
2.5D画像の高精細化を実現するUVインクおよび画像形成方法

UV Curable Inkjet Ink and Method for Precise Fabrication of 2.5 Dimensional Images

有田 学*
Manabu ARITA

吉野 美枝*
Mie YOSHINO

要 旨

近年、画像表面への凹凸形状付与による立体表現により、油絵の複製や表面加飾が行われている。この立体感のある画像表現を2.5Dと呼んでおり、インク滴の積層時の積み上げ精度が高いという特性を活かし、UVインクがよく用いられている。しかし、通常のUVインクでは、形状再現性と表面平滑性がトレードオフの関係であるため、滑らかで形状再現性が高い画像が得られないという問題があった。本研究では、UV光量によりインク表面硬化状態と濡れ性を制御可能なUVインクを開発し、形成プロセスを組み合わせることで、形状再現性と表面平滑性を両立する高精細な2.5D画像を実現することが可能となった。

ABSTRACT

In recent years, stereoscopic expression by uneven shape formation on an image surface has been performed for the purpose of reproducing oil paintings or decorations. This is called 2.5D. UV curable ink is used for the fabrication of 2.5D images because of its stacking accuracy. However the surface of structures fabricated by a UV curable inkjet printer is granular. It was found that shape accuracy and surface smoothness had a trade-off relation. Therefore, in this work, we developed UV curable ink that can control the wet-spreadability of the cured ink surface, which allows us to then switch each stacking processes for accuracy and smoothness. The cured states and the wet spreadability are controlled by UV irradiation energy for curing. This technique makes it possible to express a precise profile that is compatible with shape accuracy and surface smoothness.

* CIP開発本部 機能材料開発センター

Functional Material Development Center, Commercial & Industrial Printing Development Division

本稿は、日本画像学会に帰属の著作権の利用許諾を受け、Imaging Conference JAPAN 2017 論文集, pp. 79に掲載した論文、およびThe Society for Imaging Science and Technology (IS&T)に帰属の著作権の利用許諾を受け、Printing for Fabrication 2017 (NIP33), pp. 175-180 (2017)に掲載した論文を基に作成した。

1. 背景と目的

紫外線 (UV) 硬化型インクジェットインク (以後、UVインク) は、その基材対応性、速乾性、強度などの特性により、様々な建装材、日用品、自動車用品などへの加飾印刷や、垂れ幕、ポスターなどのサイン&ディスプレイ印刷などに、すでに広く実用化されている¹⁾。

さらに、不揮発成分のみで構成され速乾性があるためインク滴を高さ方向に積み重ねやすいというUVインクの特徴を活かして、近年は、油絵の複製や表面加飾などの立体感のある画像表現に展開されている²⁾。これは、従来の平面的な画像と比較して、例えば油絵などのように、絵の具の盛り上がり、筆のタッチ、キャンパスの生地目などの凹凸を高精細に表現するものであり、平面基材の表面にミリ単位の凹凸形状を形成させ立体感を付与した画像のことを我々は2.5D画像と呼んでいる。

リコーは、UV硬化型インク技術に加え、画像処理技術、3Dプリント技術を応用することで、立体感のある画像を形成する技術を開発し、立体複製画の制作や販売を行ってきた³⁾。

Fig. 1は、インクジェットインクで形成した2.5D画像の断面模式図である。2次元の画像が平面上にインク滴を形成させるのに対し、2.5D画像においては、まず土台を形成、その後、カラーインクにより表面に色をつけるといった手法が一般的に考案されている。

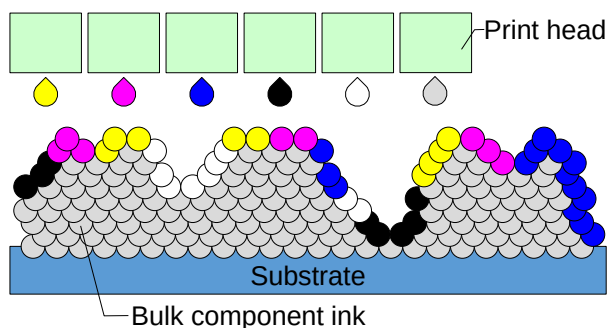


Fig. 1 Sectional scheme of 2.5D image.

この2.5D画像には様々な特性が求められる。具体的には、入力形状に対する形状再現性、表面平滑性⁴⁾や質感表現、反り⁵⁾や剥がれなどの不具合が出にくい柔軟性や密着性⁶⁾、凹凸を体感するために手で触れた程度では破損しない硬度や耐久性、過剰なUV照射で基材やインク硬化物を変質させない低エネルギー硬化性、生産性としての高速積層性などが挙げられる。中でも重要なのが、形状再現性と表面平滑性であり、2.5D画像高精細化に必須の特性であるが⁷⁾、その特性から両立が困難であり、高精細化の最大の課題となっている。これを改善することを目的とし、本研究では、その手段として、UVインクおよび形成方法の検討を行ったので報告する。

2. 2.5D画像形成における課題

本章では、まず高精細化に必要な形状再現性と表面平滑性について、それぞれの課題およびそれらの関係性について確認を行った。

2-1 UVインクの特徴

UVインクは、一般的に不揮発成分100%で構成され、吐出されたインク材料すべてがUV硬化により瞬時に硬化するため、揮発する水や溶媒がある水性インクや溶剤インクと比較して滴形状が維持され、高さ方向に積み上げやすく、さらにインク滴の濡れ広がりも小さい。そのため、UVインクは形状再現性の面から2.5D画像形成に適している。しかし、副作用として、インクジェット滴形状由来の粒状感が出やすく、表面粗さの原因となる。例えば、UV硬化系の3Dプリンタの場合、一般的にローラなどで外部から力が加えられ、表面粗さの補正が行われている。すなわち、形状再現性の高いUVインクにおいては、表面平滑性の低さが課題となっている。

2-2 形状再現性

ここでは、本報告における形状再現性の評価方法と定義について述べる。

2.5D画像形成に用いられる一般的なUVインクとして、ラジカル系の単官能系のモノマー組成のインクを用い、Table 1に示す条件にて線幅を変更して積層体形成を行った。

Table 1 Printing conditions.

インクジェットヘッド	MH5420 (リコー製) ⁸⁾
解像度	1200 dpi × 1200 dpi
印刷速度	420 mm/s
パス数	8
インク滴量	10 pL
UV光源	メタルハライド
形状再現性測定用 入力形状	20 mm × 63.5 μm × 0.6 mm (主走査×副走査×高さ)
表面粗さ測定用 入力形状	10 mm × 10 mm × 0.6 mm (主走査×副走査×高さ)

同じ入力高さ（層数）で線幅の異なる直方体状の細線を形成し、その形状を3D形状測定機にて測定した。Fig. 2に入力線幅と出力高さの関係を示す。出力高さとしては、観測された形状の最大高さを採用した。同一の入力高さに対し、入力線幅が細くなるほど出力高さが低くなった。特に細線ではこの傾向が顕著であり、63.5 μm幅の細線形成時の高さが0.39 mm、入力高さが0.55 mmであり、入力に対する出力の比は0.72であった。本報告では、この比を形状再現性とする。この値が1に近いほど、形状再現性が高いといえる。

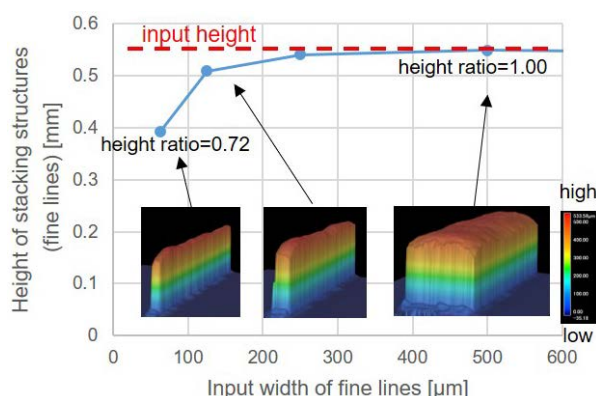


Fig. 2 Shape accuracy of fine lines.

2-3 積層体の表面平滑性

次に積層体の表面平滑性の評価として、表面粗さの測定方法と定義について述べる。一般的に積層体の高さを高くしていくと表面粗さが大きくなることが知られている⁴⁾。表面粗さは表面形状の再現性の低下だけでなく、ツヤ感の低下や乱反射による白化の原因となるため、滑らかな表面性が求められる。

Fig. 3に3D形状測定機による平面状積層体サンプルの形状測定結果を示す。積層体形成条件としては前節と同様に単官能モノマー系のインクを用い、Table 1に示す条件にて、高さを変更して10 mm × 10 mmの表面粗さ測定用入力形状（平面状積層体）の形成を行った。それぞれ表面粗さ Sq は、2.25 μm（高さ0.2 mm）、2.94 μm（高さ0.4 mm）、3.21 μm（高さ0.6 mm）であった。積層高さが低い0.2 mmの時でも、粒状感のある表面粗さが見られ、積層高さが高い時、表面粗さがより大きくなっていった。肉眼でも3D形状測定画像でも凹凸が確認できるものであり、この表面粗さを低く抑える必要がある。本報告では、表面粗さの値として、積層体の表面の中央部9 mm × 9 mmの範囲に対し、ISO 25178-2⁹⁾による二乗平均平方根高さ Sq にて粗さを定義した。さらに特に記載がなければ、高さ0.6 mmの積層体における、L-フィルタ0.8 mmでの測定結果とした。

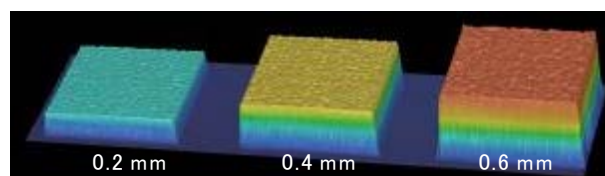


Fig. 3 3D imaging of stacking structures of ink A at heights of 0.2 mm, 0.4 mm, and 0.6 mm.
*ten times magnification of height.

2-4 形状再現性と表面平滑性の関係

高精細な2.5D画像を形成させるためには形状再現性と表面平滑性を両立する必要がある。Fig. 4に種々のインク処方にて得られた積層体の形状再現性と表面粗さの関係を示す。形成条件としては、

Table 1に示す条件で実施した。形状再現性が高い場合には表面粗さが大きくなり、平滑な表面性が得られる場合には形状再現性が著しく低下しており、形状再現性と表面平滑性は相反する特性であるということを示している。

このトレードオフの関係を改善し形状再現性と表面平滑性を両立するための手段を提示することを、本研究の目標とする。インク処方検討のみでの両立は困難であると考え、本研究ではインク特性とプロセスの両面から検討した。

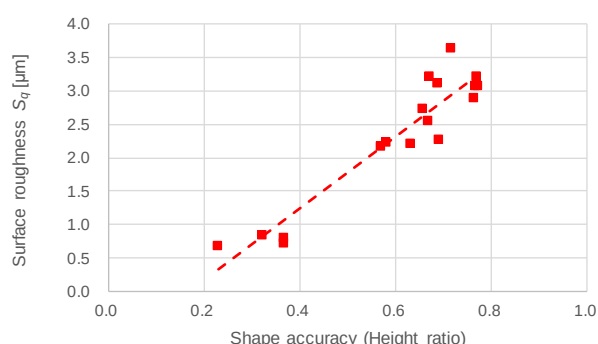


Fig. 4 Relationship between surface roughness and shape accuracy rated by height ratio of the fine line height to input height using various inks.

3. インク特性

前章にて示したように形状再現性と表面平滑性とは基本的にトレードオフの関係を示す。そこで、本研究では、単一インクにてUV光量により形状再現性と表面平滑性が変化するインクの検討を行った。このようなインクが得られれば、土台形成時や表面形状形成時にそれぞれに適したUV光量を組み合わせることで、形状再現性と表面平滑性を両立する積層体が得られる。積層体における上記両立性については次章にて述べ、本章ではインク硬化特性や形状再現性や表面平滑性のUV光量依存性について述べる。

本章前半にて一般的なインクにて課題を確認し、本章後半にて本研究のインクにて目的のインク特性を達成したことを説明する。

3-1 従来インクにおける形状再現性と表面平滑性のUV光量依存性

本研究のインクに対する比較として、まず従来インクにおける形状再現性と表面平滑性のUV光量依存性を確認した。従来、2.5D画像形成においては、積層体に厚みを持たせるために、反りの少ないインクが用いられており⁹⁾、その組成として大部分を単官能モノマーで占めることが多い。そこで、単官能モノマー系で構成されるインクAにて実験を行った。Table 1の形成条件にて得られたインクAの積層体の形状再現性と表面粗さのUV光量依存性をFig. 5に示す。印刷速度は変更せず、光源出力の設定にて光量を調整し、各照射光量にて積層体を形成させた。光量依存性はほとんど見られず、Fig. 4における右上（形状再現性：高、表面粗さ：大）に位置し続けており、従来インクでは目的のインク特性を達成できないことがわかる。

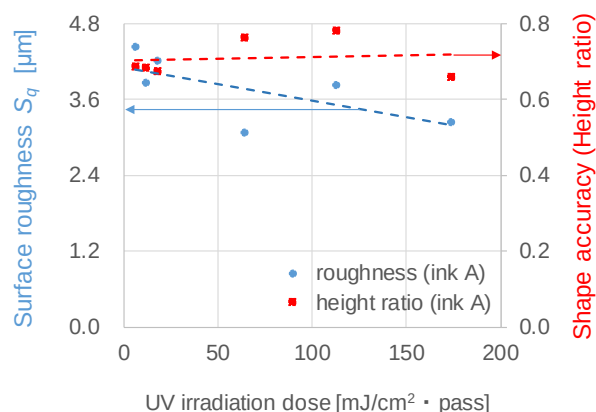


Fig. 5 Relationship of UV irradiation dose with surface roughness and shape accuracy in ink A (mono-functional monomer).

3-2 本研究のインクの硬化状態

次に本研究にて開発したインクについて説明する。単一インクを用いUV照射光量調整にて形状再現性と表面平滑性を制御することを目的として、低照射光量の場合には内部のみ硬化し表面では未硬化の液状成分が存在する固液分離状態が得られ、高照射光

量時には瞬時に全体が硬化するインクを開発した。本インクの特徴は、表面硬化状態（液体か固体か）により、次に着弾するインク滴の濡れ性を大きく変化させることができるというものである。単なる未硬化や半硬化ではなく、ラジカル重合系における酸素による表面での硬化阻害と多官能モノマーによる三次元架橋構造形成を活用し、表面での局所的な液体状態（固液分離状態）を形成することが本インクの特徴となる。ラジカル重合系においてラジカルは酸素により失活し反応性を低下させるため、酸素が供給される表面では重合反応が進行しにくい。また、多官能モノマー由来の硬化物は反応途中で三次元架橋構造を形成し不溶化するため、液状の未硬化物と溶け合うことがなく、液状の表面を維持することができる。その結果、次節で説明するUV光量依存性の高いインクCが得られている。このインクCが今回開発したインクである。

今回評価したインクAとインクB、Cとはそれぞれ単官能モノマー系と多官能モノマー系にて構成される点異なる。またインクBとインクCとは、モノマーが違い異なる硬化性を示すが、モノマーの架橋点（アクリレート）間の直鎖分子量の差は3%以内、官能基数は同一であり、硬化性を除くとほぼ同等の性質を示すことを想定した。

得られたインクA、B、Cの硬化性および硬化状態を評価した結果をTable 2に示す。本節のみ、硬化性を評価するためにバーコートを使用して、深部の硬化性を評価するために40 μm 膜厚の塗膜を作製した。硬化性を硬化光量（インクの硬化するUV照射光量）にて評価した。ここで硬化とは、液性や粘着性を示さない状態になることとする。表面硬化性は塗膜表面での触診にて、深部硬化性は塗膜をテープにて剥離して塗膜裏面（基材界面）での触診にて評価した。なお、深部硬化性を評価する際に、表面が硬化しておらず深部のみ硬化している場合には乾いた布で表面の未硬化インクを拭き取った後でテープを付着させて塗膜を剥離させて評価した。また、塗膜全体が硬化していない完全硬化前の部分硬化状態や粘着質の状態を半硬化状態と定義する。

半硬化状態として、単官能モノマー系で構成されるインクAが粘着質の半硬化状態を示す（例えば100 mJ/cm^2 照射時の表面や300 mJ/cm^2 照射時の裏面）のに対し、多官能モノマー系で構成されるインクB、Cは、表面が液状の濡れた半硬化状態を示した。なお、ここで「濡れる」とは「湿る」ではなく、液体として採取できるような状態を指す。また、この時、内部は硬化しており固液分離状態であった。

Table 2 Cured states.

	Ink A	Ink B	Ink C
モノマー	単官能	多官能	多官能
半硬化状態	粘着質	表面液体 内部固体	表面液体 内部固体
表面硬化光量 [mJ/cm^2]	150	150	150
深部硬化光量 [mJ/cm^2]	500	50	20

なお、この固液分離状態はマルチスキャンの工程にて解消され固化し得ることを確認している。インクジェット印字方式としてマルチパスを採用し、マルチパスのうちの1パス直後に上記固液分離構造および濡れ性を示すことを想定したもので、マルチパス工程後には表面が硬化するように設計した。

3-3 本研究のインクにおける形状再現性と表面平滑性のUV光量依存性

インクCの形状再現性と表面平滑性のUV光量依存性をFig. 6およびTable 3に示す。Fig. 5でインクAにおいてUV光量依存性がなかったのに対し、インクCでは64 mJ/cm^2 以下の低光量では優れた表面平滑性が得られ、113 mJ/cm^2 以上での高光量では高い形状再現性が得られた。すなわち、単一のインクを用い、印刷速度を落とさずに、光量調整にて形状再現性を得るプロセスと表面平滑性を得るプロセスを切り替えることができた。なお、インクBは後述する表面平滑性に問題があったため割愛する。

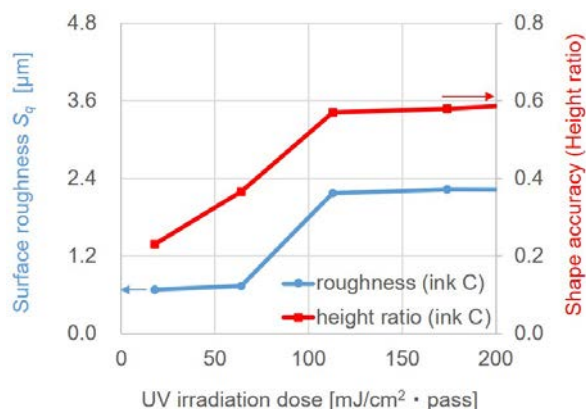


Fig. 6 Control of shape accuracy (height ratio) and surface roughness by UV energy in ink C.

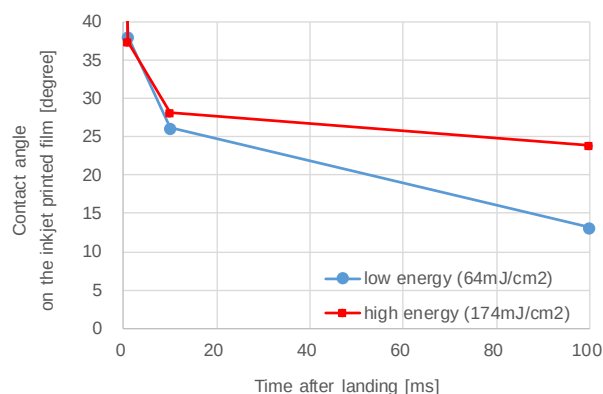
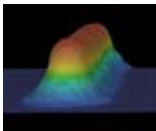
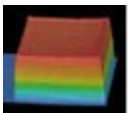
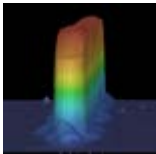
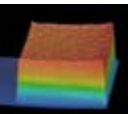


Fig. 7 Change in contact angle in each cured state.

Table 3 Stacking structures of ink C.

UV光量	細線形状と形状再現性	表面形状と面粗さ S_q
64 mJ/cm ²	 0.37	 0.73 μm
113 mJ/cm ²	 0.57	 2.18 μm

3-4 濡れ性

このインクCを用い、各硬化状態のインクジェット印刷物に対するインクジェットインク滴（インクジェットヘッドより吐出）の濡れ性として接触角を評価した。Fig. 7に着弾後の時間と接触角の関係を示す。Table 1の印字条件にて作製された印字物に対し、着弾後100ミリ秒後の接触角は、64 mJ/cm² · pass照射の印刷物に対しては13.2°、174 mJ/cm² · pass照射の印刷物に対しては23.8°であった。高光量（174 mJ/cm²）照射の印刷物上では濡れ広がりにくいのにに対し、低光量（64 mJ/cm² · pass）照射の印刷物上ではインク滴が濡れ広がりやすいことが確認できた。照射光量により、濡れ性を変化させることができたといえる。

3-5 表面平滑化

インクA、B、Cにおける64 mJ/cm² · passのUV光量条件にて得られた積層体の積層高さと表面粗さの関係をFig. 8に示す。照射UV光量としては本研究における低光量域に相当する。単官能モノマー系で構成されるインクAにおいては、積層高さによらず大きな表面粗さが得られた。一方、多官能モノマー系で構成されるインクにおいては、高さ0.2 mmまではインクB、Cともに同等の小さな表面粗さが得られたが、積層高さがこれより高くなるとインクBの表面粗さは急激に増加した。また、この高積層時のインクBの粗さはインクAとは異なる粗さの波長を示していた。Fig. 9に0.6 mm高さの積層体の各フィルタ条件での粗さの結果を示す。粗さを各波長域に分解したところ、粗さの極大値を示す波長域がインクAよりインクBの方が長く、インクBの粗さはうねりの要素が強いことがわかる。一方、インクBよりも深部硬化性を向上させたインクCにおいては、積層高さによらず滑らかな表面が得られた。Fig. 10（下）に示すように本インクCでは積層高さによらず滑らかな表面が得られており、すなわちFig. 4とFig. 10（上）に示す2種類の表面粗さをともに抑制することができたといえる。

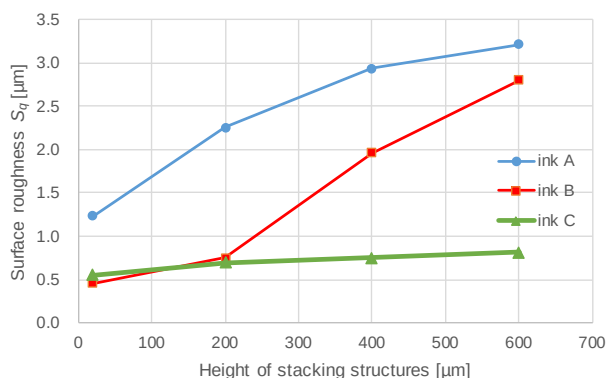


Fig. 8 Relationship between surface roughness and height of stacking structures.

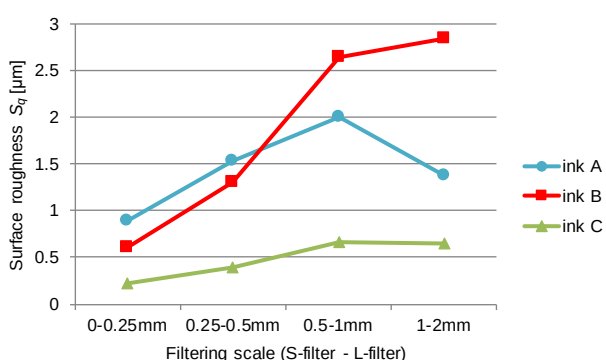


Fig. 9 Relationship between filtering scale (S-filter and L-filter) and surface roughness of stacking structures at height of 0.6 mm.

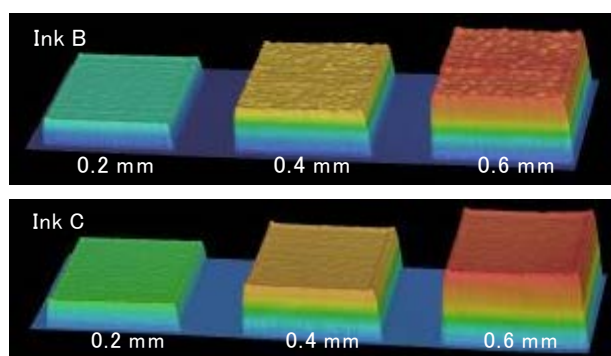


Fig. 10 3D imaging of stacking structures of ink B (above) and ink C (below) at heights of 0.2 mm, 0.4 mm, and 0.6 mm.

*ten times magnification of height.

3-6 考察

本研究のインクの特徴としては、前述のとおり、低照射光量にて固液分離構造の半硬化状態を示すことにある。インクAと、インクB、Cとの硬化性の違いとしては三次元架橋構造の有無に由来すると考えられる。Fig. 11に半硬化状態の模式図を示す。単官能モノマー系で構成されるインクAが固液分離構造を形成せず粘着質の状態を示すのに対し、多官能モノマー系で構成されるインクB、Cでは表面が液体、内部が固体の固液分離構造を示した。インクAが半硬化状態として粘着質になる理由としては、得られたポリマーに三次元架橋構造がなく、反応前のモノマーと得られたポリマーとが溶け合うからであると考えられる。インクAも低光量照射にてUV照射した直後には固液分離構造を示すこともあったが瞬時に粘着質になった。経時で溶解が進行したと考えられる。一方インクB、Cは時間が経過しても固液分離構造が維持された。それは、インクB、Cが多官能モノマー系にて構成されており、得られるポリマーが三次元架橋構造を形成するために互いに溶け合わず、分離状態が維持されるためであると考えられる。

UV光量により形状再現性と表面平滑性が制御可能となったのは、次のインクが着弾する前の塗膜表面を液状と固体状とに切り替えられ、濡れ性を変えられたからであると考えられる。インクAでは半硬化状態でも粘着質と固体としての性質を示すのに対し、インクBおよびCでは表面を液状にすることができ、着弾直後にインク液滴が濡れ広がると考えられる。

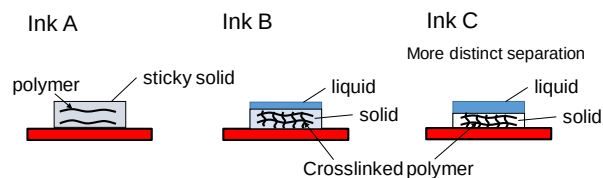


Fig. 11 Half-cured states.

インクBが積層高さを高くした時に粗さが大きくなった理由として考えられるものの1つとして、硬化（ゲル化）プロセスの違いによる応力歪みが挙げられる。多官能モノマー系を採用しているため硬化収縮が大きいことも大きな要因と考えられるが、さらに同等の硬化収縮率であってもゲル化のプロセスによって粗さや光沢感が異なるということが知られている¹⁰⁾。インクBの粗さは、積層高さが低い場合にはインク滴形状由来と考えられるインクAの粗さと同様の波長との関係が得られていたが、積層高さが高くなることで波長が長くなり粗さのモードが変化することをFig. 12にて確認している。すなわち、インク滴形状由来の微細な凹凸から積層高さ由来の波長の大きな凹凸へと変化している。

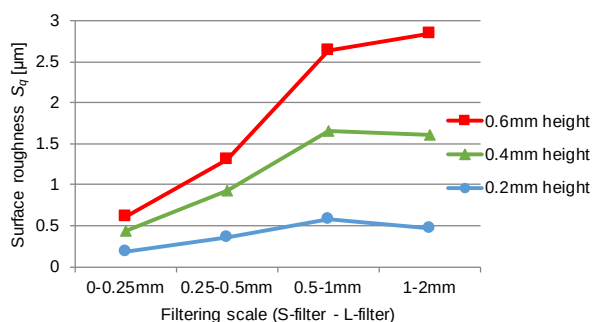


Fig. 12 Relationship between filtering scale (S-filter and L-filter) and surface roughness of stacking structures of ink B.

本研究のインクCでは、酸素による表面での硬化阻害を利用するとともに、インク処方として深部硬化性が高い処方を採用している。インクBと比較し深部硬化性を向上させることで、局所的な硬化により固液分離構造の形成を促進させるとともに応力緩和させることを目的として設計している。なお、インクBとインクCでは多官能モノマーの官能基数は同一、架橋点間の直鎖分子量はほぼ同等（差は3%以内）であり、単純な硬化収縮の大きさの差とは考えにくい。インクBのように表面と深部の硬化性の差が少なく全体的に硬化した場合には、硬化の初期段階に構造の大枠が固定化され、そこからさらに硬

化収縮が進行することで歪みが大きくなると考えられる。一方、インクCでは局所的な硬化が起こるために応力緩和が可能になると考えられる。

インクCは、インクBのような多官能モノマー使用の弊害を抑え、十分な表面平滑性のポテンシャルを持ち、光量による形状再現性と表面平滑性の切り替えを可能としたインクであるといえる。

4. 形状再現性と表面平滑性の両立性

前章にて得られたインクCを用い、それぞれ形状再現性を得るためのUV光量と表面平滑性を得るためのUV光量を組み合わせることで、形状再現性と表面平滑性を両立する積層体の形成を行った。

Table 1に示す条件にて、積層体形成を行った。総積層高さ0.6mmを30層として、30層すべてを同一光量で形成したものの各光量での結果をプロットしたものと、30層のうち高光量プロセスと低光量プロセスの割合をそれぞれ0/30、20/10、25/5、27/3、29/1、30/0とし高光量プロセスの後、低光量プロセスにて形成したものの結果をプロットしたものを、Fig. 13に示す。同一光量条件の結果は低光量ほど低形状再現性となり、高光量ほど高形状再現性となった。プロセス組み合わせ条件では、同一光量条件と比較すると、組み合わせ条件の方が、表面平滑性が高く形状再現性も高いという、それぞれの特性が両立される結果となった。なお、同一光量条件をプロットしたものの出力の異なる複数の光源を採用しており、プロセス組み合わせ条件においては同一光源の出力調整のみで組み合わせ可能な限定的な範囲でプロセス組み合わせ実験を実施している。そのため、光源の出力範囲（例えば形状再現性0.6以上のプロセスとの組み合わせなど）によってはより両立性が高まると考えられる。

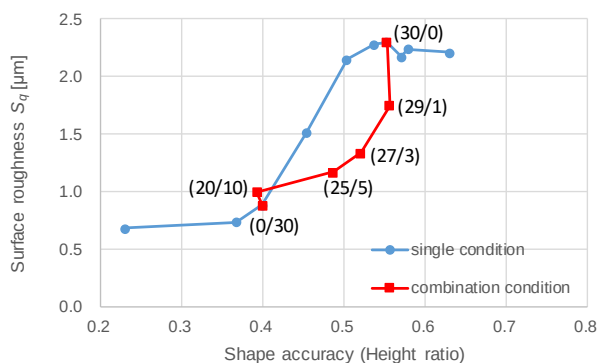


Fig. 13 Relationship between surface roughness and height ratio under single and combination UV irradiation conditions.

5. 本技術の利点

表面平滑性と形状再現性を両立する方法としては、本研究のような同じインクでプロセスを切り替える以外に、異なるインク系を用いる方法^{5,11)}があり、特に表面加飾のためのカラーインクとして表面平滑性の高いインクを用いることが考えられる。しかし、表面のカラーインクは、土台の表面粗さを埋め平滑性が得られるまで積層できるわけではなく、色濃度の設定により積層できる厚さが決まってくる¹¹⁾。そのため、土台形成の時点で表面平滑性が必要になる。また、同じインクを用いれば搭載インク数を減らすことができる。

そのほかの表面平滑性を付与する方法としては、これまでも、UV照射までの時間を延長する方法があるが¹²⁾、時間制御であるため画像形成速度に制限がかかることがある。Fig. 14に概略図を示す。Fig. 14 (A)ではインク滴が濡れる前に硬化するため表面平滑性の低い印刷物が得られ、Fig. 14 (B)ではインク硬化までに時間を置き、濡れた後に硬化させるため表面平滑性の高い印刷物が得られる。一方、本技術においては、光量で制御する。Fig. 15に本技術の概略図を示す。ヘッドー光源間距離は200 mm、速度420 mm/sにて試験している。吐出の直後にUV照射しており、印刷速度の制限なく濡れ性を付与できる手法であることがわかる。また、この照射タイ

ミングを遅らせる手法を併用し、さらに濡れ性を向上させることも可能である。また、表面を水平化させる技術ではなく瞬時に濡らす技術であるため、2.5D画像の微細な凹凸形状に対応できると考えられる。

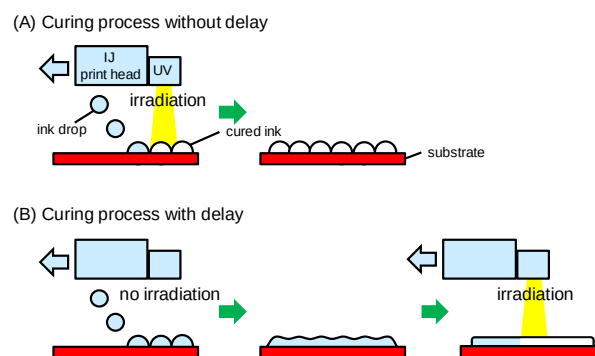


Fig. 14 Usual processes for (A) a rough surface and (B) a smooth surface.

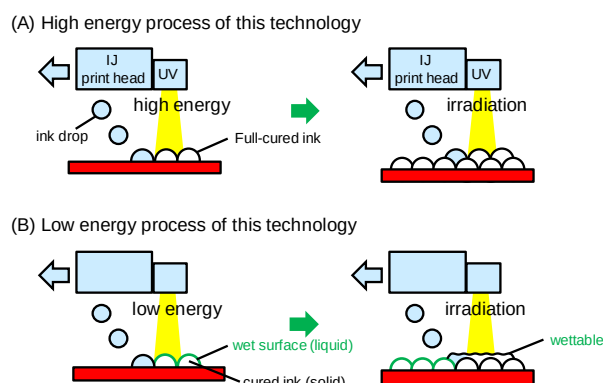


Fig. 15 Processes of this technology for (A) shape accuracy and (B) surface smoothness.

6. まとめ

2.5D積層体形成において形状再現性と表面平滑性は相反するが、それらの両立性を改善するためのUV硬化性インクジェットインクと画像形成方法を提示することができた。UV光量により各特性を切り替えることができるUV硬化性インクジェットインクを用い、プロセスを組み合わせるものである。このようなインク特性は、インクの多官能モノマーと深部硬化性を制御することによって得られている。

UV光量により，表面が液状の固液分離構造の半硬化状態と表面が固体の完全硬化状態とを切り替えることでプロセスの切替が可能となる．このインクを用い，UV光量を制御することで，形状再現性と表面平滑性の両立性の高い2.5D画像が得られた．2.5D画像の凹凸形状や細線描画時，土台形成時には前者の形状再現性を得るためのプロセスを，光沢付与時や表面形成時，滑らかな2.5D画像形成時などには後者の表面平滑性を得るためのプロセスを選択するなど，印刷速度の制限を受けずに，求める画像や画質，工程によってインクの濡れ性を使い分けることができる．

参考文献

- 1) D. S. Nagvekar: UV-Curable Graphic Arts versus Industrial Inkjet Inks: A Progress Report, *RadTech Report*, JULY/AUGUST 2008, pp. 25-31 (2008).
- 2) T. P. V. Song, C. Andraud, M. V. O. Segovia: Implementation of the four-flux model for spectral and color prediction of 2.5D prints, *Printing for Fabrication 2016 (NIP32)*, pp. 26-30, IS&T (2016).
- 3) 株式会社リコー: リコーニュースリリース 立体複製画制作技術を開発～リコーのインクジェット技術を応用し，筆のタッチまで再現～，https://jp.ricoh.com/release/2016/0329_1.html (参照 2016-03-29).
- 4) 原精一郎ほか: UV硬化型インクジェットプリンタによる表面テクスチャの作成に関する研究，2013年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp. 201-202 (2013).
- 5) C. T. Weijkamp: Printing system and method of printing a multilayer structure using radiation curable ink, U. S. Patent 9,469,135 (2016).
- 6) 平岡孝朗: 金属基材への密着性が良好で安全性に優れたUVインクジェットインク，*Imaging Conference JAPAN 2014* 論文集, pp. 161-163, 日本画像学会 (2014).
- 7) X. Liu et al.: Characterization of relief printing, *Proc. SPIE 9018, Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance*, 90180P (2014).
- 8) Ricoh Company, Ltd.: RICOH MH5420/5440, https://industry.ricoh.com/en/industrialinkjet/mh/5420_5440/ (accessed 2016-04-01).
- 9) ISO 25178-2:2012 specifies terms, definitions and parameters for the determination of surface texture by areal methods, International Organization for Standardization (2012).
- 10) Evonik Industries: ACEMATT® Matting solvent-free UV-curable coatings, Technical Information 1399 (2015).
- 11) C. Weijkamp, C. Valade: Method of elevated printing, U. S. Patent Application Publication 2016/0361929 (2016).
- 12) T. Sato et al.: Development of the Wide-Format UV Inkjet System "Acuity LED 1600", *Fujifilm Research & Development*, No. 57, pp. 33-37 (2012).