



熱転写プリンタを利用した印刷用紙の簡易熱伝導率評価法*

新田 勇** 寺尾 博年*** 瀬下 卓弥†

Evaluation of Thermal Conductivities of Printing Papers Using a Thermal Transfer Printer

Isami NITTA, Hirotoishi TERAOK and Takuya SESHITA

The printing method of the thermal transfer printer is to push an ink ribbon that is heated and melted by a thermal head to a printing paper, and transfer the ink to desired positions on the paper. If the heating by the thermal head is not sufficient, the ink cannot be melted and cannot be transferred to the paper. Moreover, even if the heating is excessive, a high quality print cannot be done, because an excess amount of ink will be transferred to the paper. The heat generated by the thermal head is transmitted to the printing paper through the ink ribbon. Thus the thermal conductivity of the printing paper affects the temperature rise of the ribbon and as a result printing quality. The thermal conductivity of the paper is commonly measured with a quick thermal conductivity meter. However the printing paper is too thin for the measurement. A new method of evaluating the thermal conductivity of the printing paper using the thermal transfer printer was proposed.

Key words: thermal transfer printer, thermal conductivity, printing paper, evaluation method

1. 緒 言

近年パーソナルユースの小型プリンタの性能が向上し、銀塩写真並みの高画質も容易に得ることができるようになった。その中でも熱転写方式はより一層の小型化が可能で、デジタルスチルカメラ用の携帯用小型プリンタの印刷方式にも採用されている。図1は、熱転写プリンタの熱転写ヘッド部分の概略図である。熱転写ヘッドによりインクリボンに印刷用紙を加圧しつつ、加熱することによりインクリボン上のインクを熔融して所定の位置にインクを固着する。高精細な印刷のためには発熱体の微細化が要求される¹⁾⁴⁾。現在のところ発熱体のサイズは、20 μm が実現されている。

さて、発熱体で発生した熱は、熱転写ヘッド(サーマルヘッド)に伝わるものと、インクリボンを通して印刷用紙やプラテンゴム⁵⁾に伝わるものに大別される。実際の印刷では印刷目的により印刷用紙が選択されるが、インクリボンは共通であるために、熱の流れは印刷用紙の熱伝導率に大きく影響を受ける。すなわち、熱伝導率が高い印刷用紙では、印刷用紙に流れる熱量が多くなり、インクの熔融が十分でなくなる。また、逆の場合は、インクが熔融しすぎることになり高品質な印刷を行うことができない。従って、熱転写プリンタでは印刷用紙の熱伝導率を測定することが非常に大きな意味を持つ。

これまで紙の熱伝導率の測定方法として様々な方法が考え出されてきたが⁶⁾、通常の印刷用紙の熱伝導率測定では、耐火断熱れんがの熱線法⁷⁾を用いた迅速熱伝導率測定器が使用されてきた。しかし、印刷用紙などの薄い試料に対しては、複数枚重ねて測定しなければ正確な結果を得ることができないことや、測定者による測定誤差が含まれてしまうなどの問題がある。また、試料表面上の一点でしか測定することができず、印刷用紙などの厚みが変化するものや表面の凹凸の大きいものに対しては、

熱伝導率の測定値がばらつく結果となっていた。以上のことより、印刷用紙に対して簡易な熱伝導率測定法が望まれている。

ここでは、熱転写プリンタの熱転写ヘッドに取り付けられているサーミスタ(図2)を利用することで、印刷用紙の熱伝導率を簡易に測定する方法を提案する。通常の印刷動作を行うことで、印刷用紙の全体の値を平均熱伝導率として評価するものである。

そこで本研究では、この熱転写プリンタを用いた簡易な熱伝導率評価方法により求められた熱伝導率の有効性を検証した。印刷用紙の熱伝導率を求めるのは、最終的に印刷濃度などの印刷具合を推定したいためである。したがって、熱伝導率と深い関係があると思われる印刷濃度との関係を調べた。

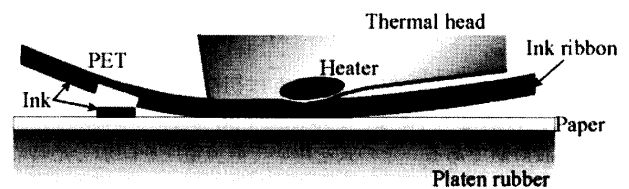


Fig.1 Details of thermal head and paper interface

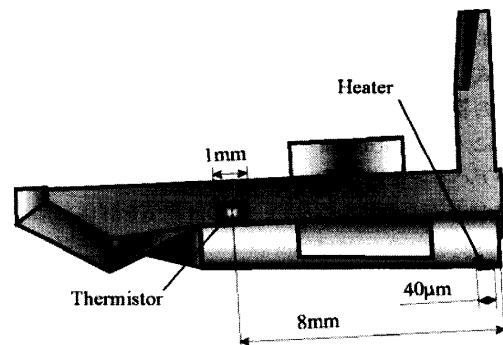


Fig.2 Location of the heater and the thermistor

* 原稿受付 平成 15 年 6 月 18 日

** 正 会 員 新潟大学工学部 (新潟市五十嵐 2 の町 8050)

*** アルプス電気(株)ペリフェラル機器事業部 (いわき市小名浜野田字柳町 41-25)

† 新潟大学大学院 (現, (株)リコー; 東京都港区青山 1-15-5)

Table 1 Thickness of plastic material

	PET (μm)	PP (μm)	PI (μm)	PTFE (μm)
CAST A	105.3	111.7	29.0	97.7
5 g/m ² / 20 g/m ²	124.0	129.0		
CAST B	103.3	106.7		
5 g/m ² / 20 g/m ²	113.7	114.7		
COAT A	109.0	111.0		
5 g/m ² / 20 g/m ²	135.3	133.7		
COAT B	103.7	-		
5 g/m ² / 20 g/m ²	113.7	-		

Table 2 Thickness of coating layer

	5g/m ² (μm)	20g/m ² (μm)
CAST A	6.2	24.6
CAST B	2.8	11.0
COAT A	9.6	38.4
COAT B	3.6	14.4

Table 3 Thickness and roughness of printing papers

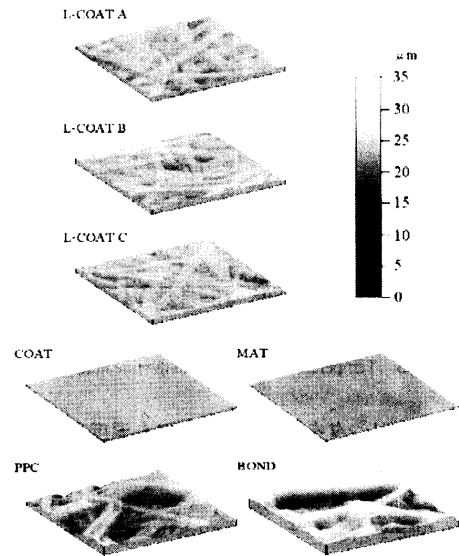
	Thickness(μm)	Roughness Ra(μm)
L-COAT A	100.9	1.5
L-COAT B	93.3	1.3
L-COAT C	92.8	1.2
COAT	107.5	1.3
MAT	105.1	1.0
PPC	97.4	2.7
BOND	145.0	5.2

2. 実験

2.1 試験片(印刷用紙)

試験片として、高分子基材の印刷用紙と、紙基材の印刷用紙を用意した。高分子材料は、PET(ポリエチレンテレフタレート)とPP(ポリプロピレン)とPI(ポリイミド)およびPTFE(ポリテトラフルオロエチレン)である。これらは、紙に比べて表面が滑らかで内部に空洞を含まないので、測定値が安定することが期待できる。高分子基材のうちPETとPPの表面には、印刷適正や白色度の向上を目的として一般に塗工される顔料やバインダなど、四種類の塗工料(CAST A, CAST B, COAT A および COAT B)を5g/m²または20g/m²塗付したが、PIとPTFEには塗付しなかった。PET基材およびPP基材の各種塗工処理された用紙の厚さを表1に示す。また、各印刷用紙の厚さより計算した塗工層厚さの推定値を表2に示す。PET基材とPP基材の用紙の裏面には塗工料が塗付されていないので、裏面の測定値をPET, PPそのものの測定値とした。また、PIはその厚さが29 μm と他の用紙に比べて薄いので3枚重ねて測定することにした。紙基材の印刷用紙については、7種類の印刷用紙(L-COAT A 紙, L-COAT B 紙, L-COAT C 紙, COAT 紙, MAT 紙, PPC 紙, BOND 紙)を用意した。それらの厚さと表面粗さRaを表3に示す。微塗工紙であるL-COAT A 紙, L-COAT B 紙, L-COAT C 紙は材質が同じであるが、製造工程のカレンダー処理(プレスの圧力)が異なるので、その厚さや表面粗さが異なっている。また、PPC 紙とBOND 紙には塗工料が塗付されておらず、その表面粗さは非常に大きくなっている。

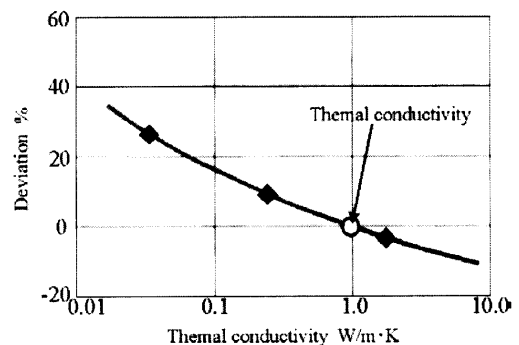
印刷用紙全てについて触針式表面粗さ計 Form Talysurf S6(Taylor Hobson 社製)によりその表面形状を観察した。測定範囲は200 μm 四方の領域とした。

**Fig.3** Surface profiles of printing papers

一例として、図3に紙基材の印刷用紙の測定結果を示す。塗工されている試料の中でも、L-COAT A 紙, L-COAT B 紙, L-COAT C 紙は紙の繊維が浮かび上がっている。COAT紙, MAT紙では、その表面は非常に平坦になっている。高分子基材の印刷用紙表面もこれと同様であった。一方、PPC 紙, BOND 紙ではその表面が非常に粗く、紙の繊維が明瞭に認められる。

2.2 迅速熱伝導率測定器による測定(校正実験)

熱転写プリンタで評価するのは温度上昇のみであり、この結果だけからは熱伝導率を導けない。そこで、PET 基材の印刷用紙についてのみあらかじめ市販の熱伝導率測定器を用いて熱伝導率を測定することにした。測定器として迅速熱伝導率測定器 QTM-D3(京都電子工業)を使用し、PET 基材の印刷用紙を8枚重ねて測定した。本測定法は比較測定法であり3種類の熱伝導率が既知な基準片を必要とする。すなわち、発泡ポリエチレン($\lambda=0.0349\text{W/m}\cdot\text{K}$)とシリコンゴム ($\lambda=0.237\text{W/m}\cdot\text{K}$)および石英ガラス($\lambda=1.418\text{W/m}\cdot\text{K}$)である。最初に、発泡ポリエチレンの上に8枚重ねたPET 基材の印刷用紙を置いた。次に、その上面で熱線により熱を発生させると同時に、熱線上の一点の温度変化を測定し⁷⁾、基準片からの熱伝導率の偏差を求めた。他の2種類の基準片に対しても同様な測定を行い、基準片からの熱伝導率の差を偏差の形で求めた。測定した3つの偏差を図4のグラフにプロットする。同図より偏差が0になる点を求めることで、求める印刷用紙の熱伝導率が決定される。

**Fig.4** Relationship between deviation and thermal conductivity

熱転写プリンタを利用した印刷用紙の簡易熱伝導率評価法

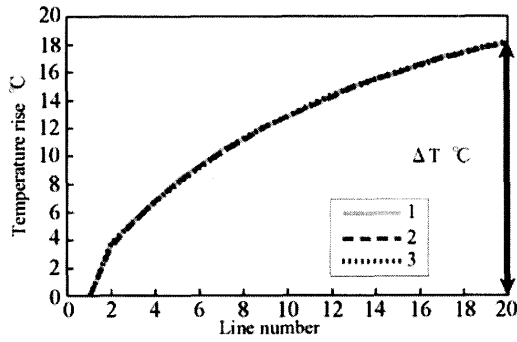


Fig.5 Temperature rise ΔT with the line numbers

2.3 熱転写プリンタを用いたサーミスタ温度測定

図 2 に示すように、熱転写ヘッドにはサーミスタが取り付けられており印刷時の温度を制御している。印刷動作時のサーミスタ温度を測定することで、印刷用紙の熱伝導率を推定する方法について以下に述べる。

市販の熱転写プリンタ(MD1300, アルプス電気)を改造して実験に用いた。実験条件として、発熱体 1 個あたりの消費電力を 0.3W とし、熱転写ヘッドの移動速度と押付け圧力は 254mm/s と 6.0MPa とした。また、印刷動作時にはインクリボンを用いずに、熱転写ヘッドを印刷用紙に直接接触させた。

熱転写ヘッドの発熱体 1 個の大きさは約 40 μ m であり、それが直列に 240 個並ぶことで熱転写ヘッドを構成している。今回の実験では、縦 240 ドット、横 4000 ドットを 1 行としたベタ印刷パターンとした。サーミスタの温度は、各行の印刷動作開始前に測定し 20 行印刷する最中の温度を計測した。この実験は再現性を調べるために 3 回行った。図 5 はその測定結果の一例であり、再現性に問題がないことを確認した。最初と最後の行のサーミスタ温度の差を求め、 ΔT と表記することにした。

2.4 印刷濃度測定

全ての印刷用紙について印刷濃度を測定した。測定装置には、反射濃度計(RD918, マクベス社)を使用した。しかし、PET には印刷を行うことができなかったため、印刷濃度は測定不可能であった。

印刷の条件としては、熱転写ヘッドの移動速度と押付け圧力を 254mm/s と 6.0MPa とした。印刷には黒色インクリボンを用い、1 ドットの周辺が全て空白となる印刷パターン(図 6)を用いて縦 240 ドット、横 1000 ドット分の印刷を行った。発熱体 1 個あたりの消費電力を 0.2W から 0.3W まで 1 行ごとに 0.01W ずつ変化させた。印刷濃度の測定では印刷用紙自体の色に大きく影響を受けてしまうので、0.2W/ドットと 0.3W/ドットの消費電力のときの印刷行のときの印刷濃度の差を求め、その値を改め

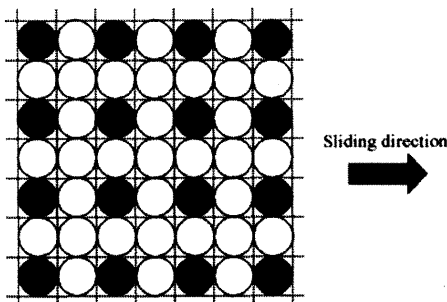
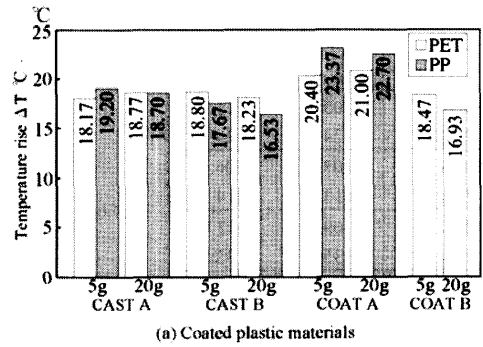
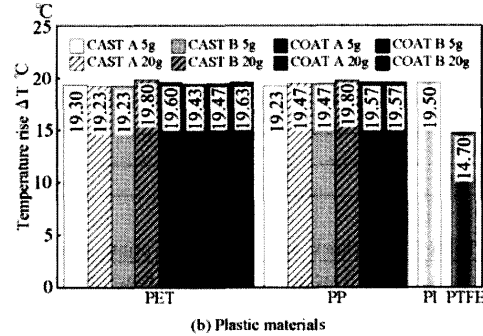


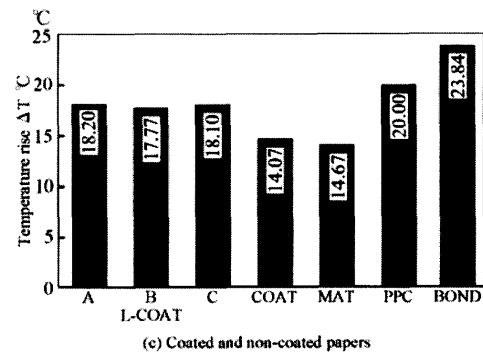
Fig.6 Printing pattern for measurement of optical density



(a) Coated plastic materials



(b) Plastic materials



(c) Coated and non-coated papers

Fig.7 Temperature rise measured by the thermistor

て印刷濃度と定義した。

2.5 熱伝導率の推定と印刷濃度との関係

最初に PET 基材の各種印刷用紙について迅速熱伝導率測定器によりその熱伝導率を測定した。次に熱転写プリンタを用いてサーミスタ温度上昇 ΔT を求め、先に求めた熱伝導率と関係付けることより校正曲線を求めた。

その後 PET 以外の高分子基材や紙基材の印刷用紙に対して熱転写プリンタにより ΔT を求め、校正曲線により熱伝導率に変換した。次に全ての試料に対し印刷濃度を測定した。最終的に

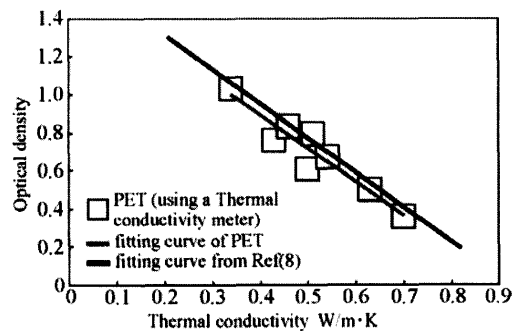


Fig.8 Relationship between optical density and thermal conductivity

は熱伝導率と印刷濃度の関係を基にして、本測定法の有効性を検証した。

3. 実験結果

熱転写プリンタで測定した高分子基材の印刷用紙の温度上昇 ΔT の結果を図 7(a) に示す。同じ基材の印刷用紙であっても表面に塗付された塗工料の影響により、その温度上昇 ΔT は異なったものとなった。逆に、同じ塗工料を同じ厚さ塗布しても、基材が変わると温度上昇 ΔT は異なった。

高分子基材の印刷用紙の裏面(塗工層がない面)の ΔT の測定値を図 7(b) に示す。また、図には PI, PTFE の結果も示す。PET, PP では、多少のばらつきはあるものの、裏面の塗工料の影響はほとんど見られなかった。そこで PET, PP に対しては、それらの平均値を ΔT とした。

紙基材の印刷用紙の温度上昇 ΔT を図 7(c) に示す。L-COAT A 紙, L-COAT B 紙, L-COAT C 紙では、それらの材質が同じであるため、その ΔT には顕著な違いがなかった。

PET 基材の印刷用紙について迅速熱伝導率測定器を用いて測定した熱伝導率と印刷濃度との関係を図 8 に示す。両者の間には、直線関係が成り立つことがわかる。すなわち、熱伝導率が高ければ印刷濃度は比例して小さくなることが分かる。また、同図には前田らによって求められた熱伝導率と印刷濃度との関係⁸⁾も示した。これらの二つの関係は、非常に近いものであり、ここで得られた熱伝導率と印刷濃度の関係はある程度信頼できる結果であると考えられる。

PET 基材の印刷用紙について、迅速熱伝導率測定器で測定した熱伝導率と熱転写プリンタで測定した温度上昇 ΔT の関係を図 9 に示す。多少のばらつきはあるものの両者には直線関係が認められる。これは、印刷用紙の熱伝導率が大きければサーミスタ温度はあまり上がらず、逆に印刷用紙の熱伝導率が小さければ ΔT が大きくなることを表している。

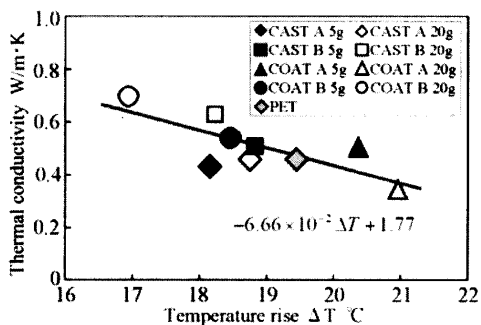


Fig.9 Relationship between thermal conductivity and temperature rise

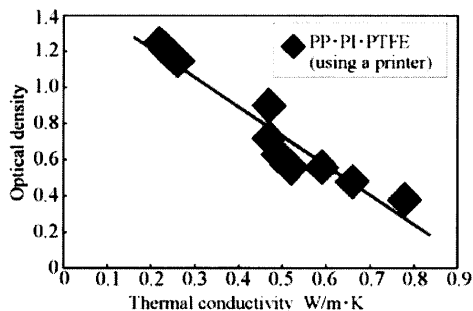


Fig.10 Relationship between optical density and thermal conductivity

そこで、図 9 に示される直線を校正曲線として ΔT から熱伝導率を推定することにした。

次に、PP 基材の各種印刷用紙と、PI および PTFE について、校正曲線により ΔT より熱伝導率を求めた。図 10 に、このようにして求めた熱伝導率と印刷濃度の関係を示す。図 8 の PET の場合と同様に、熱伝導率と印刷濃度には良い相関関係が認められる。また、ここで得られた近似直線は、PET の結果から得られたものに非常に近いものとなっている。

紙基材の印刷用紙についても、同様にして熱伝導率を求めた。図 11 は、熱伝導率と印刷濃度の関係を高分子材料の結果と合わせて示したものである。図より、塗工した 5 種類の印刷用紙は熱伝導率と印刷濃度の関係が高分子材料のものと同じであることが分かる。よって、これらの印刷用紙に対しては、 ΔT を測定することにより、その熱伝導率を評価することができるものとする。しかし、塗工されていない PPC 紙と BOND 紙に対しては高分子材料の関係と異なる結果になった。

以上の結果より、高分子基材の印刷用紙と塗工された紙基材の印刷用紙に対しては、本研究で提案する熱伝導率評価方法は有効であると考えられる。しかし塗工されていない紙基材の印刷用紙に対しては本提案の手法で評価できないということが分かった。

4. 考察

図 11 に示す熱伝導率と印刷濃度の関係で、PPC 紙と BOND 紙のみが他のものと異なる傾向を示した。その原因として、これらの印刷用紙は他のものに比べて表面粗さが大きいので熱転写ヘッドと印刷用紙が均一に接触できず、発熱体の熱が印刷用紙に十分伝達できなかったものと考えられる。そこで、図 12 に示すような装置を作製して、印刷用紙裏面の温度分布を測定した。

この装置では、石英ガラスの下面より印刷用紙と熱転写ヘッドを押し付けることができ、その状態で石英ガラスを 0 から 50 mm/s の速度で摺動させることができる。石英ガラスの上面より赤外線放射温度計にて温度分布を測定することにより、間接的に熱転写ヘッドと印刷用紙の接触面の温度分布が測定できる。

測定には紙基材の 7 種類の印刷用紙を用いた。発熱体一個に与える電力を 0.26W とし、押付け圧力を 6MPa とした。加熱パターンには縦方向 4 ドット毎に発熱させる横線印字パターンを使用した。

速度が 0 mm/s のときの測定結果の一例を図 13 に示す。PPC 紙と BOND 紙以外の塗工されている印刷用紙では、熱転写ヘッ

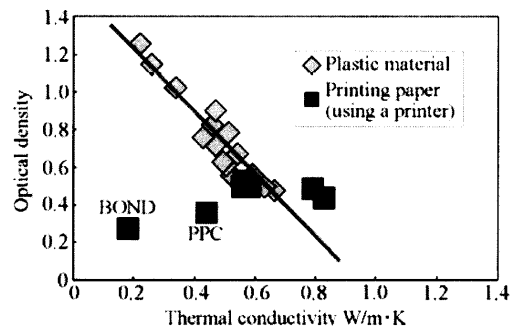


Fig.11 Relationship between optical density and thermal conductivity

熱転写プリンタを利用した印刷用紙の簡易熱伝導率評価法

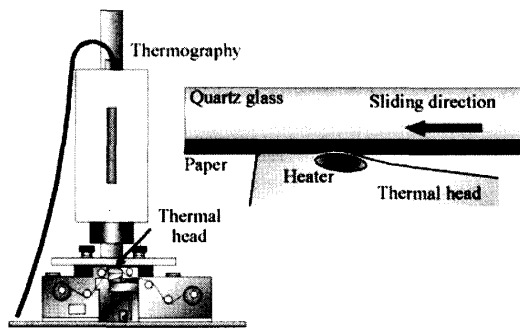


Fig.12 Test apparatus to observe temperature distribution of the printing papers

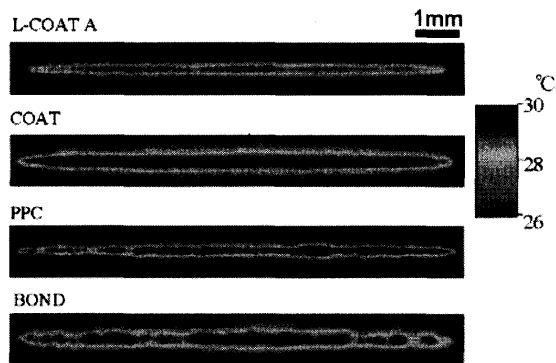


Fig.13 Temperature distribution of the printing papers with the thermal head stationary

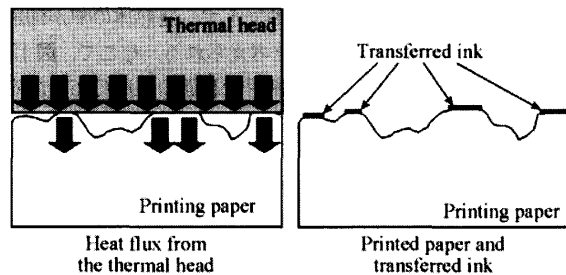


Fig.14 Schematic diagram of contact between the thermal head and the printing paper and the heat flux from the thermal head

ドの発熱体の全長にわたりほぼ均一な温度分布となったが、PPC紙とBOND紙では温度分布が不均一であった。これは、印刷用紙と熱転写ヘッドの接触が不均一であることを間接的に示すものであると考えられる。

塗工されていないPPC紙とBOND紙では、その表面粗さが大きいことから、熱転写ヘッドと印刷用紙の接触面積が小さくなり、熱伝達が十分に行われない。また、非接触部に存在する空気層は熱を伝えにくい媒体である。その結果として、測定値 ΔT は大きくなり、熱伝導率が低いと判定される。それらの用紙に印刷を行うと、表面粗さが大きいためにインクが印刷用紙表面に接触する確率が減少し、印刷濃度は低い値になる。これらのことより、塗工されていない印刷用紙では、熱伝導率が低ければ印刷濃度は高くなるという予想に反して、熱伝導率、印刷濃度ともに低いという結果になったと考えられる(図14)。

さて、印刷用紙の深さ方向にどのような温度場を形成しているかを調べれば、本手法が印刷用紙のどの程度の深さまでの熱伝導率を測定しているかが推定できる。塗工された印刷用紙の

Table 4 Material properties

	Paper	PI
Thermal conductivity λ (W/m·K)	0.5	0.35
Specific heat c (J/kg·K)	1170	1150
Density ρ (kg/m ³)	1000	1400

場合は、温度場が浅ければ塗工層の熱伝導率をより強く反映した計測結果と考えることができる。熱転写ヘッドが印刷用紙上を摺動する本問題はトライボロジー分野での移動熱源の問題となる。そこで、印刷用紙を半無限体として、熱転写ヘッドにより移動熱源が与えられるものとして、温度場を解析した。x方向に幅 $40\mu\text{m}$ ($-20\mu\text{m} \leq \xi \leq 20\mu\text{m}$)、y方向に奥行き 11mm ($-5.5\text{mm} \leq \zeta \leq 5.5\text{mm}$)の発熱体の面積を帯熱源の領域Gとし、熱源領域G全体に与えられる電力を0.26W、熱源の移動速度を254mm/sとした。ただし、このとき受熱媒体表面からの放熱は無いものとする。定常状態の点(x, y, z)における温度 θ は次式で表される⁹⁾。

$$\theta_{\infty} = \frac{q}{2\pi\lambda} \iint_G \frac{1}{D} \exp\left\{-\frac{u\{D-(x-\xi)\}}{2\kappa}\right\} d\xi d\eta$$

ただし、 $D^2 = (x-\xi)^2 + (y-\zeta)^2 + z^2$ 、 q (W/m²)は単位面積あたりの熱源消費電力であり、Gは熱源の領域である。また、 $\kappa = \lambda / \rho c$ は熱拡散率(m²/s)であり、 ρ は密度(kg/m³)、 c は比熱(J/kg·K)、 λ は熱伝導率(W/m·K)である。受熱媒体を紙またはPIと仮定した。それらの熱物性値は文献値であり表4のように仮定した。

PIの厚さは他の媒体の1/3と薄かったため(約30 μm) ΔT 測定においては3枚重ねた。重ねることの妥当性を吟味するためにPIの数値計算を行った。

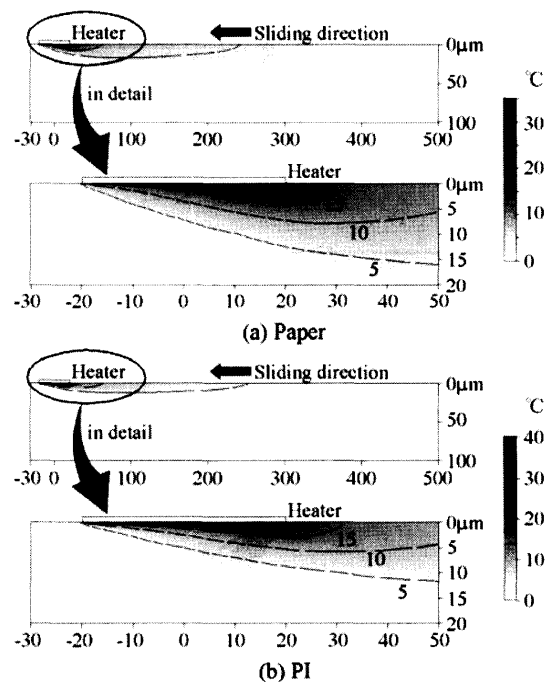


Fig.15 Temperature distribution of Paper and PI by the thermal analysis

印刷用紙表面 $z = 0 \mu\text{m}$ では、上式において $D = 0$ となり計算不可能となる。そこで、 $z = 0.1 \mu\text{m}$ の計算値を表面の温度とした。

$y = 0$ の断面の計算結果を図 15 に示す。熱源付近の拡大図も示した。等温線の間隔は 2°C である。これらの結果から、あまり深いところまでは熱が伝わらないことが分かる。温度場の深さは紙基材の印刷用紙の場合約 $20 \mu\text{m}$ であることから、塗工層が存在する場合はその熱伝導率に強く影響を受けることが推測できる。PI では紙よりも熱伝導率が小さいので温度場が浅い。この計算結果から推測すると、実験では厚さ約 $30 \mu\text{m}$ のシートを 3 枚重ねて PI の熱伝導率を測定したが、シート間のすきまの空気層の影響は少ないものと考えられる。

5. 結 言

本研究では、以下のことが明らかになった。

印刷用紙の熱伝導特性を簡易的にしかも熟練技術を要しないで測定する目的で、熱転写プリンタを利用した熱伝導率推定方法を考案した。本測定法を数種類の印刷用紙に適用し、本測定法が使用できる可能性を示した。

本測定法は印刷用紙の表面層の熱特性を測定するもので、この点が従来の迅速熱伝導率測定法と大きく異なる点である。したがって、塗工層の開発やその厚み設計に貢献できると考えら

れる。

ただし、表面が塗工されていないうねりの大きな印刷用紙に対しては、サーマルヘッドが印刷用紙に全面で接触できないため、印刷濃度との関係は求められなかった。

参 考 文 献

- 1) 永田達也・佐藤和恭・渡邊道弘、薄膜感熱記録ヘッドのハルス印加寿命特性、機論、**62-601, C**(1996-9), 56-61.
- 2) 永田達也・佐藤和恭・渡邊道弘、感熱記録ヘッドの性能予測、機論、**61-581, B**(1995-1), 289-294.
- 3) 永田達也・渡邊道弘、ポリイミド蓄熱層を用いた 16dot/mm 感熱記録ヘッド開発、機論、**61-585, B**(1995-5), 286-291.
- 4) 村田 章・望月貞成・森本泰正・江頭典孝、半導体レーザーを熱源とするフルカラーサーマルプリンタの染料転写特性、機論、**61-582, B**(1995-2), 328-333.
- 5) 中川紀壽・関口泰久・坂本淳一郎、衝撃荷重を受ける印刷機インクロール皮膜用軟質ゴムの圧縮特性評価、機論、**64-621, A**(1998-5), 233-238.
- 6) Jens Borch, M. Brouce Lyne, Richard E. Mark, Charles C. Habeger, Jr., Handbook of Physical Testing of Paper Volume2, (2002), 393, MARCEL DENKKER, INC.
- 7) 耐火断熱れんがの熱線法による熱伝導率の試験方法, JIS R 2618 (1995).
- 8) 前田秀一・箱守正和・仲居 達・中村 陽・加藤 勝、泡塗工による多孔性塗膜の形成、分析及び応用、紙バル技協紙、**55-12**, (2001), 102-112.
- 9) 山本 雄二・兼田植宏、トライボロジー、理工学社、(1998), 52.