

昭和53年2月20日 第三種郵便物認可 平成27年6月1日発行(毎月1回1日発行)ペトロテック 第38巻 第6号 通巻450号 ISSN 0386-2763
PTRTD 3 38 (6) 385-452

PETROTECH

June 2015 VOL.38 NO.6

◎新連載：輸送機関におけるハイブリッドシステム

公益社団法人 石油学会

材料から見た 3Dプリンター

萩原 恒夫



Tsuneo HAGIWARA

東京工業大学大学院理工学研究科産官学連携研究員。群馬大学大学院工学研究科修士課程修了。理学博士。1974年帝人(株)東京研究センターで感光性樹脂、導電性高分子の研究、94年帝人製機(株)およびシーメット(株)で光造形用樹脂の研究・開発、2010年から現職。山形大学有機エレクトロニクス研究センター客員教授兼務(2015年まで)。趣味：風景写真、テニス。
E-mail : thagiwara@hino.email.ne.jp

1 はじめに

光造形システムの発明後、各種三次元積層法が発明・実用化されてきたが、それらの基本特許が切れる時期になり、再び大きな話題になっている。三次元積層造形(Additive Manufacturing: AM)装置は、今日総称して3Dプリンターと呼ばれるようになり、衆目を集めるところとなっている。本稿では、3Dプリンターの材料を整理するとともにその将来について展望する。

2 3Dプリンター

2.1 3Dプリンターとは

3Dプリンターは三次元CADデータを元に、

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、^{せっこう}砂等を用い、レーザービーム、電子ビーム、溶融押し出し、インクジェット等を用いて一層ずつ積み重ねることにより、成形用の型や切削工具等を用いずに三次元形状を精度よく作成する装置である。今日、ASTM会議での分類からこれらは表1のように細分化されている¹⁾。

しかし、ごく最近では、積層造形に切削を組み合わせたハイブリッドタイプがDMG/森精機やヤマザキマザックなどから出現し、さらに変貌を遂げようとしている。

2.2 3Dプリンターとその材料

各3Dプリンターについてその材料を整理した

表1 各種積層造形法 (Additive Manufacturing)

積層技術	英名	別名	材料	手段
液槽光重合法	Vat Photo-Polymerization (VP)	光造形法, SLA	感光性樹脂	レーザー, ランプ
粉末床溶融結合法	Powder Bed Fusion (PBF)	粉末焼結法, SLS, SLM, EBM	PA粉末, 金属粉	レーザー, 電子線
材料押し出し法	Material Extrusion (ME)	溶融樹脂積層法, FDM, FFF	ABS, PCなど	熱
結合剤噴射法	Binder Jetting (BJ)	インクジェット法, Z-Printer法	石膏粉, 水系バインダー	インクジェット
材料噴射法	Material Jetting (MJ)	PolyJet法, MJM法など	感光性樹脂など	インクジェット
シート積層法	Sheet Lamination (SL)	LOM法	紙, プラスチックシート	レーザー, カッターナイフ
指向エネルギー堆積法	Directed Energy Deposition (DED)	LENS法など	金属粉末	レーザー

表2 3Dプリンターとその材料

方式	装置メーカー	材料		主用途
		カテゴリー	具体例	
液槽光重合 (レーザー)	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
	シーメット	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 Formlabs	光硬化性樹脂 光硬化性樹脂	アクリレート系 アクリレート系	宝飾, 歯科 ホビー
液槽光重合 (ランプ)	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
材料噴射 (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, 歯科
	Objet (Stratasys)	光硬化性樹脂	アクリレート系	形状確認, 歯科
結合剤噴射 (インクジェット)	3D Systems (Z-Corporation)	石膏, ポリマー粉	石膏/水, 有機バインダー	デザイン, フィギュア
	ExOne	砂	砂+バインダー樹脂(フラン樹脂など)	砂型鋳造
	voxeljet	砂, PMMA粉	砂/PMMA+バインダー樹脂	砂型鋳造, 消失模型
粉末床溶融 (レーザー)	EOS	ナイロン, 金属粉	PA12, SUS, Ti, Al, Co-Cr	試作, 生産, 歯科
	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
粉末床溶融 (電子線)	ARCAM	金属粉	Ti (合金)	医療 (インプラント)
材料押し出し (熱)	Stratasys	熱可塑性樹脂	ABS, PC, PEI, PPSF ほか	試作, 形状確認
	3D Systems	熱可塑性樹脂	ABS, PLA	形状確認, ホビー
	RepRap 他	熱可塑性樹脂	ABS, PLA	ホビー

のが表2である²⁾。石膏粉末や砂のような無機物、鉄、アルミニウム、チタンなどの金属粉末から液状感光性樹脂、熱可塑性樹脂に至るまでその材料は多種・多様にわたっており、これらの材料はユーザーのニーズに応じて使い分けられているが、各々の装置に限定されたものであり、どんな材料でも使えるわけではない。これらの大半は高分子材料であり、光硬化性樹脂と熱可塑性樹脂がそのほとんどを占めている。3Dプリンターが直接製品の製造に用いられて、ものづくりに変革をもたらすためには、材料の観点から見ると不十分であり、今後の開発にかかっている。

歴史的に見ると3Dプリンターの原点である液槽光重合法(光造形法)から解説するのが通例であるが、ここでは最も身近な材料押し出し法から始めて、3Dプリンターの材料について方式ごとにそれらの特徴を述べる。

2.3 材料押し出し法(溶融樹脂積層法)

米国のStratasysを設立したスコット・クラン

ブにより1988年ごろに発明された材料押し出し法(溶融樹脂積層法:Fused Deposition Modeling:FDM)はアクリルニトリル・ブタジエン・スチレン(ABS)樹脂などの細く線状にした熱可塑性樹脂をヒーターで熱したヘッド部で溶融させ、極小のノズルから吐出させながら、一筆書きの要領でプロッタ方式により1層ずつデータに沿って積層させて三次元モデルを作成(造形)する。その材料は基本的には非晶性の熱可塑性樹脂であり、今日では、表3に示すように、ABS樹脂をはじめ、ポリカーボネート(PC)樹脂、PC/ABSアロイ、ポリフェニルスルホン(PPSF/PPSU)樹脂、ULTEMTM(ポリエーテルイミド)樹脂など、熱可塑性のエンジニアリングプラスチックからスーパーエンジニアリングプラスチックまでの広範囲な材料が使用できる³⁾。最近では結晶性材料と見なされているナイロン12(PA12)なども、その形態を工夫することにより使用可能になってきている。Stratasysの上位機種である

表3 材料溶融押し出し材料の例³⁾

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	高引っ張り強度
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

FORTUS シリーズでは広範な材料の利用が可能であるが、普及機種である Dimension や u-Print では ABS-Plus 樹脂に限定されている。

ABS系樹脂などを利用する場合、オーバーハング部（ひさしのように張り出している部分で、支えがないと自立が困難な部位）でのサポート材（支え材）としてはカ性ソーダ水溶液に可溶なカルボキシル基（-COOH）含有共重合高分子を用いている。そのため、必ずしも操作性に優れるとは言いがたく、より安全なサポート材料、たとえば単純な水やアルコールなどに溶解するような材料の開発が求められている。

2.4 パーソナル 3D プリンター (材料溶融押し出しタイプ)

テリー・ウォラーズの分類では、5000 ドル以下のものをパーソナル 3D プリンターとし、それより高額なものを工業用としている¹⁾。ここでもその分類に従うこととする。

この方式の開発は Stratasys の基本特許消滅をにらみ、イギリスのバース大学を中心としたオープンソースの RepRap プロジェクトが 2005 年にスタートし、大きく発展した。今日この流れはパーソナル 3D プリンターとして製造業の世界を動かしつつある。2009 年に基本特許が切れたことを契機に次々にベンチャー企業が立ち上がり、なかでも Bits from Bytes (BfB) と MakerBot が大きな成功を収め、前者は 3D Systems に後者は Stratasys に買収され発展を続けている。今日、3D プリンターブームによりこの材料押し出しタイプの低価格機が世界中で広くつくられている。その製造会社数は 2000 社以上ともいわれ、低価格化に歯止めがかからない。これらは 10 万円未

満の装置が大半である。その材料はポリ乳酸 (PLA) が中心であり、一部で ABS 樹脂が使われているにすぎない。PLA は水分に弱く、われわれが日常生活で利用している工業製品レベルの性能には遠く及ばない。

これら材料押し出し法からなるパーソナル 3D プリンターで、制限なく各種部品やモデル形状を作成するには、エンジニアリングプラスチックを気軽に利用可能にする必要がある。まもなく、造形室温を制御する Stratasys の特許が切れるため、広範な材料の利用が可能となると考えられるが、そのための材料開発を樹脂材料メーカーに期待したい。また、上述したように安全でかつ有効なサポート材の開発も強く求められる。

2.5 液槽光重合法 (光造形法) 用 液状光硬化性樹脂

名古屋市工業研究所に勤務していた小玉秀男により 1980 年に発明された光造形法（後に液槽光重合法）は、米国の 3D Systems を設立したチャック・ハルにより 1987 年に実用化され、3D プリンターの原点となった。ここでは従来の光造形法という言葉を使うことにする。

今日の大型の光造形装置は 355 nm の波長を有する半導体励起の固体レーザーによる紫外光レーザーを光源としている。積層材料である液状光硬化性樹脂は高精度で、かつ低反りを実現するために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、ラジカル重合性材料とカチオン重合性材料のハイブリッド構成となっている。最近では筆者が最初に採用したように、このハイブリッド構成にオキセタンアルコール化合物を追加し、エポキシ化合物の反応速度の改善とともに粘度低減化により造形速度を向上させたものが主流となっている。また、筆者が指導したように、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を図ることで、非劇物扱いとし、安全性と取り扱い性を向上させている。表 4 にシーメットの代表的な光造形用樹脂を示す⁴⁾。

一方、小型の光造形装置は、紫外線ランプ、可視光ランプや 405 nm の LED を用いた DLP® (Digital Light Processing) 方式と 405 nm の LED レーザーを用いたものとの 2 タイプに分けられる。これらはほとんど、下部から透明の窓を

表4 シーメットの代表的な光造形用樹脂

	TSR-821	TSR-829	TSR-883	TSR-884	TSR-884 (熱処理)
	靱性・ABS	高透明	高剛性・ABS	透明・耐熱	
粘度 (mPa・s) (25℃)	380	210	520	600	
比重 (25℃)	1.12	1.07	1.12	1.10	
引っ張り強度 (MPa)	49	44	60	51	50
伸び (%)	13~15	8	5~8	3.1	4.4
引っ張り弾性率 (MPa)	1,800	1,670	2,730	2,370	2,090
曲げ強度 (MPa)	70	68	98	87	79
曲げ弾性率 (MPa)	2,225	1,840	2,710	2,260	2,080
衝撃強度 (J/m, ノッチ付き)	48~49	34	37	30	25
熱変形温度 (℃)/高荷重	49~52	49	54	53	100
開始剤	アンチモン化合物		非アンチモン化合物		

通して光を照射し、樹脂を硬化させつつ吊り上げ積層する方式であり、光硬化性樹脂材料としては、波長の関係からエポキシ化合物が使えないため、アクリル系材料に限定される。アクリル系光硬化性樹脂は収縮率が大きく、大型の造形物を得るのが不得意であるが、小さい造形物に限定すれば低エネルギーで硬化することと材料が豊富なことから広く採用されている。2000年ごろスタートしたドイツのEnvisionTecはDLP方式の光造形機で、宝飾や補聴器の市場に参入して大きな成果を収めている。また、イタリアのDWSは後発ながら、レーザー方式での高精度・高精細を生かして宝飾の市場に参入して、EnvisionTecと市場を二分するまでに成長した。後者は最近では歯科用途での開発が顕著で今後の発展が期待される。

光造形用樹脂は光造形装置が実用化されて以来、電化製品などの筐体に多く使われているABS樹脂と同等の性能を目標に開発されてきた。ABS樹脂は熱変形温度が80℃以上を示すため、80℃以上の熱変形温度と十分な靱性を有すれば、実部品への応用が可能と考えられる。しかし、長期にわたる熱心な開発にもかかわらず、いまだその物性には到達していない。筆者の経験から、靱性と耐熱性のトレードオフの関係の壁(図1)を打ち破ることは極めて難しいものと考えている。

一方、光造形法では、ほかの造形法が不得意な高精度で高透明の立体造形物が得られるため、その利点をうまく利用することが得策と考えられる。これら光造形用の材料についての詳細な説明は筆者の最近の総説^{4,5)}を参考にしてほしい。

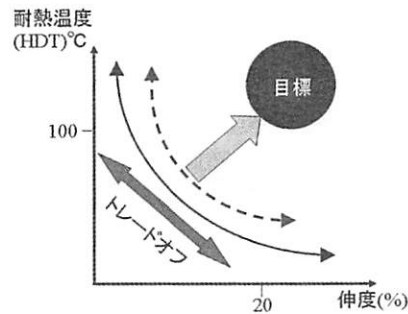


図1 靱性と耐熱性のトレードオフの関係

2.6 廉価版液槽光重合(光造形)装置

2012年にFormlabsからイタリアDWSの装置を簡略化したような廉価版レーザータイプの光造形機Form1が三十数万円という価格で発表され、パーソナル3Dプリンターの世界に進出してきた。その後、2014年になるとDWSから5000ドルを目標とするDWS-XFABなる低価格機が出現している。また、下面照射のDLP機はその構造が単純なことから、10社以上から低価格機が発表されている。特に最近ではASIGA、KEVVOXなどが先行し、また国内のローランドDGや米国のAutoDeskなども次々と参入し、競争が激化している。低価格のパーソナル3Dプリンターは材料押し出し(FDM)機から高精細が期待できる低価格液槽光重合機へと動き出している。

2.7 粉末床溶融結合法(粉末焼結法)用材料

2.7.1 熱可塑性樹脂粉末

プラスチック粉末を炭酸ガスレーザービームの熱モードを利用する粉末床溶融結合法(粉末焼結法)は、Arkemaのナイロン11粉末を用いて

1980 年台後半にテキサス大学のグループから開発がスタートし、後に 3D Systems に併合された DTM により確立された。ほぼ同時期にドイツの EOS もこの方法に参入して現在に至っている。この方式の材料は今日では大半が Evonik のナイロン 12 (PA12) となっている。この 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のもも利用されている (表 5)。この粉末床溶融結合法の樹脂粉末は基本的に結晶性の熱可塑性樹脂が用いられている。PA12 が好んで用いられる理由としては、この樹脂粉末が溶融して再度結晶化するまでの温度の範囲 (プロセスウインドウ) が広く歪みの小さい造形が可能であることに起因する^{6),7)}。

最近 EOS では外科手術でのインプラントとして期待されるスーパーエンジニアリングプラスチックの PEEK の利用も可能としている。

新野を中心とする内閣府の SIP プロジェクト⁷⁾により、従来の PA の造形方法の幅を広げるとともに、国内産業界から要望の多い PBT 樹脂や PPS 樹脂などの今まで用いられていないエンジニアリングプラスチックを利用可能にするための試みが開始されており、最終製品製造用に一步前進するものと期待される。

2.7.2 金属粉末

熱可塑性樹脂粉末の代わりに鉄やステンレスなどの金属粉末を用いることは DTM を取り込んだ 3D Systems および EOS により実用化された。また、ドイツでは Fraunhofer を核として、金属粉末を積層する研究開発が盛んに行われており、

表 5 粉末床溶融結合法の樹脂粉末⁶⁾

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	ポリエーテルエーテルケトン (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

Concept Laser, SLM などの数社がそれぞれの装置を上市している。最近では大きな熱量を有するファイバーレーザーにより、ほとんどの金属 (合金) 粉末が利用可能になっている。表 6 に EOS の金属粉末材料について示す。

スウェーデンの ARCAM は 2002 年に電子ビームを用いる積層造形装置を上市した。その生産性と精度から最近では人気が高い。特にインプラント用のチタン合金 (Ti6Al4V など) やコバルト・クロム粉末の造形を得意としており、医療用途で多くの顧客を獲得している。

DTM が出願した米国での粉末床溶融法の重要特許が 2014 年に切れたことから、今後多数の新規参入が期待されている。2014 年に開始した経済産業省の金属造形の大型プロジェクト (TRAFAM) もこの特許切れに呼応している。この中では、電子ビーム造形装置開発も行われておりその成果に期待したい。

2.8 結合剤噴射法 (インクジェット法)

2.8.1 Z-Printer 法

1989 年にマサチューセッツ工科大学 (MIT) のサックスらによりインクジェットノズルから出た水系の結合剤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

表 6 EOS の主な金属粉末材料⁶⁾

銘柄	成分	特徴
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

ライセンスを受けて設立された Z Corporation は、この方法の積層造形装置 (Z-Printer) を 1996 年に発表した。当初のデンプン粉末材料を用いたものから石膏粉末に変更し、3D プリンターとしての地位を確立していった。その造形速度は、光造形法や粉末焼結法と比較して 10~20 倍に達し、三次元積層造形に対する考え方を一変させてきた。また、フルカラー化がなされたこと、造形速度と意匠性が優れていることにより、形状確認やデザイン確認の用途で多く利用されている。しかし、石膏粉末のためその表面性と物性では多くの妥協を強いられてきた。そんななか、Z Corporation を吸収した 3D Systems は 2013 年 12 月のフランクフルトでの展示会 (Euromold) でその積層材料をプラスチック粉末とする ProJet4500 を発表した。この装置用プラスチック粉末材料の種類は今後増えていくものと推定され注目したい。2014 年 10 月にヒューレット・パカード (HP) より、この装置に比較的良好に似た、Multi Jet Fusion と称する 3D プリンターが発表された。今までの粉末床溶融結合法と結合剤噴射法を合わせたようなもので、材料の開発が進めば 3D プリンターにもう 1 つの方法が追加されるものと考えられる。

2.8.2 砂型鑄造用結合剤噴射法

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き出して鑄物用の砂型を作成する三次元積層造形法は、MIT のインクジェット方式のライセンスを受けた ExOne と、Z Corporation のサブライセンスを受けた voxeljet のものが代表的なシステムである。これらシステムは砂型を直接造形することにより木型や樹脂型が不要となり、試作品の鑄造はもとより、量産化も視野に入れることができる。このため、鑄造金属製品の設計の幅を広げ、次世代のものづくりとして期待されている。さらに、従来法と比較して複雑な造形が可能ことから、中子の点数を大幅に減らすことができる。また、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 機関の参加で開始されている。このプロジェクト

は 5 年間で、ExOne に代表される砂型用 3D プリンターの数倍の造形速度と、中小企業でも購入できるような 2000 万円程度の価格機の開発を目指している⁸⁾。

voxeljet は砂型の装置のほかに、ポリメチルメタクリレート (PMMA) 粉末をバインダーで固めて得られる造形物を消失模型として利用する装置を販売している。この装置は超大型化により、生産機としての地位をヨーロッパを中心に確立している。

2.9 材料噴射法

イスラエルの Objet Geometry (2012 年 12 月に米国の Stratasys に合流) から、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 1998 年に発表された。この技術はもともと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 により製品化された。現在では比較的安価な 100 万~200 万円のものから大型でかつ多種の材料が利用できる数千万円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厚い樹脂層の作成が不得意なため、その欠点をうまく利用して 15~16 μm の厚みで積層することにより、比較的高精細な造形物を得ることができ

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利用できる。上位機種である CONNEX シリーズでは硬-軟 2 系統の樹脂など物性の異なる材料を同時に吐出して積層が可能のため、今までの積層造形装置ではなしえなかった造形物を簡単に得ることができる。たとえば、透明な筐体中に不透明なものを作製するといった、極めて多彩な造形物の作成を可能としている。2014 年 2 月に Stratasys はこの方式のカラー造形機を発表している。前述の 3D Systems のカラー機 ProJet4500 やこの Objet 500 CONNEX3 機、さらに、廉価版樹脂押し出し機でもカラー化が進んでおり 3D プリンターはフルカラー化の時代に突入している。

インクジェットノズルより、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し、厚み制御を平坦化ローラーで行うことで、ロストワックス鑄造用モデルを作成す

る Solidscape 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ることを得意とするため、宝飾・歯科のワックスモデル作成用に利用されている。また、3D Systems も比較的よく似た機構ではあるが、造形物用に液状光硬化性樹脂、サポート材にワックスを利用する装置や、宝飾用としてワックスだけを使用した装置を ProJet3500 シリーズとして数種類上市している。

2.10 シート積層法

紙に代表されるシート状材料を、レーザー (LOM 機) またはカッター (キラ機) で切り出し、のりをつけながら積層するシート積層法がある。この方式は当初から存在し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嫌われ、両者とも衰退した。しかし、2012 年秋から紙を積層してフルカラー造形物を作成できる比較的安価な積層装置がアイルランドの会社 MCor より上市された。このシステムも本質的にはオーバーハング部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思われる。

2.11 指向エネルギー堆積法

Fe, Ni 金属粉末等を吹き付けながら炭酸ガスレーザーやファイバーレーザーなどで直接溶融させて形状を作成する指向エネルギー堆積法は、米国で OPTOMECH を中心に改良が続けられている。また、ドイツ Fraunhofer でも盛んに研究開発が進められている。この方法では、金属粉末の組成を随時変化させることができ、傾斜材料の作成も可能である。

日本では同様な狙いで、笠原らのグループによりアーク溶接機にヒントを得た積層造形機が提案され、2015 年 1 月の 3D Printing2015 で造形装置が武藤工業から発表された。この方法では高価なレーザーが不要でかつ通常のアーク溶接用線材を用いるため、造形コスト的には有利と推定される。

これらは肉盛り溶接と同様ではあるが多彩な加工が可能であり、大きな可能性が期待される。

3 ハイブリッド型積層造形装置

成型型の製作を主目的とする金属粉末溶融積層と切削を組み合わせたハイブリッドタイプは、松下電工 (現・パナソニック電工) の発明で、松浦機械により装置化され、「LUMEX」という愛称

で、地域の工業試験所などを中心に導入が行われてきた。金属粉末をレーザーで溶融積層しながら数層に 1 回積層端面切削して平滑化させ、成型型としての機能を確保する造形法である。大きな成型型の作成にはあまり効率的ではないが、200 mm サイズの比較的小さい型の作成には短期間で対応できるため 3D プリンターブームとともにその期待が高まっている。

Euromold2013 では DMG/森精機から指向エネルギー堆積法に切削を組み合わせたハイブリッドタイプの積層造形機「SAUER」が展示され連日大きな話題を集めた。JIMTOF2014 では、この SAUER 機とともにヤマザキマザックから同様のハイブリッド機が展示され注目された⁹⁾。指向エネルギー堆積法に切削を組み合わせることにより比較的短時間に高精度の立体造形物が得られるこれらの方式は、金属部品や成型型の修正・変更にも有用と思われ、今後これらハイブリッド装置の開発が盛んになるものと推定される。

4 積層材料の市場

Wohlers Report 2014 によると、2013 年の積層材料市場は全世界で約 560 億円程度と見積もられている¹⁾。IDTechEx によると、光硬化性樹脂、固形熱可塑性材料、粉末状熱可塑性材料、金属粉、粉体層積層インクジェット粉末の 5 種に分類すると、液槽光重合法 (光造形法) と材料噴射法で用いられている光硬化性樹脂が 56 %、材料押し出し法 (FDM) に用いる固形熱可塑性材料が 40 % を占めているとしており、今後もその割合に大きな変化はない予想されている¹⁰⁾。この予想からいえることは、しばらくの間、3D プリンターは最終製品を作成するのではなく、形状を見ることや、勘合性などの設計での検証が主な目的ということになる。

しかしながら、Wohlers Report 2014 では最終製品への利用率が 35 % に達していることも報告しており、最終製品を意識した形状の利用が進んでいることを意味している。

IDTechEx はまた、3D プリンターの用途が、現在主流のプロトタイプ製作から最終製品の製作へとシフトするにつれて、ほかの材料も生産量は増えると予測し、なかでも金属粉末材料の成長が最も見込まれるとしている。2014 年に 8 億ドル、

2025年にはその10倍に成長し80億ドルになると予想している¹⁰⁾。このような大きな成長のためには、装置の低廉化とともに材料の開発が必須であり、また、その材料を使いこなすための造形技術開発も必要である。

5 材料から見た3Dプリンターの今後の展望

メディアは今、大きな話題となっているパーソナル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」と報道している。しかし、3Dプリンターで使える材料は限定的であり、汎用熱可塑性樹脂や一部エンジニアリングプラスチック樹脂に限られ、広く使われているプラスチック製品やその部品と同等の材料が利用可能となるのは簡単ではない。積層造形は形状に対する制限が少ないが、造形方向により物性を発揮できないことがあり、緩斜面での積層段差が目立ちやすい。また工業製品並みの十分な造形精度を確保することは簡単ではない。

安価な3Dプリンターの登場で、ものづくりに対する意識の変化は起こっているが、3Dプリンターを使うには、まず三次元データが必要であることから、その作成のために3D CADや3Dスキャナーが自由にかつ意識せずに使える環境が必要である。しかし、3D 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。

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試作を中心にRapid Prototypingとして広く利用されている。そのため、3Dプリンターがより普及したとしてもこの技術で、ものづくりのあり方、特に、高品質・安価・大量生産という枠組みには影響を及ぼすことはほとんどないと考えている。しかし、個人向け3Dプリンターが普及することにより、企業内でのデザイン検証・機能検証が極めて身近になり、今までの試作という製品の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ることと、今までは装置が高価であったために試作に大きなハードルがあった中小企業には有効な手段となると考えられる。また、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・芸術などの分野でも3Dプリンターは広く展開されていくものと考えられる。

6 おわりに

3Dプリンティングにより、「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だろう」と推定している。

経済産業省では2020年に3Dプリンター関連で経済効果を含めて20兆円を超える規模⁹⁾を予想しているが、そのためには材料開発をはじめとして、データ作成ツールの開発なども装置の低価格化・高性能化とともに必要である。まずは、3Dデータが得意とする医療・歯科向けの発展を含めて市場の健全な育成が大切と考えている。

引用文献

- 1) Wohlers, T., "Wohlers Report 2014", Wohlers Associates.
- 2) 萩原恒夫, 素形材, 54, (9), 37 (2013).
- 3) 真弓剛, 素形材, 53, (3), 25 (2012).
- 4) 萩原恒夫, 素形材, 53, (10), 51 (2012).
- 5) 萩原恒夫, 光技術コンタクト, 52, (8), 30 (2014).
- 6) 前田寿彦, 素形材, 53, (2), 53 (2012).
- 7) 新野俊樹, 第5回AMシンポジウム資料, (2015).
- 8) 経済産業省, 新ものづくり研究会 報告書, 2014年2月21日, <http://www.meti.go.jp/press/2013/02/20140221001/20140221001.html>
- 9) オプトロニクス, (1), 109 (2015).
- 10) IDtechEx, 予測記事, <http://www.idtechex.com/research/reports/3d-printing-materials-2014-2025-status-opportunities-market-forecasts-000369.asp>
- 11) 3Dプリンターメーカー等各社カタログ: シーメット(株), Stratasy, 丸紅情報システムズ(株), EOS, NTT-Dataエンジニアリングシステムズ, ExOne, DWS, EnvisionTec, ARCAM, ヤマザキマザック(株), DMG森精機(株), 技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM)