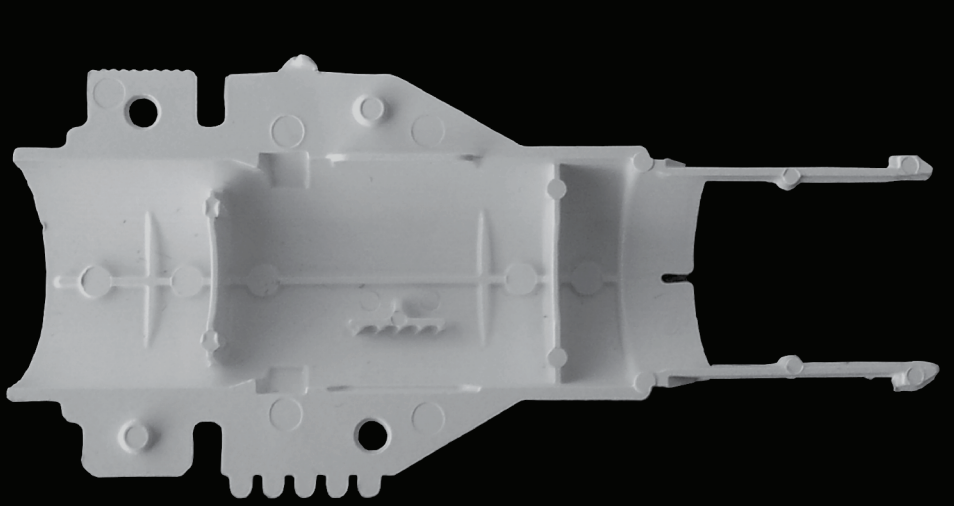


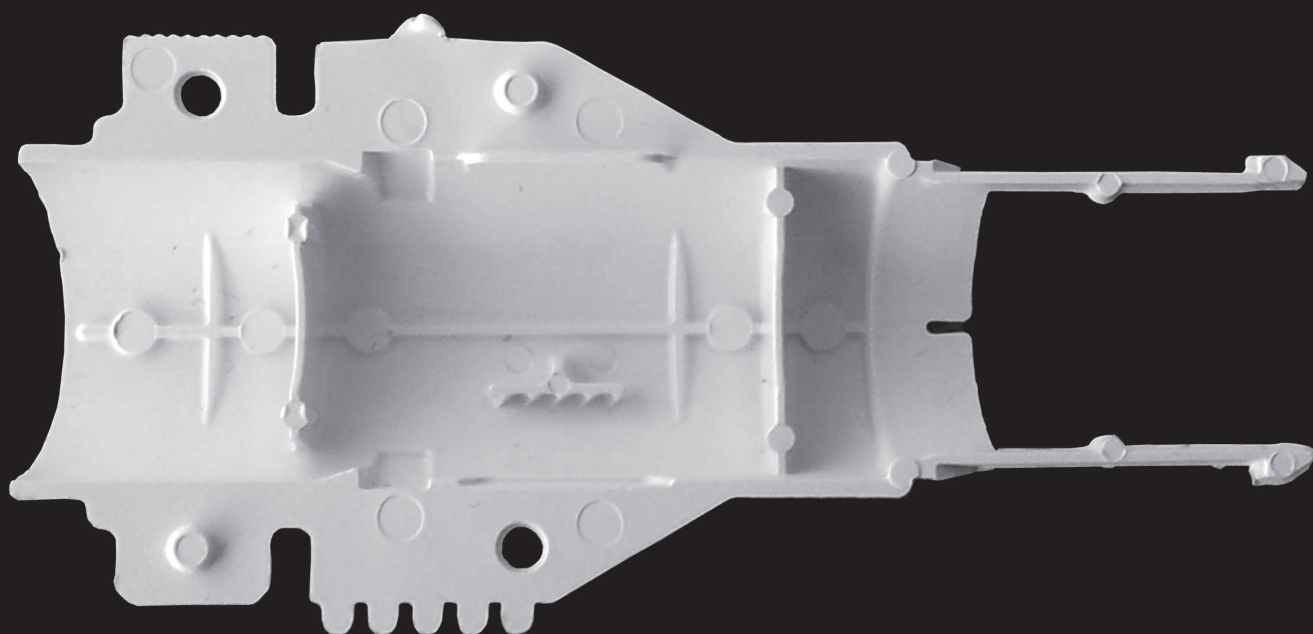
精密な プロトタイプ 製作

射出成形業界における
3Dプリント金型の役割



精密な プロトタイプ製作

射出成形とは、プラスチック材料を金型のキャビティに射出し、材料をキャビティの形状に合わせて冷却、硬化させる工程をいいます。射出成形は、高精度で、多くの場合複雑な、3次元（3D）製品パーツおよび製品の量産に最適です。しかし多くの場合、この工程で使用する金型の開発は骨の折れる作業であり、多大なコストと時間がかかります。



精密な プロトタイプ製作

硬質金型は通常、工具鋼をCNCフライス盤で加工するか、放電加工して製作されます。量産で使用する場合、数百万サイクルにわたって使用できるものの、数千万円のコストがかかります。さらに、硬質金型の製作には日数単位、週単位ではなく、月単位のリードタイムがかかります。

必要な射出成形部品が数万個に上る場合には、軟質金型を使用するという選択肢もあります。アルミニウムを原料とする軟質金型は、硬質金型に比べて低コスト（一般に25万～250万円）かつ短期間（2～6週間）で製作できます。

しかし、金型にかかるコストや時間の問題は、金型の修正が必要な設計ミスや、最終的な部品のデザインおよび品質に到達するまでの試行錯誤などの要素がからむ、複合的な問題です。こうした問題が念頭にあるからこそ、メーカー各社は、3Dプリント金型を使った射出成形による機能性プロトタイプの製作に目を向け始めているのです。

PolyJet 3Dプリント金型:最新の代替テクノロジー

PolyJetテクノロジーは、ストラタシスのJシリーズおよびObjet™ 3Dプリンタでのみ可能な3D造形法です。このテクノロジーを使うことで、企業は射出成形金型を社内で迅速かつ簡単に造形できます。PolyJetプリンティングでは、液状のフォトポリマーを造形したい形状に何層も積み重ねることで3Dオブジェクトを製作します。その後、製作したオブジェクトにUVライトを照射してプラスチックを硬化（固化）させます。金型はひとたび硬化すれば、すぐに射出成形機にセットして使用し、最終製品で使用するものと同じ材料でプロトタイプを製作できます。このように精密なプロトタイプ製作によって、メーカーは実物に近い最終製品のサンプルを製作し、さらにこれらのサンプルを使って実際に近い性能データを収集できます。

PolyJet方式で造形される射出成形金型は、中量および大量生産で使用される軟質または硬質金型の代替品とすることを目的としたものではありません。むしろ、軟質金型と3Dプリントによるプロトタイプ間のギャップを埋めることを目的としたものです。つぎのチャート（図1）では、プロトタイプ開発工程において、PolyJetテクノロジーが埋めるすき間部分を示しています。

精密な プロトタイプ製作

図 1：PolyJet造形と従来の各種プロトタイプ製作法の特徴の比較

プロトタイプ製作法	最適な部品数	プロトタイプ製作に使用される材料	平均金型コスト	部品あたりの平均コスト	部品あたりの平均コスト
3Dプリンティング*	1～10	FDM®またはPolyJet樹脂	N/A	高	高
フライス加工	1～100	熱可塑性プラスチック	N/A	高	中
シリコン成形	5～100	熱硬化性樹脂	低	中	高
PolyJet 3Dプリント金型を使った射出成形	10～100	熱可塑性プラスチック	低	中	中
軟質金型を使った射出成形	100～20,000以上	熱可塑性プラスチック	高	低	非常に低い

* FDMおよびレーザー焼結法の工程でもプロトタイプ製作に熱可塑性プラスチックを使用するが、機械特性は実際の射出成形部品とは異なる。理由は、a) プロトタイプ製作に使用される工程が異なること、そしてb) FDMおよびレーザー焼結によるプロトタイプ製作に使用される材料は通常、最終部品の射出成形に使用される材料と異なるため。

PolyJet方式の3Dプリント金型に関する重要なポイント：

- PolyJet方式で金型を製作するにあたっての初期費用は比較的低い。ただし、PolyJet金型は、使用する熱可塑性プラスチックの種類および金型の複雑さに応じて、生産する部品数が最大100個までの工程に最も適している。その結果、部品あたりのコストは中程度である。
- PolyJet金型は比較的短時間で造形できる。従来の金型の製作には数日間、数週間を要するのに対し、数時間以内に金型を造形できる。
- 設計の変更が必要な場合、新しいバージョンの金型を社内で、最小限のコストで製作できる。これにPolyJet 3Dプリンティングのスピードが加わることで、設計者およびエンジニアにとって設計自由度が高まる。
- Digital ABS™材料を使って金型を製作する場合、1層30ミクロンの層を積み重ねて、0.1mmという高い精度で正確に造形できる。こうした造形上の特性により表面がなめらかに仕上がるため、ほとんどの場合後処理が必要ない。
- 複雑な形状、薄肉構造、細部のディテールを、金型のデザインに容易に組み込むことができる。その上、PolyJet金型の製作にはより簡易的な金型ほどのコストしかかからない。
- PolyJet金型の製作にあたって、事前のプログラミングは不要。また、CADデザインファイルを読み込んだら、人が介入することなく3Dプリント工程を実施できる。
- PolyJet金型を使って部品を射出成形する場合の製造時間は比較的短いですが、従来の金型ほどではない。

精密な プロトタイプ製作

材料の選択

PolyJet方式で造形された金型を使って射出成形を行う場合、成形を成功させるためには、適切な材料の選択が重要です。

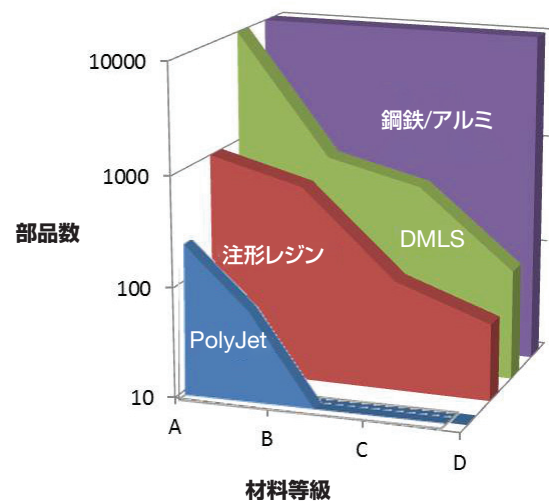
射出成形金型の造形に最適なものは、Digital ABSです。高い強度と靱性を兼ね備えているのに加え、高耐熱性でもあります。硬質材料であるFullCure[®] 720やVero[™]ファミリなど、その他のPolyJet材料も、射出成形金型として優れた性能を発揮します。ただし、複雑な形状の部品の製作に使用する場合、これらの材料を使って造形した金型は、Digital ABSを使って造形した金型よりも寿命が短くなります。

射出成形による部品の製作に最適な材料は、成形温度がそれほど高くなく（300℃未満）、流動挙動が良好なものです。理想的な材料の候補はつぎのとおりです。

- ポリエチレン（PE）
- ポリプロピレン（PP）
- ポリスチレン（PS）
- アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン（ABS）
- 熱可塑性エラストマー（TPE）
- ポリアミド（PA）
- ポリオキシメチレンまたはアセタール（POM）
- ポリカーボネートABS複合樹脂（PC-ABS）
- ガラス繊維強化ポリプロピレンまたはガラス繊維強化樹脂（G）

加工に必要な温度が250℃以上のプラスチック、または加工温度における粘度が高いプラスチックでは、金型の寿命が短くなり、場合によっては最終部品の品質が下がることがあります。

下の図2は、さまざまな方法で造形された金型を使用した場合に、通常成形できる部品数の相対数をまとめたものです。



A =

- ポリエチレン（PE）
- ポリプロピレン（PP）
- ポリスチレン（PS）
- アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン（ABS）
- 熱可塑性エラストマー（TPE）

B =

- ガラス繊維強化ポリプロピレン（PP+G）
- ポリアミド（PA）
- アセタール（ポリオキシメチレン（POM））
- ポリカーボネートABS複合樹脂（PC+ABS）

C =

- ガラス繊維強化ポリアミド（PA+G）
- ポリカーボネート（PC）
- ガラス繊維強化アセタール（POM+G）

D =

- ガラス繊維強化ポリカーボネート（PC+G）
- ポリフェニレンオキシサイド（PPO）
- ポリフェニレンサルファイド（PPS）

図2: 材料等級別見込み部品数*

* これらの数は射出成形部品の形状およびサイズによって変動する。

精密な プロトタイプ製作

金型のライフサイクル

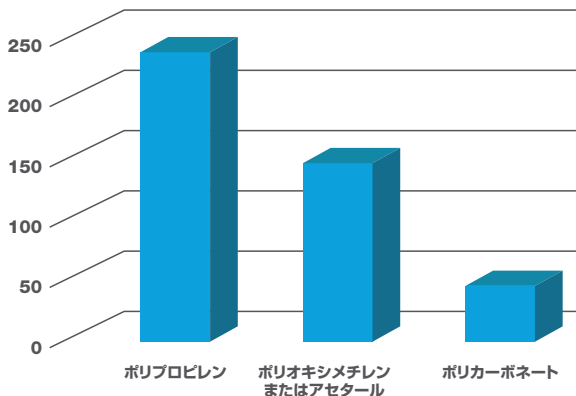


図 2B - 金型のライフサイクル (Steinwall, Inc. 社提供のデータに基づく)

アメリカ中西部の大手射出成型企業Steinwall, Inc.社は、数種類の熱可塑性プラスチックを材料とした場合の、ABS金型の寿命に関するデータを収集しました。その結果を図 2Bに示します。

また、つぎの費用便益分析を見てみると、PolyJet方式で造形された金型を使った射出成形を行う場合とアルミ製金型を使った射出成形を行う場合ではどのような点が異なるのかを理解しやすくなります。

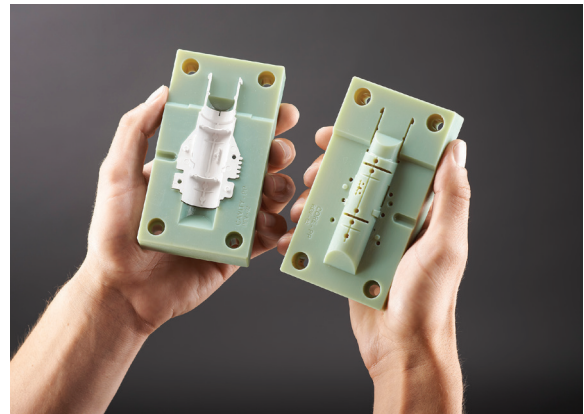
下の表 (図 3) からわかるように、リードタイムは数日間～数週間単位で大幅に短縮されました。さらに、金型の造形にかかるコストは、概して40～75%下がりました。

使用方法

3Dプリントした金型は、金属製の金型と変わらない汎用性があり、さまざまな用途に使用できます。

ストレートプル式金型

ストレートプル式金型にはA側とB側があり、内部のキャビティによって部品を成形します。PolyJet金型なら、通常量産で使用される熱可塑性プラスチック材料 (ポリオレフィン系熱可塑性プラスチック、ABS、熱可塑性エラストマーなど) に対応できます。



ストレートプル式PolyJet射出成形金型。

図 3 : 製作時間およびコストに関する費用便益分析 (アルミニウム製金型との比較)

	従来の金型		Digital ABS製金型	
	コスト	リードタイム	コスト	リードタイム
Berker	\$22,350	28 日間	\$3,800	3 日間
Arad Group	\$5,000	4 週間	\$2,000	10 時間
Grundfos	(非公開)	5 週間	(非公開)	10 日間

* 造形コストはつぎの方法で算出：材料コスト+造形時間×使用するシステムの1時間あたりの造形コスト。1時間あたりの造形コストは、1日17時間の機械稼働時間の平均をもとに算出。

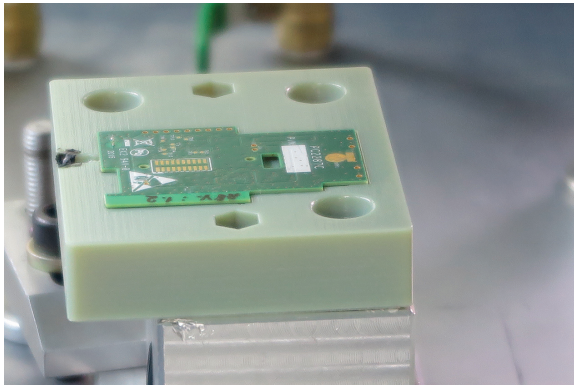
精密な プロトタイプ製作

低圧射出成形/成形ケーブルアセンブリ

PolyJet 3Dプリント金型は、プリント基板、ケーブル、その他の電子部品のオーバーモールドに使用できます。

インサート成形

3Dプリントした金型用インサートは、難しい形状に対応する独創的なデザインを可能にします。また、必要に応じて金型全体を交換することなくインサートの交換ができるため経済的で、金型の寿命も向上します。



PolyJet方式で造形された低圧射出成形金型の例。



金型用インサート（左）および射出成形した最終部品（右）。

実地テスト

ストラタシスは、アイルランドのブレイにある、医療および包装業界向けの高精度プラスチック製品の世界的メーカー Nypro Healthcare社と協力し、ラピッドプロトタイピングで製作したコアやキャビティの性能を評価する一連のテストを実施しました。対象のコアやキャビティは、つぎのような重要な機構を持つものでした。

- ギア
- ラチェット
- 連動脚
- キャッチ機構

数多く実施されたテストの1つでは、Digital ABSを材料としてPolyJet方式で造形された1つの金型を使い、ABS製のサンプル部品を射出成形しました。最大射出圧力、クッション量、コアおよびキャビティの温度など各種パラメータの記録を取りました。

図4では、金型を最適な状態にした後、最初の25回の射出に使用した射出成形パラメータを示しています。

テスト終了後、射出圧力とクッション量が一定であることと、推奨される手順で金型の冷却を行うことでコアとキャビティの温度が58℃を超えなかったことから、金型は安定していると判断されました。さらに、射出成形されたプロトタイプの品質は、Nypro社により「良好」と判定されました。

Nypro社は、テストに関してつぎのように分析しています。「結論として射出成形試験は大きな成功だったと言えます...コアおよびキャビティの造形工程は、時間、事前機能評価、金型製作コストの削減という点において優位性があると考えられます」。

精密な プロトタイプ製作

ABS - 工程パラメータ

ショット 番号	F/H温度 (°C)	F/H温度 (°C)	M/H温度 (°C)	クッション量 (mm)
1	54.3	59	880	9.19
2	18.1	38.1	887	9.12
3	51.2	42	892	9.21
4	48.4	37.9	894	9.2
5	49.0	40.5	896	9.18
6	49.6	38.2	894	9.24
7	49.6	39.8	897	9.25
8	50.9	37.6	891	9.15
9	53.9	38.1	894	9.17
10	53.6	40.2	884	9.14
11	54.8	44.0	890	9.27
12	53.3	40.8	882	9.26
13	55.1	41.8	884	9.24
14	53.1	41.7	884	9.07
15	57.0	42.1	897	9.22
16	48.2	43.7	893	9.19
17	52.7	41.9	891	9.22
18	55.4	42.3	882	9.15
19	55.7	42.9	884	9.2
20	56.3	47.9	884	9.26
21	57.3	46.8	886	9.29
22	55.1	47.6	882	9.23
23	56.2	43.6	885	9.23
24	55.1	45.2	884	9.19
25	57.5	47.1	882	9.22

図 4 : Nypro 社の射出成形部品のABSテストデータ。

最適パラメータ

PolyJet プリント金型はつぎの材料を使用する用途に最適です。

熱可塑性プラスチック：

- 300°C未満の成形温度
- 良好な流動挙動
- 候補となる材料：
 - ポリエチレン (PE)
 - ポリプロピレン (PP)
 - ポリスチレン (PS)
 - アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン (ABS)
 - 熱可塑性エラストマー (TPE)
 - ポリアミド (PA)
 - ポリオキシメチレンまたはアセタール (POM)
 - ポリカーボネートABS複合樹脂 (PC-ABS)
 - ガラス繊維強化樹脂

数量：

- 少数 (5 ~ 100)

サイズ：

- 中サイズ部品 (165cm³ 未満)
- 50 ~ 80トンの成形機
- 手動式ハンドプレス機も使用可能

設計：

- 複数回の設計を繰り返す必要あり

テスト：

- 機能性確認の必要あり
- 適合テスト (ULやCEなど) の必要あり

精密な プロトタイプ製作

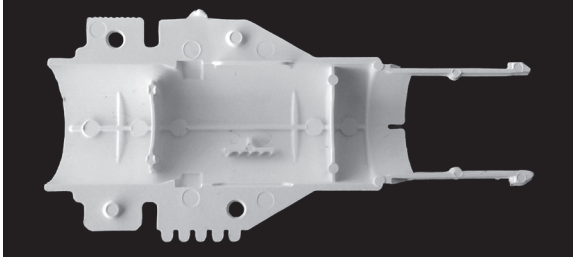


図5: Nypro社がPolyJetプリント金型を使った射出成形部品のテストのために製作した構成部品



図6: できあがったサンプル部品

性能に関するお客さま事例

3Dプリントされた射出成形金型の性能を最もよく示すものは、こうした金型を使用するお客さまの事例です。製品開発コストの削減、製品の市場投入までにかかる時間の短縮によって実証された性能を紹介します。ここで挙げる例のすべてに共通する重要な優位性は、3Dプリントされた金型で量産用材料を使用できる点です。これは機能プロトタイプ製作と短期または少量生産では必要不可欠です。

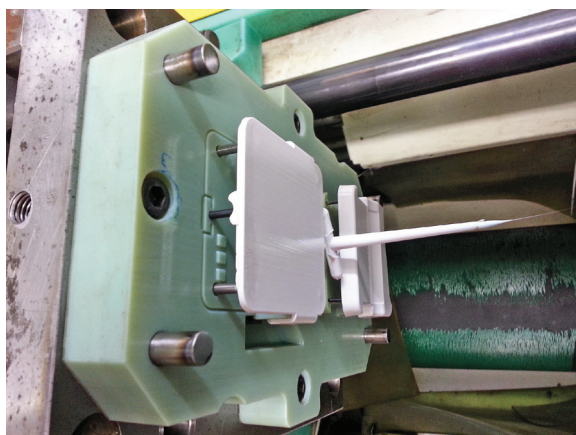
Berker社

Berker社は、インテリジェントビル管理システムに使用する電子スイッチの大手メーカーで、射出成形部品を含む製品を取り扱っています。プロトタイプ製作にかかる時間とコストを削減するため、Berker社は3Dプリントによる射出成形金型を使用することを選択しました。Berker社の場合、義務付けられたESD試験で有効性を実証するため、プロトタイプは量産用の材料で製作する必要があります。

Berker社は3Dプリントによる射出成形金型がもたらす時間とコストの削減効果を活用し、さまざまな熱可塑性プラスチック材料をテストすべく、3種類の金型を製作しました。従来の金属製金型を使ってこれと同じアプローチを取った場合、コストははるかに大きくなり、金型ができるまでにおそらく何か月ものリードタイムがかかることになったでしょう。さらに重要なのは、Berker社がこのアプローチによってさまざまなソリューションを同時に評価できたこと、それによって迅速なR&Dプロセスが可能になったことです。

Berker社の場合、金型1面あたりのコストの83%削減と、造形時間の85%短縮で最も大きな影響が出ました。その結果、Berker社は他の製品ラインでもこのアプローチを採用し、量産用材料を使ってプロトタイプやサンプル部品の製作を行っています。

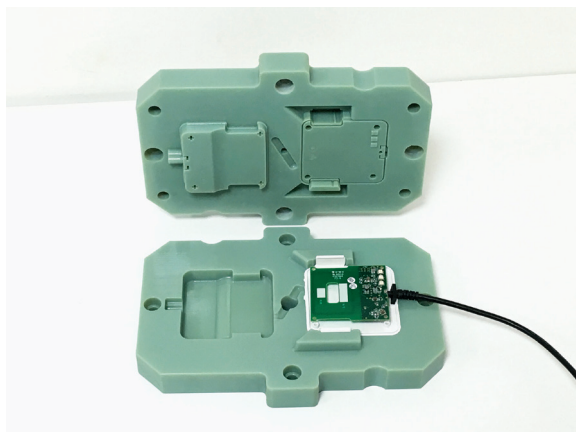
精密な プロトタイプ製作



3D成形による金型から射出成形部品が取り出される様子。

Arad Group社

Arad Group社は、家庭用および産業用の水量計測製品の開発を専門としています。射出成形設備を含む製造施設を持ち、年に50万ユニットを超える製品を生産しています。ある用途では、超音波接合された射出成形部品を使用し、繊細な電子機器周辺を水密シールで保護します。



Arad Group社がDigital ABS材料を使って3Dプリントした金型。

こうした接合部の完全性をテストするには、最終的な量産用材料で部品を製作する必要があります。従来であれば、製作に1～3か月を要することもある金属製の金型を使用するところです。テストの結果として金型の変更が必要になると、費用がかさみ、開発に遅れが出ることとなります。

Arad社では、この問題の解決策として、プロトタイプ製作および機能テストを目的とした3Dプリント金型による射出成形を導入しました。金型の材料にはDigital ABSを使用します。中にはこの戦略によって、プロトタイプのテストに向けた金型の製作にかかる期間が4週間から10時間に短縮された使用事例もあります。こうした高い効率性により、Arad社は、実地テストが可能な機能性プロトタイプを短期間で製作し、ひいては競争の激しい業界における市場投入までの時間を短縮することができるのです。

Grundfos社

ポンプメーカー世界最大手Grundfos社の場合、重要なのは、どの3Dプリント工程および材料なら最大の成果が得られるかでした。Grundfos社では、各種材料の射出成形における働きを比較するため、さまざまなポリマー系材料を使った3D造形法の評価を実施しました。Grundfos社も、Berker社やArad Group社と同様に、量産用材料を使って機能性プロトタイプのテストを行う必要がありました。

PolyJetテクノロジーとSLSテクノロジーを使ってテストした結果、SLS方式でプリントされた金型部品の表面粗さは許容できないことがわかりました。SLS金型の表面粗さによって射出された材料が金型に付着した結果、取り出しに問題が生じ、それが最終的に金型の破損につながりました。これに対し、PolyJet方式で造形された金型は表面が滑らかで、金型にかかるせん断応力が低減されることから、部品が取り出しやすいというメリットがありました。

精密な プロトタイプ製作

PolyJet 金型についてはさらに、より大型で複雑なパーツにした場合の有効性を判断するためのテストが行われました。Grundfos社は、ガラス繊維強化ノリル樹脂（PPE-PS、ガラス繊維 30% 配合）などの射出成形が難しい材料についても、PolyJet Digital ABSが 3Dプリントによる射出成形金型でのプロトタイプ製作に最適な材料であり、機能テストおよび設計評価向けに精度の高い部品が製作できると結論づけました。

まとめ

メーカーはPolyJet 3Dプリント金型を使用することで、射出成形工程および最終製品の製造に使用すると同じ材料で製品のプロトタイプを製作することにより、機能テストをまったく新しいレベルに引き上げることができます。企業はこのテクノロジーにより、より優れた性能データを収集し、認定に向けた信頼度を検証できます。

PolyJet方式でプリントされた金型は、金属製の金型と同様に機能する一方で、より安価で、より簡単かつ迅速に製作できる点で他に類を見ません。メーカーはPolyJetテクノロジーを用いることで、従来の手法よりはるかにスピーディに、そして低コストでプロトタイプを製作できます。つまり、メーカーは3Dプリンティングによって、量産開始前に候補となる製品の性能、適合性、品質を容易に評価できるということです。

ストラタシス本社 東京本社 / ショールーム

〒104-0033
東京都中央区新川 1-16-3
住友不動産茅場町ビル 3F
TEL. 03-5542-0042
FAX. 03-5566-6360

大阪支店 / ショールーム

〒540-6319
大阪府大阪市中央区城見 1-3-7
松下IMPビル 19F
TEL. 06-6943-7090
FAX. 06-6943-7091

www.stratasys.co.jp
ISO 9001:2015 認証取得済

© 2020 Stratasys. All rights reserved. Stratasys, Stratasysロゴ, 「The 3D Printing Solutions Company」, 「Shaping What's Next」, FDM, PolyJet, Digital ABS, およびVeroは、Stratasys Ltd.、その子会社、関連会社の商標であり、一部の司法管轄区では登録商標となっている場合があります。他の商標は、すべて各所有者の財産です。製品仕様は予告なく変更される場合があります。
WP_PJ_PrecisionPrototyping_InjectionMolding_A4_0220a_0720_JP

