

## ものづくりやバイオ分野における 3D プリンティング技術の最新動向

株式会社マイクロジェット/株式会社 3D プリンター総研 代表取締役 工学博士 山口 修一

**要旨** マスカスタマイゼーションの鍵を握る 3D プリンティング技術において、新たなイノベーションが起こりつつある。本稿では海外での展示会取材データや調査結果をもとに、ものづくりやバイオ分野における最新の技術動向を解説する（本稿は、2016 年 12 月 15 日に開催された弊社主催「ものづくり支援シンポジウム 2016」での、特別講演を基に構成したものです）。

### 1. はじめに

私はインクジェット技術に関わってちょうど 34 年になるが、3D プリンターに関わるようになったきっかけは、2012 年 5 月に出版した「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」(光文社新書)での 3D プリンターの原理・応用分野に関する紹介に遡る。本書出版の半年後に 3D プリンターのブームが到来し、本書をきっかけに色々な所で質問を頂き、また講演の機会を通じて、3D プリンターについて正確な情報を知らない人が多い事に気づき、2 年ほど前に 2014 年 10 月に (株) 3D プリンター総研を設立し、3D プリンターに関する新事業開発、調査などを実施している。本講演では、3D プリンターの基本を説明し、ハードウェアと海外を中心とした最新情報を紹介する。

### 2. 3D プリンター概論

3D プリンターの正式な呼び名は、Additive Manufacturing 装置である。Additive Manufacturing 装置の中でも、安いもの、あるいはインクジェットを使ったプリンターにイメージが似ているものを 3D プリンターと呼んでいたが、現在は産業用の大型装置も含めて 3D プリンターということで認知されている(図 1)。

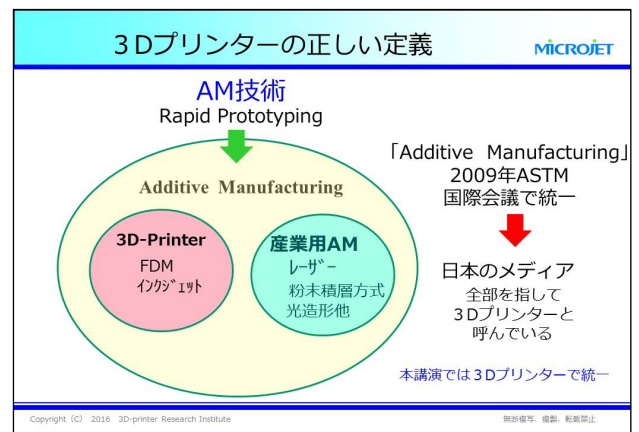


図 1 3D プリンターの正しい定義

3D プリンターには7種類の基本的方式がある(図2)。本講演では、このそれぞれについて簡単に説明しながら、最新技術を紹介する。

造形方式の種類と名称		
ASTMの正式名称	日本語名称	通称
1. Material Extrusion	材料押出法	熱溶解積層法 FDM
2. Vat Photo-polymerization	液槽光重合法	光造形法 SLA
3. Sheet Lamination	シート積層法	
4. Binder Jetting	結合剤噴射法	インクジェット粉末積層法
5. Material Jetting	材料噴射法	インクジェットUV硬化積層法
6. Powder Bed Fusion	粉末床溶融結合法	レーザー焼結積層法 SLS
7. Directed Energy	指向エネルギー堆積法	

3D Bio Printer は1と5の複合技術

図 2 造形方式の種類と名称

### 3. 3D プリンター最新情報

#### 3-1. 材料押出法（熱溶解積層法; Fused Deposition Modeling、略称 FDM）

フィラメントと呼ばれる熱可塑性の樹脂を線材にしてヒーターで加熱し、溶融物をノズルから押し出す方式で、一番なじみが深く、家電量販店の店頭で販売されている装置にも採用されている（図3）。

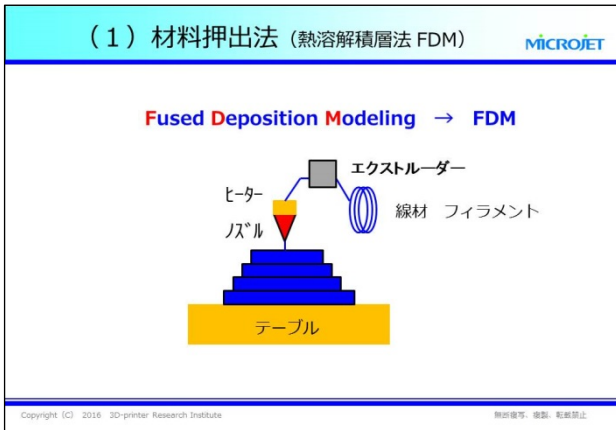


図3 材料押出法

パーソナルユースは人気に陰りが出ているが、業務用は、1個1個の工具に合わせて収まりがよいようにする、あるいは、車のエンブレムを正確な位置に貼れるような治具を作るなどの分野で成長している。ABS、PLA（ポリ乳酸）という材料がメインだったが、より高付加価値のものをとということで、エンジニアリングプラスチック、スーパーエンブラなどにカーボンや金属やセラミックなどいろいろなものを混ぜて、材料の面から付加価値を出そうという動きがある。本方式はバイオプリンターでも使われており、樹脂だけではなく、ゲル材料やさまざまなバイオマテリアル、あるいは、建物を作るコンクリートなど多様な材料への適用が進んでいる。また、造形物の大型化、機能の複合化が見られる。

独 Apium (旧 Indmatec) 社は、樹脂溶融温度を 300℃以上とし、精密に温度コントロールすることで、PEEK 製医療用部品への応用を可能としている。イスラエル MASSIVit 3D 社は、小さなノズルから光硬化性ゲルを押し出し、光照射で硬化させ、人の背の高さと同じぐらいの造形物を約 6 時間（約 35cm/hr）で作製する技術を保有している。米国 Voxel8 社（Harvard 大ベンチャー）は、樹脂押し出しと同時に別ヘッドから銀ナノ

インクを押し出して回路作製する技術を保有している。この製品は現時点では、本格的な産業用途というよりは個人用であるが、3D プリンターにより複数の材料と一緒に造形して機能性を上げていくという動きが、今一番のトレンドである。速乾性のセメントを使えば、本方式で住宅を造ることも可能である。アラブ首長国連邦ドバイでは、36m×12mの巨大な 3D プリンターで、建築構造物の先端にセメントを押し出すような機構を設け、壁を下からだんだん積み上げていくことで、オフィス部屋が造られた。電気や内装工事も込みで、17 日間で床面積 250m<sup>2</sup> のオフィスを造り、費用は 14 万ドル（約 1500 万円）だった。建築の分野でもこれからますますこうした動きが盛んになると想像される。

#### 3-2. 液槽光重合法（光造形法）

1980 年代から開発が行われており、大きく二つの方式がある。一つは、大きな液の入れ物の中にテーブルを置き、上から紫外線レーザーを当て、そのレーザーが当たった箇所を硬化させ層を作る方式で、名古屋市工業研究所の研究者が世界で初めて 3D プリンターの特許を出願したのが、この方式である。大型造形物を造れるとの特長を有するが、高価で多量の材料を必要とする欠点がある（図4）。

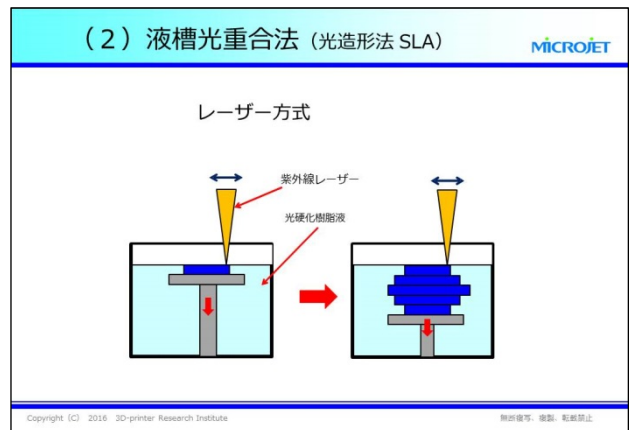


図4 液槽光重合法

本方式を普及すべく考え出されたのが、吊り上げ方式である（図5）。光を上からではなく、容器の底から照射する。照射にはプロジェクターの DLP (Digital Light Processing) 光源が使われており、露光は瞬間的に面で行われる。本方式の欠点は、下から光を当てるため、造形物が容器底面と貼り付いてしまう事で、貼り付いたものをいったん上に持ち上げ、剥がして、また一定の隙間ができるように降ろして、そこに液が満

ちるのを待ってから、また露光するとの煩雑なプロセスになる。7つの方式の中で最も表面が滑らかで状態が良いので、アクセサリや歯の型、マウスピースの型にも使われている。

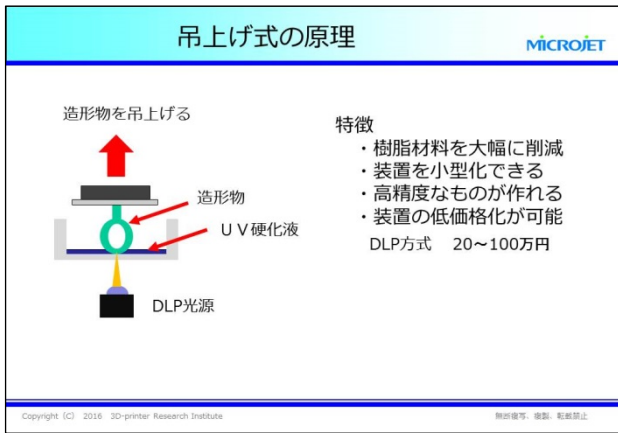


図5 吊上げ式の原理

本方式の一番のトレンドは造形スピードの高速化、造形物の高精度化、材料の多様化である。韓国 Carima 社は容器表面にケミカルコーティングを施し、材料が貼り付かないようにすることで、高さ方向の造形スピード 1 cm/min を実現した。米国 Carbon 社 (旧 Carbon3D) は、酸素がある環境下で紫外線硬化樹脂が硬化しにくくなる特性を使い、最底面を酸素透過性材料にすることでブレイクスルーを図った。オーストリア Lithoz 社は、光硬化性樹脂の中にアルミナやジルコニアの粉を混ぜた造形品を作製し、その後焼結してセラミックパーツの造形を可能としており、他にも 3DCeram など、さまざまな会社が光造形法でのセラミック部品の造形技術を発表している。

### 3-3. シート積層法

アイルランド Mcor 社が製品化している (図6)。

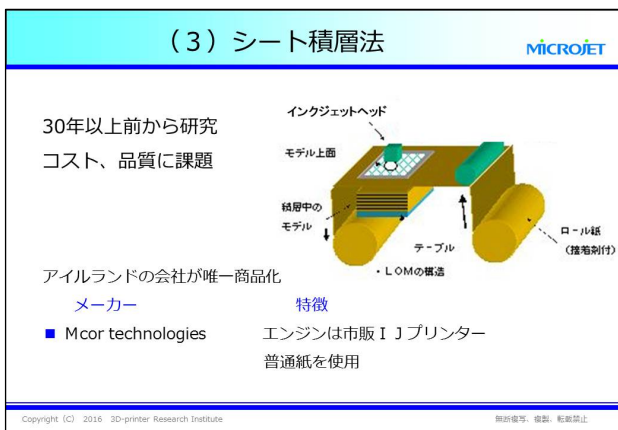


図6 シート積層法

日本ではほとんど目にすることはないが、コピー用紙にフルカラー印刷、反転して裏側から鏡像印刷した後、1枚ずつローディングし、のり付けで貼り付け、外周をカッターで切っていく方式である。装置本体は1台600~700万円するが、コピー用紙が使い、しかもインクは通常のプリンターに使っているものなので、材料費を抑えることが可能である。

### 3-4. 結合剤噴射法 (インクジェット粉末積層法)

インクジェットでのりを吹き出す方式で、石膏プリンターを例に説明すると、「厚さ約 100 μm の石膏層を作製し、そこに色を付けるためのインクとのりを吹き付けると、色が付いて、粉の中で薄いスライス状のものが固まる」これを繰り返していく (図7)。

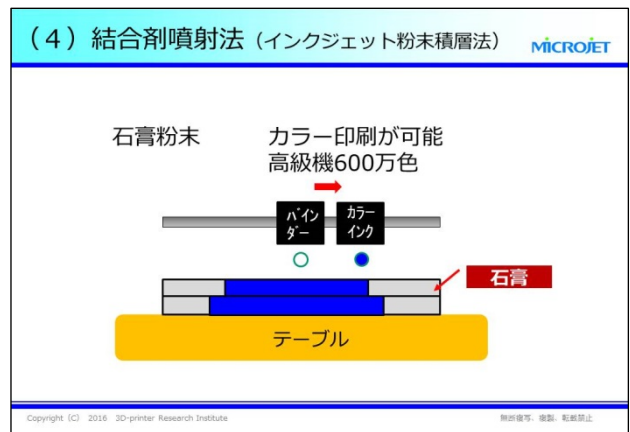


図7 結合剤噴射法

インクジェットは 3D プリンターにイノベーションを次々と起こしていく技術の一つで、高速化が進んでおり、石膏だけでなく、セラミックス、金属、薬、骨の材料、食品、もちろん樹脂の粉など、粉にできるものはほとんど造形でき、大きな可能性を持っている。

米国ヒューレット・パカード (HP) 社が 2016 年に発表した HP Jet Fusion 3D 4200 Printer は、インクジェットと加熱するヒーターを持っているのが特徴である。使われる材料はポリアミド (PA) で、二つの液を使い造形する。一つは fusing agent と呼ばれる黒色液で、これを吹き付けた箇所が赤外線ランプで加熱されて固まり、境界面を滑らかにするため detailing agent という透明な液が使われ、最終的にヒーター加熱され造形物が完成する。従来の 3D プリンターの展示会では、世界二大メーカー 3D Systems、Stratasys が大きくエリアを取るとするのが普通だったが、2016 年 11 月に開催された欧州最大の 3D プリンター展示会 formnext では



HP 社が最大エリアを占め、同社が本技術に力を入れていることが分かる。なおこの製品はインクジェット技術と粉末を組み合わせているが、方式の分類としては後に述べる粉末床溶融結合法になる。その他、formnext では、国内 Roland DG 社がセラミックのプリンターを出展していた。材料はアルミナの粉で、このバインダージェッティングは、粉体にてできて、それを仮に固めることができれば、そこで形を作って、それを最終的に乾燥した上で焼結する。焼結には 24 時間ぐらいかかる。2017 年の商品化を目指している。米国 Aprecia Pharmaceuticals 社が錠剤を 3D で造形し、FDA の認可を取っている。3D を使うことで、任意の薬剤量を内包する錠剤作製が可能となり、また口に含んだ瞬間溶けるので、特に体力が弱っている人や子供向けに有用である。

### 3-5. 材料噴射法 (インクジェット UV 硬化積層法)

インクジェットで薄い層を作っては紫外線のランプで固める方式である (図 8)。従来は複雑な形状を持ったものや、色の付いたものを作るのが一般的だった。本方式の新しい傾向は、インクジェットの長を活かした、造形スピードの高速化、材料の多様化、フルカラー化である。今までは石膏のようにフルカラーはできなかったが、1000 万色までできてきている。他の方式では実現不可能な、何種類かの材料を同時にその場で混ぜ合わせながらの造形が可能である。インクジェットの場合は、材料の種類の数だけ液を吹き出すヘッドを用意すれば良く、5 種類の材料を自在に塗りたい場合は、インクを吹くヘッドを 5 個用意すれば良い。任意の厚み方向の塗り分けに加え、同じ面内での塗り分け、また面内での配合比変更も可能であり、傾斜材料のその場作製が可能である。

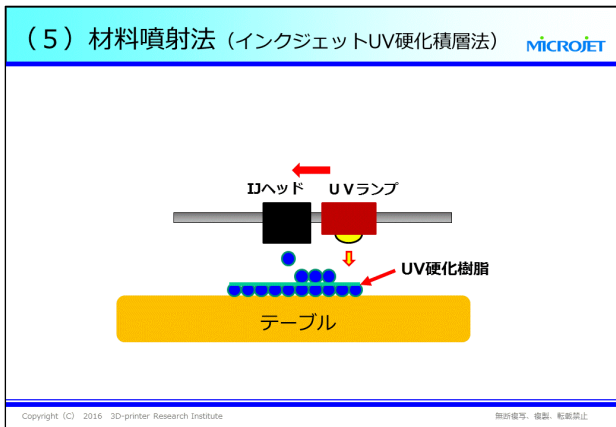


図 8 材料噴射法

イスラエル Nano Dimension 社の製品は、金属ナノインクを使って配線を印刷するだけではなく、絶縁体として基板を積層しながら、その場で回路基板を作製することが可能である。最大厚みは 3mm、10 層程度、基板素材は 300°C以上の耐熱温度のある紫外線硬化樹脂で、試作用基板の作製用途で 2017 年発売予定である。イスラエル XJet 社は、元は太陽電池パネルの銀電極をインクジェットで印刷する機械を開発していた会社で、金属ナノ粒子を含んだ液を 300°Cに熱したテーブルに向かって吹き付けながら積層していく方式の 3D プリンターを開発した。造形材料としてはステンレスが製品化されており、セラミックも対応可能である。

### 3-6. 粉末床溶融結合法 (レーザー焼結; Selective Laser Sintering, 略称 SLS)

レーザーあるいは電子線で金属や樹脂の粉を硬化させていく方法で、医療やデジタルや航空宇宙で使われている (図 9)。

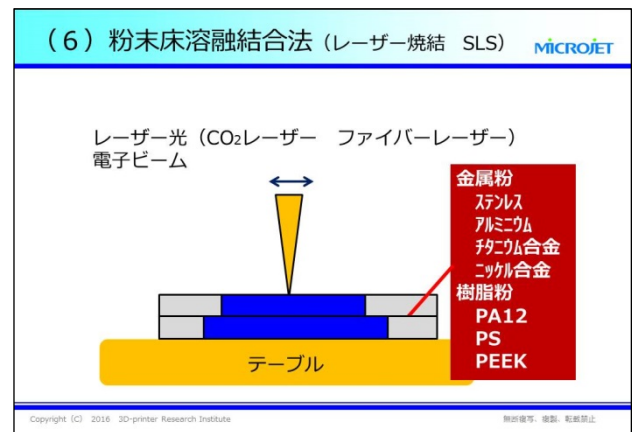


図 9 粉末床溶融結合法

通常は高価な CO<sub>2</sub> レーザー等を使うが、海外の展示会に行くと別のレーザーを採用したベンチャーが次々と参入している。スイス Sintratec 社は、安価なダイオードレーザーを使い、樹脂を黒色ナイロンに限定し、5000 ユーロ (約 60 万円) の装置を開発している。その他、ポーランド Sinterit 社などがある。

### 3-7. 指向エネルギー堆積法

工作機械と一体となった方式である (図 10)。2016 年 11 月 JIMTOF2016 (第 28 回 日本国際工作機械見本市) で国内工作機械メーカー、DMG 森精機、ヤマザキマザック、オークマ等が、工作機械と合わせて、粉を平らに敷き詰めて上からレーザーを照射するのでは

なく、レーザーの先端に向けて粉を吹き付けながら先端で肉盛り状に固めていくという技術を発表していた。

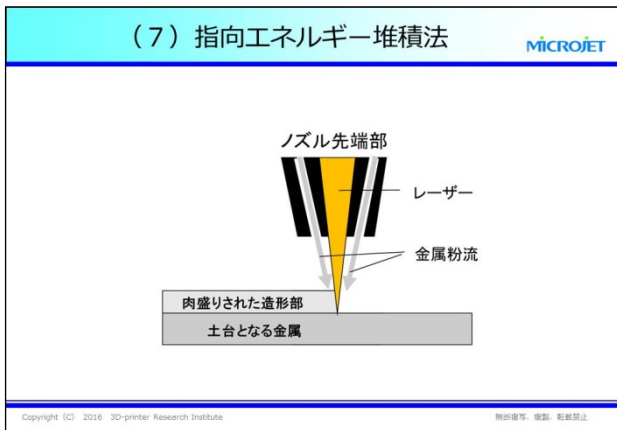


図 10 指向エネルギー堆積法

#### 4. バイオ分野の 3D プリンター最新情報

細胞の組織構築に必要なマテリアルは、細胞種、足場材、培養液等である。また、構造を作るには大きく四つの方法、①ディスペンサー（材料を空気圧やメカニカルに押し出す）、②インクジェット、③レーザーを使ってバブルを発生させ、そのバブルの膨張で液を押し出す方法、④これを組み合わせた方法である（図 11）。

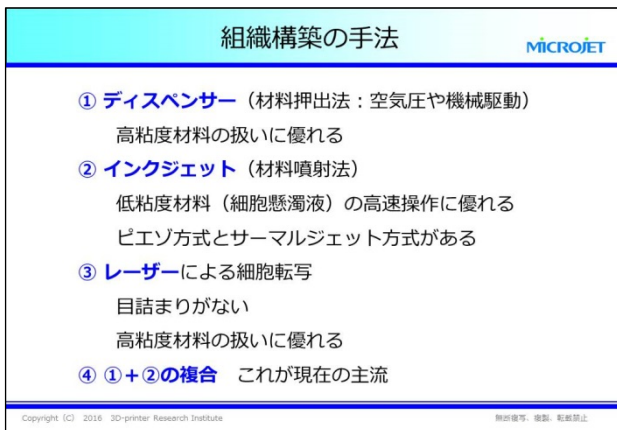


図 11 組織構築の手法

バイオ 3D プリンターで有名なのは独 EnvisionTEC 社、スイス regenHU 社、米国 Organovo 社である。2016 年 11 月の MEDICA で独 GeSiM 社が BioScaffolder というバイオプリンターの一種を展示していた（図 12）。足場材は圧縮空気で押し出し、細胞を印刷するときだけはインクジェットヘッドを利用する。どのメーカーもほとんどこの構成を取っている。

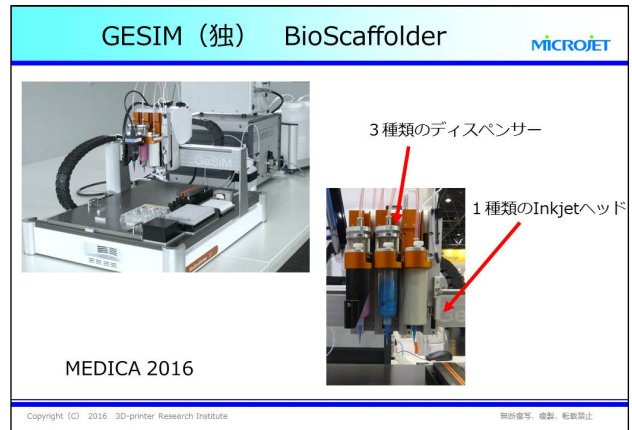


図 12 GESIM (独) の 3D プリンター

足場材は割と簡単に作れるが、細胞の方がなかなか安定して印刷できない。バイオ 3D プリンターでは日本でも日本医療研究開発機構（AMED）の国家プロジェクトが 5 つスタートしているが、1 つの会社がやるテーマとしては技術が複雑すぎて中途半端なものしかできていないというのが現実であり、これらプロジェクトの進展に期待したい。

細胞を吐出するということでは、実は弊社が世界で初めて、ドイツの企業と提携して開発した Single Cell Printer という装置で、細胞も狙ったところに 1 個ずつほぼ 100% 指定した位置に並べていくことができる技術まで開発している（図 13）。今後、インクジェットが実力を発揮していく分野と期待している。

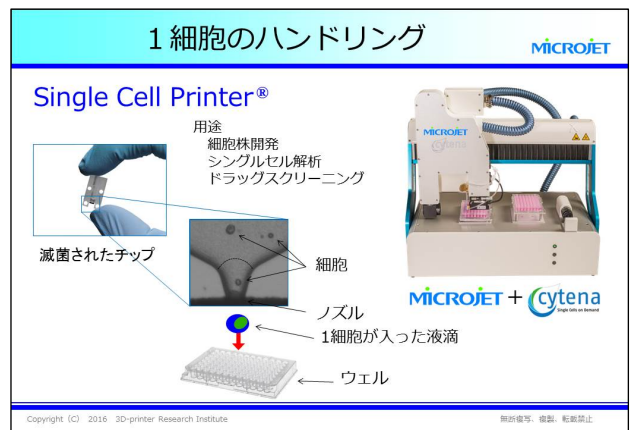


図 13 1細胞のハンドリング

その他、国内サイフェーズ社が、細胞凝集塊（スフェロイド）を針の剣山のようなものに刺し、それで培養して組織を作っている。いろいろな方式を行っているが、ビジネスにするにはまだ時間がかかると見込まれる。

## 5. 3D プリンティング技術の今後

日本にいと第1ステージの終わりの状態を見ているから、「3D プリンターはこんなものか」と思うかもしれないが、世界ではもう第2ステージに入っている (図14)。HPの装置は高速で造形ができるが、日本の3Dプリンターの展示会に行っても、こういう技術は全然出ていない。なぜベンチャーが日本で展示しないのかと聞くと、「日本のマーケットは小さいし、日本人はうるさいし、一番後だね」と言われる。日本の展示会をいくら見ても最新の情報は得られないので注意してほしい。

重要なのは、1990年代に出願された基本特許はもう次々と切れている。大手3Dプリンターメーカーは改良特許だけはたくさん持っているが、新しいベンチャーが出てきて新しい原理の特許をどんどん出してくるから、もう買収するしかないというのが現状である。

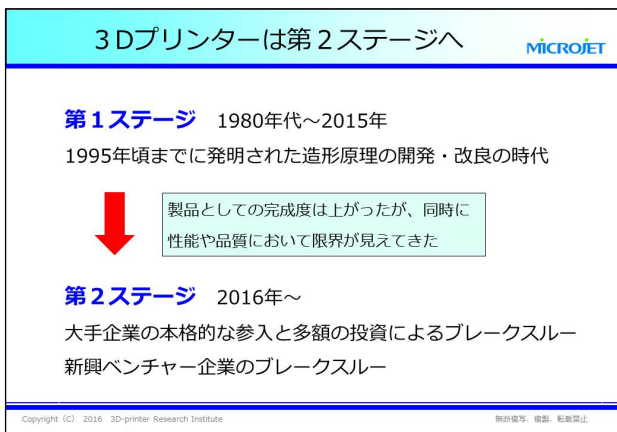


図14 3D プリンターは第2ステージへ

かなり私見が入るが、FDMはこれから大きな技術的なイノベーションはまずない。光造形は高速化において技術イノベーションがどんどん進む。インクジェットは、これから一番伸びる。レーザーは、技術イノベーションはあるところまでできてしまって、もう普及期に入っている。従って、これから何かものすごくテクノロジーが変わるということではなく、低価格化、材料の低コスト化が進む。指向エネルギーは、工作機械と相まってこれからかなり普及していくと思う (図15)。

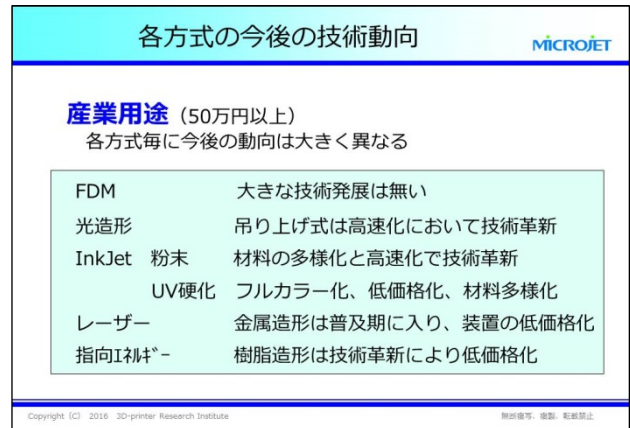


図15 業界動向のまとめ

そこで重要なのは、やはり材料開発である。そして何といても、これからはベンチャーがこの分野にイノベーションを起こしていく。それと、世界の巨人、プリンターメーカーがいよいよ本腰を入れて開発したものが、今年から2年後にかけて続々と市場に出てくる。従って、今までの3Dプリンターのイメージは第1ステージでほぼ終わったと思って、これからの第2ステージ動きに注目してほしい。

## 6. 終わりに

整理すると、「チャンスが残っている」。なぜこういう言い方をするかというと、日本は完全にスタートが出遅れている。もちろん昔から光造形などはこつこつと取り組んで素晴らしい技術があるが、それ以外は海外勢がもう10年先を行っている。この中でこれからまだチャンスが残っているのは、インクジェットと指向エネルギー堆積法と造形材料の三つである。インクジェットは世界有数の技術を日本は持っている。また材料については日本の技術は世界有数である。工作機械も世界に誇る技術がある。やはりこういうものと組み合わせないと、後追いついて似たようなものを作ってももう無理だ。

世の中のものづくりが全部3Dでデジタルになるというわけではない。いろいろな有識者の意見を総合すると、ものづくりの5~10%ぐらいがデジタル化し、残りはほとんど今までどおりと変わらない。では、日本はどこに向かうべきかという、この5~10%、高付加価値のここに行くしかない。ただ、3Dプリンターの事業を立ち上げようと思うといろいろな見えない部分があって困っているかと思う。でも、今やらないと、

はっきりと見えてからでは遅い。

最後に、弊社の概要（図 16）と研究開発用 3D プリンター（図 17）を紹介する。もっと詳しく知りたい方は、問い合わせ頂きたい。

会社紹介

MICROJET

(株) マイクロジェット

- ◆ 創業 1997年
- ◆ 所在地 本社：長野県塩尻市  
支社：東京農工大学内 ベンチャーポート
- ◆ 業務内容

インクジェット技術に応用した  
ものづくり、バイオ、3Dプリントの  
研究開発・量産を技術支援

- ・研究開発用インクジェット装置の開発・製造・販売
- ・液材開発、先端デバイスの工法開発の受託、試作実験
- ・技術コンサルティング、技術セミナーの開催 等

Copyright (C) 2016 3D-printer Research Institute 無断転写、複製、転載禁止

図 16 (株) マイクロジェット会社紹介

研究開発用 3Dプリンター

MICROJET

インクジェット方式  
造形材料&造形プロセス評価装置

**MateriART-3D**

- ①粉末積層タイプ
- ②UV硬化積層タイプ

ヘッド駆動条件や造形条件を変えての造形実験が可能

Copyright (C) 2016 3D-printer Research Institute 無断転写、複製、転載禁止

図 17 (株) マイクロジェット研究開発用 3D プリンター

山口 修一（やまぐち しゅういち）

株式会社マイクロジェット／株式会社 3D プリンター  
総研 代表取締役 工学博士  
〒399-0732 長野県塩尻市大門五番町 79-2  
e-mail: seminar@microjet.co.jp