

NASSENGER SP-1

超高速デジタル捺染機画質向上技術

Heightened Image Quality in an Ultra-high-speed Digital Textile Printer

吉村俊彦*
Toshihiko YOSHIMURA

駒田直也*
Naoya KOMADA

花島優介*
Yusuke HANASHIMA

百瀬淳美*
Atsumi MOMOSE

要旨

布へのパターン印刷を意味する捺染は、主にスクリーン印刷によって行われており、生産量は全世界でおおよそ一年間に300億m²とされている。インクジェットテキスタイルプリンターによるデジタル捺染は、1990年代の終わりにはじまっているものの、デジタル化の進展は遅く、その比率は現在でも5%程度にとどまっている。しかし、近年SPA (Specialty store retailer of Private label Apparel : アパレル製造小売業) の台頭が著しく、変化の早いアパレル業界で「売れるものを短納期で大量に生産し、かつそのサイクルを高速で回す」という新しい潮流が生まれた。このような業態はアナログ捺染のスクリーン印刷では迅速に対応することができないということもあり、超高速デジタル捺染機にとっては、追い風となっている。

一方、コニカミノルタ製の超高速デジタル捺染機のNASSENGER SP-1は2016年4月の上市以来、顧客先での設置・量産を経て、着実に市場での実績を残してきた。

その中で、テキスタイルデザインについてもインクジェットならではのチャレンジが生まれ、デザインが進化してきた。結果として、印刷難易度の高いデザインの需要が増え、デジタル捺染機への画質要求は高まった。

今回紹介する技術はこうした顧客の高い画質要望に応えるために開発されたものであり、市場の競争に勝ち残るためには必要不可欠なものである。画質面で顧客満足が得られれば、環境負荷の高いアナログ捺染方式からインクジェット捺染方式への移行が進み、アパレル染色業の水資源の節約や現場の労働環境向上も期待できる。

Abstract

Conventionally, printing on cloth is chiefly conducted through screen printing, an analog process, with such textile printing amounting to some 30 billion m² globally every year. In contrast, although the digital printing provided by inkjet textile printers made its debut at the end of the 1990's, until now, progress has been slow, with inkjet textile printing currently accounting for only about 5% worldwide. However, today's rapidly emerging SPA (Specialty store retailers of Private label Apparel) companies need to provide large quantities of apparel within short delivery times, and these businesses cannot respond promptly to market pressures when they are bottlenecked by analog screen printing. The result has been a boost in demand for ultra-high-speed inkjet textile printers.

Precisely such a printer is Konica Minolta's NASSENGER SP-1, with which customer satisfaction has ensured its steady market growth since its launch in April 2016. Spurring market demand have been the unique capabilities of inkjet textile printing, which allow designs to be printed digitally on textiles. Tracking that demand, printer design has evolved to achieve striking results, meeting customers' ever rising expectations of high performance and high image quality.

Presented here is technology developed in response to these customer expectations, technology that is indispensable to winning market share. If customer standards of image quality are met, the shift from analog printing, with its high environmental cost, to ink jet printing will additionally conserve water in the apparel dyeing industry and improve the worksite environment.

* 情報機器開発本部 エンジン制御開発センター 第3エンジン制御開発部

1 はじめに

超高速デジタル捺染機のNassenger SP-1は2016年4月の上市以来、着実に市場での実績を残してきた。その中で、テキスタイルデザインについてもインクジェットならではのチャレンジが生まれ、デザインが進化してきた。結果として、印刷難易度の高いデザインの需要が増え、デジタル捺染機への画質要求は高まった。印刷画質が顧客要求を満足できなければ、最悪の場合、エンドユーザーであるSPAやアパレルメーカーの仕事が失注してしまうため、大きな機会損失を招くことになる。そのため、インクジェット捺染機メーカーにとっては、画質向上こそが市場競争を有利に進める唯一の手段と言っても過言ではない。したがって、そうした画質に関する課題を1つ1つ解決していくことが、市場でインクジェット捺染機を普及させる鍵となる。

ところで、これまでにデジタル捺染で難しいとされているアパレル特有のデザインの1つとしてFig. 1に代表される幾何学模様 (Geometric design) がある。一般的に幾何学模様は、あらかじめ染色された複数の糸を用いて特殊な織機を使うことで生産されていた。

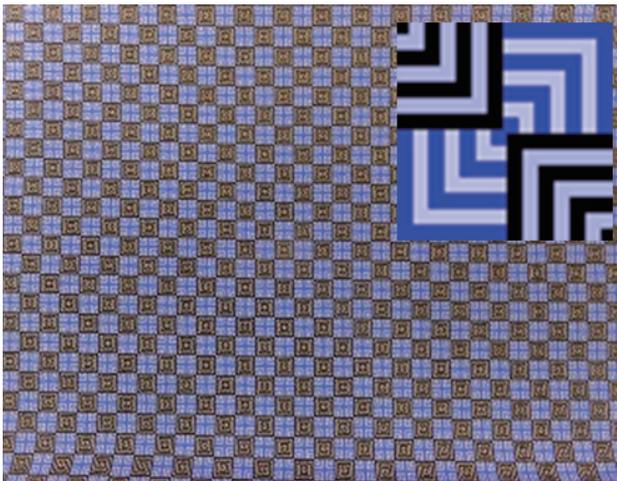


Fig. 1 Geometric design.

しかし、昨今のアパレル業界では、織物としてこれを実現するのではなく、織り組織そのものをテキスタイルデザインとしてインクジェット捺染機を使用することで無地の生地プリントするという新しい手法でも生産されるようになった。ところが、インクジェットで幾何学模様の細かい線を表現するためには、複数のインクを重ねる必要があるため、色間の液滴の着弾ずれが発生すると、Fig. 2の右の画像のように同じ柄でも異なる色味になってしまう。

また、アナログ捺染方式が得意とし、一般的なデザインの1つとして濃色を背景地とするデザインがある。アナログ捺染ではプリントに使用されるインクは印刷前に調色されるため、そうした背景地でムラが発生することはない。しかし、インクジェット捺染では複数のインク

の面積階調によって色を表現するため、版の数に関わらず、あらゆる色が印刷可能である一方、着弾ずれやインクジェットヘッド (以降ヘッドと称す) の個体差によって、濃淡ムラが発生してしまう。こうした問題もアナログ捺染機からデジタル捺染機への置き換えがスムーズに進まない理由の一つといえる。

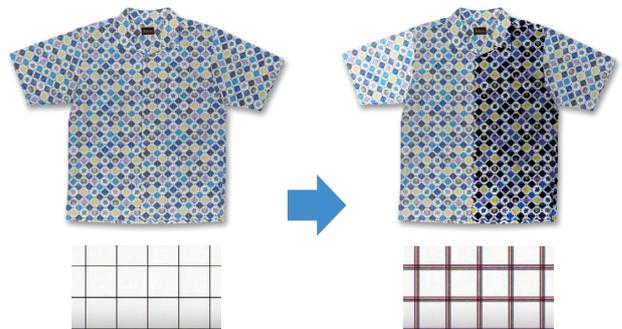


Fig. 2 Color deviation in geometric design.

2 色間着弾ずれの軽減

2.1 発生のメカニズム

SP-1はFig. 3に示したように複数のヘッドモジュール (ヘッド2つで構成) をライン上に配置した複数のプリントユニット (以降、PUと称す) で構成され、シングルパスで印刷することによって超高速な印刷スピードを実現した (最高速度6,400m²/h)。このため装置が大型となり、布の搬送機は全長約13.5m、搬送ベルトが周長約27mに及ぶ。

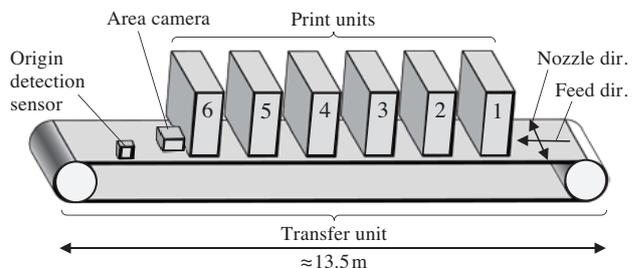


Fig. 3 SP-1 system.

このようにベルトが長いと、印刷中におけるベルトの速度変動や蛇行による画質への影響が無視できなくなる。特に蛇行の影響は顕著であり、最大数画素程度の色間の液滴の着弾ずれが発生する。

2.2 ベルトプロファイル補正

上記の着弾ずれを改善するため、ベルトの変動を測定し、その結果を元にベルト一周分のプロファイルを作成することによって、補正を行う。

1) ベルト変動量測定

ベルト変動を測定するために、Fig. 4のようなチャートを使用する。

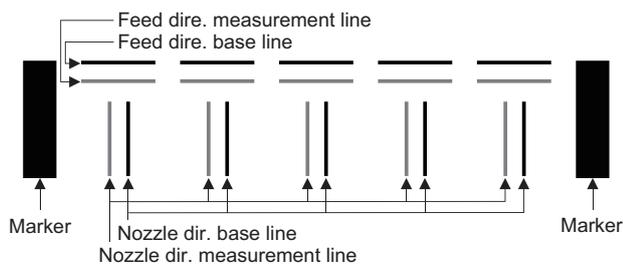


Fig. 4 Belt checker chart.

これは、全体の中央に位置する、PU4を基準色とし、その他の色との着弾ずれ量を線間の距離として検出するためのチャートである。このチャートを布に印刷しながら、エリアカメラで撮影し、線間の距離を画像処理で計算する。測定はベルト上にある原点マークを基準として、ベルト一周分行われる。サンプルとしてFig. 5にノズル列方向PU4-PU6間の着弾ずれ量測定結果を示す。布に印刷されたチャートを搬送中にエリアカメラで読み取っているため、布目による着弾の偏りやベルト振動などの影響により、測定結果には誤差が発生する。そのため、移動平均で評価を行っている。

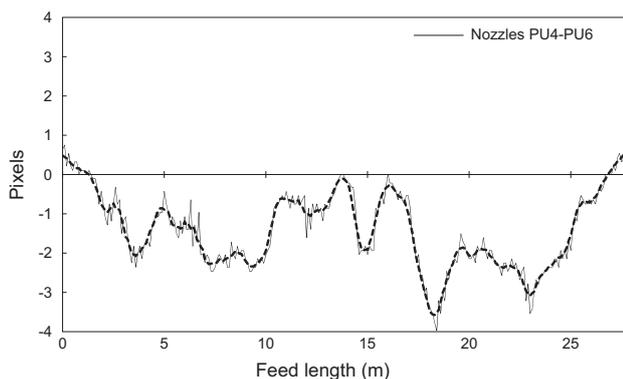


Fig. 5 Nozzle direction color deviation compared: PU4 and PU6.

2) プロファイル作成

ベルト変動量測定により、搬送方向位置で基準色に対する各色の位置の偏差が得られた。この偏差はベルト長さの周期で変化していることが分かっているため、各色の印刷時のベルト搬送方向位置に応じて、偏差を相殺する方向に着弾位置を移動させることで、色間の着弾ずれをキャンセルできる。具体的には、得られた偏差データの符号を反転させ、搬送方向はエンコーダの分解能の単位で、ノズル列方向は画素単位で量子化する。これが各色のベルト変動量を補正するプロファイルとなる。

3) プロファイル補正

作成したプロファイルは各色のヘッド駆動基板に設定する。駆動基板は原点検知信号を基準とし、搬送ローラのエンコーダ信号をもとにベルト位置を把握する。さらに、プロファイルデータからベルト位置に応じた吐出タイミングの制御と、ヘッド内のノズル列方向の画像データのシフトをリアルタイムで行う。

この補正により、各色間の着弾ずれ量は半減し、画質として許容可能なレベルに収まることを確認した。Fig. 6はノズル列方向PU4-PU6間の補正結果である。

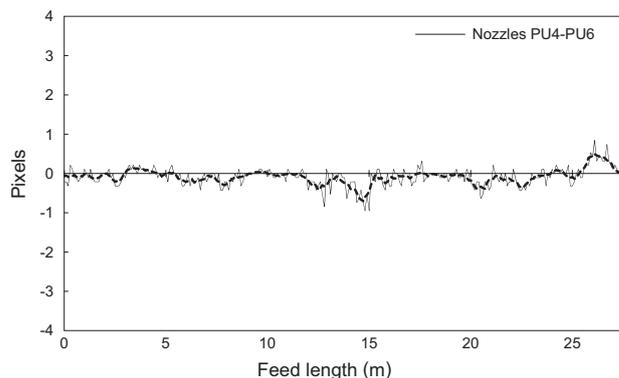


Fig. 6 Corrected nozzle direction color deviation compared: PU4 and PU6.

3 ヘッドモジュール間濃淡ムラの軽減

3.1 電圧自動調整

インクジェット捺染機において濃淡ムラが発生する原因としてヘッド間の液量のばらつきがある。これは駆動電圧や駆動波形に対して、ヘッド間のみならず、同一ヘッド内列間ですら異なる感度をもつことが原因の1つとしてあげられる。

この問題に対して従来、SP-1ではヘッドモジュール単位で濃度パターン画像を印刷し、それを目視で確認しながら調整を行っていた。この場合、同一ヘッド内のノズル列単位で調整を行えない上に、モジュール内のヘッド単位の調整も行うことができない。また、目視では定量的に調整できないため、作業者の勘や熟練度に依存していた。

そこで、これらを解決するために、電圧を自動で調整する技術を開発した。SP-1ではヘッド間の液滴の着弾ずれなどの調整のためにFig. 7で示すようにCCDカメラを搭載している。電圧自動調整ではこれを使用することで、解析に必要な濃度の取得を行った。

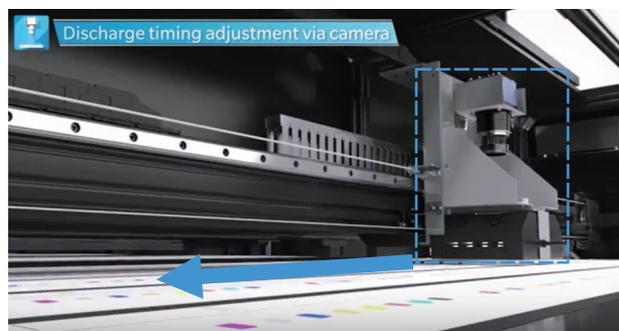


Fig. 7 Camera unit.

これによって、ヘッド内の列単位で印刷された濃度データを解析し、適切な変換を行うことで、電圧調整を実現することができた。この技術を実現するために必要なポイントを以下に挙げる。

- 1) カメラスキャン時の読み取り濃度変動
- 2) 濃度から電圧への変換精度

カメラと印刷物間の撮像距離の変動が生じることが原因で、1)が発生するという問題が存在していた。これを解決するために、Fig. 8のチャートを読み取り、走査領域のヘッド幅単位で印刷媒体の余白部分を用いてシェーディング補正を行った。

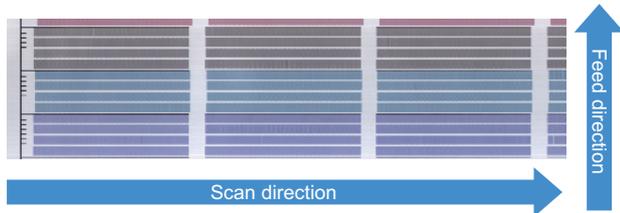


Fig. 8 Analysis chart.

その結果、走査位置によって発生する濃度変動を軽減しつつ、高精度に濃度を取得可能とした。

2)については、インク及びヘッドが自社製であるメリットを最大限に活かして、最適な環境と条件下で変換用の濃度データを取得し、高精度な電圧変換テーブルを作成した。

結果として、電圧自動調整を行うことにより、Fig. 9で示すように調整前後比較で、色差の50%以上を削減することができた。

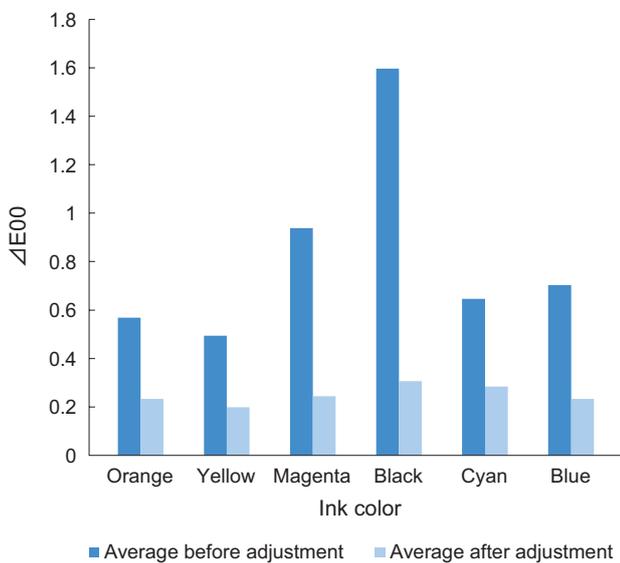


Fig. 9 Minimized color variation.

3.2 シェーディング補正 (階調補正)

SP-1におけるシェーディング補正は、特定の階調だけでなく、すべての階調でヘッドモジュール間の階調特性を揃えることにより、濃淡ムラを抑制する技術である。複数の階調の濃度を測定して作成したFig. 10の階調特性カーブを元に、等しい階調特性を示すよう各ヘッドモジュールの入力階調を補正する。

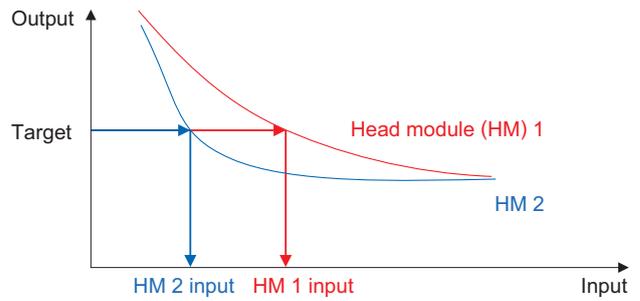


Fig. 10 Tone curve.

なお、SP-1ではシェーディング補正技術を既に搭載していたが、今回はより精度良く階調補正できるように、ヘッドモジュール単位で補正可能な技術開発を行った。

布でのシェーディング補正：

紙への印刷とは異なり、布への印刷では、Fig. 11のように着弾したドットの形状が円形とは限らない。

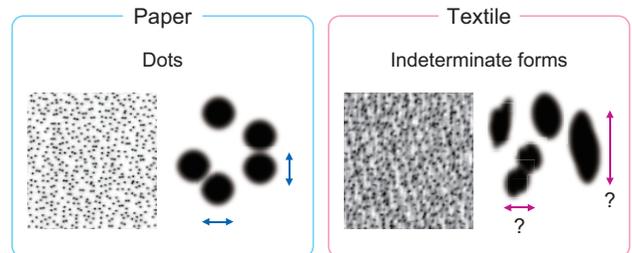


Fig. 11 Dot formation.

また、インクジェット捺染特有の前処理剤の影響もあり、その形状は布種によってさまざまである。そのため、より高精度に階調補正を行うためには、顧客が実際に使用する布を用いることが望ましい。また、布には織目の粗密によってベルトの透過によるムラが存在する。Fig. 12は黒いベルトの上に印刷されていない布を置いたときの画像であるが、組織がまばらでベルトの透ける部分と、組織が密でベルトが透けない部分が存在している。

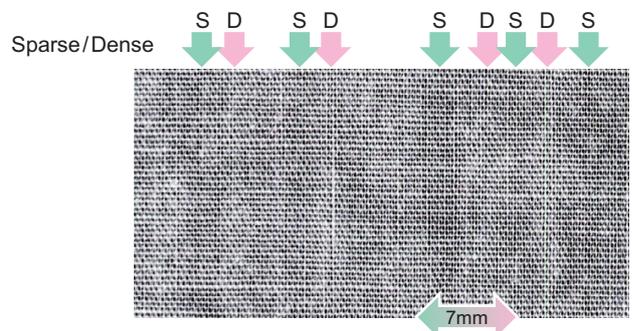


Fig. 12 Sparse and dense weave areas of textile.

従来技術では、布を用いてCCDカメラによる自動解析を行うと、このベルト透過量によるノイズを拾ってしまい、補正精度が落ちるという問題があった。Fig. 13は、印刷されていない布の周波数解析結果である。

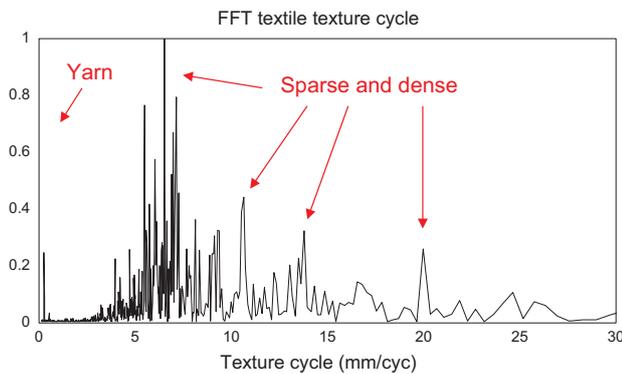


Fig. 13 FFT analysis.

糸径(約0.2mm)よりも大きな周期が存在することから、少なくともこのベルト透過量の周期以上で階調特性カーブを作成する必要があった。そこで、今回のシェーディング補正の改善では、ベルトの透過による影響を抑えるために、ヘッドモジュール毎に平滑化を行い、階調特性を算出することで、Fig. 14のように濃度ムラ抑制精度を向上することができた。

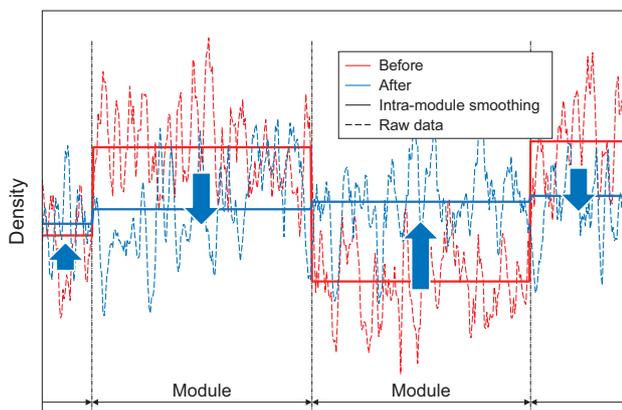


Fig. 14 Effect of shading adjustment.

4 ヘッドモジュール間オーバーラップ部分の着弾ずれに対するロバスト性向上

SP-1のヘッドモジュールは、Fig. 9で示したように隣接するヘッドモジュールがオーバーラップされるように配置されている。このオーバーラップ部分の印刷は通常の領域とは異なり、マスク処理によって印刷画像を排他的に振り分けることで、濃淡ムラの軽減を行っている。これは、オーバーラップ部分は通常の領域よりも装置の影響を受けやすく、印刷媒体上で液滴の着弾ずれによる濃淡ムラが顕著に現れやすいことが理由である。そこで、このような着弾ずれが発生した場合でもムラの軽減を可能とするマスク処理のロバスト性向上が必要であった。

4.1 着弾ずれの原因

機械公差、装置設置環境依存による気流の乱れ(エアフロー)や、機械寸法の経時変化、搬送ベルトのクリーニング起因の振動による着弾ずれなどがその一因として

挙げられる。捺染機はアナログ、デジタルを問わず搬送ベルトに付着した染料によって印刷物を汚さないため、Fig. 15のような搬送ベルトを水でクリーニングする機構を備えている。ここでは、ベルト表面に付着した水を切るためのブレードが搭載され、それがベルト面と接触することで微小な振動を生んでいる。

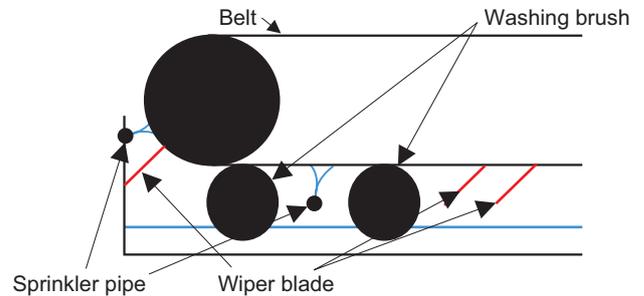


Fig. 15 Belt cleaning system.

The wiper blades create vibration on the belt, causing ink dot position errors, resulting in uneven density in the overlapping area between neighboring head modules.

例として搬送ベルトの振動と着弾誤差の関係を、Fig. 16に示す。

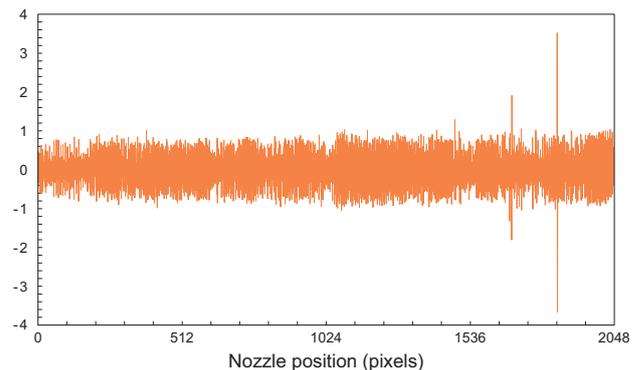


Fig. 16 Deviation during belt cleaning.

4.2 評価方法

Fig. 17で黄色く塗りつぶされた領域のように、人間の視覚特性(VTF)と印刷用の2値化画像データの空間周波数特性が重なる部分を積分して評価値とした。

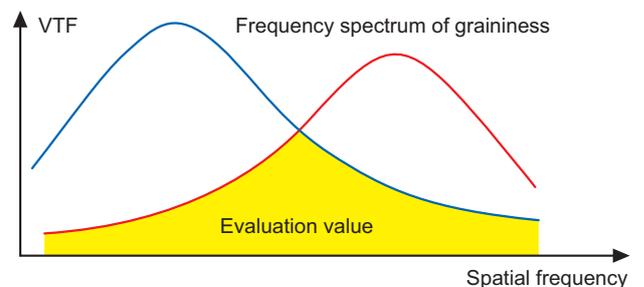


Fig. 17 Evaluation value of graininess between head modules.

The frequency spectrum of unevenness in the simulated print-out (red) is weighted by the VTF (visual transfer function) (blue). The intersecting area (yellow) presents the evaluation value of the graininess of the unevenness.

このとき与える印刷用の2値化画像データに対して着弾誤差を与えたFig. 18の右の画像に加工することで、その変化量を視覚特性と掛け合わせて評価値とした。

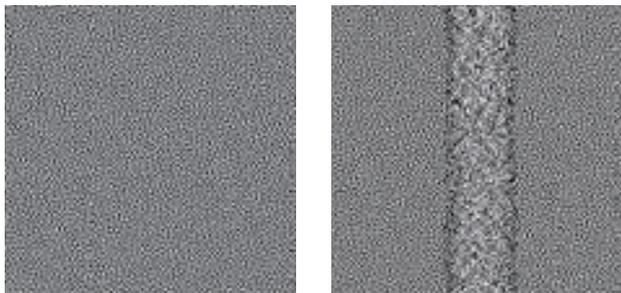


Fig. 18 Simulated printout used to obtain optimal parameters of masking to minimize unevenness (graininess) in the overlapping area between neighboring head modules.

Left: even printout, Right: unevenness (graininess) created in the overlapping area due to ink dot position errors. The parameters are optimized so that unevenness is minimized.

結果として、Fig. 19で示すようにマスク処理を行うための最適なパラメーターを、シミュレーションによって得ることができた。これにより、効率的で、より効果のあるマスクを作成することができた。

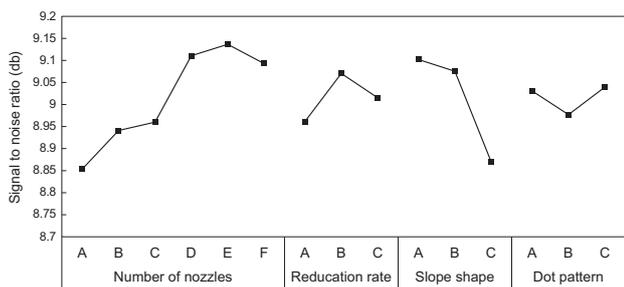


Fig. 19 Optimization of masking parameters.

Masking parameters — number of nozzles, reduction rate, slope shape, and dot pattern — are optimized based on simulated printout such that the evaluation value of the printout with position errors is minimized.

その結果、外乱がある状態で印刷を行った場合でも、Fig. 20の左の画像のようにオーバーラップ部分で発生している白スジが、右の画像まで低減することができた。

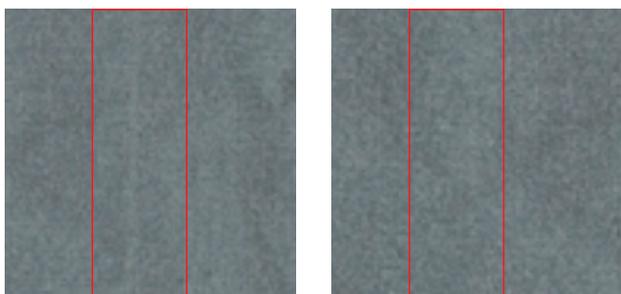


Fig. 20 Effect of optimal masking in minimizing unevenness in overlapping areas between neighboring head modules.

Left: printout with conventional masking. Right: printout with optimal masking.

5 おわりに

アパレル業界は、ITテクノロジーとの親和性の高い業界であり、小売を始め凄まじいスピードで変革を遂げている。コニカミノルタもインクジェットテキスタイルプリンターのNASSENGERシリーズで培った技術とともに、今後もアパレル製造分野のデジタル化を先導していきたい。