

用紙波うち低減を実現したRICOH Pro Z75搭載の紫外線と赤外線を用いた新乾燥技術の開発

Development of a New Drying Technology Using Combined Ultraviolet and Infrared Radiation in the RICOH Pro Z75 to Achieve Reduced Paper Waving

浅田 幸輝*
Kohki ASADA

神原 一暁*
Kazuaki KAMIHARA

飛弾 竜作*
Ryusaku HIDA

野沢 健二*
Kenji NOZAWA

平山 忍**
Shinobu HIRAYAMA

秦 輝鮮*
Kiyoshi HATA

要 旨

RICOH Pro Z75は、自動両面印刷対応水性インクジェットプリンタであり、印刷市場のデジタル化を推進するために開発された。従来、水性インクジェットプリンタでは、薄紙や高濃度画像を印刷すると、用紙波うちが発生するという問題があった。用紙波うちを低減するには、水性インクのみを加熱し、水性インクが付着していない部分は加熱しない乾燥方式が有効である。今回、我々は用紙波うちを低減することを目的として、紫外線と赤外線を組み合わせた新乾燥技術を開発した。このうち紫外線は、水性インクのみを加熱することができることを確認した。さらに赤外線を併用することで、より乾燥エネルギーを必要とする厚紙まで対応した。この新乾燥技術を搭載したRICOH Pro Z75は水性インクジェットプリンタでありながら、乾燥性能を確保しつつ用紙波うちを効果的に抑制し、薄紙への自動両面印刷に対応した。

ABSTRACT

The RICOH Pro Z75 is a water-based pigment inkjet printer with automatic duplex printing capabilities, developed to promote the digitalization of the printing market. Conventionally, paper waving occurs with water-based pigment inkjet printers when printing on thin paper or high-density images. An effective approach to reducing paper waving involves selectively heating the water-based pigment ink while keeping unprinted areas unheated. In this study, we developed a drying technology that combines ultraviolet and infrared radiation aimed at reducing paper waving. Through evaluations, we verified that ultraviolet radiation selectively heats only the water-based pigment ink. Furthermore, by combining infrared radiation, the technology also supports printing on thick paper, which requires higher drying energy. Equipped with this new drying technology, the RICOH Pro Z75 effectively suppresses paper waving while maintaining drying performance, enabling automatic duplex printing even on thin paper despite being a water-based pigment inkjet printer.

* リコーグラフィックコミュニケーションズBU 商用印刷事業本部 事業統括センター
Business Management Center, Commercial Printing Business Division, RICOH Graphic Communications BU

** リコーフューチャーズBU IJ電池事業センター
IJ Printed Battery Solution Business Center, RICOH Futures BU

本稿は、日本画像学会に帰属の著作権の利用許諾を受け、日本画像学会誌, Vol. 65, No. 1 (2026)に掲載した論文を基に作成した。

1. はじめに

商用印刷市場においてオフセット印刷は長年高いシェアを占めている。しかし、印刷物を必要な分量だけ随時小ロットで印刷するオンデマンド印刷、ダイレクトメールの宛名や個人ごとの情報などのデータに基づいて印刷内容を可変するバリアブル印刷、さらには環境に配慮した水性インクへのニーズが拡大している。

商用印刷市場で一般的に利用されているオフセットコート紙は水性インクの浸透性が低く、印刷画像の乾燥性が低下しやすい¹⁾。また、水性インクを用いて薄紙や高濃度の画像を印刷する場合、コックリングと呼ばれる用紙波うちが発生する問題がある。画像部の用紙波うちは、用紙基材のセルロース繊維がインク中の水分を吸収し、膨潤することによって伸張する²⁾こと、および乾燥時に生じる画像部と非画像部の含水分差により不均一に収縮するため³⁾と考えられている。これに対して従来の研究では、乾燥収縮しにくいコート紙の開発³⁾や、印字部のみを選択的に加熱して、画像部と非画像部の伸縮差を抑制するレーザー乾燥技術の開発⁴⁾が実施されている。

用紙波うちに関してリコーは、高速連続用紙インクジェット・プリンティング・システムの「RICOH Pro VC70000」に複数の小径加熱ローラを搭載して、用紙を密着巻き付けすることで乾燥しながら用紙波うちを矯正する技術を開発^{5,6)}した。この技術は連続用紙に対し有効であるが、枚葉紙では用紙に張力をかけながら用紙の先端から後端までを小径ローラに巻き付けることが難しいなどの問題がある。

リコーでは枚葉紙の水性インクジェットプリンタにおける用紙波うちを低減するための新乾燥技術を開発し、枚葉インクジェット・プリンティング・システムの「RICOH Pro Z75」（以下、Pro Z75と記載する）に新技術を搭載した。この技術により薄紙や高濃度の画像を印刷する場合の用紙波うちを低減することが可能となった。本稿では、Pro Z75に搭載した新規乾燥技術とその改善効果について述べる。

2. RICOH Pro Z75の概要

Pro Z75はリコー初となるB2サイズ対応の枚葉インクジェット・プリンティング・システムである。主要な仕様をTable 1に、システム構成および外観をFig. 1に示す。用紙は給紙ユニットから給紙され、作像ユニット内でヘッドアレイからKCMYの4色の水性顔料インクによって画像を形成した後、後述する乾燥装置によってインクを乾燥させる。乾燥後の用紙は冷却ユニットで冷却される。片面印刷の場合、用紙は両面反転ユニットを通過し、直接排紙ユニットに排紙される。両面印刷の場合は、両面反転ユニットにて用紙の表裏が反転され、その後再度作像ユニットで印刷が行われてから排紙ユニットに送られる。このように自動両面印刷に対応していることがPro Z75の大きな特徴の1つである。

Table 1 Basic specification of Pro Z75.

	Specification
Printing method	Piezo, drop on demand
Drying method	Radiation
Printing color	4colors (K,C,M,Y)
Print resolution	1200 × 1200 dpi
Print speed	Simplex (4/0) at 4,500 sph Duplex (4/4) at 2,250 sph Simplex (4/0) at 3,000 sph Duplex (4/4) at 1,500 sph
Ink	Water based pigment ink
Paper type	Offset coated paper Inkjet coated paper Uncoated paper
Paper size	585×750 mm(B2+)
Paper weight	Uncoated(simplex):60 - 400 gsm Uncoated(duplex):80 - 400 gsm Coated(simplex):80 - 400 gsm Coated(duplex):105 - 400 gsm
Machine size	12200 mm x 3950 mm x 2330 mm

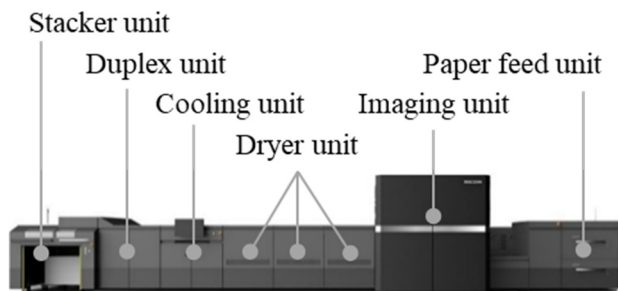


Fig. 1 Front view of RICOH Pro 75.

3. 従来技術での問題と解決方法

3-1 従来技術での問題

インクジェットシステムによる印刷では、インクジェットヘッドと印刷メディアとの距離を一定に保つことが重要である。これは、インクが印刷メディアに着弾する位置に直接影響を与えるためである。用紙の両面印刷においては、第一面印刷時には用紙の平面性が保たれているため、インクジェットヘッドと用紙間の距離を一定にしやすい。一方、第二面印刷時は前述の通り、コックリングと呼ばれる用紙波うちが発生するため、用紙の平面性を確保することが困難となる¹⁾。また、排紙後の用紙に用紙波うちが残存すると、商品性を損なうものになる。

Fig. 2に、水性インクを用いてオフセットコート紙に帯状の印刷をした際用の用紙波うちの一例を示す。Fig. 2 (a)は水性インクが付着した画像部を示し、Fig. 2 (b)は水性インクが付着していない非画像部を示している。画像部では水性インク中の水分を用紙が吸湿し、用紙繊維が膨潤している²⁾。この状態から水性インクの乾燥工程が行われる。従来のインク乾燥技術では、加熱ローラによる接触熱伝導、温風による対流熱伝達、赤外線などによる輻射熱伝達などが用いられるが、これらにより画像部および非画像部双方の水分が蒸発し、用紙が収縮する。特に非画像部は画像部に比べて含水量が少ないため用紙温度が上昇しやすく、収縮が進行しやすい。この結果、画像部と非画像部の用紙長さに局所的な違いが

生じ、画像部が非画像部に対して相対的に長くなることで画像部が波うつこととなる (Fig. 2 (a))。印刷後の用紙では、乾燥によって含水量の減少した非画像部が再吸湿する。再吸湿が進むにつれて非画像部が伸び、画像部に対して非画像部が長くなることで非画像部が波うつこととなる (Fig. 2 (b))。

このように、水性インクの乾燥は必要であるものの、用紙全体を加熱すると画像部だけでなく非画像部にも用紙波うちが広がり、用紙全体の波うちを引き起こす。この用紙波うちは印刷物の商品性を損ない、両面印刷の際は第一面印刷後の波うちが第二面印刷時の画像悪化を引き起こしてしまうといった問題が生じる。

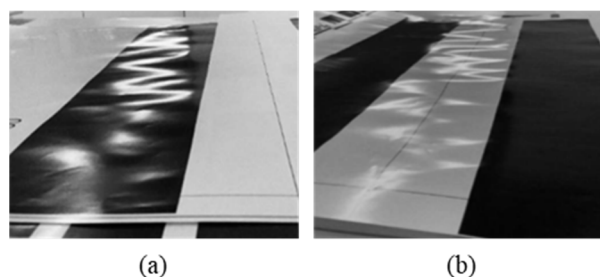


Fig. 2 Paper waviness observed on offset coated paper when printed with water-based pigment ink.
(a) Paper waviness in the printed area after printing and drying.
(b) Paper waviness in the non-printed area after printing, drying, and subsequent moisture absorption.

3-2 解決方法

3-2-1 インクのみを乾燥させる熱源の選定

上述した用紙波うちを低減するためには、水性インクのみを加熱し、非画像部を加熱しない乾燥方式が有効である。水性インクのみを加熱できれば、水性インク付着による用紙繊維の膨潤は生じるものの、乾燥工程以降では画像部と非画像部の局所的な用紙長さの拡大は抑制できると考えられるためである。そこで、水性インクのみを加熱可能な熱源について検討を行った。

Table 2 List of heat transfer methods.

Heat transfer form	Conduction		Convection		Radiation	
Heating method	Contact		Contactless		Contactless	
Typical example	Heat transfer belt drying Heat transfer roller drying		Hot air drying		Infrared drying UV drying	
Configuration image						
Heating area	The entire area in contact with the roller is heated.		The entire area in contact with the hot air is heated.		The moisture in the ink and paper absorbs the infrared rays, causing the entire area to heat up. Pigments absorb UV rays, but moisture does not absorb UV rays easily, so only the ink can be heated.	

Table 2に熱源の種類一覧を示す。伝熱の形態は、接触による伝導伝熱、非接触の対流熱伝達および輻射伝熱の3種類に分類される。伝導伝熱の代表例として加熱されたベルトやローラが挙げられるが、接触した用紙の全領域が加熱されるため、水性インクのみを加熱することはできない。対流熱伝達は温風などが代表的であるが、温風は全体を加熱するので、水性インクのみを加熱することはできない。輻射伝熱は、加熱対象の物質が光を吸収することで発熱する方式である。水および水性インクの吸収スペクトルを参考文献⁷⁻⁹⁾より概念図化したものをFig. 3に示す。水性インクの吸収スペクトルは4色のうち代表的な2色について概念図化している。これより、中赤外線に分類される赤外線において、水および水性インクによく吸収される波長があることが確認できる。そのため水性インクを効率よく加熱できる。しかし、用紙自体にも水分が含まれているため、この波長の赤外線では用紙全体も加熱されてしまい、水性インクのみを加熱することは困難である。近赤外線に分類される赤外線は、中赤外線に比べて水への吸収が低く、用紙加熱を抑制できる。しかし、水性インクのうち特定の色にのみ吸収されやすく、各色間で乾燥性差にばらつきが生じやすいという問題がある。最後に紫外線乾燥について検討する。紫外線は赤外線に比べて水に吸収されづらい。一方で、紫外線は水性インクに吸収されやすい。したがって、紫外線を乾燥に用いれば、水性インクのみを加熱し、用紙の加熱を抑えられることが期待できる。

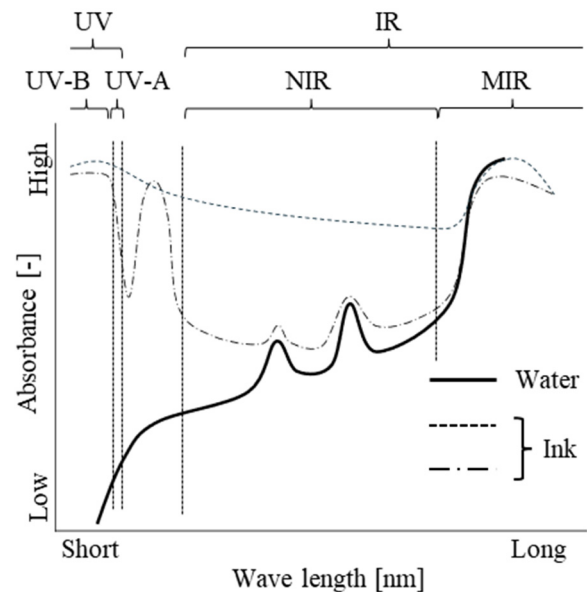


Fig. 3 Schematic diagram of absorbance at each wavelength for water and water-based ink.

3-2-2 紫外線熱源の選択的加熱効果確認

紫外線が水性インクのみを加熱できるかどうかを検証するため、乾燥部を通過した用紙の画像部および非画像部の温度測定を行った。Fig. 4に装置概略図を示す。用紙に、シアン (C) とマゼンタ (M) を組み合わせた二次色で帯状の印刷を行い、乾燥部を通過させた。乾燥部の熱源として紫外線と赤外線を搭載し、それぞれ熱源の出力を変えられるようにしている。紫外線には、紫外線硬化インク用などで印刷業界にて一般的に用いられ、UV-Bよりインクジェット・プリンティング・システムへの実装性が良好であるUV-A領域に属する波長のLEDランプを

使用した。赤外線には、近赤外から中赤外領域の波長を放射するヒータランプを用いた。いずれのランプも用紙が通過する際は全面点灯しており、画像部および非画像部に均一に照射される条件で測定を行った。温度測定にはオプトリス社製の放射温度計 CSTCLT シリーズを使用し、乾燥部出口の用紙幅方向中央に設置した。本評価では、用紙銘柄、坪量、乾燥部通過時間、熱源出力を変えて温度測定を行った。インク付着量は、色域を満足する最大付着量に設定した。

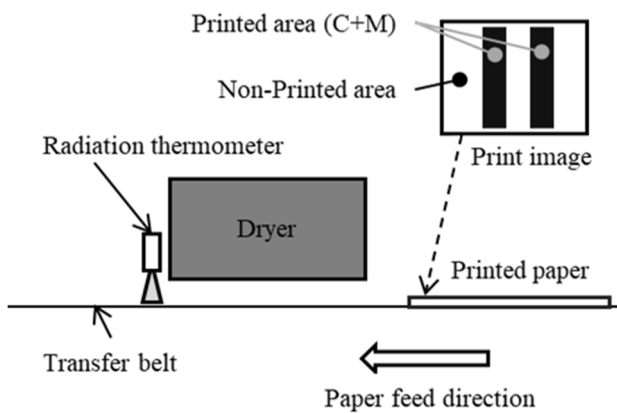


Fig. 4 Schematic of equipment.

温度測定の一例として、Fig. 5にオフセットコート紙の127.9gsmを用いた場合の乾燥部出口における用紙温度測定結果を示す。Fig. 5 (a)は乾燥熱源に紫外線を用いた場合、Fig. 5 (b)は赤外線を用いた場合の結果である。Fig. 5の結果は、いずれの条件ともに乾燥部の通過時間は同じである。乾燥に必要な画像部温度は、熱源数や通過時間を最適化することで調整可能であるため、画像部と非画像部の温度差について着目した。紫外線を使用した場合、非画像部の温度に対して画像部の温度が高くなっており、画像部を選択的に加熱できていることが分かる。一方、赤外線を使用した場合は、用紙全体が高温になる。水性インクの付着した画像部は、水性インクが蒸発する際の気化熱により、温度上昇が非画像部よりも低かった。この結果より、紫外線を使用することで、加熱が不要な非画像部の温度上昇を抑制しつつ、水

性インクのみを選択的に加熱できることが分かった。Fig. 5に示したオフセットコート紙の127.9gsm以外の用紙においても同様に、水性インクのみを選択的に加熱できることを確認している。

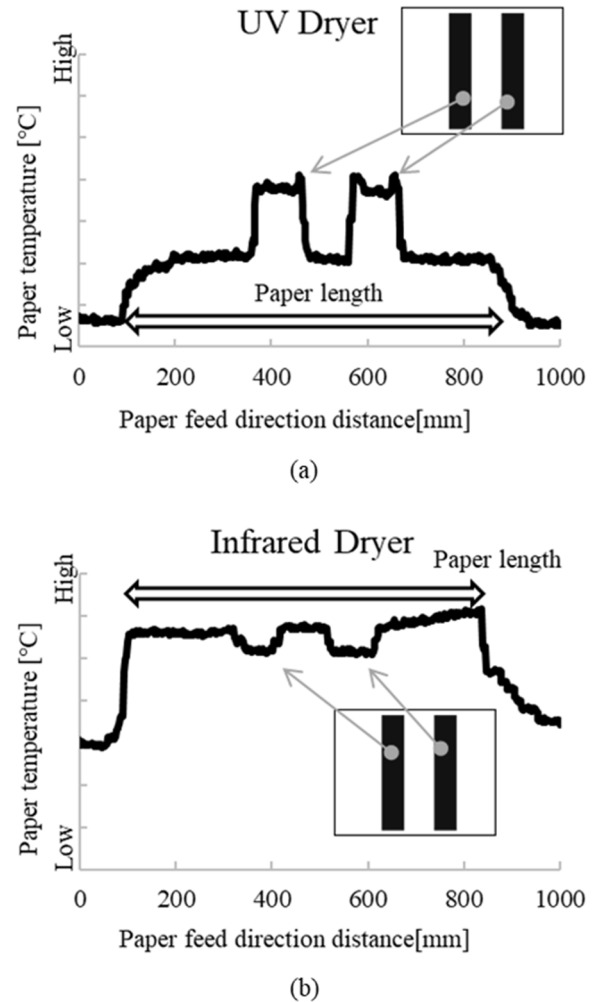


Fig. 5 Paper temperature and image area temperature at the dryer exit.
(a) Using UV dryer. (b) Using infrared dryer.

3-2-3 紫外線使用時の各色の昇温差確認

Table 1に示したように、Pro Z75はブラック (K)、シアン (C)、マゼンタ (M)、イエロー (Y) の4色の水性インクを使用している。そのため、紫外線を乾燥熱源として使用するためには4色ともに昇温できる必要がある。特に、乾燥しにくい色に合わせて熱源の出力を設定した場合、昇温しやすい特定色で

ブリスター¹⁰や発火の可能性がある。そこで紫外線照射時の各色で画像部温度を測定した。Fig. 6に装置概略図を示す。K, C, M, Yの単色をそれぞれ全面印刷した用紙と印刷していない用紙に紫外線を照射し、乾燥出口での画像部温度および非画像部温度を測定した。用紙にはオフセットコート紙の127.9gsmを用いた。Fig. 7に紫外線強度を変化させた際の温度変化を示す。Fig. 3の吸収スペクトルにもあるように、UV-A領域では色ごとに紫外線の吸収量に違いがあるため、画像部温度に差が生じている。しかし、近赤外線などを熱源に使用した際に発生しやすい特定色のブリスター発生はなく、温度差の影響は軽微である。すなわち、同一出力の紫外線で全色を昇温可能である。これらFig. 5, Fig. 7に示した2つの評価結果から、紫外線は水性インク付着部分を色差なく加熱できることが明らかとなり、水性インク乾燥の熱源として使用可能であることが分かった。

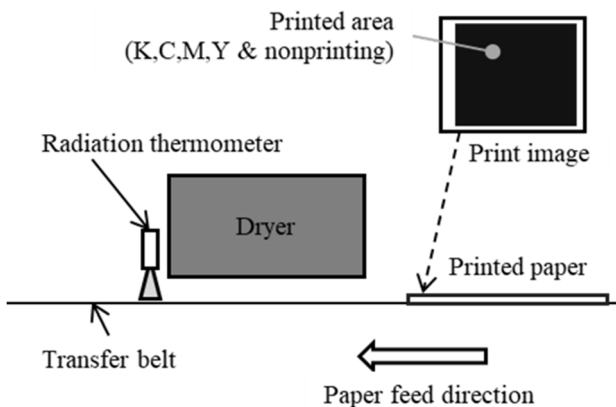


Fig. 6 Schematic of equipment.

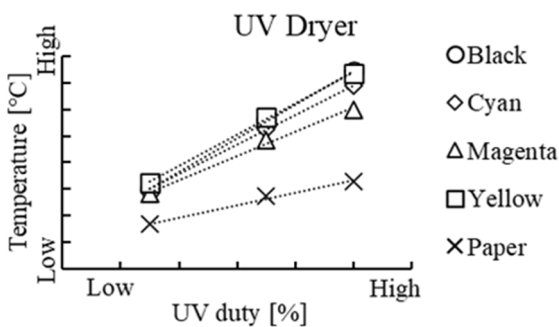


Fig. 7 Image area temperature for each color and paper temperature at the dryer exit.

4. 紫外線熱源の製品搭載に向けた検討

4-1 紫外線乾燥の製品化課題

紫外線は水性インクのみを選択的に加熱できる点で優れているが、Fig. 5 (a)に示した温度波形から分かるように、非画像部や搬送ベルトは低温のままである。その結果、水性インクを加熱した熱は周囲へ放熱されやすく、水性インクの温度上昇が抑制される。放熱される状態を模式図として表したものをFig. 8に示す。薄紙、厚紙ともに、紫外線により画像部で発生した熱は、用紙の厚み方向および非画像部へ熱伝導する。また、用紙自体が加熱されても、搬送ベルトに接触している部分からは熱が搬送ベルト側へ移動する。特に厚紙の場合、熱容量も大きいので放熱の影響が大きい。必要熱量を確保するためには紫外線熱源の数を増やすことが考えられるが、紫外線熱源は他の熱源に対してサイズが大きく高コストであるため、装置サイズおよびコストの増大を抑えたいうえで必要熱量を確保するという課題が生じる。

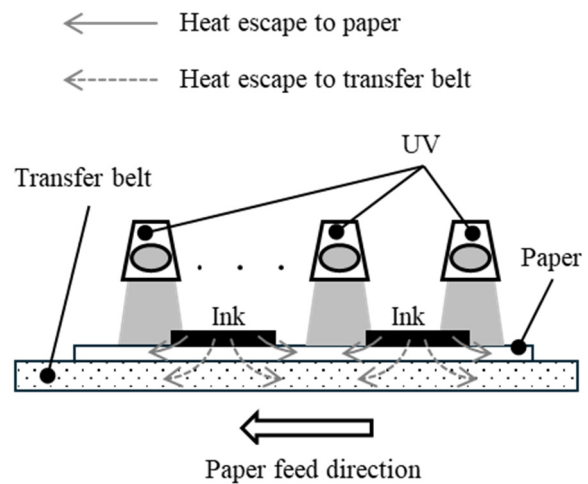


Fig. 8 Schematic diagram of heat escape when only water-based ink is heated.

4-2 紫外線と赤外線ハイブリッド乾燥

搬送ベルトへの放熱を低減するためには、搬送ベルトと用紙の温度差を低減する必要がある。そのためには、搬送ベルトに用紙が接触する直前の搬送ベルト温度を一定に保つことが望ましい。また、非画像部への放熱を低減するためには、非画像部を加熱できる熱源が必要である。印刷面には未乾燥の水性インクがあるため非接触で加熱できる熱源が望ましい。ただし、紫外線乾燥の効果である画像部の選択的加熱機能を維持できるように、非画像部を加熱する熱源は出力を調整できる必要がある。本要件から、薄紙は用紙波うち低減のために主に紫外線で加熱し、搬送ベルトへの放熱を抑制するために搬送ベルトを一定温度に保つ加熱ローラを追加した。一方で、厚紙は用紙の剛性が高く用紙波うちが起きづらいため、水性インクのみを選択的に加熱する必要性が小さい。したがって、加熱ローラによる搬送ベルトの保温に加えて、用紙全体を非接触で効率的に加熱可能な赤外線を搭載した。本構成を搭載したPro Z75の構成概略図をFig. 9に示す。紫外線乾燥、ベルト加熱ローラ、赤外線乾燥の各熱源の出力は用紙の種類や坪量などに応じて個別に調整可能である。水性インクの乾燥熱源として紫外線を主に使用しつつ、厚紙に対しては赤外線を積極的に併用する。薄紙に対しては用紙波うちの影響が出ない範囲まで赤外線の出力を下げる、または赤外線を使用しないことで非画像部の温度過上昇を防ぐ。このように、用紙特性に合わせた調整を行うことで、紫外線乾燥のメリットである用紙波うち低減機能を十分に発揮できる。Table 3に用紙種類に合わせた紫外線と赤外線の出力設定の一例を示す。非コート紙は水性インクが浸透しやすいため、必要熱量が少ない。そのため、薄紙では赤外線を使用せず、厚紙でも赤外線は低出力である。一方で、オフセットコート紙薄紙では乾燥品質確保のために、用紙波うちの影響が出ない低出力で赤外線を使用している。用紙波うちが起きづらい厚紙では、赤外線を高出力で使用して必要熱量を確保している。Pro Z75の実際の設定では、より詳細に各熱源の出力値を変更することができる。

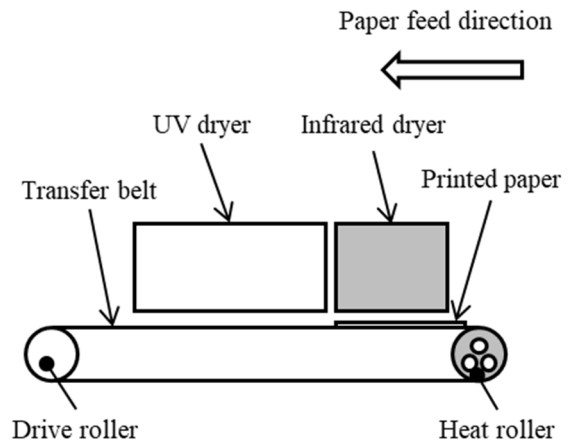


Fig. 9 Schematic diagram of the drying section of the Pro Z75.

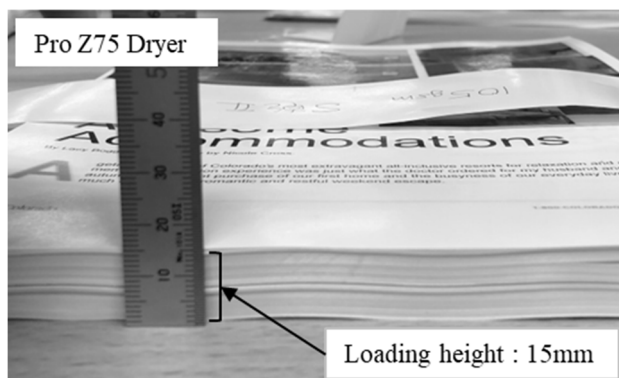
Table 3 Example of output settings according to paper type.

Paper Type	Paper thickness	UV output	IR output
Uncoated paper	Thin paper	High output	Not used
	Thick paper	High output	Low output
Offset Coated paper	Thin paper	High output	Low output
	Thick paper	High output	High output

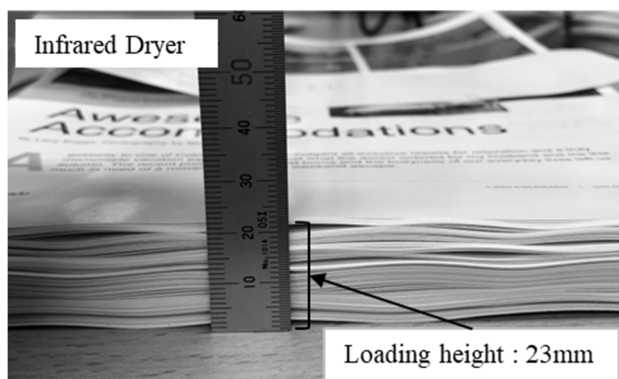
5. Pro Z75の用紙波うち低減効果確認

Pro Z75搭載の紫外線と赤外線ハイブリッド乾燥による用紙波うち低減効果を確認した。一般的な雑誌を想定し、文字と写真からなる原稿を印刷・乾燥・裁断した後に用紙波うち状態を観察した。比較対象として、赤外線のみで乾燥させた場合も同様に評価を行った。用紙にはオフセットコート紙の104.7gsmを用い、585mm×750mmの用紙にA4サイズの画像を4面付けで印刷した。その後A4サイズに裁断し、160枚を積載した状態で観察を実施した。観察結果をFig. 10に示す。Pro Z75のハイブリッド乾燥では用紙端面の波うちが抑制されている。一方で赤外線のみで乾燥させた場合は、用紙端面の非画像部が吸湿して大きく波うっている。同一枚数の積載であるにもかかわらず、積載高さに15mmと23mmの差が生じた。用紙1枚当たりの紙厚は82μmであり、今回積載した160枚は合計13mmに相当する。した

がって、Pro Z75のハイブリッド乾燥における波うちは2mmであるのに対し、赤外線のための乾燥では波うちは10mmであり、赤外線乾燥に比べて波うちを80%低減できた。また、排紙後だけでなく第一面乾燥後も用紙波うちが低減され、Table 1に示す坪量範囲内で第二面印刷時の画像悪化がないことを確認している。



(a)



(b)

Fig. 10 Paper waving condition for each drying method.
(a) Using Pro Z75 dryer. (b) Using infrared dryer.

6. おわりに

リコーは、従来は抑制が困難であった用紙波うちを低減可能な乾燥技術を開発した。乾燥熱源に紫外線を用いることで水性インクのみを選択的に加熱し、加熱の不要な非画像部の温度上昇を抑制できることを明らかにした。また、紫外線と赤外線を組み合わせたハイブリッド乾燥により、薄紙における用紙波うちの低減と厚紙までの乾燥の両立を実現した。本乾燥技術を搭載した枚葉インクジェット・プリンティング・システム「RICOH Pro Z75」は、乾燥段階での用紙波うちを低減したことで、第一面乾燥後の第二面印刷時の用紙姿勢が安定し、薄紙の自動両面印刷を実現した。今後もさらなる薄紙対応の強化や印刷業界のデジタル化への貢献を目指し、技術開発を継続するとともに、お客様のご要望に応じていく所存である。

参考文献

- 1) 日本画像学会編: インクジェット, 第2版, 東京電機大学出版局 (2018).
- 2) 高橋恭介監修: インクジェット技術と材料, シーエムシー出版 (2007).
- 3) 平林哲也ほか: ヒジワ発生のメカニズムと用紙からの品質対応, 紙パ技協誌, No. 57(1), pp. 92-97 (2003).
- 4) S. HASEBE et al.: Verification of Cockling Reduction Effect on Offset-coated Paper by Drying Technology Using Laser Exposure and Consideration on Cockling Mechanism by FEM Simulation Modified Thermal Expansion Model, *Journal of the Imaging Society of Japan*, Vol. 57, No. 6, pp. 692-699 (2018).
- 5) 西村秀明, 小篠団, 羽橋尚史: 高速インクジェットプリンタにおける乾燥技術の開発, 日本画像学会誌, Vol. 59, No. 1, pp. 68-74 (2020).

- 6) 西村秀明, 小篠団, 羽橋尚史: 高速インクジェットシステムにおける高画質・高生産性の実現〜コックリング対応力を向上させた新規乾燥技術の開発〜, *Ricoh Technical Report*, No. 44, pp. 55-63 (2020).
- 7) 伊藤一洋: 水性印刷における赤外線乾燥, *コンバーテック*, Vol. 27, No. 10, pp. 58-60 (1999).
- 8) スコット ジョンソン, ケーシー ウォーカー, ステュアート ボランド: 浸透しにくい連帳メディアに対する複数手段の組み合わせによる高効率乾燥, *Ricoh Technical Report*, No. 40, pp. 88-102 (2015).
- 9) 池羽田晶文ほか: 遠紫外分光法による水及び水溶液の分析, *BUNSEKI KAGAKU*, Vol. 60, No. 1, pp.19-31 (2011).
- 10) 松田信弘ほか: 透気加速度による耐ブリスター性に関する研究 (II), *紙パ技協誌*, No. 57(8), pp. 1173-1180 (2003).