

「3Dプリンタ最前線」

応
般

～技術概要，情報産業へのインパクト，最新動向～

前編

山口修一 ((株) マイクロジェット / (株) 3D プリンター総研)

3D プリンタ時代の到来

3D プリンタがさまざまなメディアで取り上げられ、またものづくりを身近なものにするツールとして関心が高まっている。早くから3Dプリンタの情報発信してきた筆者にとっても予想外の急速な広がりで見ている^{1), 2)}。

まず3Dプリンタとはそもそもどのようなものだろうか。3次元立体物を作る装置、すなわち3次元造形機は産業用として3Dプリンタという言葉が使われる以前から存在した。しかしそれらは、産業用途の非常に高価なものだった。これに対して新しい技術による廉価な装置が3Dプリンタと呼ばれるようになった。その多くがノズルの先から溶融した樹脂を押し出すタイプの小型の装置であったり、2次元のプリンタ同様のインクジェットヘッドによって材料を堆積、積層する方式であったため、3Dプリンタという名称が定着していった。しかしながら日本においては、3Dプリンタを各種のメディアが取り上げる中で、従来からある産業用途の装置にも3Dプリンタという表現を用いるようになった。そこで、本稿では3Dプリンタを産業用途であるかパーソナル用途であるかと関係なく「3Dデータを用いて、特定の材料を層状に積み上げて造形する装置」の全体を含む広義の意味で使用する。なお、3次元造形技術を学術的に研究している研究者の間では、造形技術はAM (Additive Manufacturing) 技術、装置はAM装置と呼ばれ、この呼称は2009年1月のASTM (American Society for Testing and Materials) 国際会議で統一された。

本稿は前後編2回にわたり3Dプリンタの最前

線について解説するが、前編では3Dプリンタ技術、特にさまざまな3次元物体の造形方法の概要を説明する。後編ではインクジェット法の詳細、3Dデータの作成方法、3Dプリンタの今後の技術開発の方向性について解説する予定である。

3D プリンタの方式と用途

3Dプリンタが立体物を造形する方法にはさまざまな方式がある。ここでは造形方法に着目し、そのうち代表的な5つの分類、熱溶解積層法、光造形法、インクジェット粉末積層法、インクジェット光硬化積層法、粉末焼結法について説明する。なお、2009年1月のASTM国際会議で各方式の分類名称も決められた。前述の方式に対するそれぞれの名称は、材料押出法 (Material Extrusion)、液槽光重合法 (Vat Photo-polymerization)、結合剤噴射法 (Binder Jetting)、材料噴射法 (Material Jetting)、粉末床溶融結合法 (Powder Bed Fusion) であるが、感覚的に理解しにくいので、ここでは感覚的に理解しやすい前述の通称で解説していく。

■ 熱溶解積層法

熱で溶解した樹脂などを重ねていく方法である。ソフトクリームを作るときのようにノズルから溶融樹脂を押し出し、造形物のスライス断面のパターンをベクトル的にプリントしていく。図-1に示すように、リールに巻かれたフィラメントと呼ばれる樹脂製の線材がエクストルーダと呼ばれる線材送り出し機構により、ノズルの中へ押し込まれる。ノズル部はホットエンドと呼ばれ、ノズル加熱用のヒータ

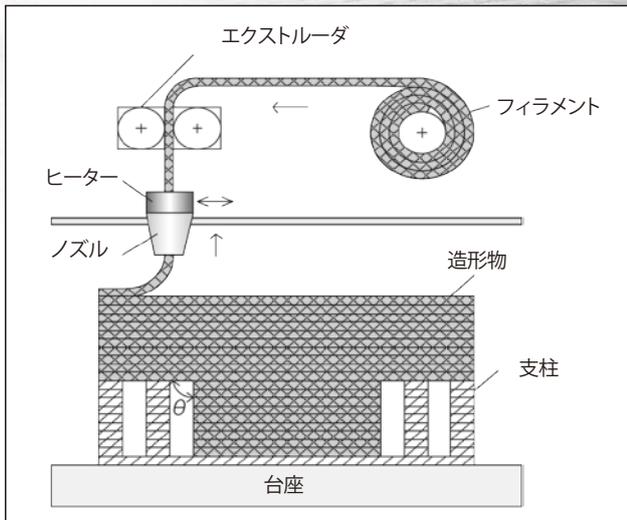


図-1 熱溶解積層法

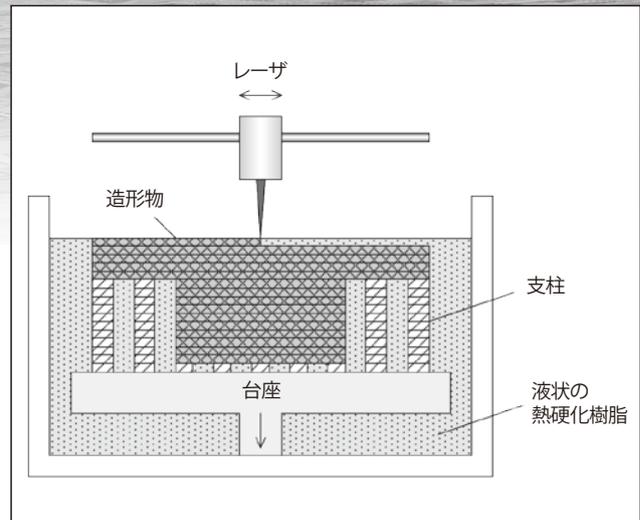


図-2 光造形法 (光を液の上方からあてる方式)

ーが搭載されている。このホットエンド内に押し込まれた線材はヒーターによる加熱により熔融する。熔融した樹脂は新たに後方からエクストルーダにより押し込まれた固形のフィラメントの体積分だけノズル先端から押し出される。

この方式は英語の Fused Deposition Modeling の頭文字をとって FDM とも呼ばれている。この FDM という名称は米国 Stratasys 社³⁾の米国における登録商標である。3D プリンタがこれほどまでに話題になった背景には、この方式の低価格化が関係している。この方式の 3D プリンタの開発は容易で、国内でも多くの小規模なベンチャー企業がこの方式の 3D プリンタを短期間に開発し、低価格で販売している。短期間に低価格の製品が開発できる理由としては、RepRap コミュニティの存在がある。これはイギリスのバース大学の Adrian Bowyer 教授によって、自己増殖可能な 3D プリンタを普及させることを目的としたオープンソース・ハードウェアプロジェクトであり、2005 年に立ち上げられた。自己増殖とは 3D プリンタの部品自身を 3D プリンタで作るという意味である。低価格のパーソナル用 3D プリンタの開発企業はそのほとんどが、このプロジェクトと何らかの関係があり、基本技術の拠り所としている。

■ 光造形法

光造形法では液状の光硬化性樹脂に紫外線レー

ザを照射して硬化させる。紫外線レーザーとしては固体レーザーが使われている。図-2に原理図を示す。液状の光硬化樹脂が満たされた容器に造形テーブルが設置されている。このテーブルの上方の液を固化させたい部分に向かって紫外線レーザーを照射する。その結果光硬化樹脂が一層分だけ硬化する。この処理をテーブルを降下させながら繰り返し立体を形成する。

この方式では形成される立体に比べ容器に満たす光硬化樹脂の量が多い。大型の装置では、最初に容器を満たすために必要な液の費用が数百万円を超える場合もある。この問題を解決した方式を図-3に示す。この方式では光を容器の透明な底部からあて、造形部を1層形成するごとに引き上げる。これにより容器の中に満たしておく液を劇的に減らすことができる。また、最近では DMD 素子 (Digital Mirror Device : 映像表示素子の1種) やそれ以外のプロジェクタの光源を用いた 100 万円以下の安価な造形機が登場してきた。

造形精度は現状の各種 3D プリンタでは最も高く、0.05 mm 程度の精度を実現している。

用途はデザインや設計形状の確認用や試作品の製作、宝飾品や玩具のマスタモデル、歯科技工に使用する歯型、歯列矯正用マウスピース等がある。

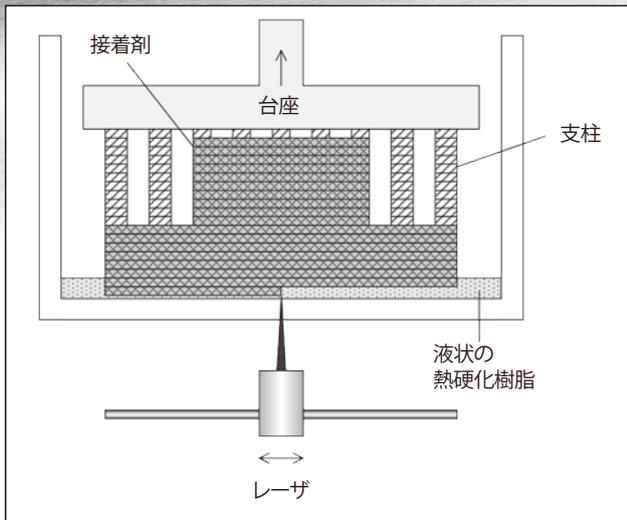


図-3 光造形法 (光を容器の透明な底部からあてる方式)

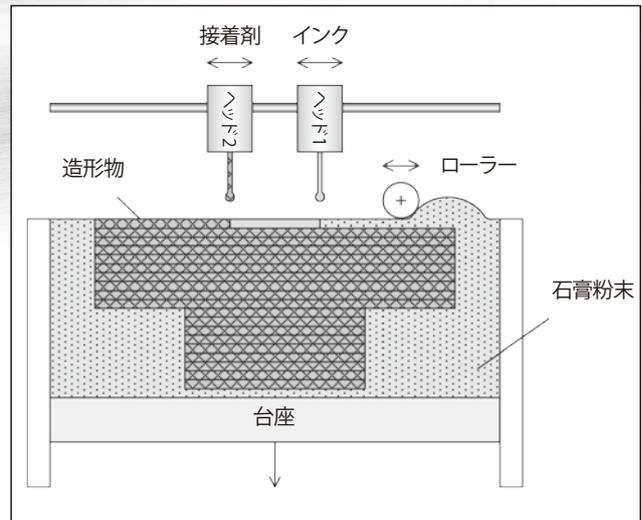


図-4 インクジェット粉末積層法

■ インクジェット粉末積層法

図-4に原理を示す。平らなテーブルの上に石膏粉末を積み上げ、ローラーやスクレーパで指定の高さとなるように、薄い石膏粉末の層を形成する。その上からインクジェットヘッドにより着色用インクと粉末の固着用バイндаを吐出させ、粉末を着色し固める。これを繰り返しながら立体を造形していく。1回の積層高さは0.1 mm程度である。市販のこの方式の3Dプリンタには現状サーマルジェットヘッド(インクジェットプリンタでも使われる発熱素子でインクを射出するヘッド)が用いられているが、インクやバイнда液は水性の溶液であり、ピエゾヘッド(インクジェットプリンタで使われるヘッドで、ピエゾ素子を用いたインク射出ヘッド)でも吐出可能である。

この手法の特徴は、液を吐出するノズルが多数形成されているため、造形速度が比較的高速なことから着色した造形物を作れることである。

この方式の3Dプリンタは、フィギュアや商品見本、住宅模型、ジオラマ等着色を活かした用途に用いられる。この粉末積層法では粉末の材料を石膏以外の材料に変えることにより、新しいさまざまな用途が生まれている。たとえばリン酸カルシウムの粉末を使った人工骨の作製例が報告されている⁴⁾。また、鋳物の鋳型作製にもこの手法が使われている。粉末としては鋳型の原料である珪砂が用いられ、固着用バ

インダで型を造形していく。さらに、最近では樹脂の粉末を使ってフルカラーで造形できる製品も開発されている⁵⁾。

■ インクジェット光硬化積層法

図-5に原理を示す。プリンタヘッドを用いて紫外線硬化インクを吐出し、その直後に紫外線ランプによりインクを硬化させる。この方式で用いるプリンタヘッドは、これまで大判プリンタで利用されていたもので代用することができる。これを繰り返し、高さ方向に硬化したインクを積み上げていく。

1回の積層厚みは最も高精細なもので15 μ m程度であり、1mmの高さを積層するのに30分から1時間を要する。したがって生産性は高くないが、3Dプリンタの造形エリア内であれば、複数の造形物をエリア内に複数配置して同時に造形できるため、1度に多数の造形物を作製することが可能となり、1個あたりの造形時間は実質的には短くなる。この方式を発展させ、複数の材料を複数のインクジェットヘッドより吐出し、1つの断面内や、厚み方向で材料の組成を変化させ、傾斜材料からなる構造物を構築していく技術が注目されている。この技術を応用することにより、従来の樹脂成形技術では作ることができなかった、複雑な構造や機能を持った部品が作製可能となる。オーバーハング部の造形には、支えるためのサポート部が必

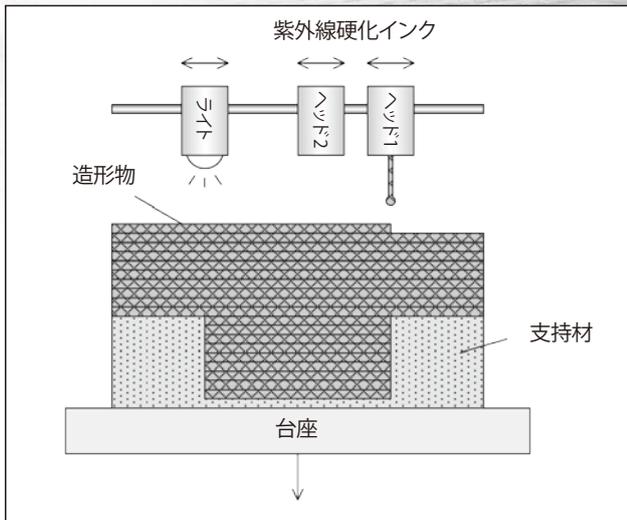


図-5 インクジェット光硬化積層法

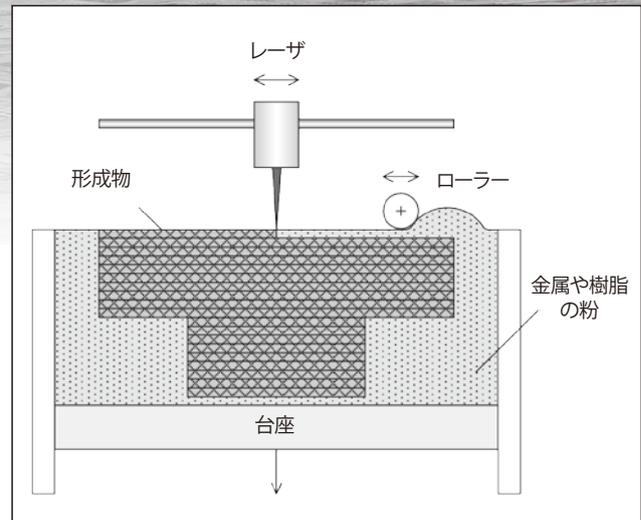


図-6 粉末焼結法

要であり、モデル材の吐出用ヘッド1とは別の支持材の吐出用ヘッド2が搭載されている。

この方式の用途は玩具や工業用製品の形状確認や機能確認用の試作が中心である。寸法精度は0.2～0.5 mm程度であり、精密な部品や数mm以下の小型の部品にはまだ使えない。

■粉末焼結法

図-6に原理を示す。ローラー（リコータという別形状のものを使う場合もある）により金属や樹脂の粉末の層を作り、レーザ光を粉末に照射して粉末を焼結させて焼結する。これを繰り返し積層し立体を形成する。ビーム径は0.1～0.5 mm程度で、レーザ光の走査スピードは1～7 m/sec程度である。金属はそのまま高温に熱すると酸化してしまうから造形エリアは不活性ガスのN₂やArで満たされる。1回の積層厚みは0.02～0.2mm程度である。造形後の表面は凹凸があり、ざらついているため、後処理で研磨等が必要になる。粉末焼結法はドイツが国を挙げて研究開発に取り組んできたため、ドイツに有力なメーカーが多い。

レーザの代わりに真空中で電子ビームを用いる装置もある⁶⁾。電子ビームを用いれば高密度の金属部品の作製が可能で不純物の混入や材料劣化を防ぎ、高融点の合金も利用できる。また造形スピードも速い。

粉末焼結法の大きな特徴として、他方式では利用

できない純チタンやTi-6Al-4V合金、Co-Cr合金、ステンレス鋼、型材として用いられるマルエージング鋼などの金属粉が利用できる。金属粉の粒径は主に0.01～0.1mm程度であり、ガスアトマイズ法等により製造される。鍛造にせまる強度または铸造以上の強度があると言われていて、密度も、電子ビーム法では真空中でビームを当てるため99.9%が実現できている。これらの造形方法は金属粉末だけでなく樹脂の粉末にも適用できる。ABS（アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン）、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）、ナイロン、ポリスチレン等の耐熱樹脂の造形も可能である。

材料に金属粉末を利用する場合、用途は主にタービンブレードやジェットエンジン部品、燃料噴射装置、樹脂金型、ダイカスト金型、チタン製人工歯根、人工関節、人工骨、自動車の補修部品、玩具、文具での応用が実用化されている。材料に樹脂粉末を利用し、高負荷環境におけるブラケットや配管ダクト等に用いられる場合もある。しかしこの方式の装置は5,000万円から2億円前後と高価であり、造形速度がまだ十分ではなく、造形に用いる粉末材料が1kgあたり数万円と高価であることが課題である。

Mass Custom Manufacturing (大量カスタム製造) とは？

これまで見てきたように、一口に3Dプリンタといっても多くの方式があり材料にも性能にも大きな差がある。材料の持つ強度や耐熱性、透明性といった機能、造形精度、カラー着色の可否などにより、各方式が対応できる範囲は大きく異なる。

中でも3Dプリンタによる用途展開が最も成功している分野は、歯科用途である。歯科用途の中ではインプラントのチタン製人工歯根は海外ではすでに実用化されており、粉末焼結法により製造されている。また、光造形法は、クラウンと呼ばれる、虫歯の治療などで歯を削った後に被せる、金属やセラミック、レジン等からなる歯冠補綴物の型の作製や、歯列矯正に用いられるマウスピースの製造に用いられている。

3次元造形機に限らずデジタルデータによりものを製造するデジタルファブリケーション技術は、多品種少量生産に適していることはよく知られているが、中でもこの3Dプリンタによる3次元造形技術は人体にかかわるさまざまな用途のパーツを製造する際に適している。それは人体の部位の形状が同じ人は、2人といないため、すべてカスタムメイ

ドになるからである。海外で3Dプリンタ専門家が「Mass Custom Manufacturing」という言葉をよく使うが、医療や歯科の分野はまさにこの言葉に合致した分野と言える。有望な市場を見つける際に頭の片隅に入れておきたい言葉である。

次号の後編ではインクジェット法の詳細を説明するとともに、3Dデータの作成方法、さらに3Dプリンタの今後の技術開発の方向性について解説する予定である。

参考文献

- 1) 山口修一, 山路達也: インクジェット時代がきた! 液晶テレビも骨も作れる驚異の技術, 光文社, [in Japanese] (2012).
- 2) 山口修一: 3Dプリンティング技術とこれからの日本のものづくりについて, 日本画像学会誌, Vol.53, No.2, pp.119-127 (2014).
- 3) Stratasys Ltd., <http://www.stratasys.co.jp/> (accessed 2014-2-25).
- 4) 鄭 雄一: インクジェットプリンターによる人工骨の作製, 2013年度第1回日本画像学会技術研究会, pp.49-64, [in Japanese] (2013).
- 5) ProJet[®] 4500, <http://www.3dsystems.com/3d-printers/professional/projet-4500> (accessed 2014-2-25).
- 6) Arcam AB, <http://www.arcam.com/> (accessed 2014-2-25). (2014年11月19日受付)

山口修一 yamaguchi2@microjet.co.jp

1983年東京工業大学理工学研究科修了。同年エプソン(株)に入社。1997年マイクロジェット社設立。2013年大阪大学工学研究科博士後期課程修了。工学博士。2014年(株)3Dプリンター総研設立。3Dプリンターの研究開発に従事。