3D プリンティング技術のものづくりへの 活用方法 ～積層造形の基礎と応用～

安 齋 正 博

Base and Application of the Additive Manufacturing in 3Dimensional Printer

Masahiro ANZAI (Department of Engineering Design, Shibaura Institute of Technology, 3-9-14 Shibaura, Minato-ku, Tokyo 108-8548, Japan)

Recently, the degree of attention of 3D printer increases and its use has been spreading. 3D printers taken up here are as follows; stereo lithography, selective laser sintering, ink jet printing, fused deposition molding, and laminated object manufacturing. Can 3D printer change Japan's manufacturing industry? It is described about the foundation and application whether it is fit for what kind of use. The examples of the application is raised in the following; produce (rapid manufacturing, on-demand parts, inspection), create (model, capture, sculpt), measure (precision metrology, inspection reporting, 3D documentation), prototyping (design verification, functional validation), and others.

Key Words : 3D Printer, 3D CAD Data, Additive Manufacturing

1. なぜ今3Dプリンターなのか

2012年ごろから積層造形 (Additive Manufacturing) に関して劇的な変化が訪れた。それは、3Dプリンターという言葉が市民権を得つつあって、これを使用すればものづくりに革新が起こるというキャッチフレーズが多くの雑誌で取り上げられ、テレビやラジオでもよく見聞きするようになった。

最近では、3Dプリンターを用いて殺傷能力を有する銃を某大学職員が製作して物議を醸したりしている。しかし、この数年で造形機が画期的に変わったわけではない。以下になぜこのようになったのかを分析して、これからどのように3Dプリンターを活用したら良いかについて基礎と展望を述べ、2, 3の事例について工学的見地から説明しよう。

まず、オバマアメリカ合衆国大統領が、2012年の始めに、今後4年間で1,000カ所の学校に3Dプリンターやレーザーカッターなどのデジタル工作機械を完備した「工作室」を開くプログラムを起ち上げた。また、2012年8月には、3Dプリント技術を研究・発展させるためにオハイオ州に3000万ドルを投入して National Additive Manufacturing Innovation Institute の設立を発表した。このあたりから

3Dプリンターという言葉がよく使われるようになってきており、それ以前には、3Dプリンティングという言葉はあったが、3Dプリンターという専門用語はなかった。3Dプリンティングはインクジェットを使用して、スターチや石膏パウダーを固める方法で、文字通りプリンターに使用するインクジェットを使用しており、これだとまさにプリンターそのものである。しかし、現在3Dプリンターは Additive Manufacturing 全体を指す言葉になってしまったようだ。

それとアメリカでのもう一つの出来事は、Chris Anderson という科学雑誌編集者が“Makers” というベストセラーを発刊したことも3Dプリンターを幅広く認知させた要因の一つであろう。“The new industrial revolution” (日本語訳では「21世紀の産業革命が始まる」) というショッキングな題目の本であった¹⁾。簡単に言えば、3Dプ

安齋 正博：芝浦工業大学デザイン工学部デザイン工学科、理工学研究科機械工学専攻 (〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14) 教授、工博。昭和63年、東京大学大学院工学系研究科博士課程金属工学専門課程修了。材料工学 (複合材料工学)、形状創製工学 (研磨・バリ取り、溶接・溶射、高速ミーリング、レーザ加工、粉末冶金、型技術、3Dプリンティング応用技術等)、理化学研究所客員主管研究員、東京大学生産技術研究所研究員、金型技術振興財団理事、「中小企業優秀新技術・新製品賞」専門審査委員、素形材産業技術賞審査委員、型技術協会型寿命評価研究委員会委員長、精密工学会評議員、プラスチック成形加工学会成形金型技術専門員会副委員長、砥粒加工学会「バリ取り加工・研磨布紙加工技術専門委員会」委員、IJ AT Editor, BEST-JAPAN 研究会理事 等

リンターを使えば、だれでもメーカーになれて、第二の産業革命がここから始まるというような内容である。現在は、我が国でも20種以上の3Dプリンターに関する本が上梓されている。

2. 3Dプリンターを動かすためのシステムと要素技術

3Dプリンターはあくまでも出力機であるから、ものづくりを行う上では単なる道具の一つにすぎない。現状のものづくりのプロセスを図1に示す²⁾。現在のものづくりはコンピュータを抜きには考えられない。工業製品は一般的には大量生産である。その際には金型を製作してプレス成形や射出成形などで部品が製作される。設計にはCAD (Computer Aided Design) が使用され、これの良否がCAE (Computer Aided Engineering) によってバーチャルで確認され、良ければCAM (Computer Aided Machining) でカットパスを自動作成して、実際に数値制御加工して金型部品を製作して、金型を組立・調整して、射出成形機にセットして成形加工する工程がプラスチック製品では一般的である。ここでの3Dプリンターの役割は、試作品をCADデータから出力することが主目的であったが、最近では直接製品を製作できるようになってきており、まさにこれが注目されている。

さて、3Dプリンターが活用されるためには種々の要素技術がある程度のレベル以上に整っていないと行かない。以下に試作品を製作することを主目的としたラピッドプロトタイピング (Rapid Prototyping) 初期と現在での主要要素技術を比較してみよう。主要要素技術は、コンピュータ、CAD、供試材料 (使える材料)、機械の低価格化と特許などであろうか。

20年前のコンピュータと今のそれでは雲泥の差があり、これは誰でもが納得するだろう。当時EWS (Engineering Work Station) が1台一千万円以上であり、重いデータでは、計算に数日かかるのは普通であった。今、同じ性能のPCは数十万円で購入できるだろう。

図1 金型によるものづくり工程と3Dプリンターの位置づけ

CADはどうであろうか？ CADは明らかに高性能化、低価格化が進んでいる。また、機械系大学、高専、工業高校などの教育カリキュラムでもCAD/CAMは一般的になっている。さらに、ソフトウェア同士の互換性も有し、STLデータと呼ばれるフォーマットに変換する機能も有しており、このデータがほとんどの3Dプリンターを動かすソフトウェアのスタンダードになっている。3Dプリンターの基本は3D-CADによるモデリングであろう。したがって、CADと3Dプリンターは切っても切れない関係にあり、さらに使い勝手が良く、安価なCADの出現が待たれる。最近では、無料で低グレードのCADがネット上でダウンロードできるようになってきている³⁾。

使用できる材料は、各手法によって限定されていた。現在でもそうだが、使用できる材料は大幅に増えている。例えば、3Dシステムズ社では、メタルを含めて100種類以上の材料を供給している⁴⁾。それによって応用範囲が広がるということで、3Dプリンターのユーザーにとっては喜ばしいことである。

10万円を切る低価格の3Dプリンターが登場しているものの、低価格の多くは、自分で組み立てるキット販売である。しかし、それなりの形状が造形できることは確認されており、YouTubeなどでも動画で紹介されている。これは、基本特許が切れたことと無関係ではない。積層造形の基本特許は1980年代に多くが認証されており、20年以上経過している。しかし、その周辺特許や応用特許も多く、これからは特許関係の係争が予想される。

3. 3Dプリンターの泣きどころ

これまで、3Dプリンターの主に良いところを述べたが、ここでは、改めて3Dプリンターの泣きどころを図2で確認しておこう。まず、3Dプリンターは積層造形の一種であるから、層を積み重ねて造形する。したがって、この層の厚み分だけ層間で段差が生じる。特に緩斜面ではこの段差が目立つので何らかの後仕上げ工程が必要になる。また、複雑形状の造形では、サポートという支え棒が必要になり、この除去工程も手作業で行われることが多い。このようにサポート除去・仕上げ工程の対策が必要である。当然であるがCADデータのモデリングが必要である。3Dプリンタ

図2 3Dプリンターの泣きどころ

左：緩斜面での段差、右：サポートの手作業による除去
(一部3Dプリンター-Bring画像に加筆)

一は、CADデータを具現化するだけのツールであるから、これらはセットで考えなければいけない。

3D スキャナーを使用するにしても、3D-CADを使用するにしても、CADデータが必要であり、前述したように、3D プリンターとこれらはセットにして考慮すべきである。むしろ、3D-CADデータより、何をつくるのかのアイデアが重要であり、このアイデアの具現化のために3D プリンターが一番適当であれば必然的に3D プリンターが使用されるべきである。

4. 3D プリンター（積層造形）の基礎⁵⁾

積層造形での形状データは三次元CADで作成されるのが一般的である。すなわち、三次元CADデータと積層造形機を用意すれば材料に制限はあるもののどのような形状でも造りだすことができる。その原理は製品の三次元形状を薄い層が順次積層させられたものとみなし、何らかの方法（これが各種3D プリンター）により薄い層を自動的に

つくって、それを重ねていくという付与加工技術の一種である。積層造形には種々の方式がある。基本は、3D-CADデータ→STL フォーマット→スライスデータ→3D プリンターのような流れになる。

図3に各種積層造形の特徴と供試材料を示す。これらの共通原理は、まずコンピュータ上の三次元CADシステムによって、つくりたい製品の立体物形状を設計し、そこで得られたCADデータをSTLフォーマットデータに変換する。このSTLフォーマットは、三次元自由曲面を三角パッチの集合体で近似する方式で、CADから3Dプリンターへデータを渡す際に一般的に使用されている。次いで、モデルの装置内での配置や積層方向を決定し、コンピュータ上で三次元形状データをZ方向に一定の値でスライスする（工業的には0.1 mmを採用する場合が多いようである）。その一層ごとの素材を積み上げていって、最終的にCADで設計した形状と同様な立体モデルを製作することができる。

図3 各種積層造形の特徴と供試材料

(新野俊樹：付加製造技術と成形加工・除去加工技術の特徴と優位性，素形材産業経営講演会（2014.3.28）に加筆）

図4 3Dプリンタにしか造形できない形状
(クラインの壺：光造形法による)

積層造形は、大別すると①光造形，②粉末焼結・熔融，③インクジェット（結合材噴射，材料噴射），④熔融樹脂堆積（FDM），⑤シート積層などがある．使用される材料は各方式により①液状光硬化性樹脂，②ワックス，ワックス粉末，樹脂粉末，③石膏粉末，樹脂，ワックス，④熱可塑性樹脂，⑤紙・樹脂シートなど方式ごとに多岐に渡っている．最近では②とミールリングとの複合加工技術も実用化され，プラスチック金型の製作に応用されている．前述のように各造形技術に使用できる材料は制限される．この材料の制約により，実際の工業製品とは異なる材料で製作するので，積層造形で製作したモデルは物性や精度の面で劣ってしまう．しかし，どのような形状でも製作できるのが一番のメリットで，例えば切削加工では形状加工が不可能な複雑形状でも容易に製作できる．

図4は，積層造形の特徴を説明する際によく用いられるクラインの壺である．このような形状は他の加工法では一体で製作することはできない．特に，製品の試作品が迅速に得られるため，産業界では設計から生産までの様々な用途で使用されるようになってきた．

当初は，工業製品とは異なる材質で造形していたために試作品やモデルとしての使用に限定されていたが，この手法での造形品を直接製品として使用する試みが大いに注目されていて，この種の研究や技術開発がこの分野でのトレンドになっている．

特に②粉末焼結・熔融法で使用される材料は樹脂，セラミック，金属粉末などが使用できるようになってきており，従来の積層造形の欠点であった材料の制約を大幅に緩和し，造形物が直接実製品として使用できるようになってきている．今後も使用できる材料は大幅に増加するものと思われる，積層造形による造形物の実製品への直接活用の範囲は増加するであろう．

5. 3Dプリンターの応用がもたらすもの

3Dプリンターをものづくりに活用することによってどのようなメリットがあるのだろうか．第一に，3Dプリンターの導入によってコンセプトモデル，試作品，金型などのツールが短時間に自動的に生産できる．これは，当初から言われてきたことで，この活用事例は自動車メーカーや家電メーカーの試作部門で長年使われてきた実績がある．CADをメインとしたデジタルデータを使用したものづくりにはますます欠かせないツールとなろう．

第二は，上述のものづくり分野以外での活用によって，実際に使用できるものをデジタルデータからダイレクトに生産できることである．複雑形状，多品種・少量生産，タクトタイムの短縮，オーダーメイド，テーラーメイドなどがキーワードとなろう．航空宇宙，医療などへの応用が期待できる．

第三には，廉価3Dプリンターを用いた個人ユーザーのものづくりツールであろう．これは，最終製品としてよりもある程度の形ができていれば可とするモデリング，意匠確認などであり，フィギュア，アクセサリなどはこれに類する．

以下に2，3の事例を示す．

図5は，ジェット戦闘機のダクト配管をレーザー熔融で製作したもので，スーパーエンブラであるPEEKを使用している⁶⁾．このような複雑形状部品を金型による射出成形で造形するのは困難であり，部品点数も車などに比してはるかに少ない．複雑形状かつ多品種少量生産の典型であろう．

図6には，自動車用のタイヤ金型の事例を示す．5軸制御マシニングセンタを用いて切削加工するのが一般的であるが，最近では金属粉末を焼結・熔融して金型が製作可能になってきた．今後，このような複雑形状の金型への適用が増加すると考える．

以下に3Dプリンターによる医療関連分野への応用につ

図5 3Dプリンタによるジェット戦闘機用配管ダクト適用事例
使用材料：PEEK

図6 3Dプリンターによるタイヤ用金型の作成事例
(株3Dシステムズ・ジャパンより提供)

図7 3Dプリンター（インクジェット方式）で製作した人工骨
(株ネクスト21より提供)
灰色の部分は、CTデータを基に製作した頭蓋骨（石膏）、
白い部分は顎変形部分に合わせて製作した人工骨（リン酸
三カルシウムが素材）を示す。この骨は数年かけて実際の
骨になってゆく。

いて事例をあげて説明する。

図7は、粉末固着法によって直接インプラント用の人工骨を製作するもので、CTデータから得られた人体のデータを基に必要な骨を設計し、実際に体内に埋め込むものである⁷⁾。材料が骨と同一成分であるために、ある一定期間過ぎると自分の骨に置換されるというものである。

図8は、Laser Meltingによって製作した膝用インプラントである⁸⁾。現在は削りだして製作されているが、3Dプリンターの有用性（複雑形状による軽量化、個人に応じた形状の最適化、表面の生体親和性の付与など）を発揮できる分野の一つであろう。同様に、この手法による歯科への応用（Co-Cr合金）もヨーロッパでは多くみられ、今後我が国でも認証されれば飛躍的に普及するのではないかと考える。

図9は、インクジェット方式で造形したフィギュアを示す。3Dプリンターは、大量生産には不向きであると言わ

図8 Laser Melting で試作した膝用インプラント
(株NTTDエンジニアリングシステムズより提供)

図9 インクジェット方式3Dプリンターで造形した多色フィギュアの事例
(3Dプリンター-Bring画像)

れている。しかし、3Dデータを多数コピーして配列すれば大量生産も難しくはない。金型で製作した場合とのコスト、精度、時間との比較になろう。最近では、FDM方式でも多色タイプが開発され、今後多方面への応用が広範なものとなるであろう。

この種の造形では、個人で作成したデータさえ転送すれば、自分だけのオリジナルアイテムやフィギュアを製作したり、3Dデータを出品し造形物を販売したりするサービスもビジネス化されており、一般向けに普及しそうである⁹⁾。また、チョコレートやビスケットの造形などに使用している食品関係分野もあって、アイデア次第で応用は広範なものになろう。

6. お わ り に

ものづくりのための形状加工、成形加工に完璧な手法は存在しない。種々の手法の中から、現状で最適なものを選択して組み合わせていくのがものづくり工程である。3D

プリンターもその一手法にすぎない。種々の加工法との棲み分けをきちんと考えて、それぞれの加工法の最適化を図っていかなければならない。その選択過程において3Dプリンターが最適であれば、大いにものづくりの将来に寄与することは間違いないところである。

ものづくり技術の異分野への応用もターゲットに入れ、新たな使い方を考えれば3Dプリンターの適用範囲はさらに広範囲になろう。本稿は、日本政策金融公庫向けへ執筆した内容に加筆したものである。

References

- 1) Anderson, C.; Seki, M., Trans.: "MAKERS-The New Industrial Revolution", NHK Publishing, Tokyo (2012)
- 2) Nakagawa, T.; Anzai, M.: "Monozukuri no Genten -Sokeizai Gijutsu-", Sokeizai Gijutsu Kaisetsusho Seisaku Iinkai Ed., Nikkan Kogyo Shinbunsha, Tokyo (2005)
- 3) <http://3Dcad.seesaa.net/article/239543822.html>
- 4) <http://www.3Dsystems.co.jp/products/materials/index.html>
- 5) Nakagawa, T.; Marutani, Y.: Sekiso Zokei System, Kogyochosakai, Tokyo (1996)
- 6) http://www.designnews.com/article/print/512823high_Tech_Parts_Planned_for_Joint_Strike_Fighter.php, <http://www.royalcomposites.com/products/ht-laser-sintering>
- 7) Anzai, M.; Yamazawa, K.: *Seikeikako*, **16**, 626 (2004).
- 8) Maeda, T.: *Sokezai*, **48**, 13 (2007)
- 9) <http://make.dmm.com/about/>

日本語表記参考文献

- 1) クリス・アンダーソン：関美和 訳：MAKERS－21世紀の産業革命が始まる，NHK出版，東京（2012）
- 2) 中川威雄，安齋正博：ものづくりの原点-素形材技術-，素形材技術解説書制作委員会編，日刊工業新聞社，東京（2005）
- 5) 中川威男，丸谷洋二編：積層造形システム，工業調査会，東京（1996）
- 7) 安齋正博，山澤建二：成形加工，**16**，626（2004）
- 8) 前田寿彦：素形材，**48**，13（2007）

*

*

*

*

*