



ホワイトペーパー

3Dプリントした金型を使った少量高速射出成形

本ホワイトペーパーは、光造形 (SLA) 方式の3Dプリント製金型による、射出成形工程のコスト削減とリードタイムの短縮方法やそのガイドラインを説明するものです。Multiplus、IPC、Novus Applications、Braskem、Holimakerによる5つのケーススタディを通じて、このハイブリッド製造プロセスでオンデマンドの金型製作を行い、熱可塑性部品の少量バッチを迅速に生産する方法が書かれています。

Contents

イントロダクション	3
射出成形.....	3
少量生産射出成形用金型の高速製作	4
方法	5
プロセスワークフロー.....	5
デザインガイドライン	6
3Dプリントに関するガイドライン.....	7
金型後処理とアセンブリガイドライン.....	8
射出ガイドライン.....	8
ケーススタディ	10
Multiplus社が、3日間で数百個の電子筐体用のPPとABS部品の射出成形を実現	10
IPCテクニカルセンターが、微細なテクスチャリングを施した数千のPP部品の注入を実現	14
Novus Applications社が、数百のネジ付きキャップと、Regid 10Kレジン3パーツ金型を射出成形	22
Braskem社が、1週間で数千の最終製品用マスクストラップを製造	27
Holimaker社が、デスクトップ射出成形エコシステムの活用により、数百のプロトタイプと試作部品を製造	31
結論	35

イントロダクション

射出成形

射出成形は、プラスチックの代表的な製造プロセスの1つです。極めて僅かな寸法公差にてパーツを大量生産する手法として広く活用されています。また、コスト効率と再現性に優れ、大きな規模で高品質なパーツを作ることが可能です。射出成形では、非常に低単価に1,000から100,000個以上のパーツを量産できます。射出成形による製作は非常に速く、成形機1台につき15秒から60秒で新たなパーツの成形を行えますが、これは、熱可塑性材料を型の中で高熱で溶かし、高圧でプレスする高速集中プロセスです。

こうした過酷な成形条件を強いるため、射出成形に使用するツールは昔から切削加工 (CNC) か、放電加工 (EDM) した金属製のものを使うのが一般的でした。但し、こうしたツールを製造するには、特殊な機械やハイエンドなソフトウェア、ならびに高度なスキルを持つ熟練工が必要なため、必然的高額な工業技法になってしまいます。その結果、金型の製造には通常、4~8週間を要し、成形する部品の形状や複雑さによって製作費も低額で\$2,000、高いものになると\$100,000以上もすることがあります。

少量の部品の場合、一般的な工具用金属から金型を製造するためにコスト、時間、特殊設備や熟練工の高度な技術が必要なため、従来の製造方法による、この規模での射出成形の実現は難しくなります。しかし、金属を切削加工して金型を作らずに済む代替手段があります。射出成形する試作品や少量生産用の型を3Dプリントすることで、高品質の試作品を繰り返し製作するための費用も時間も、機械加工する金型製作に比べて大幅に節減することができます。

射出成形用の型を低コストで短期間に製造できる3Dプリンタは、こうしたニーズに応える強力なソリューションとなります。デスクトップ型3Dプリンタを使えば、CNC等の専用装置を使用する必要なく、機械加工の時間も熟練工を採用する必要もなくなるため、今まで型の製作にこれまで費やしてきた時間を他の付加価値活動に使えるようになります。メーカーが3Dプリントを内製化できるようになると、作業スピードも業務の柔軟性も高まります。型を自社内で製作できるため、生産性の高い射出成形と組み合わせることにより一般的な熱可塑性材料で作る一連の製品を僅か数日で完成できるようになります。3Dプリンタの場合、設計を繰り返し見直せるようになるため、工作機械などのハード面に投資する前に、製品開発の柔軟性や品質の向上を図ることもできます。従来は製造が困難であった複雑な金型形状も実現可能となるため、設計者やエンジニアはより独創性を発揮できます。3Dプリントされた金型は、設計が進化したり故障した場合でも簡単に交換できます。

3Dプリントで作成する型を適切に活用すれば、このように多くのメリットを享受できますが、その一方で、幾つかの制約もあります。樹脂を3Dプリントして作成する金型には、機械加工を通じて製作する金型と同じ性能を期待することはできません。3Dプリントした樹脂製金型は、機械加工した金型よりも、寸法精度は多少劣ります。また、プラスチックの熱転写は金属よりも遅いため、冷却時間もその分長くなります。また、3Dプリントした金型は熱と圧力を加えると壊れやすいのも事実です。しかし、数百から数千個のパーツを短期間に製作しなければならないプロジェクトを抱えている企業は、3Dプリントした型を生産期間の短い射出成形ワークフローに使い続けています。最終製品用の材料を使用した機能プロトタイプ的设计や、パイロット生産中の部品の製造、または最終用途の部品の製造など、3Dプリント射出成形金型は、限られた数量の部品を生産する上で費用対効果の高い、迅速な方法です。



3Dプリント射出成形金型を使用して部品を製造する方法についてのビデオをご覧ください。

少量生産射出成形用金型の高速製作

光造形(SLA)方式の3Dプリント技術は、成形技法として非常に有効なものです。金型の表面形状はそのまま成形品に反映されるため、SLA光造形の特徴である平滑な表面と非常に高い造形精度、そして離型も簡単に行える点は大きなメリットとなります。SLA方式3Dプリントは、高密度かつ完全な等方性をもって化学結合されるため、異方性と共に積層痕の凹凸形状が造形物表面に残る熱溶解積層(FDM)方式では得られない高品質な金型製作が可能となります。Formlabs製品のようなデスクトップまたはベンチトップ型3Dプリンタの場合、造形もプリンタの操作もメンテナンスも簡単に行えるため、ワークフローをシンプルに保てます。

FormlabsのRigid 10Kレジン、より幅広い形状や射出成形工程にも対応できる、ガラス充填材料の工業グレードの材料です。Rigid 10Kレジン、荷重たわみ温度(HDT) 218°C@0.45MPa、引張弾性率10,000MPaという特性を備え、高温高圧下でも形状を維持し高精度のパーツを生産可能な、強度と硬度そして熱安定性に特に優れた成形材料です。

Rigid 10Kレジン、射出成形用の精巧な金型をプリントするための、Formlabsによる頼りになる材料です。このレポートでは、3つのケーススタディをご紹介します。フランスの産業技術センターである[IPC](#)は調査研究を実施し、数千の部品をプリントしました。委託製造業者の[Multiplus社](#)はこれを少量生産に使用し、製品開発会社の[Novus Applications社](#)は、1つのRigid 10Kレジン金型で数百の複雑なネジ付きキャップを射出しました。

High Tempレジン、金型用のRigid 10Kレジンの代替として検討できる材料です。このレジンの荷重たわみ温度は238°C @ 0.45 MPaで、Formlabsのレジンの中で最も高く、より高い成形温度への耐性があります。25ミクロンの積層ピッチでプリント可能なため、薄い壁や細部のプリントに適しています。ただし、High Tempレジンで作成した金型は、Rigid 10Kレジンで作成したものよりも脆く、圧力がかかるとすぐに壊れてしまいます。

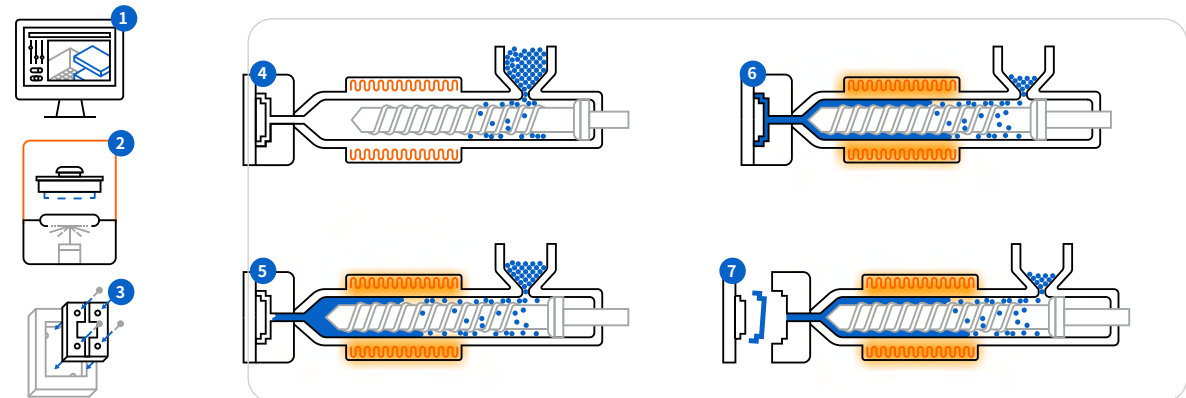
本書で取り上げるケーススタディの1つである石油化学業界の[Braskem社](#)では、High Tempレジンで作成した一つのインサート成形用の型を1,500回の射出サイクルで使い回しながら、マスクのストラップを生産しています。同社はこのインサートを3Dプリントし、射出成形機既存の汎用金型枠に組み入れて成形を行っています。最後となるフランスのスタートアップ [Holimaker社](#)のケーススタディでは、さまざまなレジンを使用して多数の部品を製造するためのデスクトップ型射出成形ワークフローを提案しています。

このホワイトペーパーではまず、射出成形用の型を3Dプリントで作成する際のワークフローの概要説明、そして設計ガイドラインとベストプラクティスに関する情報をご紹介します。次に、各企業が3Dプリントした金型を使ってどのように成功を収めたかについての5つのケーススタディをご紹介します。

方法

プロセスワークフロー

3Dプリントした金型を使った射出成形プロセス



- ① 設計と金型 ② 金型の3Dプリント ③ 型アセンブリ ④ 型締め ⑤ 射出 ⑥ 冷却 ⑦ 離型

3Dプリントした射出成形用の型を使用する際に、考慮すべき点がいくつかあります。

- 型の寸法精度: 3Dプリントした樹脂製金型は、機械加工した金型ほど寸法精度が高くない場合があることを考慮に入れておくことが重要です。ただし、サイズのばらつきを減らすために、3Dプリントした金型を後処理(研磨または機械加工)することは可能です。
- 圧力と熱による金型の破損またはひび割れ: 3Dプリントされた金型は通常、金属金型よりも寿命が短いため、少量生産に向いています。
- サイクル時間: プラスチックの熱転写が遅いため、機械加工した金型よりも冷却時間が長く掛かります。圧縮空気を使用するなどの冷却方法は、3Dプリントされた金型のサイクル時間の短縮に役立ちます。
- 離型工程:
 - パーツが型に接着すると、取り出す時に型が劣化する恐れがあります。離型剤を使ってこの工程の作業を容易にすることもできます。
 - フラッシングが発生し、離型の作業を遅らせる原因になることがあります。この現象は、射出中に材料が入り過ぎた型の中から溢れ出るオーバーフィルの状態になるか、分離面が完全な平面になっていない時に起こります。

これらの問題は、射出圧力の降下、CADファイルの変更、または離型プロセスの調整により軽減できます。作業の成否は、この3つのパラメータを適切に調整できるかどうか大きく左右されます。

また、射出成形機の種類が変わっても射出成形のプロセス自体が大きく変わることはありません。デスクトップマシンの[Micromolder](#)や油圧マシン[Babyplast 10/12](#)などの自動化された小規模射出成形設備は、小型部品の製造に適したソリューションです。限られた予算の中で射出成形をこれから始めることを検討されている場合は、[Holipress](#) または [Galomb Model-B100](#) といったベンチトップ型の手動式射出成形機が有望な選択肢となります。Formlabsのお客様の中には、[Minijector](#)、[Morgan](#)や[APSX](#)といった推奨システムを活用されている場合もあります。

アクリロニトリル ブタジエン スチレン (ABS)、アクリロニトリル スチレン アクリレート (ASA)、ポリアミド (PA)、ポリカーボネート (PC)、ポリエチレン (PE)、ポリオキシメチレン (POM)、ポリプロピレン (PP)、熱可塑性エラストマー (TPE) または熱可塑性ポリウレタン (TPU) など、3Dプリント金型を使用して、さまざまな熱可塑性樹脂を射出できます。成形材料の粘度が低いと、射出圧力もその分低く設定できるため、金型の寿命が長くなります。次の点もご考慮ください:

- PP、PEやTPEは、数百サイクルで簡単に処理できます。
- 一方、ナイロン等のポリアミド (PA) またはポリカーボネート (PC) はより加工が難しく、それほど多くの射出回数をこなすことはできません。
- TPU は、3D プリントされた型に付着する可能性があるため、処理が困難です。離型剤を使用すると、金型から部品を分離しやすくなります。

Formlabs製3Dプリンタで製作した射出成形用の金型は、様々な圧力や温度、材料で検証され、小型から大型の様々な射出成形機での使用に耐えることが実証されています。当社の[インフォメーションシート](#)で、さまざまなユーザーが使用するプロセス条件をご覧ください。射出成形プロセスの複雑さは、その成形品と金型の形状がどれだけ複雑かによりほぼ決まります。デザインとワークフローのガイドラインを確認しましょう。

デザインガイドライン

3Dプリントする射出成形用の型を設計する際には、製造業界で適用される一般的な設計原則の順守が必要です。Formlabsでは、3〜5度の抜き勾配の付与、成形する部品の壁の厚みを均等化、端への丸み付けなど、[積層造形用の設計](#)ならびに一般的な[射出成形用の型](#)の設計に関する各種ルールに従うことを推奨しています。3Dプリント金型には、サイドアクション、インサート、エジクタピンなど、金属金型と同じコンポーネントを組み込むことができます。SLAプリントでは、CADモデルに細かいテクスチャを組み込むこともできます。ここでは、ユーザーや専門家から寄せられた樹脂型を3Dプリントする際に役立つアドバイスをご紹介します。

寸法精度を最適化するには:

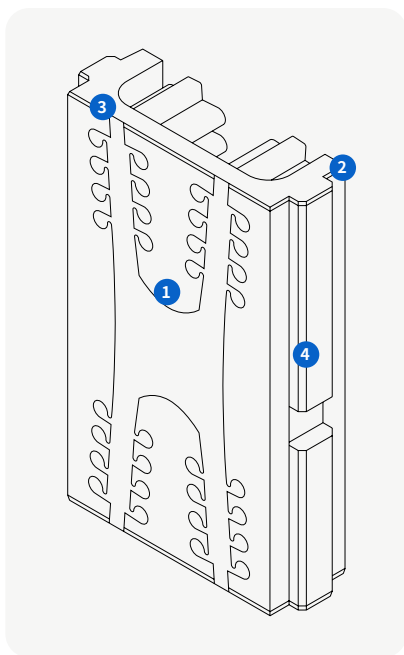
- 金型の取り代(最小0.5 mm)を考慮し、サイズを調整するための後処理を行います。
- 型を一度プリントしてみると、どの程度寸法が異なるのか把握できます。そしてその情報を型のCADモデルに反映させます。

型の使用可能期間を延ばすには:

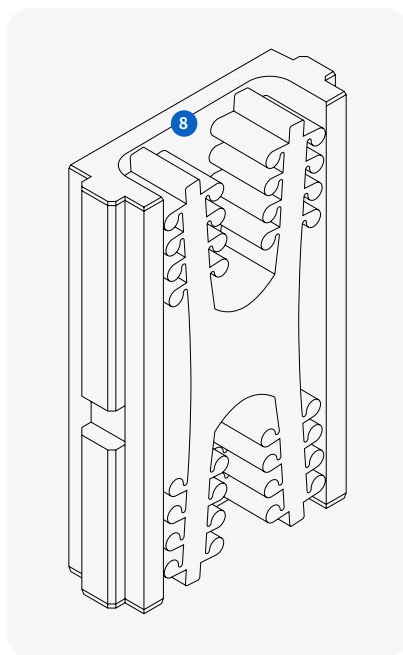
1. 間口を広めに取り、キャビティ内に加わる圧力を低減する。
2. 可能であれば、型の片側を平面にし、もう一方の側に起伏のある模様を付けるように設計します。そうすることで、型締め時に発生するズレやフラッシングのリスクを最小限に抑えることができます。
3. 空洞部の端から型の端に掛けて、大きな通気口(奥行0.05mm)を設け、空気が外に抜け出しやすくします。これにより金型内への流れが改善し、圧力を低減してゲート部のバリ発生を抑え、射出時間の短縮につながります。
4. 表面の厚みを薄肉構造にするのを避けます。これは、厚みが1〜2mmを下回ると熱で変形するリスクがあるためです。0.5mmより小さな凹面の特徴がはっきり残らない可能性があります。一方、0.1mmより小さな凸面の特徴は折れてしまう可能性が高いものです。
5. 必要に応じて、冷却管を組み込みます。樹脂製パーツは金属パーツよりも熱伝導が遅いため、設計時に制御システムを組み込んででもそれほど冷却効果は上がりません。ただし、短いサイクルタイムで使用される大型金型の場合、冷却管は金型温度の確認に役立ちます。

プリントを最適化するには:

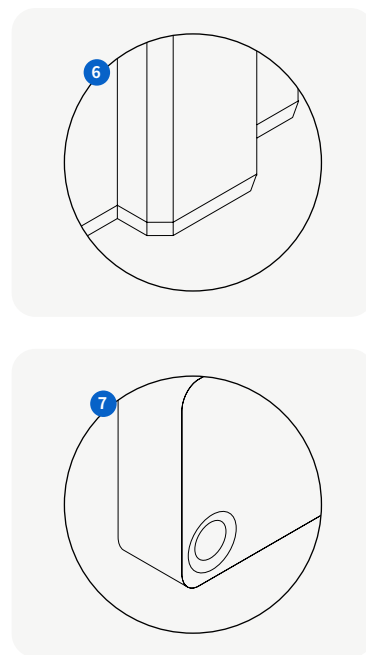
6. 面取り用の溝を設けて、造形した金型をビルドプラットフォームから取り外しやすくしておきます。
7. コーナーに、アセンブリ機能またはセンタリングピンを作成します。
8. 金型背面の設計を調整し、材料消費量を最小限に抑える:キャビティ支持部以外の断面をできる限り小さくします。これによって材料費を最小化でき、たわみや反りの発生リスクを低減できます。



金型の表



型の裏



3Dプリントに関するガイドライン

適切なレジンを選択

射出成形用の型は、締め付け圧力、射出圧力、射出温度、そして型抜きに使用する冷却剤または離型剤に耐えられなければなりません。Formlabsでは、このような要件をすべて満たし、少量生産用のアルミ製金型の代用品として使える金型用の材料を幅広く提供しています。

- **Rigid 10Kレジン**の強度、剛性と耐熱性の組み合わせは、**射出成形用の型に打ってつけの特性です**。これは、218°C @ 0.45 MPa の荷重たわみ温度と 10,000 MPa の引張弾性率を備えた、工業用グレードの高度なガラス充填材料です。50 または 100 ミクロンの積層ピッチでプリントします。[Formlabsのプリント手順に従い](#)、パーツをIPAで10分間2回洗浄し、圧縮空気がある場合には乾燥させ、70°Cで60分間型を二次硬化させます。必要に応じて、食品向けではないオープンで90°Cの部品を125分間加熱して荷重たわみ温度を高めます。Rigid 10Kレジンプリントはミネラルオイルで拭いて余分な粉末を取り除き、メディアをブラストして表面品質と機械的特性を向上させることができます。
- **High Tempレジン**は、金型用のRigid 10Kレジンの**代替として検討できる材料**です。このレジンの荷重たわみ温度は 238°C @ 0.45 MPa でFormlabs のレジンの中で最も高く、高い成形温度に耐えることができます。積層ピッチ 25ミクロンでプリントするため、薄い壁や細部のプリントに適しています。ただし、HighTempレジンで作成したプリントは、Rigid 10Kレジンで作成したものよりも脆く、圧力がかかるとすぐに壊れてしまいます。[Formlabsのプリント手順に従い](#)、IPAで6分間洗浄し、可能であれば圧縮空気乾燥させ、80°Cで120分間二次硬化させてください。必要に応じて、食品向けではないオープンで160°C のパーツを3時間加熱して、荷重たわみ温度を高めます。
- **Grey Proレジン**は3つ目のオプションであり、デスクトップ射出成形などの少量の部品にのみ適しています。圧力と温度が低く、成形部品の寸法精度がそれほど重要でない場合に使用してください。Grey Proレジンで作られた型は壊れる前に曲がるため、金型を使用するにつれ時間の経過とともに精度が低下します。[Formlabsのプリント手順に従い](#)、IPAで15分間洗浄し、80°Cで15分間二次硬化させてください。

下記の表に、各レジンが同じ条件下でどのような性能を発揮するかを星の数で示しています。数が多い方が性能が高いことを意味します。

選定基準	RIGID 10Kレジン	HIGH TEMプレジン	GREY PROレジン
成形温度と圧力が高い	● ● ●	● ● ●	●
サイクル数が多い	● ● ●	●	●
薄壁	● ●	● ● ●	●
レジンコストの削減	●	● ●	● ● ●

プリント準備

- [Formlabsのプリント方向ガイドに従い](#)、成形面のサポートを避けてください。形状により可能な場合は、反りを減らすために、金型をビルドプラットフォームのエッジに直接プリントします。サポートを使わない場合、プリント時間が短くなり、作業量もレジンの消費量も少なくなります。オーバーハングを最小限に抑えられるベース面を選択します。
- 可能であれば、型は両半分ともビルド方向に沿ってプリントしてください。その方が、サイズの変化で生じる寸法誤差を抑え、寸法の一貫性と分割線の品質を高められます。
- 垂れ下がるコア部分（特に直径が小さいコア部分）はすべてサポート材で支えるようにします。
- 積層ピッチは低めの設定をお勧めします。低めの積層ピッチに設定しておくことで、表面が滑らかにプリントされるため、プラスチックを型から離しやすくなります。High Tempレジンの場合は、通常50ミクロン、非常にディテールの凝ったモデルであれば、25ミクロンに積層ピッチを設定するようにしてください。それによっても、寸法精度が向上します。
- 破損の場合に備えて、複数のコアをプリントします。新しいサイクルをすぐに開始できるように入れ替え可能なスタックを用意しておけば、新しいサイクルを作動させながら既にサイクルが完了している方の冷却を行うことができ、熱伝導率が低いプラスチック金型の冷却の効率化が図れます。

金型後処理とアセンブリガイドライン

- 重要な寸法、特に直径と外面を満たすようにプリントされた金型に仕上げを施します。デスクトップ型のフライス加工、ドリル加工や手で研磨をしておくとな型の面をより正確に合わせやすくなり、フラッシングを回避できるようになります。
- プリントした型は金属のフレーム内に収めるか、インサート成形用の形をプリントして、外側を機械加工してサポート材が下向きの圧力と射出ノズルの熱に耐えられるようにします。一般的なアルミフレームであれば、どの射出成形機メーカーからでも容易に入手できます。また、[Master Unit Die Quick-Change](#)という金属製のモジュラーモールドベースシステムやそれに類似するソリューションも、挿入成形用の型の入れ替えや交換に掛かるスピードを早めるための選択肢として有効です。
- 破損のリスクを示す薄い張り出し部品に金属インサートを備えた3Dプリントコアを使用するなど、他のハイブリッド構成も検討できます。
- 型の切削や組み立て作業は、3Dプリントしたパーツが壊れないよう慎重に行う必要があります。

射出ガイドライン

- クランプ力を下げます。
- 特に最初は、射出圧力と速度を低く保ってください。必要に応じて、注入パラメータを徐々に増やしてください。

- 理想としては、ツール温度を60°C未満に維持します。冷却は次の方法で加速できます：
 - 外気で金型を冷却します。
 - 圧縮空気を当て、金型を冷却します。
 - 設計に冷却管を組み込みます。
- 技術的な難度の高い熱可塑性プラスチックを扱う際には、離型剤の使用をお勧めします。離型剤は容易に入手可能です。Grey Proレジン、High TempレジンとRigid 10Kレジンには、シリコンの離型剤が特に有効です。Novus Applications社は [Slide社](#)、Braskem社は [Sprayon社](#)が発売している食品グレードのMR303シリコン離型剤をそれぞれ使用しています。

ケーススタディ

このセクションでは、Multiplus社、IPC、Novus Applications社、Braskem社、Holimaker社のケーススタディをご紹介します。

Multiplus社が、3日間で数百個の電子筐体用のPPとABS部品の射出成形を実現

このケースでは、深圳に本拠を置く委託製造業者であるMultiplus社が、Rigid 10Kレジンでプリントされた金型を使用して、PP、ABS、PC-ABSとPC材料で部品を製造する方法をご紹介します。



背景と課題

2001年に世界貿易機関(WTO)に加盟後数年で、中国は急速に生産量で世界最大の製造業者となりました。この製造能力の多くは、深圳を含む広東省南部の9つの都市グループからなる珠江デルタ地域に位置しています。2020年には、この地域は中国の貿易額の約3分の1を占めていました。

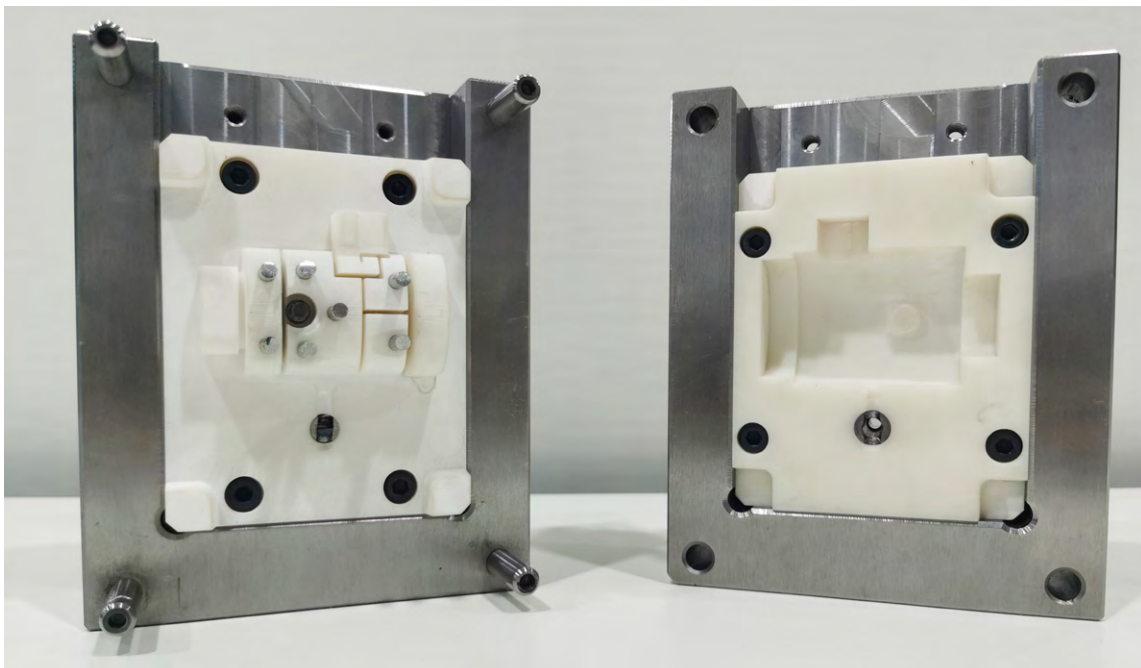
この急速な成長に後押しされて、多くの小さな町工場が国際企業へと成長を遂げています。2005年に深圳に設立されたMultiplus社は、マイクロ射出成形工場としてスタートし、プラスチック製品の大小、シングルショットまたはマルチショット(2つ以上の色または材料が、1つの金型に同時に射出成形される)の設計から製造までを網羅するソリューションプロバイダーに、急速に成長しました。現在Multiplus社は、フォーチュン500企業を含む年間250社を超えるクライアントにサービスを提供しており、その中には小規模なバッチ生産を必要とする企業も存在します。

「現在は業務の大半を占めるものではないものの、少量のバッチ生産の要求がより高まっています。設計および機能の検証用のものもありますが、最終製品用のものが増えてきています。ますます多くの企業が市場を試してみたいと考えているため、これは理にかなっています」とMultiplus社のCEOである、Kevin Li氏は述べています。

3Dプリント工程

数年前、Multiplus社は3Dプリントを採用し、それ以来何台かの3Dプリンターを購入してきました。これは、主に通信モデルと設計検証用の部品をさまざまな材料でプリントするためです。少量生産の需要が高まるにつれ、Multiplus社は3Dプリントに目を向け、さまざまな材料を調査して、少量の注文で安価なプラスチック金型を生産するための費用対効果の高い方法を模索していました。Formlabsの3Dプリンターを使用して少量の射出成形金型を製造することで、アルミニウムの金型を切削する場合に比べてコスト、労力、時間が削減され、Babyplast産業用射出成形機と合わせてシームレスに使用できます。

Multiplus社がテストした材料の1つがFormlabs Rigid 10Kレジンです。これは非常に硬く、強度が高く、射出成形金型に必要な特性である耐熱性と耐薬品性を備えたガラス充填樹脂です。さらに、Formlabs SLA 3D プリンターでRigid 10Kレジンを使ってプリントされたパーツは、滑らかなつや消し仕上げで、射出成形されたパーツの表面がきれいな仕上がりとなります。

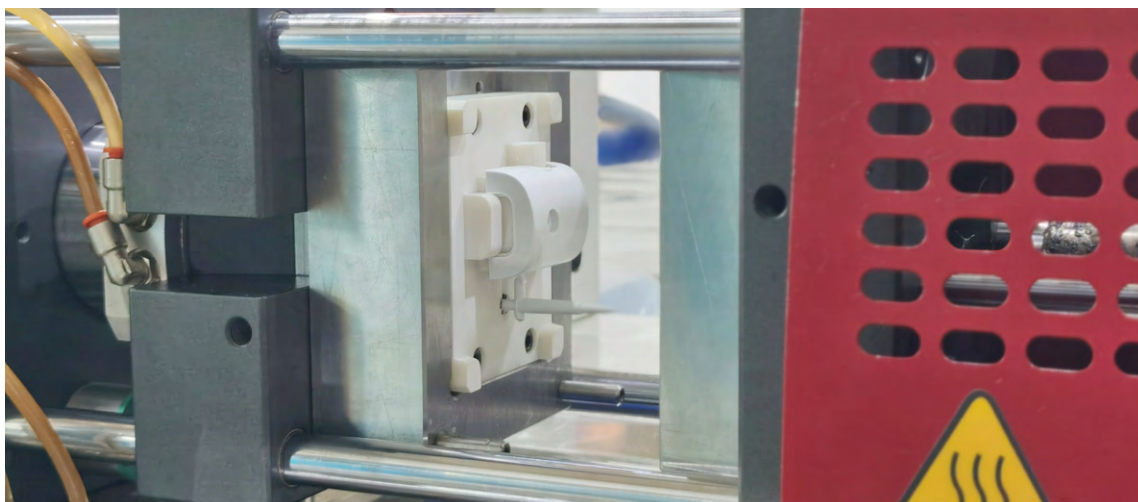


Rigid 10Kレジン金型のコアとメタルモールドシェルを組み上げたものです。

「射出成形プロセス中に繰り返される圧力、加熱、冷却に耐えられる3Dプリント材料は多くありません。当社の経験では、高温に耐えるとされる材料の場合、プリントされた金型は10～20回の射出サイクルには耐え得る場合があるものの、その後すぐにクラックが発生したり、品質が低下して完成品が望ましくないものになる場合があります。Rigid 10Kレジン金型を使用して製造した最初のバッチでは、100個の部品を問題なく製造できました」と、Multiplus社の射出成形部門マネージャーであるLin Wei氏は述べています。

成形工程

Multiplus社は、さまざまな圧力、温度、また材料の下で、Babyplast 10/12 Standard マシンで3Dプリントされた射出成形金型を使用しています。テストされた部品は、いくつかの小さな機能を含む家電製品の制御ボックス筐体でした。



Multiplus社は成形にBabyplast 10/12 Standardマシンを使用しました。

これらのテストから、180°Cで注入されたPPがかなり加工しやすいことを確認しました。Multiplus社は、品質が高く、表面が滑らかな射出成形部品を得ることができたのです。プリントされた金型は100回の射出を実行した後も、まだ良好な状態を保っていました。同様に、ABSは金型を損傷することなく、220°Cで60回の射出処理を行いました。Multiplus社は、生産スケジュールが厳しいために、金型が破損するまでのテストを行いませんでしたが、PP、ABS、PC-ABSの金型あたり100サイクルを超える寿命を期待していました。

260°CでPCを使用した試行では、わずか4回の繰り返りで金型が破損しました。これは、高粘度で250°Cを超えるプラスチックは、特にこの薄い壁の形状の場合、Rigid 10Kレジン3Dプリント金型で処理するのが難しいことを示しています。High Tempレジンは熱たわみ温度が高く、型締圧力と射出圧力があまり高くない場合の代替材料と見なすことができます。

材料	PP	ABS	PC-ABS	PC
射出温度(ノズル)	180 °C	220 °C	240 °C	260 °C
射出量	36cc	39cc	37cc	40cc
冷却時間	80秒	60秒	50秒	90秒
射出圧力	60バール	95バール	95バール	110バール
保持圧力	35バール	30バール	25バール	80バール
保持時間	0秒	1.5秒	1秒	2.5秒
サイクル数	100以上	60以上	60以上	4

結果

Multipus社は、ABS、PP、PC+ABSと PC で射出成形部品をテストしました。金型を設計した後、1日で金型のプリントと後処理を行い、組み立て作業場で30分ほどで金型を組み立て、射出成形機での射出成形を開始しました。射出成形の開始後、部品の完成までに約3分かかります。Multipus社は、各金型の使用を約100射出に制限し、大量注文の場合は倍数の金型をプリントします。



Rigid 10Kレジン金型を使用して、新たに射出成形された ABS制御ボックス筐体。Form 3でプリントされた金型は、ABSで60個以上の部品、PPで100個以上の部品を製造できます。

現場での複数の3Dプリンターと射出成形機の使用により、Multipus社は数百個の部品を最短3日で納品できるようになりました。これは、CNC機械加工の金型で部品を射出成形する場合に必要な3~4週間と比較して大幅な短縮となります。

射出成形による100の部品

SLA 3Dによる造形例

CNC加工金型

リードタイム

3~5日

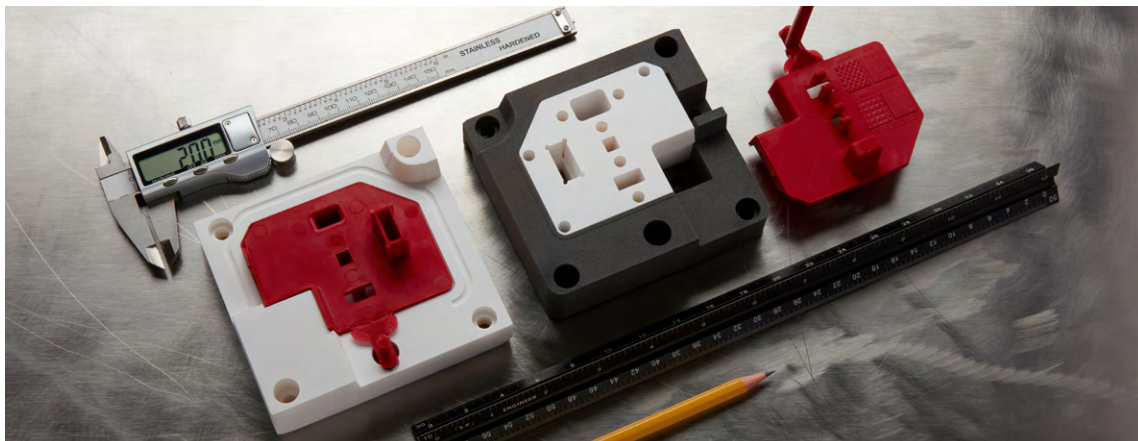
3~4週

「Form 3 を工場に導入することで、金型製作プロセスを素早く行えるようになりました。Rigid 10Kレジン は、これまで射出成形に使用した中で最高のレジンの 1 つです。今では、顧客の要求にはるかに迅速に対応できるようになりました」と、Kevin Li氏は述べています。

3Dプリントを射出成形ワークフローにシームレスに統合することで、Multipus社はビジネスを成長させ、より多くの仕事を引き受け、競争力を高めることができました。同時に、コストを削減し、納品時間を改善し、顧客がより優れた製品を迅速に市場に投入できるようサポートできるようになりました。

IPCテクニカルセンターが、微細なテクスチャリングを施した数千のPP部品の注入を実現

フランスの樹脂・複合材工業技術センター (IPC) は、3Dプリンタ製の型を使用した射出成形による少量生産を行った場合の有用性評価研究を実施しました。本ケーススタディには、Formlabs製品で型を3Dプリントする際の製作手順がステップごとに記録され、3Dプリンタ製の型で射出成形を行った際の主な結果とベストプラクティスに関する解説が記載されています。



テスト部品は、Rigid 10Kレジンで3Dプリントされた金型を使用して射出成形されました。

背景

IPCは、樹脂や複合材分野を専門とするフランスの工業技術センターです。同センターではあらゆる事業者、特に中小規模の企業に新たなチャンスとなり得る技術を開発する活動に取り組んでいます。IPCは、研究開発、イノベーション、技術革新、技術継承等に課題を抱えている企業に対し、欧州の主要な科学関連機関と緊密に連携しながら、様々なサポートを提供しています。また、IPCは樹脂や複合材業界における主要な課題の解消に向け、3つの技術継承プログラムを構築しています。具体的には、循環経済 (DIS 30)、アディティブマニュファクチャリングセクター (PRINTER)、インダストリー4.0、そして高付加価値製品 (HYPROD 2) 向けの専門的な研究開発のノウハウを、それぞれの分野の活動強化を希望する企業に伝授しています。また、イノベーションを加速させたい業界やメーカーに対しては、調査研究の実施、規定やガイドライン策定、実現可能性の検討や技術継承等のサービスも提供しています。

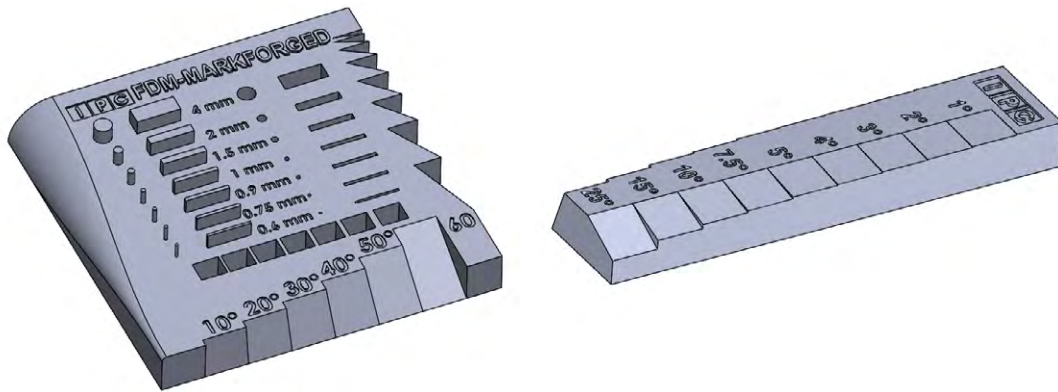
ベンチマーク

IPCによる本研究プロジェクトは、3つのフェーズに分かれた2年間にわたる技術研究プロジェクトとなりました。

1. **3Dプリント技術の比較:** 複数のメーカーより技術情報を収集し、そこから第一段階の比較項目を分類しました。耐熱性や機械的性質に関しては、荷重たわみ温度とヤング率を通して個々に評価されています。確率済みの各3Dプリント技術で最も有望な材料を3種決定するため、重要な特性を評価する4つのベンチマークを定めました。射出成形用の型の製作には、その造形精度の高さと造形物表面の滑らかさという点で最も優れているという理由で、レジンを使用した3Dプリントを使用することとなりました。

比較対象となったいずれの3Dプリント技術でも、多少の寸法誤差が確認されました。その誤差の幅は、小さなもので $\pm 0.02\text{mm}$ から $\pm 0.05\text{mm}$ までの間、大きな造形物では $\pm 0.05\text{mm}$ から $\pm 0.2\text{mm}$ までの範囲で発生しました。機械加工で造られた金型の標準公差は、 $\pm 0.02\text{mm}$ とされています。組み立て時に問題なく嵌合でき、尚且つバリの発生を避けるためには、この水準の精度が求められます。

本レポートでは、IPCは3Dプリントした樹脂材の分割線を最適化する方法として2通りの案を推奨方法として紹介しています。



形状面でのベンチマーク。

2. 材料特性、設計と3Dプリントに関するガイドライン。

3. **テスト成形:**IPCは、異なる設計の型を用いて2通りのテスト成形を実施しました。最初のテストでは、試験用に設計した型をFormlabs製High Tempレジンで造形し、その1つ材料の型から約100個のポリプロピレン(PP)パーツを射出成形しました。2つ目のテストでは、より過酷な試験に耐え得る型を設計しましたが、このテストでは中心部とインサート材をFormlabs製Rigid 10Kレジンで、フレームをPA12を粉末焼結積層造形(SLS)によりそれぞれ造形した複合材の型を用いて、約1,000個のポリプロピレン製のパーツを射出成形しました。

金型の設計

パーツと金型についての説明

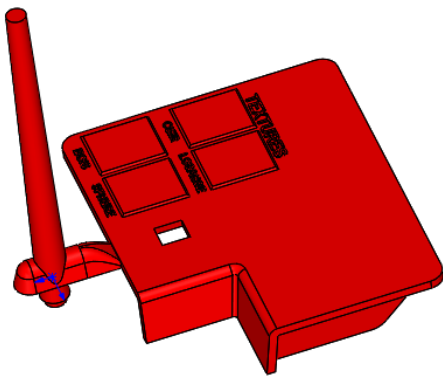


図1

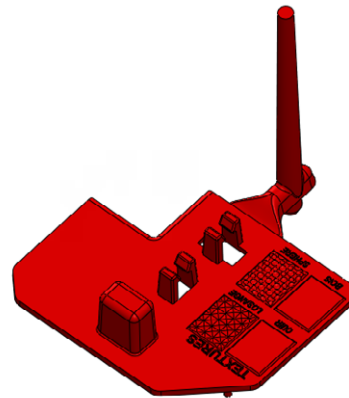
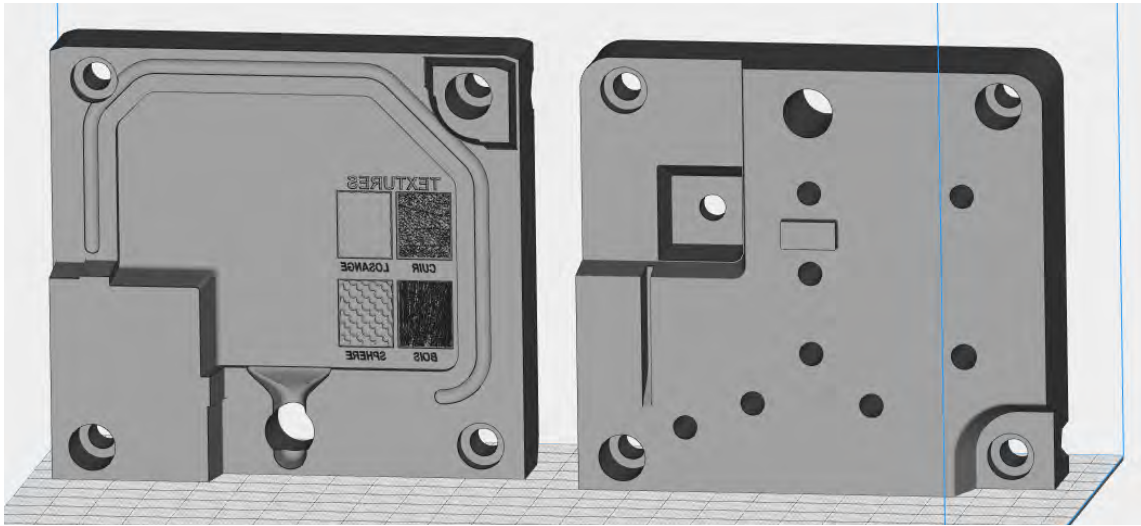


図2

2種の最終パーツのCADデータ:1回目の試験で使用した単一材料・インサートなしの型で成形した試験用パーツ(図1)と、2回目の試験で使用したインサート材あり・複合材の型で成形した試験用パーツ(図2)。

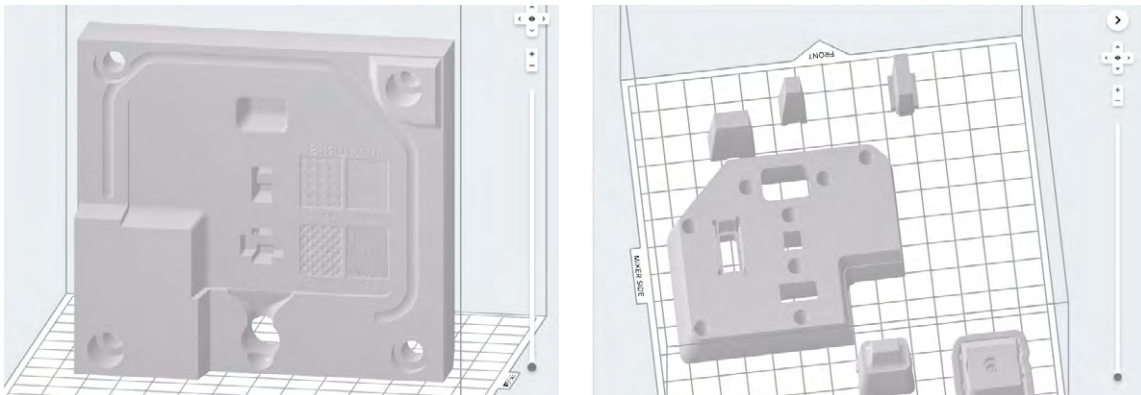
IPCでは、2通りの耐久試験用パーツを射出成形するため、上記2種の型を設計しました。上記2種の型は共に分割部を確実に嵌合させるため、接合部を許容公差 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内収めることを意図して設計されています。

1. **単一材料の金型は、High Tempレジンで造形しています。**この型は、インサートまたはサイドアクションの無いシンプルな形状で、表面のテクスチャ付けが含まれています。接合部のラインは、最終段階で微調整することとしました。



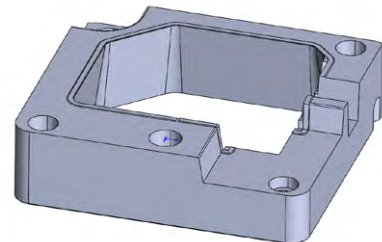
プリント準備用ソフトウェアPreFormで、High Tempレジンでプリントする単一材料の型のSTLファイルを読み込みます。静止側(左)と可動側(右)。

2. **複合材の型:** テクスチャ付けを含む静止側の型は、Rigid 10Kレジンで造形したものです。可動側は、Rigid 10Kレジンでプリントした中心部と4つのインサート材、そして粉末焼結積層造形 (SLS) 方式の3DプリンタによりPA12で造形したフレームで構成されています。このソフトフレームは、接合部ラインの寸法誤差を吸収できるようパッドを付けた設計とされました。PA12は柔軟性に富む材料であるため、型に圧がかかった際に接合部に生じるずれを吸収することができます。しかし、SLS方式の3Dプリントでは型表面に十分な精細さを求めることができず、また粉末を融解させる際に非常に高温に晒されるため、SLSでの造形はフレームのみとし、型全体を造形する技術としては採用しませんでした。

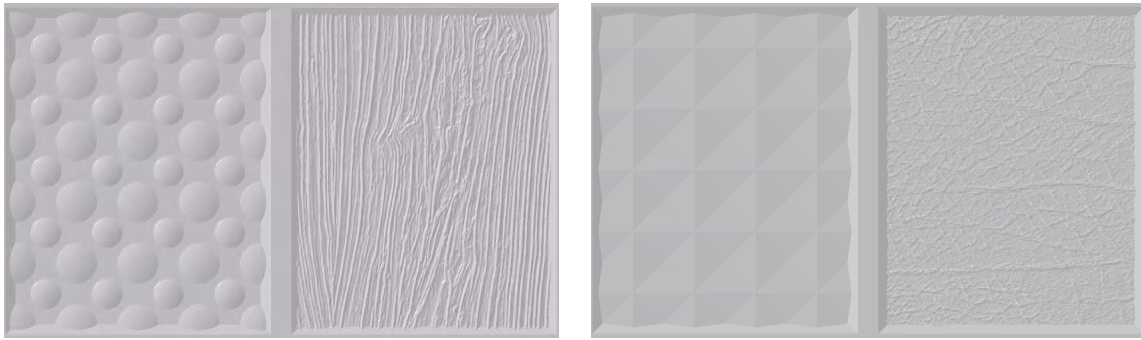


プリント準備用ソフトウェアPreFormに、Rigid 10Kレジンで造形する複合材の静止側(左)と可動側の中心部とインサート材(右)のSTLファイルをそれぞれ読み込みます。

この型には、薄肉のインサート材の抵抗力を調べるために、単一材料で造る型よりもやや厳しい条件が設定されました。中心部とフレームを組み立てやすくするため、その間に角度3度の抜き勾配が設けられました。フレームには接合時のバッファとして、0.05mmの余白を設けました。



PA12で造形する複合材による型の可動側フレームのCADデータ。



金型のCADファイル、両方のツールセットで同様のテクスチャのビュー。左から右：(1) 大きな球体：半径1.82mm、高さ0.3mm。半径1.09mm、高さ0.3mmの小球。(2) 木材：高さ0.25mm。(3) ピラミッド：0.3 mmの側面と0.2 mmの深さ。(4) 革：高さ0.14mm。

設計ガイドライン

IPCでは、デザイン内容微調整のため反復作業を数回繰り返した結果として、下記の内容をベストプラクティスとして推奨しています。

- 造形した型に取り代を設け、機械加工で寸法調整できるようにしておきます。
- 中心部の断面を小さくするのは避ける — 断面がパーツの高さよりも小さくなると、圧と温度に耐えられなくなる恐れがあります。IPCは、薄い突出パーツ用には、失敗時に交換できるよう複数のインサート材を造形しておくこと、または小さな片を金属で製作することを推奨しています。
- 400mmを超える寸法の型を設計するのは難しい場合があります。型が大きくなればなるほど寸法誤差も大きくなるため、接合部の嵌め合いが難しくなってきます。
- 変形を避けるには、抜き勾配や突き出し角度を大きくします(10度から20度)。
- 型を設計する際、冷却用のチャンネルを組み込まないようにします。樹脂製パーツは金属パーツよりも熱伝導が遅いため、設計時にわざわざ冷却チャンネルを組み込んでも、それほど冷却効果は上がりません。難度の高い設計や材料を使う時には調整する工夫を設けることも役に立つかもしれませんが、その点については、まだ研究の余地があります。

金型の3Dプリント

3Dプリント用レジン

金型の3DプリントにはForm 3が使用され、後処理にはForm WashとForm Cureが採用されました。

最初のツールは、積層ピッチ25ミクロンで、High Tempレジンを使用してプリントされました。2つ目の金型セットは、PA12にSLSテクノロジーでプリントされたフレームと、積層ピッチ50ミクロンのRigid 10Kレジンをプリントされたコアで構成されています。



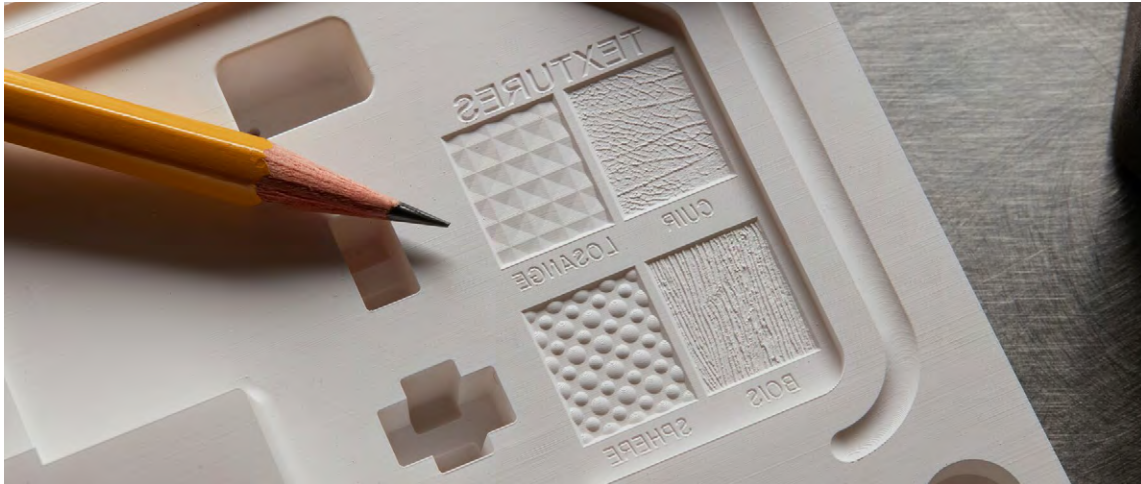
Rigid 10Kレジンをを使って、静止側をビルドプラットフォームに向けた状態でプリントした型。

3Dプリントに関するガイドライン

IPCでは、設計内容を微調整するために反復作業を数回繰り返した結果として、下記の内容を3Dプリントのベストプラクティスとして推奨しています。

- 型の耐用期間を長くしたい場合は、Rigid 10Kレジンを造形してください。
- 解像度を高めるには、積層ピッチを小さくしてください。SLAプリントでは、非常に細かいテクスチャリングが可能です。

- 寸法精度を高めて反りの発生を抑えるためには、型を水平に配置して可能な限りサポート材を付けずに造形してください。
- 型の向きは、成形したパーツの突き出しが小さくなる方向にします。
- 可能であれば、型は両半分ともビルド方向に沿ってプリントしてください。そうした方が、サイズの変化で生じる寸法誤差を抑え、寸法の一貫性と分割線の品質を高められます。
- 型の3Dプリントが完了したら、切削加工で仕上げます。その際、型の接合部の嵌め合いをより良くし、バリを発生させないようにするには、分割線の調整が特に重要です。直径が変わる場合があるため、穴を開ける必要がある場合が考えられます。

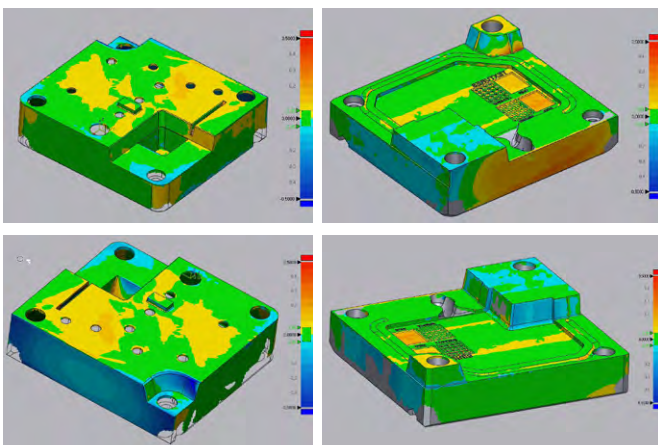


Rigid 10Kレジンで製作した型でプリントしたテクスチャ。

スキャン計測

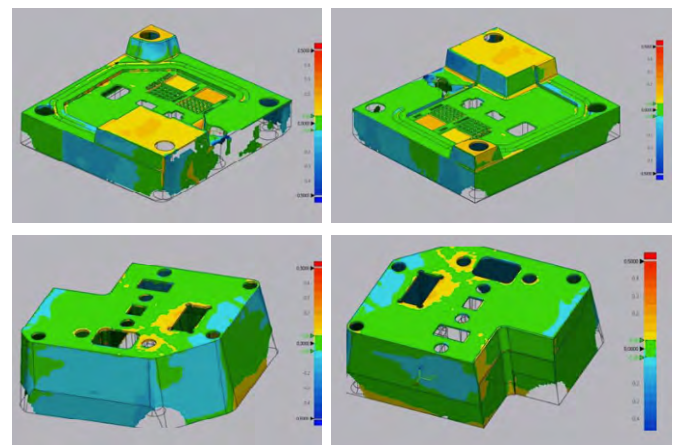
IPCでは、プリントした型の寸法偏差を、プリント直後と二次硬化後の型の走査データを比較する方法で計測しました。その結果、プリントしたパーツの75%以上が、寸法誤差±0.05mmを下回っていることが分かりました。

HIGH TEMプレジン



High Tempレジンを使って3Dプリントした型の走査データ：可動側(左)と静止側(右)。

RIGID 10Kレジン

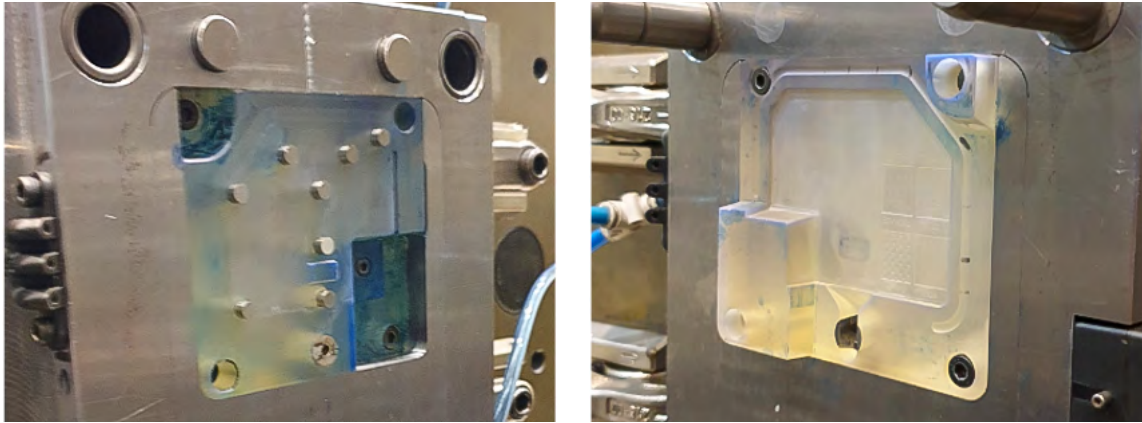


Rigid 10Kレジンを使って3Dプリントした型の走査データ：可動側(左)と静止側(右)。

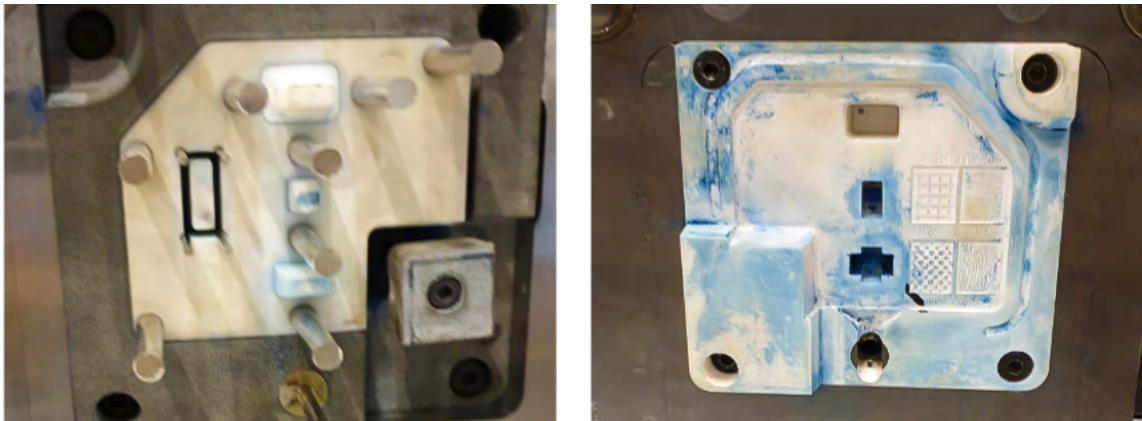
射出

成形金型アセンブリ

上述のように、重要な寸法要件を満たすためには、3Dプリントした型を組み立てる前に機械加工することが推奨されています。しかし、複合材料の型に関しては、PA12でプリントした分割線が寸法偏差を吸収できるくらい柔らかいため、機械加工する必要はありませんでした。後でエジェクターピンまたはインサート材を追加できます。IPCでは、突き出しが薄く破損リスクが高そうなパーツを製作する時は、破損時に交換できるよう複数のインサート材を製作しておくことを推奨しています。型の切削加工や組み立て作業は、3Dプリントしたパーツが壊れないように慎重に行う必要があります。3Dプリントした成形型は、圧力に耐えられやすくするために、金型の中に配置します。



金型の中で組み立てた、High Tempレジンで造形した型。突き出しピンが付いた可動側(左)と静止側(右)。



金型の中で組み立てた、Rigid 10Kレジンで造形した型。突き出しピン、インサート材とSLSフレームで構成する可動側(左)と静止側(右)。

成形工程の諸条件

研究チームは、下記の条件で数千個のパーツを射出成形しました：

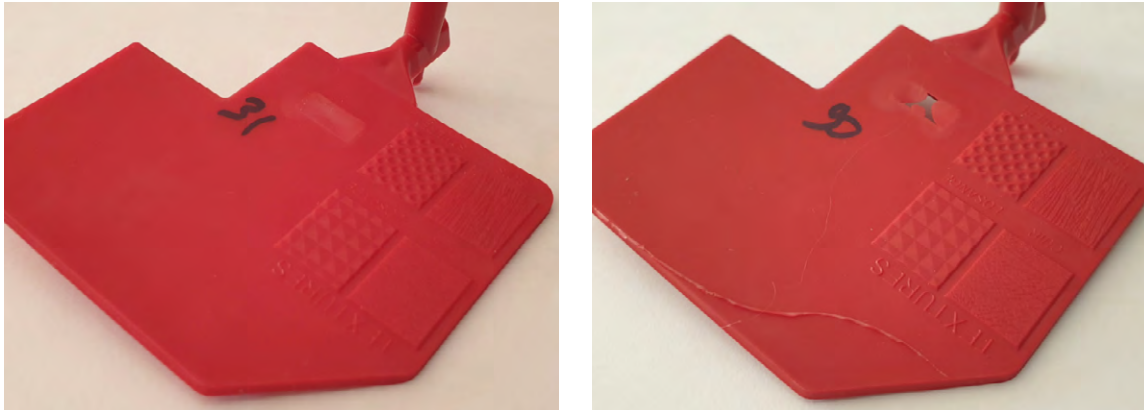
- 射出成形機：工業用のENGEL 150T
- 射出材料：ポリプロピレン (PP)
- 射出温度：200 °C
- 射出圧力：180 パール
- クランプ力：125 KN
- 離型剤：無し

- 冷却システム:無し各サイクルは、造形した型の温度が36°Cより低くなったことをサーモグラフィックカメラで測定できたら開始するように設定されました。
- 射出:突き出しピンとロボットアームでパーツを移動して自動的に実施
- サイクル時間:150秒

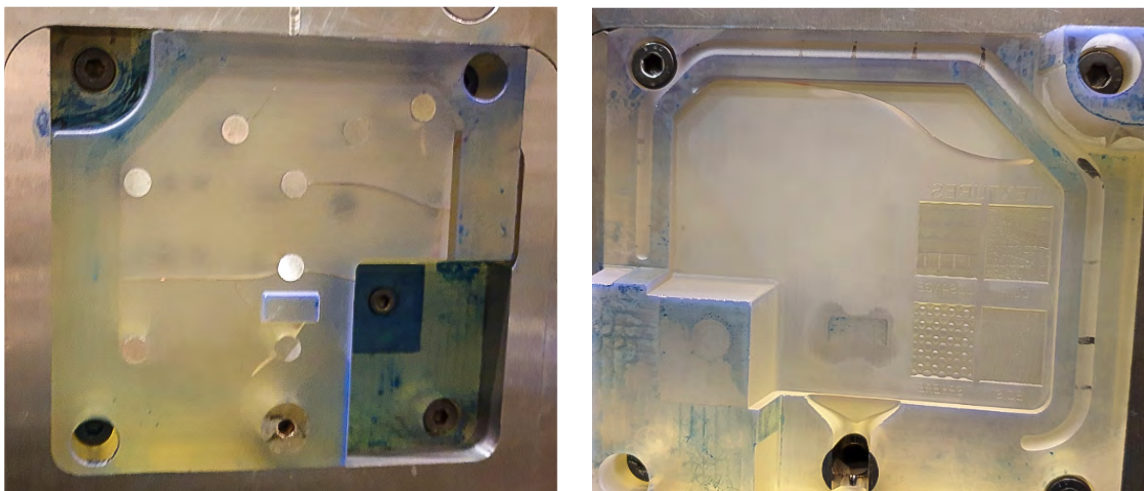
結果

IPCでは、High Tempレジンでプリントした単一材料の型を使って、ポリプロピレンのパーツ90個を射出成形しました。

射出したパーツの表面仕上げとディテールの再現性は共に高い水準にあることが分かりました。しかし、反復作業を繰り返すと31回目に型にヒビが入り、それ以降、射出成形したパーツの表面品質が低下しました。



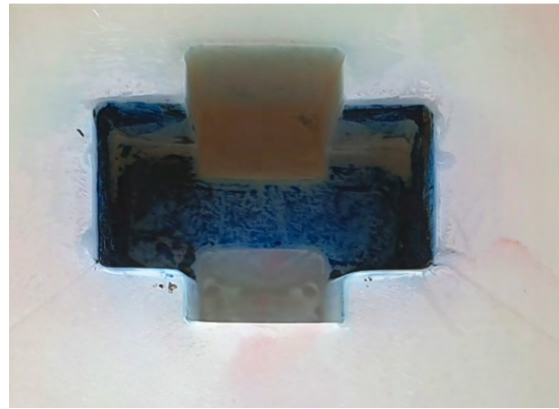
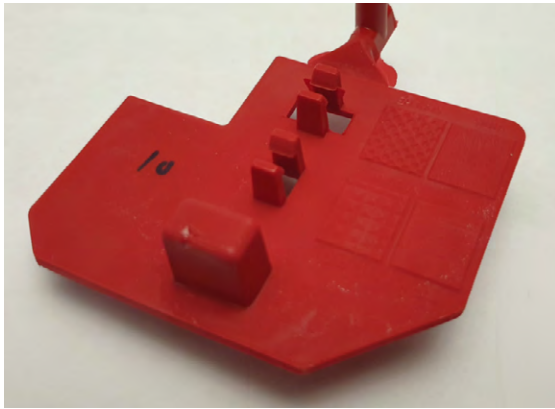
High Tempレジンで造形した型を使って射出したパーツNo.31(左)とNo.90(右)。



High Tempレジンで造形した型を90回の射出に使用した後の状態。

IPCでは、Rigid 10Kレジンで造形した複合材料の型を使って、ポリプロピレンのパーツ1,000個を射出しました。

射出したパーツの表面品質とディテールの再現性は共に、高い水準にあることが分かりました。最初の数回の射出で軽いバリが発生し、射出を900回繰り返した後に中心部のクリップ周辺に小さなヒビが入ったことが確認されています。ゲートの位置に明るくなっている箇所があることも分かりました。



最終パーツで発生した軽いバリ(左)と、射出を900回繰り返した後にRigid 10Kレジンで造形した中心部に発生した小さなヒビ割れ。



複合材料のHigh Tempレジン金型で射出成形した最終パーツのテクスチャ。

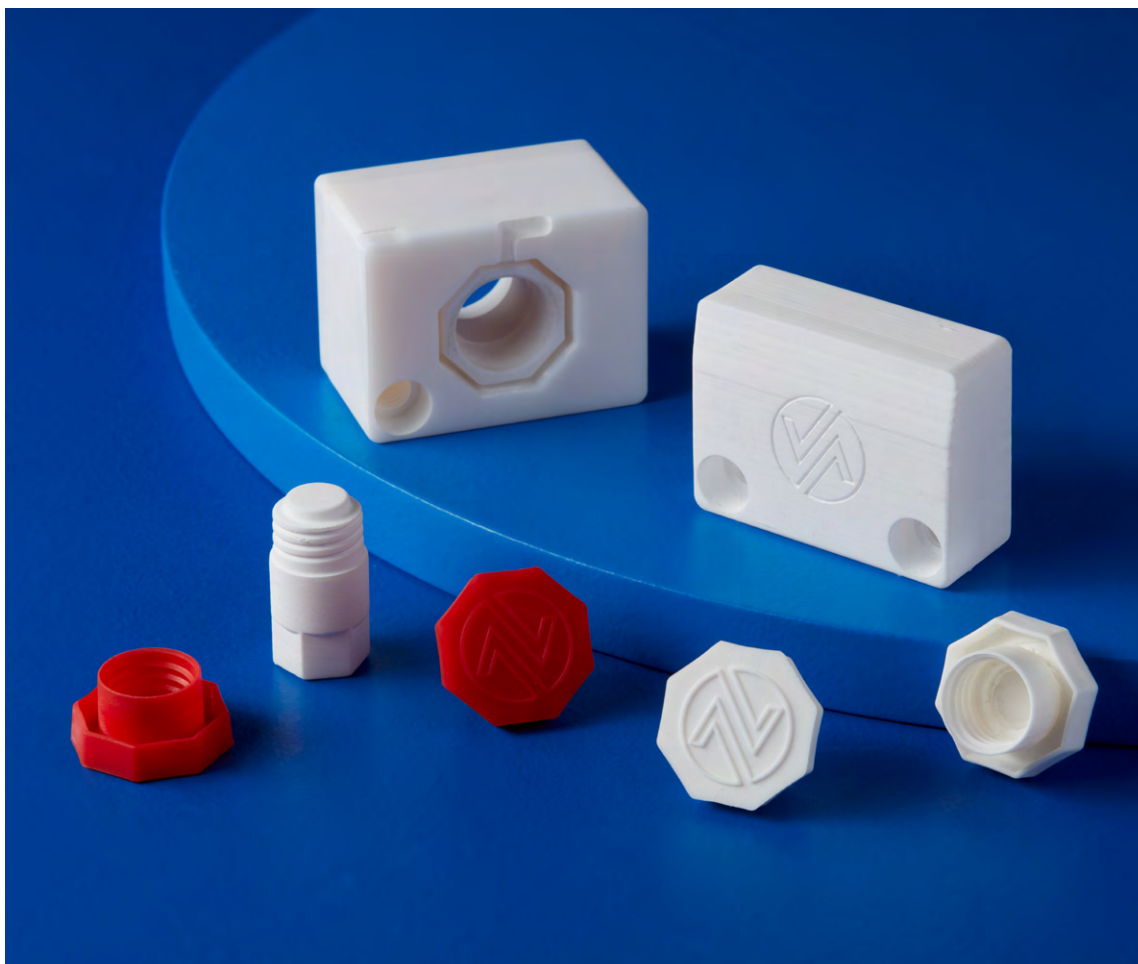
IPCでは、型の耐用期間を長くしたい場合は、High Tempレジンよりも頑強で圧力に強いRigid 10Kレジンの選択を推奨しています。また、3Dプリントした型には、接合部の嵌め合いをより良くしてバリを減らすため、機械加工を行うことを推奨しています。寸法誤差を吸収する代替案としては、ソフトフレームを付けた複合材料の型を使用する方法がとても有効だとしています。IPCでは、ポリカーボネート(PC)といった粘着性のある材料を使う必要がある場合や射出温度が240°Cを超える場合は、射出工程に成功するのが一段と厳しくなると見えています。

結論

IPCは、3Dプリントした型が少量の射出成形にどれほど使えるかを調べるための評価試験を実施しました。その結果、Formlabs製Rigid 10Kレジンで造形した型の中心部分とPA12で造形したソフトフレームを使えば、ポリプロピレンのパーツを何千個も射出成形可能であることが確認でき、金属製の金型で射出成形した時と比べ、コストを8割から9割削減できることが分かりました。

Novus Applications社が、数百のネジ付きキャップと、Rigid 10Kレジン 3パーツ金型を射出成形

このケーススタディでは、Rigid 10Kレジンの高い剛性と耐熱性により、ねじ付きサイドアクションコアを含む複雑な金型形状がどのように可能になるかをご紹介します。



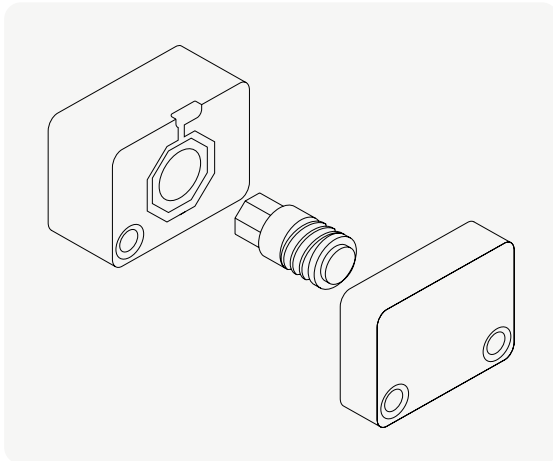
プリントした3部構成の型にポリエチレンを射出して成形したキャップ。

背景と課題

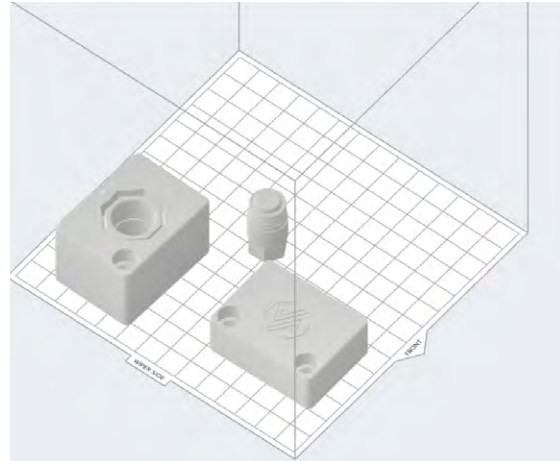
Novus Applicationsは、消費財に特化した製品開発会社です。射出成形と3Dプリントの両方で多くの実績を残している同社は、顧客からの要望に応じて、製造用の製品設計や成形性の調査を行っています。Novus Applicationsの社内チームは、少量生産用の製品のプロトタイプを短期間に納品するプロジェクトに携わることが多いため、スピードを重視しています。あるプロジェクトでは、同チームは少量生産用のキャップを製造するための射出成形プロセスを3Dプリントした型を使って実現できるかを社内で検証する調査を実施しました。特に注目していたのは、プリントした金型の寸法精度と耐用期間でした。そこで、プリントした型が高圧高熱環境の中でどのような振る舞いをするか、そして1つの型が何回までの射出サイクルに耐えられるかを調べることになりました。

設計工程

Novus Applications社の創設者でもあるMark Bartlett社長は、チューブとボトルの両方に兼用できる内側にネジ切りが付いた汎用キャップの製造をチームに命じました。ダイナミック スレッド コアを備えた複雑な3つの部分からなるスタックが必要でした。バートレット社長は、射出成形用の型を設計する際に守るべき通常のルールをすべて守っていました。具体的には、離型工程を容易にする抜き勾配を付け、垂れ下がるコア部分を可能な限りすべてサポート材で支え、極薄の横断面は設けないようにしていました。空洞内の圧力を下げるために、間口を大きく取り、型の中にガスが充満せず外に逃せるようにする通気口も設けました。プリントしたブロックの後処理として、余分な材料を取り除いて、表面を整える作業も計画に入っていました。



これが、可動するB(左)側の空洞部、ネジ切りされているサイドアクション用のコア(中央)部、静止しているA(側)の3部構成からなる型です。



挿入成形用の最終設計案を保存したCADファイルをFormlabs PreFormにアップロード。

3Dプリント工程

バートレット社長は、射出成形工程で掛けられる圧力に耐えながら、設計した精細なディテールも再現できるだけの剛性がある3Dプリント用の材料を探していました。以前はFDMプリント技術を導入していたものの、SLA技術でしか出せない高精細度を求めていました。そこで、剛性が極めて高く、引張強度と引張係数、そして寸法精度も高いという特性を持つFormlabsのRigid 10Kレジンと同社のプロジェクトに採用することになりました。High Tempレジンも選択肢として検討されたものの十分な性能を発揮しませんでした。耐熱性が優れているHigh Tempレジンよりも、Rigid 10Kレジンに備わる機械的特性の方が、同社長の要件に沿っていました。

Rigid 10Kレジンを使って、積層ピッチを50ミクロンに設定したForm 3プリンタで型を夜通しプリントすることになりました。また、離型に失敗することを想定して、サイドアクション用のコア部は余分にプリントしていました。硬化したパーツにはその後、求められている寸法に合わせるための後処理が施されました。バートレット社長は設計段階で、型の主要な面と特徴を後処理工程での微調整を通じて、彼が目指している、プレス機に完璧な寸法で収まる型を製作できるように、余分な取り代を設けておくことも視野に入れていました。一般的な後処理工程では、ドリルまたはリーマーによる穴開けや面のサンディングまたはフライス加工による研磨といった作業を通じて、プリントの欠陥を減らすために必要な厳しい精度要件を満たせるように仕上げられます。

成形工程



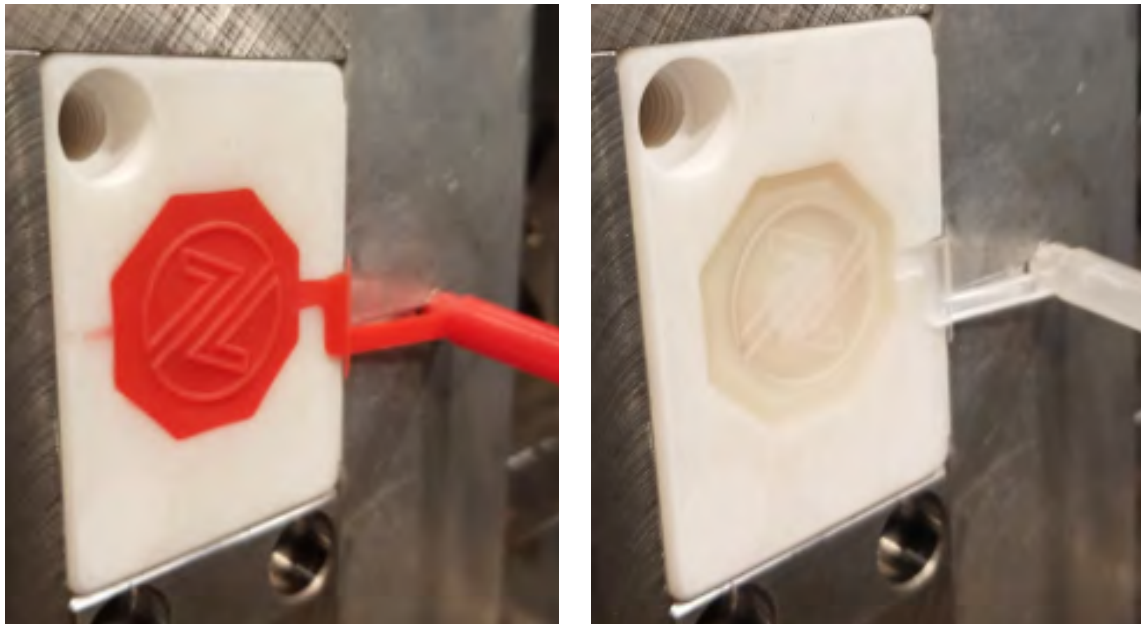
射出前にプリントした型が金蔵製のフレームに収まっている状態サイドアクション用のコア部がB(左)側の中に入り、そこで静止しているA(右)側で固定されている状態。

Novus Applications社は射出成形機に、全電動式の住友50トンプレス機を導入しています。プリントした型は、このプレス機内に予め造られている金属製のフレームに置かれます。射出には、低融点PP (P5M6K-048レッド)、高融点PP (PP1013H1ホワイト)、そして高融点PE (Marlex 9018 HDPE) の三種類の材料が使われます。PPはかなり処理しやすく、非常に高い圧力も必要ありません。下記の表に、プリントした1つの型に適用された射出条件がまとめてられています。

射出材料	P5M6K-048 レッド	PP1013H1 ホワイト	MARLEX 9018 HDPE
メルトインデックス	35	7.5	20
ノズル温度	199°C (390°F)	210°C (410°F)	204°C (400°F)
射出圧力	6,800 PSI	9,500 PSI	7,200 PSI
サイクル時間	48 秒	50秒	68 秒
射出サイクル数	30	30	30
破損圧力	試験未実施	11,500 PSI	試験未実施

射出、冷却と手作業の離型を含めたサイクル時間は、従来の射出成形工程より長めでした。射出速度は、圧力を低く抑えるために減速していました。プラスチックの型の冷却時間を短縮するために、バートレット社は複数のコア部をプリントし、同じコア部で連続的に射出成形を繰り返すことはせずに、交互に使いながら、使用していない方を冷却させる仕組みを設けていました。冷却管は設けられていなかったものの、アルミのフレームが熱を部分的に吸収できるようになっていました。離型工程は、型を傷める可能性があるので神経を使います。Novus Applicationsの社内チームはサイドアクション用のコア部からパーツを手動で取り出してネジを外していました。その過程でコア部を傷めずに離型を無事に終えらるよう、細心の注意を払う必要がありました。当初は離型作業を容易にするために離型剤を使っていましたが、抜き勾配を設けたことで十分で、離型剤は不要だと判断しました。プリントしたレジンと射出した材料の間で化学反応が起きている形跡も見当たりませんでした。

結果



P5M6K-048レッド(左)とPP1013H1ホワイト(右)を射出した後の型の空洞部。

射出圧力を11,500 PSI未満に抑えることで、型ごとに約100回の射出サイクル使い続けました。今回のプロジェクトの構想から製作までのリードタイムは、約2日間でした。Novus Applicationsの社内チームは型のデザインを数時間で終え、夜通しプリントしたパーツに射出し、翌日の半日を離型工程に費やしました。今回使用したCADモデルは1つでしたが、より複雑なパーツを扱う際には、設計を繰り返し修正して最終化できるまでには数日間必要になる場合があります。

次の表には、三種類の別の材料を使って射出成形した最終部品の測定値がまとめられています。Novus Applicationsの社内チームは、射出成形工程の再現性を評価するために、各材料で成形したネジ込み式キャップ20個の内径を測定しました。その結果、測定した60キャップの平均径からの平均偏差が±0.04mmであることが分かり、寸法安定度の高さを確認できました。

材料	P5M6K-048 レッド	PP1013H1 ホワイト	MARLEX 9018 HDPE
平均	13.072 mm	13.207 mm	13.134mm
サイクル数	偏差 (mm)	偏差 (mm)	偏差 (mm)
1	0.009	0.052	-0.003
2	0.060	0.027	0.048
3	0.034	0.001	-0.053
4	0.136	0.027	0.099
5	0.009	-0.024	0.074
6	-0.017	-0.024	-0.003
7	-0.017	-0.100	-0.028
8	-0.042	0.052	-0.028
9	-0.042	-0.050	-0.003
10	0.009	-0.075	0.023
11	0.009	0.103	-0.028
12	-0.067	0.027	-0.028
13	0.009	0.024	0.048
14	-0.042	-0.024	0.048
15	0.085	0.077	-0.053
16	0.009	0.052	-0.028
17	-0.042	-0.050	-0.053
18	-0.067	-0.075	0.023
19	0.009	0.052	-0.003
20	-0.042	-0.024	-0.053
平均絶対偏差	0.038	0.047	0.036

費用分析

「お客様からの注文がわずか20部品しかない場合、そのプロジェクトにわざわざアルミ製の型を使う必要があるでしょうか？我が社のチームの3Dプリント技術の学習スピードは非常に早く、今では多くのプロジェクトを無人でこなせるようになっていました。そうできるようになったのも、Form 3が非常に使いやすいプリンタであったからことです。そのことに特に感謝しています。」

Mark Bartlett

ここで紹介したワークフローを通じて、Novus Applications社は多くの時間を節約し、それまで採用していた複雑な工程を簡素化できるようになりました。以前は、鋼鉄またはアルミの塊を社内で機械加工して型を作るのが普通でしたが、それは非常に労働集約的な作業でした。完了するまでの日数も数日多くなり、ハイエンドのソフトウェアと高度な技術を習得しているオペレーターが必要でした。使用する設備も材料もかなり高額で、型を機械加工の時間も製作する時間も遥かに長くなるどころでした。バートレット社長の概算によると、3Dプリントした型を採用した今回プロジェクトの型の製作費は、社内で切削加工する型の製作費の半分以下に抑えられたそうです。

「コストは常に、作業するパーツによって変わりますが、今では複雑なパーツも正確にプリントでき、機械加工するよりも断然早く作業を完了できるようになっています」とバートレット社長は言います。

	社内で機械加工した金型	社内で3Dプリントでプリントした金型
設備	CNC機とソフトウェア 射出成形機 PP、HDPE	Form 3プリンタ Rigid 10Kレジン 射出成形機 PP、HDPE
金型の製作時間	2日	1日
金型の製作費	2X	<1X

Braskem社が、1週間で数千の最終製品用マスクストラップを製造

ここで紹介するのは、形状が非常にシンプルで細かな特徴が何もない平面的なインサート成形用の型を使った射出成形の事例です。Braskem社はこの型を使ってポリプロピレン (PP) のパーツを何千個も短期間に製造する必要があり、冷却時間を何とか短縮したいと思っていました。

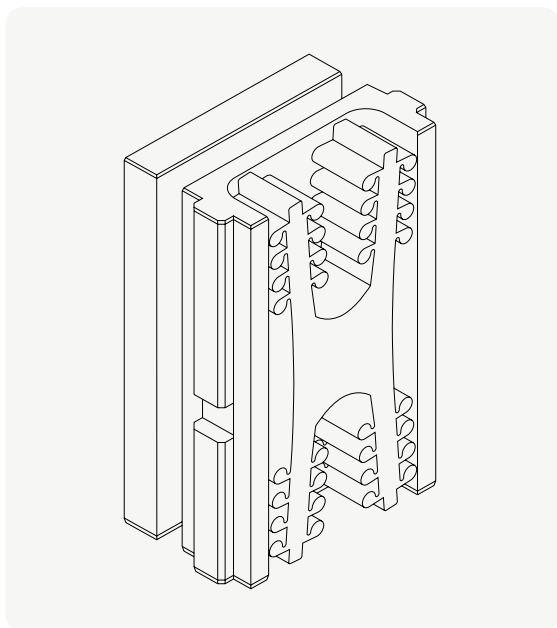
背景と課題

Braskem社は、射出成形の経験が豊富な世界有数の石油化学会社です。Michelle Sing氏、Jake Fallon氏、Collins Azinger氏、Fabio Lamon氏は、Braskem社の顧客ニーズに応えられるアディティブマニュファクチャリングの機会を探っていました。このチームは特に、一時的に使用するツールへのアクセスを確保し、様々なニーズに柔軟に対応できるラピッドツーリングを用いた生産体制を構築することに関心を持っていました。新型コロナウイルス感染拡大に伴いマスクの需要が急速に高まったことを受け、3Dプリントした型を使って射出成形できるかどうかを検証することになりました。Braskem社の従業員に支給するマスクのストラップ部分を、一週間以内に設計して何千本も製造する必要に迫られました。当初は、FDMプリンタでストラップを直接プリントすることや機械加工による金型を使う従来の射出成形方法も検討しましたが、結局は3Dプリントした型を使って、低コストで短期間に製作できる方法を採用することにしました。

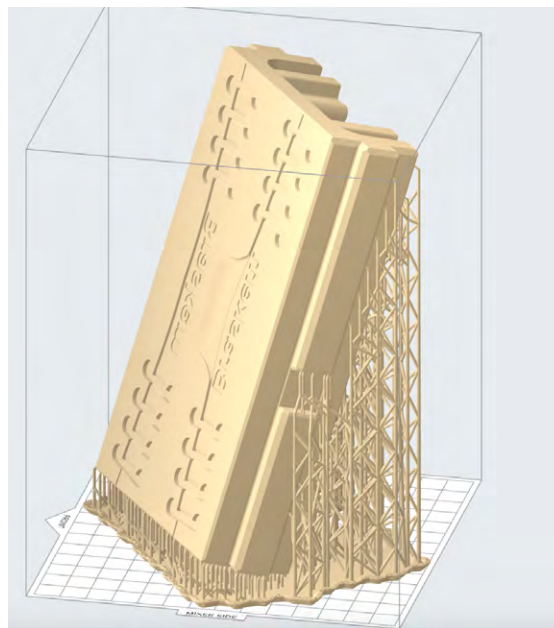
設計工程

Fallon氏は設計の見直しを三回繰り返し、型が壊れるまでの射出成形サイクルの数を増やし、フラッシングを減らして離型工程を完了するまでの時間の短縮を図り、レジンの消費量を節約しました。実施された改良の概要は以下の通りです：

	型 V1	型 V2	型 V3
設計上の特長	抜き勾配を追加	抜き勾配を追加 間口を拡大	抜き勾配を追加 間口を拡大 大きな通気口を追加 (フラッシング予防用) 幾つかのエリアの横断面を削減
結果	500サイクル	1500サイクル	2500サイクル フラッシングが軽減 レジン消費量を28%節約



片面をプリントした挿入成形用の型を直接金属製の額に固定。



挿入成形用の最終設計案を保存したCADファイルをFormlabsのプリント準備用ソフトウェアPreFormにアップロード。サポート材を付けたパーツを傾けてプリント。小さめの型の場合、ビルドプラットフォーム上で直接プリントすることで、後処理を最短の時間で完了できます。

3Dプリント工程

このチームは、High TempレジンをForm 3でプリントしました。Form 3にリモートプリント機能が備わっていたおかげで、Fallon氏は自宅でCADファイルを編集し、リモートでプリントを開始することができました。その結果、午前中にオフィスに戻った時には、そのパーツのプリントが完了していました。彼はプリント時間と、良い表面仕上げを得ながら離型もしやすいレベルの完成度のバランスを考えて、積層ピッチを50ミクロンに設定しました。プリントは、システムの内側に収まるよう手作業で研磨されました。

成形工程

Braskem社は射出成形機として、Cincinnati Milacron 110 Ton Roboshotという全電動プレス機を導入しています。このプロジェクトに使用したのは、片面だけプリントしたインサート成形用の型です。これをシステム内にスライドさせ、高压に耐えられやすくするために、直接金属製の額に固定させました。射出する材料には、弾性と靱性が適度に備わっている汎用のポリプロピレン (PP) を230°Cで採用しました。メルトフローレートが高めの低粘度PPを選んだのは、射出圧力を最低限に抑え、型の耐用期間を延ばし、フラッシングを回避するためでした。溶けたプラスチックの粘度を下げるためにバレル内の高めの温度で保ち、射出圧力を最低限に抑えるようにしました。成形条件の一部: 締め付け圧5トン、サイクル時間20秒、射出速度0.5 in/s、保持圧力5000 psiを最長8秒間。



Cincinnati Milacron Roboshot.

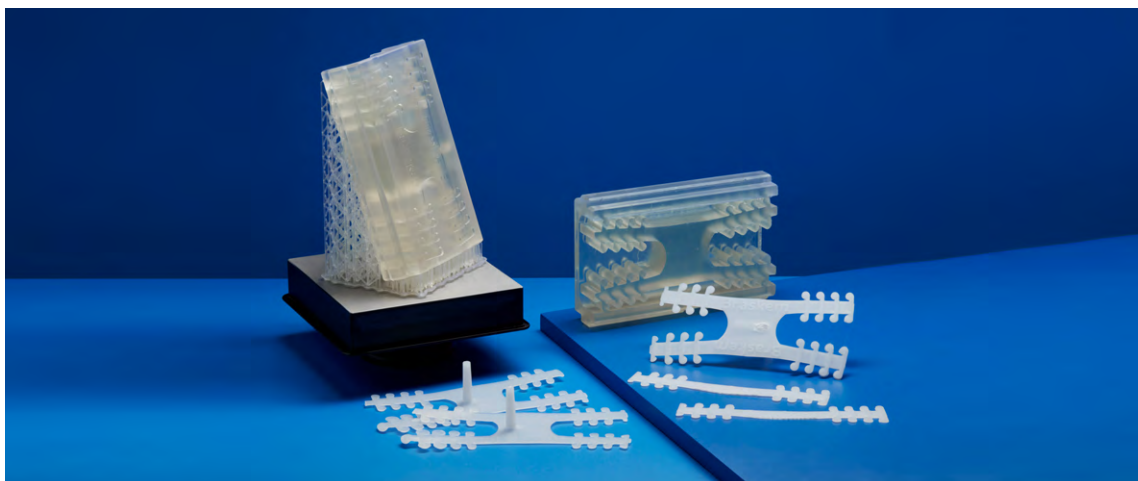


プリントした挿入成形用の型 (V1) を射出成形機にスライド。

離型工程は、かなり労働集約的な作業でした。チームは間口をトリミングし、通気口を手で取り除きました。離型作業が捗るようになるため、シリコン入りの食品用離型剤MR303を50~60ショットごとに吹き付けました。この現場では、イジェクト用のピンも冷却システムも導入されていませんでした。それでも、冷却と手作業による離型を含めて、1サイクルを平均30秒で完了しました。

結果

プリントした型を射出サイクル1500～2500回まで壊れずに使用することができました。2つの型を併用しながら1分間にストラップを4本製作するペースで作業を進め、最終的に8,000本以上のマスク用ストラップを完成させ、米国、メキシコとブラジルの拠点で働くBraskem社の従業員に支給することができました。1つの型がこれほど多くのサイクル数に耐えられた大きな理由の1つは、今回プリントしたインサート成形用の型が坦で間口が大きく、複雑な特徴が一切なく、金属製のフレームで固定されたシンプルな構造であったことです。Braskem社がこのプロジェクトに費やした、構成から生産までの期間は、1週間足らずでした。



ポリプロピレンで射出成形した2本のストラップの横にHigh Tempレジンでプリントしたインサート成形用の型。

費用分析

Braskem社では、今回のマスク製作に3通りの方法を検討しました。納期がわずかに1週間しかなかったので、プロジェクト全体の所要時間をどこまで短縮できるかが成功の鍵を握っていました。そのため、3通りの方法のどれを採用するかを検討する際、型の製作に要する時間とコストも含めて比較することになりました。最終的に社内で3Dプリントでプリントした金型で射出成形する方法を選んだ結果、他の2つの代替案よりも製作時間を90～94%、製作費を80～97%それぞれ節減することができました。

	3Dプリントで内製化	外注先が機械加工した金型を使った射出成形	社内で3Dプリントでプリントした金型を使った射出成形
設備	FDMプリンタ	射出成形機、PP	Form 3 プリンタ、High Tempレジン、射出成形機、PP
型の製作時間	0	30日	1日
型の製作費	0	\$10,000～15,000	\$200
プロジェクトに費やした合計時間、 (型の製作と8,000本のストラップ生産に要した時間を含む)	72日 (1ストラップ当たり13分)	32日	3日
プロジェクトに要した総コスト (型の製作と8,000本のストラップ生産に要したコストを含む)	\$2080	\$10160～\$15160	\$360

Holimaker社が、デスクトップ射出成形エコシステムの活用により、数百のプロトタイプと試作部品を製造

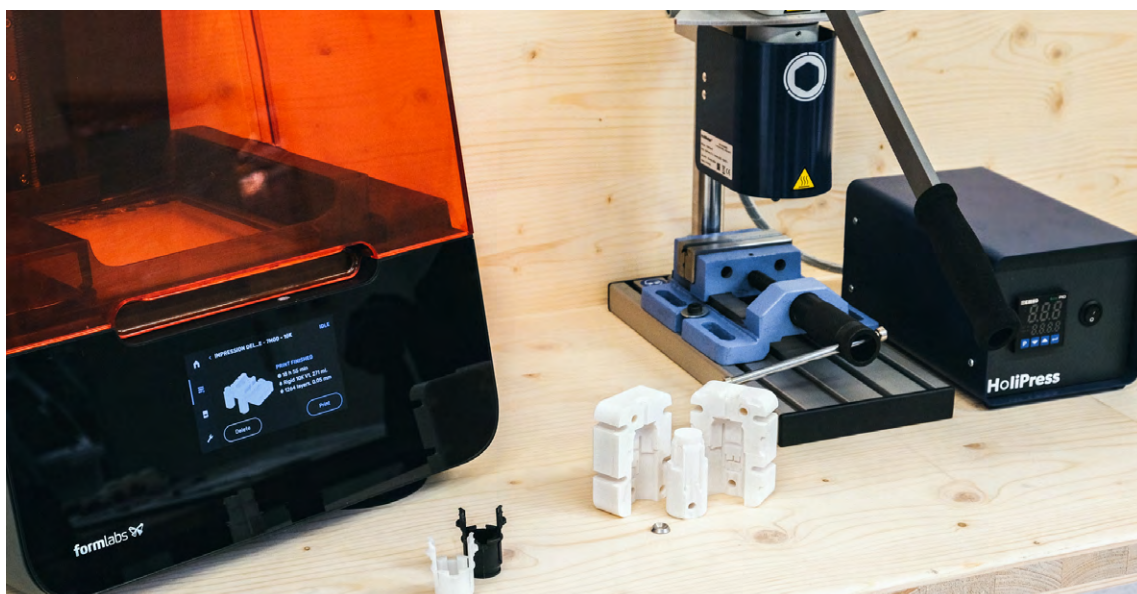
デスクトップ射出成形機の使用は、限られた投資とメンテナンスでこのプロセスを活用して、プロトタイプを作成したり、産業用設備にコミットする前にワークフローをテストしたりするのに最適な方法です。このケースでは、さまざまなレジンを使用して少量の小さな部品の射出成形を開始する方法を示します。

背景と課題

フランスの新興企業Holimaker社は、プラスチック製品の製造に活用できるマイクロ業界向けのプラスチック加工用ツールを開発したいと考えていました。同社の主力製品であるHolipressは、エンジニアやプロダクトデザイナーが試験的生産または少量生産するプラスチック加工製品、プロトタイプまたは限定数量を生産する最終部品を内製化するための、マニュアル方式のデスクトップ型射出成形機です。

Holimaker社では、お客様の製品構想の実現可能性を検討するために、3Dプリントした型を使って短時間で低コストの製作が可能かどうかを調べるサービスを提供しています。このサービスを利用するHolimaker社のクライアントは、新製品を立ち上げる準備の一環として、短期間に製作できる低コストのプロトタイプを試験的に生産して設計内容を繰り返し見直し、製造条件を確定できるようになります。また、型の設計や使用する材料を含めてすべて同じ製法を使うことで、どこでもパーツの検証が可能になり、量産用の設計も確定できます。3Dプリントした型のデザインは、大量生産に移行する際、ツーリング用の鋼鉄を使って製作する金型に簡単に応用できます。

Holimaker社では、現在取り組んでいる射出成形プロジェクトの8割から9割に3Dプリントした型を使用しています。Formlabsの取材チームは、同社のAurélien Stoky社長とマーケティング部門を統括するVivien Salamone本部長を訪ね、Holimaker社が3Dプリントと射出成形の両技術をどのように融合させているかを聞きました。



Form 3+ プリンターの Holipress と Rigid 10Kレジンで造形された金型。

「射出成形の成否は、金型の製作がうまく行くかどうかにかかっています。射出成形をより多くの人が利用できるようにするためには、当社で型を容易に製作できる技術を開発して提供する必要があると考えていました。デスクトップでプリントできる環境は、この考え方に正に当てはまります。当社では3Dプリントの柔軟性と射出成形したプラスチックの生産性と品質の高さを融合させたソリューションを展開しています」とStokyとSalamone両氏は語りました。

Holimaker社は、型をこれまでと違うアプローチで製作する代替方法を見つける必要に迫られました。千単位のパーツを量産する注文を受けた時には、機械加工したアルミ製の金型を使っていますが、少量の生産を受注した時は3Dプリントした型を使ってパーツを成形しています。時にはBraskem社の事例と同様に、要求レベルが高い形状の製品を大量生産する時は、型の外側を機械加工し、インサート成形用の部分のみを3Dプリントし、そこを耐用可能サイクル数に応じて入れ替えながら対処する方法を取っています。

設計工程

Holimakerの社内チームは通常、1件のプロジェクトにつき、3つか4つのモデルを繰り返し試作しながら設計を最適化してきます。抜き勾配を設けるなど、一般的に推奨されている成形ルールを守っています。扱うのは大抵小さな部品で、通気口を0.1mm、ランナー部分を0.5mmに通常設定しています。

また、ビルドプラットフォームからプリント品を取り外しやすくするために取り代を設け、2つのプリントの位置がずれないようにセンタリング用のピンを立て、スクリュードライバーで開けやすくするための刻み目も入れるなど、幾つかのプリント用ルールにも従っています。型の厚みは通常10mmに設定し、薄い横断面は設けないようにしています。厚みが1~2mmしかないパーツは、高温に耐えられません。

3Dプリント工程

Holimakerの社内チームは型をプリントする際、ビルドプラットフォームにモデルを直置きし、積層ピッチを50ミクロンに設定しています。小さいパーツの場合、この向きはサポート構造を使用しないため、プリント時間とレジン節約できます。チームはまた、硬化後の金型表面の寸法精度が向上したことも確認しました。寸法が大きく狂う際は、ブロックの外側に問題があることが多く、フレームにぴったり収まるように手で磨く後処理を施しています。

Holimaker社は、Rigid 10Kレジンと Grey Proレジンの両方でプリントします。Grey Proレジン、低圧で数ユニットの小さな部品を成形するのに適した、より手頃な価格のレジンです。ただし、Grey Proレジンでプリントされた金型は、サイクル数が増えると変形する可能性があるため、より技術的なプロジェクトには Rigid 10Kレジンが適しています。

成形工程

Holimaker社では自社の [Holipress](#) 射出成形機を、すべての実現可能性調査に使用しています。このマニュアル式のプレス機は、使いやすく、工業用プレス機の10分の1の価格で入手できます。型は均等に圧力が掛かるように予め造られている定型のアルミフレームに置かれ、射出ノズルがプリントした型に接触しないように設計されています。

Formlabsの材料でプリントした型を使って射出成形する時、Holimaker社では硬度がショア40Aからショア90Aまでのさまざまな種類の熱可塑性プラスチックを射出しており、1サイクル時間を3分から5分の間に設定しています。1つの型を使い続けるサイクル数は成形条件によって、かなり差があります。270°CでPAを射出した場合は約10パーツですが、より低温でPP、TPEまたはPOMを射出する場合は100パーツまで、1つの型を使い続けています。Holimaker社では、離型の前の冷却工程を短くするための統合冷却システムを現在開発中です。

結果

Holimakerの社内チームがFormlabsのSLA 3Dプリント技術を採用する際に、プリントしたパーツの品質の高さとプリンタの使いやすさが決め手になりました。「我々のマシンで射出したパーツの品質が大変良かったのは、そもそも型の品質がとても高かったためです。夕方にプリントを開始したとしても、大抵は翌日には見事な型が出来上がっています」とStoky社長とSalamone部長は語っています。

以前に別のデスクトッププリント技術を使用していたものの、射出前であってもプリント物に過度の変形が見られることがありました。



Holimaker社は、顧客が耐水圧試験を実施するためのバルブ コネクタパーツのプロトタイプを作成しました。3Dプリント金型を使用して POM で射出成形された部品は 25 バーの圧力に耐えましたが、POM で機械加工された同じ部品は 8 バーの圧力にしか耐えられませんでした。

「Formlabs のパーツは、優れた寸法精度と表面仕上げを提供します。寸法エラーが発生する際も、違いは非常に小さなもので、三軸に均等にずれるので、予測もしやすく、後処理も容易です。他社のデスクトップ型プリンタでは、プリントしたパーツの変形を制御することはできませんでした」とStoky社長は言います。

チームはまた、プリント後の洗浄と硬化のプロセスを完全に自動化できるForm WashとForm Cureを含め、Formlabs製品が、使用方法を簡単に学習でき、操作もしやすく、ワークフローがシンプルにまとめられている点を高く評価しています。型を設計してプリントするまでのプロセスをすべて1日で完了し、それから設計を繰り返し見直してモデルを最適化できるようになりました。「頻繁に、午前中に型を設計し、お昼時に設計した型をプリントし、午後には試作品を射出成形して、その内容に応じてCADモデルを修正し、二度目のプリントを翌日の朝までに完成できるよう開始するまでの作業を1日のうちに済ませています」。

Holimaker社からは、自社で製作するパーツ、適用する成形条件や実現可能性調査の結果についての理解を深められるようにするために、同社の顧客から依頼された射出成形プロジェクトの成果物を数点提供して頂きました。

企業情報	バルブおよび継手メーカー	FERME 3D	眼鏡メーカー
製品	バルブコネクター	フェースシールドクリップ	眼鏡フレーム
ニーズ	水圧に対する耐性試験を実施するために、バルブコネクター部品を迅速に試作できるようになる。	短時間で一連の数万の部品を生産するソリューションをテストする。	200 フレームのシリーズを作成するために、プリントされた金型とアイウェア材料の互換性をテストする。
型のCAD			
射出したパーツ			
型の材料	Rigid 10Kレジン	Grey Proレジン	Grey Proレジン
射出材料	POM (190°C) / PA6 15% GF (280°C) / PP (210°C)	PP (食品グレード、220°C)	ASA (240°C) 、PA (240°C)
1つの型で成形した部品数	12+	100	70
サイクル時間	5分	2分	2分
プロジェクトのリードタイム	2週間	1週間	2週間

費用分析

	外注先が機械加工した金型	社内で3Dプリントでプリントした金型
設備	Holipress、 熱可塑性プラスチック	Holipress、 熱可塑性プラスチック、 Form 3+ プリンタ、Grey Proレジンまたは Rigid 10Kレジン
型の製作時間	3~5 週間	1 週間
型の製作費	4~5X	1X



結論

3Dプリントと射出成形を比較する際、多くの場合、対比するような形になることが多いですが、必ずしも両者は対立関係にあるわけではありません。ラピッドプロトタイプやパーツを直接3Dプリントしたり、3Dプリントした射出成型用金型を最終製品用材料での機能性プロトタイピングや、製品検証、少量生産に使うことで、この二つの技術の利点を両方享受できます。製造プロセスに要する時間の短縮、コスト効率の向上により、製品をいち早く市場に出せるようになります。

限定数量のパーツに掛かる生産コストとリードタイムは、新製品開発のボトルネックになることが多いものです。このハイブリッドなプロセスを導入することで、構想から生産までの時間を短縮しながら、従来から手がけてきた熱可塑性プラスチック部品の量産プロジェクトや、カスタムまたは限定数量の最終製品用パーツ製造も同時に進めることができます。その上、デスクトップ型SLA 3Dプリンタを導入することで、その作業をわずか数日で完了できるようになり、コストを更に削減できます。

デスクトップ型のソリューションを探している中小規模の製造業者や、工場に導入する最新設備を検討中の大手メーカーなど、Formlabsが提供する操作性の高い包括的な3Dプリントエコシステムであれば、どのような射出成形ワークフローにもシームレスに統合できます。[Form 3+](#)は、射出成形金型の3Dプリントとして最適です。Formlabsの方 SLA 3Dプリンターである[Form 3L](#)と共に使用することで、このプロセスを大型の金型にスケールし、さらに多くのアプリケーションに採用できます。短期間で製作できる型の利用範囲を広げるために、電気めっきや複数材料をプリントして組み合わせる複合スタックといった高度な手法の採用を検討しているユーザも現れています。

射出成型用またはその他のエンジニアリングや製造目的でSLAプリンタを使用することについてのご質問については：Formlabsのソリューション担当スペシャリストにお問い合わせいただくか、このホワイトペーパーで紹介した3つの材料の中からどれか1つの材料で製作した無償サンプルパーツをリクエストしてください。

無償サンプルをリクエスト

Formlabsのスペシャリストへ問い合わせ

Formlabs株式会社
jp-sales@formlabs.com
03-6718-4004
formlabs.com/jp

お近くの正規代理店を探す：
formlabs.com/find-a-reseller

formlabs 