

プラスチック成形用金型における成形性向上に関する研究（第2報）

寺澤 章裕・山田 博之・西村 通喜・佐野 正明*

Study of Formability Improvement on Plastics Molding Die (2nd Report)

Akihiro TERASAWA, Hiroyuki YAMADA, Michiyoshi NISHIMURA and Masaaki SANO*

要 約

熱可塑性エラストマー射出成形加工時における離型性向上を目的に、表面加工（ブラスト加工，研磨加工）及び各種表面処理（プラズマ窒化処理，DLC コーティング，TIN コーティング，フッ素系潤滑メッキ，フッ素コーティング）を金型に施して，金型表面と成形品の評価及び離型性測定実験を行った。

金型表面に対しては表面処理前後で，表面粗さ測定，電子顕微鏡による表面観察を行い，成形品に対しては，表面粗さ測定を行った。また，それぞれの金型に対して成形加工直後の離型力測定を行った。

その結果，成形品への粗さの転写性は，金型表面粗さに依存する。一方，金型表面処理の違いによる転写性の差は確認出来なかった。また，フッ素系の処理が離型性向上に一定の効果を有していることが明らかになった。

1. 緒 言

ゴムとプラスチックの性質を兼ね備えた高分子材料として熱可塑性エラストマー（thermoplastic elastomer，以下 TPE 材と記す）が知られている。TPE 材は独特の質感を有しているため，時計バンド，自動車内装部品等の外観部品に多く用いられている。

TPE 材は常温で加硫ゴムの弾性特徴を持つが，高温で軟化流動するため，射出成形が可能である。しかし，弾性体である TPE 材は，射出成形後，金型から取り出す際に変形し不良品発生の原因となっている¹⁾。対策として，金型離型性を向上させることで成形品取り出し時の変形を減少させることが可能である。現状においては，離型剤を金型に塗布すること等で対応することが多い。しかし，離型剤塗布直後は一定の効果を有するが，連続成形においては，短時間または少ない成形回数で離型剤の効果が減少してしまう。そのため，頻繁に離型剤を塗布しなければならず，非常に製造コストがかかってしまう。そこで，低コストな離型性向上の対策が求められている。

離型性は，成形品形状，金型表面粗さ，金型表面材質等に影響を受けると考えられる。成形品形状の変更は容易ではないため，金型表面粗さの変更及び金型表面材質の選択で可能な離型性向上対策が求められている。そこで，本研究においては，各種表面処理が離型性に及ぼす影響を検討するため，金型表面の評価（表面粗さ測定，電子顕微鏡による観察），成形品の表面粗さ測定，射出成形直後の成形品離型力測定を行った。

2. 実験方法

2-1 表面処理

(1) 金型材料

金型材は，プラスチック射出成形用金型材料として一般的に広く用いられる析出硬化系プリハードン鋼である NAK80（大同特殊鋼（株）製）を用いた。

(2) 金型表面加工

表面粗さの違いによる離型力の違いを評価するため，金型表面が鏡面のサンプルを作製し，その面にサンドブラスト処理を施し，金型表面の表面粗さを段階的に変化させた。初期状態である鏡面のサンプルは，#2000 サンドペーパーで研磨後，粒径 $1\mu\text{m}$ のダイヤモンドの研磨材を用いてバフ研磨して作成した。ブラスト処理のメディアは WA を用い，粒径は #46，を使用した。

(3) 表面処理

金型表面処理の違いによる，射出成形直後の成形品離型力の差を評価するため，以下の表面処理を金型入れ子製品面に施した。

①プラズマ窒化処理

高電圧・低ガス圧中でのガス放電による電場内で，窒素のイオン化を図り，Fe と反応させる処理である。これによって，金型表面近傍に硬化層が形成されるため，金型の長寿命化に繋がる²⁾。

②DLC コーティング

耐摩耗性を有し，摺動性にも優れているため，摺動部品等に用いられている。コーティング膜の厚さは， $1\sim 3\mu\text{m}$ であ

*山梨県工業技術センター

る。

③ TIN コーティング

耐摩耗性に優れているため、工具のコーティング等に用いられている。コーティング膜の厚さは、 $1\sim 4\mu\text{m}$ である。

DLC コーティングより低額に処理が可能である。

④ フッ素系潤滑メッキ

フッ素樹脂粒子を含有した無電解ニッケルメッキで、 $23\pm 3\text{vol}\%$ のフッ素樹脂を含有している。メッキ厚は $4\sim 6\mu\text{m}$ である。表面にフッ素系樹脂が点在しているため、潤滑性を有する。

⑤ フッ素コーティング

母材表面に無電解法によりメッキ処理を施した上に、フッ素樹脂がコーティングされている。メッキ上の微細な凹凸のアンカー効果によりフッ素樹脂がメッキ面と強力に密着している。被膜厚は $20\mu\text{m}$ 程度である。潤滑性、耐摩耗性に優れている。

2-2 金型表面処理前後の表面粗さ測定

鏡面金型及び、#46 ブラスト金型において、表面処理前後で表面粗さを測定した。測定機は、(株)ミットヨ製 FORMTRACER CS-H5000 CNC を用いた。測定用スタイラスは、先端半径 $5\mu\text{m}$ 、先端角度 40° のダイヤモンドスタイラスを使用した。解析は、JIS B0601:2001 に従い算術平均粗さ (Ra) を求めた。

2-3 成形品の表面粗さ測定

各種表面処理を施した金型において、射出成形後、成形品面の表面粗さを測定し、成形品への金型表面粗さの転写性を評価した。測定機、測定条件等は 2-2 節と同様である。

2-4 電子顕微鏡による表面観察

金型処理面を電子顕微鏡で観察した。電子顕微鏡は(株)日立製作所製 S-2380N を使用した。鏡面加工したサンプル及び、#46 でブラスト加工をしたサンプルについて、未処理品、及び各種表面処理前後の表面状態を観察した。

2-5 離型力測定

(1) 実験用金型

離型力を測定するために、実験用金型を作製した。

図 1 に成形品形状を示す。製品は円盤状で、金型が開いた状態の時に円盤底面が金型と接している。また、離型力測定時に製品をつかむための凸部を有する形状とした。

図 2 に作製した可動側金型を示す。金型はカセット型金型に入れ子を挿入する構造とした。

図 3 に金型入れ子構造の概要を示す。成形品となる部分はさらに円筒状の型を入れ子式として、この円筒状の入れ子型において成形品を形成する面に表面処理を施した。

(2) 離型力測定装置

離型力を測定するために、金型へ着脱可能な離型力測定装置を構築した。

図 4 に離力測定装置の概略図を示す。ロードセルは固定用治具に取り付け、成形終了後金型固定側に簡便に取り付けられるようにした。図 5 は当装置を射出成形機に取り付けた状態を成形機上部より撮影した写真を示す。

(3) 離型力測定

射出成形機は、FANUC(株)製 $\alpha 30\text{C}$ を使用した。射出速度 50mm/sec 、射出圧力 98MPa (1000kg/cm^2) で射出し、その後、 78MPa (800kg/cm^2) で保圧した。冷却時間は 20 秒とし、金型温度は 40°C に設定した。

樹脂材料は、ウレタン系 TPE 材 (大日精化工業(株)製 レザミン P-4590) を使用した。

射出成形後、成形品凸部をロードセルに取り付けたクランプで掴み、金型可動側を一定速度 (約 1.6cm/sec) で後退させ、成形品を引き抜く引っ張り力 (ロードセル測定値) を離型力として評価した。測定は、連続成形開始初期の段階における数十回で離型力を測定し、平均値を求めた。

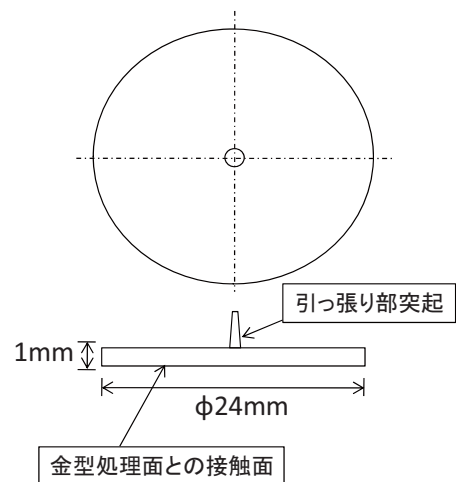


図 1 成形品形状

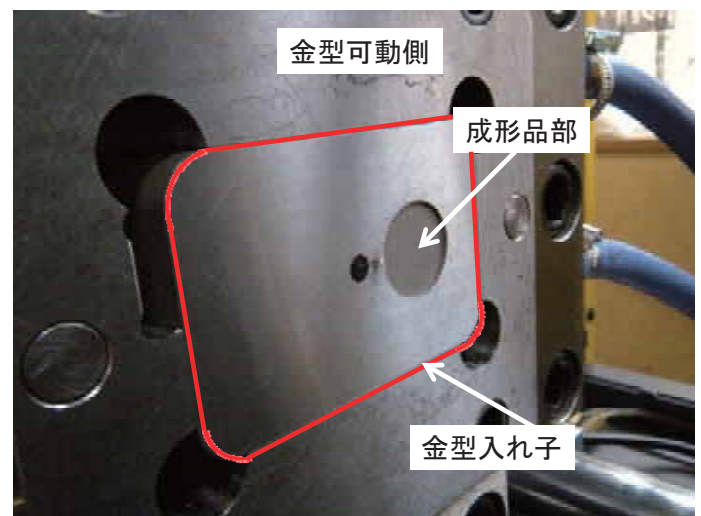


図 2 実験用金型可動側

3. 結果及び考察

3-1 表面処理結果

図 6 に、鏡面仕上げしたサンプルに表面処理を施した観察写真を示す。DLC コーティング、TIN コーティングしたサンプルは、表面処理後においても鏡面が維持された。一方、プラズマ窒化処理、フッ素系潤滑メッキ、フッ素樹脂コーティングしたサンプルは、表面処理によって光沢面ではなくなった。



図 6 表面処理後のサンプル



図 3 金型構造の概要

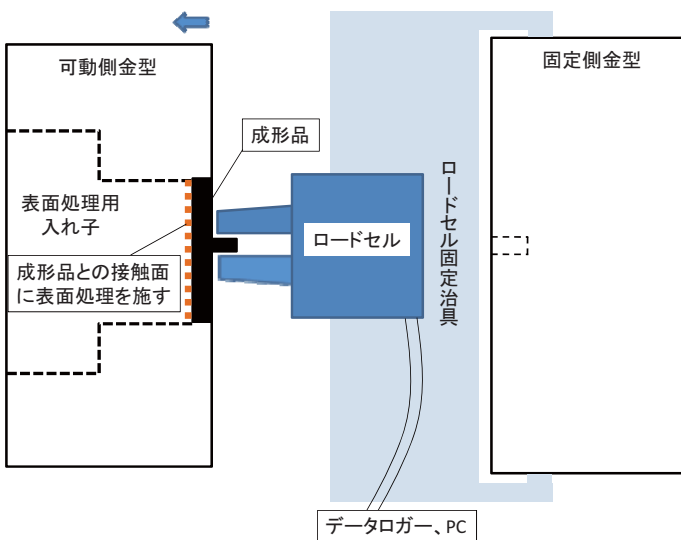


図 4 離型力測定装置概略図

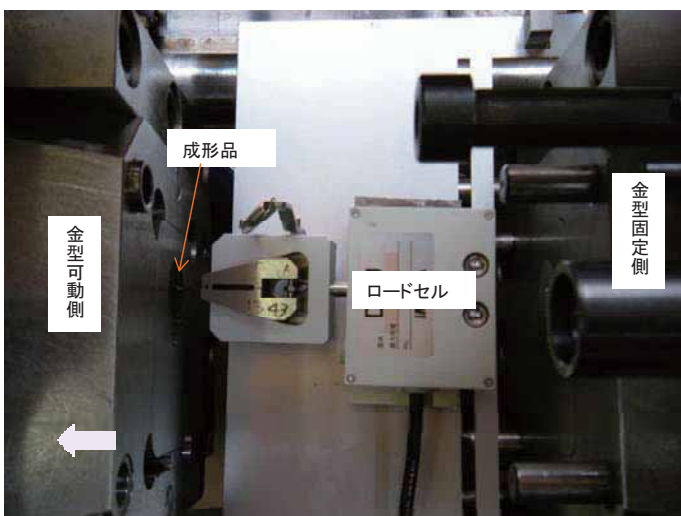


図 5 金型に設置した離型力測定装置

3-2 金型表面処理前後の表面粗さ測定結果

図 7 に鏡面金型の表面処理前後の表面粗さ (Ra) 測定結果を示す。また、図 8 に # 4 6 ブラスト金型に対して表面処理前後の表面粗さ (Ra) 測定結果を示す。

プラズマ窒化処理、フッ素系潤滑メッキ、フッ素コーティングにおいては、鏡面に処理を施すと、表面粗さは増加する。一方、これらの処理を、# 4 6 ブラスト面に施すと、表面粗さは減少する。

また、DLC コーティングおよび TIN コーティングにおいては、表面処理前後で表面粗さの値に大きな変化は生じなかった。

フッ素系潤滑メッキ、フッ素コーティングにおいては、表面のメッキまたはコーティング膜が厚いため、表面粗さに影

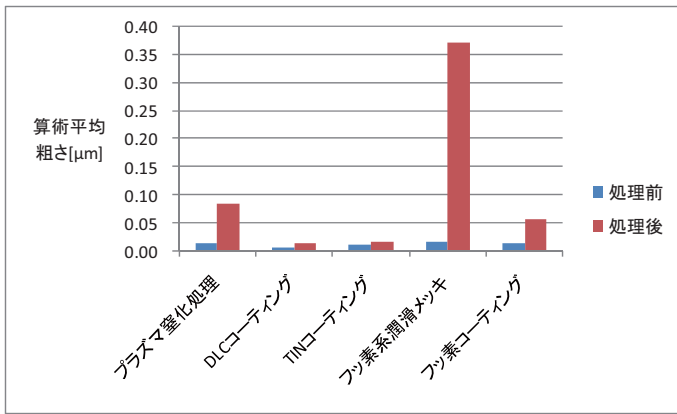


図7 鏡面加工面に対する表面処理前後の表面粗さ

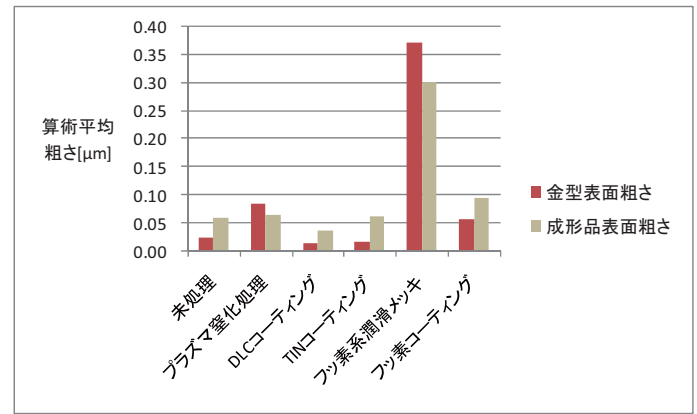


図9 金型表面粗さ及び製品面の表面粗さ測定結果（鏡面）

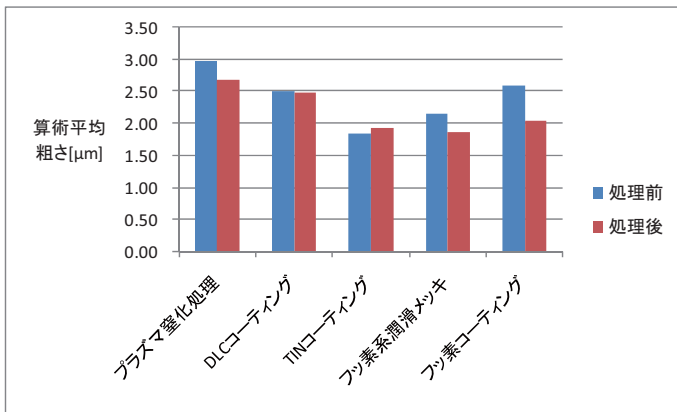


図8 #46 ブラスト加工面に対する表面処理前後の表面粗さ

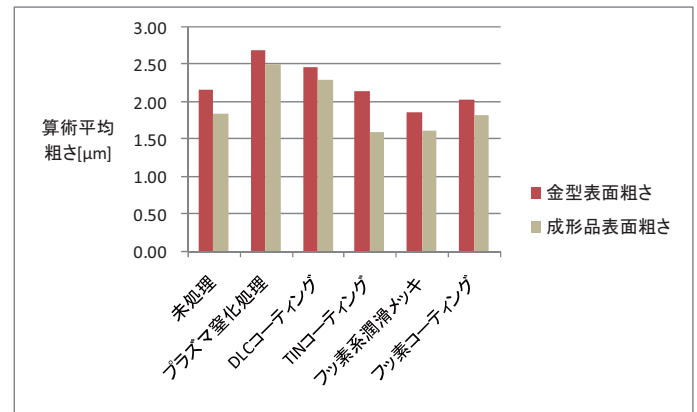


図10 金型表面粗さ及び成形品面の表面粗さ測定結果（#46 ブラスト面）

響を及ぼしていると考えられる。表面状態は 3-4 節で述べる電子顕微鏡によっても確認した。

また、プラズマ窒化処理においては処理時の高温なガス等が、金型表面と反応し、微小な凹凸が生じたり、細かなバリ等が除去されることが考えられる。

3-3 成形品の表面粗さ測定結果

図9に鏡面に表面処理を行った金型表面粗さ及びその金型を用いて成形した時の、成形品表面の表面粗さ測定結果を示す。

成形品においても鏡面の光沢を有していたサンプルは、金型表面粗さの値が $0.03 \mu\text{mRa}$ 以下のサンプル（未処理金型成形品、DLCコーティング金型成形品、TiNコーティング金型成形品）であった。

図10に#46 ブラスト加工面に表面処理を行った金型表面粗さ及びその金型を用いて成形した時の、成形品の表面粗さ測定結果を示す。未処理の金型で成形した場合と比較すると、金型表面処理後の成形品の表面粗さの変化は小さい。このことから、#46 ブラスト面においては、金型表面処理の違いによって金型面の成形品への転写性に大きな差はないと考えられる。

3-4 電子顕微鏡による表面観察結果

図11に、電子顕微鏡による表面処理面の観察結果を示す。

プラズマ窒化処理、DLCコーティング、TiNコーティングにおいては、未処理のサンプルと比較して、面の状態に大きな変化は確認できなかった。

フッ素系潤滑メッキにおいては初期状態が鏡面の場合に、処理後に凹凸が確認できた。これは、3-2節の結果でフッ素系潤滑メッキにおいて表面粗さが増加した結果と一致している。

フッ素コーティングにおいては、鏡面の場合、#46 ブラスト加工の場合と同様に、処理によって、面の状態が変化した。これは、3-2節の表面粗さ変化と同様にメッキ厚、コーティング厚等の影響と考えられる。

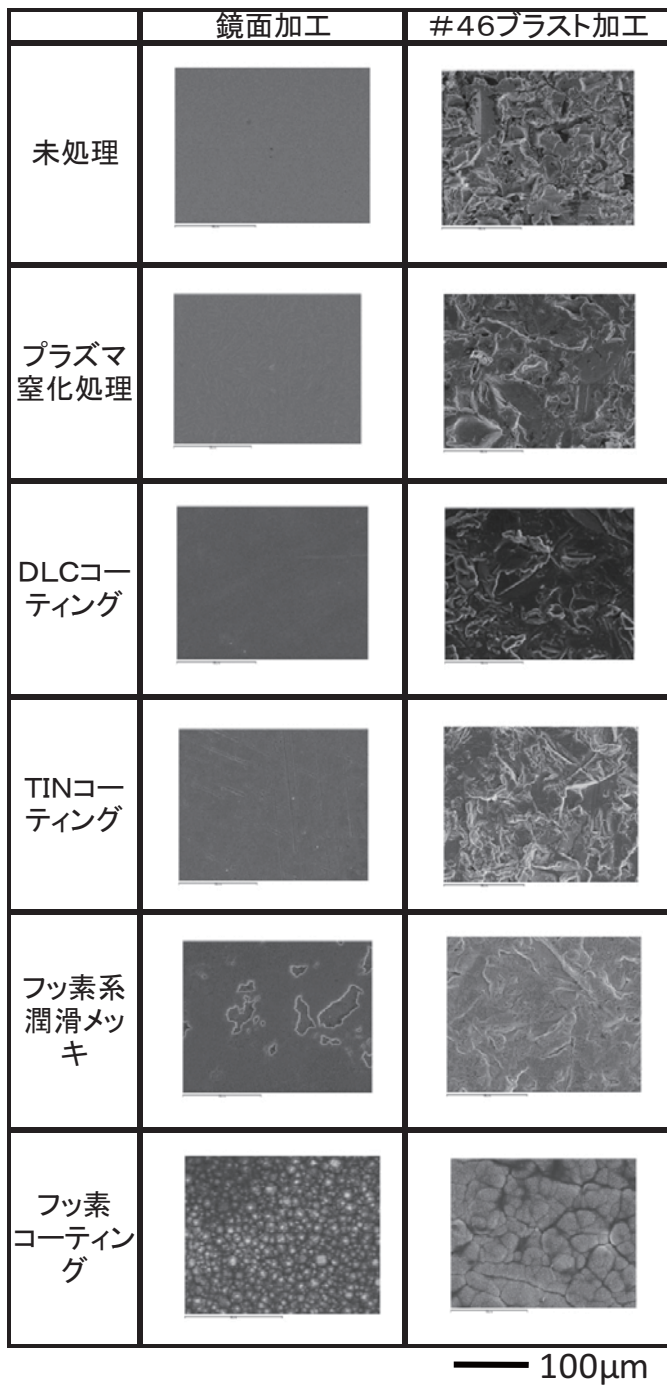


図 11 電子顕微鏡による表面処理面観察結果

3-5 離型力測定結果

図 12 に離型力測定結果を示す。横軸に表面処理後の金型表面粗さの値を示し、縦軸はその金型で成形した成形品の離型力を示す。

すべてのサンプルにおいて、金型表面粗さが大きくなると、離型力の値は小さくなる傾向にある。TPE 材成形品においては、金型と成形品が密着し、さらにその弾力性によって吸盤のような真空の影響を受けるような状態になる場合もある。鏡面のサンプルではそのような状態になりやすいため、離型力が大きいと考えられる。

DLC コーティングおよび TIN コーティングを施した金型では、未処理のサンプルに比べ、離型力が増加した。一方、接触角計による撥水性の評価を行ったところ、DLC コーティング、TIN コーティングでは、未処理のサンプルよりも親水性を示していた。これらの結果より、DLC 膜及び TIN 膜は、本研究に用いた TPE 材との密着性が、未処理面より高くなると予想される。

プラズマ窒化処理では、未処理のサンプルと比較して、離型力に大きな変化は見られなかった。他の表面処理は母材とは異なる成分から成る表面処理であるのに対して、プラズマ窒化処理面は、母材と窒素が反応した窒化鉄によって形成されているため、未処理面と比較して離型力に大きな変化が生じなかったと考えられる。

フッ素系潤滑メッキ及びフッ素コーティングを施した金型では、未処理の金型に比べて離型力が減少した。一般的に、フッ素樹脂材料は、有機材料との密着性が低いことが知られている³⁾。本研究に用いた TPE 材とも密着性が低いと考えられるため、フッ素系の処理を施した金型において、離型力が低減したと思われる。また、フッ素コーティングは、フッ素樹脂が全面にコーティングされているのに対して、フッ素系潤滑メッキでは、フッ素樹脂が分散し、点在していることから、フッ素樹脂コーティングの方が、より低い離型力を示したと思われる。

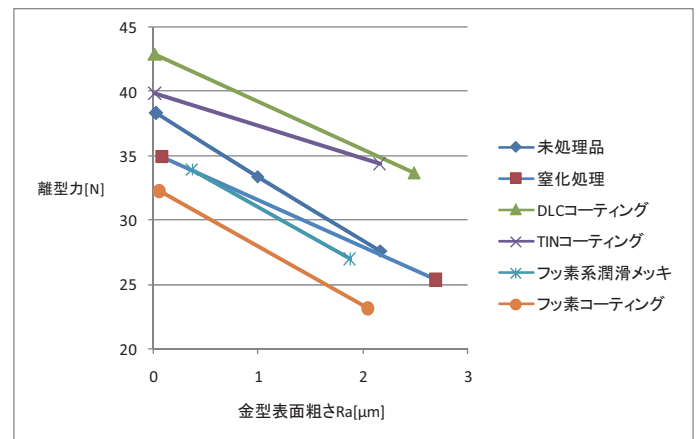


図 12 離型力測定結果

4. 結 言

TPE 射出成形加工時における離型性向上を目的に、表面加工（ブラスト加工，研磨加工）によって表面粗さを段階的に制御した金型に対して，各種表面処理（プラズマ窒化処理，DLC コーティング，TIN コーティング，フッ素系潤滑メッキ，フッ素コーティング）を施した．各種表面処理における表面状態の評価及び射出成形直後の離型性評価を行った．得られた結果を以下に示す．

- (1) 鏡面加工後の金型に表面処理を施すと，DLC コーティング，TIN コーティングにおいては，鏡面が維持されたが，プラズマ窒化処理，フッ素系潤滑メッキ，フッ素コーティングにおいては，光沢面ではなくなり，表面粗さも増加した．
- (2) 成形品への粗さの転写性は，金型表面粗さによって異なる．また，金型表面処理の違いによる転写性の差は確認出来なかった．
- (3) 表面処理前後の表面状態を電子顕微鏡で観察を行った．メッキが厚いフッ素系の表面処理において，表面性状の変化が他のサンプルと比較して大きかった．
- (4) 金型表面粗さ及び各種表面処理の違いによる TPE 材の射出成形時の離型力の違いを評価した．その結果，金型表面粗さが， $2\mu\text{mRa}$ 以下の範囲では，粗さが増加すると離型力は減少することが確認出来た．また，フッ素系の表面処理によって離型力が低減されることを確認した．

参考文献

- 1)大柳康，翔谷信三：熱可塑性エラストマーの新展開，工業調査会，P.86(1993)
- 2)佐野正明，寺澤章裕：プラスチック成形用金型における成形性向上に関する研究，山梨県富士工業技術センター 平成21年度業務・研究報告，P.55(2010)
- 3)清水哲夫：実用プラスチック事典，産業調査会 事典出版センター，P.403(1993)