

## ■重点化研究

# 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2報）

西村 通喜・長田 和真・鈴木 大介・阿部 治

## Efficiency of the Injection Molding Process by Shape and Placement of the Mold Cooling Tube (2nd Report)

Michiyoshi NISHIMURA, Kazuma OSADA, Daisuke SUZUKI and Osamu ABE

### 要 約

プラスチック射出成形加工の金型冷却管の形状及び配置方法によって効率化を図ることを目的に研究を実施した。箱型形状製品の金型を金属 3D プリンタで作製した。金型は、円筒形状で金型製品面に沿うように配置した冷却管と、四角柱形状で金型製品面全面に沿うように配置した冷却管のものを用い比較を行った。冷却管の形状および配置方法の違いによる製品の変形量の違いについて検証するため、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。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四角柱の冷却管の方が金型温度変化も少なく、反り量も小さくなる傾向が確認できた。シミュレーションと実際の成形現象との比較の結果、結果の相対的な差は類似しているが、複雑な冷却管では結果の違いが大きかった。

### 1. 緒 言

プラスチック射出成形加工は短時間に多数の製品を生産できる点を特徴としている。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<sup>1)</sup>。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ため、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、前報<sup>2)</sup>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を配置した金型を作製し、一般的に多く用いられている直線的な冷却管を配置した金型による成形を比較し、効果を検証した。

本研究では、コア部の冷却が課題となることが多い箱型形状のモデルを選定し、実際に金型を作製し冷却管の効果について検証実験を行った。また、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、冷却管の設計を行う際に必要となる基本的なデータの取得を行った。

### 2. 実験方法

#### 2-1 金型概要

図 1 に本研究で用い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。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、入れ子部を直接温度調節器に接続している。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、最も温度変化が大きく熱がこもりやすいコア側の中心部に熱電対を配置して測定した。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。

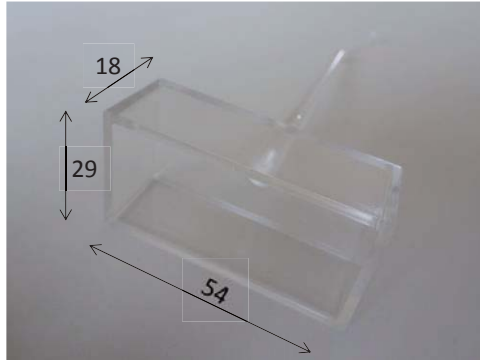


図1 成形品形状

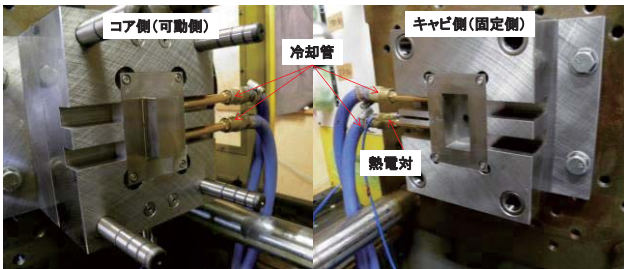


図2 金型

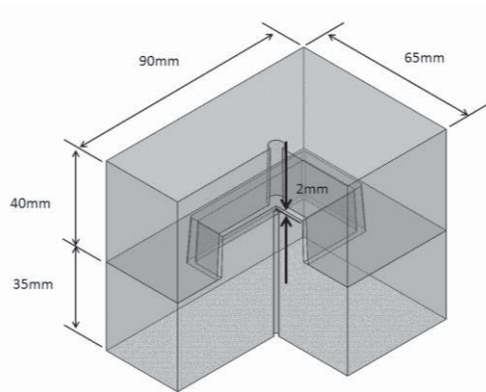


図3 温度測定箇所

図4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金型を示す。冷却管は円筒形状で内径6mmである(以後、この金型を円筒金型と呼ぶ)。図5に、さらに金型製品面に沿うように冷却管を配置した金型を示す。この金型は、冷却管を金型表面から1.5mm下に約2.4~3.0mm×9~13mmの四角柱形状にし、製品の外周に配置した(以後、この金型を四角柱金型と呼ぶ)。この金型は、冷却管が製品面に近く、射出圧力で製品面が変形する恐れがあるため、有限要素シミュレーションソフト

ウェア(ANSYS 15.0)を用いて、射出圧時に最大変形が15μm未満になるように、冷却流路内に補強を行った。

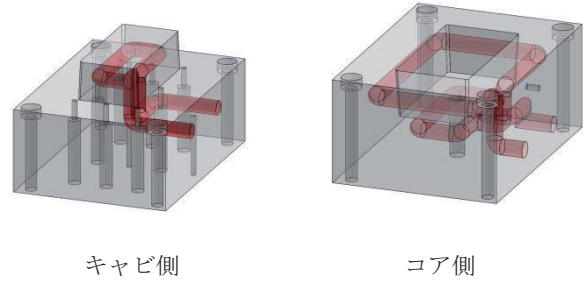


図4 円筒冷却管金型

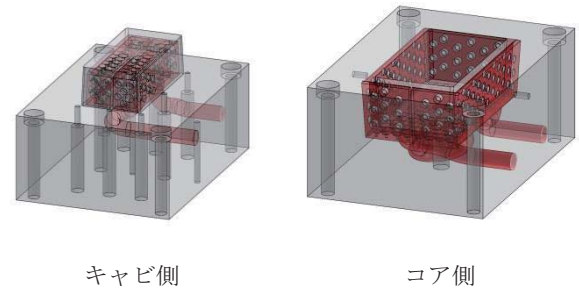


図5 四角柱冷却管金型

## 2-2 射出成形シミュレーションによる検討

2種類の冷却管タイプの金型に対して、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。使用した射出成形シミュレーションソフトは複雑な冷却管形状を扱えないため、四角柱金型に関しては、四角柱流路内の流れを流体解析シミュレーションソフトウェア(CFX 16.0)を用い、図6のような結果をもとに図7のように模式的に円筒流路を作り解析を行った。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。

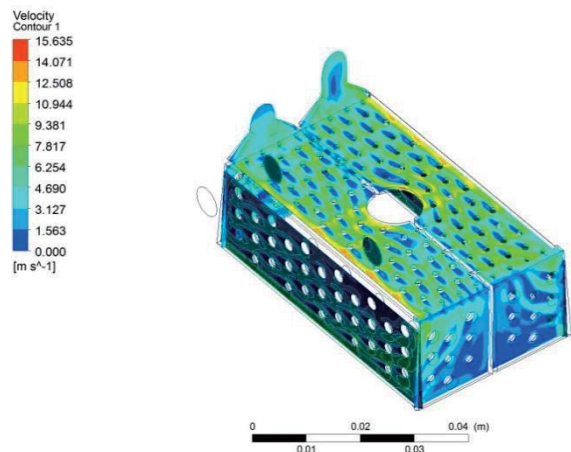


図6 流体解析結果(キャビ側)

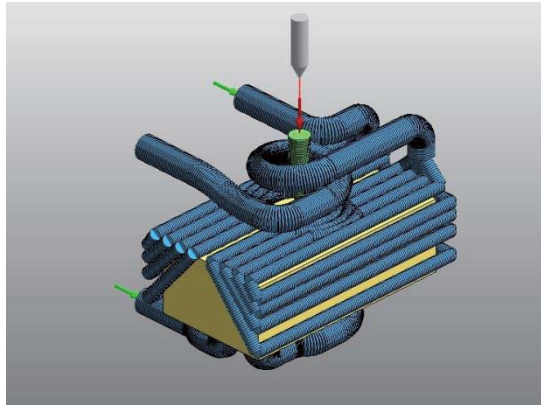


図7 模擬的な流路

### 2-3 成形実験

2-1 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。

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	39.2MPa	
保圧	19.6MPa	
冷却時間	15 秒	
サイクルタイム	31 秒	
冷却水温度	30℃,40℃,50℃,60℃,70℃	
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 <sup>2</sup> /K	
成形機の温度	20℃	
外気接触面の熱伝達係数	8W/m <sup>2</sup> /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8に解析結果の一例で、金型温度設定40℃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。金型温度分布は、円筒金型では、コア側の角の部分に熱が蓄積する傾向に対し、四角柱金型は、全面が均一に冷却されていることがわかった。

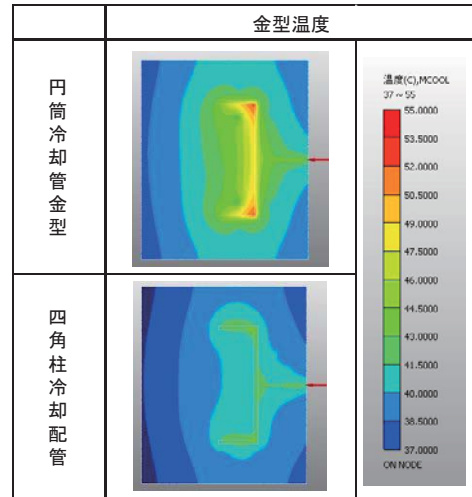


図8 金型温度の解析結果

#### 3-1-2 成形品の反り量の解析結果

図9に解析結果の一例で、金型温度設定40℃の成形品の反り量を示す。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した。また、スケールは統一して図の右列に表示した。円筒金型より四角柱金型の方が反り量が少なくなることがわかった。また、両金型とも金型温度が高くなるにつれ、反り量が減少する傾向が見られた。

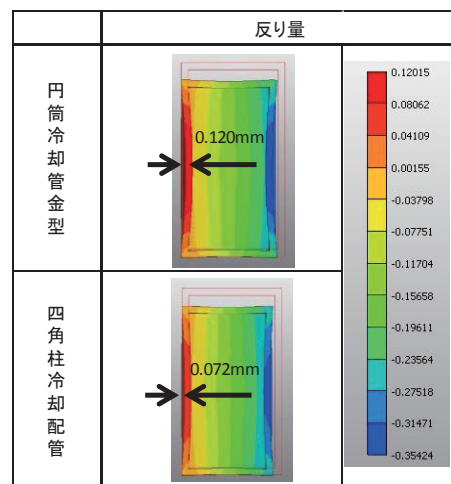


図9 成形品の反り量の解析結果

### 3-2 射出成形加工実験結果

#### 3-2-1 金型温度測定結果

図 10 に金型温度設定 40℃で成形時のコア側温度変化を示す。横軸は成形開始からの時間を、縦軸は温度を示している。表 2 に各金型温度での温度変化を示す。両金型とも成形開始からの温度変化は 1℃以内とわずかであった。1ショットの成形サイクル内の温度変化は、円筒金型に対し、四角柱金型が少ないことがわかった。これは、温度測定箇所と冷却管の近さに起因すると考えられる。

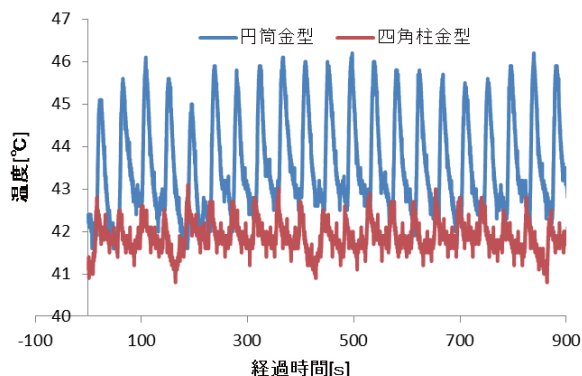


図 10 コア側中心部の温度測定結果

表 2 コア側中心部の温度変化

金型温度	サイクル温度幅(°C)		平均温度上昇(°C)	
	円筒金型	四角柱金型	円筒金型	四角柱金型
30°C	4.3	1.2	0.8	0.2
40°C	3.4	1.3	0.5	0.5
50°C	3.8	1.3	0.4	0.3
60°C	3.5	1.4	0.7	0.4
70°C	3.4	1.3	0.6	0.6

#### 3-2-2 成形品反り量測定

図 11 に反り量測定結果を示す。反り量の測定には工具顕微鏡を用いて、最も変形が起りやすい箱型開口部の長手方向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 27~30 ショットの製品を用い、平均した値をその成形品の反り量とした。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、円筒金型より四角柱金型の方が反り量が少なくなることがわかった。また、両金型とも金型温度が高くなるにつれ、反り量が減少する傾向が見られた。しかし、四角柱金型においては、反り量のシミュレーション結果との違いが大きくなった。これは、簡略化した模擬配管と実際の配管での違いによると思われる。

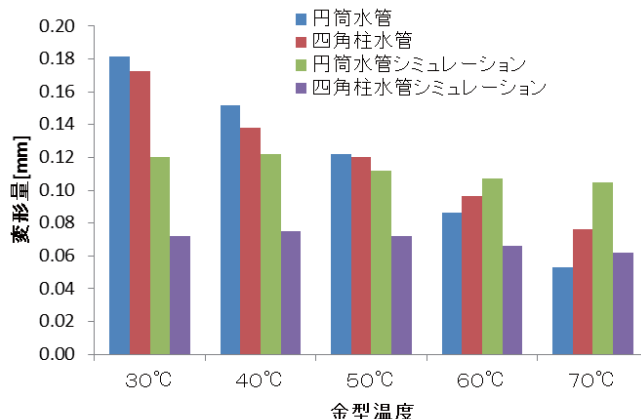


図 11 反り量測定結果

### 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。金属 3D プリンタを用いて自由な冷却管を有する金型を作製し、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、反り量ともに円筒形状の冷却配管より、金型表面に近くに配置ができ、効率的に熱交換が行える四角柱形状の冷却管の方が、金型温度分布を小さくし、反り量低減が有効である点が確認できた。
- (2) 冷却配管形状が複雑化してくるとシミュレーション結果と実際の成形実験に乖離が出るが、模擬配管を用いることで、シミュレーションの活用ができると考えられる。

### 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)
- 2) 寺澤章裕, 他: 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), 平成 27 年度山梨県富士工業技術センター業務・研究報告, P.32(2016)