1996年～3年間、5は1996年の数値	個別予算は右記	1 エレクトロニクス(ARI-MEL) 17百万ドル 2 材料(BRITE/EURAM) 8百万ドル 3 医療技術(BIOMED) 5百万ドル 4 バイオテクノロジー・構造生物(BIOTECH) 10百万ドル 5 共同研究センター 0.8百万ドル等 ()中は、プロジェクト名	加盟各国

表4 国際協力プロジェクト

関係国	プロジェクト名	実施期間	予算	内容	関係機関
日本 米国	国際共同研究事業(ICORP)量子遷移プロジェクト	1994年1月～1998年12月	日本側予算約10億円	ナノ構造物性 量子構造制御	科学技術振興事業団 日本：東京大学生産技術研究所(教授 榊 裕之) アメリカ：ノートルダム大学(教授 James L.Merz)
日本 スイス	Japan-Switzerland Bilateral Symposium on Science & Technology in Micro/Nano Scale	2000年～毎年	-	スイス政府は日本と科学技術協力、ナノテクノロジー、生物、医学関係の材料を含む	日本：理化学研究所 スイス：パーゼル大学、IBMチューリッヒ研究所
日本 独	国際共同研究事業(ICORP)セラミックス超塑性プロジェクト	1995年1月～1999年12月	日本側予算約10億円	共有結合性ナノ結晶セラミックスの創成に関する研究。 塑性変形機構の基礎的解明、新規な高温物性、粒界における界面現象の研究。	科学技術振興事業団 日本：東京工業大学応用セラミックス研究所(教授 若井 史博) ドイツ側：マックス・プランク金属研究所(教授 Fritz Aldinger)

日本 仏	ナノ・マイクロマシン	1997年～ 毎年	-	日-仏ワークショップ「ナノの世界とマクロの世界をつなぐマイクロマシン」を開催	日本学術振興会など
		2000年4月 ～	-	マイクロメカトロニクス国際研究センター設立。マイクロマシンの光分野への応用とマイクロマシンのツールによるナノ世界の探求。	東京大学生産技術研究所 (同マイクロメカトロニクス国際研究センター長 藤田 博之)
	国際共同研究事業 (ICORP) ナノチューブ状物質プロジェクト	1998年1月 ～ 2002年12月	日本側予 算 約 10 億円	アーク放電法やレーザー蒸発法を駆使し、非平衡状態下における物質凝集状態を探ることにより、炭素を含むナノチューブ状の生成機構の解明を図り、構造と物性の相関を明らかにする。また、チューブ状物質の生成に不可欠な金属触媒の働きについても探求する。	科学技術振興事業団 日本：名城大学理工学部 (教授 飯島澄男) フランス：CRNS エミー・コットン研究所 (所長 Christian Colliex)
日本 蘭	国際共同研究事業 (ICORP) 超分子集合体 (分子転写プロジェクト)	1997年1月 ～2001年12月	日本側予 算 約 10 億円	溶液中に分散する巨大分子 (フラレン・デンドリマー) のマトリックスおよび包接化合物や有機ゲルの機能修復による分子鋳型効果の発現の研究。 水-空気界面での展開膜を利用する分子鋳型の創出。	科学技術振興事業団 日本：九州大学工学部 (教授 新海 征治) オランダ：トゥエンテ大学化学技術部 (教授 D. N.Reinhoudt)
米国 スイス	US-Swiss Forum on NanoBioScience	2000年12月	-	スイスとアメリカ間のナノサイエンスに関する技術協力関係	プリンストン大学

第3章「主要な研究開発制度・プログラム」

主要な研究開発制度やプログラムの名称と実施の年次推移の一覧を表5に掲げた。

表5 公的研究機関におけるナノテクノロジー関連プロジェクト（日本国内）

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
旧通産省 (現経済産業省)	旧工技院(NEDO)											
	新規産業創出型産業科学技術研究開発制度		← 1991年から制度スタート →									
	新規産業創造型提案公募制度							← 1996年から制度スタート 1999年度終了 →				
	産業科学技術研究開発				← 1993年から制度スタート →							
	産業技術実用化開発補助事業								← 1998年から制度スタート →			
	先導調査研究										← →	
旧科学技術庁 (現文部科学省)	旧科技庁											
	科学技術振興調整費	← →										
	科学技術振興事業団(JST)											
	戦略的基礎研究推進事業(CREST)						← 1995年から事業スタート →					
	創造科学技術推進事業(ERATO) 旧新技術開発事業団	← →										
	国際共同研究事業(ICORP)	← →										
	さきがけ研究21(PRESTO)	← →										
	若手研究者研究推進事業(TOREST)										← →	
	委託開発事業	← →										
	計算科学技術活用型研究開発推進事業										← →	
理化学研究所	← →											
旧文部省 (現文部科学省)	文部省・日本学術振興会	← 特別推進研究1990年～1998年 →										
	日本学術振興会											
	未来開拓学術研究推進事業							← 1996年から事業スタート →				
	産学協力研究委員会	← →										
	旧分子科学研究所								← →			
法人	化学技術戦略推進機構(JCII)							← 1996年JCII設立から →				

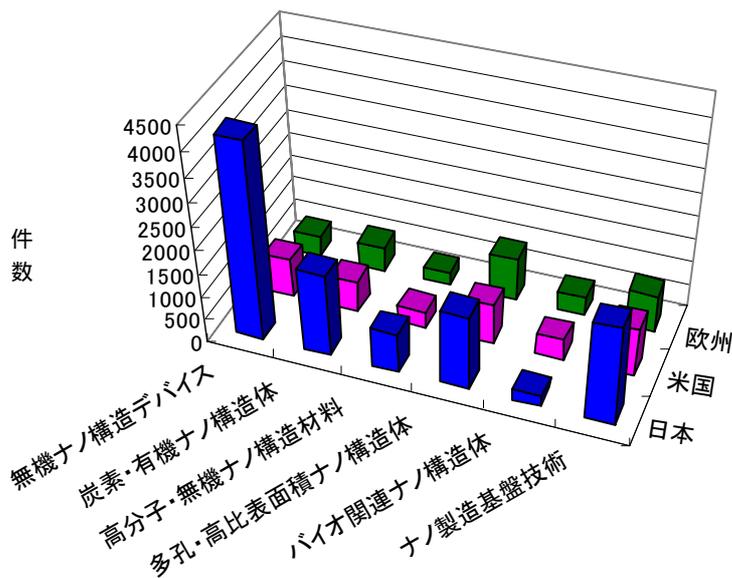
第 4 章 「日米欧の技術開発における競争力比較」

< 特許権から見た日米欧の技術開発競争力の比較概要 >

ナノ構造材料技術の 6 テーマ別に日米欧の特許出願人国籍を比較した(データベース：日本国籍は PATOLIS、欧米国籍は WPINDEX(STN))。図 3 に示すように、日本は、無機ナノ構造デバイスで欧米の 4 倍程度の特許件数であるが、逆に、バイオ関連ナノ構造体では、日本は欧米の半分以下である。

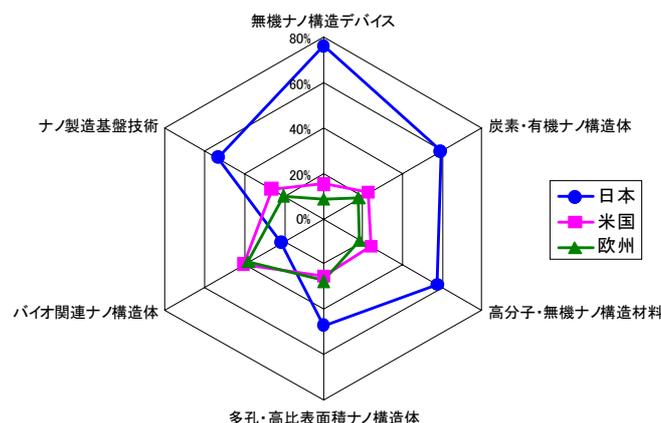
図 3 ナノ構造材料技術テーマ別出願人国籍別出願比較 (1990-1998)

(データベース：日本国籍は PATOLIS、欧米国籍は WPINDEX(STN))



ナノ構造材料技術の 6 テーマ別に見た日米欧の特許件数 (日欧は出願件数、米は取得件数) の割合の比較(図 4)においても、日本は欧米に比べ、「無機ナノ構造デバイスで件数が多く、バイオ関連ナノ構造体で少ない」特徴が現れている。6 テーマ全体の割合分布傾向では、欧州が米国より規模は小さいが、同じ様な分布をしていることが分かる。

図 4 ナノ構造材料技術テーマ別出願人国籍割合 (データベース：日本特許は PATOLIS、欧米特許は



WPINDEX(STN)

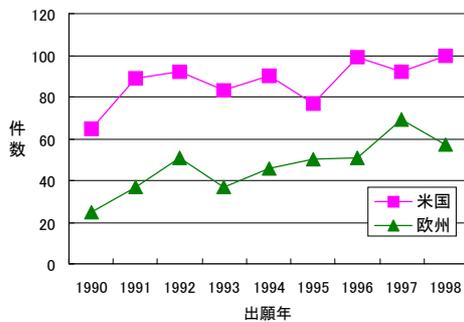
<全世界を出願対象国とした欧米国籍からの出願件数推移>

全世界を出願対象国とした欧米国籍からの出願件数推移(データベース:WPINDEX(STN))をナノ構造材料技術の6分野別に解析した結果を図5に示す。

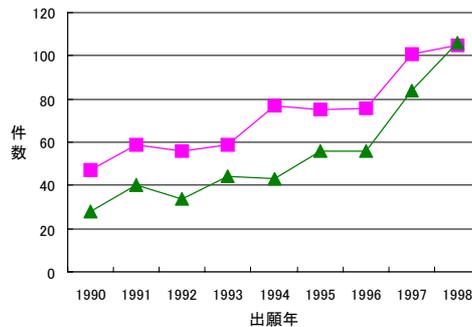
無機ナノ構造デバイス分野の件数の年次増加は、他の5分野に比べて、緩やかである。5分野のうち、炭素・有機ナノ構造体、高分子・無機ナノ構造材料、多孔・高比表面積ナノ構造体、ナノ製造基盤技術の4分野では、欧州の年次増加が米国の年次増加よりやや顕著な傾向がある。バイオ関連ナノ構造体の分野では、1997年以降、欧米とも件数が急増している。これらの年次推移傾向は、次に図6で示す日本の特許件数(出願件数、データベース:PATOLIS)の年次推移傾向とは異なる様相である。

図5 全世界を出願対象とした欧米国籍からの出願件数推移(1990-1998)(データベース:WPINDEX(STN))

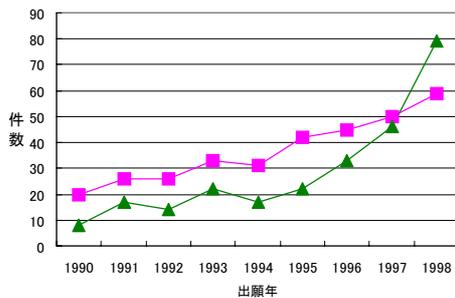
無機ナノ構造デバイス



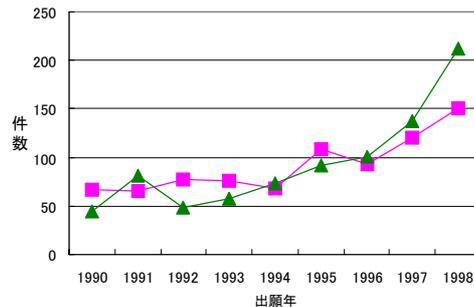
炭素・有機ナノ構造体



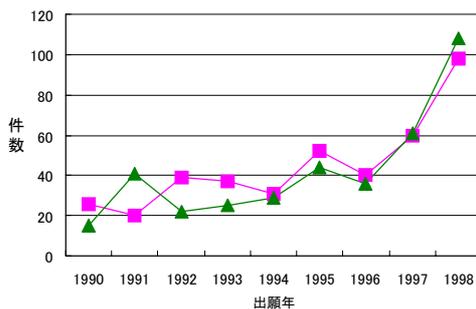
高分子・無機ナノ構造材料



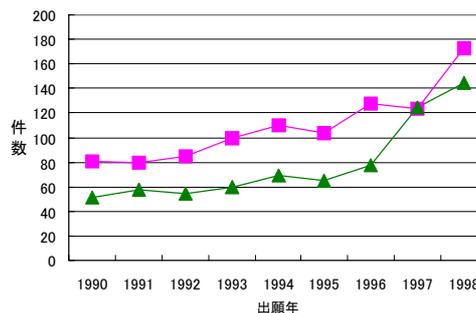
多孔・高比表面積ナノ構造体



バイオ関連ナノ構造体



ナノ製造基盤技術



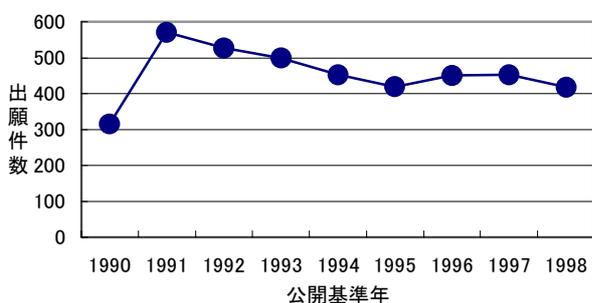
< 6分野の日本を出願対象国とした日米欧国籍からの出願件数推移 >

日本特許における日本からの出願件数推移（データベース: PATOLIS）について、ナノ構造材料技術の6分野別に解析した結果を図6に示す。

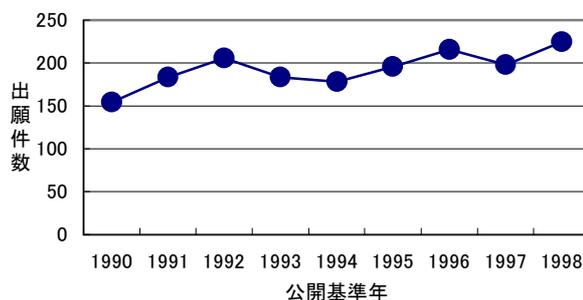
各分野毎に出願件数の規模（グラフの縦軸の数値）は異なるが、年次推移は全体的に欧米の年次推移（前出の図5を参照）に比べて穏やかである。

図6 日本特許における日本からの出願件数推移(1990-1998) (データベース: PATOLIS)

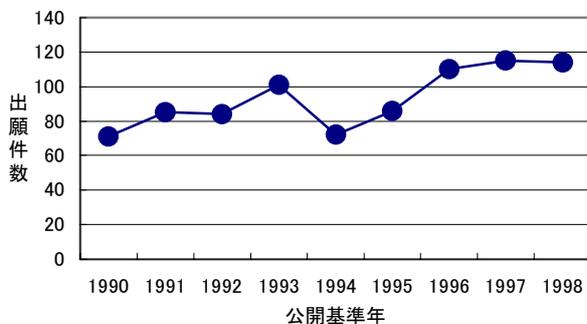
無機ナノ構造デバイス



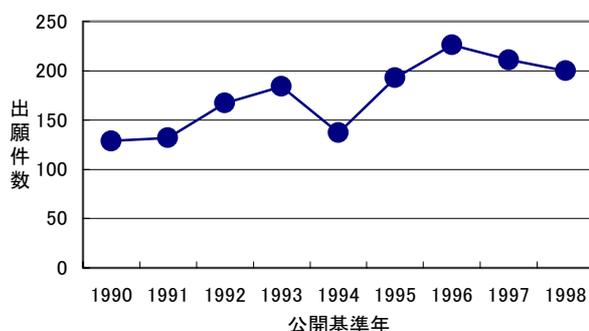
炭素・有機ナノ構造体



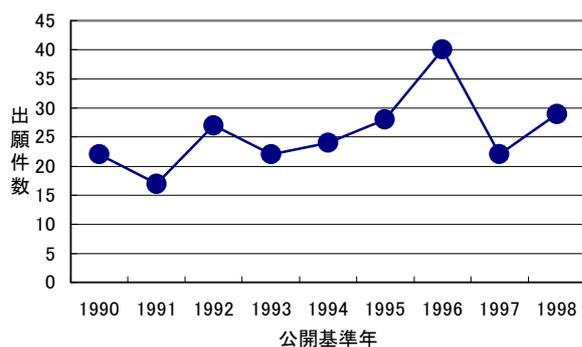
高分子・無機ナノ構造材料



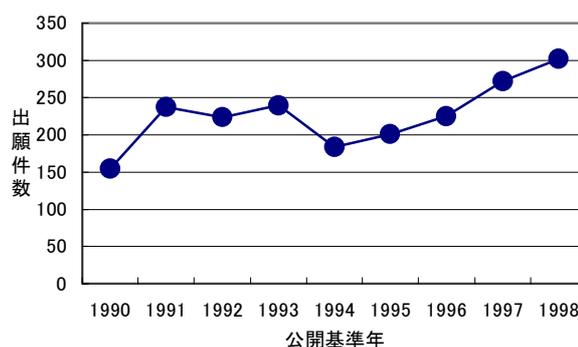
多孔・高比表面積ナノ構造体



バイオ関連ナノ構造体



ナノ製造基盤技術



< ナノ構造材料技術 6 分野での 3 極間特許出願の相互比較 >

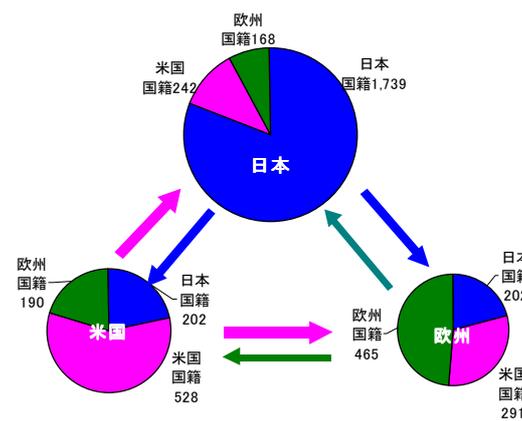
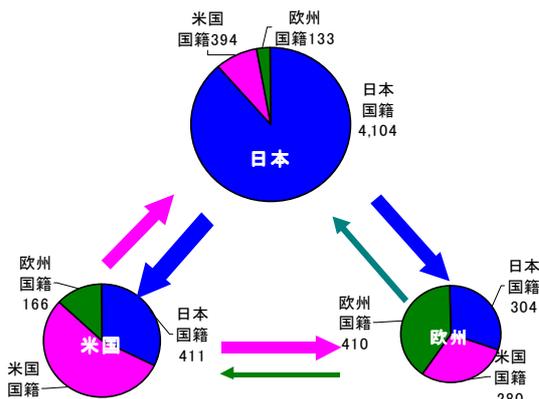
ナノ構造材料技術 6 分野での 3 極間特許出願の相互関連を 1990-1998 年間の累計ベースで比較検討した。データベースとして、出願先国・日本は PATOLIS, 出願先国・欧米は WPINDEX(STN)を使用した。結果を図 7 に示す。

図 7 ナノ構造材料技術 6 分野での 3 極間特許出願(1990-1998)の相互関連図

(データベース： 出願先国・日本は PATOLIS, 出願先国・欧米は WPINDEX(STN))

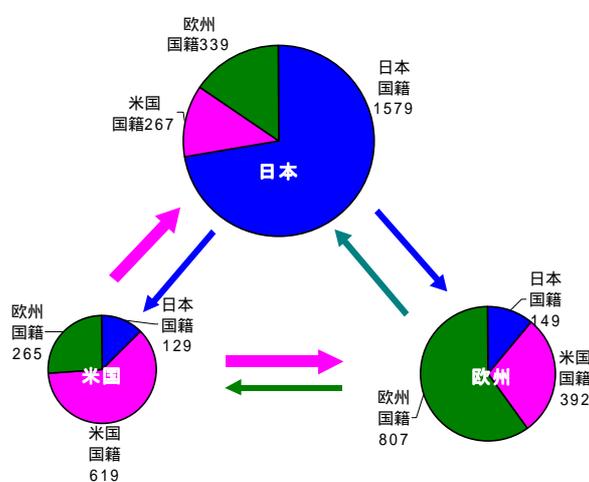
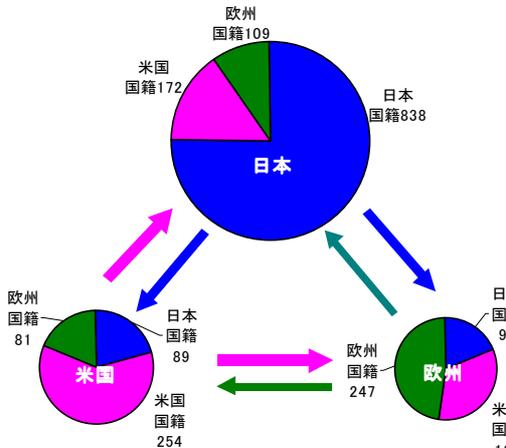
無機ナノ構造デバイス

炭素・有機ナノ構造体



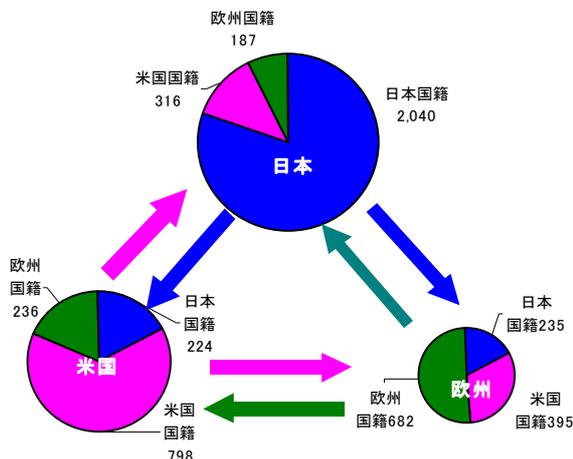
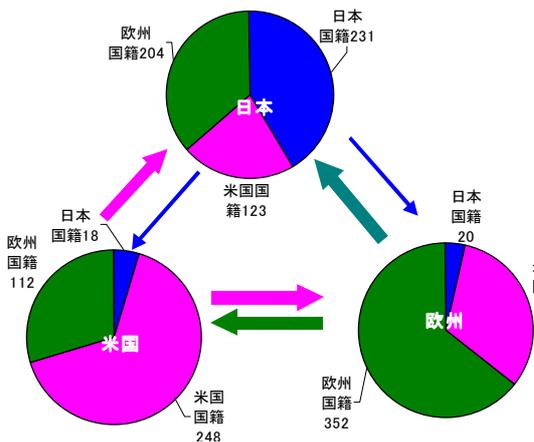
高分子・無機ナノ構造材料

多孔・高比表面積ナノ構造体



バイオ関連ナノ構造体

ナノ製造基盤技術



上記グラフの分析

< 3 極間における出願傾向の分析 >

日本： 日本はバイオ関連ナノ構造体分野で米国、欧州への出願が 1 割未満である。他の分野では 2-3 割程度を占めている。

米国： 米国は無機ナノデバイスの分野で日本への出願が 1 割程度と少ないが、他の分野ではそれ以上であり 2 割程度を占めている分野もある。欧州特許へは、バイオ関連ナノ構造体分野では 4 割程度を占めるが、残りの 5 分野ではほぼ 3 割程度である。

欧州： 欧州は無機ナノデバイス分野で日本への出願割合が非常に小さく、逆にバイオ関連ナノ構造体分野での出願割合が約 4 割と高い。残りの 4 分野では 1-2 割程度である。米国への出願割合は、無機ナノデバイスで 1 割程度であるが、残りの分野では、2-3 割である。

日本は、無機ナノ構造デバイス分野において、自国特許および欧米特許への件数・割合の両方で、他の分野での件数・割合に比べ大きい数値との特徴が現れた。ナノ製造基盤技術も無機ナノ構造デバイス分野には及ばないが同様の傾向がやや見られる。これらは 1999 年の日本を含めた世界市場で、半導体製品関連市場が 17 兆円規模、また半導体製造に係わるトップダウン技術装置の市場が 1 兆円規模と大きいことと相関が強い。すなわち、無機ナノ構造デバイス分野は、それが密接に関わる半導体関連の市場規模が大きいこと、市場競争で他製品を排除するなどの優位性を保つため、基礎研究および商品応用研究の段階で、特許面での対応を取るべく特許出願を数多くしている。このため他分野に比べ特許出願件数が多く、この分野の市場規模と特許件数（日欧は出願件数、米は取得件数）の多さに相関性が強いと推定できる。これらの分野で特許件数が多いことは 1985 年の基盤技術研究促進法による基盤技術研究力の強化が伏線となっていることも遠因の一つと考えられる。

一方、この分野での革新的なナノテクノロジーが関与する市場、例えば、1999 年の半導体レーザ素子関連の日本市場は 1440 億円程度、1997 年の SPM 装置の世界市場は 200 億円程度と推定されており、上記のトップダウン技術に比べて市場規模は小さい。また技術開発の段階も萌芽の段階から成長段階にあり特許件数（日欧は出願件数、米は取得件数）も上記に比べて少ない。量子効果デバイスや SPM を応用した高密度記録技術など、さらに革新的なナノテクノロジーが関与する技術分野の市場はまだ形成されていないと推定される。しかし、この分野は今後注力すべき分野であるため、欧米や日本の政府は、この 1 年間にナノテクノロジー技術やナノ構造材料技術の開発に注力すべく予算を強化する施策を発表している（米国ナノテクノロジー予算 534 億円（2001 年会計年度）、日本の 2001 年度のナノテクノロジー関連の予算（案）：未定のものを含め、2001 年度の日本のナノテクノロジー関連予算は総額で 500 億円規模）。これらの施策が特許件数や市場規模にどう反映するかは今後の検証課題である。

炭素・有機ナノ構造体、高分子ナノ構造材料、多孔・高比表面積ナノ構造材料の 3 分野は、高分子ナノ構造材料で件数が少ないものの、日米欧 3 極では特許件数（日欧は出願件数、米は取得件数）の推移面でほぼ同様の傾向を示し、顕著な特徴が表れていない。

これらの分野では従来より単なるナノスケールのテクノロジーが使用されており、継続的に進展しているためと思われる。炭素・有機ナノ構造体分野で、注目されている革新的なカーボンナノチューブについては、量産化技術が開発されている段階であり、特許件数も少なく、全体の動向には影響を与えていない。全体的に革新的なナノテクノロジーは萌芽的ステージにあり市場規模は小さい。しかし研究開発は単なるナノスケールのテクノロジーに加え革新的なナノテクノロジーがこの 10 年間発展しており、今後、特許件数（日欧は出願件数、米は取得件数）の増加に反映されてくると推定される。これは、例えば、後に述べる図 9 で、カーボンナノチューブ全体で、数はまだ少ないが、この 5 年間に急増していることから予想されることである。

バイオ関連ナノ構造体分野では、他のナノ構造材料分野と異なり、日本発の特許出願件数が少なく欧米発の特許件数（日欧は出願件数、米は取得件数）と同等レベルであるとの特徴がある。

欧州で、日本との比較において相対的にこの分野で特許件数（日欧は出願件数、米は取得件数）が多いのは、欧州で、1990 年からバイオ技術開発の推進施策「BIOTECH 1 and 2」が開始され、1993 年からの EASDAQ 政策によりバイオベンチャー数が 300（1993 年）から 1172（1998 年）に増加したこと、さらには 1997 - 2000 年の中小企業支援施策の実施に遠因するものと推定される。

米国は 1994 年に「バイオ技術研究イニシアチブ」を打ち出し、バイオ技術を国家の推進すべき重要研究課題とする施策を採用した。このことによるバイオテクノロジー分野での技術的優位性の影響がバイオ関連ナノ構造体分野でもあり、研究開発が進展しており、結果的に特許件数が日本に比べて相対的に顕著となっている。

一方、日本でバイオ関連ナノ構造体分野の特許件数が少ないのは、日本のバイオ関連予算が米国に比べ規模が小さいこと（米国は 1999 年度に約 1 兆 6000 億円、日本は 2000 年度に約 2600 億円：経済産業省ホームページ）や、先端バイオテクノロジー分野全体で日本が米国に遅れをとっていること（平成 12 年度バイオテクノロジー基幹技術に関する動向調査：特許庁ホームページ）の間接的な反映と思われる。

バイオ関連ナノ構造体分野は、世界的に規模が小さく、米国で研究開発段階から一部の市場が立ち上がり始めた段階である。

< ナノ構造材料技術特許出願人ランキングの日米上位 20 位 >

ナノ構造材料技術特許出願人ランキングの日米上位 20 位を表 6 と表 7 にそれぞれ示す。データベースとして WPINDEX(STN)を使用した。表 7 の米国内の上位 20 位以内には、カリフォルニア大学やマサチューセッツ工科大学がリストアップされているが、表 6 の日本国内の上位 20 位以内には国内大学はリストアップされていない。公的研究機関の比較では、日本においては科学技術振興事業団や産業総合研究所(旧工業技術院)が中位に、米国においては米国海軍や陸軍が上位に、それぞれ出現するのが特徴的である。

日本からの出願ランキングにおいて上位 10 社が情報・電子・電機系の大手企業で占められているのは、市場規模の大きい電子デバイスなど半導体製品関連の研究に大手企業が微細加工技術を駆使する分野の技術等を携え参入していることおよびそれらの企業の研究規模の大きさの反映と推定できる。また、2つの公的研究機関がリストアップされているのは、表 5 に掲げたナノテクノロジー関連プロジェクトでの成果が特許出願された影響であると推定できる。

米国からの出願ランキングの上位も、ほとんどが情報・電子・電機系の大企業で占められているのは、日本と同様の理由と推定できる。カリフォルニア大学やマサチューセッツ工科大学等の大学からの出願が日本に比べ顕著であるのは、それらの大学が一流の大規模校であるのみならず、大学人の研究成果を権利化する意識が高いことや権利化された特許を基にベンチャー企業を起こすことが研究者にとって一般的な感覚になっている現実を反映している。米国政府機関でのナノテクノロジー分野での研究成果の特許件数は米国海軍と陸軍で顕著であるが、これら機関のこの分野への参入レベルを示唆していると思われる。

表 6 ナノ構造材料技術特許出願人ランキング(日本)(1990-2000年)

(データベース: WPINDEX(STN)、順位は世界におけるランキング)

出願人	出願人種別	ナノ構造材料		炭素構造材料		高分子材料		多孔質材料		ナノ構造材料		ナノ製造技術		
		件数	順位	件数	順位	件数	順位	件数	順位	件数	順位	件数	順位	
日本電気(株)	大手企業	282	1	241	1	59	2	16	6	24	9		59	2
(株)日立製作所	大手企業	221	2	179	2	36	8	26	3	10	41	2	76	58
松下電器産業(株)	大手企業	220	3	166	3	47	3	26	3	30	5	5	28	63
日本電信電話(株)	大手企業	198	4	157	6	69	1	12	12					30
三菱電機(株)	大手企業	178	5	164	4	45	4	20	5					31
富士通(株)	大手企業	172	6	162	5	38	7	8	25					20
(株)東芝	大手企業	133	7	101	7	39	6	8	25	8	64			27
キヤノン(株)	大手企業	118	8	82	9	41	5	9	21	16	19			46
ソニー(株)	大手企業	113	9	100	8	14	25							10
古河電気工業(株)	大手企業	84	12	79	10	10	41	4	55					4
科学技術振興事業団	公的研究機関	83	13	28	25	33	10	9	21	28	7			47
産業技術総合研究所(旧工技院長)	公的研究機関	67	17	8	164	31	11	10	17	34	4	2	76	55
住友電気工業(株)	大手企業	54	19	42	14			4	55	5	96			7
シャープ(株)	大手企業	51	21	39	18	11	38	3	89					10
日立金属(株)	大手企業	48	25	42	14			29	2	7	72			14
沖電気工業(株)	大手企業	43	30	40	16	6	70							4
三洋電機(株)	大手企業	42	32	40	16									
三菱化学(株)	大手企業	40	34	17	40	12	35	9	21	9	53	6	24	11
日本鋼管(株)	大手企業	35	37			4	110	5	42	16	19			17
富士写真フィルム(株)	大手企業	34	38	24	29	13	28							5

表7 ナノ構造材料技術特許出願人ランキング(米国)

(データベース: WPINDEX(STN)、順位は世界におけるランキング)

出願人	出願人種別	ナノ技術全般		炭素構造		高分子材料		表面積・体積比		ナノ構造体		ナノ技術基盤			
		件数	順位	件数	順位	件数	順位	件数	順位	件数	順位	件数	順位		
IBM CORP	大手企業	110	10	78	11	12	35	7	31	4	128		44	7	
AT & T CORP	大手企業	89	11	77	12	30	12	13	10				37	8	
MOTOROLA INC	大手企業	73	14	62	13	7	59	2	131				14	32	
UNIV CALIFORNIA	大学	71	15	17	40	18	18	10	17	22	11	19	4	36	9
US SEC OF NAVY	公的機関	58	18	21	33	10	41	6	34	10	41	3	55	32	11
EASTMAN KODAK CO	大手企業	52	20	34	22	13	28	5	42	29	6	16	6	15	30
LUCENT TECHNOLOGIES INC	大手企業	49	22	33	23	20	14	11	15	5	96			24	16
US SEC OF ARMY	公的機関	49	22	27	26	10	41	4	55	6	85	5	28	12	38
NANOSYSTEMS	ベンチャー	48	25			4	110			47	2	47	2	9	58
XEROX CORP	大手企業	45	27	37	20	5	91	5	42	6	85				
MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	大学	41	33	13	49	17	21	4	55	11	35	14	10	21	20
TEXAS INSTR INC	大手企業	39	35	32	24	7	59	5	42					13	37
MINNESOTA MINING & MFG CO	大手企業	31	41	18	38	19	16	3	89	13	28	3	55	18	25
ALLIED-SIGNAL INC	大手企業	28	48	17	40	5	91	10	17	7	72			10	49
AT & T BELL LAB	大手企業	28	48	24	29	6	70	3	89					8	72
US DEPT ENERGY	公的機関	25	52			6	70			5	96	2	76	11	42
MERCK	大手企業	23	58			19	16	2	131	16	19	15	7	7	78
HYPERION CATALYSIS INT	ベンチャー	21	63			18	18	2	131	17	16			10	49
DOW CHEM CO	大手企業	21	63			9	47	5	42	13	28			9	58

上記技術分野の主要な項目について、ナノテクノロジーの革新性の程度および研究開発の進展度を表 8 に示す。

表 8 ナノ構造材料技術の各分野におけるナノテクノロジーの革新性の程度

ナノ構造材料技術分野		ナノ構造材料技術の各分野におけるナノテクノロジーの革新性の程度														
大分類	中分類	単なるナノスケールのテクノロジー					革新的なナノテクノロジー									
ナノ製造基盤技術	走査型プローブ顕微鏡（SPM）技術とその応用技術（分子・原子の操作・加工など）															
	SPM 用プローブ作製技術															
	SPM を利用したリソグラフィや高密度記録															
	気相反応蒸着法															
	セルフアッセムブリ法															
	超分子化学法															
	光リソグラフィ															
	ビーム露光技術															
	電子顕微鏡															
	シンクロトロン放射光技術															
	超微粒子製造技術															
無機ナノ構造デバイス	量子効果デバイス															
	半導体レーザ															
	超微細回路															
	高密度記録メディア															
炭素・有機ナノ構造体	カーボンナノチューブ															
	ダイヤモンド薄膜															
	有機 EL															
高分子・無機ナノ構造材料	ナノ構造制御された高分子ポリマー															
	セラミックスナノ複合材料															
	スーパーメタル合金															
多孔・高比表面積ナノ構造体	分離膜															
	光触媒															
バイオ関連ナノ構造体	DDS(Drug Delivery System)															
	蛋白や DNA のナノ材料化															
	生体模倣素子															
年代		1980 ~ 1984	1985 ~ 1989	1990 ~ 1994	1995 ~ 1999	2000	1980 ~ 1984	1985 ~ 1989	1990 ~ 1994	1995 ~ 1999	2000					

注) 2000 年時点での各ナノ構造材料技術分野における個別技術の革新性を \square や \square 及び \square で示した。 \square や \square は革新的なナノテクノロジーであり、 \square は \square に比べより革新的であることを示す。 \square は単なるナノスケールのテクノロジーである。一部の技術分野には、それらが混在していると思われるケースもある。矢印一つが 5 年分を表し、矢印 \square の表記の年代から研究開発が表面化してきたこと（特許申請、学会発表等）を示す。矢印 \square は研究開発の程度が矢印 \square より活発であることを示す。2000 年以後は 2000 年時点の状況に引き続いた今後の予測を示す。

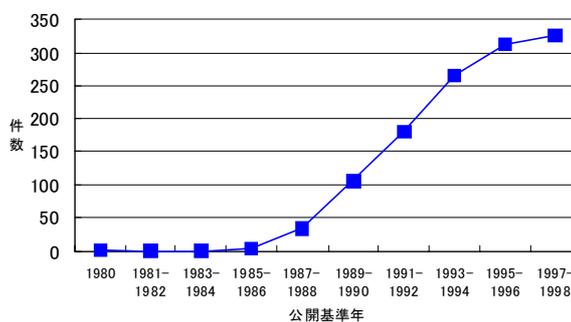
各大分類の細目である中分類は、ナノ構造材料技術として技術的に重要な項目あるいは学術論文数や特許件数が多数に及ぶ項目、更には、革新性の高いナノテクノロジーやナノ構

造材料として今後の発展性が大いに期待される項目など、特許動向、学術雑誌での報文・論文の動向、学会・研究会等での発表やシンポジウム内容の動向、新聞・雑誌報道などから、総合的に重要であると判断したものを掲げ、それらの情報を総括して、動向を纏めた。

< 特許出願件数動向との比較 >

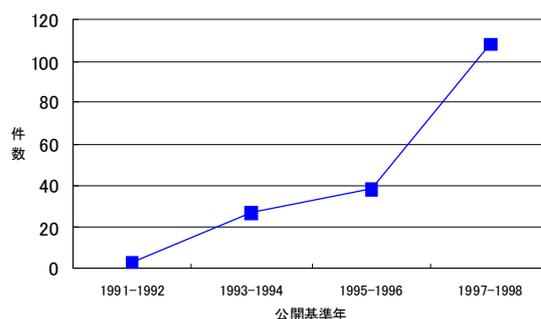
表 8 に示した技術動向を特許件数（日欧は出願件数、米は取得件数）の推移動向との関連で述べる。ここでは、代表例として、革新的なナノテクノロジーとして重要な項目である SPM とカーボンナノチューブについて考察する。図 8 と図 9 に、SPM とカーボンナノチューブの特許出願件数の年次推移を示す。

図 8 SPM の特許件数の年次推移（データベース：WPINDEX(STN)）



SPM の特許は、1980 年に IBM より SPM の原型である STM の特許が出願されたのが最初である（図 8 では、特許件数は初年度を除いて 2 年毎の累積件数を示す）。その後、1982 年に STM の学術論文が発表され、世界中で追試された。STM のナノスケール科学での有用性に対する認識が高まり、1986 年には STM の発明に対してノーベル物理学賞が与えられた。さらに同じ 1986 年には 2 種類目の SPM である AFM の特許が申請されるとともに学術論文も発表され、その後各種の SPM が発明された。この頃より、各種の SPM 装置の特許や STM および AFM の改良等に関わる特許、さらにはそれらに不可欠のプロープに関する特許も増加した。これら装置の研究開発に加え、SPM のナノテクノロジーへの応用として、1980 年代末には、SPM を利用した原子・分子操作加工技術や超微細加工技術が提唱され、1990 年代には SPM を利用した応用技術の特許や学術発表が加速的に増加するにおよび、SPM は革新的なナノテクノロジーを代表する重要技術であると認識されるに至った。

図 9 カーボンナノチューブの特許件数の年次推移（データベース：WPINDEX(STN)）



カーボンナノチューブは 1991 年に発見され、1992 年に NEC から世界初の製法特許が出願された。翌年より製法特許件数（日欧は出願件数、米は取得件数）（図 9 では、2 年毎の累積件数を示す）は増加を示し、1995 年に、カーボンナノチューブの優れた電子放出機能に関する特許出願や論文発表を受け、更に製法特許や応用特許件数は増した。1999 年には CRT ディスプレイの電子銃に置き換わるデバイスとしてカーボンナノチューブを用いた表示装置が発表されるに至り、カーボンナノチューブの製法や応用に関する技術開発は、特許面および研究開発面で注目されている。

< 革新性が高いナノテクノロジーの概況 >

表 8 中のナノテクノロジーの中でも「 」印のある項目は革新性が高いものである。すなわち、SPM 技術とその応用技術（分子・原子の操作・加工など）は典型的なボトムアップ技術であること、又、それらが、SPM を利用したリソグラフィや高密度記録など幅広い応用分野へ向けて更なる派生技術を生み出していること、あるいは生み出す潜在性の高い技術であることから、革新性が高いナノテクノロジー技術であると判断される。量子効果デバイスは、ボトムアップ型の製造技術により、ナノサイズ化された構造が構築されることに起因して顕著に表れる量子力学効果が大いに期待され、その効果により従来のバルクサイズでは得られなかった新機能デバイスの創出に寄与するのみならず、極微細化によるデバイスの省エネルギーや節資源の効果にも寄与する。カーボンナノチューブは、典型的なナノサイズおよびナノサイズ効果の物性を有した稀にみる優れたナノ構造材料であり、やがてシリコンに並ぶ [産業の米] になる可能性があると期待されている。カーボンナノチューブは、新規技術としての応用技術（ブラウン管に替わるカーボンナノチューブを利用したディスプレイ用の電子銃、燃料電池での水素吸蔵材料、SPM での探針や新規コンポジット材料等）での利用に供給されるべく量産化技術開発の最中にあり、日産 200 g 程度の量産技術が確立されている。アメリカでは、日産数 kg の試験プラントの建設を計画中である。

第5章「今後の日本が注力すべき技術開発の方向性と課題」

日本の大学等研究機関の基礎研究の強化と特許権利化

ナノ構造材料技術の応用分野は、図2で俯瞰したように、きわめて広範に広がっており、この分野に属する技術の価値はきわめて高いものと考えられ、基礎研究の成果を通じて日本産業界へ貢献できる大学等研究機関の役割はますます重要となっている。ナノ構造材料技術のように応用範囲が多岐にわたる技術は、さまざまな応用分野で技術が活かされるように、大学等研究機関で権利化を行い、各応用分野で基礎技術の実用化を行った民間企業毎に技術移転を行うことが得策と考えられる。

本調査結果によると、ナノ構造材料技術分野では、日本の大学からの特許出願が、米国の大学からの特許出願に比べて極めて少ない。例えば、ナノ構造材料技術特許出願人ランキングの総順位において、米国内の上位20位以内には、カリフォルニア大学やマサチューセッツ工科大学がリストアップされているが、日本国内の上位20位以内には国内大学はリストアップされていない。

今後、ナノ構造材料技術の分野において、日本が国際的に優位な立場に立つためにも、ナノ構造材料技術における技術的課題を解決する革新的な技術について、大学等研究機関からの積極的な権利化を図り、技術移転が適切に行われることが必要である。

< ナノ構造材料技術で取り組むべき課題 >

技術開発の方向性を実現するために取り組むべき課題について、技術的課題、産業界（大手企業、ベンチャーなど）及び公的研究機関や大学・政府機関の解決案、具体的な特許戦略などを、ナノ構造材料技術の6分野毎に抽出し、表9に示した。

表9 「ナノ構造材料技術」で取り組むべき課題

対象技術	技術的課題 (> の順で重要度が高い)	課題解決案とその分担または特許戦略案	
		産業界（大手企業、ベンチャーなど）	公的研究機関や大学および政府機関
ナノ製造基盤技術 〔ボトムアップ技術〕	一般的にボトムアップ技術は、トップダウン型に比べて、スループット（生産性）が劣るため、これの改良が課題。トップダウン型の技術の一部を利用した新規ボトムアップタイプ（トップダウン-ボトムアップの融合型）の技術を開発することも1つの方向。 ボトムアップ技術としての原子・分子操作加工基盤技術、例えば、走査型プローブ顕微鏡（SPM）装置技術の更なる改良と深化。SPMを用いた分子ハンドリング技術の開発、例えば、ナノ粒子ハンドリングロボットの開発など。 SPM技術を用いた超微細加工技術でも、スループットの向上が最大の課題。	日本の強みであり、実績のある半導体製造基盤技術を新規技術分野であるナノテクノロジー技術関連の基盤技術創製へ水平展開する機運の推進。 基盤技術分野では、企業の基礎研究者と大学等の公的研究機関の研究者と間での技術移転にともなう人的交流等のための職域移動の容易化（政府機関、大学も同様）。 景気の波に影響されない長期的視野に基づく、新規基盤技術への研究者と研究資金の投資体制の確立。	産官学共同研究開発体制の強化。例えば技術開発事業団等の5年プロジェクトや旧通産省のナショナルプロジェクト（例えば、アトムテクノロジー）〔10年〕のようなプロジェクトへの重点的資金配分と対象プロジェクトの新設を含めた拡充。 大学や政府予算プロジェクト成果の事業化実施ベンチャー企業の育成サポートや受け皿ベンチャー企業のインキュベーション政策の拡充。 大学での基礎研究成果の特許申請をサポートする仕組みの強化。（TLOの強化）
ナノ製造基盤技術	トップダウン型の技術の一部を利用した新規ボトムアップタイプ	異分野、異業種との交流・情報交換の場の設立（例えば、イ	萌芽的シーズ技術や新規ニーズ必要者の情報交

〔ボトムアップ技術とトップダウン技術の融合：ハイブリッド技術〕	（トップダウン・ボトムアップの融合型）の技術開発。 最近の典型例として、集束イオンビーム技術と気相反応法を組み合わせることで数ミクロンの大きさのワイナングラス状の微細構造物を作製する技術が開発された。	インターネット上に“e-ナノ懇談会”とそれらを通じてのアイデア発掘。 従来技術の枠や固定概念に囚われないアイデア確認作業とその成果の特許申請の促進・啓蒙（ゾロ特許の排除や大手企業での特許ノルマ数の削減）	換の場(機会)の提供（公的運営）。
ナノ製造基盤技術 〔ナノ微粒子の製造〕	ナノ微粒子の製造と商品化では、分留などのプロセス技術や製造された粒子の計測・評価技術の開発と標準化も課題。 特に、カーボンナノチューブの場合は、その形状制御に課題がある。単層、多層構造の制御や直径と長さの均一なカーボンナノチューブの低コスト大量製造技術の確立。	従来のマス型化成品の単品・大量生産志向意識から、少量・多品種・高機能微粒子等の製造志向へのシフトとその製造プロセス等の研究開発の強化。	超微粒子など、ナノサイズ構造物のデータベースの作成と標準物質・標準規約の設定。 産官学を問わず、萌芽的研究成果の商品化、産業化の育成。
ナノ製造基盤技術 〔ナノ構造物の観察・計測技術〕	ナノ構造物の計測・評価法の確立が課題。新規計測法の開発のみならず、現在有用な方法に関して、ナノサイズ構造材料の工業的利用にともなう商品流通において、ナノ構造の形状やサイズなど品質を保証するための基準が必要。	一般的に、産業界では、製造技術に比べて、計測・観察・評価技術に対する認識・評価が低い傾向がみられるが、これらの技術は、ナノ構造材料関連では、重要な基盤技術になりうることの意識改革が必要。	超微粒子など、ナノサイズ構造物のデータベースの作成と標準物質・標準規約の設定。 超微粒子など、ナノサイズ構造物の観察・測定・評価条件の規約モデルの立案。
ナノ製造基盤技術 〔ナノ力学解析ソフト〕	大規模粒子系の量子化学計算を効率的に計算するための算法の取り組み強化。 より多い粒子数を含む系や複雑な計算系を効率的に実行するための大規模並列計算システムの開発。 研究開発された有用なソフトの公開と世界レベルにおける標準化。	パソコンの高機能化に伴う潜在的ユーザー層の拡充を意図した汎用ソフトの低価格下による解析ソフト利用の一般化。大手企業においてだけではなく、各種規模のナノ構造材料設計および製造プロセス技術に関わる研究開発において計算科学技術やシミュレーション技術を大いに活用する環境づくりをするべきである。	計算科学技術やシミュレーション技術等の利用のみならず、汎用性のあるナノ構造材料創製に関わるソフト開発に向けて、産官学の協力体制のさらなる強化。 分野横断的な「ナノ構造材料の原子・分子サイズレベルからの分子化学計算研究成果」の公的データベースの作成が望まれる。
無機ナノ構造デバイス 〔半導体回路〕	超微細加工技術では、半導体回路素子100nm線幅の壁を越えるパターン描写技術の実用化。 10年程度先の次世代半導体製造技術へ向けた基盤技術開発。 上記開発による現状の日本が強い半導体製造基盤技術の維持と補強。	例えば、半導体製造関連の「あすか」プロジェクトや関連装置開発プロジェクト(光源のレーザー開発)に見られるような、業界、会社間の壁を越えた技術開発体制の構築強化。	2003-2007年度に線幅70 - 50nmの微細加工技術の実用化を目指す「みらい」プロジェクト（次世代半導体材料・プロセス基盤技術開発）の遂行(平成13年4月より)と強化。
炭素有機ナノ構造体 〔電子特性を有するカーボンナノチューブ〕	応用技術開発としての高輝度化カーボンナノチューブディスプレイの実用化にはまず、カーボンナノチューブの大量合成と低コスト化が大きな問題である。またナノチューブの配列も重要問題である。	カーボンナノチューブを利用したディスプレイについては国のプロジェクトに入っていない会社も独自の研究を進めるべきで、日本で最初に発見されたが故に基礎技術情報や特許申請で先行優位にある日本の強みを大いに生かすべきである。	国家プロジェクトであるフロンティアカーボンで電子放出の研究を押し進めると同時にカーボンナノチューブの工業的製法の確立を推進する方便を取ることが重要である。
高分子・無機ナノ構造体 〔ナノ構造制御されたポリマー〕	スチレン系熱可塑性エラストマーの延長としてナノ構造が制御された新規ブロックポリマーがあるが、モノマーを替えることにより物性に特徴のある新規ポリマー	国家プロジェクトに参加している企業は、そのプロジェクトの精密重合の後期において、応用研究に入る前に種々の重合法によりブロック精密	国家プロジェクトである精密重合の後期において応用に入る前に種々の重合法によりブロック精密重合体を作り性能系の

	<p>が期待される。その際ブロックポリマーを作るための重合技術としてリビングアニオン重合以外にメタロセン触媒重合、ポストメタロセン触媒重合等の新しい重合法により、立体規則性とドメインサイズも制御されたブロックコポリマーができることもポリマー物性に大きく影響する。このようにして作製された特徴ある物性の新規ポリマー創製が期待される。</p>	<p>重合体を作り、機械特性、熱物性、成型性などに特徴のある新しいポリマーの物性を評価し、新しい用途への展開を図るべきである。</p>	<p>新しいポリマーの物性を測定し、新しい用途への展開を図るべきである。</p>
<p>高分子・無機ナノ構造体 [軽量・高強度・耐熱セラミックス]</p>	<p>複数の優れた機能を同時に発現する今後の複合機能型ナノ複合材料では、セラミックス/セラミックス系、あるいはセラミックス/金属系であれ、分散相とマトリックスの構造モデルと組み合わせが複雑になるため、その界面結合を充分制御することがとくに重要である。</p> <p>傾斜化等を含め界面構造を意識的に制御することのほか、界面構造制御のため、従来のホットプレスを中心とする焼結法以外の新しいプロセスも必要となる。</p>	<p>複合機能型セラミックスナノ複合材料の研究開発では、金属はもちろん材料分野の他のエレクトロニクス等多くの分野に関係するので、それら研究者間や研究グループ間の連携と協働が有効的に機能する環境作りが必要である。</p>	<p>ベンチャーの育成等を含め複合機能型セラミックスナノ複合材料の研究の推進、事業化に重点的な資源の投入を行う必要がある。</p>
<p>高分子・無機ナノ構造体 [軽量・高強度・スーパー合金]</p>	<p>更なる高強度と高延性を示す新規合金の開発、一方、実用上の観点から延性、靱性の改善のほか、クリープ特性、疲労強度、耐摩耗性、接合性等の材料特性の調査、また低コストのナノバルク材開発が課題となる。</p>	<p>計算科学技術やシミュレーション技術を利用して、材料設計およびプロセス技術の研究開発も研究開発の効率と質を上げるうえで重要である。</p>	<p>国としては、スーパー合金関連国家プロジェクトを強力に推進すべきである。</p>
<p>多孔・高非表面積ナノ構造体およびパイオ関連ナノ構造体 [光触媒材料関連と人工光合成触媒の開発]</p>	<p>植物の光合成系におけるエネルギー伝達システムの理解が進んだ結果、人工系光触媒での量子収率向上法がかなり明確になってきた。基本的には水素発生サイト、酸素発生サイトを層状結晶体でナノレベルの電荷分離を行うのが有利である。もちろん光エネルギーの固体内への取り込みを有利にするため、ナノサイズ光触媒粒子の開発が前提となる。</p>	<p>光触媒性能を具体的に比較する手法、規格化する方法で、メーカー側と行政側の合意が急務となっている。</p>	<p>光触媒性能を具体的に比較する手法、規格化する方法で、メーカーにガイドライン作成等を提示することが急務。</p>

特許解析の検索式

ナノ構造材料技術の特許検索に用いた検索式を下記に示す。日本特許の解析には(1)のキーワードで PATOLIS および JPROM の検索を行い、その結果をもとに日本特許書誌データで日本特許データベースを構築し、続いて(3)の IPC で 6 分野に分類し解析を行った。世界および米国、欧州特許の解析には WPINDEX(STN)を用いて(2)の検索式と IPC でオンライン統計機能を使用して解析を行った。2つのデータベース(日本特許データベースと WPINDEX(STN)データベース)を使用した理由として、WPINDEX(STN)データベースには、日本特許の全てが必ずしも収録されているわけでない、電気分野(IPCのHセクション)の日本特許は1993年以前には抄録の付与が無く、このためキーワード検索ではそれらの特許が検出されない(検索もれ)等の事情があり、WPINDEX(STN)データベースから日本特許の実態を正確に取得することに弱点があるためである。このため日本特許の動向を正確に把握するため、日本特許の解析には PATOLIS および JPROM を使用した。日本特許は2000年7月現在、WPINDEX(STN)は2001年1月現在のデータである。

(1) ナノ構造材料に関するキーワード(PATOLIS)

F FK=ナノ+AB=ナノ+FK=超微粒子+AB=超微粒子+FK=超微細+AB=超微細+FK=メソポーラス+AB=メソポーラス+FK=(メソ*ポーラス)+AB=メソ W ポーラス+FK=(メソ*多孔体)+AB=メソ W 多孔体+AB=自己 W 組織+FK=超分子+AB=超分子+AB=自己 W 配列+AB=量子 W ワイヤ+AB=量子 W ドット+AB=量子 W 井戸+AB=量子 W 細線+AB=(LB W 膜+LB膜)+FK=LB膜+AB=分子 W 機械+AB=バイオ W 素子+AB=自己 W アッセンブリ

(2) ナノ構造材料に関するキーワード(WPINDEX(STN))

S NANO? OR MESOPOROUS OR MESO(W)POROUS OR SUPRAMOLECULAR OR (ULTRAFINE OR ULTRA(W)FINE) AND (PARTICLE# OR THIN(W)FILM#) OR SELF(W)ORGANIZ? OR SELF(W)ASSEMBL? OR MOLECULAR(W)MACHIN? OR QUANTUM(W)WIRE OR QUANTUM(W)DOT OR QUANTUM(W)WELL OR LANGMUIR(W)BLODGETT(W)MONOLAYER# OR LB(W)MONOLAYER#

(3) 6 分野の分類に使用した IPC

分野	IPC	内容
無機 ナノ 構造 デバイス	G03C	写真用感光材料
	G03G	エレクトログラフィー；電子写真；マグネトグラフィー
	G11B	記録担体と変換器との間の相対運動に基づいた情報記録
	G11C	静的記憶
	H01B	ケーブル；導体；絶縁体；導電性、絶縁性または誘導性特性に対する材料の選択
	H01F	磁石；インダクタンス；変成器；それらの磁気特性による材料の選択
	H01G	コンデンサ；電解型のコンデンサ，整流器，検波器，開閉装置，感光装置また感温装置
	H01L021	半導体装置または固体装置またはそれらの部品の製造または処理に適用される方法または装置
	H01L023	半導体または他の固体装置の細部
	H01L025	複数の個々の半導体または他の固体装置からなる組立体
	H01L027	1つの共通基板内または基板上に形成された複数の半導体構成部品または他の固体構成部品からなる装置
	H01L029	整流，増幅，発振またはスイッチングに使用される半導体装置，または少なくとも1つの電位障壁または表面障壁例．PN接合の空乏層またはキャリア集中層，を有するコンデンサーまたは抵抗；半導体本体または電極の細部
H01L031	赤外線，可視光，短波長電磁波または粒子線輻射に感応する半導体装置で，これらの輻射線のエネルギーを電気エネルギーに変換するかこれらの輻射線によって電気エネルギーを制御するかのどちらかに応用されるもの；それらの装置またはその部品の製造または処理に特有な方法または装置；それらの装置の細部	

	H01L033	光，例，赤外光，の放出に適合する少なくとも1つの電位障壁または表面障壁を有する半導体装置；それらの装置またはその部品の製造，あるいは処理に特有な方法または装置；それらの装置の細部	
	H01L039	超電導性またはハイパーコンダクティビティを利用する装置；それらの装置またはその部品の製造または処理に特有な方法または装置	
	H01L041	圧電素子一般；電わい素子一般；磁わい素子一般；それらの装置またはその部品の製造または処理に特有な方法または装置	
	H01L049	半導体の固体装置；それらの装置またはその部品の製造または処理に特有な方法または装置	
	H01S	誘導放出を用いた装置	
	H04B	電気通信技術 / 伝送	
	B32B	積層体，すなわち平らなまたは平らでない形状，例，細胞状またはハニカム状，の層から組立てられた製品	
	B41M	印刷，複製，マーキングまたは複写方法；カラー印刷	
	C01B	非金属元素；その化合物	
	C07B	有機化学 / 一般的方法あるいはそのための装置	
	C07C	非環式化合物または炭素環式化合物	
	C07D	複素環式化合物	
	C07F	炭素，水素，ハロゲン，酸素，窒素，硫黄，セレンまたはテルル以外の元素を含有する非環式，炭素環式または複素環式化合物	
	C09D	コーティング組成物	
	C09K	種々に応用される物質（発光性物質等）	
	G02B	光学要素，光学系，または光学装置	
	G02F	光の強度，色，位相，偏光または方向の制御，例，スイッチング，ゲーティング，変調または復調のための装置または配置の媒体の光学的性質の変化により，光学的作用が変化する装置または配置；そのための技法または手順；周波数変換；非線形光学；光学的論理素子；光学的アナログ / デジタル変換器	
	H01M	化学的エネルギーを電氣的エネルギーに直接変換するための方法または手段，例，電池	
	H05B	電気加熱；他に分類されない電気照明	
炭素・有機ナノ構造体	C08B	多糖類，その誘導体	
	C08F	炭素 - 炭素不飽和結合のみが関与する反応によってえられる高分子化合物	
	C08G	炭素 - 炭素不飽和結合のみが関与する反応以外の反応によって得られる高分子化合物	
	C08J	有機高分子化合物 / 仕上げ；一般的混合方法；後処理	
	C08K	無機または非高分子有機物質の添加剤としての使用	
	C08L	高分子化合物の組成物	
	C22C	合金	
	G02B	光学要素，光学系，または光学装置	
	ナノ構造材料	A01N	人間または動物または植物の本体，またはそれらの一部の保存；殺生物剤，
		A23B	食肉，魚，卵，果実，野菜，食用種子の保存，
A23C		乳製品，例，乳，バター，チーズ；乳またはチーズ代用品；それらの製造	
A23J		食品用蛋白質組成物；食品用蛋白質の仕上げ；食品用リン脂質組成物	
A23L		食品，食料品，または非アルコール性飲料；その調製または処理	
A61K		医薬用，歯科用又は化粧品用製剤	
A61L		材料またはものを殺菌するための方法または装置一般；空気の消毒；殺菌または脱臭；包帯，被覆用品，吸収性パッド，または手術用品の化学的事項；包帯，被覆用品，吸収性パッド，または手術用品のための材料	
A61M		健康 / 人体の中へ，または表面に媒体を導入する装置；人体用の媒体を交換する，または人体から媒体を除去するための用具；眠りまたは無感覚を生じまたは終らせるための装置	
B01D		物理的または化学的方法または装置一般 / 分離	
B01F		物理的または化学的方法または装置一般 / 混合，例，溶解，乳化，分散	
多孔・高比表面積ナノ構造体	B01J	化学的または物理的方法，例，触媒，コロイド化学；それらの関連装置	
	B03C	固体物質または流体から固体物質の磁気または静電気による分離；高圧電界による分離	
	B07B	ふるいによるか，または気体流を用いる固体相互の分離；ばらの材料，例，ばらの材料と同様に扱われる物品，に適応する乾式によるその他の分離	
	B09B	固体廃棄物の処理	
	B32B	積層体，すなわち平らなまたは平らでない形状，例，細胞状またはハニカム状，の層から組立てられた製品	
	C02F	水，廃水，下水または汚泥の処理	
	C03B	ガラス；鉱物またはスラグウール / 製造，成形または補助プロセス	
	C03C	ガラス，うわ薬またはガラス質ほうろうの化学組成；ガラスの表面処理；ガラス，鉱物またはスラグからの繊維またはフィラメントの表面処理；ガラスのガラスまたは他物質への接着	
	C04B	石灰；マグネシア；スラグ；セメント；その組成物，	
	C09D	コーティング組成物	
C21D	鉄系金属の物理的構造の改良；鉄系もしくは非鉄系金属または合金の熱処理用の一般的装置；脱炭，焼もどし，または他の処理による金属の可鍛化		
D01F	人造のフィラメント，より糸，繊維，剛毛，リボンまたは炭素フィラメントの製造において化学的な特徴をもつもの；炭素フィラメントの製造に特に適合した装置		
D03D	織物；織成方法；織機		
D04H	布帛（はく）の製造，		
D06F	布帛製品の洗たく，乾燥，アイロンかけ，プレスまたは折り畳み		
D06M	繊維，より糸，糸，織物，羽毛またはこのような材料から製造された繊維製品の処理		
D06N	壁，床または類似の被覆材料，例，リノリウム，オイルクロス，人造皮革，ルーフィングフェルト，高分子材料の層によって被覆された繊維ウェブからなるもの；他に分類されない柔軟なシート材料		

	D21H	バルブ組成物；紙の含浸またはコーティング；完成紙の処理；他に分類されない紙	
バイオ関連 ナノ構造体	A61K	医薬用，歯科用又は化粧品用製剤	
	C07H	糖類；その誘導体；ヌクレオシド；ヌクレオチド；核酸	
	C07J	ステロイド	
	C07K	ペプチド	
	C12N	微生物または酵素；その組成物；突然変異または遺伝子工学；培地	
	C12P	発酵または酵素を使用して所望の化学的物質もしくは組成物を合成する方法またはラセミ混合物から光学異性を分離する方法	
	C12Q	酵素または微生物を含む測定または試験方法，そのための組成物または試験紙；その組成物を調製する方法；微生物学的または酵素学的方法における状態応答制御	
	G01N033	特有な方法による生化学的材料等の調査または分析	
		A23J	食品用蛋白質組成物；食品用蛋白質の仕上げ；食品用リン脂質組成物
		B01J	化学的または物理的方法，例．触媒，コロイド化学；それらの関連装置
	B05B	霧化装置；噴霧装置；ノズル	
	B05C	液体または他の流動性材料を表面に適用する装置一般	
	B05D	液体または他の流動性材料を表面に適用する方法一般	
	B22F	金属質粉の加工；金属質粉からの物品の製造；金属質粉の製造	
	B23B	工作機械／旋削；中ぐり	
	B23C	工作機械／フライス削り	
	B23D	平削り；みぞ削り；せん断；ブローチ加工；のこ引き；やすり掛け；キサゲ加工；他に分類されない，切粉を出す金属加工のための類似の作業	
	B23K	ハンダ付またはハンダ離脱；溶接；ハンダ付または溶接によるクラッドまたは被せ金；局部加熱による切断，例．火炎切断；レーザービームによる加工	
	B23Q	工作機械の細部；構成部分，または付属装置，例．歯または制御装置；特定の細部または構成部分の構造により特徴づけられる工作機械一般；特定の結果を目的としない金属加工機械の組合せ	
	B24B	研削または研磨するための機械，装置，または方法；研削面のドレッシングまたは正常化；研削剤，研磨剤，またはラッピング剤の供給	
	B25J	マニプレータ；マニプレータ装置を持つ小室	
	B62C	畜力牽引運搬車	
ナノ構造材料 製造基盤技術	C01F	金属ペリリウム，マグネシウム，アルミニウム，カルシウム，ストロンチウム，バリウム，ラジウム，トリウム化合物または希土類金属化合物	
	C01G	金属を含有する化合物	
	C09C	顔料または充てん剤の性質を改良するための，繊維性充てん剤以外の無機物質の処理	
	C22B	金属の製造または精製；原料の予備処理	
	C23C	金属質への被覆；金属材料による材料への被覆；表面への拡散，化学的変換または置換による，金属材料の表面処理；真空蒸着，スパッタリング，イオン注入法，または化学蒸着による被覆一般	
	C23D	金属へのほうろう被覆またはガラス質層の形成	
	C23F	金属質材料への被覆／機械方法によらない表面からの金属質材料の除去	
	C23G	電解法以外の化学的方法による金属質材料の清浄または脱脂	
	C25B	化合物または非金属の製造のための電気分解または電気泳動方法；そのための装置	
	C25C	金属の電解製造，回収または精製方法；そのための装置	
	C25D	電気分解または電気泳動による被覆方法；電鍍；電気分解による加工品の接合；そのための装置	
	C25F	材料の電気分解による除去方法；そのための装置	
	C30B	単結晶成長；共晶物質の一方固相化または共析晶物質の一方析出；物質のゾーンメルティングによる精製；単結晶または特定構造を有する均質多結晶物質；単結晶または特定構造を有する均質多結晶物質の後処理	
	G01B	長さ，厚さ，または同種の直線寸法の測定；角度の測定；面積の測定；表面または輪郭の不規則性の測定	
	G01C	距離，水準，または方位の測定；ジャイロ計器；写真測量	
	G01J	赤外線，可視光線または紫外線の強度，速度，スペクトル，偏光，位相またはパルスの測定；色の測定；放射温度測定	
	G01N	材料の化学的または物理的性質の決定による材料の調査または分析	
	G01P	直線速度または角速度，加速度，減速度，または衝撃の測定；運動の有無，または方向の指示	
	G01R	電気的変量の測定；磁気的変量の測定	
	G01T	原子核放射線またはX線の測定	
	G02B	光学要素，光学系，または光学装置	
	G03H	ホログラフィー的方法または装置	
	G05D	非電気的変量の制御または調整系	
	G06F	電気的デジタルデータ処理	
	G12B	他に分類されない器械の細部または他の装置の類似の細部	
	G21K	他に分類されない粒子線または電磁放射線の取扱い技術；照射装置；ガンマ線またはX線顕微鏡	
	H01J	電子管または放電ランプ	
	H05G	X線技術	
	H05H	プラズマ技術	
	H05K	印刷回路；電気装置の箱体または構造的細部，電気部品の組立体の製造	

用語解説

用語	解説
FIB	Focused Ion Beam (集束イオンビーム) の略。電磁氣的に収束されたイオンビームを用いて局所加工を行う装置等で使用される。
C60	炭素原子 60 個より構成されたサッカーボール状構造の分子。
2 重鎖 DNA	遺伝情報を担う DNA (デオキシリボ核酸) 分子が形成する 2 重のラセン構造をした構造体。
蛋白質 G-アクチン	筋肉を構成する細いアクチン繊維の主要な構造蛋白質であり、球状 (globular) 構造をなす。
ATP 合成酵素	生物体内の化学反応において共通に利用されるエネルギー物質 ATP (アデノシン 3 リン酸) を合成する酵素。
DDS	薬分子をナノサイズ粒子内に包含し、生体の疾患部位に分子サイズ効果を利用して選択的に送達させる系。Drug Delivery System (薬物送達システム) の略。
SPM	Scanning Probe Microscope (走査型プローブ顕微鏡) の略。先端鋭利なプローブを試料表面に近接させ、試料表面全体を 2 次的に走査することにより、表面形状や物理特性の分布を描く顕微鏡の総称。表面の原子・分子を操作・加工することもできる。
STM	Scanning Tunneling Microscope (走査型トンネル顕微鏡) の略。最初に考案された SPM であり、探針と試料表面の原子間に流れるトンネル電流を検出することにより、表面形状や電子状態の分布を描く顕微鏡。
AFM	Atomic Force Microscope (原子間力顕微鏡) の略。SPM の 1 種類で、プローブ先端と試料表面の原子間に作用する力を測定し、表面形状や力学量の分布を描き出す顕微鏡。
PVD	気体または固体を蒸発させた成膜原料を、基板上に蒸着させる方法。Physical Vapor Deposition (物理的気相蒸着) の略語。
LB 膜	脂肪酸等の有機系分子などから気液界面を利用して作製された厚みが分子サイズの 2 次元薄膜。略称名 LB は Langmuir と Blodgett により手法が草案された経緯による。
フェリチン蛋白質	脾臓や筋肉組織などに存在する鉄結合蛋白質。分子量 46 万の水溶性蛋白質であるアポフェリチン 1 分子が約 2000 個の 3 価の鉄と結合したものの。
デンドリマー	樹状構造をしたナノサイズの分岐ポリマー。分子量の大きい系では、球状の分子集合体となる。
量子箱	半導体等の 10 ~ 数 10nm の箱もしくはドット状の構造体。この領域に電子を閉じ込めることにより、量子力学的効果によるメモリーやレーザー素子等の特性向上や新機能素子開発の可能性が期待されている。
量子屋気楼現象	電子の波動的性質による量子力学的効果のため、粒子が実在しない場所に特定の量子状態があたかも粒子が存在するかの如く再現される現象。
カーボンナノチューブ	炭素原子で構成されたナノサイズのチューブ状巨大分子。多層と単層がある。
フラレン	炭素原子で構成されたカゴ状分子の総称。例えば C60 が該当。
カーボンナノコイル	炭素原子で構成されたナノサイズのコイル状物質
ゼオライト	結晶性アルミナ珪酸塩の総称で 100 種類以上が知られている。触媒、吸着材、乾燥剤等に利用される。
限外濾過膜	ナノサイズ粒子の精製、濃縮、分離、均一化に利用される濾過膜。
分子モーター	分子サイズの回転運動機能を有する素子

【お問い合わせ先】

特許庁技術調査課技術動向班

〒100-8915

東京都千代田区霞が関3 - 4 - 3

Tel : 03-3581-1101 内線 2155

Fax : 03-3580-5741

E-mail : PA0930@jpo.go.jp