

# カップ形状射出成形品の離型抵抗低減策

東京農工大学 大学院工学研究院 夏 恒

## 1. はじめに

射出成形は、一般に型閉じ・型締め、射出、保圧、冷却、型開きおよび離型（成形品取出し）の6工程を経てプラスチック製品を成形するが、その成形品の品質は樹脂選定、金型の構造や精度、射出成形機や成形条件などと密接に関係している。また、金型とプラスチックの熱収縮の違いや、プラスチックの強度により成形品の品質に影響を及ぼすことが多い。特に離型工程で発生する離型抵抗は、生産性や成形品の品質に大きく影響する。離型抵抗とは、金型から成形品を取り外す際に生じる抵抗のことをいう。離型抵抗が大きいと、成形品へのダメージが発生し、成形品の品質が低下し、生産性を直接的に阻害する<sup>1)</sup>。そのため、射出成形における離型抵抗の影響因子の分析<sup>2,3)</sup>や低減方策<sup>4,5,6)</sup>について、多くの研究がなされている。このような中、成形品の離型時における負圧が、離型抵抗を増大させ、成形品の高精度化を阻害しているとの指摘がある<sup>7,8)</sup>。

以上のことからわかるように、より高品位な成形品を得るには、離型時に発生する金型成形面と成形品との間の摩擦力および負圧の影響を分析し、低減させる必要がある。

## 2. 目的

本研究では、射出成形における樹脂の収縮によって金型コアに抱き付くカップ形状の成形品を対象に、離型現象・離型抵抗を観察・計測するとともに、金型コアの端面と側面に通気性多孔質を埋め込み、離型時の真空負圧を低減すると同時に、側面への圧縮空気の供給により、金型成形面から成形品を浮かした状態で離型作業を行い、離型抵抗を最小限にする金型構造を提案し、実験によりその有効性を検証することを目的とする。

## 3. 実用的な価値、実用の見込み

本研究では、構築した離型抵抗測定装置および離型抵抗の測定結果から、負圧による離型抵抗に及ぼす影響の評価方法を提案している。また、金型コアの端面と側面に通気性多孔質を埋め込み、負圧や摩擦による離型抵抗の低減効果を確認している。これらの成果は、実用的な価値が高く、高品質なプラスチック成形品を得るための金型設計・製造への利用と展開が期待できる。

一方、多孔質材料を用いた通気性メカニズム組み込み式金型では、成形回数が進行していくと、目詰まりによる通気流量の低下を招く可能性があるため、実用化の際には、定期的な保守・交換、または目詰まり解消法の検討が必要となる。

## 4. 研究内容の詳細

### 1) 離型抵抗測定システムの構築

本研究で構築した離型抵抗測定システムの構成を図1に示す。成形機から出るエジェクタロッドでエジェクタプレートを押し、連結しているストリッ

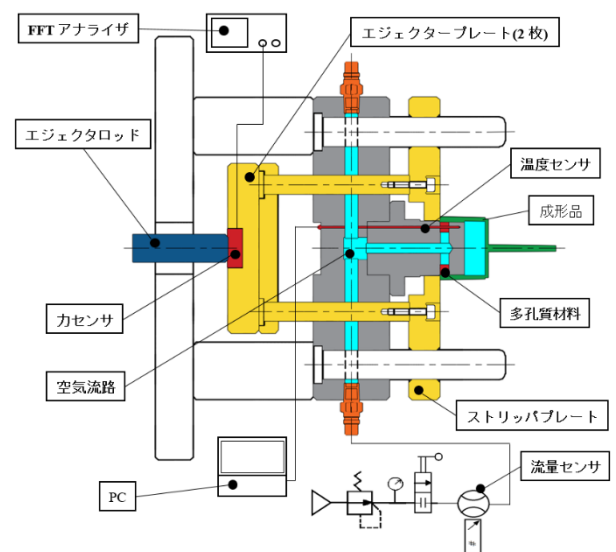


図1 成形実験用金型と構築した離型抵抗測定システム

パプレートが前進することによって成形品が射出される仕組みとなっている。本実験装置では、成形品全体にかかる離型力を測定するため、エジェクタプレートに取り付けた力センサ(KISTLER 9602)により突き出し動作中にエジェクタロッドから受ける力を計測し、その出力波形表示・記録するための装置としてFFTアナライザを使用した。金型温度は、コア金型端面より3mm内側に配置した熱電対式温度センサ(ミスミ SS2.3-200)で検出し、金型温度は成形1サイクル中に渡り常に測定している。

また、多孔質材はφ8×10のステンレス製焼結エアベント(ModernTools VS-805)を、端面通気性金型では1個、側面通気性金型では4個使用している。金型の表面粗さによる離型抵抗への影響もあるため、金型の材質をS45Cとして、NC旋盤による加工後に磨き加工や表面処理は行わず、コアの表面粗さRaを約0.1μmと統一している。

## 2) 通気性構造を有する金型の構築と評価

本研究では、円筒カップ形状(内径φ34,内深さ30mm程度)の成形品について離型力を測定し、通気方向の違いによる離型力の影響を考察した。成形品材質はPP(プライムポリマーJ-750HP)を用い、コア金型の抜き勾配は、負圧の影響を確認するために0°として実験した。

図2は、金型と成形品間の負圧を低減する端面通気性金型の構造である。コア型の端面部分に通気性をもたせるための多孔質材を配置し、離型力ピーク値には大きな変化は見られなかったが、離型時の負圧低減によって総合離型エネルギーを低減させることが確認された。また、図3に示すようなコア金型の側面部に通気性をもたせた金型において、圧縮空気を用いた際の離型力ピーク値の低減効果について検証を行った。

検証実験は、表1に示した5パターンにおいて実施した。

図4は、図2および図3で示したコア金型の通気性方向の違いと、表1の実験項目の「通気性なし」、「圧縮空気0.2MPa」のそれぞれの条件において、成形品の離型開始から完了までの約930ms間の力センサの出力推移である。通気性なしの場合においては、全体的に端面通気の方の離型力が低減している。これは金型および多孔質材の表面粗さが影響し

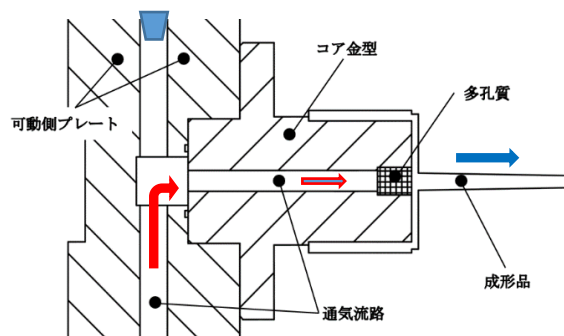


図2 端面通気性金型の構造

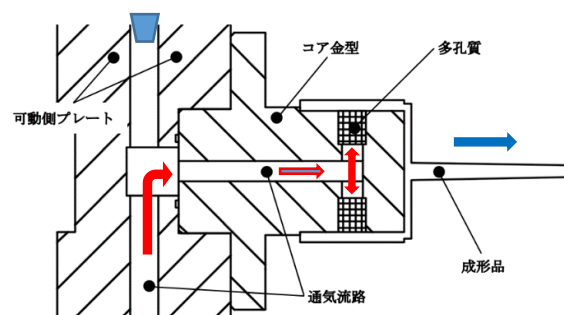


図3 側面通気性金型の構造

表1 実験項目別のコア金型状態

実験項目	通気性	ゲージ圧(MPa)
通気性なし	なし	—
通気性あり	あり	—
圧縮空気 0.10MPa	あり	0.10
圧縮空気 0.15MPa	あり	0.15
圧縮空気 0.20MPa	あり	0.20

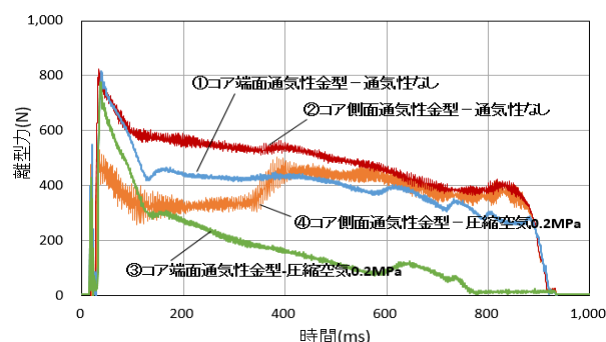


図4 通気構造の違いによる離型エネルギーの比較端面通気性金型の構造

ていることが考えられる。しかし、離型力の推移は似たような経緯を辿っている。

これに対し、圧縮空気による離型補助を行った場

合は、端面通気性金型の離型力低減効果がよく見える。これは、端面通気性金型では、離型時の負圧低減に加え、圧縮空気で成形品を押し出している離型補助力として、約 180N がかかるためである。側面通気性金型では、成形品が多孔質材部分を通り抜ける 380ms 頃までは圧縮空気によって成形品を押し広げる効果が働き、離型力を低減しているが、その後は通気性なしの推移と似た経過をたどる。

図4に示した離型力推移の離型開始から離型完了までになした仕事を総合離型エネルギーと定義して、各実験項目のエネルギー比較を示したものが図5である。両金型共に、空気圧を上げることでエネルギー低減がなされているが、特に端面通気性金型のエネルギー低減効果が大きいことが確認できる。しかし、これは離型方向にかかる圧縮空気の力による効果が大きく、0.2MPa の場合、180N の力が離型距離約 30mm にかかるエネルギーは約 5.4J となるため、低減効果の多くは圧縮空気の押出圧力と言える。また、離型時の負圧低減効果もあり、図5の実験結果から、端面通気性金型は総合離型エネルギーの低減効果が大きいと言える。

一方、図4の離型力推移において、各実験ともに

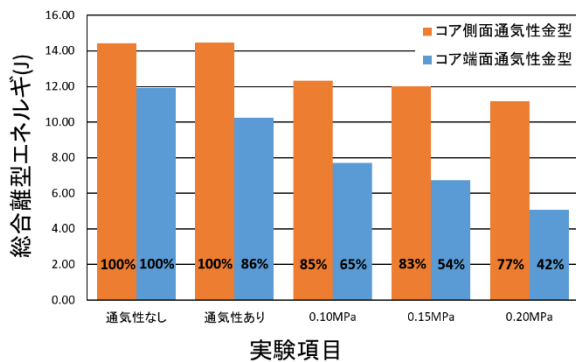


図5 通気構造の違いによる離型エネルギーの比較

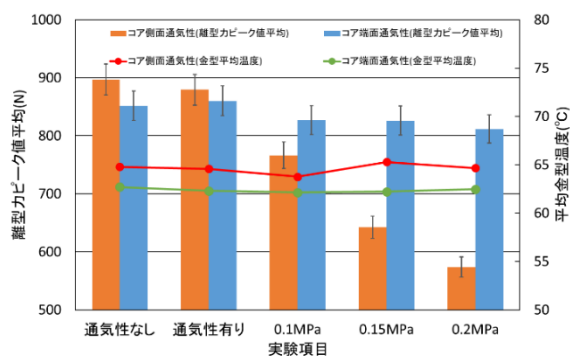


図6 通気性金型との離型力ピーク値の比較

約 30ms 程度で離型力ピーク値が出現する。これは成形品が離型し始める部分であり、成形品に対して最も負荷が大きくなる部分である。このピーク値を比較した図6から、端面通気性金型では、離型力ピーク値に目立った低減は見られない。これに対し、側面通気性金型では空気圧の補助により離型力ピーク値を大きく低減する効果が確認された。これは、圧縮空気により成形品が押し広げられ、金型との摺動抵抗が低減したことによる効果であると考えられる。

### 3) 多孔質材料の通気性を失わない加工法の確立と評価

コア部に通気性材料を埋め込んだ後、成形面に合わせて通気性材料の加工が必要となる。切削や研削など、刃物や砥石で加工面を切り削る加工方法では、加工面に目詰まりが発生し通気性を維持できない。そこで、非接触加工法で、電気化学的溶解作用を陽極材料の所望の部分に集中、制限することで所望の形状を得る方法である電解加工によって、多孔質金属材料を加工することを提案し、検証実験を行った。

図7に電解加工時の工具と工作物の設置状況を示す。多孔質材料全面と金型材の一部が工具直下になるように工具径を 10 mm とした。多孔質材料はステンレス焼結エアレント VS-805 (Modern Tools) を用いた。多孔質材料に圧縮空気を流し、圧力  $P$  MPa に対して通過した単位時間当たりの空気の流量  $Q$  L/min を測定することで多孔質材料の通気性を評価した。

金型材が多孔質材料と同じ材質の場合の電解加工による境目での段差の有無を確認するため SUS304 を用いた。表2の条件で切削と電解加工

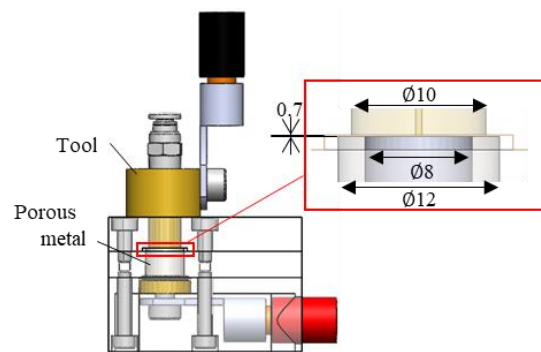


図7 電解加工時の加工治具

を行った。図8に試験片の概要と輪郭形状測定  
の走査位置を示す。通気性評価の結果と輪郭形状の  
測定結果を図9と図10にそれぞれ示す。

表2 切削と電解加工の実験条件

Process	Conditions	
Cutting	Cutting speed	55 m/s
	Depth of cut	Coarse : 100 $\mu\text{m}$ Finish : 10 $\mu\text{m}$ Total : 0.2 mm
ECM	Tool material	Brass
	Current	DC 39.3 A
	Current density	50 A/cm <sup>2</sup>
	Electrolyte	20wt% NaNO <sub>3</sub> aq
	Gap width	0.4 mm
Machining time	1 s	

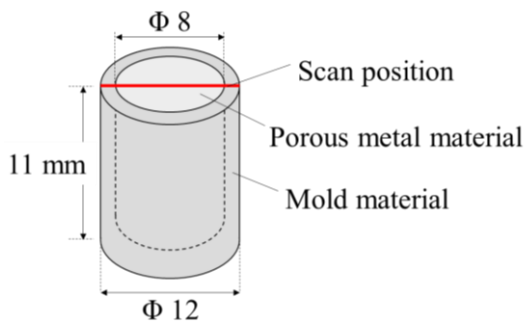


図8 試験片の概要と形状測定位置

図9より、電解加工を施すことで、切削により  
低下した多孔質材料の通気性が徐々に回復する  
ことがわかる。また、図10より金型材を SUS304  
にしたことで段差が生じないが、加工表面は中心  
から外側へ向かうにつれて深くなっていること  
が確認される。

そこで、電解液流量が大きい方が加工生成物や  
加工熱を高效率で除去でき、加工表面の傾きが小

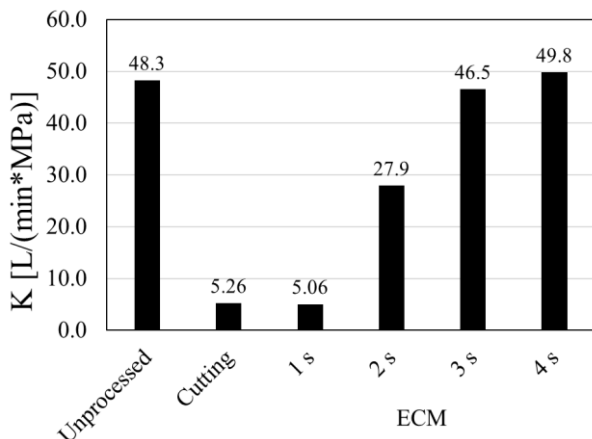


図9 加工方法と通気性変化の結果

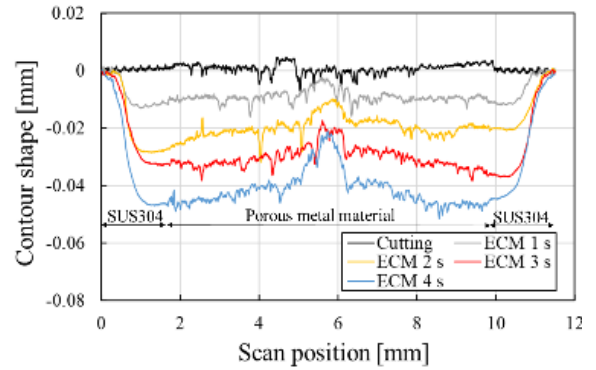


図10 輪郭形状の測定結果

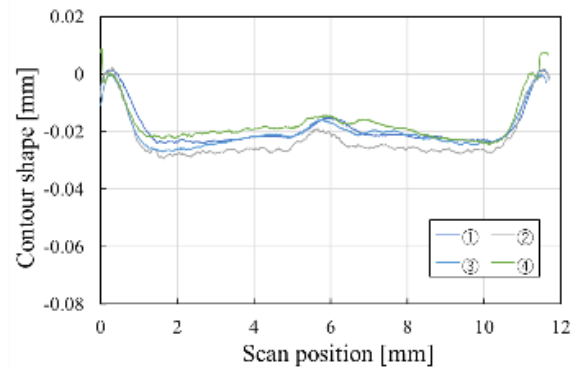


図11 流量 0.5 L/min での加工形状

さくになると予想して電解液流量を変えて実験し  
た。直流電流を用いて、1度の加工時間は1s、流  
量条件は0.5、0.8、1.0 L/min と設定した。各流量  
条件で4試験片ずつ加工し、各流量条件における  
試験片を①、②、③、④と表した。以下同様に表  
記する。図11に流量0.5 L/min での加工形状の  
測定結果を示す。

各流量に対する加工表面の傾き、加工量、傾き  
のばらつきを評価した。加工表面の傾きは直線状  
になっている範囲を近似直線で表し、その傾きの  
大きさで評価した。また、加工量は測定した加工  
痕断面の面積で評価した。評価結果をそれぞれ図  
12、13に示す。結果より、流量に対する加工  
表面の傾きと加工面積に傾向は現れなかった。つ  
まり、本実験に用いる流量の範囲では、電解液流  
量の大小は、加工表面の傾きと加工量に影響しな  
いことが分かる。

また、電解液に脈動を与えると、電解生成物の  
濃度差や電解液の温度差が減少し、加工表面の凹

凸が減少することが考えられる。そこで、電解液供給ポンプの脈動を利用し、脈動の有無によって加工表面の凹凸が変化するか調査した結果を図14に示す。表面凹凸は、近似直線を基準とした凹凸の最大幅  $W_{max}$  で評価した。値が大きいと凹凸が大きいことを表す。図より脈動ありと比べて脈動なしで加工した場合は、凹凸の幅が大きくなることがわかる。つまり、電解液に脈動を与えると、表面凹凸を低減させることができるので、今後脈動を利用して、加工面品質の向上を狙う。

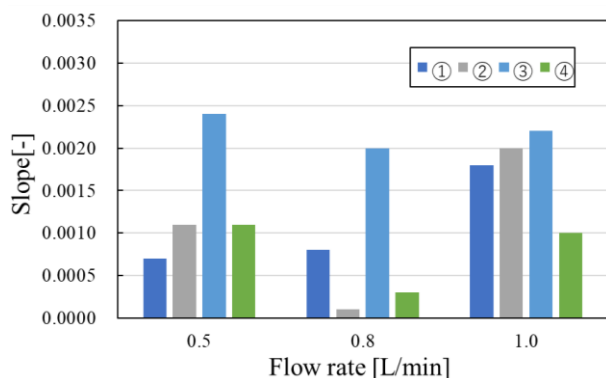


図12 流量と加工表面傾きの関係

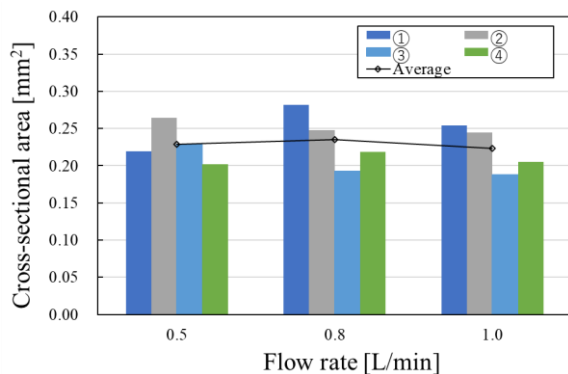
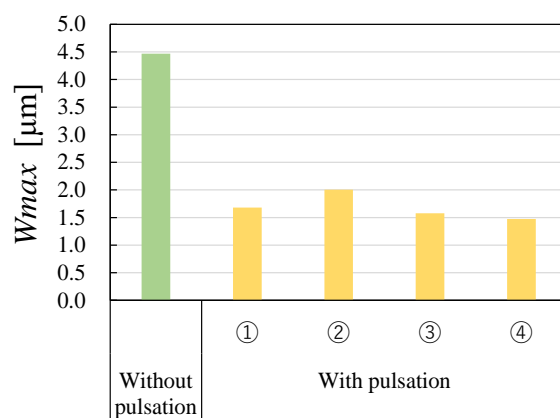


図13 流量と加工面積の関係

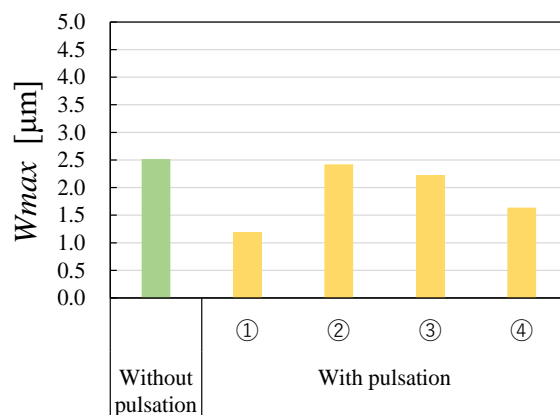
## 5. まとめ（結言）

提案した通気性金型による離型抵抗の低減効果および、電解加工による通気性材料の加工について、以下の結論を得た。

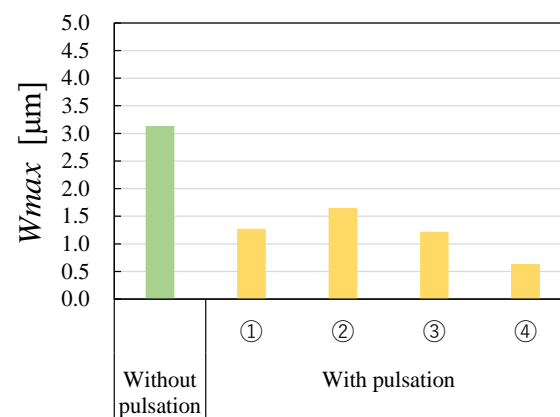
- 1) 端面通気性金型では、成形品の離型過程全般における総合離型エネルギーを低減する効果が大きい。
- 2) 側面通気性金型では、成形品離型初期における離型力のピーク値を低減する効果が大きい。
- 3) 多孔質材料の加工に通気性の維持・回復がで



(a) 0.5



(b) 0.8



(c) 1.0

図14 脈動の有無による加工面凹凸の変化

きる電解加工が有効である。

- 4) 金型材と多孔質材料の材質が同じであれば、境目に生じる段差が生じない。
- 5) 電解液に脈動を与えると、加工表面の凹凸が低減し、加工特性が向上する。

本研究は、公益財団法人金型技術振興財団の研究開発助成によって実施されており、厚くお礼を申し上げます。

なお、本研究開発助成により、以下の成果を公表している。

- 1) 太田和良、中村恭平、岡部新幸、夏恒: カップ形状成形品の射出成形における離型工程での負圧の影響と通気性金型による離型力低減効果の検証、精密工学会誌、87(2), pp. 231-237(2021) (査読あり原著論文)
- 2) Keigo KATO, Kazuyoshi OTA, Wataru NATSU: Electrochemical Machining of Porous Metal Material and its Application, Proceedings of 6th Symposium for International Cooperation on Micro and Precision Electrical Machining (SICPEM), pp. 51-56(2021年1月) (査読なし国際会議)
- 3) 堀川古暖、小玉脩平、夏恒: 電解加工による多孔質金属材料の表面加工の特性調査、第28回精密工学会学生会員卒業研究発表講演会論文集、pp. 50-51(2021) (査読なし国内会議)
- 4) 太田和良、岡部眞幸、中村恭平、夏恒、加藤圭悟: 通気性金型の通気方向差異による圧縮空気での離型補助効果の検証、2021年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、pp. 87-88(2021) (査読なし国内会議)
- 5) 太田和良、岡部眞幸、中村恭平、夏恒、加藤圭悟: 通気性金型による離型力低減効果の検証、2020年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、pp. 55-56(2020) (査読なし国内会議)
- 6) 夏恒、加藤圭悟、太田和良: 多孔質金属材料の電解加工特性に関する研究、2020年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、pp. 212-213(2020) (査読なし国内会議)

## 6. 参考文献

- 1) K. D. Delaney, G. Bissacco, D. Kennedy: Demoulding force prediction for micro polymer replication: a review of relevant literature, Proceedings of the 7th. International Conference on Multi-Material Micro Manufacture, (2011), 978.
- 2) 小林義和, 白井健二, 佐々木哲夫: 射出成形におけるコア表面粗さと離型抵抗の関係, 精密工学会誌, 67, 3(2001), 510.
- 3) 佐々木哲夫, 小林義和, 白井健二: 射出成形における離型抵抗に関する技術の開発, 型技術, 17, 2(2002), 62.
- 4) 山本洋之, 大久保雄司, 小川一文: フッ化炭素系化学吸着膜の離型剤としての応用に関する実験的研究, 成形加工, 21, 1(2009), 38.
- 5) 千葉嵩久, 内館道正, 岩渕明, 柳原圭司: 射出成形金型における離型性に対するコーティングの影響, 日本機械学会東北支部第48期秋季講演会講演論文集, (2012), 190.
- 6) 土屋文隆, 鈴木秀人: DLC表面改質による射出成形金型の離型性改善, 表面技術, 25, 2(2007), 56.
- 7) 中尾好幸, 小島道雄, 檜原弘之, 鈴木裕: 成形不良の低減を実現する通気構造を有する金属光造形金型に関する研究, 2006精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, J77(2006), 791.
- 8) 中尾好幸, 小島道雄, 檜原弘之, 鈴木裕: 離型抵抗の低減を実現する通気性構造を有する金属光造形金型に関する研究, 2007年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, I62(2007), 833.