

# プラスチック射出成形金型の洗浄に関する研究（第3報）

早川亮・望月陽介・古屋雅章・尾形正岐・阿部治・勝又信行・石黒輝雄・西村通喜・八代浩二・近藤英一\*1

## Study on the Cleaning Method for the Mold of the Plastic Injection Molding (3rd Report)

Ryo HAYAKAWA, Yosuke MOCHIZUKI, Masaaki FURUYA, Masaki OGATA, Osamu ABE, Nobuyuki KATSUMATA,  
Teruo ISHIGURO, Michiyoshi NISHIMURA, Koji YATSUSHIRO and Eiichi KONDO\*1

### 要 約

プラスチック射出成形加工において、金型に付着・堆積した汚れは成形不良の原因になる。そのため、金型の洗浄は重要な工程である。しかし、射出成形技術や金型加工技術の進歩に伴い金型形状は複雑化しており、溶剤を用いた拭き取りによる洗浄では汚れの除去が難しくなっている。過去の報告において、平滑面に模擬的に付着させた汚れに対する超臨界 CO<sub>2</sub> 流体の洗浄効果が確認されている。そこで、本研究では超臨界 CO<sub>2</sub> 流体に着目し、疑似シボ面に対する洗浄効果について評価した。その結果、シボ面に対しても良好な洗浄効果が得られることが分かった。

### 1. 緒 言

最初の発見から約2世紀が経過したプラスチックは、現在の生活に欠かせない存在となっており、我々の身の回りにはプラスチック製品が溢れている。これらのプラスチック製品の大部分は、射出成形という方法で製造されている。射出成形は、溶融した材料を高圧で金型に充填することで製品の形状を得る成形加工技術である。用いられる金型は、コアと呼ばれる凹側と、キャビティと呼ばれる凸側の組み合わせであり、成形品の形状を決定する上で最も重要な部分である。

なお、プラスチック射出成形加工では、射出成形時に原材料や添加剤が気化して金型に汚れとして付着する。そして、成形を繰り返すとこれらの気化成分が金型の表面に堆積していく。これらの汚れは、成形品側に付着することで外観不良の原因となるばかりか、金型自体の開閉に影響を及ぼし、可動部分が正常に駆動しなくなるなどの問題を発生させる。そのため金型の汚れ対策として、溶剤を用いた拭き取り洗浄を定期的に行っている。

しかし、射出成形技術や金型加工技術の進歩に伴い金型形状は複雑化しており、このような方法では洗浄処理が困難となってきている。特に微細部分やシボ面に対する汚れの除去は難しく、拭き取り以外の新たな洗浄方法が求められている。

そこで本研究では、複雑な金型の洗浄方法として超音

波洗浄、プラズマ洗浄および超臨界流体中洗浄に注目し、これらの洗浄方法について洗浄効果を評価することで、複雑化した金型に対する最適な洗浄方法および条件を見出すことを目的とした。

第1報および第2報において、プラズマ洗浄、超音波洗浄および超臨界流体中洗浄の洗浄効果が確認された<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>。しかし、シボ面のような複雑な微細構造に付着した汚れに対する洗浄効果は、プラズマ洗浄および超音波洗浄に比べ、低粘性および高拡散性を有する超臨界流体中洗浄の方が、高い効果が得られる可能性があると考えられる<sup>3)</sup>。

そのため本報では特に超臨界流体中洗浄に着目し、シボ面に対する適用性および射出成形により金型に堆積した多量の汚れに対する洗浄効果について評価を行った。

### 2. 実験方法

#### 2-1 疑似シボ面を有する汚れ試験片の作製

##### 2-1-1 サンドブラストを用いた疑似シボ面の作製

試験片の材料には、プラスチック射出成形金型用鋼として用いられているブリハードン鋼 NAK80（大同特殊鋼（株））を使用した。まず、40×40×10 mm の角材表面をエメリー紙および 0.3 μm のアルミナ粉末を用いて鏡面に仕上げた。次に、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、これを模擬金型とした。

その後、サンドブラスト処理を行い、表面を梨地に加

\*1 国立大学法人山梨大学

工することで疑似シボ面試験片を作製した。その際、サンドブラストのメディアには褐色溶融アルミナ研削材モランダム A-43 F60 番 (昭和電工 (株) 製) を用い、噴射圧力を約 0.5 MPa, 処理時間を約 5 sec とした。これを、疑似シボ面試験片とした。

### 2-1-2 疑似シボ面の形状評価

作製した疑似シボ面試験片の表面状態について、走査電子顕微鏡 (株) 日本電子製 JSM-5310LV) を用いて観察するとともに、触針式表面粗さ計 (株) 小坂研究所製 SURFCORDER DSF1000) を用いて試験片の中心部分および上下側面から約 2 mm 内側における 3ヶ所の表面粗さを測定した。

### 2-1-3 疑似シボ面への汚れ付着および汚染度測定

洗浄効果を評価するための汚れ試験片として、実験方法 2-1-1 で作製した疑似シボ面試験片に汚れを付着させた。汚れの発生源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、ウレタン系熱可塑性エラストマー材であるレザミン P-4585 (大日精化工業 (株) 製) を使用した。

まず、ペレット状のレザミン P-4585 約 30 g を金属容器に入れ、ホットプレートを用いて約 240°C に加熱した。次に、この金属容器の直上に模擬試験片を固定した回転板を設置し 120 min 保持することで、気化した汚れ成分を試験片表面に付着させた。その際、汚れの付着むらを抑制するために、回転板を約 60 rpm で回転させた。

付着させた汚れによる汚染度の評価は、波長分散型蛍光 X 線分析装置 (株) リガク製 ZSX Primus II) を用いた炭素量の測定によって行った。その際、炭素量は試験片の中心部分において測定し、測定範囲は  $\phi 10$  mm とした。なお、模擬金型として使用した NAK80 は合金成分として炭素を含有しているため、模擬金型表面に汚れを付着させた際の汚染度は、汚れを付着させた試験片における炭素量の測定値から清浄面において測定した炭素量の値を差し引いた値とした。

## 2-2 射出成形機を用いた汚れ試験片の作製

### 2-2-1 試験金型の構造

射出成形に伴う汚れの付着対象には、約  $\phi 24$  mm, 厚さ約 1 mm の円盤状製品を成形するための試験金型を用いた。金型材料には、模擬金型の場合と同様にプラスチック射出成形金型用鋼として用いられている NAK80 を使用した。

図 1 に用いた金型の可動側部分の外観を示す。金型は、カセット金型に入れ子を挿入する構造とした。図 2 に金型入れ子構造の概要を示す。製品が成形される部分は、図 1 に示した入れ子に更に円筒状の型を挿入する入れ子式とした。この円筒状の入れ子型において、まず製品が

成形される面をエメリー紙および  $0.3 \mu\text{m}$  のアルミナ粉末を用いて鏡面に仕上げ、その後製品を成形することによって、金型表面に汚れを付着させた。

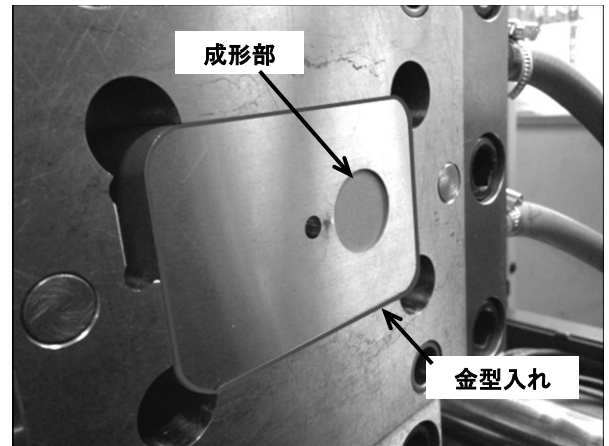


図 1 金型可動側の外観写真

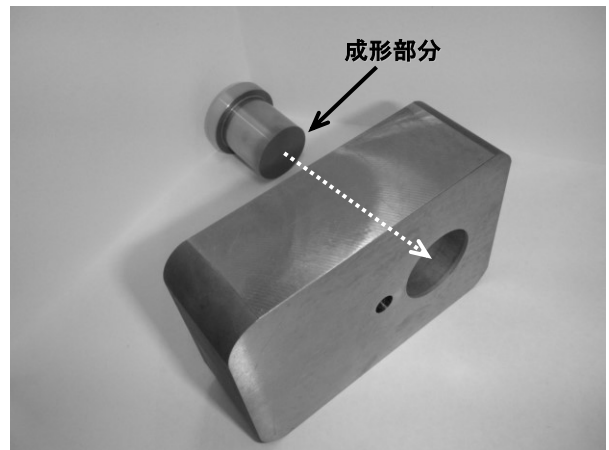


図 2 金型入れ子の概要

### 2-2-2 金型への汚れ付着および汚染度の測定

汚れの発生源となる樹脂材料には実験方法 2-1-3 と同じものを使用した。射出成形機には、FANUC (株) 製  $\alpha 30C$  を使用した。射出成形条件は、射出速度を 5 mm/sec, 射出圧力を 108 MPa ( $1100 \text{ kg/cm}^2$ ), 保持圧力を 78 MPa ( $800 \text{ kg/cm}^2$ ), 冷却時間を 15 sec, 金型温度を 40°C とした。射出成形に伴い付着した汚れの評価は、成形加工を 100 ショット行う毎に外観変化の観察および波長分散型蛍光 X 線分析装置を用いた炭素量の測定を行った。この評価を 1000 ショットまで行った。成形前および 1000 ショット後における炭素量の値には、金型表面の 5 カ所を測定した平均値 (測定径  $\phi 10$  mm) を用いた。また、100 ショットから 900 ショットまでの炭素量の値は、金型表面中心部分における  $\phi 20$  mm の範囲において測定した。この測定条件の違いは、汚染度の評価に伴う成形中断時間を短くすることで、安定した射出成形を継続させるためである。

### 2-3 超臨界 CO<sub>2</sub> 流体による金型洗浄

超臨界流体は、物質の三態（固体、液体、気体）に次ぐ第4の状態であるといわれており、低粘性や高拡散性といったユニークな特性を有している<sup>3),4)</sup>。超臨界状態は、臨界圧力と臨界温度が交差する臨界点を超えることで生じる。その臨界点は物質によって異なるが、CO<sub>2</sub>の臨界点は臨界圧力が 7.38 MPa、臨界温度が 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<sup>3),4)</sup>。そこで、本研究では超臨界流体中洗浄に CO<sub>2</sub> を用いることとした。超臨界流体中洗浄には汎用型超臨界実験装置（耐圧硝子工業（株）TSC-GPT 特型）を用いた。まず、汚れ試験片を内径φ40 mm、高さ 60 mm の SUS316 製反応容器内に配置するとともに洗浄効果を向上させる目的で助溶剤となる有機溶媒を 1 ml 導入し、装置に取り付けた。助溶剤にはアセトンまたはメタノールを用いた。反応容器内への CO<sub>2</sub> 導入は、液化 CO<sub>2</sub> ボンベから純度 99.5% の CO<sub>2</sub> をポンプで昇圧しながら送液した。CO<sub>2</sub> 導入後、反応容器を恒温槽に浸漬することで超臨界状態を生じさせ、洗浄処理を行った。洗浄時間は、バッチ洗浄を 3 min、その後さらにフロー洗浄を 2 min とした。洗浄温度は 50℃とした。合計 5 min の洗浄処理の後、反応容器を恒温槽から取り出し大気開放した。

## 3. 結果および考察

### 3-1 疑似シボ面試験片に対する評価

#### 3-1-1 表面状態の観察および表面粗さの測定

サンドブラストを用いて作製した疑似シボ面の表面状態を走査電子顕微鏡により観察した。図 3 に疑似シボ面試験片の中心部分における観察写真を示す。

観察写真から、サンドブラストにより細かな凹凸が複雑に形成されていることが分かる。この疑似シボ面の表面粗さを測定した結果、中心部分および上下側面から約 2 mm 内側における 3ヶ所の算術平均粗さ Ra はそれぞれ、上部が約 1.45 μm、中心部が約 1.78 μm、および下部が約 1.53 μm であり、平均値が約 1.59 μm のシボ面が形成されていることが分かった。

#### 3-1-2 汚れ付着に伴う外観変化および汚染度測定

サンドブラストを用いて作製した疑似シボ面に実験方法 2-1-3 により汚れを付着させた。図 4 に汚れの付着に伴う外観変化を示す。

汚れの付着によって表面が黒く変色するとともに、シボ面の梨地感が減少した。また、汚れ付着後の表面状態について走査電子顕微鏡を用いてより詳細に観察した。その結果を図 5 に示す。

付着させた汚れによって表面のほぼ全体が覆われてお

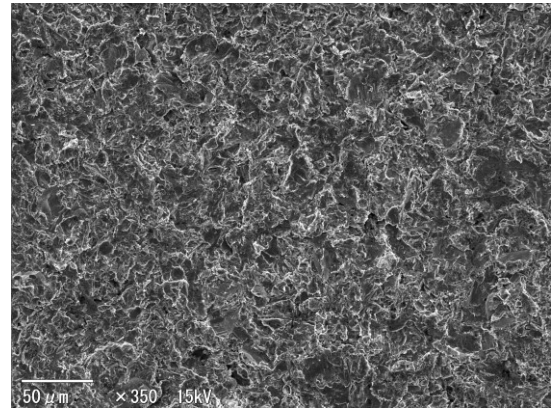


図 3 疑似シボ面試験片の中心部分における走査電子顕微鏡写真

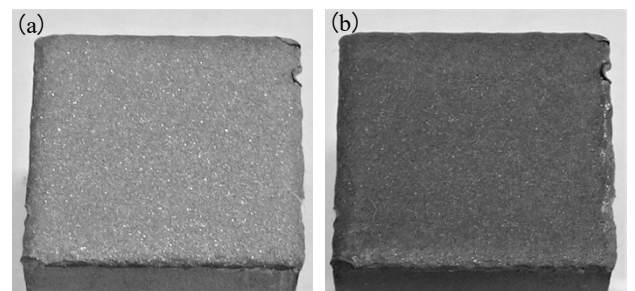


図 4 疑似シボ面試験片の汚れ付着に伴う外観変化  
(a) 汚れ付着前, (b) 汚れ付着後

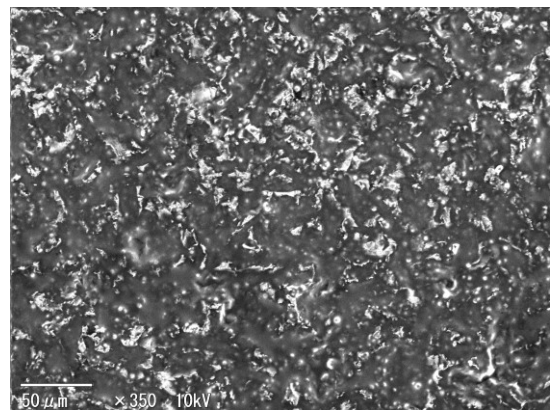


図 5 汚れを付着させた疑似シボ面試験片の中心部分における走査電子顕微鏡写真

り、サンドブラストにより形成された凹凸は確認できなかった。汚れ付着後の表面についても算術平均粗さ Ra を測定した。その値はそれぞれ、上部が約 1.56 μm、中心部が約 1.50 μm、および下部が約 1.57 μm であり、平均値は約 1.54 μm であった。この結果から汚れの付着による粗さの低下が確認された。

付着させた汚れについて、波長分散型蛍光 X 線分析装置により炭素量を測定した。汚れ付着後の炭素量から付着前の炭素量を差し引いた値を汚染度として評価した。表 1 に疑似シボ面における炭素量の測定値を示す。なお、

参考値として鏡面研磨した模擬試験片における炭素量の測定値も併せて示す。

この結果から、疑似シボ面試験片および鏡面研磨面試験片における汚染度は、それぞれ炭素量相当で 120.8  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  および 110.2  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  であることが分かった。

表 1 疑似シボ面および鏡面研磨面試験片における汚れ付着前後の炭素量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

	汚れ付着前	汚れ付着後
疑似シボ面	2.9	123.7
鏡面研磨面	1.5	111.7

### 3-1-3 超臨界 CO<sub>2</sub> 流体による洗浄効果の評価

疑似シボ面および鏡面研磨面に汚れを付着させた試験片に対して、超臨界 CO<sub>2</sub> 流体を用いた洗浄を行った。洗浄処理は、実験方法 2-3 に示した条件（バッチ洗浄時間：3 min，フロー洗浄時間：2 min）を用いて複数回行った。助溶剤にはアセトンを用いた。図 6 に疑似シボ面および鏡面研磨面における超臨界 CO<sub>2</sub> 流体中洗浄に伴う汚染度の変化を示す。

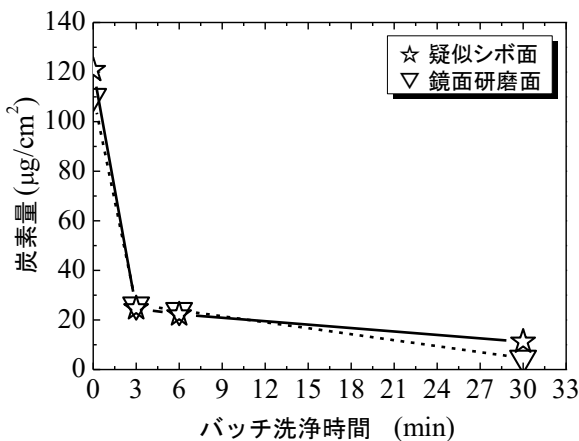


図 6 疑似シボ面試験片および鏡面研磨試験片における超臨界 CO<sub>2</sub> 流体中洗浄に伴う汚染度の変化（炭素量相当）

超臨界 CO<sub>2</sub> 流体中洗浄により、疑似シボ面における汚染度は、3 min のバッチ洗浄により約 120.8  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  から約 24.7  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  まで急激に減少した。その後、洗浄における反応速度の低下は見られたが、合計 30 min のバッチ洗浄により約 11.2  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  まで減少した。この結果から、シボ面のような複雑形状に対しても洗浄効果が得られることが分かった。なお、鏡面研磨面における汚染度も合計 30 min のバッチ洗浄により約 110.2  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$

から約 4.6  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  まで減少し、過去の報告と同様に洗浄効果が確認された<sup>1)</sup>。

洗浄後の疑似シボ面試験片について、走査電子顕微鏡を用いて表面状態を観察した。図 7 に疑似シボ面試験片の中心部分における観察写真を示す。

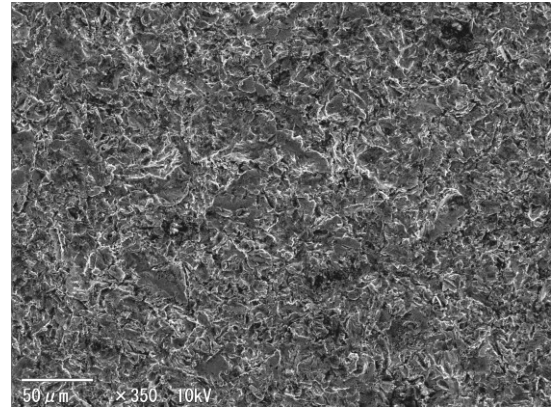


図 7 超臨界 CO<sub>2</sub> 流体中洗浄後の疑似シボ面試験片の中心部分における走査電子顕微鏡写真

洗浄後の表面は、複雑な凹凸の内部まで洗浄されており、目立った汚れは確認されなかった。また、算術平均粗さ Ra を測定した結果、上部が約 1.45  $\mu\text{m}$ ，中心部が約 1.62  $\mu\text{m}$ ，および下部が約 1.71  $\mu\text{m}$  であり、平均値は約 1.59  $\mu\text{m}$  であった。以上の結果から、汚染度の値には残量が見られるが、表面粗さは汚染前の状態に近い値を示しており、成形時に影響を及ぼさない程度にまで洗浄されていると考えられる。従って、超臨界 CO<sub>2</sub> 流体中洗浄は、シボ面の様な複雑化した金型に対しても有効な洗浄手段であることが分かった。

### 3-2 金型試験片に対する評価

#### 3-2-1 樹脂成形に伴う外観および汚染度の変化

射出成形を 1000 ショット行い、100 ショット毎に外観の変化について観察した。図 8 に射出成形に伴う外観の変化を示す。

100 ショット後は黒い汚れが薄っすらと付着していた。ショット数の増加に伴い色味に変化が現れた。これは付着した汚れの厚みが増加したことにより、光の干渉が生じたためである。600 ショット後においては、金型に樹脂が充填される際のゲート部分と最終充填部分に色味の変化が大きく現れており、これらの部分に汚れが堆積しやすいことが分かる。1000 ショット後においては、色むらはあるものの更に激しく表面全体が変色しており、全面に多量の汚れが堆積していることが分かる。100 ショット毎に試験片表面の炭素量を波長分散型蛍光 X 線分析装置により測定した。図 9 に射出成形回数増加に伴う炭素量の変化を示す。

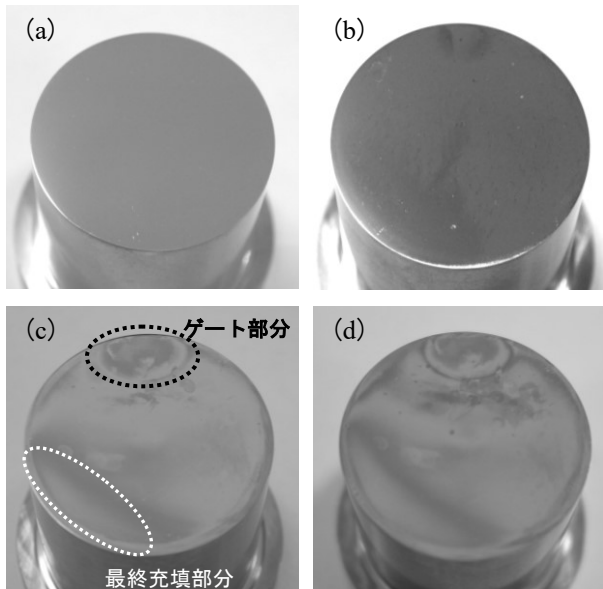


図8 射出成形に伴う金型表面の外観変化  
 ((a)成形前, (b)100 shots 後,  
 (c)600 shots 後, (d)1000 shots 後)

表面に付着した汚れに起因する炭素量は射出成形回数の増加に比例して増大した。1000 ショット射出成形を行った結果、試験片表面に付着した汚れによる汚染度は、炭素量相当で約  $41.9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  であった。超臨界  $\text{CO}_2$  流体による洗浄効果の評価は、この値からの変化量を基に行った。

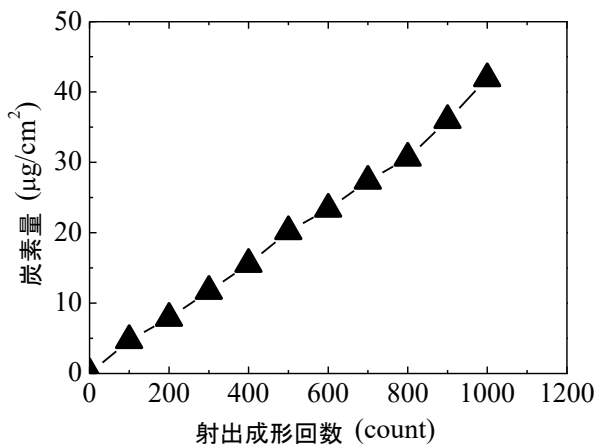


図9 金型試験片表面に付着した汚染度の射出成形に伴う変化 (炭素量相当)

### 3-2-2 超臨界 $\text{CO}_2$ 流体による洗浄効果の評価

1000 ショットの射出成形により汚れを付着させた金型試験片に対して、超臨界  $\text{CO}_2$  流体を用いた洗浄を行った。洗浄処理は、実験方法 2-3 に示した条件を用いて 2 回 (合計バッチ洗浄時間: 6 min) 行った。図 10 に試験片表面に付着している炭素量の洗浄処理に伴う変化を示す。

アセトンを助溶剤に用いた場合、炭素の変化量は約  $-1.0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  であり、減少傾向は見られたものの大きな変化は確認できなかった。

一方、メタノールを助溶剤に用いた場合では、炭素量の変化は約  $+2.0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  であり、アセトンより変化量は大きかったが増加傾向を示した。これは、一度除去された汚れが再付着することで表面に濃縮されたためであると思われる。

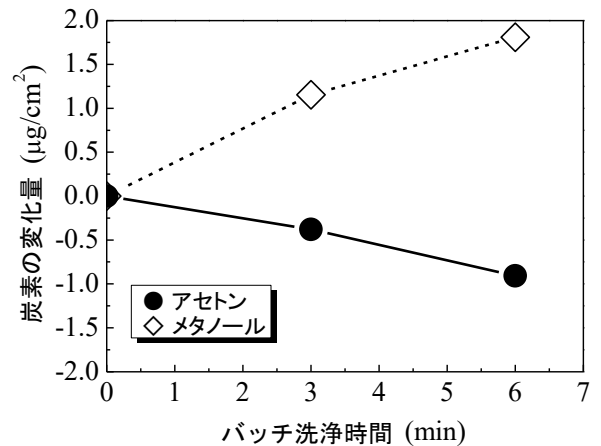


図10 金型試験片の超臨界  $\text{CO}_2$  流体中洗浄に伴う炭素量の変化

図 11 にアセトンおよびメタノールを助溶剤として用いて洗浄を行った後の外観を示す。洗浄前と比べ、色味の変化と部分的な色抜けが両助溶剤において見られた。アセトンにおいては、色味の変化以外に洗浄による大きな外観変化は確認されなかった。

一方、助溶剤にメタノールを用いた場合には、表面全体に白い付着物が多く見られた。そのため試験片表面の状態について、デジタルマイクロスコープ (オムロン (株) 製 VC3500) を用いて詳細に観察した。

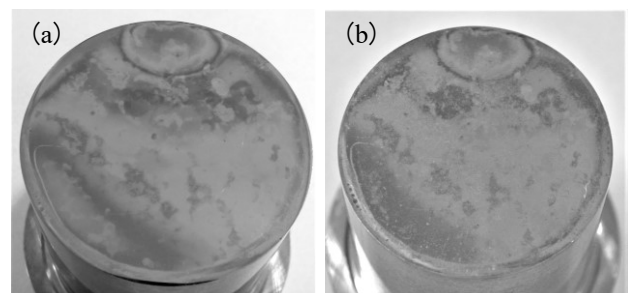


図11 金型試験片における 2 回洗浄後の外観写真 (助溶剤: (a) アセトン, (b) メタノール)

図 12 にメタノールを助溶剤に用いて洗浄処理を行った試験片表面において、確認された特徴的な 2 か所の観察写真を示す。写真 (a) においては、汚れが除去され

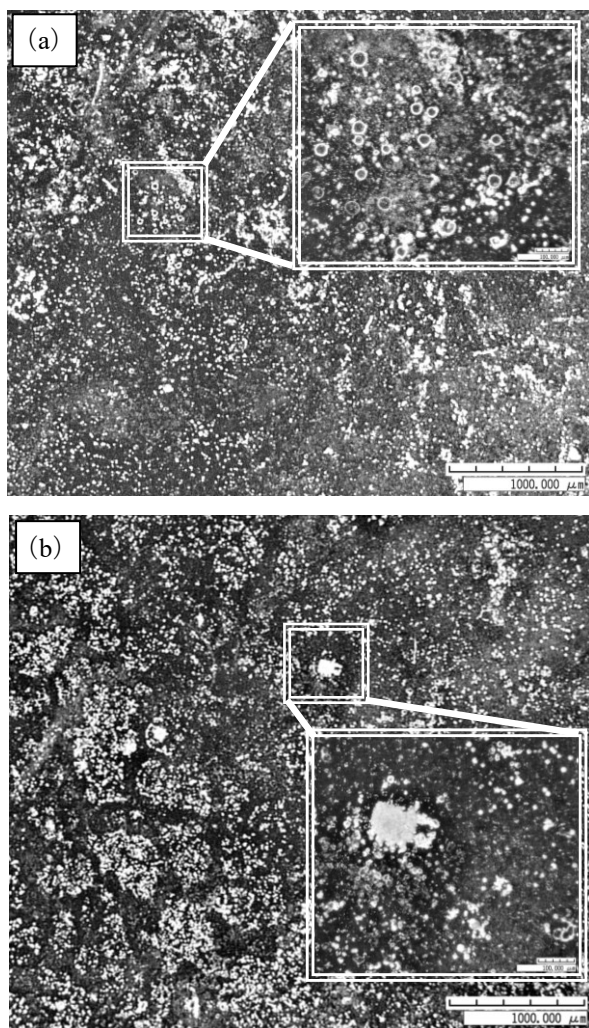


図 12 洗浄後の金型試験片における表面状態  
(助溶剤：メタノール、(a) 汚れ除去  
による穴部分、(b) 粒状の付着物)

たことにより穴が開いた部分が確認された。一方、(b) では粒状の付着物が斑に存在しており、これが集まることで大きな塊となっている部分も確認された。これらのことから、洗浄処理によって一度除去された汚れが再付着し、場所によっては濃縮された状態になっていることが分かった。これは、洗浄処理によって炭素量が増大傾向を示したことと一致している。

汚れの再付着が発生した原因として、超臨界状態を解除した際に見られた液溜まりが考えられる。これは、超臨界流体中に過剰に溶解していた助溶剤が圧力の低下に伴い液化して表面に溜まったものと思われる。

そこで、液溜まりの抑制を目的として、助溶剤であるメタノールの導入量を 1 ml から 0.1 ml に変更するとともに、洗浄面が縦向きになるよう反応容器内に設置して洗浄処理を行った。また、図 10 に示した結果から洗浄速度が不十分であると考えられるため、バッチ洗浄時間を約 24 min および 30 min、さらにフロー洗浄時間を約

2 min として 3 回洗浄処理を行った。洗浄条件を変更する前の炭素量を基準として、炭素量の変化を測定した。測定結果を図 13 に示す。

洗浄条件を変更した結果、バッチ洗浄時間が合計約 84 min における炭素の変化量は約  $-2.9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  であり、減少傾向に転じさせることが出来た。これは、汚れの再付着が抑制されたためであると考えられる。

しかし、洗浄における反応速度は不十分であるため、界面活性剤の利用などといった反応速度を向上させる対策が必要であると考えられる。

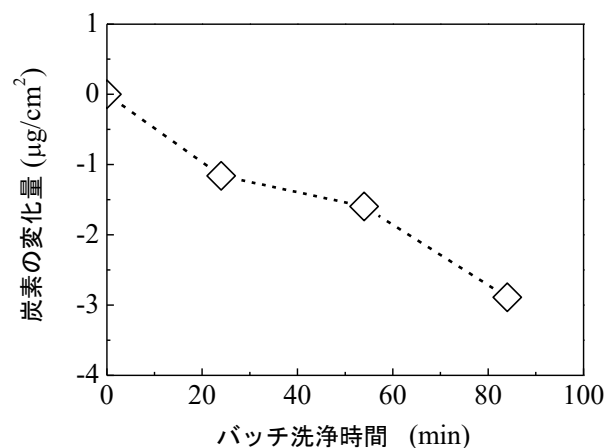


図 13 超臨界  $\text{CO}_2$  流体中洗浄に伴う炭素量の変化  
(助溶剤：メタノール 0.1 ml, 洗浄面：縦向き)

模擬金型試験片と金型試験片における超臨界  $\text{CO}_2$  流体による洗浄効果の評価結果に違いがみられた原因としては、それぞれの試験片に付着した汚れに違いがある可能性が考えられる。そこで、フーリエ変換赤外分光分析装置（日本分光（株）製 FT/IR-6100）を用いて、それぞれの汚れに対する定性分析を行った。図 14 に樹脂材料であるレザミン P-4585、模擬金型試験片および金型試験片に付着した汚れのフーリエ変換赤外分光スペクトルを示す。

模擬金型試験片に付着した汚れは、ポリウレタンに近い物質であった。しかし、レザミン P-4585 と比較すると、N-H 結合が減少するとともに  $\text{C}\equiv\text{N}$  結合が現れている。このことから、レザミンの一部が分解し不安定な炭化水素化合物の状態になっていると思われる。

一方、金型試験片に付着した汚れは、模擬金型試験片と比較すると、N-H 結合がさらに減少するとともに、 $\text{C}\equiv\text{N}$  結合が消失していた。このことから、金型試験片の汚れは模擬金型試験片の場合よりも分解が進み、より安定な炭化水素化合物を形成していると考えられる。金型試験片に付着した汚れには、射出成形加工により、加熱と圧力が連続的に加えられている。このことから、

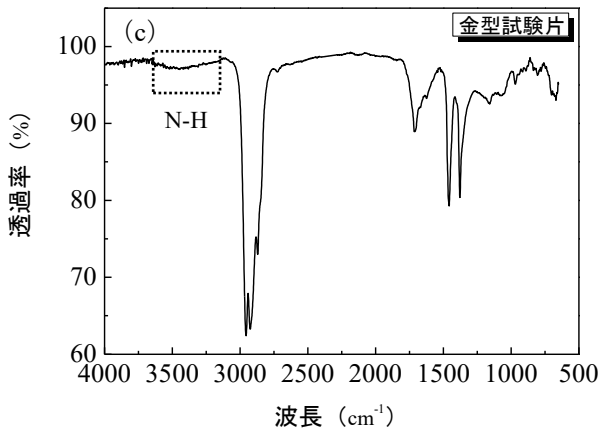
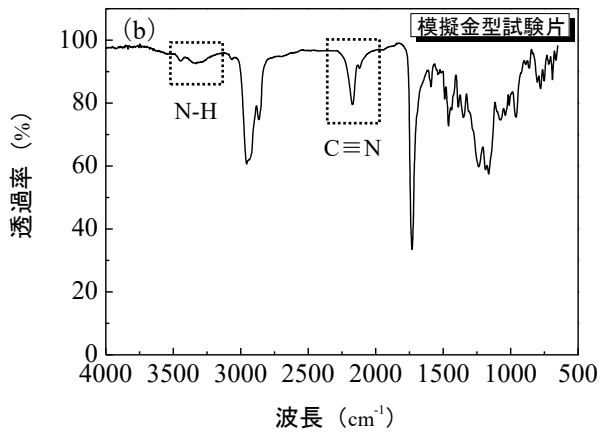
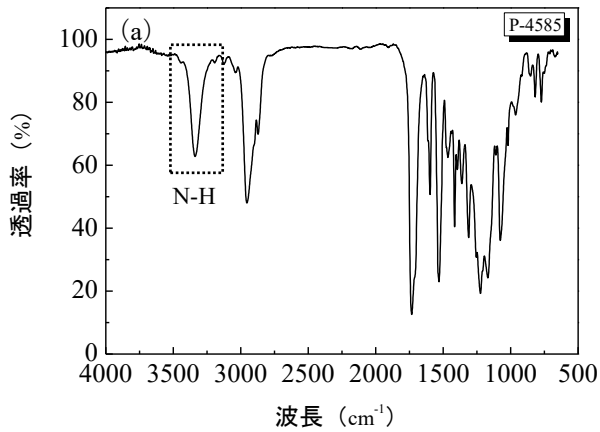


図14 レザミン P-4585, 模擬金型試験片および金型試験片に付着した汚れのフーリエ変換赤外分光スペクトル

金型表面の汚れは安定な炭化水素化合物が強固に固着した状態であると思われる。

このことと図12に示した結果から、金型試験片に付着した汚れは、強固に固着した汚れの中に模擬金型試験片に近い汚れが僅かに混在した状態になっていると考えられる。この状態は、シリコンウェーハ上にパターンニングされた高分子フォトリソに近しいと思われる。高ドーズイオン注入されたレジスト表面は炭化により硬質

化しクラスト層を発生させているが、内部は硬化していない状態を維持している。助溶剤としてメタノールを用いた超臨界CO<sub>2</sub>流体を用いて、このレジストを除去しようとした場合、内部のレジストは除去できるが、クラスト層は除去できずに残留する。この現象に対する対処方法として、超臨界CO<sub>2</sub>流体にフッ素系エッチング剤や界面活性剤を添加する試みを実施されており、クラスト層への除去効果が確認されている<sup>5)</sup>。

そのため、本研究においても金型表面に固着した汚れに対してはフッ素系エッチング剤に準じる助溶剤や、界面活性剤により形成される逆ミセルの利用が望ましいと考えられる<sup>5),6)</sup>。

### 3-3 射出成形機の機上における洗浄機構の作製

金型を洗浄する際、射出成形機から金型を取り外すことは、生産効率の低下に大きく影響する。

そこで本研究では、コア型における金型入れ子の裏にガスケットを設けるとともにキャビティ型においても交換式金型入れ子を用いることによって、射出成形機の機上において超臨界CO<sub>2</sub>流体中洗浄が可能な機構の作製を行った。図15に裏側にガスケットを設けたコア型における金型入れ子の概要を示す。

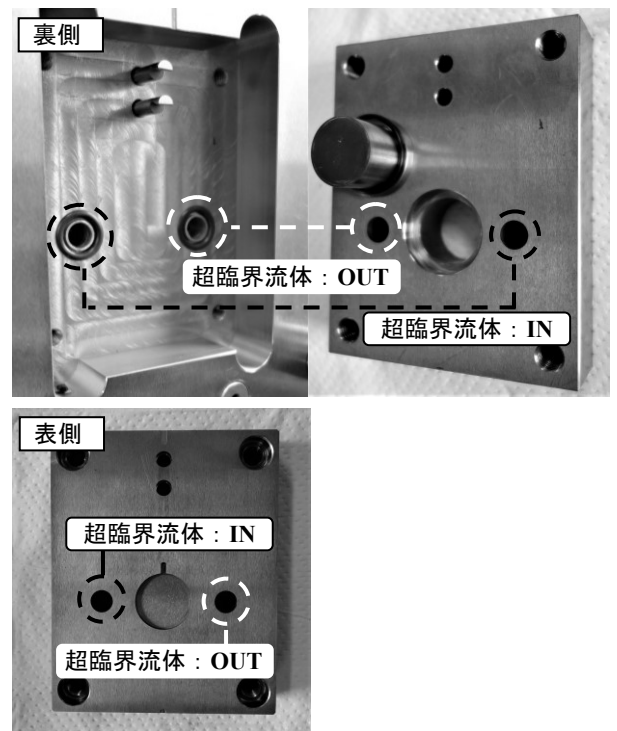


図15 裏側にガスケットを設けたコア型の金型入れ子の概要

コア型の可動側と金型入れ子における超臨界流体の出入り口および、成形部分を有する円筒状の入れ子とコア型への金型入れ子との接触面にそれぞれガスケットを設

けた。これによって、金型を閉じた際にコア型から超臨界流体が漏出することを防ぐことができる。

次に、図16にキャビティ型における洗浄用と成形用の交換式金型入れ子の概要を示す。

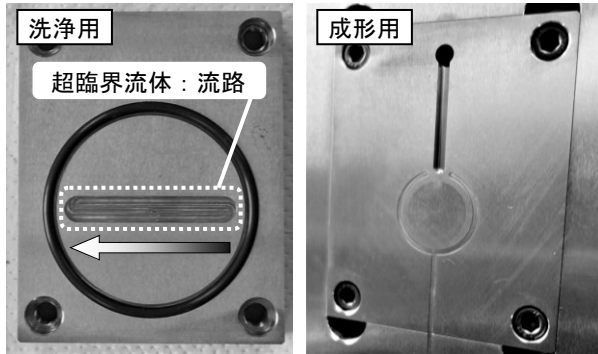


図 16 キャビティ型における交換式金型入れ子の概要

洗浄用交換式金型において、超臨界流体流路の周囲にガスケットを設けることによって、超臨界流体の漏出を防ぐことができる。これらを使い分ける事により、金型の成形部分を超臨界流体中に浸漬し、金型全体を成形機から取り外すことなく機上において洗浄処理を行うことができる。

しかし、結果および考察の3-2-2に示した結果と同様に、機上での洗浄処理においても本研究で実施した洗浄条件では反応速度が不十分である可能性がある。そのため、フッ素系エッチング剤に準じる助溶剤の選出や界面活性剤の利用など、洗浄条件の更なる最適化が今後の課題である。

## 5. 結 言

超臨界流体は低粘性および高拡散性を有しており、シボ面のような複雑な微細構造に付着した汚れに対しても洗浄効果が得られる可能性があると思われる。

そこで本研究では、疑似シボ面に対する洗浄効果について評価を行うとともに、射出成形加工により金型に付着・堆積した多量の汚れに対する洗浄効果についても評価を行った。

その結果、シボ面に対してもアセトンを助溶剤として用いた超臨界 CO<sub>2</sub> 流体中洗浄により、洗浄効果が得られることが分かった。

一方、金型試験片の場合、模擬金型試験片と同様の洗浄条件では、射出成形加工により金型表面に固着した汚れに対する洗浄効果は得られなかった。

しかし、助溶剤であるメタノールの導入量を 0.1 ml に減少し洗浄面を縦向きにすることで、反応速度は不十

分であるものの、洗浄効果を確認することが出来た。

この結果に対する試みとして、フッ素系エッチング剤に準じる助溶剤や、界面活性剤から形成される逆ミセルの利用が挙げられる。これによって、反応速度が向上し、金型表面に固着した汚れに対する十分な洗浄効果を得られる可能性があると考えられる。

また、洗浄処理の際に金型を射出成形機から取り外すことは、生産効率の低下に繋がる。そのため、成形機の機上で洗浄が可能な機構を作製した。

作製した機構は、超臨界流体の漏出防止対策として金型の各所にガスケットを設けるとともに、洗浄用と成形用の金型入れ子を交換式にした。これによって、機上における洗浄処理を可能にした。

## 参考文献

- 1) 長田和真, 古谷雅章, 尾形正岐, 阿部治, 西村道喜, 山田博之, 高尾清利, 近藤英一: プラスチック射出成形金型の洗浄に関する研究, 山梨県産業技術センター研究報告, No.1, pp.39-41 (2018)
- 2) 長田和真, 古谷雅章, 尾形正岐, 早川亮, 阿部治, 石黒輝雄, 西村道喜, 山田博之, 八代浩二, 近藤英一: プラスチック射出成形金型の洗浄に関する研究 (第 2 報), 山梨県産業技術センター研究報告, No.2, pp.26-30 (2019)
- 3) 荒井康彦, 古谷武: 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)
- 4) (社) 化学工学会超臨界流体部会: 超臨界流体入門 (丸善 (株), 東京), pp.2-14 (2008)
- 5) 近藤英一: 半導体・MEMS のための超臨界流体 ( (株) コロナ社, 東京), pp.93-97 (2012)
- 6) 斎藤功夫: 超臨界二酸化炭素による洗浄技術, J. Vac. Soc. Jpn., Vol.43, No.6, pp.654-659 (2000)