研 究

プリンタの最適折りたたみと用紙特性*

鎌 田 弘** 松 永 和 夫** 坂 本 祥***

Relation between Printer Stacking Characteristics and Paper Physical Properties

Hiroshi KAMADA, Kazuo MATSUNAGA
and Akira SAKAMOTO

This paper describes the relation between printer mechanical stacking characteristics and paper physical properties. The main results of this paper are shown as follows: (1) In paper stacking, main factor of paper inclined phenomena are paper fiber orientation angle and moisture content change. (2) The sonic method using sound-wave propagation is effective for the measuring method of paper

fiber orientation angle. (3) By using geometric method, the paper inclined value is analyzed. The paper inclined value is proportional to the paper fiber orientation angle, moisture content change and heat contraction ratio. (4) By the above mentioned results, the most optimum distribution is designed between mechanical stacking characteristic specification and paper physical property value.

Key words: non-impact printer, paper physical property, paper stacking, inclined value, fiber orientation angle, moisture content change.

1. 緒 言

近年、電子計算機の処理速度の向上、記録技術の進展に伴い、計算機の出力装置であるプリンタにおいても、装置の高速化・高信頼化・適応性の拡大が強く望まれている。

プリンタ装置では出力媒体である用紙の処理が必要であり、特に記録後に連続用紙を折りたたむスタック装置の特性は、重要な課題である。

従来の研究としては装置サイドから、送りの機構的条件、記録の印字機構条件について触れられたものはある^{1)~4)}。また、用紙サイドから、用紙の製造条件あるいは化学的特性について触れられた報告は見られる⁵⁾⁶⁾。

しかしながら、高速プリンタの熱圧力定着を介した用紙折りたたみと用紙特性の関連について触れられた報告はない。

本報告は、用紙が配向角を有し、熱圧力定着を介することにより含水率に変化が生じた時、用紙の形状が長方形から平行四辺形(相隣る2辺のなす角が90°でないもの)となり、傾斜が生ずることを示し、その時の配向角の測定法および配向角と用紙傾斜値との関係の解析および実験結果を明らかにしている。

以上より、①用紙の傾斜に及ぼす主パラメータは用紙側からは配向角、装置側からは含水率の変化であること

を明らかとし、解析は実験結果を良く説明できることを示している。また、②用紙配向角、装置定着部への仕様の最適配分を明確化し、合理的設計条件への示唆を与えている。

2. プリンタ装置における技術条件

2.1 装置の要求条件

本報告で扱うノンインパクトプリンタ装置とは、記録として電子写真方式、定着として熱・圧力定着方式、用紙として連続帳票形態を用いるものを言う。

この方式は現在市場に出ているノンインパクトプリンタのほぼ70%以上を占め、装置側の用紙に対する要求条件としては次のようなことがあげられる。すなわち、①高速化に追従できること(送り穴付きの連続用紙が使えること)、②記録品質が良好であること(印字中の転写記録特性および印字後の定着状態が完全であること)、③高速かつ高信頼度で用紙処理が可能なこと(折りたたみ特性[†]が良好でジャムが生じないこと)などが必要である⁷⁾⁸⁾。

装置の主な仕様を表1に示す。速度は1min間に3000~15000行印字する範囲を考えると、16~89cm/sとなる。定着器は予熱部で温度120°C、本定着部では温度140°C、荷重23N/cm(単位長当たり)の条件となる。折りたたみについては、傾斜角が大きくなると斜めに荷崩れしたり、押さえが不十分になるなど、不安定な現象を発生するので、連続用紙2000~3000枚を安定に折りた

* 原稿受付 昭和58年1月14日。昭和57年度精機学会春季大会学術講演会(昭和57年3月22日)にて発表。

** 正会員 日本電信電話公社横須賀電気通信研究所(横須賀市武1-2356)

*** 山陽国策パルプ(株)(東京都新宿区上落合1-30-6)

[†] 紙詰まりが発生する回数をさす。通常は10000枚に1回ジャムが発生する回数以下を目標とする。

Table 1 Experimental specification

Item	Specification
Speed	16~89 cm/s
Fuser	
Preheater temperature	120°C
Heater roll temperature	140°C
Roll pressure	23 N/cm
Inclined angle	<15°

Table 2 Paper specification

Item	Value
Paper weight	64~127 g/m ²
Size	
Length	17.8~35.6 cm
Width	16.5~40.6 cm
Tie-Cut ratio	0.17~0.5

たむことを考えて用紙の傾斜角を 15° 以下としている。

2.2 用紙の主要特性

用紙は従来のインパクト用連続用紙の特性以外に、前述の装置側の用紙に対する要求条件を満たすために、用紙含水率（水の質量/水を含めた紙全体の質量、JIS P 8127 に準拠）、繊維配向角、熱収縮安定性、電気特性、表面性などの諸特性を適正に管理する必要がある。

表 2 に用紙の主な仕様を示す。坪量は折りたたみ特性、定着性を考慮して通常、64~127 g/m² の用紙を使用し、フォーム加工機によりミシン目、送り穴をあけ、用紙長 17.8~35.6 cm、用紙幅 16.5~40.6 cm の連続用紙とする。本実験では主として、坪量 64 g/m²、紙厚 80~90 μm、含水率 5~7% の用紙をミシン目タイカット比（ここではタイ部長/全長で示す）0.33、用紙長 27.9 cm、用紙幅 38.1 cm に加工した連続用紙を使用した。

3. 装置および用紙の特性の測定

3.1 装置の折りたたみ特性

1) 実験装置

実験にはノンインパクト形記録方式による高速プリンタを用いた。その装置構成を図 1 に示す。用紙は装てん部、紙送り部、記録部、定着部、折りたたみ部を通過する⁹⁾¹⁰⁾。

紙送り部は用紙孔をトラクタピンにひっかけて送る方式であり、定着部は熱と圧力を加えてトナーを用紙上に固定する方式である。

折りたたみ部はスイングフィンにより用紙を揺動させながらミシン目より折りたたむ方式であり、その主要な仕様を表 3 に示す。スイングフィンは ±30° の範囲で揺

Fig. 1 Experimental equipment**Table 3** Stacking specification

Item	Method or specification
Method	Swing fin drive
Support of paper	Press roller mechanism
Swing angle	±30°
Swing fin length	10 cm
Stacker table position	7 cm (from swing fin)

Fig. 2 Paper stacking form

動し、ミシン目を両端部に位置づける。折りたたまれた連続用紙はスタックテーブル上に積み上げられ、プレスローラで押さえつけられる¹¹⁾。

2) 実験結果

用紙の折りたたみが不良となる現象の主要因に用紙積み上げ時の傾斜がある。これは連続用紙 1 枚 1 枚の形状が長方形からずれて平行四辺形となる場合に生ずる。実際の折りたたみ連続用紙の傾斜例を図 2 (a) に示す。図 2 (b) は同一形状の連続した平行四辺形の用紙を折りたたんで積み重ねた時の用紙端辺の位置を拡大し、模式的に示したものである。 n 枚目から $n+1$, $n+2$ と上になる程、端辺が右側に移動する。この時の 1 枚当たりの移動量は $BB' \cos \theta_1$ である。一方、正規の長方形を維持している用紙では折りたたみによる傾斜は生じない。

傾斜値は傾斜量 l と用紙高さ T の比 l/T 、傾斜角は θ

Fig. 3 Deviation of fold perforation

Fig. 4 Effect of fold perforation perpendicularity on inclined value

$=\tan^{-1}(I/T)$ で定義する。このような傾斜を有すると 1000~2000 枚と用紙を折りたたんで行く途中で、用紙上面が凹状になる、片側が盛り上がる等の現象を生じ、折りたたみ不良すなわちジャムが発生する。

図 3 にはミシン目の不平行量 x 、図 4 には不平行量 x を変化させた時の傾斜値 I/T の実測結果を示す。これより不平行量が増加すると用紙の傾斜量もこれに比例して増加することがわかる。

本節では幾何学的形状を説明するため、ミシン目の不平行量を一例として取り上げたが、ノンインパクトプリンタ装置においては熱圧力定着部を通る時の用紙の伸び、縮み現象および用紙に特有な異方性を規定する配向角が関連していることを明らかにする。

3.2 用紙の配向角

1) 弾性率測定法

a) 静的方法

定速引張試験による応力-ひずみ曲線の初期勾配から静的弾性率（これを Tensile modulus と呼ぶ）を求めた。引張速度は 5 mm/min で行った。

b) 動的方法

Dynamic modulus tester (ASTM F 89-68 に準拠¹²⁾) を使い、試料中の一定距離間を音波が伝播する速度 v を求め、次式により動的弾性率 E （これを Sonic modulus と呼ぶ）を算出した¹³⁾¹⁴⁾。ここで、 ρ は試料の密度である。

Fig. 5 Tensile modulus vs. sonic modulus for form paper

$$E = \rho v^2 \quad (1)$$

2) 繊維配向角の測定法

紙の抄紙方向に対し一定間隔の角度 θ で試料の動的弾性率 E を測定し、その分布を求めた。ここで、 E は θ の周期関数であるためフーリエ級数に展開でき、次のようになる。

$$E = \frac{1}{2}a_0 + a_1 \cos 2\theta + b_1 \sin 2\theta \quad (2)$$

$$= a + b \cos(2\theta - 2\alpha) \quad (3)$$

ここで、 $a = a_0/2$ 、 $b = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$ であり、式 (2) を用い最小二乗法により a_1, b_1 を求め、 $\tan 2\alpha = b_1/a_1$ に基づいて繊維配向角 α を算出した。

3) 測定結果

通常、機械抄紙では素材である木材繊維がその抄紙方向すなわち縦方向 (Machine direction) とほぼ平行に配列する傾向がある。この傾向を繊維配向性と言い、弾性率の縦方向と横方向 (Cross direction) の比で定義する。配向性が大きな紙ほど縦と横の引張強度、伸縮率などの特性差が大きくなる^{15)~17)}。

図 5 に各種連続伝票用紙の縦、横について静的および動的弾性率の測定結果を示す。① 動的弾性率の方が静的弾性率よりも大きいのが両者は直線比例関係にある。また、② 両測定法とも縦の弾性率の方が高く、繊維の抄紙方向への配列が認められる。なお、表 4 に示すように、両測定法による配向角の間には差がないことが判明したため、本実験では非破壊でかつ短時間に測定できる Sonic modulus を採用した。

図 6 は 15° 間隔で Sonic modulus を測定し、その最大値を 1 とした時の相対弾性率分布を極座標で表示した例である。

等方性材料である無延伸ポリエチレンフィルムでは真円となるが、木繊維が一方向に整然と配列している異方

Table 4 Comparison of the tensile method with sonic method for fiber orientation angle

		Fiber orientation angle	
		Tensile method	Sonic method
Form paper	A	0.7°	0.6°
	B	1.7°	1.5°
	C	5.0°	5.5°
	D	13.7°	13.2°

Fig. 6 Relative sonic modulus distribution
 ▲; Polyethylene film (non-stretch)
 ○; Paper (fiber orientation angle=0)
 ●; Softwood (regular grain) **Fig. 7** Sonic modulus distribution of paper with fiber orientation angle α ($=17^\circ$)

性材料の針葉樹 (Soft wood) では、非常に大きな配向性を示す。一般に使用される機械抄きの用紙はポリエチレンと針葉樹の中間の異方性を示す。しかし、機械抄紙では必ずしも繊維の配向方向と抄紙方向が一致しない場合があり、この両方向の成す角を繊維配向角 (Fiber orientation angle) と呼ぶ。図 7 に通常の機械抄き印刷用紙について弾性率分布から求めた配向角の測定例を示す。この用紙の配向角 α は式 (3) に基づいて計算すると 17° であった。

3.3 折りたたみ特性と用紙特性との相関

前節で述べたように用紙は異方性であり、製造上配向角を有することが予想される。また、ノンインパクトプリンタ装置においては、熱圧力定着を用いることが装置

Fig. 8 Effect of fiber orientation angle on inclined value

の主流技術であり、このため用紙の伸び縮みによる寸法変化は無視できない。

これらの主要因を考慮して、用紙の条件として配向角 α 、装置の条件として熱圧力定着の強弱、すなわち用紙含水率の変化 ΔM を変えて実験を行った。定着時の加熱量 (温度 $\times$ 時間) と含水率変化の関係はほぼ直線的である。加熱量 $337^\circ\text{C}\cdot\text{s}$ では $\Delta M = 6.2\%$ 、加熱量 $108^\circ\text{C}\cdot\text{s}$ では $\Delta M = 2.2\%$ となる。

図 8 に含水率の変化 ΔM をパラメータとした、配向角 α と用紙傾斜値 l/T の関係を示す。

これより、配向角、含水率変化のいずれが増加しても傾斜値は増加する。このため、 α および ΔM をいかに小さくするかが、設計上重要である。

4. 解析および実験

木材単繊維の吸脱湿による直径方向の伸縮変形は長さ方向の約 20~50 倍¹⁸⁾ であるため、熱圧力定着による用紙の収縮変形は繊維の配向方向で最小、それと直角方向で最大となる。従って、配向角を有する用紙では収縮後に折りミシン目の直角性が維持できなくなり、前述のミシン目加工時と同様に傾斜が生じる。そこで、この現象の幾何学的解析を試みた。

4.1 用紙傾斜量の解析

図 9 に配向角を有する用紙の収縮変形を模式的に示す。収縮は繊維配向方向、すなわち y' 軸方向で最小、 x' 軸方向で最大であるため、用紙は加熱前の長方形 $A_1B_1C_1D_1$ から加熱後の平行四辺形 $A_2B_2C_2D_2$ へ変形する。以下に解析プロセスを述べる。

- ① x - y 座標系の各点 A_1, B_1, C_1, D_1 を配向角 θ だけ回転した、収縮方向の x' - y' 座標系に変換して表示する。
- ② 加熱による収縮変形後の各点を x' - y' 座標系で求める。
- ③ 座標系を x' - y' から x - y に変換し $A_2B_2C_2D_2$ とす

Fig. 9 Paper deformation by heat roller

る。

- ④ C_2B_2 の延長線と点 A_2 から の垂線の交点を P とすると、用紙 1 枚当たりの傾斜量は B_2P である。

ここで、解析に用いる用紙の各量を次のように定める。用紙長 $= L$ 、用紙幅 $= W$ 、繊維配向角 $= \alpha^\circ$ (rad 表示では $\theta = \alpha\pi/180$ となる)、縦 (y) 方向加熱収縮率 $= S_y$ 、横 (x) 方向加熱収縮率 $= S_x$ 。

点 A_1 の x および y 座標を A_{1x} , A_{1y} のように表示し、上記解析プロセスにより B_2P を求める。ここでは対象とする α は 10° ($\theta = 0.17$) 以下、 $S_x - S_y$ は 0.005 以下と小さいため、変形方向の収縮率は縦横の収縮率で代替でき、 $\cos \theta \doteq 1$, $\sin \theta \doteq \theta$, $(S_x - S_y)^2 \ll (S_x - S_y)$ として取り扱う。

B_2P を求めるために x - y 座標系で A_2 , B_2 を表示する。

$$A_{2x} = \frac{1}{2} \{ W(1 - S_x) + L\theta(S_x - S_y) + W\theta^2(1 - S_y) \} \quad (4)$$

$$A_{2y} = \frac{1}{2} \{ L(1 - S_y) + W\theta(S_x - S_y) + L\theta^2(1 - S_x) \} \quad (5)$$

$$B_{2x} = \frac{1}{2} \{ W(1 - S_x) - L\theta(S_x - S_y) + W\theta^2(1 - S_y) \} \quad (6)$$

$$B_{2y} = \frac{1}{2} \{ -L(1 - S_y) + W\theta(S_x - S_y) - L\theta^2(1 - S_x) \} \quad (7)$$

また、 B_2C_2 の勾配である β は次のように表示できる。

$$\beta = \frac{\theta(S_x - S_y)}{1 - S_x + \theta^2(1 - S_y)} \quad (8)$$

次に点 P の x 座標 P_x を用いて B_2P を求める。 P_x は β で表示でき、 $\beta^2 \doteq 0$ より次式に展開できる。

$$P_x = \frac{1}{1 + \beta^2} \{ A_{2x}(1 - \beta^2) + 2A_{2y} \cdot \beta \} \doteq A_{2x} + 2A_{2y} \cdot \beta \quad (9)$$

Fig. 10 Comparison of the experimental inclined value with analytical ones

従って、1 枚当たりの傾斜量 B_2P は次のようになる。

$$\begin{aligned} \overline{B_2P} &= \frac{P_x - B_{2x}}{\cos \beta} \doteq P_x - B_{2x} \\ &= L\theta(S_x - S_y) \left\{ 1 + \frac{1 - S_y + \theta^2(1 - S_x)}{1 - S_x + \theta^2(1 - S_y)} \right\} \quad (10) \end{aligned}$$

ここで、 S_x , S_y および θ は 1 に比べて小さな値であり、含水率変化 $\Delta M 1\%$ 当たりの $S_x - S_y$ を加熱収縮差 ΔS 、紙厚を t と定義すると

$$\left\{ 1 + \frac{1 - S_y + \theta^2(1 - S_x)}{1 - S_x + \theta^2(1 - S_y)} \right\} \doteq 2 \quad (11)$$

$$S_x - S_y = \Delta M \cdot \Delta S \quad (12)$$

であるから、解析による傾斜角 l/T は次式で求まる。

$$\frac{l}{T} = \frac{\overline{B_2P}}{t} = \frac{\pi}{90} \alpha L \cdot \Delta M \cdot \Delta S \left(\frac{1}{t} \right) \quad (13)$$

すなわち傾斜値は、配向角、用紙長、含水率変化、縦横の加熱収縮率差と比例関係にあり、紙厚に反比例する。

4.2 解析と実験の比較・考察

図 10 に配向角をパラメータとした、含水率変化と傾斜値について実験値と式 (13) より求めた計算値の比較を示す。ここで、 ΔS についてはインパクト用紙では $0.05 \sim 0.1\%$ 、加熱収縮率を考慮したノンインパクト用紙では $0.02 \sim 0.04\%$ である。いずれの配向角においても計算値の方が実験値よりも高い値となった。これは傾斜値が大きな場合でも、用紙 1 枚当たりの傾斜量にすると約 0.2 mm と非常に小さく、この量が折りたたみ時にミシン目のカット部により矯正されるためであろう。従って、カット部が大きい (タイ部が小さい) ほど、タイ部の自由度が大きくなり傾斜は少なくなるものと思われる。

また、折りたたんだ用紙間には空隙 (空気の間) があり、これは見掛けの紙厚を増加させ、 l/T を少なくする現象として働く。

4.3 用紙および装置への規格の配分

ノンインパクトプリンタで、一般に印字定着後の用紙に許容される傾斜角は $15 \sim 20^\circ$ 近辺であり、 l/T に換算

Fig. 11 Influence of moisture content change on inclined value

すると 0.3~0.4 付近となる。

図 11 に示す実験結果を参照すると配向角が 5° の場合、 $I/T=0.36$ の点での含水率変化の許容値は 3%、配向角が 3° の場合、 $I/T=0.36$ の点での含水率変化の許容値は 5% 程度となる。

これは現実使用されている用紙の配向角が 3~5° 付近であると考えれば、含水率の変化 ΔM の許容値は 3% 以下であることが望まれる。またノンインパクトプリンタ 15 000~3 000 行/min を対象とすると含水率の変化は 3~5% 程度が考えられ、配向角は 3° 以下にすることが望まれる。このように I/T を小さくするためには、含水率変化 ΔM 、配向角 α をおのおの小さくする必要がある。

なお、このほかに式 (13) で示すように、傾斜値 I/T を小さくおさえるためには、縦横の加熱収縮率の差 ΔS を小さくすることも、用紙製造上は重要な課題である。

また前節で述べたように、ミシン目のタイカット比を小さく取る (カット部を大きく取る) ことも有効である。

5. 結 言

以上の解析・実験より以下のことが明らかとなった。

- (1) 用紙の傾斜は、形状が矩形より平行四辺形に変化することにより生ずることを明らかとした。
- (2) 用紙の配向角の測定には、音波の伝播を利用した弾性率の分布把握が有効であることを示した。
- (3) 用紙の傾斜値と、含水率変化、配向角、縦・横の加熱収縮率の差の間には比例関係が、紙厚に関しては反比例が成立することを解析より明らかにした。この解析式は実験結果を良く説明できることを示した。
- (4) ノンインパクトプリンタ装置での含水率変化は 3~5% 程度、用紙に関する配向角のばらつきは 3~5° 程度である。今後は両者の変化を小さくすると共に、ミシン目の影響の明確化、縦・横の加熱収縮率

の改良が必要となろう。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、適切な助言を与えられた日本電信電話公社・横須賀電気通信研究所、高野陸男博士、山陽国策パルプ・東京研究所、木島常明博士に謝意を表します。

なお、用紙の加工に対しては、小林記録紙製造所の協力をいただいたことを付記いたします。

文 献

- 1) G. L. Findly, D. P. Leabo & A. C. Slutman: Control of the IBM 3800 Printing Subsystem, IBM J. Res. Develop., **22**, 1, (1978) 2.
- 2) V. H. Unger: Laser drucker 3352 mit hoher Druckleistung, Siemens-Z., 51, Helt 4, (1977) 234.
- 3) J. L. Zable & J. C. Yarrington: Some Design Consideration for Document Sorting Machine, IBM J. Res. Develop., **16**, 5, (1972) 235.
- 4) R. G. Svendsen: Paper Path of an On-line Computer Output Printer, IBM J. Res. Develop., **22**, 1, (1978) 13.
- 5) 森本正和: 高速印刷のための印刷用紙の条件, 紙バ技協誌, **20**, 8 (1966) 410.
- 6) 常盤康夫: フォーム印刷用紙について, 紙バ技協誌, **27**, 2 (1973) 48.
- 7) 藤本 功, 鎌田 弘: 高速漢字プリンタ印刷装置, 電気通信研究所研究実用化報告, **29**, 9 (1980) 1489.
- 8) 鎌田 弘, 家木俊温, 西村 孝: 高速漢字プリンタの用紙処理, 電気通信研究所研究実用化報告, **29**, 9 (1980) 1521.
- 9) 鎌田 弘, 家木俊温: プリンタにおける用紙自動装てん, 精密機械, **46**, 12 (1980) 1512.
- 10) 家木俊温, 鎌田 弘: 用紙リトラクト機構の検討, 精密機械, **48**, 4 (1982) 469.
- 11) 鎌田 弘, 西村 孝: 高速プリンタの用紙折りたたみ特性, 精密機械, **47**, 4 (1981) 454.
- 12) ASTM: Modulus of a Flexible Barrier Material by Sonic Method, F 89-68, (1973).
- 13) J. K. Craver & D. L. Taylor: Nondestructive Sonic Measurement of Paper Elasticity, Tappi, **48**, 3, (1965) 142.
- 14) P. K. Chatterjee: Sonic Pulse Propagation in a Paperlike Structure, Tappi, **52**, 4, (1969) 699.
- 15) M. Htun & C. Fellers: The Invariant Mechanical Properties of Oriented Handsheets, Tappi, **65**, 4, (1982) 113.
- 16) O. J. Kallmes: Technique for Determining the Fiber Orientation Distribution throughout the Thickness of a Sheet, Tappi, **52**, 3, (1969) 482.
- 17) R. Danielsen & B. Steenberg: Quantitative Determination of Fiber Orientation in Paper, Svensk Papperstidn., **13**, 15, (1947) 301.
- 18) G. E. Collins: The Swelling of Cotton Hairs in Water and in Air at Various Relative Humidities, J. Textile Inst., **21**, (1930) T 311.