

プラスチック射出成形金型冷却管の形状及び配置による 成形加工の効率化（第1報）

寺澤 章裕・長田 和真・西村 通喜・阿部 治

Efficiency of the Injection Molding Process by Shape and Placement of the Mold Cooling Tube (1st Report)

Akihiro Terasawa, Kazuma OSADA, Michiyoshi Nishimura and Osamu ABE

要 約

金型冷却管の配置方法の検討によってプラスチック射出成形加工の効率化を目的に研究を実施した。今年度は、箱型の成形品をターゲットにして、各種冷却管の配置方法の違いによる成形性の違いについて、射出成形シミュレーションと実際の成形加工実験を実施した。冷却管のタイプとしては、金属 3D プリンタによって作製した金型製品面に沿うように配置した冷却管（3D 冷却管）と、従来タイプの冷却管として、直管タイプとバッフルプレートを使用したタイプを選定し、金型温度と成形品の反り量を評価した。その結果、シミュレーション、成形実験のいずれにおいても 3D 冷却管が最も金型温度が低温に保たれ、反り量も一番小さくなる傾向が確認できた。また、シミュレーションと実際の成形現象との比較の結果、反り量では最大で約 15%の差が表れたが、冷却管ごとの相対的な差は類似していることが確認できた。

1. 緒 言

プラスチック射出成型加工は短時間に多数の製品を生産できる点の特徴としている。そのため、製品単価は低く設定され、利益を出すためには、成形サイクルの短縮や不良品低減等によって効率的な生産を行うことが必要となる。

成形サイクルの短縮として考えられる方法に、冷却時間の短縮があげられる。また、不良の一形態である成形品の反り・変形等の低減には、金型温度を可能な限り均一にして成形することが効果的である¹⁾。これらの点において重要な役割を果たすのが金型冷却管である。

金型冷却管は、成形時に高温の樹脂材料から供給される熱を金型外に排出する役割があるため、金型冷却管を金型製品面に沿って金型全体に配置できれば、金型冷却効率は上がり、また、金型内の温度分布も均一に近づくと予想されるため、成形サイクルの短縮や、反り・変形による不良の低減が可能となる。

しかし、金型冷却管は、切削加工によって加工されることが多く、金型内部に複雑な配置の冷却管を加工することは難しい。この点を解決する方法として、近年金属 3D プリンタが注目されている。金属 3D プリンタは、粉末の金属粉を積層・造形することで、これまで、加工が困難であった冷却管の配置を金型内に作製することができる。この手法は、金属 3D プリンタのメーカー等によって提案さ

れているものの、金型温度分布や成形品の品質等について詳細に検討した事例やデータの公開例は少なく、実際の製造現場において、適用を検討するための十分なデータは得られていないと考えられる。

そこで本研究では、金属 3D プリンタによって、金型製品面に沿った効率的な冷却管（3D 冷却管）を配置した金型を作製して、この金型による成形と、従来通りの冷却管を配置した金型による成形とを比較検討することで、3D 冷却管の効果を検証することを目的とした。

今年度は、コア部の冷却が課題となることが多い箱形状のモデルを選定し、実際に成形加工実験を行い、3D 冷却管の効果について検証実験を行った。また、金型設計の際に有力なツールとなる射出成形シミュレーションソフトウェアによる解析結果と、実際の成形実験結果とを比較し、シミュレーションと実現象との差異を定量的に評価することで、3D 冷却管等の設計を行う際に必要となる基本的なデータの提供を行った。

2. 実験方法

2-1 実験モデルの決定および金型作製

図 1 に本研究で検討した成形品の形状を示す。成形はダイレクトゲートで成形する方式にし、外寸法は 54×29×18mm、肉厚 2mm とした。金属 3D プリンタの造形では、

造形時間や造形品の反り等の変形が課題となるため、大型の成形品への適用が難しい場合がある。そこで、小型成形品用の金型や、入れ子の加工に対する金属 3D プリンタの活用を想定して、上記寸法の成形品をモデルとして採用した。

図 2 に上記成形品を成形するために作製した金型の写真を示す。金型は入れ子式として、タイプが異なる冷却管を加工した入れ子をモールドベースに挿入する方式とした。また、入れ子の材質はマルエージング鋼を用いた。

金型温度測定は入れ子に K 熱電対を挿入して測定する方式とした。図 3 は温度測定箇所の説明図で、後で説明する直管タイプの冷却管を有する金型入れ子を例に説明したものである。図は金型入れ子中心で成形品長手方向に切断した断面図で、金型が閉じている状態を示している。金型温度はキャビ側 1 か所 (CAV-side)、コア側 2 か所 (CORE-side, CORE-center) の合計 3 か所で測定できるようにした。また、図に示すように熱電対を配置して測定できるように、熱電対挿入用穴を加工した。なお、熱電対先端には導電性のグリースを塗布することで金型面との熱伝達の改善を図った。

図 4 に本研究で検討した冷却管のタイプを示す。冷却管は通常多く用いられる直管タイプの冷却管、コア部の冷却方法として用いられことがあるバッフルプレートを用いた冷却管、入れ子作製の際に、金属 3D プリンタを用いて金型製品面に沿うように冷却管を配置した 3D 冷却管の 3 種類について実験を実施することにした。図において、直管及びバッフルプレート使用のタイプについては、コア側から観察した図を、3D 冷却管タイプについては、コア・キャビ両側から観察した図を示している。いずれの冷却管においても入れ子への冷却管挿入口の位置と冷却管の太さ ($\phi 6$) は共通にした。バッフルプレートはコア中心部に 2 か所に設けた。また、3D 冷却管の製品形成面との距離は 3mm (冷却管中心とは 6mm) にした。

2-2 射出成形シミュレーションによる検討

2-1 節で決定した 3 種類のタイプの冷却管に対して、射出成形シミュレーションソフトウェア (東レエンジニアリング (株) 製 3D TIMON 10) による金型冷却解析を行った。解析条件は表 1 に示す通りで、金型温度と反り量について評価した。

2-3 成形実験

2-2 節で作製した金型を用いて、射出成形を実施した。成形加工条件は解析と同様に表 1 に示す条件で実施し 30 ショット実施した。成形中は、金型温度測定を実施し、成形品については反り量の測定を行った。

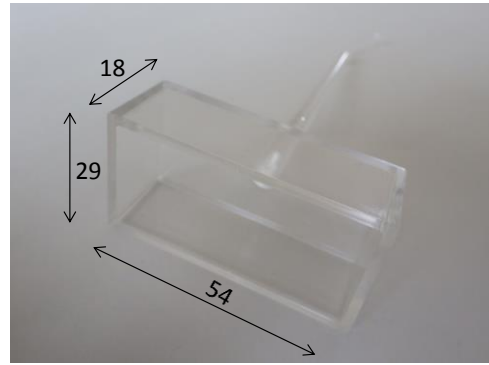


図 1 成形品形状

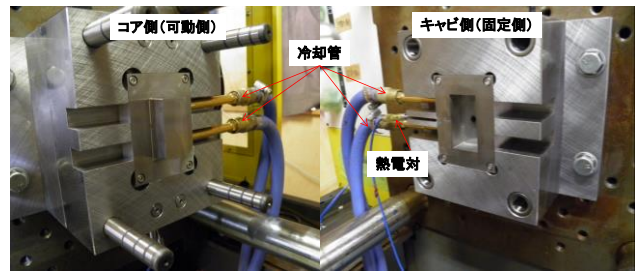


図 2 金型の写真

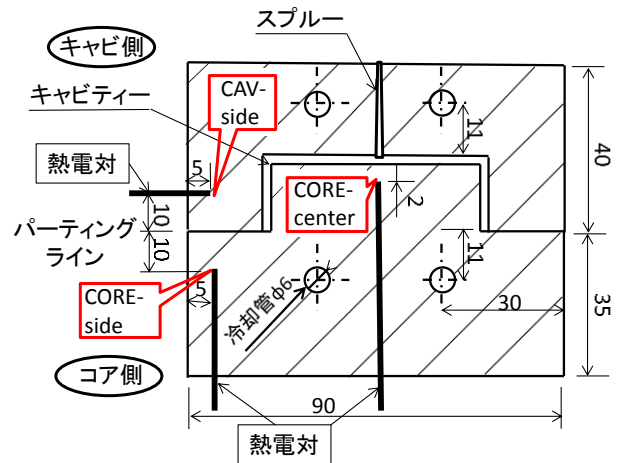


図 3 温度測定箇所説明図

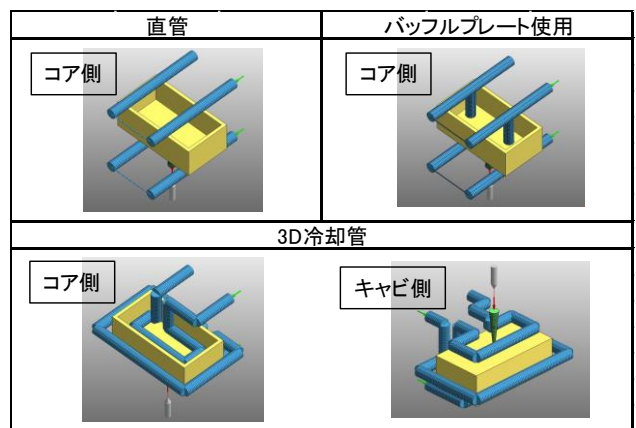


図 4 本研究で検討した冷却管タイプ

表 1 解析条件および成形条件

	解析条件	成形条件
樹脂材料	GPPS 一般グレード	
成形機	FANUC α-30C	
ノズル温度	220℃	
射出速度	18mm/sec	
射出圧力	39.228MPa	
保圧	19.614MPa	
冷却時間	15 秒	
サイクルタイム	31 秒	
冷却水温度	40℃	
冷却水流量	6l/min	
金型材料	SUS304	マルエージング鋼
成形機接触面の熱伝達係数	80W/m ² /K	
成形機の温度	20℃	
外気接触面の熱伝達係数	8W/m ² /K	
外気接触面の輻射率	0.6	
外気温度	20℃	

3. 結果および考察

3-1 射出成形シミュレーションの解析結果

3-1-1 金型温度の解析結果

図 5 に金型温度の解析結果を示す。金型温度分布は、金型中心を成形品の長手方向に切断した図を示しており、実際の成形実験で温度測定を実施したポイントを含む断面で切断している。また、スケールは統一して図の右列に表示した。金型温度は、3D 冷却管が最も低く、次いでバツフルプレート、直管となるごとに金型温度が上昇する傾向を示した。この傾向は熱が蓄積するコア部で顕著に現れた。

3-1-2 成形品の反り量の解析結果

図 6 に成形品の反り量の解析結果を示す。図は成形品を上端面（ゲートと反対）側から観察した図を示している。この図において、一方の辺を基準として、成形品中心付近の凹部までの距離を反り量として評価することにした。また、スケールは統一して図の右列に表示した。金型温度分布と同様の傾向で、3D 冷却管が最も反り量が抑えられ、ついでバツフルプレート、直管の順に反り量が大きくなる傾向が見られた。

3-2 射出成形加工実験結果

3-2-1 金型温度測定結果

射出成型時の金型温度測定の結果、いずれの冷却管の金

型においても、CAV-side と CORE-side の温度はほぼ 40℃で、大きな変動はみられなかった。一方、CORE-center の温度は、冷却管の配置の違いによって、差がみられた。図 7 は、成形開始直前から 30 ショットまでの CORE-center の温度変化を冷却管の配置ごとに示しており、横軸は成形開始からの時間を、縦軸は CORE-center の温度を示している。3D 冷却管において金型温度はほぼ 40℃で推移し、1 ショットの成形サイクル内の温度変化も極僅かであった。これに対して、直管とバツフルプレートの冷却管においては、成形開始から 5 ショット程度までは成形回数を重ねるごとに金型温度が上昇し、その後は 1 サイクル内で約 9℃の温度変化を 1 周期とする温度変化を繰り返すことが明らかになった。

3-2-2 成形品反り・変形量測定

図 8 に反り量測定結果を示す。反り量の測定には表面粗さ輪郭形状測定機を用いて、成形品上端部付近を長手方向にトレースして、プロファイルの両端を結ぶ直線と中央付近の凹部との距離を求めて評価した。各成形品とも 26～30 ショットの成形品で長手方向の 2 辺を測定して、平均

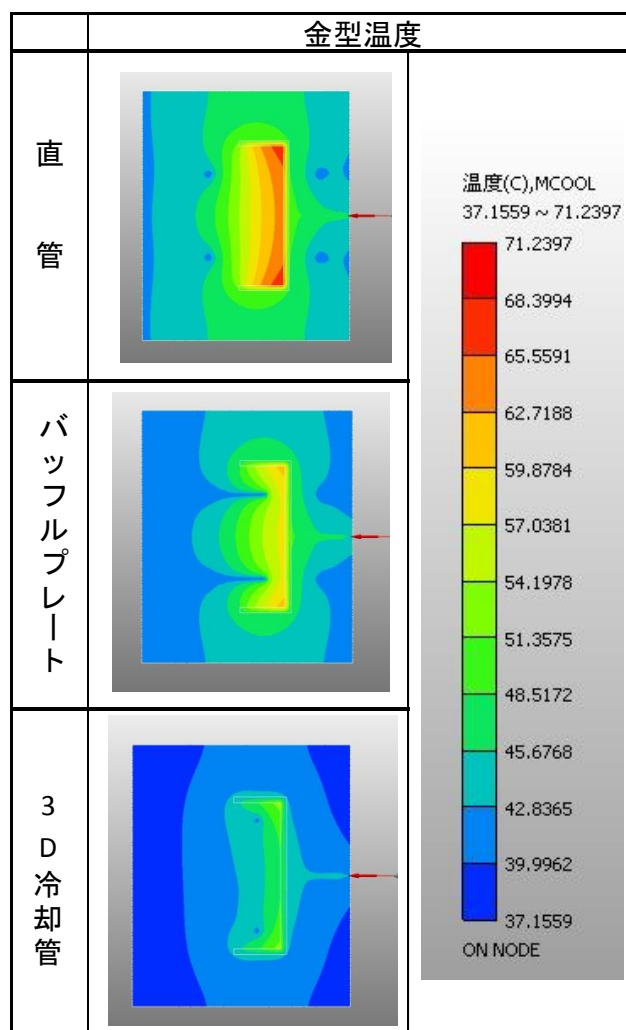


図 5 金型温度の解析結果

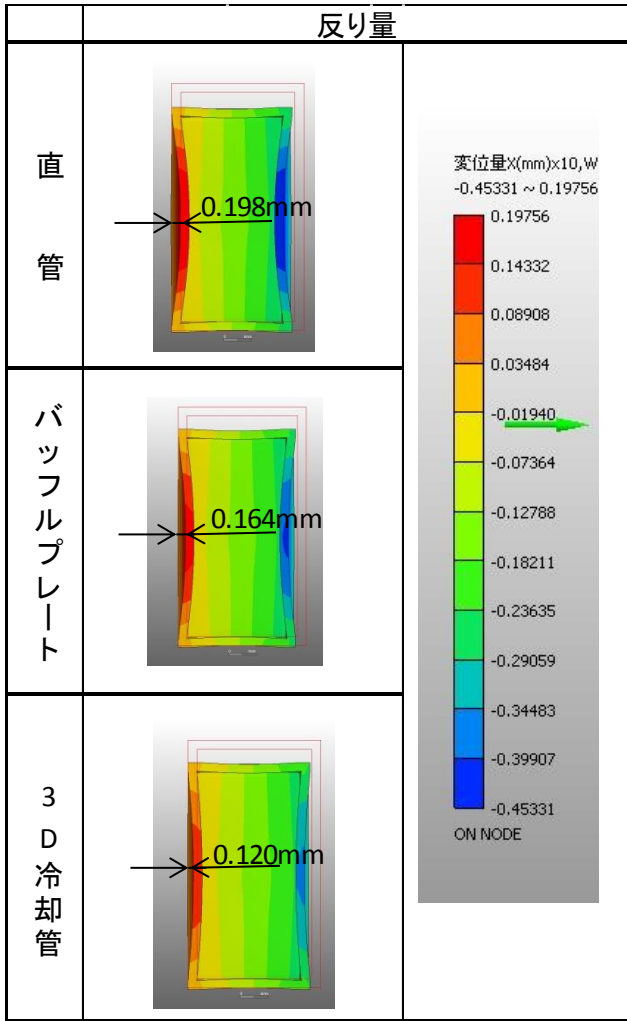


図6 成形品の反り量の解析結果

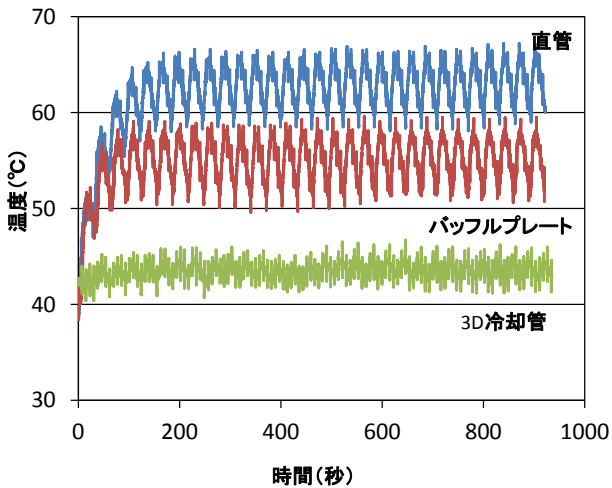


図7 CORE-centerにおける温度測定結果

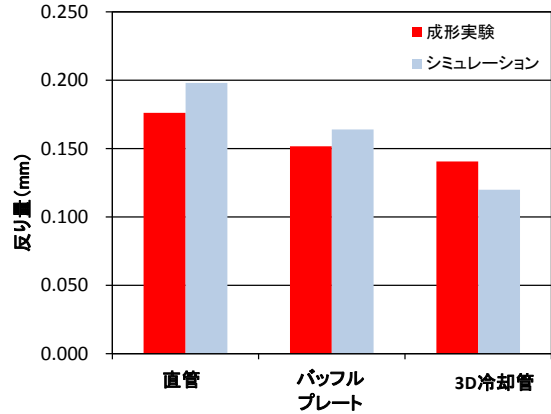


図8 反り量測定結果

した値をその成形品の反り量とした。また、シミュレーション結果と実現象とを比較するために、シミュレーション結果もグラフ上に併記した。シミュレーション結果と同様に3D冷却管が最も反り量を抑えられ、次いでバツフルプレート、直管の順に反り量のが大きくなる結果が得られ、金型温度分布を均一な状態に近づけることで反り量を低減できることが確認できた。また、シミュレーションと実際の成形現象との比較の結果、反り量は最大で約15%の差が表れたが、冷却管ごとの相対的な差は類似していることが確認できた。

5. 結 言

コア部の冷却が課題となることが多い、箱型形状の成形品をターゲットとして、成形加工の効率化を目的とした。直管、バツフルプレート、3D冷却管の3種類のタイプの冷却管を有する金型を作製して、成形実験及び射出成形シミュレーションを実施し、シミュレーションや3Dプリンタによる金型作製の際に活用可能なデータを取得することができた。また、以下の点も明らかになった。

- (1) 金型温度分布、反り量ともに3D冷却管が最も小さく抑えられ、次いでバツフルプレート、直管の順に大きくなることが明らかとなった。また、反り量低減には金型温度分布を小さくすることが有効である点を確認できた。
- (2) シミュレーション結果と実際の成形実験の結果との差は最大で15%程度であり、3D冷却管においてもシミュレーションの活用が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 北川和昭, 中野利一: 実践射出成形不良対策事例集, 日刊工業新聞社, P.186 (2010)