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*

太田和良** 岡部眞幸** 中村恭平** 夏 恒***

Influence of Negative Pressure during Injection Demolding of Cup Shaped Products
and Effect Verification of Reducing Demolding Force with Breathable Mold

Kazuyoshi OOTA, Masayuki OKABE, Kyohei NAKAMURA and Wataru NATSU

In this study, the influence of the negative pressure generated during demolding in the injection molding process on the demolding resistance is clarified by comparing the demolding forces in the cases of demolding molded products with and without holes on the bottom. Further, as an evaluation method of the demolding resistance under vacuum negative pressure, it is proposed to use the overall energy spent in the mold release motions from start to end of the demolding process. Furthermore, a breathable mold, where the porous material is locally incorporated, was designed and manufactured to reduce the negative pressure during demolding process. Finally, the effectivity of reducing the demolding resistance by using the breathable mold was experimentally verified. The experimental results showed a higher reducing effect for demolding resistance could be obtained.

Key words: injection mold, demolding resistance, demolding force, mold release force, negative pressure

1. 緒 言

射出成形はプラスチック成形の代表的な成形法の一つである。近年、プラスチック成形品の高精度化や生産効率の向上などが求められているが、射出成形において成形品を金型から取り出す際に発生する離型抵抗により、成形品の変形や破損などの問題が発生している。離型工程は射出成形における最終工程であるため、離型抵抗による成形品へのダメージの発生は、成形品の品質低下だけでなく、生産性を直接的に阻害することにはならない¹⁾。そのため、射出成形における離型抵抗の影響因子の分析²⁾³⁾や低減方策^{4)~6)}、離型現象の可視化・計測技術^{7)~12)}、さらに射出成形プロセスをモデル化し、シミュレーションによって離型力の予測¹³⁾¹⁴⁾を行うなど、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、離型抵抗増大に影響し、成形品の高精度化を阻害しているとの指摘¹⁵⁾¹⁶⁾がある。射出成形において、抜き勾配が極端に小さいカップ形状などの成形品を離型する場合には、図1に示すような金型と成

Fig. 1 Schematic of influence of negative pressure

- * 原稿受付 令和 2 年 6 月 20 日
掲載決定 令和 2 年 10 月 16 日
** 正 会 員 職業能力開発総合大学校 (東京都小平市小川西町 2-32-1)
*** 正 会 員 東京農工大学 (東京都小金井市中町 2-24-16)

形品間の空間に負圧が発生し、離型抵抗増大につながって成形品の変形や破損を生じる。

そこで、本研究では、より高品位な成形品を得るために、離型抵抗の低減を目的として、コア型に通気性材料を埋め込んだ通気性金型を考案・構築し、その実験システムを用いて離型力の低減効果について検証するとともに、離型時に発生する負圧が離型プロセスに及ぼす影響を分析し、負圧による離型への影響の評価手法について提案する。なお、離型力の低減効果を検証する際、先行研究¹⁷⁾で構築した離型抵抗測定システムを利用する。

2. 離型抵抗測定システムの構成と実験条件

2.1 離型抵抗測定システムの構成

本研究における成形実験用金型と、構築した離型抵抗測定システムの構成を図2に示す。

本システムでは、離型時に射出成形機から前方に突き出るエ

Fig. 2 Mold structure and the construction of the demolding force measurement system¹⁷⁾

ジェクタロッドがエジェクタプレートの中央部に固定した圧電式力センサ (KISTLER 9602) に当たると、エジェクタプレートが前方に押し出され、リターンピンと連結しているストリッププレートが前進し、成形品の縁を突き出して成形品がコアから離型されるようになっており、成形品全体にかかる離型力を測定している。この構造によって、成形品の大きさや形状、突出し位置によらず、成形品全体の離型力の比較評価をできるようにした。また、離型抵抗の時間的推移を詳細に記録するため、離型力記録装置として FFT アナライザ (小野測器 CF-9400) の時系列波形記録機能を用いた。

さらに、離型抵抗に影響があると思われる金型温度を計測するために金型温度センサ（双葉電子 SECTF04.0×08.0×026）と、キャビティ内圧力を計測するために型内圧センサ（KISTLER 9213B）を図3のようにコア型内に配置している。

温度センサは熱電対式のもので、センサの温度検出位置は図4に示したようにキャビティ端面から金型側に1mm潜った位置にあり、この位置の温度を金型温度としている。

また、離型時の負圧発生に影響を及ぼすと思われる各センサと金型との隙間は、粘土等で密閉している。

2.2 成形品形状と実験条件

射出成形における離型性は、金型表面と成形樹脂との接着を剥離するための力と、成形品を取り出す際の摩擦力、成形品の収縮変形にともなう抱き付き力や負圧にともなう抵抗力から構成されると考えられる。本研究では、離型時の負圧の影響を調べることに主眼を置くため、負圧の影響が見込まれる図5に示す2種類のカップ形状の成形品の離型力を測定する。図5(b)の穴あり形は、(a)の穴なし形の形状に対して、カップの底面に直径8mmの穴を2か所設けている。それぞれの成形品形状の3次元モデルを図6に示す。穴あり形状の穴を成す金型の突起は、キャビティ側に設けており、型開きした際には、穴を成した部分の型は抜けている状態である。そのため成形品を突き出した際に発生する負圧は、図7に示すように、この穴から流入する外気によって解消される。

Fig. 3 Mounting state of the temperature sensor and pressure sensor

Fig. 4 Measuring point of the temperature sensor embedded in the mold

この2形状の離型力を比較すれば、負圧の影響がどの程度あるのかを確認できる。

成形品形状は、図5に示した形状の抜き勾配を 0° および 1° としたものについて、比較実験を行う。実験パターンは表1の通り、成形品底面の穴の有無と抜き勾配の有無による4パターンの条件にて実験した。

成形品材質はPP(プライムポリマー-J-750HP)を用い、コア金型自体は、図 5(a)の穴なし形と(b)の穴あり形で兼用し、同様のものを用いている。コア金型の表面粗さは、Ra0.36 程度としている。また、実験における成形条件は、表 2 に示す条件を基本条件として実験を行った。

(a) Shape without hole (closed type)

(b) Shape with holes (open type)

Fig. 5 Shape and dimension of the molded product

Fig. 6 Representation of molded products by 3D model

Fig. 7 Concept of negative pressure cancellation

Table 1 Type of molded article shape

Molded product shape	Shape with holes	Shape without holes
Shape with draft 0°	0° open type	0° closed type
Shape with draft 1°	1° open type	1° closed type

Table 2 Standard conditions for injection molding

Material for molded product	PP (Prime Polymer J-750HP)
Heater setting temperature at nozzle tip	210 °C
Pressure keeping time	12.0 s
Pressure value for keeping	20.0 MPa
Cool down time	15.0s (excepting pressure keeping time)
Ejection velocity	33.3 mm/s
Ejection stroke	about 29 mm
Cycle time	50.0 s

Fig. 8 Demolding force peak value transition

3. 離型力への負圧の影響

図5で示した形状の抜き勾配が0°の成形品を各50回連続成形した際の離型力のピーク値推移を図8に示す。ともに連続成形による金型温度の上昇の影響で、離型力の低下が見られるが、成形品形状による離型力ピーク値の差はほとんど見られない。なお、成形初期では、金型温度や樹脂温度、樹脂の計量などの成形条件が安定しておらず、図8の成形1回目のデータのように極端に低い値や高い値を示すことがあり、離型力の計測結果が安定しない。このために実験データとして用いる場合には成形初期のものを除外して検討する。

この実験データをさらに分析するため、成形1サイクルでの離型力推移のグラフを比較することとした。

図9は表1の4パターン形状ごとの連続成形40回目の離型力推移1000msまでをまとめたものである。金型温度がほぼ同等となるように同じ成形回数にて比較している。なお、図8に示す離型力は、図9に示した離型力推移のピーク値をプロットしたものである。

図9より、離型力のピーク値に差は見られないが、成形品の離型開始後約100msから、穴あり・穴なしでの離型力の差が表れることが確認された。また、抜き勾配の有無に関わらず穴なし形状のほうが負圧の影響で離型力が大きくなっていること、また、抜き勾配0°のほうが穴の有無に関わらず離型力の急激な

Fig. 9 Demolding force transition of one cycle

低下が現れないことが分かる。さらに、抜き勾配にかかわらず計測される離型力において、発生する負圧の影響は小さく、コア側面との摩擦による抵抗力が支配的であると言える。

この結果から、離型に伴う負圧の影響を分析すると、離型過程後半に差が出ていることから、成形品がコア金型から離れ、金型との間に生じる空間の容積が増加することにより、その空間における負圧が高まったため、この影響が離型力に付加されたと考えられる。逆に、離型力がピークとなる時刻付近では、離型開始直後であるため、負圧発生個所である金型と成形品の間における空間の容積がほぼ0であり、負圧の影響はほとんど現れなかったと考えられる。

以上から、離型時の負圧の影響を評価するには、計測された離型力推移のピーク値では評価できず、離型過程全般での総合的な離型力において評価する必要があることが確認された。

この負圧の影響を評価するために、離型開始から終了までの離型力の総和をとり、離型に要するエネルギーを比較することとした。このエネルギーの求め方の詳細については第4章にて述べる。

4. 通気性金型による負圧の低減効果の検証

4.1 実験概要

第3章にて、カップ形状成形品の離型時における負圧の影響が確認された。このような負圧の発生があると、薄肉・精密な成形品であれば、変形などの悪影響を受けうる。このため、図5(b)のような通気口のある成形品が望ましいということになるが、実際の製品設計において離型抵抗を低減するために成形品形状に意図的に穴を設けるなどの製品設計の自由度はほとんどない。このため、本研究では成形品側に穴を開けるのではなく、金型の内側(コア側)から空気を流入させる通気性金型を設計・製作し、その負圧低減効果を検証するとともに、圧縮空気流入による離型補助効果を検証した。

4.2 通気性メカニズム組込み式金型の概要

通気性メカニズム組込み式金型の構成を図10に示す。

第2章にて示したストリッププレート方式実験用金型をベースとし、コア金型の先端に多孔質材料を埋め込むことで通気性を持たせるとともに、離型力や金型温度、圧縮空気の流量を測定できる構成とした。

離型力の測定は、第2章で示した金型と同様にエジェクタプレートに力センサ(KISTLER, 9602)を取り付け、エジェクタロードでの突き出し力を測定した。

Fig. 10 Outline of breathable mechanism built-in mold

Fig. 11 Installation position of temperature sensor

Fig. 12 Appearance of porous material

Table 3 Specification of porous material

Product model number	SV-805
Outer diameter (mm)	8
Height (mm)	10
Pore size (mm)	0.05

金型温度の測定は、第 2 章で示した温度センサが、設置スペースの兼ね合いによりコア型内部に埋め込めないため、シース型熱電対（ミスマ SSM2.3-200）を組み込んで使用した。温度検出部となるセンサ先端は、コア金型の端面から 3mm、金型中央部から約 14mm（側面から約 3.5mm）の位置に設置している。図 11 に温度センサの設置位置を示す。空気の流路は、金型温度システムにおける冷却水の流路を利用している。このため、冷

Fig. 13 Mold incorporating porous material

Fig. 14 Gas flow sensor head and amplifier¹⁸⁾

Table 4 Gas flow sensor specifications

Applicable fluid	Air or nitrogen
Detection range (l/min)	3~100
Detection type	Thermal type
Resolution (l/min)	0.1

却水による金型温度調節を行うことはできない。

コア金型に通気性をもたせるために、コア金型先端には多孔質材料を圧入している。この多孔質材料は図 12 に示す円筒型の焼結エアバント(VS-805)を用いており、その仕様を表 3 に示す。

この多孔質材料のコア金型への組込みは、金型加工の際に多孔質材料を同時加工して多孔質材料の目つぶれが起こることを回避するとともに、多孔質材料が金型面から出てしまう場合は、成形した樹脂が多孔質材料の側面に抱き着いてしまうことを回避するために、図 13 に示すようにコア金型の端面から 0.01mm 程度深く入るよう圧入しており、多孔質材料に対して、切削や研削などの除去加工は施していない。

4.2.1 通気性メカニズム組込み式金型の空気流量計測
本システムでは、多孔質材料の通気状態が、金型組込み時に目つぶれなどにより低下していないかの確認、および各種実験において、通気性が一定であるかを確認するために、一定圧の圧縮空気を流してその流量を計測して評価している。また、負圧低減のための通気だけでなく、離型時に圧縮空気を送り込んで、離型の補助を行うことも目的としており、この圧縮空気の流量を計測し、同程度の流量が流れる状態であることを確認するために、気体流量計を用いて、その流量を計測する。

用いた気体流量センサ（KEYENCE FD-A100、アンプ FD-V40A）は、図 14 のようにヘッドとアンプに分かれており、その仕様は表 4 に示す通りである。

前掲の図 10 に示すように、コンプレッサから吐き出される圧縮空気は、レギュレータで圧力を調整し、センサヘッドを通して。その後、金型の冷却水路管を通して、コア金型の先端にある多孔質材料を通過して、金型外に排気される。

Fig. 15 Change of flow rate to inlet air pressure

Table 5 Experimental item and mold condition

	Experimental condition	Ventilation	Gauge pressure (MPa)
①	CMV with flow path blocked	Invalid	0.00
②	CMV without air supply	Valid	0.00
③	CMV with supply pressure 0.10MPa	Valid	0.10
④	CMV with supply pressure 0.15MPa	Valid	0.15
⑤	CMV with supply pressure 0.20MPa	Valid	0.20

※ CMV : Core mold with ventilation function

4.2.2 通気流量測定による通気性確認

金型に埋め込んだ多孔質材料の通気性を確認するために、圧縮空気の供給圧力を変化させた際の通気性金型を通過する空気の流量を計測した。その結果を図 15 に示す。この結果から、圧力と流量は比例関係にあり、この成形前の確認実験における圧力と流量の関係と比較して、成形を経て流量が下がることがあれば、目詰まりなどの問題が発生していることが予測される。

4.3 通気性メカニズム組込み式金型による離型抵抗低減効果の確認

通気性メカニズム組込み式金型 (CMV, 表 5 脚注参照) による実験では、負圧の離型力への影響と圧縮空気による離型力低減効果を比較するために、表 5 に示す 5 パターンの項目にて実験を行った。

表 5 の①は基本的な成形として、通気性金型の空気の流路を遮断することで通常状態の通気性のない成形を再現した成形である。成形条件②は、条件①で遮断していた空気の流路を開放し、圧縮空気を供給しないで、負圧の発生による自然流動のみが起こる成形実験である。成形条件③, ④, ⑤は、圧縮空気を供給する実験であり、移動側プレートに片側に栓をし、もう片方から圧縮空気を供給するもので、空気圧による成形品の離型の補助を意図している。

図 16 は圧縮空気を用いた離型の補助を行う場合の金型内における空気の流路を示す。

また、表 5 の 5 パターンの条件で実験した場合の、離型力ピーク値を比較したものを図 17 に示す。

図 17 より基本成形と通気性ありを比較した負圧の影響確認では離型力ピーク値に差は見られない。また、基本成形と圧縮空気を供給する成形では離型力ピーク値に約 3% の減少は見られるが顕著な低減効果は確認できない。離型力のピーク時にお

いては、多孔質材料の面積にかかる空気圧の力が、離型を補助する役目を果たすため、理論上は空気圧 0.2MPa で約 10N の低減が見込まれ、その結果に近いものであると確認できる。

基本成形と通気性ありの差については先に述べた第 3 章と同じく、成形品離型時における金型と成形品間の負圧の影響を評価するためには、離型力のピーク値では評価できないことを表しており、圧縮空気による離型力の低減についても、圧縮空気のみによる離型は難しく、ストリッププレートによって成形品が可動した後、つまり計測される離型力がピークを取るタイミングの後に圧縮空気の補助効果が表れるものと考えられる。このため、各実験項目における連続成形実験において金型温度の変化が小さく、成形が安定してくる 10 回目以降の 25 回目にお

Fig. 16 Compressed air inflow path

Fig. 17 Averaged peak value of demolding force and mold temperature in continuous molding

Fig. 18 Comparison of demolding force transition by experiment item

Fig. 19 Change in demolding force with respect to movement distance

$$E = \int F \cdot dx = \sum_{k=0}^n F_k \cdot \Delta x = V \sum_{k=0}^n F_k \cdot \Delta t \quad \dots (1)$$

E : 総合離型エネルギー [J]

F_k : 離型力 [N]

Δx : サンプリング距離間隔 [m]

V : 成形品の移動速度(エジェクタロッドの速度) [m/s]

Δt : サンプリングタイム [s]

ける1サイクルの離型力推移を比較した。その結果を図18に示す。

図18より離型力ピーク値はほぼ同じでもその後の離型力推移が低下していることが確認できる。また、圧縮空気の圧力が上がるほど離型力推移は低減している。

この離型力推移の低減を分かりやすく評価するために図19に示すように横軸の時間を移動距離に換算し、離型力波形の面積の仕事を総合離型エネルギー(E)として定義した。この総合離型エネルギーを式で表すと式(1)となる。

各実験項目における総合離型エネルギーを表したのが図20である。この結果から、負圧の除去による離型力の軽減効果とともに、圧縮空気による離型補助によって離型力が低減していることが確認できる。また、圧縮空気が上がるほどその効果が大きくなることが分かる。そして、基本成形に比べ通気性があるほうが14%ほど、基本成形よりも圧縮空気0.2MPaのほうが58%も総合離型エネルギーを低減できていることが確認された。

理論的には、コア金型端面部の面積と空気圧力の積で離型を補助する力が働くため、圧縮空気圧が0.1MPa上昇するごとに約100Nが働き、その分ストリッププレートで突き出す力が低減することが見込まれる。突き出し距離30mmにおいて空気の漏れがなく、空気圧が一定に保たれたと仮定すると、約3Jほどの低下が見込まれることとなり、図20の通気性があるものとの比較において、理論値に近い結果が確認された。

成形品の見た目では、多孔質材を埋め込むことでその表面が成形品に転写される。このため計測される離型力において金型端面と成形品底面との接着の剥離による影響が大きくなることが予測されるが、それ以上に通気の影響が大きいと言える。また、熱伝導率の異なる多孔質材を金型に埋め込むことによる成形品の冷却不均衡などについても、多孔質材の位置が成形品の中央であり、コア金型の表面積に占める多孔質材の面積も小さいことから、成形品への影響は見られない。

以上の結果から、通気性金型の導入効果を成形品離型時の負

Fig. 20 Total release energy according to experimental items

圧低減および圧縮空気による離型アシストの観点からまとめると、通気性金型は離型力ピーク値の低減よりも総合離型エネルギーの大幅な低減に寄与していることを明らかにできたと言える。しかしながら、射出成形における成形品の離型性評価手法を捉えようとした場合、離型力推移のピーク値に着目する評価方法と、離型完了までの離型力の総和エネルギーに着目する評価方法が混在することになり、評価指標の考え方に差異が生じることが考えられる。すなわち、射出成形にて製品を成形する際に、離型工程での負荷が成形品に与える影響を考えた場合、どちらの指標を用いるべきかは選択的問題として捉える必要が生じると言えよう。

離型力のピーク値における時間帯では、短時間ではあるが成形品に衝撃荷重が加わり、成形品の白化や突き破り、膨れなどの不良への影響が考えられ、これらを回避する目的で離型力ピーク値を下げることは大変有用であると考えられる。また、離型期間全般における離型力の総和エネルギーによる評価では、成形品が金型から剥がれ、コア金型の支えがない状態で、継続的な負荷がかかることによって、成形品の内ぞりなどの変形不良への影響が考えられ、これらの不良回避のためにも、総和エネルギーを低減させることも有用である。

あえて優先順位を付けるとすれば、離型力ピーク値を下げることであれば、必然的に総和エネルギーも低減されるため、基本的にはピーク値を下げる方が望ましいと考える。しかし、本研究で検証したような離型力のピーク値に差が出ない負圧の影響を評価する場合では、総和エネルギーを用いた評価が効果的である。このように、実験内容や評価項目の違いによって、この二つの評価指標を使い分けて用いていく必要がある。

4.4 通気性金型の空気流量の低下現象

本実験では、圧縮空気を用いる成形を行う場合に、空気流量を計測しているが図21に示すように実験を繰り返すに従い空気流量がやや低下していることが確認された。図21は、成形実験前に確認した各圧力に対する空気流量と、196回の成形実験終了後に行った空気流量値を比較したものである。

この原因調査のため、マイクロスコープによる多孔質材料の表面観察を行った。

成形前後の多孔質材料の表面を図22に示す。この確認により、多孔質材料の気孔にヤニまたはごみなどの付着物による目詰まりが確認された。図21に示した成形回数196回程度での目詰まり状態における圧縮空気の流量低下では、顕著な離型力への影響(離型力上昇)は見られない。しかし、成形回数が増えるに従い、目詰まりが進行する可能性は高く、実製品の成形を考慮

Fig. 21 Change of flow rate of core mold with ventilation function (CMV)

Fig. 22 Confirmation of adhesive material by microscope

した場合、定期的な多孔質材料の交換もしくは、目詰まり解消法の検討が必要となる。

5. 結 言

本研究では、カップ形状の成形品の離型時における負圧の影響を確認するとともに、通気性メカニズム組込み式金型を用いて、離型力の低減効果の検証を行い、以下のことを明らかにした。

- (1) 離型時の負圧の影響は、計測される離型力のピーク値では正しく評価できず、本研究で提案した総合離型エネルギー、つまり離型過程全般での総合的なエネルギーにて評価が可能となる。
- (2) 通気性メカニズム組込み式金型は、成形品形状を変更せずに負圧の低減に効果があり、有用である。
- (3) 抜き勾配のない成形品を、通気性メカニズム組込み式金型にて圧縮空気を用いた離型補助を行うことで、圧力 0.2MPa の場合に約 58%もの総合離型エネルギーを低減することが確認された。

- (4) 多孔質材料を用いた通気性メカニズム組込み式金型では、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、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。

謝 辞

本研究の一部は、公益財団法人金型技術振興財団の助成を受けて実施されました。

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, 岩淵明, 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) 横井秀俊, 奈良岡悟, 韓雪: プリズム転写成形における離型現象の可視化, 2004 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2004) 967.
- 8) 寺内浩将, 清水翔一, 蓮見和彦, 村田泰彦, 竹内真雄: プラスチックレンズ金型における離型抵抗計測, 型技術, **26**, 12 (2011) 84.
- 9) 村田泰彦: 射出成形における金型内成形プロセスの計測技術, 塑性と加工, **51**, 596 (2010) 50.
- 10) 村田泰彦: プラスチック射出成形金型内における現象計測のためのセンサ応用技術, 精密工学会誌, **81**, 5 (2015) 415.
- 11) G.R.Berger, W.Friesenbichler, G.Schofer, G.Freudenschub : 新規計測技術を用いた射出成形時の離型力及び摩擦係数の測定, プラスチックエイジ, (2009) 87.
- 12) 中西 貴洸: 射出成形における汎用離型抵抗測定金型の開発, 日本工業大学研究報告, **45**, 1 (2015) 97.
- 13) Omar M.Bataineh, Barney E. Klamecki : Prediction of Local Part-Mold and Ejection Force in Injection Molding, Trans. ASME, J.Manuf.Sci.Eng. **127**, 8 (2005) 598.
- 14) 古川智司, 岩本道尚, 志水克教, 熊井克明: CAE を用いた射出成形金型設計の最適化 -突出し変形のメカニズムと評価方法の確立-, 型技術, **26**, 7 (2011) 66.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 太田和良, 夏恒, 岡部真幸: 射出成形における離型抵抗測定システムの構築と検証実験, 精密工学会誌, **84**, 5 (2018) 473.
- 18) キーエンス: アンブ分離型気体用流量センサカタログ, (2014) 6.