

マイクロ波成形の紹介とその課題、及びその解決のための技術開発

香川 慎吾(Shingo Kagawa)

1 はじめに

昨今の 3D プリンターブームも少し落ち着き、三次元データから品物を得られる技術は広く普及してきたと感じられる。弊社の開発した光成形は 3D プリンターと比較されがちであるが、全く異なる工法であり試作や実際の部品の少量生産などに活用されている。

光成形について、少しでも知っていただければ光栄である。

2 本稿の目的

弊社が開発した光成形及びマイクロ波成形技術について説明するとともに、その課題、及びその解決のために特化して取り組んできた技術開発について述べていく。

3 技術説明

3-1 光成形とは

弊社が開発した光成形とは、実際のプラスチック材料(熱可塑性樹脂)を微粒子状にしてシリコンゴム型内に充填し、真空圧縮しながら外部から照射する電磁波で完全に熔融一体化した立体モデルを成形する技術である(図 1)。

3D プリンターと大きく異なる光成形の特長は、3D プリンターが積層造形であるのに対して光成形は完全熔融の一体モデルを成形することが可能な点、また 3D プリンターでは限定された材料のみが使用できるのに対して、光成形は射出成形や押出成形などで使用される様々な種類の量産用プラスチック材料を使用可能な点などが挙げられる。

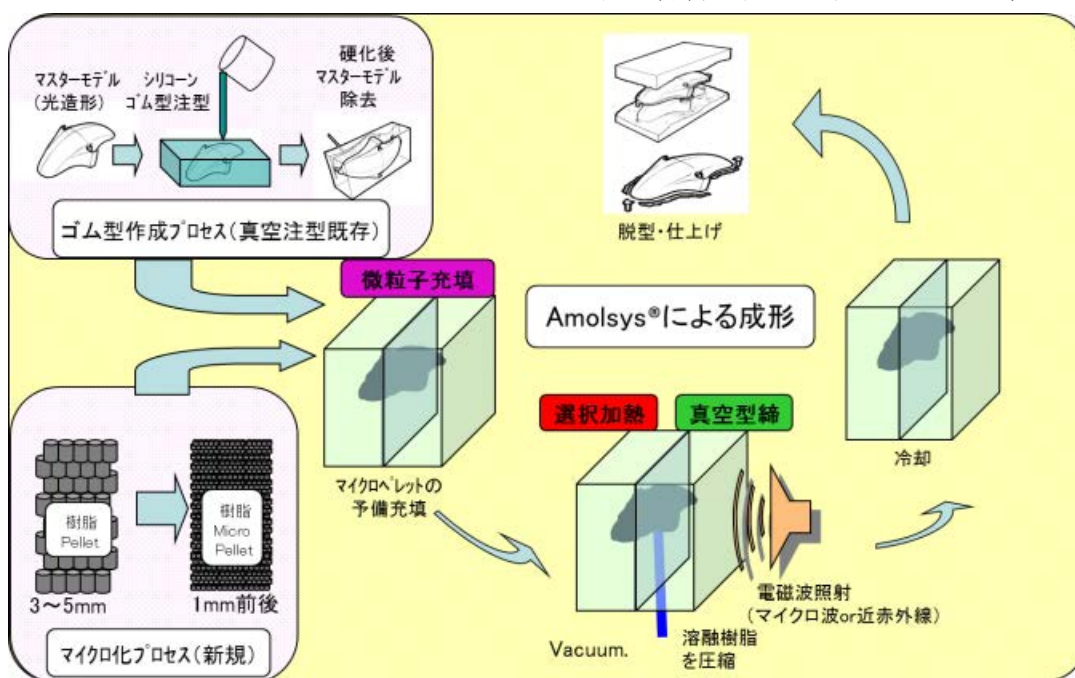


図 1 光成形のプロセス

3-2 光成形の種類

光成形で使用する電磁波の種類には、近赤外線波とマイクロ波の2方式がある。マイクロ波を用いるものがマイクロ波成形である。マイクロ波とは電磁波の周波数による分類の一つであり、マイクロ波を使用する製品として家庭用電子レンジや無線LAN(2.45GHz)をイメージすると理解しやすいと思われる。

3-3 成形装置

Amolsys®(アモルシスと呼びます)とは、光成形に用いる成形機の名称(株式会社ディーメックが商標登録済)で、マイクロ波成形

用のものが Amolsys®M シリーズである。現在 Amolsys®M シリーズには、Amolsys®M150 と Amolsys®M300(図2)のラインナップがある。近赤外線成形用は Amolsys®H シリーズである。

マイクロ波成形装置の Amolsys®M シリーズ、マグネトロンからマイクロ波を発生させ対象物に照射して加熱する点は電子レンジと同様であるが、温度計を用いて対象物の温度をモニタリングして出力を可変させ、きめ細かい温度制御が可能である点や真空引きを行う為の真空ポンプからの接続口等を備えている点が大きく異なる。



図2 Amolsys®M300

3-4 マイクロ波成形の基本的な原理

電子レンジを使用する際に、普通は食品をプラスチック容器に入れ電子レンジ(マイクロ波)で温めると、食材のみが加熱され容器が溶けることは無いであろう。そのため、一般的にプラスチックはマイクロ波を照射しても溶けないと考えられている。

マイクロ波加熱の特徴は、(材料の)誘電損失により、マイクロ波が物質に吸収され、エネルギーが熱になることによる加熱である(ウィキペディアより)。また、プラスチック

には誘電損失率($\tan\delta$)の温度依存性があり、ある温度からその値が急激に上昇するという特徴がある。その点に着目したところ、先ほど述べた電子レンジでは食材のみが温まりプラスチック容器は溶けないという一般的な考えに対して、プラスチックの臨界温度(以下、自己発熱開始温度とする)まで加熱されると、プラスチック自身がマイクロ波を吸収して昇温(以下、自己発熱とする)し、溶け始める特性があることが判明した。この特性を基にマイクロ波で昇温す

る特殊シリコンコンパウンドゴム型(以下、ゴム型、**図 3**)を加熱し、そのゴム型からの熱伝導によりプラスチック材料を自己発熱

開始温度まで加熱し、自己発熱により昇温・熔融させ、成形を行うことがマイクロ波成形の基本的な原理となる。



図 3 ゴム型

4 マイクロ波成形の課題と、その解決策

マイクロ波成形には大きく分けて以下の3つの課題がある。

- ・成形条件出しが難しい
- ・ゴム型の作成が難しい
 - ・プラスチック材料のマイクロペレット化に時間がかかる

各課題の解決のために日々技術開発に取り組んでいるが、本稿では1番目の課題である“成形条件出しが難しい”ことの解決のための取り組んだ内容について述べていく。

4-1 成形条件出しが難しい＝時間がかかる

“成形条件出しが難しい”ことは、良好な成形品を得られるまでに時間がかかる、ということであり、試作やものづくりの生命線である“早さ”を損なう結果となっていた。導入ユーザーのマイクロ波成形の現場では、使用するプラスチック材料の一

般的な成形条件から成形をスタートし、成形不良が起きた場合は条件を変えつつ良品が得られるまで成形を繰り返すトライ＆エラーを必要としていた。そのため、条件出しのための成形の回数は慣れた作業員でも数回、そうでない場合はより多くの回数が必要であった。

4-2 以降で、いくつかの原因に切り分けて、実施した取り組みについて述べる。

4-2 原因1;キャビティ(図 5)表面温度推測の難しさ、その対策

4-2-1 “キャビティ表面温度推測の難しさ”、について

成形を行うにあたって、成形条件として「目標到達温度」、「昇温勾配」、「保持時間」の3つのパラメータを設定する。Amolsys®は、その設定に従ってゴム型表面の温度を放射温度計を用いて測温し、その温度をモニタしながら設定された温度勾配を保ちつ

つ、目標到達温度まで加熱していく。(図 4)。

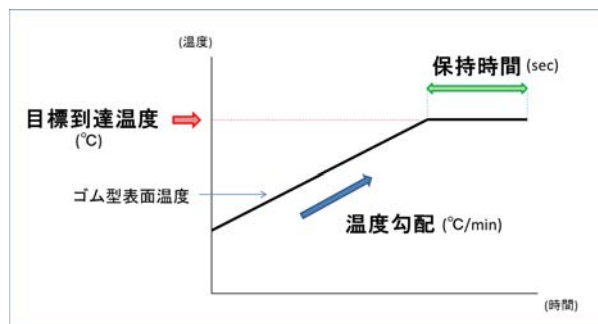


図 4 Amolsys®パラメータ

目標到達温度は、ゴム型内のプラスチック材料が自己発熱開始温度まで加熱され、自己発熱を開始して溶け始めた後、キャビティ内(図 5)で流れ出す温度を設定する。実際の例では、50×50×2mm のプレート成形するゴム型の厚み(以下、型厚とする)15mm のゴム型で、ABS(DMEC マイクロペレット ABS330)を成形する場合、目標

到達温度 150°C(キャビティ表面温度約 180°C)で成形が可能であった

目標到達温度の設定が難しい理由は、“ゴム型表面温度≠キャビティ表面温度”となる点である。ゴム型表面温度は Amolsys®の設定通りに加熱されたとしても、ゴム型内部のキャビティ表面温度は測温することが不可能であるため推測となる。

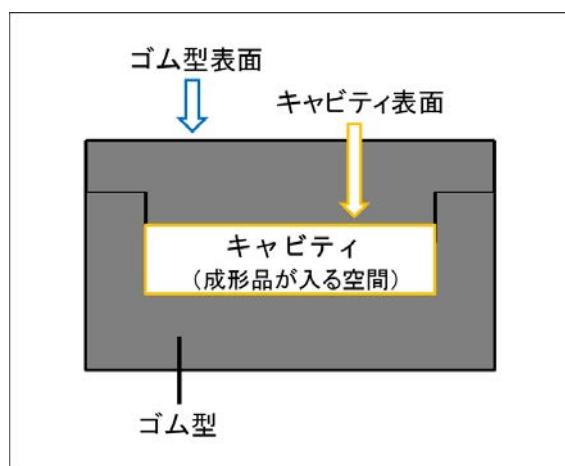
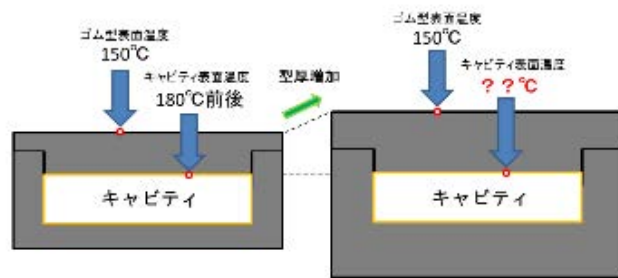


図 5 キャビティ説明図

先程の例で、ゴム型表面温度 150°Cの時、キャビティ表面温度が 180°C前後となり、ABS の成形が可能であったとする。しかし、ゴム型の厚みを変えた場合、ゴム型表面温

度を 150°Cに設定したとしても、キャビティ表面温度が同様の温度となるかは不確実であり、成形不良が発生しやすくなり、結果として成形トライ回数が増加する(図 6)。



型厚の変化により、キャビティ表面温度の推測が難しくなる。

図6 型厚の異なるゴム型

4-2-2 解決のための技術開発1

光ファイバー温度計の開発

放射温度計でのゴム型表面温度の測温・制御では、キャビティ表面温度は推測によるものであり、ゴム型のサイズや型厚が変わることで推測は非常に困難となっていた。目標到達温度を実測値で設定するためには、キャビティ表面の温度を測温・制御する必要が生じた。

マイクロ波環境下ではスパークや局部昇温などの影響があり、使用できる温度計の種

類は限定されると言う難点がある。この限定された温度計の中で、光ファイバー方式は金属部を持たない構造のために使用が可能であるが、非常に高価である点や応答速度の遅さ、耐熱温度の低さなどがネックとなりマイクロ波成形への適用は難しいと考えられた。しかし、マイクロ波への適用に向けて模索したところ、耐熱温度が高く(400°Cまで)、強度もあり、応答速度も高速でコストも抑えた専用モデルの開発に成功した(図7)。

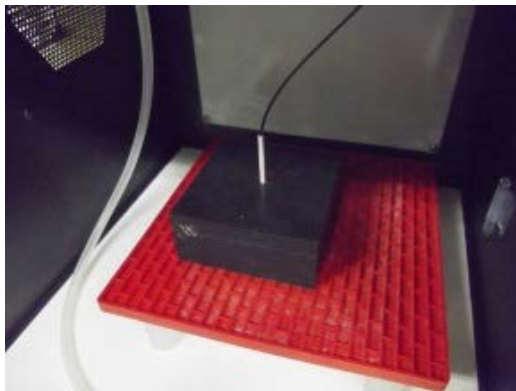


図7 光ファイバー温度計

4-2-3 光ファイバー温度計開発の結果

先述の開発により、ゴム型表面ではなく

キャビティ表面の実温度を測温・制御することが可能になり、“目標到達温度=キャビティ表面温度”と単純化されたことで、成形

条件の最適化を難しくしていた要因の一つを解消するが出来た。その結果、ゴム型サ

イズや型厚が変わっても推測ではない実測値を用いることが可能となった(図 8)。

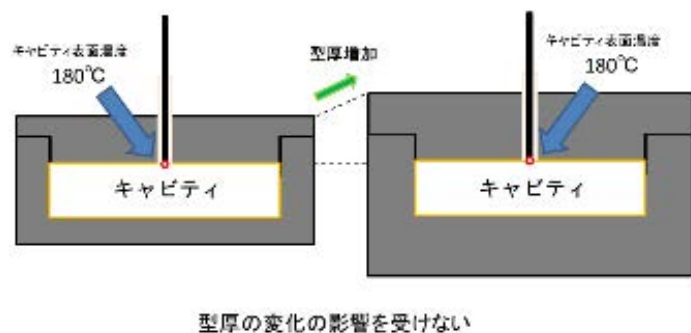


図 8 型厚変化とキャビティ表面温度

4-3 原因 2; 目標到達温度の設定値がわからない

4-3-1 “目標到達温度の設定値がわからない”、について

光ファイバー温度計の開発で、“目標到達温度=キャビティ表面温度”と単純化することが出来たが、次の課題として“実際に何°Cに設定すれば良いのか?”という問題が出てきた。「特定のゴム型のゴム型表面温度が○○°Cの時、ある種類のプラスチック材料が成形可能であった」というデータはあったが、明確な目標到達温度の設定指標が無く、結果として条件を決めるため成形トライ回数が増加する。

4-3-2 課題解決の技術開発2

成形実験により成形実績温度を把握

光ファイバー温度計を用いることにより、キャビティ表面温度を実測しながら成形を実施出来る。意図的にこの温度をずらして成形を実施すれば、良品を得られる温度範

囲を特定することが可能と考えられた。そのため、目標到達温度を 10°C ずつ変化させて成形、その成形状態を確認することでプラスチック材料ごとの成形可能温度を調べる実験を行った。

4-3-3 実験の結果

先述の実験の結果、各プラスチック材料には、成形可能な温度幅(以下、成形可能温度帯とする)があることが判明した。例えば「DMEC マイクロペレット ABS330」では目標到達温度が下は 170°C から上は 230°C まで成形が可能であった(図 9)。

プラスチック材料ごとの成形可能温度帯を把握することで、D-MEC 在庫グレードについて、目標到達温度の設定値はある程度まで明示が可能になった。また、成形可能温度帯が広いプラスチック材料は成形が容易な傾向があり、逆に狭いプラスチック材料は成形が難しくなる傾向があることも判明した。加えて、同じ材料種であってもメーカー、グレードにより大きく異なる場合

があることも判明した。

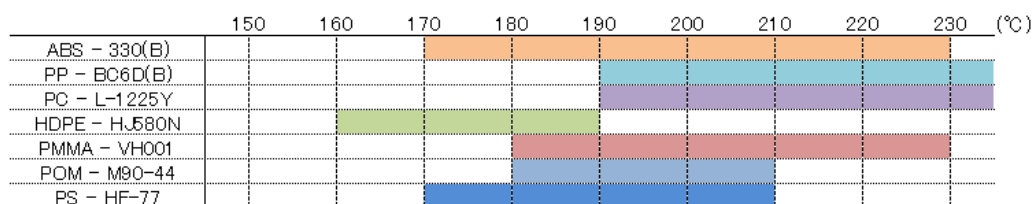


図 9 成形可能温度帯例

4-4 原因 3;キャビティ内温度分布の存在

4-4-1 “キャビティ内温度分布の存在”、について

光ファイバー温度計制御で、目標到達温度を使用するプラスチック材料の成形可能温度帯内に設定しているにもかかわらず、成形品の一部に成形不良が起こる事がある。この不良は過加熱のボイド(気泡などの欠陥)であることも、加熱不足の未溶融(材料が溶けていない)であることもあるが、成形不良は同位置に再現されることが多い。

原因はキャビティ内の温度分布によるものと考えられ、温度が高いところには過加熱の不良が、逆に低いところには加熱不足の不良が発生しやすいと予測された。しかし、Amolsys®の温度計は1点しか測温することが出来ないため、その測温ポイント以外の温度に関しては認識することが出来ない。

4-4-2 課題解決のための技術開発3 サーモグラフィカメラの活用

キャビティ内の温度分布を把握するためには、多点若しくは面による測温が必要で、撮影された対象が、面画像として温度によ

る色分けがなされ視覚的に状態を確認することが出来るサーモグラフィカメラが、最も有効なツールであると考えられる(図 10)。

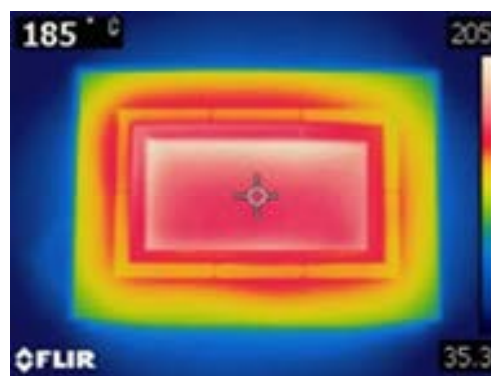


図 10 サーモグラフィ画像の例

実際にキャビティ内の温度分布を観察するためには、樹脂を充填しない空の状態でごム型を成形不良が起こった成形条件にて加熱(以下、空打ちとする)し、加熱完了直後に機外にて型を開きキャビティ部を撮影する。この撮影により、特定成形条件でのキャビティ内温度分布状況が把握出来、光ファイバー温度計による点の情報とサーモグラフィカメラによる面の情報をリンクさせることが出来る。そのため、サーモグラフィカメラの画像を分析することで、その原因が温度分布にあるのかどうかを判断することが可能となる。

4-4-3 サーモグラフィカメラ活用の結果

キャビティ内には程度の差はあるが温度分布が必ず存在しており、その中でも極端に温度が高い(若しくは低い)箇所には成形不良が発生することが確認された。その結果、成形不良の原因解明にサーモグラフィカメラの利用が有益であると判断した。

4-5 温度分布が発生する原因

4-4 でキャビティ内温度分布とその解決策について述べたが、ここでは、この発生する原因及びその解決策について述べる。

4-5-1 温度分布が発生する原因について

キャビティ表面の温度は、ゴム型の発熱

と放熱のバランスにより決定されると考えられる。発熱は、マイクロ波の出力(加えられるエネルギーの大きさ)、マイクロ波の吸収・減衰(エネルギーの伝わり方、型厚の厚薄)、コンパウンド処方による発熱特性、等の影響が考えられ、放熱は、外気温度、表層からの距離(型厚の厚薄)、ゴム型の熱伝導、等の影響が考えられる。(図 11)

成形品形状は複雑多岐に渡るため、型厚の不均一が大きな温度分布を発生させる主な原因と考えられる。型厚の均一化を考慮しながらゴム型作成を行えば温度分布の影響を小さく出来ると予想されるが、実際の作業には相当の練度を必要とすると思われる。

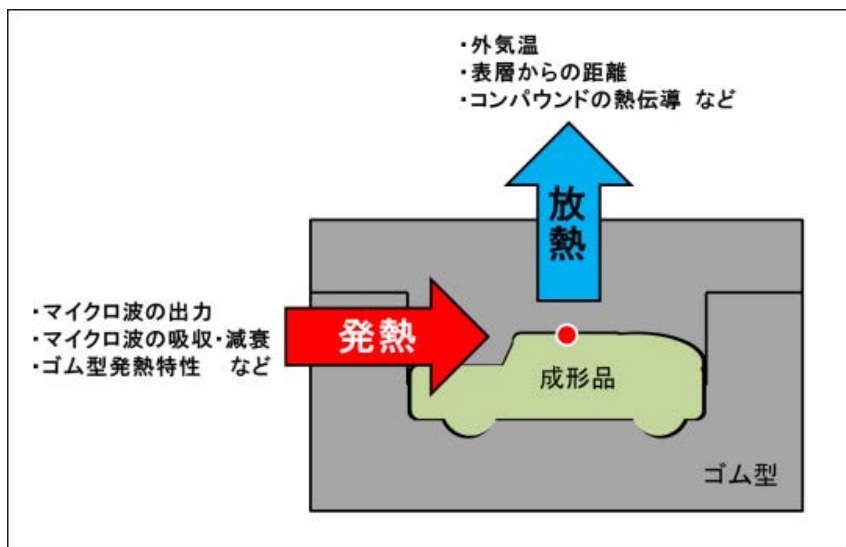


図 11 キャビティ表面温度の影響要素

4-5-2 課題解決のための技術開発4 ゴム型事前成形評価システムの開発

実際にプラスチック材料を用いてのトライ&エラーを行う前に、”仮設定の成形条件で特定のプラスチック材料が成形可能かどうか”を評価するシステムが作れないかと考

えた。4-4 で用いているサーモグラフィカメラの撮影のために空打ちが必要ではあるが、成形条件の探索を目で確認しながら行えるようになり、プラスチック材料の消費も無く、ゴム型も痛めないためメリットは大きいと思われた。

サーモ画像から把握された面温度データとプラスチック材料の成形可能温度帯のデータより、

“キャビティ表面の温度分布幅 < プラスチック材料の成形可能温度帯”

であれば成形は可能であると予測されることから、成形可否を評価するプログラム開発を試行した。

プログラムには以下の機能を持たせた。

- ・サーモ画像の温度データと使用材料の成形可能温度帯データとを比較し、結果を5

段階の色分けで状態表示 (図 12)

- ・キャビティ範囲を特定するため、撮影画像と温度データを重ね合わせて表示 (図 13)
- ・カーソルを合わせれば、そのポイントの温度を表示
- ・光ファイバー温度計を用いた場合に細かい内部温度のコントロールが可能である点を活かし、取り込んだ温度データを 5℃、10℃と上下させた場合の温度状態を表示する、簡易的シミュレーション機能(図 14)



図 12 温度判定



図 13 重ね合わせ



図 14 10℃下げた場合の状態

4-5-3 プログラム開発の結果

作成したプログラムを用いて新しく作成したゴム型を評価し、その結果に基づいて実際にプラスチック材料を充填して成形を行う実験を行ったところ、かなりの確率で

評価結果通りの成形状態を再現した(図 15)。また、簡易シミュレーション機能により、1ショットの空打ちで温度を変えた数ショット分の予測が可能になり、成形条件探索の時間が大幅に短縮出来ることが判明した。

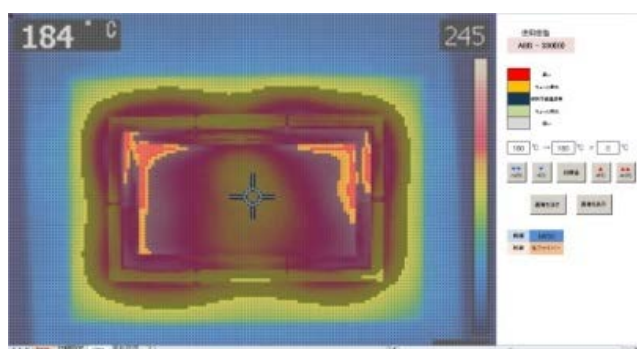


図 15 評価結果と実際の成形結果

5 まとめ 一連の技術開発の結果

ゴム型事前成形評価システムの開発により、ゴム型を 1 回空打ちすれば成形条件探

索が画面上で簡単に行えるようになり、課題であった“成形条件が出しにくい”問題は解消されてきた。そして、成形条件が最適

化されることで、プラスチック材料を充填してからの 1 回目の成形で良品を得られる確率も上がってきており、結果としてトライ&エラーの回数が低減され“時間がかかる”問題も解決に向かわせることが出来た。

また、温度分布状況を確認・解釈する方法が確立してきたことで、成形難ゴム型を改善する技術開発も進み、事前評価のみではなく事後の対応策も充実してきている(図 16)。

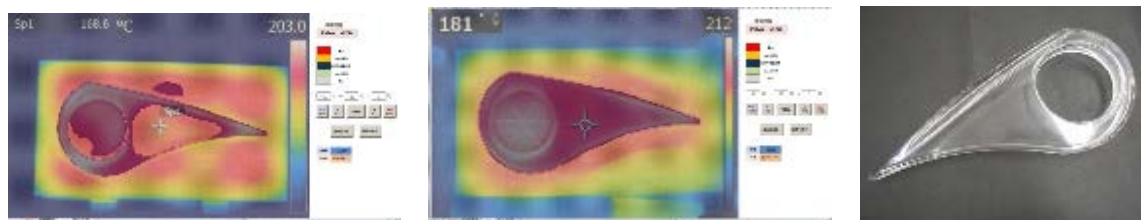


図 16 温度分布の状況

温度分布改善後

実際の成形品

6 今後の取り組みについて

現在、Amolsys®M シリーズのベンチマーク成形時にゴム型事前成形評価システムを適用することで実成形での検証作業及び実績の積み重ねを行っている。この積み重ねにより、プラスチック材料データの拡充等を進め、システムの早期のユーザーへの提供を目指している。

また、温度コントロールの向上やゴム型構造の最適化が進み、樹脂ブロックなどの超厚肉成形(図 17)が可能になるなど、以前には不可能と思われた成形も可能になってきており、今後も Amolsys®活用の道が広がるよう技術開発を行っていきたいと考えている。



図 17 樹脂ブロックの例

7 参考文献

株式会社ディーメック Technical Review No.1 2015

Wikipedia URL:<https://ja.wikipedia.org/>