

---

一般セッション(口頭講演)| インクジェット

## [IJ5.1] インクジェット(5-1) 応用/3Dプリンティング/バイオプリンティング

### Inkjet (5-1) Applications/3D Printing/ Bio Printing

2018年6月21日(木) 09:30 ~ 10:30 コンファレンスルーム (工学系総合研究棟 2 二階)

---

#### [IJ5.1-02] フルカラー 3 D プリンターの開発

##### Development of Full Color 3D Printer

\*八角 邦夫<sup>1</sup>、大井 弘義<sup>1</sup>、今井 健太<sup>1</sup> (1. 株式会社 ミマキエンジニアリング)

\*Kunio Hakkaku<sup>1</sup>, Hiroyoshi Ohi<sup>1</sup>, Kenta Imai<sup>1</sup> (1. MIMAKI ENGINEERING CO.,LTD)

フルカラー 3 D プリンターは、デザイン確認、スキャナーやドローン等の撮影データからの造形、CG 創造物の立体化等の用途が期待されています。著者らは昨年 1 1 月に世界初のフルカラー 3 D プリンター : 3 D U J - 5 5 3 を商品化しました。

基本技術として UV 硬化インクによる 2 D インクジェット方式を採用、3 D 自由曲面のフルカラー造形を実現する為、1 層での内部造形とカラー表面画像とを同時形成して、順次積層する方法としました。

本報告では、2 D のフルカラー技術を 3 D に拡張するために必要な、Z 軸走査、減法混色インクの配置、信頼性確保等の技術を報告します。

# フルカラー3Dプリンターの開発

八角 邦夫，大井 弘義，今井 健太

株式会社ミマキエンジニアリング 技術本部

## Development of Full color 3D printer

Kunio Hakkaku, Hiroyoshi Ohi, Kenta Imai

Development Division, Mimaki Engineering Co, Ltd.

Full color 3D printer has been expected for many years. We have realized Full color 3D printer by UV inkjet technology and commercialized 3DUJ-553<sup>1)</sup> last year. There were some difficulties to achieve the surface color with modeling by 'layer by layer' method, but we enabled precision color by forming the color domain of the constant thickness along the normal direction from the free surface of the object. In this paper, we explain a Z-axis scanning technology and 3D surface color technologies by expanding 2D imaging to 3D imaging.

### 1. はじめに

近年、3Dプリンターの造形物は試作品から量産品にまで広がりを見せ始めている。中でもデザイン確認には造形物のカラー化が求められており、更に3Dスキャナーの進歩もあり、高画質なフルカラー方式が検討されている。<sup>2)-7)</sup>

### 2. 2Dから3D

#### 2. 1 着色

2D(平面印刷)から3Dへは、単純にはZ(縦)軸が増えることにある。また、造形後に着色する方式<sup>8)</sup>では自由形状に対応できないので、造形と着色を同時に行うこととした。更に、弊社の技術ドメインから、積層法によるUV硬化インクジェット造形方式(Fig.1)とした。

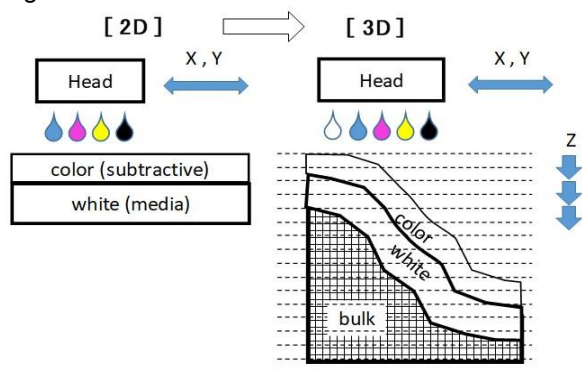


Fig.1 From 2D to 3D

また、全ての視認方向に着色を均一化する意味で  
・着色層を表面の法線方向に一定の厚さ。

・2Dと同様に、反射(白)層も表面の法線方向に一定の厚さで形成し、その外(表面)側に減法混色で着色する。

とした(Fig.2)。

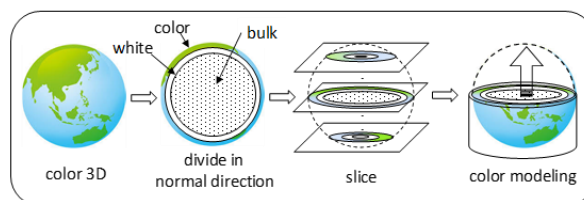


Fig.2 'Layer by layer' procedure

#### 2. 2 走査

インクジェットヘッドとUV-LED、平坦化ローラーを搭載したキャリッジをX-Y走査し、造形テーブルをZ走査(順次降下)とした。

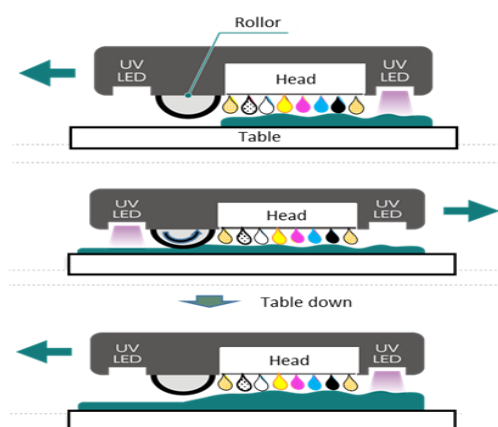


Fig.3 Scanning

### 3. 一層の厚さ(Z軸)形成

積層の為のZ軸走査は、ボールネジで $\pm 2 \mu\text{m}$ 以下/層の送り精度で、造形台を順次降下して行ってい

\* 〒389-0512 長野県東御市滋野乙2182-3

\* 2182-3 Shigeno-otsu, Tomi-shi, Nagano, 389-0512, Japan

\* e-mail: kunio\_hakkaku@mimaki.com

る。またヘッドの吐出(量)ムラ等に起因するインク層の凹凸に対応して、ローラーで平坦化し、一層の面の厚さの均一化を行っている。

### 3.1 平坦化機構

平坦化は Fig.4 の構成である。金属ローラーにインク上面の凹凸部分 :  $S$  を付着させて汲み上げ、ブレードで汲み上げたインクを除去する。

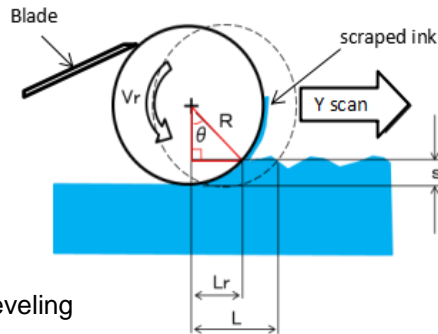


Fig.4 Leveling

### 3.2 平坦化能力

凹凸部分のインク :  $S$  ( $10 \mu\text{m}$  以下) を汲上げる能力を、ローラーの周速とローラー面上の汲み上げインク厚さで確認した結果を Fig.5 に示す。

要求される汲み上げ厚さ :  $s$  は  $10 \mu\text{m}$  以下であるので、図から、 $100\text{--}600\text{mm/sec}$  の走査速度の範囲で十分な能力 (付着濡れ) があることが解る。

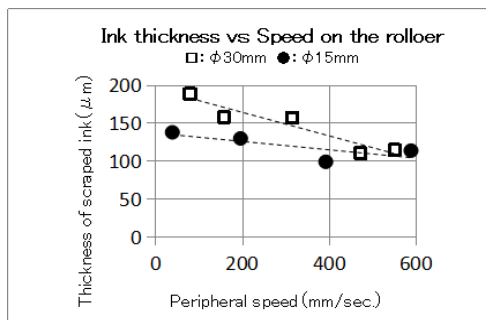


Fig.5 Thickness of scraped ink

## 4. 表面領域の構成

自由曲面の造形物の表面にカラー領域を形成するために、内部から順に、内部領域 ⇒ 光反射領域 ⇒ 分離領域 ⇒ カラー領域 ⇒ 保護領域とした (Fig.6)。

ここで内部領域に白インクを用いるのであれば、光反射領域 (白) と一体であって良い。内部領域に白以外のインクを含む場合は、光反射領域 (白) の隠ぺい力が十分になるよう、領域の厚さや白色顔料の濃度を大きくすることが必要である。

さらに退色や擦れに対応する保護領域は、必要に応じて透明インクで形成しても良いし、造形後に透明な保護材料を塗布で形成しても良い。

なお、内部領域以外の領域は、色の均一性から表面の法線方向に均一な厚さであることが望ましい。

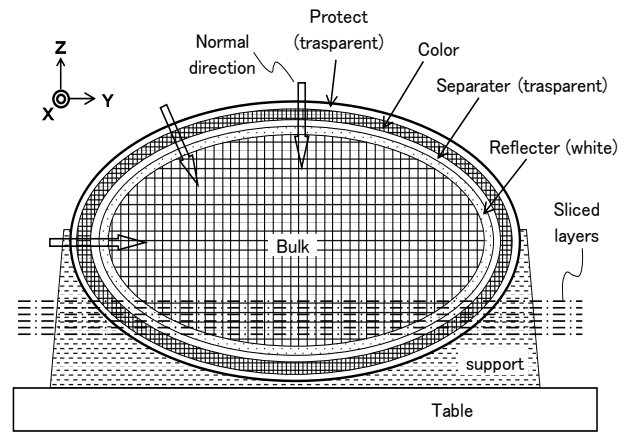


Fig.6 Cross section of the object

### 4.1 分離領域

特に造形物側面ではカラー領域と反射領域の voxel (立体要素) の混色があると視認性が劣化するので、2つの領域の間に一定厚さの光学的な分離 (透明インク) 領域を設けた。結果、Fig.7 から、造形物の視認角度による明度 :  $L$  の不安定さを改善できることが解った。

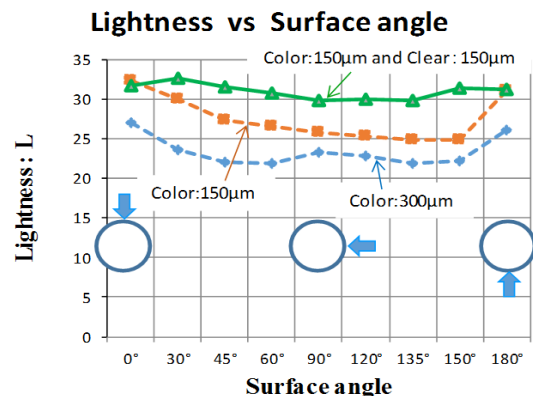


Fig.7 Lightness of various surface angle

### 4.2 カラー領域

Inkjet 方式ではインクの飛翔は上→下 ( $Z$ ) 方向であり、1 voxel の  $X, Y : Z$  のアスペクト比が大きい (相対的に  $Z$  が小さい)。従って Fig.7 での視認角度により voxel の構成が大きく異なってしまう。これに対応して、造形物表面 (ポリゴン) に法線方向のカラー領域の厚さ (容積) を場所に依らず一定とした。結果、カラーテクスチャは法線方向に延在した厚みを有するカラー領域を形成する。

$\phi 15 \text{ mm}$  の円柱形状の表面を青色着色した造形物を円方向に切断した断面の撮影結果を Fig.8 に示す。カラー領域の法線方向の厚さを  $350 \mu\text{m}$ 、1層の厚さを  $24 \mu\text{m}$  としたので、このカラー領域で法線方向に入る voxel 数は上/下面では  $14\text{--}15$  個、また  $Y$  方向の解像度は  $600\text{dpi}$  ( $42 \mu\text{m}$  ピッチ) であるので、側面では  $8\text{--}9$  個となる。

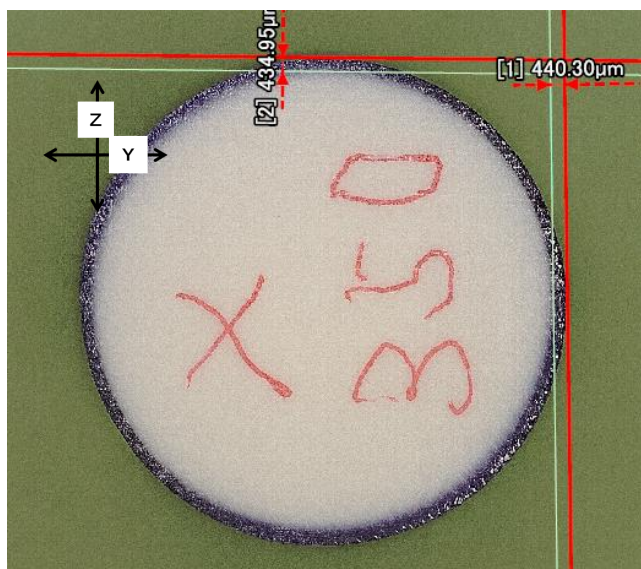


Fig.8 Cross section (φ15mm)

Fig.8 ではY, Z方向ともに厚さ設定値の  $350\mu\text{m}$  を上回っているが, voxel 中心を設定値の範囲内に入れて量子的に配置しているためである.

#### 4.3 カラー領域へのインク補填

カラー領域内ではカラー-voxel の密度が変化するため, 特に造形物の側面の低濃度部分で層の形成が乱れてしまう. そこで透明インク (Fig.9 のカラー領域中の **I**) をカラーインクの空席 voxel に補填して, 必ず1層の厚さ以上としている. そうすることで, Z走査と平坦化ローラーによって, 一定の層の厚さとカラー領域の一定の法線方向の厚さを維持している.

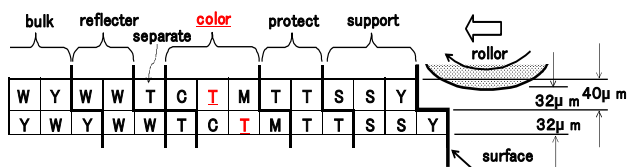


Fig.9 Transparent ink (**I**) fill to the color domain .  
(T: transparent ink, C/M/Y/W: color ink, S: support ink)

### 5. サポート領域

自由曲面の造形物でのオーバーハング部分 (例えば Fig.6 の造形物の下半分) の造形を可能にするために, 造形物の外側にサポート (造形物を支持) 領域が必要である. サポート領域は造形物のテーブル方向への射影面より広くし, 外殻を斜面の構成とすることで壁面の崩れを防いでいる.

全てのインクはUV硬化型であるが, サポートインクだけは更に水溶性とすることで, 造形後の除去作業を容易とした.

### 6. 吐出安定性

2Dの Inkjet 方式ではヘッドのノズルが不吐出になると画像面に記録抜けが発生する. 一方, 3Dの表面画像では3次元方向のロジカルシークにより層間/パス間で抜け位置が変化する点, また表面が積層面なので抜けが連続しない点の2点で, 視認されにくいという設計上のマージンがある.

然しながら, 不吐出は造形形状の劣化の原因にもなるので, 全てのヘッドを循環型ヘッドとし, またインク経路を循環系で構成し, 更に循環経路中に内部灌流型脱気モジュールを配置して, インクの脱気を行っている.

循環・脱気の経過時間によるインク中の溶存酸素の減少と, 不吐出ノズルの減少を確認した結果を Fig.10 に示す. 20-30分で溶存酸素が減少し, それに伴って不吐出の発生率が減少していることがわかる.

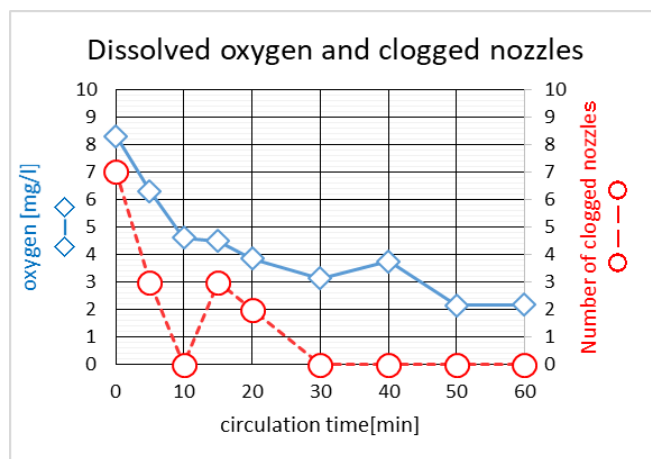


Fig.10 Ink degassing and clogged nozzles.

### 7. 結言

3D造形でのフルカラー化を, 2Dの画像技術の延長として開発を進め, 商品化した. 造形物は過去に2Dで言われたWY S I WY G (What you see is what you get)に近付いたものと考えている. 今後は, より高品質な画像, 高速化, 低ランニングコスト等, 市場の要求に応じていきたい.

#### 参考文献

- 1) “3DUJ-553” <http://mimaki.com/product/3d/3d-flat/3duj-553/>
- 2) Yamane et al. APPARATAS AND METHOD FOR FORMING THREE-DIMENSIONAL ARTICLE. U.S. Patent 5,059,266. Oct.22,1991

- 3) Tochimoto et al. THREE DIMENSIONAL OBJECT MOLDING APPARATUS. U.S.Patent 6,612,824. Sep.2,2003
- 4) Eliahu M Kritchman. METHOD AND SYSTEM FOR BUILDING PAINTED THREE-DIMENSIONAL OBJECTS. U.S.Patent 7,991,498. Aug.2,2011
- 5) 八角邦夫, 原浩文. 造形物およびその製造方法. 特許第6261363号. 2017. 12. 22
- 6) 大西勝. 立体造形物の製造方法. 特許第6305760号. 2018. 3. 16
- 7) Alan Brunton, Can Ates Arikian and Philipp Urban, "Pushing the Limits of 3D Color Printing: Error Diffusion with Translucent Materials", Fraunhofer Institute arXiv:1506.02400v1 [cs.GR] 8 Jun 2015.
- 8) "SP-303"[http://www.japanjournal.jp/tjje/show\\_art.php?INDyear=09&INDmon=01&artid=b54865f65e833acf186c335d73651e01](http://www.japanjournal.jp/tjje/show_art.php?INDyear=09&INDmon=01&artid=b54865f65e833acf186c335d73651e01)