

# 冷却水路を内蔵した粉体造形金型による 射出成形の冷却促進と高精度化(第1報)\*

—冷却構造金型の試作と基本効果の確認—

米山 猛\*\* 香川博之\*\* 伊藤 強\*\*\* 伊藤豊次+ 岩根昭裕+  
蔵本義彦++ 西本清史++ 楊 青++

Effective Cooling and Accuracy Improvement in Injection Molding Using a Metal Mold with Cooling Channels Composed by Laser Sintering(1st Report)

- Fabrication of a Mold with Cooling Channel and Verification of a Basic Effect -

Takeshi YONEYAMA, Hiroyuki KAGAWA, Tsuyoshi ITO, Toyotsugu ITO, Akihiro IWANE,  
Yoshihiko KURAMOTO, Kiyoshi NISHIMOTO and Chin YAN

An injection mold which has inside water cooling channels has been fabricated using selective laser sintering method. Box shape workpiece was chosen as a test piece in order to confirm the effect of the inside cooling channels. Cooling channels are constructed in the core to make the effective cooling and uniform temperature condition. The warp of the side surface of the product injected with high cooling core was compared with that molded in the low cooling core without inside water channels. The amount of the warp obtained with the high cooling core was the half of that with the low cooling core and constant from the initial shot numbers. The temperature difference between the top surface and the bottom part of the core was about 20°C in the high cooling core whereas it exceeds 50°C in the low cooling core. It was confirmed that the water cooling channel inside the core reduces the temperature difference in the core and improves the dimension accuracy of the workpiece. The fabrication of the inside cooling channels using selective sintering method is useful to obtain stable and accurate injection molding.

Key words: injection molding, cooling, temperature, accuracy, selective laser sintering

## 1. 緒言

射出成形において、金型内の樹脂が均一に冷却されないために、樹脂温度が不均一になり、成形後の寸法精度や形状精度が低下する問題が生じる。特に、コーナー部や凹部を持つ成形品の場合、金型コア部に熱が集積して温度上昇が不均一になる。この結果、成形品取り出し時点における樹脂内の温度格差が大きくなり、取り出し後の成形品内の熱収縮量の差が大きくなるために、寸法精度や形状精度が悪くなる。

そこで成形品温度を均一化するための冷却水路の配置について、数値計算モデルによる検討も行われている<sup>1)</sup>。しかし従来のように成形部分の外側に単純な水路を設ける冷却法では、樹脂の温度を均一にさせることは困難である。温度分布を均一化するための冷却水路を金型内に配置することが求められるが、切削加工を主体とした金型製法では、金型を分割して加工して組み合わせるなど、非常に手間がかかるのが現状である<sup>2)</sup>。

一方、レーザ焼結法が発展し、金属粉末をレーザ焼結しながら造形する技術が実現してきた<sup>3)</sup>。これによって、内部に任意の冷却水路を配置した金型を製作できる可能性が生まれてきた<sup>4)</sup>。

そこで、本研究では、金属粉末のレーザ焼結造形法を利用して、冷却水路を内部に持つ金型を製作し、冷却水路を金型内に配置することによる冷却促進や安定性、寸法高精度化の効果を確認すること、さらにこのような冷却水路を組み込んだ金型の冷却設計に関する指針を得ることを目標とした。本研究のアウトラインを図1に示す。金型の製作をレーザ焼結法で行い、射出成形実験を行い、成形品の形状精度の測定を行う。

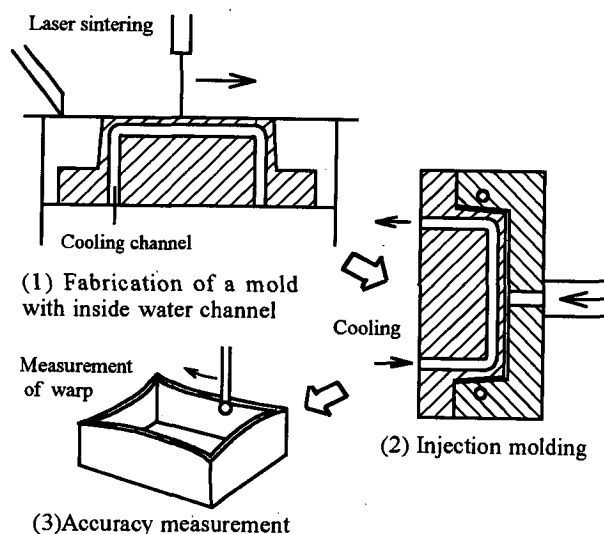


Fig.1 Research procedure

## 2. 金型の設計・製作

### 2.1 成形対象

形状精度を検討するモデル成形品として、図2に示すような箱形の成形品を取り上げた。このような成形品の場合、樹脂からの熱が金型コア内部にこもるために、内側の温度が外側よりも相対的に高くなり、樹脂温度が不均一になって、成形後のソリが発生する。このような金型コア内に冷却水路を配置する金型の作成が粉体造形によって可能であるか、また製作した金型による冷却がどのような効果をもつかを検討する。成形品の寸法は、外形寸法で縦100mm、横60mm、高さ30mm、底面の肉厚が2mm、側面の肉厚が1.5mmである。

設計した冷却水路を組み込んだ金型を図3に示す。この金型を高冷却コアと呼ぶ。長手方向のコア角部に水路が通るように2本の水路を配置した。2次元の有限要素法で温度分布を解析し、コーナー部の温度を均一化する位置として、水管の外壁とコア内面との距離

\* 原稿受付 平成13年4月26日

\*\* 正会員 金沢大学工学部(金沢市小立野2丁目40番20号)

\*\*\* 金沢大学大学院

+ 正会員 コニカ(株)(東京都八王子市石川町2970)

++ (株)松井製作所(大阪府枚方市招堤田近2-19)

が4mmの位置になるように水路の位置を決めた。水路の直径は6mmとした。この金型と比較するために、水路をコア内に持たない従来型の金型として、図4のようなコア底部にしか冷却水路を持たない金型(低冷却コアと呼ぶ)を製作した。

キャビティには、図5のように周囲を通る水路を配置した。このキャビティは高冷却コアと低冷却コアとの組み合わせに共通に使用した。コアとキャビティを組んだときの横断面の水路配置を高冷却コアの場合と低冷却コアの場合とを比較して図6に示す。

## 2.2 金型の造形

金型の粉体レーザー焼結造形には、EOS社製のSelective Laser

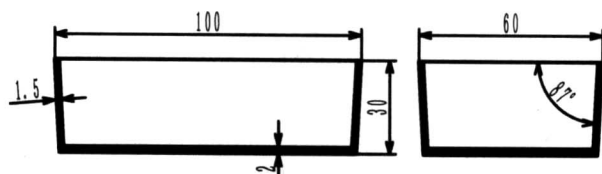


Fig.2 Dimensions of a workpiece

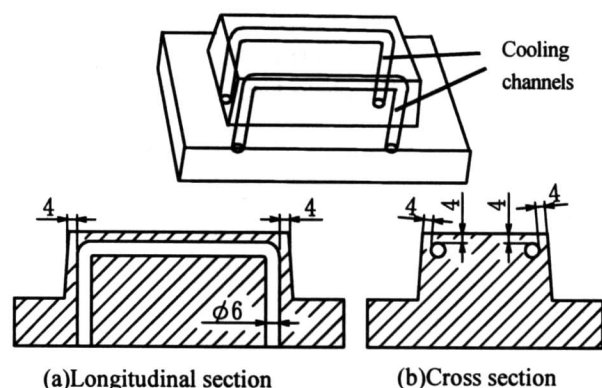


Fig.3 High cooling core



Fig.4 Low cooling core

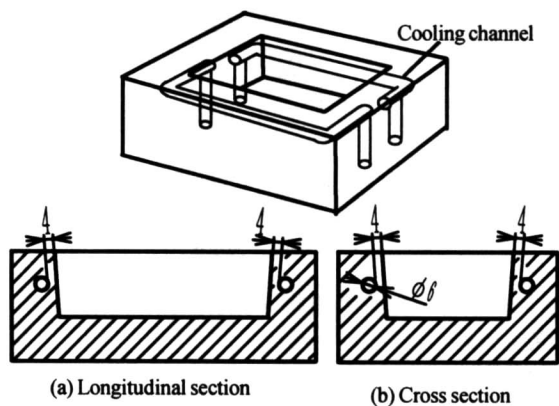


Fig.5 Cavity with cooling channels

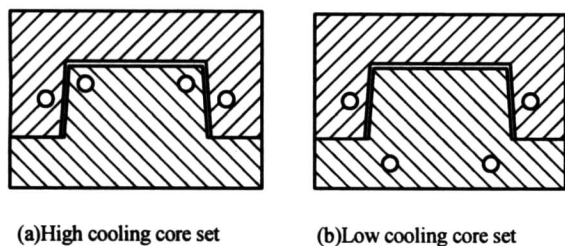


Fig.6 Cross section of the molds

Sinteringを用いた。造形に用いた金属粉体はニッケルブロンズで、厚さ50μmずつもしくは100μmずつ粉体を積層して、そこにレーザを走査しながら照射して焼結層を積み上げていくものである。製作したコアおよびキャビティを図7に示す。一般に金型の表面になるところはレーザ照射密度を増して焼結度を上げたスキン層を作成し、内部は照射密度が低く焼結度の低いコア層で構成する。しかし、試作した金型で成形テストを行ったところ、射出成形圧力によって、金型表面がくぼむなどの変形を起こしたため、金型内部にスキン層による支柱を構成することで、補強した。また焼結のみでは、多孔質で通水性があり、強度も不十分なので、焼結後、エポキシ樹脂の含浸を行った。これによって、射出成形時に金型が変形することはなくなった。また金型には、成形品を離すためのイジェクトピンをはめる穴を設けるが、その他に金型表面の温度を検出するピンを挿入する穴を設けた。

## 3. 温度センサ

射出成形時の金型温度を比較するため、図8のような温度センサを製作した。金型に押しピン用の穴と同様の穴を加工しておき、

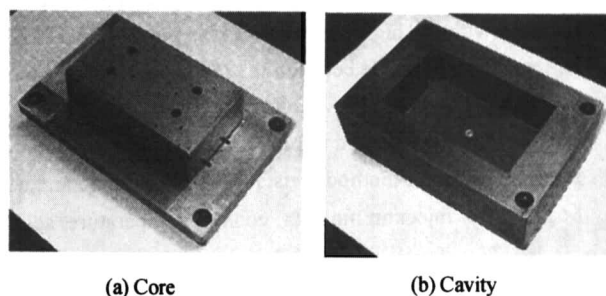


Fig.7 Developed molds

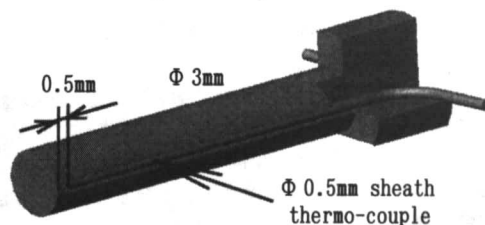


Fig.8 Structure of temperature sensor

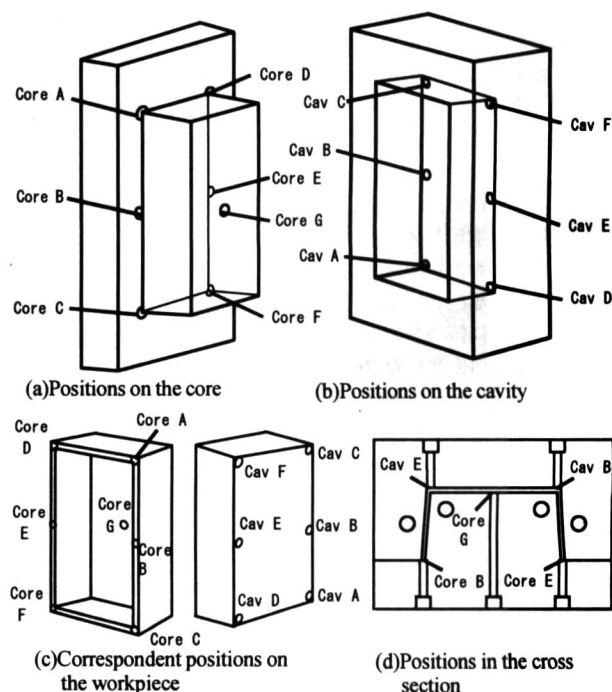


Fig.9 Positions of the temperature measurement

ここに熱電対を組み込んだピンを挿入しておく。ピンの側面に幅0.5mmの溝を作成し,そこに外径0.5mmのシース熱電対を埋め込んだ。ピンの材質はSKD61とした。溝はピンの先端面から0.5mmの深さの位置と1mmの深さの位置までの2本を加工し,シース熱電対先端部をこの溝の端部につき当てるように埋め込んだ。それぞれのピンの先端面が,測定する金型表面と一致するようにピンの高さを調整し,金型内に配置した。

温度センサの取り付け位置を図9に示す。コアGはコア上面の中心で,ゲートから樹脂が当たる正面の部分である。コアA,B,CとD,E,Fは,成形品側面の縁の端面にあたる。キャビティA,B,CとD,E,Fは,キャビティ底面の隅部で,成形品コーナー部外側にあたる。

また金型を通る冷却水配管の入口と出口にシース熱電対を挿入して,冷却水温度を計測した。

#### 4. 射出成形

金型をダイセツに組んだ状態を図10に示す。金型温度を測定する温度センサの出力線は,金型背面角部の溝を通して,金型外部へ出される。冷却水の経路を図11に示す。可動側(コア側),固定側(キャビティ側)それぞれ,温調器からの冷却水が下部から供給され,一方の水路を通して,金型を出た上部で折り返し,もう一方の水路を通して,金型下部に流出され,それぞれの温調器に戻る。水路は金型のほか,ダイセツにも通っており,金型とダイセツの両方に通水した。

ポリスチレン材料を用いて射出成形を行った。成形条件として,射出圧力6.7MPa,保圧5.5MPa,保圧時間1s,シリンダ温度180~189℃とし,1ショットの成形サイクルは30秒とした。可動側,固定側それぞれの冷却水の温度は20℃(一定)とし,流量(それぞれの金型とダイセツに流れる水量の和)を5.5L/min,2.7L/min,1.4L/minの3段階に変えて,それぞれ20ショットずつ成形を行った。この成形実験を高冷却コアを用いた場合と冷却コアを用いた場合について同様に行った。

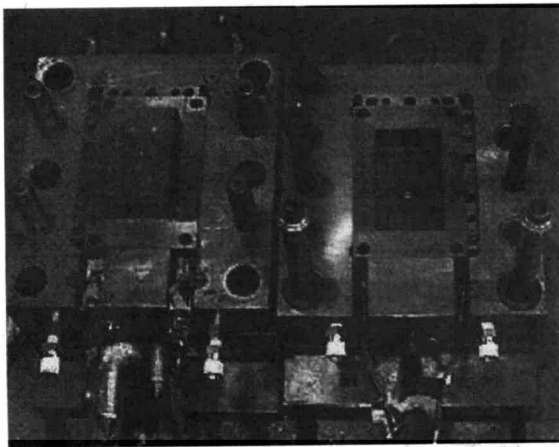


Fig.10 Constructed mold set

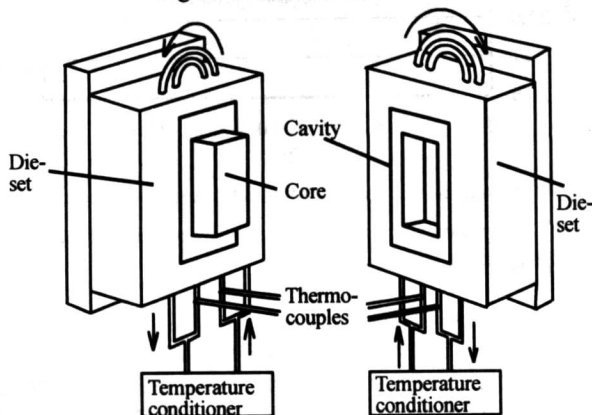


Fig.11 Cooling circuit

#### 5. 成形品のソリ量

射出成形後の成形品について,図12に示すような成形品開口部長手方向中央のソリ量を3次元測定機を用いて計測した。ショットNo. 1, 5, 10, 15, 20について実施した。

低冷却コアによる成形品のソリ量測定結果を図13に示す。ソリ量は10ショット目まで徐々に増加し,10ショット目以降その増加率は下がるものの,暫増傾向を残している。20ショット目のソリ量は0.7mmに達している。ソリ量の大きさは冷却水量によってほとんど変わっていない。

高冷却コアによる成形品のソリ量を図14に示す。ソリ量はショットの初期から安定しており,その値は0.35mmに留まっている。冷却水量による違いは見られない。したがって,本実験で行った冷却水量の範囲で,高冷却コアによってソリ量が減少し,しかもショットの初期から一定していることがわかる。

#### 6. 射出成形時の温度変化

##### 6.1 1ショットにおける型温度変化

射出成形時の温度変化の代表例として,冷却水量2.7L/minの,10ショット目の金型温度変化を,高冷却コアの場合と低冷却コアの場合とを比較して図15に示す。ただし,各部の温度はすべてピン先端から0.5mmの深さの温度を示す。

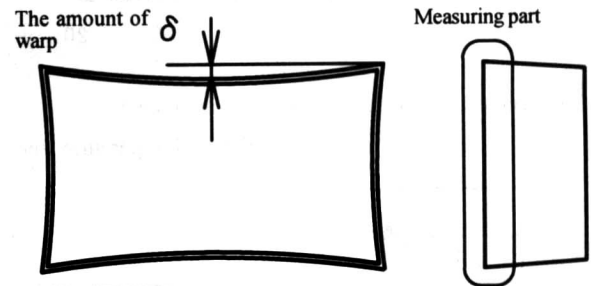


Fig.12 Measurement of the amount of warp

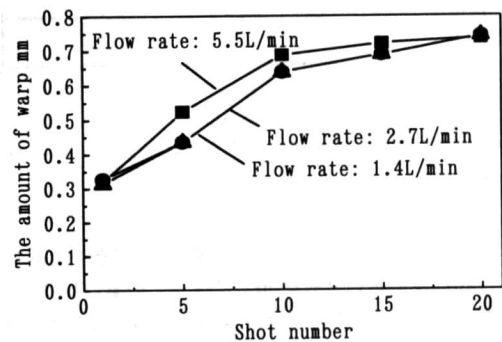


Fig.13 The amount of warp using the low cooling core set

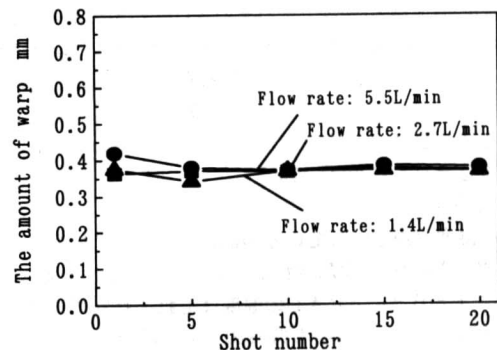
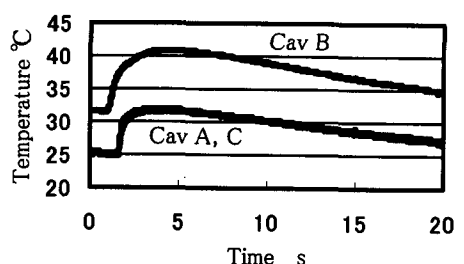
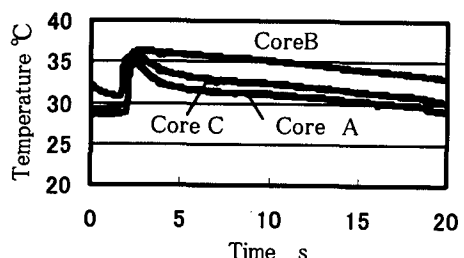
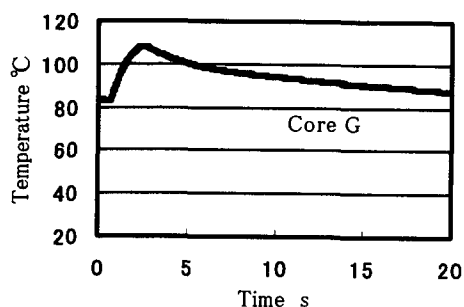
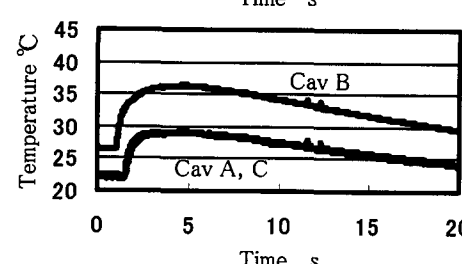
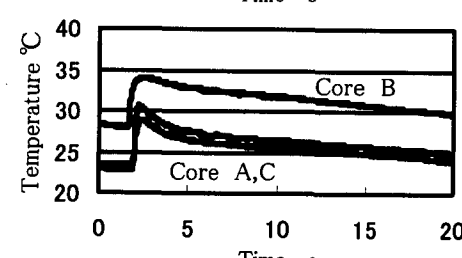
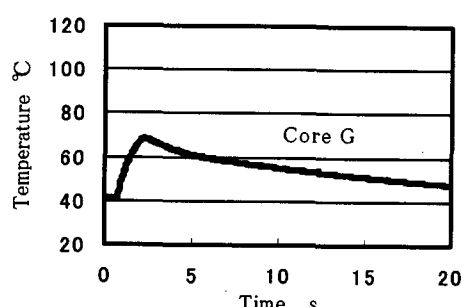


Fig.14 The amount of warp using the high cooling core set



(a) Temperature change in low cooling core set



(b) Temperature change in high cooling core set

Fig.15 Temperature change in the injection molding

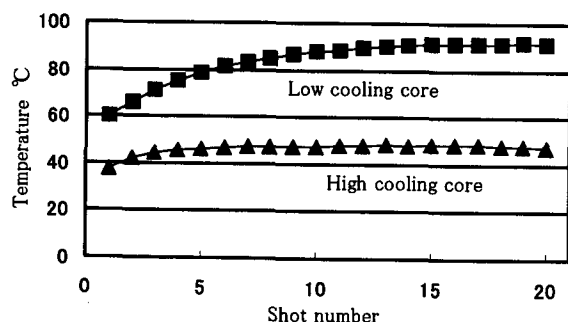
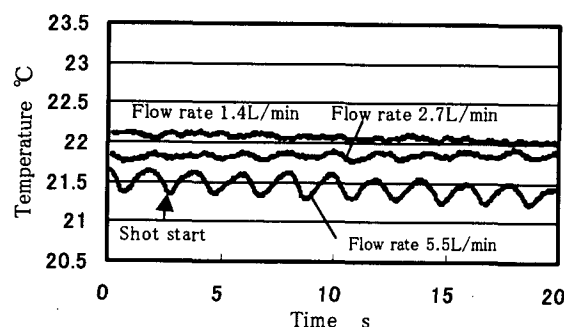


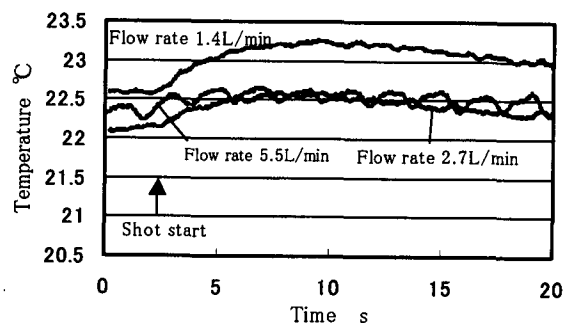
Fig.16 Temperature transition of Core G at the time of 20s after the start of the shot

低冷却コアにおいては、コアGの温度が110℃まで上昇し、型開きを行う20秒後においても約90℃になっている。コアBとコアA,Cの温度は20秒後でそれぞれ33℃、30℃となっている。コアBの温度がコアA,Cの温度より高いのは、Bの位置の方が、コーナ部のA,Cに比べて熱が逃げにくいと考えられる。キャビBとキャビA,Cの温度は20秒後でそれぞれ35℃、27℃である。キャビBの温度がキャビA,Cの温度よりも高いのは、やはりコーナ部のA,Cと比べて熱が逃げにくいと考えられる。

一方高冷却コアにおいては、コアGの温度は70℃までしか上昇せず、20秒後の温度は47℃となっている。20秒後のコアBとコアA,Cの温度はそれぞれ30℃、25℃である。コアA,B,Cともその温度は低冷却コアの場合よりも低下しているが、コアBとコアA,Cとの温度差が拡大しているのは、コアBの方が冷却水路からの距離が大きいため、冷却されにくかったからだと考えられる。20秒後のキャビBとキャビA,Cの温度はそれぞれ30℃、25℃である。キャビA,B,Cの温度も低冷却コアの場合より低くなっている。これは同じキャビティを使用しても、コア側の冷却が促進されたために、樹脂の冷却が速くなり、キャビティへの伝熱が小さ



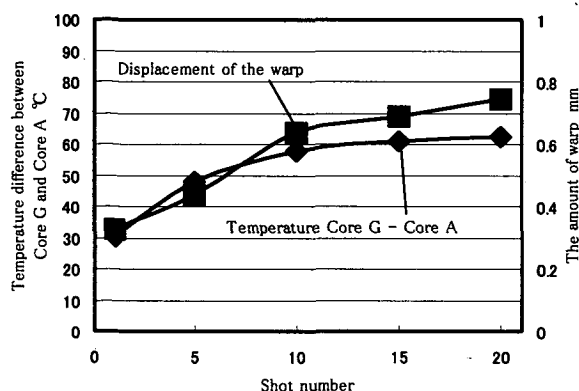
(a) At the exit of the cooling channel in low cooling core



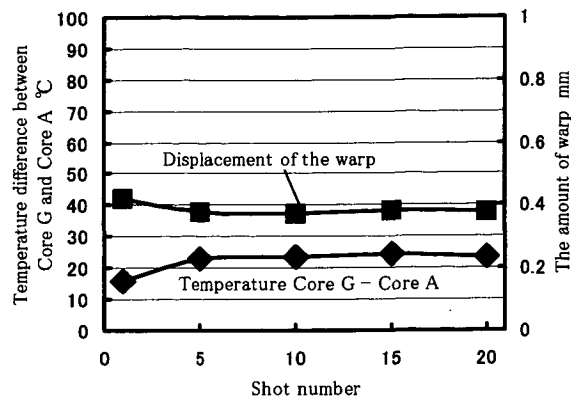
(b) At the exit of the cooling channel in high cooling core  
Fig.17 Temperature change of the cooling water at the exit of the mold

くなったためと考えられる。

低冷却コアにおいては、コアGの温度が非常に高く、20秒後におけるコアGとコアA,B,Cとの温度差が約60℃あるのに対し、高冷却コアではコアGの温度上昇が抑えられ、20秒後における温度差も約20℃に縮まっている。



(a) Low cooling core



(b) High cooling core

Fig.18 Comparison between the temperature difference in the core and the displacement of the warp

## 6.2 長期的な型温度変化

コアGの温度を取り上げて、型開きを行う時(射出から20秒後)の温度のショットごとの推移を図16に示す。低冷却コアでは、ショットに従って徐々に温度が上昇し、安定するまで10ショット以上かかっている。それに対し、高冷却コアでは、5ショット程度で温度が安定している。このように金型コア内部に冷却水路を設けたものは金型温度が安定するまでのショット数が小さくなる。

## 6.3 冷却水温の変化

金型への冷却水管の入口と出口の内部にシーテ熱電対をとりつけ、水温の変化を測定した。射出時の金型出口温度の変化を低冷却コアと高冷却コアとで比較した結果を図17に示す。同じ流量に対して、低冷却コアの場合には出口温度が射出時に変化しないのに対し、高冷却コアの場合には、射出後に温度上昇しており、コア内の冷却水へ熱が伝導して吸収されていることがわかる。すなわちコア内水路が射出時の冷却に有効に作用している。冷却水量を少なくするほど、温度上昇量が大きくなっている。なお冷却水量の増加にともなって温度変化の脈動が生じているのは、使用した温調器のタンク容量が小さかったためである。

## 7. 金型温度とソリ量

型開き時の金型表面温度は、成形品の表面温度に近いものと考えられる。型から成形品を取り出したときの成形品の温度の不均一が室温まで冷却したときのソリ量の原因になっていると考えられる。そこで、成形品の温度不均一さの目安になるものとして、型開き時の金型の温度差とソリ量とを比べてみる。金型の温度差として、射出後20秒におけるコアG温度とコアA温度との差を求め、ソリ量の推移と比較したものを図18に示す。ソリ量の推移と金型温度差の推移とが一致している。

したがって大まかには、図19に示すように、低冷却コア金型では、金型コアの上面と底面との温度差が大きく、その差が成形品の温度差に反映し、熱収縮量の差が大きいために、ソリ量が大きい。高冷却コア金型では、コアの上面と下面の温度差が小さく、成形品内の温度差も小さいために、熱収縮量の差が小さく、ソリ量も小さくなったと考えられる。

ただし、測定した温度は金型の特定の箇所のみであるため、水路配置による詳細な温度分布とそれによる変形の発生については、さらに有限要素法などによる解析も行なって分析していきたい。

## 8. 結言

粉体レーザー焼結法を用いてコア内に冷却水路を持つ金型を製作した。このような金型冷却によって、コア内の温度差が減少し、それによって成形後の成形品のソリ量が大きく減少し、精度が向上することを確認した。今後はさらに冷却水温を変えた効果や、

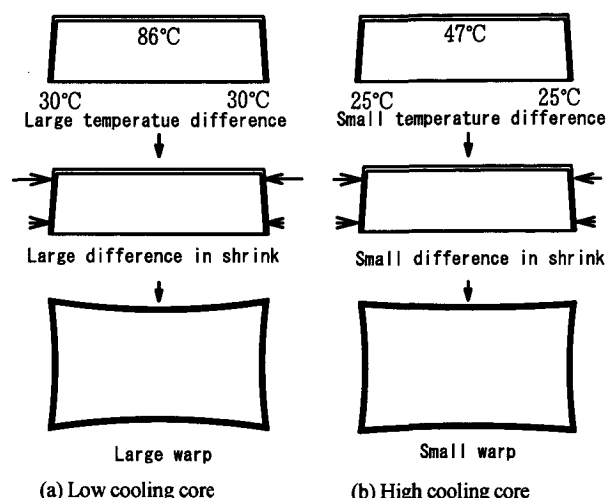


Fig.19 Occurrence of the warp by temperature difference in the workpiece

最適な水路配置の検討、有限要素解析による予測と水路の設計法などについて研究を進めていくつもりである。なお金型にエポキシ樹脂を含浸したため、鋼材よりも熱伝導率は低下していると考えられる。そのため本実験での効果は、同じ焼結金型どうしでの冷却水路の効果であり、熱伝導率の異なる鋼材金型と比較したものではない。鋼材粉末造形金型による効果や鋼材切削金型との比較は、鋼粉末による焼結技術の発展に合わせて行うつもりである。

金型製作において(株)北星の川田五市氏にお世話になった。射出成形実験は、富山県金型協同組合で行った。同組合の堀内貢氏にお世話になった。本研究に対し、金型技術振興財団より助成を受けた。

## 参考文献

- 1) 是澤宏之、遠近祥史、鈴木裕、定常熱伝導解析に基づく射出成形金型の冷却管自動配置設計、日本機械学会論文集(C編) 65巻633号、1999、353。
- 2) 浜田修、コストダウンのための金型温度制御、1995、シグマ出版。
- 3) 植原弘之、ラビッドプロトタイプング技術の現状、精密工学会誌、Vol.67、No.3、2001、403。
- 4) Emanuel Sachs, Edward Wyloni, Samuel Allen, Michael Cima and Honglin Guo, Production of Injection Molding Tooling With Conformal Cooling Channels Using the Three Dimensional Printing Process, Polymer Engineering and Science, Vol.40, No.5, 2000, 1232。