

## 付加製造技術 (additive manufacturing, 3Dプリンタ) の概要と動向

九州工業大学 大学院 情報工学研究院

榎原 弘之

Hiroyuki NARAHARA



### 1. はじめに

本特集号が「3Dプリンタと医療」であるにもかかわらず、「付加製造技術」やら「additive manufacturing」という聞きなれない用語が出てきて、3Dプリンタとどう違うのかな、と思われた読者もいらっしゃるかもしれない。

日本では、古くは「積層造形技術」や、「ラピッドプロトタイプング」いう用語で知られてきた技術であるが、近年、実部品として使われるなど、この技術性能が向上しているために、この分野の研究者の間では「additive manufacturing (付加製造) 技術」という呼び方で世界的に統一するようにしている。

付加製造技術 (以下、AM技術) とは、3次元物体を形作るために材料を接合して実現する加工法である。刃物で材料を削って3次元物体を作る除去加工と対比した考え方に基づいている。

一方、3Dプリンタという用語は、AM技術とほぼ同義であるが、ローエンドの安価な装置のことを指す場合が多い。しかしマスコミなどの報道の効果もあって、一般の人達にはこのネーミングのほうが良く知られているために、装置メーカーですらも、産業用の装置を3Dプリンタとして販売する状況が起きているのが現状である。

本稿では、AM技術の概要と一般的な用途について解説し、さらに医療・福祉関連分野での応用例について紹介する。

### 2. AM技術の分類と装置構成例

現在、多様なAM装置が市場に出回っており、ASTM (American Society for Testing and Materials) によって規定された定義に基づく、AM技術は表1に示す7カテゴリーに分類することができる。図1は、それぞれの装置の特長を図式化したものである。

### 3. AM技術の産業利用

AM技術は、計算機内の電子データから3次元の物理形状を製造する技術であるが、従来からの製造技術と組み合わせながら発展してきた経緯がある。材質や必要個数、納期などの目的を満足するよう、最適な部品製造手順が採られてきた。

図2は、AM技術の産業応用において、目的とする部品もしくは試作部品を得るために、どのような手順で実現されるかをまとめたものである。AM技術が原料として用いる、樹脂、金属、紙、砂、ワックスなどから製造されるものは、必ずしも目的とする部品そのものではなく、部品の原型であったり、部品の反転形状となる型であったりする。特に金属部品を得ようとする場合には、技術的な難易度の高さもあり、鋳造やインベストメント鋳造のような方式を採られることが多かった。また、樹脂製部品の場合でも、AM技術の製造方式の違いによって部品の精度は異なっており、目的の精度を満足しない場合や、使いたい材料と使える材料が異なるために、部品の強度などが満足されない場合があり、試作部品としての位置に留まることが多かった。さらに複雑な形状を少量だけ製造する場合にはAM技術で直接に部品製造するほうが有利であるものの、大量生産用の部品を数万個のレベルで作る場合には、金型を作って射出成形やダイカスト型などを使用した部品生産のほうが、

#### ■ 著者連絡先

九州工業大学 大学院 情報工学研究院  
(〒820-8502 福岡県飯塚市川津680-4)  
E-mail. nara@mse.kyutech.ac.jp

表1 AM技術の分類 (ASTM F2792)

カテゴリー	特徴	代表的な装置メーカ
結合剤噴射 (Binder jetting)	粉末材料を結合するのに、液体の結合剤を選択的に堆積させるAM法	3D Systems, ExOne, Voxeljet
指向性エネルギー堆積 (Directed energy deposition)	集光した熱エネルギー源を用いて材料を融解しつつ堆積させるAM法	DMG森精機, Mazak, Optmec
材料吐出堆積 (Material extrusion)	ノズルや開口部から材料を選択的に吐出するAM法	3D Systems, RepRap, Stratasys
材料噴射堆積 (Material jetting)	液滴状の材料を選択的に堆積させるAM法	キーエンス, 3D Systems, Stratasys, Solidscape
粉末床溶融結合 (Powder bed fusion)	熱エネルギーが粉末床の領域を選択的に融解させるAM法	ソディック, 松浦機械, 3D Systems, Arcam, EOS, Concept Laser, Renishaw
シート積層 (Sheet lamination)	シート状の材料を物体形状に形成するために接合されるAM法	Mcor, Solido
液槽光重合 (Vat photopolymerization)	液槽内の感光性樹脂を光重合反応で選択的に硬化させるAM法	シーメット, 3D Systems

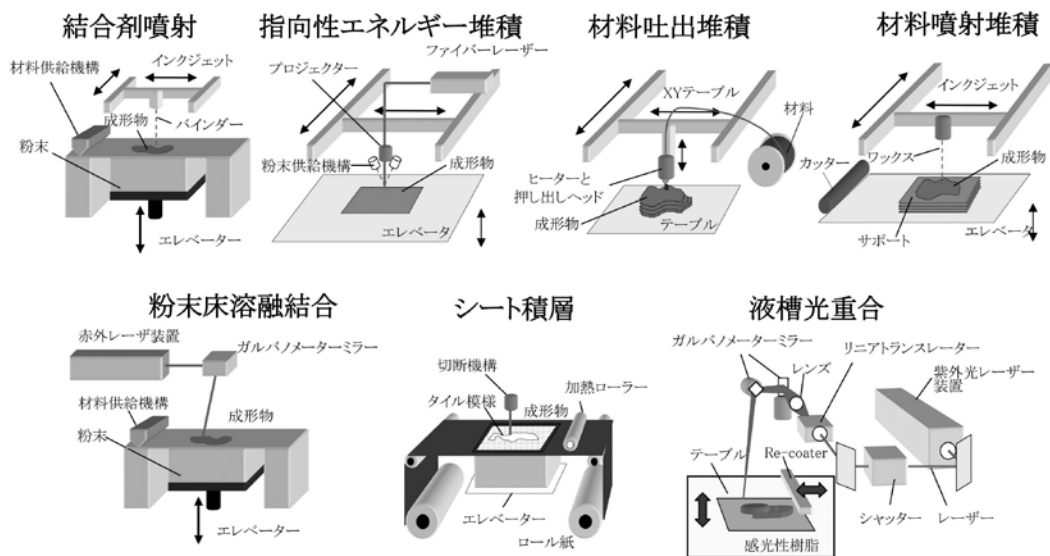


図1 AM技術の装置構成例  
(株)アспект資料から一部改編

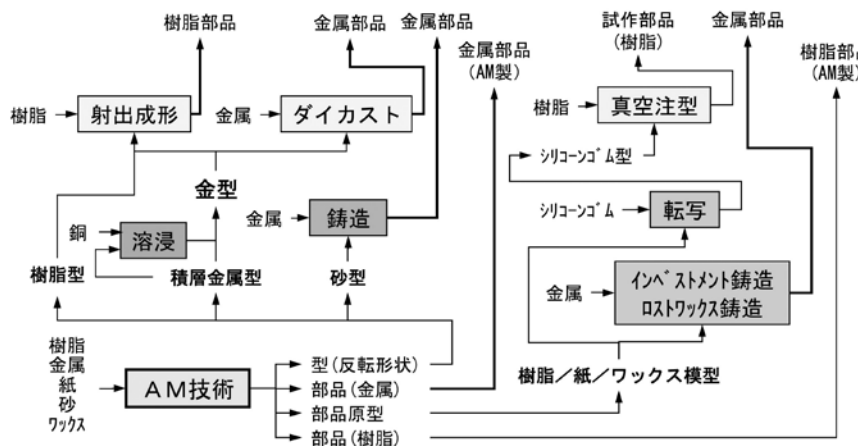


図2 AM技術を用いた部品製造手順

圧倒的にコストについても時間の面でも有利であった。これらの理由から、材料の強度、部品の造形精度と造形速度の改善は、AM分野における大きな課題となっていた。

またAM技術で作られた部品を実製品に組み込むためには、民間航空機内装品への使用であれば難燃性、人体に接触する部品であれば食品安全性や生体安全性などの認証を受けている必要があり、これらの用途に適う材料は、少しずつ増えてきている<sup>1)2)</sup>。また、意匠性の高い製品は、形状だけでなく色彩も、製品デザインの要素として少なからず影響を与える。これに対応できるように、カラー化された試作品製造が実現できるようになってきている。図3は、樹脂製部品の試作例である。

#### 4. 医療・福祉分野での応用例

表2は、医療・福祉分野でのAM技術の用途についてまとめたものである。現在の医療・福祉分野では、補綴物、補装具、(手術など)治具、装置開発、教育の大きく5つの用途に向けて応用や研究が行われてきているといえる。特に、医療の分野では、一般産業での利用目的と異なる特殊な部分があり、対象が生体組織と置き換わることを期待する応用もある。以下、具体例を交えながら紹介していきたい。



図3 樹脂製部品の試作例  
(提供：丸紅情報システムズ(株))

##### 1) 補綴物としての用途

補綴物としての用途としては、人工股関節に代表される人工骨への利用などがある。長期の使用に耐え、特に、手術後の骨組織の回復時にも生体の組織と補綴物が剥離しないことが要求されるため、多孔質構造が積極的に利用される。図4は、純Ti製の人工股関節部品の例である。

また、図5はCustom-IMD (customisable medical implant) プロジェクトで実施された、PEEK (polyether ether ketone) 材料による頭蓋インプラント scaffold の例である。その他として、scaffoldを生分解性材料などを用いてAM技術で実現し、幹細胞を導入することで実現させようとする研究が行われてきている<sup>3)~5)</sup>。

##### 2) 補装具としての用途

矯正具としての利用例として、歯列矯正用のマウスピースをAlign Technology社が製造している。既に全世界で1,500万個のマウスピースが製造され、150万人を超える患者を治療するために使用されており、大きな市場を獲得している<sup>6)</sup>。一方、Bespoke社は、デザイン性を高めたギプスやコルセット、義足といった応用分野を開拓している。患者の各部の体形を非接触スキャナーで測定し、そのデータに基づいて矯正具を作製するため、非常に無理のない、体にフィットしたデザイン形状で提供される<sup>7)8)</sup>。さらに意匠デザイン性の高い形状が付与されることで、ファッションな補装具となって使用者の満足度も高くなる。今後さらに発展する可能性がある。

##### 3) (手術など)治具としての用途

作業性の向上のために、手術器具用のガイド部品をAM技術で製造することが行われている。

図6は、生体適合性ポリアミド材料(Nylon12)による膝関節手術用ガイドの例である。また図7は、非接触計測により得られた歯型モデルに基づいて、AM技術で製造された歯型である。従来、クラウンなどの補綴物は、患者の歯

表2 医療・福祉分野でのAM技術の用途

用途	具体例	寿命・耐久性の程度
1) 補綴物	人工関節, 人工脊椎, 人工骨, 義歯, クラウン	半永久的, もしくは生体組織と置換するまで維持されること
2) 補装具	矯正具(マウスピース, ギプス, コルセットなど)	回復するまで機能すれば良い
	義手, 義足, 補聴器イヤホンヘッド	長期間必要
3) (手術など)治具	手術器具用ガイド 補綴物製作用業模型	作業が終わるまで機能すれば良い
4) 装置開発	研究開発装置の改良	作業が終わるまで機能すれば良い
5) 教育	手術訓練用生体模型	訓練が終わるまで機能すれば良い
	症例呈示用生体模型	長期間必要

型から取った石膏モデルに基づいて作られるため、歯科技工士の元へ石膏を搬送する必要があったが、電子化された歯型データをネットワークで転送し、AM技術により補綴物製造現場で歯型を製造することが可能となってきた。

#### 4) 装置開発としての用途

新しい装置の開発、既存の装置の使い勝手の悪さの改良や、実験作業環境の改善などに利用されている。AM技術で改良した部品を製造し、作業の効率化が可能となっている<sup>9)</sup>。

#### 5) 教育としての用途

医療技術の進歩に伴い、外科手術などに高い技量が要求されるようになってきているにもかかわらず、医師が訓練する機会は限られており、実際の症例に近い訓練用生体模型のニーズは高い。この目的のために、AM装置で生体模型を製造することが行われてきている<sup>10)</sup>。

非常にまれな症例の標本は入手が困難なため、これを非

接触スキャナーでデータ化し、必要に応じて各教育機関でAM装置を用いて作製する体制を整えることで、写真による呈示よりも教育効果が高くなるという期待がある。

### 5. おわりに

2009年、米国において専門家や企業、政府関係者達が集まり、AM技術の5～10年後について議論され、AM分野のロードマップが作成された<sup>11)</sup>。重要となる研究領域として、①デザイン、②プロセスモデリングと制御、③材料・工程・装置、④バイオ・医療応用、⑤エネルギー・サステナビリティ応用、の5つの領域について議論が交わされ、将来の研究テーマについてまとめられた。

バイオ・医療応用の分野で推奨された主な重要テーマは以下である。

- ・カスタマイズされたインプラントと医療デバイスの設計とモデル化手法。
- ・スマート scaffold のために本当に使えるバイオAMプ



図4 純Ti製人工股関節部品  
(提供：(株)HTL)



図5 PEEK材料による頭蓋インプラント scaffold (Custom-IMD プロジェクト) の例  
(提供：NTTデータエンジニアリングシステムズ(株))



図6 生体適合性ポリアミド材料(Nylon12)による膝関節手術用ガイド  
(提供：NTTデータエンジニアリングシステムズ(株))



図7 歯科用材料を用いたデジタル化されたデータからの歯型モデル  
(提供：丸紅情報システムズ(株))

ロセスと、生きた生物製剤を用いた3D生体および組織モデルの開発。

- ・形状作成, 解析, 細胞の応答と細胞-組織成長挙動がシミュレーションできる, コンピュータ支援バイオAMの構築。

近年活発となっているAM技術について, 医療・福祉分野を中心に紹介した。この分野に関心を持っている方々の参考になれば幸いである。

本稿の著者には規定されたCOIはない。

## 文 献

- 1) Stratasys: ULTEM1010. Available from: <http://www.stratasys.com/materials/fdm/ultem-1010>
- 2) Stratasys: 3D Printing With Bio-compatible Material. Available from: <http://www.stratasys.com/materials/polyjet/bio-compatible>
- 3) 川勝 美穂, 大嶋 利之, 中山 功一: バイオ3Dプリンティング技術を用いた立体的細胞構造体の作製. 日本印刷学

会誌 **51**: 18-22, 2014

- 4) 中村 真人: 工学技術で臓器不全の治療の道を! : 臓器を作る機械の開発と先端精密工学技術による医療支援への提言. 精密工学会誌 **80**: 229-35, 2014
- 5) 日出間 るり, 杉田 恵一, 古川 英光: レーザー走査照射による高強度ゲルの3次元光造形. 日本機械学会論文集A編 **77**: 1002-6, 2011
- 6) Align Technology Inc: Available from: <http://www.aligntech.com/>
- 7) UNYQ: Available from: <http://www.unyq.com/>
- 8) Bespoke wrist brace: Available from: <http://www.core77designawards.com/2014/recipients/bespoke-bracing/>
- 9) 加藤 龍, 横井 浩史: 人の精密な手指機能を再建する五指型筋電義手. 精密工学会誌 **80**: 259-64, 2014
- 10) 瀬尾 拓史: 医療における精密CG. 精密工学会誌 **80**: 236-9, 2014
- 11) Bourell DL, Leu Ming C, Rosen DW: Roadmap for additive manufacturing-identifying the future of freeform processing. The University of Texas at Austin, Laboratory for Freeform Fabrication, Advanced Manufacturing Center, 32 (2009). Available from: <http://wohlersassociates.com/roadmap2009.pdf>