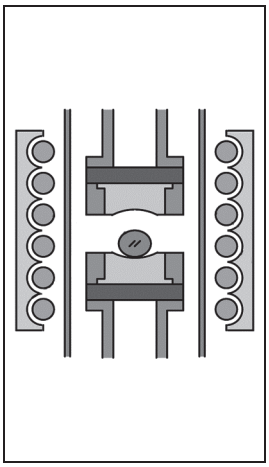

# 3D プリンターとその応用，特に光造形法を中心に

東京工業大学 大学院理工学研究科
萩原恒夫

## １．はじめに

三次元積層造形法の原点である光造形法が小玉氏により発明されてから 30 有余年がたち，種々の三次元積層造形法が発明され実用化されてきた。これらの方法は 2009 年の米国の ASTM 国際標準化会議により Additive Manufacturing（AM）法と呼ぶことになったが，最近ではこれらの装置は総称して 3D プリンターと呼ばれるようになった。

この 3D プリンターは 2012 年後半から大きな注目を集め，「第 3 次の産業革命を引き起こす可能性をも秘めている」とまで言われ大きな話題を集めている。本解説では 3D プリンター（三次元積層造形法）について，その違いを簡単に述べるとともに，これらの中で最も古い歴史を持つとともに高精細で高精度の造形物を与えることで，日本の製造業で最も広く使われている液槽光重合法（光造形法）について，現状とその応用について DWS 社の製品を中心に述べることとする。

## ２．3D プリンター（三次元積層造形装置）とは

### 2.1　3D プリンターの定義

3D プリンターとは，3 次元（CAD）データをもとに，液状の感光性樹脂，熱可塑性樹脂，プラスチック粉末，金属粉末，石膏粉末，砂等の積層材料に対して，レーザビーム，電子ビーム，溶融押出し InkJet 方式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立体形状を精度良く作成する装置である。2009 年の前記 ASTM 会議で統一された分類によれば，これらは方式により表 1 のように細分化されている [1]。

表 1　3D プリンターの分類

| 積層技術 | 英名 | 別名 | 材料 | 手段 |
|---|---|---|---|---|
| 液槽光重合法 | Vat Photopolymerization | 光造形法，SLA | 感光性樹脂 | LASER, ランプ |
| 粉末床溶融結合法 | Powder Bed Fusion | 粉末焼結法, SLS, SLM, EBM | PA 粉，金属粉 | LASER, 電子線 |
| 材料押出法 | Material Extrusion | 溶融樹脂積層法, FDM 法 | ABS，PC など | 熱 |
| 結合剤噴射法 | Binder Jetting | インクジェット法，Z-Printer 法 | 石膏 水系バインダー | インクジェット |
| 材料噴射法 | Material Jetting | 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 | シート積層法, LOM 法 | 紙，プラスチックシート | LASER，カッターナイフ |
| 指向エネルギー堆積 | Direct Energy Deposition | LENS 法など | 金属粉末 | LASER |

（a）液槽光重合法（Vat Photopolymerization）：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で，光造形法（Stereolithography: SLA）とも呼ばれている。
（b）粉末床溶融結合法（Powder Bed Fusion）：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三次元に積層する方法で，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）とも呼ばれている。
（c）材料押出法（Material Extrusion）：ABS などの熱可塑性樹脂ワイヤーを溶融して，細い加熱ヘッドより吐出させて積層する方法で溶融樹脂積層法（Fused Deposition Modeling: FDM）とも呼ばれている。数年前に Stratasys 社の FDM 装置の基本特許が消滅したことから，この FDM 装置技術がオープンソース化され低価格機が出現し，今日の 3D プリンターブームの一因となっている。
（d）結合剤噴射法（Binder Jetting）：デンプン粉末や石膏粉末に水性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方式で Z 社が開発したことから Z-Printer 法とも呼ばれている。
（e）材料噴射法（Material Jetting）：光硬化性樹脂をヘッドから吐出しながら UV ランプ等で硬化させながら積層する PolyJet 方式（Objet 方式）や，ワックス材などをヘッドから吐出する 3D システムズの MJM 方式が挙げられる。
（f）シート積層法（Sheet Lamination）：紙やプラスチックフィルム，アルミニウムシートなどをレーザーやカッターナイフで裁断しながら接着積層する方法。
（g）指向エネルギー堆積法（Directed Energy Deposition）：Fe，Ni 金属粉末等を吹き付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成する Laser Energy Net Shaping （LENS）法など

これらの方法に加えて，

（h）ハイブリッド型積層造形法：ごく最近では，前記指向エネルギー堆積方式に切削を組み合わせたようなハイブリッドタイプ（ドイツ DMG-MORI や韓国の InssTek 社など）が出現している。

これら 3D プリンターの世界市場は Wohlers らの報告によると産業用で年率 20%以上の伸びを示し，2013 年の設置台数は 10,000 台前後となっている [2)]。また，個人向け 3D プリンターは倍々の伸びを示し，2013 年には全世界で推計約 73,000 台，日本国内では 10,000 前後と大きな数を示した。装置とその周辺を含めた全世界の市場規模は 2013 年で 3,100 億円と見積もられ，2020 年には 2 兆 1,000 億円に達すると推定している。従来の産業用の 3D プリンターに加えて最近の個人向け 3D プリンターの爆発的な広がりもあり市場規模の拡大はこれらの推計よりずっと大きなものとなる可能性も秘めている。

産業用 3D プリンターの用途は図 1 に示すように多岐に亘っている。従来からの形状確認やプレゼンテーションに加えて，金属鋳造用や型のパーツ，機能部品などが合わせると半数近くに達していて，最終製品に近いところでの活用が進んでいることが伺える。

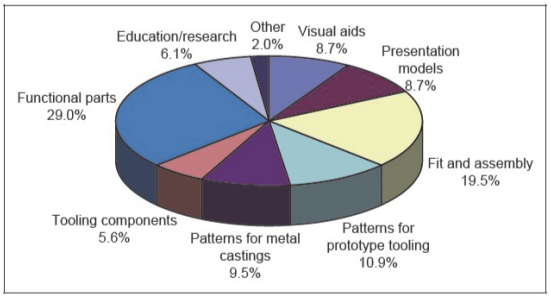


図 1　産業用 3D プリンターの用途(データ; Wohlers Report 2014)

## 2.2　パーソナル 3D プリンターの出現

2000 年に入った頃から比較的安価な材料押し出し法の FDM（Fused Deposition Modeling）装置が Stratasys 社から Dimension という名称で，また，石膏を水性バインダーで固着する装置が Z 社（現 3DSystems 社）から Z-Printer という名称で出現して 3D プリンターと呼ばれる三次元積層造形装置が出現するようになった。このころが 3D プリンターの始まりと言える。

その後，2009 年に Stratasys 社の FDM 方式の基本特許が切れたことを契機にイギリスを中心とする大学発のオープンソースプロジェクト（RepRap 等）が立ち上がることで，BfB（Bits from Bytes）社や Makerbot 社を始めとする多くのベンチャー企業がこの FDM 方式の廉価版システムの販売を開始して大きな成功を収めている [3]。

そのような背景のもとに，クリス・アンダーソン　“Makers”の著書の中で，「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 3 の産業革命が起きるやもしれない。」とした。一方，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，米国に新しいハイテク産業と雇用が生まれるという。

これらを契機として，テレビなどのメディアも連日取り上げることとなり一般の人も関心を示す事柄となっている。日本国内では経済産業省の素形材産業室を中心に勉強会や研究会が立ち上がり, 2013 年度には砂型プリンターの国家プロジェクトがスタートするとともに, 2014 年度には金属造形用積層造形装置開発の大型プロジェクト（TRAFAM）が 2014 年 4 月 1 日よりスタートした。また，内閣府を中心とし，NEDO を基軸とする SIP プログラムも 2014 年度中にはスタートし，これら 3D プリンター関連の各種開発が進むものと推定される。また，これらをきっかけに日本全体が 3D プリンターによる「ものづくり」へ大きく前進しようとしている。

2014 年 1 月のラスベガスでの Consumer Electronics Show（CES）2014 では，例年の斬新な電化製品の発表に加えて，新規な 3D プリンターが多数発表されて大きな話題となった。特に廉価版光造形装置が多数発表されことが注目に値する。2012 年後半に発表された Formlab 社の Form1 の光造形装置がイタリア DWS 社のものを模したものであるが, 機能を絞って民生用途に 30 万円前後という低価格で発売したため 2013 年には大きな話題となった。2014 年の CES では DWS 社から DWS-XFAB（図 2）なる光造形機が発表されたのをはじめとして DLP 機を含め多くの低価格の液状感光性樹脂を用いる光造形装置が出現した。今後，興味の中心が低価格 FDM 機から高精度・高精細が期待される低価格光造形機へと移行いくことが予想され，3D プリンターの流れとして注目される。

筆者らは長い間，3D プリンターの中でも今，再び主流に返り咲くと思われる光造形機に携わってきたことから，最近の光造形装置およびその応用について紹介していくこととする。

図 2　DWS 社から発表された DWS-XFAB

## 3．液槽光重合法（光造形法）について

槽に満たした液状の感光性樹脂表面に紫外線や可視光線を照射し一層ずつ硬化させ積層する光造形法は 1980 年に，液状の感光性樹脂にネガを通して印刷版を作成する展示・デモをヒントに名古屋市工試の小玉秀男氏により発明された。その後実用化されたこの光造形装置の光源は基本的には紫外線レーザであり，当初は HeCd レーザ（325nm）が使われたが直ちに Ar イオンレーザとなり，その後現在の半導体励起の固体 UV レーザ（355nm 光）に至っている [4]。

しかし，最近では比較的小型の光造形装置では紫外線や可視光を光源とする DLP を用いたプロジェクター方式や 405nm の LED レーザを用いて，下面から光照射して作業テーブルを引き上げながら積層するものもよく知られている。この下面照射タイプは樹脂液を平滑化するためのリコーターを持たないことで装置が簡単となるため，低価格光造形装置では全てこの方式を採用している。

このように，光造形法については，上面から光照射するタイプ（自由液面法）と下面から光照射するタイプ（規制液面法）の 2 種類が大きく分けて存在する。また，光源がレーザービームによるものとランプによるものとがある。

### 3.1　上面照射タイプ（自由液面法）の光造形装置

国内のシーメット社や米国の 3D システムズ社の 2 社が製造・販売する代表的な上面照射タイプの大型光造形装置は図 3 のような構成で主として高精度な試作品の製作などに用いられている。図 3 に示すように，THG 現象を利用した固体レーザから発信した 355nm のレーザー光は AOM などの光変調機，レンズ等を通過後，ガルバノスキャナーミラーにより描画を制御しつつ液状の感光性樹脂の液面（自由液面）の上から所定の積層厚み（通常 0.1mm～0.15mm）になるようにレーザー光を制御しつつ照射して，一層ずつ硬化させ，作業テーブルを下降させながら積層する。この積層を所定の回数繰り返し所望の三次元物体を作成する [4]。

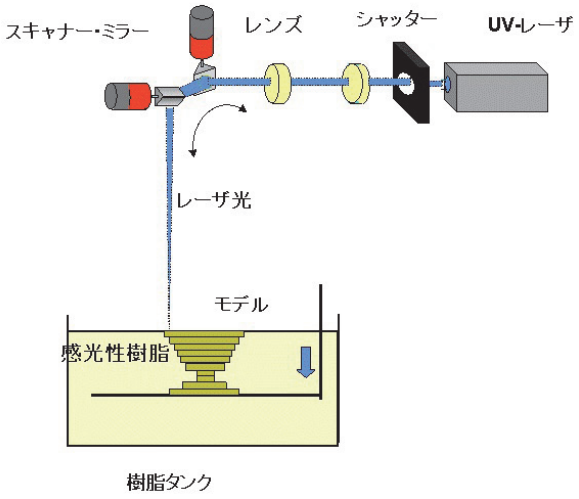


図 3　上面照射タイプの大型光造形装置の構成

この方式は比較的大型の装置（500mm～1m サイズなど）の設計が容易のため，自動車などの基幹産業の試作用として活躍している。光造形用樹脂としては，経時変化が小さく，高精度が要求される試作分野に主としてもちいられていることから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ト型の感光性樹脂が用いられている。さら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機械動作ロスの改善により造形速度を向上させたものが主流となり，シーメット社，3D システムズ社および DSM-SOMOS 社からその樹脂が提供されている。また，ごく最近では，シーメット社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を行い，液状樹脂が非劇物扱いとなり取り扱い性を向上させている（http://www.cmet.co.jp/product/resin）。

光造形システムの発明当初から実部品への応用が期待されているが，筆者らの長い間の樹脂開発の経験上得た知見から，靭性と耐熱性のトレードオフの関係の壁（図 4）を超えることが極めて難しく，熱可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や高精度を生かした用途を中心に利用されている（図 5）。光造形用光硬化性樹脂材料についての詳細な解説は筆者の最近の総説（素形材，Vol. 53，No.10（2012）51-57）を参考にしてほしい [5]。

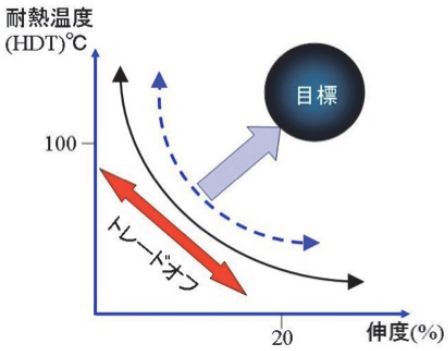


図 4　靭性と耐熱性のトレードオフの関係

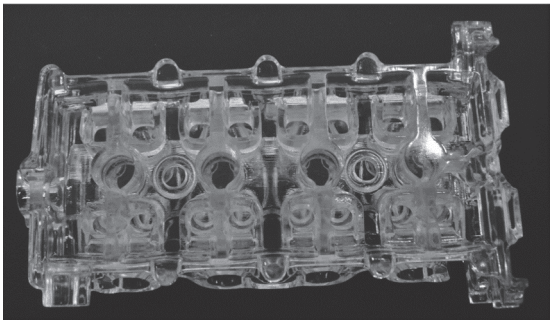

図 5　透明性を生かした用途例
(DMS2013 東京で CMET ブースにて撮影)

### 3.2　下面照射タイプの光造形装置

前記のように光造形機というと感光性樹脂液の上面からレーザ光を照射する自由液面法が主流であるが, 古くは三井造船社が液の下面からレーザ光を照射する規制液面法を開発して上市した。しかし, この方法では大きな造形物を得ようとすると作業テーブルからの脱落や硬化物と透過ガラス面との剥離にやや問題があったため，三井造船社は間もなく事業から撤退した。

その後 2000 年頃国内で，この下面照射の規制液面法を採用し，小型で可視光のレーザを利用した光造形機がアウトストラーダ社から，当時として極めて廉価な 300 万円程度で販売され，教育機関等に多く納入された。当時としては数千万円の装置が中心であった造形機の市場にこのような低価格機の参入は画期的なものであった。ほぼ同時期に可視光ランプの DLP プロジェクターを用いた液状感光性樹脂の積層造形機がドイツの EnvisionTec 社から発売された。当時は大きな造形物を得ることに努力が払われていたが，その後方針転換され，比較的小さくて付加価値の高い造形物を得るための装置に進化していった。ヨーロッパでは EnvisionTec 社の造形装置を用いたシーメンス社の補聴器製造が補聴器市場をほぼ独占しているとのことである [4,5]。

イタリアの宝飾の街 Vicenza に本拠を置く DWS 社の前身である Nextfactory 社では，当初日本のメイコー社製の宝飾用光造形機を輸入販売していたが，メイコー社の事業撤退を機に自社製造に転換した。その後 2007 年に DWS 社が設立され現在の下面照射タイプの光造形機を開発して宝飾市場に参入した。既に EnvisionTec 社が DLP 装置である Perfactory 機で, 宝飾市場で先行していたが, DWS 社はレーザー描画による高精細・高精度を生かして宝飾用途での 3D プリンター市場を二分するまでに至った。以下，DWS 社の光造形機の特徴とその用途展開について述べる。

### 3.3　DWS 社の光造形装置の特徴

DWS 社の主力製品は図 6 に示すような外観を有し，大きさはデスクトップタイプから，デスクサイド等各種サイズを市場に投入している。詳細は http://www.digitalwax.asia または，http://dwssystems.com を参照されたい。

内部は図 7 に示すような構成になっている。405nm の波長を有する BlueEdge レーザーを用い, ガルバノタイプのスキャナーと fθ レンズを介して 20μm に絞ったレーザービームを下面から液状樹脂に照射する。この光照射により断面データにより一層ずつ硬化させ，作業テーブルを引き上げていくことにより所望の立体形状を得る。図 8 にその模式図を示す [6]。

図 6　DWS 社の主力光造形機
(宝飾用 J シリーズ、
歯科用 D シリーズの例)

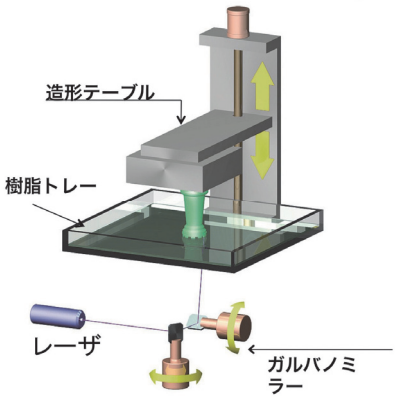


図 7　DWS 社のスキャナタイプの構成

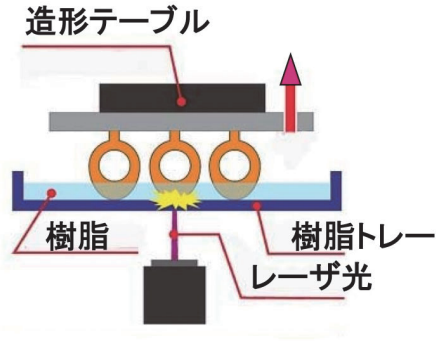


図 8　装置動作模式図

この方式の特徴として下記のものが挙げられる。

（1）造形物は一層硬化させるたびに上方に引き上げ，その隙間に樹脂が流れ込んだ後，所定の厚みとなるように作業テーブルを降下させるため，自由液面法が採用しているような大きな樹脂タンクを必要としない。

（2）造形に必要量の樹脂のみ充填するため，常に新しい樹脂の使用が可能であるとともに，再少量ですみ，且つ樹脂交換が極めて容易となる。

（3）リコーターがないため，装置が簡単になる。また，造形不良が起きたとき，リコーターがないためリコーターの動作による他の造形物への影響がない。

（4）造形液面が空気層に接していないので酸素による阻害を受けにくい。そのため多官能性のモノマーを用いなくても十分硬化する。結果として消失性にすぐれた模型の作成が可能となる。また，低反応性のメタクリレート化合物が使用できるため，刺激が少なく，人体への安全性が高い感光性樹脂が設計しやすい。

（5）下部照射のため，樹脂タンクから引きはがすときに剥離性を制御する必要がある。また，樹脂タンクの透過率が低下するとレーザー光量の低下につながる。樹脂タンクは消耗品扱いとなる。

（6）リコーターがないため，樹脂液の供与性が限られ大型の造形物が比較的作りにくい。

などが挙げられる。

このように（1）～（4）はこの装置の利点であり，（5）と（6）は欠点である。欠点である大型の造形物が得られなくても，樹脂交換が容易で，安全性の高い材料が使用可能で高精度・高精細の造形物が得られることから，この利点を行かせる宝飾や歯科，医療の分野に適している。

### 3.4.　DWS 社光造形装置の応用例

DWS 社の光造形機では，高精度で高精細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）宝飾用マスターモデル，（c）歯科応用，（d）工業用の微小モデルの試作品，（e）フィギュアーマスターモデルなどに積極的に利用されている。

http://www.digitalwax.asia/gallery.html　参照 [7]。

#### 3.4.1　DWS 社の宝飾用途

DWS 社はレーザビーム径を 20μm 前後に絞れることから，極めて高精細で積層段差がほとんど見えない滑らかな表面を有する造形物が得られる（図 9）とともに，下面照射の特性を生かして多官能性材料を用いることなく十分な機械物性を有する造形物が得られる。その結果，造形物は消失性に優れるものとなり，ロストワックス代替モデルとして極めて有用である。DWS 社の鋳造用樹脂で造形したものは全く消失残渣が残らないためと，造形物の表面が極めて平滑のため宝飾用貴金属の鋳造に

沢山の顧客を獲得している。さらに，高精細な造形が可能であることから図 10 のような従来法では全く不可能な形状の鋳造をも可能としている。また，DWS 社の宝飾用感光性樹脂には，表 2 に示すように直接消失用のものと，シリコーンゴム型用のものの二つに大別される。さらに最近では新しい素材とナノテクノロジーにより，天然石に近い感触を有し，造形後製品として使用できる全く新しいタイプの樹脂を提供している。このものは”IRIX”樹脂と命名された”DigitalStone”です。カラーも豊富で，手作業では不可能で，光造形機でしかできないデザインのアクセサリー等の製造が可能としている。これからの，デザイン性が重視される時代の新提案が出来る素材である。一部顧客に既に提供を開始して好評を得ている [6,7]。

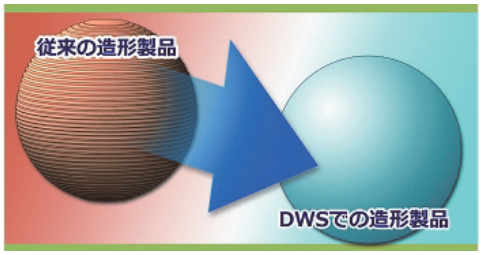


図 9　DWS 社の滑らかな表面を有する造形物

図 10　高精細鋳造物の例

表 2　DWS 社の宝飾・一般モデル用光造形用樹脂

| | DC550 | DC600 | DL220 | DL260 | AB001 | GM08B | IRIX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外観色 | 黄緑色 | 白色 | 濃水色 | 灰色 | 白色 | 黒色 | 黒，白，赤，青緑など |
| 用途 | 宝飾鋳造 | 宝飾鋳造 | ゴム型 | ゴム型，フィギュア | ABS ライクモデル | ゴムライクモデル | Digital Stone，人工宝石 |

### 3.4.2　DWS 社の歯科用途

光造形の歯科への最初の応用は，Align Technology 社の矯正歯科用途が代表的なものであり，3DSystems 社の光造形機をもちいて製造した歯列をもとにポリカーボネートフィルムでプレス成形して作成する。米国では既に千数百万人に適応され大きな成功を納め今日に至っている。今後日本国内でも普及していくものと思われる。歯形は個々人で形状が異なるため，口腔内スキャナデータをもとにした積層造形法がぴったりである。

歯科用はサイズ的に宝飾分野と同等であり，宝飾で培った造形技術の多くが利用可能である。この歯科応用については，豊通マシナリーの大竹氏により詳細に紹介されているのでそちらも合わせて参照してほしい [8]。

ごく最近，3Shape 社の製品に代表される口腔内デジタルスキャナーの開発が進み，歯列データが極めて簡単に立体形状データとして汎用の STL データで出力されるようになったため，これを利用した用途開発が大きく期待されている。得られたデータを STL 形式に出力した後，光造形機により (i) 鋳造用ワックスパターン，(ii) 鋳造用のデンチャーと呼ばれる鋳造パターン，(iii) ストーンモデルと呼ばれる歯列を造形して歯科用途に用いるデジタルデンティストリーが挙げられる。シリコーンで歯形をとり石膏印象を経由した従来工法からデジタルデータの利用に大きな転換が開始された。その一つとして，セラミック製人工歯の土台となる鋳造物の作成はすでに利用が進んでいる [6]。

また，抜歯後，人工歯を作成する過程で口腔内デジタルスキャナーにより出力されたデータを STL 変換後，患部に理想的な仮歯を光造形により直接作成する方法が進められている。DWS 社は TEMPORIS と命名した感光性樹脂材料で長期にも使用可能な仮歯の材料を提供開始した。ヨーロッ

パでは既に認可を受け，臨床応用も進んでいる。また，この TEMPORIS 樹脂を用いて歯科医院で，デスク脇で仮歯を作成する D-FAB という一連のプロセスを開発している。TEMPORIS 材の日本国内での展開は 2015 年以降になる。さらに，インプラント治療のためのサージカルガイド作成に用いられる樹脂（DS3000）も開発されて利用が進められている。これら歯科用の光造形用樹脂については表 3 に示す。これからもより樹脂性能を向上させることによりその能力をより発揮するものと推定される。

表 3　DWS 社の歯科用光造形用樹脂

| 樹脂 | RF065 | RF068 | RF080 | RD095 | RD096 シリーズ | DD-1000 シリーズ | DS2000 | DS3000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外観色 | 透明 | 透明 | 透明 | 青 | 各色 | 淡黄色不透明 | 無色透明 | 無色透明 |
| 特徴 | 易消失 | 固い | 極めて固い | セラミッククライク | 石膏ライク | 歯に近い物性 | 高透明 | 生体適合性 |
| 用途 | 鋳造 | 鋳造 | 鋳造 | デジタル印象 | デジタル印象 | TEMPORIS | 医療モデル | サージカルガイド |

### 3.4.3　DWS 社のその他の活用

光造形物を直接最終製品に利用している代表的なものがドイツ･エンビジョンテック社の補聴器のシェルである。補聴器は個々人で耳の形が異なるため，それぞれに適応した形にするためには CAD データをもとにした積層造形がぴったりである。シーメンスの子会社を通じて広く市場を獲得していると聞いている。

DWS 社の装置では意匠性の高い高精度な造形物を容易に得ることができるため，日本で特徴的なフィギィアの製作では，その表面に段差がほとんど認められず高精度で高精細な特徴を生かして広く利用されている（図 11）。

図 11　フィギィアの製作例
(シーフォース提供)

DWS 機の特徴を生かした新規な樹脂開発も行われており，最近では表 2 に示すようにゴムライクなフレキシブルな樹脂や, 高透明な ABS 性能樹脂, 白色不透明な ABS ライクな樹脂が提供されている。これらは一連の樹脂と同様にいずれも積層段差のなく，表面が極めて平滑な特徴を有している。

## 4．光造形法による射出成形型について

光造形法による射出成形型作成の試みは最初筆者らにより行われた。帝人製機の無機フィラー強化した TSR-752 樹脂により登場した。その後 TSR-753，754 と改良された。そのうちの TSR-754 樹脂を使用した造形物例を図 12 に示す。当初は光造形法により，データから数日射出成形型が得られ数 10 ショットの成形が可能ということで大きな注目を集め期待されたが, 射出成形を行う上での抜き勾配各などの制約で形状が限られ多くの顧客を獲得することができなかった。Euromold2013 にて Stratasys 社から CONNEX 機によりフィラー強化した感光性樹脂での造形で射出成形型（図 13）が

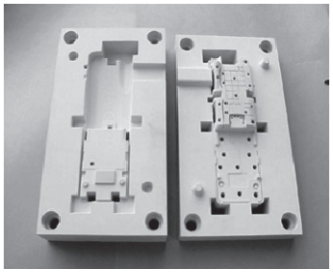

図 12　帝人製機の光造形法による TSR-754 樹脂での射出成形型

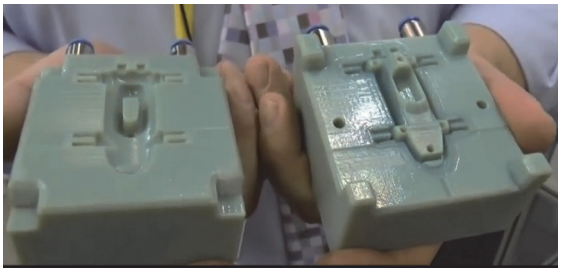

図 13　Stratasys 社から CONNEX 機によりフィラー強化した感光性樹脂での射出成形型(Euromold2013)

得られ，ブロー成形型などに応用が可能と発表された [9]。この場合も先の筆者らの場合と同様に，樹脂積層型からくる制約で射出成形物を選ぶと推定されるが，今後の光造形物の応用として注視していく必要がある。

## ５．光造形法の今後

光造形法が発明されてからすでに 30 年以上が経過し，すでにものづくりの世界，特に日本の基幹産業の試作として広く利用されている。さらに，いま，3D プリンターが周知されたことにより，3D プリンターを通してデザイン検証・機能検証が極めて身近になり，今までの試作という生産に近いところから，商品立案・デザイン・設計や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 プリンターが広く展開され始めている。

光造形法は光造形法が得意とする透明性に優れた造形物を利用する分野や，高精度・高精細が生きる精密機械分野，さらに医療・歯科向けにその発展が期待される。

参考文献


1) 丸谷洋二，早野誠治: “解説　3D プリンター AM 技術の持続的発展のために”， オプトロニクス社刊 2014 年 5 月
2) T. Wohlers: "Wohlers Report 2013”， 及び “Wohlers Report 2014 "， （Wohlers Associates, Fort Collins， Colorado， USA.
3) 萩原恒夫ホームページ; http://www.thagiwara.jp
4) 萩原恒夫 “光造形用樹脂とその造形物の現状と将来”， 素形材， Vol. 53， No.10 （2012）pp51～57.
5) 萩原恒夫 “材料から見た 3D プリンターの現状と将来”， 素形材， Vol. 54， No.9 （2013）pp37～44.
6) イタリア DWS 社ホームページより; http:// dwssystems.com
7) シーフォース社ホームページより; http://www.seaforce.co.jp， http://www.digitalwax.asia
8) 大竹範幸 “3D プリンターにより造形技術の歯科臨床応用-補綴臨床における造形方法と精度検証”, 補綴臨床， Vol.47， No.3 （2014）pp322～pp329
9) 米国 Stratasys 社ホームページより; http://www.stratasys.com

萩原恒夫　HAGIWARA, Tsuneo
東京工業大学 大学院理工学研究科
産官学連携研究員
〒152-8552　東京都目黒区大岡山 2-12-1