テーププリント法について

第4報 テーププリント法の理論的考察

国策パルプ工業株式会社 旭川工場工務部試験課 安 藤 昭 二

On the Photoelectrical Method of the Printing Smoothness “Tape Printing Method”

Part IV. On the Theoretical Explanation of the Tape Printing Method

Shōji Andō

Kokusaku Pulp Industry Co., Ltd.

This report presents the theoretical explanation for the Tape Printing Method. The “Duble Reflexion Theory” was proposed, and the formula described below was introduced for the Tape Printing contrast C_1

$$C_1 = \frac{1}{1 - G(x, n)}$$

$G(x, n)$ is the numbers of index for the normal reflexion of lightbeams focused on the surface of adhesive tape.

$$G(x, n) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\tan^2(\varphi - x)}{\tan^2(\varphi + x)} + \frac{\sin^2(\varphi - x)}{\sin^2(\varphi + x)} \right\}$$

$$n = \frac{\sin x}{\sin \varphi}$$

“ x ” is the incidence angles of light beams. “ n ” is the refraction index of the adhesive tape.

要 旨

TP法の理論について考察し、TP法のパターンについて次のように提案した。

(1) TP法の光学的なコントラストは、接着テープと紙面の接触面の光が1回正反射するのに反し、非接触部への光は2回正反射するために発生する（これを2重正反射理論と称した。）

(2) 光学的なコントラスト C_1 は、次式で表わすことができる。

$$C_1 = \frac{1}{1 - G(x, n)}$$

$G(x, n)$ は、入射角 x 、接着テープの屈折率 n におけるテープ面での正反射率を示し、次式で表わすことができる。

$$G(x, n) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\tan^2(\varphi - x)}{\tan^2(\varphi + x)} + \frac{\sin^2(\varphi - x)}{\sin^2(\varphi + x)} \right\}$$

φ は、 n および x によって規制される、すなわち $n = \frac{\sin x}{\sin \varphi}$

〔I〕 緒 言

テーププリント法（以後 TP 法と呼称する）の概念と、各種印刷用紙に適用したばあいの定性的な挙動、その操業面への応用などについて第1報で報告した⁽¹⁾。TP法による印刷均一性の定量方法については、同じく第2報で報告した⁽²⁾。第3報では、実際印刷結果とTPパターンとの直接的な比較を試みた。

本報では TP 法の理論について報告したい。TP法の理論は現在も検討中であるが、その骨子は、以下に説明する2重正反射理論以外には考えられない。

〔II〕 TP法理論の考察過程

2重正反射理論に到達した過程について簡単に説明する。一口でいえば、TP法で観察されるTPパターンの4つの特性を解明するため、幾つかの試行錯誤をくりかえした結果、4特性の全部を解明できたのは2重正反射理論だけであったことである。以下その過程

Before TP-process

After TP-process

Fig. 1 Photographs of an art paper surface before and after the TP-process.

Fine paper-feltside

Newspaper-feltside

Fig. 2 Photographs of a fine paper and a newspaper surface after the TP-process.

について説明する。

(1) TP パターンの特性

まず、TP 理論の基礎である TP パターンについて、顕微鏡写真を詳細に観察した結果、TP パターンの特性は次の4つであることがわかった。すなわち、

(i) 紙および接着テープの接触部と非接触部の明るさは、明瞭に違っている(第1図参照)。

この明るさの差異(以後、これを明暗、またはパターン、コントラストなどと呼称する)は、普通の斜光照射法による凹凸の明暗よりもはるかに明瞭である。

After TP-process

Before TP-process

Fig. 3 Photographs contrast of artificial concaves (○) and convex (×) on the surface of art paper before and after the TP-process.

Fig. 4 Continuous variation of the contrast in a deep concave on the surface of coated paper after the TP-process

Fig. 5 Surface structure of art paper observed at the angle of various incidence (x), before TP-process.

法の差異を比較することができる。また上質紙および新聞用紙については第2図を参照されたい(斜光写真は特に掲げなかった)。

(四) TP パターンの暗い所は、紙~接着テープの非接触部である。暗さは凹みの大きさや傾斜によって違っている。明るい所は、接触部を表わしている。その明るさはほぼ一様である。この点が、非接触部と違う点である。

以上のことを第3図で説明すると、人為的に作られた凹部(○、◎印)がTPパターンでは暗くなり、接着テープと接触する凸部(×印)と平坦な部は明るくなっている。そしてその明るさはほぼ一様である。次に第4図の中央に見える大きな凹部(矢印)と、周囲

第1図の中の、矢印によって正確に斜光照射法とTP

Fig. 6 Surface structure of artpaper observed at the angle of various incidence (x), after TP-process.

の小さな凹部を比較すると、両者の暗さの違いはすなわち、暗さには程度差があることがわかる。写真の縞模様はコート原紙のワイヤマークを示している。

(ハ) 紙面に大形の凸部があれば、その周囲には接着テープは接着できない。このような非接触部も全部暗いパターンを示す（光源側も暗くなる）。実際印刷で、紙面に付着した紙粉は版に対して大形凸部となっており、ドーナツ状の非印刷部ができる現象と一致している（第3図、×印の光源側の暗い所を参照）。

(ニ) TP パターンは光の入射角が $50 \sim 60$ 度以上から認められ、入射角の大きいほどパターンが明瞭である。

第5～6図は、光の入射角を 40° 50° 60° 70° 80° 85° に変化させ、撮影した顕微鏡写真を示す。照射方向を明示するために、紙面に鉄線（径 500μ のステンレス線）を置き、その上に接着テープを接着して撮影した。第6図のTPパターンは、入射角約 60 度から観察され、 80 度以上で明瞭となる。ステンレス線の周囲の非接触部も、(3)に説明したような暗いパターンが認められる。

(2) TP 理論へのアプローチ

TP法は、チャップマン型平滑度計と光学的である点では似ているが、チャップマン理論の基礎である臨界角による全反射理論では、(1)に列挙したTP特性を説明することはできなかった。

以下TPパターンについて考察した過程について、順を追って説明する。

(イ) 凹凸の影に因る考察（“影”理論）

TPパターンは、大きな角度で入射する光の“影”

Fig. 7 Diagram of light path explained by the Shadow Theory.

によって発生すると考察した。

第7図の右方から入射すると、一部は非接触部のpに集光する。逆にqは“影”となり暗くなる。入射角が大きいほど“影”qは長くなるから暗さは明瞭となり、パターンが明確となる。接触部rの光は、光の入射角が接着テープで屈折する量だけ垂直に近づくため、“影”の長さが減少し明るくなる。したがって、接触部、非接触部のパターンの違いはさらに明瞭となる。これを“影”理論と仮りに呼称する。

“影”理論によれば、次の3点については説明することができる。

1. TPパターンが普通の斜光照射法よりはっきりする点、2. 入射角は大きいほどTPパターンがはっきりする点、3. TP圧力を高めると、接触部が増加するためTPパターンが減少する点、以上の3点は説明できる。

しかし、次の4点が説明できない。すなわち、1. 第7図p部は、斜光法では認められるが、（第3図、TP前の◎印）、TP法では第3図のようにはっきり

Fig. 8 Diagram of light path about a large convex explained by the Shadow Theory.

しない。換言すれば“影”理論の影がTP法では不明瞭となる点、2. 暗さが、単なる影であるとするれば、影の濃度差は無いはずであるが実際には第1～4図、特に第4図のように濃度差が認められる点、3. 大型凸起物の光源側は第8図のように明るくならないが、事実は逆に暗いパターンを示す点（第3図および第6図参照）、4. 入射角 $50 \sim 60$ 度から、TPパターンが認められる点、以上4点が影の理論で説明できなかった。

(ロ) 修正された“影”理論について

“影”理論を発展させるため、次のような仮説を設

定し考察した。すなわち、“非接触部の空間内の光は、積分球内部のような効果により一様化される”と仮定した。この仮説を設定すれば、“影”理論で説明不可能であった第7図p部の件は、 $p \sim q$ 部が一様化されるために観察できないことになり現象と一致する。ま

Fig. 9 Diagram of light path about a large convex explained by the Double Reflexion Theory.

た、この仮説には、一様化する過程として、当然非接触部内壁面積の大小が、暗さの差異と関係することを前提としており、“影”理論では説明できなかった暗さに程度差がある点も納得できる。

ただし、次の2点を未だ説明することができない。すなわち、1. 入射角 $50 \sim 60$ 度以上から TP パターンが認められる点、2. 大型凸起物周囲の光源側非接触部が暗くなる点。

Fig. 10 Diagram of light path to a shallow concave explained by the Double Reflexion Theory.

(ハ) 2重正反射理論

TP法で、非接触面（紙～接着テープ）への光は、接着テープシートの両面で1回づつ計2回正反射するが、接触面への光は1回正反射をする。したがって、正反射による光量損失量に差が生じてその差が TP パターンを発生する、と考察した。なお、(ロ)の仮説はそのまま本理論にも設定した。これを、“2重正反射理論”と呼称することにした。

第9図でさらに説明すると、接触面 P_2 の光は、 P_1 で1回正反射をおこして入射光の1部が失われるが、非接触部 P_3 への光は、 P_3 および P_4 で2回正反射をおこすため、光の正反射による損失量は倍加し、そのため TP パターンが発生すると考察した。仮説により、非接触部間の暗さの違いも説明できる。

2重正反射理論によれば、大型凸起物周囲にできる非接触部も光が2回正反射を経なければならないために暗くなる、と解釈することができる。これは前掲の“影”に基づく理論では説明されなかった点であった。さらに、入射角 $50 \sim 60$ 度以上から TP パターンが認められる点も、2重正反射理論によって説明できた。これらについて、〔Ⅲ〕でさらに詳しく説明する。

〔Ⅲ〕 2重正反射理論について

すでに説明した2重正反射理論に基づいて、紙面凹部の形が単純なケースについて、TPパターンを示す理論式の導入を試みた。すなわち、第10図のような凹みの深さが浅い、 Δt が無視できるケースについて考察した。一般印刷紙面を触針型平滑度計でプロフィールングすると、凹凸の傾斜は約 20 度以下のものが大部分なので、上記のケースは決して特殊なケースとは考えない。第10図の深さ Δt は無視できるので、凹部の底面は紙面と平行となり、かつ凹部の内壁面積は近似的に平面と一致すると考えて良い。

まず、接触および非接触部が同一面積 m に受光する光量について考察した。

(1) 接触部の受光量

第10図、光源からの光 L は、 P_1 で接着テープへ屈折し紙面と P_2 で交わる。 P_1 および P_2 の面積を m とすれば、 P_1 の受光量は $mI \cos x$ となる。ただし、 I は光源方向の断面光束密度である。 P_1 における光の正反射率を、入射角 x と接着テープ屈折率 n の函数 $F(x, n)$ で表わすと、 P_2 の受光量 W_1 は $mI \cos x$ から正反射した光 $mI \cos x \cdot F(x, n)$ を減ずれば得られる（式1）。

$$W_1 = mI \cos x (1 - F(x, n)) \dots\dots\dots(1)$$

W_1 が、紙面と接着テープ接触面 m に到達した光量である。

なお、接着テープを構成するベースおよび接着剤の屈折率は、近似的に相等しいものと仮定しこれを n で表わした。

(2) 非接触部の受光量

第10図、光源から $P_3 \sim P_4$ までの過程は、(1)のばあいと全く同一であり、 P_4 の光量は凹みの開口面積を m とすれば、(1)式と同一となる（註、図のような面積を以後開口面積（open area）と呼称する）。非接触面では、光がテープから凹みに入る時 P_4 で再び正反射をする。この時の正反射率を $G(x, n)$ とすれば、凹部 m に入る光量 W_1' は(2)式で表わすことができる。

$$W_1' = mI \cos x (1 - F(x, n) (1 - G(x, n))) \dots\dots\dots(2)$$

(3) TP パターンのコントラスト

TP パターンを光電装置で走査するばあい、光電指示レベルは前記(1)～(2)式で示される光量のほか、次の3点の影響を受ける。すなわち、1. 接触および非接触部から光電管までの受光径路（光電管にたいする紙面の傾斜角度が関係）、2. 凹部内における光吸収性（凹みの内面積が関係）、3. 紙～接着テープの接触面と、一般紙面との光分散特性の違い……正反射光以外の、分散光の分布の相異……（紙の平滑性とか接着剤の浸透度による変化などが関係）。

しかるに、今非常に浅い凹みを想定しているので、1～2の条件は式(1)～(2)に関して近似的に相等しい。

Table 1 Calculated number of the TP-contrast C_1 , in the case that the concave is very shallow.

Incident angle x°	TP-contrast C_1 $C_1 = 1/(1 - G(x, n))$	
	$n=1.50$	$n=1.55$
0	1.042	1.049
10°	1.042	1.049
20°	1.042	1.049
30°	1.044	1.050
40°	1.047	1.056
50°	1.062	1.070
56°19'	1.080	—
60°	1.098	1.107
70°	1.206	1.221
78°	1.484	1.502
80°	1.634	1.672
90°	∞	∞

また、3の条件も近似的に相等しい、と仮定した。いま1～3条件が、式(1)～(2)におよぼす影響を、一括して F で表現すると、 F は式(1)～(2)に関して等しくなるので、両式の比をとれば、 F は消却され、第10図の接触部～非接触部からの反射光強度比 (C_1) が得られる(式(3))。

$$C_1 = \frac{W_1}{W_1'} = \frac{mI \cos x (1 - F(x, n))}{mI \cos x (1 - F(x, n) (1 - G(x, n)))}$$

$$\therefore C_1 = \frac{1}{1 - G(x, n)} \dots\dots\dots(3)$$

これは、一種の TP パターン（コントラスト）を表わしている。しかも最も一般的な TP パターンを表わしているものと推定した。

Fig. 11 Relation between the TP-contrast C_1 and the incidence angle (x), in the case that the concave is very shallow.

接着テープ面での光の正反射率 $G(x, n)$ は、フレネルの法則により(4)式で示される。

$$G(x, n) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\tan^2(\varphi - x)}{\tan^2(\varphi + x)} + \frac{\sin^2(\varphi - x)}{\sin^2(\varphi + x)} \right\} \dots\dots(4)$$

ただし φ は、入射角 x と屈折率 n によって規制される、 $n = \frac{\sin x}{\sin \varphi}$

接着テープの屈折率は、簡単に入手できる約1.5のものを使用した。

(4)式を使用し、(3)式から TP コントラスト C_1 が計算できる。屈折率1.5および1.55における、入射角 x と C_1 との関係を示したのが第1表であり、同じく屈折率が1.5のばあいの両者の関係をプロットしたの

日食MS

は製紙用に変性した
コーンスターチです。

用 途 エンジンサイジング、表面サイジング、各種コーティング

種 類 # 3400
3600
3800

特 性 ●製品の品質が均一
●使用法が簡単
●最低のコスト
●同一製品を用いて応用面が広い
●損紙の回収が容易

新製品「日食MS #4000」シリーズ
はコーティングカラーの接着剤と
して革新的特性をもっています。

技術提携先
CPCインターナショナル社

日本食品化工株式会社

東京都千代田区丸の内3-4-1 電話(212)2081(代)
〈支店〉名古屋・大阪 〈工場〉半田・富士
〈研究所〉半田

× × ×

発売元
三菱商事株式会社

が第11図である。TPコントラスト C_1 は、入射角 50~60 度以上から急激に上昇し、TP パターンが明瞭になることを示している。これは、「影」理論では説明できなかった〔Ⅱ〕—(一)項を、2重正反射理論では説明できることを意味している。

〔Ⅳ〕 まとめ

紙面凹みの深さが浅いケースについて、TP法の理論的考察を行なった。

(1) TP法の光学的な明暗は、接触部(紙~接着テープ)の光が紙面に到達する過程で1回正反射するのに対し、非接触部の光は2回正反射するために発生するものである。これを2重反射理論と呼称した。

(2) 接触部および非接触部からの反射光強度比を C_1 とすれば、 C_1 は次の式で表わすことができる。

$$C_1 = \frac{1}{1 - G(x, n)}$$

ただし、 $G(x, n)$ は次式の通り、入射角 x と接着テープの屈折率 n との関数で示される。

$$G(x, n) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\tan^2(\varphi - x)}{\tan^2(\varphi + x)} + \frac{\sin^2(\varphi - x)}{\sin^2(\varphi + x)} \right\} \text{ および}$$

$$n = \frac{\sin x}{\sin \varphi}$$

(3) C_1 は、入射角 x が 50~60 度以上から急激に増大し、TPパターンが明瞭となることを示した。このことは、写真観察の結果とよく一致した。

以上やや特殊なケースについて理論的考察を試みたが、一般的な不規則の凹凸について、さらに検討を進めたいと思っている。

なお、本研究に際して種々の御協力を戴いた多くの方々にたいし、ここに深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 安藤, 仲田, 門屋: 紙パ技協誌, Vol. 23, 7, (1969)
- (2) 安藤, 仲田, 門屋: 紙パ技協誌, Vol. 24, 11 (1970) (第2報)
- (3) 安藤: 紙パ技協誌 Vol. 24, 12 (1970) (第3報)

(原稿受付 昭45.7.14)

×

×

×

×