

## スプレー式多色光造形システムの開発

岩越 睦郎, 安田 星季, 小林 政義, 三戸 正道, 金井 理\*, 岸浪 建史\*

### Development of a Polychrome Stereolithography System using a Spray

Mutsurou IWAKOSHI, Seiki YASUDA, Masayoshi KOBAYASHI  
Masamichi MITO, Satoshi KANAI\*, Takeshi KISHINAMI\*

#### 抄 録

試作品の部品等の着色造形物を光造形で直接作るシステムの開発を行った。このシステムは、デザイン、試作現場の工程削減に貢献するものである。これまでの光造形が造形面に対しコータで樹脂供給と平滑化を行っていたのに対し、本システムは、スプレー方式を既存の造形システムに取り付けることにより樹脂供給と平滑化を行った。このことにより、コータ方式より合理的に、造形テーブル上の任意の位置に着色造形物を作ることが可能となった。

キーワード：光造形，着色樹脂，顔料，スプレー

#### Abstract

In this study, we developed a new type of stereolithography machine that can directly fabricate colored models such as parts for prototypes. This system can contribute significantly to shortening the complicated processes for design and prototyping of colored models. Instead of using a coater to smooth and spread photopolymer resin on the forming surface of models, we used a recently developed resin sprayer system that we attached to an existing stereolithography machine. With this sprayer system, we can fabricate colored models on the optional section of a forming table of the machine more efficiently than with a resin coater system we developed previously.

KEY-WORDS : stereolithography, colored resin, pigments, spray

#### 1. はじめに

光造形装置は、一般的な試作品製作機器として定着しているが、デザイン、試作現場では、着色の試作品の最終的な仕上げを、今だ塗装、真空注型に頼っているのが現状である。その理由は、現在の光造形装置は指定色の造形ができないことによる。塗装、真空注型は、専用の設備がいるために、

それらの設備がない現場では外注に頼っており、コストと納期がかかることが問題となっている。着色造形の先端的な研究開発として、Petillon et al. や Y.G.Im et al. のものがあるが、これらは、スケルトン、エナメルといったデザイナーが要求する高品位な造形を作製できるまでに至っていない。

我々は、これらの問題を解決するために、外部の樹脂タンクから着色コータにより着色樹脂を造形面に供給する着色造形方法を開発し、RP2005<sup>1)</sup>で紹介した。しかし、この手法は、造形面に対して、全面的に着色樹脂を供給するもので薄肉の造形形状においても着色樹脂が大量に必要であり、非効率であった。又、任意の造形面に色違いの造形物を作製することができないなどの欠点があった。そこで、それらの問

\* 北海道大学

\* Hokkaido University

事業名：受託研究

課題名：「札幌ITカロッツェリアの創世」次世代デジタルスライディング研究開発プロジェクト

題を解決する新たな手法として、造形面の周辺にだけ着色樹脂を供給するX-Yロボットを用いたスプレー式多色造形システムを考案した。本報告は、着色コータ方式を改善し、発展させたものである。本報のスプレー式多色造形システムは、着色コータ方式に比べて、造形に必要な使用着色樹脂を大幅に削減でき、任意の造形面に色違いの造形物を作製できる。又、造形面に樹脂を供給するスプレーが非接触であるので、簡単な部品のインサート造形が可能で、洗浄が簡単なことなどのメリットがある。更に、着色樹脂を供給するスプレーバルブが数台、X-Yロボットに付属しているので必要時に容易に脱着ができるもので、汎用性が高いと考えられる。

## 2. 装置

### 2.1 光造形装置の基本仕様

本研究で使用した市販されている光造形装置 (CMET RapidMeister-2500) とスプレー式多色用X-Yロボットを図1に示す。この装置の基本的なシステムの構成を図2に示し、その基本的な装置の特性を図3に示す。



図1 光造形装置とスプレー式着色X-Yロボット

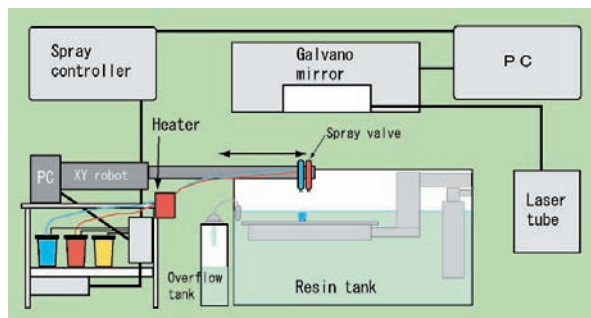


図2 スプレー式多色造形システムの構成

|                                     |
|-------------------------------------|
| Laser unit                          |
| • Oscillation wave length :355nm    |
| • Output: 500mW                     |
| Laser scanning mechanism            |
| • Maximum scanning speed: 8400mm/s  |
| • Curing diameter: φ 0.05 - 0.6 mm  |
| Coater unit                         |
| • Laminating thickness:0.05 - 0.1mm |

図3 装置の特性

図2の多色光造形装置のシステム構成に示したように、樹脂タンク上の造形面には、光造形機内部のPCからの指示によりX-Yロボットのスプレーバルブから着色樹脂が供給される仕組みになっている。X-Yロボットの動きは、X-Yロボットの専用プログラム作成ソフトによって準備したものを使用している。造形物の色は、スプレーバルブから供給される色になるが、多色造形を行うには、スプレーバルブ用樹脂タンクに事前に数種類の着色樹脂を準備する必要がある。この着色樹脂の種類により、スケルトンとエナメルのような着色造形物の製作が可能となる。本システムは、着色樹脂の供給が光造形の樹脂タンクに対して、外部供給方式なので、供給された着色樹脂の量調整は、液面調整シリンダーとオーバーフロータンクにて行う。この調整により造形面の位置が正確に保たれている。

### 2.2 塗布装置と着色樹脂の低粘度化

本システムで使用したスプレーバルブを図4に示す。

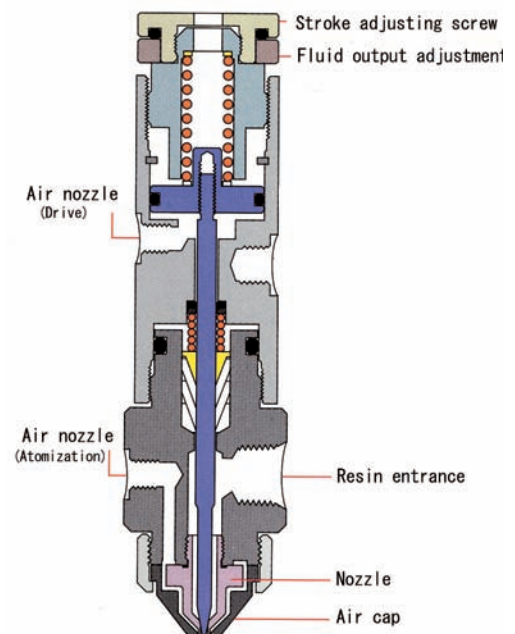


図4 スプレーバルブ

このスプレーバルブは、低圧型のエア－霧化方式で、スプレーバルブ用樹脂タンクから圧送された樹脂をエア－ノズル部で霧化して噴出する。ノズルから噴霧するパターンはノズルとエア－キャップを交換することによりラウンド(丸形状)とファン(扇形状)を選択することができる。本研究では、X-Yを同じ状態で塗布するためラウンドを選択して、使用した。塗布量と霧化粒子の大きさは、タンクの圧送圧力とエア－ノズル圧力と塗布量ガイドの調整、噴霧する着色樹脂の粘度によって決定される。

造形面へスプレー式で均一な塗布平面を得るには、着色樹脂の低粘度化が必要である。噴霧樹脂を低粘度化することにより、低圧力で着色造形樹脂の霧化が可能となる。使用した着色樹脂の濃度を表1、着色樹脂の温度 - 粘度の関係を図5に示す。

表1 着色樹脂

| 顔料名        | 顔料濃度 (%w t) |
|------------|-------------|
| ホワイト       | 1.1         |
| 蛍光エロー      | 1.0         |
| スカーレット     | 1.0         |
| シャイニンググリーン | 2.0         |
| スペシャルブルー   | 0.5         |

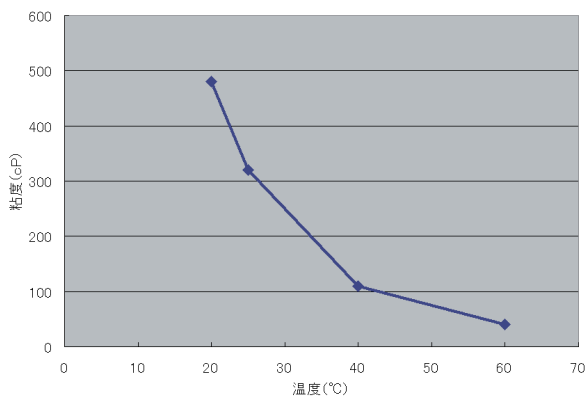


図5 着色樹脂の温度－粘度の関係

この着色樹脂が色により顔料濃度に違いがあるのは、光造形のレーザによる硬化挙動を同一化するためである。又、粘性面では、顔料濃度が2%以下と低いため、粘性では同一視できる。図5に示すとおり、着色樹脂は、20において約500cpi、40を越えると粘度が100cpi以下になることが分かる。

本システムでは、着色樹脂を低粘度化するために、専用のヒータを試作して使用した。このヒータによりスプレーバルブに供給される着色樹脂を恒温(30～60)に設定することができる。図6にそのヒータの構成を示す。

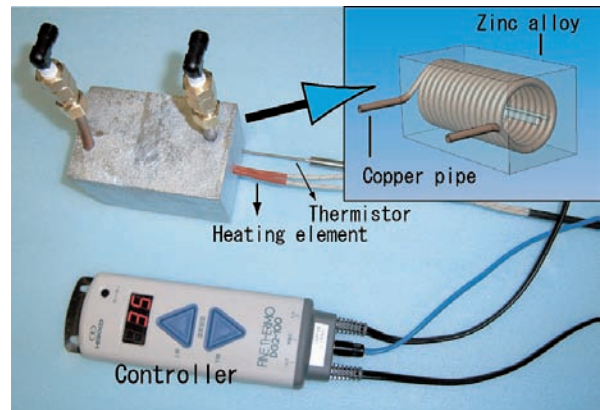


図6 ヒータの構成

### 3. 塗布試験

本システムは、光造形機内部においてスプレー塗布を行うために、装置内部の着色樹脂のスプレーによる飛散を極力低減しなければならない。その理由は、飛散樹脂による装置内部の汚染防止である。圧送圧力と塗布量ガイドとエア－ノズル圧力の調整、X-Yロボットの駆動の適正化を行った。

#### 3.1 スプレーバルブの調整

図7に、スプレーバルブ用樹脂タンクの圧送圧力と塗布量値ガイド - 塗布量の関係を示す。

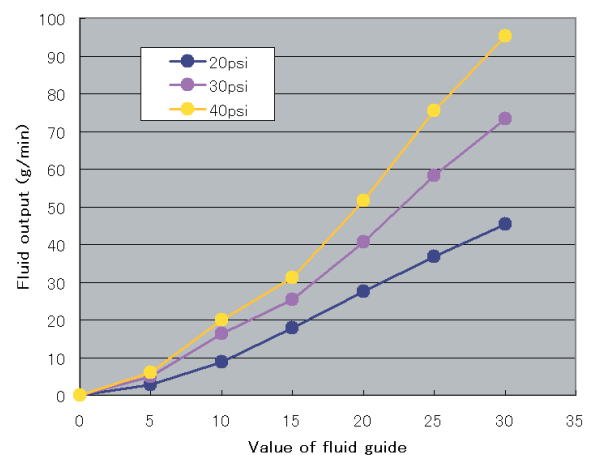


図7 スプレーバルブ用樹脂タンクの圧送圧力と塗布量値ガイド－塗布量の関係

飛散に関するエア－ノズル圧力は、塗出量とは無関係なので0.2Psiと一定にした。

圧送圧力と塗布量ガイド値の値が大きくなると塗布量も大きくなるが、塗布量は、塗布量ガイド値が5を越えると圧送圧力と塗布量ガイド値でほぼ直線関係であることが分かった。造形面への塗布量の調整は、これらの関係とX-Yロボットの駆動スピードとパターン幅から算出できる。

エア－ノズル圧力は、塗布する着色樹脂の粒度に関係す

る。エアノズル圧力が高いと霧化される着色樹脂の粒度径は小さくなるが、高すぎると霧化された着色樹脂が造形面に付着しないで浮遊するという現象が生じる。この現象は、光造形機内部を汚染してレーザ系等に悪影響を及ぼすことが懸念される。そこで、着色樹脂が浮遊しないエアノズル圧力に関する試験を行った。試験は、着色樹脂タンクの圧力と塗布ガイド値、エアノズル圧力を可変して行ったが、その結果、着色樹脂が浮遊しない条件は、樹脂タンクの圧送圧力と塗布量ガイドの値には関係が無く、エアノズル圧力が0.5 Psi以下であれば着色樹脂が浮遊しないことが分かった。

### 3.2 X-Yロボットの駆動の適正化

スプレー式着色造形においては、X-Yロボットのスプレールバルブからの塗布量(g/min)を光造形の積層ピッチ厚(0.05~0.1mm)と同程度になるように調整しなければ造形精度を上げることができない。造形面に塗布された着色樹脂は、時間とともに平面化するが、積層面が広い場合は、特に平面化するまでに時間がかかる。適切に塗布量を調整することにより、この平面化にかかる時間(待ち時間)を短縮することができる。塗布量の調整と平面化にかかる時間については、一定厚さのPETフィルム(t:180 $\mu$ m)に塗布し、塗布した着色樹脂を各種時間経過ごとに、ハンディータイプの紫外線照射装置(OHD-500M)で硬化させ、塗布膜厚と平面性を調べた。図8にその様子を示す。

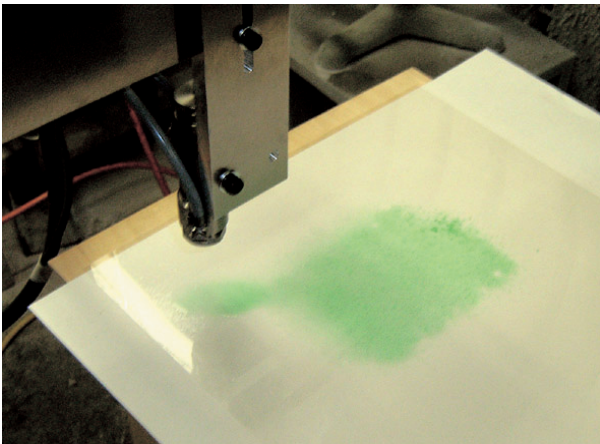


図8 塗布試験

塗布膜厚の測定には、Kett社の電磁膜厚計(DUALSCOPE-DSS-T3A)を使用した。この結果、X-Yロボットの駆動スピードと塗布パターン、スプレールバルブの塗布量の調節によって簡単に、積層ピッチ厚に近い塗布調整ができること、又、平面化にかかる時間は、一般の造形では5~10秒程度が適切であることが分かった。

## 4. 試作

従来のコータ方式と本研究のスプレー式方式を比較するために試作を行った。LEDの乳白色の部品モデルを図9、LEDの透明の部品と蛍光黄色の部品モデルを図10に、インサートの部品を配置したモデルを図11に示す。

試作の結果、スプレー式多色造形法によって作ったものは、着色コータ方式のものと同程度の仕上がりとなった。使用した着色樹脂は、着色コータ方式に比べて消費量が少なかった。これは、スプレー式多色造形法が、造形面周辺だけの着色樹脂の供給だけで済むことによると考えられる。又、M4-10mmのネジを造形途中に配置したインサート造形の試作品は、ネジの周辺がわずかに盛り上がった以外の欠陥は生じなかった。このインサート造形の試作品は、造形後、ネジ周辺を完全硬化させるため、ポストキュアを行っている。

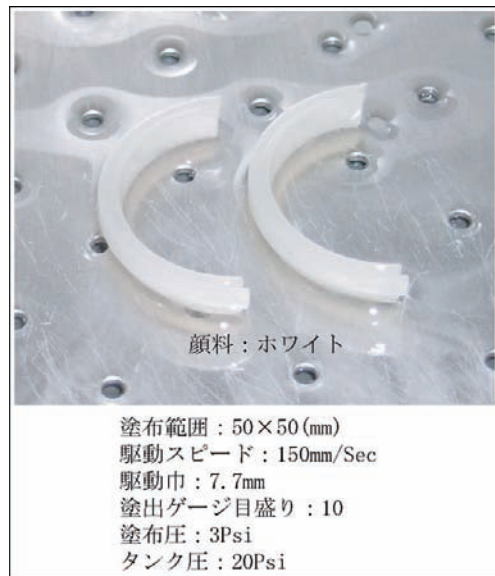


図9 LEDの乳白色の部品モデル

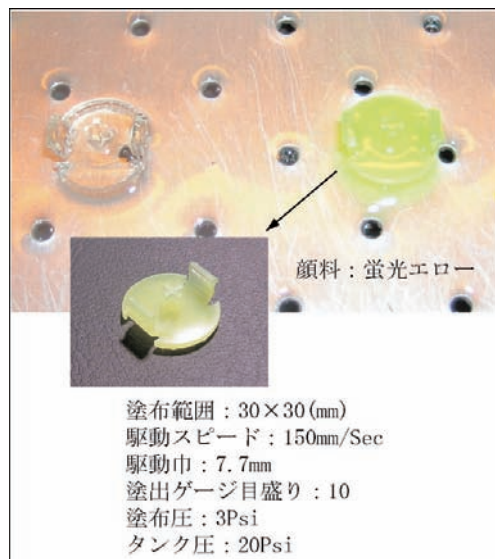


図10 LEDの透明の部品と蛍光黄色の部品モデル

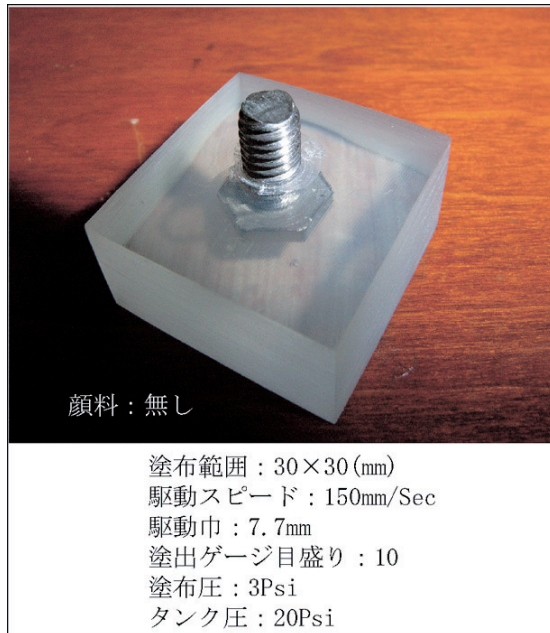


図11 インサート造形のモデル

process using stereo lithography, Journal of Materials Processing Technology, Vol.130-131, pp372-377 (2002)

- 3) 岩越睦郎・安田星季・小林政義・三戸正道：A Development of a Stereolithography Machine enabling Direct Fabrication of Colored Prototype, Rapid Prototyping & Manufacturing 2005, (CD-ROM) (2005)
- 4) 岩越睦郎・安田星季・小林政義・三戸正道・金井理・岸浪建史：Development of a Color Stereolithography Machine and Color Matching Technology, The28th Japan Rapid Prototyping Symposium, pp103-108 (2005)
- 5) 日本塗装技術協会：塗装技術ハンドブック, 日刊工業新聞社, pp.224 (1987)
- 6) 日本顔料技術協会：最新顔料便覧, 誠文堂新光社, pp.7-49 (1977)

## 5. まとめ

多色造形を行うために、着色コータ方式に替わる新たなスプレー式着色方式を開発した。この手法の試験結果をまとめると次のようになる。

- (1) スプレーバルブで塗布する着色樹脂を加熱(約40 )することにより、低圧力で着色樹脂の霧化が行えるようになった。その結果、装置内部のスプレーによる汚染が無いことが分かった。
- (2) X-Yロボットの駆動スピードと塗布パターン、スプレーバルブの塗布量の調節によって簡単に、目的とする積層ピッチ厚さに近い塗布調整ができることが分かった。
- (3) 同一造形テーブル上の任意の位置に色違いの造形モデルを作製することができるようになった。
- (4) 造形途中で部品を配置することにより、単純形状のインサート造形が可能なが分かった。
- (5) このスプレー式多色装置は、脱着が簡単なので、光造形装置用オプションとしての可能性があると考えられる。

## 引用文献

- 1) N.Petillon, J.Y.Jezequel and J.C.Andre : Color Stereolithography : A method of 3 D Color Imaging, Journal of Imaging Science and Technology, Vol.40, No.1, pp.42-49 (1996)
- 2) Y. G. Im, S. I. Chung, J. H. Son, Y. D. Jung, J.G. Jo and H.D Jeong : Functional prototype development : inner visible multi-color prototype fabrication