

HP Jet Fusion 5600



3Dプリンティングソリューション

機械的特性



導入

HPでは、パーツ設計者および製造業者の皆様が3Dプリンティングの持つ可能性を最大限に引き出し、将来のデジタル製造時代に備えられるよう、技術情報とリソースの提供に取り組んでいます。

本ホワイトペーパーでは、HP Jet Fusion 5600 3Dプリンティングソリューションによって得られるHP 3Dプリンティング材料の機械的特性についてご紹介します。

このホワイトペーパーでは以下の内容について説明します。

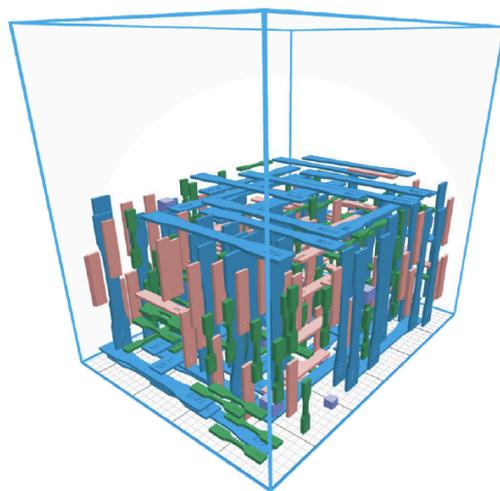
- Evonik社との連携により実現した「HP 3D High Reusability (HR) PA 12」、およびArkema社との連携により実現した「HP 3D HR PA 12 S」の主要な機械的特性
- これらの特性値が得られた試験条件の詳細な解説
- 熱可塑性樹脂材料の機械的特性に関する追加情報、および本書で使用されている主な用語の用語集

HP 3Dプリンティング材料の特性

材料特性評価のためのテストジョブ

HP Jet Fusion 5600 3Dプリンティングソリューションの基準となる機械的特性は、標準ジョブ「Half_Commercial_Datasheet_Job」を使用して評価されました。このジョブには、造形可能な範囲全体に配置された349個の診断用パーツが含まれています。ジョブの構成は図1.に示されています。

図1. 「Half_Commercial_Datasheet_Job」によるパーツ特性評価用テストジョブ



テストジョブの概要	Half_Commercial_Datasheet_Job (評価用標準ジョブ)
トータルパーツ数	349
充填密度	6%
表1. テストジョブの概要	

i.Evonik社との連携により実現したHP 3D High Reusability PA 12を使用するHP Jet Fusion 3Dプリンティングソリューションは、最大80%のパウダー再利用率を誇り、バッチごとに安定した機能性パーツを造形することが可能です。テストにおいては、実際のプリント条件下で材料をエイジングさせ、パウダーを世代ごとに追跡（最も厳しい再利用条件）します。その後、各世代ごとに造形されたパーツについて、機械的特性と精度を評価します。

ii.Arkema社との連携により実現したHP 3D High Reusability PA 12 Sを使用するHP Jet Fusion 3Dプリンティングソリューションでは、最大90%のパウダー再利用率を達成しており、こちらもバッチごとに高機能なパーツを一貫して造形可能です。評価方法はPA 12と同様で、実際のプリント条件下でエイジングした材料を使用し、世代ごとに追跡されたパウダーでパーツを造形し、その機械的特性と精度を測定します。

「Half_Commercial_Datasheet_Job」 パーツ特性評価用テストジョブには、X・Y・Z各方向の異なる測定指標を評価できる3種類の標準引張試験片が含まれていました。

ここで、X軸はプリントヘッドの移動方向、Y軸はリコート（材料敷きならし）の方向、Z軸はプリンタの垂直方向を示します。

	サンプル数		
	XY	YX	ZX
引張片試験 I	22	20	42
引張片試験 v	30	30	70
アイゾッド衝撃試験	30	30	60
密度測定用試験片	15 (2 sizes)		

表2. 「Half_Commercial_Datasheet_Job」 テストジョブに含まれる試験片の数

HP 3D HR PA12

(Evonik製、バランスプリントモード) の試験結果

HP 3D HR PA12 ^{i,ii,iii}	平均(XY)	平均(Z)	試験方法
引張強度(MPa) ^{iv}	54	54	ASTM D638
引張弾性率(MPa) ^{iv}	2150	2150	ASTM D638
降伏伸び(%)	11	9	ASTM D638
破断伸び(%)	18	10	ASTM D638
衝撃強度(kJ/m ²) ^v	4.5	4.4	ASTM D256
密度(g/cm ³)	1.02		ASTM D792

i. 本データは、社内テストに基づき、「HP Half_Commercial_Datasheet_Job」および品質管理基準に従った2つの材料ロットを用いて測定されたものです。形状、造形ジョブ、材料ロット、材料状態によって結果は異なる場合があります。

ii. 使用材料はEvonik社のHP 3D High Reusability PA 12で、リフレッシュ率20%、バランスプリントプロファイル、自然冷却条件下で造形された後、5~6バールの圧力でガラスビーズによるビードブラスト処理を行って測定しています。結果はHP 3D Process Developmentを活用することで調整可能です。

iii. HP推奨のプリンタ設定および調整手順にすべて従い、プリントヘッドのアライメントも適切に行ったうえで造形しています。

iv. 引張強度の代表的なばらつき（全体の95%のパーツ）は50~56 MPaの範囲にあり、引張弾性率は2000~2300 MPaの範囲に収まっています。

v. 衝撃強度は、ASTM D256規格に準拠した**Izod試験法A（ノッチ付き3.2 mm試験片）**を用いて測定しています。

バランスプリントモードにおけるMJFソリューション間の比較

以下の表では、HP Jet Fusion 5600が従来のMJFソリューションと比較して、機械的特性のばらつきが改善されていることを示しています（全体の95%のパーツがこの範囲内に収まります）。

さらに高い性能を求める場合は、HP 3D Process Developmentの活用により、さらなる改善も可能です。

HP 3D HR PA12 ⁱ	4200	5200	5600
引張強度[MPa]	45-55	45-55	50-56
引張弾性率[MPa]	1500-2100	1650-2200	2000-2300

i. 各製品の機械的特性に関するホワイトペーパーをご参照ください。

HP 3D HR PA12 S（Arkema製）の試験結果

この表は、ASTM D638規格に準拠したタイプの引張試験片を使用し、バランスPA12スプリントプロファイルにて造形されたHP Jet Fusion 5600シリーズにおいて、Arkema社製 HP 3D HR PA 12 Sの材料で得られた測定値を示しています。

HP 3D HR PA12 S, enabled by Arkema ^{ii,iii}	試験方法	試験方法	試験方法
引張強度(MPa) _{Mv}	45	43	ASTM D638
引張弾性率(MPa)	1700	1700	ASTM D638
降伏伸び(%)	10	5	ASTM D638
破断伸び(%)	12	5	ASTM D638
衝撃強度(kJ/m ²) _v	2.5	2	ASTM D256
密度(g/cm ³)	0.98		ASTM D792

i. 本データは社内テストに基づき、「HP Half_Commercial_Datasheet_Job」を用いて測定されたものです。他のジョブや造形形状によって結果が異なる場合があります。

ii. 使用材料はArkema社製のHP 3D High Reusability PA 12 Sで、リフレッシュ率15%、バランスプリントプロファイル、自然冷却条件下で造形された後、5~6バールの圧力でガラスビーズによるピードブラスト処理を行って測定しています。

iii. HP推奨のプリンタ設定および調整手順にすべて従い、プリントヘッドは半自動プロセスを用いてアライメント調整が行われています。

iv. 引張強度の代表的なばらつき（全体の95%のパーツ）は40~48 MPaの範囲にあり、引張弾性率は1600~1900 MPaの範囲に収まっています。

v. 衝撃強度は、ASTM D256規格に準拠した**Izod試験法A（ノッチ付き3.2 mm試験片）**を用いて測定されています。

補足資料1：機械的要件に適した材料の選定

材料選定における最も重要な観点のひとつは、部品が通常の使用環境下で受ける応力を正しく理解することです。

選定する材料は、その応力下での挙動においてアプリケーションの要件を満たし、降伏点が適切である必要があります。これにより、部品の機能性が損なわれるのを防ぎます。

荷重、拘束条件（境界条件）、および設計空間は、通常変更できない前提条件として与えられます。

一方で、荷重が動的状況によって変化する場合には、疲労強度などの観点も含めた追加の要素や計算を考慮する必要があります。

本来であれば、設計者はアプリケーションの具体的な要件に基づいて材料を選定するのが理想です。

しかし実際には、すべての要件が明確にされていない場合も多く、たとえ分かっていたとしても、それらの最終要件と、標準手法で評価された汎用的な材料特性との間に明確な相関関係がない場合もあります。

また、材料の特性は使用環境や条件によって変化することもあるため、選定は一筋縄ではいきません。

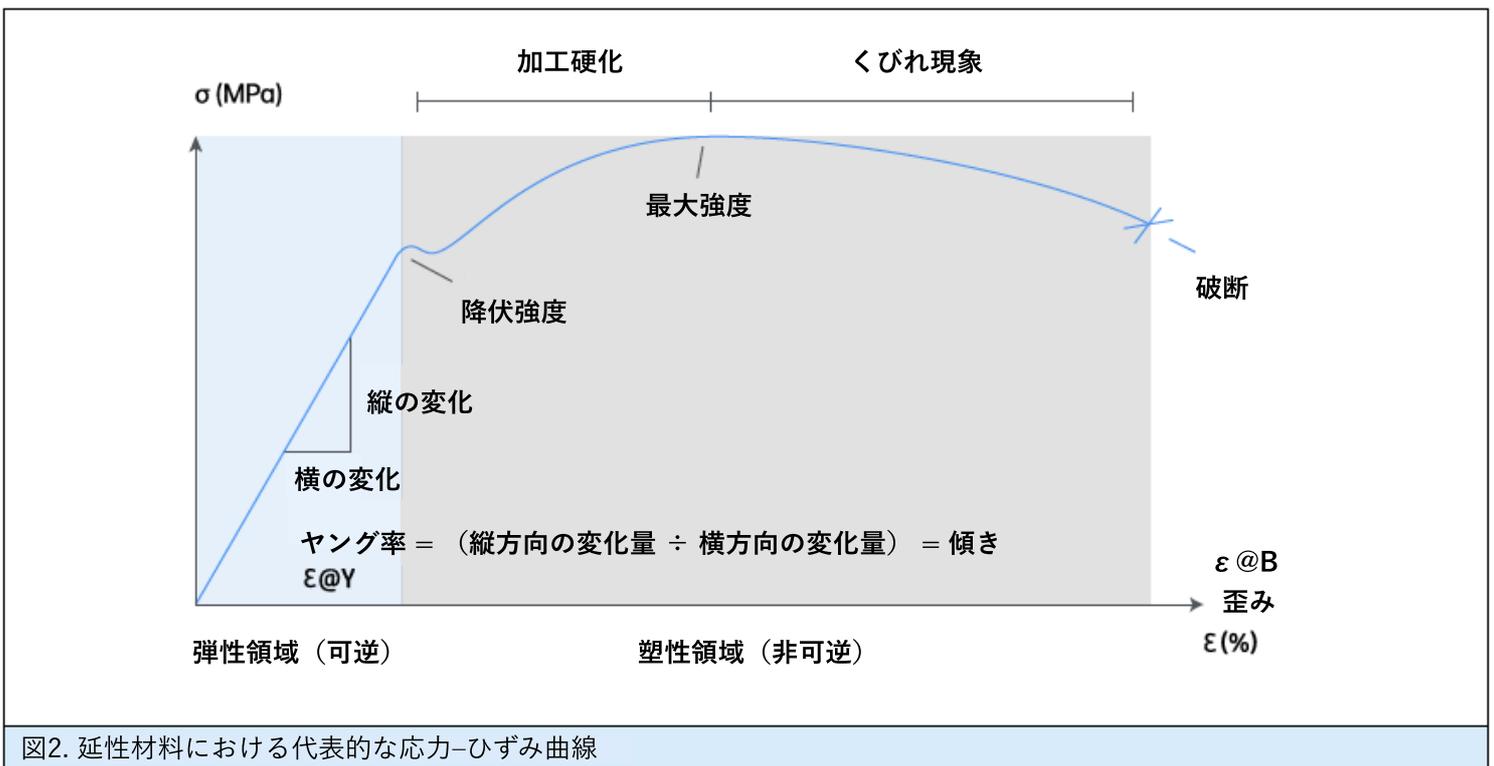
このような課題を踏まえ、一般的な材料選定プロセスは以下の3ステップに基づいて進められます：

ステップ1：

主要な特性に基づき、汎用的な特性を持つ材料を選定する。

熱可塑性樹脂の場合、最も一般的に用いられる特性は以下の3つです：

- 引張強度（Tensile strength）：引っ張り荷重に対して材料が破断するまでの耐性を示します。
- 引張弾性率（Tensile modulus）：弾性的な変形に対する材料の剛性や抵抗力を示します。
- 伸び（Elongation）：一定のひずみに対して、部品が受ける変形量（弾性変形または塑性変形）を示します。



これらの特性および、他の材料と比較した際のポリマーの相対的な挙動は図3に示されています。

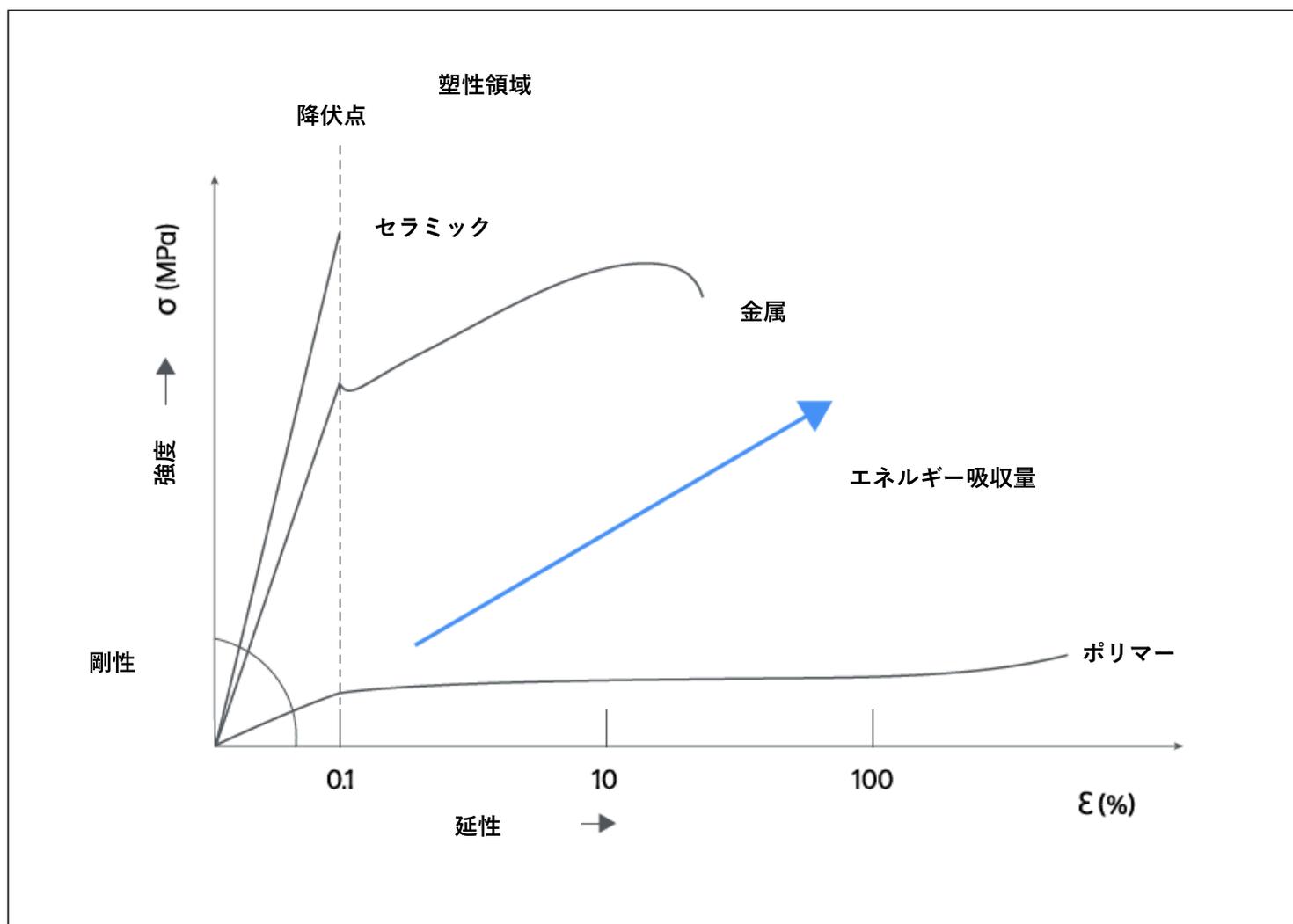


図3：ポリマー、金属、セラミック材料の比較

ステップ2：

材料を選定した後は、HP Multi Jet Fusionの設計ガイドラインに沿って部品設計を行う必要があります。設計には十分なマージン（安全率）を持たせることが重要であり、特性に応じて通常2～3倍の余裕を設けることで、部品自体やアプリケーション特有の条件によるあらゆる変動に対応できるようにします。

ステップ3：

これらの原則に基づいて設計を行った後も、アプリケーション固有の要件に即した検証プロセスを実施することが強く推奨されます。

これにより、設計の妥当性を確認できるだけでなく、アプリケーション全体の性能を反映したバリデーションデータを取得し、時間経過や製造条件・使用条件による変動の特性評価が可能になります。

補足資料2：主要用語集

・引張強度 (Tensile Strength) または極限引張強度 (Ultimate Tensile Strength/UTS)

通常、単位はMPaまたはN/mm²で表されます。

材料が引っ張り荷重に耐える能力を示す指標で、破断するまでに耐えうる最大の応力値として測定されます。

・引張弾性率 (Tensile Modulus)

ヤング率 (Young's Modulus) またはE値とも呼ばれ、MPaまたはN/mm²で表されます。

材料の剛性 (固さ) を示す機械的特性で、線形弾性領域における応力とひずみの関係を定義します。

熱可塑性樹脂は線形弾性領域が非常に短いため、応力-ひずみ曲線のゼロに近い領域の傾きから求められます。

引張弾性率は、機械的FEM (有限要素法) 解析の入力パラメータとして必要となります。

・伸び (Elongation)

材料がある応力を受けたときに生じる変形の割合を示します。熱可塑性樹脂の場合、元の長さに対する変形量の割合 (%) で表されます。

-降伏時の伸び (Elongation at Yield) : 応力-ひずみ曲線が最大に達した引張強度点における変形量。

-破断時の伸び (Elongation at Break) : 部品が破断する瞬間の変形量。

・衝撃強度 (Impact Strength)

材料の衝撃に対する抵抗性や、破壊時に吸収されるエネルギー量 (靱性) を示します。通常、単位はkJ/m² (単位面積あたりのエネルギー) です。

衝撃強度の測定には、Izod法とシャルピー (Charpy) 法の2種類があり、ノッチ付き/ノッチなしの試験片を用いた振り子型試験機で評価されます。これにより、材料のノッチ感受性も判断されます。

・応力 (Stress)

ある面に作用する内力と有効面積の比で表される力の密度を指します。

応力は方向により以下の2種類に分類されます：

-垂直応力 (Normal Stress)

-せん断応力 (Shear Stress)

・変形 (Deformation)

固体に加わる応力によって生じるひずみを伴う状態変化を指します。

変形には以下の2種類があります：

-弾性変形 (Elastic Deformation) : 外力を取り除くと元に戻る可逆的な変形

-塑性変形 (Plastic Deformation) : 材料の内部応力が一定の限界を超えたときに生じ、外力を除いても元に戻らない不可逆的な変形

国内正規販売代理店



株式会社YOKOITO

〒600-8357 京都府京都市下京区柿本町588-22

TEL 075-354-6424

MAIL sales@yokoitokyo.com

WEB <https://www.yam-sls-3dprinter.com/>



© Copyright 2024 HP Development Company, L.P.

The information contained herein is provided for information purposes only. The only terms and conditions governing the sale of HP 3D printer solutions are those set forth in a written sales agreement. The only warranties for HP products and services are set forth in the express warranty statements accompanying such products and services. Nothing herein should be construed as constituting an additional warranty or additional binding terms and conditions. HP shall not be liable for technical or editorial errors or omissions contained herein and the information herein is subject to change without notice.

4AA8-3357ENW, October 2024