

各種テキスタイル用インクジェット受容層が染料インクのドット形成に与える影響

色染化学チーム 向井 俊博

要 旨

インクジェット捺染（以下、IJ捺染）はインクの吸収保持および発色のための受容層を形成する前処理が布帛へ行われた後に、IJインクが印捺される。この受容層の種類により、IJインクを印捺した際のドットの拡がりやインクの浸透性が異なり、それが模様の特鋭性、浸透性、発色性に影響を与えることが知られている。本研究では、任意の大きさの微小液滴を様々な受容層や生地に対して着弾させ、そのドットの形状を測定・観察することで、受容層がドット形成に与える影響について検討した。その結果、多糖高分子フィルムにおいては、吐出した液滴の直径と各受容層に形成されたドット直径に関して、それらは受容層を構成する多糖高分子の種類により異なること、また、実際の布帛上へのドット形成は受容層の要因以外にも布帛を構成している繊維間での毛細管現象の影響により拡がるため、円形に近い形状のドットを作り出すには毛細管現象を考慮しなければならないことがわかった。

1. はじめに

IJ捺染は微小な液滴を布帛に塗布し、ドットで模様を表現する捺染方法であり、繊維先進国のイタリアをはじめ、最近では、後進国の中国等においても急速に導入が進んでいる捺染方式である。この導入背景の一つに、IJ捺染機の超高速化があり、例えば、国際繊維機械展示会ITMA 2015では、Nassenger SP-1 (Konica minolta)、Pike (SPG Prints) 等の60m/min以上のシングルパス方式のIJ捺染機が複数社から紹介されており¹⁾、世界的には、IJ捺染による量産化へと時代が移り変わっている。

このIJ捺染工程は、従来の捺染工程とは異なり、インクの吸収保持および発色性向上のための多糖高分子と薬剤等が含まれた受容層を布帛へ形成する前処理が行われた後に、IJインクが印捺される。この受容層にどのような多糖高分子を用いるかにより、IJインクを印捺した際のドットの拡がりやインクの浸透性が異なり、それが模様の特鋭性、浸透性、発色性に影響を与えることは経験的によく知られている。これまで当研究所では、市販のプリンターを用い、ベタ画像や様々なパターンを印捺し、評価することでマクロな視点から多糖高分子の種類がこれらに影響を与えることを明らかにした²⁾。しかし、IJ捺染は μm オーダーのドットを組み合わせる複雑な画像を描画する技術であり、より鮮明な画像を表現するためには、模様を構成する最小単位である1ドットを正確に評価し、ミクロな視点で制御する必要がある。

本研究では、IJ評価装置を用いて、一定の大きさの反応染料インクを様々な受容層や生地に対して着弾させ、そのドット形状を測定・観察することで、ドット形成に対して受容層が与える影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 実験材料

受容層に用いる多糖高分子は表1に示す試薬を用い、1 wt%の水溶液とし、使用した。白生地は色染社から購入した綿金巾をそのまま使用した。インクは市販の反応染料Magentaインク（粘度3.77mPa・s、表面張力35mN/m、密度1.08）を脱気後、ろ過し、使用した。

表1 使用した多糖高分子の一覧

多糖高分子の種類	試薬メーカー
アルギン酸ナトリウム 500cps	ナカライ
カルボキシメチルセルロース (CMC)	ナカライ
メチルセルロース (MC)	ナカライ

2.2 キャストフィルムの作製

直径90mmのシャーレ上に1.0wt%の各種水溶液を8 m ℓ キャストし、風乾して受容層フィルムを作製した。

2.3 布帛への受容層形成

パッダー（辻井染機製）を使用し、ピックアップ率 $80 \pm 5\%$ となるように綿布へ受容層を付与した。受容層に用いた多糖高分子は試薬のアルギン酸ナトリウム500cps, カルボキシメチルセルロース, メチルセルロースの3種類を使用した。

2.4 インクの塗布およびドット形状の測定・観察

IJ評価装置Inkjet Designer（クラスターテクノロジー社製）を使用し、ノズル径 $\phi 25 \mu\text{m}$, $\phi 40 \mu\text{m}$, $\phi 60 \mu\text{m}$ のヘッドより反応染料インクを吐出し、インクの液滴直径及び体積の測定を行った。また、液滴をキャストフィルム及び、布帛へ着弾させ、そのときのドット直径の測定及び、液滴の拡がりについてマイクロスコプVHX-2000（キーエンス社製）で任意に3点選択し、測定・観察した。さらに、ドットの拡がりを把握するために、にじみ率 b を下記の式より算出した。

$$b = \frac{D}{d} \quad D: \text{ドット直径}, \quad d: \text{液滴直径}$$

3. 結果及び考察

3.1 吐出液滴とそれを着弾させたドットの観察

IJ評価装置により吐出した反応染料インクの液滴とその液滴を2.2で作製したメチルセルロースフィルムに着弾させたドットの写真の一部を図1に示す。IJ液滴はノズルより1滴のみ吐出されていることが図1の写真より確認できる。また、IJは液滴の吐出量を極めて正確に制御できるため、着弾し形成されたドットはいずれも同形状のほぼ同じ大きさであることが確認

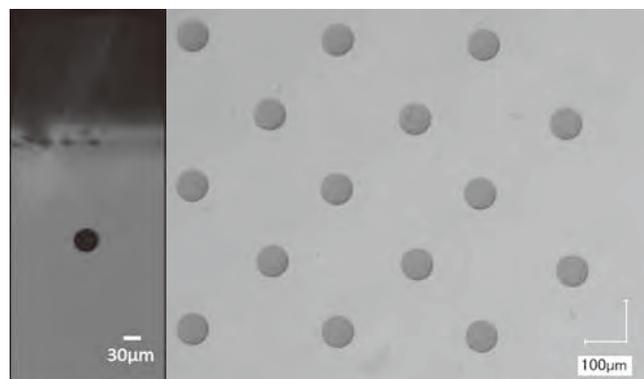


図1 IJ評価装置より吐出された液滴およびMC受容層上に液滴を着弾させ形成したドット
左：吐出液滴 右：着弾ドット

できる。

3.2 液滴直径とドット直径および液滴体積とドット面積の関係

3.1と同様に様々な受容層フィルムに対して吐出する液滴量を変え、そのときの液滴直径とドット直径の関係について図2に示す。この図より、受容層を構成する多糖高分子の種類によりドットの拡がり異なることがわかる。具体的には、メチルセルロースとアルギン酸ナトリウムはカルボキシメチルセルロースと比べ、ドットが拡がりやすく、にじみにくい受容層であることがわかった。この違いは、それぞれの多糖高分子の液滴に対する濡れ拡がりのしやすさや液滴の吸収性・浸透性によるものと考えられる。

次に、横軸に液滴体積、縦軸にドット面積をプロットし、その関係を調べた。結果を図3に示す。これにより、液滴体積とそれにより形成されるドットはべき関数的な関係にあることがわかり、その傾きや切片はそれぞれ受容層を構成する多糖高分子に依存することがわかった。これにより、受容層フィルムに対しては、その拡がり方をある程度予測することが可能であると考えられる。

3.3 液滴直径とにじみ率の関係

受容層ごとのにじみややすさをよりわかりやすくするために、液滴直径とそのときのにじみ率について調べた結果を図4に示す。図4より、メチルセルロースは液滴直径が変わっても、形成されるドットの拡がり方はほとんど変わらず、液滴直径に対して1.6~1.8倍程度の大きさに拡がっている。対して、アルギン酸ナトリウムとカルボキシメチルセルロースは液滴の大きさにより、にじみ率が異なっていた。ドットの拡がり方は、受容層の種類と液滴の大きさにより異なっていることが確認できる。

このような微小液滴によるドット形成については、印刷分野においては様々な検討がされており、報告されている³⁾。それによると紙への印刷の場合、IJインクのドット形成は、受容層に対する液滴の濡れ拡がり、浸透、蒸発の3要素が主要因であると考えられており、IJ捺染においても受容層ごとに生じているドットの拡がりについての差はこれらに起因しているのではないかと考えられる。また、液滴の大きさにより濡れ拡がりの程度が異なることが確認できた。これは、

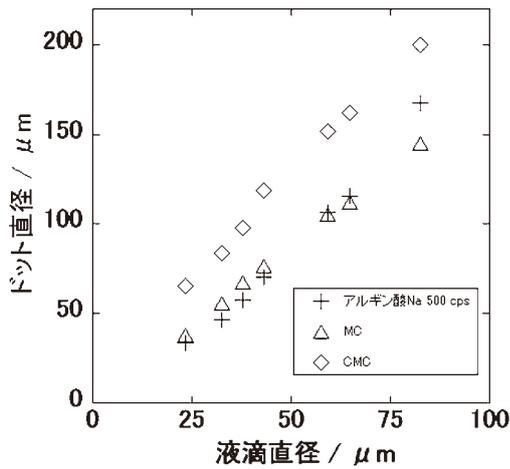


図2 吐出した反応染料インクの液滴直径と着弾したドット直径の関係

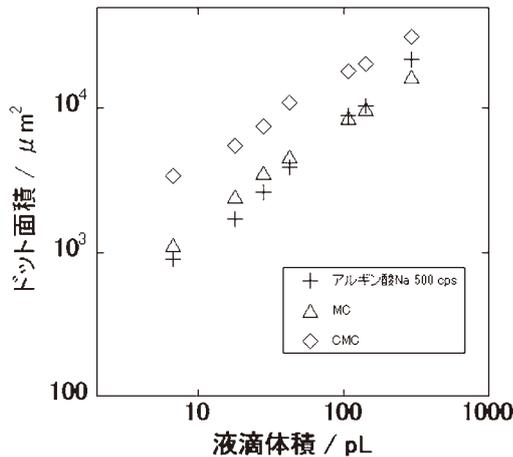


図3 吐出した反応染料インクの体積と着弾したドット面積の関係

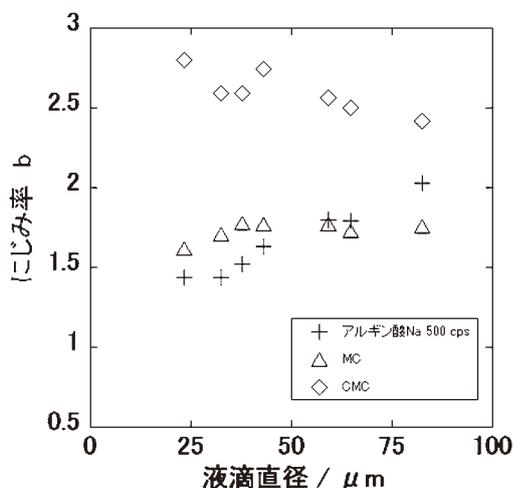


図4 吐出した反応染料インクの液滴直径とそれぞれの受容層のにじみ率の関係

その液滴の大きさにより、ドット形成に対する上述の3要素の寄与が異なっていることが原因として推察される。

今回、検討したアルギン酸ナトリウムとカルボキシメチルセルロースは、従来のスクリーン捺染からの転用によりにじみ防止の目的であり区別なく使われていることが多いが、マイクロな視点で観察すると、それらに対して液滴が拡がる挙動は大きく異なっており、これがマクロなレベルでIJ捺染の画質に影響を与える可能性がある。このようなマイクロなドット形成がマクロで観察する画質にどのような影響を与えるか、また、IJ捺染にはどのような特性を持つ受容層が適するかについては今後の検討課題としたい。

3.4 布帛へ形成した受容層におけるドット形成の観察

2.3にて受容層を付与した綿の生地に対して液滴直径 $32.4\mu\text{m}$ 、体積 17.8pL の反応染料インクを付与した結果を図5に示す。生地に対して液滴を着弾させた結果、平坦な受容層フィルムへの着弾とは異なり、未処理布、いずれの受容層を施した生地でも、糸を構成する繊維に跨り、繊維の長さ方向へにじんでいることが観察されていた。また、繊維の太さは1本約 $10\sim 15\mu\text{m}$ 程度の太さであり、対してインク液滴は約 $30\mu\text{m}$ であることから、IJ捺染におけるドット形成機構は、液滴が糸を構成する繊維2～3本に跨り着弾し、それが毛細管現象による濡れ拡がり、浸透、蒸発などの現象により形状が決まっていると推察される。

次に、各受容層のにじみの程度を確認すると、図5より、アルギン酸ナトリウムとカルボキシメチルセルロースは同程度のにじみであり、メチルセルロースは最もにじみが小さい傾向にあり、これは以前の研究報告の結果と合致している²⁾。しかし、図4の結果では、アルギン酸ナトリウムとメチルセルロースのにじみ率は $1.5\sim 2$ であるが、カルボキシメチルセルロースは 2.5 以上と大きく離れており、フィルムと布帛では相関がみられない。実際の布帛へのIJ捺染では、繊維による毛細管現象や繊維内部へのインクの吸収の寄与があるため、これらを考慮しなければならないことが分かった。

4. まとめ

一定の大きさの反応染料インクを様々な受容層や生地に対して着弾させ、そのドット形状を測定・観察す

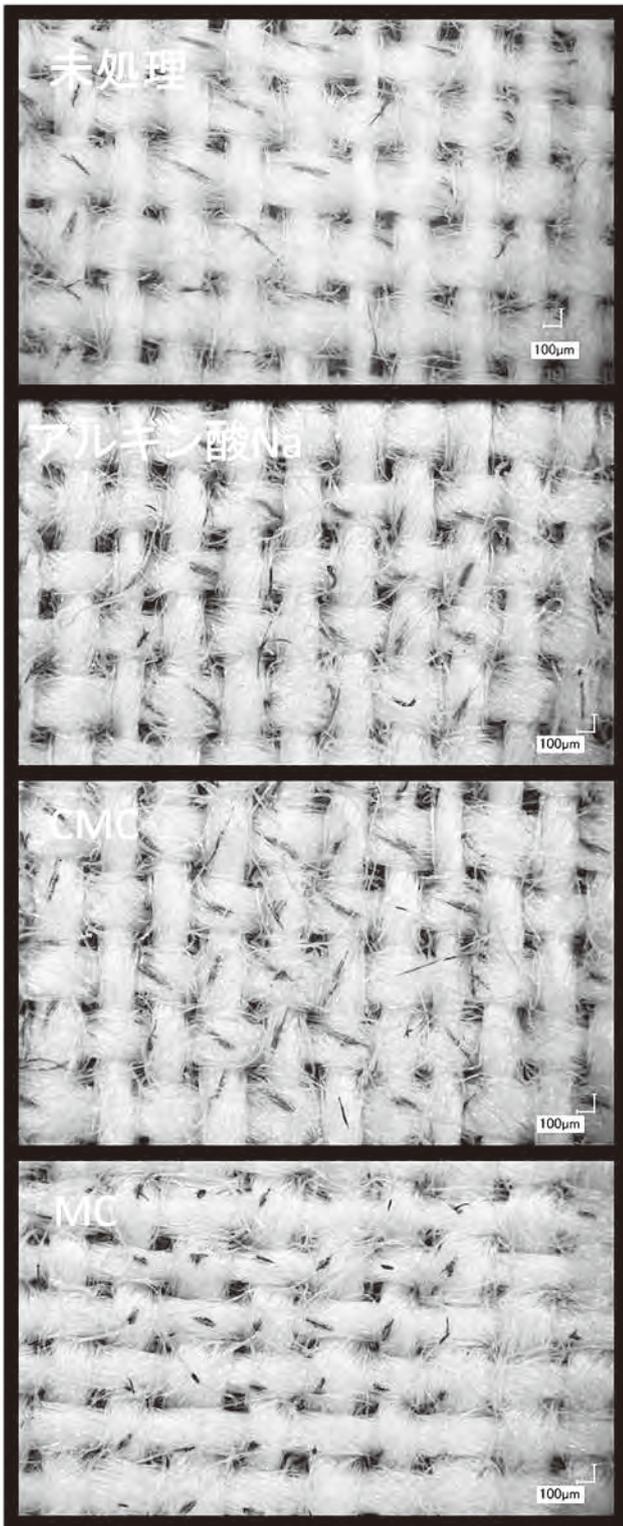


図5 綿金巾に対して液滴を着弾させ形成したドット

ることで、受容層を構成する多糖高分子の種類がドット形成に与える影響について検討した。その結果、以下のことが分かった。

- 1) IJ捺染は液滴の吐出量を極めて正確に制御できるため、フィルム上では、着弾し形成されたドットはほぼ同形状である。
- 2) 受容層を構成する多糖高分子の種類により、液滴の濡れ拡がりは異なり、それぞれ特有の挙動を示す。
- 3) IJ捺染におけるドット形成は、液滴が糸を構成する数本の繊維に跨り着弾し、それが毛細管現象による濡れ拡がり、浸透、蒸発などの現象により引き起こされると推察される。
- 4) 布帛へのドット形成は、特に繊維間での毛細管現象による濡れ拡がりが大きいため、これを考慮した受容層の設計が求められる。

これまでIJ捺染分野では、マクロな観点からの視感評価が中心であった。しかし、今回報告したミクロな視点からの評価を行い、画像を形成する1単位であるドット形成機構の詳細を理解することでより短時間で素材に応じた最適な前処理工程を提案できるようになると考える。

参考文献

- 1) 森本國宏：繊維機械学会誌, 69, 45 (2016).
- 2) 向井俊博：京都市産業技術研究所研究報告, No.4, 106-112 (2014).
- 3) 藤井雅彦, 他：“インクジェット”, 日本画像学会編, p.89-98 (2008).