

特集号
招待論文

金属 3D プリンタによる造形金型の成形事例—金属 3D プリンタ「OPM250L」の特長とプラスチック成形金型への応用事例—

澤崎 隆^{†1}

^{†1} (株) ソディック

当社が開発した金属 3D プリンタ「OPM250L」は、レーザ照射による積層造形と切削工具による除去加工を 1 台の機械に融合した複合加工機である。積層造形の特長を活かしつつ、課題であった加工精度と表面粗さの性能向上により、プラスチック用成形金型への適応を可能とした。「OPM250L」で造形した 3 次元冷却配管内蔵の金型を用いて、実際にプラスチック製品の成形を行い、ハイサイクル成形による生産性向上を実現した。

1. はじめに

3D プリンタは、従来のものづくりでは困難な（あるいは不可能な）3次元形状を造形できることから、部品単体での高機能化、新しい製造プロセスの確立、大幅な生産性向上などをもたらす革新的な装置として、大きな注目と期待を集めている。一方、5,000ドル以上の3Dプリンタの、2013年度出荷台数は世界規模で9,800台（米ウォーラーズ・アソシエイツ社レポート2014 [1]より）程度と、さまざまな部品や製品への活用は始まったばかりであり、そのさらなる実践的な普及を推し進めていくためには、加工速度・加工精度の向上や低価格な材料・装置の開発などさまざまな課題を解決することが急務である。

当社は、NC放電加工機を主力とする工作機械や射出成形機を市場に提供することで、微細・精密領域での、形状精度10μm以下・仕上げ表面粗さRa1μm以下をターゲットとする高精度・高品質なものづくりを支援してきた。今回、当社がこれまで培ってきた基盤技術を集大成し、精密部品や、金型の種別としては特にプラスチック成形金型の製造現場で、実践的に適応できる金属3Dプリンタを普及させることをテーマに、レーザ照射による積層造形と、切削工具による除去加工を1台の機械に融合した、金属3Dプリンタの複合加工機「OPM250L」の開発を行った。

本稿では、金属3Dプリンタの現状と課題をふまえ、プラスチック成形において必要な、造形物の金属充填率および表面粗さの向上と、「OPM250L」で造形した3次元冷却配管内蔵の金型を用いて、実際にプラスチック製

品を成形した事例での、冷却時間短縮による生産性向上の成果を紹介する。

2. 金属 3D プリンタの現状と課題

2.1 3D プリンタとは

3Dプリンタとは、コンピュータ上（3次元CAD）で作成した3次元データを、薄くスライスした断面形状のデータに変換し、樹脂や金属などの材料を一層ずつ積層していくことで立体形状を作製する装置や機器を示す。3Dプリンタという名称は、文字や絵などの2次元データを通常の紙（平面）に出力するプリンタとの対比で直感的にイメージしやすいことから、日本では広く浸透しているが、2009年にアメリカの民間規格制定機関ASTM（the American Society for Testing and Materials）が制定したAM（Additive Manufacturing = 付加製造）という名称が国際的には普及している。

AMを用いて立体形状を造形する方法を、ASTMでは表1に示す7つのカテゴリに分類している。このうち、金属を材料とする方法は、当社「OPM250L」が採用した「粉末床溶融結合法（PBF: Powder Bed Fusion）」と「指向性エネルギー堆積法（DED: Direct Energy Deposition）」に大別される。

2.2 金属 3D プリンタの特長と課題

金属部品を製造する現在の主な加工方法として、切削加工による除去加工、型に材料を入れて成形する鋳造加工や型で材料を変形させる鍛造加工・プレス加工などの成形加工が挙げられる。いずれも工具や治具、専用の型

表 1 ASTM による AM 技術の分類

カテゴリ	概要	材料
粉末床溶融結合法 (PBF: Powder Bed Fusion)	粉末を敷いた領域を熱によって選択的に溶融結合させる	金属 (銅, チタン, ニッケル合金, コバルトクロム合金) 樹脂 (ナイロン, アミド), セラミック
指向性エネルギー堆積法 (DED: Directed Energy Deposition)	材料を供給しつつ、熱の発生位置を制御することによって、材料を選択的に溶融・結合する	金属
シート積層法 (SL: Sheet Lamination)	シート状の材料を接着させる	紙, 樹脂, 金属箔
液槽光重合法 (VP: Vat Photopolymerization)	タンクにためられた液状の光硬化性樹脂のモノマを光によって選択的に硬化させる	光硬化性樹脂モノマ
結合剤噴射法 (BJ: Binder Jetting)	液状の結合剤を粉末に噴射して選択的に固化させる	石膏, プラスチック
材料押出法 (ME: Material Extrusion)	流動性のある材料をノズルから押し出し、堆積させる	熱可塑性樹脂
材料噴射法 (MJ: Material Jetting)	材料の液滴を噴射し選択的に堆積し固体化する	光硬化性樹脂, ワックス

が必要であるが、金属3Dプリンタで製造する場合、これらの付帯装置や設備が不要で、1プロセスでダイレクトに立体形状が造形できるため、部品完成に必要な時間がきわめて短縮できる。したがって、頻繁な形状変更を伴いすぐに形が見たい設計段階での試作品や、個々の人体に合わせて形状を変更する医療分野での部品製造に金属3Dプリンタは適している。

また、切削加工では不可能な内部に空洞がある形状や、メッシュ状や複雑な自由曲面を持つ構造体の場合、金属3Dプリンタであれば、容易に造形が可能である。その他、比較的高価な材料で、切削加工による除去量が多いような立体形状であれば、おおむね部品の体積に見合う量の材料で造形することが可能である。このような金属3Dプリンタの特長を活かして、タービンブレードに代表される航空宇宙分野でのチタン合金を用いた部品加工において、材料を無駄にすることなく軽量化を実現する有効な製造手法の1つとなっている。

金属3Dプリンタのユニークな特長として、レーザーや電子線のエネルギーを変化させることにより、金属の結合状態を調整し、緻密な構造も空孔のあるポーラス構造も製造することが可能であり、金属フィルタなどの機能部品を製造する手法としての適応にも期待が高まっている。

一方、金属3Dプリンタには、以下に示すようないく

つかの課題がある。その課題とは、①従来の加工方法と比べて造形サイズに制約がある、②造形速度が遅く生産効率が低い、③寸法精度・形状精度が劣る、④造形の表面粗さが粗い、⑤強度を求められる部品への適応が難しい、⑥適応できる材料が限定され、その単価が高い、⑦造形装置本体が高額である、などが挙げられる。

最近の(2014年5月時点)の金属3Dプリンタの標準的な性能の目安として、

- 造形速度: ~ 20cm³/h
- 造形精度: 50 ~ 100μm 程度
- 表面粗さ: Ra40μm 程度
- 造形サイズ: 250 × 250 × 300mm 程度

という報告がなされているが、数値のみの比較であれば、従来の加工方法による性能に及ばないことは明らかである。したがって、すでに製造手法やその工程が確立されている部品を、単に金属3Dプリンタの製造に置き換えてみても期待するような成果は得られず、金属3Dプリンタの課題を考慮しつつ、その特長を活かした部品の高機能化や革新的な製造プロセスが得られる事例をいかに発想できるかが、金属3Dプリンタの普及を促す重要なポイントである。

当社が深くかかわってきた金型製造業に目を向けると、グローバル競争が激化するなかで、厳しいコストダウンや短納期化の課題に直面している。金型づくりは、高精度で高品位な複数の金型部品で構成され、その組み立てには高度なすり合わせ技術を要する。したがって、金型部品は1種類の工作機械だけでは製造できず、数種類の工作機械による製造工程を経て完成となるため、自動化の対応が容易ではない。このような状況を打破する手法として、1プロセスでダイレクトに造形が可能な金属3Dプリンタの特長を活かした新たな金型づくりの実現に期待が高まっているが、前述した金属3Dプリンタの課題が障壁となり、金型の製造現場への適応はほんのわずかにとどまっている。

当社が主力製品群に射出成形機を有している強みを活かし、プラスチック成形用金型の生産性を向上する重要な機能の1つである、冷却配管の3次元化に注目し、金属3Dプリンタで造形した金型がもたらす成形加工への効果を実証するアプローチとして、レーザー加工と切削加工を1台の機械に複合した金属3Dプリンタ「OPM250L」を開発した。以下、プラスチック成形用金型に適応するための積層造形の性能向上と、複合化による加工精度と表面粗さの性能向上、および、プラスチック製品でのハイサイクル成形の成果を紹介する。

3. レーザ加工と切削加工の複合加工機による金属 3D プリンタの新技術

3.1 金属 3D プリンタ「OPM250L」の特長

「OPM250L」は、薄く敷きつめた金属粉末を、希望する形状の部分のみレーザ照射することにより、熔融凝固させて造形する金属3Dプリンタであり、造形物の加工精度や表面粗さを向上させるために高速切削の機能を1台の機械に融合した複合加工機である。図1に「OPM250L」の外観を示す。

レーザ加工と切削加工の複合化にあたり、製造現場で金属3Dプリンタの適応を確実なものとするために必要な以下の項目を実施した。

- 広範囲の加工条件選択を可能とする、大出力500WのYbファイバレーザを搭載
- 安定した積層造形を連続して維持するために欠かせない強力なヒューム処理能力
- 多数個取り加工時に必要な治具の使用を可能とする、厚み方向の大きいストローク（250mm）
- 高速切削と優れた加工精度を可能とする、2面拘束



図1 「OPM250L」外観

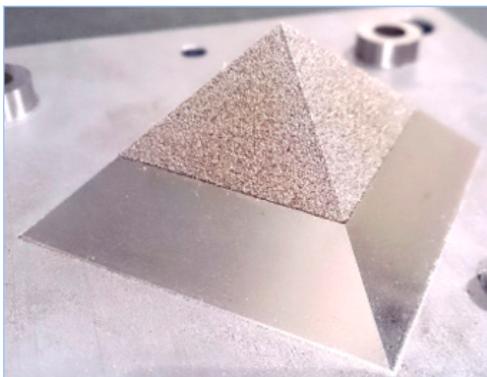


図2 レーザ加工（上部）と切削加工（下部）の面質

焼き嵌め工具ホルダ仕様の高速回転スピンドルを搭載

レーザ加工と切削加工を1台の機械に融合することは、段取り替えを不要とすることで機械稼働率アップを図ると同時に、段取り替えがもたらす加工基準のズレを回避する狙いもある。「OPM250L」が有する高速切削の性能は、ハイスピードミーリング加工の特長によるものであり、当社が設定した加工精度確認用のテストパターンにおいて、±0.01mm以内の寸法精度を可能とした。図2にレーザ加工そのままの面質と、レーザ加工後に切削加工を施した面質の違いを示す。上部は金属粉末が熔融凝固して積層された状態のまま粗い面質となっており、金型が求める精度・面粗さには及ばないことが自明であり、下部は切削加工特有のきれいな仕上がりの面質となっている。

「OPM250L」は、図3に示すように、金属粉末を加工槽テーブルに積層厚み0.05mmずつ敷きつめ、レーザ照射により熔融凝固させて造形する「粉末床熔融結合法（PBF：Powder Bed Fusion）」を採用した。積層厚みは任意に設定ができる。レーザ照射が数回に1回の割合で、切削工具による高速切削加工を行う。この動作を繰り返し行うことにより、厚い造形物でも高精度に加工できる。レーザ加工と高速切削加工の加工条件および加工形状のNCプログラムは専用のCAMより生成され、「OPM250L」のNC装置LN2RPに転送されることにより、レーザ加工と高速切削加工、ともに全自動で実施される。

COLUMN ハイスピードミーリング加工の特長

ハイスピードミーリング加工は、深い切り込み量で、パワーにまかせてバリバリと削り込んでいく従来の切削加工とは異なり、動的・静的振れ精度や振動を最小限にとどめた、高速に回転する高剛性の主軸に小径工具を装着し、浅い切り込み量を設定し、速い送り速度で高効率に切削加工を行うのが特長である。

切り込み量が浅いため、切削抵抗は小さくなり、工具と加工物のあいだで発生する熱量が抑制されることで、加工物の変形や加工面の変質層、工具のたわみや摩耗が低減され、加工精度向上や工具寿命向上に効果を発揮する。

浅い切り込み量の条件下で加工効率を高めるためには、高速回転・高剛性主軸に加え、高速で高精度に稼働できる軸特性を持った高い剛性のマシン本体と高度な制御装置が必要である。

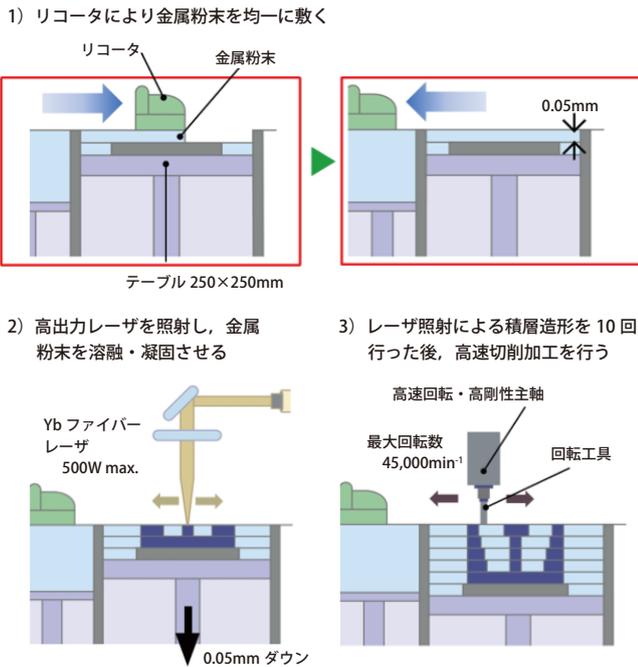


図3 「OPM250L」加工概念図

金属を材料とする3Dプリンタの一般的な分類と概要を表2にまとめる。今回「OPM250L」に「選択的レーザー溶融法」を採用したのは、微細・複雑形状への優位性に加え、この方法を実現するにあたり当社が有する要素技術との相性が良い点が主な理由である。

3.2 造形物の金属充填と表面粗さ

プラスチック成形用金型をターゲットの1つとし、製造現場で使える金属3Dプリンタ「OPM250L」の重要な性能の1つに加工表面の品質が挙げられる。「OPM250L」の、機上で加工できる最良面はマルエージング鋼でのRa0.19μmであり、プラスチック成形用金型の意匠面に

表2 金属 3D プリントの分類と概要

特徴	粉末床溶融結合法 (PBF: Powder Bed Fusion)		指向性エネルギー堆積法 (DED: Directed Energy Deposition)
	選択的レーザー溶融法 (SLM: Selective Laser Melting)	電子線溶融法 (EBM: Electron Beam Melting)	
材料	多様な材料	通電性材料	多様な材料
造形サイズ	造形チャンバサイズ		ハンドリング装置の動く範囲
構造の複雑さ	ほぼ制限なし		制限あり
造形箇所	平面		3次元表面、既存部材へ付加
造形雰囲気	大気中、不活性雰囲気	高真空	大気中、不活性雰囲気
速度、強度、ほか	微細・複雑形状が可能、造形能率が低い	造形能率が高い	造形能率が高い、高密度・高強度が可能、微細造形には不適、表面粗さが粗い

使用する場合、後工程に磨き加工が必要となる。一般的に金属3Dプリンタによる造形物は、その内部に“巣”と呼ばれる微小孔の欠陥が存在し、レーザー加工の状態が不安定になるほど、“巣”の発生率が高まる。“巣”は磨き加工後の表面品質に影響を及ぼし、プラスチック製品の品質に支障をきたすため、“巣”の発生を抑制するレーザー加工の安定性が求められる。レーザー加工の安定性の要因として、レーザー出力のパワーとその安定性、レーザー照射とテーブル制御のマッチング、レーザー照射の雰囲気(低酸素濃度の不活性雰囲気、ヒューム回収状況)、金属粉末の品質(粒径分布、金属物性)、敷き詰めた金属粉末の均一性などが挙げられるが、これらすべての要素が長時間にわたり最適な状態を安定維持することが必要である。外製品のプラスチック製品であれば、優れた面質を得るためには転写される金型の表面面質が良好であることが求められる。金型表面に“巣”があると、プラスチック製品は凸状の面質エラーとなるため、金型の“巣”を除去することになる。“巣”が除去されるまで、金型の面を磨き仕上げなおすやっかいな作業となり、その作業は精度劣化などほかのエラーを招くことも懸念されるため、限りなく“巣”の存在がゼロ、すなわち金属充填率がほぼ100%となる積層造形の性能が求められる。

「OPM250L」では、レーザー加工が安定する条件を開発することにより、メルティング率が100%に近い造形加工が実現できた。この“メルティング率”は、当社が独自に定めた金属充填率の指標であり、造形物の表面を顕微鏡で拡大し、欠陥の状況を定量化したものである。定量化の基準として、倍率:×100倍、欠陥サイズ:最小φ2μm、カウント面積:10×10mmの面積を5箇所切り出し測定する、と定め、メルティング率100%であれば、欠陥のない金属充填の状況を示している。「OPM250L」での造形後に、バフ研磨機で磨き加工を行った造形物は、鏡面に近い表面品質が得られ、「OPM250L」は高品質な意匠面を持つ金型への適応が可能となった。図4はマルエージング鋼での造形加工を行い、断面を2000番の砥石で磨き、メルティング率を測定した。また、図5は、金属粉末をSUS420J2に変えて同様のことを行い、メルティング率を測定した。以上の測定方法によりマルエージング鋼とSUS420J2で99.99%の非常に高いメルティング率が得られた。これは、ヒューム回収を含めた窒素濃度管理とレーザーエネルギー制御を含めた加工条件選択によるものである。ヒュームとは、金属粉末が溶融される際、一部が金属蒸気となり蒸発し、凝集して微粒子となったものである。ヒュームが造形雰囲気に漂うとレーザー



図4 マルエージング鋼造形物のミガキ面



図5 SUS420J2 造形物のミガキ面

が遮られ、安定した溶融凝固が行えず積層造形の品質が劣化する。非常に高いメルティング率を実現できたことは、発生したヒュームを迅速に効率よく回収できていることの証となった。

次にマルエージング鋼の造形物を、ダイヤモンド砥粒を使ってバフ研磨を行い、どこまで面粗さの小さな鏡面が得られるかを測定した。図6はバフ研磨後の加工面を辞書の上に置いた写真である。写真が示すように、辞書の文字がきれいに写りこむレベルの鏡面が得られた。面粗さRa0.014μmと非常にきれいな面が得られ、この面質を持つキャピティ（凹状態の金型部品）でプラスチック成形を行った場合、SPI-A2クラス（レンズや光沢面が必要な外装品用途向け最上級仕上げ）の意匠面が可能となる。



図6 造形物による鏡面サンプル

COLUMN バフ研磨

バフ研磨とは、ホイールに研磨剤を塗布したバフを貼り付け、回転させながらワークを研磨することである。バフは、布・皮・ウレタン・ゴムなど柔らかい素材でできている。金属表面を磨いたり、加工時に付いた傷・バリなどを除去したり、メッキの前工程として表面の平滑度を上げ、仕上がりを向上させるために行う。鉄、アルミ、亜鉛、ステンレスなど、ほぼすべての金属に適用できる。自動機器で行う場合もあるが、細かい仕上げは手作業で行う場合が多い。

4. プラスチック成形金型への応用事例

4.1 3次元冷却配管がもたらす成形効果

「OPM250L」は、レーザー加工の工程の間に切削加工を組み込むことができるため、従来の工作機械では不可能な形状において、1台の機械で全自動に加工できるという特長を持つ。本稿ではプラスチック成形金型の製造において従来の工作機械を使用して製作した場合と、「OPM250L」を使用して造形した場合での金型構造を比較し、射出成形に及ぼす影響を比較した。ただし、加工方法の制約から3次元冷却配管の設計技術はまだ発展途上である。

射出成形機によりプラスチック部品を成形する場合、品質や成形サイクルに対して金型内の樹脂の温度コントロールが重要な要素となる。この温度コントロールは金型の冷却配管の構造に大きく影響を受け、冷却配管をいかに金型表面に緻密に配置できるかがポイントとなる。「OPM250L」は金属粉末を薄く（0.05mm）敷きつめながらレーザー照射により凝固していくため金型内部に複雑な配管を容易に配置できる。同様な形状を従来の工作機械で製造する場合は金型を分割して構成せざるを得ないため、一般的な金型では簡単な冷却配管の構造にとどまらざるを得ない。

今回は図7のようなスマートフォンケースの金型を製作し、冷却配管の違いによるプラスチック成形性能を比



図7 スマートフォンケース金型の外観（モデル）

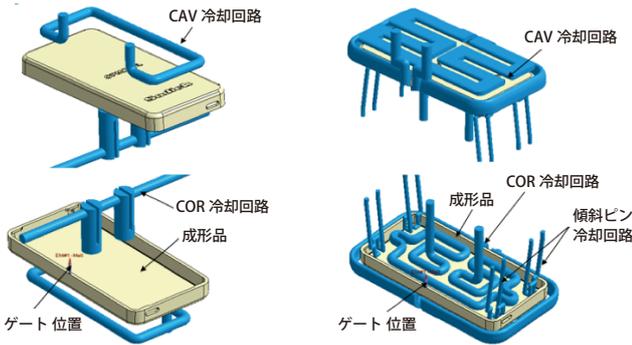


図8 冷却配管モデル図(左:従来, 右:3次元配管)

較した。図7の左側がコアであり、右側がキャビティである。またコアはコア本体と四隅のスライドコアより構成されている。

図8は、従来冷却配管の金型と3D造形による3次元冷却配管の金型を比較したモデル図である。

左側のモデルが従来の冷却配管であり、右側のモデルが3次元冷却配管である。3次元冷却配管の金型の材料に、中心粒径0.02mmのマルエージング鋼の粉末を使用した。マルエージング鋼粉末は、レーザ照射による溶融凝固において硬度があまり高くないため(HRC35程度)、レーザ加工後切削加工を行っても工具摩耗を最小限に抑えられる。また、全加工工程終了後に時効処理を行うことでHRC55程度まで硬度を高めることができるので、金属3Dプリンタによる金型加工の適切な材料としてこの材料は汎用的に使用されている。今回の加工ではレーザ照射にて0.05mmを積層し、レーザ照射10回に1回の割合で切削加工を行った。

また、図9はデータ解析ソフト「Moldex3D」を使用して、同じ冷却時間において成形中の樹脂の温度をそれぞれの金型で比べたものである。3次元冷却配管の金型では、従来の金型よりも全体的に温度が20℃低く、また場所による温度の差が小さく示されている。

図10は3次元冷却配管の金型の内部を見えるように透明樹脂を使って作製したスケルトンモデルの写真である。冷却配管の部分を着色して可視化してある。スライドコア部の配管が長くて細いレイアウトになっているため、キャビティやコア本体よりも冷却性能が悪くなっている。したがって、四隅の温度が高いシミュレーション結果となっているため、スライドコアの冷却液温度をほかの部分より20℃低く設定することで、均一な温度のシミュレーション結果が得られた。この結果に基づき、実際の射出成形時もスライドコア部だけクーラーの温度を20℃低く設定して加工を行った。



図9 樹脂温度シミュレーション比較(左:従来, 右:3次元配管)



図10 スマートフォンケース金型のスケルトンモデル

4.2 3次元冷却配管による生産性向上の成形事例効果

前述の2つの金型を使用して、実際にスマートフォンケースの射出成形を行った。当社の射出成形機GL60(図11に外観を示す)に成形品取り出し用のロボットを装着して自動運転を行った。また、実際に成形を行ったプラスチック成形品(120×58×10mm, 肉厚2mm)を図12に示す。樹脂材料はIT機器の外観ケースの材料として広く使用されているポリカーボネート(PC)を使用し、射出成形加工を行った。

成形加工の品質には加工表面の転写精度の均一性や寸法精度などの評価パラメータがあるが、ここでは成形品の反り量と冷却時間との関係を比較し、同じ品質を得るための冷却時間を算出して3次元冷却配管による生産性向上の効果を調査した。調査方法として、射出成形中の冷却時間を徐々に延ばして成形加工を行い、それぞれの時間における成形品の反り量を測定した。

図13に、成形品の反り量と冷却時間との関係を、従来金型と3次元配管金型とを対比してグラフに示した。この成形品の反り量の許容値0.25mmに対し、許容値をクリアするためには3次元配管の方は冷却時間が5秒であるのに対し、従来金型では13秒が必要である。射出成形機で成形加工を行う場合、型締めから成形品の取り出しまで、さまざまな工程により成形サイクルが成り立っている。今回はこのうちの冷却時間のみ先述の比較に



図 11 ソディック製射出成形機 GL60



図 12 プラスチック成形品

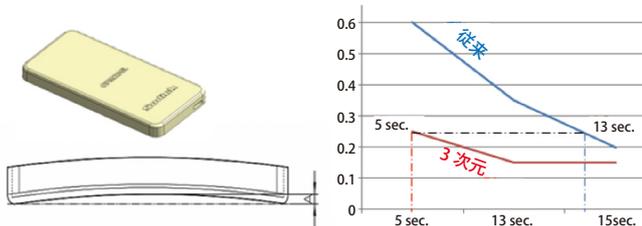


図 13 成形品の反り量と冷却時間との関係

より短縮化できたとして成形サイクルを比較し、その結果として生産性の向上効果を表す。冷却時間を除いた成形サイクルは17秒であり、成形サイクル全体としては、従来金型の30秒に対して、3次元冷却配管の場合22秒で同じ成形品が得られることが分かった。この結果より、3次元冷却配管の金型を使用すれば36%の生産性向上が可能である。

ほかの利用方法として、ポラス構造を内蔵するプラスチック成形用金型を金属3Dプリンタで造形することで、プラスチックが金型に流れ込む際に発生するガスの

放出が容易となり、成形品の品質向上やハイサイクル化、金型のメンテナンス向上などの効果が期待できる。

5. おわりに

本稿は金属3Dプリンタ「OPM250L」を使った最新の加工データを紹介し、この技術の応用例としてプラスチック金型での性能比較を行った。

従来の除去方式により製造された金型を使用する成形加工に対して、金属3Dプリンタを使った積み上げ方式による金型を使用した場合、3次元配管による冷却効果が作用し、プラスチック成形品生産性向上が期待できる。

金属3Dプリンタを活用したモノづくりは、何をつくるかにおいても、どのようにつくるかにおいても、従来の発想を超えた創造力と包括的な利益創生の見極めが求められる。

また、さまざまなスキル習得が必要であり、一朝一夕に成果が得られるものではない。金属3Dプリンタの強み・弱みを明らかにし、実践的な成功事例を数多く積み重ねることが海外との競争力強化に有効である。

今回紹介した「OPM250L」が、日本の精密加工の製造現場で使える金属3Dプリンタの先陣となるべく、日々性能向上に邁進する所存である。

参考文献

- 1) Wohlers Associates, Inc.: Wohlers Report 2014 (2014年5月)。
- 2) 佐野定男, 松本 格: 金属3Dプリンタ「OPM250L」のご紹介, 計測と制御, Vol.54, No.6 (2015年6月号), pp.1-2 (2015)。
- 3) 佐野定男: 積層造形と機械加工を融合した金属系3Dプリンタ, SOKEIZAI, Vol.56, No.6, pp.38-43 (2015)。
- 4) 新野俊樹: 金属の付加装置技術の最新動向と期待, 型技術, Vol.59, No.2 (2014年2月号), pp.18-23 (2014)。
- 5) 京極秀樹: 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, Vol.5, pp.139-143 (2014)。
- 6) 京極秀樹: 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, Vol.6, pp.179-183 (2015)。

澤崎 隆 (非会員) sawazaki@sodick.co.jp
 (株) ソディックマーケティングセンター副センター長。1987年に同社に入社し、放電加工機の機械設計に従事。2002年に営業技術部に配属。広報宣伝や販促用ドキュメント制作に従事。2012年に部署名変更により現在に至る。

採録決定: 2015年11月30日

編集担当: 茂木 強 (国立研究開発法人科学技術振興機構)