第１章　3D プリンター（付加製造技術）に関する技術の概要

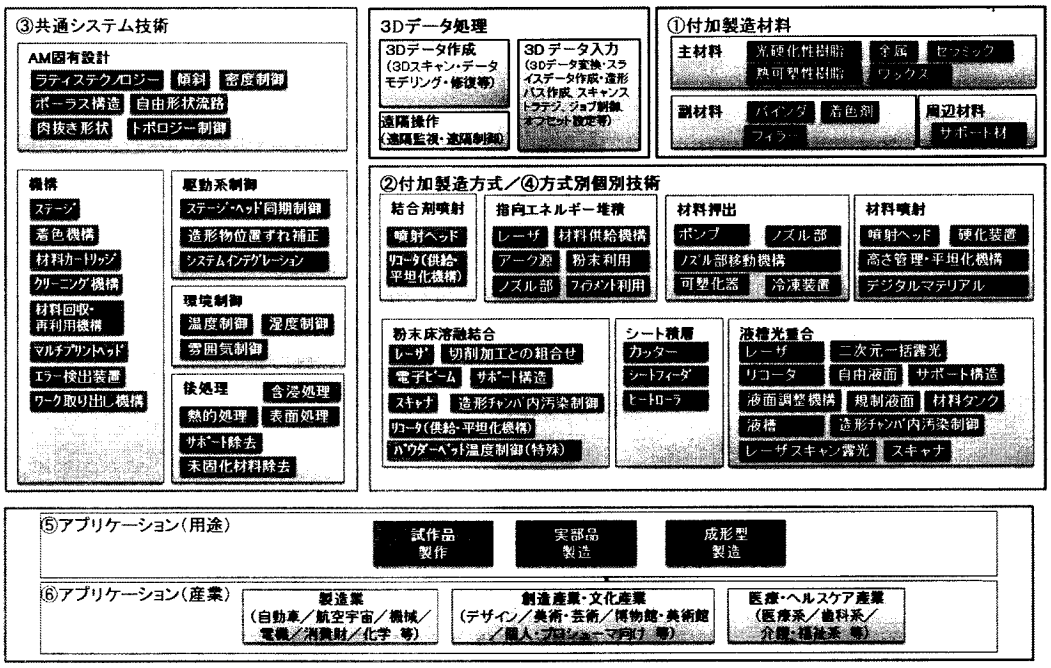
第１節　付加製造に関する技術の俯瞰

3D プリンター（付加製造技術）は、材料を付着することによって物体を３次元形状の数値表現から作成するプロセスを指す。多くの場合、層の上に層を積むことによって実現される。通常の紙に出力する２次元（2D）のプリンターとの対比で直観的にわかりやすいことから、日本では 3D プリンターという用語が広く普及しているが、世界最大級の工業規格に関する民間規格制定機関である ASTM インターナショナルにおける ASTM F2792 - 12a（Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies）において Additive Manufacturing（付加製造）との用語が 2012 年に定義されており、国際的にはこの呼び方が普及している。本報告書では、この国際的な呼び方を踏まえ、表題や歴史的な記述等を除き、「3D プリンター」の用語を用いることなく、「付加製造技術」と表記する。

> Additive manufacturing（付加製造）：
> 「材料を付着することによって物体を３次元形状の数値表現から作成するプロセス。多くの場合層の上に層を積むことによって実現され、除去的な製造方法と対照的なもの。」（ASTM F2792-12a より）

付加製造技術は、造形に用いる材料に関する技術、積層を行うための付加製造方式に関する技術、装置の機構や制御方式を含むシステム化技術など、様々な要素技術が複合的に関係し合う。技術の俯瞰を図 1 に示す。

図 1　付加製造技術の技術の俯瞰



本調査では、技術の俯瞰で示したとおり、付加製造技術を下記6つの要素技術に区分して整理を行う。

① 付加製造材料
② 付加製造方式
③ 共通システム技術
④ 方式別個別技術
⑤ アプリケーション技術（用途別）
⑥ アプリケーション技術（産業別）

また、これら以外の重要な周辺技術として、3Dデータの情報処理に関する技術が挙げられる。具体的には、造形物の元となる3次元データ（多くはCADデータを元にしたSTLというファイル形式）を作成する処理や、そのデータを層状のスライスデータとして変換し付加製造装置に読み込ませる処理等を行うためのソフトウエア関連技術である。本調査では、ソフトウエア関連技術の技術区分も作成し、付加製造技術に関するキーワード等で抽出した特許文献、論文を分類した。

第2節　付加製造技術の概要

付加製造技術に関し、第1節で定義した分類にしたがってその概要を整理する。

1．付加製造材料（Additive Manufacturing materials）

付加製造の方式や用途に応じて、様々な材料が開発・実用化されている。主材料としては光硬化性樹脂、熱可塑性樹脂、金属、セラミックス、ワックス等が用いられる。また、副材料としては結合剤噴射法で用いるバインダや、造形物に色をつけるための着色剤等が挙げられる。

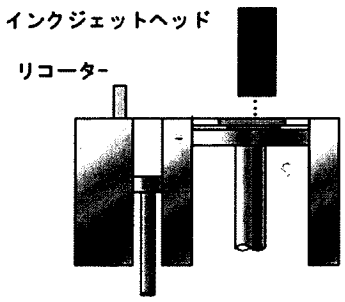
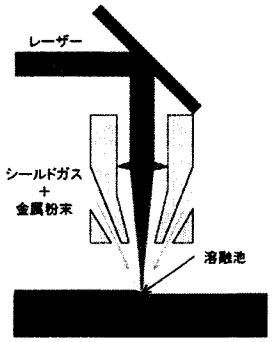
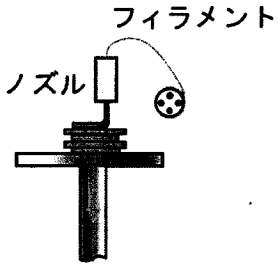
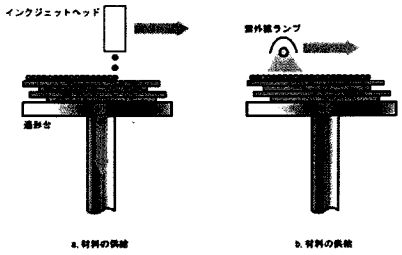
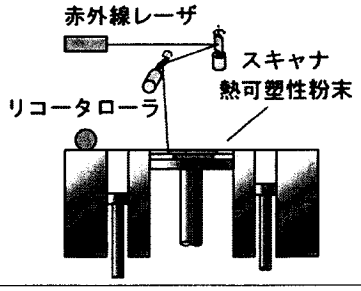
2．付加製造方式(Additive Manufacturing methods)

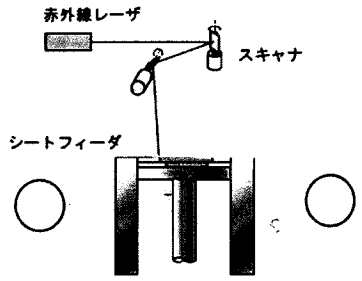
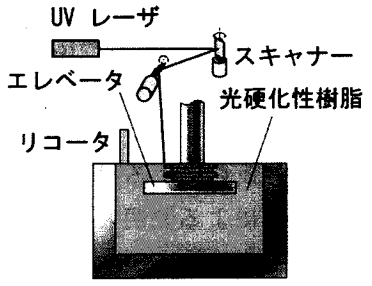
付加製造には、複数の方式が存在する。付加製造方式は、米国の標準化機関であるASTMによって大きく7つの方式に分類されることが定義されており、本報告書ではこの分類に基づいて整理を行なった。7つの付加製造方式について以下の表 1に概要を整理する。

3．共通システム技術(Common system techniques)

付加製造方式によらず、付加製造装置であれば必ず備えているべきシステム技術を指す。例えば、造形物を載せるステージ、材料を供給するカートリッジ、ヘッドやこれらの動きを制御する駆動系制御技術や造形チャンバ内の温度等の周辺環境を一定に保つ環境制御技術などが挙げられる。ただし、これらの個別技術はそれぞれが単体で成立するものではなく、付加製造装置を構成するハードウエアとしての機構類とそれらの動きを制御する制御系ソフトウエアが高度にすりあわされることによって成立する、いわば複合的なシステム技術であるということができる。

表 1　付加製造方式の概要

付加製造方式	概要	概念図
結合剤噴射 (Binder jetting)	液状の結合剤を粉末床に噴射して選択的に固化させる。Z Corp. 社はこの方式を 3D Printing 技術と呼び製品化した経緯があるため、3D プリンターという言葉を狭義に捉え結合剤噴射方式を指す場合もある。	
指向性エネルギー堆積 (Directed energy deposition)	材料を供給しつつ、ビーム等を集中させることによって熱の発生位置を制御し、材料を選択的に溶融・結合させる。代表的な例としてレーザ肉盛溶接、電子ビーム肉盛溶接、アーク溶接が挙げられる。	
材料押出 (Material extrusion)	流動性のある材料をノズルから押出し、堆積させると同時に固化させる。代表的な例としてストラタシス社の商標である FDM (Fused Deposition Modeling) 法が挙げられる。	
材料噴射 (Material jetting)	材料の液滴を噴射し、選択的に堆積し固体化させる。代表的な例としてインクジェット法が挙げられる。また、光硬化性液体を噴射した上で紫外線により光重合させる方法も挙げられる。	
粉末床溶融結合 (Powder bed fusion)	粉末を敷いたある領域を熱エネルギーによって選択的に溶融結合させる。 代表的な例としてレーザ焼結法、選択的レーザ溶融法、電子ビーム溶融法が挙げられる。	

付加製造方式	概要	概念図
シート積層 (Sheet lamination)	紙、樹脂、金属箔等のシート状の材料を接着させる。	
液槽光重合 (Vat photopolymerization)	タンクにためられた液状の光硬化性樹脂を光重合によって選択的に硬化させる。代表的な例として光造形法が挙げられる。	

出典：新野俊樹，”3D プリンターが拓く新しいものづくりー付加製造による生産の可能性ー”，東京大学生産技術研究所 講演資料

また、上記のシステム技術によって実現可能となる AM 固有設計技術も重要な要素である。これは、付加製造でこそ作ることができる特殊な形状・構造に関する技術を指している。代表的な AM 固有設計技術としてラティス・テクノロジーが挙げられる。例えば、ラティス（格子状のような形）状の表面形状を持つ生体適合材料（人工骨など）を付加製造装置で製造すると、その形状の特性から通常の人工骨よりも人体との適合性が良くなり、高付加価値な医療製品となる。

4．方式別個別技術(Techniques for each type)

付加製造方式ごとに個別に有する機構・要素技術を指している。例えば、指向エネルギー堆積、粉末床溶融結合、液槽光重合方式ではレーザや電子ビームが装置の性能を決める重要なコンポーネントとなる。材料押出方式では、熱可塑性樹脂を液体にした上で、堆積すると同時に固化させる必要があるため、材料に熱エネルギーを加えるヒータなどの可塑化器や冷凍装置を有する。

5．アプリケーション技術(Application techniques)

付加製造装置を使ったアプリケーション技術（応用技術）を指す。本報告書では大きく用途別と産業別の 2 つに大別している。用途別については、いわゆるラピッド・プロトタイピングと呼ばれる試作品製作向け、実際に製品として用いる部品・パーツを製造する実部品製造向け、各種型を作るために用いる成形型製造向けの大きく 3 つに分類する。また産業別については、製造業、創造産業・文化産業、医療・ヘルスケア産業の区分けで大きく分類している。

第３節　付加製造に関する技術開発・実用化の歴史

１．小玉氏による付加製造技術の発明

付加製造技術は、1980 年代に名古屋市工業研究所の職員であった小玉秀男氏が半導体加工技術と新聞の版下作成技術から着想を得て光造形法（ASTM における液槽光重合法の一種）のコンセプトを産みだしたところから始まる。小玉氏は 1980 年 4 月に個人で光造形法の特許を出願しており、当該出願は 1981 年 11 月に出願公開（特開昭 56-144478）となっている。なお、光造形法とは、CAD データから作成された断面データにもとづき、レーザを液状の光硬化性樹脂の表面に照射して硬化させることで造形を行う方式である。

ただし、当時は光造形法に対する周囲の目は厳しく、評価も芳しくなかったこと等から、小玉氏は出願した特許に対し審査請求は行わなかった。

２．丸谷氏らによる研究開発と 3D システムズ社による事業化[1]

小玉氏による発明とほぼ同時期である 1984 年に、当時の大阪府立工業技術研究所（現：地方独立行政法人　大阪府立産業技術総合研究所）の研究員であった丸谷氏らが同じく光造形法に関する特許出願（特開昭 60-247515）を行ない、その後特許権を取得している。

その後、3D システムズ社（米国）による事業化の知らせを受け、日本でも 1987 年から三菱商事と丸谷氏が中心となり共同研究を行い、三菱商事にて商品化を行なっている。

一方、丸谷氏らが特許を出願したわずか 3 ヶ月後の 1984 年 8 月には、米国でチャック・ハル氏が同じく光造形法の実用化に関する特許を米国で出願（US-A1-4575330）した。日本では 1985 年に出願をしている。

ハル氏は 1980 年に Ultra Violet Products 社（米国）に入社して、その後まもなく光造形のアイデアを着想し、その 4 年後に特許出願にまでこぎつけたが、Ultra Violet Products 社では経営上の理由から付加製造装置の事業化はできなかった。その後、1986 年に Ultra Violet Products 社取締役のレイモンド・フリード氏とパートナーを組み、現在の 3D システムズ社を設立、世界で初めて付加製造装置の実用機を販売し、事業化を行なった。

３．粉末焼結積層造形法(Selective Laser Sintering)の発明と事業化[2]

光造形法による付加製造という技術の息吹が芽生えた 1980 年代、同時に他の方式に関する発明や特許出願もなされていた。1986 年からは、米国テキサス大学で Joseph J. Beaman 教授を中心にした 5 名の教授・助教授(約 30 名の大学院生を含む)により粉末焼結積層造形法(Selective Laser Sintering、ASTM における粉末床溶融結合の一種)に関する研究プロジェクトが開始され、翌年の 1987 年には粉末焼結積層造形装置を製造販売する目的で DTM 社（米国）が設立された。出資者にはテキサス大学も名を連ねており、同大学で取得された粉末焼結積層造形法に関する特許は、すべて DTM 社に独占使用権が与えられていた。

DTM 社は、3D システムズ社が有する特許や同社が進める知財戦略の動向を見据えた上で、1992 年に製品の製造販売を開始している。その後、DTM 社は 2001 年に 3D システムズ社によって買収され、現在に至っている。

---

[1] 丸谷洋二，早野誠治，今中暝，”積層造形技術資料集”，オプトニクス社，2000 年
[2] アスペクト社ホームページ，http://www.aspect-rp.co.jp/sls1.htm（2014 年 1 月アクセス）

第２章　3Dプリンター（付加製造技術）を取り巻く環境

第１節　市場環境

１．付加製造（装置・サービス等）の市場規模

(1)　世界市場

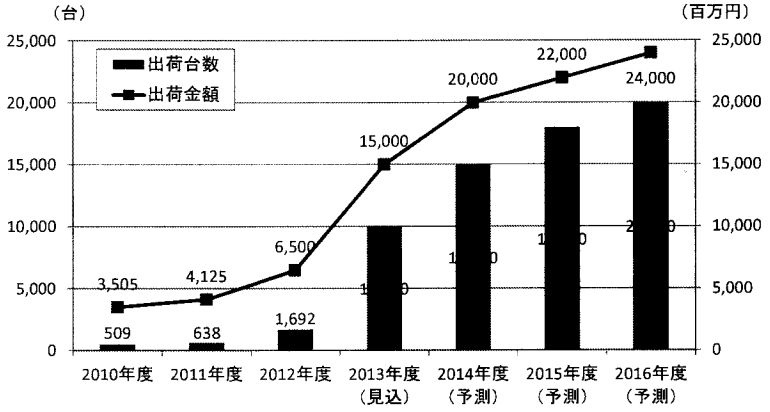
2000年～2021年までの付加製造の世界市場規模については、Wohlers Reportにおいて次のように推計・予測されている[1]。製品とサービスを合わせた総額については、2000年代始めは約6億ドル（約600億円）であったが、その後10年間で2～3倍に増加し、2012年には約22億ドル（約2,200億円）となっている。特に2010年～2012年の成長が著しく、前年比20%～30%の割合で増加している。将来的には、2015年には40億ドル（約4,000億円、2012年比で約2倍）、2021年には108億ドル（約1兆800億円）にまで拡大すると予測されており、今後も継続的な市場拡大が期待されている。

製品とサービスの内訳は各年半々程度となっており、どちらも重要な市場といえる。なお、「製品」には付加製造装置本体、材料、消耗品などの周辺パーツが含まれ、「サービス」には、パーツ精算代行サービス、システム保守契約、研修・セミナー、広告・出版、導入コンサルティングが含まれる。

(2)　日本市場

日本国内における付加製造技術の市場規模（出荷台数・出荷金額ベース）を図２に示す。国内においても、2010年度～2012年度にかけて市場が拡大しており、2012年度は国内出荷台数が1,692台、出荷金額は65億円であり、これが2016年度には出荷台数20,000台、出荷金額240億円にまで拡大すると予測している。

図２　付加製造の日本市場規模推移および予測（2010年度-2015年度）



注１:事業者売上高ベース
注２:見込は見込値、予測は予測値
注３:金額は、ハードウエア単体で算出し、別売のソフトウェアやアクセサリー、材料などは含まない。

出典：「3Dプリンタ市場に関する調査結果 2013」、2013年12月11日、矢野経済研究所を元に作成
http://www.yano.co.jp/press/pdf/1189.pdf（2014年1月アクセス）

[1] Wohlers Associates, Inc., ”Wohlers Report 2013”

(3) 付加製造装置の販売・出荷台数

付加製造装置は機種によって単価が10万～1億円以上までと大きく異なる。そのため本項では大きく産業向け高価格帯付加製造装置の出荷台数推移と、個人向け低価格帯付加製造それぞれについて販売・出荷台数を示す。また、今後の普及が期待される金属用付加製造装置についても販売・出荷台数を示す。

なお、本報告書では付加製造技術を用いた装置全般を付加製造装置と称して表記しているが、産業向け高価格帯の付加製造装置と、個人向け低価格帯の付加製造装置ではその精度や用途等は大きく異なるため、市場環境動向を分析する上でも両者は分けて考える必要がある。"Wohlers Report 2013" ではこの区分けラインを装置価格5,000ドル（約50万円）であるとしているが、国内有識者からは、この区分けラインはおおよそ1,000万円程度であると考えるのが妥当であるとの見解が聞かれた。

① 高価格付加製造装置

産業向け（プロフェッショナル向け）付加製造装置の販売台数推移について、Wohlers Associates社の予測によると、今後数年間は大きな伸びが期待できるとされている。2012年にはおよそ7,700台程度であった販売台数は、2014年には11,000台にまで増加すると予測されている。また、この販売台数の増加分は、主として販売単価が5,000ドル～20,000ドルの付加製造装置によるものであるとしている[1]。

② 低価格付加製造装置

2009年に材料押出方式の基本特許が期限切れとなったことを受け[2]、近年、種々のメーカが材料押出方式の付加製造装置を低価格で製品化、販売している（材料押出方式の主なメーカ、製品については後述参照）。

世界における個人向け付加製造装置（5,000ドル未満）の販売台数については、2009年から販売台数が急増しており、2012年は35,508台と対2009年比で約20倍にまで増加している。

また、別の調査では10万ドル未満（約1,000万円未満）の付加製造装置について、2013年における出荷台数は56,507台であり、前年比で49%増加する見込みであると報告されている。さらに、2014年には、前年比75%増の98,065台にまで伸びると予測されている[3]。

③ 金属用付加製造装置

金属用付加製造装置については、2012年の時点で年間約200台が販売されている。

2．材料の市場規模

2012年の1年間で販売された材料は約4.2億ドル（約420億円）となっている。材料市場については2009年を除き2001年以降、付加製造装置本体の販売増に伴い同様に拡大し

[1] Wohlers Associates, Inc., "Wohlers Report 2013"
[2] RepRage
http://reprage.com/post/44316648000/why-did-reprap-pick-fdm-and-not-another-3d-printing/
（2014年1月アクセス）
[3] Gartner社プレスリリース http://www.gartner.com/nwesroom/id/2600115（2014年1月アクセス）

ている。

材料市場全体のうち、フォトポリマー（感光性樹脂）の販売額は2012年に2.1億ドル（約210億円）であり、全体の販売額の50.1%を占めている。レーザ焼結向けポリマーについては2012年に1.1億ドル（約110億円）、金属材料の販売額は2012年に0.25億ドル（約25億円）と推計されている。

3．ユーザ業種

付加製造技術装置のユーザ業種に関し、世界の付加製造装置メーカおよびユーザに対し行ったアンケートによると[1]、付加製造装置のユーザのおよそ6割が製造業関連（自動車、航空宇宙、産業機械、民生品（消費財・電子機器））となっている。特に、民生品（消費財・電子機器）および自動車産業向けで全体の4割を占め、付加製造装置の主要なユーザとなっている。

4．用途

付加製造装置市場における用途に関し、世界の付加製造装置メーカおよびユーザに対し行ったアンケートによると[2]、「嵌合・組立の検証」と「機能検証モデル」の合計が46%を占め、製造業における試作品製作（ラピッドプロトタイピング用途）のための利用が大半を占める。一方で、近年は、製造業において金属部品の製造のために必要となる型を付加製造装置により直接製造するニーズが高まっており、「金属の成形品向け型」が11%を占める。

5．地域別の導入台数

付加製造装置の地域別導入台数は、米国が約4割を占め、単年導入台数でも北アメリカが約4割を占めることから、米国において付加製造技術の開発や導入が盛んであることが分かる。日本は第二の市場となっており、ドイツ、中国がそれに続く市場となっている。

第2節　主要プレイヤー

プロフェッショナル／産業向けの付加製造装置を開発・製造・販売しているメーカは世界でおよそ30社程度存在する。最近では、低価格の付加製造装置を製造・販売する新興メーカも出現しており、プレイヤーは拡大傾向にあるといえる。本節では、産業向け（プロフェッショナル向け）の付加製造装置を中心に主要な製造メーカの動向を整理する。

1．販売台数シェア

世界の主要な付加製造装置メーカにおける年間販売台数シェアについては、米国における2大メーカのシェアが大きく、オブジェットやソリッドスケープ等を買収したストラタシスは50%超のシェアを占めてトップとなっている。また、Zコーポレーション等を買収した3Dシステムズは20%弱のシェアを占めて2位となっている[1]。

なお、Wohlers Associates社のレポートにおける販売台数シェアについては、1台あたりの価格が5,000ドル（約50万円）以上の付加製造装置を対象としたものである。付加製

[1] Wohlers Associates, Inc., "Wohlers Report 2013"

造装置は機種によって単価が数十万～1 億円以上までと大きく異なり、各社が主力とする価格帯も異なることから、販売台数の大小から売上高の大小を推測することは困難であることに留意されたい。

2．主要プレイヤーと付加製造方式

前項で述べたような様々な付加製造装置メーカから、様々な造形方式による付加製造装置が発売されている。これらの多様な製品について、方式ごとにその特徴、プレイヤーを一覧にて整理した結果を表 2 に示す。

表 2　カテゴリ・方式ごとの概要と代表的プレイヤー

付加製造方式	代表的方式	代表的メーカ
結合剤噴射	バインダジェット法	3D システムズ（米国、旧 Z コーポレーション） エックス・ワン（米国） ボクセルジェット（ドイツ）
指向エネルギー堆積	肉盛り溶接 （レーザ、電子ビーム） アーク溶接	オプトメック（米国） シアキー（米国） トルンプ（ドイツ）
材料押出	熱溶解積層法（FDM 法）	ストラタシス（米国）
材料噴射	インクジェット法	ストラタシス（米国） （旧ソリッドスケープ、旧オブジェット）
粉末床溶融結合	レーザ焼結法 レーザ選択溶接法 電子ビーム溶接法	EOS（ドイツ） 3D システムズ（米国） （旧 DTM, フェニックス・システムズ） SLM ソリューションズ（ドイツ） コンセプト・レーザ（ドイツ） アーカム（スウェーデン） 松浦機械製作所 アスペクト
シート積層	シート積層造形法	ソリド（イスラエル） エムコア・テクノロジーズ（アイルランド）
液槽光重合	光造形法	シーメット 3D システムズ（米国）

第３節　訴訟・ライセンス動向

1．近年の付加製造装置を巡る訴訟

複雑かつ多様な要素技術を 1 つの装置としてシステム化することで機能を実現する付加製造装置は、その中に多くの特許が関連する装置でもある。近年、新興の消費者向け低価格帯付加製造装置メーカが多く登場し販売台数を伸ばしてきたことから、3D システムズやストラタシスといった老舗メーカが新興メーカを相手取り特許侵害訴訟を起こす例が出ている。近年取り上げられている主な特許訴訟の概要について、表 3 に整理する。

表 3　付加製造装置を巡る訴訟事例

原告	被告	概要（対象特許等）
3D システムズ[1]	Formlabs／Kickstarter	2012 年 11 月、3D システムズは消費者向け低価格帯付加製造装置メーカ Formlabs が発売する Form1 という付加製造装置について、同社の特許を侵害しているとしてサウスカロライナ州連邦地方裁判所に訴えを起こした。 Form1 は光造形方式を取る付加製造装置であり、対象となる特許は光造形における複数レイヤーの同時カールに関するものである。(US5597520 A) また、3D システムズは Formlabs を訴えると同時に、Form1 を販売するクラウドファンディングサイトの Kickstarter も同時に提訴している。
ストラタシス[2]	Microboards Technology, LLC,	2013 年 11 月、ストラタシスは消費者向け低価格帯付加製造装置メーカ Microboards Technology, LLC, が販売する Afinia H-Series について、同社の特許を侵害しているとしてミネソタ州連邦地方裁判所に損害賠償を求めて訴えを起こした。 この提訴では、ストラタシスが保有する 4 つの特許を対象としている。1 つ目は制御多孔性 3 次元モデリングに関するもの（US5653925A)、2 つ目は押出加工をするためのシーケンスを算出するもの（US5866058A)、3 つ目は所望のパターンを実現するために材料を凝固させる加熱機構を有する押出ヘッドに関するもの（US6004124A)、4 つ目は立体モデルの継ぎ目を目立たなくする方法に関するもの（US8349239B2）である。
EOS[3]	Phenix Systems	2012 年 4 月、EOS は北米で Phenix Systems が販売しているレーザ焼結タイプの付加製造装置について、同社の特許を侵害しているとしてイリノイ州の連邦地方裁判所へ訴えを起こした。 この訴訟では、レーザ焼結方式において粉末材料の層を連続的に固化する技術に関するもの（US5753274A)、および積層時に用いるベースプレートとそれを用いた積層方法に関するもの（US 6042774A）を対象としている。

[1] 3D システムズ，プレスリリース，http://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-announces-filing-patent-infringement-suit-against-formlabs-and-kickstarter（2014 年 1 月アクセス）

[2] ストラタシス，プレスリリース，http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=809438（2014 年 1 月アクセス）

[3] EOS，プレスリリース，http://www.eos.info/press/press_releases/2012_120412（2014 年 1 月アクセス）

2．付加製造に関する最近の話題

(1) 付加製造装置を利用した実部品製造

1990年代初頭から、主として製造業の開発・設計現場において試作品や機能確認モデルを迅速に作成することを目的として付加製造装置が導入されてきた。その後、2000年代前半～半ば頃より、材料特性や造形精度の向上に伴い付加製造装置を用いて製造現場における組立用治具や特注の部品を直接3D CADデータから製造する使われ方が増えてきた。このように、実部品を付加製造装置で直接製造する手法はRP（ラピッド・プロトタイピング）と比較してRM（ラピッド・マニュファクチャリング）と呼ばれるようになり、ストラタシス社はこれを独自にDDM（Direct Digital Manufacturing）と名付けている。

(2) 触感を表現するデジタルマテリアル技術

デジタルマテリアルとは、二種類の異なる造形材料を特定の濃度や構造で合成することで、目的とする特性（透明／色つき／不透明、硬質／軟質、耐熱性、靭性）を持たせることが可能となる技術であり、オブジェット社が開発した複合樹脂材料のことである。

デジタルマテリアルとそれに対応する付加製造装置を用いて造形を行うことで、複数パターンの特性を持つ試作品を一度に制作し、耐久試験やマーケティングに活用することができる。例えば、リモコンのボタンスイッチの押し具合について、デジタルマテリアルにより硬度を変えたボタンを用意してその機能やデザインを評価する、といった使い方ができる。

(3) 医療分野での応用

付加製造装置を医療現場で活用する動きも広がっている。

代表的な応用事例として、医師の手術支援が挙げられる。CTスキャンによる患者の断層撮影データを利用して半透明の臓器モデルを作成、医師が手術前に手にとって事前に血管の方向や取り除くべき腫瘍の正確な位置を確認することで、手術の精度を上げることが可能となる。実際の手術前確認のためのみならず、経験の浅い外科医がスキルを向上させるための手術シミュレーションとして、臓器モデルを用いることも想定されている。

付加製造装置による造形物を人体の一部として移植する取り組みとして、カスタムメイド人工骨の作成が挙げられる。先天性疾患や事故により骨が損傷した場合には、現在は患者自らの骨を健常部より摘出の上、患部へ移植する自家骨移植が行われている。ただし自家骨移植は患者への負担が大きく、摘出量や審美性にも制限があることから、CT画像データをもとに付加製造装置で人工骨を短時間のうちに造形し、患者へ移植する手術を行う。この手法は特に形状が複雑な顔面の骨に対し有効であるとされ、国内では東京大学と再生医療ベンチャーであるネクスト21が実用化へ向けて臨床試験を進めている。

また将来技術として、骨だけでなく人間の細胞をプリントして臓器を作成し、患者へ移植を行う「3Dバイオプリンター」に関する研究も進められている。富山大学工学部生命工学科の中村真人教授は生物の細胞を生きたまま、インクジェットタイプの付加製造装置で打ち出し細胞組織をつくり上げる「バイオファブリケーション」に関する研究を

進めている[1]。バイオファブリケーションによって生きた臓器を製造し再生医療に応用されるまでにはまだまだ超えるべき技術課題は多いが、2009年には国際ジャーナルが創刊されるなど、バイオファブリケーションの研究は世界的に盛んになっている[2]。

(4) 食品分野での応用

付加製造装置を用いて、食品をそのまま製造してしまおうという研究も行われている。2013年10月には、米国のNASA（アメリカ航空宇宙局）が食品用の付加製造装置を開発するプロジェクトに出資したことが話題となった。この食品用付加製造装置の基本的な概念は、水と小麦粉をベースにしたペーストを温めた皿の上に絞り出すことでピザを製造する、といったもので、宇宙ステーションに長期滞在したり火星など他の惑星へ有人探査を行なったりする宇宙飛行士が、過酷環境において食事を摂取するための有効な手段として可能性を秘めているといえる。

付加製造装置大手メーカの 3D システムズも、食品用付加製造装置に注目している。2013年8月に、砂糖菓子のプリンティングを専門とするSugar Labsを買収し、モノクロまたはフルカラーにて、砂糖で出来た造形物を出力できるChefJetシリーズを発表した。ChefJet シリーズは、プロの菓子職人が利用することを想定し、本体に加えてデジタルレシピ集が付属されている。

(5) 付加製造装置を活用した活動（Fab Lab）

三次元CADや付加製造装置をはじめとするデジタル工作機械の低価格化が進み、ユーザの裾野が広がりつつある中で、誰もがものづくりのために使えるオープンな市民工房としてのFab Lab（ファブラボ）が近年注目されている。

Fab Labとは ”Fabrication Laboratory” の略で、「コミュニティ型実験工房」を意味する。また「ファブ(Fab)」には「Fabrication（ものづくり）」と「Fabulous（素晴らしい）」の2つの意味が込められている。もともとは米国マサチューセッツ工科大学のニール・ガーシェンフェルド教授が提唱し、教授がセンター長を勤めるCBA（Center for Bits and Atoms）という研究センターが市民団体や海外等と連携する過程で世界に広められてきた。Fab Labは2000年に初めて誕生してから、2013年現在では世界に約250箇所のFab Labが存在している。

一般的なFab Labでは、付加製造装置やレーザカッターをはじめとするデジタル工作機械を備え、市民がそれら機材を自由に利用し、個人でものづくり活動を行うことができる。また各地のFab Labはグローバルな Fab Labネットワークに参加しており、Fab Labで生まれた成果やものづくり知識を世界規模で共有することが可能となっている。

我が国でも、2010年にFab Lab Japanが設立され、慶應義塾大学SFC研究所の田中浩也准教授らが中心に活動し、2011年には国内初のFab LabとしてFabLab Kamakura（神奈川県鎌倉市）とFabLab Tsukuba（茨城県つくば市）がオープンした。その後、FabLab Shibuya（東京都渋谷区）もオープンし、国内の各地でファブラボ設立に向けての検討が

[1] 富山大学 中村研究室・研究テーマ『機械で臓器が作れるか』
http://pse.eng.u-toyama.ac.jp/bio7A/index.html（2014年1月アクセス）

[2] サイエンスチャンネル「細胞から組織・臓器へ　再生医療の様々なアプローチ」(2013年10月3日配信)
http://sc-smn.jst.go.jp/playprg/index/7007（2014年1月アクセス）

進められている。

こうした活動は「パーソナルファブリケーション（個人製造）」や「DTF（デスクトップファブリケーション）」と呼ばれ、従来からの大企業による大量生産やマーケットの論理に制約されていたものづくりを中小企業や個人がより垣根なく行えるようにすることで裾野が広がり、技術的なイノベーション創出を後押しする取り組みとして注目されている。

第4節　政策動向

1．日本

安倍政権は日本再興戦略において、3D プリンターを重要な産業として位置付けており、「素材や機械制御技術等の日本の強みを活かし、3 次元造形システムの研究開発を国家プロジェクトとして推進する」などの構想を発表している。

2014 年 2 月には経済産業省が「新ものづくり研究会」の報告書を公表したほか、平成 26 年度の経済産業省予算案において、「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム」が盛り込まれ、40 億円が予算計上中である。付加製造に関連する技術開発プロジェクトは、「次世代素材等レーザ加工技術開発プロジェクト」、「超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト」である（表 4）。

表 4　日本の技術開発プロジェクト

所管	プロジェクト	期間	予算（単年度）	対象技術
経済産業省	次世代素材等レーザ加工技術開発プロジェクト	2010 年～2013 年	8.92 億円[1]	チタン合金の粉末積層造形加工の基盤技術
	超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト	2013 年～2018 年	1.5 億円	高速三次元（3D）積層造型技術の開発
				耐熱積層鋳型による高融点金属鋳造技術の開発
				局所的冷却性能制御技術の開発
	三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム	2014 年～	40 億円（予算計上中）	金属等粉末開発及び粉末修飾技術
				耐熱積層鋳型による高融点金属鋳造技術
				周辺技術（高機能複合部材の開発、後加工、未使用粉末の回収等技術）
				次世代 3 次元内外計測の評価基盤技術開発

2．米国

オバマ大統領が一般教書演説にて付加製造に言及するなど、米国政府自らが産官学連携を促進し、産業界全体のイノベーションに繋げようとしている。

2012 年 3 月に政府は 10 億ドルを投じて National Network for Manufacturing Innovation

[1] 3D プリンターの関連分野以外も含む

(NNMI) を設立した。これは Institution for Manufacturing Innovation(IMI)と呼ばれる各地域の研究機関によって構成されている積層技術の研究ネットワークで、企業・大学・政府が共同で研究を行う。今後 15 の IMI を全米で設立する予定である。

2012 年 8 月には、3 千万ドルを投じて国防省、エネルギー省、商務省、NSF によって NNMI のパイロット機関である NAMII がオハイオ州ヤングストンに設立された。2013 年 4 月の時点で 74 の組織が NAMII のメンバーとなっている。NAMII のゴールは、政府・大学の研究と民間企業への橋渡しを行い、付加製造技術の実用化を促進することである。この他、国防省が主導した Digital Manufacturing and Design Innovation (DMDI)、Lightweight and Modern Metals Manufacturing、エネルギー省が主導している Next Generation Power Electronic Manufacturing(NGPEM)等が設立もしくは設立される予定である。NAMII は 2012 年 11 月に第 1 回プロジェクト公募を行い、電子ビームなどの開発プロジェクトに対し、950 万ドルを拠出している (表 5)。2013 年 8 月に第 2 回の公募が開始された。

表 5　米国の技術開発プロジェクト

所管	プロジェクト	対象技術・材料
American Makes	Maturation of Fused Depositing Modeling (FDM) Component Manufacturing	高温ポリマーULTEM™9085
	Thermal Imaging for Process Monitoring and Control of Additive Manufacturing	電子ビーム直接製造
	Rapid Qualification Methods for Powder Bed Direct Metal Additive Manufacturing Processes	EOS レーザ焼結と Arcam Electron Beam Melting (EBM®)の粉末積層プロセス
	Fused Depositing Modeling (FDM) for Complex Composites Tooling	ポリマー素材の複合製造技術開発
	Manuration of High-Temperature Selective Laser Sintering(SLS) Technologies and Infrastructure Seletive Laser Sintering(SLS)	選択的レーザ焼結

3．中国

現在、中国では大学機関が大半の付加製造装置を所有しており、西安交通大学、華中科技大学、清華大学の 3 つの大学が中心的な研究機関である。西安交通大学は光硬化技術の研究を、華中科技大学はレーザ粉末焼結技術の研究を、清華大学はプラスチック積層技術の研究を重点的に行っている。

政策面では、中国工業情報化部による技術開発計画 (2012 年)、積層造形技術戦略計画

（2012年）などの国の関連長期戦略の策定が行われている。

また、2012年10月に国・大学・企業が共同出資し3Dプリンター技術産業連盟を立ち上げた。同連盟は技術開発・実用化のほか、技術標準の制定を視野に入れている。大学では北京航空航天大学、精華大学などが参加している。

この他、中国3Dプリンター研究所の設立として、2013年8月に中国3Dプリンター研究所（The 3D Printing Research Institute of China）が南京に設立された。医療、防衛、航空宇宙、自動車産業など幅広い分野に導入できる付加製造の研究開発を行う。政府は今後、合計2億元の予算で南京と同様の研究所を中国各地に9か所設立する方針を打ち出している。

4．欧州

欧州では以前までは各国が独自に研究開発を進めていたが、2012年頃から欧州連合（EU）全体としての取り組みがなされるようになった。EUの政策としては、The European Collaboration on Additive Manufacturing （ECAM）が各国の研究機関をまとめるコンソーシアムを組織している。ECAMは欧州内で分散していた積層技術の関連機関を統合することで、製造業を強化し欧州経済の発展に貢献する目的のもとに設立された。これにはSiemens AGを始め、オランダ応用研究機構（TNO）、Fraunhofer、DTI、Materialiseなど、欧州の企業、非営利組織などが参加している。2013年6月にStrategic Research Agenda（SRA） 2013 for Additive Manufacturingを公開している。また、EUにおける科学技術の研究・開発に対する財政的支援制度である第7次「フレームワークプログラム」（FP7）が2007年1月から2013年まで実施された。さらに、FP7の次のプログラムとしてHorizon 2020が2014年から開始されている。3Dプリンターに関連する分野では、ナノテク素材に関するプロジェクトが公募されている。

英国の政策として、2012年10月22日、英国科学大臣David Willettsは、積層技術の革新のために700万ポンドの英国政府による投資を行う事を発表した。広範な商業的開拓のため、付加製造の技術成熟度を上げることを特に重視しており、キーとなる技術適用分野に航空宇宙、医療機器、インプラント、発電を挙げている。

2013年8月に英国の技術戦略員会（TSB）は、18の付加製造プロジェクトに合同で資金提供するため、物理科学研究委員会（EPSRC）、経済社会研究委員会（ESRC）、芸術・人文科学研究会議（AHRC）と協力して合計840万ポンドをプロジェクトへ投資することを決定した。英国の主要な付加製造装置メーカである3T RPDが資金の受け取り手の一つで、整形外科用インプラントの表面加工技術や色付部品を製造可能とする新素材の研究に取り組む。

オランダでは、オランダ応用研究機構（Netherlands Organization for Applied Scientific Research：TNO）がオランダ政府からの資金提供を受け積層技術研究の主要な役割を担っている。同機構は科学技術分野における応用科学研究を行うことを目的としてオランダ議会によって1932年に設立された、欧州では最大規模を誇る中立の総合受託試験研究機関。積層技術に関しては高充填材料を用いたマイクロ光造形、インクジェット技術を用いた複数材料印刷、付加製造における金属接続技術開発プログラムなどに取り組んでいる。

欧州における技術開発プロジェクトについて、表6に示す

表 6　欧州の技術開発プロジェクト

プロジェクト	期間	予算 （プロジェクト期間）	対象技術・材料
Reinforcing Additive Manufacturing Research cooperation between CMRDI and the European Research Area (FP7)	-	50 万ユーロ[1] （約 6,600 万円）	チタン、コバルト、セラミック素材
FastEBM (FP7)	2011 年～2013 年	-	電子ビーム積層造形の生産性向上にむけた高出力電子ビームガンの開発
Additive Manufacturing Aiming Towards Zero Waste & Efficient Production of High-Tech Metal Products (FP7)	2013 年～2017 年	1,879 万ユーロ （約 24 億円）	金属素材
PhoCam (FP7)	2010 年～2013 年	360 万ユーロ （約 4.7 億円）	フォトポリマ素材を用いた光造形技術
Horizon 2020	2013 年～2015 年	6,600 万ユーロ（約 87 億円）	ナノテク素材
高付加価値製造カタパルト（英国）	2011 年～	1 億 4,000 万ポンド（約 239 億円）[2]	医療機器、宝飾品、航空宇宙産業
フラウンホーファー積層造形アライアンス（ドイツ）	-	-	医療機器、航空宇宙産業
Direct Manufacturing Research Center (DMRC)（ドイツ）	2008 年	1,100 万ユーロ（約 14 億円）	設計ルール、コスト分析、リペア、複雑形状、材料開発、強度評価
PENROSE（オランダ）	-	-	埋め込み型電子機器、人体関連機器
EFRO-Raplab プロジェクト（ベルギー）	2010 年～2012 年	-	-
Sirris（ベルギー）	-	-	ヘルスケア、バイオテクノロジー
Leuven-MRC（ベルギー）	2005 年～	-	金属、セラミックス、ポリマー

[1] 1 ユーロ=132 円にて換算
[2] 1 ポンド=171 円にて換算

ドイツでは、フラウンホーファー研究機構が積層造形に関する産学官のアライアンスを締結している。フラウンホーファー積層造形アライアンスは、付加製造方法、プロセスの開発、応用、推進から成る付加製造プロセスチェーンを形成するため、ドイツ全土に拠点を置く11機関を包括している。医用生体工学、マイクロシステム工学、航空宇宙工学、工具製作などが研究対象となっている。 また、The Direct Manufacturing Research Center（DMRC:2008年にBoeing、EOS Electro Optical Systems、Evonik Industries、SLM Solutions GmbHとパダーボーン大学により設立）で、直接製造に特化した多くのテーマでの研究を行っている。

第5節　標準化動向

1．ASTMインターナショナルにおける取組み

ASTMインターナショナルにおいて、2009年に積層技術に関するF42委員会が設立された。既に100を超える世界中の学界、産業界、政府関係者がメンバーになっており、欧米出身者が最も多い。年に二回の会合を開いている。サブ委員会は試験方法（F42-01）、設計（F42-04）、素材と製造過程（F42-95）、専門用語（F42-91）の4つで構成されている。2013年4月の時点で、以下が制定されている。

①積層技術に関する用語
②座標系と試験方法
③STLファイルフォーマットの代替であるAMFファイルフォーマット
④粉末床溶融結合方式（レーザ焼結タイプ）過程におけるTi-6Al-4Vの要求事項
⑤粉末床溶融結合方式（レーザ焼結タイプ）過程におけるTi-6Al-4V-ELIの要求事項

その他、材料のトレーサビリティや適格性、粉末床溶融結合方式（レーザ焼結タイプ）ポリマー、金属粉末床溶融結合材料/システム結合、エネルギー堆積過程などの規格が開発中である。NISTの材料基準にもとづき積層技術の材料特性の計測法が検討されているなど、ASTMの規格にはNISTのメンバーが積極的に関与している。

2．国際標準化機構（ISO）における取組み

積層技術に関するISOの技術委員会として、ISO TC261が立ち上がっている。幹事国はドイツであり、日本、米国を含む16か国の参加国と5か国のオブザーバから構成され、用語の定義、製造過程（ハードとソフト両面）、試験手順などの標準化について議論している。

ISO TC261は4つのワーキンググループ（WG 1：専門用語／WG 2：方法、プロセス、素材／WG 3：試験方法／WG 4：データ処理）から構成されている。

2013年初めにASTM F42とISO TC261が規格開発のロードマップを共有すると発表し、TC261は、ASTMの規格をもとに以下の規格を発行した。

① 積層技術に関する用語
付加製造技術ファイルフォーマット（AMF）Version 1.1の基本的な仕様を規定。
ASTM F2915-12に基づいている。

② ISO/ASTM 52921:2013

Coordinate system システムと試験方法に関する付加製造技術の専門用語を規定。ASTM F2921-11 に基づいている。

3．各国（地域）における取組み

(1) SASAM (The Suport Action for Standardisation in AM)

2012 年 9 月に欧州委員会により設立され、欧州内での積層技術の標準化を推進している 18 か月間のプロジェクト。TNO がリーダーを担っており、シーメンス、Sirris、Materialise などの研究機関とメーカや、オランダ、フランス、スウェーデンの標準化機構が参画している。また、CEN が積極的にサポートしている。

(2) BSI (British Standard Institution Committee AMT/8)

積層技術に関する英国標準化機構の委員会。専門用語、方法、プロセス、素材、試験方法など以下の 5 つの標準を開発している。

4．付加製造に関する規制動向

付加製造の造形物を実部品として利用する際には、関連する規制への留意が必要となる。主なものとしては、EU で化学物質（調剤中の物質も該当）を年間 1 トン以上製造又は輸入する事業者に対し登録手続を義務付けている REACH 規制、EU 域内で電気電子機器類（家電、コンピューター、通信機器など）について有害な化学物質の使用を禁止する RoHS 規制が存在する。また、一般的に光造形で用いられる素材には生体への毒性があるため、医療用への利用を検討する場合には留意が必要である。

粉末床溶融結合では材料として粉末が用いられるため、労働環境において粉じん対策が求められる。日本では労働安全衛生法に基づき粉じん障害防止規則が定められており、生産現場における対策が必要である。

第３章　3D プリンター（付加製造技術）の特許出願動向

第１節　調査方法と調査対象特許

本調査では、出願年（優先権主張年）を基準に、2001 年から 2011 年に出願された付加製造に関する特許文献を対象とした。データベースはトムソン・ロイターが提供する DWPI（Derwent World Patents Index）を使用し、検索式を設定して対象特許の抽出を行った。この結果、抽出された 22,516 件（ファミリー単位）の特許について分析を行った。付加製造とは関係のないものに関しては除外を行い、結果として 2,652 件の論文が集計対象となった。

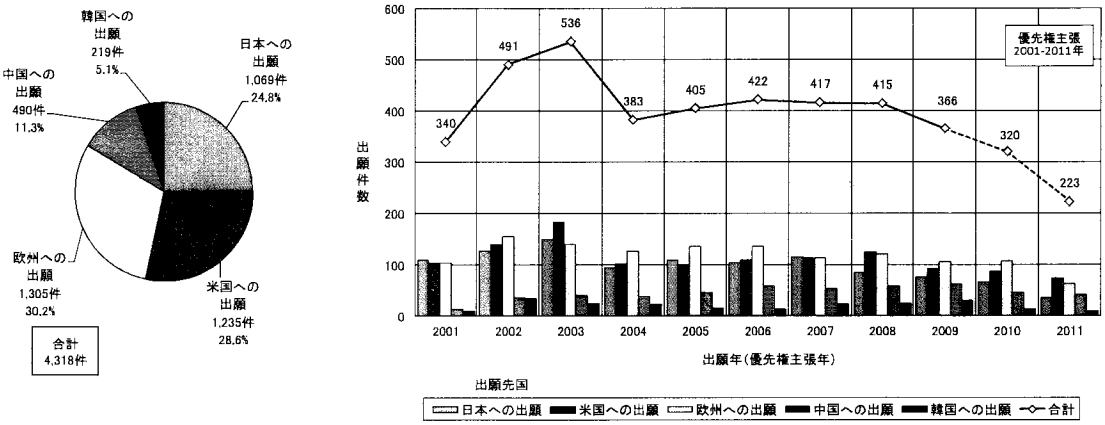
今回調査した特許の出願先国は、日本、米国、欧州、中国、韓国、イスラエルへの出願および国際特許出願（PCT 出願）である。欧州への出願については、欧州特許庁への広域出願（EPC 出願）だけでなく、EPC 加盟国のうち使用した特許検索データベースに収録された国への出願も対象とした。

付加製造の各種方式（結合剤噴射、指向エネルギー堆積、材料押出、材料噴射、粉末床溶融結合、シート積層、液槽光重合）に関連するシステム技術、材料技術、個別要素技術を調査対象として設定し、対応する検索式および技術解析軸を設定した。

第２節　全体動向調査

全ての出願人国籍（日米欧中韓、その他国籍）による出願について、出願先国別の出願件数推移を図 3 に示す。日米欧中韓への出願は 2003 年にかけて急増し 536 件を数えたが 2004 年に約 150 件減少、その後はほぼ横ばいの傾向にある。累積出願件数では、欧州への出願が全体の 30.2%、次いで米国への出願 28.6%、日本への出願 24.8%の順となっている。

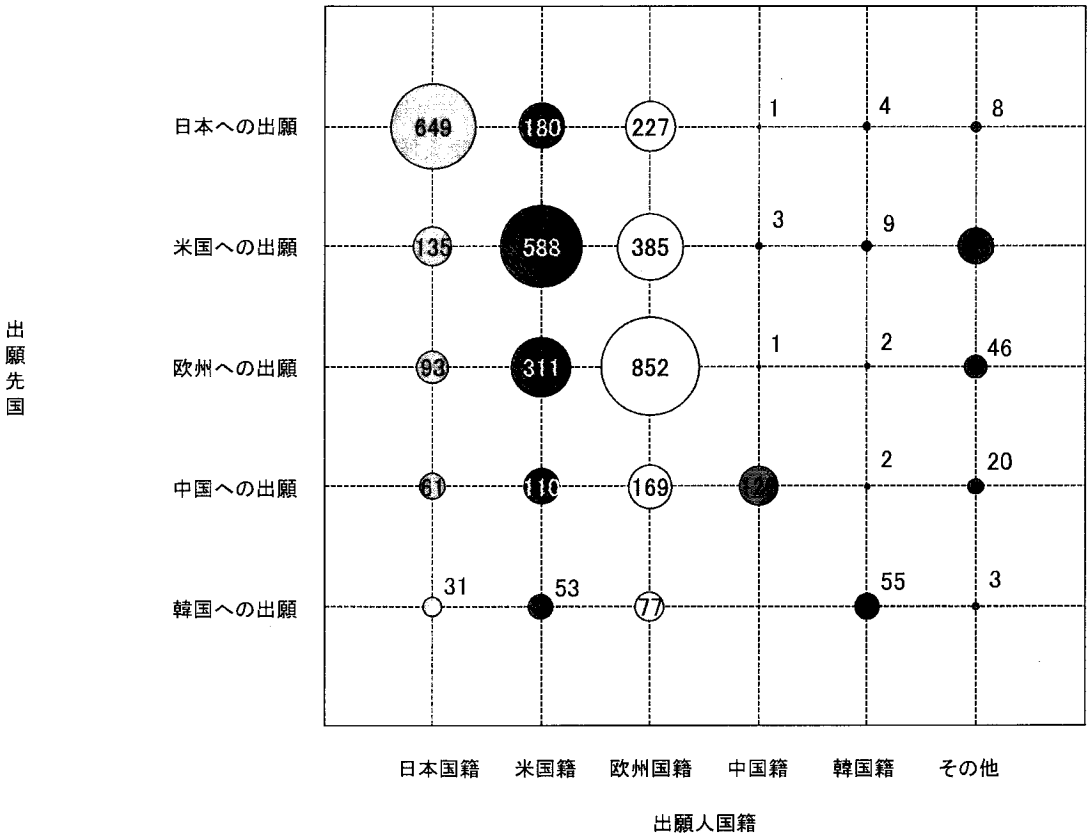
図 3　出願先国別出願件数推移（出願年（優先権主張年）：2001-2011 年）



注）2010 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出願データを反映していない可能性がある。

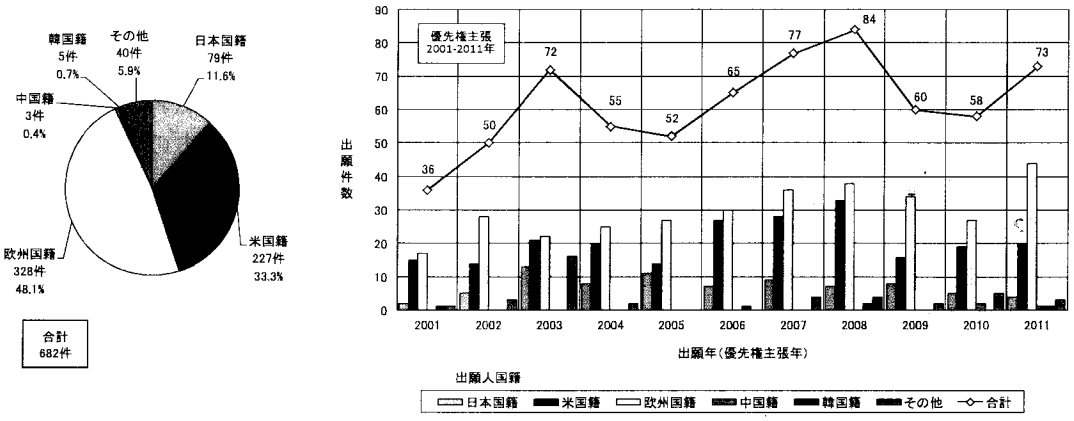
調査対象期間全体（優先権主張年ベースで 2001 年～2011 年）における、出願先国別かつ出願人国籍別の累積出願件数を図 4 に示す。日本国籍の出願先は、日本が 649 件と圧倒的に多く、ついで米国への出願 135 件、欧州への出願 93 件、中国への出願 61 件と続く。出願先国は日本、米国、欧州において自国籍の出願が最多であるが、中国および韓国への出願は欧州国籍が最も多く、欧州国籍による自国および海外への出願双方のアクティビティの高さが伺える。

図 4　出願先国別－出願人国籍別出願件数（出願年（優先権主張年）：2001-2011 年））



全ての出願人国籍（日米欧中韓、その他国籍）による出願について、出願人国籍別の PCT 出願件数推移を図 5 に示す。PCT 出願については、2001 年から 2011 年にかけて増加減少を数年単位で繰り返している。累積出願件数では欧州国籍が 48.1%と約半数を占め、次いで米国籍 33.3%、日本国籍 11.6%と続いている。欧州国籍による日米欧中韓への出願は 3 割程度であったのと対照的である。欧州国籍の PCT 出願意欲が日本国籍よりも色濃く反映されている可能性がある。

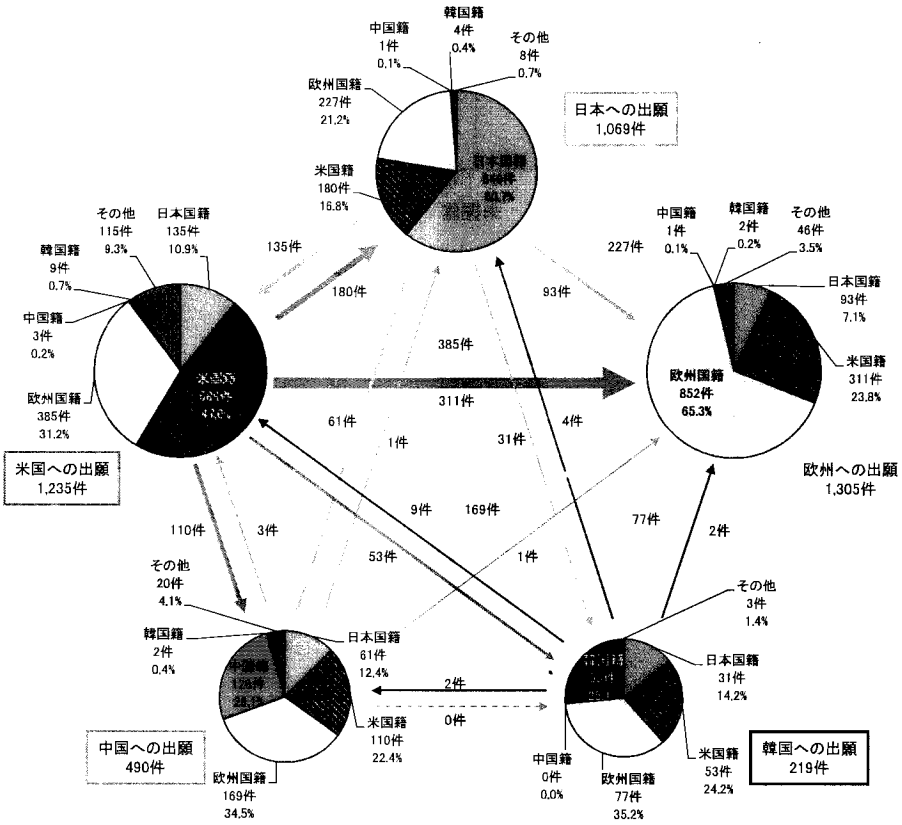
図 5　出願人国籍別 PCT 出願件数推移（PCT 出願、出願年（優先権主張年）：2001-2011 年）



日米欧中韓への出願について、出願先国別かつ出願人国籍別の出願件数収支を図 6 に示す。欧州への出願件数が 1,305 件と最も多く、次いで米国への出願が 1,235 件、日本への出願が 1,069 件となっている。

日本国籍による出願件数は、自国（日本）への出願が 649 件と最も多く、次いで米国への出願 135 件、欧州、中国、韓国の順となる。日本、米国、欧州への出願は自国籍からの出願の占める割合がそれぞれ最も多いが、中国、韓国への出願はともに欧州国籍からの出願の占める割合が最も多い。

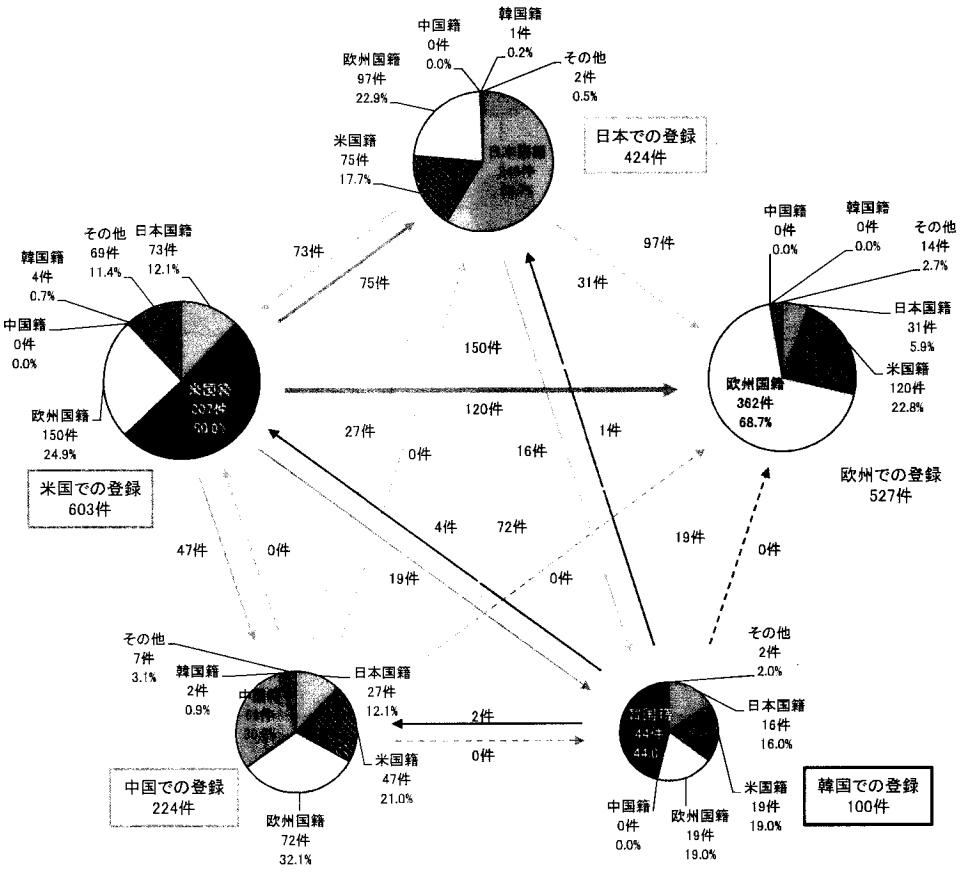
図 6　出願先国別－出願人国籍別出願件数収支（出願年（優先権主張年）：2001-2011 年）



日米欧中韓への出願について、出願先国別かつ出願人国籍別の登録件数収支を図 7 に示す。米国での登録が 603 件と最も多く、次いで欧州、日本、中国、韓国の順となっている。

日本国籍による登録件数は、自国（日本）での登録が 249 件と最も多く、次いで米国、欧州、中国、韓国の順となる。日本、米国、欧州、韓国は自国籍の出願人による登録の占める割合が最も多い。一方、中国は欧州国籍の出願人による登録が最も多くなっている。

図 7　出願先国別－出願人国籍別登録件数収支（出願年（優先権主張年）：2001-2011年）



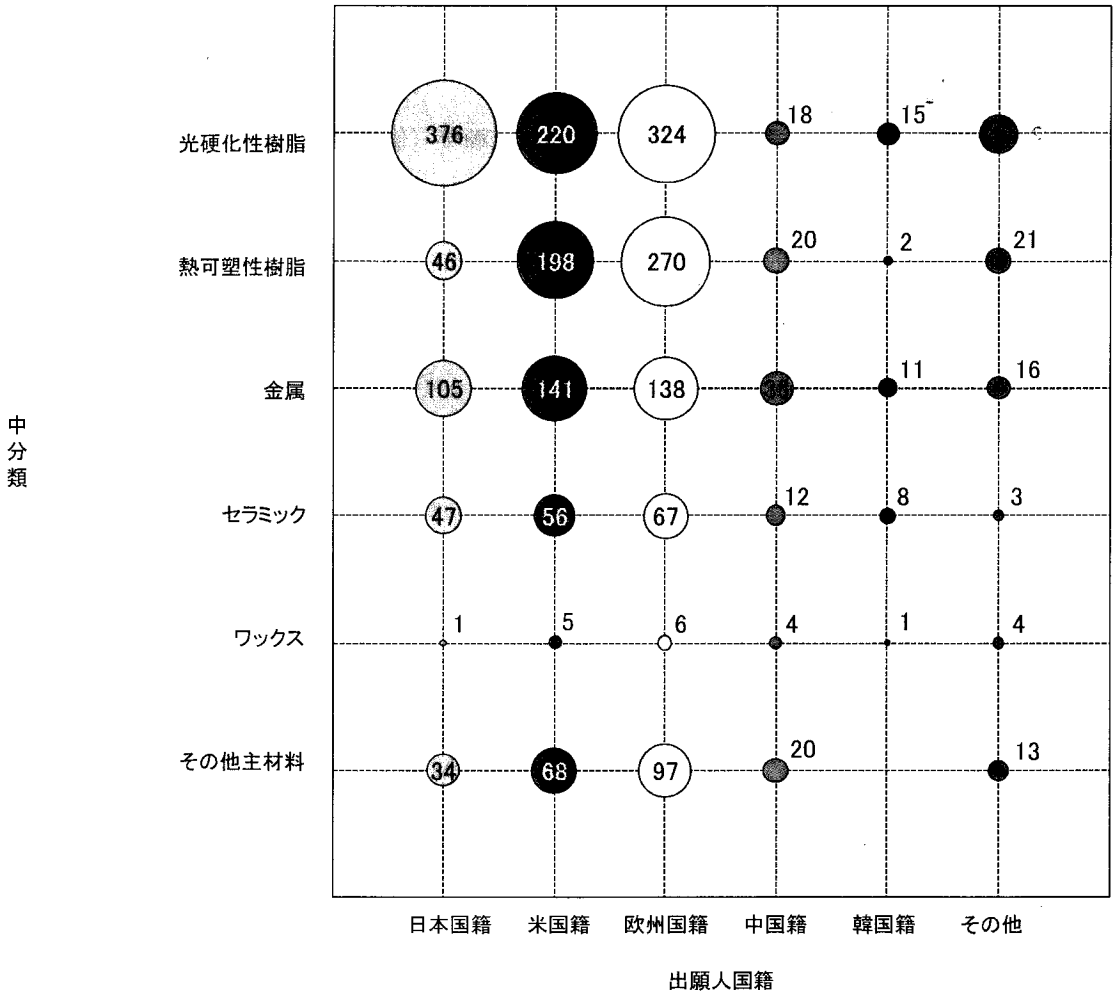
第３節　技術区分別調査

１．技術区分別

(1)　付加製造材料

調査対象期間（優先権主張年ベース 2001 年～2011 年）における日米欧中韓への出願について、「大分類：主材料」の中分類別の出願人国籍別出願件数を図 8 に示す。主材料のうち、光硬化性樹脂の累積出願件数は 1,002 件であり 2 番目の熱可塑性樹脂のおよそ 2 倍を数える。光硬化性樹脂に関する出願の中では、日本の割合は 38%と最多の出願件数を誇る。

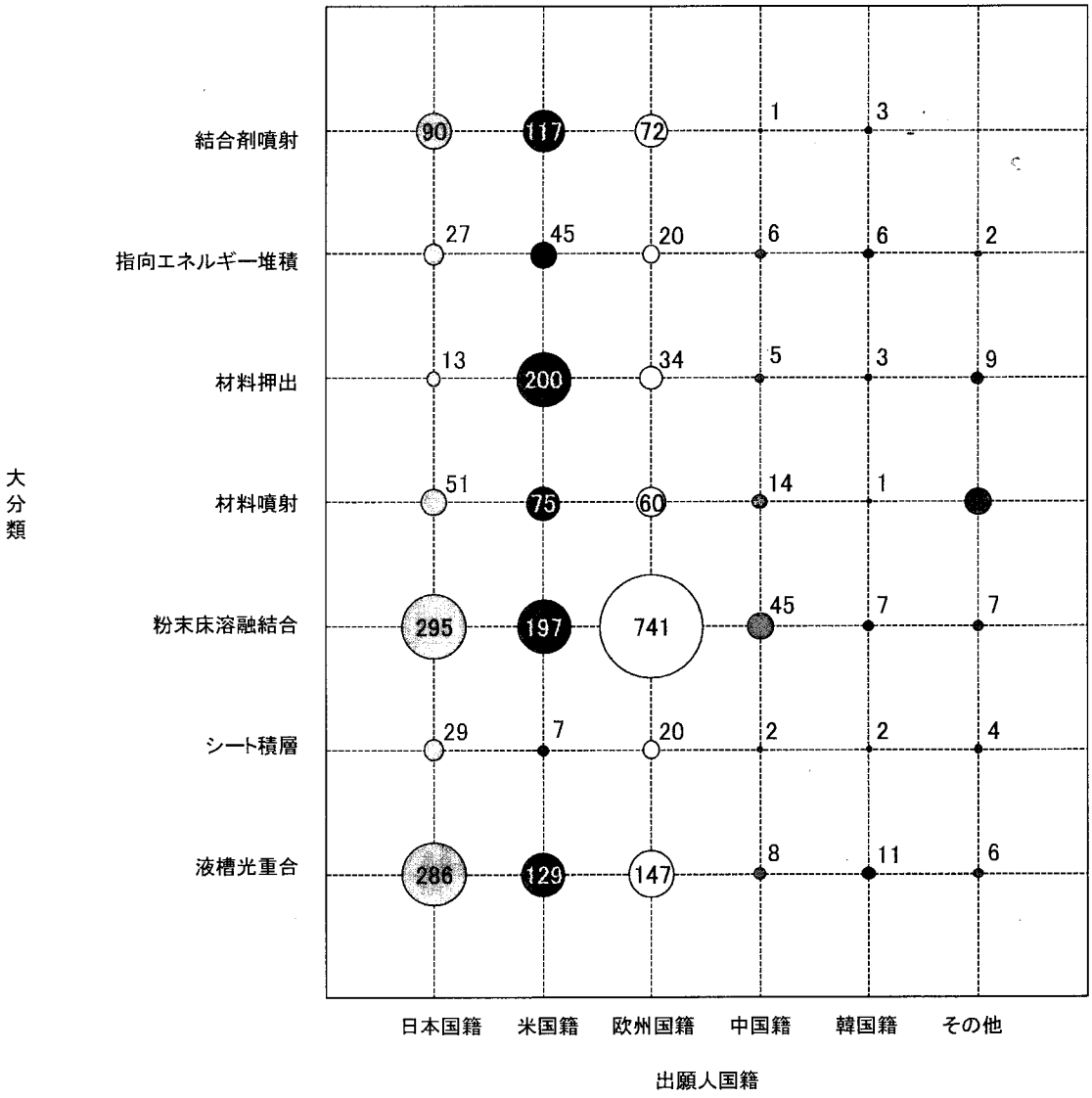
図 8　中分類別－出願人国籍別出願件数
（日米欧中韓への出願、技術区分：付加製造材料、大分類：主材料、
出願年（優先権主張年）：2001-2011 年）



(2)　付加製造方式

調査対象期間（優先権主張年ベース 2001 年～2011 年）における日米欧中韓への出願について、「技術区分：付加製造方式」の大分類別の出願人国籍別出願件数を図 9 に示す。粉末床溶融結合の累積出願件数が 1,292 件と、液層光重合の 587 件、結合剤噴射の 283 件、材料押出の 264 件を引き離す。粉末床溶融結合において欧州は 57%と過半数を超える一方、液層光重合においては日本が 49%とほぼ半数を占め、結合剤噴射および材料噴射においては米国が独走している。出願国籍ごとに異なる造形方式に興味関心が向いていることが示唆される。中国も粉末床溶融結合において 45 件と比較的多数の出願を果たしている。

図 9　大分類別－出願人国籍別出願件数
（日米欧中韓への出願、技術区分：付加製造方式、出願年（優先権主張年）：2001-2011 年）



調査対象期間（優先権主張年ベース 2001 年～2011 年）における日米欧中韓への出願について、「技術区分：付加製造方式」の出願人国籍別出願件数推移を大分類別に図 10 から図 16 に示す。ほぼ全ての付加製造方式において 2000 年代初頭にピークを迎え、その後横ばいないし減少傾向にある。

図 10　出願人国籍別出願件数推移
（日米欧中韓への出願、技術区分：付加製造方式、大分類：結合剤噴射、
出願年（優先権主張年）：2001-2011 年）

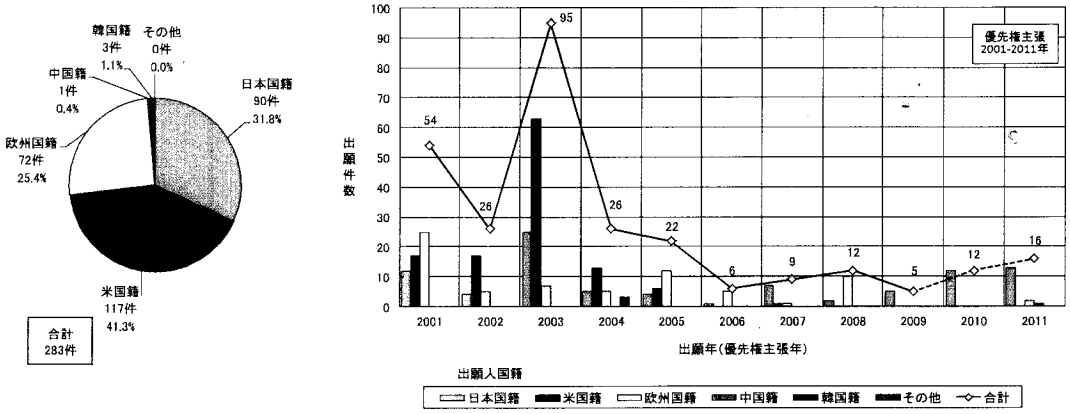


図 11　出願人国籍別出願件数推移
（日米欧中韓への出願、技術区分：付加製造方式、大分類：指向エネルギー堆積、
出願年（優先権主張年）：2001-2011 年）

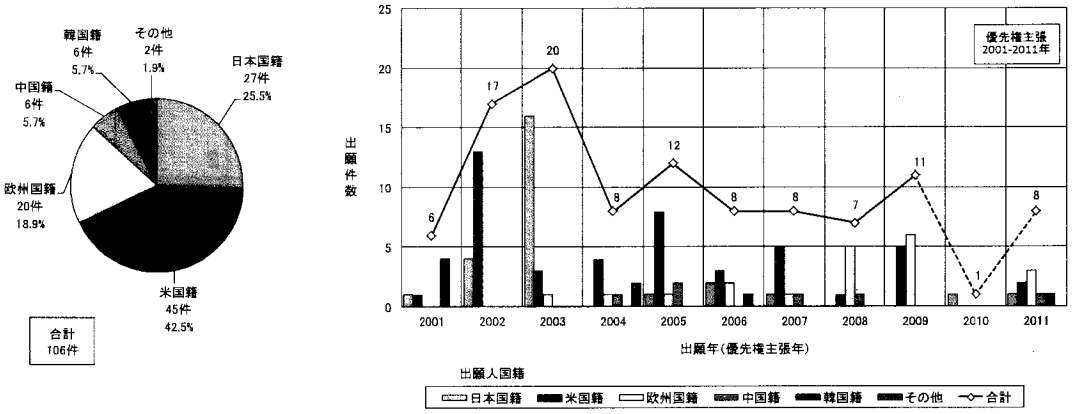
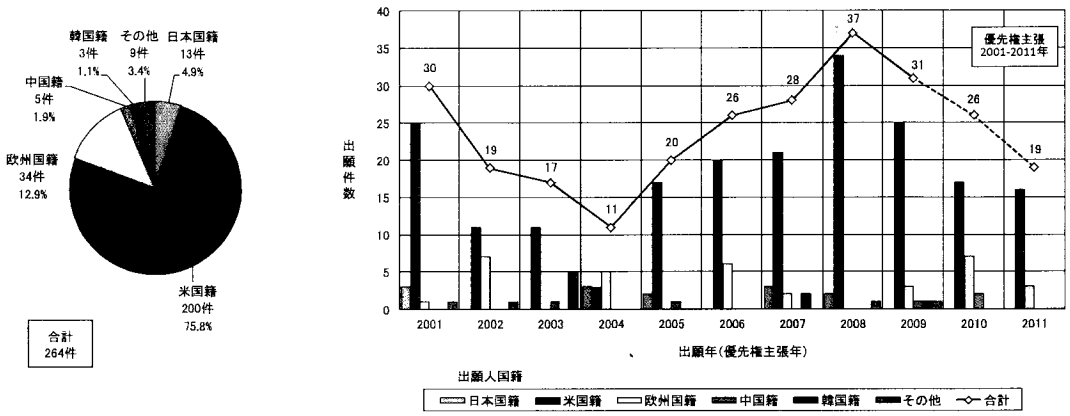


図 12　出願人国籍別出願件数推移
（日米欧中韓への出願、技術区分：付加製造方式、大分類：材料押出、
出願年（優先権主張年）：2001-2011 年）



注）2010 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出願データを反映していない可能性がある。