

# 材料から見た3Dプリンターの現状と将来

東京工業大学 萩原恒夫

3Dプリンターは、最近にわかに注目され、「産業革命を引き起こす可能性を秘めている」とまで言われるようになったが、材料から見ると必ずしもその道は容易ではない。顧客の求める物性や精度、意匠性などの性能を満たすことが必要である。特にパーソナルユースでは材料の取り扱いが容易であることも重要である。

## 1. はじめに

光造形システムの発明から30有余年、各種3次元積層造形装置(Rapid prototyping=RP装置、後にAdditive Manufacturing=AM装置)が開発されるに至り、大きな発展を遂げた。今日ではAM装置は3Dプリンターと呼ばれるようになり、2012年の下半期からにわかに注目され、「産業革命を引き起こす可能性を秘めている」とまで言われるようになり、大きなうねりとなって前進を始めた。本解説では2013年7月時点でのこれら3Dプリンターの材料を整理してその将来について述べる。

## 2. 3Dプリンターとは

3次元CADデータをもとに、液状の光硬化性樹脂、熱可塑性樹脂、プラスチック粉末、金属粉末、石膏粉末、砂等を用い、レーザービーム、電子ビーム、溶融押し出しInkJet等で一層ずつ積層することにより、成形用の型や切削工具等を用いずに3次元立体モデルなどを(精度良く)作成する装置を、最近では総称して3Dプリンターという。3Dプリンターは方式により下記のように細分化されている。

- (a) 液状感光性樹脂をレーザービームやランプで硬化させて立体形状とする方法を光造形法(Stereolithography: SLA)
- (b) ナイロンなどのプラスチック粉末や金属粉末を炭酸ガスレーザーやファイバーレーザーの熱モードで溶融して三次元に積層する方法を、粉末焼結積

層法(Selective Laser Sintering: SLS、金属粉末を溶かして積層する方法を場合により Selective Laser Melting: SLM)

- (c) ABSなどの熱可塑性樹脂ワイヤーを溶融して、細いヘッド(エクストルーダ)より押出して積層する方法を溶融樹脂積層法(Fused Deposition Modeling: FDM)
- (d) デンプン粉末や石膏粉末に水などのバインダー剤をインクジェットヘッドから吹きつけ固化させて三次元モデルを作成するZ-Printer方式や、光硬化性樹脂をヘッドから吐出しながらランプで硬化・積層するObjet方式などのインクジェット法
- (e) その他、Fe、Ni金属粉末等を炭酸ガスレーザーなどで直接溶融固化させて形状を作成するLaser Energy Net Shaping: LENS法、紙をナイフやレーザーで切断し、のりで接着しながら積層するシート積層法(LOMなど)等々がある。

### 2.1 今、なぜ3Dプリンターなのか

先に述べたが、2012年後半より突然「3Dプリンター」に注目が集まるようになった。その理由を整理してみると、以下のように思われる。

- (a) 高性能PCおよびそのグラフィック環境が成熟
- (b) 3D CADシステムの低価格化と普及により、3次元データが比較的簡単に生成できるようになった。
- (c) 積層造形法(RP、AM)の経験の蓄積、その技術の大衆化、そしてRapid Manufacturing(RM)化
- (e) RP、AM装置の多くが1980年後半に発明され、

出願して20年以上が経過したため基本特許が切れたこと。そして、FDM方式のオープンソース化(RepRap Project)。(大学発)ベンチャー機の大量進出、BfB、MakerBotなどの成功

(f) 生活の質の向上と物作りへの欲求の増大などの素地ができていた。

そんな折、クリス・アンダーソンの著書“Makers”の中で、「3Dプリンターというすごい技術が出てきて、ここ数年で急速に進化している。今はまだ特定の用途にしか使えない技術だが、数年後～10数年後に驚くような進化を遂げるだろうと予測される。そうなれば、第2の産業革命が起きるかもしれない。」とした。その後、オバマ大統領は、2013年2月13日に行われた一般教書演説のなかで、3Dプリンターに言及し、「3つの製造業ハブを立ち上げて積層造形に焦点を当てるとし、こうしたハブを15箇所作り、アメリカが新しい仕事と製造業の磁石になるよう注力する」ことを提案した。このハブを設けることで、新しいハイテク産業の雇用が生まれるという。このような背景のもと、経済産業省をはじめとして3Dプリンターの「ものづくり」への大きな期待が起こるとともに、メディアが過剰反応し、ある種の「バブル」状態に陥っている。

## 2.2 AM装置(3Dプリンター)市場の推移

図1にAM装置(3Dプリンター)市場の推移を示す。1980年代後半に発明があり、1990年からの約10年間の第一世代は、装置の開発や試験導入の世代であり、多くの装置が上市された。その後装置としての成熟が進み、そのコストや品質が問われ、めざましい発展とともに淘汰された第二世代を経て、必要不可欠なツ

ルとしての広く利用される第三世代へと推移した。3Dプリンターと呼んでいるFDM機のDimensionやインクジェット機のZ-Printerの普及を経て、パーソナル3Dプリンターが立ち上がった第四世代へと進化している。パーソナル3Dプリンターは台数ベースで2012年に35,500台(Wohlers Report 2013)と台数では業務用全3Dプリンターの5倍程度となっている。

## 2.3 3Dプリンターの価格

3Dプリンターの価格について整理したのが表1である。価格はパーソナル3Dプリンターの10数万円から業務用ハイエンド機の1億円超のものまであるので、対数価格で示した。当初、Stratasys社のDimensionとZ-Printerが500万円程度で販売されてから3Dプリンターの分野が確立された。最近では200万円前後が業務用では低価格帯の一つの目安となっている。ところが2010年あたりからパーソナル3Dプリンター(Terry Wohlers氏定義の50万円以下のもの)といえるFDM機が先に述べてように、基本特許消滅に伴うベンチャー企業大量出現により50万円以下で販売されるようになると、低価格化が起こりあつという間に新しい時代が開かれた。

## 3. 3Dプリンターの材料

各3Dプリンターについてその材料を整理したのが表2である。後に各材料について述べるが、石膏の粉末や砂材料のような無機物、スチールなどの金属粉末から液状感光性樹脂に至るまでその材料は多種・多様に亘っている。これらはユーザーのニーズに応じて使い分けられ

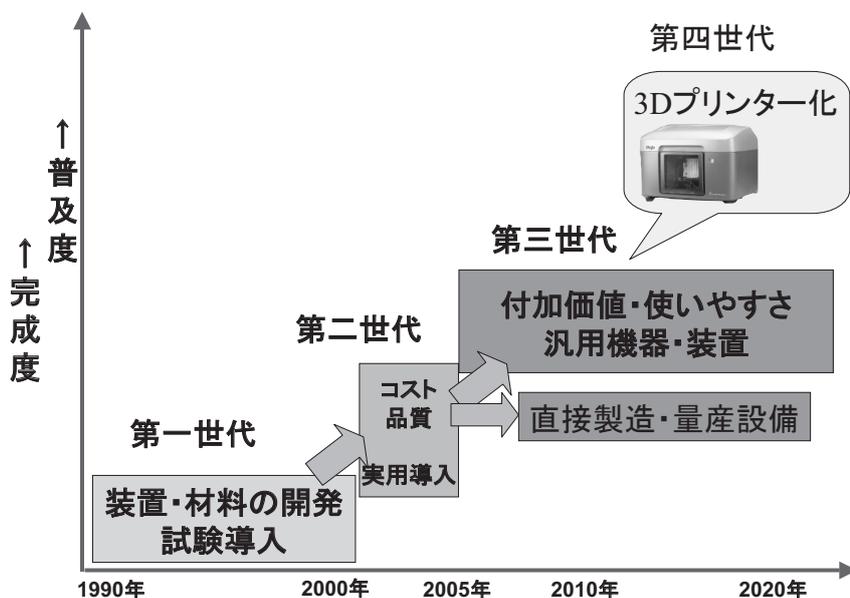


図1 AM装置(3Dプリンター)市場の推移

表1 3Dプリンターの価格 (対数表示)

方式	メーカー	価格帯 (万円)			
		10	100	1,000	10,000
光造形/LASER	3D Systems			■	■
	CMET			■	■
	DWS			■	■
	Form1	■			
光造形/DLP-lamp	Envisiontec			■	■
	ASIGA		■		
インクジェット	3D Systems			■	■
	Objet (Stratasys)			■	■
	3D Systems (Z)			■	■
	SolidScape			■	■
粉末焼結/LASER	EOS			■	■
	3D Systems			■	■
	アスペクト			■	■
溶融積層 (FDM)	Stratasys			■	■
	3D Systems (BfB)	■			
	その他	■			

表2 各3Dプリンターとその材料

方式	メーカー	材料		主用途
		カテゴリー	具体例	
光造形 /LASER	3D Systems	光硬化性樹脂	エポキシ/アクリレートハイブリッド	試作分野
	CMET	光硬化性樹脂	エポキシ/アクリレートハイブリッド	試作分野
	DWS	光硬化性樹脂	アクリレート系	宝飾、歯科
	Form1	光硬化性樹脂	アクリレート系	ホビー
光造形 /DLP-lamp	Envisiontec	光硬化性樹脂	アクリレート系	宝飾、歯科
	ASIGA	光硬化性樹脂	アクリレート系	宝飾、歯科
インクジェット	3D Systems	光硬化性樹脂	アクリレート系/ワックス	宝飾
		光硬化性樹脂	アクリレート系	歯科
	Stratasys (Objet)	光硬化性樹脂	アクリレート系	形状確認
	3D Systems (Z)	石膏	石膏/水	デザイン・フィギュア
	SolidScape	ワックス	ワックス + バインダー樹脂 (Polyester)	宝飾
粉末焼結 /LASER	EOS	ナイロン、金属粉	PA12, SUS, Ti, Al, Co-Cr	試作、生産
	3D Systems	ナイロン、金属粉	PA12, SUS, Ti, Al, , Co-Cr	試作、生産
	アスペクト	ナイロン、PP	PA12, PP	試作
溶融積層 (FDM)	Stratasys	熱可塑性樹脂	ABS, PC, PEI, PPSF etc	試作、形状確認
	3D Systems	熱可塑性樹脂	ABS, PLA	形状確認
	RepRap 他	熱可塑性樹脂	ABS, PLA	ホビー

ている。このような状況を見るとこれからはいかにユーザが使いこなすかにかかっているように思われる。

### 3.1 光造形用液状光硬化性樹脂

光硬化性樹脂を用いる光造形装置の光源としては半導体励起の固体 UV レーザであり、最近の小型の光造形装置では DLP や LED レーザを用いている。光造形用液状樹脂は、多官能アクリレートと（脂環式）ジエポキシ化合物を主成分とする所謂、ラジカル反応とカチオン反応のハイブリッド樹脂仕様となっており、更に、最近では筆者らが最初に採用したように、オキセタンアルコール化合物を共存させて、エポキシ化合物の反応速度の改善を図ると共に、組成物粘度低減によるメカニカルな部分の改善により造形速度を向上させたものが殆どとなっている。

また、最近では、エポキシ基の反応を開始する光カチオン重合開始剤の非アンチモン化が図られ、液状樹脂が非劇物扱いとなり取り扱いが向上している（写真1）。

光造形システムの発当初から実部品への応用が期待されているが、樹脂開発で靱性と耐熱性のトレードオフの関係の壁（図2）を超えることが難しく、熱可



写真1 シーメット社の非アンチモン透明樹脂 TSR-890 の造形例

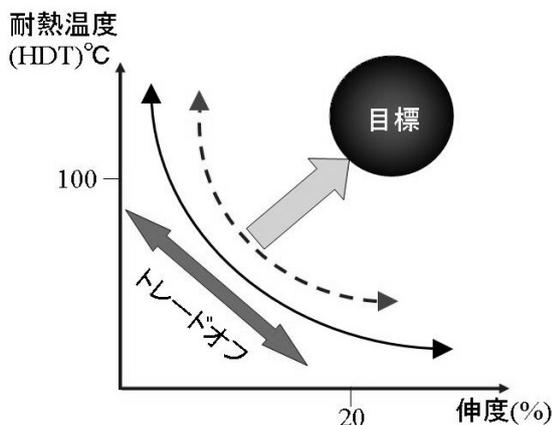


図2 靱性と耐熱性のトレードオフの関係

塑性エンジニアリングプラスチックと同等な性能を得ることはほとんど不可能と思われる。そのため、光造形法だけの大きな利点である透明性を生かした用途に積極的に利用されている。光造形材料についての詳細な記述は筆者の最近の総説（素形材, Vol. 53, No.10 (2012) 51-57) を参考にされたい。

光造形法の他の用途については、高精度な造形物が得られるのでその用途を積極的に活用した (a) 宝飾用消失模型、(b) 補聴器のシェル応用、(c) 歯科応用などに積極的に利用されている。補聴器のシェルや歯科では個人で形状が異なるため、スキャナデータをもとにした積層造形がぴったりである。今後歯科応用では口腔内デジタルスキャナーの普及でさらに重要度が増すものと推定している。

### 3.2 粉末焼結積層造形 (SLS, SLM) 用材料

ナイロン 12 からなるエンジニアリングプラスチック粉末を主体とするレーザービームの熱モードによる粉末焼結法は、1980 年台後半テキサス大学のグループからスタートし、DTM 社が設立されたが、後に 3D システムズ社に併合された。ほとんど同時期にドイツの EOS 社もこの方法を採用して積層造形ビジネスを開始した。

この粉末焼結法で利用されている材料の大半はナイロン 12 (ポリアミド 12, PA12) で、その材料はドイツ・エポニック社がほぼ独占している。一部 PA11 がアルケマ社から提供されている。また、日本のトライアル社によりポリプロピレン (PP) が開発され上市されている。また、EOS 社はスーパーエンブラの PEEK の利用も可能としている。PA12 にはカーボンファイバー、ガラスビーズ、アルミ粉末などを混合して性能強化したものも利用されている（表2）。

ドイツを中心に金属粉にレーザーを照射し焼結または溶融させて積層することが盛んに行われている。金属（合金）粉末としては最近では殆どのものが利用可能になっている。

スウェーデンの ARCAM 社は金属粉末の積層造形法としては他より遅く 2002 年に電子ビームを用いた装置を上市したが、最近ではその生産性から SLS や SLM などの金属粉末レーザー焼結法よりも多くの支持を得ていると言われている。特にインプラント用のチタン合金 (Ti6Al4V など) やコバルト・クロム粉末の造形では他を引き離していると言われている。

### 3.3 溶融樹脂積層 (FDM) 用材料

米国ストラタシス社を設立したのクランプ氏により、1988 年頃 FDM 方式が発明された。細い線状熱可塑性樹脂をヘッド内部のヒーターで熱して溶融させ、極小

表3 EOS社の主な粉末焼結用材料

銘柄	成分	特徴
Almide	アルミ入り PA12	高剛性、メタリック調
Carbomide	カーボンファイバー入り PA12	高強度、高剛性、軽量
PA2200	PA12	汎用材料
PA3200GF	ガラス入り PA12	高剛性、高耐衝撃性、高耐熱性
EOS PEEK HF3	ポリアリールエーテルケトン (PEEK)	高耐熱性、高耐摩耗性、耐薬品性
PrimaCast 101	ポリスチレン	消失モデル
AlSi10Mg	アルミニウム合金	機械特性、軽量
Cobalt-Chrome MP1	コバルト-クロム-モリブデン主体の合金	機械特性、軽量、耐食性、耐熱性
Cobalt-Chrome SP2	コバルト-クロム-モリブデン主体の合金	生体適合性、歯科用
DirectMetal 20	ブロンズ主体の合金	微細形状モデル
Stainless Steel GP1	ステンレス鋼 17-4/1.4542/SUS630	機械特性
Stainless Steel PH1	ステンレス鋼 15-5/1.4540	45HRCの硬度
Titanium Ti64	Ti6Al4V 軽合金	軽量、生体適合性、生体結合性

のノズルから吐出させながら1層ずつデータに沿って積層させて三次元モデルを造形する。その材料はABS樹脂がその代表的なものであり、ポリカーボネート樹脂、PC/ABSアロイ、PPSF/PPSU樹脂、ULTEM（ポリアリールエーテルイミド）樹脂など（熱可塑性のエンジニアリングプラスチック～スーパーエンジニアリングプラスチックなど）の広範囲な材料が使用できる。

ストラタシス社の上位機種であるFORTUSシリーズでは広範な材料（表3）の利用が可能であるが、普及機種であるDimensionシリーズやu-PrintではABS-M30相当のABS-Plus樹脂に限定されている。

ストラタシス社の造形物（FDM方式）は当初積層面（x-y方向）は強いが積層方向（Z方向）は弱いとされてきたが改良され現在では殆ど問題がないレベルになっている。そのためCADデータから直接最終製品と同等のものを得ることができ製品開発に極めて有効なものとなっている。しかし、代表的なサポート材は苛性ソーダ水溶液で可溶性カルボキシル基（-COOH）を含有ポリマー用いているため、パーソナル用としてはより安全性の高い、単純な水に溶解するサポート材が期待されている。

### 3.4 Personal 3D Printer / FDM法

イギリスのBath大学を中心にオープンソースのRepRapプロジェクトが2005年にスタートし、大きく発展した。ストラタシス社の基本特許が米国で2009年に切れたことを契機に次々にベンチャー企業が立ち上がったが、中でもBits from Bytes社とMakerBot社が大きな成功を収め、その結果、前者は

3DSystems社に後者はストラタシス社に買収され発展を続けている。

それらの材料は主にABS樹脂とポリ乳酸（PLA）であり、ポリ乳酸はモデル材とサポート材の双方に利用されている。これら材料は中国産が多く、比較的安価（3,000円～5,000円程度/kg）で売られている。

3Dプリンターの大きな注目の中、海外はもとより国内でも多くの大小の企業が手がけ始めたことより更に大きな発展と成長が期待される。しかし、ABS材とPLA材が主な材料のため、個人ユーザが自由にいろいろな部品やモデルを作成するためには、更に高性能な材料が安価で利用できるようになることが求められる。

3Dシステムズ社のCubeが家電量販店の山田電気を取り扱うことが報じられる（2013年7月18日日経）と他の家電量販店も動きが活発となり、一般個人が身

表4 Stratasys社FORTUSシリーズの材料

銘柄	適用
ABS-M30	汎用ABS材料
ABS-M30i	生体適合性材料（ISO-10993）
ABSi	半透明
PC-ABS	高衝撃強度
PC	高引張り強度
PC-ISO	生体適合性材料（ISO-10993）
ULTEM 9085	耐熱、難燃 （米連邦航空局・米連邦食品安全認証）
PPSF-PPSU	耐熱、耐化学薬品

PC：ポリカーボネート

近にパーソナル 3D プリンターに触れることが出来るようになってくると思われる。

### 3. 5 インクジェット方式

#### 3. 5. 1 Z-Printer 方式

マサチューセッツ工科大学 (MIT) のサックス氏らにより 1989 年にノズルから出た水系の結合材により粉末を固化させて積層することでモデルを作成する方法が開発された。このライセンスを受けて設立された Z コーポレーションは、インクジェットによる積層造形装置を 1996 年に発表した。デンプン粉末を用いた最初装置はその造形速度で、これまで発展してきた光造形や粉末焼結積層に大きな衝撃と驚きを与えた。造形物は精度についてはあまり議論をすることはできなかったが、造形時間を 1/10 ~ 1/20 に短縮することが可能となり、積層造形に対する考え方を一変した。この装置は、その後デンプン粉末の欠点を克服するために石膏の粉末を主に使用することになるとともにカラー化もなされ、造形速度と意匠性が優れていることより、形状確認やデザイン確認の用途で多く利用されている。今後は、FDM 方式と同様に MIT の基本特許が切れたことにより、他の材料を利用できる同様な装置が上市されるものと推定している。

#### 3. 5. 2 砂型鑄造用インクジェットシステム

自然砂や人工砂にフェノール系やフラン系のバインダー樹脂をインクジェットヘッドから吐出して砂型を作成する 3 次元積層造形法が最近大きな注目を集めている。この方式には、MIT のインクジェット方式のライセンスを受けた ProMetal 社のシステムを原点とする ExOne 社の砂型プリンターと、Z 社のサブライセンスを受けた VoxelJet 社のものがある。中でも ExOne 社の砂型造形システムは、最近多くのところで導入が進んでいる。このシステムは砂型造形に木型や樹脂型を不要とし、試作品の鑄造はもとより、量産品の作成も視野にあり鑄造金属製品の設計の幅を広げ、次世代のものづくりへの期待が大きい。従来法に比較して複雑な造形が可能なので、中子の点数を大幅に減らすことができる。材料は多種の材料を利用できないが、砂型鑄造機として極めて大型の装置の設計が容易であり、生産機を意識した装置として今後は一層大きな発展が予想される。

2013 年 5 月の末に経済産業省の「超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト」が国内の 12 者でスタートした。このプロジェクトは 5 年後をめどに、ExOne に代表される砂型用 3D プリンターの 10 倍の造形速度と、中小企業でも購入できるような 2000 万円程度の価格機を目指したものである。今後も国内にお

いて、このような経済産業省のバックアップによるいくつかのプロジェクトの立ち上げが予想され、3D プリンター機の新たな開発が進むものと期待している。

#### 3. 5. 3. 感光性樹脂インクジェット方式

イスラエルの OBJET GEOMETRY 社 (2012 年 12 月ストラタシス社に併合) からは光硬化性樹脂をインクジェットヘッドより吐出させた後、UV ランプの光で硬化させるシステムが 1999 年に発表された。この技術は元々日本のブラザー工業により提案されたものであったが、Objet 社により製品化された。現在では比較的安価な 100 ~ 200 万円レンジのシステムから大型でかつ多種の材料が利用できる数千万円クラスのものまで幅広く製品化されている。もともと、インクジェットヘッドの物理的制約から厚い樹脂層の積層が得意なため、その欠点をうまく利用して 16 ミクロンの厚みで積層することにより端面の滑らかさを獲得している。

材料はアクリレート系の光硬化性樹脂で、ファイラー入りの剛性の高いものからゴムライクな軟らかいものまで十数種類が発売されている。上位機種である CONNEX シリーズでは硬-軟 2 系統の樹脂をユーザが欲しい物性に近づけて造形できる「デジタルマテリアル」の使用が可能となっている。また、2 種類の材料を同時に使用して積層が可能なことより、透明な樹脂と不透明な樹脂を組み合わせることで妊娠中の胎児の状況を再現するなどの多彩な表現を可能としている。Objet が歯科向けに 3D プリンターを提供し始めたのは今から 2 年ほど前であるが、米国を中心に多くの顧客を獲得している。

### 3. 6 その他の積層造形システム

その他の積層造形法の材料としては、インクジェットのノズルより、加熱溶融したワックス材を液滴として連続的に吐出し堆積固化させながら積層を行い、ロストワックス鑄造用モデルを作成する Solidscape 社のものがあり、造形速度の点からは不利であるが非常に微細な造形物を得意とするため宝飾・歯科のロストワックスモデルに用いられている。また、3D システムズ社も UV 硬化材料を利用するものやワックス材を利用するプリンターを数種類上市している。

紙に代表されるシート状材料を、レーザまたはカッターで切り出し糊を付けながら積層するシート積層法があったがオーバーハングの取り扱いが得意でなかったために 2 社とも撤退した。しかし、昨 2012 年秋から紙を積層し、フルカラー造形物を作成可能で比較的安価な Mcor IRIS プリンターが上市された。このシステムも本質的にはオーバーハングが得意ではないが用途を限って使えば新しい切り口があるものと推定される。

## 4. 材料から見た3Dプリンターの今後の行方

いま大きな話題となっている3Dプリンターを利用することにより、将来「誰もが容易に各種部品、部材を任意の材料で製造可能になるか?」という問いがたびたび寄せられるが、筆者は肯定的な回答は現状では持ち合わせていない。パーソナル3Dプリンターで使える材料は限定的であり、その材料は、汎用熱可塑性樹脂に限られている。また、我々の生活の中で広く使われているプラスチック製品やその部品と同等またはそれに近い品質のものが作成可能となるのは極めて厳しいと思われる。積層造形は比較的形状に制限がないが、方向により物性を発揮できなかったり、多少ではあっても積層の段差があり特に、緩斜面での段差は目立ちやすい。また工業製品並みの精度を確保するのも並大抵なことではない。

更に、金属の立体形状物を得るためには極めて高価な装置と環境が必要であり、このような金属造形装置が安価になり、身近なものになるためには、今後20年以上の年月が必要と推定される。

材料に求める顧客の要求は常に極めて厳しいものであり、日々利用している工業製品は完成品度の高いものである。そのことを思えば最終製品レベルのものを3Dプリントすることはほぼ不可能と考えている。

筆者のように材料の開発に長い間携わってきたものにとっては、「誰もが容易に各種部品、部材を任意の材料で製造できる」ようになる日が訪れことは、遠い夢に思われる。

安価な3Dプリンターの登場で、モノづくりに対する意識の変化は起こっている。しかし、3Dプリンターを使うには、まず3次元データが必要であることから、3D CADや3Dスキャナが自由にかつ意識せずに使えることが必要である。また3次元CADで最終製品レベルのデータを作成することは個人の範囲ではなかなか容易ではない。今後は簡便でかつ高度な無償3次元CADが普及してくると推定されるが、それでも習得にはある程度の努力が必要と思われる。

## 5. 3Dプリンターで産業革命は起こるのか

AM法が発明されてからすでに30年以上が経過し、すでにもものづくりの世界では広く普及(RP, RMとしての利用)している。そのため、この技術で、ものづくりのあり方、特に産業としてのものづくりに変化は殆ど起こらないと考える。特に、高品質・安価・大量生産という枠組みには影響を及ぼさないものと考えている。

しかし、企業内でのデザイン検証・機能検証が極めて身近になったり、今までの試作という生産に近いところから、商品立案・デザイン・設計という上流に広く使われるようになってきたことと、試作に大きなハードルがあった小さい企業には有効な手段となると考える。そのため、ベンチャービジネス生成の可能性が増大すると思われる。

また、材料の性能にあまり依存しない個人の活動を中心とした生活付随物や表現・デザイン・ファッション・芸術などの分野で3Dプリンターは広く展開されていくものと思っている。創作活動としてのものづくりは活発になることで試作業や出力サービスは一層盛んになるものと推定される。デジタルカメラとインクジェットプリンターによりフィルム会社とDPE店舗が閉鎖されたのとは異なるものと推定している。

材料および3次元データの状況から、「3Dプリンターにより産業革命が起こるか」という問いに対しては、現状では「No!」という答えになるだろう。将来も大きく変わらないだろうと筆者は考えている。

## 6. 今後の展望

3Dプリンティングの消費者潜在ニーズ調査がMM総研により最近(2013年3月27日)報告された。その結果、3Dプリンティング(立体造形)に興味がある消費者は5割を超える共に、3Dプリンティングには多彩な用途を期待していることが示された。また、「パーソナルファブ리케이션」の普及可能性については、「大量生産・消費型の産業構造とは異なり、個人が自分の欲しいものを手軽に作成する、また創造していくという新しい構造の産業が生まれてくるのではないかと報告されている。上述したように筆者も同様に予想している。

しかし、2013年5月のマッキンゼー報告「Disruptive technologies 2025」では過剰とも言える期待を示し、2025年には6兆円～20兆円/年・世界という予想を示した。筆者は、このように大きな期待を持つことは逆に大きな失望にも繋がると考えている。

3Dプリンターが今後発展を見るためには、簡易な三次元データ作成ツールの普及が必須であると考えている。そして、高精度・高速の「ものづくり」の業務用ハイエンドマシンは確実にその役割を増すと共に、普及型であるZ-Printerや簡易型光造形は小規模出力サービスやハイアマチュアに普及すると推定している。また、ニッチな市場ではあるが、3Dデータが真に活躍すると考えられる医療・歯科向けは大きく発展するものと推定している。

低価格で取り扱いの容易なFDMタイプのパーソナ

ルプリンターが普及するものと推定しているが、装置だけでは採算がとれないために、装置・ソフト・材料及びデータの総合の新しいビジネスとして展開されていくものと推定している。

## 7. あとがき

各種3次元積層造形装置が上市されそれぞれの地位を獲得した時代はRapid Prototyping装置、或いはAdditive Manufacturing装置というものであった。最近はずべて一色単にして3Dプリンターと呼ぶことが多くなった。むしろ呼んでいると言うべきかもしれない。すなわち、客・ユーザから見れば装置はどんなものでもよく、自分でほしいものが手に入るものであればいいのである。本総説で各種積層装置の材料について各論をして得られる造形物を比較することはあまり意味のないものかもしれない。

この中で、FDM法は、Stratasys社の基本特許が数年前に切れたためベンチャー企業がたくさん立ち上がるとともに、オープンソース化したこともあり極めて活発化したように、MITのサクスの発明に基づくインクジェット方式も最近基本特許が切れたことと、SLSの重要特許も近いうち切れることから、今後類似の装置が沢山出てくる可能性があり、ますます3D Printerが賑やかになると思われる。この点からみると世の中が変わる可能性を秘めている。

## 参考文献

- 1) 中川威雄, 丸谷洋二編, 積層造形システム－三次元コピー技術の新展開 (工業調査会, 1996).
- 2) P. F. Jacobs: "Rapid Prototyping & Manufacturing, Fundamental of Stereolithography" (SME, 1992).
- 3) T. Wohlers: "Wohlers Report 2012", 及び "Wohlers Report 2013", Wohlers Associates, Fort Collins, Colorado, USA.
- 4) 萩原恒夫ホームページ; <http://www.thagiwara.jp>
- 5) 萩原恒夫 "素形材", Vol. 53, No.10 (2012) pp51-57.
- 6) 各社 3D Printer メーカーのカタログ
  - (ア) シーメット株式会社; <http://www.cmet.co.jp>
  - (イ) 米国 3D Systems Inc.; <http://www.3dsystems.com>
  - (ウ) 米国 Stratasys 社及び丸紅情報システムズ社; <http://www.stratasys.com>, <https://www.marubeni-sys.com/>, [http://jp.objet.com/Portals/15/docs/PDF/Brochure/Objet\\_System\\_Matrix\\_JP\\_sml.pdf](http://jp.objet.com/Portals/15/docs/PDF/Brochure/Objet_System_Matrix_JP_sml.pdf)
  - (エ) ドイツ EOS 社及び NTT-Data エンジニアリングシステムズ社; <http://www.eosinfo>, <http://www.nttd-es.co.jp>
  - (オ) ExOne 社; <http://www.exone.co.jp>
  - (カ) イタリア DWS 社及びドイツ EnvisionTec 社; <http://www.dwssystem.com>, <http://www.envisiontec.com>
  - (キ) スウェーデン ARCAM 社  
<http://www.arcam.com>
- 7) MM総研レポート (2013年3月); <http://www.m2ri.jp/newsreleases/main.php?id=010120130327500>
- 8) マッキンゼーレポート (2013年5月); [http://www.mckinsey.com/insights/business\\_technology/disruptive\\_technologies](http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/disruptive_technologies)
- 9) 前田寿彦 "素形材", Vol. 53, No.2 (2012) pp.53 ~ 59.
- 10) 真弓 剛 "素形材", Vol. 53, No.3 (2012) pp.25 ~ 30.