

# 3Dプリンターの造形方法

3Dプリンターの造形方法は様々であり、それぞれ対応している材質が異なったりします。この造形方式ならこの材料が使える！そういった発見の手助けの資料としてお送りします。項目の流れとしては、

- ・ 造形プロセス
- ・ 造形材料
- ・ 前工程と後工程

という順で情報を記載しています。造形方式は全部で7つあります。

## 材料押出(熱溶解積層)

### 造形手順

材料押出法は、立体モデルを固定するプレートに対して相対的に動かすことができるノズルから材料を押し出すことで立体モデルを造形していく方法です。(別名:FFF、FDM)一般に材料は高温になると溶ける樹脂を使います。これをノズルの手前に配置したヒーターによる加熱で溶かします。ノズルから出た樹脂は、すでに造形してある下の層の樹脂と接触したり、周囲の空気にさらされることによって冷やされて固まっていきます。固化するために外気の温度がカギになるため、造形エリアの温度を一定に保つ機能も備わっています。この方式は低価格プリンターに多く取り入れられています。

### 造形材料

熱可塑性樹脂を加熱することで軟化し、冷却することで固化する特性を利用したものです。その材料はフィラメントの形状で提供されます。熱可塑性樹脂のフィラメントの直径は1.75mmと2.85mmの2種類が存在していますが、1.75mmが主流です。

造形材料の提供形態は、専用カートリッジにフィラメントが内蔵されているものとフィラメント単体(リールに巻きつけた状態)があります。材料はカートリッジごと交換するので、比較的容易に造形材料の交換が可能です。フィラメント単体の場合は、その造形材料の使用設定を制御側で指定するため、造形材料の使用条件を確認する必要があります。

主な材料は以下のようになります。

## ・ABS(アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン)

機械的強度のバランスが良い3種類の樹脂の機械的性質が表れます。

「アクリロニトリル」

耐熱性、機械的強度（剛性）、耐油性に優れる

「ブタジエン」

ゴムの特性である耐衝撃性に優れる

「スチレン」

光沢性、成型性（加工性）、電気的特性が良い、寸法安定性に優れる。

## ・PLA（ポリ乳酸）

トウモロコシやジャガイモなどに含まれるでんぷんなどの植物由来の樹脂で、乳酸を重合することによってできた高分子であり、乳酸からできたポリエステルです。ほかの材料と混合させることで、異なる性質をもつPLA材料を作り出すことも可能です。石油由来の樹脂の代替品として環境に配慮されているものの、ABSより耐久性はない。低い温度で熔融するので冷却時の歪みが生じにくいので、大型の造形物の製作に適しています。また、硬く粘りも強く、塗料が染みにくいです。

## ・複合材料

ABSやPLAに銅や木材、炭素繊維を混ぜ込み、それぞれの機能性を高めた造形材料です。

### 【青銅/銅の粉末が80%含まれるPLAフィラメント】

磨くと光沢が出ます。ザラザラで細くノズルから吐き出された急激な冷却で硬化するので、対応する装置の調整が必要です。

### 【木/竹の繊維が30%含まれるPLAフィラメント】

木/竹質の質が得られます。

### 【炭素繊維(カーボンファイバー) 入りABS、PLA、PAフィラメント】

各基本造形材料(ABS、PLA、PA) の特性に炭素繊維の強みである軽量・強度が加わりそう。

## ・ASA（アクリレート・スチレン・アクリロニトリル）

ABSのブタジエン成分をアクリレート(アクリルレートゴム) に置き換えた熱可塑性樹脂で、基本特性はABSに似ていますが、比較すると耐候性が改善されているため、屋外での利用に向いています。

## ・PA（ポリアミド）

一般的にはナイロンとも呼ばれています。材料押出法では、ラウリルラクタムを重合して得られるPA12(ナイロン12)が使用されています。耐久性や耐衝撃性に優れていて、融点が低く、吸水性も低いです。また、形状変化が小さいです。

## ・PET（ポリエチレンテレフタレート）

飲料用の容器としても普及しているペットボトルの材料でもあります。透明性を実現したフィラメントとしても使用できます。現在は強度、耐久性、耐熱性を生かしてボトルや食器類の試作が試みられています。

## ・PC（ポリカーボネート）

安全なジフェニルカーボネートによるエステル交換重合が現在では広く用いられています。プラスチック素材の中では最高度の衝撃性を持ちます。PCは基本的に大量生産向きの素材であったのですが、3Dプリンターの登場により、優れた物性を1個単位で生産できるようになっています。

## ・PPSU（ポリフェニルスルホン）

構成分子中にスルホニル基を含む樹脂で、スルホニル基の立体化学構造が結晶化を阻害するため、スルホン系樹脂は非結晶性を保つため透明で、耐熱、薬品性に優れた樹脂になっています。しかしながら紫外線には弱いです。

## ・PEI（ポリエーテルイミド）

イミド結合(優れた耐熱性と強度)とエーテル結合(良好な加工性)の組み合わせを持った、非結晶性の高機能スーパーエンジニアリングプラスチックです。また、幅広い耐薬品性を備えています。しかしながら衝撃に弱く、応力集中に弱いです。

## 前工程と後工程

材料押出法はゴムのような軟性の材料や、金属のような硬性のものまで、幅広くかつ低価格でプリントできるようになっています。そんな多彩な材質に対応できるという特徴を持つものの欠点もあります。構造上、積層ピッチを細かく設定することが出来ず、目視でわかるほどの階層状の表面となる場合があります。

## サポート部の付加

一部の業務用プリンターを除いて、立体モデルを造形する樹脂と同じ材料が使用されます。一筆書き材料を積み重ねていく構造上、張り出した部分や中空構造、微細な造形部分をツサ得る目的で付加されます。多少の張り出しであればサポート材を必要としません。サポート部の付加位置や形状は、3Dプリンター付属の制御用ソフトウェアを用いておおむね自動的に付加されますが、意図しない部位サポート部が付加されたり、必要以上に付加されるため、各部の構造を見ながら、サポート部の形状を修正する必要があります。

## 造形の向き

立体モデルを使用する時の向きと、出力するときの向きが必ずしも同じである必要はありません。加工や仕上げのしやすさ、出力時間や使用する造形材料に応じて、自由に向きを変えて配置します。配置する方向によってはまったくサポート材を付加しなくても済む場合があります。しかしながら、加わる力の方向が積層面に対して平行になるように配置すると、積層面から破断する可能性もあります。

## 制御ソフトウェア（スライサー）

一般的に切削加工を行う機器などで使われるGコードという制御コードで動作しています。3Dプリンターのメーカーが付帯している制御ソフトウェア以外に、オープンソースで公開されている多数の制御ソフトウェアがあります。3DデータをスライスしてGコードに変換するプロセスは、制御ソフトウェアごとに異なり、他の制御ソフトウェアを利用した方が、きれいな造形結果を得られる場合もあります。ただし、同じ種類の樹脂であっても色によって適切な融解温度が異なるので注意が必要です。

## サポート部分の除去

付加されるサポート部に使われる材料の種類や量、硬さにより加工のしやすさが異なります。サポート部には立体モデルの造形材料と同一の材料を使う場合は、不要な部分(サポート部)を手で取り外したり、カッターなどで削ぎ落とします。但し切り離すだけではサポート部が突起として表面に残ってしまいます。残りのサポート部を除去するには、紙やすりや研磨機器を使って磨きます。手が届きにくい箇所などにサポート部があると、処理するのにかなり苦労することになるので、形状を作成する段階で注意をする必要があります。

## 仕上げ

サポート部の除去後は、必要に応じてサンドペーパーなどで表面を磨き上げて完成です。

## 液槽光重合（光造形）

### 造形手順

タンクに貯めた液体の光硬化性樹脂に対して、レーザーを使って光を照射して立体部分となる部分を硬化させる造形方法。最初の層の造形が完了したら、テーブルを下げて、硬化した最上面と液面の距離が1層分となるように液状樹脂を供給します。このあとに2層目の断面形状をレーザーで硬化させます。これを繰り返します。

### 造形材料

紫外線などの特定の波長だけに反応を示す液状の光硬化性樹脂(フォトポリマー)を使います。液槽光重合の造形材料はアクリル系樹脂とエポキシ系樹脂の2種類に分けられます。特徴は次の通り。

#### 【アクリル系】

反応収縮率が大きいいため硬化後の歪みは大きいです。しかしながら反応速度が早いという特徴があります。

#### 【エポキシ系】

機械的強度に優れています。また反応硬化率が高いため、後硬化処理を必要としません。

### ・液槽光重合法の3Dプリンターで使われるおもな造形材料

#### 【高精度モデル用樹脂】

形状確認、真空注型用マスターモデルなどに幅広く使われています。

#### 【靱性(機能性モデル用)樹脂】

勘合などに耐えることができます。立体モデルの応用範囲を拡大できる利点があります。基本的に靱性樹脂は液槽光重合法でよく利用します。

#### 【ABSライク樹脂】

エポキシ系の紫外線硬化樹脂で、強度的にはABSに劣るため力が加わるものには適しません。色は淡黄色半透明が一般的ですが、外観形状の確認のために使うときは、白色、灰色の樹脂が使われます。

### 【高透明樹脂】

透明度の高いモデルを造形できます。内部構造の可視化や、自動車のランプ部分のデザイン確認のために使われます。近年ではLEDの熱除去のための構造に制約が少なくなったため、デザインの自由度が高いです。そのため高透明性樹脂を使った試作品モデルの利用が拡大しています。

### 【フィラー入り強化樹脂】

フィラーは、強度や機能性向上、コスト削減を目的として、樹脂などに混ぜる「無機物や有機物の充填材」です。フィラーを入れて強化した造形材料は、高耐熱性と、高い曲げ弾性率(曲げても元に戻る)を有することから、風洞実験モデルやレーシングカー開発などで利用されています。

### 【鋳造用樹脂】

精密鋳造(寸法精度や表面粗度の優れた鋳物を作る方法)で、鋳物を作るためのモデル(消失モデル)を造形するための樹脂です。微細な宝飾品や歯冠、入れ歯を作るための鋳造モデルとして使われることが多いです。鋳造品は、鋳造後の金属の表面の精度が求められますが、これは消失モデルの消却時に発生する燃えカスに左右されます。最近では、この燃えカスが少なく、熱膨張による変形抑制などの樹脂開発が進行し、小さく精度に優れた鋳物ができるようになっています。

### 【ゴムライク樹脂】

ゴムの性能、機能に類似したモデル用樹脂です。型代が高額になる問題を解決し、より複雑な構造のゴム製品を試作できるようになっています。主に医療分野で活用されています。

## 前工程と後工程

液槽光重合法では、強力な光を使って液体材料を硬化させていきますが、必ずしもその硬化は完全ではありません。このため、洗浄した後にUVランプなどの紫外線によって、二次硬化させる必要があります。これを忘れてしまうと、表面硬度や機械物性が十分に得られずに、吸湿や変形が起こってしまいます。このような状況に陥ると、製品の精度が不正確になってしまいます。

### ・サポート部の付加

サポート部は立体モデルと同じ造形材料で造形されます。その際にプリント中の製品の重さによって重力の影響を受けたり、サポート材を多くつけすぎて、除去が困難になるなどの問題が発生しないように、サポート材の形状や本数を変化させる必要があります。また、後のサポート部の除去のことも考えて、製品がサポート部の取り外し中に破損しないように設定します。

### ・造形の向き

つるすタイプの場合はサポート部が上部に付加されるため、サポート部を付加したくない面を下向きに配置する必要があります。配置方向によっては、寸法誤差が生じてしまうため、配置の際には注意が必要となっています。

### ・材料の取り扱い

他の情景方法と比較すると、材料の交換は比較的簡単です。ただし、光硬化性樹脂は感恐慌の影響を受けやすく、化学反応を起こしたり、硬化してしまうので、基本的には冷暗所に保管します。このため保管コストが大きくなるというデメリットがあります。

### ・サポート部の除去と仕上げ

単一の材料しか使用できないため、造形材料とサポート材は同じ材料です。サポート部を付加している場合は、複数の長い円錐状のものが立体モデルにくっついている。これを除去することが後々必要です。洗浄工程は必須で、立体モデルに未硬化の材料が付着しているため、これらを取り除きます。もし微細な穴に、未硬化の材料が残ったままだと二次硬化の時にその穴を塞いでしまうことになるため、しっかりと取り除きましょう。サポート部の除去は手作業になるため、極力この部分は細くしておくこと、製品本体とサポート部が分離しやすくなります。次に紙やすりやサンドペーパーなどで、接合部分の残りを削ります。

## 材料噴射

### ・造形プロセス

一般的な二次元のインクジェットプリンターと同様の仕組みで、インクジェットヘッドから立体モデルを造形材料等を射出して造形する方法です。主に造形材料は光硬化性樹脂や、ワックスを使います。造形タイプは2種類あって、造形ベッドを動かすタイプと、造形テーブルを動かすタイプがあります。材料を吐き出し、そこへ紫外線を照射して硬化させます。このプリンターにはワックスを溶かすためのヒーターが内蔵されています。1層分を造形したら、立体モデルを固定するテーブルを下げて、次の層の造形に移ります。機種によっては最上部を削る工程が入る場合があります。サポート部は必須で、複数の造形材料を使うことが出来ます。複数材料を使うことにより、色を混ぜたりすることもでき、フルカラーの造形物を自在に作り出すことが出来ます。積層ピッチが細かく設定できます。立体モデルの構造にもよりますが、髪の毛ほどの細さも再現可能です。色付きの樹脂があるため、量産品の試作、生体細胞の積層が行われています。

### ・造形材料

造形方法は2つあって、光硬化性樹脂を造形ヘッド（インクジェット）から噴射して、それを紫外線で固めて積層する方法と、ワックスを熱溶解して球形粒子にして噴射して積層する方法です。

### ・光硬化性樹脂

アクリレート系光硬化性樹脂からなっていて、紫外線を照射すると1秒足らずでラジカル重合反応が進行します。（反応率は80%ほど）反応は急速で、ひずみやそりが発生しやすく、収縮もしやすいです。また、造形物の耐水性が低いものが多く、高湿度環境下での取り扱いには注意が必要です。対応材料は以下の通りです。

#### 【ABSライク樹脂】

ABSの機能に近似した樹脂

#### 【PPライク樹脂】

高い柔軟性と強度を持ちます。PPの機能に類似した性能を持っています。

### ・ワックス

精密鑄造（ロストワックス法）の消失モデル用の造形材料です。宝飾や歯科業界の用とに適しています。



## 前工程と後工程

構造上では失敗することが少なく、比較的安定した立体モデルの造形が可能です。積層ピッチが細かいため大型の造形には数日かかることがあります。

### ・ サポート部の付加

3Dプリンターメーカーのソフトウェアを使うことが多い造形方式であり、立体モデルの配置は自動で決められます。サポート部は基本的に、空洞部分やアンダーカット部分のすべてに付加されます。そのため、他の3Dプリンターと比べると、材料費が高くなる傾向にあります。自動計算によりモデルを配置した後に、手動で位置や向きを変更を行うことで、これを軽減することはできます。

### ・ 造形の向き

サポート部分の付加部分と、付加しない部分とでの質感の違いや、配置する向きによって、造形にかかる時間や材料の消費量が大幅に変わります。特に仕上がりに対してこだわりのない場合は、高さ方向を減らすために立体モデルを寝かせる配置にして造形します。配置する向きによる寸法の変化はほぼなく、精度面での心配はありません。

### ・ サポート部の除去

材料噴射法では、サポート材は異なる材料で形成します。除去方法は3つあります。

#### 【温めて溶かす】

サポート材がワックスの場合、造形材料とサポート材の熱溶解温度差を利用します。造形物を温めることによって、サポート材のみを溶かすことが出来ます。微細な造形でも、外部からの力が加わらないことから、造形物が崩れることが少ないです。ただし、サポート材の流れ出る道がない形状の場合は、内部にサポート材が残ってしまいます。

#### 【水に溶かす】

水につけてサポート材を溶かして除去する方法です。時間短縮のため、水につけるまえに、へらなどで塊となっている部分をおおまかに除去していきます。水溶性のシェルが造形されてしまっている場合、このシェルは水で溶けないため先に取り外します。次に水に漬けます。つけたあとに時間を短縮した場合は、洗浄機を利用して水をかくはんさせます。除去後は乾燥させます。

### 【ウォータージェットで分離する】

造形物に高圧の水を噴射してサポート部を除去する方法です。柔らかいゲル状のサポート材を使っている場合にこの方法を用います。温めて溶かしたり、水につける方法よりも早く除去できるのが特徴です。ただし、微細な部分や厚みが薄い部分は破損しやすい傾向にあるため注意が必要です。

### ・出力ビューローの活用

材料噴射法の3Dプリンターを採用している出力ビューローでは、時間やコストが有線のため、意図しない部分にサポート材が付加される場合があります。また3Dデータの座標を無視して配置されるため、配置方向を別途で伝えておくか、あらかじめ複数の立体モデルを配置して1ファイルにまとめておくとうよいです。また、プラモデルのようなランナーでパーツをつなげた状態にしておくこともひとつの手です。これらの方法を選択するときは、必ず3Dプリンターのプラットフォームの寸法を超過しないように注意しましょう。

## 結合剤噴射

### ・造形プロセス

3D人体モデルなどを作るために使われることが多い造形方式です。仕組みは材料噴射法と似ていますが、造形材料ではなく、造形材料を固めるための結合剤（バインダ）を吐出します。造形材料は粉末状になっています。これを造形エリア全体に敷き詰めます。そしてそれにたいしてバインダを吹き付けて硬化させます。1層分の造形が完了したら、硬化した粉末を1層分だけ下げて、その上に次の層の粉末を供給して同じプロセスを繰り返します。他の造形方法よりも硬化反応が非常に早く、造形プロセスが簡易的でモデル造形にかかる時間が短いです。粉末状であればどのような材料でも使用できます。大型の造形や、大量生産に向いています。

### ・サポート材は不要

立体モデルを未硬化の粉末が支える状態で造形されていくため、サポート部は不要です。ただし、未硬化の粉末材料は強度がないため、立体モデルの質量が大きくなった場合、十分にサポート材の役目を果たせるかどうかを考える必要があります。

### ・カラーにもできる

バインダそのものを着色したり、バインダとは別途で複数色のインクを射出することによって混ぜ合わせて色を作れます。よってフルカラーの造形物を再現することが可能です。

## 造形材料

石こうや砂、セラミックス、金属などに対応しており、中でも食品を作ることのできる3Dプリンターです。

### ・石こう粉末

粉末（粒径は約80 $\mu$ m）にした石こうに、硬化を促進するための結合剤を混ぜて、インクジェットから結合剤が噴射して乾燥することで硬化します。ワックスやシアノアクリレート系接着剤をすきまにしみこませる（含浸）ことでモデルの強度を高めることが出来ませんが、強度がありません。そのため、薄型のものや、湿度により変形するためその影響を受けやすい環境で使うものには適していません。

### ・樹脂粉末

ポリアミド（ナイロン）がベースの熱可塑性樹脂の粉末です。柔軟で耐久性の優れたモデルを形成することに適していますが、表面が粗く高精細モデルには適していません。

### ・金属粉末

主にステンレス鋼の粉末が使われています。脱脂や、焼結を行うことで密度を限りなく100%に近づけることが可能です。

### ・セラミック粉末

セラミック粉末に結合剤をインクジェットヘッドから噴霧してモデルを造形します。造形直後は粒子が簡易的に結合してるだけのため、非常にもろいです。そこで焼結して固化させることでセラミック素材の特性にします。ただし、焼結により粒子間の隙間がなくなるため、収縮変形しやすいという欠点があります。そのためこのような変化を考慮してモデルを作成する必要があります。セラミックは融点が高く、もろいため、切削で作ることが難しかったが、3Dプリンターによる造形が実現したため期待されています。

### ・砂

ジルコン砂やシリカ砂は融点が高いです。そのため硬くて風化しにくいです。主に鋳型として用いられることが多く、複雑形状や複数の中子の一体化ができます。

## 前工程と後工程

造形完了時点では、立体モデルは粉末に埋もれています。そのため周りの粉末の除去が必要です。造形直後は非常にもろく、含浸することで完成します。周りの粉末は再利用できるため、ランニングコストも他のプリンターに比べて安価です。立体モデルの表面はザラザラしています。

### ・造形の向きと位置

複数個の小さな立体モデルを一度に造形する場合や、体積が大きい立体モデルを出力する場合、立体モデルの重力の影響を受けて、Z軸報告(高さ方向)に対して誤差が生じます。これを回避するために、立体モデルと絶対に接触しない位置に、立体モデルの移動を防ぐ柱状の構造物を配置する必要があります。配置の向きによっては若干の色むらが出やすいため、こまめにキャリブレーション（インクジェットの位置や吐出量を状況に応じて、基準値に戻す機能）を活用する必要があります。

## ・ サポートの除去

未硬化部分の粉末材を除去します。造形完了時点では、硬化した立体モデルは粉末の中に埋もれている状態となっているため、造形テーブルを上昇させれば、埋もれた立体モデルが出てきて、周囲の未硬化粉末は自然にふるい落とされます。しかしながら、くぼんだ部分などは自然には落ちない場合があります。

### 【石こう】

造形材料として石こうが使えるプリンターには、あらかじめバキュームノズルがついています。これを使って、立体モデルの周囲の粉末を吸い取り、立体モデルを露出させます。微細部分に付着している石こうは、エアールノズルで飛ばして除去します。

### 【金属】

未硬化の粉末を取り除きます。→後で修正

### 【砂】

バキュームノズルで立体モデル周辺の砂を除去します。エアールノズルや、はけを使って造形物の表面の砂を除去します。

## ・ 仕上げ

造形直後の立体モデルは非常にもろいため、含浸処理が必要になります。含浸後は非常に硬くなりますが、粉末材料特融の表面の粒状感も固定され、全体的にざらついた仕上がりとなります。接着剤による硬化のため表面は非常に硬く、切断や磨きなどの後処理にあてはまり適していません。

## ・ 出力ビューローの活用

造形後に装置から取り外す際に、破損する場合があります。出力ビューローではミリ単位の細かい部分や薄い部分を含む形状の造形を拒否する場合があります。もともと細かな造形には不向きということもありますが、当該部分を別のパーツとして他の造形方法の3Dプリンターで出力し、完成後に組み合わせるという手法もあります。

## 粉末床溶融接合

### ・造形プロセス

敷き詰めた粉末の表面に、レーザービームや電子ビームを選択的に照射して、断面形状部分だけを溶かして固める方法です。1層分を硬化させてから、造形テーブルを下げて、次の粉末材料を供給します。硬化には熱を加えます。

### ・金属ではレーザービームと電子ビーム

金属材料を造形できる3Dプリンターはこの方式を採用する装置がほとんどです。レーザービームは造形中に金属粉末が参加するのを防ぐために、アルゴンなどの不活性ガスを造形エリアに充填することが多いです。電子ビームは不活性ガスは不要で、高真空中です。レーザービームよりも高出力で、高速走査が可能です。

### ・造形材料

PA粉末、ゴムフィラー入り樹脂粉末、金属粉末、セラミック、砂が使えます。

### ・樹脂粉末

粉末造形材料を加熱して、レーザー等の熱源によって焼結します。そのため、装置が高温耐性部品の使用などで負担がかかってしまいます。溶融粒子間の強度が十分に保てていないとできないことがあり、同じ樹脂から作った機械加工部品や射出成形部品に比べて弱い傾向があります。

### 【PA】

PA12は強度、靱性、耐摩耗性に優れており、柔軟性があります。PA6は、PA12に比べて耐熱温度が高く、自動車部品などに用いられることが多いです。PA11は、PA12に比べて柔軟性が高く、ヒンジ形状などのより大きな変形が必要な部品に適しています。

### 【フィラー入り強化樹脂粉末】

PAにガラスビーズやウイスキーでフィラー強化した造形材料です。高強度、高耐熱を有しています。

### 【PP】

柔軟で強度が高く、折り曲げに対する耐性が強いです。酸やアルカリ、油などの薬品に対して優れた安定性を持ちます。また、自動車産業で幅広く利用されています。

## 【PS】

溶融粘土が低く、溶融したときの熱安定性も良いです。軟化温度は低く、連続耐熱温度は60～80℃です。

### ・金属粉末

対応している材質として、マルエージング鋼、ステンレス鋼、ニッケル合金（インコネル）、チタン、チタン合金、アルミニウム、アルミニウム合金、コバルトクロムモリブデン鋼、金合金、白金（プラチナ）基金属ガラスがあります。

#### 【マルエージング鋼】

18%のニッケルに、アルミニウム、チタン、モリブデン、コバルトなどを添加した鋼です。炭素含有量を極力少なくしていることが特徴です。非常に強い引っ張り強さを持っています。また、時効硬化によって硬度も増すため、機械部材や工具に用いられています。また、ロケットや航空分野でも使われることがあります。

#### 【ステンレス鋼】

鉄に10.5%のクロムを添加して、さびにくくしたものです。耐熱性、加工性、強度などに優れた特性を生かして、金型などの試作品、熱伝導率部分などで利用されています。

#### 【ニッケル合金】

硬い材料として認知されているニッケル合金ではありますが、粉末床溶融結合法で形成されたものの強度はHRCが平均30と、目標値の40～46より低いため、熱処理が必要になります。主に加工材料や鋳物材料として使われる耐熱、耐食合金です。

#### 【チタン】

非鉄金属の中で比較的新しい素材です。主に純チタン、チタン64、チタンアルミ合金が主流で、耐食性、耐熱性に優れています。耐食性の中でも、耐海水性に強いいため、海水に触れる部分の部品を作製するのに向いています。従来では難削材と言われており、加工が極めて困難でした。そのため3Dプリンターでこの材料を使う方が、速く安価に製造できます。また、アレルギー反応の少ないものがチタンということで、医療分野でも応用されています。

## 【アルミニウム】

アルミニウムは鉄の3分の1の重量と軽量で、電気を通し、熱伝導率が鉄の3倍もあります。鍛造性、加工性、耐食性、装飾性、無毒性、非磁性という特徴を持ち、金属レスでの試作品開発、熱伝導率部品で使われています。主に自動車産業や、航空産業での応用が多いです。

## 【コバルトクロムモリブデン合金】

耐久性、摩耗や変形に強い、さびにくいという特徴があります。歯科医療分野での歯冠やブリッジのニーズが見込まれています。

## 【金合金】

金が約75%、銀が約12%または4.5%と亜鉛合金を混入したものです。従来の製造方法では不可能だった、複雑で緻密な宝飾品や特殊部品の応用に適応されています。

## 【白金基金属ガラス】

高強度、高硬度、低弾性率、超高耐食性、高透磁率、高成型加工性、表面平滑性、耐摩耗性、耐傷性、精密鑄造性などの特性を持ちます。耐食性が重要な医療業界や、耐熱性が要求される自動車産業などでの応用が期待されています。

## ・セラミック粉末

金属より軽く、高い耐食性、耐摩耗性、低密度、高硬度、優れた生態的合成、高耐熱性、低熱膨張といった特徴を持ちます。樹脂よりは重くて、傷がつきにくいですが、セラミック粉末で造形されたモデルは、バインダを含むことから、脱脂や焼結などの後処理は必須です。



## ・砂

粉末床溶融結合法で使用される砂は、人工のセラミックス砂や、けい砂（シリカ砂）が使われます。主に鋳物として活用されます。セラミック砂は成分が均一で、粒度分布や通気度が安定しています。また、耐熱性、耐久性に優れています。

### 【けい砂（シリカ砂）/ジルコン砂】

けい砂は石英を主成分とした一定のサイズの耐火物です。焼結補助材料としてアルミナ系粒子を混合し、さらに熱源による焼結を促進させるため、有機バインダを添加させます。石英の比率が多い場合は、膨張時の欠陥が生じやすく、焼き付き欠陥が生じにくいです。ジルコン砂は、熱伝導性や接触角が高いため、鋳型-溶湯界面で発生する欠陥（焼き付き欠陥、ガス欠陥）の防止に効果があります。

## 前工程と後工程

樹脂材料では表面のざらつきはあるものの、金属材料ではざらつきはありません。しかしながら、鋳物のように微細な凹凸は残ってしまいます。既存工法に比べると造形時間は長く、切削によってできた部品よりは密度が若干低いいため、疲労強度は弱いです。そのため、高温高圧で処理するなど後処理の工夫は必要です。

## ・サポート部の付加

樹脂材料で造形する場合は、使用されていない粉末材料が立体モデルを支えるため、基本的にはサポート部は不要です。ただし、樹脂よりも比重が大きいもので造形する場合は、Z軸方向（高さ方向）に変形します。これを防止するために、サポート部を付加する必要がありますが、サポート部そのものは強固なため、取り外しのため工程は多くなる。サポート部を多く付加することによって、変形を完全に防ぐことは可能ですが、材料費が高騰してしまうため推奨されません。また、取り外しの時に製品本体に傷が出来てしまう恐れがあります。自動的にサポート部を付加するソフトウェアもありますが、基本的には自力で試行錯誤の上で付加したほうがより良い結果につながります。

## ・造形の向きと位置

樹脂材料の場合は、基本的にどの向きに設定しても誤差は出ません。金属材料は、構造によっては方向が限定されます。

## ・ サポート部の除去と仕上げ

### 【樹脂】

基本的にサポート部は不要ですので、未硬化の粉末の中から立体モデルを取り出して、エアースプレーやはけなどで周囲に付着した粉末を除去します。多孔質であることから、塗装してもいくらでも塗料を吸い込んでしまうので、定着させるために、含浸処理を行います。その後用途によっては、表面を磨いたり、機械加工を行います。

### 【金属】

強固なサポート部を金属加工用の工具を使って切り離したり、そのあとで磨いたりします。

## ・ 出力ビューローの活用

樹脂材料の場合は、他の造形方法ほど注意することはないです。金属材料の場合は、出力ビューローとの綿密な相談を必要とする場合が多いです。

## シート積層

### ・ 造形プロセス

薄いシート状の材料を、断面形状の輪郭線で切断して、シート状の断面形状を接合し、積層していくことで立体モデルを造形します。シート材の暑さが積層ピッチになります。造形完了後に、余分な材料を除去しやすくするために、立体モデルとなる部分以外にも切り込みを入れておく必要があります。

### ・ フルカラーにも対応

断面形状において、立体モデルの表面に相当する部分に、インクジェットプリンターで着色します。主に材料の輪郭に着色していきます。

## ・造形材料

紙を使うことが一般的ですが、シート状にした樹脂や金属を使うことも可能です。

### 【紙】

一般的な普通紙と専用のロール形態の2種類があります。普通紙を使うことのメリットは、コストが安くなるということです。紙を積層して造形したモデルは強度があり、仕上げや着色も容易です。ただし、湿度の影響で膨張し、積層間の剥離が起きやすいです。また中空形状は不要部分の除去が困難です。精細・微小形状は積層間の接着強度不足で壊れやすいという欠点があります。

### 【アルミテープ】

超音波で溶着、積層して、さらに切削工法で輪郭を加工することで、簡易的なアルミ金型を作ることが出来ます。アルミテープを超音波溶着することで、ひずみも少なく、密度が99%のアルミニウム合金製の立体モデルが造形できます。ただし、アルミテープの厚さが不均一であるため、積層方向の精度が得られない可能性があります。

## 前工程と後工程

基本的には周囲の材料がサポート部の役割を果たすため、サポート部は不要です。ただし、粉末材料のようなサポート部の流動性がないため、除去には工夫が必要です。

### 【紙】

不要部分を手やピンセット、千枚通しなどをつかって取り出します。立体モデルの断面積が微小な部分は、上下の層と層の接着力が小さいため、剥がれないように注意が必要です。研磨は紙やすりにより行い、木質に似た質感を出せます。湿気による変化が起きやすいですが、立体モデルの表面にシアノアクリレート系接着剤を塗ることによって、吸湿による変形を防ぐことが出来ます。

### 【金属】

テープ状の金属箔を必要な部分にだけ超音波振動によって溶接し、立体モデルの輪郭線を機械加工したのち、不要部分を除去しています。よってモデル完成後にサポート部を除去するといった工程はありません。

# 指向性エネルギー堆積

## 造形プロセス

肉盛溶接（様々な素材の表面に新たに金属材料を溶接する技術）を応用した方式です。熱源はレーザーや電子ビームになっています。材料レーザーで溶かして、加工物に対して吹き付ける、造形ヘッドの位置や向きを制御することによって造形します。通常は粉末ですが、ワイヤ状の金属材料を供給する方式も採用しています。複数のレーザーを照射するタイプもあります。

### 【サポート部が必要な形状には向かない】

サポート部が必要になるオーバーハング部がある形状を造形するのには向いていません。しかしながら、立体モデルに対する造形ヘッドの角度を変更できるため、垂直な壁面から、真横に伸びたパイプのような形状も造形できます。

## 造形材料

粉末床溶融結合法で使える材料に加え、炭化タングステン、コバルト合金粉末が造形に使えます。メーカーによって粒度、粒径が異なるので確認は必要です。

### 【炭化タングステン粉末】

非常に硬く重たい金属です。耐熱性が高く、モース硬度は9とダイヤモンドの10の次に並んでいます。切削工具などの加工や修復に使えます。

### 【コバルト合金粉末】

コバルトを主成分としていて、クロム約30%、タングステン約4～15%などから生成される合金粉末です。耐摩耗性、耐酸化性に優れていて、特性がほとんど変化しないという万能型耐摩耗合金です。添加材によって耐熱性を下げることによって、飛行機や船舶のエンジンの部品に活用できます。

## 前工程と後工程

レーザーの出力やノズルの位置を緻密に制御することで、肉盛の幅や厚さを安定させることが出来ます。ただし、数ミリのばらつきが生じるため、寸法精度や表面のできを重視する場合は機械加工の仕上げは不可能になります。3Dプリンターの造形の過程で切削も行うため、装置内で仕上げまで完結します。造形完了後は、造形中に飛び散った金属の粉末を除去する必要があります。