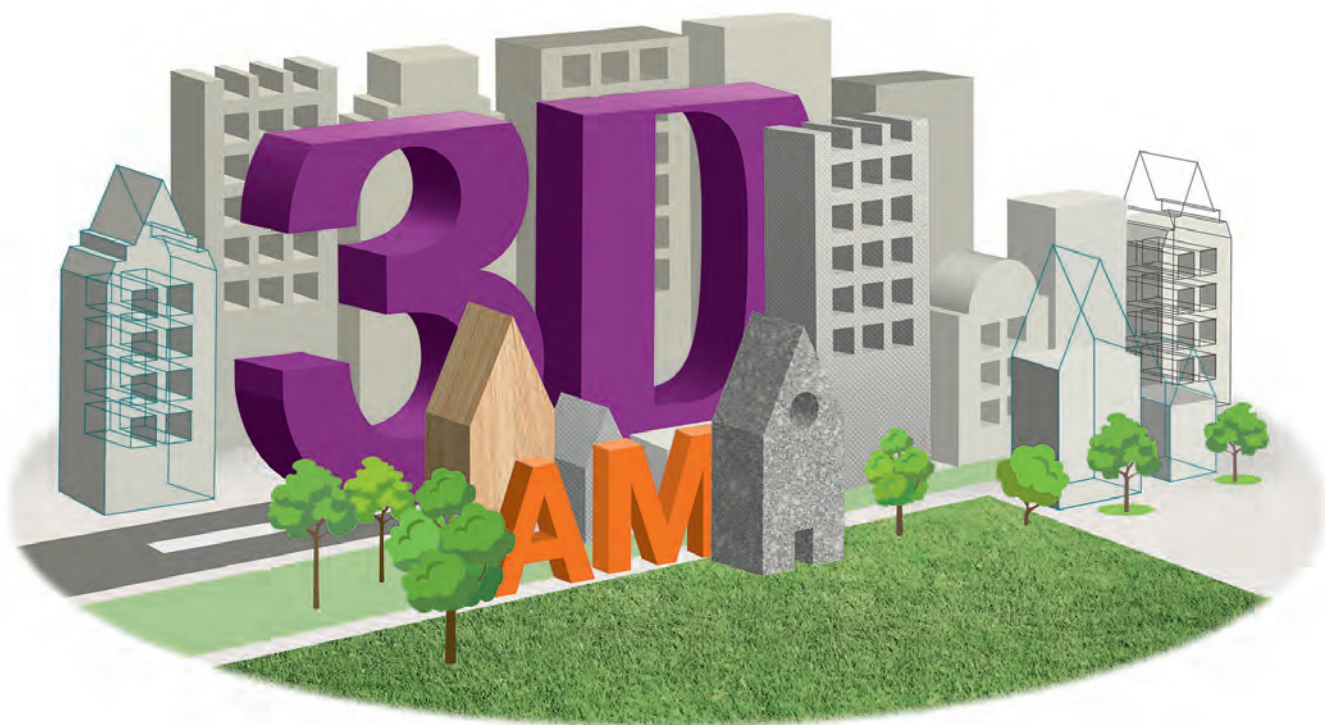


# AEROSIL® と AEROXIDE® の 3Dプリンティング／アディティブ・ マニュファクチャリングへの応用



# 目次

5

3Dプリンティングの概要

8

液槽光重合法

10

光造形法

12

粉末床熔融結合法

16

材料押出法

18

その他の技術

## 知的財産権

3D プリンティングは、製造産業において数十年の開発の歴史があります。従って、第三者の知的財産権、即ち特許権、工業意匠権、著作権、および商標権が多くの国に存在する可能性があります。本カタログは、エポニック、また第三者の知的財産権（本カタログに記載される製品あるいは手順を含むが、これらに限定されない）の実施を決して許諾するものではありません。知的財産権所有者からの書面による明確な許可がない限り、当該実施は商業的使用に限らず禁止されており、適用法令の侵害になります。

## 衛生および安全性

2017年、欧州労働安全衛生機関は、3D プリンティングに関連する手順と材料、職業安全・衛生に対する本技術の潜在的影響、そして潜在的有害性を管理するための手段について討議資料を発行しました。排出物の毒性は排出粒子のサイズ、化学特性、量により、原材料ごとに異なります。VOC に過剰に接触した場合、眼、鼻、および喉の刺激、頭痛、運動失調、また、吐き気を引き起こしたり、様々な病気につながる可能性があります。

部品をプリンティングした後の仕上げ作業も、安全衛生上有害な場合があります。これらの加工後作業には、表面改質のための化学物質の浸漬、研磨（サンディング）、または蒸気暴露、さらに、プリンティングした形状改良のための穿孔、フライス削り、または旋削などの一般的な除去製造等が含まれます。また、プリンティングした部品から材料を除去する際、その方法に関わらず粒子が発生することがあります。粒子を吸い込んだり、眼を傷つけたりする可能性があるため、呼吸マスクや安全ゴーグルなどの適切な保護具を使用してください。

## 文献

- [1] ISO/ASTM52900:2017 または EN/ISO/ASTM52900:2017
- [2] Evonik Resource Efficiency GmbH, technical Information 1213 『AEROSIL® fumed silica and SIPERNAT® specialty silica as flow aid, anticaking agent and carrier - Recommended mixing procedures for powders and granulates』
- [3] Evonik Resource Efficiency GmbH, Technical Information 1351 『SIPERNAT® specialty silica and AEROSIL® fumed silica as flow aid and anticaking agent』

# 3D プリンティングは、

アディティブ・マニュファクチャリング (AM) と呼ばれ、コンピュータ制御により、材料を連続的に積層化して、3次元の造形物を製造するプロセスです。造形方法にはいくつかの種類がありますが、いずれも積層化する方法で、主に造形物を作るための積層方法が異なります。今日、3D プリンティング市場では、複数の異なるプリンティング技術が用いられています。本カタログでは、最も代表的な 3D プリンティング方法の概要、また、AEROSIL® および AEROXIDE® 製品がどのような効果を付与し、どのように活用できるかをご紹介します。

3D プリンティングの歴史は数十年ありますが、この数年間で市場が活発になった大きな理由として、材料の進歩が挙げられます。3D プリンティング市場が成熟したビジネス環境へと移行するには、3D プリンティング材料の開発と進歩が不可欠です。それは、設計や試作品作成、さらに複雑なツールの生産・金型作りにおいて、材料が重要な役割を果たすからです。一般に知られている 3D プリンティング材料として、粉末または液体のポリマー、金属、セラミックス、ガラスなどがあります。当社は、お客様の 3D プリンティング材料の進歩のために、多彩なソリューションをご提供いたします。

エボニックは、3D プリンティング産業における最も重要な添加剤サプライヤーの一社として、AEROSIL® および AEROXIDE® というブランド名で、特殊性の高い無機粒子を提供しています。これらの製品は、様々な 3D プリンティング材料に適しており、造形物の製造、品質、性能を改善します。フェームドシリカ AEROSIL® およびフェームド金属酸化物 AEROXIDE® は、非常に汎用性に優れた製品で、種々の 3D プリンティング材料に様々な機能を付与します。このカタログでは、幅広いプリンティング技術やプロセスで、3D プリンティング材料に添加剤として使用されるフェームドシリカと金属酸化物の様々な特性と性能を紹介します。

## 3D プリンティング技術の分類と概要

図 1 では、3D プリンティング/アディティブ・マニュファクチャリング技術を各カテゴリーに分類し、一般的に使用されている略称を示しています。これらの技術の中から、その一部を以下の項で詳しく説明します。

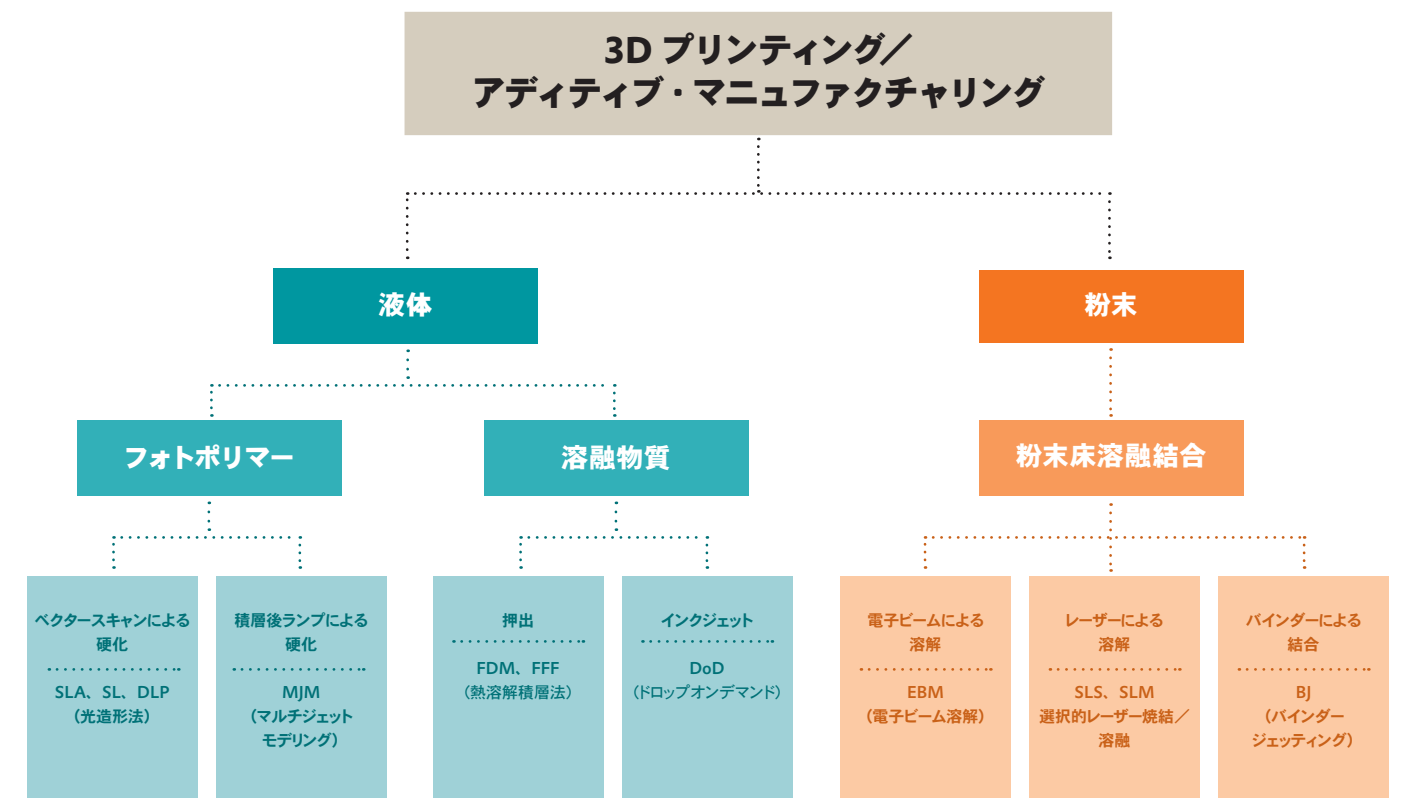


図 1: 3D プリンティング/アディティブ・マニュファクチャリングにおいて頻繁に利用される技術の簡易な分類。特定技術の略称は、使用されているすべての用語を網羅している訳ではありません。略称および技術用語は、多くの場合™ または © で登録されている技術用語に基づいています。[1]

# 3D プリンティング/アディティブ・マニュファクチャリングの材料

現在の技術でプリンティング可能な材料は、非常に多岐にわたります。本カタログでは、ポリマーや樹脂に関連するソリューションに焦点を当てています。ここで説明する AEROSIL® および AEROXIDE® 製品の効果の多くは、他の材料にも応用することができます。また機能が顕著に表れない場合でも、AEROSIL® および AEROXIDE® の機能をご理解いただくため、以下に非ポリマー系材料に関するコメントを記載しています。

## ガラス

二酸化ケイ素をベースとする材料を使用すると、強固なガラス製品を製造することができます。ゾルゲル法において、AEROSIL® OX 50 の粒子サイズは焼結に適しており、脱脂後に透明度の高いガラスを生成することが証明されています。

## セラミックス

フュームドシリカ AEROSIL®、フュームドアルミナならびにチタニア AEROXIDE® は、セラミック加工の添加剤として、文献や出願特許にしばしば登場します。小さな粒子サイズは、脱脂した生成品の結合強度を向上させ、焼結プロセスを補助することで、結果としてセラミックの最終的な孔隙率を低下させます。さらに、これらの製品を添加することで TiO<sub>2</sub>/AlN などにおいて焼結温度を下げることも、ムライトなどのセラミックを作ることができます。

## 金属

多くの金属プリンティング法において、金属粉末の流動性は非常に重要です。これらの金属粉末は非常に微細であることが多く、流動性が悪くなる傾向にあります。AEROSIL® や AEROXIDE® を加えることで、金属粉末の流動性が大幅に改善します。また、輸送、投与、保管の際に、粉末の固結や静電吸着がしばしば起こります。AEROSIL® や AEROXIDE® 製品は、冶金プロセスを妨げることなくこれらの現象を大幅に改善できます。

## 無機材料

無機物を結合させる技術の多くは、超微粒子金属酸化物を添加することで改善できます。特に、比表面積の大きいシリカからは、ポゾラン反応の効果を高めることができます。

## 有機材料

プリンティング法によっては、有機材料も使用します。有機材料は、ポリマーに加え、食品、薬品、または有機構造材料などがありますが、有機または無機材料で基本原理に大きな違いはありません。AEROSIL® のポートフォリオにも、医薬品、食品、飼料向けの製品があります。

3D プリンティング法によって、得られる効果が異なります。

右の表に、代表的な 3D プリンティング法、また、シリカと金属酸化物の効果を紹介します。

AEROSIL® および AEROXIDE® による効果

3Dプリンティング法	粉末流動性制御	静電気制御	レオロジー制御	補強性
光造形法		●	●	●
マルチジェットモデリング		●	●	●
熱溶解積層法		●	●	●
ドロップオンデマンド		●	●	●
電子ビーム溶解	●	●		
選択的レーザー焼結/熔融	●	●		
バインダーージェットティング	●	●		
シート積層法		●	●	●



# 液槽光重合法<sup>1</sup>

(関連する略称：SLA、DLP、CLP、CLIP)

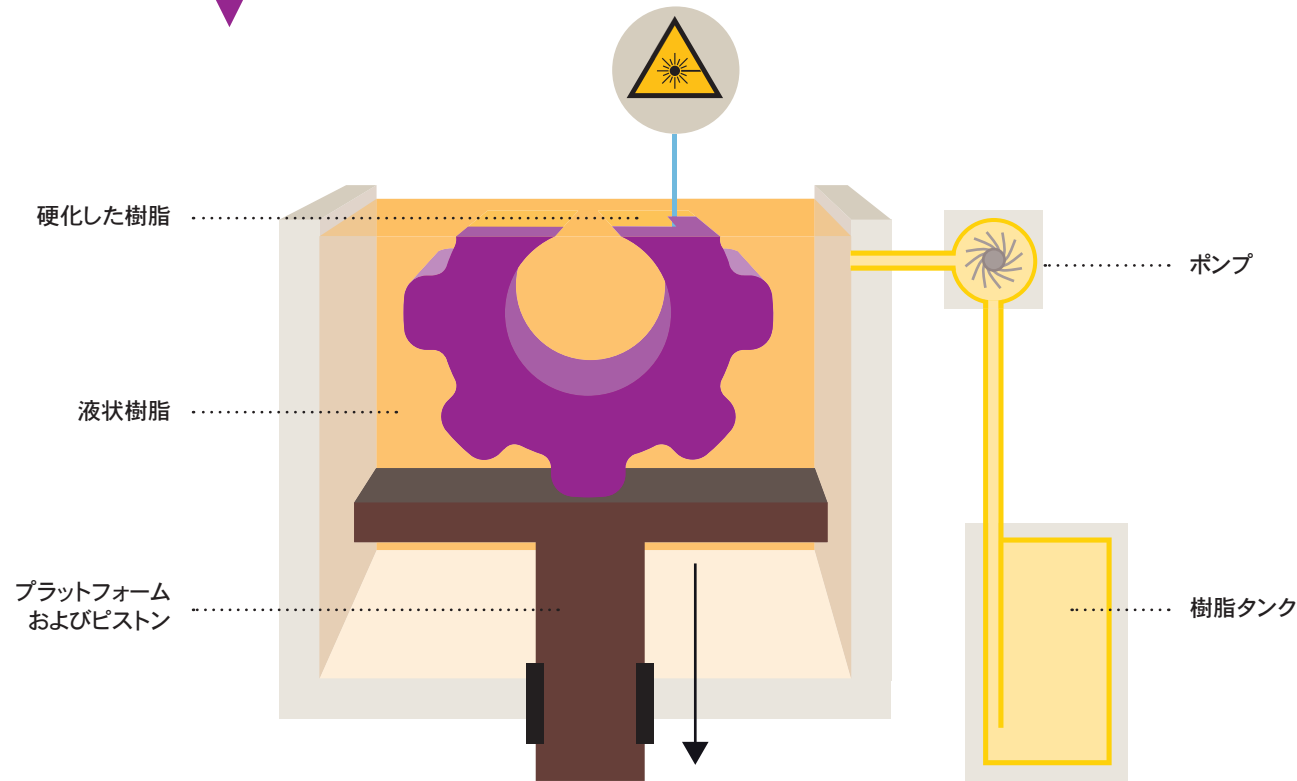


図 2：液槽光重合プロセスの概略図

## 技術紹介

光造形法 (stereolithography: SLA) は、液状の材料を硬化させて 3 次元の造形物を作成します。最も一般的な硬化法は光重合です。液槽光重合法では、フォトポリマー (「樹脂」とも呼称される) の液槽を使用します。樹脂にレーザービームが照射されると、液体の上面、または液槽の底面から、樹脂がレイヤーごとに光重合します。その後、造形物は液槽から取り出されるか、液体中に入れられます。

表 1：シリカと金属酸化物の代表的な機能

プリンティング材料	効果/機能	推奨製品
弾性樹脂	粘度制御 <sup>2</sup>	AEROSIL <sup>®</sup> 製品、AEROXIDE <sup>®</sup> 製品
樹脂	補強性	
金属複合物 <sup>2</sup>		
セラミック複合物 <sup>2</sup>		

<sup>2</sup> これらの材料/機能は、業界との関連性は低い

## シリカの適用事例

この方法で使用される多くの樹脂は粘度が低く、モノマー、または短いオリゴマーにして使用されます。粘度が低いことで薄膜が形成でき、プリンティングの構造分解能の向上に寄与するという利点があると言われています。しかし場合によっては、静止時によりゲル的な挙動になり、攪拌時に低粘度になることが要求されます。この特徴は、ずり流動化 (シアニング) 効果とも呼ばれます。さらに、低分子量の材料を使用すると、樹脂に極めて高い密度の架橋が求められます。その結果、耐衝撃性の低い硬化性樹脂が出来ることがあり、耐衝撃性、構造的強靱性、および弾力性という観点で機械的強度を改善するには、高性能なフィラーが適しています。フュームドシリカ AEROSIL<sup>®</sup> を使用することで液体樹脂の粘度を制御し、優れたずり流動化/チキソトロピー性を付与し、硬化樹脂の機械的特性を大幅に改善できます。図 3 に、これらの特性とフィラー量との関係を示します。低粘度の液体樹脂を使用する場合、特殊なシリカフィラーによって、モノマーの粘度を過度に高めることなく、機械的特性の改善を可能にします。

フィラー量とポリマー特性との一般的な相関関係

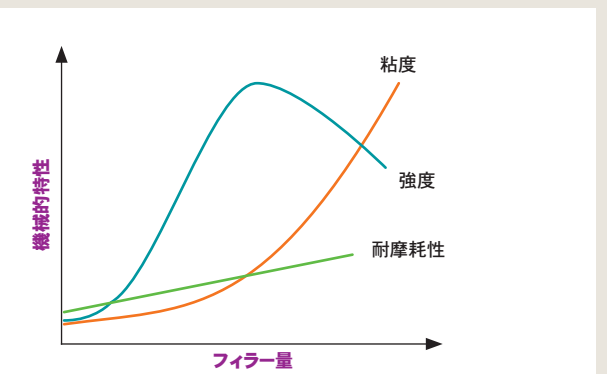


図 3 は、様々な方法におけるフィラー量に応じた液体/硬化樹脂特性を示しています。最適な添加量を判断するには、条件に応じて詳細な試験が必要です。

## 推奨製品

表 2：推奨製品

プリンティング材料	効果/機能	推奨製品
アクリレート	補強性	AEROSIL <sup>®</sup> R 9200, AEROSIL <sup>®</sup> R 972, AEROSIL <sup>®</sup> R 974, AEROSIL <sup>®</sup> R 976 S, AEROSIL <sup>®</sup> R 812, AEROSIL <sup>®</sup> RX 300
メタクリレート		AEROSIL <sup>®</sup> R 7200, AEROSIL <sup>®</sup> R 711, AEROSIL <sup>®</sup> RM 50
エポキシ		AEROSIL <sup>®</sup> R 8200, AEROSIL <sup>®</sup> R 812, AEROSIL <sup>®</sup> RX 300, AEROSIL <sup>®</sup> RX 50
ポリエステル		AEROSIL <sup>®</sup> R 202, AEROSIL <sup>®</sup> RY 200 S, AEROSIL <sup>®</sup> R 812, AEROSIL <sup>®</sup> RX 300
アクリレート	粘度制御 <sup>3</sup>	AEROSIL <sup>®</sup> R 972, AEROSIL <sup>®</sup> R 974, AEROSIL <sup>®</sup> R 976 S
メタクリレート		AEROSIL <sup>®</sup> R 711
エポキシ		AEROSIL <sup>®</sup> R 812, AEROSIL <sup>®</sup> RX 300
ポリエステル		AEROSIL <sup>®</sup> 200, AEROSIL <sup>®</sup> R 202, AEROSIL <sup>®</sup> RY 200 S
すべて	帯電制御	AEROXIDE <sup>®</sup> Alu C
	電気抵抗 <sup>3</sup>	AEROXIDE <sup>®</sup> C 805

<sup>3</sup> これらの材料/機能は、業界との関連性は低い

粘度制御の目的では、各用途における添加量を 0.5 ~ 3% の範囲で調整します。それぞれのモノマーおよびオリゴマーには異なる化学基があり、これらのすべてが表面改質されていないシリカ表面と適合性がある訳ではありません。よって理想的な補強効果を得るため、表面改質されたシリカを提供することで、フィラーに求められているニーズにお応えします。

<sup>1</sup> ISO/ASTM52900 (EN, DIN などの国家規格で同じ基準を採用) は、アディティブ・マニュファクチャリング (AM) プロセスの 7 つのカテゴリーをバインダー・ジェットティング、指向性エネルギー堆積、材料押出、マテリアル・ジェットティング、粉末床溶融結合、シート積層、および液槽光重合と定義しています。残念ながら、科学文献や説明文などで使用される用語は、ISO 用語に統一されていません。これら 7 つの主要カテゴリーに加え、これらのカテゴリーの技術の組み合わせや、主要カテゴリーの派生技術もあります。また、特定の技術を有する企業や機関の中には、競争の優位性を得るため、技術用語の登録商標を使用している場合もあります。

# 光造形法（ステレオリソグラフィ）

（SLA または SL）ポリジェットフォトポリマー（PP）、SLA/SL、およびポリジェット 3D プリンティング

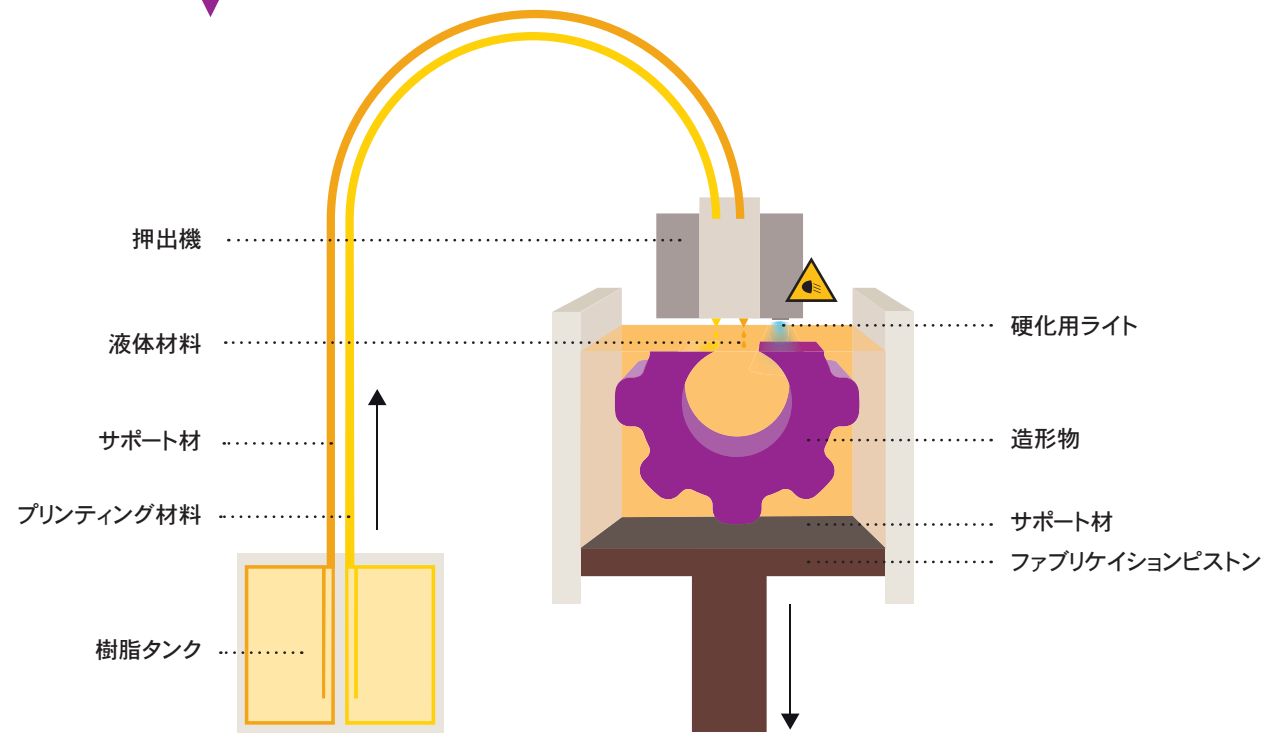


図 4：ポリジェットプロセスの概略図

## 技術紹介

ポリジェットによる造形法は、1つまたは複数の（光）硬化する液体樹脂とサポート材を使用し、薄いレイヤーを積層させて造形物を完成させます。樹脂を吐出して薄いレイヤーを作った後にライトにより硬化させます。液槽光重合と異なり、この方法では、複数の材料を1つの造形物に組み合わせることができます。非常に微細な構造を作るには低粘度樹脂の小さな液滴が必要です。一方、高粘度樹脂は大型の造形物を迅速に作るすることができます。1個のプリンターヘッドで複数の材料の同時使用を可能にすることで、異なる色、サポート材、または複合材料の様な多くの材料を同時にプリンティングできるようになります。

表 3：シリカと金属酸化物の代表的な機能

プリンティング材料	効果/機能	推奨製品
弾性樹脂	粘度制御	AEROSIL®製品、AEROXIDE®製品
樹脂	補強性	
金属複合物		
セラミック複合物		
建設材料		

## シリカの適用事例

樹脂にフィラーを添加すると、様々な機械特性を改善することができます。図 5 の例のように、少量のフィラー（1～2%）でも樹脂の特性を損なうことなく衝撃強度と引張り強度を大幅に改善できます。

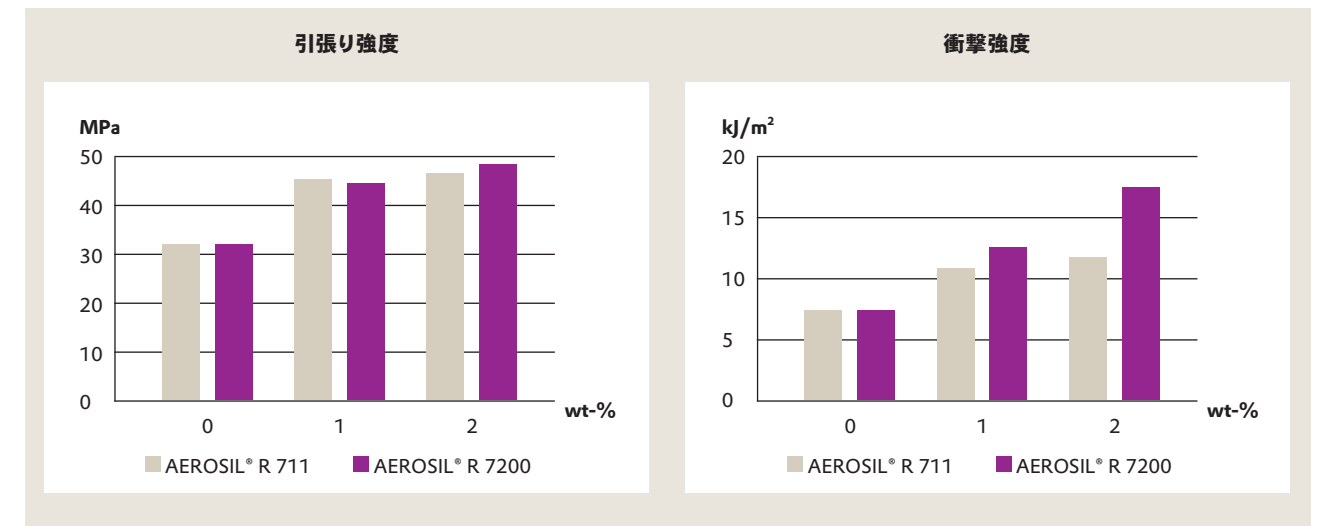


図 5：AEROSIL® R 7200 および AEROSIL® R 711 を使用した際の、UV 硬化アクリルモノマーの引張り強度と衝撃強度の向上

また AEROSIL® 製品は、モノマーの粘度制御とチキソトロピー性を付与します。つまり、吸引可能な低い粘度を保ちながら静止時の粘度は高く、ゲルのような挙動が見られます。図 13 も併せてご参照下さい。

## 推奨製品

樹脂の性質、目的の特性、および使用する樹脂の粘度範囲に応じて、フィラー含有量は 1～30wt% の範囲で調整します。

表 4：推奨製品

プリンティング材料	効果/機能	推奨製品
アクリレート	補強性	AEROSIL® R 9200, AEROSIL® R 972, AEROSIL® R 974, AEROSIL® R 976 S, AEROSIL® R 812, AEROSIL® RX 300
メタクリレート		AEROSIL® R 7200, AEROSIL® R 711, AEROSIL® RM 50
エポキシ		AEROSIL® R 8200, AEROSIL® R 812, AEROSIL® RX 300, AEROSIL® RX 50
ポリエステル		AEROSIL® R 202, AEROSIL® RY 200 S, AEROSIL® R 812, AEROSIL® RX 300
アクリレート	粘度制御 <sup>4</sup>	AEROSIL® R 972, AEROSIL® R 974, AEROSIL® R 976 S
メタクリレート		AEROSIL® R 711
エポキシ		AEROSIL® R 812, AEROSIL® RX 300
ポリエステル		AEROSIL® 200, AEROSIL® R 202, AEROSIL® RY 200 S
すべて	帯電制御	AEROXIDE® Alu C
	電気抵抗 <sup>4</sup>	AEROXIDE® C 805

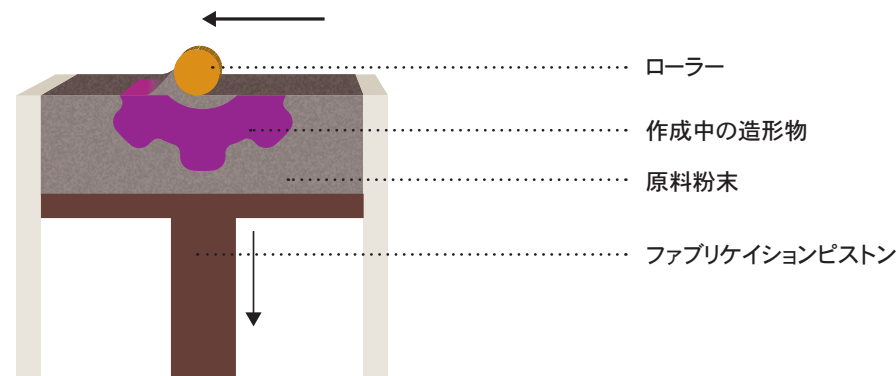
<sup>4</sup> これらの材料/機能は、業界との関連性は低い

粘度制御の目的では、各用途における添加量を 0.5～3% の範囲で調整します。前述のとおり、それぞれのモノマーおよびオリゴマーには異なる化学基があります。フィラーに求められているニーズに応えるために、表面改質したシリカ製品を提供いたします。

# 粉末床溶融結合法

(関連する略称：SLS、SLM、DMLS、EBM)

## ステップ1 粉末床の形成



## ステップ2 溶融プロセス

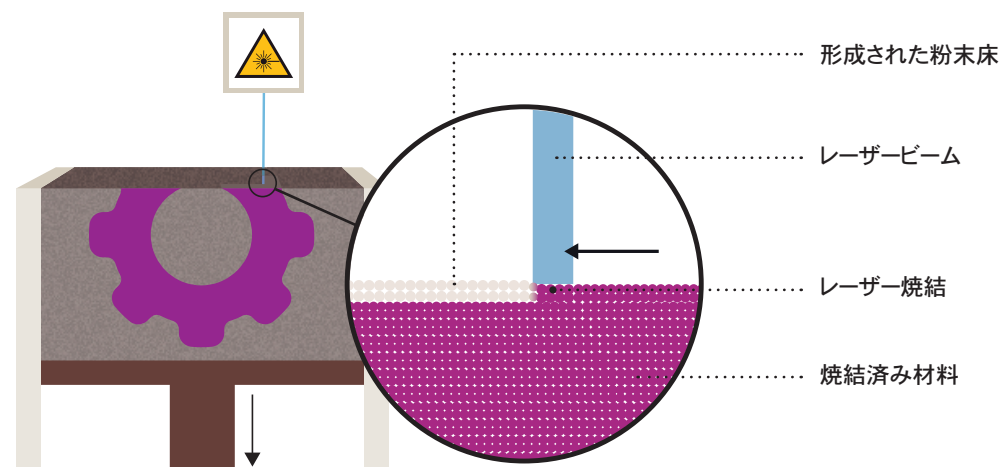


図 6:2 ステップで構成される粉末床溶融結合プリンティング：粉末床の形成と溶融プロセス

## 技術紹介

粉末床溶融結合法は、粉末を一層ずつ均等に供給して粉末床を形成し、レーザーまたは電子ビームで焼結または溶解します。レーザー焼結法には、レーザー焼結／選択的レーザー焼結法（SLS）（金属およびポリマー粉末に対して）、選択的レーザー溶融法（SLM<sup>®</sup>）／直接金属レーザー焼結法（DMLS）が含まれます。SLS法は焼結により粉末粒子を結合しますが、SLM/ DMLS法は、高出力レーザーにより粉末を完全に溶解します。これにより、一度に一層ずつ非常に密度の高い物質が生成され、従来の製造法と同じ機械特性を持つ造形物を作ることができます。

電子ビーム溶解法（EBM）は、金属部品（チタン合金など）向けの蓄層造形技術です。EBMは強力な真空状態で、電子ビームにより金属粉末を一層ずつ溶解して部品を造形します。

表 5: シリカと金属酸化物の代表的な機能

プリンティング材料	効果／機能	推奨製品
熱可塑性物質	流動助剤	AEROSIL <sup>®</sup> 製品、AEROXIDE <sup>®</sup> 製品、SIPERNAT <sup>®</sup> 製品
熱可塑性エラストマー	帯電防止剤	
樹脂		
金属		
セラミック		

## シリカの適用事例

粉末床溶融結合法において、造形物の精度は粉末床の形成に依存するため、密度の変動や不均一な形成を回避することが重要です。粉末の流動性と充填密度の大幅な改善や帯電防止など、さまざまな問題解決に対応する各種 AEROSIL<sup>®</sup>、SIPERNAT<sup>®</sup> 製品をご提案します。[3] これにより、粉体層を非常に均一に欠陥なく形成することができます。以下の写真が、流動性についての効果を示しています。



図 7a ~ d 粉末の流動性改善：a) 粉末がファンネルを流れる。b) 粉末の安息角が低い。c) 粉末の固結が防止される。d) 非導電性粉末に対する帯電防止効果が改善される。ここに示される粉末は効果を説明するための参考用粉末であり、実際の 3D プリンティング用の粉末ではありません。



粉末のプリンティング材料にシリカを被覆することで、流動性改善効果および固結防止効果が得られます。シリカはスペーサーの役割を果たし、粉末粒子の凝集を防止します。正しく添加することで、シリカは焼結プロセスを妨げることなく、軟化/熔融する粉末表面に付着します。

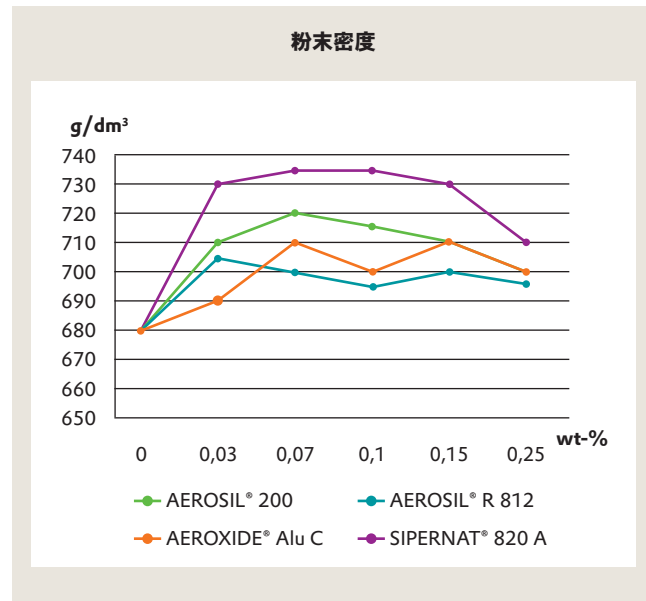


図 8 : 粉末材料を使用する 3D プリンティングにおける粉体特性のコントロールとは、流動性を制御することです。理想的な流動性に調整することが大切です。粉末密度が高くなると、造形物の機械特性が向上します。

AEROXIDE® Alu グレードは、特殊な効果を付与します。本製品の正電荷が、ほとんどのポリマー粉末が帯電する負電荷を中和することができます。粉末は電氣的に中性になり、壁やパイプなどに付着しません。

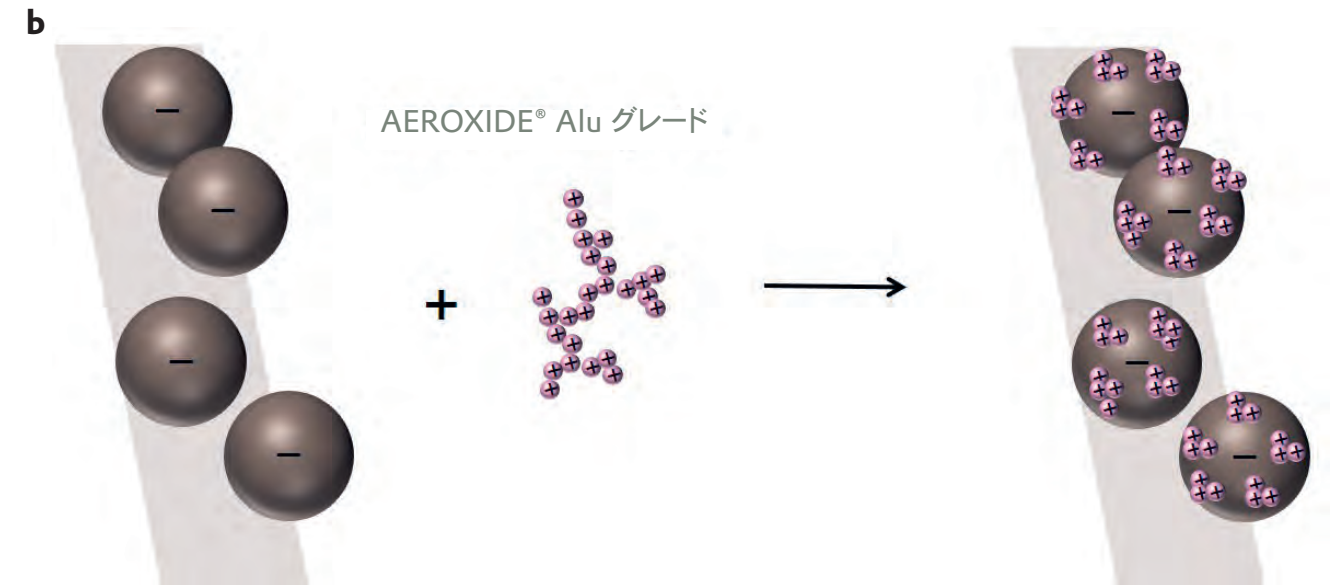
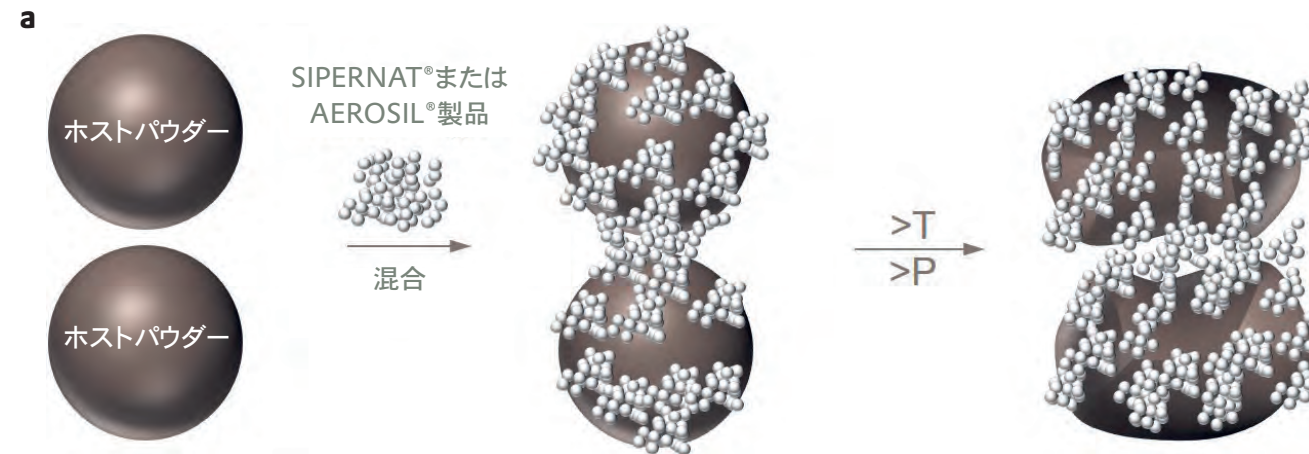


図 9 a ~ b 流動性改善効果および固結防止効果の原理 : 帯電防止効果の原理

### 推奨製品

一般的に流動性の改善と固結防止は、粉末のプリンティング材料の粒子表面にシリカを被覆するため、微粒子のシリカ製品を使用する必要があります。親水性 AEROSIL® 200 および SIPERNAT® 22 S グレードは、直径約 5 μm を超える粉末の流動性改善効果を評価する際の最も標準的な製品です。より小さい粒子サイズには、超微粒で容易に分散するシリカ製品が必要です。この場合、AEROSIL® R 972、AEROSIL® R 974、AEROSIL® R 976 S、AEROSIL® R 812、AEROSIL® RX 300 または AEROSIL® R 8200 などの疎水性 AEROSIL® 製品が最適です。

流動性を十分に引き出せない場合、AEROXIDE® Alu C を使用することで、帯電防止効果を得ることができます。

### 備考

流動助剤を粉末中に完全に分散させることは、流動性改善効果を最大限に引き出すために不可欠です。最適な結果を得るためには、適切な混合機器が必要です。詳細は、Technical Information 1213 をご参照下さい。[2]



# 材料押出法

(関連する略称：FDM、FFF、TPE、ADAM)

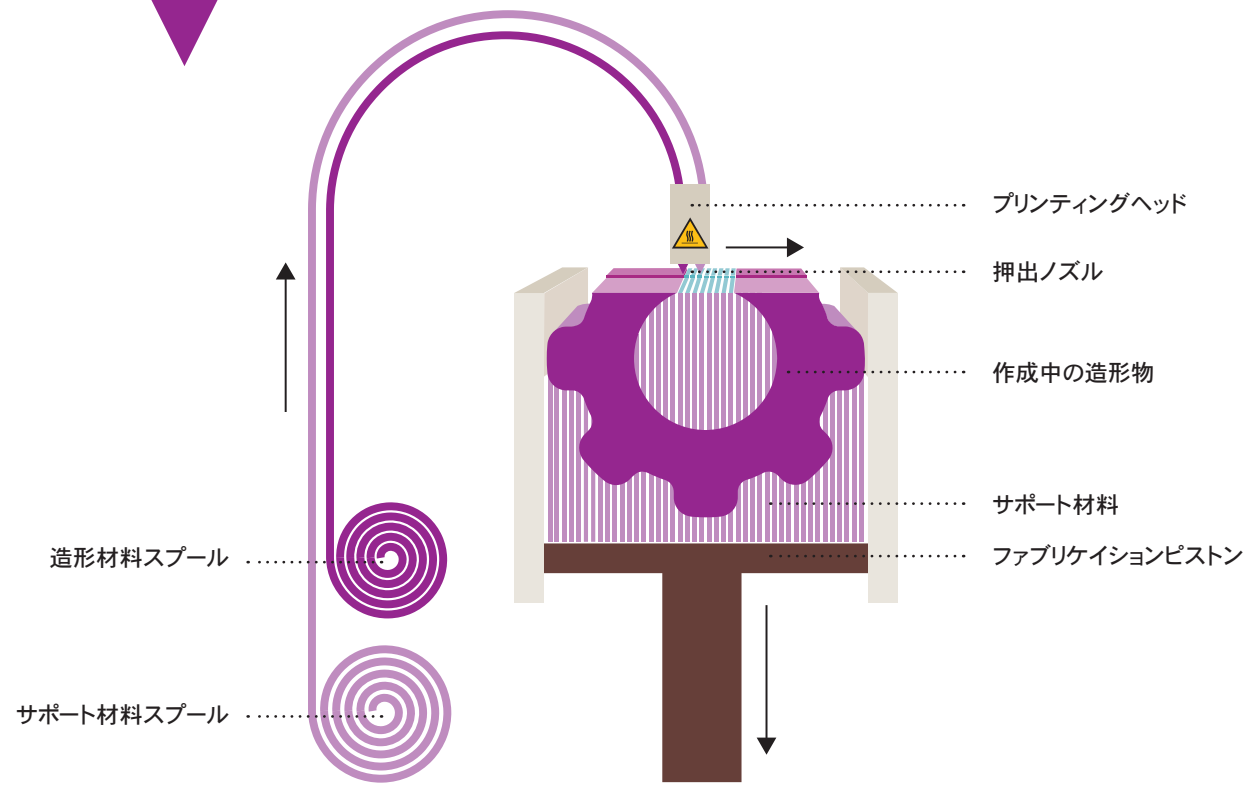


図 10：造形材料とサポート材料を使用した材料押出法の基本原理

## 技術紹介

レイヤーの形成には、材料を溶融または軟化させる方法があります。この技術では、各エレメントを 3D 構造に積層するのに加え、2D レイヤー内に 1 次元構造物を高速かつ連続的に積層することが可能です。溶解フィラメント加工法は、熱溶解積層法 (fused deposition modeling: FDM™) と呼ばれ、造形物はレイヤー構造を形成する為に冷却する過程で直ぐに硬化する樹脂によって作られます。熱可塑性物質のフィラメント、金属フィラメント、またはその他の (複合) 材料を押出ノズルのヘッド (3D プリンター 押出機) へ供給し、押出ノズルのヘッドがプリンティング材料を溶融してプリンティングのオン / オフを調整します。現在は、複数の材料を同時に積層できるプリンターを利用して、複雑な形状の造形物を作ることができます。

表 6：シリカと金属酸化物の代表的な機能

プリンティング材料	効果/機能	推奨製品
熱可塑性物質	摩耗制御	AEROSIL®製品、SIPERNAT®製品
熱可塑性エラストマー	艶消し ブロッキング防止/タック防止 インクの吸着性改善	

## シリカの適用事例

材料押出プロセスにおける最終製品の特性は、フィラメントの結合時のポリマー特性と一致します。高分解能のプリンティングプロセスの場合、押出時に低粘度の溶融材料が必要となり、積層時の選択肢が制限されます。溶融物の密着性と硬化した 3D 造形物への流れ易さに関して、硬化した造形物の表面特性を慎重に制御する必要があります。

製品性能を最適化するためには、粒子に応じて艶消し、ブロッキング防止、またはタック防止剤などの追加添加剤が必要になる場合があります。表面を荒らすことで、インクや塗料の接着性が改善します。高性能のフィラーにより、耐衝撃性、構造的強靱性および弾力性など、硬化した 3D 造形物の機械特性が改善します。9 ページの図 3 に、特性の一般的な相関関係を示します。

ポリマーの性質、目的の特性および使用する液体ポリマーの粘度範囲に応じて、フィラー含有量は 1 ~ 30wt% の範囲で調整します。

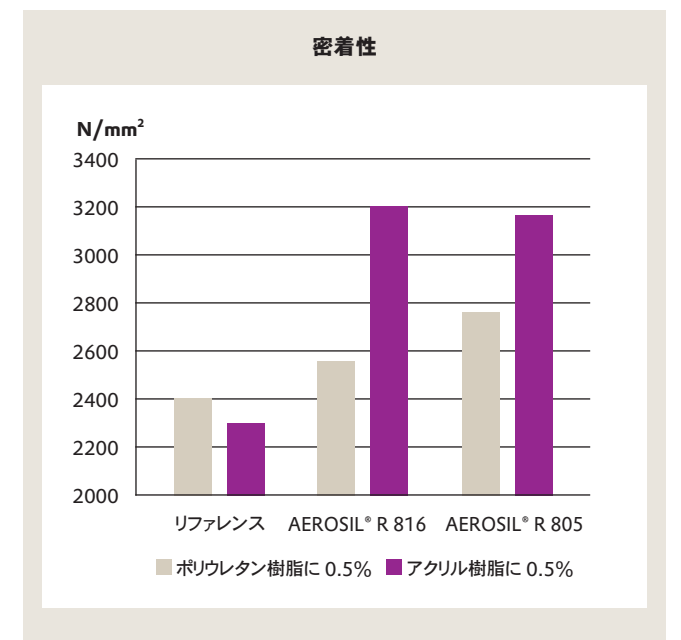


図 11：表面処理された AEROSIL® 製品が積層構造の密着性を高め、最終構造物の層間剥離を防止します。

## 推奨製品

表 7：推奨製品

ポリマーの種類	効果/機能	推奨製品
熱可塑性物質	補強性	より多く添加しても中程度の粘度で留まる製品 AEROSIL® R 7200, AEROSIL® R 8200, AEROSIL® R 9200
熱可塑性エラストマー		粘度上昇が許容される場合 AEROSIL® R 711, AEROSIL® R 812, AEROSIL® RX 300, AEROSIL® R 972
熱可塑性物質	表面仕上げ (艶消し、タック防止、ブロッキング防止、インク吸着など)	AEROSIL® OX 50, AEROSIL® TT 600 (すぐれた透明度)
熱可塑性エラストマー		SIPERNAT® 310
熱可塑性物質、熱可塑性エラストマー	帯電制御 電気抵抗	AEROXIDE® Alu C AEROXIDE® C 805
熱可塑性物質、熱可塑性エラストマー	密着性	疎水性 AEROSIL® 製品

ポリオレフィンの補強性向上には、追加で架橋機能または架橋剤が必要になる場合があります。

## 備考

熱可塑性材料と熱可塑性エラストマーの種類に応じて推奨されるフィラーは、ここで提案される以外の表面処理が必要になることがあるため、すべての製品についてご検討いただくことをお勧めします。(製品グレードについては、ホームページ [www.aerosil.jp](http://www.aerosil.jp) をご参照ください)

熱可塑性材料にナノサイズのフィラーを使用する場合、より高いせん断力が必要になるため、特別設計の押出機が必要になることがあります。

# その他の技術

(バインダーージェットティングなど)

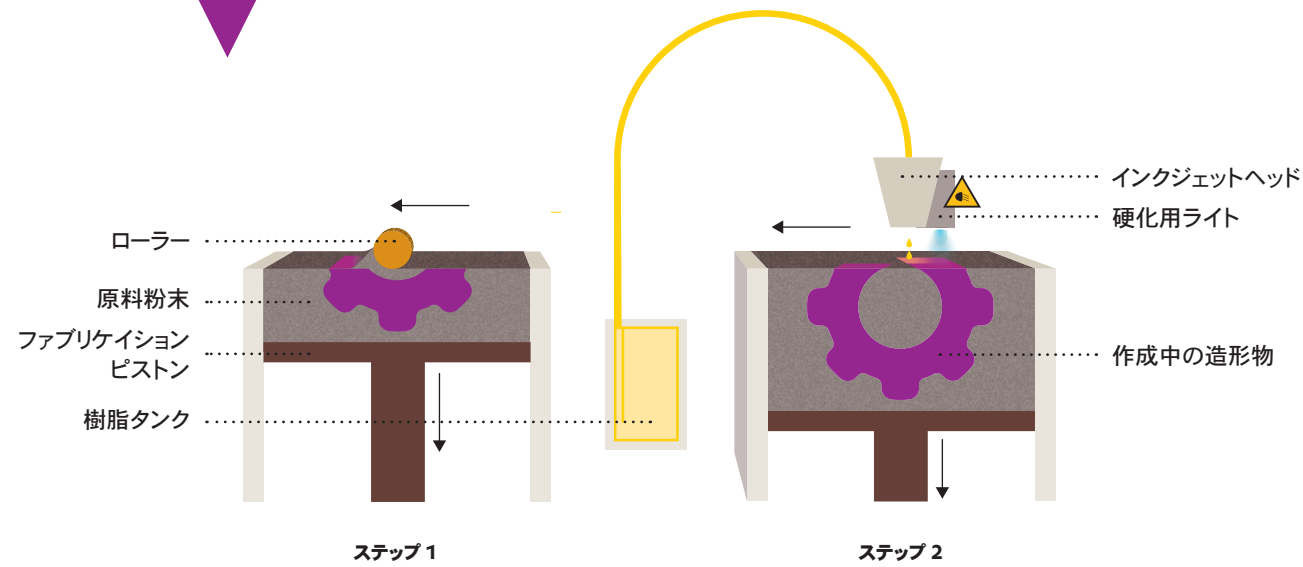


図 12: バインダーージェットティングの 2 ステッププロセス

## 技術紹介

バインダーージェットティングとして知られるこの方法は、粉末床溶融結合法とインクジェットのような 3D プリンティングシステムを組み合わせ、同時に一層ずつモデルを作ります。SLS プロセスで前述したように、最初のステップで粉末床溶融結合法に基づいて粉末床（プラスター、熱可塑性物質、セラミック、金属、樹脂、またはその他の金属粉末）を作成します。次のステップでは、インクジェットのようなプロセスで、粉末床に選択的に結合剤をプリンティングします。そして液体結合剤が瞬間的、または硬化用ライトなどにより硬化します。選択した材料に応じて、造形物の脱脂や焼結などの追加ステップが必要になることもあります。この方法の主な利点は、様々な材料が使用できる事です。ポリマーに加え、全ての金属、ガラス、セラミックス、および無機製品などの材料、さらに食品や薬品、あるいは繊維なども使用できます。

表 8: シリカと金属酸化物の代表的な機能

プリンティング材料	効果/機能	推奨製品
熱可塑性物質	流動助剤	AEROSIL®製品、AEROXIDE®製品、SIPERNAT®製品
熱可塑性エラストマー	帯電防止剤	
樹脂		
金属		
セラミック		
弾性樹脂	レオロジー制御 <sup>5</sup>	AEROSIL®製品、AEROXIDE®製品
樹脂	補強性	

<sup>5</sup> これらの材料/機能は、業界との関連性は低い

## シリカの適用事例

粉末の流動性改善については、すでに SLS プロセスの項で説明されています。添加剤の種類についての追加要件は、レオロジー制御のオプションによって異なります。液槽光重合および光造形法（stereolithography: SLA）の項で説明したように、望ましい効果は必ず流動化（シアシニング）です。

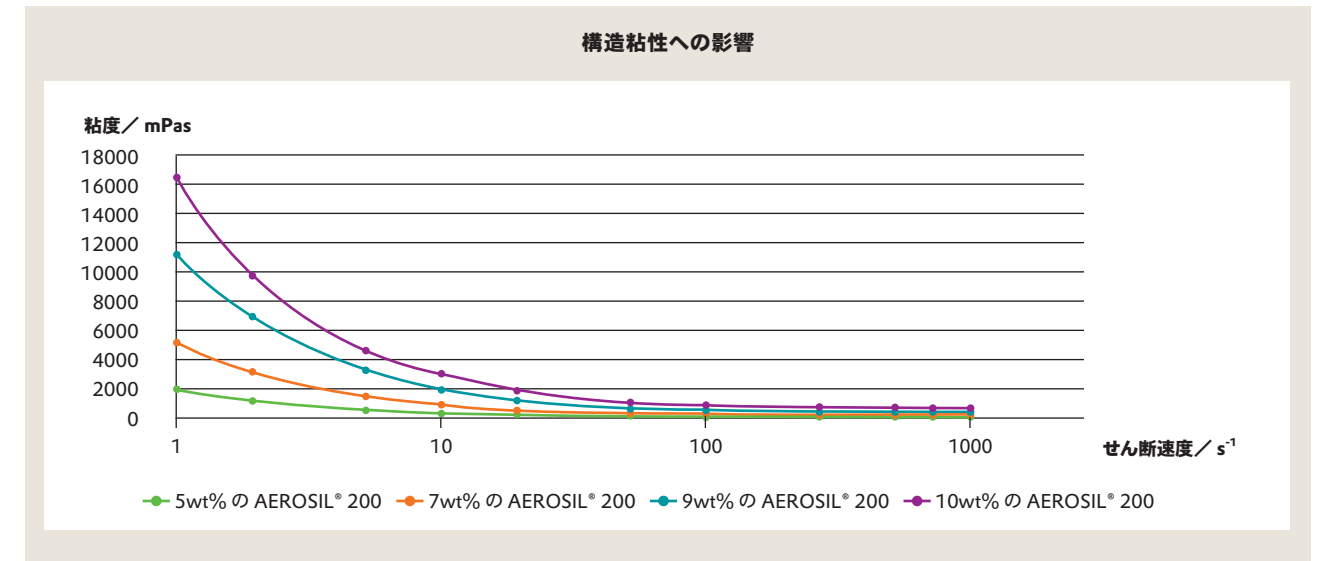


図 13: 単極性媒体に AEROSIL® 200 を添加した場合の構造粘性への影響

## 推奨製品

表 9: 推奨製品

ポリマーの種類	効果/機能	推奨製品
アクリレート	補強性	AEROSIL® R 9200. AEROSIL® R 972. AEROSIL® R 974. AEROSIL® R 976 S. AEROSIL® R 812. AEROSIL® RX 300
メタクリレート		AEROSIL® R 7200. AEROSIL® R 711. AEROSIL® RM 50
エポキシ		AEROSIL® R 8200. AEROSIL® R 812. AEROSIL® RX 300. AEROSIL® RX 50
ポリエステル		AEROSIL® R 202. AEROSIL® RY 200 S. AEROSIL® R 812. AEROSIL® RX 300
アクリレート	粘度制御 <sup>6</sup>	AEROSIL® R 972. AEROSIL® R 974. AEROSIL® R 976 S
メタクリレート		AEROSIL® R 711
エポキシ		AEROSIL® R 812. AEROSIL® RX 300
ポリエステル		AEROSIL® 200. AEROSIL® R 202. AEROSIL® RY 200 S
すべて	帯電制御	AEROXIDE® Alu C
	電気抵抗 <sup>6</sup>	AEROXIDE® C 805

<sup>6</sup> これらの材料/機能は、業界との関連性は低い

## 備考

最適なレオロジー特性を得るには、高いせん断力を必要とする場合があります。生産施設において無塵での粉末の取り扱いが困難な場合は、弊社ホームページ（www.aerosil.jp）で分散しやすい製品をご参照の上ご検討ください。疎水性添加剤は、極性の結合剤あるいは水性の結合剤のプリンティング材料への含浸を阻害することがあるため、結合剤のシステムを調整する必要があります。

## 日本アエロジル株式会社

本社  
〒163-0913  
東京都新宿区西新宿 2-3-1  
新宿モノリス 13 階  
TEL 03-3342-1789 (代)  
FAX 03-3342-1761 (代)  
[www.aerosil.jp](http://www.aerosil.jp)

四日市工場  
PD/AT Division  
〒510-0841  
三重県四日市市三田町 3 番  
地 TEL 059-345-5270  
FAX 059-347-2794

第1版 2019年10月

AEROSIL® および AEROXIDE® は、エボニック インダストリーズ AG または、そのいずれかの子会社の登録商標です。本情報およびすべての技術的提案は、現時点における当社の知識と経験に基づくものです。ただし、既存の第三者の知的財産権、とりわけ特許権に関するものも含めて、当社側の賠償責任またはその他の法的責任の存在を含意するものではありません。特に、製品特性について、明示・黙示の如何を問わず、法的な意味においていかなる保証も意図あるいは意味しません。

当社は、技術的進歩または継続的開発に応じて記載内容を変更する権利を有します。お客様は、受入れ製品について十分な検査と試験を実施する必要があります。ここに記載されている製品の性能は試験により検証する必要があり、お客様の責任において、適格な専門家による試験を実施してください。他社商標名への言及は推奨を意味するものでなく、また類似製品が使用できないことを含意するものではありません。