

平成 2 3 年度
特許出願技術動向調査報告書（概要）

炭素材料及びその応用技術

平成 2 4 年 4 月

特 許 庁

問い合わせ先

特許庁総務部企画調査課 技術動向班

電話：03-3581-1101（内線2155）

第1章 炭素材料及びその応用技術の概要

第1節 炭素材料及びその応用技術と技術俯瞰

1. 炭素材料及びその応用技術の概要

本調査テーマの「炭素材料及びその応用技術」で取り上げる炭素材料は、炭素繊維とナノ炭素材料である。炭素繊維が初めて材料として利用されたのは、トーマス・エジソンが1879年に発明した白熱電球であるといわれている。その後、1950年代後半になって、米国で宇宙開発や軍事用途の耐熱材料として、炭素繊維が注目され始めた。強化繊維としての炭素繊維の歴史は米国におけるロケット部品への適用検討から始まった。当初、様々な物質を原料として検討されたが、繊維賦形性、炭化収率、炭素繊維性能に優れるポリアクリロニトリル(PAN)系と弾性率発現に優れるピッチ系に現在はほぼ集約されている。製造量も多いPAN系炭素繊維の最大の特徴は、単位重量当たりの強度、弾性率に優れていることである。特に繊維方向の引っ張り特性に優れ、その比強度、比弾性率はそれぞれ鉄の約40倍、5倍といわれている。

当初は、ゴルフシャフトなどのスポーツ分野や軽量化が重要な宇宙分野など性能が重視される分野での適用が主であった。これらの用途では今後も必要不可欠の素材であるが、今後最も期待されている用途は一般産業用途である。圧力容器、風力発電用ブレード、自動車・鉄道車両などの輸送機器、パソコンなどの筐体などが炭素繊維複合材料の優れた特性を利用する用途であり、技術面、コスト面の課題を解決しながら適用拡大が進み、鉄、アルミに続く第3の構造材料として期待が持たれている。一方、カーボンナノチューブやフラーレンなどのナノ炭素材料は1980年代後半以降に構造が明かにされた比較的新しい炭素材料である。物質の構造をナノメートルレベルで制御して新規の機能を創出するナノテクノロジーの根幹を占める材料である。ナノ炭素材料は、従来のグラファイトやダイヤモンドなどの材料にない特異な性質から、情報通信、環境・エネルギー、バイオテクノロジーなど重要な産業技術分野を支える基盤技術として重要視されている。現在多方面への応用が検討されているとともに、安価に工業的なレベルで製造するための技術開発が盛んに行われている。すなわち、「材料の王様」といわれる新しい素材であり、現在基礎から用途開発まで幅広く研究が進められている状況にある。

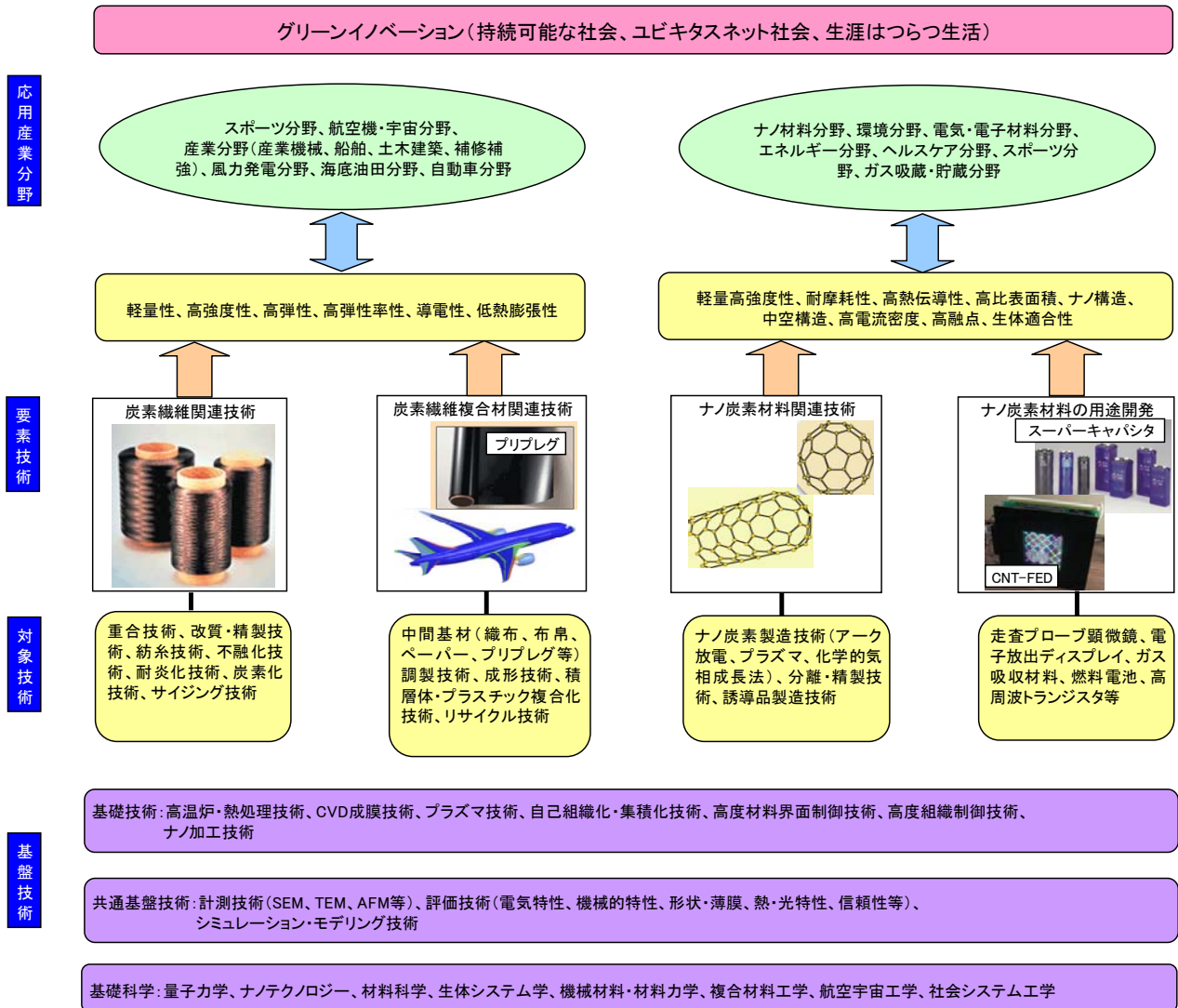
本調査テーマの「炭素材料及びその応用技術」は、その応用分野において、構造材料と機能材料両領域にまたがって人類に大きな影響を与えるテーマであるといえることができる。

本調査では、このような背景の下、炭素材料及びその応用技術に関する特許の動向を調査し、特許情報による世界の技術開発動向を解析するとともに、研究開発動向、政策動向、市場環境の分析などの結果を踏まえてこれを補強する。この結果に基づいて、技術革新の状況、技術競争力の状況、今後の技術開発の方向性や課題についてまとめる。

2. 炭素材料及びその応用技術の技術俯瞰

炭素材料及びその応用技術に関する技術俯瞰図を図-1 に示す。

図-1 「炭素材料及びその応用技術」の技術俯瞰図



炭素材料及びその応用技術の技術俯瞰図(図-1)に示すように、主要な要素技術として①炭素繊維関連技術、②炭素繊維複合材関連技術、③ナノ炭素材料関連技術、④ナノ炭素材料の用途開発を設定した。これらの要素技術に求められる対象技術としては、①炭素繊維関連技術では重合技術、改質・精製技術、紡糸技術、不融化技術、耐炎化技術、炭素化技術、サイジング技術、②炭素繊維複合材関連技術では中間基材調製技術、成形技術、積層体・プラスチック複合化技術、リサイクル技術、③ナノ炭素材料関連技術ではナノ炭素製造技術、分離・精製技術、誘導品製造技術、④ナノ炭素材料の用途開発では、走査プローブ顕微鏡、電子放出ディスプレイ、ガス吸収材料、燃料電池、高周波トランジスタ等が挙げられる。

第2節 技術区分

本調査の特許文献および非特許文献（論文・学会誌等）について、その技術内容を解析するため、図-1の技術俯瞰図に基づいて表-1に示す技術区分を設定した。

表-1 炭素材料及びその応用技術の技術区分概要（抜粋）

大分類	中分類	小分類	大分類	中分類	小分類
1:炭素材料の種類	1A:炭素繊維	1A1: PAN系	4:炭素材料の展開・誘導品	4A:集合体・複合材	4A1:有機・樹脂複合体
		1A2:ピッチ系			4A2:無機複合体
		1A3:レーヨン系		4A3:金属系複合体	
		1A4:植物由来原料			
	1B:ナノ炭素材料	1B1:フラレン類	1B1: フラレン類	4B:誘導体・修飾	4B1:化学処理・化学修飾
			1B2:カーボンナノチューブ類(CNT)		4B2:内包・層間化合物
			1B3:気相成長炭素繊維類(ナノファイバ)		
			1B4:ナノダイヤモンド		
		1B5:グラフェン			
		1B6:その他のナノ炭素			
2:課題・目的	2A:炭素材料製法向上	2A1:原料の種類・形態制御	5:加工・成形	5A:中間基材	5A:紡績系・織系
		2A2:集合体・配列配向			5A2:織布、編物、組物、布帛(Woven fabric)
		2A3:不純物制御・品質向上			5A3:不織布(Non-woven fabric)
		2A4:精度向上			5A4:ペーパー(CF paper)
		2A5:生産性向上			5A5:チョウド糸・ミルド
		2A6:経済性向上			5A6:プリプレグ
		2A7:安全性・信頼性向上			5A7:積層体プリフォーム
		2A8:リサイクル			
	2B:炭素材料特性向上	2B1:力学的(機械的)性質		5B:加工・改質方法	5B1:加工処理・被覆・除去
		2B2:形態的性質			5B2:可溶化・分散
		2B3:熱的性質			5B3:配向・紡糸・膜/パターン形成
		2B4:電気的・電磁的性質			5B4:製織・ウェブ・抄造
		2B5:電子的・磁氣的性質			5B5:構造体・賦形体形成
		2B6:光学的性質			5B6:切断・開閉孔・接続・剥離
		2B7:画像形成特性			5B7:仕上げ
		2B8:耐久性・安定性向上			
2B9:成形性・賦形性・硬化性					
2BA:溶解性・分散性		5C:成形・接合	5C1:成形方法		
			5C2:成形体の接合		
			5C3:成形品形状		
3:炭素材料製造法	3A:原料の選定・調整	3A1:原料の種類・形態	6:応用技術	6A:医薬・医療・バイオ	6A1:ステント、バイオインプラント
		3A2:供給・精製方法			6A2:医療機器
		3A3:添加物			6A3:化粧品、医薬品・DDS
	3B:触媒の選定・調整	3B1:触媒の特定		6B:エネルギー分野	6B1:二次電池
		3B2:供給方法			6B2:燃料電池
	3C:製造方法	3C1:炭素繊維の製造方法			6B3:風力発電
		3C2:ナノ炭素材料の製造方法	6B4:太陽電池		
	3D:分離・精製	3D1:不純物除去	6B5:水素・CNG用高压容器		
		3D2:サイズ・形状の異なるものの分離	6B6:LED照明		
	3F:プロセス設計・制御	3F1:選定・設計	6C:大型輸送機分野	6C1:自動車	
		3F2:特殊反応場		6C2:航空機・宇宙	
		3F3:前処理・中間処理・後処理	6D:環境分野	6D1:吸着剤	
	3G:装置の構成・配置	3G1:全体構成・配置		6D2:分離材	
		3G2:原料・触媒の取扱い	6F:電気・電子分野	6F1:電子機器・部品	
		3G3:エネルギー源		6F2:情報通信機器	
		3G4:製品回収		6F3:光学機器・デバイス	
		3G5:排出物取扱い		6F4:パワー半導体・IC	
		3G6:装置の種類		6F5:半導体製造装置部材	
	3H:炭素材料回収・リサイクル	3H1:分離	6G:スポーツ・レジャー	6G1:ゴルフシャフト・ヘッド	
		3H2:粉碎		6G2:釣具	
				6G3:海洋(ヨット、クルーザー、ボート)	
				6G4:テニス、バドミントン、卓球ラケット	
				6G5:自転車	
			6H:産業資材	6H1:産業ロボット	
		6H2:機械部品			
		6H3:建築・土木材料			
		6I:触媒	6I1:触媒担体		
		6J:摺動・潤滑材			
		6K:磁性材料			

大分類項目として、炭素材料の種類（大分類1）、課題・目的（大分類2）、炭素材料製造法（大分類3）、炭素材料の展開・誘導品（大分類4）、加工・成形（大分類5）、応用技術（大

分類 6) を設定した。各大分類には、中分類 (1A: 炭素繊維など)、小分類 (1A1: PAN 系など)、詳細分類 (1A1a: 長繊維など)、さらに下位分類 (3C1a1: 高分子量など) のように階層化して多くの技術区分を設けて、技術区分ごとの解析を行った。炭素材料の種類 (大分類 1) 及び課題・目的 (大分類 2) の技術項目は、必ず付与する項目である。

なお、表-1 には大分類、中分類及び小分類を示した。

対象特許文献及び非特許文献の適応技術区分については、可能な限り下位区分の技術区分付与を行い、多数の区分が対象となる場合は複数の区分に付与する。下位区分に付与できない技術対象は上位区分に付与 (下位区分の「その他」に相当) し、集計時には下位区分と同列 (例えば 1A に付与されたものは、1A0 として 1A1 などと同じ階層) で取り扱うこととした。

第 3 節 技術文献の収集・解析方法

【特許文献の検索法】

日本特許及び外国特許について、Derwent World Patent Index (WPI)¹⁾ をデータベースとして用いた検索により収集した。

検索では所定の IPC (国際特許分類)、絞込みのため所定のフリーワードを用い、調査期間 2000 年～2009 年 (優先権主張年)、調査対象国は日本、米国、欧州、中国、韓国、WO (PCT 出願) とした。また、本調査では、調査対象国として日米欧中韓のほか、これらに次いで特許出願件数の多い台湾を追加した。その結果、詳細解析対象は、日本特許が 8,502 件、外国特許が 9,032 件であった。なお、外国特許の集合の中で日本特許の検索結果に含まれる特許 (日本特許にファミリーを持つもの) には日本特許の解析結果を適用した。

【非特許文献の検索法ほか】

非特許文献検索では、JSTPlus をデータベースとして、所定のキーワードを用い、調査期間 2000 年～2010 年 (発行年) にて、15,855 件を検索した。なお、国際比較については、主要国際誌を選定して比較した。

【特許文献の解析法】

検索された特許文献についてノイズ落としと技術区分解析を行った。この一次抽出後の特許出願件数は、日本へは 8,079 件、米国へは 6,202 件、欧州²⁾ へは 2,852 件、中国へは 3,930 件、韓国へは 3,573 件、PCT 出願は 3,481 件であった。

登録件数については、審査請求前や審査中の出願が存在するため、近年のデータについては今後増加する可能性がある。

【非特許文献の解析法】

検索された非特許文献についてノイズ落としと技術区分解析を行った。この一次抽出後の非特許文献は 13,720 件であった。また、国際比較のための主要国際誌の解析対象件数は 4,911 件であった。

1) Thomson Reuters 社提供の世界 40 カ国+2 特許機関発行の特許出願を採録したデータベース。

2) 欧州への出願とは、オーストリア、ベルギー、スイス、チェコ、ドイツ、デンマーク、スペイン、フィンランド、フランス、イギリス、ハンガリー、アイルランド、イタリア、ルクセンブルク、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、ルーマニア、スウェーデン、スロバキア、及び EPC への出願とする。欧州への出願件数は、欧州各国への公報単位出願の合計件数である。

第2章 特許動向調査

「炭素材料及びその応用技術」に関連した特許動向調査を行った。「炭素材料及びその応用技術」関連の中で炭素繊維（技術区分表：中分類 1A）とナノ炭素材料（技術区分表：中分類 1B）とに分けて解析した。

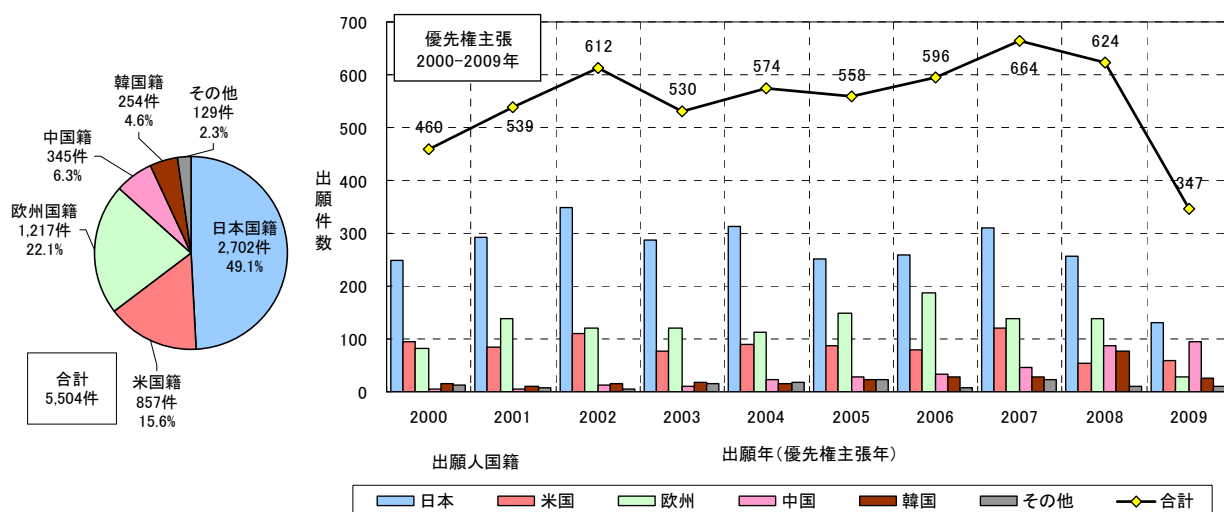
第1節 全体動向調査

1. 炭素材料及びその応用技術の炭素繊維に関する全体動向調査

(1) 炭素繊維の出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率

「炭素材料及びその応用技術」関連で炭素繊維についての調査期間における出願人国籍別の特許出願件数推移及び出願件数比率を図-2 に示した。出願人国籍別の出願件数比率は日本が 49.1% とほぼ半数を占め、以下、欧州 22.1%、米国 15.6%、中国 6.3%、韓国 4.6% であった。日本国籍出願人の出願件数は 2000 年から大きな変動は見られず、現在までおおむね 250~300 件で推移している。米国籍出願人の出願件数も約 100 件の横ばいで推移している。欧州国籍では 2000 年から 2004 年まで 110 件程度で推移したが、その後は 150 件前後で推移している。中国籍及び韓国籍は、日米欧に比べて件数は少ないが継続的に増加している。

図-2 炭素繊維に関する出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009 年）



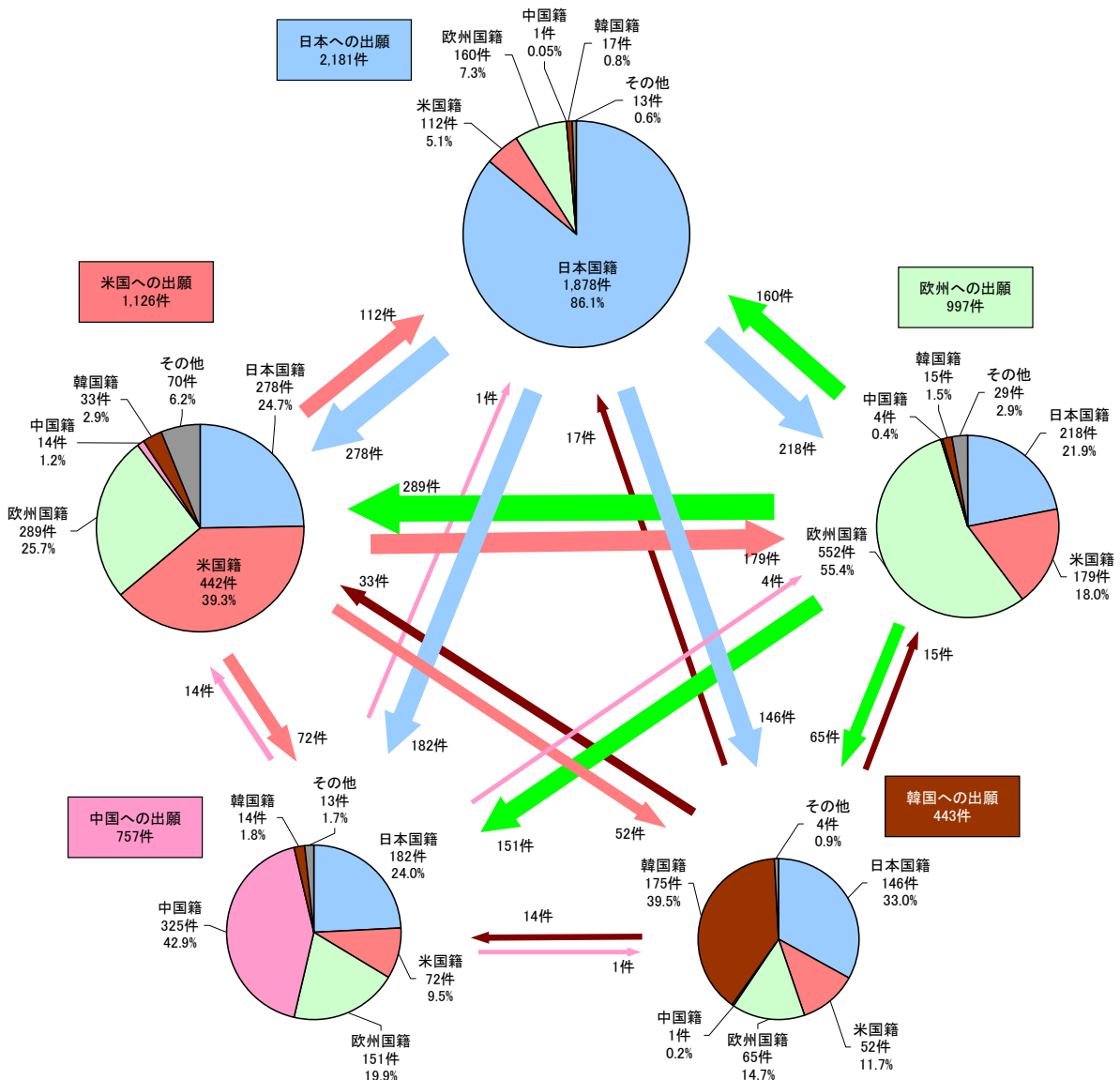
注) 検索条件：[中分類 1A：炭素繊維]

注) 2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

(2) 炭素繊維の出願先国別出願人国籍別出願件数収支

炭素繊維関連の特許出願件数について日本、米国、欧州、中国、韓国に対する出願先国別出願人国籍別出願件数収支を解析し、図-3 に示した。日本は、米国、中国及び韓国に対して出願件数収支は圧倒的なプラスであったが、欧州に対しては近接している。

図-3 炭素繊維に関する出願先国別—出願人国籍別出願件数収支（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）2000—2009年）

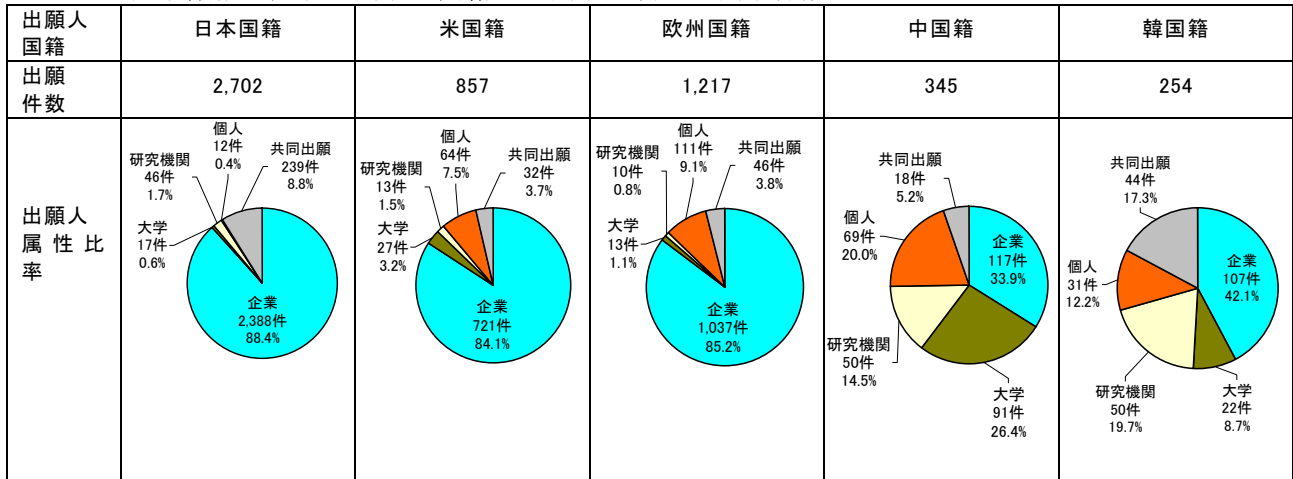


注) 検索条件：[中分類 1A：炭素繊維]

(3) 炭素繊維の出願人国籍別出願人属性

図-4 に示した出願人国籍別の出願人属性を解析した結果、日本、米国及び欧州はほとんどが企業単独出願及び企業間の共同出願であった。一方、中国及び韓国では企業からの出願は約 30～40%である。その分、中国では大学、個人からの出願が多いのが特徴である。韓国でも個人の出願が多いが共同出願や研究機関からの出願が多い。

図-4 炭素繊維に関する出願人国籍別の出願人属性別出願件数比率

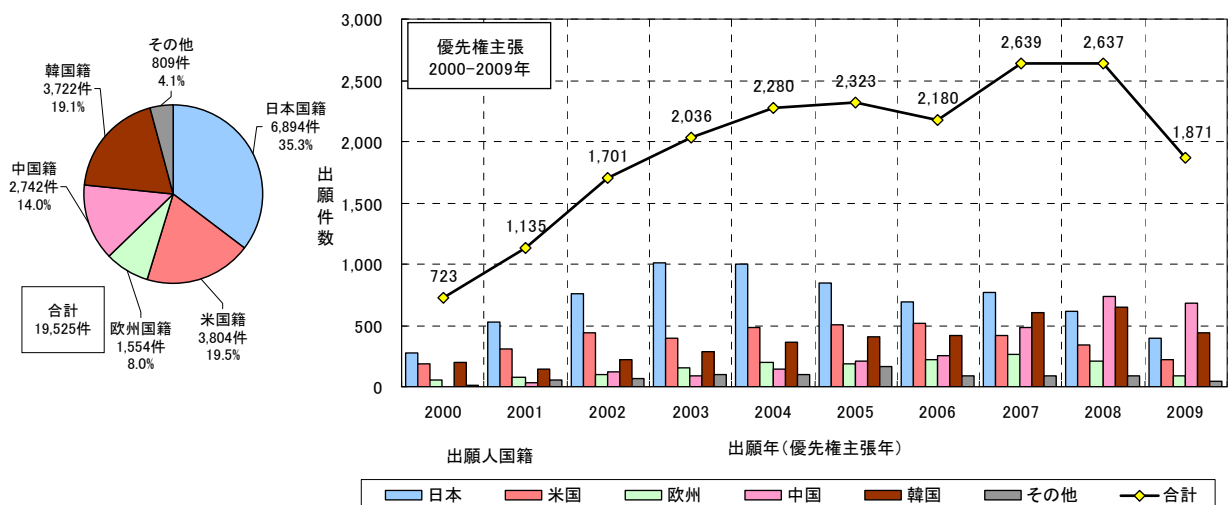


2. 炭素材料及びその応用技術のナノ炭素材料に関する全体動向調査

(1) ナノ炭素材料の出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率

「炭素材料及びその応用技術」関連のナノ炭素材料についての調査期間における出願人国籍別の特許出願件数推移及び出願件数比率を図-5 に示した。出願人国籍別の出願件数比率は日本が 35.3%とトップで以下、米国 19.5%、韓国 19.1%、中国 14.0%、欧州 8.0%、その他 4.1%であった。日本国籍出願人の出願件数は 2000 年から 2003 年にかけて増加し約 1,000 件となり、2006 年まで漸減傾向を示し以降ほぼ横ばいで推移している。米国籍出願人では 2004 年に約 500 件まで増加し 2006 年まで横ばいで推移し、その後やや減少傾向が見られる。これに対して、中国籍、韓国籍及び欧州国籍は、日米に比べて件数が少ないもののほぼ継続的に増加している。特に、韓国籍及び中国籍からの出願は 2008 年以降日本国籍、米国籍からの出願件数を上回る勢いを示している。

図-5 ナノ炭素材料に関する出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009 年）



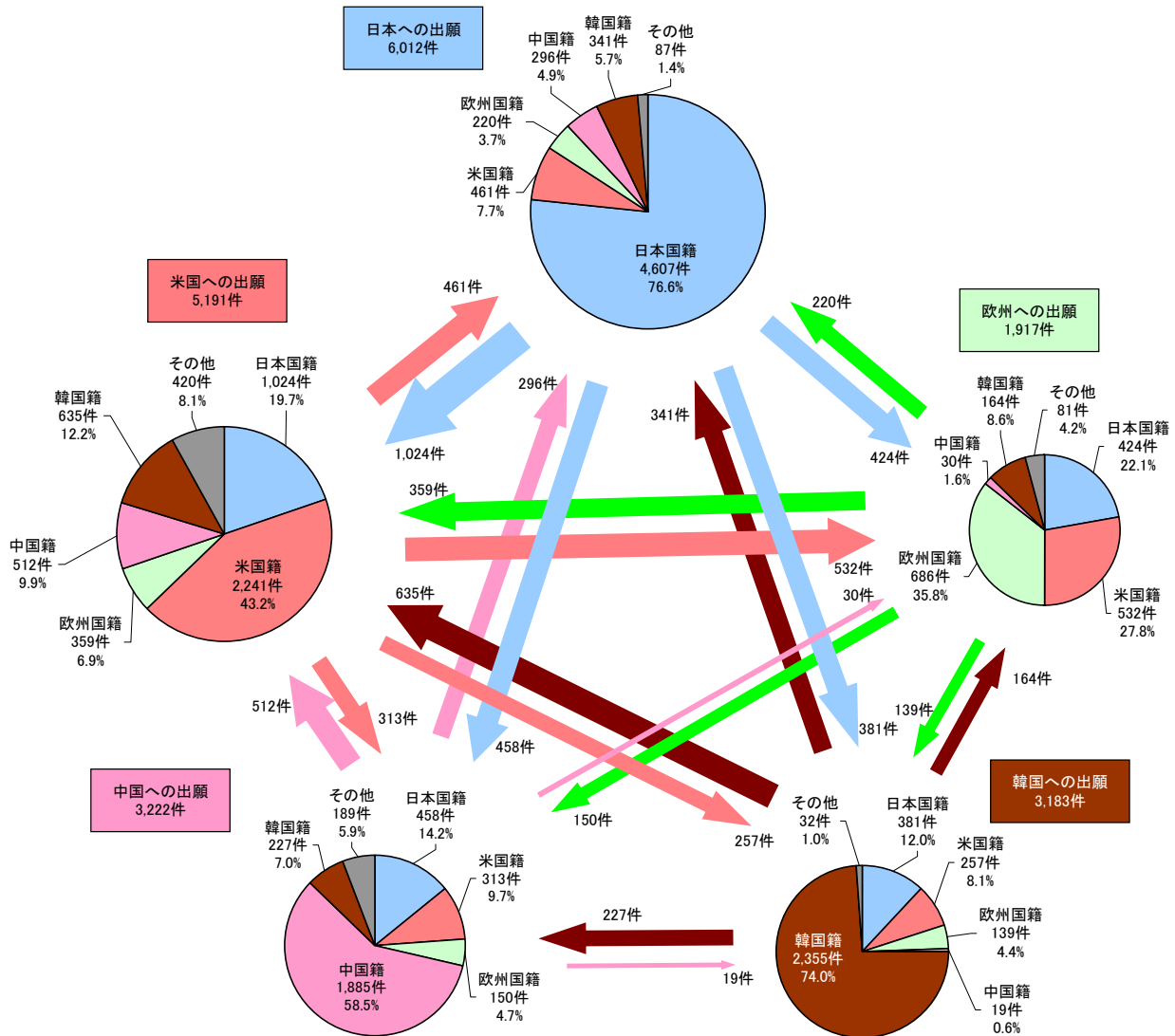
注) 検索条件：[中分類 1B：ナノ炭素材料]

注) 2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

(2) ナノ炭素材料の出願先国別出願人国籍別出願件数収支

ナノ炭素材料関連の特許出願件数について日本、米国、欧州、中国、韓国に対する出願先国別出願人国籍別出願件数収支を解析し、図-6 に示した。日本は、米国、欧州、中国、韓国に対して出願件数収支はプラスであった。そのうち、韓国に対しては収支差が少ない。

図-6 ナノ炭素材料に関する出願先国別一出願人国籍別出願件数収支（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注)検索条件：[中分類 1B：ナノ炭素材料]

(3) ナノ炭素材料の出願人国籍別出願人属性

図-7 にナノ炭素材料に関する出願人国籍別の出願人属性別出願件数比率を示した。

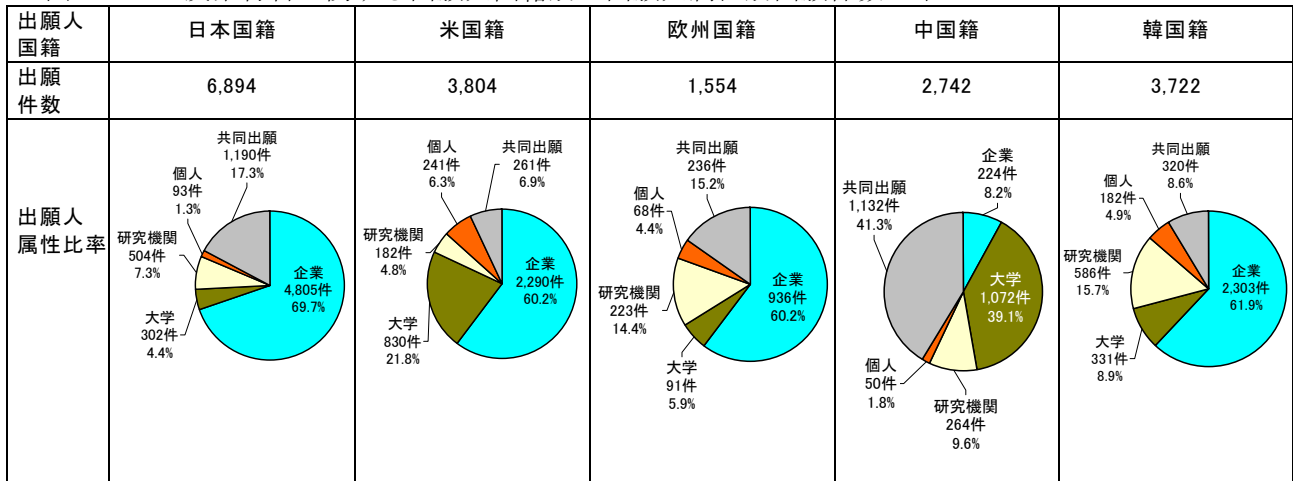
日本は、企業単独が 4,805 件、共同出願が 1,190 件、研究機関が 504 件、大学が 302 件、個人が 93 件であった。共同出願では、企業と企業が約 230 件、企業と大学が約 350 件、企業と研究機関が約 320 件であった。これらを含めると企業からの出願が 85%程度と大半を占めた。

米国、欧州及び韓国による日米欧中韓への特許出願についても、日本と同様に企業からの出願が大半を占めた。ただ、企業以外では米国では大学からの出願が多く、欧州及び韓国で

は研究機関からの出願が多いという特徴が見られた。

中国は、日本、米国、欧州及び韓国との出願人属性の比率が大きく異なっており、企業単独の出願は僅か約8%で、大学及び共同出願での出願が合せて80%と大半を占めた。共同出願は大学と企業による出願がほとんどである。すなわち、出願人に大学が含まれる出願が大半を占めている。

図-7 ナノ炭素材料に関する出願人国籍別の出願人属性別出願件数比率



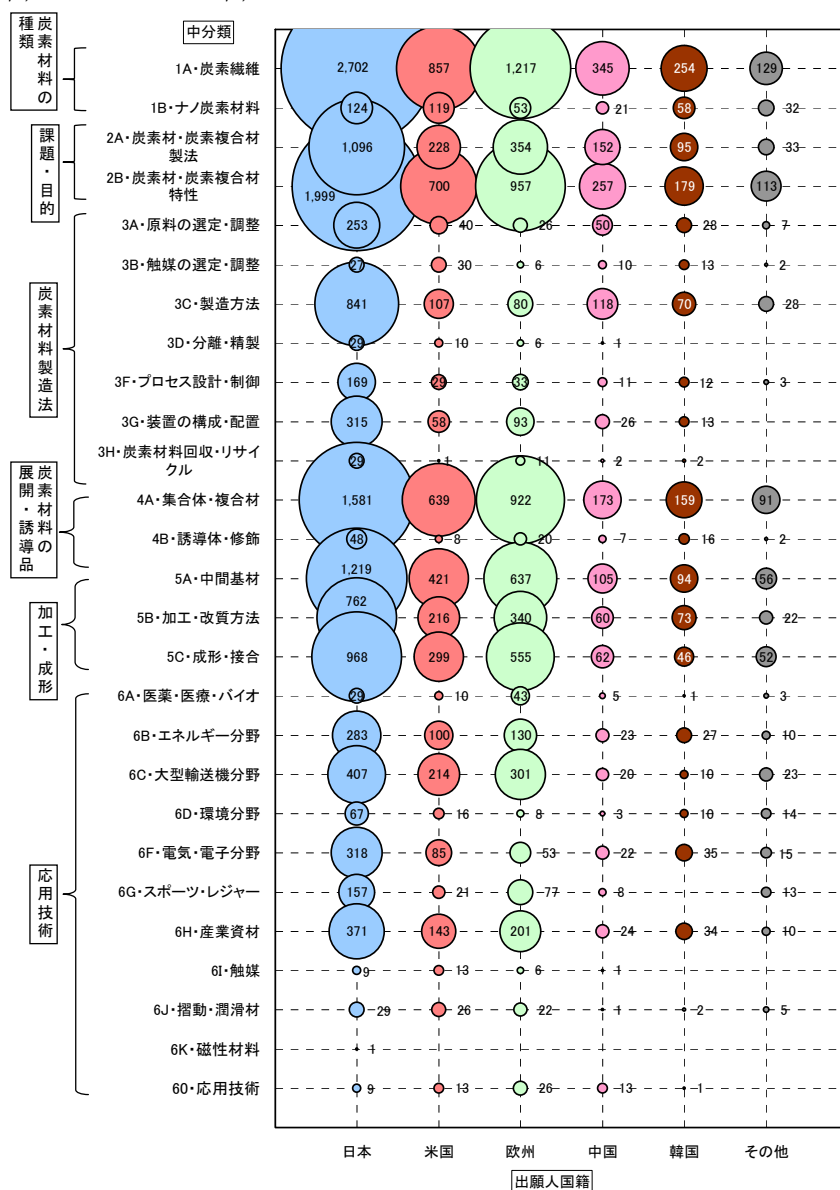
第2節 技術区分別特許出願動向

1. 炭素材料及びその応用技術の炭素繊維に関する技術区分別特許出願動向

(1) 炭素繊維の中分類別特許出願動向

技術区分表の中分類別の出願人国籍別出願件数を図-8に示した。いずれの国も相対的な出願パターンは類似している。その中で[2B 炭素材・炭素複合材特性]/[2A 炭素材・炭素複合材製法]比が国により異なる。日本、中国、韓国が1.8前後であるのに対して米国、欧州は2.7～3.1と特性を課題・目的にした出願が多い。応用技術では、日米欧とも大型輸送機分野が最も多いが日本は比較的他の分野へも出願している。

図-8 技術区分別—出願人国籍別出願件数（中分類別、日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000—2009年）



注) 検索条件：[中分類 1A：炭素繊維]

(2) 炭素繊維の小分類・詳細分類での特許出願動向

[2A 炭素材・炭素複合材製法]の小分類での出願件数推移を図-9に示した。2000年当初は、[2A1形態制御]などに関する出願件数は多かったが最近では減少している。[2A5生産性向上]や[2A6経済性向上]の件数が増加あるいは横ばいで推移しており、コスト低減や量産化向上の技術改良の優先度が増加している。

図-9 炭素繊維に関する[2A：炭素材・炭素複合材製法]の出願件数推移(日米欧中韓への出願、出願年(優先権主張年)：2000-2009年)

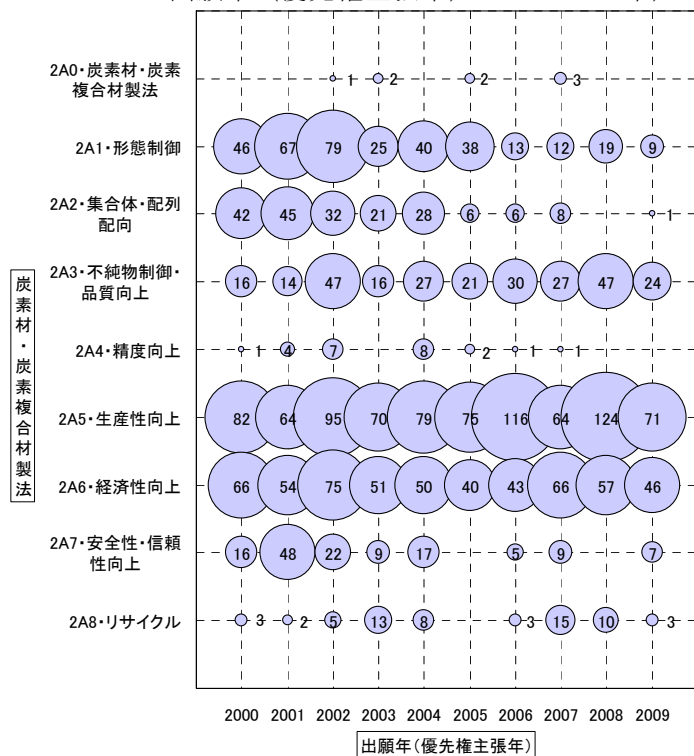
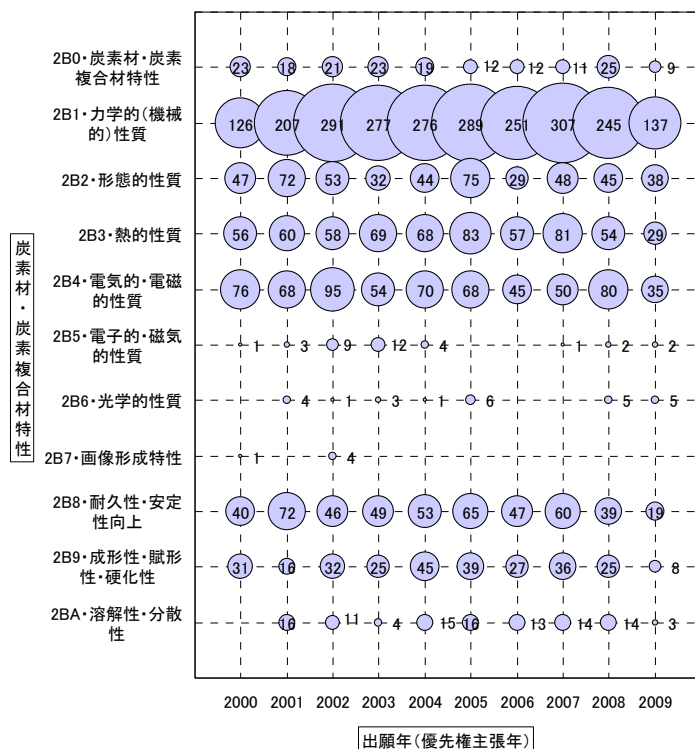


図-10には、炭素繊維に関する[2B 炭素材・炭素複合材特性]の小分類の件数推移を示した。[2B1力学的(機械的)性質]に関する特許出願が、調査期間を通して最も多かった。

注) 検索条件：[中分類 1A:炭素繊維]×[小分類 2A：炭素材・炭素複合材製法]
 注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

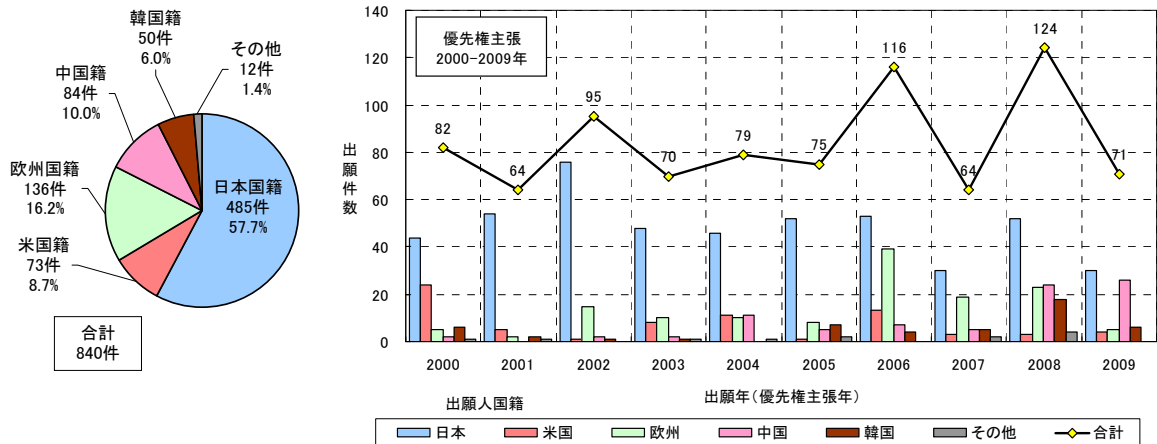
図-10 炭素繊維に関する[2B：炭素材・炭素複合材特性]の出願件数推移(日米欧中韓への出願、出願年(優先権主張年)：2000-2009年)



注) 検索条件：[中分類 1A:炭素繊維]×[小分類 2B：炭素材・炭素複合材特性]
 注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

図-8の結果により炭素繊維の[2A 炭素材・炭素複合材製法]の中で[2A5 生産性向上]が重要な項目であることから、[2A5 生産性向上]に関する[2A 炭素材・炭素複合材製法]の出願件数推移と出願件数比率を図-11に示した。件数比率は、日本が過半数を示しているが、最近中国からの出願の増加が著しい。

図-11 炭素繊維の[2A5：生産性向上]の出願件数推移と出願件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）

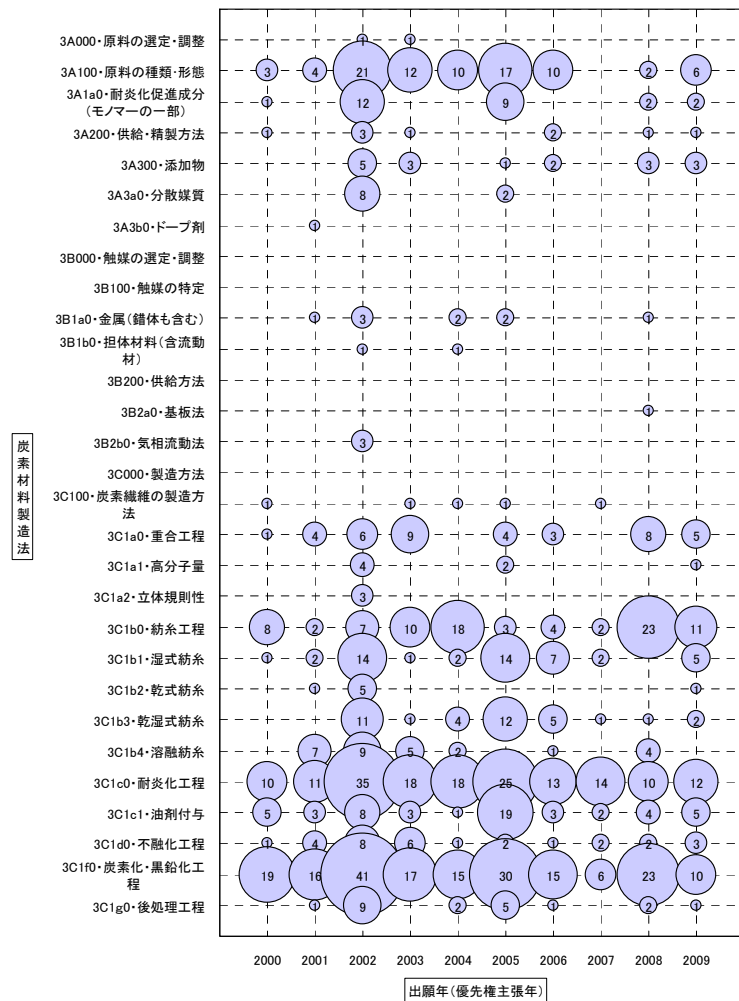


注) 検索条件：[中分類 1A: 炭素繊維] × [小分類 2A5: 生産性向上]

注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

炭素繊維の[2A5 生産性向上]に関する[3A 原料の選定・調整]、[3B 触媒の選定・調整]及び[3C 製造方法]の中で炭素繊維に関係する[3C1 炭素繊維の製造方法]の詳細分類別の件数推移を図-12に示した。生産性に対して[3C1c 耐炭化工程]及び[3C1f 炭素化・黒鉛化工程]の出願件数が多く、生産性向上に両工程の技術改良が重要であることを示している。

図-12 炭素繊維の[2A5:生産性向上]に関する[3:炭素材料製造法]の詳細分類別出願件数推移(a)
(日米欧中韓への出願、出願年(優先権主張年):2000-2009年)

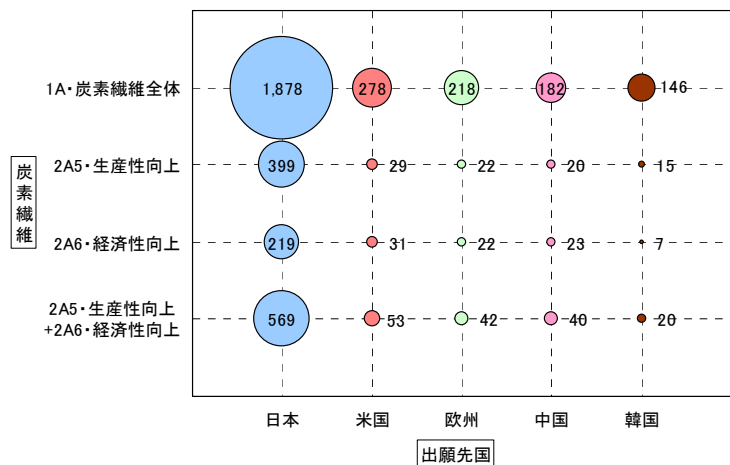


注) 検索条件: [中分類 1A:炭素繊維] × [小分類 2A5:生産性向上] × [詳細分類 3:炭素材料製造法]

注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

図-13には、炭素繊維に関する日本からの出願先国への出願件数を示している。縦軸は炭素繊維全体の件数、[2A5 生産性向上]に対する炭素繊維の件数、[2A6 経済性向上]に対する炭素繊維の件数及び[2A5 生産性向上]あるいは[2A6 経済性向上]に対する炭素繊維の件数を表したものである。例えば、日本へ出願する生産性向上に関する出願は、全体に対して 21% (=399/1,878) である。一方、中国への出願では、11% (=20/182) と重要な技術項目と考えられる生産性に関して、中国への特許出願が日本への出願に対して相対的に少ないことを示している。

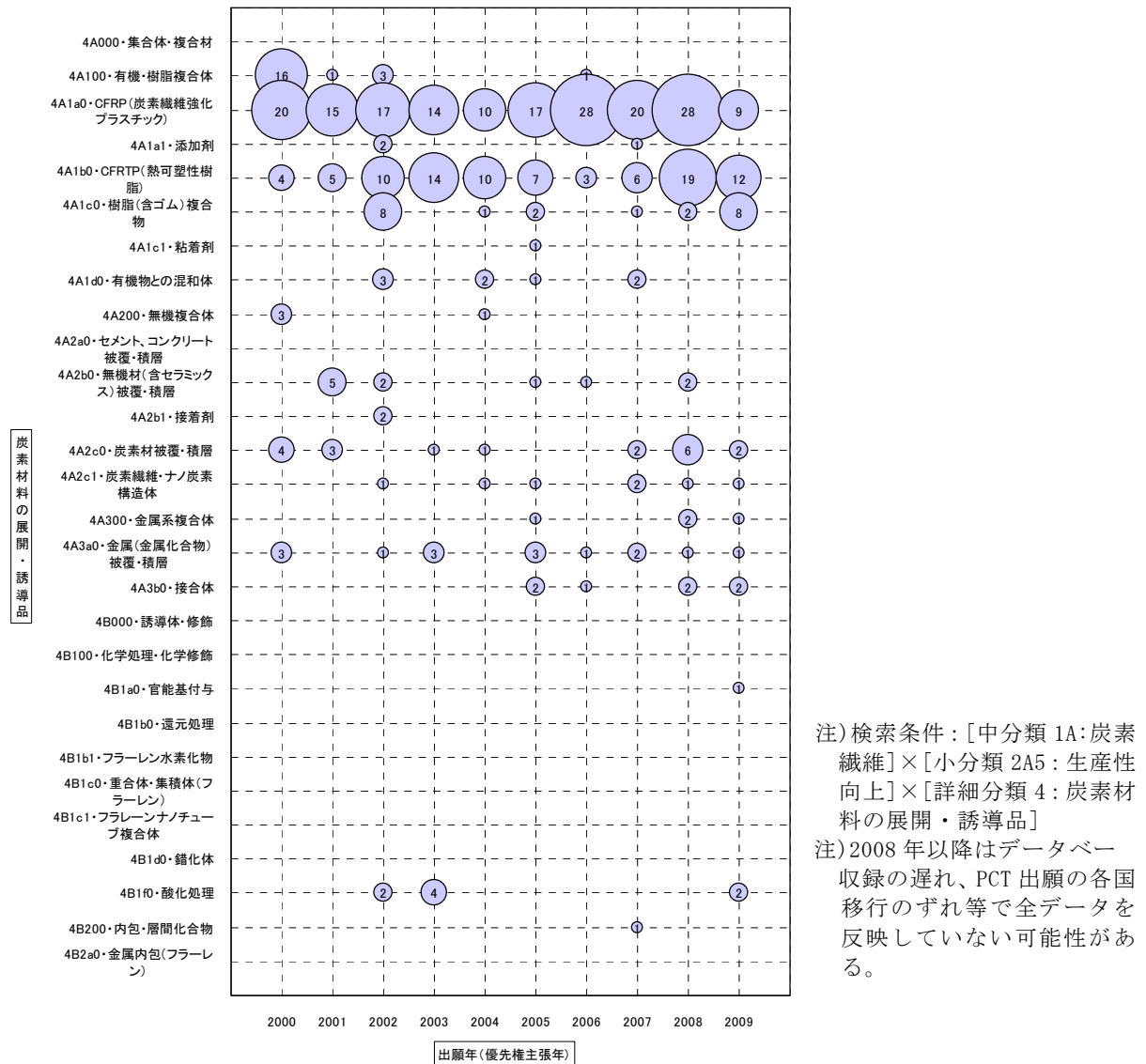
図-13 炭素繊維に関する日本国籍出願人の出願先国別出願件数(日米欧中韓への出願、出願年(優先権主張年):2000-2009年)



注) 検索条件: [中分類 1A:炭素繊維] × ([中分類 1A:炭素繊維] + [小分類 2A5:生産性向上] + [小分類 2A6:経済性向上] + ([小分類 2A5:生産性向上] + [小分類 2A6:経済性向上])) × [日本国籍出願人]

図-14には、炭素繊維の[2A5 生産性向上]に関する[4A 集合体・複合材]及び[4B 誘導体・修飾]の詳細分類別出願件数推移を示した。生産性向上のために炭素材料の集合体・複合材の中でCFRPが最も注目されており、次いでCFRTPであった。共に、最近出願件数が増加傾向を示していた。

図-14 炭素繊維の[2A5：生産性向上]に関する[4：炭素材料の展開・誘導品]の詳細分類別出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：[中分類 1A:炭素繊維]×[小分類 2A5:生産性向上]×[詳細分類 4:炭素材料の展開・誘導品]

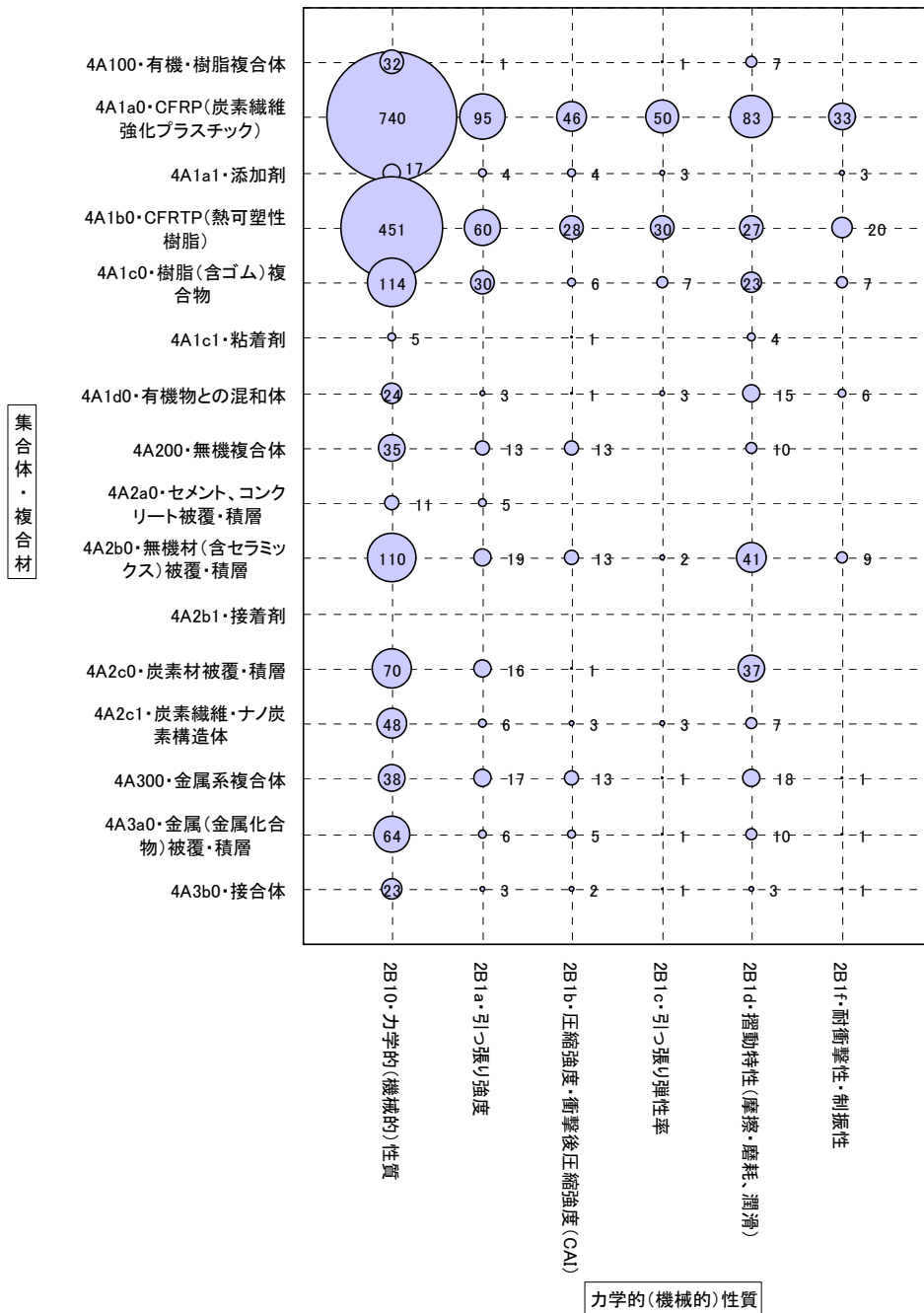
注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

(3) 炭素繊維の小分類・詳細分類の相関

[2B1 力学的（機械的）性質]と[4A 集合体・複合材]の詳細分類ベースの相関関係を図-15示した。力学的向上の対象として、[4A1a CFRP（炭素繊維強化プラスチック）]に関する出願が最も多く、次いで[4A1b0 CFRTP（熱可塑性樹脂）]であった。

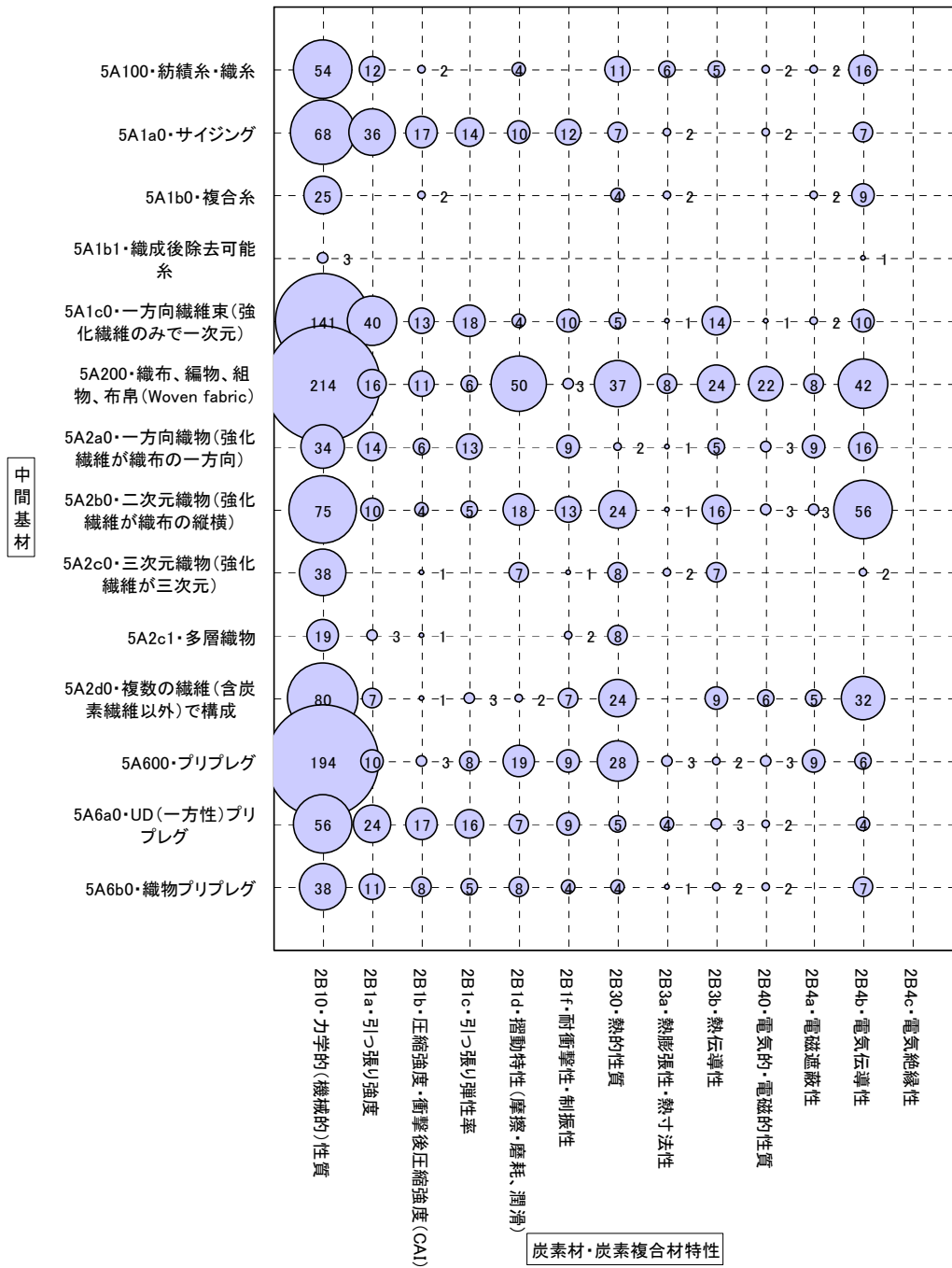
同様に、[2B1 力学的（機械的）性質]と[5A 中間基材]の詳細分類ベースでの相関関係を図-16に示した。[2B1 力学的（機械的）性質]は[5A200 織布、織物、組物、布帛 (Woven fabric)]、[5A600 プリプレグ]及び[5A1c0 一方向繊維束（強化繊維のみで一次元）]と強く相関しており力学的向上にはこれらの技術項目が重要であることを示唆している。

図-15 炭素繊維に関する[2B1：力学的（機械的）性質]と[4A：集合体・複合材]の詳細分類の相関関係（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：[中分類 1A：炭素繊維] × [詳細分類 2B1：力学的（機械的）性質] × [詳細分類 4A：集合体・複合体]

図-16 炭素繊維に関する[2B:炭素材・炭素複合材特性]と[5A:中間基材]の詳細分類別相関関係
 (日米欧中韓への出願、出願年(優先権主張年):2000-2009年)



注) 検索条件: [中分類 1A: 炭素繊維] × [詳細分類 2B: 炭素材・炭素複合材特性] × [詳細分類 5A: 中間基材]

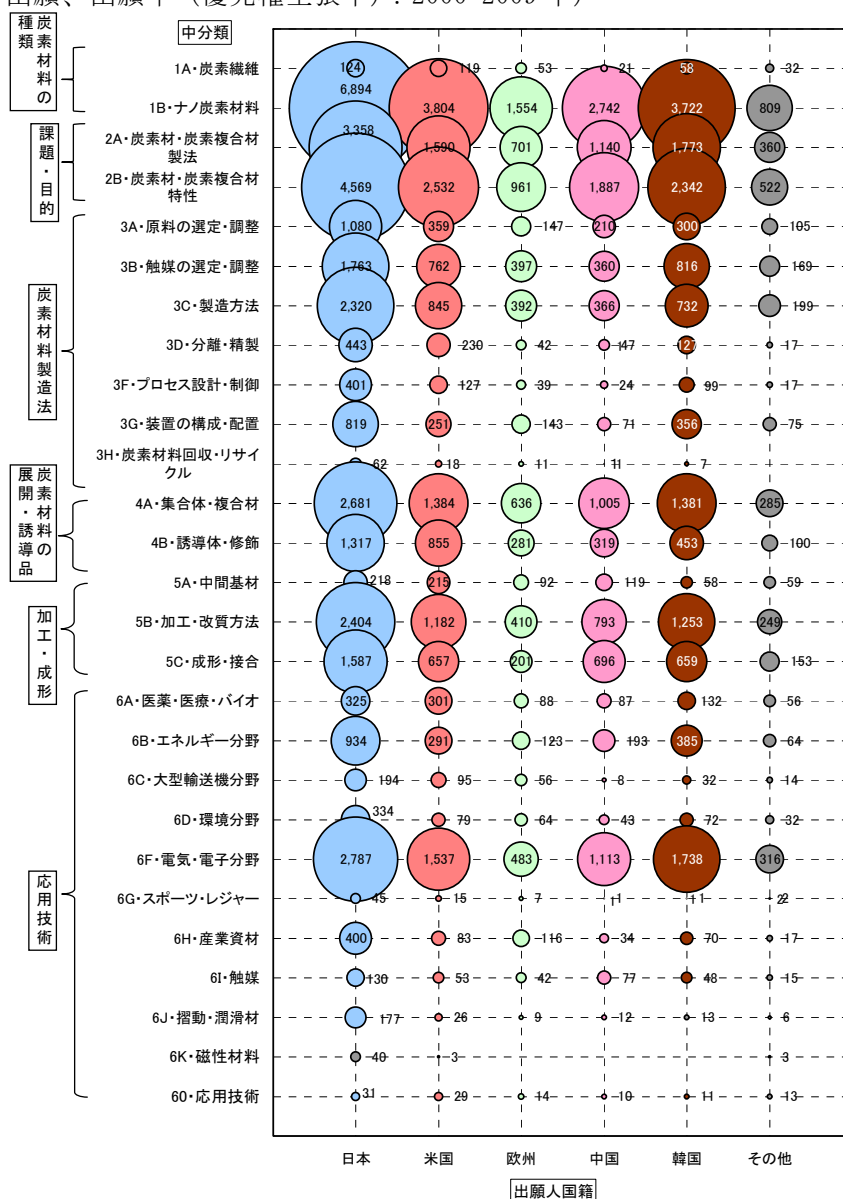
2. 炭素材料及びその応用技術のナノ炭素材料に関する技術区分別特許出願動向

(1) ナノ炭素材料の中分類別特許出願動向

技術区分表の中分類別の出願人国籍別出願件数を図-17 に示した。いずれの国も相対的な出願パターンは類似している。その中で[大分類 2 課題・目的]において、[2A 炭素材・炭素複合材製法]と[2B 炭素材・炭素複合材特性]を比較するといずれの国も[2B 炭素材・炭素複合材特性]に関する出願が多い。日本、欧州と韓国は[2B 炭素材・炭素複合材特性]/[2A 炭素材・炭素複合材製法]の比が 1.3 前後であるのに対して、米国と中国は 1.6 前後であり特性をより重要視した特許が多い。

[大分類 6 応用技術]では、いずれの国も[6F 電気・電子分野]の付与が圧倒的に多い。

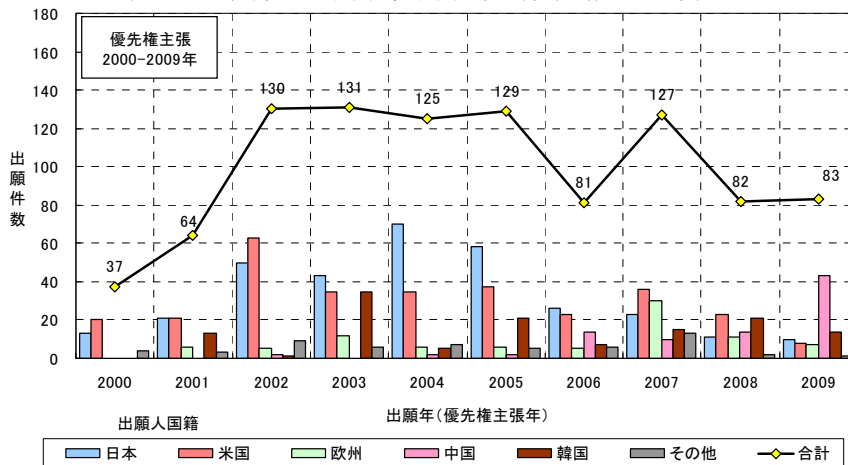
図-17 ナノ炭素材料に関する技術区分別—出願人国籍別出願件数（中分類別、日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009 年）



注) 検索条件：[中分類 1B：ナノ炭素材料]

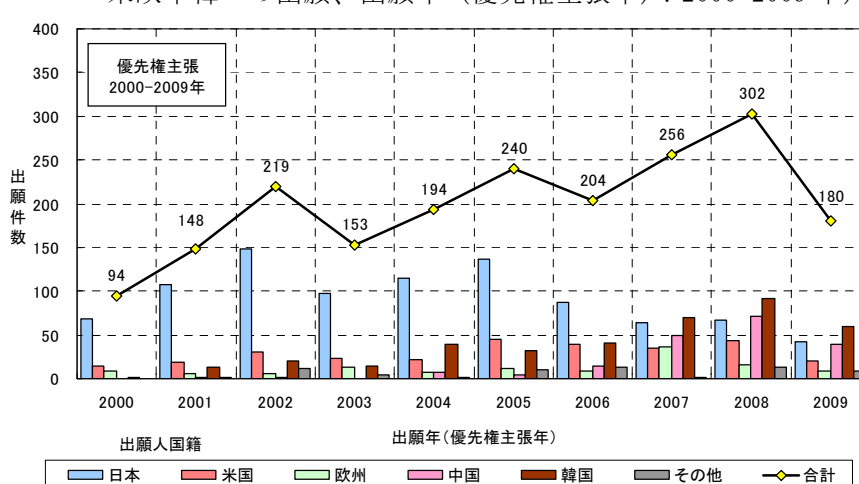
ナノ炭素材料に関する[大分類6応用技術]の中で付与件数の多い[6A 医薬・医療・バイオ]、[6B エネルギー分野]及び[6F 電気・電子分野]の出願人国籍別出願件数推移をそれぞれ図-18、図-19、図-20 に示した。いずれも最近は中国、韓国からの出願が顕著である。

図-18 ナノ炭素材料に関する応用技術[6A：医薬・医療・バイオ]の出願人国籍別出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



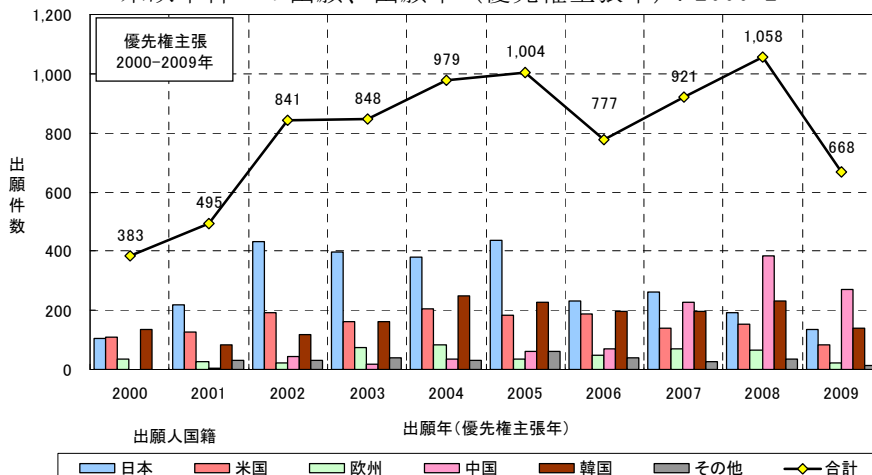
注)検索条件：[中分類 1B：ナノ炭素材料]×[中分類 6A：医薬・医療・バイオ]
注)2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

図-19 ナノ炭素材料に関する応用技術[6B：エネルギー分野]の出願人国籍別出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注)検索条件：[中分類 1B：ナノ炭素材料]×[中分類 6B：エネルギー分野]
注)2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

図-20 ナノ炭素材料に関する応用技術[6F：電気・電子分野]の出願人国籍別出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）

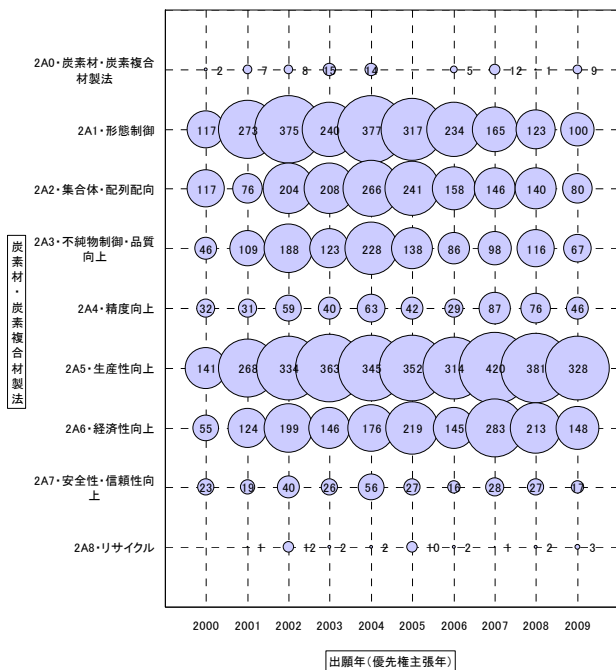


注)検索条件：[中分類 1B：ナノ炭素材料]×[中分類 6F：電気・電子分野]
注)2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

(2) ナノ炭素材料の小分類・詳細分類での特許出願動向

[2A 炭素材・炭素複合材製法]の小分類での出願件数推移を図-21 に示した。2004 年前後までは、[2A1 形態制御]、[2A2 集合体・配列配向]の件数が多かったが、最近では[2A5 生産性向上]に関する出願が増加してきている。

図-21 ナノ炭素材料に関する[2A：炭素材・炭素複合材製法]の小分類別出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）

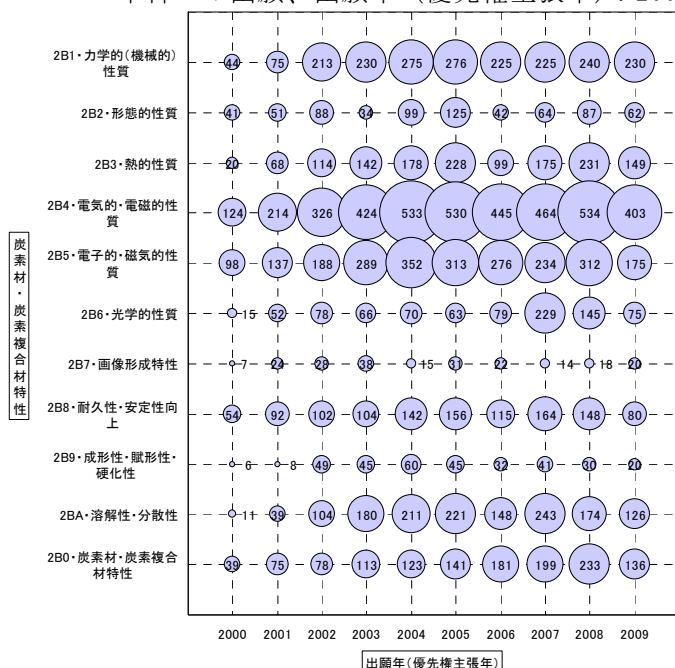


注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [小分類 2A: 炭素材・炭素複合材製法]

注) 2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

ナノ炭素材料に関して[2B 炭素材・炭素複合材特性]の小分類別の出願件数推移を図-22 に示した。多くの項目に分散しているが、その中で[2B4 電気的・電磁的性質]、[2B5 電子的・磁氣的性質]に関する件数が多く、増加傾向を示している。また、[2B1 力学的（機械的）性質]に関する特許出願も[2B4 電気的・電磁的性質]、[2B5 電子的・磁氣的性質]に次いで多い。

図-22 ナノ炭素材料に関する[2B：炭素材・炭素複合材特性]の小分類別出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）

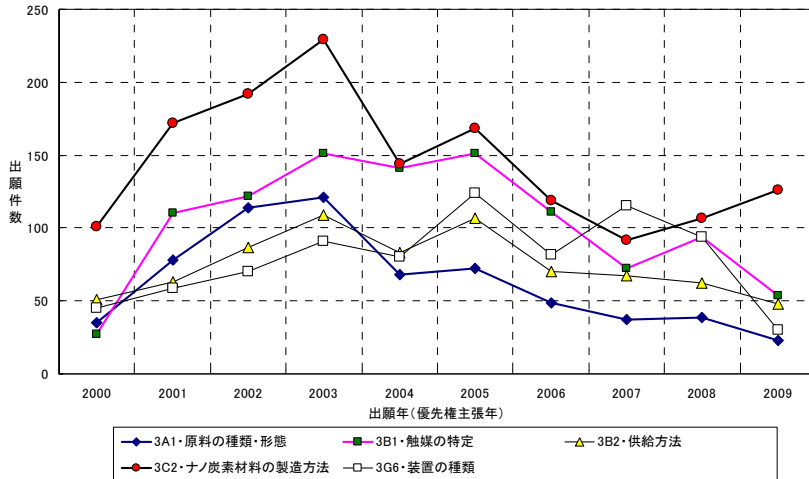


注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [小分類 2B: 炭素材・炭素複合材特性]

注) 2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

図-23には、図-21の分析から重要度の高い[2A5 生産性向上]に関わるナノ炭素材料の製造に関係する技術区分での件数推移を示した。[3G6 装置の種類]以外は、2004年前後に件数のピークを示しその後漸減傾向であるのに対して、[3G6 装置の種類]は2005年まで増加してその後、横ばい傾向を示している。

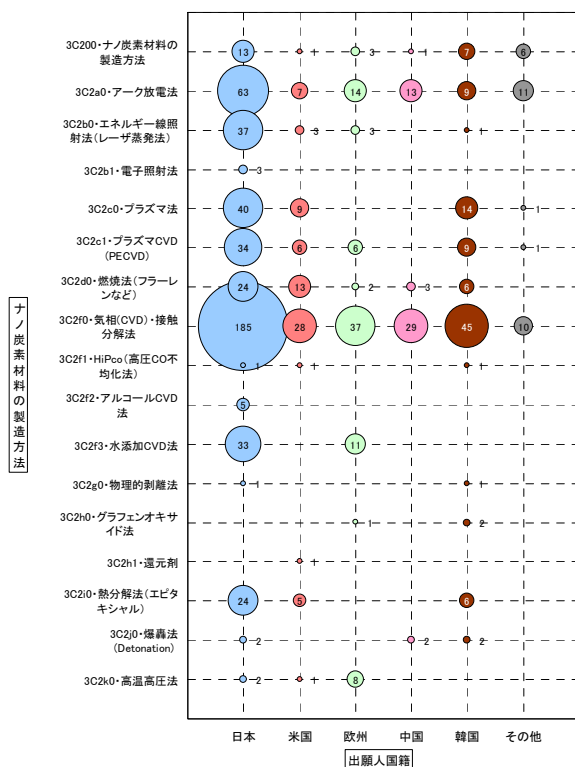
図-23 ナノ炭素材料の[2A5：生産性向上]に関する[3：炭素材料製造法]の小分類抜粋の出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [2A5: 生産性向上] × ([3A1: 原料の種類・形態] + [3B1: 触媒の特定] + [3B2: 供給方法] + [3C2: ナノ炭素材料の製造方法] + [3G6: 装置の種類])
 注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

図-24には、ナノ炭素材料の装置関係に対する[3C2 ナノ炭素材料の製造方法]の詳細分類別の出願人国籍別の件数を示した。いずれの国も気相(CVD)・接触分解法での開発に集中している。日本は、他に比べて出願件数が圧倒的に多く、この技術分野では大きく先行していることが分かる。

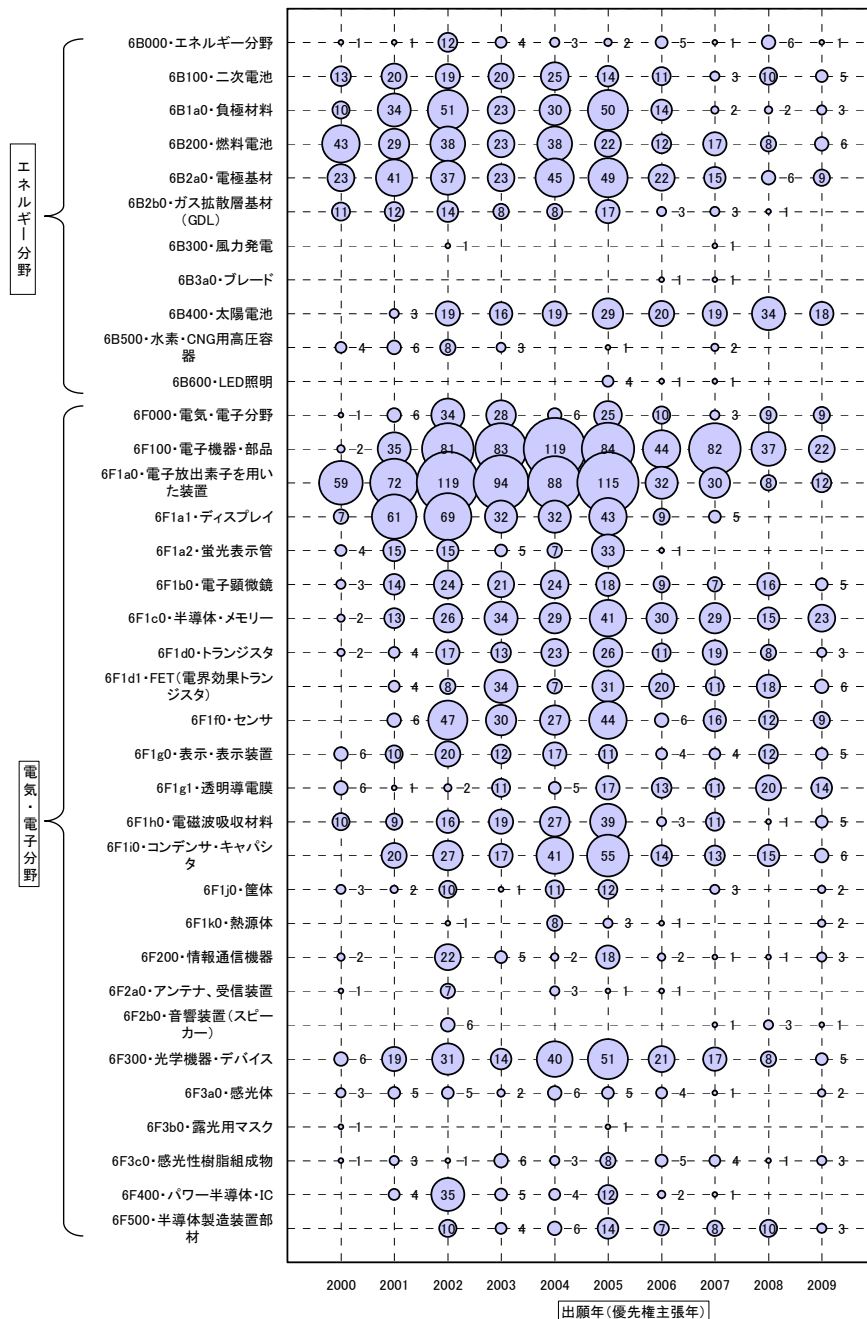
図-24 ナノ炭素材料の[3G6：装置の種類]に関する[3C2：ナノ炭素材料の製造方法]の出願人国籍別出願件数（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [3G6: 装置の種類] × [詳細分類 3C2: ナノ炭素材料の製造方法]

[6 応用技術]の中分類別(図-17)の分析で件数の多かった[6B エネルギー分野]と[6F 電気・電子分野]のうち日本からの出願件数推移を図-25 に示した。[6F100 電子機器・部品]や[6F1a0 電子放出素子を用いた装置]が 2005 年前後まで集中的に出願されていたが、減少傾向にある。

図-25 日本国籍出願人のナノ炭素材料に関する[6B：エネルギー分野]と[6F：電気・電子分野]の詳細分類別一出願人国籍別出願件数推移（日本国籍、日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009 年）



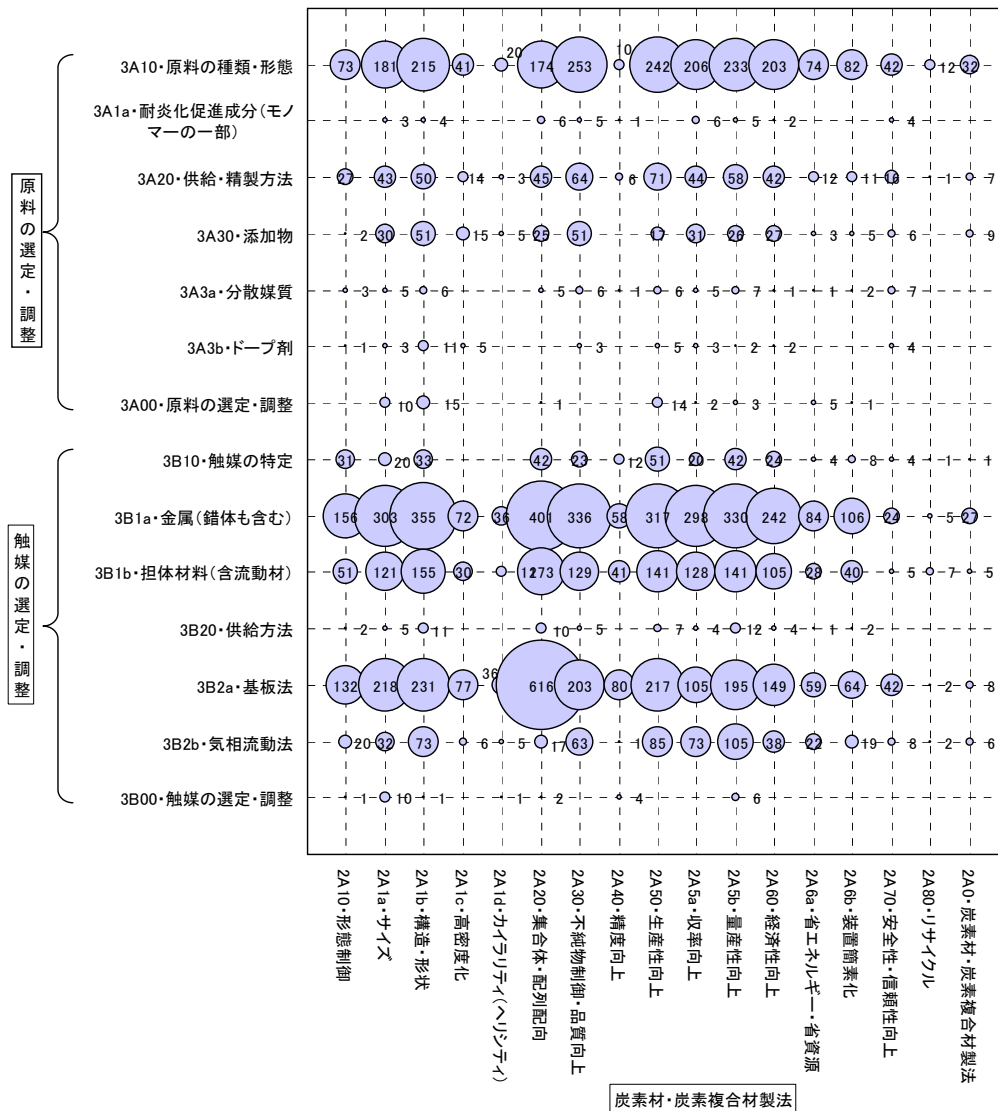
注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × ([詳細分類 6B: エネルギー分野] + [詳細分類 6F: 電気・電子分野])

注) 2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

(3) ナノ炭素材料の小分類・詳細分類の相関

図-26には、ナノ炭素材料に関する[2A 炭素材・炭素複合材製法]と[3A 原料の選定・調整]、[3B 触媒の選定・調整]の詳細分類ベースでの相関関係を示した。[2A20 集合体・配列配向]が[3B2a 基板法]と最も強い相関を示した。[2A5 生産性向上]に関しては、[3B1a 金属（錯体も含む）]、[3A10 原料の種類・形態]及び[3B2a 基板法]などが相関した。

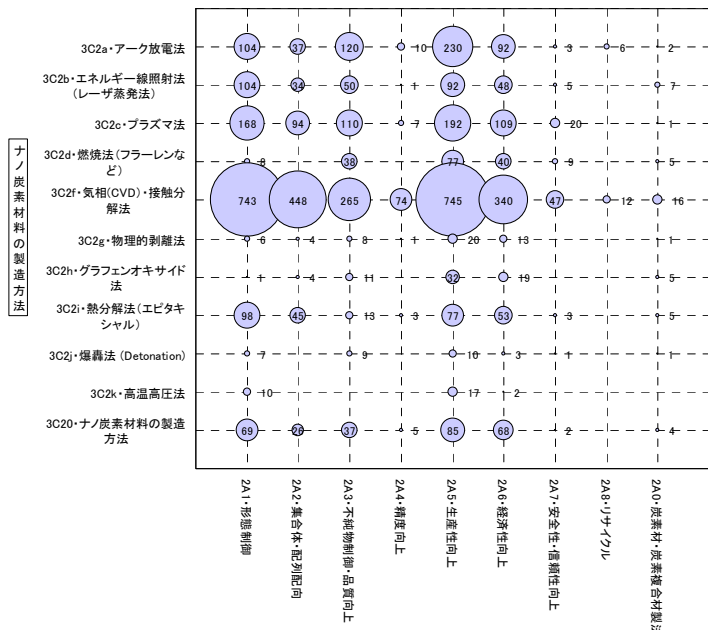
図-26 ナノ炭素材料に関する[2A：炭素材・炭素複合材製法]と[3A：原料の選定・調整]、[3B：触媒の選定・調整]の相関関係（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [詳細分類 2A: 炭素材・炭素複合材製法] × ([詳細分類 3A: 原料の選定・調整] + [詳細分類 3B: 触媒の選定・調整])

図-27には、[2A 炭素材・炭素複合材製法]と[3C2 ナノ炭素材料の製造方法]のそれぞれ小分類と詳細分類との相関件数を示した。[2A5 生産性向上]を目的あるいは課題とした出願では[3C2 f 気相 (CVD)・接触分解法]に強い相関を示した。

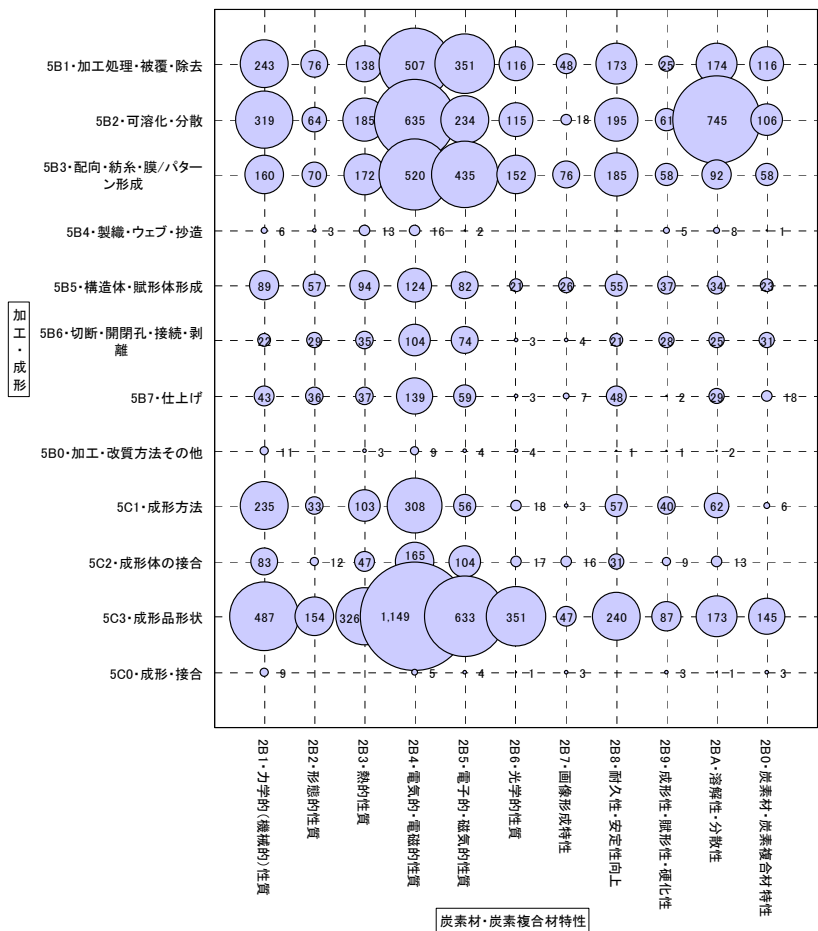
図-27 ナノ炭素材料に関する[2A：炭素材・炭素複合材製法]と[3C2：ナノ炭素材料の製造方法]の相関関係（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [小分類 2A: 炭素材・複合材製法] × [詳細分類 3C2: ナノ炭素材料の製造方法]

[中分類 2B 炭素材・炭素複合材特性]と[大分類 5 加工・成形]の[中分類 5B 加工・改質方法]及び[中分類 5C 成形・接合]のそれぞれの小分類との相関件数を図-28 に示した。[2B4 電気的・電磁的性質]は、[5C3 成形品形状]と強い相関を示した。次いで[5B2 可溶化・分散]、[5B3 配向・紡糸・膜/パターン形成]、[5B1 加工処理・被覆・除去]と続いている。[2B5 電子的・磁氣的性質]についても、相関件数の順位が一部異なるが同様の相関が認められた。[2B1 力学的（機械的）性質]は、[5C3 成形品形状]が強く相関しているが、次いで[5B2 可溶化・分散]と続いている。ナノ炭素材料の可溶化、分散が力学的性質に強く影響することを示唆している。[2BA 溶解性・分散性]は[5B2 可溶化・分散]と強く相関していた。

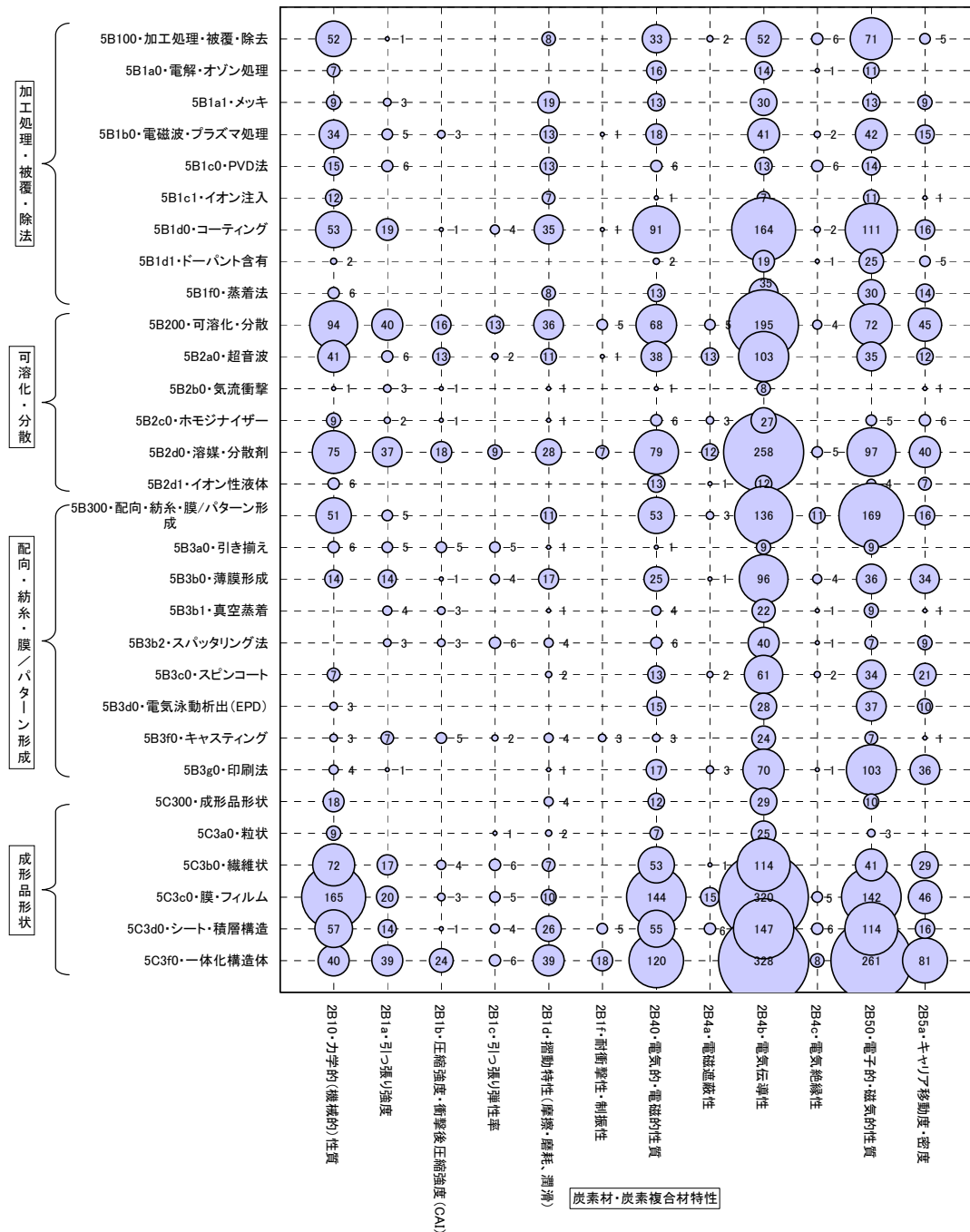
図-28 ナノ炭素材料に関する[2B：炭素材・炭素複合材特性]と[5B：加工・改質方法]、[5C：成形・接合]の相関関係（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [小分類 2B: 炭素材・炭素複合材特性] × ([小分類 5B: 加工・改質方法] + [小分類 5C: 成形・接合])

ナノ炭素材料に関する[2B 炭素材・炭素複合材特性]と[5B 加工・改質方法]、[5C 成形・接合]の詳細分類ベースでの相関関係を図-29に示した。[2B4b 電気伝導性]、[2B50 電子的・磁氣的性質]は共に同じ傾向を示しており、[5B1d0 コーティング]、[5B2d0 溶媒・分散剤]、[5B300 配向・紡糸・膜/パターン形成]、[5C3c0 膜・フィルム]及び[5C3f0 一体化構造体]と強く相関した。[2B10 力学的（機械的）性質]の場合もほぼ同様であった。

図-29 ナノ炭素材料に関する[2B：炭素材・炭素複合材特性]と[5B：加工・改質方法]、[5C：成形・接合]の相関関係（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [詳細分類 2B: 炭素・炭素材複合材特性] × ([詳細分類 5B: 加工・改質方法] + [詳細分類 5C: 成形・接合])

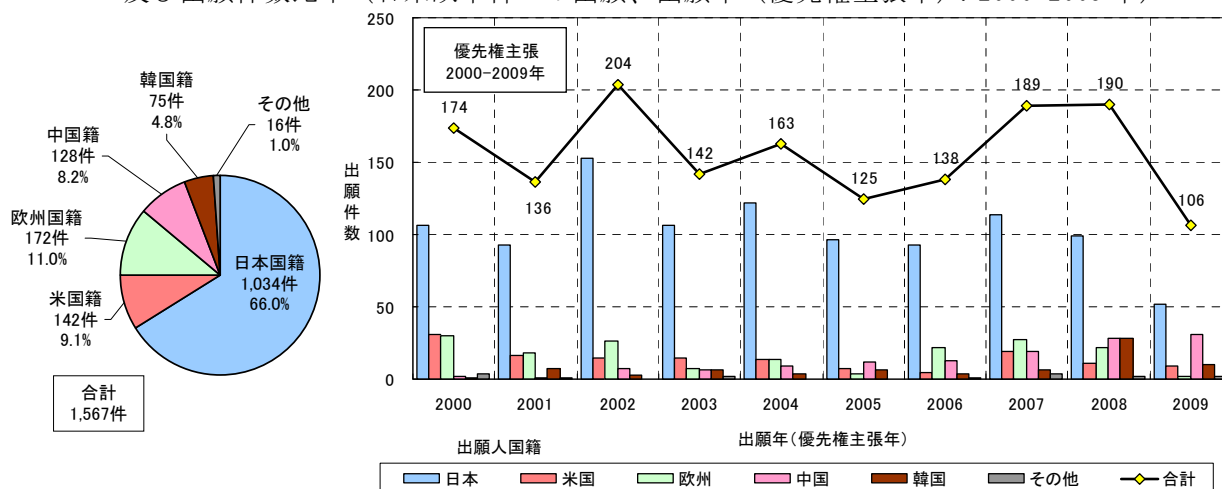
第3節 注目研究開発テーマの動向調査

「炭素材料及びその応用技術」の注目研究開発テーマとして以下の4件を選択した。

1. 【注目研究開発テーマA：炭素繊維の原料展開、製造技術】

出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率を図-30に示した。日本は調査期間を通して他国を大きく引き離してトップを独占している。但し、最近中国、韓国からの出願が増加する兆候がある。

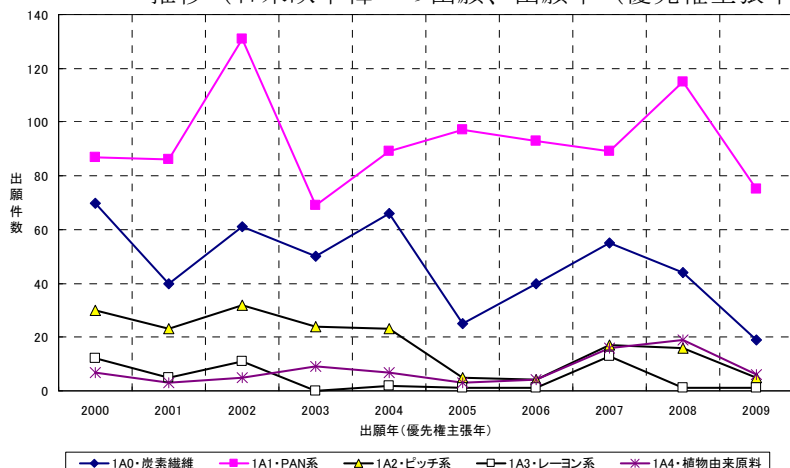
図-30 【注目研究開発テーマA：炭素繊維の原料展開、製造技術】の出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：【注目研究開発テーマA：炭素繊維の原料展開、製造技術】＝[中分類1A：炭素繊維]×([中分類3A：原料の選定・調整]+[小分類3C1：炭素繊維の製造方法]+[中分類3F：プロセス設計・制御]+[中分類3G：装置の構成・配置]+[中分類3H：炭素材料回収・リサイクル])
 注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

[1A 炭素繊維]について出願件数推移を図-31に示した。PAN系炭素繊維は年により増減はあるものの100件前後の出願がある。これに対してピッチ系、レーヨン系及び植物由来原料については2007年より再び増加の兆候が観察される。

図-31 【注目研究開発テーマA：炭素繊維の原料展開、製造技術】の[1A：炭素繊維]の出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）

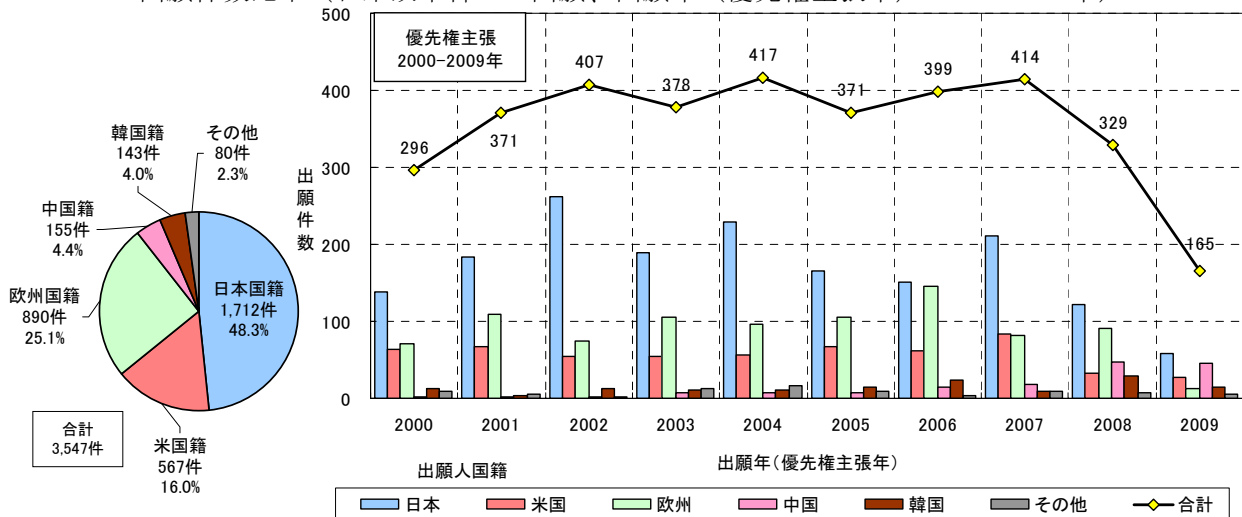


注) 検索条件：【注目研究開発テーマA：炭素繊維の原料展開、製造技術】×[小分類1A：炭素繊維]
 注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

2. 【注目研究開発テーマ B：炭素繊維の加工・成形技術】

出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率を図-32 に示した。合計件数は 3,547 件で、出願件数比率は、日本が 48.3% とほぼ半数を占めた。各国の推移では、年により増減はあるものの日本はおおむね 180～200 件の範囲、米国は 70 件前後、欧州は 100 件前後で定常的に出願している。中国及び韓国は出願件数が少ないものの増加傾向にある。

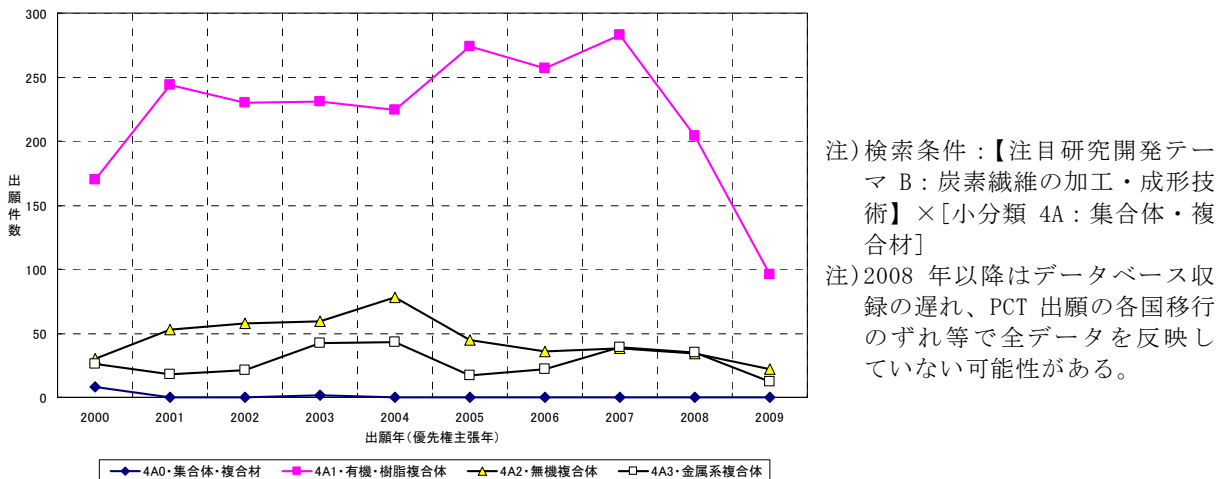
図-32 【注目研究開発テーマ B：炭素繊維の加工・成形技術】の出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009 年）



注) 検索条件：【注目研究開発テーマ B：炭素繊維の加工・成形技術】 = [中分類 1A：炭素繊維] × ([中分類 5A：中間基材] + [中分類 5B：加工・改質方法] + [中分類 5C：成形・接合 (5C3：成形品形状以外)])
 注) 2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

[4A 集合体・複合材] について出願件数推移を図-33 に示した。[4A1 有機・樹脂複合材] は [4A 集合体・複合材] の他の技術項目より圧倒的に多く 250 件前後で推移し、年による変動があるものの全体的には漸増傾向を示している。これに対して [4A2 無機複合材] は、2004 年をピークに漸減傾向を示している。[4A3 金属系複合材] は約 20～40 件の範囲で推移している。

図-33 【注目研究開発テーマ B：炭素繊維の加工・成形技術】の [4A：集合体・複合材] の出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009 年）

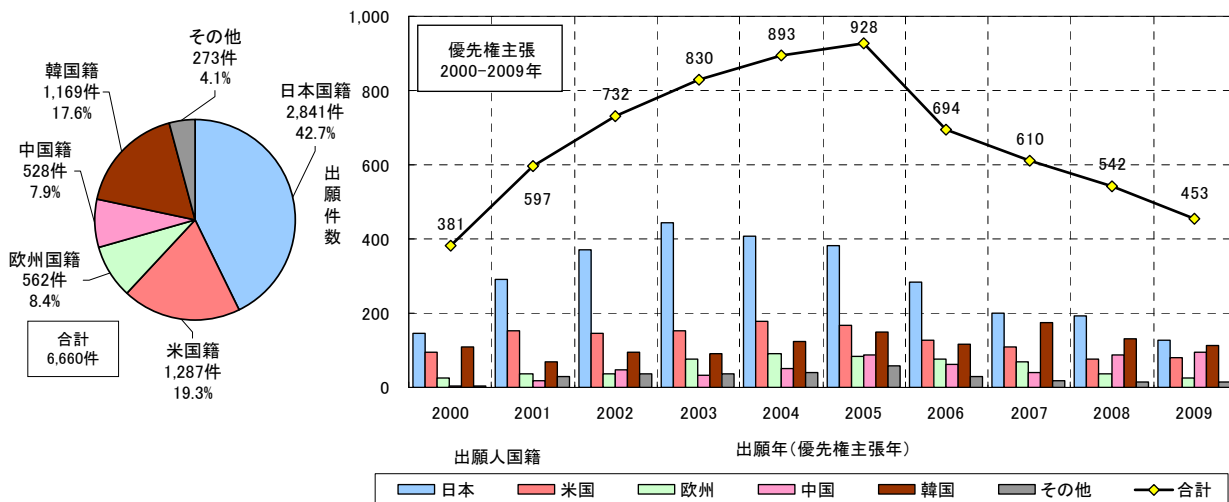


注) 検索条件：【注目研究開発テーマ B：炭素繊維の加工・成形技術】 × [小分類 4A：集合体・複合材]
 注) 2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

3. 【注目研究開発テーマC：ナノ炭素材料の種類別製造技術】

出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率を図-34に示した。全体の推移では、2005年まで漸増し928件をピークに漸減傾向を示している。各国の推移では、年により増減はあるものの日本は2003年にピークを、米国は2004年にピークを持ちその後漸減している。中国及び韓国は年による増減が大きいものの全体的には漸増傾向にある。

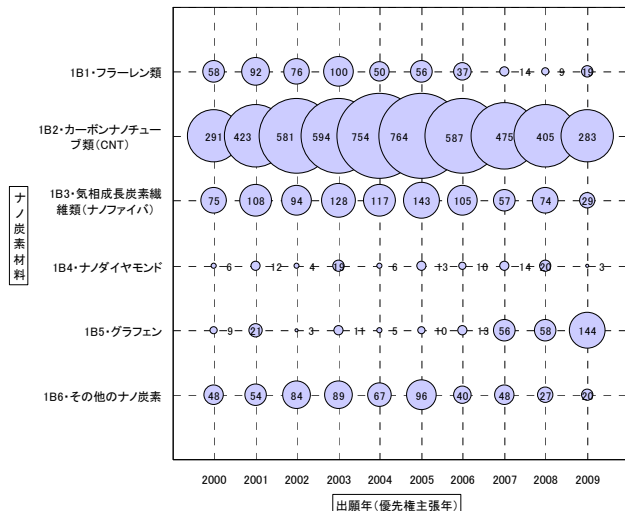
図-34 【注目研究開発テーマC：ナノ炭素材料の種類別製造技術】の出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）



注) 検索条件：【注目研究開発テーマC：ナノ炭素材料の種類別製造技術】＝[中分類 1B：ナノ炭素材料]×([中分類 3B：触媒の選定・調整]+[小分類 3C2：ナノ炭素材料の製造方法]+[中分類 3D：分離・精製])
 注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

[1B ナノ炭素材料]について出願件数推移を図-35に示した。[1B2 カーボンナノチューブ類 (CNT)]に関する出願件数が圧倒的に多かった。件数推移挙動は、2004年から2005年をピークにして減少している。[1B3 気相成長炭素繊維類 (ナノファイバ)]は2005年をピークに、[1B1 フラーレン類]は2003年をピークに漸減傾向である。これに対して[1B5 グラフェン]は、2006年以降に急増している。

図-35 【注目研究開発テーマC：ナノ炭素材料の種類別製造技術】の[1B：ナノ炭素材料]の出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）

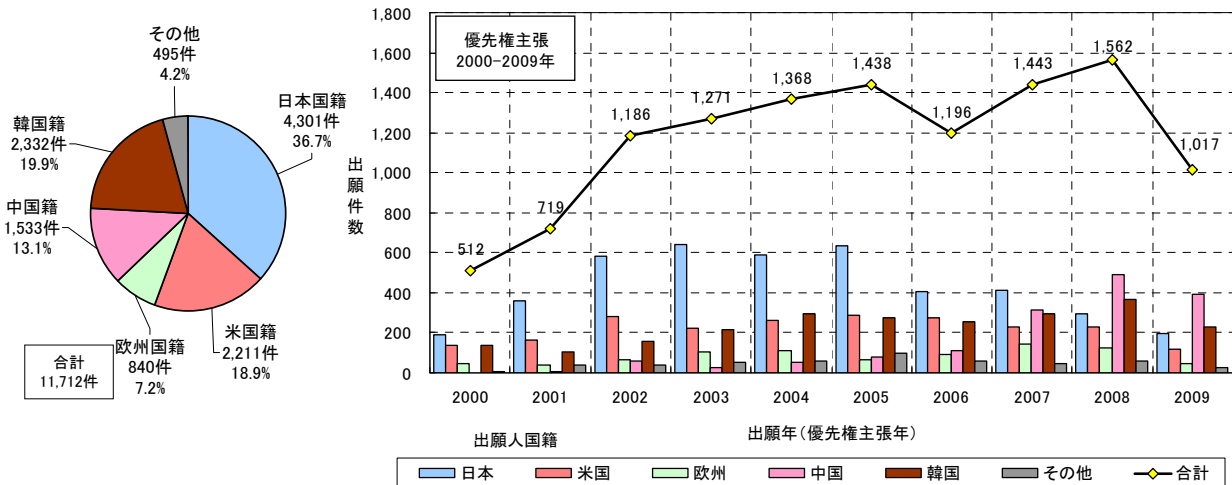


注) 検索条件：【注目研究開発テーマC：ナノ炭素材料の種類別製造技術】×[小分類 1B：ナノ炭素材料]
 注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

4. 【注目研究開発テーマD：ナノ炭素材料の種類別応用技術】

出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率を図-36に示した。全体の推移では、2006年に一時的な低下があるものの全体的には増加傾向を示している。各国の推移では、日本は年により増減はあるものの2003年にピーク後漸減傾向を示している。米国は、2002年以降ほぼ横ばいで推移している。韓国は年による増減が大きいものの増加傾向にある。中国は増加傾向にあり、特に近年急増している。

図-36 【注目研究開発テーマD：ナノ炭素材料の種類別応用技術】の出願人国籍別出願件数推移及び出願件数比率（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）

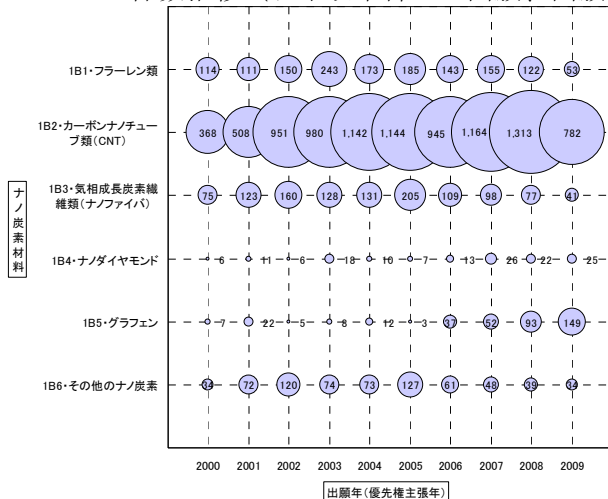


注) 検索条件：【注目研究開発テーマD：ナノ炭素材料の種類別応用技術】＝[中分類 1B:ナノ炭素材料]×[大分類 6:応用技術]

注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

[1B ナノ炭素材料]について出願件数推移を図-37に示した。[1B2 カーボンナノチューブ類 (CNT)]に関する出願件数が圧倒的に多かった。件数推移を見ると[1B2 カーボンナノチューブ類 (CNT)]は、2006年以外継続的に増加している。[1B1 フラーレン類]は2003年をピークに、[1B3 気相成長炭素繊維類 (ナノファイバ)]は2005年をピークに漸減傾向である。これに対して[1B5 グラフェン]は、2006年以降に出願件数が急増している。

図-37 【注目研究開発テーマD：ナノ炭素材料の種類別応用技術】の[1B：ナノ炭素材料]の出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年）

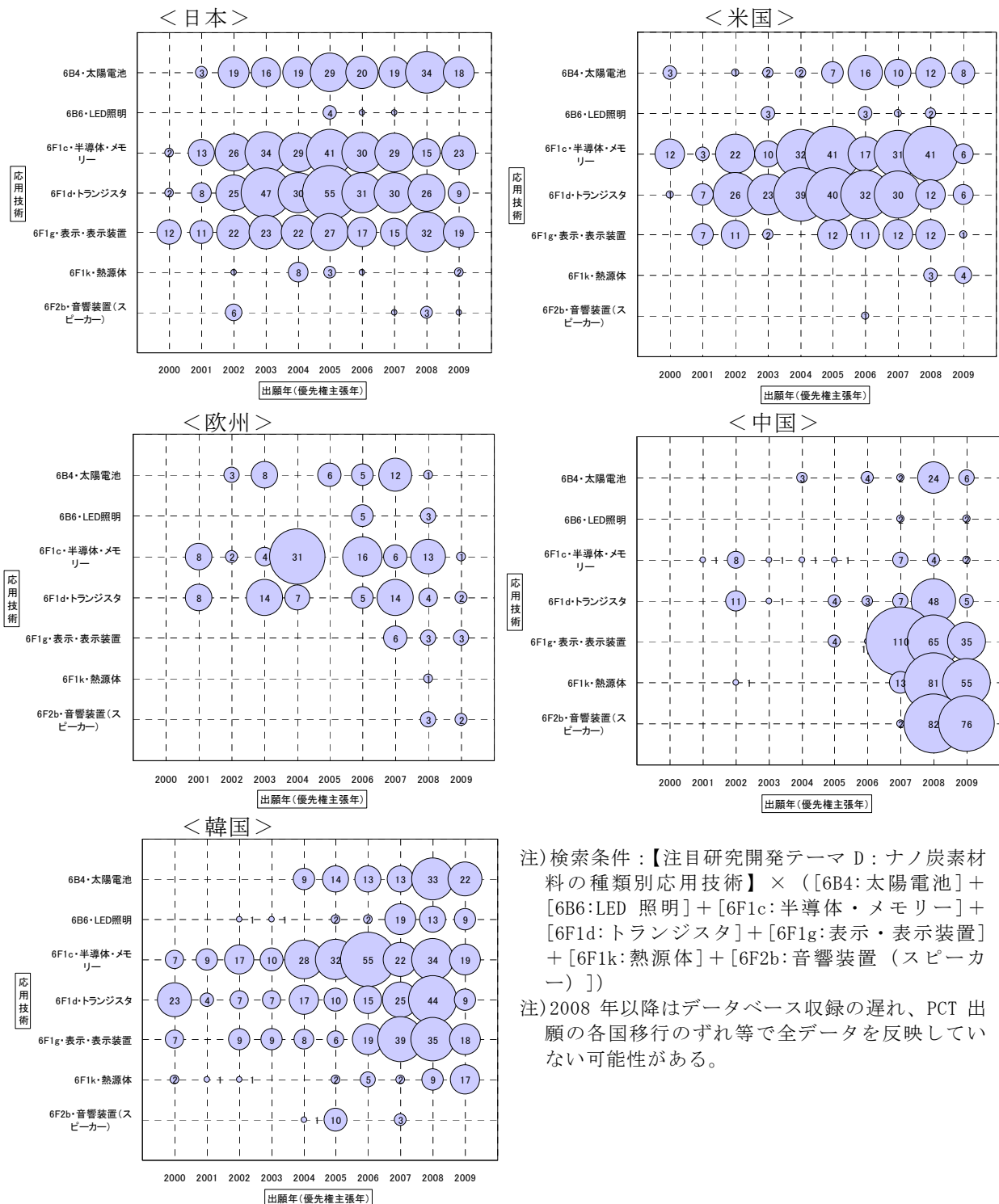


注) 検索条件：【注目研究開発テーマD：ナノ炭素材料の種類別応用技術】×[小分類 1B:ナノ炭素材料]

注) 2008年以降はデータベース収録の遅れ、PCT出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

図-38 には、最近、増加傾向にある特定の技術分野を抽出して出願人国籍別の出願件数推移を示した。日本は、[6B4 太陽電池]や[6F1g 表示・表示装置]で漸増傾向がある。米国は、[6F1c 半導体・メモリー]に注目が集まっている。欧州は[6B4 太陽電池]などに出願している。中国は他国に比べて出願件数が多く、[6F1g 表示・表示装置]、[6F1k 熱源体]、[6F2b 音響装置（スピーカー）]に近年集中して出願している。韓国は、[6B4 太陽電池]、[6F1g 表示・表示装置]、[6F1d トランジスタ]で出願が増加している。

図-38 [6：応用技術]の出願人国籍別の出願件数推移（日米欧中韓への出願、出願年（優先権主張年）：2000-2009年



注) 検索条件：【注目研究開発テーマ D：ナノ炭素材料の種類別応用技術】×（[6B4：太陽電池]+[6B6：LED 照明]+[6F1c：半導体・メモリー]+[6F1d：トランジスタ]+[6F1g：表示・表示装置]+[6F1k：熱源体]+[6F2b：音響装置（スピーカー）]）

注) 2008 年以降はデータベース収録の遅れ、PCT 出願の各国移行のずれ等で全データを反映していない可能性がある。

第3章 研究開発動向調査

第1節 概要

第2章での炭素材料及びその応用技術の特許動向調査に続いて、第3章ではその研究開発動向を、非特許文献（論文）を中心として解析するとともに、その結果を基に特許出願動向解析の補強を行う。なお、本テーマの「炭素材料及びその応用技術」で取り上げる炭素材料は、炭素繊維とナノ炭素材料である。検索数は15,855件であり、これらに対して特許文献と同様に、ノイズを除去し、ヒット文献については表-1の技術区分表による技術区分付与作業を行った結果、13,720件の解析対象論文を抽出した。論文の選定は要約に記載されている技術内容を判別し、特許の場合と同様の方法で分類した。

また、今回使用したJSTPlusでは日本の文献の収録比率が高いため、日本の論文件数が過大評価される傾向がある。これを排除するため主要国際誌を選択し、その対象論文4,911件についても併せて解析した。

第2節 論文の動向調査

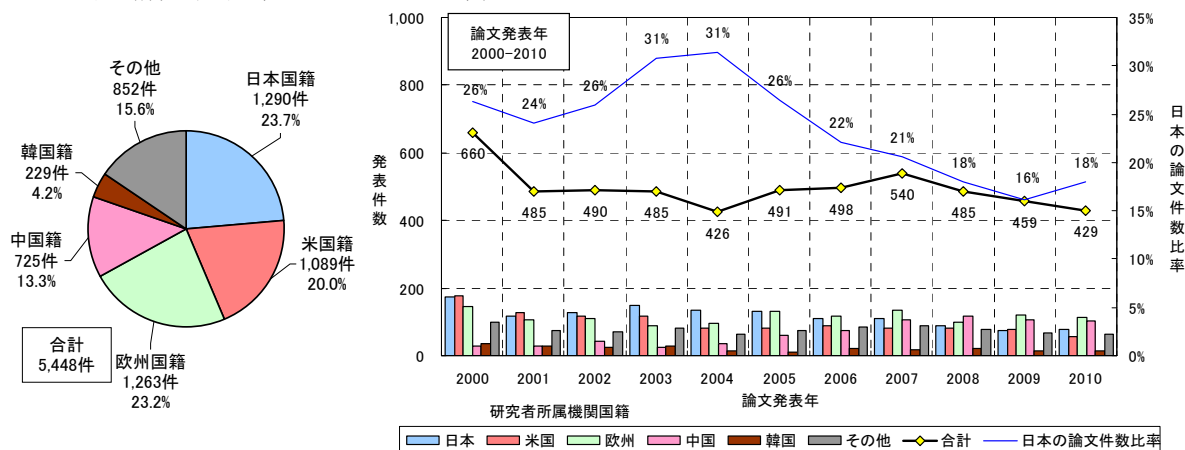
「炭素材料及びその応用技術」に関連した論文の動向調査を行った。特許の場合と同様に、「炭素材料及びその応用技術」関連の中で炭素繊維（技術区分表：中分類1A）とナノ炭素材料（技術区分表：中分類1B）とに分けて解析した。

1. 炭素材料及びその応用技術の炭素繊維に関する動向調査

(1) 炭素繊維の研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率

研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率を図-39に示した。全体の論文件数推移は、2001年以降、年による変動があるものの約400件～500件で推移している。日米欧の論文件数は漸減傾向を示しているが、中国は件数が増加している。主要国際誌の分析でも全体の推移は同じ挙動を示した。

図-39 全論文の炭素繊維に関する研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率（論文発表年：2000～2010年）

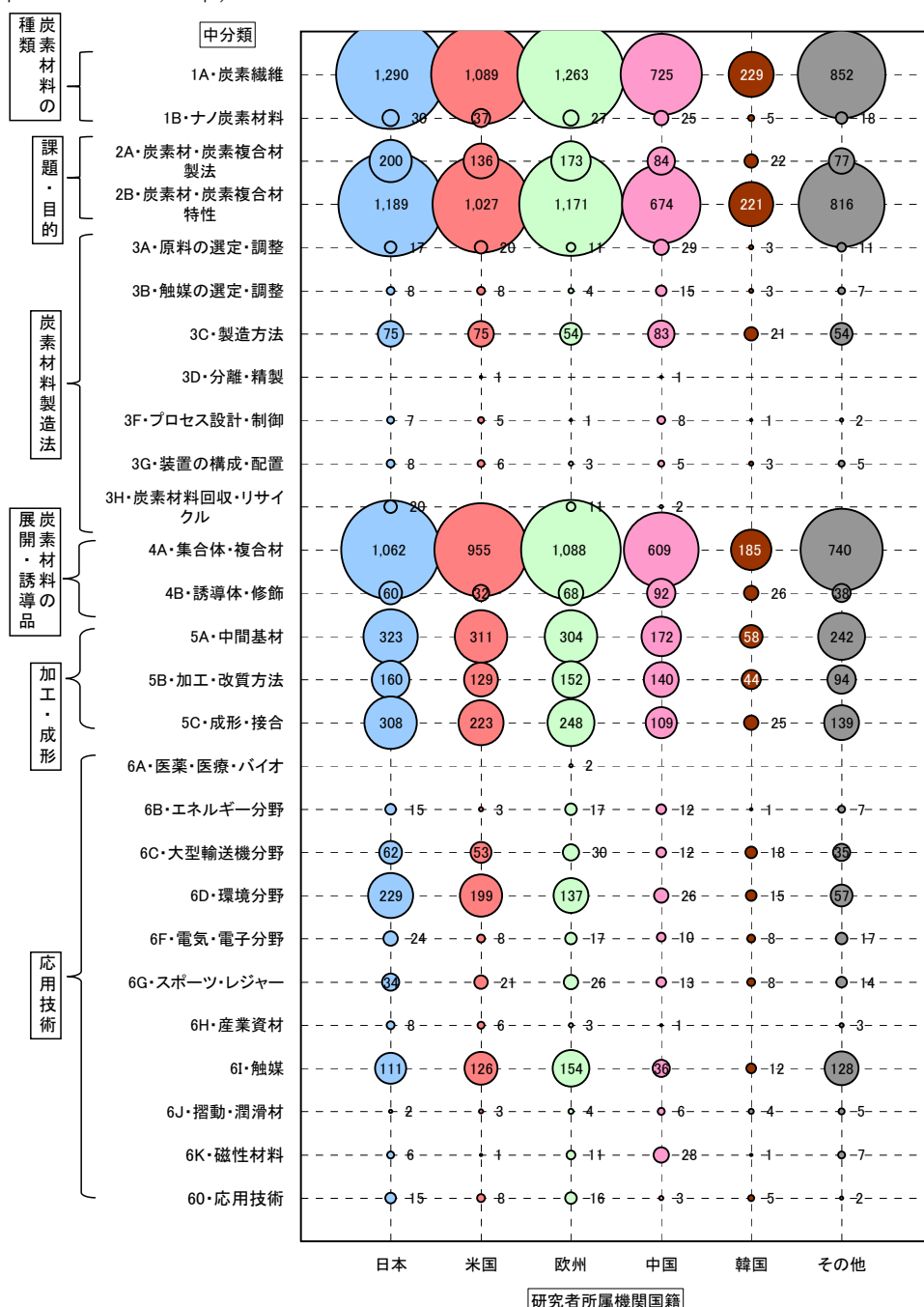


注) 検索条件：[中分類 1A：炭素繊維]

(2) 炭素繊維の中分類別論文発表件数

「炭素材料及びその応用技術」関連の中で炭素繊維の技術区分ごとに研究者所属機関国籍別の論文件数を解析した。全論文についての技術区分表の中分類別の研究者所属機関国籍別の論文件数を図-40 に示した。特許の場合と異なり、炭素材料製造法の付与件数が少なく炭素繊維の加工技術、成形技術に関する論文が多い。応用技術は、環境分野や触媒分野が多く特許の場合と異なっている。

図-40 全論文の炭素繊維に関する中分類別—研究者所属機関国籍別論文発表件数（論文発表年：2000—2010年）

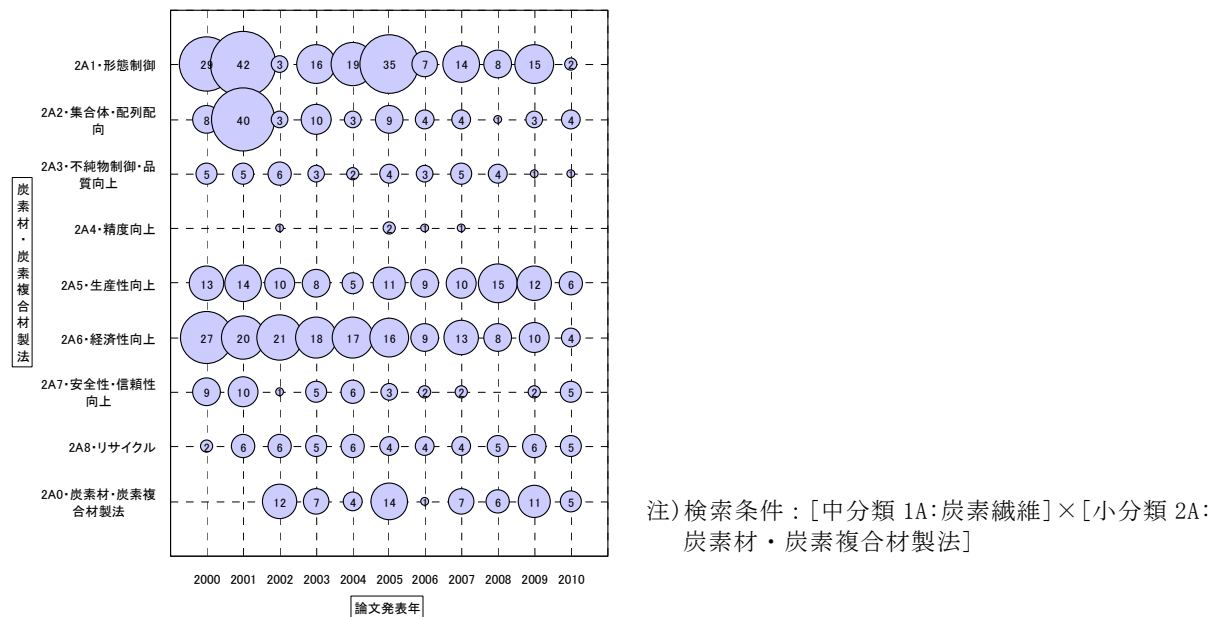


注) 検索条件：[中分類 1A：炭素繊維]

(3) 炭素繊維の小分類・詳細分類での論文件数動向

図-41には、炭素繊維に関する[中分類 2A 炭素材・炭素複合材製法]の小分類別の論文発表件数推移を示した。[2A1 形態制御]、[2A5 生産性向上]、[2A6 経済性向上]及び[2A0 炭素材・炭素複合材製法]など多岐にわたって課題・目的にした論文が多い。但し、集合体・配列配向や経済性向上は減少傾向が認められた。

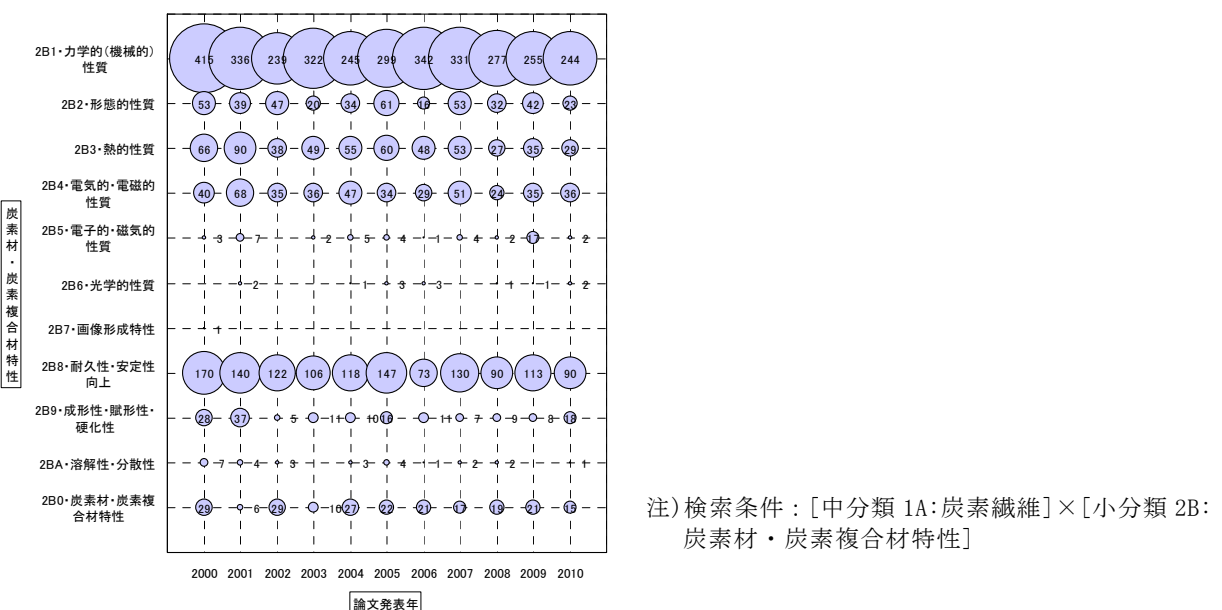
図-41 炭素繊維に関する課題・目的[2A:炭素材・炭素複合材製法]の小分類別論文発表件数推移 (論文発表年：2000-2010年)



注) 検索条件：[中分類 1A:炭素繊維] × [小分類 2A:炭素材・炭素複合材製法]

図-42には、炭素繊維に関する[2B 炭素材・炭素複合材特性]の小分類別の論文発表件数推移を示した。特許出願件数の場合(図-10)と同様、[2B1 力学的(機械的)性質]についての課題・目的にした論文件数が多い。

図-42 炭素繊維に関する課題・目的[2B:炭素材・炭素複合材特性]の小分類別論文発表件数推移 (論文発表年：2000-2010年)

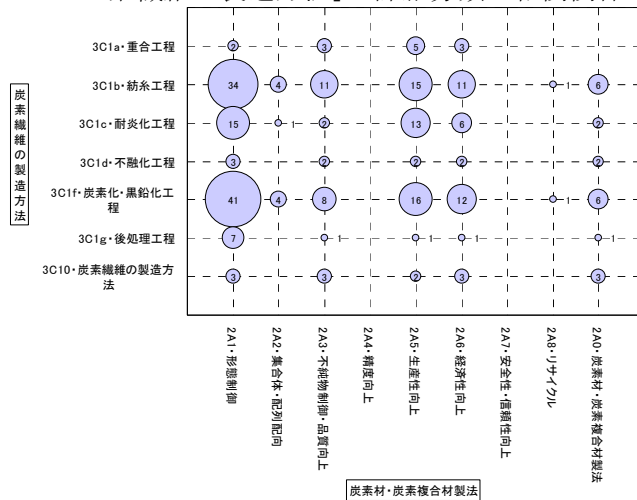


注) 検索条件：[中分類 1A:炭素繊維] × [小分類 2B:炭素材・炭素複合材特性]

(4) 炭素繊維の小分類・詳細分類の相関

図-43 には、炭素繊維に関する[2A 炭素材・炭素複合材製法]の小分類と[3C1 炭素繊維の製造法]の詳細分類の相関関係を示した。[2A1 形態制御]と[3C1f 炭素化・黒鉛化工程]や[3C1b 紡糸工程]との相関が最も強く、[2A5 生産性向上]及び[2A6 経済性向上]が続いた。

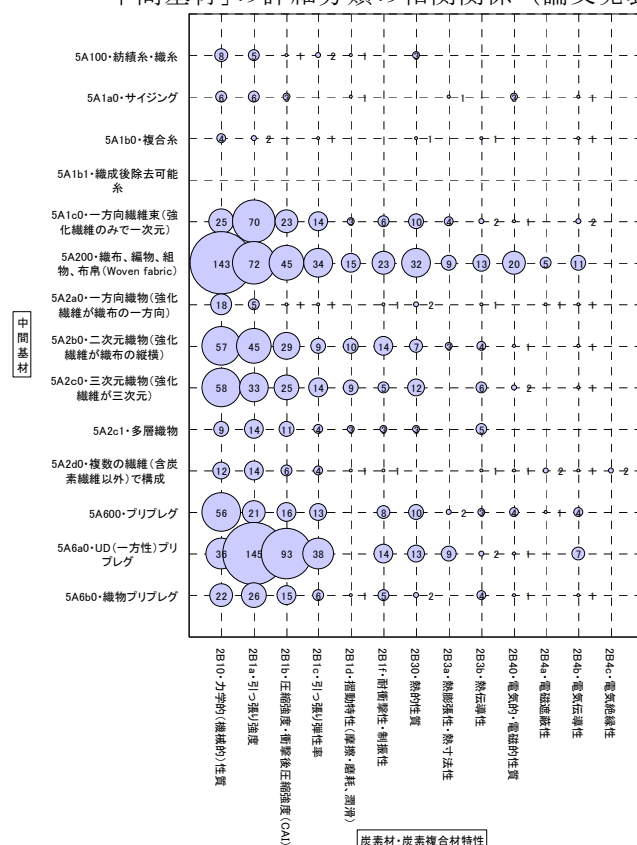
図-43 炭素繊維に関する課題・目的[2A:炭素材・炭素複合材製法]の小分類と製造方法[3C1:炭素繊維の製造方法]の詳細分類の相関関係 (論文発表年：2000-2010年)



注) 検索条件：[中分類 1A:炭素繊維]×[小分類 2A:炭素材・炭素複合材製法]×[詳細分類 3C1:炭素繊維の製造方法]

図-44 には、炭素繊維に関する[2B 炭素材・炭素複合材特性]と[5A 中間基材]の詳細分類同士の相関関係を示した。[2B1a 引っ張り強度]は[5A6a0 UD (一方性) プリプレグ]と最も強く相関した。また、[2B1b 圧縮強度・衝撃後圧縮強度 (CAI)]も[5A6a0 UD (一方性) プリプレグ]と強い相関を示した。

図-44 炭素繊維に関する課題・目的[2B:炭素材・炭素複合材特性]の詳細分類と加工・成形[5A:中間基材]の詳細分類の相関関係 (論文発表年：2000-2010年)



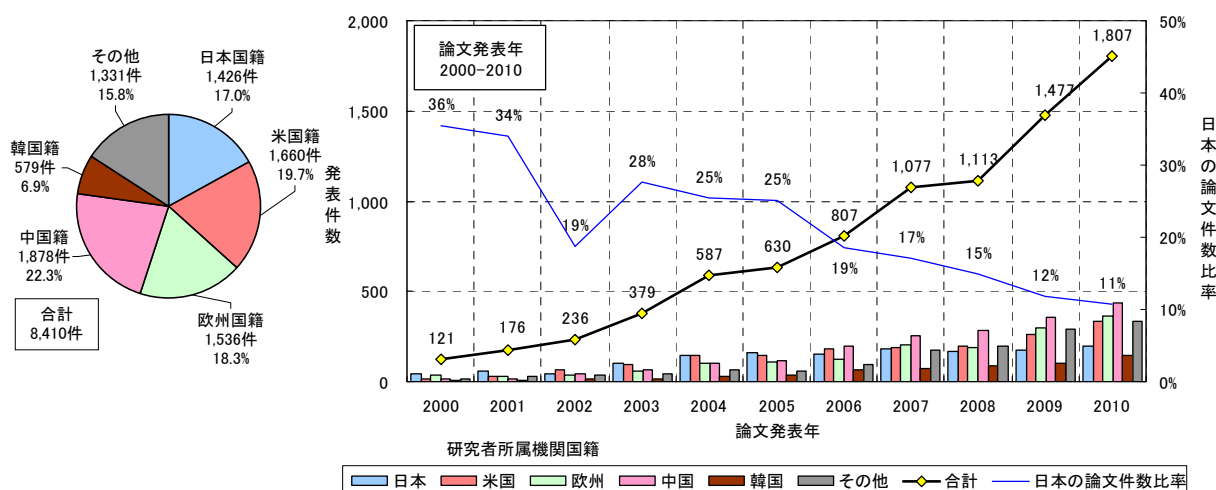
注) 検索条件：[中分類 1A:炭素繊維]×[詳細分類 2B:炭素材・炭素複合材特性]×[詳細分類 5A:中間基材]

2. 炭素材料及びその応用技術のナノ炭素材料に関する動向調査

(1) ナノ炭素材料の研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率

「炭素材料及びその応用技術」関連の中でナノ炭素材料（技術区分表：中分類 1B）について論文の発表件数解析を行った。研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率を図-45に示した。全体の論文件数推移は、2000年当初より継続的に増加している。日本からの発表件数は、2005年まではほぼトップを保持していたが、2006年以降、米国、欧州、中国の論文発表件数が上回った。特に中国からの発表件数の伸びが顕著である。国籍別の論文発表件数比率では、中国が22.3%でトップを占めた。なお、主要国際誌での研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率を分析したところ、日本の論文件数比率が全論文での分析結果と比較して小さかったが、件数比率の順位及び全体件数推移の傾向は全論文での分析結果と変化がなかった。

図-45 全論文のナノ炭素材料に関する研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率（論文発表年：2000-2010年）



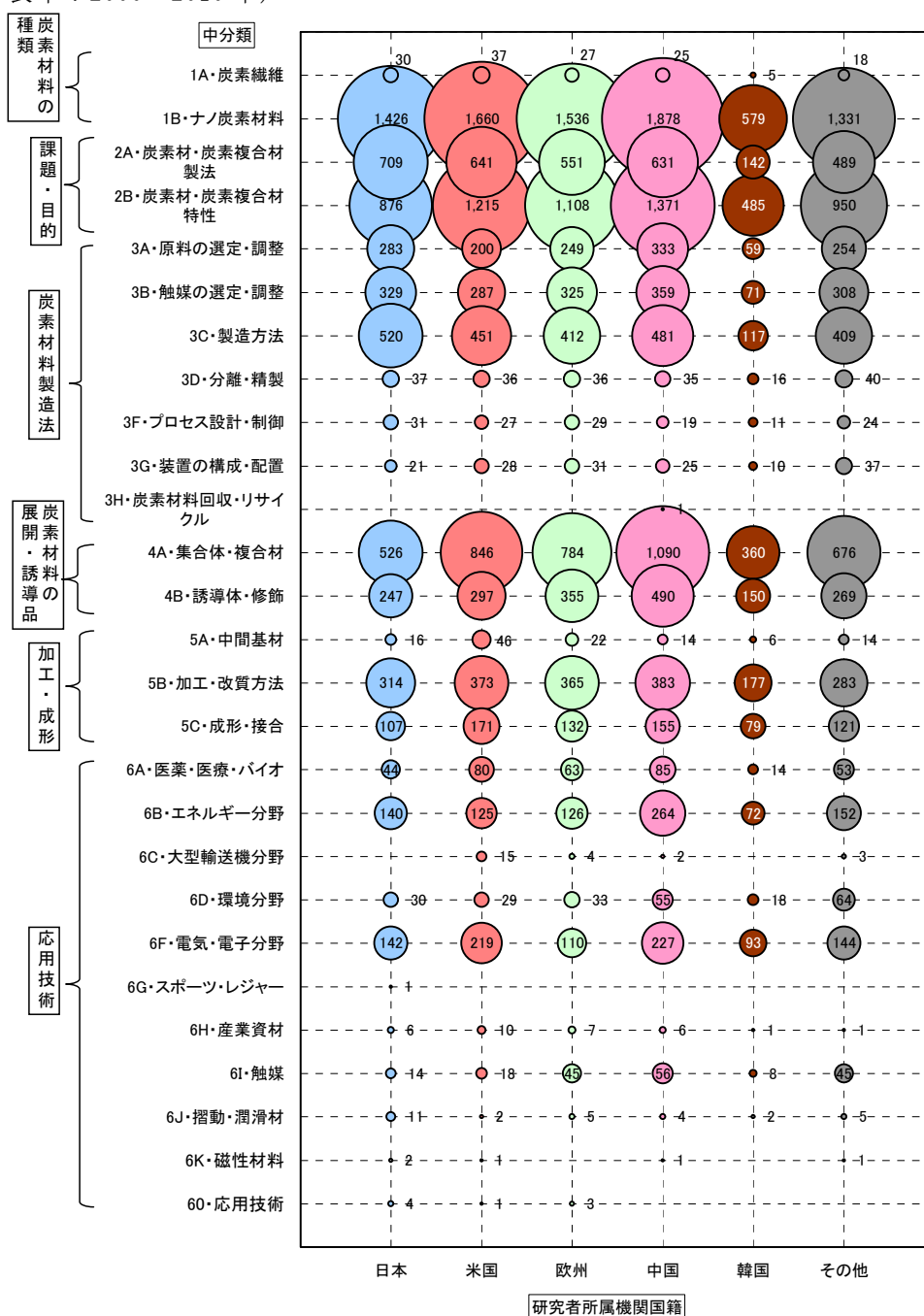
注) 検索条件：[中分類 1B：ナノ炭素材料]

(2) ナノ炭素材料の中分類別論文発表件数

全論文についての技術区分表の中分類別の研究者所属機関国籍別の論文件数を図-46 に示した。

[大分類 2 課題・目的]では、[2A 炭素材・炭素複合材製法]と[2B 炭素材・炭素複合材特性]を比較すると日本だけ[2B 炭素材・炭素複合材特性]/[2A 炭素材・炭素複合材製法]の比が 1.2 前後であるのに対して、日本以外の国では、比が 2.0 以上と[2B 炭素材・炭素複合材特性]に注力した論文が多いことを示している。

図-46 全論文のナノ炭素材料に関する中分類別—研究者所属機関国籍別論文発表件数（論文発表年：2000—2010 年）

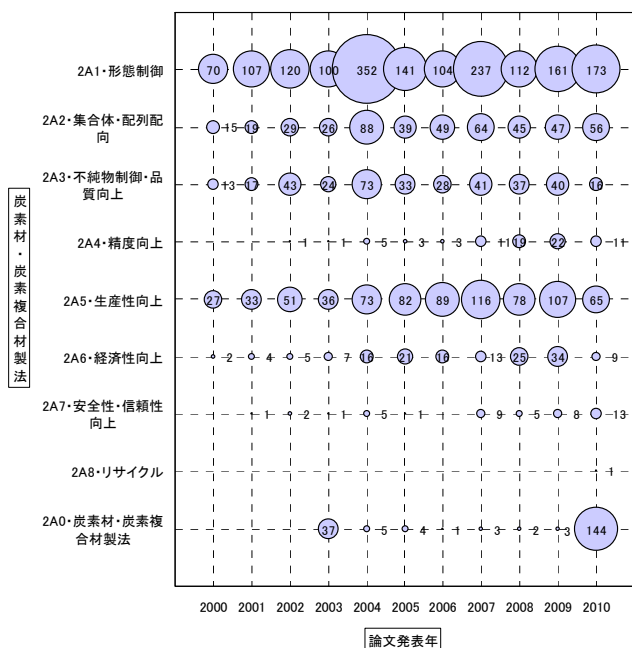


注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料]

(3) ナノ炭素材料の小分類・詳細分類での論文件数動向

図-47にはナノ炭素材料に関する課題・目的[2A炭素材・炭素複合材製法]の小分類別の論文発表件数推移を示した。[2A1形態制御]を目的とする論文が最も多く、次いで[2A5生産性向上]に関する論文が多かった。なお、[2A5生産性向上]に関する件数推移は、増加傾向にあり年々重要性が増していることを示唆している。

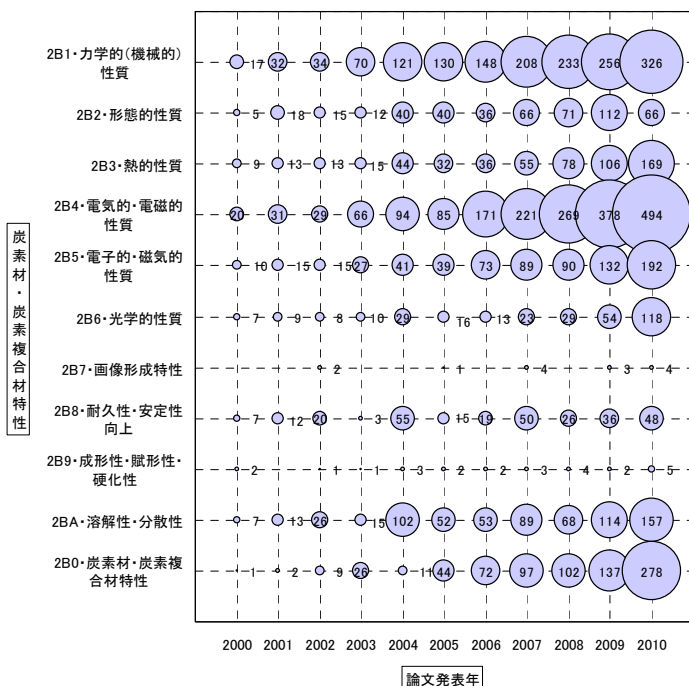
図-47 ナノ炭素材料に関する課題・目的[2A:炭素材・炭素複合材製法]の小分類別論文発表件数推移（論文発表年：2000-2010年）



注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [小分類 2A: 炭素材・炭素複合材製法]

ナノ炭素材料に関する課題・目的[2B炭素材・炭素複合材特性]の小分類別の論文発表件数推移を図-48に示した。[2B4電氣的・電磁的性質]を目的とする論文が最も多く、次いで[2B1力学的（機械的）性質]、[2B5電子的・磁氣的性質]に関する論文が続いている。

図-48 ナノ炭素材料に関する課題・目的[2B:炭素材・炭素複合材特性]の小分類別論文発表件数推移（論文発表年：2000-2010年）

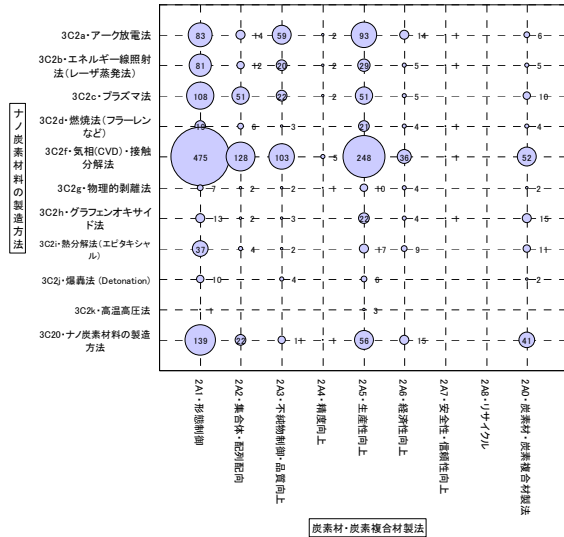


注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [小分類 2B: 炭素材・炭素複合材特性]

(4) ナノ炭素材料の小分類・詳細分類の相関

図-49 には、[2A 炭素材・炭素複合材製法]の小分類と[小分類 3C2 ナノ炭素材料の製造方法]の詳細分類との相関関係を示した。

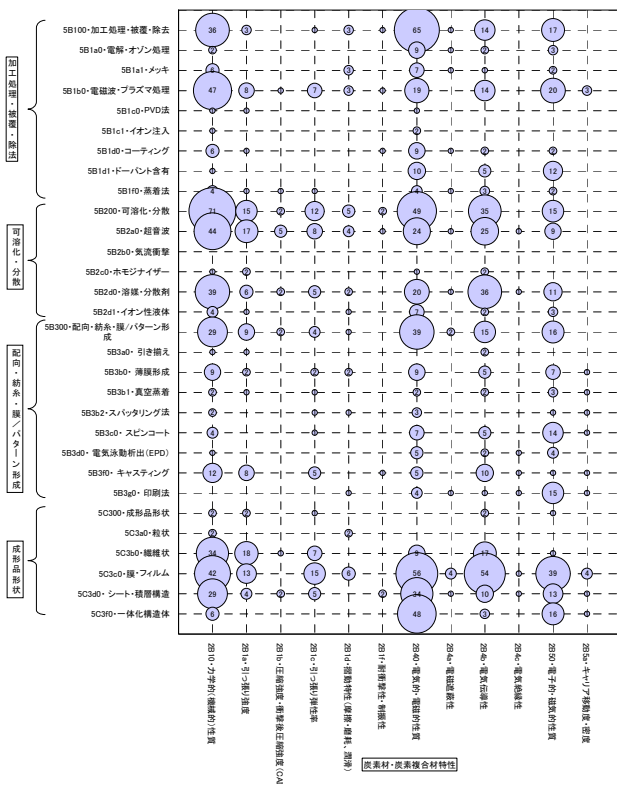
図-49 ナノ炭素材料に関する[2A：炭素材・炭素複合材製法]と[3C：ナノ炭素材料の製造方法]の相関関係（論文発表年：2000－2010年）



注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [小分類 2A: 炭素材・炭素複合材製法] × [詳細分類 3C2: ナノ炭素材料の製造方法]

図-50 には、[2B 炭素材・炭素複合材特性]と[5B 加工・改質方法]、[5C 成形・接合]との詳細分類ベース間での相関関係を示した。[2B40 電氣的・電磁的性質]及び[2B4b 電気伝導性]等が重要な特性因子であり、[5B100 加工処理・被覆・除去]、[5B200 可溶化・分散]、[5C3c0 膜・フィルム]などに強く相関している。

図-50 ナノ炭素材料に関する[2B：炭素材・炭素複合材特性]と[5B：加工・改質方法]、[5C：成形・接合]との相関関係（論文発表年：2000－2010年）



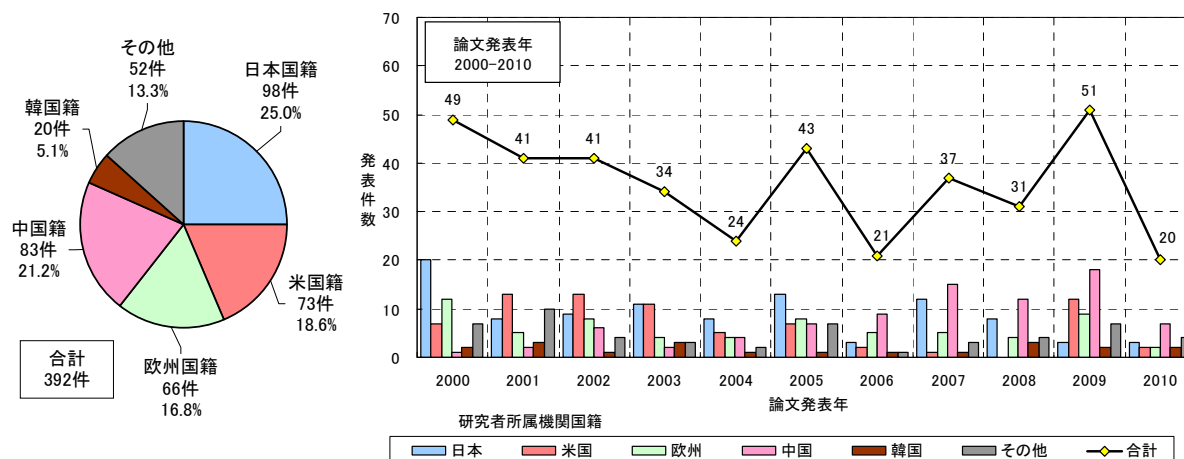
注) 検索条件：[中分類 1B: ナノ炭素材料] × [詳細分類 2B：炭素材・炭素複合材特性] × ([詳細分類 5B：加工・改質方法] + [詳細分類 5C：成形・接合])

第3節 注目研究開発テーマの動向調査

1. 【注目研究開発テーマ A：炭素繊維の原料展開、製造技術】

図-51 に論文発表件数推移と件数比率を示した。日本は、米国とともに 2007 年頃までは論文件数が定常的に 10 件前後であったが、近年低下している。

図-51 全論文の【注目研究開発テーマ A：炭素繊維の原料展開、製造技術】の研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率（論文発表年：2000-2010 年）

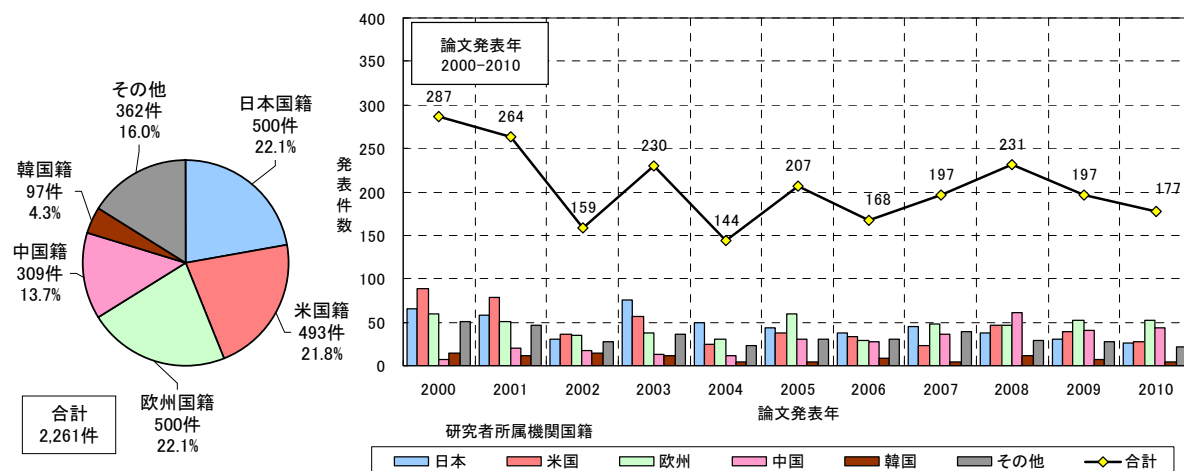


注) 検索条件：【注目研究開発テーマ A：炭素繊維の原料展開、製造技術】 = [中分類 1A：炭素繊維] × ([中分類 3A：原料の選定・調整] + [小分類 3C1：炭素繊維の製造方法] + [中分類 3F：プロセス設計・制御] + [中分類 3G：装置の構成・配置] + [中分類 3H：炭素材料回収・リサイクル])

2. 【注目研究開発テーマ B：炭素繊維の加工・成形技術】

論文発表件数推移と件数比率を図-52 に示した。全体件数の推移は、2002 年以降ほぼ横ばいで推移している。近年、中国からの件数増加が顕著になっている。

図-52 全論文の【注目研究開発テーマ B：炭素繊維の加工・成形技術】の研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率（論文発表年：2000-2010 年）

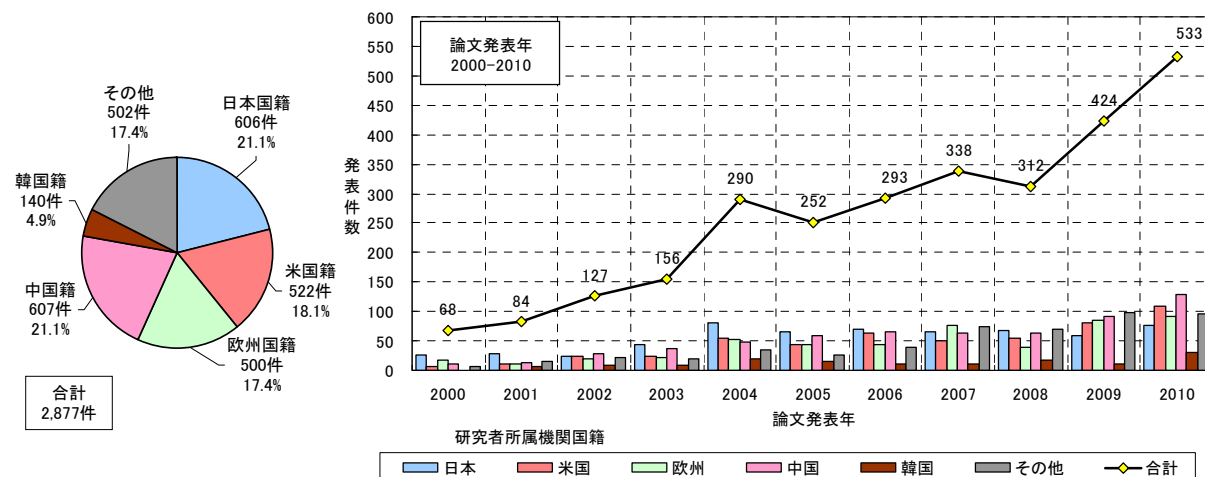


注) 検索条件：【注目研究開発テーマ B：炭素繊維の加工・成形技術】 = [中分類 1A：炭素繊維] × ([中分類 5A：中間基材] + [中分類 5B：加工・改質方法] + [中分類 5C：成形・接合 (5C3：成形品形状以外)])

3. 【注目研究開発テーマ C：ナノ炭素材料の種類別製造技術】

全論文の研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率を図-53 に示した。全体件数の推移は、年により増減があるものの継続的に増加している。近年、中国からの件数増加が顕著になっている。

図-53 全論文の【注目研究開発テーマ C：ナノ炭素材料の種類別製造技術】の研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率（論文発表年：2000-2010年）

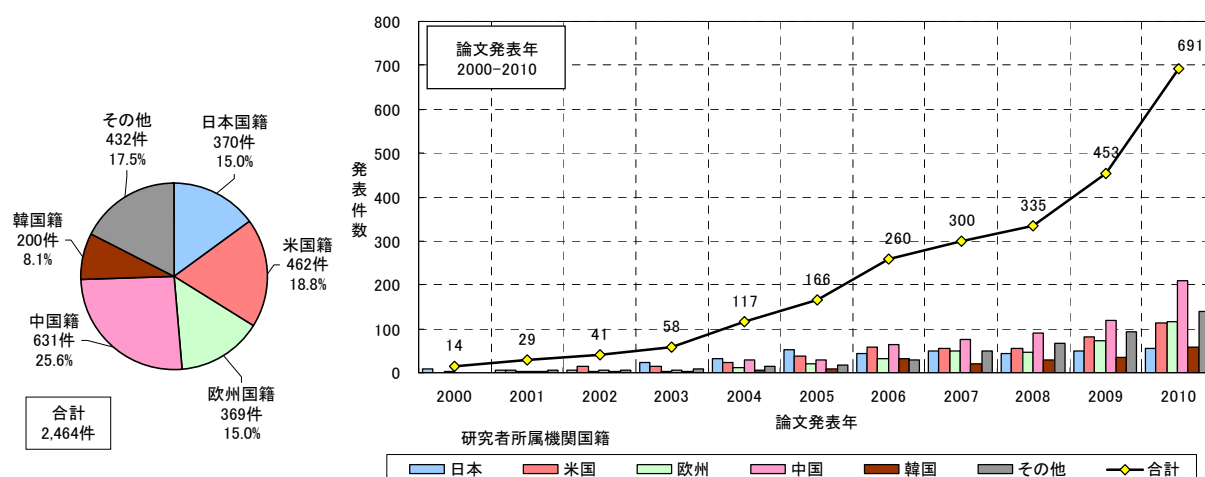


注) 検索条件：【注目研究開発テーマ C：ナノ炭素材料の種類別製造技術】＝[中分類 1B：ナノ炭素材料]×([中分類 3B：触媒の選定・調整]+[小分類 3C2：ナノ炭素材料の製造方法]+[中分類 3D：分離・精製])

4. 【注目研究開発テーマ D：ナノ炭素材料の種類別応用技術】

全論文の研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率を図-54 に示した。全体件数の推移は、継続的な増加傾向を示している。中国からの件数増加が顕著である。

図-54 全論文の【注目研究開発テーマ D：ナノ炭素材料の種類別応用技術】の研究者所属機関国籍別論文発表件数推移及び論文発表件数比率（論文発表年：2000-2010年）



注) 検索条件：【注目研究開発テーマ D：ナノ炭素材料の種類別応用技術】＝[中分類 1B：ナノ炭素材料]×[大分類 6：応用技術]

第4章 政策動向の概要

炭素材料及びその応用技術に関連する政策動向としては、科学技術政策・産業政策及び環境政策・安全政策がある。前者には、高度技術開発、標準化などがあり、後者に関しては、規制対象、環境・健康安全政策、電気的安全性、省エネルギー、リサイクルなどを挙げるることができる。これらを整理して表-2に示した。

表-2 炭素材料及びその応用技術に関連する政策動向

政策分野	対象	関連法令、条約、機構、プロジェクト等	政策、規制、取り組み等の内容	
科学技術・産業政策	技術戦略	経済産業省「技術戦略マップ2010」		
	主要プロジェクト	NEDO	サステナブルハイパーコンポジット技術の開発	2008～2012年度。炭素繊維複合材料の基盤技術を開発し、自動車の軽量化を目指す
			高出力多波長複合レーザ加工基盤技術開発プロジェクト	加工難易度が極めて高い炭素繊維強化複合材料の加工基盤技術を開発
			希少金属代替材料開発プロジェクト…研究開発項目⑩-2	2011年度。グラフェンによる透明電極の実用化に向け、基盤技術及び製造技術を開発
		経済産業省	炭素繊維複合材成形技術開発	2008～2013年度。幅広い輸送機械等における炭素繊維複合材の適用拡大を図る
			低炭素社会を実現する超軽量・高強度融合材料プロジェクト	2010～2014年度。ナノ材料(CNT)の円滑な開発・応用および安全・安心な利用を促進する
			エネルギー使用合理化技術開発等委託費「革新炭素繊維基盤技術開発」	2011～2015年度。炭素繊維の製造時のエネルギー・CO ₂ 排出量低減などを目指す
		科学技術振興機構	第二世代カーボンナノチューブ創製による不代替デバイス開発	2007～2012年度。これまでにない高機能の第二世代CNTの創製を目指す
	日本学術振興会	グリーン・ナノエレクトロニクスのコア技術開発	ナノカーボン材料を用いて、LSI利用のエレクトロニクス機器の消費電力を低減する	
	標準化	炭素繊維、炭素繊維強化プラスチック	JIS R7603 など	炭素繊維-密度の測定法など(対応ISO有り)
			JIS K7072 など	炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験方法など(対応ISO無し)
		ナノ粒子	ISO/TC229(電気・電子を除く製品) IEC/TC113(電気・電子製品)	それぞれの委員会でワーキンググループ(WG)を設け審議中。日本も積極的に関与
	環境・安全	環境規制	京都議定書(1997)	温室効果ガスの排出抑制
政策など	安全衛生	じん肺法(1960)		代表的なナノマテリアルとしては、フラーレン、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブなどがある。これらに関し、適切な対応策を講じる必要がある
		労働安全衛生法(1972)	粉じん障害防止規則	
		厚生労働省労働基準局長通知(2008)	ナノマテリアル製造・取扱い作業現場における当面のばく露防止のための予防的対応について	
		ナノ粒子安全性等評価	「ナノ粒子特性評価手法の研究開発プロジェクト」(NEDO、2006～2010年度)	
	輸出規制	輸出貿易管理令(1949)	炭素繊維およびそれを用いた製品など、リスト規制貨物に該当する場合あり	該当する場合は、輸出する際に経済産業省より輸出許可を取得する必要がある
	省エネ	省エネ法(1979)	趣旨に該当するプロジェクト例:「炭素繊維製造エネルギー低減技術の研究開発」(経済産業省、2005～2008年度)	炭素繊維製造エネルギー低減技術の研究開発、炭素繊維リサイクル技術の実証研究開発を行ない、炭素繊維複合材料の一層の普及にも繋げ、省エネ・省資源に資する
	リサイクル	循環型社会形成推進基本法(2000)	趣旨に該当するプロジェクト例:「自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発プロジェクト」	炭素繊維強化複合材料を用い、成形、リサイクルなどの技術を開発し、自動車部材への適用を目指す

第5章 市場環境調査

第1節 炭素繊維に関する市場調査

1. 炭素繊維の生産能力

世界のPAN系炭素繊維の主要メーカーとその生産能力を表-3に示した。表-4にはピッチ系炭素繊維の主要メーカーと生産能力を示した。炭素繊維としてPAN系炭素繊維の生産が圧倒的に多く、PAN系炭素繊維とピッチ系炭素繊維の総計から算出されるように炭素繊維全体の9割以上を占めている。

表-3 世界のPAN系炭素繊維の主要メーカーとその生産能力

PAN系炭素繊維	メーカー	2010年生産能力(t/年)	2012年予測生産能力(t/年)
レギュラートウ	東レ	7,000	8,000
	ソフィカー(フランス)	5,200	5,200
	CFA(米)	5,400	5,400
	東レグループ計	17,600	18,600
	東邦テナックス	6,400	6,400
	東邦テナックス(ドイツ)	5,100	5,100
	東邦テナックス(米)	2,400	2,400
	東邦グループ計	13,900	13,900
	三菱レイヨン	5,400	5,400
	グラフィル(米、欧)	2,000	2,000
	三菱グループ計	7,400	7,400
	ヘキセル(米)	4,200	7,200
	サイテック カーボンファイバ(米)	1,900	3,400
	フォモーサ プラスチック(台湾)	4,350	6,900
	中国メーカー	4,300	12,200
	ケムロック(インド)	200	200
AKSA(トルコ)	1,500	1,500	
レギュラートウ計		55,300	71,300
ラージトウ	三菱レイヨン		2,700
	ゾルテック(米)	10,500	11,500
	SGL カーボン(イギリス、ドイツ)	4,000	4,000
	東レ	300	300
ラージトウ計		14,800	18,500

出典：炭素繊維協会主催、第24回複合材料セミナー資料“PAN系炭素繊維の現状と将来”(東レ)

表-4 世界のピッチ系炭素繊維の主要メーカーとその生産能力(各社発表公称能力)

メーカー	原料	生産能力(t/年)	備考 ¹⁾
三菱樹脂	メソフェーズ	1,000	HP・連続繊維
日本グラファイトファイバ	メソフェーズ/等方性	180	HP・連続繊維
サイテック エンジニア マテリアル(米国)	メソフェーズ	230	HP・連続繊維
クレハ	等方性	1,450	GP・短繊維
大阪ガスケミカル	等方性	600	GP・短繊維
アンシャン シノカーブ カーボン ファイバ(中国)	等方性	200	GP・短繊維

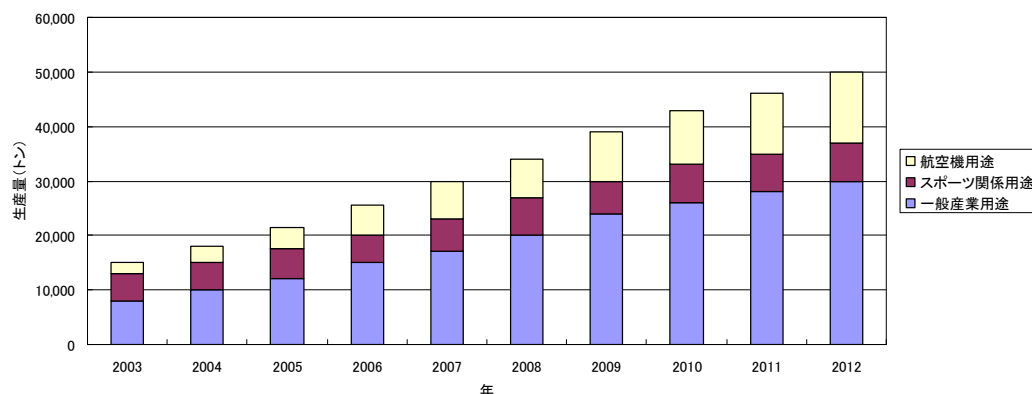
出典：炭素繊維協会主催、第24回複合材料セミナー資料“ピッチ系炭素繊維の現状と将来(三菱樹脂)

1) HP; 高機能炭素繊維、GP; 汎用炭素繊維

2. 炭素繊維の市場

炭素繊維の用途別需要量とその予測を図-55に示した。2009年における炭素繊維の需要は、約3.9万トンであった。航空機用途が23%、スポーツ関係用途が15%、一般産業用途が62%の内訳であった。航空機用途は微増、スポーツ関係用途はほぼ横ばいに対して、一般産業用途が大きく増加するものと予想されている。

図-55 炭素繊維の用途別需要量とその予測



出典：炭素繊維協会主催、第23回複合材セミナー資料、2010年、三菱レイヨン
注)2009年以降予測値

第2節 ナノ炭素材料に関する市場調査

1. ナノ炭素材料の生産能力

ナノ炭素材料は、情報通信、環境・エネルギー、バイオテクノロジーなどの重要な産業技術分野を支える基盤技術として基礎から用途開発まで幅広く研究が進められている段階で、サンプルワークのためのベンチ規模、パイロット規模などの様々な生産形態が採られている。したがって、工業的規模での正確な全体の生産能力の把握は不可能である。表-5には、ナノ炭素材料の主要メーカーと公表されている生産能力及びその製法を示した。表に記載されている以外にもベンチャー企業を含め数多くのメーカーが参入している。

表-5 ナノ炭素材料の代表的メーカーと製法・生産能力（一部抜粋）

ナノ炭素材料の種類	メーカー	製法等	公称生産能力(トン/年)
フラーレン	フロンティアカーボン	燃焼法	300
MWCNT	宇部興産	2011年11月販売開始	20
	昭和電工	150nmカーボンナノファイバ、10-15nmMWCNT、炭素含有率99%以上	400
	バイエル マテリアル サイエンス(ドイツ)	「Baytubes」の商品名で発売、SWCNTも販売、99%以上純度	260
	シーナノ テクノロジー(米国)	中国に生産拠点、市場平均価格の1/2~1/3で販売。丸紅情報システムズと用途共同開発、\$100/kg、純度95%	500
	ハイペリオン キャタリシス インターナショナル(米国)	1984年、物質特許のほか、製法、応用特許を取得。CNT単体ではなくマスターバッチ、コンパウンドとして販売	40
	JFE エンジニアリング	アーク放電法	
	ナノグラファイト マテリアル(米国)	60-80nm MWCNT、日本ではGSIクレオスが供給元、カーボンナノファイバも販売	
	ナノシル(ベルギー)	SWCNTも販売、研究用途	40
サン ナノテック(中国)	SWCNTも販売、基盤CVD法、純度80%品と90%品の両方販売、通常品80%以上、高純度品90%以上		

ナノ炭素材料の種類	メーカー	製法等	公称生産能力(トン/年)
	ユニダ임(米国)	CNT ベンチャー、High Pressure Carbon Monoxide(HiPco)プロセス、SWCNT も販売	10
SWCNT	名城ナノカーボン	名城大ベンチャー	2
	日本ゼオン	産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター(スーパーグロース CNT チーム)と共同、炭素含有量 99%以上	
	バッキーUSA(米国)	MWCNT 販売	
	カーボンナノテクノロジー(米国)	HiPco プロセス、MWCNT も販売、純度 95%以上	
	チープチューブ(米国)	DWCNT、MWCNT も販売、グラフェン販売	
	チェンジャー有機化学(中国)	Chinese Acad.Inst.Chemistry の技術を採用	
	ナノシーエス(米国)	MWCNT 販売	
	ナノリサーチ(カナダ)	旧名 SES Research、フラーレンも販売	
	シンセン ナノテク ポート(中国)	DWCNT、MWCNT も販売、純度 90%	
	サウスウエスト ナノテクノロジー(米国)	CVD 法、粒径制御、プリント用インク等用途	
	トーマス スワン(イギリス)	MWCNT 販売、インキュベーション事業として取扱い	(6kg/月)
グラフェン	ミードウエストボコ(米国)	プリント基板、セキュリティ印刷に应用を推進中	
	XG サイエンス(米国)	独自技術(マイクロ波加熱)	(10kg/日)
ナノダイヤモンド	ナノ炭素研究所	強力電子照射法	
	アドバンスド ダイヤモンド テクノロジー(米国)	ナノ結晶ダイヤモンド膜	

2. ナノ炭素材料の市場

表-6 には、カーボンナノチューブ、ナノファイバの世界的市場規模を示した。カーボンナノチューブ、ナノファイバの世界市場は数年前まで、急拡大して 2010 年には 500 億円超にも 1,000 億円超にもなるものとみられていた。しかし、実際の 2009 年の世界市場規模は 100 億円前後(490 トン前後)であった。この要因としては、一部用途を除き、応用開発がほとんど進んでいないことや 2008 年秋からの世界的不況の影響などが挙げられる。

表-6 カーボンナノチューブ、ナノファイバの世界的市場規模

種類	2009 年	2020 年予測	伸び率
カーボンナノファイバ	70 億円(290 トン)	2,782 億円	39.7 倍
カーボンナノチューブ	36 億円(200 トン)	360 億円	10.0 倍

出典：富士キメラ総研、プレスリリース第 10029 号、2010 年 3 月 29 日

第6章 総合分析

第1節 日本の技術競争力と産業競争力

1. 炭素繊維

日本は炭素繊維の製造技術については圧倒的な技術力を保持している。炭素繊維あるいは炭素繊維複合材の特性改良の分野でも、高い技術力を保持しているが炭素繊維の製造技術ほどの力強さはないといえる。産業面では、日本は長期の技術蓄積により航空機の構造部材などで性能の信頼を勝ち取りデファクト・スタンダードとなっている。

炭素繊維の技術開発に関する世界の全特許出願において、日本の特許出願件数シェアは49.1%と半数近くを占めており、日本の技術競争力は極めて高い(図-2)。特に、炭素繊維自体の製造に関する特許は、66%の出願件数比率を示し、日本は圧倒的なシェアを占めている(図-30)。

一方、論文の場合は、製法に関する論文件数自体が極端に少なく、大半は炭素材や複合材の性能向上を目的とした発表である(図-40)。炭素繊維自体の製法に関する件数は、日本がトップのシェアである(図-51)。しかし、最近、中国の発表の増加が認められる。

日本は大半の炭素繊維の生産を国内で実施しており、この中から得られるノウハウ的知見を含めた技術の蓄積により、特許の件数差に表れる以上の有利な立場にあると思われる。なぜならば、炭素繊維の製造難易度は高く、炭素繊維のモノマーの重合方法や重合溶媒は各社により異なり、これらの製造方法は、完全にブラックボックス化しているといわれているからである。すなわち、炭素繊維製造に新規参入する企業にとって、同等レベルの品質を提供できるまでには、多大な時間と投資が必要とされると思われる。

これに対して、炭素繊維あるいは複合材の特性改良での特許出願は日本が半数近くを占めているものの製法ほどのシェアではない。例えば、炭素繊維を用いた加工・成形技術に限っても、日本が約48%と半数近くを占め、依然有利な立場ではあるが炭素繊維自体の製造ほどの寡占性はないと言える(図-32)。論文の場合の炭素繊維を用いた加工・成形技術の発表件数比率は日米欧の横並びの状況にある。最近では中国の躍進が目覚ましい状況にあり今後の動向を注目する必要がある(図-52)。

産業面に着目すると、炭素繊維は、PAN系炭素繊維及びピッチ系炭素繊維があり、需要の90%はPAN系炭素繊維が占めている。日本企業がPAN系炭素繊維の世界市場の7割強を、ピッチ系炭素繊維では9割を占めており、炭素繊維の製造においてはほぼ寡占状態である(表-3及び表-4)。

また、特記すべきは、いずれも日本で生まれた材料であることである。1959年大阪工業試験所の進藤博士によってPAN系炭素繊維が発明された。ピッチ系繊維も1970年に呉羽化学工業(株)が世界で初めて工業化した。市場参入した1970年代は高価格のゆえもあり、ゴルフクラブのシャフトなどスポーツ中心に細々と用途が開拓され始め、旅客機の二次構造材などで性能の信頼性を獲得していった。デュポンを始め多くの欧米メーカーも一時参入していたが、期待した程の市場が形成されず撤退、縮小していった。その中で日本企業は、事業を継

続発展させた。航空機用途には、品質の均一性と再現性が極めて重要な要素であり、高度な生産技術を要求される。炭素繊維向けの原料糸を敏感なプロセスに合わせて最適化することで、日本企業は、航空機の構造部材でデファクト・スタンダードとなった。ユーザーから性能の信頼という無形の価値を獲得していったのは、技術関係者の地道な技術努力の積み重ねによる。

近年は、航空機の需要に加えて風力発電ブレードなど一般産業分野の大幅需要増加が見込まれており、飛躍的拡大期に突入しようとしている（図-55）。サプライチェーンを押さえている日本企業が、今後もこの分野の主役でいることは間違いないものと思われる。

2. ナノ炭素材料

ナノ炭素材料の技術開発において、日本の技術力は、2004年前後に他の国を圧倒していた（図-5）。最近では、技術開発のアクティビティが低下してきているが、ナノ炭素材料の製法に関する技術領域においては依然存在感を示している（図-34）。ナノ炭素材料の応用開発研究についても、出願件数比率ではトップであるが、論文件数比率では、中国、米国に水をあけられている（図-36 及び図-54）。中国の特許件数、論文件数が急増しており、特に実用研究に重点化していると思われる。

ナノ炭素材料の技術開発において、日本の特許出願件数シェアは 35.3%とトップである（図-5）。しかし、出願件数推移を見ると、2003年から2004年にかけて、日本は他の国と比べて圧倒的な出願件数であったが、最近は一時的な勢いがなくなり米国と同様に漸減傾向にある。代わって中国、韓国の躍進が顕著である（図-5）。

技術区分別の出願状況も、ナノ炭素材料あるいは複合材の製法に関する特許出願件数は、約 38%のシェアを持ち日本がトップである。特に、ナノ炭素材料自体の製造に関する特許は、約 43%の出願件数比率を示し、調査期間を通して常にトップを維持しており日本は他の国に対して大きな存在感を示している（図-34）。ナノ炭素材料自体の製法に関する論文発表件数比率も、中国に追い上げられているものの、中国と並んで日本がトップシェアを維持している（図-53）。日本は、アルコール CVD 法やスーパーグロース法など世界に誇れるナノ炭素材料の製造技術を提案しており、今後の開発進捗が期待される。

これに対して、ナノ炭素材料あるいは複合材の特性改良を目的にした特許出願も約 36%のトップシェアであるが、2005年をピークに出願件数の漸減傾向が見られる。それに代わって中国、韓国からの件数増加が顕著である。ナノ炭素材料の応用開発研究に関する出願でも、件数シェアでは約 37%と日本がトップであるが、その件数推移を分析すると 2003年～2005年をピークに低下してきており、この分野での研究開発アクティビティが低下していることを示唆している（図-36）。ナノ炭素材料の応用開発研究に関する論文発表件数も、件数比率は中国、米国、欧州に次いで 4位と低調であった（図-54）。特に中国は、この分野での件数の伸びが大きく研究投資を重点化していることをうかがわせる。論文が特許を先取りしていると考えれば、日本は中国、米国等に応用技術の面で先行されつつある状況にあると思われる。

産業面に着目すると、ナノ炭素材料の特異な構造、特性を利用した用途開発が精力的にお

こなわれており、ナノ炭素材料関連技術及びその用途開発については、成長段階の初期のステージにある。日本ではカーボンナノファイバがLiイオン電池の電極材用の導電添加材として唯一比較的大きな市場を形成している。しかしながら、ナノ炭素材料の全体的な市場は未だ小さく、高機能樹脂、塗料、電池分野などの用途で可能性を模索している段階であり、世界需要は490トン/年程度と見られている（表-6）。したがって、ナノ炭素材料の分野では産業競争力を分析する段階に達していないのが現状である。

第2節 日本の技術競争力と産業競争力への課題

1. 炭素繊維

日本が今後も国際的な優位性を保つためには、今までの生産技術力を活かした高品質な炭素繊維生産による差別化だけでなく、一般産業（コモディティ）分野に適用し得る競争力のある量産化技術や製造コストの低減化を目指した生産技術の革新が優先度の高い課題であると思われる。

日本企業による地道な炭素繊維の応用分野への開発努力により、炭素繊維・複合材料は鉄、アルミニウムに次ぐ、第3の構造材料として認知されようとしている。

今後も主要用途の一つである航空機の製造が躍進するものと見込まれ、産業機械、土木建築などの産業分野にも炭素繊維の用途が拡大してきている。さらに、地球温暖化と化石燃料枯渇の課題から、安全性、軽量化の両立が求められている次世代一般自動車材料などへの本格的採用が進めば、その規模は一気に巨大化すると予想される。例えば、自動車車体材料市場だけでも2兆円規模といわれている。従って今後は、それぞれの用途に対応した製造システムの多様化が重要になってくると思われる。すなわち、高品質の炭素繊維生産による差別化だけではなく、一般産業分野での競争力確保のために材料設計、製造、生産技術に対して柔軟な対応が必要である。一般産業分野の大幅需要増加が見込まれる中で、欧米の既存の炭素繊維メーカーによる炭素繊維製造プラントの増産発表やトルコや中国の新興国などからのプラントの立ち上げなど新しい動きが見られる。特許出願動向の分析においても、生産性向上や経済性向上を目的とした出願が増加しており、しかも、近年中国からの出願が顕著である（図-9及び図-11）。これまで生産側で絶対的優位性を保ってきた日本の炭素繊維メーカーにとって一つの脅威である。他の素材と比較すると1kg当たり鉄が100円、アルミニウムが500円～600円に対して、炭素繊維は2,000円程度と依然高価である。

PAN系炭素繊維においてはプリカーサ自体のコストに加えて、生産自体に使うエネルギーが他の素材に比べて大きく生産時のエネルギー削減が一つの課題である。

また、生産性に目を向けると現在生産されているPAN系炭素繊維は、1ラインの生産量が約0.2万トンという制約があり、焼成技術の抜本的な技術革新が必要である。コモディティ分野の供給に応えるためには、例えば、年間20万台規模の量産車生産のためにCFRPを現在よりも1～2桁高速に成形加工する大幅な生産性向上が不可欠である。量産性等の観点から熱可塑性樹脂複合材料(CFRTP)の期待が大きく、日本を含め各国で熱可塑性樹脂を用いたCFRTP成形技術の開発研究が精力的に実施されている。熱可塑性プリプレグは、高靱性、リサイクル性、量産性の特長を有するが、熱硬化性プリプレグと比較してプリプレグとしての取扱い

性、加工性が極めて悪いという問題を抱えておりこのような課題をいかに解決するかがポイントとなる。レジインジェクション法などの新たな成形法が提案されている。

今後、大量需要が見込まれる中で、自動化技術、ロボット技術との連携が必要で新たな成形加工技術で速やかに市場の反応を把握し、ニーズに適合した技術を構築することが重要である。同様に、現状は埋立て廃棄されている CFRP から高価な炭素繊維を回収し、再利用する技術の構築も今後重要になってくると思われる。将来も日本が、高いシェアを維持していくためには、リサイクルまでを含めた炭素繊維・複合材料のサプライチェーン全体での技術的優位性を今後も確保していく必要がある。炭素繊維の上市以来 40 年間、技術を改良し発展させてきた実績があり、技術的に先行している日本が最も成功の可能性が高いポジションにいると思われる。

2. ナノ炭素材料

ナノ炭素材料の応用開発に関しての技術開発の中心は、中国、韓国に移行しつつある状況にあり、特許出願動向からみて現在のところ電気・電子分野やエネルギー分野が期待されているナノ炭素材料の主な用途である。応用分野での用途が開けると、世界で存在感を示しているナノ炭素材料の製造技術分野での日本の優位性を十分に発揮することができると思われるため、今後は応用開発での成果を出すことが最優先の課題と考えられる。そのため、電気・電子分野やエネルギー分野の中でも特定分野に集中するなど、戦略的な研究開発と知的財産構築の取組が必要となるであろう。

ナノ炭素材料はナノテクノロジーの中核として期待されている材料であり、その中でカーボンナノチューブは当時 NEC 研究所にいた飯島博士が発見したものである。カーボンナノチューブは発見されてほぼ 20 年を経過しているが電気・電子的機能や熱的機能を重視した機能材料としての用途開発研究への意欲は世界中で依然として旺盛である。例えば、ナノ炭素材料として代表的なカーボンナノチューブは、比重はアルミニウムの半分、機械強度は鉄の約 20 倍、高電流密度耐性は銅の 1,000 倍以上、熱伝導性は銅の 5 倍以上という優れた特徴を持ち、直径とカイラリティであらわされる様々な構造のカーボンナノチューブのなかには、半導体となるものから導電体となるものまであり、特性の多様性を有している。その特異な構造、特性を利用した用途開発が精力的におこなわれているが、関連技術及びその用途開発についてはまだ成長の初期段階にあるとみることができる。今後は、カーボンナノチューブのもつ機能を製品設計・開発につなげることがポイントになる。

現在のナノ炭素材料の市場は未だ小さく、高機能樹脂、塗料、電池分野などの限られた用途で 490 トン程度の規模である（表-6）。

ナノ炭素材料の応用分野は、電気・電子分野やエネルギー分野が中心である（図-17）。しかし、これらの分野の中でも、注目される対象機器は年々変化してきている。例えば、日本は 2005 年前後まで電子放出素子関係の装置に集中して特許出願を行ってきた（図-25）。しかし、近年は電子放出素子を用いた装置等から太陽電池、半導体・メモリーやトランジスタ等と他の分野に特許出願件数がシフトしてきている。日本は電気・電子分野全般においては、以前に比べて出願件数が減少しているが、太陽電池や表示・表示装置等の特定分野では日本の出願件数が漸増傾向にある（図-38）。この様に、開発分野を重点化、集中して用途開発を

推進する戦略的な取組が必要であると思われる。ナノ炭素材料の応用分野での展望が開ければ、製造技術の競争になる。日本は、ナノ炭素材料の製造技術分野では、世界で存在感を示していると思われる。ナノ炭素材料自体の製造に関する特許は、日本は、約 43% の出願件数比率で全期間を通してトップである（図-34）。論文も中国の発表件数が伸びているが、中国と並んでトップを確保している（図-53）。

日本は、数百トン規模でのカーボンナノファイバやフラーレンの工業生産を実施している（表-5）。製造に関する生産技術の特許出願件数も他国を圧倒している（図-24）。カーボンナノチューブについてもアルコール CVD 法やスーパーグロース法など世界に誇れる製造技術を提案している。特に、スーパーグロース法や加圧流動床プロセスによるナノ炭素材料の構造制御、量産技術は世界のトップレベルにあるといわれている¹⁾。実用化が進行すると、日本が先行しているナノ炭素材料のサプライチェーン側の優位性が発揮できると思われる。

その際に、生産技術の面では量産化してどの程度の価格低減化が可能であるかが重要になってくる。

現状のナノ炭素材料は、既存の炭素材料と比較して数分の一の使用量で同様の機能するケースはあってもナノ炭素材料特有の機能を発現した例は極めて少ないのが実状である。すなわち、炭素繊維の場合と同様に代替品、競合製品が存在することを意味している。実用化の観点からするとナノ炭素材料は高価格が難点であり、現在 SWCNT で 1,000 万円/kg 程度、比較的合成が容易な MWCNT でも 2~3 万円/kg のオーダーである。既存の高価格カーボン製品（3,000 円/kg 程度）との差、所謂コスト/性能比（C/P 比）の開きが依然大きく、競合品と代替可能な価格領域まで低下させる生産技術の革新が必要である。

1) NEDO 「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト」事後評価報告書、p8、平成 18 年 9 月

第3節 日本の目指すべき方向性（提言）

これまでの特許出願動向調査、研究開発動向調査、政策動向調査、市場環境調査の分析結果を総合して、「炭素材料及びその応用技術」における今後の日本が目指すべき技術開発の方向性について炭素繊維とナノ炭素材料に分けて提案する。

1. 炭素繊維

炭素繊維全般の技術開発力について日本の特徴をまとめると、炭素繊維の生産技術は、日本は圧倒的な強さを維持しており、特許出願件数もほぼ半数を占め、しかも定常的にほぼ一定数出願している（図-2）。日本の技術的優位性は当面揺るがないものの、市場拡大の予測から中国、韓国からの特に製造技術関係の特許出願が増加してきておりその動向を注視する必要がある（図-30 及び図-32）。

提言 1：

炭素繊維材料は、当初は形態制御等品質面の改良が大きな課題であった。今後は、優先度の高い課題として炭素繊維材料の製品製造のコスト低減や生産性向上にシフトしてきており、技術的ブレイクスルーが望まれる。

炭素繊維の製法に関して、当初は形態制御など構造や形状を改良する出願が多かったが、最近では生産性向上や経済性を向上することを課題・目的とする出願が増加してきている（図-9）。論文の分析では、形態制御の件数が最も多いが、生産性や経済性向上を目的とした件数が多い（図-41）。市場において、従来の高機能、高品質が要求されたスポーツ分野、航空機用途に加えて一般産業分野への需要拡大が予想されている。一般産業分野向けの需要に対応した製品開発が必要である。具体的には、技術的ブレイクスルーのために、「提言 1-1」と「提言 1-2」を提言する。

提言 1-1：

炭素繊維の製造技術の重要プロセスである耐炎化工程、炭素化・黒鉛化工程に、量産化及び低コスト化に対応するための革新的技術の開発が望まれる。

生産性向上や経済性向上は、炭素繊維の製造方法の中で耐炎化工程と炭素化・黒鉛化工程と強く関連している。しかも、生産性や経済性それぞれに関係する耐炎化工程と炭素化・黒鉛化工程の出願件数は、ほぼ横ばいで推移しており依然課題が残されていることを示している（図-12）。また、生産性や経済性それぞれに関係する製造装置の技術項目の中で、特に生産性向上に関して耐炎化炉・炭素化炉・反応装置の出願件数が多く、ほぼ横ばいで推移しており大きな課題があることを示している。特に、現在の耐炎化工程は、自動車用途などの大量需要に対応するには適切な工程ではなく、これに変わる技術が望まれている。

論文の分析では、生産性向上や経済性向上は形態制御よりも関連は弱い、紡糸工程、耐炎化工程や炭素化・黒鉛化工程と関連している（図-43）。

提言 1-2 :

炭素繊維を用いた複合材、例えば CFRP や CFRTP の生産性向上のために、それらの調製方法に革新的技術の開発が望まれる。

炭素繊維を用いた複合材料製造にも生産性とコストダウンが求められている。現在の CFRP は、熱硬化性樹脂の硬化時間の問題から生産性に課題を残している。今後、一般産業分野からの多量の需要に答えるためには、現在よりも 1~2 桁高速に成形加工する大幅な生産性向上が不可欠である。CFRP では、超高速硬化型樹脂や高速樹脂含浸技術の開発が検討されている。国内プロジェクトとして自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発プロジェクトなどがある。一方で、成形時間の短縮が可能な熱可塑性樹脂を用いた CFRTP の研究開発が国内外で検討されている。高速成形技術として樹脂注入成形 (RTM) が普及しつつある。CFRTP の場合は、炭素繊維と熱可塑性樹脂の接着性の問題が課題の一つである。日本は、炭素繊維の製造を通して長年培ってきた表面処理技術を有しており技術開発において有利な立場にあると思われる。

炭素材料の展開・誘導品の中で CFRP と CFRTP に関する出願が多かった。生産性向上に関して CFRP と CFRTP の件数もほぼ横ばいで推移しており、生産性向上に対して依然未解決の課題を抱えていることを示している (図-14)。特許でも RTM の出願が見られる。

提言 2 :

今後、市場拡大が期待される新興国において、中核技術に関する適切な権利取得、権利保護などを積極的に行うことが望まれる。

一般産業分野への炭素繊維の需要拡大に伴い、今後高い伸び率が期待される中国や韓国からの特許出願が増加してきている (図-2)。また、炭素材・炭素複合材の製法と特性に区分した特許件数比率を見ると中国、韓国は、日本のそれとほぼ同一である (図-8)。日本と同様な出願パターンを示しており、将来日本と技術開発面で競合する可能性を持っている。

提言 1 で述べたように、今後、生産性、経済性向上が最重要課題であるという前提に立てば、日本国籍出願人は、生産性向上や経済性向上に関する技術の権利取得や保護を海外においても重要視すべきと考えられる。

例えば、炭素繊維に対する全体の出願に対して生産性向上に関わる出願件数比率は、日本国籍出願人が日本に出願している約 21% に対して、中国や韓国への出願では約 10% と半分程度の状況である (図-13)。つまり、日本国籍出願人は、出願件数比率からみると中国、韓国に対して特許出願の余地が残されていると見ることができる。一方で、技術内容によっては開示せずにノウハウとして技術を秘匿した方が良いケースもありうる。今後、新興国において、中核技術の権利取得や保護の観点から戦略的な特許出願を行うことが一層重要になると思われる。

提言 3 :

製造コストや環境負荷の低減に資する未来技術として、植物由来原料等を用いた炭素繊維製造の可能性を長期的視野に立って探索することが望まれる。

炭素繊維は、製造方法から類推できるように原料の原単位が高く、製造費の中で占める原料費が高いという本質的な問題を抱えている。

安価な原料を採用することによる炭素繊維の製造コスト低減化のために原料の多様化を考慮する必要がある。LCA などの観点から植物由来原料が炭素繊維材料として最も期待される材料の一つである。植物由来原料に係る特許が増加傾向にあることや植物由来原料を用いた炭素繊維の製造に対しての出願件数が増加している（図-31）。最近、特に中国及び韓国の出願が急増している。日本は、過去にリグニン原料による工業生産の実績があり、生産技術に対して多大な蓄積を持っており有利な立場である。なお、論文においては、炭素繊維の製造の発表件数自体が非常に少なく、明確な傾向は不明であった。

提言 4 :

炭素繊維材料は、使用用途に応じた中間基材や成形方法等の研究を進めることによる一層の性能向上を目指した開発が望まれる。

炭素繊維・炭素繊維複合材料の特性向上において力学的（機械的）性質の向上を課題・目的とする出願件数が最も多く、継続してほぼ横ばいで推移しており技術改良の余地を残していることを示している（図-10）。力学的性能向上の対象として、CFRP と CFRTP に集中している（図-15）。CFRP や CFRTP の前駆体である中間基材の中では、織布、織物、組物、布帛やプリプレグの性能向上が重要である（図-16）。同様に、力学的（機械的）性質の向上の対象として成形方法が重要である。成形方法の中で、プレス、積層加圧、射出及びレジニージェクション（RIM）等の技術改良が必要であることを示している。

論文の分析結果でも力学的性能向上を目的とする発表件数が最も多い（図-42）。また、炭素繊維・炭素繊維複合材料の特性と加工・成形の相関においても特許と同様に、力学的性能向上の対象として中間基材や成形方法の技術開発が重要であるという結果が得られた。

提言 4-1 :

炭素繊維材料の性能向上には、炭素繊維の性状、樹脂の選定、成形・加工を含めた横断的な取組が望まれる。

炭素繊維材料の性能は、炭素繊維の性状、樹脂の選定、成形・加工法等の各要素技術を集積した成形品としての評価が重要になると思われる。炭素繊維メーカー、プリプレガー等の中間基材メーカー、成形加工メーカーそしてユーザーと多くのメーカーの多様な工程を経て成形品として利用される。用途目的に応じて要求性能を満足させるために、全体を俯瞰した横断的な取組みが重要である。そのような観点からプロジェクト体制で技術開発を遂行することが効率的であり、「革新炭素繊維基盤技術開発」をはじめとして国内外で多くのプロジェクトが進行している（表-2）。

2. ナノ炭素材料

ナノ炭素材料全般の技術開発力について日本の特徴をまとめると、ナノ炭素材料は、全体として出願件数が継続して増加している。日本の件数は、調査期間で約35%とトップを維持したが、欧米と同様に近年アクティビティが低下してきている（図-5）。

代わって技術開発の中心が中国、韓国に移行しつつある状況にある。ナノ炭素材料自体の製法に関しては、中国、韓国の増加があるものの日本は依然トップの出願件数比率である（図-34）。応用技術に関する出願では、件数比率ではトップシェアを保持したが、最近では中国、韓国の出願が急増している（図-36）。論文の分析では、全体としての製法及び材料特性の向上に関する論文は、共に増加している。日本は製法に関しては、中国と並んでトップを維持した（図-53）。しかし、応用技術に関する論文発表件数比率では、中国、米国に次いで欧州と並んで3位と低調であった（図-55）。日本の件数推移は漸増傾向であるが、それ以上に中国の伸長が大きいことが影響している。

提言 1:

ナノ炭素材料の用途開発の中心は電気・電子分野であるが、その中の注目対象機器は年とともに変遷している。電気・電子分野以外でも出願件数が増加している分野があり、今後も新たな機能を見いだして応用に結び付ける研究が望まれる。

ナノ炭素材料の用途開発対象はいずれの国も電気・電子分野が中心であり、次いでエネルギー分野である（図-17）。両分野とも継続的に出願件数が増加してきている（図-19 及び図-20）。しかし、電気・電子分野の中で出願件数が減少傾向にある機器もあり、一方で急増している特定機器がある（図-25）。同様に、エネルギー分野の中で出願件数が増加している機器がある。論文の場合も、いずれの国でも電気・電子分野、エネルギー分野及び医薬・バイオ分野を中心に発表されている（図-46）。特に、特許出願傾向とは異なり医薬・バイオ分野の論文件数は急増している（図-18）。また、ナノ炭素材料の新たな機能を利用した材料として触媒利用の研究が特許や論文で増加する兆候が見られている。グラフェンの様に新しい材料も見出されており、応用技術に向けた研究開発が活発化している（図-37）。

機能発現や改良を主とした基礎研究と実用研究を一層連携することが必要である。

提言 1-1:

ナノ炭素材料の用途開発の中心は、電気・電子分野やエネルギー分野である。世界で存在感を示しているナノ炭素材料の製造技術分野での日本の優位性を十分に発揮するため、今後は応用開発での成果を出すことが最優先の課題である。そのため、電気・電子分野やエネルギー分野の中でも特定分野に集中するなど、戦略的な研究開発と知的財産構築の取組が望まれる。

ナノ炭素材料の応用分野は、電気・電子分野やエネルギー分野が中心である（図-17）。中国は、電気・電子分野の中で表示・表示装置、熱源体や音響装置などの特定分野で急激に出願件数を伸ばしている。米国や韓国においても注目分野が、電子放出素子を用いた装置等から半導体・メモリー等他分野にシフトしてきている。

日本は電気・電子分野全般において以前に比べて出願件数が減少している（図-25）。論文における分析でも、電気・電子分野、エネルギー分野は共に発表件数が増加している中で欧米中に比べて日本の件数の伸び率が低い結果であった。

しかし、太陽電池や表示・表示装置では日本の出願件数が漸増傾向にあり、開発分野を重点化して用途開発を推進しているとも考えられる（図-38）。このような応用開発分野での戦略的な研究開発と知的財産構築の取組によって、世界で存在感を示しているナノ炭素材料の製造技術分野での日本の優位性が十分に発揮される。

提言 1-2：

ナノ炭素材料の特性向上対象として電気伝導性、電子的・磁氣的性質、力学的性質の向上が重要である。それらの向上のためには、加工処理・被覆・除去技術、可溶化・分散技術及び配向・膜・パターン形成技術などの処理技術がキーテクノロジーである。新しい処理技術を開発し、新たな応用分野に結び付けることが望まれる。

ナノ炭素材料の特性向上に対する特許出願の課題・目的は、電氣的・電磁的性質や電子的・磁氣的性質及び力学的性質に関する項目が多く、しかも増加傾向にある（図-22）。論文でもこれらの特性に注目したものが多い（図-48）。電気伝導性や電子的・磁氣的性質及び力学的性質と加工・成形の相関関係を分析すると、加工処理・被覆・除去技術、可溶化・分散技術及び配向・膜・パターン形成技術の改良が重要である（図-28）。特に、加工処理・被覆・除去技術においてはコーティングの改良が重要であり、可溶化・分散技術においては溶媒・分散剤の開発が重要である（図-29）。新たな処理技術を開発することにより、医薬・バイオや触媒などの様々な応用分野での実用化が加速されることが期待できる。

提言 2：

ナノ炭素材料は、当初は形態制御、不純物制御が重要な課題であったが、ナノ炭素材料の量産性向上、経済性向上に課題が移行しつつある。今後も特に、実用的特性を有するナノ炭素材料の量産化技術の構築を優先的な課題にすることが望まれる。

ナノ炭素材料に関する特許出願件数推移において、当初は形態制御、集合体・配列配向が重要な課題解決の項目であったが、最近では生産性向上を目的とする技術開発の優先度が上がってきている（図-21）。また、論文の件数推移においては、形態制御を目的とする件数が最も多いが、量産化を目指した論文が増加傾向にある（図-47）。市場調査の結果では、中国などで、Li イオン電池向け用途を中心にカーボンナノチューブを大幅に増産しようとする動きがある。

提言 2-1：

ナノ炭素材料の量産化技術の改良は、主に気相・接触分解製造法に対して行われている。触媒改良、供給方法での課題解決を引き続き重視した開発が望まれる。

生産性向上の対象として、製造方法の中で気相・接触分解製造法に圧倒的に集中している（図-27）。また、炭素材製造法の中で触媒の特定、供給方法が重要であり、特に、金属触媒

の開発を今後も継続して改良していく必要がある（図-26）。論文の分析結果では、形態制御が重要な項目であるが、生産性向上に対して触媒の特定が最も重要であり、特許の結果と一致している（図-49）。

提言 2-2 :

量産化向上の解決法として、反応装置、特に気相・接触分解製造装置等のハード面の改良が重要である。熱収支、物質収支を考慮した化学工学的研究の一層の強化が望まれる。

生産性向上は、炭素材製造法の中で触媒の特定、供給方法以外に装置関係とも強い相関が認められる。装置に関しても製造方法の中で気相・接触分解製造法の出願が最も多い。生産性向上の対象として、原料、触媒、製造方法、装置関係の出願件数推移を分析すると、装置関係以外、2004年前後をピークに漸減傾向が認められるのに対して、装置関係だけが漸増ないしは横ばいで推移している（図-23）。論文においても、発表件数が少ないが同様の傾向が認められる。特に、日本は装置に関する特許を他国に比べて圧倒的に出願しており、この分野で大きく先行していること示している（図-24）。論文の分析でも、件数が少ないが日本は他国に比べ比較的多く発表している。日本が得意とする分野で、存在感を示すことが重要である。

提言 3 :

ナノ炭素材料の精製技術を含めた高純度製品の提供に向けた製造技術の改良は、継続して検討していくことが望まれる。

ナノ炭素材料自体の製法に関する特許は、2005年をピークに減少している（図-34）。分離・精製技術に絞った出願件数も2002年をピークに減少傾向で推移している。しかし、特定のカイラリティのカーボンナノチューブを簡易に製造又は分離する技術を確立することができれば、電子デバイスなどの応用技術分野が一挙に拡大し、研究の加速が期待できる。論文では、特許の出願件数推移と異なり、ナノ炭素材料自体の製法に関する論文も、分離・精製技術に関する論文も増加傾向にある（図-53）。論文が特許よりもより先を見据えたテーマをターゲットにしているとすれば、この分野は技術的に完成、成熟した領域ではなく、挑戦的な課題が多い領域であると推察することができる。日本がナノ炭素材料のサプライチェーンで確固たる地歩を築くためには、難易度の高いテーマに対しても継続した検討が必要である。