

回収材使用率50%へのチャレンジ

Challenges in Achieving a 50% Recycling Rate

千葉 晋*
Susumu CHIBA

小林 孝次**
Takashi KOBAYASHI

清水 圭一***
Keiichi SHIMIZU

要 旨

2015年のSDGs発表から脱炭素や循環型社会に対する世界的な意識が高まってきている。リコーグループは循環型社会の実現に向け、2030年に製品の新規資源使用率60%以下を環境目標に掲げている。そのためには主力製品であるデジタルカラー複合機の再生プラスチック使用率を向上させる必要がある。複合機に使用されているプラスチックはPC、ABS、PS、PETなどが挙げられ採用部品数は1,000個を超える。量産用金型で試作した部品については外観、寸法、強度などの評価が必要であり新規材料を用いた部品開発には多大な工数を要する。とりわけ流動性や成形収縮率が大きく異なる材料への変更は充填不足など成形不良が生じるだけでなく、離型不良により成形品が固定され金型内に残ってしまうことにより金型が破損する懸念がある。これら課題を解決するため、材料変更時の量産金型を用いた試作評価を不要とする金型共通化判定プロセスを新たに開発した。

ABSTRACT

Since the SDGs were released in 2015, global awareness of carbon reduction and recycling has been increasing. The Ricoh Group has set a target to use 60% or fewer new resources for its products by 2030, towards realizing a recycling-oriented society. To do so, it is necessary to improve the rate of recycled plastics used in mainstay digital color multi-function devices (MFDs). Plastics used in MFDs include PCs, ABS, PS, and PET, and the number of components used exceeds 1000. When developing part prototypes for mass production molds, it is necessary to evaluate the appearance, dimensions, and strength, and fabricating the parts using new materials is inefficient. However, if another material with a very different fluidity or shrinkage ratio is used, the mold may be damaged from being improperly filled or from material remaining in the mold due to improper release. To solve these problems, we have devised a new process for determining the standardization of dies, which eliminates the need for prototype evaluation using mass-produced dies when changing materials.

* リコーデジタルプロダクツBU CMC事業本部 キーパーツ事業センター
KeyParts Business Center, Chemical and Mechanical Core Business Group, Ricoh Digital Products BU

** リコーデジタルプロダクツBU OC事業本部 OC生産センター
Office Core Production Center, Office Core Business Group, Ricoh Digital Products BU

*** リコーデジタルプロダクツBU OC事業本部 OC事業センター
Office Core Business Center, Office Core Business Group, Ricoh Digital Products BU

1. 背景

1-1 再生プラスチックに関わる社会情勢

2015年9月「国連持続可能な開発サミット」にて17ゴール・169ターゲットからなる持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals: SDGs）が採択された。ゴール12には「つくる責任、使う責任」が設定され、2030年までに天然資源の持続可能な管理及び効率的な利用、廃棄物の発生防止、削減、リユース・リサイクルすることが目標として掲げられている。ゴール14には「海の豊かさを守ろう」が設定されており近年、環境中に流出したプラスチックによる海洋プラスチック問題が取り沙汰されている。

諸外国ではプラスチックリサイクルを拡大し代替製品の開発を推進している。EUプラスチック戦略ではプラスチックリサイクルの経済性と品質の向上策として、2030年までにすべてのプラ包装容器をコスト効果的にリユース・リサイクル可能にする施策を講じている。2023年2月には包装廃棄物規則案を公表し、2030年1月からEU内で上市されるすべての包装及び包装廃棄物に対し、リサイクル可能でなければならないとしている。

一方、日本では1995年に容器リサイクル法、2000年に循環型社会形成推進基本法、2001年に家電リサイクル法が制定されるなど循環型社会実現に向けた法整備が進められてきた。2020年7月よりレジ袋の有料化が始まり、2022年7月からはカトラリーなど12品目の特定プラスチック製品が有料となった。使い捨てプラスチックを対象とした使用量削減やリユース・リサイクルは今後さらに拡大されることが予想される。

1-2 再生プラスチックの市場動向

プラスチックの年間生産量は年々増大しており、2020年には3億トン以上が生産されている。一般社団法人プラスチック循環利用協会の発表によると2021年の廃プラスチック総排出量は824万トン、有効利用率は87%となっている¹⁾。総排出量が多い分

野は包装容器が全体の半分以上を占めPPやPEが主体となっている。

廃プラスチックの再資源化としてはマテリアルリサイクル（再生利用）、ケミカルリサイクル（モノマー原料化）が実現化されている。マテリアルリサイクルが最も温室効果ガス（Green House Gas: GHG）排出量が少ないことから、1度使用しただけで廃棄されてしまう使い捨てプラスチックを回収しマテリアルリサイクルされたプラスチックの普及が加速していく。世界の再生プラスチック市場規模は2020年に400万ドル、2030年には800億ドルまで拡大することが予想されている。ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene resin)、PC (Polycarbonate)、PE (Polyethylene)、PET (Polyethylene terephthalate)、PP (Polypropylene)、PS (Polystyrene) など様々なプラスチックが、消費後に回収しリサイクルされたポストコンシューマー材（post-consumer recycled resin: PCR）として再資源化がなされている。

2. 目的

2-1 リコー環境目標

リコーグループでは先述したSDGsやパリ協定の発効を受け、「脱炭素社会の実現」、「循環型社会の実現」を目指す環境経営を進めている。その目標の1つとして2030年までに「製品の新規資源使用率：60%以下」を掲げており、主力製品であるデジタルカラー複合機のPCR材使用率を向上させることが重要である。複合機に使用されているプラスチックはPCまたはPC/ABSが最も多く、ABSやPSなども多く採用されている。

これまで複合機におけるPCR材使用率の目標は、北米のEPEATやドイツのブルーエンジェルといった環境ラベルが定めた『PCR材使用率5%』という基準であった。しかし「製品の新規資源使用率：60%以下」を達成するためにはPCR材使用率50%以上が必要と試算された。

2-2 画像機器プラスチック部品の要求特性

画像機器に使用されるプラスチック部品は重量が多い順に「筐体部品」が約50%、「内装部品」が約20%、「作像周辺部品」が10%弱、「定着周辺部品」が10%弱の割合である。これらの部品の使用重量は画像機器プラスチック部品のおよそ90%弱を占める。Table 1に要求特性、使用されているプラスチックを示す²⁾。

Table 1 Application of imaging device parts.

用途	要求特性	使用プラスチック
筐体	難燃性：5VB 衝撃強度：7-10 kJ/m ² 意匠性	PC+ABS
内装	難燃性：V-2以上 耐衝撃性：3-5 kJ/m ² 以上	ABS, HIPS, PC+ABS
作像周辺	寸法精度：0.4%以下	GF強化PCアロイ
定着周辺	耐熱性：HDT200℃以上	GF強化PET

PCR材を原料に各種特性を付与した再生材の開発を実施した。再生材を使用した場合でも要求特性は変わらないことから、新品の材料であるバージン材同等品質が必要となる。再生材の課題について述べる。

再生材の課題

- ①複合機用途として難燃性を新たに付与する必要がある。
- ②経年劣化による分子量低下と機械的強度の低下が懸念される。
- ③機械的強度不足を高分子量のPCR材で補ったことにより流動性が低下する傾向がある。
- ③透明または白色のPCR材が入手困難である。
- ④再資源化プロセスで異物が混入する懸念がある。

従来の材料変更では量産金型での試作及び評価を実施し判断してきたが、流動性や成形収縮率が大きく異なる材料への変更は充填不足など成形不良が生じるだけでなく、離型不良により成形品が固定され

金型内に残ってしまうことにより金型が破損する懸念がある。

今回、開発対象とした複合機ではPCR材使用率50%以上を達成するため100部品以上を再生材に置き換えることになる。採用に至った再生材で10グレード以上、採用に至らなかったグレードは20グレードほどになる。従来の材料変更では量産用金型で試作した部品の外観、寸法、強度などの評価が必要であり、候補材料×部品数の試作及び評価が発生する。

すべて部品試作するには膨大な時間を要するだけでなく、前述の金型破損リスクも伴う。これら課題を解決するためにプラスチックの成型加工性評価（流動性、収縮率）での簡便な判定プロセスを開発した。

3. 再生プラスチック搭載拡大に向けた取り組み

3-1 再生材適用部品の選定

今回、開発対象とした機種は「RICOH IM C6010/C5510/C4510/C3510/C3010/C2510/C2010」である。当該機種はリコーの主力製品であり生産量及び販売量が最も多いことから、環境フラグシップ機と位置付け開発対象に選定した。



Fig. 1 RICOH IM C3510.

PCR材使用率50%以上を達成するため、初めに再生材を適用する部品の選定を実施した。複合機に使用されているプラスチックでPOM、PBT、PEK、PPSはPCR材の回収量が少なく十分な物量を確保できないことから開発対象外とした。ABS、PC、PET、PSの部品重量から各プラスチックグレードに求められるPCR材使用率を算出した。作像や定着周りに使用するプラスチックは寸法精度や耐熱性付与のため、少なくとも30%以上のガラス繊維などを配合しており全体に占めるプラスチックの割合が少ないためPCR材使用率を向上させることが困難である。そのため製品の30%以上を占める外装カバーに採用するプラスチックグレードのPCR材使用率を80%以上に設定し、製品全体でPCR材使用率50%を達成できるようにした。

3-2 加工性評価

再生材の加工性（流動性、収縮率）を評価したプロセスについて記載する。流動性の評価手法としてはISO1133-1:2011で規格化されているメルトフローレート（Melt Flow Rate: MFR）やメルトボリュームフローレート（Melt Volume flow Rate: MVR）が広く知られており、材料メーカーから提供されるデータは何れかであることが殆どである。従来の評価方法には、

- ①材料メーカーごとに評価方法及び条件が異なり横並べ比較ができない
- ②MFRはせん断速度が小さく射出成型時の流動性挙動と必ずしも一致しない

などの課題がある。例えばPC/ABSの評価はMFRが主流であるが評価条件は統一されておらず「260℃ 2.16 kgf」や「240℃ 10 kgf」など材料メーカーによって条件が異なる。PC/ABSからABSやPSに材料変更する際には成形温度が30℃以上低下することもあり同一条件での流動性比較は困難である。

成形収縮率もISO2577での評価が主流ではあるが独自の評価方法を採用している材料メーカーも多く、流動性と同様に同一条件で比較することが難しい。

ISO2577の試験片は60 mm×60 mm×2 mmの正方形

であることから、ファイラーの配向に伴う寸法精度悪化を検出することが困難であることも課題である。

3-2-1 流動性評価

前述の課題を解決するために新たな評価法を構築することとした。スパイラルフロー（Spiral Flow: SF）評価は渦巻き状の金型で射出成型し成形物の流動距離を測定する方法である。射出成型時の条件を変えて成形することで流動距離と圧力、流動距離と温度の関係性が評価可能である。MFRやMVRは単一条件の流動性であるが、SFは温度や圧力に対して連続的な流動性が得られ成形条件調整にも有益である。評価は渦巻き状の金型で射出成型し成形物の流動距離（Fig. 2右図における始点と終点の距離）を測定した。尚、スパイラルフローも一般的に知られている手法ではあるが規格化されているのはJIS K 7154-1:2002など適用範囲が限定的であり、射出成型用プラスチックでは評価方法が確立されているとは言い難い。

評価条件

射出成型機：FUNUC ROBOSHOT α 100B³⁾

金型：Fig. 2参照

成形条件：Table 2参照

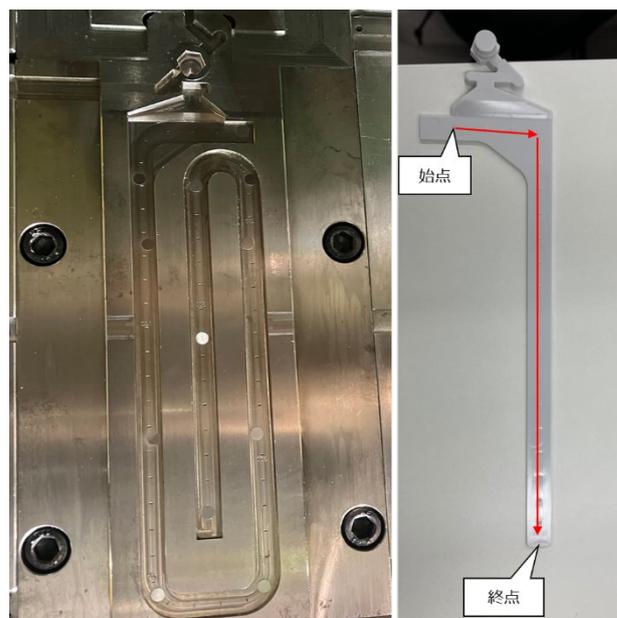


Fig. 2 Mold of spiral flow.

Table 2 Evaluation conditions for spiral flow.

項目	設定値
温度	推奨成形条件の最大温度
位置切換	20 mmから始めて 0.5 mmずつ減らす
射出速度	20 mm/s
保圧	300 kg/cm ²
保圧保持時間	10 sec
計量背圧	150 kg/cm ²
計量速度	100 rpm
計量位置	30 mm
金型温度	推奨温度の最低温度

判断基準

Table 2の条件で射出成型し成型品の始点から終点までの長さを流動距離として計測し、成形時に射出成型機にかかる最大圧力（ピーク圧）を成形機から読み取る。流動距離とピーク圧をプロットグラフを作成し最大流動距離を変更前材料と比較しRank分けを実施する。変更前材料の最大流動距離をA、最小流動距離をB、新規材料の最大流動距離をCとした場合のRank分け基準をTable 3に、変更前材料の評価結果とRank分け判定基準の事例をFig. 3に示す。

Table 3 Ranking standards and die standardization decisions.

Rank	判定基準	結果
1	$B \geq C$	成形条件変更なしで 金型流用可能
2	$A > B \geq C \times 0.9$	成形条件変更で 金型流用可能
3	$A \times 0.9 > C \geq B$	金型流用一部可 寸法の小さいものなど 部品限定される
4	$B > C$	金型流用不可

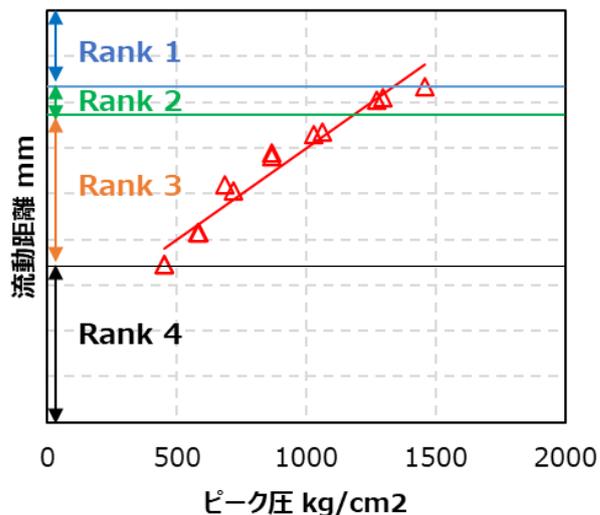


Fig. 3 Example of spiral flow rate evaluation.

3-2-2 収縮率評価

Fig. 4に示す長方形の試験片を用いることで、異方性（流れ方向と直角方向の収縮率の差）が大きくなり、従来の正方形の試験片よりも高精度な評価方法を実現した。特に作像周辺に採用しているGF強化PCアロイは異方性の影響が大きく、ISO2577の成形収縮率が同等であっても成形品寸法が異なる懸念がある。

評価条件

射出成型機：J-EIⅢ-UPS⁴⁾

金型：Fig. 4参照

成形条件：Table 4参照

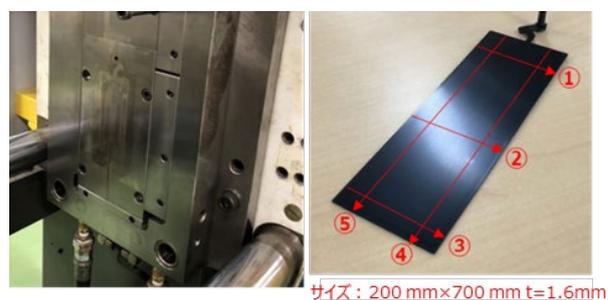


Fig. 4 Mold for evaluation of mold shrinkage.

Table 4 Evaluation conditions for mold shrinkage.

項目	設定値
温度	推奨温度中央値
金型温度	推奨温度中央値
計量値	47 mm
射出速度	25 mm/sec
保持圧力	30 MPaから10 MPaずつ上げて成形
保圧時間	3 sec
冷却時間	30 sec

判断基準

保持圧力30 MPaから成形を開始し、10 MPaずつ上げて順次成形し成型品の①～⑤寸法を計測する。金型寸法から成型品寸法を引いた値を金型寸法で割ったものを成形収縮率として算出し、保持圧力と収縮率のグラフを作成する。所定の収縮率に到達する保持圧力を変更前の材料と比較しRank分けを実施した。Rank分けの基準をTable 5に、変更前材料の評価とRank分け判定基準の事例をFig. 5に示す。

Table 5 Ranking standards and die standardization decisions.

Rank	判定基準	結果
1	変更前材料±5 MPa未満	成形条件変更なしで金型流用可能
2	変更前材料±20 MPa未満	成形条件変更で金型流用可能
3	変更前材料±60 MPa未満	金型流用一部可 寸法の小さいものなど 部品限定される
4	成型機の仕様条件以上	金型流用不可

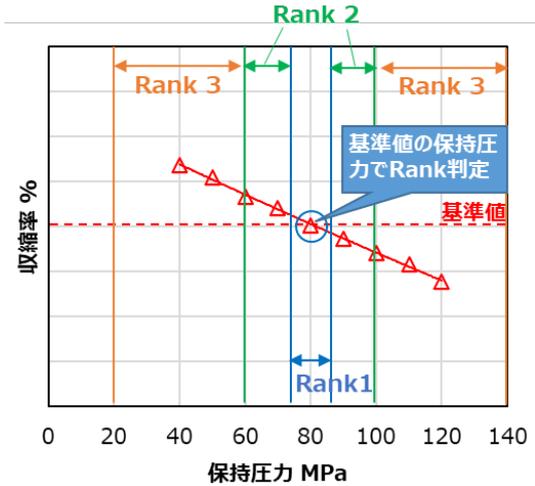


Fig. 5 Example of mold shrinkage evaluation.

4. 結果と考察

4-1 加工性評価

新規再生材A～Dの加工性評価を実施した。変更前材料及び再生材A～DのSF測定結果をFig. 6、収縮率評価結果をFig. 7、Rank判定結果をTable 6に示す。

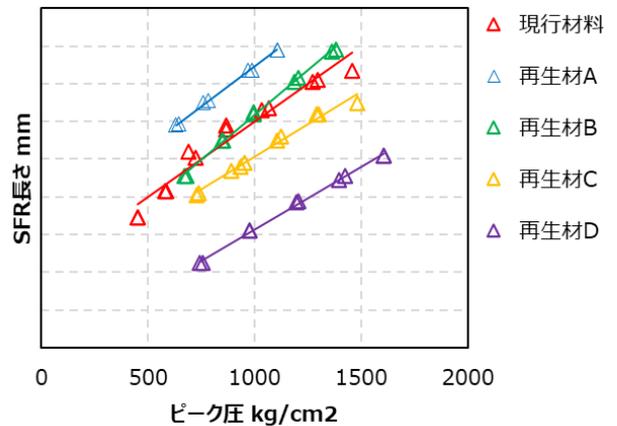


Fig. 6 Evaluation result of Spiral flow.

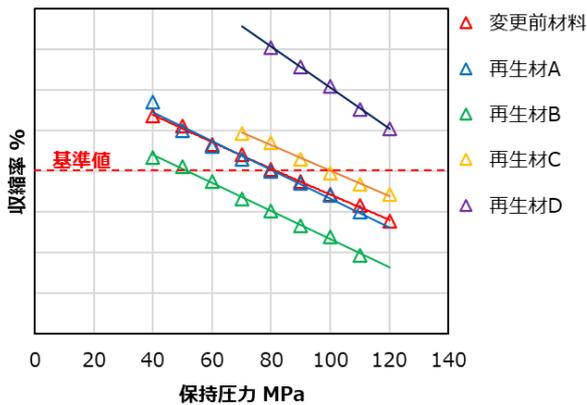


Fig. 7 Evaluation result of molding shrinkage ratio.

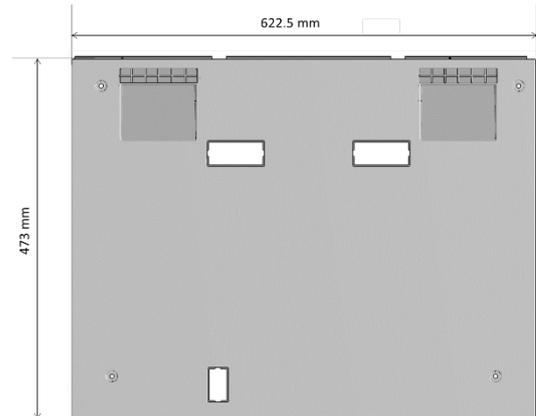


Fig. 8 External cover.

Table 6 Rank determination results.

	流動性	収縮率
再生材A	Rank1	Rank1
再生材B	Rank1	Rank3
再生材C	Rank2	Rank2
再生材D	Rank3	Rank4

材料メーカーから提示された収縮率ではA<D<変更前材料<B<Cの順に大きくなることが予想されたが、今回の加工性評価ではB<C<A<変更前材料<Dの順となった。前述のように材料メーカーごとに評価方法が異なることで横並べ比較ができないということが立証された。

4-2 部品試作結果

流動性及び収縮率のRank分けの有効性を検証した結果を報告する。複合機外装カバー（Fig. 8）を再生材A～Dで試作し成形不良の検証と寸法精度評価を実施した。

流動性の考察

再生材A, B, Cは成形不良や圧力異常の発生はなく外観不良も認められなかった。再生材Dは材料メーカー推奨温度上限での成型でも射出圧力オーバーの異常や充填不良による部品の欠損が生じた。推奨上限温度から10℃上げることで成形不良は改善されたが溶融したプラスチックが流れた跡が残るフローマークなどの外観不良が頻発した。

収縮率の考察

試作部品の寸法評価結果をFig. 9に示す。再生材A, Cは部品の寸法公差範囲内となり材料変更可能であることが分かった。B, Dは寸法公差範囲外となり材料変更不可となった。

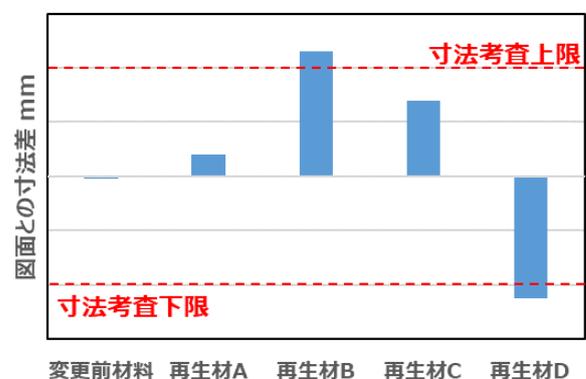


Fig. 9 Results of dimension evaluation.

以上のことから流動性と収縮率の両方がRank2以内であれば前述の通り金型共通化可能であり、何れかがRank3以上になると外装カバーのような大型部品では金型流用できないことが明らかになった。本評価方法では同一材質での材料変更だけではなく、異なる材質間での材料変更にも適用可能である。具体的にはPC/ABSからPCやPS、ABSへの材料変更にも適用可能である。

5. 結論

バージン材から再生プラスチックに材料変更する際に金型共通可否判断が可能となる評価方法を確立した。新規評価方法の効果を示す。

- ①評価方法を統一したことで複数材料を同一条件で比較することが可能となった。
- ②物性や耐熱性が同程度の材料が複数あった場合でも成形加工性で優先度付けできるようになった。
- ③Rank分けの結果から適用部品の選定が容易になり、試作工数や費用を削減できるようになった。
- ④成形不良や圧力異常などを事前に回避することが可能になった。

本評価方法を確立することで、数百点に及ぶ部品試作評価を短縮することが可能となった。提示した評価結果を例に取ると再生材B及びDは樹脂評価のみで採用不可能と判断可能であり、量産金型での部品試作を半分に減らす効果があると言える。

前身機から約100点の部品を再生材に置き換えることで、PCR材使用率を前身機の5%から50%まで飛躍的に向上させることができた。今後もこの技術を活用し製品の新規資源使用率を削減し、循環型社会の実現を推進していく。

参考文献

- 1) 一般社団法人 プラスチック循環利用協会: プラスチック循環利用協会, プラスチック情報局, 情報クリップ, <https://www.pwmi.or.jp/column/column-790/> (参照2023-10-23).
- 2) 原田忠克ほか: 画像機器筐体部品への高難燃バイオマス樹脂の実用化, *Ricoh Technical Report*, No. 39, pp. 161-167 (2014).
- 3) ファナック株式会社: 商品紹介, ROBOMASHIN, ロボショット (電動射出成型機), <https://www.fanuc.co.jp/ja/product/roboshot/index.html> (参照2023-10-23).
- 4) 株式会社日本製鋼所: 事業・製品, 成形機事業, 小型全自動射出成型機, https://www.jsw.co.jp/ja/product/business/molding_machine/mm_0100/ (参照2023-10-23).