

光造形によるプロトタイプモデルの作製手法

岩越 睦郎 吉成 哲 日高 青志 小林 政義

Making of Prototyping Model using Rapid Prototyping

Mutsurou IWAKOSHI, Tetsu YOSHINARI, Seiji HIDAKA, Masayoshi KOBAYASHI

抄 録

光造形法で作られたモデルには積層加工によるピッチ送りの段差が残ることや樹脂の内部応力による歪み等の問題がある。段差の処理にはサンドブラストと塗装処理を行うことにより寸法精度を保った仕上げができること、又、樹脂の硬化による内部応力による歪みを少なくするには45度、90度法による造形が有効であることが分かった。

1. はじめに

光造形法（ラピッドプロトタイピング）¹⁾は、3次元CADで生成された設計データを等高線上にスライスデータ化し、紫外線レーザー光等を照射し加工していくもので、従来の切削加工方法と大きく異なっている。この方法のメリットは、切削加工では難しかった複雑な形状でも簡単に造形が可能であること、短時間で経済的なモデルの作製が可能になったことにある。しかし、この方法で作られた製品には積層加工によるピッチ送りの段差²⁾が残ることや樹脂の内部応力による歪み等の問題があることによりプロトタイプモデルとしては関係業界内においても用途に限界があると認識されている。本研究では、これらの問題を解明することによりプロトタイプモデルの効率的な作製手法の確立を目的とした。

2. 試験方法

2.1 光造形システム

試験に使用した光造形システムは図-1のような構成である。

3次元CADで作製したデータをSTL（面データ）に変換して、光造形編集機（NTT DATACME TsoupII600GS）に渡し、造形条件を付加して光造形機を駆動させてモデルを造形するものである。光造形編集機には、スライス条件、レ



図1 光造形システムの構成

ーザービーム径の造形条件の設定の他に、寸法の変更、コピー、回転機能等がある。写真-1に、光造形編集機と光造形機を示す。

光造形機で造形されたモデルは、造形中モデルを支える基



写真1 光造形編集機と光造形機

礎となるベースメントとサポートが同時に生成される。図-2にその模様を示す。

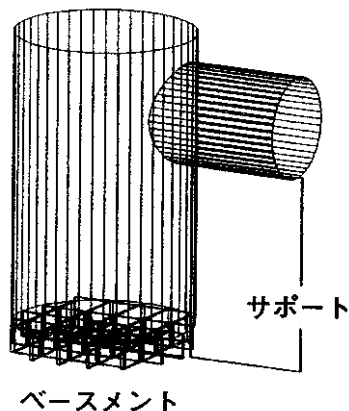


図2 ベースメントとサポート

2.2 光造形モデルの表面性状と歪み測定

光造形モデルはCADによる3次元データの配置の状態によって、作製したモデルの表面性状に違いがでる。その形状は3次元CADデータからのSTL(面データ)をどのようにスライスするかによって決定される。本試験では、150(x)×50(y)×2.5(z)(mm)の平板をベース面にxy面を平行に配置した0度法、y軸を中心に45度傾斜した45度法、90度傾斜した90度法の3種類の配置について、実際に光造形モデルを作製して、表面性状と歪みを光学式のハイスコープ(KH-2400DP)と接触式の3次元測定機(LAYMATIC-PRO)で測定した。3次元測定機で測定したデータは、SURFACERのクラウドの平面度の診断機能を用いてテストピースの平面度を検討した。又、歪みの大きさを比較するためにたわみの大きさを $d = r (1 - \sqrt{1 - \frac{L^2}{4r^2}})$ で求めた。なお、L:弦長、r:曲率である。テストピースと制御計の設定条件を表-1に示す。

表1 テストピースの設定条件

テストピース	配置	スライスピッチ	ピッチ径	レーザー走査速度	アウトライン
A-1	0度法	0.1mm	0.15mm	800mm/sec	有り
B-1	45度法				
C-1	90度法				

2.3 段差の処理

光造形モデルの積層による段差を処理するために、サンドブラストと塗装処理を検討した。サンドブラストは不二製作所のニュープラスターマシン(SGK-4S)で、吹き付け圧は、2kgf/cm²、サンドとしてガラスビーズ#100を使用した。造形モデルと吹き付けノズル間距離は約100mmである。

塗装処理は、エアースプレーガン(WIDER-61)を使用した。塗布量の調整は、テストピースと同時に金属片を塗装して、硬化後の膜厚を電磁膜厚計(DUALSCOPE)で測定して40±3μmの膜厚のものを試験片として採用した。塗料を表-2に示す。

表2 塗料

	商品名	製造元
下塗り	Poly-Auto NSプラサフ	久保孝ペイント
	SUウレタンプラサフェ	関西ペイント
上塗り	SPオート	久保孝ペイント

2.4 試作

2.4.1 3次元測定機による試作

既存のデザインモデルをもとに接触式の3次元測定機(VIVID700)および非接触式の3次元測定機(LAYMATIC-PRO)を用いて、モデルを再現する試みを行った。このため測定したデータをもとにSURFACERで編集後、光造形機で試作品を作製して、寸法、表面性状の違いを比較検討した。

2.4.2 3CADによる試作

3次元CAD(formZ・renderZone)による数値化データを用いて、各種デザインモデルを試作し、CADデータと実際の試作品の寸法、表面性状等を調べた。又、試作品の一部に塗装を施し、段差の処理法、鏡面化の手法等を検討した。使用した塗料は、下塗り：SUウレタンプラサフェ、上塗り：SP-Autoである。

3. 結果と考察

3.1 造形物の表面性状と歪み

試験サンプルとして150(x)×50(y)×2.5(z)(mm)の平板を0、45、90度法で作製して角度別造形法による表面性状と歪み(変形状態)を調べた。写真-2、3に45、90度法で作製したテストピースの表面性状をハイスコープで撮影した画像(約50倍)を示す。

45、90度法については写真で示したとおり極端に大きな凹凸もなく良好な結果を得たが、0度法では大きな凹凸と変形が生じた。

3次元測定機(LAYMATIC-PRO)で測定した90度法によるテストピースの平面度の画像データを図-3に示す。

画像データのひげ状の突起は、仮想平面からのたわみの大きさを現している。最も大きな凸部(最大たわみ)でも、0.19mmで面精度が高いことが分かる。尚、0度法による画像データでは、最大たわみは、1mm程度であった。この

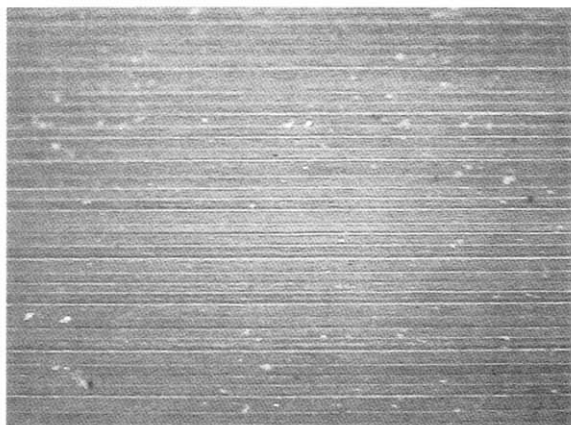


写真2 45度法の表面性状

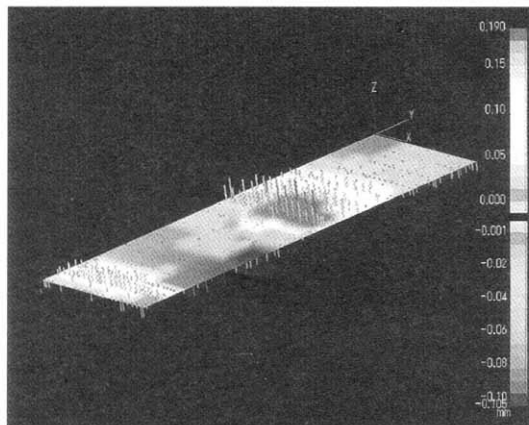


図3 90度法の平面度の画像データ



写真3 90度法の表面性状

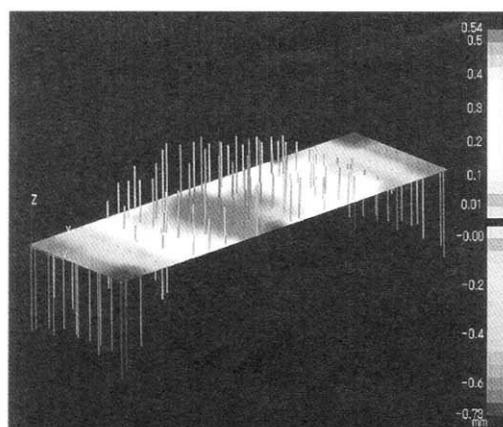


図4 下塗りの平面度の画像データ

凹凸と変形は、コーターとベースメントによる表面張力等の影響が反映されたためと考えられる。ベースメントからの1層目は、平面ではなくベースメントを支点としたたわみが生じている。又、最終の積層層は、コーターの振動等による積層層表面の乱れがそのまま残ることによって考えられる。造形の手法として、積層断面を多くする45、90度法が傷、内部応力の発生の少ない安定した造形物ができると推測される。

又、90度法によるテストピースを用いて塗装処理による歪みを調べた。使用した塗料は、表-2に示した2種類の下塗りであるが、下塗り剤の違いによりたわみに差があることが分かった。大きなたわみが生じたのは、片面に塗布したNSプラサフェのテストピースであった。平面度の画像データを図-4に示す。

最大たわみは、0.54mmであった。ウレタン系下塗りには、4:1タイプ、10:1タイプ等があるが、塗料のタイプによってたわみの生じ方に差があることから、塗料の選択に注意を要すること、又、両面塗布がたわみが少ないことが分かった。

3.2 段差の処理

90度法で作製したテストピースを用いて光造形物の段差の処理手法を検討した。写真-4にサンドブラスト後のハイスコープによる表面性状の画像(約200倍)を示す。積層加工によるピッチ送りの段差が小さくなっていることが分かる。サンドブラスト処理により鋭角面が除去され凹凸が少なくなっている。写真-5に下塗り・研磨(#600耐水ペーパー)後の表面性状の画像を示す。

下塗り・研磨後の表面性状は凹面へ塗料が充填されたことにより、研磨後の面にはゼブラ模様がでている。表面には指覚で感じとれる凹凸はなかった。このことにより、上塗り工程で鏡面仕上げが可能なが分かる。

3.3 試作

自由曲面の簡易な3次元データ化を検討する目的で、非接触式の3次元測定器(VIVID700)を用いて、モデル(イルカ:60×30×30(mm))の数値化を試みた。測定は、Z軸に対してデザインモデルを60度づつ回転させ、360ドットのクラウドデータ・6ショットを取得して、SURFACERの自動フィット機能を用いて一体化編集を行った。その後、そのデータをSTLデータに変換して光造形機で造形後、デ

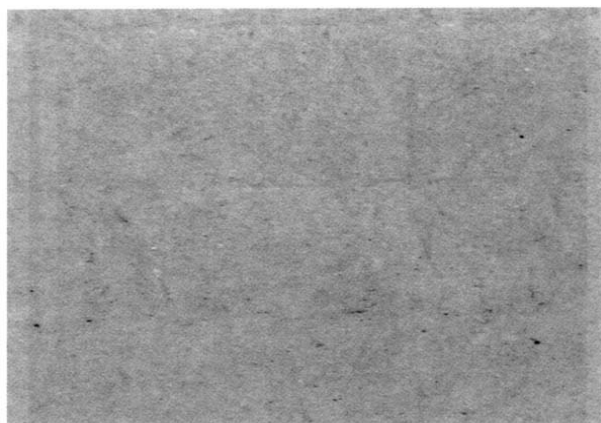


写真4 サンドブラスト後の表面性状

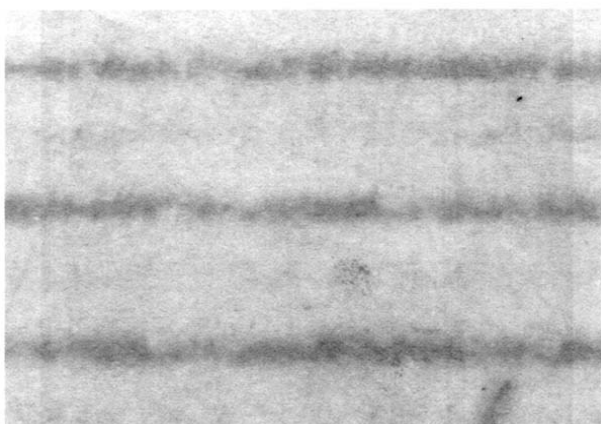


写真5 下塗り・研磨後の表面性状

デザインモデルと造形モデルの形状等の違いを比較検討した。デザインモデルの表面は、測定光源からの光の反射を一定化するために、白色の全艶消し塗装を行ったが、目、尾等、3次元測定器のレンズ面から鋭角となる部分は、乱反射が生じ正確なクラウドデータの取得ができなかった。しかし、レンズ面に対して鈍角な緩やかな曲面は、比較的正確なクラウドデータの取得ができたと考えられる。図-5に編集後のSTLデータと図-6にシェーディング後の画像を、又、写真-6に光造形による造形モデルを示す。尚、作製したモデルは造形機の造形精度を確認する目的で、実寸の1/3（全長2cm）とした。

自由曲面の簡易な3次元測定はこれらの手法でも可能であることが分かる。なお、クラウドデータ化できなかったモデルの目の部分については、編集段階で付加した。

次に、3次元CAD（formZ・renderZone）による数値化データを用いて、各種デザインモデルを試作し、CADデータと実際の試作品の寸法、表面性状等の違いを調べた。又、モデルに塗装を施し、段差の処理法、鏡面化の手法等を検討した。写真-7に鏡面仕上げしたモデル（ケース）を示す。

このポリゴンデータと光造形機で作製したモデルの寸法を、ノギス、3次元測定器（LAYMATIC-PRO）で測定して

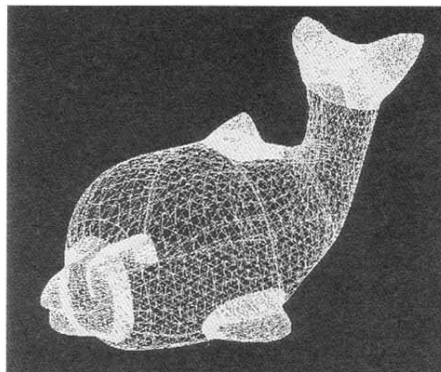


図5 編集後のSTLデータ

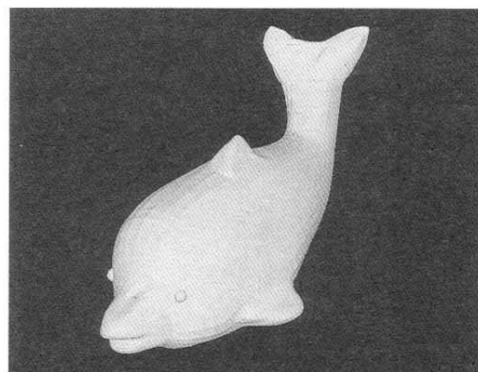


図6 シェーディング画像

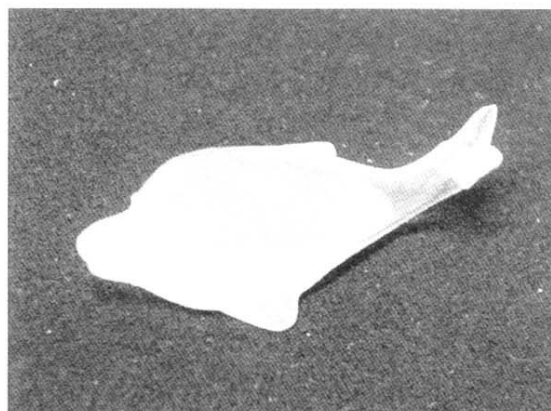


写真6 造形モデル（全長2cm）



写真7 鏡面仕上げしたモデル（ケース）

比較検討したが、モデルは、1/10mmに近いレベルでポリゴンデータの数値を反映していることが確認できた。又、同一モデルを鏡面化するために、塗装処理を施した。塗装の下地処理として、サンドブラストと未処理のものにブラサフェを下塗りしたが、段差の処理にはサンドブラストが有効であった。又、下塗り後の研磨では、研磨材の使い分けが必要であるように思われた。このモデルの研磨には、曲面は耐水ペーパー（＃600）と平面用としてクリスタル砥石（＃600）を使用した。耐水ペーパーに当て木を当てる方法では、エッジ部の仕上がりが悪いことが分かった。

次に、椅子の座面を3次元測定器（LAYMATIC-PRO）で測定して数値化したデータをもとに、光造形機で0度法と45度法で作製し、造形モデルの表面性状、寸法精度を比較検討した。写真-8に0度法と45度法の外観を示す。尚、このモデルは表面性状を明確化するために下塗りを施した。

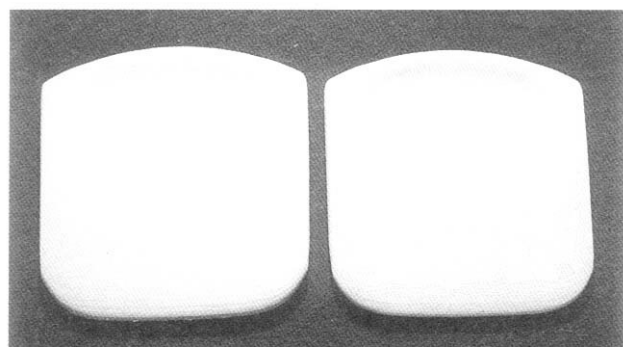


写真8 0度法と45度法の比較（座）

この造形モデルは、積層ピッチ送り0.1mm、ビーム径0.2mmの同一条件で作製したが、0度法による造形モデルは積層断層の傾斜が緩やかな部分にピッチ送りの段差がそのまま表面に現れ凹凸の大きい表面となったが、45度法の場合は滑らかな表面となった。このことから、積層段差の緩やかなモデルは45度法が精度の高い造形ができることが分かった。尚、外寸の寸法精度には相違はでなかった。

一般製品への応用性を見るため、企業等で作られている自由局面をもつ製品や外装部品を本造形機を用い試作した。写真-9に、各種の光造形モデルを示す。

このように、ワイングラス、バルブ、PHSと今までの切削加工では難しかった加工が、短時間に、しかも高精度に行え、表面処理によりプロトタイプモデルとして、外観、色彩等の面から利用することができることが分かった。今後の展開として、各種成形技術への応用展開が期待される。

4. まとめ

試験結果をまとめると次のようになる。

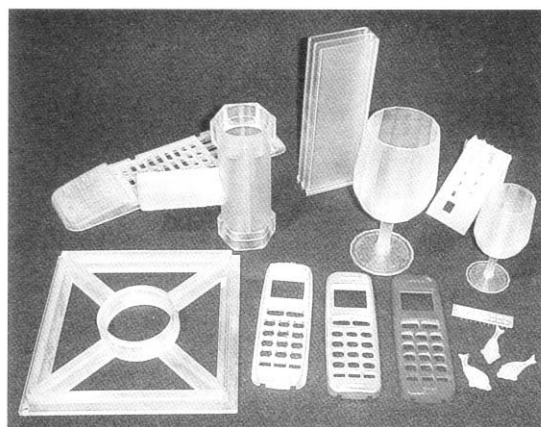


写真9 試作した各種光造形モデル

- 1) 光造形法で作られたモデルには積層加工によるピッチ送りの段差が残るが、サンドブラストと塗装処理を行うことにより寸法精度を保った仕上げができる。
- 2) 今回行った対象物については、樹脂の硬化に伴う内部応力で生じる歪みを少なくできることから、45度、90度法による造形が有効である。
- 3) 光造形物の塗装による変形を防止するには、両面塗装が有効な方法である。又、塗料によって変形を起こす度合いに相違があるので塗料選択には注意を要する。
- 4) 光造形物の鏡面仕上げの平面用研磨材としては、クリスタル砥石がシャープな面仕上げとなる。
- 5) 光造形モデルは、寸法精度が高く、プロトタイプモデルとして使用可能なことが分かった。

参考文献

- 1) 早野誠治, プラスチック成形技術 9～11, 4, 1994
- 2) 岩越睦郎, 塗装工学, 30, No9, 1995