

# 光成形システムAmolsys<sup>®</sup>

## Photo Molding System Amolsys<sup>®</sup>

株式会社デーメック

### 1 はじめに

光成形は3D-CADから光硬化性樹脂を積層造形する光造形モデルをマスターとして真空成形業界で確立しているシリコンゴム型作成技術を基本とし、熱可塑性樹脂を微粒子状として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溶融一体化した立体モデルを成形する技術である(図1)。

従来の成形試作技術には、積層の弱点や素材限定等に加え、製造日数が掛かり高い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るという課題がある。開発期間短縮の足枷となっている課題を抱えるこれら従来技術への解決策として、多種類の素材が使えるかつ安価な充填式ゴム型を利用するこの技術が開発されたのである。

この最終使用樹脂そのものを用いた成形モデルを迅速かつ安価に提供する世界初のシステム「商品名:Amolsys<sup>®</sup>」を本稿で紹介する。

### 2 開発の背景

プラスチック成形加工業界における製品開発は多彩な熱可塑性樹脂に支えられている。製品開発初期の試作段階においてはその用途に求められる性能を得るための形状・樹脂種の試行錯誤が繰り返されることになる。

試作技術では、1980年代後半に登場した光硬化性樹脂を積層して立体モデルを造形する光造形を皮切りに多くの積層造形システムが続いた。更に造形モデルをシリコ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にも課題があり、開発期間短縮に向いていない。その要求を満たすために、光成形Amolsys<sup>®</sup>を開発した。

### 3 原理

#### 3.1 微粒子充填

光成形のプロセスは熱可塑性樹脂を溶融状態で充填

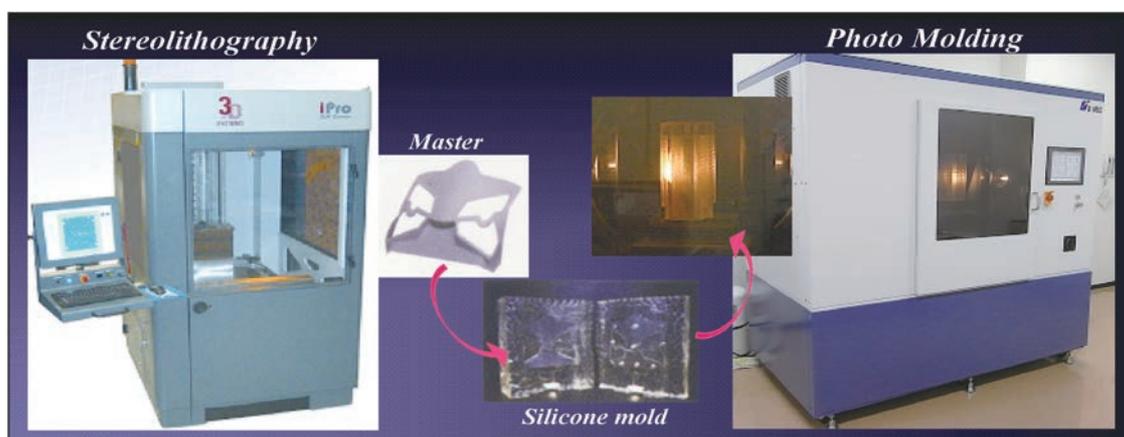


図1 マスターを作るStereo lithography (光造形)。そのゴム型を使ったPhoto Molding (光成形)。

するのではなく固体粒子の状態でごム型キャビティ内に充填する。樹脂ペレットの通常の供給サイズは3~5mmであるが、予め標準粒径700 $\mu$ m程度の微粒子(Micro-Pellet)にすることで、キャビティ内にはほぼ均等に予備充填することが出来る。溶融後の樹脂は殆どキャビティ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、キャビティ内にフル充填しても充填量は不足することから、キャビティ構造を工夫し必要な重量の微粒子を予備充填の段階で全量供給する方式にしている。

### 3.2 選択加熱

この光成形Amolsys<sup>®</sup>は、シリコーンゴム型内に予備充填した樹脂を外部からの電磁波で照射し内部のみを溶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2に示す。シリコーンゴム型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

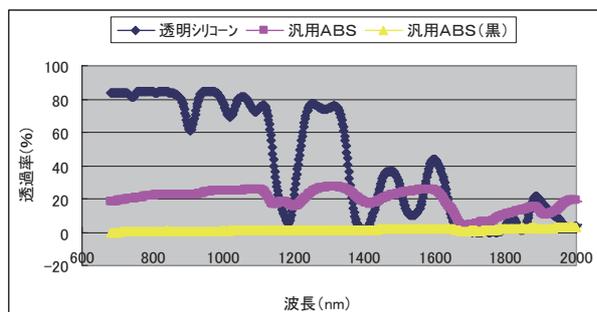


図2 選択加熱の基本データ(シリコーンゴムと樹脂の分光特性)

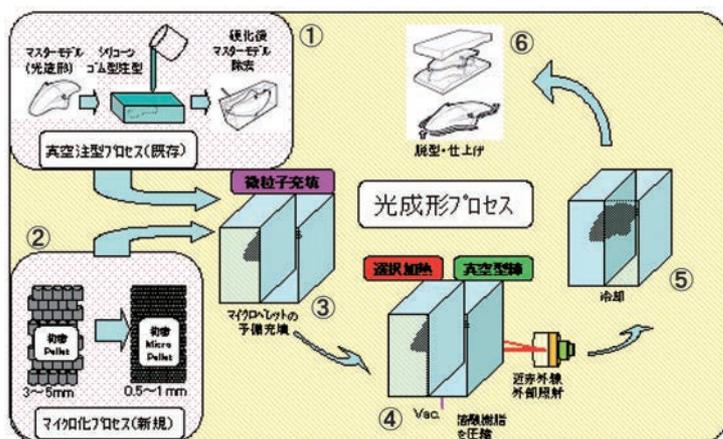
達せず表層からの熱伝導により昇温すると考えられる。シリコーンゴム型は殆ど発熱しないが、Micro-Pelletの表層で発生した熱が内層と同時にゴム型のキャビティ壁面にも熱伝導しゴム型キャビティ表層を加熱し高温に晒されることになる。その温度は原則的に樹脂の溶融温度まで到達する。ゴム型表面が高温となることは、ゴム型の耐久性やナノインプリントが可能な転写性に係わる。ハロゲンランプ照射光のスペクトル分布は広く、シリコーンゴムを透過する近赤外線以外の波長も含まれており、厳密には完全な選択加熱ではなく多少はシリコーンゴムも加熱される。実際は、透過波長に分布ピークを持つハロゲンランプの種類を選択することで効率を上げている。

### 3.3 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、光成形ではゴム型キャビティ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。

このプロセスで嵩比重補正した製品重量分のMicro-Pellet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。予備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。

前述の三つの基本技術をベースとした光成形プロセスを図3に示す。



- ①光造形の三次元積層等による  
マスターモデル作成とシリコーンゴム型作成
- ②最終使用する熱可塑性樹脂の Micro-Pellet 化
- ③シリコーンゴム型に Micro-Pellet を  
固体状態のまま予備充填
- ④型内のみを真空引きし、  
特定波長光を外部照射して溶融温度まで加熱
- ⑤真空停止し冷却
- ⑥脱型・仕上げ

図3 光成形プロセスの概要

#### 4 光成形成品の寸法精度

成形品の肉厚精度の実験例を図4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。

#### 5 光成形成品の物性

樹脂はMicro-Pelletの状態でも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。ABS樹脂について、射出成形から切削したカタログに掲載されている射出成形物性は配向性の影響があることから平板を成形後に試験片を切削した物性と比較し図5に示す。

#### 6 光成形成品の樹脂種

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6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。

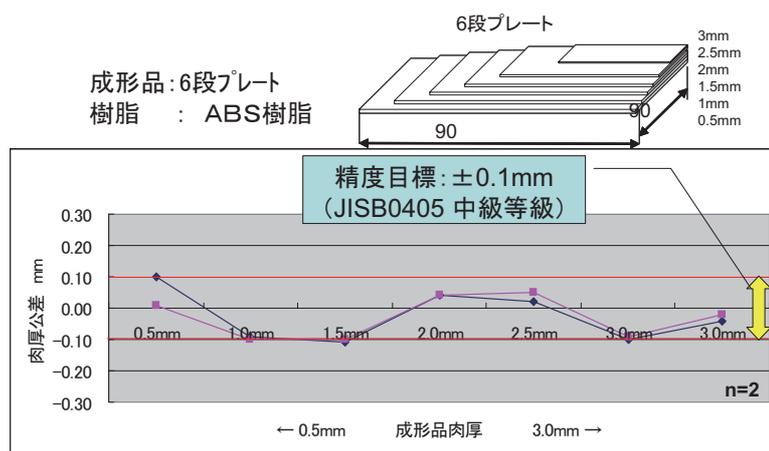


図4 寸法精度(肉厚)の実験例

物性項目	規格	単位	射出成形	光成形
引張強さ	ISO527	Mpa	38	37
引張伸び	ISO527	%	7	10
曲げ強さ	ISO178	Mpa	60	58
曲げモジュラス	ISO178	Mpa	2100	2080
シャルピー衝撃強さ	ISO179	KJ/m <sup>2</sup>	23	24
ロックウエル硬さ	ISO2039	Rスケール	109	111
加重撓み温度	ISO75	℃	75	92

射出成形条件

射出成形機	日本製鋼所J100E
成形温度	210℃
金型温度	50℃
射出率	10cc/sec
金型形状	平板

光成形条件

光成形機	DMEC中型機
溶融温度	250℃
溶融時間	15分
樹脂種	ABS樹脂テクノABS®150

図5 光成形成品の物性(射出成形との比較)

		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 ・熔融温度が高い
	中 10~100g	キーボード 光学機器部品 携帯筐体 試験片 医療部品	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 バイオチップ ナノプリント	コネクタ	
非結晶	非強化樹脂	ABS PC PS PE TPE PMMA	PP PA-6 m-PPE PLA	PVC ETFE PA-66 PEEK
	結晶	強化樹脂	ABS-G PC-G PP-CF SPS-G	PPS-G FR/PBT-G LCP-G

図6 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溶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

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特に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/キャビティ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の成形例の断面を写真1に示す。

### 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キャビティ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。光成形ではキャビティ表面のシリコンゴム温度は樹脂熔融温度と同温度になることで冷却速度も遅いことから表面結晶化度が高い。高



写真1 ひけ・反り無しの光成形品 (PP樹脂:肉厚12mm)

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。

### 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写真2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。

### 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。光成形ではシリコンゴム型表面が樹脂の熔融温度と同温度になることで転写しやすいたことが予測され、写真3にはナノインプリント評価パターンの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

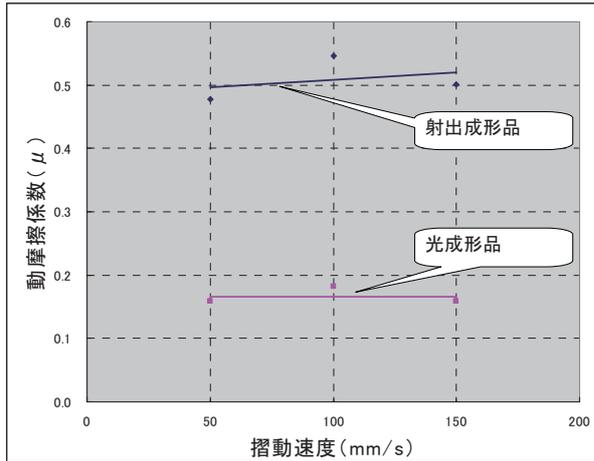


図7 表面高結晶化による高摺動特性(PP樹脂)

あればナノサイズの転写が出来ることを示唆している。

## 8 今後の展開

光成形は実物モデルの試作としてあるいは補償部品等の少量生産として活用されているが、射出成形では得られない高付加価値の成形品を得る新たな加工技術としても注目されつつある。光成形で得られる成形品は、量産品と同じ性能を持つ試作モデルとして車両・OA家電・医療等の多くの分野で実用試験への活用が始まっている。更には、部品毎の長期補償を金型無しで調達し金型維持保管を軽減する手段としてあるいは無歪・高転写等の特徴を活かした光学レンズやナノインプリント成形品を得る新たな加工技術としても注目されつつある。この技術の開発には材料・光学機器・ハード/ソフト等の異業種の技術が結集されており、今後も新たな協力を得て更なる展開を望んでいる。

Amolsys<sup>®</sup>は(株)DMECの登録商標です。

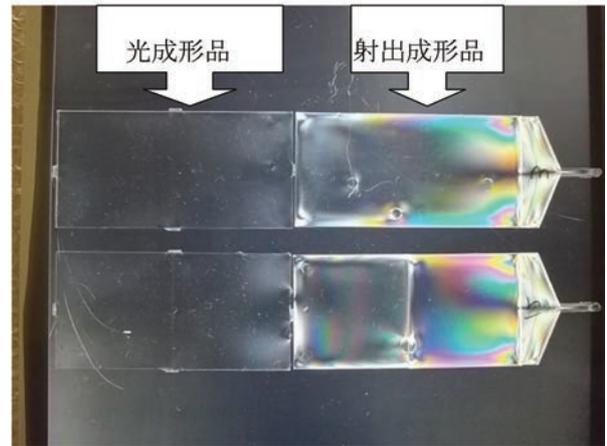


写真2 光成形の無歪成形品(PMMA樹脂)

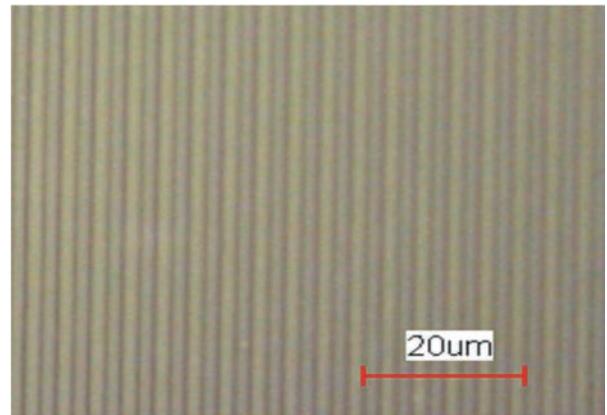


写真3 光成形のナノサイズ凹凸転写(ナノインプリント)表面(PMMA樹脂)