

S162021

カット紙搬送系における紙しわ発生過程のモデル化*

松本 章吾^{*1}, 原田 祥宏^{*2}

Modeling of the Paper-wrinkle Generation Process

Shogo MATSUMOTO ^{*1} and Yoshihiro HARADA

^{*1} RICOH COMPANY, Ltd. R&D Center,
16-1 Shinei-cho, Tsuzuki-ku, Yokohama, 224-0035 Japan

Defects caused by sheet-feeding instability have been major obstacles in printer development due to the difficulty of the analysis imposed by enormous affectors. To tackle the problem, we analyze the paper-wrinkle generation process in the fuser unit and develop a prior evaluation methodology for it. Based on the observation of the process, a convenient geometry model of the wrinkle is constructed and the relationship between the wrinkle restrictions and controlling factors is formulated by incorporating a snapping model of the fuser nip into the geometry model. Finally “wave slope angle” is derived as the substitutional characteristics of the process. To evaluate the process quantitatively, an apparatus for measuring the feeding velocity deviation and visualizing deformed papers’ shape is developed. Validation results show that the margin of the process can be evaluated by using the proposed substitutional characteristics.

Key Words : Paper Handling, Wrinkling, Printer, Fuser, Measurement, Modeling, Optimal Design

1. 緒 言

プリンタおよび複写機の開発では開発期間の短縮やコストの削減が重要な課題の一つであり、解析技術の導入などで開発の効率化が進められている。しかし、搬送時の紙の挙動は影響因子の多さなどから解析が難しいものが多く、開発期間短縮の妨げになっている。そこで、効率的な製品開発環境を構築するため、定着機通紙時の用紙“しわ”発生現象のメカニズム解明と事前評価手法の開発に取り組んでいる。本研究では、紙しわの発生過程の観察に基づいて用紙の波打ち形状を幾何学的にモデル化し、波打ちのニップ部への噛み込みモデルと組み合わせてしわの発生限界と支配因子の関係を定式化、しわ発生の代用特性として“波打ち角度”を導出した。さらに、紙しわの発生過程を定量的に評価するため、用紙の搬送速度偏差と波打ち形状の可視化装置を開発し、上記代用特性を用いることでしわ発生の余裕度を評価できる目処を得た。

2. しわ発生過程のモデル化

2・1 ローラニップ部への波打ち用紙の噛みこみモデル

しわ発生プロセスの観察結果に基づいて用紙搬送速度分布の不均一さに起因した用紙の波打ちを Fig.1 のように幾何学的にモデル化すると測定位置 $y = y_{ob}$ での用紙の波打ち形状は、

$$l_{y_{ob}} = 2y_{ob} \cdot \tan(\beta - \theta) \quad (4)$$

^{*1} 正員, (株)リコー 研究開発本部 (〒224-0035 横浜市都筑区新栄町 16-1)

^{*2} (株)リコー 研究開発本部

E-mail: shogo.28.matsumoto@nts.ricoh.co.jp

$$\delta_{yob}' = \theta \cdot y_{ob} \quad (5)$$

となる。用紙とローラとの間に”すべり”は発生せず、波打ちしていない箇所は平面を保つものと仮定すると、ローラ軸方向の速度分布から用紙波打ち形状を見積もることができる。

2・2 しわの発生条件（ニップ内での滑り/座屈限界）

Fig.2に示すように波打ち用紙がニップ部に噛みこまれる過程で、i) 用紙が座屈して”しわ”が発生するモード、ii) 用紙は座屈せず、波打ちがニップをすり抜けるモードならびに、iii) 用紙とローラの間ですべりが生じて波打ち形状が平坦に伸ばされ、しわの発生しない3つのモードを考える。

i) の座屈モードは波打ち用紙の圧縮荷重を受ける部分を梁要素とみなして Euler の座屈荷重を適用すると、波打ち用紙がニップ内で押し付け荷重を受けて座屈する条件から、用紙の波打ち角度 α の下限値を各種特性値の関数として規定できる。iii) のすべりモードは波打ち用紙がニップ内で押付け力を受け、波打ちの生じていないニップ部ですべりが生じる条件から、用紙の波打ち角度 α の上限値をローラと用紙の間の摩擦係数など各種特性値の関数として規定できる。なお、ii) のすり抜けモードは上記2条件の間の条件として規定することができる。

本モデルにより、用紙の基本物性（用紙とローラの摩擦係数 μ 、用紙のヤング率 E 、用紙の断面二次モーメント I など）と用紙の搬送速度分布から用紙の波打ち形状を見積もり、波打ち角度 α をしわの代用特性として用紙の波打ちがしわに至るかどうかを判別することができる。

上述の用紙の基本物性値は事前に測定可能であり、用紙の搬送速度分布は次章で述べる定着しわ原理解析装置で測定可能である。

3. しわ発生過程の可視化

本研究では、用紙の搬送条件をパラメータとして設定でき、生じている現象を可視化・定量化する“定着しわ原理解析装置”の開発を行った。本装置の概略を Fig.3 に示す。

(1) 用紙搬送速度分布の測定

用紙の搬送速度は、横線パターンを形成した短冊を通紙し、パタンの通過間隔を計測することで評価する。ここでは、用紙全幅の同時計測を可能とするため、高速ラインセンサを用いてパタンの測定を行っている。

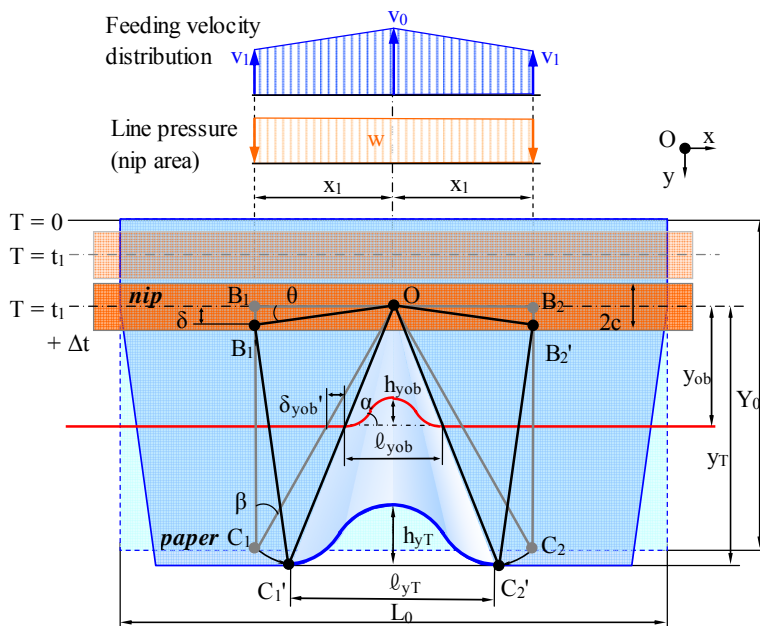


Fig.1 Wavy deformed paper model

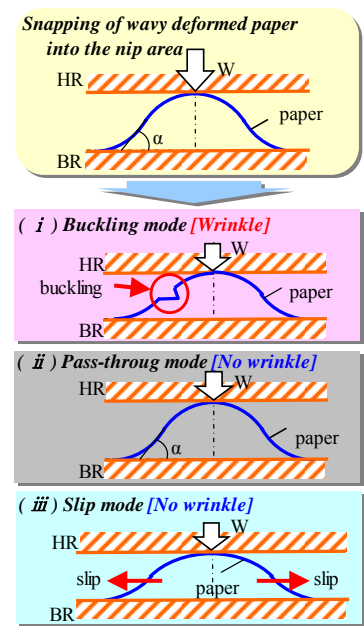


Fig.2 Snapped mode of wavy deformed paper into the nip-area

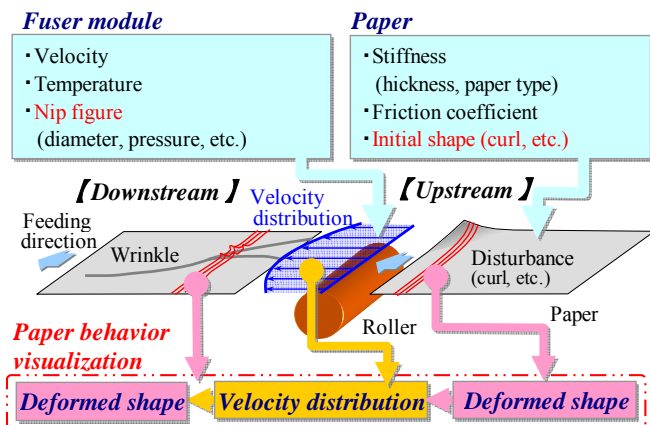


Fig.3 Overview of principle analysis equipment

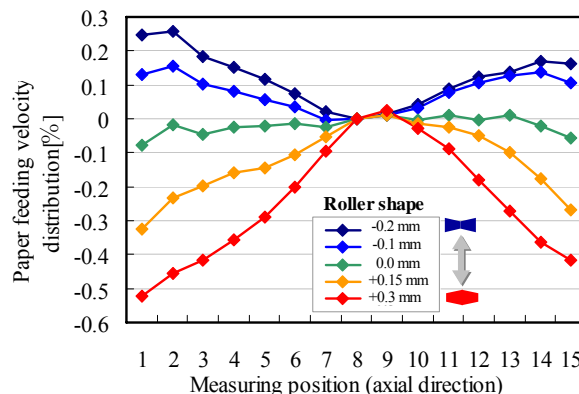


Fig.4 Relationship between roller shape and paper feeding velocity distribution

(2) 用紙面外変形形状の測定

用紙の形状は光切断法を用いて測定する。定着ニップの入口および出口に直線のレーザーパターンを照射し、このレーザーパターンをエアセンサで用紙の搬送開始から終了まで連続的に撮影する。用紙の変形はレーザーパターンの歪みとして捉えることができ、画像処理により予め測定したキャリブレーションデータを用いて各位置毎の高さ情報に変換することで、用紙の変形状態を可視化できる。

4. 用紙挙動の測定結果

プリンタの定着器には、長手方向に直径の変化しているローラを用いてしわの発生を防止するのが一般的である。そこで、形状の異なった数種のローラを用意し、前記定着しわ原理解析装置を用いてローラ形状と用紙搬送速度分布ならびに用紙変形形状の関係を評価した。

以後、両端部に対して中央部の直径の小さいものを“つづみ形状”，逆のものを“太鼓形状”と呼ぶ。

(1) 用紙搬送速度分布の測定

横線パターンが描かれたテストチャートを使用し、冷間条件にて用紙搬送速度分布を計測した。結果を Fig.4 に示す。なお、ここではローラ軸方向中央部における速度を基準とした速度偏差分布を表記してある。また、ローラ形状は端部の直径を基準にした時の中央部の直径差で示している。

両端部と中央部の直径差の無いストレート形状(0.0 mm)のローラを使用した場合、速度分布はほぼ平坦となっている。太鼓形状を顕著に（プラス方向）していくと、ローラ中心付近での速度が大きい凸形状の速度分布に、ツヅミ形状を顕著に（マイナス方向）していくと、ローラ中心付近での速度が小さい凹形状の速度分布を呈するようになることがわかる。

以上のようにして、ローラ形状と用紙搬送速度分布（速度偏差）の関係を定量化できる。

(2) 用紙面外変形形状の測定

搬送速度分布の測定に用いたものと同じのローラを用いて用紙を搬送した時の変形形状を定着しわ原理解析装置を用いて測定した。代表的な結果として太鼓形状（+0.3 mm）での結果を Fig.5 に示す。この図では、ある時刻での観測位置における用紙の変形形状を1本の線で示し、所定の時間間隔（0.03 s）毎の測定結果を図中上方にずらしながら表示している。

この図から、当初は平坦だった用紙が用紙の搬送が進むにつれて波打ちが発生し、さらに搬送が進むにつれて波打ちが大きくなる様子が観察できる。

前述の用紙波打ちモデルの議論からしわの発生を波打ち角度で評価できることが示されたため、Fig.5 のデータから各時刻の各位置での波打ち角度を算出した(Fig.6)。この図では用紙の領域ごとに波打ち角度の大きさによって色分けしてプロットしてある。この図から、変形形状の変化と同様に用紙の搬送が進むにつれて波打ち角度が

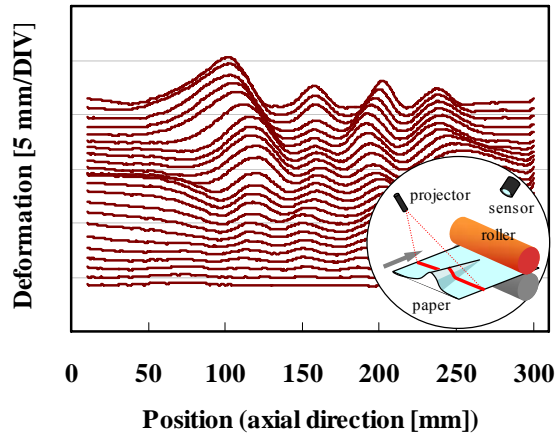


Fig.5 Transformation of deformed shape of the paper
(barrel-shaped roller: +0.3 mm)

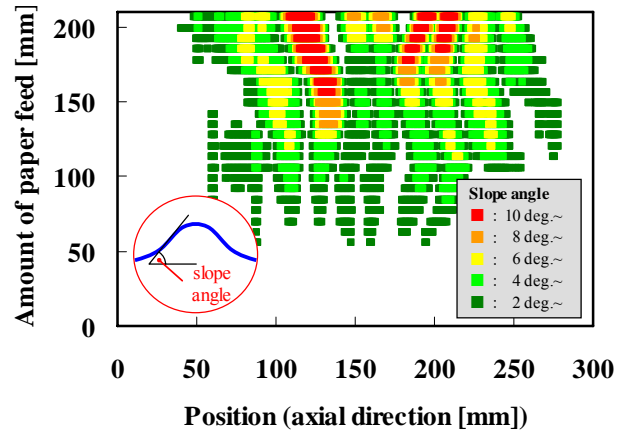


Fig.6 Transformation of slope-angle of the wave
(barrel-shaped roller: +0.3 mm)

大きくなる様子が観察される。この実験で用いたローラで通紙すると用紙の後端側にしわが発生するが、通紙後のしわ発生位置と Fig.6 の 8 deg.以上の領域が良く一致することが確認できている。

以上の結果からしわの発生過程を考察する。太鼓形状のローラを用いた場合、用紙の搬送速度分布は中央部が早い傾向(Fig.4)となるため、ローラ軸方向に対して内向きの力が用紙に作用して用紙に波打ちが生じ、搬送が進むにつれて波打ちが成長する(Fig.5)。波打ち(角度)が小さいときにはニップ内での用紙の座屈は生じないのでしわは発生しないが、用紙の搬送に伴い波打ち(角度)が許容値以上になった場合にはニップ内で座屈が生じ、しわの発生となる(Fig.6)。一方、ツヅミ形状のローラを用いた場合、用紙の搬送速度分布は両端部が早い傾向となり(Fig.4)、ローラ軸方向に対して外向きの力が用紙に作用するために用紙の波打ちが抑制されて安定な搬送が実現できる。

以上の傾向は従来から経験的に知られている知見と一致しており、本研究で開発した原理解析装置を用いてローラ形状（ローラ中央と端部の径差）と用紙の搬送速度分布ならびに用紙に生じる波打ち形状（波打ちの角度および高さ）の関係が定量化可能であることが確認できた。さらに、用紙の波打ちモデルに基づいて導出した波打ち角度によってしわの発生限界を評価できる見通しを得た。なお、しわ発生限界の波打ち角度は、波打ち用紙の噛みこみモデルに基づいて基本物性と搬送速度分布で規定できるため、用紙搬送ユニットのしわに対する余裕度を事前に評価することが可能となる。

5. 結 論

紙しわの発生過程の観察に基づいて用紙の波打ち形状を幾何学的にモデル化し、しわの代用特性として用紙波打ち角度を導出した。さらに、紙しわの発生過程を定量的に評価するための可視化装置を開発し、紙しわ発生現象を評価する上で重要な用紙搬送速度分布と、用紙の面外変形状を定量的に評価した。評価結果は従来の知見とよく整合しており、さらに、波打ち角度によってしわの発生限界を評価できる見通しを得た。

文 献

- (1) 松本 他, カット紙搬送系における紙しわ発生過程のモデル化, IIP2011 情報・知能・精密機器部門(IIP 部門)講演会講演論文集, No.11-9, (2011), 223-228.