平成28年4月15日印刷 平成28年5月1日発行(毎月1回1日発行) 第64巻 第5号 通巻第810号 ISSN 0452-2834

**ENGINEERING MATERIALS** 

# 工業材料

2016 ) Vol.64 No.5

特集

## 応用進む3Dプリンタ(付加製造)と材料技術

連載 進化を続ける工業用触媒の最新動向─環境時代の各社の触媒技術第9回 エヌ・イー ケムキャットの工業触媒技術の最新動向

### 日本発明大賞受賞

®分子勾配膜/®メークリンゲル/®大気助剤貼合法

アクリルベースに蓄熱フィラーを混練した コンパウンド蓄熱粘着シート。 一定時間、任意温度にてシート温度を維持します。

蓄熱/均熱ゲルシート

®FREY

KGK

多機能化技術で貢献する 共同技研化学株式会社

http://www.kgk-tape.co.jp

〔総論〕

## 材料から見た 3D プリンタの現状と将来

ネクスト・ラボラトリー 萩原 恒夫\*

#### はじめに

2012年の下半期から世界的に、3次元積層造形 (AM)装置が3Dプリンタとして、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、マスコミに連日 取り上げられ大きな話題となった。

その後2015年半ばから落ち着きを見せている が、各国での3次元積層造形への取組みは引き続 き大きな関心事となっている。本稿では、2016 年3月時点での3Dプリンタの材料を概観するとと もにその将来について考察する。

#### 3Dプリンタとは

「3Dプリンタ」という言葉は小学生でも知るこ ととなってはいるが、もう一度整理してみると、 「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、砂などを用い、レーザビーム、電子ビ ーム、溶融押出しインクジェットなどで1層ずつ 積層することにより、3次元立体物を作製する装 置」のことを指している。しかし、正式にはAdditive Manufacturing (3次元積層造形)と呼び、 その方式により次のように細分化されている。

\*はぎわら つねお:シニアコンサルタント 〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-34-2 E-mail: ts.hagiwara@gmail.com

- ① 液状感光性樹脂をレーザビームやランプで硬 化させて立体形状とする方法を液槽光重合法 (Vat Photo-polymerization)
- ② ナイロンなどのプラスチック粉末や金属粉末 を炭酸ガスレーザやファイバーレーザの熱モ ードで溶融して3次元に積層する方法を、粉 末床溶融積層法(Powder Bed Fusion)
- ③ ABSなどの熱可塑性樹脂ワイヤを溶融して、 細いヘッド(エックストルーダ)より押出し て積層する方法を溶融樹脂押出法(Material Extrusion)
- ④ デンプン粉末や石膏粉末に水などのバインダ 剤をインクジェットヘッドから吹きつけ固化 させて3次元モデルを作製する方法(Binder Jetting)
- ⑤ 光硬化性樹脂などをインクジェットヘッドか ら吐出しながらランプなどで硬化・積層する 方法(Material Jetting) そのほか、
- ⑥ Fe、Ni 金属粉末などを吐出し炭酸ガスレーザ などで直接溶融しながら形状を作製する指向 エネルギー堆積法(Directed Energy Deposition)、紙をナイフやレーザで切断し、のりで 接着しながら積層するシート積層法(Sheet Lamination)があり、最近では、
- (7) 金属粉末を粉末床溶融積層しながら端面など を切削する方法や思考エネルギー堆積法で金

属を堆積しながら切削する方法 などのハイブリッド法(Hybrid Type)がある。

これらを方式をまとめて**表1**に示す。

#### 3Dプリンタの材料

3Dプリンタの材料は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、紙や樹脂粉末から液状感光性樹脂に至るまで多岐にわたっている。これらはユーザー、特に産業界のユーザーニーズに応じて使い分けられているが、日常手にす

る材料から見ると、各方式についてまだ十分と言える状態になっていない。現状では限られた材料をユーザーが工夫して使い分けている。以下それぞれの方式についてその材料を簡単に述べる。詳細については、各論を担当する諸氏に委ねることとする。

#### 1. 液槽光重合用光硬化性樹脂

大型のレーザ方式の液槽光重合装置では、半導体励起の固体レーザから発振する355nmの紫外光が用いられ、造形用の材料である光硬化性の液状樹脂は主として、(脂環式)ジエポキシ化合物を主成分とし多官能アクリレートを含むいわゆるエポキシ系樹脂と呼ばれものである。これはラジカル反応とカチオン反応のハイブリット構成となっており、最近では、さら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と、組成物粘度低減による機械的負担軽減により造形速度を向上させたものとなっている。

また、ごく最近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、液状樹脂を非劇物扱いとすることにより取り 扱いを向上させている。これに対して、DLP機 を含む小型の光造形装置の光源としてはUVランプ、405nmのLEDランプやLDレーザを用いているため、上記エポキシ系のハイブリット樹脂が利用できない。そこで、現状ではアクリレートやウレタンアクリレートからなるいわゆるアクリレート系光硬化性樹脂を利用している。このアクリレ

表 1 各造形方法とその材料

積層技術	英 名	別 名	材 料	手 段
液槽光重合法	Vat Photo- polymerization	光造形法、SLA	光硬化性 樹脂	レーザ、 ランプ
粉末床溶融	Powder	粉末焼結法、SLS、	PA粉末、	レーザ、
結合法	Bed Fusion	SLM、EBM	金属粉	電子線
材料押出法	Material Extrusion	溶融樹脂積層法、 FDM、FFF	ABS、PCワイヤなど	熱
結合剤噴射法	Binder	インクジェット法、	石膏粉、砂	インク
	Jetting	Z-Printer	水系バインダ	ジェット
材料噴射法	Material	PolyJet、	光硬化性	インク
	Jetting	MJMなど	樹脂など	ジェット
シート積層法	Sheet	シート積層法、	紙、プラスチ	レーザ、カッ
	Lamination	LOM法	ックシート	ターナイフ
指向エネルギ 一堆積	Directed Energy Deposition	LENS法、DED法	金属粉末	レーザ

ート系樹脂は小サイズの造形物では収縮率の大き さがさほど問題にならないとともに、低エネルギ ーで硬化するので小型の装置では都合がよい。

液槽光重合法の発明当初から実部品への応用が期待されABS樹脂物性を目標としているが、靱性と耐熱性のトレードオフの関係の壁を打ち破れず、熱変形温度が60℃を超えておらず、ABS相当品としての利用までには至っていない。しかし、光造形法の大きな利点である透明性を生かした用途や、高精度で高精細な造形物が必要とされるところに積極的に利用されている。

液槽光重合法は高精度で高精細な造形物が得られることから、大型の装置では自動車産業や家電の試作を、小型の装置では宝飾用消失模型、補聴器やオーダーメードヘッドフォンのシェル、歯科応用などに広く利用されている。補聴器のシェルや歯科では個々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。歯科応用では口腔内デジタルスキャナの普及が開始し、今後、特に小型の液槽光重合装置の重要性がますます大きくなると推定している。

#### 2. 粉末床溶融積層造形(PBF)用材料

#### (1) 熱可塑性樹脂粉末

主にナイロン11やナイロン12(PA11、PA12) 粉末からなるレーザの熱モードによる粉末床溶融 積層造形法は、1980年台後半テキサス大学のグルーブからスタートしたDTM社(後に3Dシステムズ社に併合)の頃から材料での進歩はほとんど

表 2 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 一入り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、高耐衝擊性、 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

ない。その理由は、結晶性の熱可塑性樹脂粉末がレーザの熱で溶け再び結晶化するまでの温度の間(プロセスウインドウ)の準安定状態に造形室温度を保ちそりの発生を抑えて積層するためであり、このプロセスウインドウが十分広い結晶性熱可塑性樹脂は、これらPA以外にあまり見当たらないためである。

現在この熱可塑性樹脂の粉末床溶融積層造形装置は、米国3Dシステムズ社とドイツのEOS社の2社が大きなシェアを占めており、材料の大半はPA12で、ドイツ・エボニック社がほぼ独占している。PA11はフランス・アルケマ社から提供されているが大きなシェアを占めるに至っていない。PA12の物性向上のために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たものが利用されている(表2)。

このほか、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、現在はアスペクト社から販売され、自動車産業を中心に利用されており、今後の発展が期待されている。また、EOS社では、高温造形が可能な装置(EOSINT P800)を開発して、スーパーエンジニアリングプラスチックのPEEKの積層造形を可能としている。しかし、このPEEK材は高価で現状ではリサイクルができないため、普及には造形方法のいっそうの改良が求められている。

DTM社の出願の基本特許が消滅したことにより、2014年から比較的安価なPA粉末の積層装置が出現している。この点も注目していく必要がある。

#### (2) 金属粉末

ドイツを中心に金属粉にレーザを照射し焼結ま

表 3 金属粉末装置(SLS、SLM、EBM)メーカー

メーカー	製 品 例	围
3D システムズ	ProX100、200、300	米国
EOS	EOSINT-M400、M100	ドイツ
REALIZER	SLM 100、250、300	ドイツ
Renishaw	AM250	英国
CONCEPT LASER	M1 cusing、 M2 cusing	ドイツ
SLM Solutions	SLM50HL、 SLM150HL	ドイツ
Arcam	Q10、Q20	スウェーデン

たは溶融させて積層することが盛んに行われている。装置メーカーについて整理をすると**表3**のようになる。材料である金属(合金)粉末としては最近ではほとんどのものが利用可能になっている。難しいと言われたアルミ合金は今日ではごく普通の材料となっている。

スウェーデンのARCAM社は、金属粉末の積層造形法としてはほかより遅く、2002年に電子ビームを用いた装置を上市した。当初の造形物は精度などの点から実用性を疑う評価もあったが、この方法は造形室を真空にすることで金属粉末の酸化を防ぐとともに予備加熱を行うことと、電子ビームを電磁制御して走査することにより高速な造形が可能となっている。そのため、レーザによるPBF機よりも「生産性で優れる」と多くの支持を得ていると聞いている。特にインプラント用のチタン金属やその合金(Ti6A14Vなど)粉末の造形では大きな評価を得ている。

#### 3. 材料押出法(Material Extrusion)

米国ストラタシス社を設立したクランプにより、非晶性の熱可塑性樹脂を細いワイヤ状で供給し、ヘッド内部のヒータで加熱溶融させ、極小のノズルから吐出させながらデータに沿って1層ずつ積層させて3次元造形物を得るFDM法が1988年頃発明された。その産業向けのワイヤ材料はABS樹脂が代表的なものであり、ポリカーボネート(PC)樹脂、PC/ABSアロイ、PPSF/PPSU樹脂、ポリエーテルイミド樹脂(ULTEM)など熱可塑性のエンジニアリングプラスチックからスーパーエンジニアリングプラスチックに至る広範囲な材料が利用可能になっている。最近では微結晶性のPA12も利用可能である。

ストラタシス社の上位機種であるFORTUSシリーズでは、上記の広範な材料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樹脂に限定されている。

オーバーハング部を有するものに必要なサポート材として、現状では、苛性ソーダ水溶液で可溶なカルボキシル基(-COOH)含有熱可塑性樹脂が主に利用されている。造形後このサポート材は加温下の超音波洗浄機で除去している。そのため、除去性が優れるとともに安全性に優れたサポート材、例えば、単純な水やアルコールなどに溶解するような材料が期待されている。

#### 4. Desktop 3D Printer用材料

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FDM造形機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。なかでも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高額で買収された。これらRepRap機は、今日「3Dプリンタ」と呼ばれる代表機であり、ブームの火付け役ともなった。多くのベンチャー企業を生み、現在では世界中で100社以上あるものと思われる。

それらの材料は造形室の温度制御が不要で造形時のそりの小さいポリ乳酸(PLA)が主体である。これら材料は中国産が多く、比較的安価(3,000円程度/kg)で売られている。しかし、PLAは加水分解性が高いため、寸法精度が重要な産業用の試作には不向きである。また、1つの吐出ヘッドを有する装置がほとんどで、サポート材もPLAから構成されるためオーバーハング部の取り扱いには自ずと制限がある。

3Dプリンタの大きな注目の中、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からさらに大きな発展と成長が期待されている。ごく最近に、造形室内温度制御の基本特許が消滅とのことで、造形室内の温度制御を必要とするABS材の採用が廉価機でも進むとともに、ほかの熱可塑性樹脂材料の開拓も積極的に行われ始めた。2015年11月のドイツ・フランクフルトでの

展示会FormNext2015ではいち早くPEEKワイヤで造形する装置をドイツ・INDMATEC社(http://www.indmatec.com/en/home-2)が展示して話題となった。このように高性能なスーパーエンジニアリングプラスチックが比較的廉価な装置でも利用できる土壌が整いつつある。

#### 5. バインダ噴射法(Binder Jetting)

#### (1) 石膏積層

マサチューセッツ工科大学(MIT)のE・サックスらにより、1989年に水系の結合材をインクジェットノズルから吐出させて粉末を固化させ、積層することで立体造形物を作製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りデンプン粉末を積層造形する装置を1996年に発表した。その造形速度は、これまで発展してきた液槽光重合法や粉末床溶融積層法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、造形時間に対する考えを一変させた。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使用するとともにカラー化がなされ、造形速度と意匠性が優れていることにより、デザイン検証や製品形状の確認用途で広く利用されている。最近では、石膏の代わりにセラミックスをはじめとする各種材料の開発が進められており、今後の材料面からの大きな発展が期待できる。

MITの基本特許が切れたことにより、ほかの 積層方法と同様に安価な装置が多く出てくるもの と推定される。

#### (2) 砂型造形

自然砂や人工砂にフェノール系やフラン系のバインダ樹脂をインクジェットヘッドから吐出して砂型を作製する積層造形装置が最近大きな話題を集めている。この方式には、前述のMITのインクジェット方式のライセンスを受けたExOne社の砂型プリンタと、旧Z社のサブライセンスを受けたVoxelJet社のものがある。なかでもExOne社の砂型造形システムは、多くのところで導入が進んでいる。このシステムは砂型鋳造に木型や樹

脂型を不要とし、試作品の鋳造はもとより、量産化も視野にあり鋳造金属製品の設計の幅を広げ、次世代のモノづくりに期待されている。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。砂型造形機として極めて大型の装置の設計が容易であり、生産を意識した装置として今後はいっそう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者で開始された。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プリンタの10倍の造形速度と、中小企業でも購入できるような2,000万円程度の低価格機を目指したものである。最近の国内展示会では、その成果である造形物の展示が広く行われていることから、まもなく装置の発売が開始されるものと期待している。

#### 6. 材料噴射方式

イスラエルのOBJET GEOMERY社(2012年12月ストラタシス社に統合)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。この技術は最初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100~200万円程度のシステムから大型でかつ多種類の材料が利用できる1億円前後のものまで製品化されている。もともと、インクジェットヘッドの物理的制約から50~100 $\mu$ mといった厚い層の形成が不可能なため、その欠点をうまく利用して16 $\mu$ mの厚みで積層することとローラーの平滑化処理により表面の滑らかな造形物が得られている。

材料はアクリレート系の光硬化性樹脂で、フィラー入りで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系統の樹脂や透明と不透明な樹脂を組み合わせてユーザー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。このように、2種類の異なる材料で造形が可能なことで極めて多彩な表現が可能となっている。最近ではカラー化もなされ、その幅はますます広がっている。

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、厚みをローラーで制御してロストワックス鋳造用モデルを作製するSolidscape社のものがある。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、宝飾や精密鋳造などのロストワックスモデルに用いられている。また、3Dシステムズ社も比較的よく似た機構ではあるが、UV硬化材料を利用するものやワックス材を利用する造形装置を上市している。

#### 7. そのほかの積層法

#### (1)シート積層法

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つけながら積層する装置が、かつてヘリシス社と日本のキラ社から販売されていたがオーバーハング部の取り扱いが得意でなかったために、産業用の試作品作製には嫌われ両社とも撤退した。しかし、2012年から紙を積層し、フルカラー造形物が得られるMcor IRISプリンターが上市され、手軽で比較的安価なため多くの顧客を獲得していると聞いている。CES2016ではデスクトップ型の発表もあり、本質的にはオーバーハング部の処理があまり得意ではないが、用途を限った使用で顧客層を拡大している。

#### (2) 指向エネルギー堆積法(DED)

Fe、Ni金属粉末などを吹きつけながら炭酸ガスレーザやファイバーレーザなどで直接溶融させて形状を作製する指向エネルギー堆積法は肉盛り溶接と似たもので、オーバーハングのあるものは苦手であるが極めて高速であることが注目されている。最近ではこの方式に5軸切削を加えたいわゆる「ハイブリッド型」が提案され、すでに顧客に納入が始まっており、今後大きな発展が期待される。図1にMazak社のハイブリッド装置の外観写真を示す。

#### ▋ 材料から見た最近のトピックス

最近興味ある装置がいくつも発表されている。 そのいくつかを紹介する。

① イスラエルのMassivit社はXYプロッタタイプの装置(図2)でゲル状の光硬化性樹脂をかなり



図 1 Mazak社のハイブリッド装置 (INTEGREX i AM)の外観写 真<sup>11)(ケ)</sup>



図 2 Massivit社はXYプロッタ タイプの装置<sup>11) (コ)</sup>



図 3 XJET社のナノ金属粒子 積層インクジェットタ イプの装置<sup>11) (ザ)</sup>

太いノズルから吐出しながら積層するとともに硬化させることにより、極めて短時間で人のサイズ前後の大きな立体造形物を作製するものである。その造形物は、コンサートや催し物での飾りなどを狙ったもので大きなものを早く、安く作るというところに主眼をおいている。

- ② ごく最近、Objet社を立ち上げた人たちが XJET社を設立し、ナノ金属粒子を積層するインクジェットタイプの装置(図3)を発表して話題に なっている。この装置の詳細についてはまだ不明 なところが多いがホームページのデモビデオを見る限り、ナノ金属粒子を分散した液体をノズルから吐出して積層しバインダを除くことにより金属 造形物を得るものである。1層が数 $\mu$ mであり大型の金属造形には向かないが数 $\mu$ mであり大型の金属造形には向かないが数 $\mu$ mであり大力さな金属造形物が比較的簡単に得られるため、これからこの装置の発展に注目したい。
- ③ ナイロンワイヤなどを溶融押出す際にカーボンファイバー連続繊維を重ねて積層し、高強度の造形物(FRTP)を得る装置(図4)がMarkForged社から販売されている。粉末床溶融積層とは異なり、廉価な材料押出しタイプのデスクトップ型プ

リンタを改良したものである。簡単な装置で高性能なコンポジット造形物が得られたためその可能性に大きな関心が集まっている。カタログを見るとカーボンファイバーのほかにケブラー繊維やガラス繊維も利用できることが記載されている。得られたFRTPコンポジット立体造形物は金属に迫る物性を有しており、その

応用展開に目が離せない。

- ④ 2015年3月から話題を集めているのがCarbon 社(旧Carbon3D社)のCLIP方式に代表される、DLPつり上げ型の光硬化性樹脂の連続積層造形装置である。CLIP方式の発表後、韓国Carima社、イタリアNEXA3D社やカナダNewPro3D社の装置が続いた。これらは連続的に引き上げるのと同期して光照射を行うもので、形状にある程度の制約が伴うが1分間に約1cmの造形高さと極めて高速に造形が可能なことから、多方面から注目を集めている。Carbon社の提示している造形物の樹脂物性は、これまでの光硬化性樹脂の物性から大きくかけ離れた極めて高性能な値であり、懐疑的なものを感じざるを得ないが、新しい大きなブレークスルーがある可能性もありその行方に注視したい。
- ⑤ HP社のMulti Jet Fusionと名づけられた3Dプリンタ(図5)がまもなく(本誌が出版される頃)発売になるものと思われる。このシステムは2014年10月に発表されたもので樹脂粉末に硬化剤をインクジェットノズルより吐出し、その後エネルギーを付与して硬化させて3次元積層物を作製す



図 4 MarkForged社のカーボンファイ バー積層装置<sup>11)(シ)</sup>



図 5 HP社のMulti Jet Fusion機<sup>11)(セ)</sup>

るもので、Z-Printerの樹脂粉末版とObjet機を組み合わせたようなものである。この方式は古くはミノルタ社が2000年頃開発を手がけ、後に富士フイルム社が続き、2006年頃HP社により盛んに開発が進められた。その後HP社は開発を中断していたが、折からの3Dプリンタブームで再挑戦したものと思われる。電子コピー機の手軽さのオフィス感覚でフルカラーでかつ高性能な3次元積層造形物が得られるものと思われることから、産業界に大きなインパクトを与えるものと推定している。

樹脂材料の3Dプリンタはストラタシス社と3Dsystems社がほぼ独占状態にあり、金属ではEOS社はじめドイツ企業が世界シェアの70%以上を占めている。こうした市場にHP社の新規装置がどこまで食い込めるか、今後の展開に期待したい。

#### 今後の展望

AM装置(3Dプリンタ)で使える材料はかなり 開発が進んでいるが依然限定的であり、われわれ 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 造形可能になるのはまだ先のことと考えている。

日々利用している工業製品は完成品度の高いものであり、製品とその材料に求める顧客の要求は常に極めて厳しい。そのことを思えば廉価機で工業製品レベルのものを3Dプリントすることは簡単ではないと考えている。3Dプリンタブームで話題になった「まもなく、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」という状況になるには、かなりな年月がかかると思われる。

また、現状金属の立体造形では数千万円から2 億円程度の高価で特殊な造形装置と環境が必要である。このような装置が安価になり、身近なものになるためには、金属の酸化という性質を克服しなくてはならず装置の構成や造形雰囲気の点からも簡単ではない。

一方、安価な3Dプリンタの登場で、モノづくりに対する意識の変化は起こっているが、基本的に立体造形物を得るためには、まず3次元データが必要であることを認識しなくてはならない。

3Dプリンタで出力をするためには、まず3D CADや3Dスキャナが使える環境が必要である。今後は簡便かつ高度な無償3次元CADやスマートフォンによる3Dスキャナが普及してくると推定しているが、それでも3Dプリンタで利用できるようにするにはある程度のスキルが必要となる。

しかし、3Dプリンタの普及により企業内でのデザイン検証・機能検証がより身近になり、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。また、個々人で異なるデータが必要な歯科・医療などの分野を始め、個人の表現やデザイン・ファッション・芸術などの分野では3Dプリンタは広く展開されていくものと思っている。

#### 参考文献

- 1) 丸谷洋二、早野誠治: 3D プリンタ、AM 技術の持続的発展のために、オプトロニクス社(2014)
- P. F. Jacobs: "Rapid Prototyping & Manufacturing, Fundamental of Stereolithography" (SME, 1992)
- 3) T. Wohlers: "Wohlers Report 2015" (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)、pp.51-57
- 6) 萩原恒夫:素形材、Vol.54、No.8(2013)、pp.37-54
- 7) 萩原恒夫: 光技術コンタクト、Vol.52、No.8(2014)、pp.30-38
- 8) CMC 出版"機能材料"特集 3D プリンタでのものづくりを考察する、Vol.34、No.9(2014)
- 9) 萩原恒夫:ペテロテック、Vol.38、No.6 (2015)、pp.402-410
- 10) 萩原恒夫:日本画像学会誌、Vol.54、No.4(2015)、pp.314-319
- 11) 各装置メーカおよび代理店の Web site およびそのカタログ
  - (ア)シーメット社; http://www.cmet.co.jp
  - (イ)3D Systems 社; http://www.3dsystems.com
  - (ウ)Stratasys 社および丸紅情報システムズ社; http://www.stratasys.com, https://www.marubeni-sys.com/,
  - (エ)EOS 社および NTT-Data エンジニアリングシステムズ社; http://www.eos.info, http://www.nttd-es.co.jp
  - (オ)ExOne 社; http://www.exone.co.jp
  - (カ)DWS 社; http://www.dwssystems.com,
  - (キ)EnvisionTEC 社; http://www.envisiontec.com
  - (ク)ARCAM 社; http://www.arcam.com
  - (ケ)Mazak 社;https://www.mazak.jp
  - (コ)Massivit 社; http://www.massivit3d.com
  - (サ)XJET 社; http://www.xjet3d.com
  - (シ)MarkForged 社;https://markforged.com
  - (ス)Carbon 社; http://carbon3d.com
- (セ)HP 社; http://www.hp.com/go/3DPrinting
- 12)前田寿彦:素形材、Vol.53、No.2(2012)、pp.53-59
- 13) 真弓剛:素形材、Vol.53、No.3(2012)、pp.25-30