

光造形による着色造形手法の開発

岩越 睦郎, 小林 政義, 三戸 正道

Development of the Coloring Molding Technique by Rapid Prototyping.

Mutsuro IWAKOSHI, Masayoshi KOBAYASHI
Masamichi MITO

抄 録

製品モデルチェンジの短期化がますます顕著になっていく中で、企業のデザイン現場の試作（プロトタイプ）では注型、真空成形、塗装といった後工程に多大な時間と労力を費やしており、その問題解決が急務となっている。本研究では、この問題解決のために、デザインの重要な要素である色彩を精巧かつ効率的に実現する光造形技術に関する研究を行った。本報では、着色造形用タンク、コータ、増量剤、着色剤、試作等について報告する。

キーワード：光造形，着色，増量剤，モデル，測色

1. はじめに

IT 機器、家電、自動車等の多くの産業では、消費者の志向多様化・個性化、企業間の市場激化を背景とした製品モデルチェンジの短期化により、企業の製品開発部門には迅速・低コスト化が強く要求されている。この要求に対応するために、デザイン開発部門を中心として、光造形等の RP 装置の導入が進んでいる。しかし、メーカーサイドの RP 装置開発の現状は、造形速度向上、微細造形化に向かっているために、デザイン現場の試作（プロトタイプ）では注型、真空成形、塗装等の人力による後工程に多くの時間と労力を費やしている。

本研究では試作・デザイン現場で問題となっている後工程作業の効率化を目的として、デザイン性に優れた製品開発を迅速・低コストで行える、光造形によるプロトタイプモデル作製技術の開発を行った。本報では、着色造形用タンク、増量剤、着色剤、試作等について報告する。

2. デザインの基本的な要素と光造形

デザインの基本的な要素としては、次の3つの要素が挙げられる。

①形 態：寸法，形状

②色 彩：色相，明度，彩度，光沢，透明感

③テクスチャー：物質から受ける組成的な感じ（材質感）
模様，感性

現在の光造形を中心とした光造形装置は造形速度、造形精度の向上が著しく、製品のプロトタイプモデル作製において、①形態のデザイン要求項目をほぼ満たすまでに至っている。

本研究では、上記デザイン要素の中で②色彩のあるプロトタイプモデルを精巧かつ効率的に実現する光造形技術に関する研究を行った。本研究で使用した光造形装置とその仕様を図1、表1に示す。



図1 光造形装置（Rapid Meister-2500S）

表 1 光造形機仕様

レーザーユニット
・Ld 励起個体レーザー発振波長 355nm
・出力：500mW 以上
レーザー走査機構
・最大走査速度：8,400mm/Sec
・硬化径：φ 0.05 ～ 0.6mm
リコータユニット
積層厚さ：0.05 ～ 0.1mm

3. 着色試験用樹脂タンク、コータと増量剤

一般的な光造形機装置は、形状モデルの作製が目的であるために造形タンク容量が大きい。

本試験に使用した光造形機 (Rapid Meister-2500S) の標準仕様の造形タンク容量は 60 リッターである。本試験では、試験樹脂の低減化を図るために、造形エリアの小さい (X × Y × Z : 12 × 12 × 6 (cm)) 12L 型の樹脂タンク (12 リッター) と 12L 型のコータ (12cm) を使用した。更に、増量材としてガラスビーズ (φ3mm) を造形部以外 (タンク底面) に使用して更なる造形樹脂の低減を図った。その結果、約 4 リッターの樹脂量での造形可能となった。図 2, に小型の樹脂タンク、図 3 に増量材の顕微鏡画像を示す。



図 2 12L 型樹脂タンク



図 3 12L 型コータ

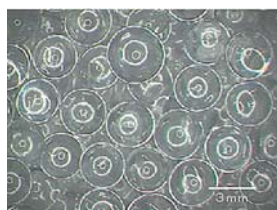


図 4 増量剤

着色樹脂の交換は、造形タンク下部の排出バルブを使用する方法と、タンクごとの取り替えによりスムーズな樹脂交換

が可能である。樹脂量低減のために使用した増量材は、図 4 に示した様な球状形状をしている。又、増量材の比重が 1.8 と造形樹脂 (1.1 ～ 1.4) より少し重いことによりタンク内部を稼働する造形テーブル等の動きを障害しないことが確認できた。

4. 着色造形試験と着色剤の変色試験

4.1 着色造形樹脂

一般的に市販されている着色剤 (染料系, 顔料系) の中から透明性の高い造形樹脂 (アクリレート系) に適合性 (分散安定性等) のある樹脂を選び出し、染料系は 30w%, 隠ぺい力の強い顔料系は、1.5w % に希釈して色原液として使用した。表 2 に着色剤を示す。

表 2 着色剤

	色 (製品番号)
染料系着色剤	青色 (DYE-B), 赤色 (DYE-R) 黄色 (DYE-Y), 茶色 (DYE-BR) 黒色 (DYE-BL)
顔料系着色剤	青色 (ET-507), 赤色 (ET-306) 黄色 (ET-203), レモン (ET-204) 黒色 (ET-602), 白 (ET-102)

4.2 造形試験

表 2 に示した着色剤の色原液、及び色原液を更に希釈したものを用いて、平板、マウス形状等を造形した。表 3 に造形条件を示す。

表 3 造形条件

表面照射出力：300mw
走査速度：1,000 ～ 3,500mm/Sec
硬化径：φ 0.2mm
積層厚さ：0.05, 0.1 (mm)

図 5, 6 に造形後の様子と造形品を示す。

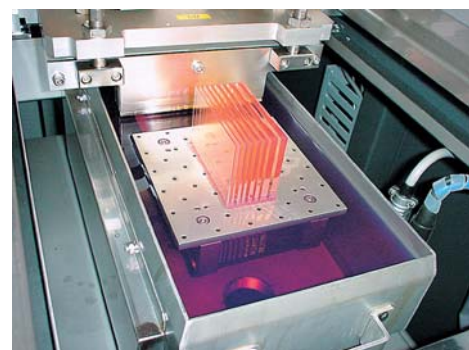


図 5 造形後



図6 造形品

造形試験の結果、着色造形樹脂の種類（染料、顔料）、又は、色及び着色濃度によって造形条件の設定が必要なこと、特に、隠ぺい率（非透過度）が高い顔料系においては高エネルギー照射の設定が必要であることが分かった。設定条件が不適切な場合は、造形不良（硬化不良、変形等）となった。今回使用した、染料系、顔料系の色原液は、造形条件で最大の高エネルギーの条件である、表面照射出力：300mw、走査速度：1,000mm/Sec、硬化径：φ0.2mm、積層厚さ：0.05（mm）においては硬化不良は生じなかった。しかし、着色造形樹脂の硬化前と硬化後において色変化が見られた。

4.3 着色剤の変色試験

4.2の造形試験の結果、着色造形樹脂の硬化前と硬化後において色変化が見られたので、表2に示した着色剤の色原液を用いて着色造形樹脂の硬化前と硬化後の着色造形樹脂の変色試験を行った。変色値は、硬化前と硬化後の色を測色計（ミノルタ 306d）で測定して、分光反射率、Lab、 ΔE^1 から求めた。尚、 ΔE は、ハンターの色差式による色差から求めた。ハンターの色差は次のとおりである。

$$\Delta E = \{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2\}^{1/2}$$

ここに、 ΔE ：ハンターの色差式による色差

ΔL , Δa , Δb ：ハンターの色差式における二つの表面色の明度指数 L 及びクロマティクネス指数 a , b の差

今回使用した着色造形樹脂は隠ぺい率が低いことを考慮して、反射材として標準白色板を使用した。

詳細な手法は次のとおりである。

色原液をフィルムアプリケータ（BAKER R149）を用いて0.05mmになるように透明の0.2mmのPETフィルムに塗布して2枚のテストピースを作製した。1枚はその状態で塗布表面を測色して、硬化前の資料とした。他方のテストピースは、光造形装置のデフォルトの位置にセットして、予め作製した1層造形データによりレーザーを照射して塗布材を硬化させ、硬化後の資料とした。着色造形樹脂の硬化条件は、表面

照射出力：300mw 走査速度：1,000mm/Sec、硬化径：φ0.2mmである。

図7、8に染料系と顔料系着色剤の分光反射率曲線、表4、5にLab、 ΔE の試験結果を示す。図7の染料系着色剤は、黄色、黒色を除き硬化前と後において大きく変色していることが分かる。特に青色は、表4の色差が硬化前と後で $\Delta E = 39.79$ と大きく、 a , b は無彩色方向に変化していることが分かる。

次に大きく変色した赤色は、 $\Delta E = 23.65$ で、 b は、15.11と黄変していることが分かる。茶色も a , b の値は、赤みが増し、黄変していることが分かる。黄色、黒色については、色

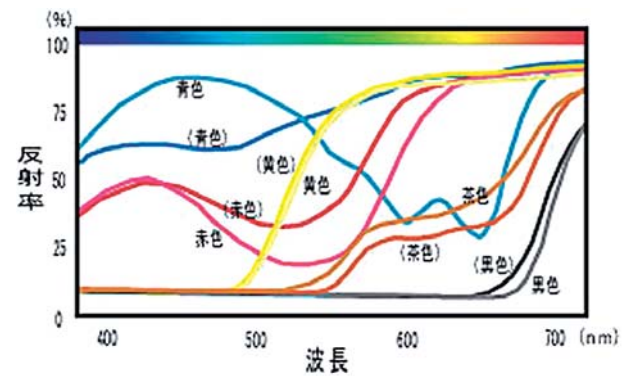


図7 染料系着色剤の分光反射率曲線

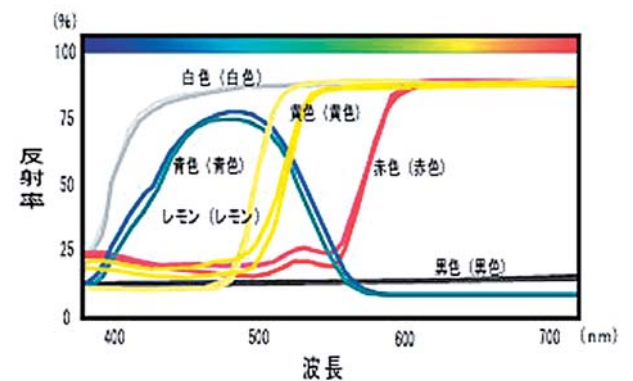


図8 顔料系着色剤の分光反射率曲線

表4 染料系着色剤の変色試験結果

	L	a	b	ΔE
青色	82.59	-16.64	-20.58	
(青色)	89.96	6.12	11.21	39.79
赤色	66.24	45.15	-9.01	
(赤色)	76.93	30.43	6.10	23.65
黄色	82.36	13.67	78.14	
(黄色)	83.58	12.34	79.72	2.40
茶色	48.29	25.02	21.99	
(茶色)	53.32	36.13	29.95	14.56
黒色	33.25	0.22	-3.63	
(黒色)	33.95	0.74	-3.55	2.68

()：硬化後

表 5 顔料系着色剤の変色試験結果

	L	a	b	△E
青色	63.26	- 39.57	- 35.29	
(青色)	65.31	- 42.06	- 33.79	3.56
赤色	69.50	43.21	34.72	
(赤色)	71.39	38.85	34.30	4.77
黄色	87.13	5.65	67.49	
(黄色)	88.06	3.14	62.18	5.95
レモン	90.96	- 9.53	81.90	
(レモン)	91.27	- 9.85	80.40	1.57
黒色	43.81	0.60	0.72	
(黒色)	43.63	0.79	1.44	0.77
白色	95.45	- 1.31	3.87	
(白色)	95.19	- 1.57	4.58	0.80

() : 硬化後

差△Eも3以下であり比較的安定していると考えられる。

図8の顔料系着色剤は、黄色が△E = 5.95, 赤色が△E = 4.77とやや変色しているが、Labの値が全体的に変化していることから白化方向に変色していることが分かる。染料系と顔料系を比較すると、顔料系が全体的に安定した着色効果が

得られやすいと考えられる。

5. まとめ

試験の結果をまとめると次のようになる。

- 1) 光造形による着色試験に適した小型タンクを開発した。
- 2) タンク内に増量剤を充填することにより造形樹脂の大幅な削減が可能となった。
- 3) 光造形樹脂に着色剤を混入した着色造形は、着色剤の種類、濃度によって、造形条件を適性化することが必要である。
- 4) 光造形のレーザー光により、染料系の青色、赤色は大きく変色し、着色造形には不適であると考えられる。
- 5) 着色造形に使用する着色剤は、顔料系が安定した着色効果が得られることが分かった。

参考文献

- 1) 日本色彩学会編, 新編色彩科学ハンドブック, p266 (1998)