

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360100
 研究課題名（和文） 微細表面テクスチャを有する樹脂成形品の自己組織化的
 自発変形を利用した成形法の検討
 研究課題名（英文） Study on Novel Forming Method of Micro Surface Texture on Polymer
 Products Utilizing Self-Organization-Like Auto-Transformation
 研究代表者
 佐藤 勲 (SATOH ISAO)
 東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：10170721

研究成果の概要：

微細形状を表面に有するプラスチック成形品を型表面の形状を転写することなしに得る手法を確立することを目的に、成形途上のプラスチック表面に自発的に生じる自己組織化的変形を利用して大面積で比較的単純な形状のテクスチャを有する製品の成形法を検討した。その結果、溶融樹脂が冷却平板に接触した際のそり変形を利用することで、成形品表面に数 10 μm スケールの形状を附形できること、その形状は接触線形状を制御することで制御可能なこと、レーザーを用いて接触部近傍の温度を制御することで形状・スケールを局所的に変更できることなどが明らかとなった。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2006年度 | 5,700,000 | 1,710,000 | 7,410,000 |
| 2007年度 | 5,800,000 | 1,740,000 | 7,540,000 |
| 2008年度 | 3,200,000 | 960,000 | 4,160,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,700,000 | 4,410,000 | 19,110,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：微細表面テクスチャ、成形、自己組織化、そり変形、局所加熱、形状制御

1. 研究開始当初の背景

フラットディスプレイの照明用導光板や液晶プロジェクタ用のマイクロレンズアレイ、あるいは医薬用マイクロプラント・DNA解析用のマイクロチップや光通信用の導波路など、透明材料表面にサブミクロンスケールの微細かつ精密な形状を付与した成形品への要求が高まっている。このような成形品を低コストで大量に供給するため、現在、これらの成形品を、プラスチックやガラスといった熱可塑性材料に対する射出成形やホットエンボス、ナノインプリントと呼ばれる附

形手法で製造するための取り組みが盛んに行われており、その一部は実際の製品の製造へ応用されては始めている。これらの附形手法は、型（スタンプ）表面に刻み込まれた微細かつ高精度な形状をプラスチックなどの成形材料に転写させることで、成形材料表面に所定の形状を形作るものである。このような手法によって精密な表面テクスチャを有する成形品を製造するためには、材料をスタンプ表面の形状に充填するよう十分に軟化させ、強い附形力で成形を行うことが必要で、それを実現するための技術的検討が数多く

実施されている。

しかしながら、これらの検討では後回しとなっている課題がある。それは、附形後のスタンプと成形品の「離型」の問題である。スタンプ形状を正確に転写させるよう条件設定をすると、両者の間の付着力が強まって、附形後の材料をスタンプから引き剥がすことが困難になる。したがって実用成形では、附形の精度を犠牲にして離型ができる上限の附形をねらって成形条件を設定しているが、特に大面積の成形品では離型性が製品の精度を支配しているのが現状である。また、附形後の成形品の離型を促進するために別の物理現象を利用する試みも行われているが、まだ実効があがる段階には至っていない。

そもそも、高い転写性を得る条件と離型が促進される条件とが相反するのは、スタンプ表面の形状を転写することで製品形状を得ようとしているためである。型を用いた成形法は、同一の形状の製品を多数、高い生産性で得るために適した方法であるが、附形精度を高めるにつれて型と製品との剥離が困難になることは自明であり、抜本的な改善策が早晚求められることが想定される。

2. 研究の目的

上記の背景のもと、本研究課題では、型形状の転写のみによらずに微細表面形状を持つ成形品を得る新規な成形手法を考案し、その実現可能性・製品適用性を検討することを目的として、熱可塑性材料表面の自己組織化的自発変形の制御を主に伝熱工学的視点から検討する。具体的には、フラットディスプレイ用導光板・プリズムシートやフレネルレンズのように大面積で比較的単純な形状のテクスチャが繰り返し附形される製品をターゲットに、熔融材料の急冷却による固化層のそり変形を利用して、成形材料表面に規則的なテクスチャを形成することを試みる。これと同時に、こうして形成されるテクスチャの形状・サイズを材料の加熱・冷却条件や流動条件によって能動的に制御する手法の効果と限界を評価して、自発変形の微細表面形状成形への応用可能性を探る。このような自己組織化的自発変形は、材料表面のテクスチャ部分以外の附形に影響を与えないよう制御可能であるので、フラットディスプレイ用導光板のような製品を形作るためのマクロ的な附形プロセスと両立させうるものである。

3. 研究の方法

(1) 附形手法の原理

本研究で検討する附形手法の原理は、プラスチック射出成形の分野でフローマークと呼ばれる成形不良の発現要因であるとされているものである。成形時の接触点近傍の様

子を図1に模式的に示す。このような挙動を示す要因としては、冷却板と接触した熔融樹脂が接触点より急激に冷却され、温度分布に基づいて生じる体積収縮が接触点周辺の樹脂表面に対しそり変形を与える。しかし、さらに塗布が進行すると、樹脂表面は再び冷却板表面に接触する。このように熔融樹脂と冷却板が間欠的に接触することで成形品表面に連続的に凹凸が形成される。

したがって、表面テクスチャの形状を制御するには、材料と冷却板の接触線形状、ならびに材料のそり変形力と再び材料を冷却板に接触させようとする押付け力のバランスをコントロールすることが必要である。本研究では、これらを実験的に変化させて、附形できる表面テクスチャの形状やスケールの変化を評価した。

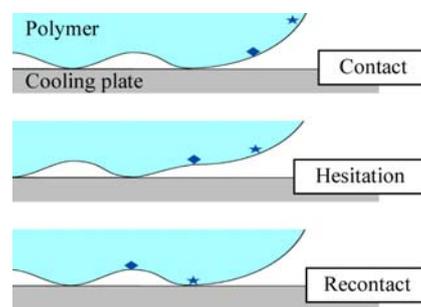


図1 表面テクスチャ発現原理

(2) 実験装置

実験に使用した装置の概略を図2に示す。実験装置は、一定速度で移動するステージ上に設置した冷却板と、その上に熔融樹脂をフィルム状に塗布するTダイを取り付けた押出機、ならびに可視化計測系からなる。冷却板にはアルミニウム合金(A2017)を、供試材料にはポリスチレン(PS)を用いた。

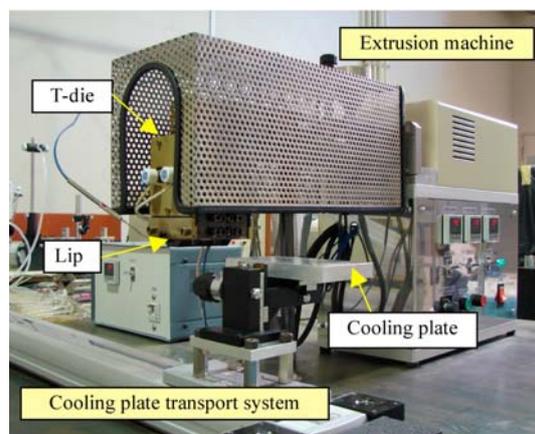


図2 実験装置概略

表面テクスチャの発現状況は、Tダイ直下の樹脂・冷却板接触部近傍を顕微ビデオカメラで撮影することで検討し、附形されたテクス

チャの形状は成形品表面を共焦点型光学表面形状測定器で計測して評価した。

附形される表面テクスチャの形状やスケールを変更するための成形パラメータと事件条件を図3と表1に示す。

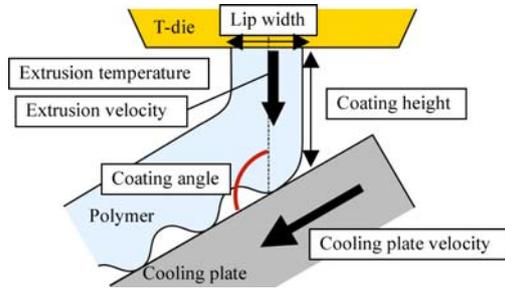


図3 成形パラメータ

表1 実験条件

| | |
|-------------------------------|------------|
| Cooling plate velocity [mm/s] | 1.0 ~ 14.0 |
| Extrusion velocity [mm/s] | 1.4 ~ 14.2 |
| Extrusion temperature [°C] | 260 ~ 300 |
| Coating height [mm] | 0.2 ~ 10.0 |
| Lip width [mm] | 0.2 ~ 2.0 |
| Coating angle [°] | 70 ~ 110 |

4. 研究成果

(1) テクスチャの基本形状

前節でも述べたとおり、本研究で検討する成形法の附形原理は、射出成形品の不良現象であるフローマークと同一であり、これまでその抑止策は検討されていたが、形状の制御についての知見は限られている。研究代表者らは、このフローマークの発現メカニズムを検討し、材料表面に生じる変形が型との接触点近傍での熔融材料の冷却固化に伴う収縮によるそり変形であることを明らかにしている。このメカニズムから、熔融材料と冷却板との接触線形状を制御することで、附形される基本形状を制御できると推察した。

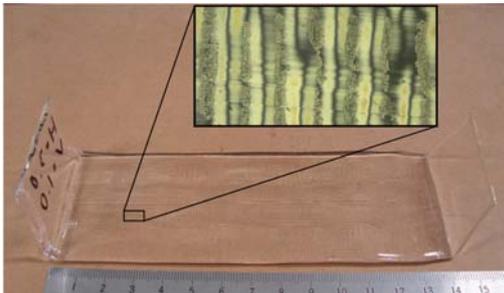


図4 附形されるテクスチャの基本形状 (接触線が直線状である場合)

実際に、Tダイからフィルム状に吐出される熔融樹脂を、その形状を保ったまま冷却平板に接触させて、表面に凹凸形状を発現させてみた。その結果、図4に示すように、接触線形上に対応したほぼ直線の凹凸が形成さ

れること、成形品幅方向に凹凸の位相が揃っていることが確認された。この結果から、本成形法で附形できるテクスチャの基本形状は、冷却板と熔融樹脂の接触線形上を制御することで設定可能であると結論できる。

(2) テクスチャのスケールと形状の制御

フラットディスプレイ用導光板・プリズムシートやフレネルレンズ等の光学部品をこの成形法で製造するためには、附形されるテクスチャのスケールを光の波長オーダー、少なくとも数10 μm 程度にまで小さくする必要がある。また、光学特性を高めるためには、附形形状のアスペクト比が大きいことが望ましい。そこで、本成形法の各種成形パラメータを変化させて、これらがテクスチャの周期と深さに与える影響を検討した。その結果を成形条件ごとに整理して以下に示す。

① 冷却板送り速度の影響

最も微細な凹凸が得られる冷却板送り速度は他の成形条件により変化するが、本実験条件の範囲では図5に示すように、その速度より低速でも高速でも凹凸周期は長くなった。この最適な速度は図6のように成形中に冷却板の送り方向と逆の方向に熔融樹脂を溢れさせない下限値に相当する。

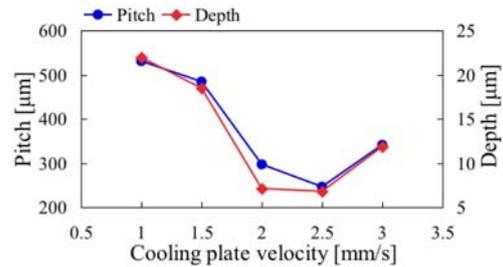


図5 冷却板送り速度の影響

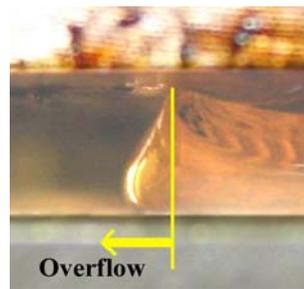


図6 熔融樹脂の溢れ出し

② 押出速度の影響

図7に示すように、熔融樹脂の押出速度を増加させることにより、より微細な凹凸が得られた。これは押出速度が増すことで、冷却板への熔融樹脂の押付け力が増したためであると考えられる。

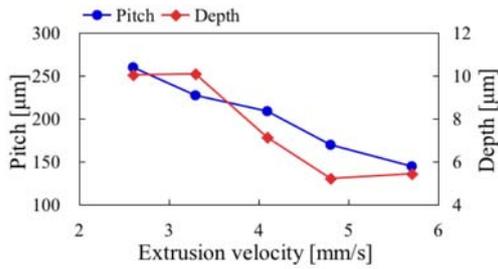


図7 溶融樹脂押出速度の影響

③ 押出温度の影響

図8のように、溶融樹脂押出温度の上昇により、微細でかつアスペクト比も高い凹凸が得られた。これは、接触点におけるそり変形力が増加し、凹深さが増したためである。また溶融樹脂の粘度が低くなるため、押付け力によって容易に変形、再接触するようになり、周期は短くなったと考えられる。

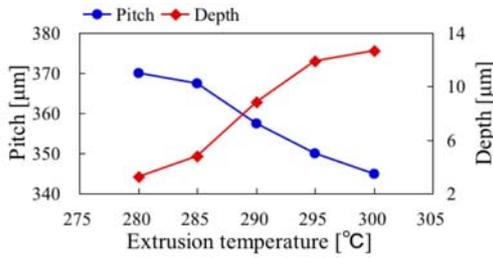


図8 溶融樹脂押出温度の影響

④ 塗布高さの影響

図9に示すように、塗布高さについても最も微細な凹凸が得られる高さが他の成形条件によって変化した。最適な塗布高さは、冷却板送り速度の影響で示した図6の溶融樹脂が溢れない状態において最も低い高さである。

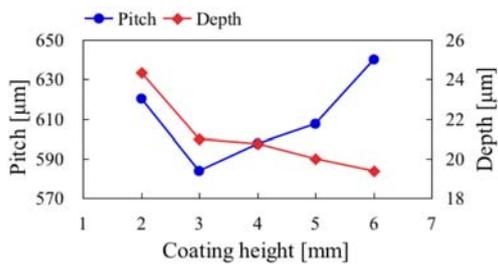


図9 塗布高さの影響

⑤ リップ厚みの影響

図10より、同一成形条件下においてはリップ厚みが厚い方が微細な凹凸を発現させる傾向にある。しかし、リップ厚みが薄い方が塗布高さを低くすることが出来ることを考慮し検討を行ったところ、リップ厚みを薄くし、塗布高さを低くすることでより微細な形状が得られることが明らかとなった。塗布高さの設定に関して特に制限は存在しない

ため、リップ厚みは薄くし、塗布高さを低くすることが、微細な凹凸形状生成に重要と考えられる。

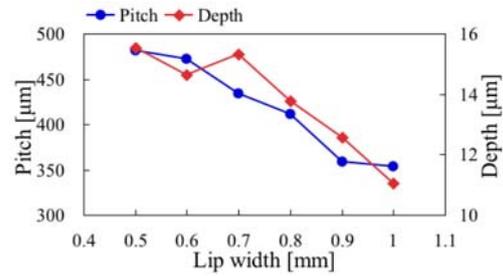


図10 リップ厚みの影響

⑥ 塗布角度の影響

塗布角度は鋭角である程、微細な凹凸が発現したが、そのアスペクト比は低下した(図11)。凹凸が微細となったのは、鋭角である程溶融樹脂の冷却板に対する相対速度が速くなり押付け力が増すためであり、アスペクト比が低くなったのは、押付け力の生じる方向が、そり変形力に対抗する向きになるためであると考えられる。

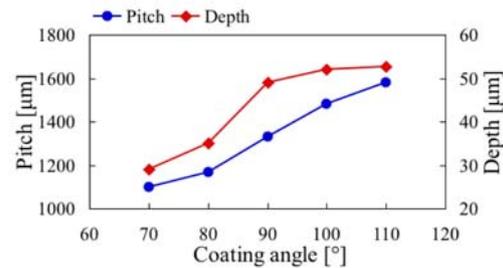


図11 塗布角度の影響

こうした成形条件の違いによる附形形状の変化を総合すると、本成形手法によって附形されるテクスチャのピッチを小さくするためには、溶融樹脂の押出温度をできるだけ高めるとともに、溶融樹脂が冷却板送り方向と逆向きに溢れ出さない範囲で冷却板送り速度を遅く、塗布高さを小さくすることが効果的であり、塗布角度については鋭角にすることが望ましいと言える。また、アスペクト比(深さ/ピッチ)の大きなテクスチャを得るには、押出樹脂温度を高めるのが最も効果的で、他の成形パラメータの影響はあまり大きくないことが明らかとなった。

(3) 附形テクスチャ形状の局所制御

上述のように、本成形原理に基づく微細テクスチャの基本形状は、冷却板に塗布される溶融樹脂の接触線形状によって決まる。しかし、図4に見られるように、附形テクスチャ形状を詳細に見れば、成形現象の揺らぎによる形状の揺らぎが見られ、こうした成形品を光学部品として使用するためには、これらの

揺らぎを局所的に制御・修正する方策を獲得しておくことが望ましい。そこで、本研究課題では、レーザーによって局所的にエネルギーを投入することでテクスチャ形状を局所制御することを試みた。

レーザー照射による附形形状変化の原理には、急加熱・急冷却による材料の密度変化と、基本形状附形原理である冷却板に接触した材料の冷却収縮によるそり変形の温度条件の変化の二つが考えられるが、基礎的検討の結果、前者は高分子材料を対象とすると制御範囲が狭いこと、材料の劣化が生じやすいことなどから、本研究課題では主に後者の原理に基づき制御を試みた。

図 12 は、T ダイから押し出された樹脂が冷却板に接触するまでの間に、その一部に赤外線レーザーを照射したときのテクスチャ形状の変化を比較したものである。この実験では、冷却板送り速度 1 mm/s、押出速度 1.4 mm/s、押出温度 300℃、塗布高さ 5 mm、リップ厚み 2 mm とし、出力 0.65 W の CO₂ レーザーを直径約 4 mm のビームのまま T ダイから押し出された樹脂に直接照射した。その結果、レーザー被照射部にはピッチ約 1100 μm、深さ約 35 μm のテクスチャが形成されたが、レーザー照射部に相当する幅約 4 mm の帯状領域のテクスチャはピッチ約 300 μm、深さ約 40 μm に変化した。これは、成形条件によるテクスチャ形状の変化のうちの熔融樹脂押出温度を高めたことに相当する。すなわち、本成形手法では、附形されつつあるテクスチャ形状の揺らぎを検知して押出樹脂温度をレーザー等で局所制御することで、規定された形状のテクスチャを精度良く得られることが示唆された。

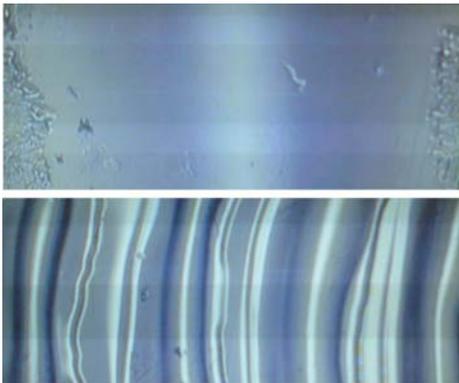


図 12 レーザー照射によるテクスチャの変化
(上：非照射部、下：照射部)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 現段階で該当せず

〔学会発表〕 現段階で該当せず

〔図書〕 現段階で該当せず

〔産業財産権〕 現段階で該当せず

〔その他〕 現段階で該当せず

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 勲 (SATO ISAO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10170721

(2)研究分担者

齊藤 卓志 (SAITO TAKUSHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：20302937

川口 達也 (KAWAGUCHI TATSUYA)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：40376942

(3)連携研究者

なし