

プラスチック射出成形金型の洗浄に関する研究（第2報）

長田和真・古屋雅章・尾形正岐・早川亮・阿部治・石黒輝雄・西村通喜・山田博之・八代浩二・近藤英一*1

Study on the Cleaning Method for the Mold of the Plastic Injection molding (2nd Report)

Kazuma OSADA, Masaaki FURUYA, Masaki OGATA, Ryo HAYAKAWA, Osamu ABE, Teruo ISHIGURO,
Michiyoshi NISHIMURA, Hiroyuki YAMADA, Koji YATSUSHIRO and Eiichi KONDOH*1

要 約

プラスチック射出成形加工において、金型の洗浄は重要な工程であり、汚れの除去が不十分であると成形不良等の問題が生じる。特に最近では、技術力の進歩でより微細で複雑な金型が作成可能であるが、そのような金型の洗浄は困難になると予想される。そのため、複雑な金型に対応した洗浄方法が必要となる。本研究では超臨界流体に着目し、その特性を利用した洗浄を試みた。その結果、条件を検討することで金型洗浄が良好に行えることが分かった。また、その結果を超音波洗浄と比較しても遜色ないことが分かった。

1. 緒 言

我々の生活に欠かせないものとなっているプラスチック製品の多くは射出成形という方法で作製されている。プラスチック射出成形は、溶解したプラスチックを高压で型に押し込むことで製品の形状を得る成形手法である。型は凸側（コア）と凹側（キャビティ）からなり、製品の形状を決定する上で最も重要な部分となる。

プラスチック射出成形加工をする上では様々な問題が生じる。中でも外観不良や金型の開閉不良などを引き起こすのが、金型汚れである。金型汚れは気化した原材料や添加剤が金型に付着することで生じる。金型汚れ対策として、溶剤を用いた定期的な拭き取り洗浄が行われているが、複雑化する金型への対応が困難となっている。特に、最近では射出成形技術や金型加工技術の進歩により微細で複雑な金型が作製可能であるが、その金型の洗浄はさらに困難になると予想される。そのため、これらの金型に対応した洗浄方法が必要となる。

第1報では金型汚れに対してプラズマ洗浄を行った結果について述べた。プラズマ発生時の条件を変更して実験を行った結果、実験を行った条件の範囲内では圧力、投入電力が大きい方がより大きな洗浄効果が得られることが分かった。本報では、超音波洗浄と超臨界流体中洗浄を用いて金型汚れの除去条件を検討した結果について報告する。

拭き取りによる汚れの除去以外に製造現場でも用いられる金型洗浄方法として超音波洗浄がある。超音波洗浄は金型を溶剤に浸漬させ、超音波により発生するキャビテーションと溶剤の溶解力を利用して汚れを除去する方法である。一般的に洗浄力が高く、汚れの除去が十分に行われると考えられるが、超音波洗浄の金型洗浄が適切に行われているかは不明である。そのため、超音波洗浄に関して洗浄力を確認する実験を行うことにした。

また、金型の新規洗浄手法として超臨界流体中洗浄を試みた。超臨界流体は、物質の三態（固体、液体、気体）に次ぐ4つ目の物質の状態であると言われており、ユニークな性質を有している。すべての物質は臨界圧力と臨界温度が交差する臨界点を越えることで超臨界流体になるが、物質によりその臨界点が異なる。比較的臨界点が低い物質としてCO₂が挙げられる。CO₂の臨界点は臨界圧力 7.38 MPa、臨界温度 31.1℃であり、臨界条件を比較的容易に達成できることから工業用途に広く用いられている。本研究では超臨界流体中洗浄にCO₂を用いることとし、様々な洗浄条件による実験を実施することで超臨界流体による金型汚れ除去を試みることにした。超臨界流体の密度は液体と類似しているが、低粘性、高拡散性であるため、物質輸送の面で有利である¹⁾。その特性を活用することで複雑化する金型の洗浄が行えるものと考えた。

*1 山梨大学

2. 実験方法

2-1 サンプルの作製

鏡面加工した後に 10×10×10 mm にカットしたプリハードン鋼（以後、模擬金型）の表面にウレタン系熱可塑性エラストマー材のガス成分を付着させてサンプルを作製した。プリハードン鋼は大同特殊鋼（株）NAK80を、エラストマー材は大日精化工業（株）製レザミン P-4597 を使用した。

ペレット状のエラストマー材 30 g を金属容器に入れ、表面温度 230℃に設定したホットプレート上に配置した。この金属容器の直上の回転板に模擬金型を固定し、汚れ付着のむらを抑えるため 60 rpm 程度で回転させながら、気化した汚れ成分を付着させた（図 1）。汚れ付着後の模擬金型表面の光学顕微鏡像を図 2 に示す。汚れは模擬金型上に斑状に堆積していた。汚れが付着した模擬金型に対して洗浄を試みた。

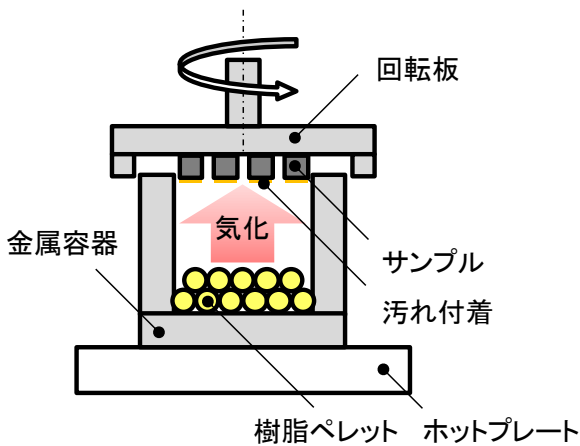


図 1 金型汚れの付着方法

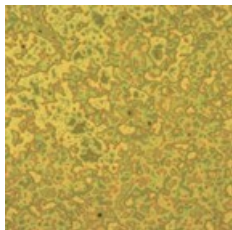


図 2 汚れ付着後の模擬金型表面の光学顕微鏡像

2-2 超音波洗浄

超音波洗浄にはアイワ医科工業株式会社製の超音波洗浄器AU-16Cを使用した。表1に超音波洗浄に用いた有機溶剤を示す。企業で一般的に使用されている有機溶剤としてはアセトンが挙げられるが、その他に洗浄効果が得られる有機溶剤がある可能性もある。そのため、超音波洗浄に用いる有機溶剤としてアセトンの他に、エタノール、メタノール、2-プロパノールを使用し、それぞれの

溶剤の洗浄効果を確かめた。なお、有機溶剤は富士フィルム和光純薬株式会社製の一級を使用した。

溶剤20 mLを50 mLビーカーに入れ、汚れが付着した模擬金型を溶剤に浸漬させて5 min間超音波洗浄を行った。

表1 超音波洗浄に用いた有機溶剤

アセトン
エタノール (99.5)
メタノール
2-プロパノール

2-3 超臨界流体中洗浄

2-3-1 洗浄方法

超臨界流体中洗浄には耐圧硝子工業株式会社製の汎用型超臨界実験装置TSC-GPT特型を使用した。内側形状がφ40×60 mmのSUS316製反応容器内に汚れが付着した模擬金型を配置した。反応容器上部にある配管接続部から溶剤を導入し、装置に取り付けた。液化CO₂ボンベから純度99.5%のCO₂を送液し、ポンプで昇圧しながら反応容器内にCO₂を導入した。反応容器を恒温水槽に浸漬させて内部を超臨界状態とし、洗浄を行った。洗浄時は3 minのバッチ洗浄後、2 minフロー洗浄を行った。合計5 minの洗浄の後、反応容器を恒温水槽から取り出し、大気開放した。なお、2-3-2、2-3-3の処理温度は、50℃とした。

2-3-2 溶剤の洗浄効果に与える影響の調査

洗浄効果を高めることを目的として超臨界流体に溶剤を添加する実験を行った。超臨界流体中洗浄に用いた有機溶剤を表 2 に示す。超臨界流体への溶剤の溶解度等などが影響し、溶剤の種類による洗浄結果の優劣が変わる可能性があるため超音波洗浄で用いた溶剤すべてを試すことにした。

それぞれの溶剤 1 mL を反応容器内に導入してからCO₂を送液し、容器内を昇圧、昇温することで、超臨界流体中に溶剤を溶解させて洗浄を行った。

また、溶剤を導入せずに超臨界状態のCO₂のみでも洗浄を行い、溶剤を用いた場合と比較した。

表2 超臨界流体中洗浄に用いた有機溶剤

アセトン
エタノール (99.5)
メタノール
2-プロパノール

2-3-3 溶剤の添加量が洗浄効果に与える影響の調査

添加する溶剤量がどの程度あれば洗浄が行えるか調査するために、溶剤の添加量を変化させた洗浄実験を実施した。導入する溶剤をアセトンに固定し、反応容器内に導入するアセトン量を変化させた。溶剤の添加量を表3に示す。アセトンの添加量は0.1, 1, 2.0 mLの3水準を調査することにした。

表3 有機溶剤の添加量

0.1 mL
1 mL
2 mL

2-3-4 恒温水槽の設定温度が洗浄効果に与える影響の調査

適切な温度条件を調査するために恒温水槽の設定温度を変更した洗浄実験を行った。表4に恒温水槽の設定温度を示す。その他の条件は、溶剤をアセトンとし、導入量は1 mLとした。

表4 恒温水槽の設定温度

40℃
50℃
60℃
70℃

3. 実験結果及び考察

3-1 超音波洗浄

模擬金型表面の光学顕微鏡像（超音波洗浄結果）を図3に示す。汚れ除去前の模擬金型表面と比較して汚れの除去は行われているが、使用した有機溶剤の種類によって洗浄結果に違いが認められた。エタノールやメタノールによる超音波洗浄では、汚れが除去されて清浄な模擬金型表面が得られた（(b), (c)）。一方で、アセトンや2-プロパノールを用いて超音波洗浄すると残渣が模擬金型表面に認められた（(a), (d)）。特にアセトン洗浄後の模擬金型表面では汚れが点在しているため、一度除去された汚れが凝集して再付着したのではないかと考えられる。

3-2 超臨界流体中洗浄

3-2-1 溶剤の種類が洗浄効果に与える影響の調査

模擬金型表面の光学顕微鏡像（溶剤の種類が洗浄効果に与える影響の調査）を図4に示す。どの溶剤を用いても模擬金型表面の汚れを除去できることが分かった

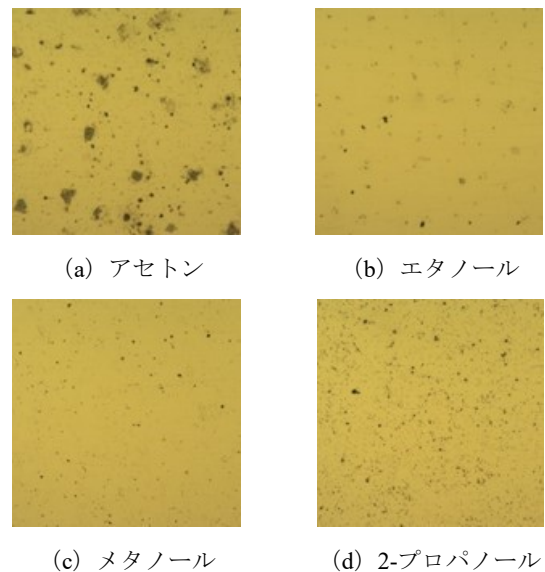


図3 模擬金型表面の光学顕微鏡像

（超音波洗浄結果）

（(a)～(d)）。一方で、有機溶剤を導入せずに超臨界CO₂のみで洗浄を試みると凝集した残渣が認められた（(e)）。超臨界流体は高溶解性と高拡散性を併せ持った物質の状態であるため、添加物を用いずとも超臨界流体の特性により多少の汚れの除去は可能であると考えられる。しかしながら、溶解度が十分ではないため、汚れの除去そのものがされにくい、汚れの除去がされたとしても温度や圧力の多少の揺動により、一度除去された汚れが金型表面に再付着すると考えられる。

超臨界CO₂のみでは汚れ成分を除去するのが難しいが、有機溶剤を導入することで汚れの除去が良好に行えることが分かった。どの溶剤を用いても洗浄できたが、コストや扱い易さ等を考え、アセトンを条件検討の基本溶剤とした。また、比較のため図4(a)の結果を他の条件検討の結果に入れることにし、その際には（同一）と記載した。

3-2-2 溶剤の洗浄効果に与える影響の調査

模擬金型表面の光学顕微鏡像（溶剤の添加量が洗浄効果に与える影響の調査）を図5に示す。実施したすべての条件において、模擬金型表面の汚れ除去が行えることが分かった。

一般的に、有機溶剤を用いた金型汚れの除去は溶解型洗浄に分類される。本研究において超音波洗浄と超臨界流体洗浄を試みる際にそれぞれ有機溶剤を用いたが、汚れの除去の原理が異なると考えられる。超音波洗浄の場合、模擬金型が有機溶剤に浸漬しており、汚れは有機溶剤に溶解して洗浄される。一方で、超臨界流体中洗浄の場合には、有機溶剤は超臨界流体中に溶解している。超臨界CO₂に溶解した溶剤は拡散し、汚れの溶解除去を

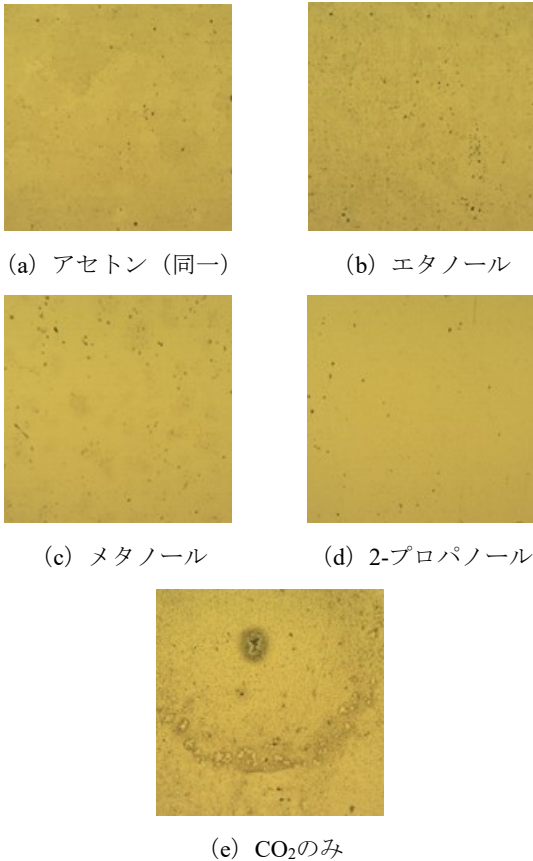


図4 模擬金型表面の光学顕微鏡像
(溶剤の種類が洗浄効果に与える影響の調査)

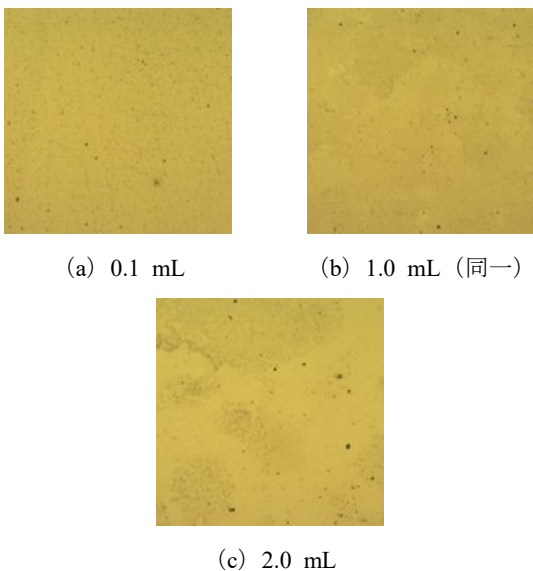


図5 模擬金型表面の光学顕微鏡像
(溶剤の添加量が洗浄効果に与える影響の調査)

行う。このため、アセトンの添加量が 0.1 mL のようにごく微量の場合でも洗浄が効率的に行われたものと考えられる。

3-2-3 恒温水槽の設定温度が洗浄効果に与える影響の調査

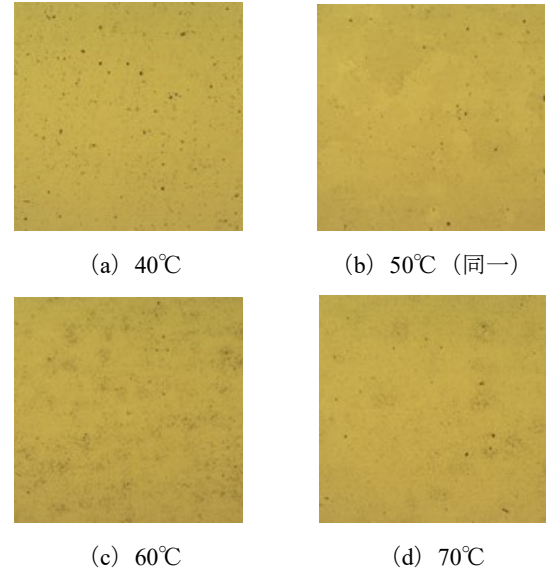


図7 模擬金型表面の光学顕微鏡像
(恒温水槽の設定温度が洗浄効果に与える影響の調査)

模擬金型表面の光学顕微鏡像を図7に示す。残渣が多少認められる温度条件もあるが、温度条件を変更しても汚れを除去できた。

一般的に、理想気体の溶解度は温度の高い方が大きくなるが、臨界点近傍の超臨界流体の場合には圧力一定のもとで温度の低い方が溶解度は高くなる。これは、臨界点近傍では低温の方が密度が大きいという性質に起因している²⁾。今回の実験の温度範囲では汚れ除去の違いが顕著に認められなかったが、低温条件にて洗浄が行えることは低環境負荷へ繋がるため、可能であれば低温条件を利用することにしたい。一方で、溶解度が大きくなる低温条件では、拡散性が低下する。そのため、微細な構造物等を洗浄する際には溶解度と拡散性の相互性に注意して温度条件等を決定する必要があると考える。

4. 結 言

超音波洗浄と超臨界流体中洗浄を利用して模擬金型上の汚れ除去を試みた結果、以下の成果ならびに知見が得られた。

(1) 超音波洗浄の場合は、汚れ除去前の模擬金型表面と比較して汚れの除去は行われているが、使用した有機溶剤の種類によって洗浄結果に違いが認められた。残渣が残る可能性もあるため、定期的に超音波洗浄を行う際には注意が必要である。

(2) 超臨界流体中洗浄を試みた結果、模擬金型の汚れ除去に成功した。

(3) 超臨界 CO₂ 単体を用いても汚れを除去できたが、除去効率が低く、残渣が生じた。

(4) 超臨界 CO₂ に有機溶剤を混合することで汚れの除

去効率が向上した。有機溶剤の添加量が 0.1 mL とごく微量の場合でも洗浄できた。

(5) 超臨界流体中洗浄における温度条件を 40～70℃の範囲で 10℃ずつ変更して実験を行った結果、すべての条件で洗浄できた。

(6) 様々な条件で超臨界流体中洗浄を行ったが、超音波洗浄と遜色ない洗浄結果を得ることができた。

参考文献

- 1) 荒井康彦, 古屋武: 超臨界流体の特徴, 高圧力の科学と技術, Vol.2, No.4, pp.261-264 (1993)
- 2) 新田友茂: 超臨界流体の溶解特性, 高圧力の科学と技術, Vol.2, No.4, pp.273-2279 (1993)