

1. はじめに

三次元積層造形法（Additive Manufacturing = AM法）の原点である光造形法が名古屋市工業研究所の小玉氏により1980年に発明された後、各種三次元積層造形法が発明され実用化されてきた¹⁾。2012年に、それらの基本特許が消滅したことで、大きなブームが起こったことは誰もが知るところである。これら三次元積層造形装置は三次元物体を出力（プリント）することから簡便に3Dプリンターと呼び、その技術を3Dプリンティングとも呼ぶようになってきている。本解説では馴染みやすい3Dプリンターおよび3Dプリンティングの用語を用いることにする。

最近、産業界ではデジタルによる「ものづくり」がDX（Digital Transformation）と呼応して進められている。特に、2020年からの新型コロナ・パンデミックを契機に製造業の世界地図、サプライチェーンが大きく変るとともに、デジタル化が大きな変化をもたらしている。この「ものづくり」のデジタル化の変革期に3Dプリンティングが果たすべき役割は極めて大きいと考えられ、本解説では3Dプリンティング、特に樹脂系3Dプリンティングについて最近の動向を含めて概説するとともに、船舶への3Dプリンティングの応用も探ってみることにする。

2. 3Dプリンティング

2.1 3Dプリンティングとは

三次元積層造形法（3Dプリンティング）は、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、砂等を用い、レーザービーム、電子ビーム、熔融押し出し、インクジェット等の手段で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立体形状を短時間に精度良く作成する方法である²⁾。2009年に米国のASTMの会議で呼称が統一されたこの技術は七つの方式に細分化され、表1に示すようになってきている³⁾。

その方法は、

- (a) 液槽光重合法（Vat Photopolymerization = VPP）：液状光硬化性樹脂をレーザービームやランプで光硬化させて立体形状とする方法であり、長い間、光造形法（Stereolithography：SLA）と呼ばれていた。
- (b) 粉末床熔融結合法（Powder Bed Fusion = PBF）：ナイロン12（PA12）などの熱可塑性樹脂粉末や金属粉末を赤外線波長のレーザーで熔融して三次元に積層する方法であり、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Selective Laser Melting：SLM）とも呼ばれている。
- (c) 材料押し出し法（Material Extrusion = MEX）：ABS樹脂などの非晶性の熱可塑性樹脂ワイヤーを細い加熱ヘッドより熔融し押し出して積層する方法であり、熔融樹脂積層法（Fused Deposition Modeling：FDM）とも呼ばれている。2008年前後にStratasys社のFDM装置の基本特許が消滅したことから、このFDM技術がオープンソース化されて低価格機が出現して3Dプリンターブームが起こり、一気に大衆化がなされた。
- (d) 結合剤噴射法（Binder Jetting = BJT）：デンブ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方式とも呼ばれていた。
- (e) 材料噴射法（Material Jetting = MJT）：光硬化性樹脂をヘッドから吐出しながらランプで硬化・積層する方式や、ワックス材などをヘッドから吐出して積層する方式が挙げられる。
- (f) シート積層法（Sheet Lamination = SHL）：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積層接着する方法。
- (g) 指向エネルギー堆積法（Directed Energy Deposition = DED）：Fe、Ni等の各種金属粉末やワイヤ等を供給しながら炭酸ガスレーザーやファイバーレーザーなどで熔融させて肉盛り溶接のように形状を作成する。

* 横浜国立大学 成長戦略教育研究センター

表1 各種 3D プリンティング方式とその特徴・用途

積層技術（略称）	手段	材料	特徴	主な用途
液槽光重合法（VPP）	レーザービーム／ スキャナ DLP, LCD／ LED ランプ	エポキシ／アクリレートハイブリット系液状光硬化性樹脂 ウレタンアクリレート系液状光硬化性樹脂	高精度・高精細, 大型の立体モデルが造形可能	工業製品の試作, 機能試験 歯科, 医療モデル フィギュア
粉末床溶融結合法（PBF）	レーザービーム／ スキャナ 電子ビーム, インクジェット／ 赤外ヒータ	PA11, PA12 粉末, PP 粉末, PS 粉末 SUS, Ti (合金), Al, Co-Cr 等の金属粉末 PA11, PA12 粉末, PP 粉末	最終製品の材料が使える	工業製品の試作, 最終製品 インプラント, 航空機部品
材料押出法（MEX）	熱／XY プロッタ	PLA, ABS, PEI 等の熱可塑性樹脂ワイヤ	汎用プラスチックからスーパーエンブラまで	デザイン確認, 高性能試作, 工業製品
結合剤噴射法（BJT）	インクジェット	石膏粉, 砂／水系バインダ セラミック粉末 金属粉末／樹脂バインダ	高速, 石膏プリンターではフルカラーも可 セラミックや金属では脱脂, 焼成が必要	デザイン確認, 頭蓋骨铸造用砂型, セラミック製品, 金属製品
材料噴射法（MJT）	インクジェット	ウレタンアクリレート系光硬化性樹脂, 天然ワックス	多彩な表現, フルカラーも	デザイン確認, 試作確認 歯科, 医療モデル
シート積層法（SHL）	レーザービーム, カッターナイフ	紙, PVC シート, アルミニウムシート	紙ではフルカラーも	立体地図 簡易金型
指向エネルギー堆積法 DED）	レーザービーム 電子ビーム	金属粉末, 金属ワイヤ	既存部品への追加造形, 金属粉末の混合も	金属部品 肉盛り溶接
ハイブリッド	レーザービーム 及び切削 MEX 及び切削	金属粉末 樹脂ワイヤ, ペレット	最終製品レベル	金属製品, 射出成形用金型 樹脂製品

の7種類の方法であり、筆者はこれら7種類に

(h) DED 法や金属 PBF 法の積層法に切削を組み合わせて製品レベルのものとするハイブリッドタイプの造形法を加えて8種類としている。

2.2 今、なぜ 3D プリンティングなのか

なぜ 3D プリンティング（AM 法）が注目されているかを成形方法から見ると次のようになる。データから立体形状への成形方法について 3D プリンティングを他の成形方法と比較したのが表 2 である¹⁾。加工法は旋盤やマシニングセンターを使う切削に代表される除去加工、溶接やろう付け、3D プリンティング（AM 法）の付加加工、そして射出成形や鍛造・プレスなどの成形加工（塑性加工）に大別したとき、この表から分かるように 3D プリンティングに特徴的なのが成形物の形状の自由度である。この自由度が大きいゆえ、3D プリンターを使えば何でも容易に出来るということになる。通常の射出成形や切削法では作成が困難なデザインなどがいとも簡単に具現化することができる。芸術家やデザイナーは自分の作品を形にして発表することがで

表2 データから立体形状へ

機械加工法	操作	自由度	大量生産	単品製作	加工の具体例
除去加工（切削）	-	○		○	旋盤, マシニングセンター, 研削放電加工, フライス盤 等々
付加加工	+	◎		○	溶接, ろう（ハンダ・銀ろう）付け, 三次元積層造形（AM）
成形加工（塑性）	+ -	△	○		射出成形, 鍛造・圧延・せん断プレス・曲げ・絞り

（操作について - : のぞく, + : 加える）

きるし、設計者は所望の性能が発揮できる製品の試作品や製品を形にすることができる。しかし、構造上の制約は簡単に取り払うことが可能であるが、3D プリンティングですべて所望の材料を使うことが出来るとは限らない。現状では装置や材料などでの制約があり、必ずしも何でも出来るというわけではない。積層造形法は当初、工業製品の試作を迅速

に行うためのツールとして発展してきたが、最近では上述のようにデジタルによる最終製品を製造するツールとして進化している。

三次元積層造形法の基本は、図1に示すように、三次元CADデータを、小さな三角形で立体表面を記述したデータ (STLデータ) に変換し、その後、積層するために一層ずつのスライスデータとする。このスライスデータに基づき各造形法で一層ずつ「くっつけて (積層して) 作る」ものである。

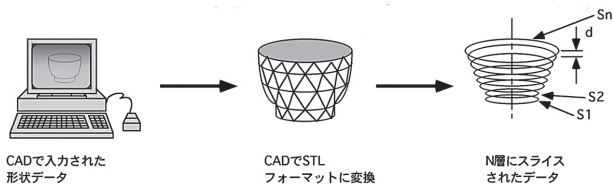


図1 積層造形のためのスライスデータの作成

3. 3D プリンティング法各論

3.1 液槽光重合法 (VPP法)

液槽光重合法は、図2に示すように、一般的には355nmの紫外線レーザー光をガルバノスキャナーミラーにより制御しつつ、上方から液状の光硬化性樹脂を通常0.1mm~0.15mmの積層厚みで一層ずつ硬化させ、作業テーブルを下降させながら積層する。この積層動作を所定の回数繰り返し所望の三次元物体を作成するもので、この方法は自由液面方式と呼ばれている。

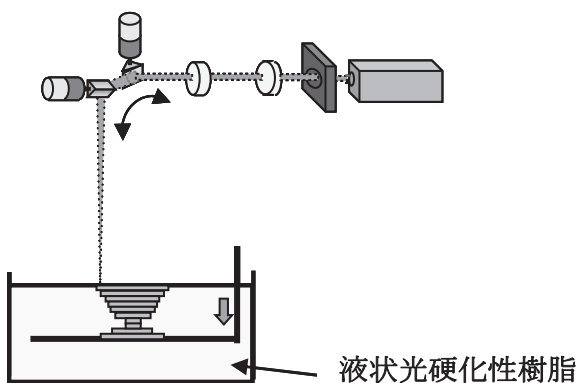


図2 液層光重合法 (自由液面法) の装置の模式図

代表的な上面 (自由液面) 照射タイプの大型装置の液状光硬化性樹脂は、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樹脂組成物であり、最近ではオキセタンアルコール化合物を共

保存させたものとなっている。また、光カチオン重合開始剤の非アンチモン化が図られ、液状樹脂が非劇物扱いとなり取り扱い性を向上させている。自由液面方式の液槽光重合法では透明で精度に優れた造形物が得られることが大きな特徴である。

当初、工業製品の試作を目的としていたが、顧客からは実部品への応用を期待され材料開発が続けられているが、光硬化樹脂の物性はABS樹脂性能のレベルには達していない。そのため、大型でかつ透明性や高精度を生かした用途に広く利用されてきた。図3に自動車の透明なエンジブロック造形物を示す。光造形用光硬化性樹脂材料についての詳細な説明は筆者のホームページに掲載の総説¹⁾を参考にしてほしい。

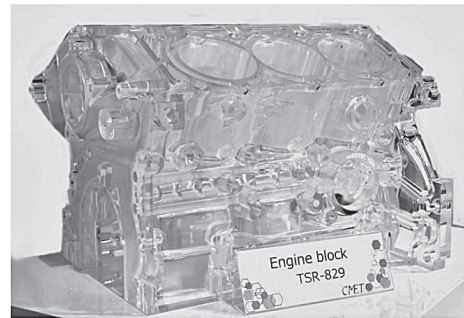


図3 液槽光重合法 (自由液面法) によるエンジブロックの造形例

最近、広く普及している小型の液槽光重合装置は、図4(a), (b)に示すようにUV-LED光源でDLPプロジェクター⁴⁾を用いるか、405nmのLDレーザー光を用いて⁵⁾、下面から透明な窓材を通して光照射して造形テーブルを引き上げながら積層する装置であり、これらは規制液面方式と呼ばれている。

これら装置は樹脂液を平滑化する治具 (リコーター) を持たないため装置が簡単であるが、光硬化反応を透過窓上で行うため、硬化層の引き剥がし

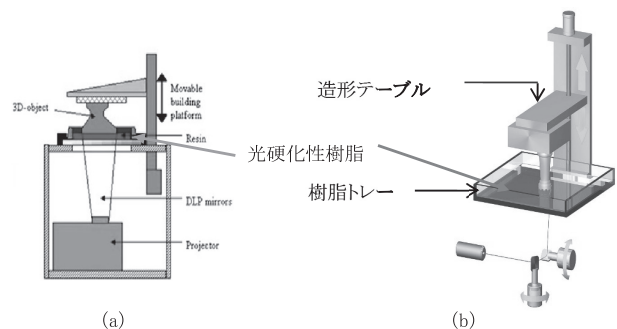


図4 液層光重合法 (規制液面法) の模式図 ((a) はDLP機, (b) はレーザー機)

や、造形テーブルからの脱落の可能性があり大きな造形物の作成には不向きである。そのため、小さくて高精度が要求される付加価値の高いもの、例えば、補聴器の製作、宝飾用鑄造原型、フィギュアの原型、歯科鑄造原型、人工歯などに利用されている。図5に筆者が関わっているイタリアのDWS社の人工歯の例を示す。



図5 DWS社の小型レーザー機による人工歯の造形例

クラウドファンディングで設立されたFormlab社⁶⁾から2012年後半に発表された405nmレーザー採用の小型造形装置「Form1」はイタリアDWS社の装置を模したものであるが、当初30万円程度の極めて低価格で発売されたため瞬く間に大きな数の装置が販売され市場に浸透していった。最新機種Form3+では100万円前後となっているが通算で10万台程度が出荷されている。

一方ドイツのEnvisionTEC社により発明されたDLPプロジェクターを用いる造形機⁴⁾は、その解像度、精度はDLPを構成するDMD素子に依存するが一括露光するもので、大きなものを造形しなければ簡便で造形速度の速い装置となっている。最近では透過窓材や構成を工夫することにより連続引き上げで高速な装置が多数上市され市場が拡大し、それに伴い材料開発も活発となり、最終製品を造形して得ようとする方向で進んでいる^{1), 3)}。

3.2 粉末床溶融法 (PBF法)

PA12またはPA11からなるエンジニアリングプラスチック粉末を主体とするレーザービームの熱モードによるPBF法は、図6で示すような方法⁷⁾であり、先の光造形法の液状樹脂が熱可塑性樹脂粉末や金属粉末に置き換わったと思えば理解しやすい。レーザー光の熱モードを利用するため造形室内は窒素ガスなどの不活性ガスを用いて燃焼や酸化を防いでいる。

この熱可塑性樹脂粉末を用いるPBF法は(微)結晶性の熱可塑性樹脂材料がレーザーの熱で溶融し、再び結晶化(固化)する間の準安定状態(プロセスウインドウと呼ぶ)を利用するため、その条件

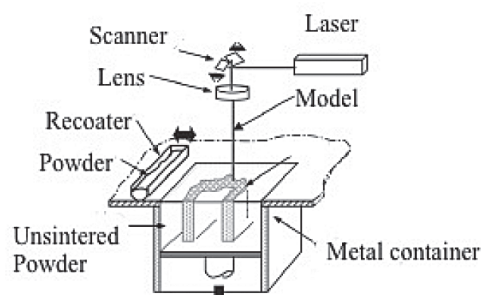


図6 粉末床溶融法の模式図

に適合する材料として長い間PA12やPA11粉末に限定されていたので、材料性能を拡張するために、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て性能強化したものが利用されてきた。長い間PA12が大きなシェアを占めていたが、最近では靱性に優れ、植物由来の材料でもあるPA11粉末が見直されている。また、自動車産業用途を狙ったポリプロピレン (PP) 粉末の利用も進んでいる。一方、スーパーエンジニアリングプラスチックであるPEEKやPEKK粉末では高耐熱部品や外科手術でのインプラントへの利用が進んでいる。

数年前にヒューレット・ハッカード (HP) 社により実用化された熱可塑性樹脂粉末をインクジェットと赤外線により加熱溶融積層する方法 (High Speed Sintering : HSS) が高速に最終製品を作成する方法として急速に普及している。その方法は基本的に熱で溶融・固化させるPBF法⁸⁾であり、PA12、PA11が主体であるが最近ではPPや熱可塑性ポリウレタン (TPU) にも展開されている。図7にPA12の造形物を示す。

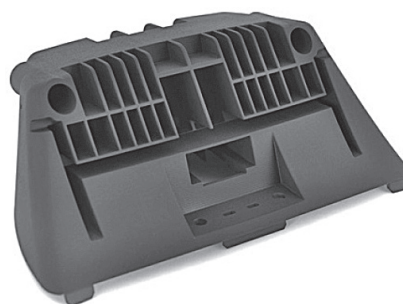


図7 HP社のJet Fusion機 (HSS機) によるPA12造形物例

一方PBF法で金属(合金)粉末をレーザービームや電子ビームで溶解させて積層することは、射出成形型や金属最終製品に直結していることから普及が著しく、多数のメーカーが参入して熾烈な激戦を展

開している。最近では電子ビームによるチタンやその合金、コバルト・クロム等の金属粉末造形は、外科治療用のインプラント、ジェットエンジン部品等の製造で注目されている。

3.3 材料押し出し法 (MEX 法)

米国ストラタシス社を設立した Crump 氏により、1988 年頃溶融樹脂押し出し法 (FDM, ストラタシス社は MEX 法を FDM と呼ぶ) が発明された。細い線状の熱可塑性樹脂をヘッド内部のヒーターで熱して溶融させ、極小のノズルから吐出させながら 1 層ずつデータに沿って積層させて三次元モデルを造形する (図 8) ものである⁹⁾。精度良く所望の樹脂物性の造形物を得るためには射出成形と同様な樹脂管理が求められる。その線材の直径は $1.75\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ にコントロールされ、金属あるいはプラスチックのパッケージに乾燥剤とともに収められており、線材は溶融造形まで水分に触れないように供給されている。また、造形室内は所定の温度に制御され、造形中の接着性や造形時の反りに対応している。

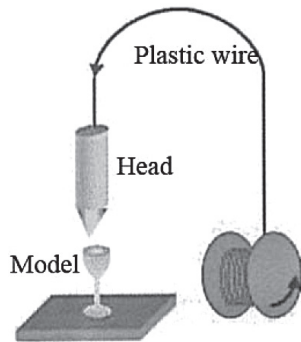


図 8 材料押し出し法の模式図

ストラタシス社の FDM 機の材料は ABS 樹脂をはじめ、ポリカーボネート樹脂、PC/ABS アロイ、PPSF/PPSU 樹脂、ポリエーテルイミド (PEI) 樹脂など熱可塑性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の広範囲な材料が使用できる。当初積層面 (x-y 方向) は強いが積層方向 (Z 方向) は弱いとされてきたが、材料の流動性の改善や造形条件が改良され現在では殆ど問題がないレベルになっている。エアバス機の部品を PEI で作製した例を図 9 に示す⁹⁾。オーバーハング部のサポート材としては苛性ソーダ水溶液に可溶性カルボキシル基 (-COOH) を含有する水溶性樹脂と、壊して取り外すブレーカブルタイプのものが用いられている。材料の拡充とともにサポート材

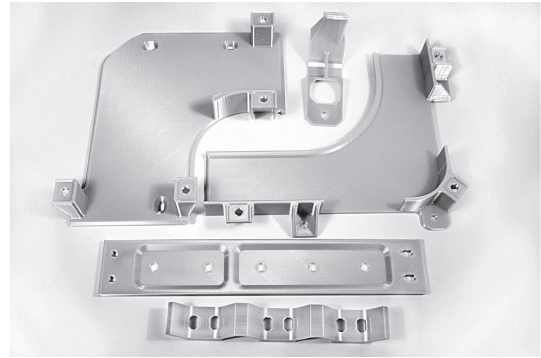


図 9 エアバス 350XWB に使用された PEI 造形物例 (<https://www.stratasys.com>)

の改良も行われて作業環境が改善されてきている。

3.4 MEX法による廉価版 3D プリンターの台頭

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、ストラタシス社の基本特許切れとともに次々にベンチャー企業が多数立ち上がり、廉価版の樹脂押し出し方式の 3D プリンターが数多く販売され 2012 年の 3D プリンターブームとなった。これまでは、数百万円程度の安価なものもあったが、積層造形装置は数千万円から一億円程度の高価なものが大半を占めていた。この RepRap プロジェクトから始まった廉価版の 3D プリンターは 10 万円から数十万円のもの大半を占め、個人でも購入ができる価格体系となっている^{1), 3)}。

廉価版 3D プリンターの材料は主にポリ乳酸 (PLA) であったが、ストラタシス社の造形室の温度制御特許が切れたことから、幅広い材料の利用が可能となり ABS 樹脂はもちろんスーパーエンジニアリングプラスチックである PEEK の造形まで可能となっている。廉価機の性能向上に伴い工業製品の開発用途にも積極的に使われてきており、併せて水溶性の安全性の高いサポート材の開発も進んでいる。MEX 法は種々の材料との複合が可能であり、例えばセラミックを PLA で線材としてしたものを利用することでセラミック造形が可能となる。また、金属粉末を含む樹脂ワイヤでは金属造形が可能であり利用が大きく広がっている³⁾。

更に、熱可塑性樹脂ペレットを直接溶融して吐出しながら造形する方式は、線材にしないことで経済的であり、ロボットヘッド利用による大型化も可能で注目されている。また、回収した熱可塑性樹脂の利用も検討されている。ロボットヘッドから樹脂を吐出して積層することにより、大型の舟を短時間で作成した例も報告されており、その応用は予想を超

えて広がりを見せている。

3.5 結合剤噴射法 (BJT 法)

3.5.1 石膏プリンター

1989年にマサチューセッツ工科大学 (MIT) のサックス氏らによりインクジェットノズルから出た水系の結合材により粉末を固化させて積層することで三次元モデルを作成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る積層造形装置 (Z-プリンター) を 1996 年に発表した³⁾。当初はデンプン粉末を用いていたが、その後石膏の粉末に変更するとともにフルカラー化がなされた。造形速度と意匠性が優れていることより、形状確認やデザイン確認の用途で多く利用されてきた。この石膏プリンターの技術は先に述べた HSS 機や後述の砂型铸造用機やバインダージェットによる金属造形機へと発展している。

3.5.2 砂型铸造用結合剤噴射機

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出して casting 用の砂型を作成する 3 次元積層造形機は MIT のライセンスを受けた ExOne 社の砂型プリンターと、Z 社からサブライセンスを受けた voxeljet 社のものがある。ExOne 社の砂型造形システムは、国内でも多くのところで導入が進んでいる。このシステムは砂型造形により木型や樹脂型を不要とし、試作品の casting はもとより、量産化も視野に入れることができ、 casting 金属製品の設計の幅を広げ、次世代のものづくりへと発展している。

国内では 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」に参加したシーメット社が群栄化学製の人工砂等を使用した砂型プリンターを上市している¹⁰⁾。

3.6 材料噴射法 (MJT 法)

イスラエルの Objet 社 (ストラタシス社に統合) 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 ランプの紫外光で硬化させるシステムが 1999 年に発表され大きく発展している。この技術は元々日本のブラザー工業社により提案されたものであったが実用化されず、Objet 社に特許ライセンスされ製品化された^{1), 3), 9)}。

現在では比較的安価な 200 万円程度のものから大型でかつ多種の材料が利用できる 1 億円近い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 15 μm 程度の薄厚みで積層することにより、比較的高精度に造形すること

ができる。この装置の仕組みは図 10 に示すようなものである¹¹⁾。

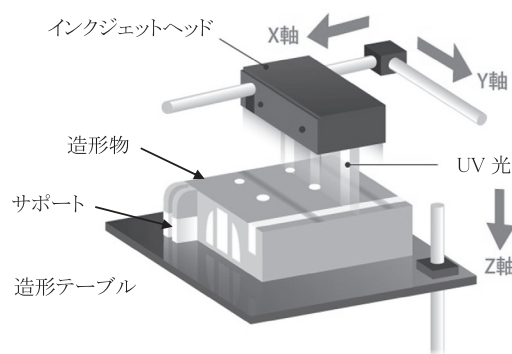


図 10 光硬化性樹脂を用いる材料噴射法, Stratasys 社 PolyJet の模式図

材料は (ウレタン) アクリレート系の液状光硬化性樹脂で、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幅広く用いられている。インクジェットの性質を利用して複数種類の異なる材料を同時に使用する多彩な積層造形が可能であり、今までの積層造形装置ではなし得なかった造形物、例えば硬いものと軟いものを組み合わせたものなどを簡単に得ることができる。またフルカラー化もなされ、極めて多彩な表現を可能としている。現在では最終製品と見間違えるほどの外観を持つフルカラー造形物 (図 11) が作成可能となっている。



図 11 Stratasys 社の PolyJet 機による造形物の例

一方、インクジェットノズルから加熱溶解したパラフィン系ワックス材を吐出し積層することでロストワックス casting 用モデルを作成する装置¹²⁾も普及しており、宝飾や小型精密 casting のワックスモデル作成を中心に利用されている。

3.7 シート積層法 (Sheet Lamination : SHL)

紙やプラスチックシート材料を、レーザまたはカッターで切り出し糊を付けながら積層するシート積層法があったがオーバーハングの取り扱いが不得意であったために嫌われ 2 社とも撤退した^{1), 3)}。その後の 2012 年秋から紙を積層してフルカラー造形

物が作成できる比較的安価な Mcor IRIS プリンターが上市されてきたが、差別化が難しく苦戦を強いられている³⁾。

3.8 指向エネルギー堆積法 (Direct Energy Deposition : DED)

Fe, Ni 金属粉末や金属線等を利用して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 DED 法は OPTOMECH 社から Laser Energy Net Shaping として提案された。最近ではこの方式に造形物を最終製品にする目的で切削を加えたハイブリッド型が提案され、切削の得意な国内のメーカーから数多く上市されている。ハイブリッド型は金属粉末の PBF 法で造形端面を切削して金属製品とするハイブリッド法とともに金属造形で最終製品を得る目的で大きく発展している³⁾。

4. 3D プリンティング市場

図 12 に AM 装置 (3D プリンター) 市場の推移を示す。1980 年代後半に発明があり、1990 年からの約 10 年間の第一世代は、装置の開発や試験導入の世代であり、多くの装置が上市された。その後装置としての成熟が進み、そのコストや品質が問われ、めざましい発展とともに淘汰された第二世代を経て、必要不可欠なツールとしての広く利用される第三世代へと推移した。比較的安価な FDM 機の Dimension やインクジェット機の Z-Printer の普及を経て、パーソナル 3D プリンターが立ち上がった第四世代へと進化した¹⁾。

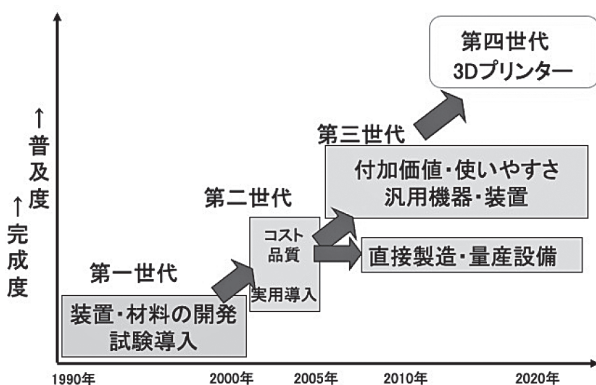


図 12 AM 装置 (3D プリンター) 市場の推移

パーソナル 3D プリンターは台数ベースで 2021 年は 80 万台 (Wohlers Report2022) 発売され、推定累計 500 万台と大きく成長している。3D プリンターの価格はパーソナル 3D プリンターの数万円から業務用ハイエンド機の 1 億円超のものまであ

り、2021 年時点で、装置は 4,000 億円市場であり、材料は 3,000 億円市場、これに 3D プリンターを使った造形サービスなどを加えたものは合計で 1 兆 8,000 億円市場に成長している。この市場の伸びはクレディス・スイス証券が 2012 年の 3D プリンターブームを契機に 2013 年に予測したのが見事に的中している。Wohlers Report2022 によると 2031 年には現在の 5 倍以上、9~10 兆円市場に成長すると予測されている³⁾。

5. 船舶と 3D プリンティング

「船舶と 3D プリンティング」と Google で検索すると

- (i) 船舶用部品の 3D プリンティング活用プロジェクトに川崎重工などが参画¹³⁾
- (ii) たった 3 日で大型船の 3D プリントに成功!¹⁴⁾
- (iii) 船舶の金属部品を 3D プリンターで製造¹⁵⁾
- (iv) GHG (温室効果ガス) 削減と水中騒音削減のための省エネ付加物を考慮した実船モックの製作¹⁶⁾
- (v) 船体付加物の省エネ効果を測定する水槽試験にキーエンスの 3D プリンターを活用¹⁷⁾。この内容については、本号特集で解説記事が掲載されているので参照されたい。

等々、多数の事案が検索されてくる。3D プリンターで古い船の模型を製作することや、縮小モデルを出力しデザイン等の検証、また、船の金属保守部品を金属 3D プリンターで作成すること、実船モックアップの製作などがあげられている。また、樹脂押出しの超大型プリンターを使って船そのものを作成することも報告されている¹⁴⁾。このような事例をみると 3D プリンターが他の工業製品の製造に利用しているのと大きな差は見られない。所謂デザイン検証から試作を通して、最終的な部品や船の製造に利用されており、今後デジタルによるものづくりが進むにつれて益々 3D プリンターの活躍の場は広がっていくものと推定される。

6. まとめと今後の展望

3D プリンティングは光造形法 (液槽光重合法: VPP) から歴史が始まり、各種造形法が開発され既に 40 年近くが経過して、それぞれの方式の基本特許が消滅したことで大きくブレイクし、デジタル化とともに 3D プリンティングが「ものづくり」の最前線に躍り出てきた。安価な 3D プリンターが手軽に使えることにより、開発者や設計者の意識を大

大きく変え「ものづくり」に変革をもたらし、工業製品のデザインや開発からジェットエンジンの重要部品、そして我々の生活の身近な最終製品製造にまで及んでいる。

3D プリンティングの活用が広がる中で、各造形方式はいままで考えられなかったような分野への応用を広げている。これらの応用拡大とともにそれぞれの方式で材料の開発が進み、間もなくいろいろな局面で使える材料が十分な性能を有するものとして手に入るものと考えている。

また、従来の3D プリンティング方式に留まらず、最近では新しい方式の開発、あるいはハイブリッド化に拍車がかかっており、ビジネスチャンスを求めてベンチャー企業のみならず大企業の参入が加速しており、予想を超えて3D プリンティング技術の拡張が進むものと思われる。

3D プリンティングは工業製品の「ものづくり」だけではなく、歯科分野や医療分野などのヘルスケア分野にも深く関わり、ますます我々の生活と密着していくものと考えている。

参考文献

- 1) 萩原恒夫ホームページ；<http://www.thagiwara.jp> に掲載の総説、講演資料
- 2) 丸谷洋二, 早野誠治, 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, 2014)
- 3) T. Wohlers : “Wohlers Report 2022”, (Wohlers Associates, Fort Collins, Colorado, USA.
- 4) <https://envisiontec.com> (参照 2022-07-14)
- 5) <https://www.dwssystems.com> (参照 2022-07-14)
- 6) <https://formlabs.com> (参照 2022-07-14)
- 7) <https://www.eos.info/en> (参照 2022-07-14)
- 8) <https://www.hp.com/us-en/printers/3d-printers.html> (参照 2022-07-14)
- 9) <https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/FDM-technology/> (参照 2022-07-14)
- 10) <https://www.cmet.co.jp/material-sand/> (参照 2022-07-14)
- 11) <https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/polyjet-technology/> (参照 2022-07-14)
- 12) <https://www.3dsystems.com/3d-printers/jewelry> (参照 2022-07-14)
- 13) <https://news.sharelab.jp/3dpnews/3dprinter-mpa-210202/> (参照 2022-07-14)
- 14) <https://makerslove.com/24852.html> (参照 2022-07-14)
- 15) https://www3.nhk.or.jp/news/contents/ohabiz/articles/2022_0609.html (参照 2022-07-14)
- 16) https://go.stratasys.com/DFP_FDM_Case2.html (参照 2022-07-14)
- 17) <https://www.keyence.co.jp/ss/products/3d-printers/agilista/example/005.jsp> (参照 2022-07-14)



萩原 恒夫 (はぎわら つねお)
 横浜国立大学 成長戦略教育研究センター
 連携研究員
 光硬化性樹脂, 樹脂系 3D プリンティング
ts.hagiwara@gmail.com