
光成形の概要と特徴

～ゴム型で熱可塑性樹脂を成形する試作技術～

栗原 文夫(Fumio Kurihara)

1 開発の背景

光造形が光硬化性樹脂を積層して立体モデルを造形する技術として 1980 年代後半に登場し、多くの積層造形システムが続いた。又、造形モデルをシリコーンゴム型に転写し熱硬化性ウレタン樹脂を注型する真空注型も登場し試作業界は安価・迅速化を競う新時代を迎えた。しかし、いずれの試作モデルも積層の弱点あるいは素材限定等の課題があり、製造日数が掛かりコスト高となる金型を製作し実際の熱可塑性樹脂を射出成形して実用機能評価する必要があり開発期間短縮の足枷となっている。

今回、本稿で紹介する光成形は実際の熱可塑性樹脂を、微粒子状としてシリコーンゴム型内に充填し真空圧縮しながら外部から照射する光で完全に熔融一体化した立体モデルを成形する技術で、最終素材を用いた成形モデルを提供する世界初のシステムである。

シリコーンゴム型は既に真空成形業界で確立している工法で迅速かつ安価に製作が可能であるが、ゴム型を射出成形で使用することは低剛性で耐えられない。光成形技術は①微粒子充填 ②選択加熱 ③真空型締め の三つの新たな工法を考案し組み合わせることでこれまでの概念を覆してゴム型で熱可塑性樹脂を成形するプロセスを達成した。

2 原理

2.1 微粒子充填

光成形のプロセスは熱可塑性樹脂を熔融状態で充填するのではなく固体粒子の状態でゴム型 Cavity 内に充填する。樹脂 Pellet の通常の供給サイズは 3～5 mm であるが、予め標準粒径 700 μ m 程度の微粒子 (Micro-Pellet) にすることで、Cavity 内にはほぼ均等に予備充填することが出来る。熔融後の樹脂は殆ど Cavity 内を流動することがなく、予備充填の段階での均一性は寸法精度にも影響するため、樹脂のマイクロ化は必要なプロセスとなる。Micro-Pellet は嵩比重が 0.4～0.6 程度であるため、Cavity 内にフル充填しても充填量は不足することから、Cavity 構造を工夫し必要な重量の Micro-Pellet を予備充填の段階で全量供給する方式にしている。

2.2 選択加熱

シリコーンゴム型内に予備充填した樹脂を外部から電磁波を照射し内部のみを熔融する新しい技術である。本稿では加熱特性の優れた近赤外線の波長領域である 1000nm 近傍の光線を ABS 樹脂は吸収しシリコーンゴムは透過する例を紹介する。シリコーンゴムと熱可塑性樹脂の近赤外線波長領域の光線透過率を図 1 に示す。シリコーンゴムを透過した近赤外線は Micro-Pellet の表層に吸収され発熱するが、内層には到達せず表層からの熱伝導により昇温すると考えら

れる。シリコーンゴム型は殆ど発熱しないが、Micro-Pellet の表層で発生した熱が内層と同時にゴム型の Cavity 壁面にも熱伝導しゴム型 Cavity 表層を加熱し高温に晒されることになる。その温度は原則的に樹脂の熔融温度まで到達しゴム型の熱劣化に伴う耐久限度や型温ヒーティングに伴う高表面転写性の特徴に係わってくる。ハロゲンランプ照射光のスペクトル分布は広く、シリコーンゴムを透過する近赤外線以外の波長も含まれており、厳密には完全な選択加熱ではなく多少はシリコーンゴムも加熱される。実際は、透過波長に分布ピークを持つハロ

ゲンランプの種類を選択することで効率を上げている。

2.3 真空型締め

予備充填した Micro-Pellet の空隙を完全に除去するため、光成形ではゴム型 Cavity 内を真空引きすることで脱気と同時に大気圧との差圧で型締めし、圧縮された状態を維持しながら樹脂を溶融する。射出成形では大規模な型締め設備を備えるが、光成形では外部型締め設備は不要で、ゴム型内の小さな Micro-Pellet 嵩空間を小型真空ポンプで真空引きするだけで溶融樹脂を圧縮するのに十分な力が得られる。

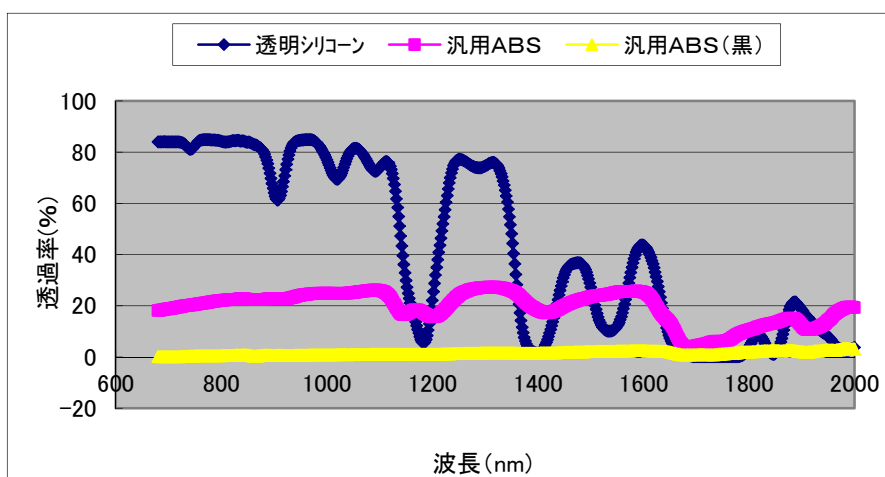


図 1 選択加熱の基本データ（シリコーンゴムと樹脂の分光特性）

3 光成形プロセス

前述の三つの基本技術をベースとした工程を図 2 に示す。

- ① シリコーンゴム型に微粒子状の樹脂を固体状態のまま充填
- ② シリコーンゴム型内を真空引きし、特定波長光を外部照射して熔融温度まで加熱
- ③ 真空停止し冷却

④ 脱型・仕上げ

このプロセスで嵩比重補正した重量分の微粒子状の樹脂が型内に充填され、真空引きによる大気圧差を利用した均一な型締めを受けながら近赤外線加熱される。充填直後は嵩比重分の余剰容積でゴム型は閉じ切らない状態でスタートするが、樹脂溶融とともに減容し全量溶融時に完全に閉じる。

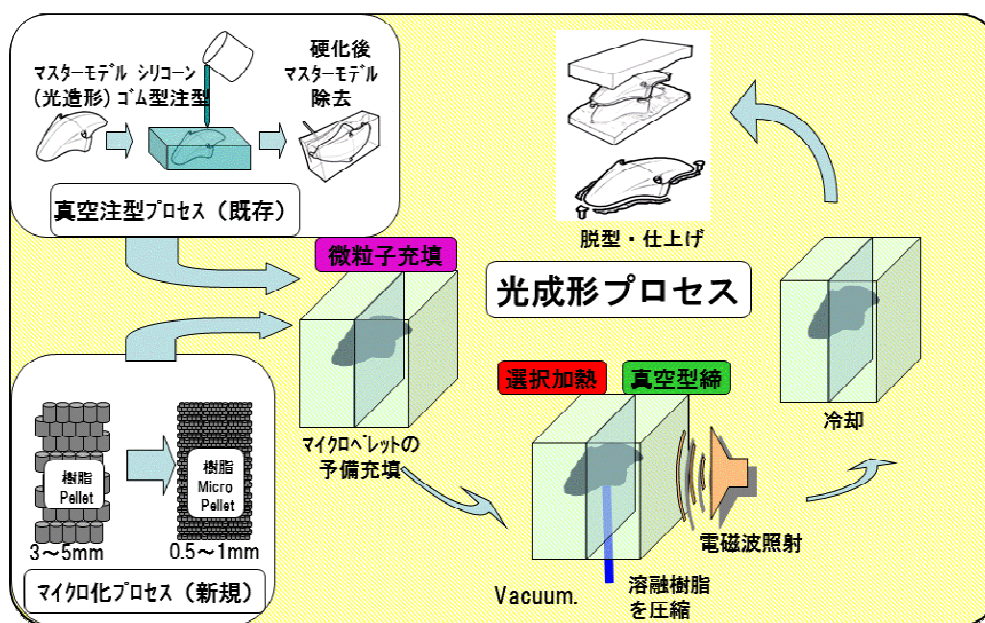


図 2 光成形プロセスの概要

4 光成形成品品の寸法精度

成形品の肉厚精度の実験例を図 3 に示す。ゴム型を圧縮する真空型締め力が均一であることで、小サイズであれば JIS405：寸法許容値の中級レベルである $\pm 0.1\text{mm}$ は達成

できるが、サイズアップに従いゴム型が低弾性率であることと成形時の温度分布による不均一膨張等の影響が出てくるために技術的なノウハウを必要とする。

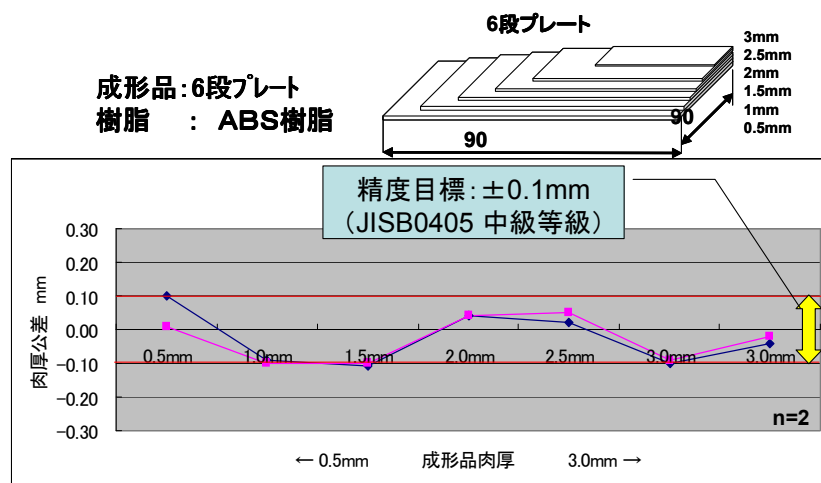


図 3 寸法精度(肉厚)の実験例

5 光成形成品品の物性

樹脂はマイクロペレットの状態で溶融し圧縮を受けて成形されるため、射出成形と比較するとランナー/ゲート/製品部への高

剪断速度流動による配向や充填材破損等のトラブル原因の心配はない。冷却硬化はシリコーンゴムの低熱伝導性のため射出成形等の金型と比較して極めて遅く生産性には

良くないが樹脂には緩和時間が充分与えられ残留歪等の不安定要素もない。樹脂物性を射出成形と比較した例を図 4 に示す。

ABS 樹脂の例では引張破断伸びの低下と耐熱性の向上が目立ち、前者は配向性が影響し後者は冷却緩和時間が寄与している。

樹脂種 グレード	ABS樹脂 テクノABS [®] 150		射出成形	光成形	光成形滞留
引張強さ	ISO 527	Mpa	43	37	
引張伸び	ISO 527	%	18	10	
曲げ強さ	ISO 178	Mpa	68	58	
曲げモジュラス	ISO 178	Mpa	2280	2080	
シャルピー衝撃強さ	ISO 179	KJ/m2	22	24	21
ロックウェル硬さ	ISO 2039	Rスケール	109	111	
加重撓み温度	ISO 75	°C	75	92	

射出成形条件		光成形条件	
射出成形機	日本製鋼所J100E	光成形機	DMEC中型機
成形温度	210 °C	溶融温度	250 °C
金型温度	50 °C	溶融時間	15 分
射出率	10 cc/sec	(滞留品)	30 分)

図 4 光成形品の物性（射出成形との比較）

6 光成形形成品の樹脂種

基本的には、熱可塑性樹脂で近赤外線を吸収する樹脂であれば光成形のプロセスに乗せることが可能である。これまでの実績例を図 5 に示すが、ABS 樹脂を代表とする非晶性樹脂や PP 樹脂を代表とする結晶性樹脂およびガラス繊維等の無機充填剤添加系がある。但し、通常の射出成形と同様に、溶融温度と分解温度の近い成形可能温度範囲の狭い樹脂は、複雑な形状となると成形の難度が増す。

		易	普通	難
製品サイズ(重量)	大 100g超	OA機器筐体 自動車内装部品		高難度の樹脂とは ・成形温度範囲が狭い ・熱劣化・熱分解し易い ・溶融温度が高い
	中 10~100g	キーボード 携帯筐体 試験片 医療部品	光学機器部品 ハーネス 機械部品 携帯筐体 試験片	
	小 10g以下	コネクタ レンズ パイオチップ ナノプリント	コネクタ	
非結晶 結晶	非強化樹脂	ABS PS TPE PC PE PMMA	PP PA-6 m-PPE PLA	PVC ETFE PA-66 PEEK
	強化樹脂	ABS-G PC-G	PA-G PP-CF SPS-G	PPS-G FR/PBT-G LCP-G

図 5 樹脂種と製品サイズによる成形難易度（実績）

7 光成形品の特徴

7.1 ウエルド

射出成形でしばしば問題となるウエルドラインは、複数ゲートから流入する樹脂が成形品内で合流するあるいは孔形状の存在で樹脂流動が分流・再合流する位置で発生する。しかし、光成形の場合ゲートも無く、成形品内で面内流動することも無いことから発生原因である熔融樹脂の合流そのものが無い。従って、光成形では本質的にウエルドラインは発生しない。

7.2 厚肉成形品・肉厚変化のひけ

特にボス・リブ等の局所的に厚肉部を有

する部位の裏面に発生するひけは外観上の課題となる。射出成形におけるひけの発生メカニズムは、型内に圧力が残存している間は樹脂/金型は密着しているがゲート固化後の型内圧力は短時間で大気圧同レベルに達し、その後は密着が解かれ成形収縮となるが、局所的に冷え難い部位は収縮率が大きくひけが発生する。光成形では真空型締めが真空引き停止するまで継続が可能で、圧力レベルは低いがゼロとはならず樹脂/Cavity 間の密着は解かれず局所的収縮も発生しない。収縮の大きな PP 樹脂で厚肉 12mm の成形例の断面を図 6 に示す。

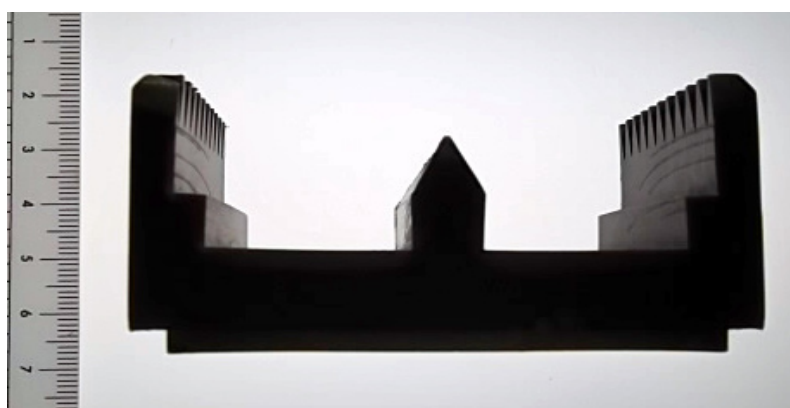


図 6 写真；ひけ・反り無しの光成形品（PP 樹脂：肉厚 12mm）

7.3 表面結晶化度と摩擦磨耗特性

射出成形では結晶性樹脂は充填過程で低温 Cavity 面と接し急速に冷却して表層を形成するため、冷却速度が速く十分な結晶化が得られない。光成形では Cavity 表面のシリコーンゴム温度は樹脂熔融温度と等価で

極めて高く冷却速度も遅いことから表面結晶化度が高い。高結晶化度の表面特性として PP 樹脂の動摩擦係数を比較した例を図 7 に示す。射出(0.5)＞光成形(0.2)と大幅に低下し摺動性・表面硬度の向上が期待される。

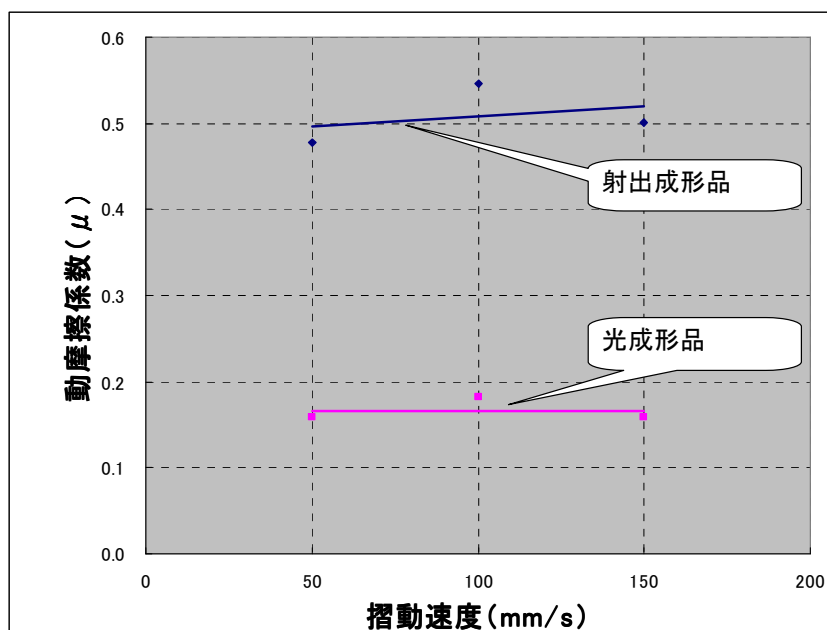


図 7 表面高結晶化による高摺動特性 (PP 樹脂)

7.4 透明成形体の残留歪

残留歪の判定の容易な PS 樹脂の透明成形体の偏光フィルムによる複屈折の観察で射出成形との比較例を図 8 に示す。光成形では成形過程の剪断応力発生が無いことと冷

却速度が遅く充分緩和時間があることから残留歪の目安となる縞模様が観察されない。残留歪が無いことは透明性成形体の光学特性に限らず、塗装・メッキ不良やストレスクラック等のトラブル改善に有効となる。

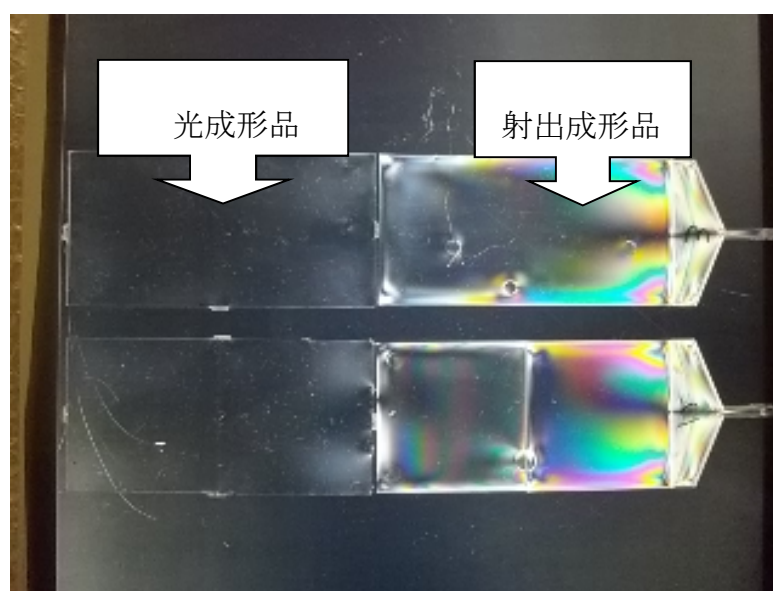


図 8 写真；光成形の無歪成形品 (PMMA 樹脂)

7.5 表面転写性(ナノインプリント)

熱可塑性樹脂の転写性は、型表面の温度と圧力に依存することが知られている。光成形ではシリコーンゴム型表面が樹脂の熔融温度と等価レベルになることで転写しやすいことが予測され、図 9 にはナノインプ

リント評価パターン of PMMA 成形例を示す。数百 nm レベルの表面凹凸構造の転写も確認され、低圧力であっても十分な表面温度であればナノサイズの転写が出来ることを示唆している。

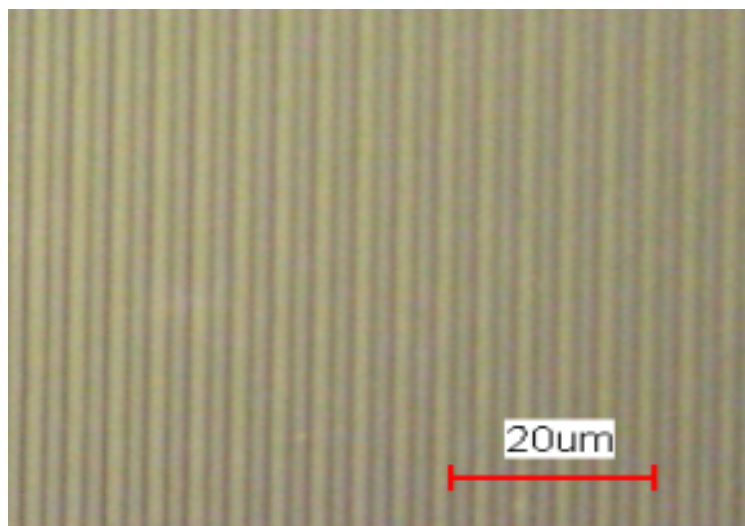


図 9 写真；光成形のナノサイズ凹凸転写表面（PMMA 樹脂）

8 今後の展開

光成形は実物モデルを試作する技術として活用されつつあるが、射出成形では得られない性能が次々と確認されてきた。高付加価値の成形品を得る新たな加工技術として更なる展開を望んでいる。

発表誌

プラスチック 2012 年 4 月号(栗原文夫著)