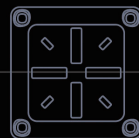
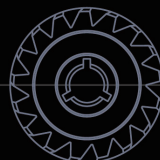
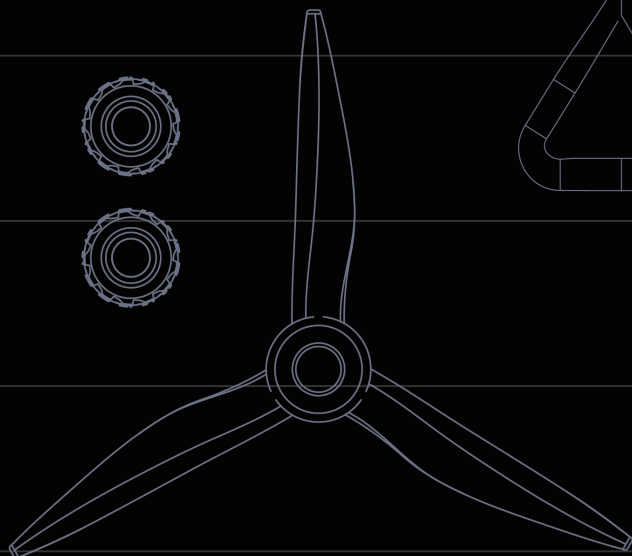
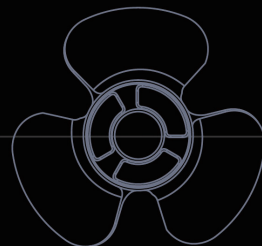
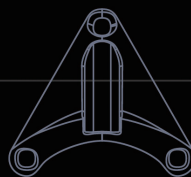
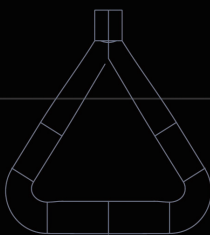
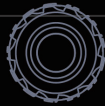
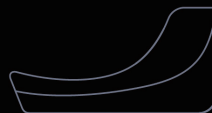
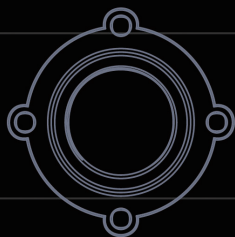
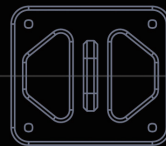
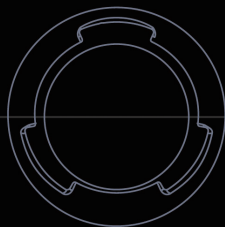
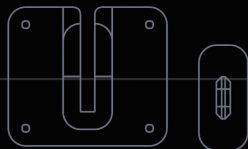
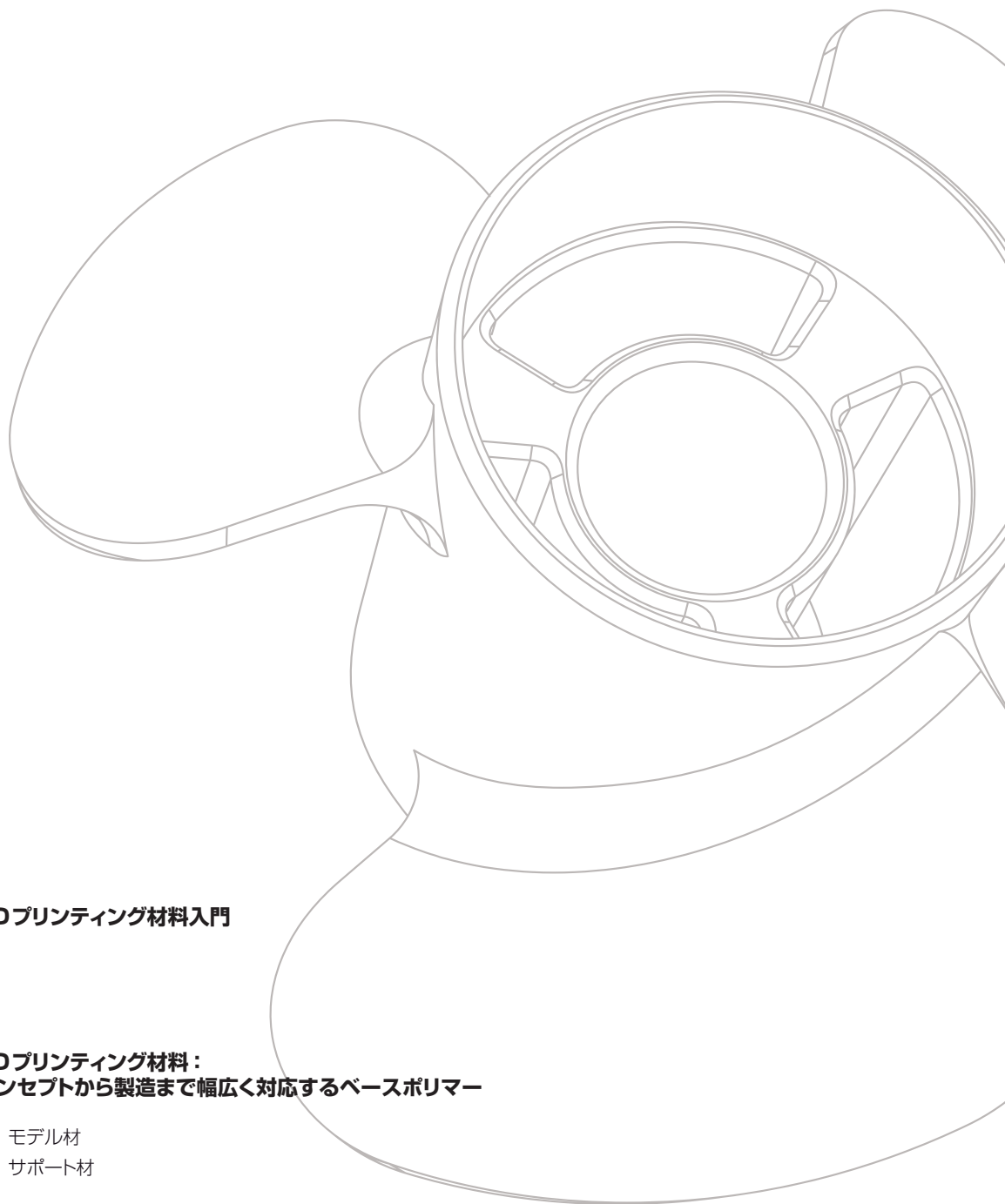


3Dプリンティング材料ガイド (2020年版)



目次



4 ページ

3Dプリンティング材料入門

5 ページ

**3Dプリンティング材料：
コンセプトから製造まで幅広く対応するベースポリマー**

- a. モデル材
- b. サポート材

17 ページ

複合材料：次世代の3Dプリンティング材料

19 ページ

3Dプリンタに応じた最適化：
MakerBot METHODが優れた材料造形を実現するための5つの要素

3Dプリンティング材料入門



1989年、世界初のFDM（熱溶解積層造形）3Dプリンタが発明され、製品のデザインと造形に関して無限の可能性が広がる時代の幕が開けました。FDM 3Dプリンタ用の最初の材料は、ワックスとプラスチックのミックス材料でした。その後30年をわたり、材料科学者たちはさまざまな新種の材料の開発を続けてきました。そして、このような新材料の使用を可能にすべく、3Dプリンティングのハードウェアとソフトウェアはつねに進化してきました。初期に開発された3Dプリンタや材料は、ほとんどの場合、10万ドル以上の価格帯で販売できる企業しか利用できませんでしたが、近年はイノベーションが進み、大手材料メーカーが続々とこの分野に参入するようになってきました。人気の拡大に伴い、3Dプリンタ向けに多様な新材料の開発、最適化が進められています。

そのような材料の中には見事に造形できるものもありますが、信頼性や造形品質、材料性能の点でまだ十分でないものもあります。また、手ごろな価格の材料もあれば、高価な材料もあります。このように多様な選択肢とバリエーションが存在しているため、3Dプリンティングにあまり慣れていないユーザーは、圧倒されてしまうかもしれません。そのため、わたしたちは、FDM 3Dプリンティング材料の詳細や、使用するタイミング、期待できる効果について説明するガイドを作成しました。

3Dプリンティング材料： コンセプトから製造まで幅広く対応するベースポリマー

各材料の特性や長所・短所に関する説明は役に立ちますが、そもそもどの材料がどのアプリケーションに適しているのかが明確でないと意味を持ちません。このセクションでは、いくつかのベースFDMポリマーを取り上げて、製品開発サイクル内でどのように利用するのが適切なかを整理します。以降では、初期コンセプトから製造ラインや製品パーツに至るまで、それぞれの段階に適した材料を順に説明していきます。

	コンセプト プロトタイプ作成	機能性 プロトタイプ作成	製造支援ツール	製品パーツ
ASA	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
ABS	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
ナイロン	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
PETG	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
高靱性材料	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
PLA	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
PC-ABS	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
PC-ABS FR	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
ナイロン カーボンファイバー	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓

モデル材

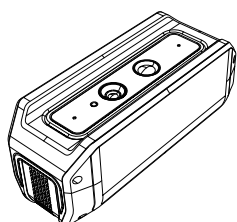
PLA

高速、容易、硬質



最適な用途：コンセプトプロトタイプ

PLA（ポリ乳酸）は、使いやすく、オフィスに適しており、溶解方式サポート材よりも造形速度や除去速度に優れたブレークアウェイ方式サポート材と親和性が高いため、初期コンセプトモデルに最適な材料です。PLAは、トウモロコシベースのプラスチックであり、産業プロセスにおいて生分解性を備えていると見なされています。PLAは、他のベースポリマーと比べて引張強度と引張弾性率に優れています（一般的に非常に基本的な材料と見なされているため、この特性について驚かれるかもしれません）。PLAの欠点の1つは、脆性（もろくて壊れやすいこと）です。損傷時に、他のポリマーであれば曲がるだけで済むところでも、ボロボロに破損することがあります。



部品：3Dレーザースキャナー

サポート材：ブレークアウェイ方式
サポート材

造形時間：23 時間 58 分

この 3Dレーザースキャナーのプロトタイプは、ブレークアウェイ方式サポート材とPLAを使用して造形されています。さまざまなバリエーションを迅速かつ低コストで造形できるため、コンセプト開発を促進することができます。

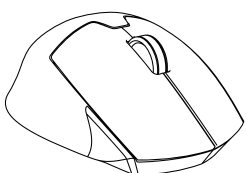
高靱性材料

高速、容易、耐久性



最適な用途：機能性プロトタイプ

高靱性材料は、比較的新しいカテゴリーの材料で、PLAをベースとしつつ、引張弾性率を強化することで耐衝撃性を高めています。使いやすく、オフィスに適しており、耐久性と可削性にも優れているため、中間段階のプロトタイプに最適です。高靱性材料は、破断伸度が高いため、優れた耐久性を発揮します。そのため、たとえば、非常に薄いリビングヒンジを造形した場合、破損するまでに何度も折り曲げることができます。高靱性材料は、耐久性には優れていますが、PLAやABSであれば実現可能な高品質の表面仕上げや精巧なディテールを実現できない場合があります。



部品：マウス
サポート材：PVA
造形時間：26 時間 31 分

このパソコン用マウスアセンブリのプロトタイプは、PVA溶解方式サポート材とMakerBot高靱性材料を使用して造形されています。PVAサポート材は水で洗い流すことができるため、表面仕上げを損なうことなく、複雑な形状が可能になります。

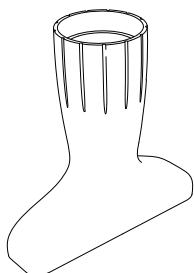
PETG

耐薬品性、耐久性



最適な用途：機能性プロトタイプ

PETG（グリコール変性ポリエチレンテレフタレート）は、優れた耐薬品性を備えており、液体用の容器やボトルに適した材料で、そのようなタイプの製品のプロトタイプ作成に最適です。さまざまな色で利用できる一方、PETGのグリコール添加により、曇りが除去され、優れた半透明性を実現できます。また、グリコールは、PETと比べて強度と耐熱性に優れています。容器以外にも、耐液性/耐薬品性により、工場から実験室まで、幅広い用途に役立ちます。



部品：CNC業務用掃除機の
ノズル

サポート材：PVA

造形時間：6時間41分

この掃除機用ノズルは、CNC加工機から廃棄材料を除去するための業務用掃除機のアタッチメントとして造形されました。PETGは、CNCクーラントに対する耐薬品性を備えているため、このアプリケーションに最適です。

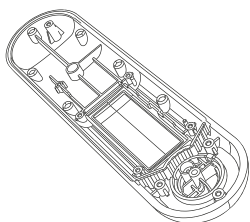
ABS

面品位、耐久性、耐熱性



最適な用途：機能性プロトタイプ、製造工具

ABS（アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン）は、優れた表面仕上げ、耐久性、耐熱性により、射出成型による消費財向けに広く利用されている材料です。そのため、消費財を射出成型する前のプロトタイプ作成にもよく使用されます。ABSを使用することで、最終完成品とほぼ同じ見た目、感触、機能を備えたプロトタイプを作成することができます。ABSは、耐久性に優れ、HDT（荷重たわみ温度）も高いため、ラボや工場での使用に適しています。



部品：熱電対温度計

サポート材：Stratasys® SR-30

造形時間：16 時間 16 分

このOXO製食肉用温度計は、最終的な射出成型部品と同じ材料(ABS)でプロトタイプを作成した高度なアセンブリです。

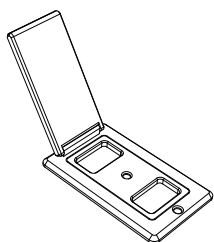
ASA

UV耐性、耐候性、耐久性



最適な用途：機能性プロトタイプ

ASA（アクリロニトリルスチレンアクリレート）は、ABSの品質に加えて、UV耐性と耐湿性を兼ね備えています。そのため、農業や輸送業、電力産業向けの製品など、日光や雨に長期間さらされる機器に最適です。このような産業の製品パーツでは、ASAを使用するのが一般的になっているため、ASAを使用して同じ部品のプロトタイプを作成することにより、テストエンジニアは、極端な気象条件下で製品がどのように耐え得るのかを正確に把握することができます。現場レベルでは、電力会社の作業員や農民にとって、壊れた機器の必要性に応じて交換部品を造形できるメリットがあります。



部品：コンセントカバー
サポート材：Stratasys® SR-30
造形時間：4 時間 29 分

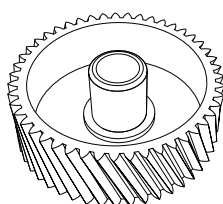
このコンセントカバーは、ASAで造形されたプロトタイプです。これにより、屋外のさまざまな要素にさらされる製品をテストすることができます。

ナイロン 耐摩耗性、強度



最適な用途：交換部品

ナイロンは、耐熱性と耐久性を兼ね備えており、平均以上の耐摩耗性を実現します。交換部品の保管にはコストがかかります。代わりに、CADファイルを保存し、必要に応じて部品を造形することで、スペースを節約しつつ、柔軟に対応できるようになります。たとえば、歯車はつねに酷使され、高い耐摩耗性が求められるため、ナイロンはこのタイプの部品に理想的な材料になります。



部品：コンベアギア
サポート材：PVA
造形時間：10 時間 19 分

このコンベアギアは、製造設備や配送センター用の交換部品として使用されます。

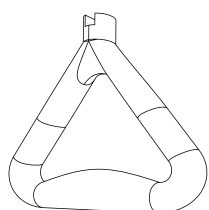
PC-ABS

耐久性、耐熱性



最適な用途：機能性プロトタイプ、製品パーツ

PC-ABSは、2つのポリマー（ポリカーボネートとABS）のミックス材料です。複合材料だと思われるかもしれませんが、3Dプリンティング材料における「複合材料」とは、伝統的に「固体粒子（ファイバー、ガラスビーズなど）によって強化されたポリマー」を指します。ABSを使用する予定の場合は、PC-ABSについてもチェックすることをおすすめします。PC-ABSは、ABSの長所となるさまざまな特性を備えつつ、通常のABSを超える強度と耐熱性も備えているため、自動車産業で幅広く利用されています。



部品：電車用つり革
サポート材：SR-30
造形時間：14 時間 1分

この電車用つり革は、最終製造段階で使用されるのと同じPC-ABS材料を使用したプロトタイプで、人間工学に基づくデザインになっています。

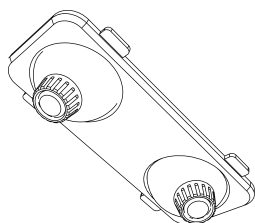
PC-ABS FR

耐久性、耐熱性、難燃性



最適な用途：製品パーツ

多くのテストアプリケーションや製品パーツアプリケーションにおいて、火災拡大の防止や減速が重要な要素となる場合があります。PC-ABSなどのベースポリマーを改良することで、強度と難燃性（FR）を兼ね備えた部品を3Dプリントできるようになります。難燃性は、自動車産業や鉄道産業、航空宇宙産業向けに製造される部品にとって重要な特性です。



部品：空調吹き出し口
サポート材：SR-30
造形時間：8時間46分

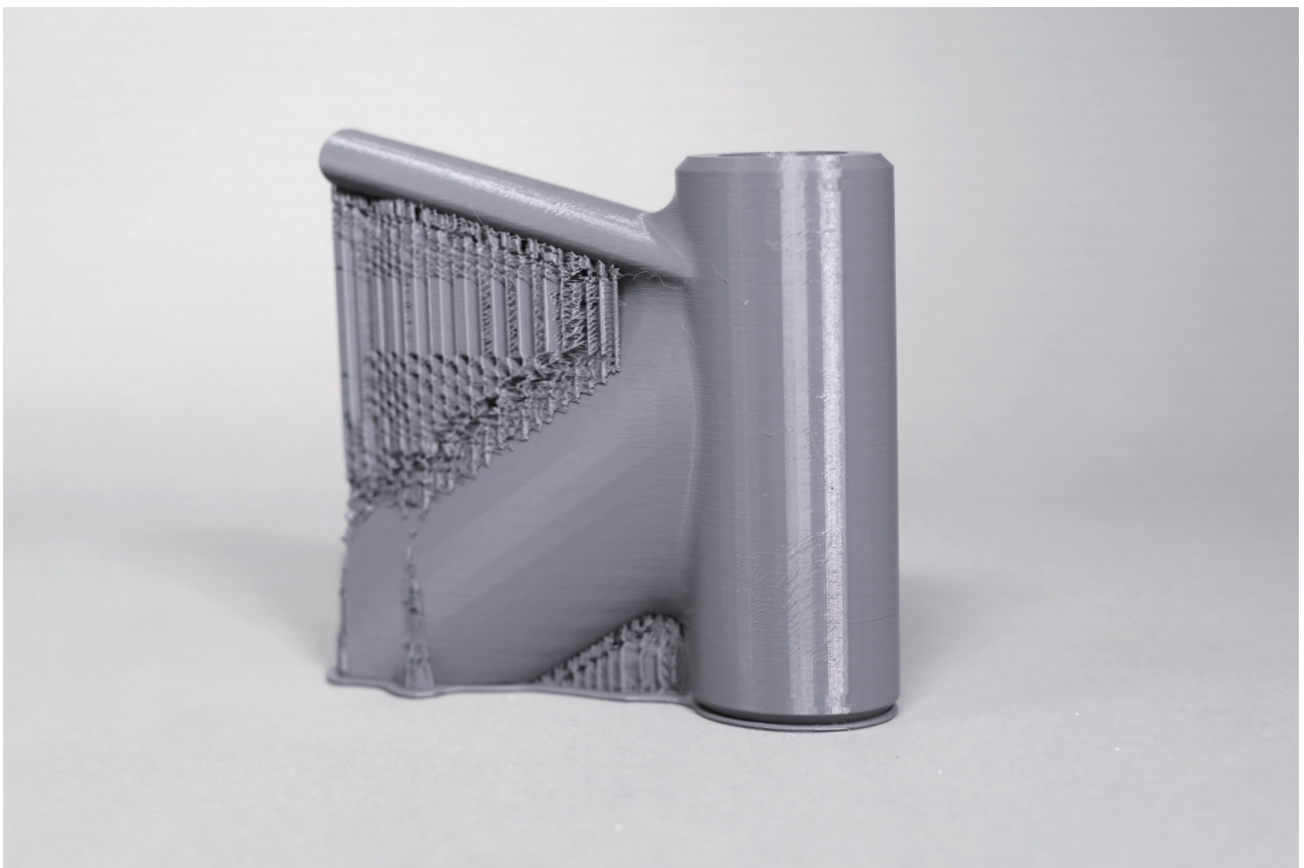
この空調ノズルはPC-ABS FRで造形されています。その物理的特性と難燃性により、電車やバス向けに最適です。

サポート材

高度な形状を可能にする

FDMやSLA、SLSなど、どのタイプの3Dプリンタを使用するとしても、宇宙空間で造形するのではなく、重力を考慮する必要があります。中身の詰まった立方体などを造形する場合であれば、各レイヤーの下に支えとなるレイヤーが存在するため、重力は問題にはなりません。しかし、モデルの一部が空中に浮かんでいて、その真下に構造が存在しないようなオブジェクトの場合はどうでしょうか。このような場合、除去可能なサポート材が役に立ちます。さまざまな優れたサポート材が存在しますが、使用しているFDM 3Dプリンタのタイプに応じて、利用できるオプションが異なります。

ブレイクアウェイ方式（モデル材を使用）

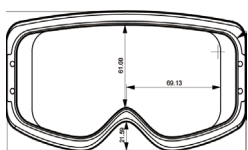


ブレイクアウェイ方式サポート材は、材料のタイプというよりも、ソフトウェアレベルの工夫であり、モデルの下部に生じる隙間を、スライシングプログラムによって、同じ材料で造形した除去可能な構造で埋めます。ブレイクアウェイ方式サポート材は、単一のエクストルーダーで、造形モデルと同じ材料を使用できるため人気があります（溶解方式サポート材の場合、2組目のエクストルーダーと材料が必要になります）。造形の品質は、いくつかの変数に依存します。1つ目として、スライシングアルゴリズムに依存します。優れたスライサーは、造形を十分にサポートするだけでなく、きれいにブレイクアウェイ方式で取り除くことができる継ぎ目を残します。2つ目の考慮事項は、使用する材料です。PLAのような硬質のプラスチックは、きれいに割れやすいため、この方式に最適です。一方、硬質でないプラスチックの場合、サポート材を取り外すときに曲がったり割けたりして、モデル部品に残余部分が残ることがあります。

PVA



PVA（ポリビニルアルコール）は、PLAやPETGなど、さまざまな低温モデル材と互換性のある水溶性リユールサポート材です。モデル材と一緒にPVAを造形するには、少なくとも2つのエクストルーダーが必要となるため、デュアル噴射機能を備えたプリンタが必要になります。PVAは水溶性であるため、非常にオフィスに適しています。部品を水中に置いておくと、数時間後にサポート材が溶解します。PVAのような溶解性材料を使用すると、溶剤（この場合は水）が部品内部の管や隙間の奥深くまで到達できるため、ブレイクアウェイ方式に比べてはるかに複雑な部品を造形することができます。また、ブレイクアウェイ方式サポート材を使用した場合によく見られる、造形物に生じる損傷を減らすことができます。



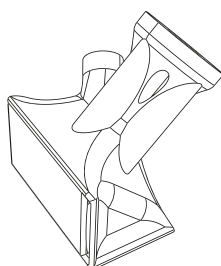
部品：スキーゴーグル
モデル材：高靱性材料
造形時間：25時間48分

この単気筒シリンダーブロックは、PVA水溶性サポート材とMakerBot高靱性材料で造形されています。この例のように、PVAサポート材は、部品自体の寸法精度や表面仕上げを損なうことなく、深い管を造形することができます。部品を一晩水中に置くと、この例の場合、適合性テストのためにボルト固定する準備が整ったきれいな部品を得ることができます。

SR-30



SR-30 は、ABSやASAといった高耐熱材料とシームレスに連携するように、ストラタシスが独自開発した材料です。焦点を絞って開発されているため、通常は扱いが難しい材料であっても、SR-30 を使用することで、PVAなどのサポート材では不可能な比類のない成果を得ることができます（たとえば、ABSの場合、PVAをサポート材として使用することは非常に困難です）。その一方で、SR-30 は、PVAと同様に溶解性材料であるため、サポート位置で優れた表面仕上げを維持しつつ、非常に複雑な形状を可能にします。ただし、PVAとは異なり、SR-30 は、効率的に溶解するためには、熱と特殊な溶剤を必要とします。SR-30 のユーザーは、追加の機器に投資する必要があり、ラボなど、制御された環境内で使用する必要があります。



部品：EOAロボット研磨ツール

モデル材：ABS

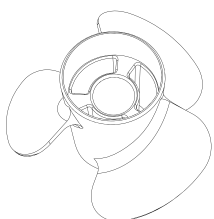
造形時間：66 時間 15 分

このロボット研磨ツールは、自動ハンド研磨向けに、Universal Robots UR10eアームに取り付けることができるアームエンドツールです。この部品は、Stratasys® SR-30 溶解方式サポート材を使用することで、内部空洞デザインが可能になりました。このデザインにより、削りくずを表面から、排気口に取り付けられた業務用掃除機のホースに送ることができます。

複合材料：次世代の3Dプリンティング材料

使用しているプリンタに適したベースポリマーの基本について把握しておくことは重要ですが、現在注目が集まっているのは、複合材料です。複合材料とは、ポリマーと固体粒子（ファイバー、ビーズなど）を組み合わせることで、特性を強化し、性能を高めている材料のことを指します。たとえば、[MakerBot LABS Experimental Extruder for METHOD](#)であれば、MakerBot製の主要なベースポリマーに加えて、幅広いサードパーティ製複合材料や各種先進的ポリマーを使用できます。すべての複合材料を網羅することは現実的ではないため、以下では、いくつかの例を取り上げて、複合材料がもたらす新しい可能性について示します。

カーボンファイバー + ベースポリマー



部品：3枚羽プロペラ
モデル材：SR-30
造形時間：13時間 34分

この3枚羽プロペラは、軽量プロファイルを維持しつつ、優れた引張強度特性により、非常に大きなRPMに耐えることができます。

カーボンファイバーは、つねに話題になる材料であり、話題になることにも正当な理由があります。カーボンファイバーを使用することで、軽量化を図りつつ、驚異的な強度を生み出すことができます。カーボンファイバーは、他のさまざまなポリマーと複合化できます。たとえば、ABSカーボンファイバーは、ABSの優れた表面仕上げと、カーボンファイバーの強度を両立させることができます。

NYLON 6 カーボンファイバー

Nylon 6カーボンファイバーは、他のカーボンファイバー複合材料と同様、強度と軽量性というメリットを備えています。ただし、Nylon 6の場合、他のカーボンファイバー複合材料と異なり、耐熱性も兼ね備えています。多くの一般的ベースポリマーに比べて、HDT（荷重たわみ温度）が大幅に高くなっています。MakerBotナイロンカーボンファイバーの場合、HDTはABSよりも100℃高く、通常のNylon 6よりも93℃高くなっています。

Nylon 6カーボンファイバーで造形したこのプロペラは、軽量プロファイルを維持しつつ、高RPMで回転する引張強度を備え、最大184℃の温度に耐えることができます。

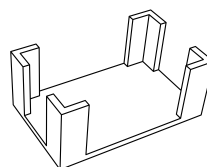
NYLON 12 カーボンファイバー

Nylon 12カーボンファイバーは、Nylon 6カーボンファイバーと同様、強度、剛性、軽量性というメリットを備えています。ただし、Nylon 6とは異なり、Nylon 12は耐吸湿性も優れているため、造形が容易で、後処理をしなくても造形部品の最終的な見た目をきれいに仕上げることができます。Nylon 6と比較した場合のNylon 12の欠点の1つは、HDTが低いことです。そのため、用途に応じて、何を重視するのかを判断する必要があります。

ESD



ESD（静電放電）とは、静電気に敏感なデバイスを保護するため、あるいは可燃性の液体や気体を封じ込めるために、静電気を低減する特性のことを指します。化学的性質の改良やカーボンブラックなどの固体粒子の追加により、PETGなどの3Dプリンティングベースポリマーに、ESD特性を付与することができます。このようなESD材料は、回路基板のテスト固定具やハウジングの造形に最適です。



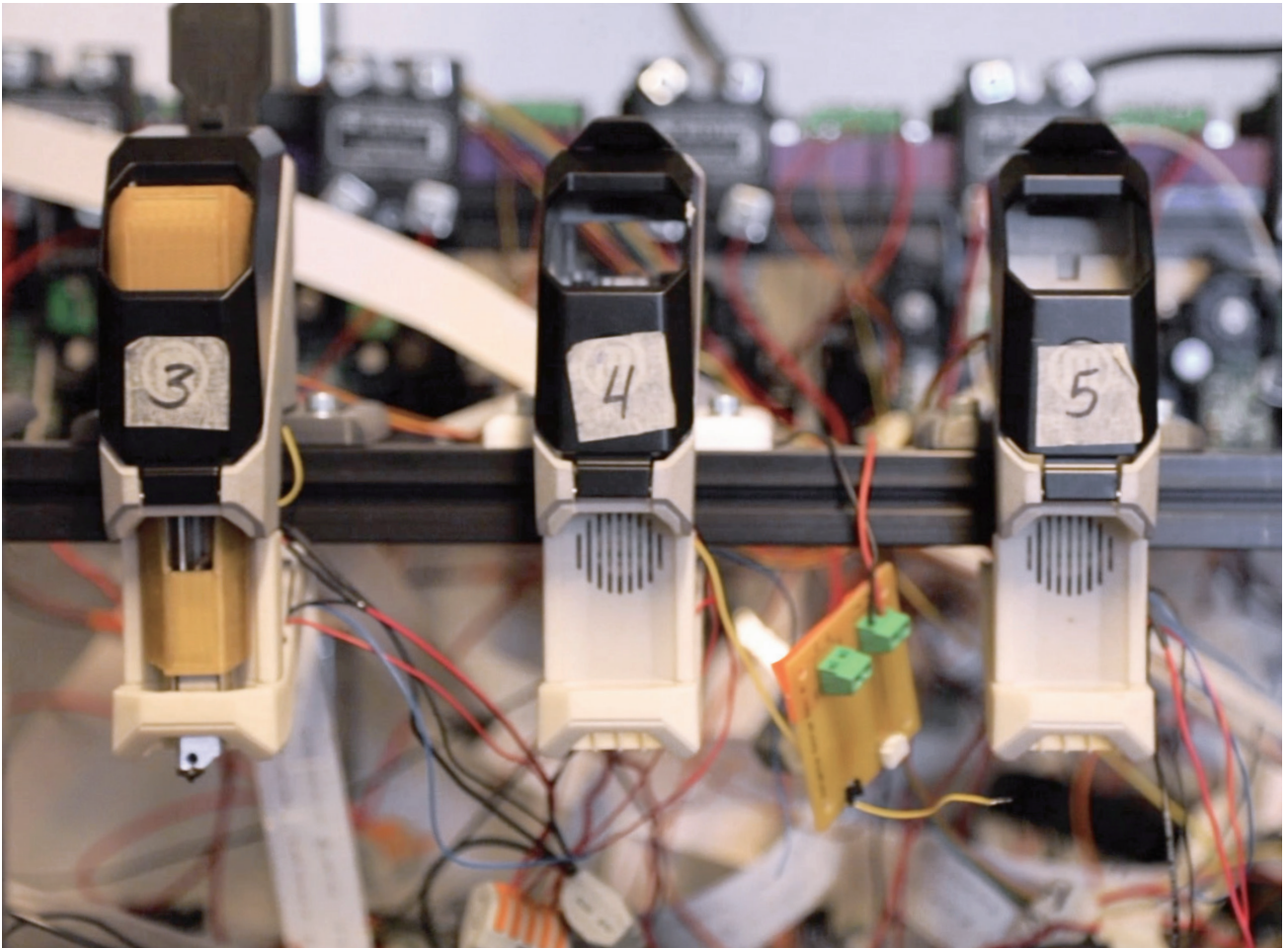
部品：電子基板用治具
モデル材：SR-30
造形時間：4時間32分

3Dプリンタに応じた最適化： MakerBot METHODが優れた材料造形を 実現するための5つの要素

FDM（別名FFF）は、3Dプリンタのカテゴリーの1つであり、必ずしもすべてのFDM 3Dプリンタが同一の仕様で開発されているわけではありません。FDMファミリ内でも、200ドルから20万ドルまで価格帯の範囲があります。最も基本的な3Dプリンティング技術は、1つのエクストルーダーと1つのガントリーを備えた造形プレートですが、さまざまな要素によって、造形品質や、材料の多様性、デザインの複雑さなどを高めることができます。このセクションでは、MakerBot METHODを使用して造形する際に、速度、寸法精度、信頼性をどのように組み合わせればよいのかを、産業プロセスと機能に焦点を当てて示します。以降では、初期開発から最終造形まで、時系列に沿って説明していきます。



1. テストと最適化



プリンタの最適化

METHODプラットフォーム向けに新しい材料を最適化することが決定されたら、MakerBotは通常、材料サプライヤーの協力により、サンプルと推奨設定を取得します。それに基づいて、MakerBotのソフトウェア開発チームとテストエンジニアリンググループが共同作業に取り組み、部品品質や、表面仕上げ、寸法精度、造形時間に関して最高の成果を実現できるスライシングプロファイルを策定、最適化します。材料のタイプによっては、このプロセスに数か月かかる場合があります。

高負荷テスト

最適化中は、数十台のプリンタを使用してABRテストを実施し、極めて難しい形状を造形しながら、設定の整合性を検証します。非常に過酷なテストであり、プリンタを限界まで酷使することで、ハードウェアと材料両方の限界を見つけ出し、ユーザーが新しい材料で造形する際に優れたエクスペリエンスを提供できるようにします。

2. 出荷とハンドリング



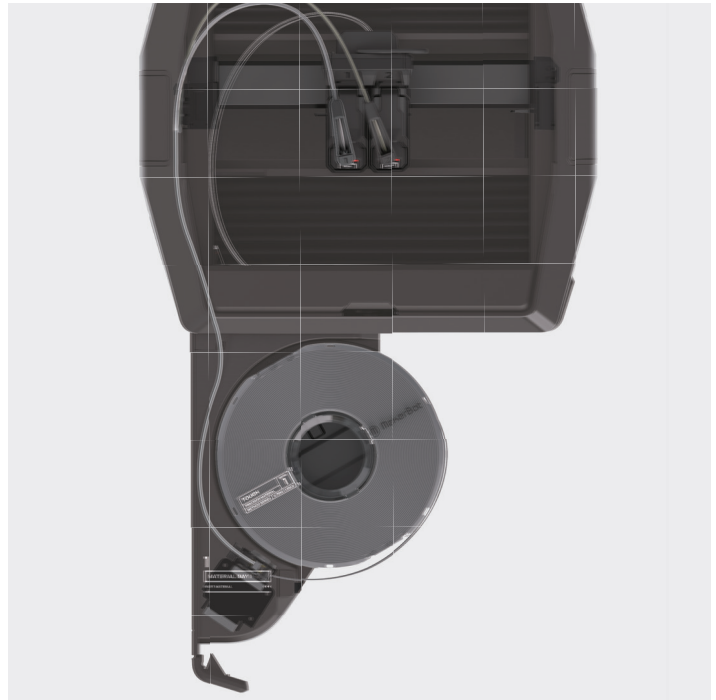
スマートスプール/マイラーバッグ

材料が製造されたら、スプールとして巻き上げて、袋に入れます。METHODは、スマートスプールシステムを採用しています。専用スプールにはセンサーが組み込まれており、材料ベイにセットすると、プリンタが自動的にそのセンサーを読み取ります。RFIDチップには、材料のタイプや、色、スプール内に残っている量などに関する情報が格納されています。この情報により、プリンタは材料のタイプに合わせて最適化された造形設定を使用できるため、ユーザーエクスペリエンスがさらに向上します。スプールは、再封可能なマイラーバッグに入れて出荷されます。この袋は、光や湿気を通さず、フィラメントが損傷しないように保護します。スプール内には、湿気のない状態を保つための乾燥剤も同梱されています。

3. セッティングと保存

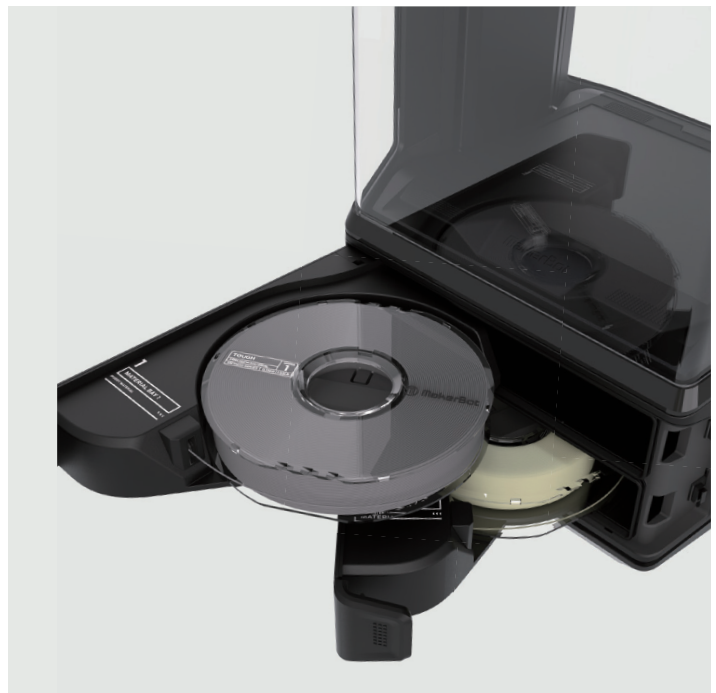
スマートアシスト材料ローダー

スプールを材料ベイの引き出しにセットしたら、必要な作業は、フィラメントの先端を材料スロットに挿入することだけです。プリンタがフィラメントの存在を認識し、フィラメントをルーティングチューブからエクストルーダーにセットする残りの作業を行います。このハンズフリープロセスは、ユーザーにとって便利であるだけでなく、キャリブレーション済みのエクストルーダーをユーザーが誤ってずらしてしまうのを防ぎます。



乾式密封材料ベイ

材料のセッティングが開始されたら、材料ベイの引き出しを閉じることができます。2つの乾式密封材料ベイは、外部環境に対して密封されています。この密封性と、スマートスプールの乾燥性カートリッジとの組み合わせにより、造形中や造形の合間も、材料は低湿度環境下で保管されることとなります。ベイ内のセンサーによってベイ内の湿度レベルを表示することが可能で、スマートスプール全体にわたって湿度レベルをトラッキングできます。ナイロンやPVAなどの材料を使用して造形する場合は、湿気からの保護がとくに重要です。どちらの材料も湿気を吸収しやすく、最終造形物に損傷をもたらす可能性があります。



4. 造形

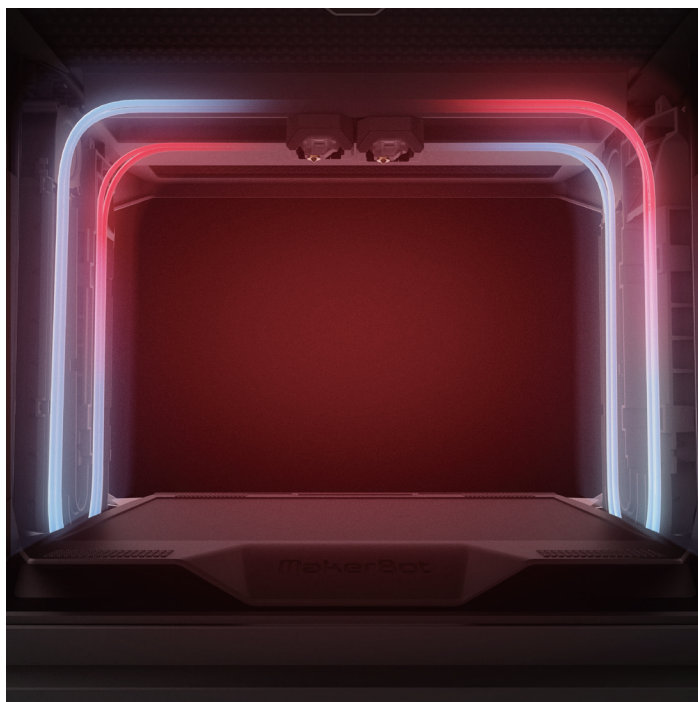
高性能エクストルーダー

METHODには2つのエクストルーダーがあります。1つはモデル材用で、もう1つはサポート材用です。2つのエクストルーダーには、材料を損傷しないように造形温度を正確に制御できるセンサースイートとチップセットが組み込まれています。このセンサースイートの中には、材料詰まりをアクティブに検出するセンサーや、フィラメントがなくなったときに自動停止するためのセンサーも含まれています。幅広い温度に対応するMETHODのエクストルーダーは、ABSやASAなどの高耐熱材料を扱うこともできます。また、アクティブ冷却機能をオンにすると、簡単に単一噴射の低温材料を造形することができます。

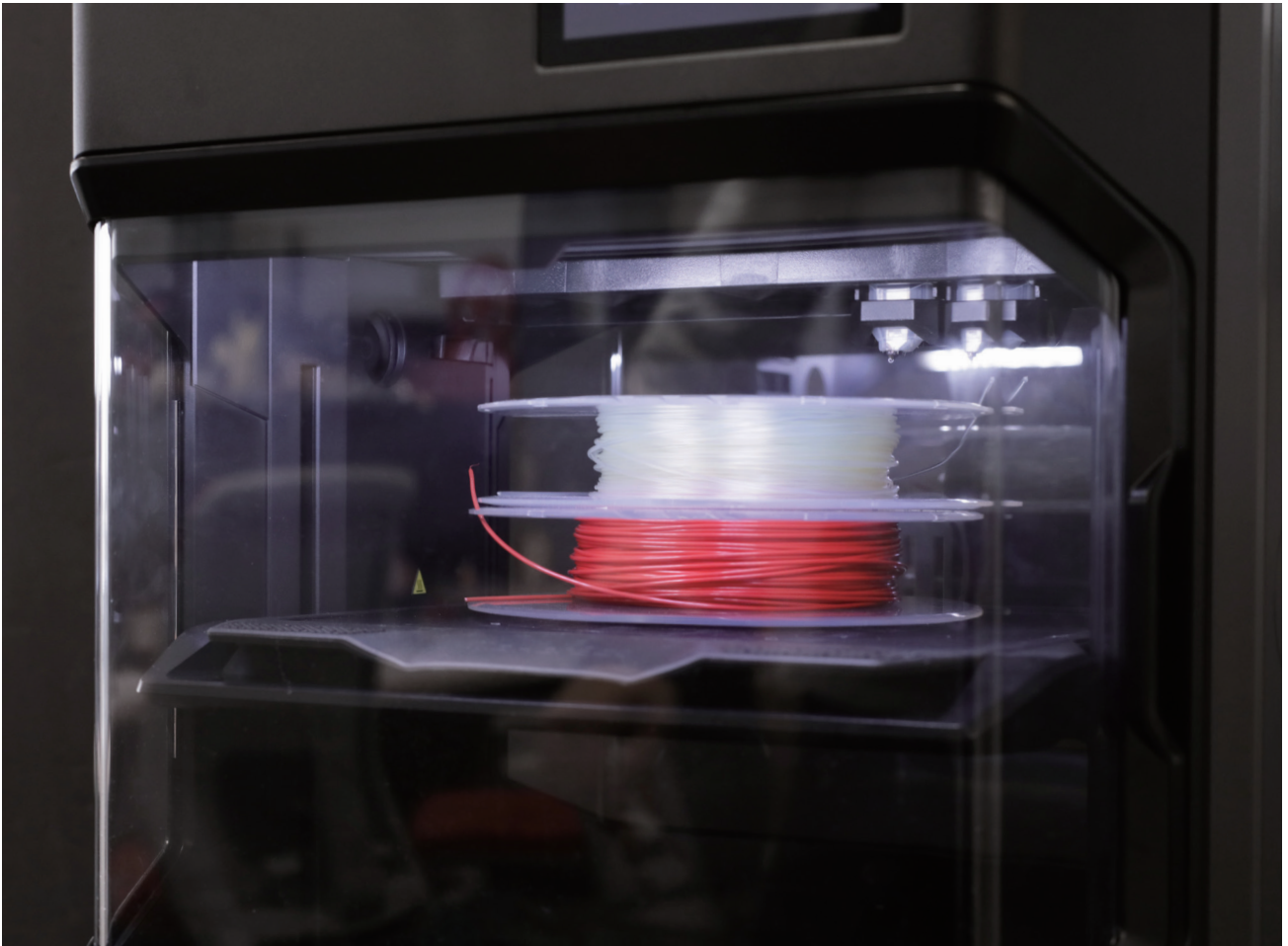


循環式加熱チャンバー

同じ価格帯の他の3DプリンタにはないMETHOD独自の注目機能として、循環式加熱造形チャンバーがあります。METHODは、プリンタの両側にある2つのアクティブ熱交換器を使用することで、材料に応じてチャンバー温度を40℃または100℃に温めます。プロセス全体を通じて一貫したチャンバー温度を構築することにより、METHODは、CADデザインの±0.2mm以内の造形部品寸法精度を実現します。また、加熱により、垂直レイヤーライン間の結合強度も高まるため、2つの軸だけでなく、3つの軸すべてで、優れた部品強度を実現できます。



5. 乾燥



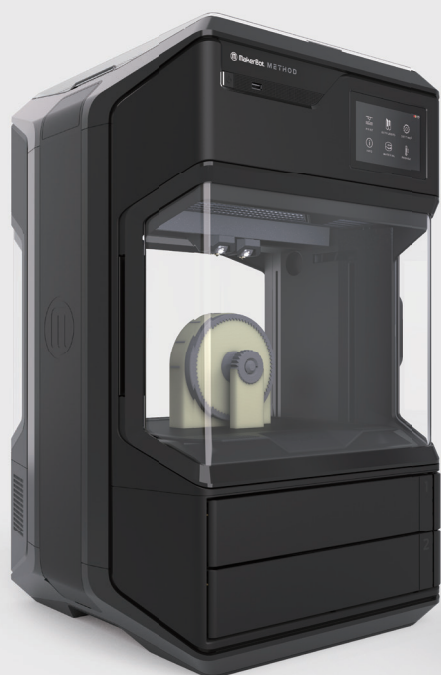
チャンバー材料乾燥

METHODに追加された新機能により、循環式加熱チャンバー内の熱を利用して、スプールを乾燥させることができます。この機能は、スプールを袋から取り出した後に長期間経過している場合や、スプールが古くて乾燥剤が飽和状態になっている場合に最適です。この機能を実行するには、タッチスクリーンを使用して、[Settings] > [Advanced]に移動し、[Dry Filament]を選択します。

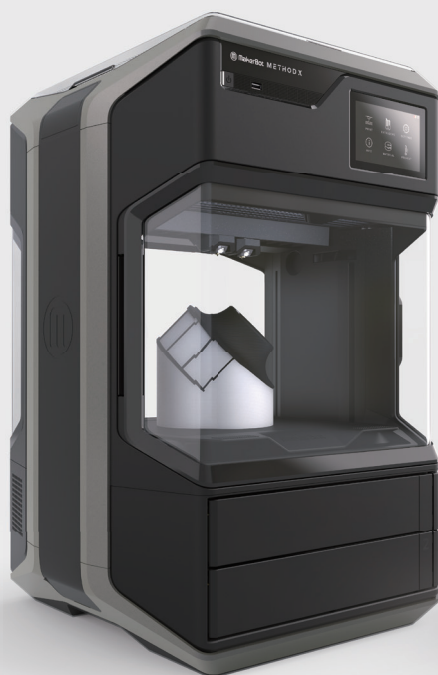


METHOD

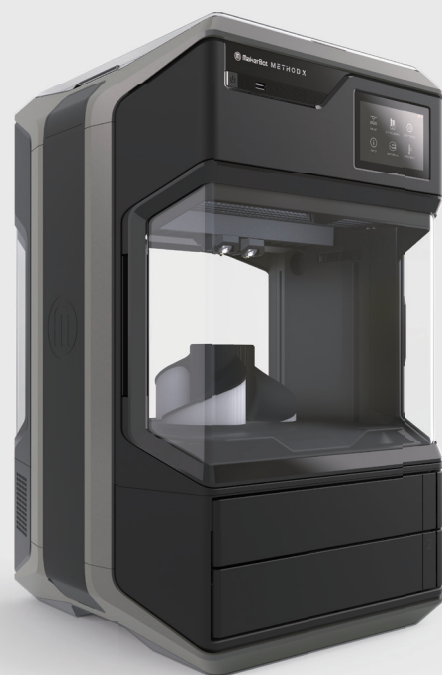
すべてのエンジニアのための産業用3Dプリンティング



METHOD



METHOD X



METHOD
CARBON FIBER EDITION

このガイドを活用してさまざまな材料を造形しましょう。
詳細については、METHODのウェブサイトをご覧ください。

[MAKERBOT.COM/METHOD/](https://www.makerbot.com/method/)



PLA



高靱性材料



PETG



ナイロン



PVA
サポート材



ASA



ABS



ナイロンカーボンファイバー



PC-ABS



SR30
サポート材

LABS



PETG - ESD

LABS



PETGカーボンファイバー

LABS



ABSカーボン





MAKERBOT.COM