

プラスチック射出成形金型の洗浄に関する研究

長田和真・古屋雅章・尾形正岐・阿部治・西村通喜・山田博之・高尾清利・近藤英一*1

Study on the Cleaning Method for the Mold of the Plastic Injection molding

Kazuma OSADA, Masaaki FURUYA, Masaki OGATA, Osamu ABE,
Michiyoshi NISHIMURA, Hiroyuki YAMADA, Kiyotoshi TAKAO and Eiichi KONDOH*1

要 約

プラスチック射出成形加工では、射出成形時に気化した原材料、添加剤が金型に付着、堆積することで、製品の外観不良の原因となる。この問題の解決のため通常は溶剤を用いた拭き取りにより金型を洗浄しているが、複雑化する金型への対応が困難となっている。特に、微細部やシボ面の洗浄に関しては拭き取りによる汚れの除去が難しく、他の洗浄方法が必要となる。そこで本研究では超音波、プラズマ、超臨界流体に注目し、これらを用いた洗浄実験を実施してそれぞれの洗浄効果を検証する。本報告では金型洗浄方法としてプラズマ洗浄に注目し、金型汚れの除去条件の検討、および除去の程度を評価した。その結果、圧力 50 Pa、投入電力 50 W では汚れの除去が行われなかったが、圧力と投入電力を上げることで洗浄効果が増し、100 Pa、200 W の条件では汚れが除去されることが確認された。

1. 緒 言

我々の身の回りにはプラスチック製の製品が溢れており、最初の発見から約2世紀経った現在においてプラスチックは生活には欠かせない存在となっている。特に身近にあるプラスチック製品の大部分は射出成形という方法で作製されている。射出成形は主にペレットと呼ばれる粒状の材料を溶融し、高圧で金型に押し込み、充填することで製品の形状を得る成形方法である。このプラスチック成形方法には必ず凸部（コア）、凹部（キャビティ）からなる金型が必要になる。

プラスチック射出成形加工では、射出成形時に気化した原材料、添加剤が金型に付着する。成形を繰り返すと金型へガス成分が堆積していき、これが製品側に付着することで外観不良の原因となる。また金型自体も汚れの堆積により開閉が困難になる、可動部が動かなくなるなどの問題が発生する可能性がある。そのため金型汚れ対策として定期的に溶剤を用いた拭き取りにより金型を洗浄しているが、複雑化する金型への対応が困難となっている。特に、微細部やシボ面の洗浄に関しては拭き取りによる汚れの除去が難しく、他の洗浄方法が必要となる。

そこで本研究では微細部やシボ面を有する複雑な金型の洗浄に対応するため、超音波洗浄、プラズマ洗浄、超臨界流体中洗浄を実施して洗浄効果を検証する。

本報告では金型洗浄方法としてプラズマ洗浄に注目し、

金型汚れの除去条件の検討、および除去の程度を評価した結果について述べる。

2. 実験方法

2-1 金型汚れ試験片の作製

洗浄評価のための金型汚れ試験片として模擬金型を作製し、汚れを付着させた。汚れを付着させる試験片に、プラスチック射出成形金型用鋼としてプリハードン鋼試験片 NAK80（大同特殊鋼（株））を使用し、40×40×10 mm の角材を、サンドペーパー、遊離砥粒を用いて鏡面研磨し、その後ワイヤー放電加工機を用いて10×10×10 mm の大きさに加工し、模擬金型とした。

汚れとなる樹脂材料には外観不良が比較的生じやすいエラストマー材を対象とし、本研究ではウレタン系熱可塑性エラストマー材である大日精化工業（株）製のレザミン P-4597 を使用した。ペレット状のエラストマー材 30g を金属容器に入れ、指示温度 270°C 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 rev/min 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）。図 2 に汚れ付着前後の模擬金型表面の実体顕微鏡像を示す。鏡面加工した平滑な表面を持つ模擬金型に汚れを付着させると、微粒子が集まって形成されたくもり汚れと高コントラストで示される糸状成長物が観察された。この汚れを付着させた模擬金型に対してプラズマ洗浄を実施し、洗浄効果を検証した。

*1 山梨大学

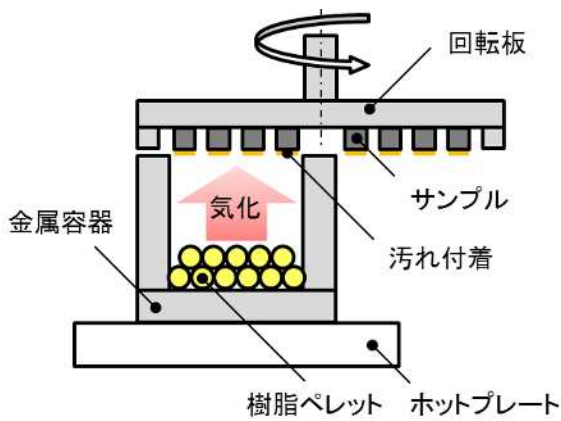
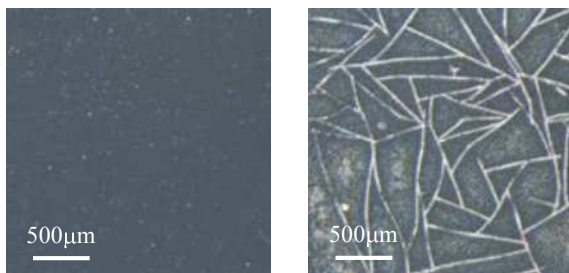


図1 金型汚れの付着方法の概要



(a) 汚れ付着前 (b) 汚れ付着後

図2 汚れ付着前後の模擬金型表面

2-2 プラズマ洗浄条件

プラズマ洗浄には高尾，寺澤らによる研究からインク汚れの洗浄に効果があると確認されたマイクロ波プラズマ発生装置^{1), 2)}を使用した。これは2.45 GHzのマイクロ波により発生したプラズマ中のラジカルを用いて汚れを洗浄する装置である。本研究では実際の金型汚染状態に近い汚れの除去に利用できるか検証するために，模擬金型上に付着させた汚れの除去を試みた。模擬金型はプラズマ直下に置かず，プラズマ発生源よりも下流の配管内に設置し，アフターフローを用いて洗浄した。プラズマ洗浄条件を表1に示す。チャンパー内にはAirおよびO₂（純度99.5%）を導入し，プラズマの発生源とした。導入ガスAirでは，（圧力 [Pa]，投入電力 [W]）=（50，50），（50，100），（100，100），（100，200）の4条件，導入ガスO₂では（圧力 [Pa]，投入電力 [W]）=（100，100）の条件でそれぞれ洗浄実験を実施した。また，洗浄時間は最大で20 minとし，5 min洗浄するごとに模擬金型を取り出し，2-3章で後述する波長分散型蛍光X線分析装置を用いて模擬金型表面の成分分析を行った。

2-3 洗浄効果の評価方法

洗浄方法の評価として，オリンパス（株）製の実体顕微鏡SZX16による表面状態の観察，（株）リガク製波長

分散型蛍光X線分析装置（以後，WDX）ZSX Primus II 4.0kWによる単位面積あたりの炭素量（以後，C量）の半定量分析を行った。模擬金型として使用したNAK80中にはCが含有しているため，汚れを付着させていない模擬金型表面のC量を測定し，洗浄後サンプルの測定結果から差し引くことで洗浄によるC量の変化量を洗浄効果として評価することにした。

表1 プラズマ洗浄条件

導入ガス	Air	O ₂
圧力 [Pa]	50, 100	100
投入電力 [W]	50, 100, 200	100
洗浄時間 [min]	5, 10, 15, 20	

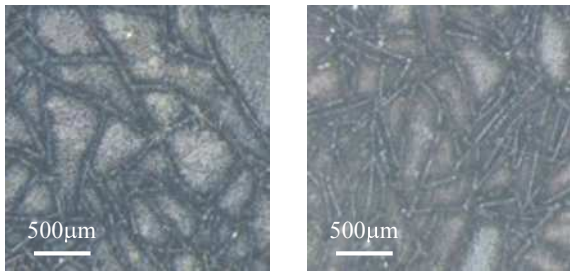
3. 実験結果および考察

3-1 実体顕微鏡による模擬金型表面観察

図3に20 minプラズマ洗浄した模擬金型表面の実体顕微鏡像を示す。Airプラズマを用いて洗浄すると，圧力50 Pa，投入電力50 Wの条件ではくもり汚れの除去が行われていなかった（図3（a））。圧力および投入電力を上げると汚れの洗浄が行われるようになり，100 Pa，200 Wの条件ではくもり汚れがほぼ除去されたことを確認できた（図3（b）～（d））。また，O₂プラズマを用いて圧力100 Pa，投入電力100 Wの条件で洗浄を行ったが，汚れの除去量が顕著に増加する傾向は認められず，O₂導入の優位性は得られなかった（図3（e））。

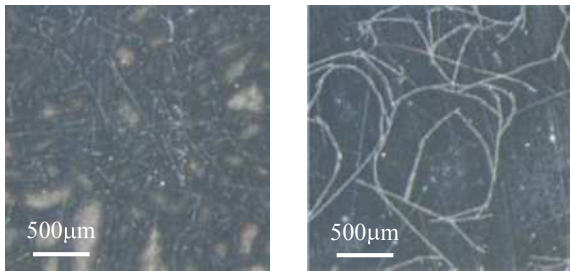
3-2 WDXによる模擬金型表面のC量評価

図4にWDXによる除去C量測定結果を示す。横軸は洗浄時間，縦軸は初期の模擬金型に付着したC量から各時間洗浄後のC量を差し引いた値を示している。50 Pa，50 Wの条件ではほとんどCが除去されなかったのに対して，圧力および投入電力を大きくすることで除去C量が増加した。一方で，圧力100 Pa，投入電力200 Wの結果を除いて初めの5 minから洗浄時間を増加させても除去C量は顕著には増加しなかった。また，O₂プラズマを用いて圧力100 Pa，投入電力100 Wの条件で洗浄を行った結果は，Airを用いて同圧力，投入電力で洗浄を行った場合と比較してC除去量は小さい結果となった。圧力や投入電力が低いと洗浄効果が得られないのは，汚れを除去するために必要なエネルギーが低いためだと考えられる。また，初めの5 min以降洗浄時間を増加しても除去C量が増加しないのは，結合力の低い汚れから優先的に除去されるためだと考えられる。そのため，残存した汚れを除去するためにはさらに高いエネルギーを要すると考えられる。



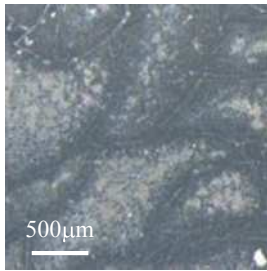
(a) Air, 50 Pa, 50 W

(b) Air, 50 Pa, 100 W



(c) Air, 100 Pa, 100 W

(d) Air, 100 Pa, 200 W



(e) O₂, 100 Pa, 100 W

図3 プラズマ洗浄した模擬金型表面

- ・ 模擬金型表面には微粒子が集まって形成されたくもり汚れが付着した。
- ・ Airプラズマを用いて洗浄した模擬金型の表面を実体顕微鏡で観察すると、圧力50 Pa、投入電力50 Wの条件ではくもり汚れの除去が行われなかったが、圧力および投入電力を上げると汚れの洗浄が行われるようになり、100 Pa、200 Wの条件では汚れがほぼ除去されたことが確認された。
- ・ O₂プラズマを用いて洗浄した模擬金型の表面を実体顕微鏡で観察すると、Airを用いて同圧力、投入電力で洗浄した場合と比較して汚れの除去量は小さかった。
- ・ WDXを用いて模擬金型上のC量を分析することで、洗浄により除去されたC量を測定した。その結果は、実体顕微鏡による模擬金型表面の観察結果と同様で、圧力、投入電力を大きくすることでより大きな洗浄効果が得られることを示唆していた。

参考文献

- 1) 高尾清利，萩原義人：射出成形金型のガスベント洗浄技術及び装置の開発（第1報），平成19年度山梨県富士工業技術センター研究報告，pp.13-16（2007）
- 2) 寺澤章裕，佐野正明，西村通喜，高尾清利：射出成形金型のガスベント洗浄技術及び装置の開発（第2報），平成 年度山梨県富士工業技術センター研究報告，pp.21-24（2008）

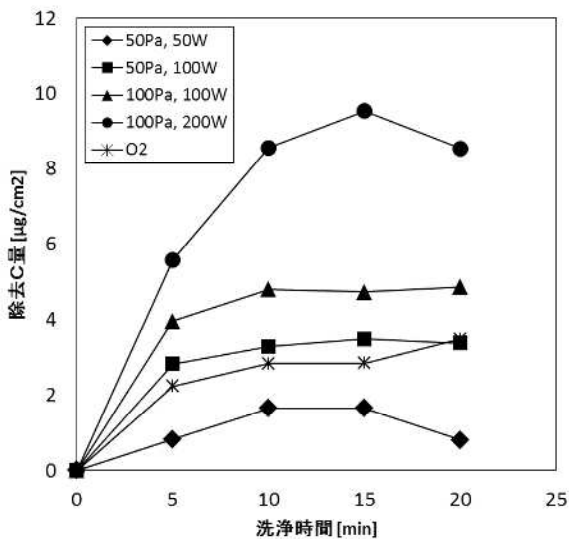


図4 WDXによる除去C量測定結果

4. 結言

汚れの付着を施した模擬金型に対して、プラズマを用いて洗浄実験を行った。そのことで以下の結果が得られた。