

三次元積層造形技術と公設試験研究機関の先導的役割

－ 歴史、技術比較、普及、地域性と技術支援 －

松下 隆

要約

本稿では、三次元積層造形技術について、歴史、他技術との比較、普及状況を考察し、本技術について既存調査研究に留まらず、装置を保有する企業や公設試験研究機関（以下、「公設試」と略する）でのヒアリングを通じて論考したものである。これまで、筆者による延べ30回を超える講演のために作成した資料の一部を再構成し、新たな考察を加えた。本稿により公設試による三次元積層造形技術の市場への“先導的な”技術普及の一端を考察し、わが国における技術先導政策の要である公設試の役割を考察した。

研究では、三次元積層造形技術が1980年代に熱可塑性樹脂、紫外線硬化樹脂の市場化とともに特許が申請された工法であること、日本人の公設試の技術者2名（小玉秀男、丸谷洋二）がその技術開発、工法などをリードする先導的な役割を担ったことを明らかにした。次に、三次元積層造形技術が基盤的技術3体系（除去、付加、変形加工）と比して「癖の強い技術」との分析から、この手ごわい技術を普及するために研究を重ねる公設試の役割を示した。併せて本技術が大企業にとってはすでに普及過程にあること、一方、中小企業では普及期に入ったことを示し、業種や規模間の普及格差についてまとめた。最後に、近畿の公設試が保有する三次元積層造形機の実態を示し、なかでも特徴的な福井県と大阪府の公設試における技術支援状況や役割を考察したうえで、公設試が新たな技術先導を果たすうえでの対応策について試案を提示した。

目次

1. はじめに
2. 三次元積層造形技術の概要、歴史、特徴
3. 三次元積層造形技術の普及状況
4. 公設試験研究機関の装置保有と支援の方向
5. おわりに

1. はじめに

筆者は三次元積層造形技術（3Dプリンタを用いた造形技術）に関して、2012年から4年間で外部の団体及び企業むけに延37回、延受講者数約1,700人¹⁾に対して講演を行わせていただいた。講演で作成した資料は、その時々で収集した知識、情報、および担当した調査の結果などを元に見直し、改訂してきた。その講演資料でまとめた情報は一定量に及び、有用な情報だと考える。

これら講演で使用したレジュメに記載した情報は、これまで講演資料として配布されるに留まり、報告書や論文などと比べて用途が絞られ、著作物としての普及価値は一時的・限定的であった。そこで、再度講演録を再構成し、その価値を見直そうとするものである。

本稿は、講演資料を元に主要な部分について、再構

成したうえで、とりまとめた。筆者が担当した「三次元積層造形技術（3Dプリンタ）の活用」に関する調査研究（平成27年3月（2014年度）、資料No.138）と、「金型製造業、成形業におけるイノベーション～三次元積層造形技術がもたらす変化～」（平成28年3月（2015年度）、資料No.154）の2つの調査結果を中心に、既存資料を元に作成した。

さて、公設試験研究機関に関する既存研究として、丹念なインタビューに基づき定性情報から公設試のあり方を検討した植田浩史、本多哲夫（2006）がある。

他に、福川信也（2007）は、公設試の公設試験研究機関現況2000-05年度版」の定量的データから公設試の活動タイプを3つのグループに分け、大阪市立工業研究所が人的資源のクオリティが高く、論文や特許出願といった研究アウトプットも高い水準の公設試に該当し、大阪の中小企業が大都市にあり研究開発集約的であるが、その相手となる大学がそれら企業に振り向かず（大阪大学など研究指向の大学は世界中の研究機関と協業したい）連携していないため、その高度な研究の役割を担うために研究指向型の公設試づくりを進めてきたことは合理的だとする内容で示唆に富む。

他に、西尾好司（2008）は工業系の公設試に限定し、

インタビューによる定性データから 3 つのあり方を提言している。1 つは自治体の支援において公設試の役割は住み分けが必要（例えばコーディネーターは公設試の研究者ではなく、専門スタッフに任せること）という。2 つに広域連携の推進が必要だとする、3 つに企業訪問を一層強化する必要性を主張している。

これら研究アプローチとはやや異なり、本稿では公設試が地域中小企業に対して行う新たな技術の先導的役割という概念を元に考察するものである。

2. 三次元積層造形技術の概要、歴史、特徴

2.1 概要

三次元積層造形技術は、樹脂や金属等の材料を薄い積層で垂直方向に積む工法である。現在、正式には米国の規格協会である ASTM²⁾が Additive Manufacturing（付加製造技術）と名称を統一したうえで、7 つの製造方法を規定している。国内では、平成 27 年 12 月に経済産業省と国立研究開発法人日本医療研究開発機構が「積層造形医療機器開発ガイドライン 2015（総論）」³⁾が規定された。

ただ呼称に関して、一般人向けには「3D プリンタ」、専門家向けには「付加製造技術」「AM(Additive Manufacturing)」、「三次元積層造形技術」などと呼称がばらついている。1980 年代から装置開発ベンチャーを立ち上げた株式会社アスペクト代表取締役早野誠治氏は、「1980 年代は『光造形法』、その後『RP (Rapid Prototyping)』、『三次元積層造形法』、『3D プリンタ』などと変化している」と経過を語る⁴⁾。本稿では、技術名称を明示し、知名度がある「三次元積層造形技術」の用語を使用する。

さて、ASTM が規定する 7 つの工法とは以下のものである。

1. 粉末床溶融結合 (Powder bed fusion) : 熱エネルギーによって粉末床の特定領域を選択的に溶融結合
2. 指向エネルギー堆積 (Directed energy deposition) : 粉末材料を供給しつつ、熱エネルギーを集中することによって溶融結合
3. シート積層 (Sheet lamination) : 材料シートを接合して造形
4. 材料押出 (Material extrusion) : 材料をノズルなどの開口部から選択的に押し出し堆積
5. 材料噴射 (Material jetting) : 材料を液滴に噴射し

選択的に堆積、紫外線などで硬化

6. 結合剤噴射 (Binder jetting) : 液状の結合剤を選択的に噴射して粉末材料を結合

7. 液槽光重合 (Vat photopolymerization) : 槽内の液状光硬化樹脂を選択的に噴射して粉末材料を結合

これら 7 つの工法に加えて、日本独自で考案された「積層と切削の複合法」(三次元積層造形技術と切削加工を組み合わせた工法と装置⁵⁾)を、8 つ目の工法として加えることが必要であろう。

造形に使用する材料として、樹脂、金属等があり、それぞれの工法と材料は溶解温度や適性に応じて限定的な関係にある (表 2.1)。

表 2.1 工法と材料

工法	材料	樹脂	金属	その他
1. 粉末床溶融結合法 (通称:パウダーベッド)			チタン、ステンレス、コバルトクロム、インコネル、アルミ、セラミックス	
2. 指向エネルギー堆積法 (デポジション)			各種金属粉末	
3. シート積層		熱可塑性樹脂		紙 セラミックス
4. 材料押出法 (FDM)		熱可塑性樹脂		
5. 材料噴射法 (インクジェット)		光硬化性樹脂 ワックス		
6. 結合剤噴射法 (Jet/バインド)		熱可塑性樹脂		スターチ 鋳砂 石膏 セラミックス
7. 液槽光重合法 (光造形)		光硬化性樹脂		セラミックス
8. 複合法			各種金属粉末(鉄、チタン、ステンレスなど)	

(注) 工法欄の () は通称。「FDM」は Stratasys 登録商標。(出所) 筆者作成

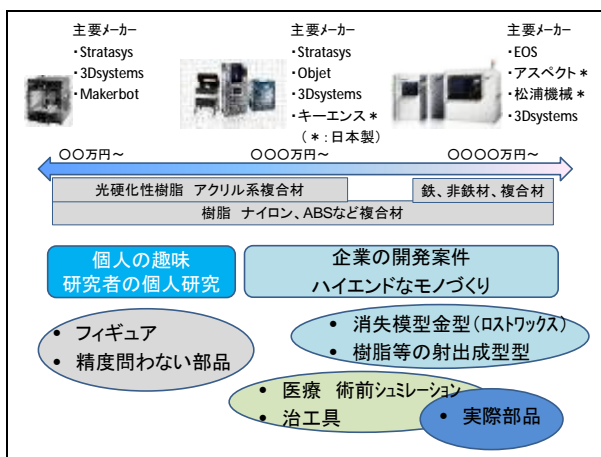
1. 粉末床溶融結合法では熱可塑性樹脂、金属でチタン、ステンレス、コバルトクロム、インコネル、アルミ、セラミックスなど、2. 指向エネルギー堆積法では各種金属粉末、3. シート積層では熱可塑性樹脂、紙、セラミックス、4. 材料押出法では熱可塑性樹脂、5. 材料噴射法では光硬化性樹脂、ワックス、6. 結合剤噴射法では熱可塑性樹脂、スターチ、鋳砂、石膏、セラミックス、7. 液槽光重合法では光硬化性樹脂、セラミックス、8. 複合法では各種金属粉末が対応している。

現在販売されている三次元積層造形機の価格帯は、4. 材料押出法によるもので、およそ 100 万円までと比較的安価だが、5. 材料噴射、6. 結合剤噴射、7. 液槽光重合法によるものは、数千円であり、1. 粉末床溶融結合、2. 指向エネルギー堆積法、8. 複合法によれば、1 億円と高価となる (図 2.2)。

現在、日本で販売されている装置の多くが海外メーカー製であり、1. 粉末床溶融結合、2. 指向エネルギー堆積、7. 液槽光重合、8. 複合法の一部のもので日本メーカー製がみられる。

用途としては、4. 材料押出法による安価な装置は、精度が低いため、ホビーユースなどに使用される。価格が中間の5. 材料噴射、6. 結合材噴射、7. 液槽光重合合法などによる造形物は、試作や消失模型金型、治工具の用途で使用される。最後に、1. 粉末床溶融結合、2. 指向エネルギー堆積法による高価な装置では、金属を主に造形し最終部品などを製作するために用いられることが今後増加するとみられている。

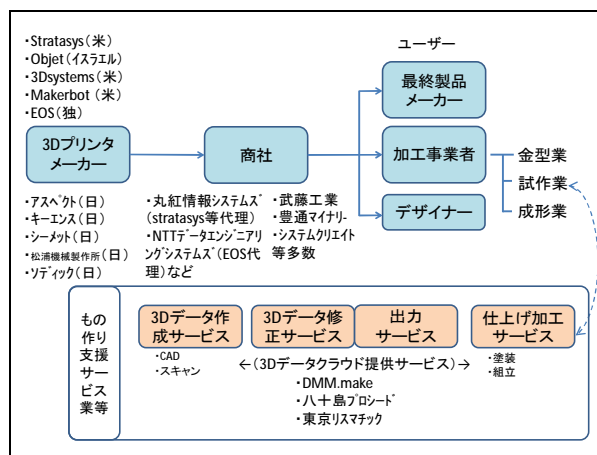
図 2.2 販売装置と用途



(出所) 筆者作成

次に、この技術に関して企業活動等を行う業界のプレイヤーは、3Dプリンタのメーカー、商社、ユーザーのみならず、他に「ものづくり支援サービス業」が重要である(図 2.3)。ものづくり支援サービス業はデータ作成、修正、出力、および仕上げ加工を行う役割を担う。そのため、本産業が高度化していくためには、これらサービス業の集積を活用することが重要である。サービス業の立地は都市部であり、メーカーの立地場所と都市部をつなぐことで業界が活性化するはずである。

図 2.3 3D プリンタ関連のプレイヤー



(出所) 筆者作成

2.2 歴史

次に、本技術に関する歴史についてまとめたい。本技術の基礎となるものは、紙などを何層にも重ねて製作した立体像や立体地図の製法である。その技術を応用し、3軸の数値データを用いて制御し、熱可塑性樹脂を熱や紫外線等で硬化させ立体像を作り上げるものが生みだされた。表 2.4 に示すように、1980年に世界で初めて名古屋市工業研究所⁶⁾の研究者小玉秀男氏が「立体図形作成装置」として特許出願（出願人・発明者ともに小玉氏）⁷⁾した。その後、本特許に関して審査請求していないため、知的財産権は得ていないが、別に論文発表を行うなど発明実績は世界から高く評価されている⁸⁾。

一方、大阪府立工業技術研究所⁹⁾の研究者丸谷洋二氏は紫外線硬化樹脂を用いて立体物を作る方法を考案し、1984年に「光学的造形法」として特許出願（発明者：丸谷氏、出願人：大阪府）に至る。その後、審査請求を経て大阪府が特許権を1988年に取得した¹⁰⁾。丸谷氏は継続して機器開発を目指し、民間企業とともに「光造形研究会」を結成するなど精力的に活動した。その後、三菱商事㈱と組み、1988年光造形法による市販装置「SOUP」を開発した¹¹⁾。その後、研究所を退職し大阪産業大学工学部の教授となり、塩粉末を用いた鋳造用の消失模型造形装置の開発など多数の成果を残した¹²⁾。

小玉氏は特許を先願し、発明として認められ数々の表彰を受けている¹³⁾。一方、丸谷氏は表彰等の実績は少ないものの、工法について知的財産権を取得し、実用機を開発、上市するなど実業面での貢献が高い。

小玉氏、丸谷氏ともに公設試験研究機関の研究者として三次元積層造形技術の開発とその実用化に多大なる貢献をしている。これより、公設試験研究機関が技術の実用化と普及について重要な役割を担ってきたことがわかる。

表 2.4 小玉秀男と丸谷洋二の発明

	小玉秀男	丸谷洋二
特許出願	昭和55年(1980)4月12日	昭和59年(1984)5月23日
特許公開	昭和56年(1981)11月10日	昭和60年(1985)12月7日
特許公報	—	昭和63年(1988)8月12日
	発明者:小玉秀男 出願人: 同じ	発明者:丸谷洋二 出願人:大阪府
発明の名称	立体図形作成装置	光学的造形法
従来技術と発明の目的	<ul style="list-style-type: none"> ・立体地図、建物模型 ・歯車等の機械部品 ・内孔構造をもつ模型 紙や発泡スチロールの切出し ↓ 加工の手間軽減、精度向上	<ul style="list-style-type: none"> ・鋳型製作時に必要な模型 ・切削加工の微い制御用模型 ・形彫放電加工用の模型 NCフライス盤による切削加工 ↓ 加工の手間軽減、精度向上
経過情報	未請求	審査請求

(出所) 特許情報を元に筆者作成

2.3 技術の特徴

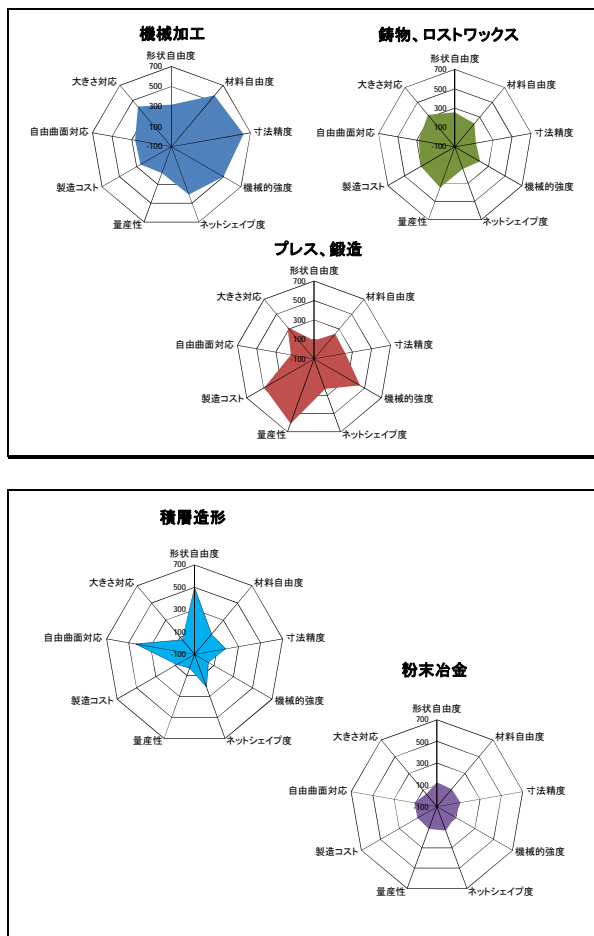
次に、三次元積層造形技術の特徴について、大阪府内製造業に対するアンケート調査結果を元に、他の技術と比較する。

比較する技術は、「機械加工 (5 軸含む)」、「鋳物・ロストワックス」、「プレス・鍛造」、「粉末冶金」、「積層造形」の5つの加工法について、1. 形状自由度、2. 材料自由度、3. 寸法精度、4. 機械的強度¹⁴⁾、5. ネットシェイプ度¹⁵⁾、6. 量産性、7. 製造コスト、8. 自由曲面对応¹⁶⁾、9. 大きさ対応の9項目について優位と考える順に3つ選択する方法を採った (図 2.5)。このような各技術の特徴について、企業者アンケートを実施し、分析した調査研究結果は他にみられない。

レーダーチャートの大きさは、回答者数の多さ (面積が大きいほど優位と認識する回答者が多い、つまり認知度が高い) を示し、いびつな形状は技術がある部分に突出していることを示す。

その結果、大阪府内の多くの企業が保有する技術である「機械加工」は、大きな面積を有し、材料自由度、寸法精度、機械的強度に優れる比較的尖がり度合いの少ない形状となった。

図 2.5 各技術のレーダーチャート



(出所) 大阪産業経済リサーチセンター (2015) 『三次元積層造形技術の活用に関する調査研究』, pp69-72

「鋳物・ロストワックス」は大きさ対応・量産性、「プレス・鍛造」は量産性に特徴がみられる。一方、「粉末冶金」は面積が極端に狭く、大阪企業では他の工法に比して馴染みがないことが伺える。さて、「三次元積層造形技術」は面積が狭く、形状自由度と自由局面对応に尖がっている。

このことから、企業者は他の技術と比べて、三次元積層造形技術については「尖がり具合の強い、癖の強い技術」という判断をしていることが分析できる。

こうしたやや尖がった技術は、万人受けでなく、全ての企業で採用されるものではないが、産業界でイノベーションを引き起こす可能性があると考えられることから、公設試験研究機関において装置の配置や技術セミナーを開催するなど、支援体制が敷かれている。

3. 三次元積層造形技術の普及状況

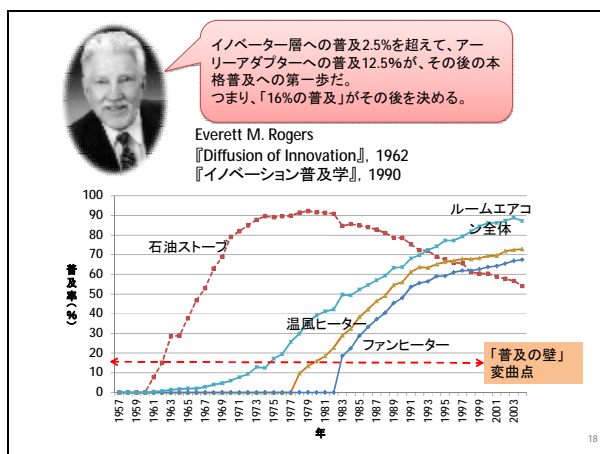
ここまで、三次元積層造形技術が「尖がり具合の強い、癖の強い技術」であることを示した。この技術が日本、特に大阪地域でどの程度普及しているのか現状を知りたくなるだろう。

それにはまず、英国の社会学者 Rogers, E. M. の「イノベーションの普及」理論を知る必要がある。Rogers は社会システムの中で、イノベーションに関する普及の過程とそのメカニズムについてそれまでの先行研究を総括し、一般法則を導き出した。現代ではその理論は最も広く知られる普及理論となっている。

Rogers (1962) では「アーリー・アダプター」と「アーリー・マジョリティ」とのポイントである、普及16.0%を「inflection point」と呼び(藤竹(1966)では「変曲点」と訳す)、普及への大きな変化点だとしている。一般には「普及の壁」と呼ばれる(図3.1)。

図3.1では、日本での石油ストーブなどの暖房機の普及データについて示したものであり、石油ストーブは1962年頃、ルームエアコンは1975年頃普及の壁を突破した。その後、両機器は1993年頃に新しいルームエアコンが石油ストーブに代替したことが伺える。

図 3.1 主要耐久消費財の普及率



(出所) 内閣府「主要耐久消費財の普及率」を元に筆者作成

3.1 日本における各種調査比較

大阪商工会議所(2013)、経済産業省(2014)、大阪産業経済リサーチセンター(2015)、同センター(2016)のこれら4つの調査資料について比較分析している(表3.2, 3.3)¹⁷⁾。

アンケート項目の「本格的活用」および「試験的活用」の二項目を加えたものを「活用している」とまと

めて集計し、活用率を普及率に読み替えて分析した。その結果、大阪商工会議所(2013)では7.8%、経済産業省(2014)では、大企業分の集計結果が27.7%、中小企業のそれが7.7%、大阪産業経済リサーチセンター(2014)が14.9%、金型・成形業を対象とした大阪産業経済リサーチセンター(2015)では18.2%であった。

表 3.2 活用状況に関する調査結果(規模差)

	大阪商工会議所 (2013)	経済産業省 (2014)
対象規模	・小規模事業者	・大企業, 中小企業 集計別
活用率	7.8%	大企業: 27.7% 中小企業: 7.7%
調査数	1,128 社	4,112 社
業種	・製造業 (74.9%) ・非製造業 (25.1%)	・製造業 (100人超: 全て, 100人以下: 機械系中心)
対象抽出	会員企業から 有作為抽出	民間データベースから 有作為抽出
報告書名	『3D プリント活用に関する調査』	『ものづくり白書』2014, p. 109

(出所) 大阪産業経済リサーチセンター (2016) ,p.46

表 3.3 活用状況に関する調査結果(業種差)

	大阪産業経済リサーチ センター (2015)	大阪産業経済リサーチ センター (2016)
対象規模	・大企業, 中小企業 (4人以上)	・中小企業等 (4人以上)
活用率	14.9%	18.2%
調査数	242 社	187 社
業種	製造業	金型製造業, 成形業
対象抽出	総務省名簿から 無作為抽出	総務省名簿から 業種悉皆
報告書名	『三次元積層造形技術の活用に関する調査研究』	『金型製造業, 成形業における技術変化への対応に関する調査研究』

(出所) 大阪産業経済リサーチセンター (2016) ,p.46

まず、規模間格差については、経済産業省(2014)の調査から大企業では活用率27.7%であり、「普及16%の壁」は通りすぎていると考える¹⁸⁾。三次元積層造形機の価格が高いこと、中小企業が有する加工体系が除

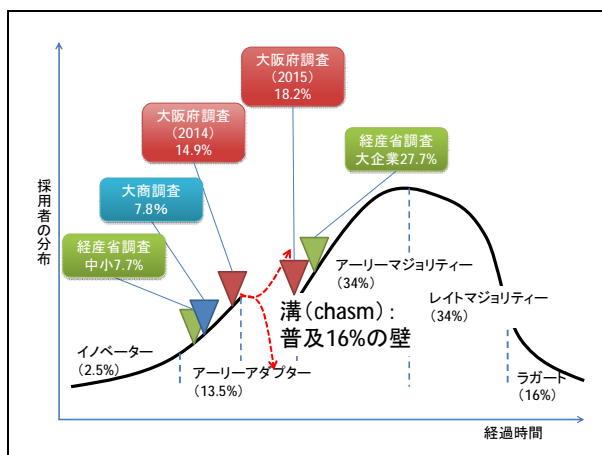
去加工や変形加工などに特化していることなどが規模間格差を生じさせる理由と考えられる。

一方、中小企業については、活用率 7.7%であり 10%未滿の結果となった。このことから「普及 16%の壁」にはまだ至っていない状況とみられる(図 3.4)。

次に、業種間格差については、大阪産業経済リサーチセンター(2015)と同(2016)の二つを比較する。2つの調査結果は大阪府内のサンプル企業を 2015 年調査では製造業全体を、2016 年調査では金型製造業と成形業を対象とし実施している。その結果、製造業全体を対象とした 2015 年調査では活用率が 14.9%で、「普及 16%の壁」に至っていないが、金型製造業と成形業(同 2016)のそれは 18.2%と「普及 16%の壁」を超えている。この 2つの業種では一般のものづくり業種よりも三次元積層造形技術が普及していることを裏付ける。

このように、この調査結果を先の普及理論に当てはめ考察すれば、①大企業では普及率が 20%を超え、普及理論からみれば「普及状況」にあること、②規模的格差、業種的格差(一般の製造業と金型業や成形業で)が活用率に影響することが明らかになる。

図 3.4 調査結果の普及理論への当てはめ



(出所) 拙稿(2016)「現代における三次元積層造形技術の普及一普及理論による考察」『産開研論集』, 第 28 号, p.22

4. 公設試験研究機関の装置保有と支援の方向

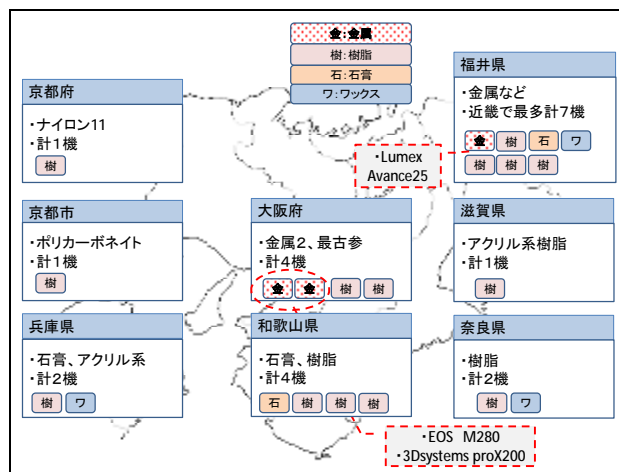
大企業では既に普及、中小企業では業種間で差はあるものの普及期に入りつつあるとの調査結果を受け、ここでは近畿の公設試験研究機関¹⁹⁾における三次元積層造形機の保有状況とその支援の特徴、方向について考察したい。

4.1 近畿の公設試験研究機関の装置保有

近畿地域の公設試験研究機関(以下、「公設試」)は、福井県工業技術センター、滋賀県工業技術総合センター、京都府中小企業技術センター、奈良県産業振興総合センター、地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所(以下、「府立産技研」)、兵庫県立工業技術センター、和歌山県工業技術センター、あわせて政令指定都市の京都市には、京都市産業技術研究所、大阪市：地方独立行政法人大阪市立工業研究所(以下、「市工研」)、計 9 つの公設試が設置されている²⁰⁾。

9 つの公設試の中で、2016 年 12 月現在で三次元積層造形機を有するのは、市工研を除く 8 組織で、約 20 台保有する(図 4.1)。

図 4.1 近畿の公設試で保有する三次元積層造形機



保有公設試	機種	メーカー	使用材料	
福井県工業技術センター	LUMEX Avance-25	松浦機械製作所	マルエーゼンジン鋼、Ti-6Al-4V、SUS316L	
	Blade-1	Hotproceed	樹脂フィラメント(ABS、PLA)	
	SEMplix300	アスベクト	樹脂粉末(ナイロン12(白)、ナイロン11(白))	
	Spectrum Z510	Zcorporation(現 3dsystems)	石膏パウダー	
	Pattern Master	Solidscape	フックス(熱溶解性樹脂)	
	Creatr Dual	Leapfrog	樹脂フィラメント(ABS、PLA、PVA)	
	SOUP II 600GS	シーメット	紫外線硬化性エキボシ樹脂、TSR-821(高粘性樹脂)	
	滋賀県工業技術総合センター	Connex500	Objet(現Stratasys)	アクリル系樹脂
		RaFaEl 300F	アスベクト	樹脂粉末(ナイロン11(ASPEX-FPA 黒))
		地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所	AGLISTA-3100	キーエンス
EOSINT-M280			EOS	マルエーゼンジン鋼、Ti-6Al-4V、Al-10Si-0.4Mg
兵庫県立工業技術センター	FORMIGA P110	EOS	PA2200(ポリアミド12ベース)、PrimeCast101(ポリスチレン系)	
	proX	3dsystems	I7-4PH(高強度ステンレス鋼)	
	Connex500	Objet(現Stratasys)	アクリル系紫外線高価樹脂	
奈良県産業振興総合センター	ZPrinter310	Zcorporation(現 3dsystems)	石膏、澱粉、プラスチック、セラミック+石膏混合粉末	
	CubeX	3dsystems	樹脂フィラメント(ABS、PLA)	
	ThermoJet	3dsystems	フックス(熱溶解性樹脂)	
和歌山県工業技術センター	Connex260	Objet(現Stratasys)	アクリル系硬質樹脂、PPライク樹脂	
	NRM-6000	シーメット	エキボシ樹脂	
	ZPrinter450	Zcorporation(現 3dsystems)	石膏	
	CubePro Trio	3dsystems	樹脂フィラメント(ABS、PLA)	
地方独立行政法人大阪市産業技術研究所	FORTUS 360mc-L	Stratasys	ポリカーボネイト	

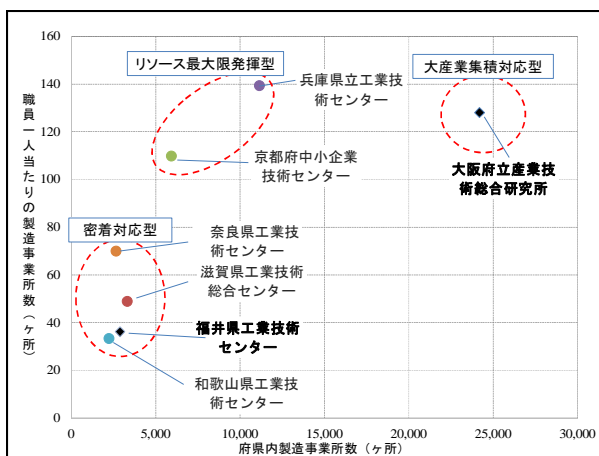
(出所) 経済産業省近畿経済産業局(2015)『近畿地域公設試験研究機関ガイド』を元に筆者作成(2016年11月現在)

保有する種類別では、多くの公設試では、樹脂の造形機を保有するが、福井県工業技術センター、府立産技研では、全国でも少数派となる金属材料を造形できる装置を有する。こうした造形機の種類を変えて保有するのはなぜだろうか。公設試の装置の選択は、組織の戦略や経営計画によるもので、それらは地域産業の特性を勘案してのこととなる。また、地域によって製造に関する事業所数の大きさに差異があり、そうした要因から公設試の役割や相談、依頼試験などの対応面で差異が生じている。

4.2 3つのタイプに分類される公設試

近畿の各府県における製造事業所数は大きく異なる。各公設試の総職員数から一人当たりの製造事業所数を割り出して分析を試みた。これより、各公設試では技術相談をはじめとする対応に違いが生じるものと推測される(図4.2)²¹⁾。

図4.2 職員一人当たりの製造事業所数



(出所) 2008 (平成 20) 年「工業統計表 従業者 4 人以上の事業所」, および近畿経済産業局 (2008) 『はじめての公設試・産総研』, pp107-118 からのデータ収集による

大阪府では製造事業所数が 2 万を超える大規模産業集積であり、府立産技研の職員数 189 人、一人当たりの製造事業所数は約 130 となる。近畿では他の地域と比して離れて位置し、「大産業集積対応型」といえよう。こうした場合、多くの企業が有する技術課題は多岐にわたることから細やかな対応は困難である。対応方法としては、先導的な役割や高度な技術支援に徹する方法、共同研究を主力にする方法など様々である。また、

繊維関連の地場産業への技術対応と、電池関連の先端技術への技術対応とでは限られた人的リソースをどう振り分けるのか非常に難しい舵取りを求められている。

製造事業所数が 5000 ヶ所を下回り、一人当たり製造事業所数が 80 ヶ所を下回る地域は北から、福井県、滋賀県、奈良県、和歌山県が該当する。これら地域の公設試は「密着対応型」といえよう。

最後に、上記 2 つの中庸の地域が京都府と兵庫県である。この 2 地域は製造事業所数が約 1 万 4 千ヶ所までで、職員一人当たり対応製造事業所数が 100~140 ヶ所程度である。人材リソースを最大限発揮し対応する「リソース最大限発揮型」といえよう。

この 3 つのタイプによって、公設試に課せられる課題や目標はおのずと異なり、その対応の差異が三次元積層造形技術の先導的な支援に対する立ち位置が異なる一つの要因といえよう。

次に、これら公設試で特徴的な組織、地域を取り上げ詳しく分析し、実態を深掘りしたい。

4.3 福井県工業技術センターの装置保有と産業支援

まず、地域産業に特色を有する福井県工業技術センターについてみていきたい。

福井県では、地場産業の眼鏡産業が有名である。その眼鏡産業は、平成 26 年「工業統計表 細分類」によれば事業所数では第一位、従業者数では第二位と県を代表する産業²²⁾であり、歴史と技術を蓄積した伝統産業の代表格である(表 4.3)。

眼鏡産業を支援するために福井県工業技術センターでは、金属から樹脂まで多様なバリエーションに富む近畿で最大規模数の三次元積層造形機を保有する。また、「眼鏡研究グループ」を組織化し、1.眼鏡材料の試験・研究・指導、2.表面処理技術の研究・指導、3.3D プリンター等迅速試作・製造技術の研究・指導を行うなど他の都道府県にみられない特色を有する²³⁾。

センターでは保有する装置により眼鏡本体の試作を担い素早いモデルチェンジに対応し、また装飾性に富む高付加価値を有する金属眼鏡の試作に貢献している。金属造形については、実際に近い組成の金属で造形し重さ等を確認し、金属造形で樹脂成形の金型を製造するなど将来の用途開発に向けた研究を行うなど専門的かつ実用的な企業支援を行っている。

表 4.3 福井県の主要な業種（上位 20%未満）

産業分類		対製造業 計割合	累計
●事業所数		(%)	(%)
製造業計	2,215		
眼鏡製造業（枠を含む）	194	8.8%	8.8%
絹・人絹織物業	90	4.1%	12.8%
オフセット印刷業（紙に対するもの）	63	2.8%	15.7%
細幅織物業	60	2.7%	18.4%
●従業者数		(人)	(%)
製造業計	68,502		
抵抗器・コンデンサ・変成器・複合部品製造業	4,684	6.8%	6.8%
眼鏡製造業（枠を含む）	4,305	6.3%	13.1%
自動車部分品・附属品製造業	3,710	5.4%	18.5%
●製造品出荷額等		(億円)	(%)
製造業計	18,918		
抵抗器・コンデンサ・変成器・複合部品製造業	1,447	7.6%	7.6%
自動車部分品・附属品製造業	1,194	6.3%	14.0%
その他の電気機械器具製造業	980	5.2%	19.1%

(出所) 平成 26 年「工業統計表 細分類」

加えて、眼鏡産業に従事する企業向けに 3 次元 CAD 実習セミナーを開催し、開発に際し図面のデジタル化と高度化技術を県内企業に普及することで、三次元積層造形によるものづくりの高度化を進め、企業の開発期間短縮、コスト削減に寄与している。

4.4 大阪府立産技研の装置保有と産業支援

続いて、府立産技研について事例を挙げる。府立産技研は 2012（平成 24）年に地方独立行政法人として、新たなマネジメントで歩み出した。

さて、大阪産業は金属部品、量産技術を主体とした多種多様性が特徴である。事業所数では印刷業が多いという都市型産業の特徴を有するものの、以下上位を金属関連の業種が占める（表 4.4）。歴史的にも生駒山麓の鋼線業や大阪砲兵工廠による金属製品の開発製造²⁴⁾によって金属関連の産業が重層化した。

こうした金属関連産業を主体とした企業への技術相談²⁵⁾や試験に関して産業の特徴から勘案すれば、金属積層造形技術の先導が求められる。

府立産技研では丸谷氏の貢献にも支えられ、1960 年代当初から造形機を配置し、あわせて金属積層造形機

を相当早い段階から導入した。さらに、1980 年ごろから高価な金属積層造形機を配置し、様々なテスト、それらの研究結果の公表と府内企業への技術移転を進めてきた。その積み重ねにより現在も金属積層造形に関して、全国でも有数のノウハウを有する拠点となっている。

表 4.4 大阪府の主要な業種（上位 20%未満）

産業分類		対製造業 計割合	累計
●事業所数		(%)	(%)
製造業計	17,501		
オフセット印刷業（紙に対するもの）	630	3.6%	3.6%
製缶板金業	441	2.5%	6.1%
ボルト・ナット・リベット・小ねじ・木ねじ等製造業	412	2.4%	8.5%
金属工作機械用・金属加工機械用部分品・附属品製造業	379	2.2%	10.6%
金属プレス製品製造業（アルミニウム・同合金を除く）	338	1.9%	12.6%
その他の金属表面処理業	278	1.6%	14.2%
金属用金型・同部分品・附属品製造業	250	1.4%	15.6%
その他の金物類製造業	224	1.3%	16.9%
鉄鋼シャースリット業	223	1.3%	18.1%
金属製品塗装業	217	1.2%	19.4%
●従業者数		(人)	(%)
製造業計	443,634		
オフセット印刷業（紙に対するもの）	13,849	3.1%	3.1%
すし・弁当・調理パン製造業	9,501	2.1%	5.3%
自動車部分品・附属品製造業	8,102	1.8%	7.1%
パン製造業	7,777	1.8%	8.8%
五軸受・ころ軸受製造業	7,120	1.6%	10.4%
ボルト・ナット・リベット・小ねじ・木ねじ等製造業	6,896	1.6%	12.0%
自動車製造業（二輪自動車を含む）	6,345	1.4%	13.4%
医薬品製剤製造業	6,275	1.4%	14.8%
木製家具製造業（漆塗りを除く）	5,234	1.2%	16.0%
自転車・同部分品製造業	5,149	1.2%	17.2%
農業用機械製造業（農業用器具を除く）	5,140	1.2%	18.3%
●製造品出荷額等		(億円)	(%)
製造業計	165,292		
石油精製業	17,258	10.4%	10.4%
医薬品製剤製造業	6,471	3.9%	14.4%
建設機械・鉱山機械製造業	3,666	2.2%	16.6%
鉄鋼シャースリット業	3,588	2.2%	18.7%

(出所) 平成 26 年「工業統計表 細分類」

そのため、それら技術ノウハウに関して要請される講演は、平成26年度において、金属造形に関するものだけでも年間30回を超える。今後も、樹脂と金属材料両面で本技術に関する研究、支援を継続していく予定である。

4.5 公設試験研究機関の支援の方向性

ここまで、福井県、大阪府における産業構成と公設試の支援についてみてきた²⁶⁾。

これまでみてきたように、地域の成形業や完成品メーカーなどは、試作品製作のためなどに公設試験研究機関の積極的な活用が進む。また、金属積層造形については、最終部品に供されることが増えているとのことである²⁷⁾。データ作成セミナーを開催し、設計スキルの技術移転を図っているが、3次元CADデータが作成できない企業向けには、一部作成代行を担うこともある。このように地域の産業や企業の技術レベルに応じた個別対応の支援体制を構築、実施している。これら個別対応が公設試の最大の生存領域といえよう。

今後はこれまで同様に、三次元積層造形技術に関して各地域の産業支援のノウハウ保有レベル、装置保有状況、開発状況等に合わせた密接な支援を実現していくことが求められる。

あわせて、本技術について、業界で課題とされている事柄に対しての対応策を考えたい。まず課題としては、①機器、メーカーごとに材料組成や、成形条件、成形品質等が異なること、②業界実態を把握することが困難であること、③プリンティングされたものの品質、ポーラス（内部の空洞形状）の程度、表面粗度などを測定する一定の方法が定まっていないこと、④機器の価格が高額であることなどが挙げられよう。

それでは公設試が実施可能な対応策を考えていくこととする。まず、課題①機器、メーカーごとのばらつきに対して、公設試が市場化されている機器について、メーカーデータとは異なるテストを実施し、その結果をオープン化、共有化することが求められる。これにより、企業は求める加工条件に適する造形方法や最適な造形機を選択することが可能となり、普及が進むはずである。

次に、課題②業界実態を把握できないことについては、業界で中心的な団体が組成されていないことによる。そのため、造形機の販売動向やノウハウなど経営面

での実態を捉えにくい。ただ、業界では目的が違えども団体は組成されている。一般ユーザー向けの教育などを目的とした「一般社団法人日本3Dプリンター普及協会」²⁸⁾、「日本3Dプリンティング産業技術協会」²⁹⁾がある。また、企業向けの支援を目的とし大阪で活動する「大阪3Dプリンター研究会」³⁰⁾、業界の重鎮株式会社アスペクト社長早野誠治氏が呼びかけメーカー同士が結束する「3Dプリンター振興協議会」³¹⁾などが組織化されている。ただ、「大阪3Dプリンター研究会」での継続的、大々的な活動に比べて、他の団体は活動実績が乏しいと感じる。したがって、技術先導の役割を有する各都道府県の公設試が業界団体の実態把握の役割の一部を協業し、業界振興の一翼を担うことも必要であろう。そのためには、公設試同士の連絡組織や情報を束ねてリードする組織を組成することが重要である³²⁾。

課題③測定方法の共通化については、積層造形技術で生じやすい造形物のポーラスをCT撮影し、検査する方法、表面形状の測定とその表現の統一化などを規格化することで、より本技術の見える化が進み、活用しやすくなると考える。公設試が保有するX線CT装置などの機器使用について協議を進め、企業活用促進を目指す必要がある。

最後に、課題④については、国家レベルで技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構（Technology Research Association for Future Additive Manufacturing；通称：TRAFAM³³⁾）が、現有の各種造形機より、造形速度や造形容積の大幅なスペックアップを実現する装置開発を行っている。この動きに期待したい。これら動きについても、公設試が積極的に関与し、蓄積済みの開発ノウハウを提供することで、開発を地に足のついた有意義なものにつなげていくことができる。

こうした課題を乗り越えるべく、各所にて公設試の人材やノウハウを生かすことができれば、三次元積層造形技術の普及とそれによるイノベーションが進み、国内及び海外の競争に対抗できる一手となることは間違いない。今後の公設試の活躍に大いに期待する。

5. おわりに

一番最初に講演依頼を頂戴した2012年当時、商社の担当者は「3Dプリンタについての過熱状況は、バブル景気のように、連日問合せの電話が鳴り止まなかった」

という。あれから 4 年が経過し、過熱状況は若干落ち着いたと聞く³⁴⁾。しかし、今なお私には企業や団体から問合せがあり、それら内容は 2012 年当時の「3D プリンタを導入したいんだけど」、「どんなことができますか」といった導入部分に関する問合せではなく、最近「導入した企業で生産効率が上がった、開発期間が短縮できたと聞く」、「金属のほうが実部品として使用できるから、価格が下がるのを待っている」といった実需を見出し設備投資に向けた動きの相談が多い。こうした相談について、私で対応困難な内容は府立産技研の研究員の助けを借りて対応するなど常に連携体制を築いている。これまでの講演を聴講いただいた企業の方々でも装置を導入し、技術イノベーションを進めているとの報告を受ける。本稿でまとめた内容が三次元積層造形技術の普及や公設試のさらに高まる先導的役割の重みについて考えるきっかけになれば幸いである。

〔注〕

¹⁾ 2013 年度：講義回数：14、延べ聴講者数：約 800 人

主催・講演名

1.大阪府ものづくり支援課・Mobio-café, 2.大阪商工会議所・3D プリンター活用研究会, 3.堺産業振興センター・平成 25 年度 産業技術セミナー, 4.岸和田商工会議所産学官交流プラザきしわだ・3D プリンターセミナー&企業等交流会, 5.大阪産業振興機構・3D プリンター・セミナー&技術展示フェア 2013, 6.東大阪商工会議所・トップス東大阪 10 月定例会, 7.一般社団法人日本塑性加工学会 関西支部・先端塑性加工技術コロキウム, 8.大正区役所・大正区ものづくりフェスタ, 9.大阪商工会議所・2 回目研究会, 10.大阪府ものづくり支援課・Mobio-café, 11.大阪府ものづくり支援課・Mobio-café, 12.大阪府ものづくり支援課・Mobio-café, 13.大都市圏産業集積研究会・研究会, 14.大阪ベイエリア金属系新素材コンソーシアム・第 9 回セミナー

2014 年度：講義回数：13、延べ聴講者数：約 500 人

1.パソナテック, 中小企業高度ビジネス支援センター・中小企業のものづくり展, 2.大阪鉄工団地協同組合, 産技研・産技研ラボツアー, 3.産技研, 産デセン・BMB, 産技研技術セミナー, 4.島根県商工労働部労働政策課・3D プリンタ活用セミナー, 5.如新会 大阪市立大学経済学部社会人 OB 会・2014 夏期シンポジウム, 6.メイカーズバザール大阪 2014 実行委員会・『メイカーズバザール大阪』, 7.阪神電鉄・梅田 MAGCAFE 講座, 8.忠岡町商工会・3 次元成形技術交流会 事業キックオフセミナー, 9.関西中小工業協議会・3D プリンターセミナー, 10.池田泉州銀行・いまさら聞けない 3D プリンター, 11.OSTE 大阪科学技術センター 近畿経済産業局・生き残り企業になるためのものづくり戦略, 12.産技研技術セミナー・産技研 3D プリンタ取扱・セミナー, 13.OSTEC 大阪科学技術センター・3D プリンタ技術交流 福井セミナー

2015 年度：講義回数：5、延べ聴講者数：約 240 人

1.一般社団法人生産技術振興協会・第 5 回フレンドシップサロン, 光加工産業への参入, 2.大阪商工会議所, パナソニック

ク株・3D プリンター活用講座, 3.岸和田商工会議所 共催産技研 3D プリンターセミナー, 4.AMPI 近畿高エネルギー加工技術研究所・3D プリンターセミナー, 5.大阪府工業協会 3D プリンタ実践導入研究会

2016 年度：講義回数：5、延べ聴講者数：約 250 名

1.大阪府工業協会・3D プリンタ実践導入研究会, 2.プラスチック人材アタッセ・研究会, 3.大阪産業経済リサーチセンター・経済動向報告会, 4.一般財団法人テクニカルコミュニケーション協会・テクニカルコミュニケーションシンポジウム 2016, 5.広島アディティブマニュファクチャリング研究会・次世代ものづくり技術セミナー3

²⁾ ASTM インターナショナル は、世界最大・民間・非営利の国際標準化・規格設定機関。工業規格の ASTM 規格を設定・発行している。旧称は米国材料試験協会(American Society for Testing and Materials)。 <https://www.astm.org/>

³⁾ 経済産業省積層造形医療機器開発ガイドライン 2015

http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/healthcare/downloadfiles/ihuku_GL/201512.30.pdf

⁴⁾ 2016 年 12 月 13 日 大阪府工業協会主催「3D プリンタ実践活用研究会」第 8 回での早野誠治氏講義レジュメ参照。

⁵⁾ 株式会社松浦機械製作所の LUMEXAvance シリーズ <http://www.matsuura.co.jp/japan/>

⁶⁾ 昭和 12 年名古屋工業指導所として業務を開始

<http://www.nmiri.city.nagoya.jp/>

⁷⁾ 特願昭 55-48210。北口 (1997) によれば、職場での同意が得られず、個人の発明になったこと、同年に実験成果を電気通信学会論文誌に投稿、翌 1981 年に掲載された。

⁸⁾ 小玉氏は昭和 59 年弁理士資格を取得、名古屋の特許業務法人快友国際特許事務所開設メンバーである。「3 次元情報の表示法としての立体形状自動作成法」(1981)『電子通信学会論文誌』, Vol.J64-C No.4, pp.237-241

<http://www.kai-u.jp/>

⁹⁾ 現) 地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所 <http://tri-osaka.jp/>

¹⁰⁾ 特願昭 59-105355, 特許公報昭 63-40650。

¹¹⁾ 元 (株) 東芝の知的財産部の北口秀美氏作成サイト

<http://www.thagiwara.jp/tp-history/kitaguchi.html>

¹²⁾ 丸谷洋二氏面談メモ。2012 年 8 月

¹³⁾ 平成 4 年「光造形法の発明に対して型技術協会賞受賞」、平成 7 年「光造形法の発明に対して英国でランク賞受賞」、平成 27 年「3D プリンターの先駆的研究に対して電子情報通信学会より業績賞受賞」 <http://www.kai-u.jp/staff01.html>

¹⁴⁾ 材料の力学的な変形あるいは破壊に対する強度のこと。

¹⁵⁾ 機械加工段階で 2 次加工の不要な度合い。

¹⁶⁾ 方向や曲率 (曲がり具合) を自由に調整できる曲線で形成された曲面。ベジエ曲線, B スプライン, NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) などによる。

¹⁷⁾ 詳しい普及考察は、拙稿 (2016) 現代における三次元積層造形技術の普及一普及理論による考察一『産開研論集』第 28 号, pp.15-25 に詳しい。

¹⁸⁾ 2014 年の調査において数社だが大手企業 (自動車関連, 家電関連) にインタビューした際にも、三次元積層造形機の保有ならびに活用している状況、普及率が高いことが確認できている。

¹⁹⁾ 地方公共団体が設置した試験所, 研究所, 指導所その他の機関である。地方公共団体における鉱工業振興, 農林水産業振興, 環境保全, 保健衛生の向上などといった行政目的に沿った試験・研究・高度な機器の供用・指導・相談等の業務を行う。略称は公設試 (こうせつし) と表記されることが多い、植田浩史, 本多哲夫 (2006), p.23 による。

²⁰⁾ それぞれの住所. 福井県工業技術センター: 〒910-0102 福井県福井市川合鷺塚町 61 字北稲田 10, 滋賀県工業技術総合センター: 〒520-3004 滋賀県栗東市上砥山 232, 京都府中小企業技術センター: 〒600-8813 京都府京都市下京区中堂寺南町 134, 京都府産業技術研究所: 〒600-8815 京都府京都市下京区中堂寺栗田町 91, 奈良県産業振興総合センター: 〒630-8031 奈良県奈良市柏木町 129-1, 地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所: 〒594-1157 大阪府和泉市あゆみ野 2-7-1, 地方独立行政法人大阪市立工業研究所: 〒536-8553 大阪府大阪市城東区森之宮 1 丁目 6 番 50 号, 兵庫県立工業技術センター: 〒654-0037 兵庫県神戸市須磨区行平町 3-1-12, 和歌山県工業技術センター: 〒649-6261 和歌山県和歌山市小倉 60 番地

²¹⁾ 元データを示す.

(施設名:職員数) 福井県工業技術センター: 80, 滋賀県工業技術総合センター: 68, 京都府中小企業技術センター: 54, 大阪府立産業技術総合研究所: 189, 奈良県工業技術センター: 38, 兵庫県立工業技術センター: 80, 和歌山県工業技術センター: 67

(出所) 近畿経済産業局 (2008) 「はじめての公設試・産総研」, pp.107-118

(製造事業所数) 福井県:2,891, 滋賀県:3,321, 京都府:5,932, 大阪府: 24,200, 奈良県: 2,658, 兵庫県: 11,147, 和歌山県: 2,229

(出所) 2008 (平成 20) 年「工業統計表 従業者 4 人以上の事業所」

²²⁾ 製造品出荷額では 590 億円 (対製造業計 3.1%) で第 7 位.

²³⁾ 他のセクションとして, 先端複合材料研究グループ, e-テキスタイル研究グループ, レーザ・電子線研究グループなど絞り込みと明確化することで戦略を明示する.

²⁴⁾ 詳しくは, 拙稿 (2012) 「大阪砲兵工廠と大阪産業集積との関係性 (鉄鋼, アルミニウム, 機械金属加工技術から考察)」を参照.

²⁵⁾ 平成 26 年度『業務年報』, 来所技術指導相談:年間 1 万 7 千回 (近畿 94%, 大阪府 13,029: 80%, 兵庫県 1,534: 9%, 京都府 575: 4%, 奈良県 471: 3%) である.

²⁶⁾ 近畿地域で他に特徴的な支援をしているのは, 和歌山県工業技術センターである. 和歌山県は海南市を中心に日用雑貨品の一大産地であり, 素早い製品開発, 試作品製作のために樹脂材料での公設試利用が非常に多いようである(和歌山県工業技術センターでのヒアリング).

²⁷⁾ 福井県工業技術センター, 府立産技研でのヒアリングによる.

²⁸⁾ <http://japan-3dprinter.com/>

²⁹⁾ <http://3dprint.or.jp/>

³⁰⁾ <http://o3dprinter.com/>

³¹⁾ <http://www.materialise.co.jp/topic1>

³²⁾ 地独)東京都立産業技術研究センター編 (2014) の p.193 に, 組織のあり様案として情報の共有, 研究・支援の効率性など企業活動が県境をまたぐ広域化していることに勘案して公設試の連携体を組成するなど試案が提示されている.

³³⁾ <https://trafam.or.jp/top/>

³⁴⁾ 丸紅情報システムズ(株), (株)NTT データエンジニアリング, (株)キーエンスなどの営業担当者への聞き取りによる.

(藤竹暁 訳 (1966) 『技術革新の普及過程』 培風館) 植田浩史, 本多哲夫 (2006) 『公設試験研究機関と中小企業』, 創風社

大阪産業経済リサーチセンター (2015), 『三次元積層造形技術の活用に関する調査研究』

大阪産業経済リサーチセンター (2016), 『金型製造業, 成形業におけるイノベーション -三次元積層造形技術がもたらす現場での変化- に関する調査研究』

大阪商工会議所 (2013), 『3D プリンター活用に関する調査』

近畿経済産業局 (2008), 『はじめての公設試・産総研』 経済産業省 (2014), 『ものづくり白書』

地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所 (2015), 『業務年報』

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター編 (2014), 『都産技研の挑戦 世界に勝つものづくり支援の強化』, 丸善出版

西尾好司 (2008), 「工業系公設試研究機関の現状に関する一考察」『研究レポート』No.328, 富士通総研経済研究所

福川信也 (2007), 「地域イノベーションシステムにおける公設試研究機関の位置づけと戦略」『中小企業総合研究』第 7 号, pp.20-34

松下隆 (2012), 「大阪砲兵工廠と大阪産業集積との関係性 (鉄鋼, アルミニウム, 機械金属加工技術から考察)」『産開研論集』第 24 号

丸谷洋二, 早野誠治 (2014), 『解説, 3D プリンター-AM 技術の持続的発展のために』 オプトロニクス社

<参考文献>

Rogers, E. M. (1962), Diffusion of innovations. New York:Free Press.