



設計ガイド

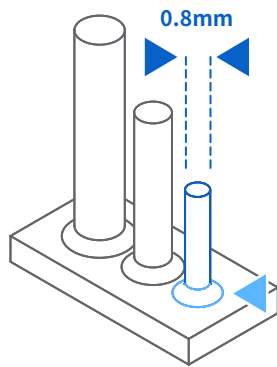
# Fuseシリーズ SLS 設計ガイド

SLS (粉末焼結積層造形) 方式によるプリントを成功させるには、モデルをSLS 3Dプリント用に最適化することが大切です。このガイドでは、Fuseシリーズプリンタで造形する際に設計上考慮すべき点や重要な寸法について解説します。

**注:**下記のガイドラインは、FuseシリーズプリンタでFormlabsの材料を使って3Dプリントするための一般的な参考資料となります。これらの推奨事項はほとんどの状況に適用されますが、すべての状況や材料をカバーしているわけではありません。追加情報や考慮事項については、材料別のガイドラインをご参照ください。

## 参考寸法

この基準寸法はNylon 12パウダー用に策定されたもので、Fuseシリーズプリンタで3Dプリントする際の基本的なガイドラインとなります。材料特有の設計上の注意点と、Nylon 12パウダーの一般的な3Dプリント結果との差異については、「材料別の特性」セクションをご覧ください。

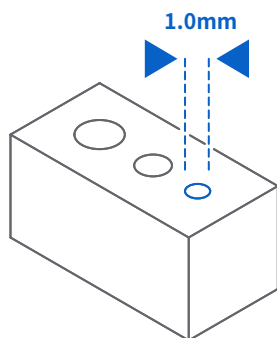


### 最小ピン径

#### 0.8mm

最小ピン径とは、正常にプリントできる最小の直径のことです。

**注:**パウダー回収ステーションFuse Sift内で細いピンの掃除をする際は、ピンが折れないよう十分にご注意ください。大量の造形品に触れるエッジ部分を面取りしておくこと、ピンが折れるリスクを軽減することができます。

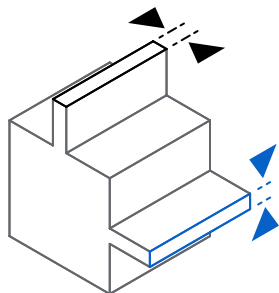


### 穴の最小直径

#### 1.0mm

穴の直径が1.0mm未満の場合、プリント中に穴が閉じてしまうことがあります。

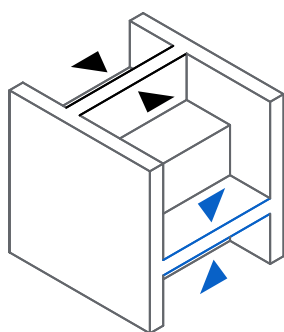
**注:**同心円状の穴を正確に開けるには、設計段階で小さなパイロット穴を設けておき造形後にリーマーを使って目的の直径まで穴を広げてください。



### サポート無しの壁の最小厚み

- 垂直壁: 0.6mm
- 水平壁: 0.3mm

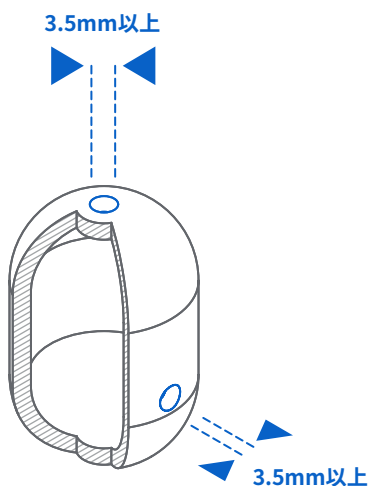
サポート無しの壁の最小厚みとは、2辺以下で支えられている壁に最低限必要になる厚みのことです。壁が薄過ぎると、たわみが発生したり、造形品から外れてしまう恐れがあります。



### サポート付きの壁の最小厚み

- 垂直壁: 0.6mm
- 水平壁: 0.3mm

サポート付きの壁の最小厚みとは、2辺以上で支えられている壁に必要な最小の厚みのことです。壁が薄過ぎると、たわみが発生したり、造形品から外れてしまう恐れがあります。



### 抜け穴

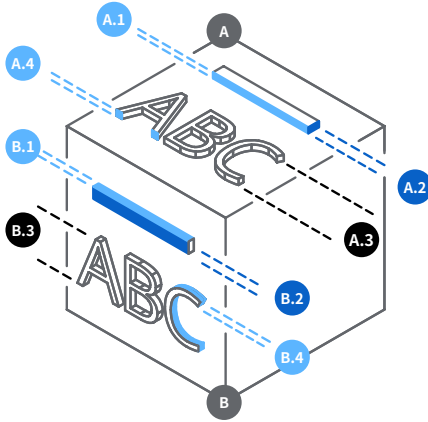
キャビティが密閉されている場合、空気が抜ける穴を設けないと未焼結パウダーが中に充満したまま残ってしまいます。最高の仕上がりにするためには、キャビティ内に最低**2つの抜け穴**を設け、それぞれの直径を**3.5mm**以上にするをおすすめします。

**注:** 抜け穴のサイズや数を増やすと、内部のキャビティから未焼結パウダーを取り除きやすくなります。内側の表面を確実に綺麗に仕上げるには、設計時に造形品の形を工夫するとクリーニングツールでの処理がしやすくなります。

## 最小エンボス表現寸法

### A. 水平面:

- A.1 奥行:0.15mm
- A.2 幅:0.35mm
- A.3 文字フォントの高さ:4.5mm
- A.4 文字フォントの奥行:0.3mm



### B. 垂直面:

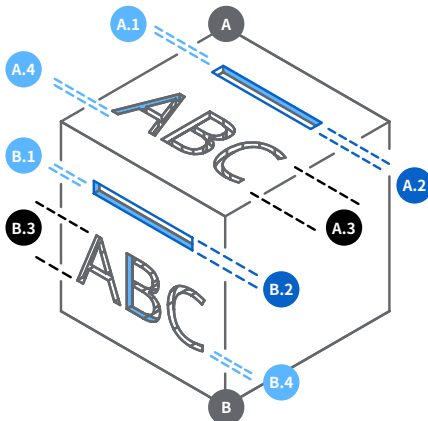
- B.1 奥行:0.35mm
- B.2 幅:0.4mm
- B.3 文字フォントの高さ:4.5mm
- B.4 文字フォントの奥行:0.3mm

エンボス形状は、文字がモデルの表面から盛り上がった形になります。小さめのエンボス形状の場合、造形品の表面にはっきりと見える形で現れない場合があります。最適なエンボス形状に仕上げるためには、可能な限り太字のフォントを使用してください。

## 最小デボス形状

### A. 水平面:

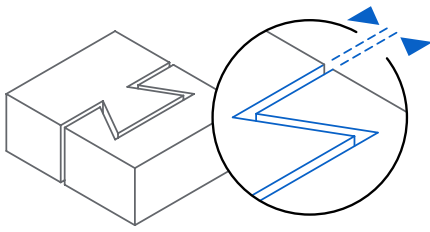
- A.1 奥行:0.1mm
- A.2 幅:0.3mm
- A.3 文字フォントの高さ:3mm
- A.4 文字フォントの奥行:0.3mm



### B. 垂直面:

- B.1 奥行:0.15mm
- B.2 幅:0.35mm
- B.3 文字フォントの高さ:3mm
- B.4 文字フォントの奥行:0.3mm

デボス形状は、文字がモデルの表面に彫り込まれた状態になります。小さめのデボス形状の場合、造形品の表面にはっきりと見える形で現れない場合があります。最適なデボス形状に仕上げるためには、可能な限り太字のフォントを使用してください。

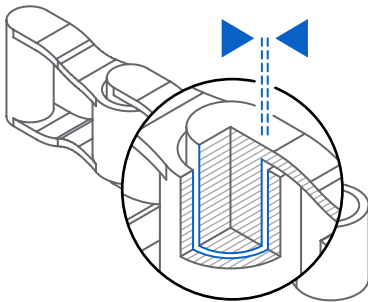


### アセンブリの最小公差

**20mm未満の形状<sup>2</sup>:0.2mm**

**20mm以上の形状<sup>2</sup>:0.4 mm**

組み立て用の継手や歯車など、プリント後にメッシュまたはインターフェースとして使用する造形品同士の間には僅かなスペースを設けてください。



### 一体型アセンブリの間隔

**20mm未満の形状<sup>2</sup>:0.3mm**

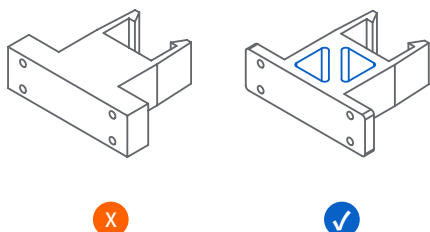
**20mm以上の形状<sup>2</sup>:0.6mm**

最終的にアセンブリとして組み立てる造形品を3Dプリントする時は、プリント中に造形品同士が融合しないように間隔を空けてください。



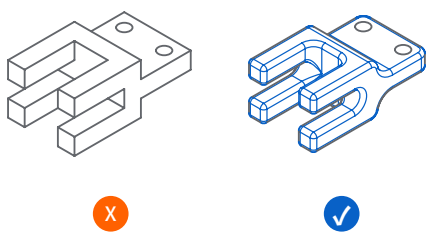
## プリントを成功させるための設計

SLS方式3Dプリントは、造形中に未焼結のパウダーが造形品を支えるため、専用のサポート材が不要です。どの製造方法でも同じですが、3Dプリントの成功と最適な結果を実現するために、設計時にモデルを最適化する方法があります。ここで紹介する推奨事項は、必要な材料とプリント時間を削減しながら、プリントの成功率を高めるのに役立ちます。



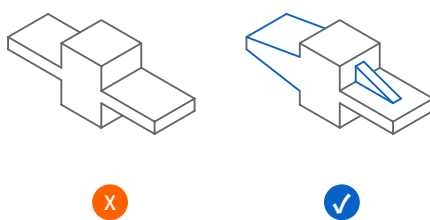
### 壁の厚みを均一にする

造形品の壁の厚みをなるべく均一に保つことで冷却中のたわみを軽減することができます。厚みのある造形品をプリントする場合、シェル化することで厚みを均一に保つことができ、材料の節約に繋がります。



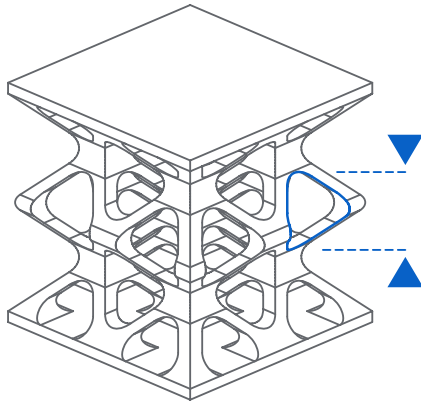
### 応力集中を減らす

厚みのあるベースから薄く突出した部分がある形状などの場合、断面の形状が急激に変化する箇所に応力が集中しやすくなります。このような応力の集中を減らすには、エッジの形が徐々に変化するような形状に設計してください。



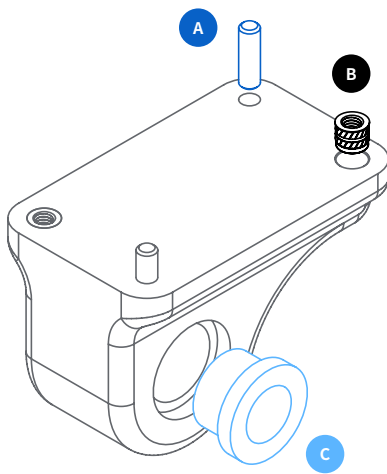
### アスペクト比を調整する

アスペクト比の高い造形品は、たわみが発生しやすくなります。リブやドラフトなどの形状を持たせると、カンチレバーやワイヤーなどの薄く突出した箇所がたわむリスクを軽減できます。



### 格子構造の設計

格子構造を設計する際は、造形後に余分なパウダーを格子状の部分から取り除く必要があります。Fuse Siftでパウダーを簡単に除去できるよう格子間隙は8mm以上にし、完璧に密閉されていない箇所をキープすることでパウダーが中に閉じ込められないようにします。



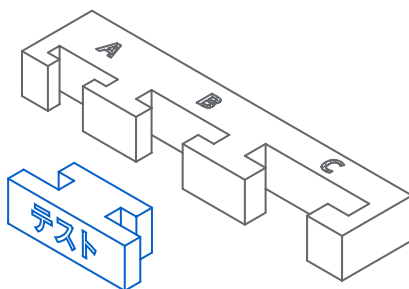
### ハードウェアを設計に組み込む

プリント後の造形品にハードウェアを組み込む必要がある場合は、その箇所を確認してください。例：

- A 位置決めを正確に行うためのダウエルピン
- B 耐久性に優れたねじで締結するためのヒートヘリサート
- C シャフトやレールを通す同心円状のブッシング

### 確信が持てない時は、まずテストプリントをお試しください。

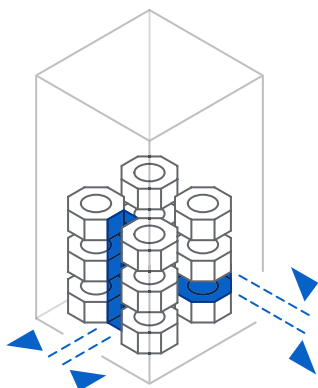
手元の設計でプリントが成功するかどうか確信が持てない場合は、気になる部分の形状の縮小版をテストプリントすることをお勧めします。形状を分離し、実際に製作予定の製品と同じ角度でテスト品をプリントすることで、設計の成否を予測することができます。



**注:** 大型の造形品をプリントする前に、寸法の異なる複数のテスト品をまとめてプリントし、それぞれのフィット感を確認する方法もあります。

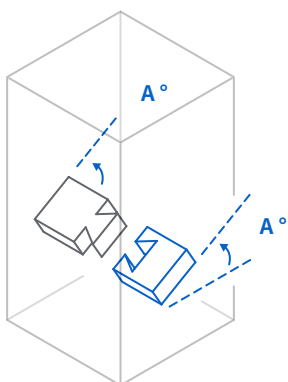
## 造形品の方向付けとチェンバー内のパッキング

Fuseシリーズのビルドチャンバー内の造形品の配置も、プリントの成功率に影響することがあります。造形品を配置する際に考慮すべき注意点は以下のとおりです。



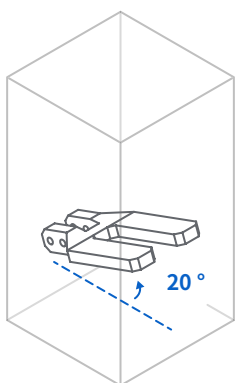
### 造形品同士の距離

ビルドチャンバー内に造形品を配置する際、高品質な結果を得るためには、造形品同士の間隔を最低**5mm**開けてください。チャンバー内に造形品を分散させると、熱がこもりにくくなります。



### インターフェースとしての部品

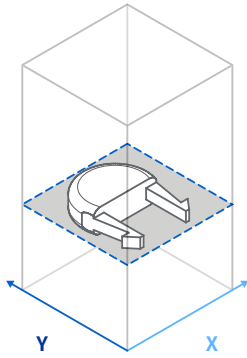
インターフェースとして設計する場合は、造形した部品同士が上手く噛み合うよう、3Dプリント時に嵌合部が同じ方向を向くように配慮する必要があります。



### 高アスペクト比の造形品

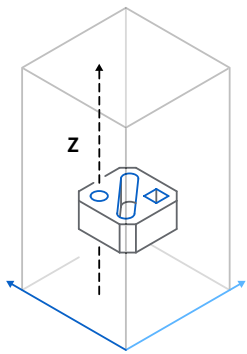
幅が広く、比較的フラットな高アスペクト比の造形品は、約**20°**の角度でプリントすると、たわみを最小限に抑えることができます。





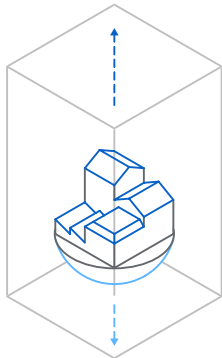
### 曲げ形状

プリント後の造形品はZ面よりもXY面の方が頑丈です。スナップフィットなど曲げ要素のある造形品は、可能な限りXY面側に曲がるように調整してください。



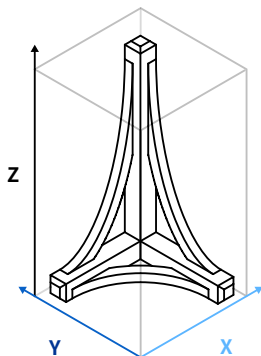
### 寸法精度

穴やピンなどの形状は、軸がZ方向を向いていると最も正確にプリントできます。可能であれば、チェンバー内で垂直になるように配置してください。



### 表面品質

丸みを帯びた面や輪郭など、表面を滑らかに仕上げたい場合は、その表面を下向きにしてプリントしてください。一方、シャープな仕上がりにしたい箇所は上向きにしてください。



### 最大造形サイズとパッキング密度

最大造形サイズとは、Fuse 1シリーズプリンタでプリント可能な最大造形容積のことです。最大造形サイズ内であればパッキング密度には物理的な制約がないため、最大造形サイズいっぱいまでプリントが可能です。造形のサイズを最大化し、無駄になるパウダーを最小限に抑えます。最大造形サイズは材料によって若干変動する場合があります。詳細は以下のセクションをご確認ください。

## 材料別の特性

Fuseシリーズのプリンタでより優れたプリント結果を得るためには、使用する材料の特性を考慮することが重要です。Fuseシリーズのプリンタで様々なパウダーを使ってアディティブマニファクチャリングを行うにあたり、ユーザーが設計を最適化するのに役立つガイドラインを以下にご紹介します。

### 最大造形サイズ

材料によって熱膨張率が異なるため、Fuseシリーズのプリンタで造形可能な最大造形品サイズは材料によって異なります。各材料の最大造形品サイズは下表を参照してください。

材料	最大サイズ
Nylon 12パウダー	159.8 x 159.8 x 295.5mm
Nylon 12 GFパウダー	160.1 x 160.1 x 297.3mm
Nylon 11パウダー	158.6 x 158.6 x 294.4mm
Nylon 11 CFパウダー	162.0 x 162.0 x 287.6mm
TPU 90Aパウダー	152.1 x 152.1 x 294.9mm
Polypropyleneパウダー	159.4 x 159.4 x 296.0mm

### Nylon 12パウダーを使う場合の設計上の考慮点

Nylon 12パウダーは、バランスのとれた材料特性、プリントや後処理のしやすさ、生体適合性などが特徴の優れた万能材料です。本ガイドラインはNylon 12パウダーを想定して策定されたため、本材料に関する追加の設計留意事項はありません。

### Nylon 12 GFパウダーを使う場合の設計上の考慮点

Nylon 12 GFパウダーは剛性と耐熱性に優れ、負荷がかかっても安定性を維持できる造形品を製作できます。生体適合性を備えているため、皮膚接触のある用途でもお使いいただけます。

この材料に特化した設計上の考慮点は以下のとおりです：

- **表面粗さ**：Nylon 12パウダーでプリントした造形品に比べて、表面品質が粗くなります。滑らかな仕上げが必要な設計には、機械加工ややすりがけその他工程など追加の表面処理が必要になります。
- **脆性**：ガラス強化材料のNylon 12 GFパウダーは剛性が向上しているものの、その分、造形品の脆さが増します。華奢なエンボス形状を施す場合、後処理工程や実製品用部品としての使用中に破損しないよう、やや厚みを持たせた方が良い場合があります。脆性は特に積層間で顕著になるので、強度が必要な形状にはできるだけXY平面に沿うように配置して造形するのが一般的です。
- **抜け穴**：Nylon 12 GFパウダーでプリントした造形品は、Nylon 12パウダーでプリントした造形品よりも、Surface Armorが固くなります。そのため抜け穴のサイズはやや大きめが適しており、ブラスタ処理を施した最終的な洗浄工程で表面を完全に洗浄できるよう、すべての表面（内側および外側）が見える設計が理想的です。

### Nylon 11パウダーを使用する場合の設計上の考慮点

Nylon 11パウダーでプリントした造形品は、Nylon 12パウダーでプリントした造形品よりも高い延性が備わっています。衝撃や振動への耐性が高く、生体適合性にも優れています。

Nylon 11パウダーに特化した設計上の考慮点は以下のとおりです：

- **たわみ：** Nylon 11パウダーは、XY平面で大きな断面をプリントした場合、たわみが発生しやすくなります。高アスペクト比のモデルを造形する場合は、ガイドランスに従ってたわみの影響を最小限に抑えてください。
- **間隔：** 一体型アセンブリの場合、コンポーネント間に大きめの間隔が必要になります。一体型アセンブリのコンポーネント間には少なくとも1mmの距離を設け、アセンブリの要件に最適な間隔を正確に実現するために何度か試作・検証プロセスを繰り返す必要があります。
- **華奢な形状：** Nylon 11パウダーで表現可能な最小サイズは、Nylon 12パウダーの場合よりもわずかに大きく、造形品上の形状の方向によっても変わります。これは、小さな窪みや突出部のある構造、薄肉構造、文字のエンボス・デボス加工など、繊細な形状の造形に影響を与える可能性があります。華奢な形状のプリントを成功させるためには、一体型またはアセンブリ型の造形品を実際にプリントする前に、目的の形状を縮小したテスト品をプリントして実現可否を確認すると良いでしょう。

### Nylon 11 CFパウダーを使用する場合の設計上の考慮点

Nylon 11 CFパウダーは、剛性、耐熱性、衝撃強さ、引張強さに優れた高機能材料です。また、Nylon 11パウダーよりもたわみが発生しにくいいため、大きな断面のある造形品のプリントに適しています。

- **表面粗さ：** Nylon 12GFパウダーと同様、Nylon 12パウダーでプリントした造形品に比べて表面品質が粗くなります。滑らかな仕上げが必要な設計には、機械加工ややすりがけその他工程など追加の表面処理が必要になります。
- **X、Y、Z軸の異方性：** 炭素繊維材料の場合、X軸またはプリンタの前扉に平行で配列される傾向があるため、造形品の機械特性がX軸方向とY軸方向で異なります。他の3Dプリント品と同様、Z軸方向の機械的特性も異なり、一般的にXY方向の特性よりも低くなります。剛性と強度を最大化するために、X軸に沿うように配置します。

### TPU 90Aパウダーを使用する場合の設計上の注意点

TPU 90Aパウダーは、高い引裂強さと破断伸びを持つエラストマー材料です。ショア硬度90Aを備える本材料は、ゴムのようなしっかりとした特性を持っています。ソリッド形状を格子構造に変えることで、目標とする剛性を満たしながらより柔軟性のある造形品が実現します。TPU 90Aパウダーには生体適合性があるため、皮膚接触用途にも適しています。

- **分厚い断面：** 華奢な形状（小さなピン、穴、厚さ3～4cm以上の形状の上面に施すエンボス・デボス文字など）は細部まで正確に表現できない可能性があります。これは造形品に熱がこもるため、造形品の向きを変えたり、内部を空洞にすることで改善される場合があります。
- **華奢な形状：** TPU 90Aパウダーで表現可能な最小サイズは、Nylon 12パウダーの場合よりもわずかに大きく、造形品を配置する方向によっても変わります。これは、小さな窪みや突出部のある構造、薄肉構造、文字のエンボス・デボス加工など、繊細な形状の造形に影響を与える可能性があります。華奢な形状のプリントを成功させるためには、一体型またはアセンブリ型の造形品を実際にプリントする前に、目的の形状を縮小したテスト品をプリントして実現可否を確認すると良いでしょう。
- **たわみ：** TPU 90Aパウダーはたわみが発生しやすいという特性があります。たわみは通常、造形品の底面に多く発生します。高アスペクト比のモデルを造形する場合は、ガイドランスに従ってたわみの影響を最小限に抑えてください。

- **寸法精度:** 造形時の配置も、造形品の寸法精度に影響を与えます。寸法精度を最大限に高めるためには、造形品をビルドチャンバーの底に向かって高密度で配置してください。
- **間隔:** 一体型アセンブリの場合、コンポーネント間に大きめの間隔が必要になります。一体型アセンブリを意図した通りに確実に機能させるためには、間隔を1mm以上に設定してください。断面の厚いセクションに近づく場合は感覚を大きくし、断面の薄いセクションに近づく場合は間隔を小さめにします。
- **円形状の伸び率:** XY平面上に軸を持つ円形状は、円形というよりも、やや卵形や楕円形に伸長する傾向があります。この影響を軽減するためには、円形状の軸がZ方向を向くように配置してください。

### Polypropyleneパウダーを使用する場合の設計上の考慮点

Polypropyleneパウダーは3Dプリント用の純粋なPP材料で、耐久性と強度の高い造形品の製作に最適です。本材料を使った造形品は硬さがあながら、靱性にも優れています。

Polypropyleneパウダーに特化した設計上の考慮点は以下のとおりです:

- **華奢な形状:** Polypropyleneパウダーで表現可能な最小サイズは、Nylon 12パウダーの場合よりもわずかに大きく、造形品を配置する方向によっても変わります。これは、小さな窪みや突出部のある構造、薄肉構造、文字のエンボス・デボス加工など、繊細な形状の造形に影響を与える可能性があります。華奢な形状のプリントを成功させるためには、一体型またはアセンブリ型の造形品を実際にプリントする前に、目的の形状を縮小したテスト品をプリントして実現可否を確認すると良いでしょう。
- **パッキングの最小間隔:** PreFormで造形品の配置設定を行う際は、造形品同士の間隔を2mm以上の間隔が空くように設定してください。間隔を小さく(1mm以上)することも可能ですが、造形品の表面品質に影響を与えます。
- **たわみ:** Polypropyleneパウダーはたわみが発生しやすいという特性があります。たわみは通常、大きな断面を持つ造形品の底面に多く発生します。また、断面が縦方向に長い造形品でもたわみが発生する可能性があります。高アスペクト比のモデルを造形する場合は、ガイドランスに従ってたわみの影響を最小限に抑えてください。
- **表面粗さ:** Polypropyleneパウダーでプリントした造形品は、Nylon 12パウダーの造形品よりも表面品質が若干粗くなります。
- **水密性:** Polypropyleneパウダーでは、水密性のある造形品の製作も可能です。最適な結果を得るには、設計時に造形品の壁の厚みを1mm以上にしてください。壁の厚みを薄くする場合は、テストプリントを行って水密性を確認することもご検討ください。注: 水密性の度合いは、部品の形状によって異なる場合があります。