

熱転写プリンタの熱転写ヘッドの接触圧力の解析*

新田 勇^{*1}, 寺尾博年^{*2}, 瀬下卓弥^{*3}

Analysis of Contact Pressure Acting on a Thermal Print Head of a Thermal Transfer Printer

Isami NITTA^{*4}, Hirotoishi TERAO and Takuya SESHITA^{*4} Department of Mechanical and Production Engineering, Niigata University,
8050 Ikarashi 2-nocho, Niigata-shi, Niigata, 950-2181 Japan

The printing method of the thermal transfer printer is to push an ink ribbon that is heated and melted by a thermal print head to a printing paper, and transfer the ink desired positions on the paper. Thus it is important to place the heater of the thermal print head at the position where the contact pressure is most high. The visco elastic properties of the ink, PET and platen rubber were measured with a rheometer. The contact pressures on the thermal print head were calculated by FEM. The contact pressures under consideration of visco elasticity were different from those calculated by elastic analysis. The effect of sliding speed of the thermal print head on the contact pressures was also examined. To examine the effect of the contact pressure on the print quality the optical densities were measured with the heater positions of the thermal print head changed. The optical densities were changed with the heater positions. It can be found that the optical densities decreased with the calculated contact pressure.

Key Words: Thermal Transfer Printer, Visco Elasticity, FEM, Thermal Print Head, Contact Pressure

1. 結 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に加圧しつつ、加熱することにより、インクリボン上のインクを溶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、 $20\mu\text{m}$ が実現されている。

熱転写プリンタの印刷時に、熱転写ヘッドに圧力を加えるのは次の2つの理由からである。一つは、熱転写ヘッドのヒータで発生した熱をインクリボンに伝えてインクを溶融するためである。もう一つは、インクリボンと印刷用紙が十分接触できるようにするためである。特に、普通紙などの表面が粗い印刷用紙の場合、

紙繊維をつぶし真実接触面積を十分に確保することが重要である。このように熱転写プリンタでは、接触圧力が印字品質を大きく左右するために非常に重要な因子となる。しかしながら、これまで熱転写ヘッドの接触圧力はほとんど解析されておらず、勘と経験に基づいた開発がなされてきた。

上述のように、熱転写ヘッドの接触圧力分布とインクの転写性は非常に密接な関係にあり、よい転写性

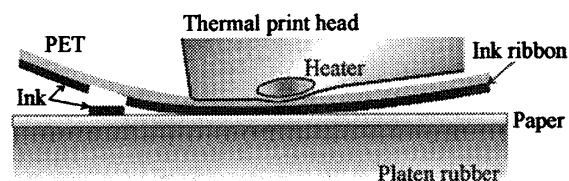


Fig. 1 Details of thermal print head and paper interface

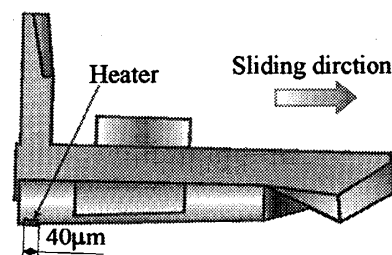


Fig. 2 Location of the heater

* 原稿受付 2003年4月10日。

^{*1} 正員, 新潟大学工学部(〒950-2181 新潟市五十嵐2の町8050)。^{*2} 正員, アルプス電気(株)(〒971-8615 いわき市小名浜野田字柳町41-25)。^{*3} 学生員, 新潟大学大学院自然科学研究科。

E-mail: nitta@eng.niigata-u.ac.jp

を得るためには、接触圧力が高いところでインクを溶融する必要がある。

したがって、熱転写ヘッドとインクリボンの接触圧力分布を明らかにし、熱転写ヘッド上の発熱体に最大の接触圧力が作用するように設計することは、熱転写プリンタの高精度な印字品質を保証する上で必要不可欠である。ところが、インクリボンやプラテングム⁶⁾には粘弾性特性が存在するために、単なる弾性解析では接触圧力分布を正確に把握することができない。

そこで本研究では、接触圧力の解析に必要な各部材の粘弾性特性の測定を行い、得られた測定値を用いて粘弾性解析を行うことによって、熱転写ヘッドの接触圧力分布を明らかにすることを目的としている。

また、発熱体の位置を変更した数種類の熱転写ヘッドを用いて印刷を行い、印字品質の一つである印刷濃度を測定した。そして解析結果と印刷濃度を比較することにより、解析結果の妥当性を考察した。

2. 粘弾性測定

三要素 Maxwell モデルを適用した場合、数値解析を行うにあたって必要となる粘弾性特性は、バネ定数 E_e と E_i 及び緩和時間 Tri である。三要素 Maxwell モデルとは図3に示されるように二つのバネとダッシュポットからなり、一定のひずみを与えた時に内部応力が減少(緩和)する現象をモデル化したものである。次にそのモデルについて簡単に説明する。

図3において、三要素 Maxwell モデルに時刻0で瞬間的に一定ひずみを加えると、ダッシュポットは移動できず、バネ E_e と E_i だけがフックの法則にしたがって一瞬のうちに変形する。次に、時間の経過に伴いダッシュポットが動き出す。このダッシュポットはニュートンの粘性の法則が成り立つものとする。ダッシュポットのピストンが移動すれば、バネ E_i はその分だけ元の長さに戻るため、バネ E_i に作用する力は小さくなる。ダッシュポットはバネの力に比例した速度で動くため、その移動速度は次第に遅くなる。また、バネの変形速度も遅くなる。バネ E_i に作用する力が

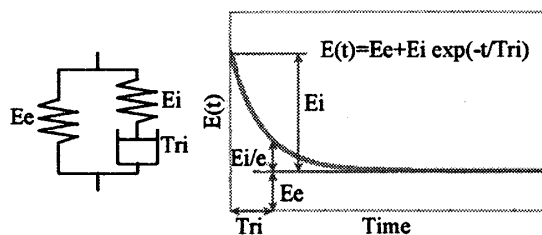


Fig.3 Maxwell Three element model

初期の力の $1/e$ 倍に減少するまでの時間が緩和時間 Tri となる。

このように、粘弾性特性は時間に依存しているため、物体の変形速度によってその振る舞いが異なる。そこで次に示す動的粘弾性測定により、インクとポリエチレンテレフタレート(以後 PET と表記)およびプラテングムの各粘弾性特性を算出した。

2.1 インクの粘弾性測定 インクの動的粘弾性測定にはレオメータ(Haake 社 Rheostress RS50 とレオメトリックサイエンティフィック社製)を使用した。始めに、インクが溶融する 83°C の温度で粘弾性特性を測定した。この測定機で得られる値は、周波数(角周波数)ごとのせん断に関する貯蔵弾性率(G')と損失弾性率(G'')である。インクを直径 35mm 、厚さ 0.5mm の円板に成型して試験片とした。インク円板にねじりを加えることで測定を行った。ねじりの周波数範囲は $0.1\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$ とした。

その測定結果を図4に示す。縦軸は貯蔵弾性率または損失弾性率であり、横軸は周波数である。損失弾性率、貯蔵弾性率共に周波数の上昇に伴って大きくなっている。これらの結果を用いて、以下に示す式(1)よりせん断弾性率の時間変化 $G(t)$ を求めた⁶⁾。

$$G(t) \approx G'(\omega) - 0.4G''(0.4\omega) + 0.014G''(10\omega) \dots\dots\dots (1)$$

$$t = 1/\omega$$

ここで t は時間(s)、 ω は角周波数(rad/s)である。

実験より得られる時間は、 $t = 1/\omega = 1/(2\pi \times 100) = 1.592 \times 10^{-3}(\text{s})$ から $t = 1/(2\pi \times 0.1) = 1.592(\text{s})$ までである。式(1)より得られた曲線 $G(t)$ に、三要素 Maxwell モデルを適用した。式(2)に三要素 Maxwell モデルを表す式(緩和関数)を示す。

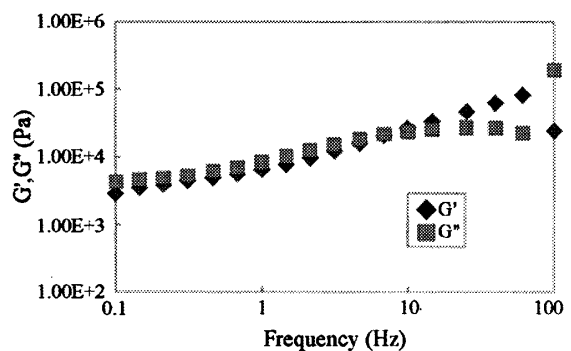


Fig.4 Measurement of G', G''

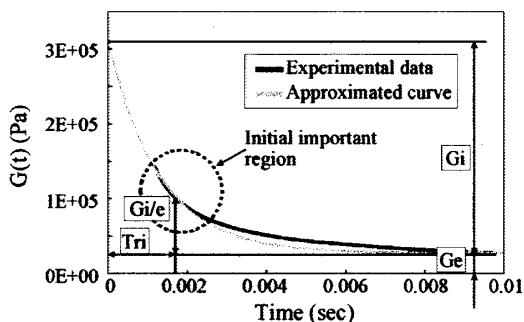


Fig.5 Theoretical data of three element Maxwell model

$$G(t) \approx Ge + Gi \exp(-t/Tri) \dots\dots\dots(2)$$

Ge と Gi はそれぞれバネ定数であり, Tri は緩和時間である。

式(1)より得られた曲線 G(t)と三要素 Maxwell モデルの各定数の算出方法の概略を図5に示す。十分に時間が過ぎたところで水平線を引き、それを境に Ge と Gi に分ける。次に Gi が Gi/e となるまでの時間を Tri とする。

実際の印刷動作中のことを考えると、印刷用紙表面上のある一点を熱転写ヘッドが通過する時間は非常に短い。現在熱転写ヘッドとインクリボンの接触幅はおよそ 0.3mm と予測されており、その予測に従えば熱転写ヘッドを 254mm/s の速度で移動するとすると、 $0.3/254=0.00118$ s しか接触しないことになる。そこで、図中の丸で囲んだ初期領域で三要素 Maxwell モデルが実験値によく一致するように Ge と Gi および Tri を求めた。

以上の測定により得られた粘弾性特性値は、せん断に関するものである。しかし、数値解析では縦弾性率 E(t)を用いるために、これらを縦弾性率に変換する必要がある。そこで式(3)および式(4)を使って値を変換した。

$$Ee = 2(1 + \nu)Ge \dots\dots\dots(3)$$

$$Ei = 2(1 + \nu)Gi \dots\dots\dots(4)$$

ここで Ee と Ei はバネ定数(縦弾性率), Ge と Gi はバネ定数(せん断弾性率), ν はポアソン比を示す。ポアソン比は 0.5 とした。これらの値を表1に示す。表1で E は Ee と Ei を合計したものである。これをインクの粘弾性特性値とした。しかし、このようにして求めた粘弾性特性値は溶融状態で測定したものであるため、これらの値を用いて、予備的に行った解析ではバネ定数が小さすぎて計算を遂行することができなかつ

Table.1 Material properties (Ink)

	Ee (MPa)	Ei (MPa)	E (MPa)	Tri (sec)
liquid 83°C	0.792	0.076	0.868	0.00128
liquid 83°C × 100	79.2	7.60	86.8	0.00128
solid 60°C	93.0	99.0	192.0	0.00125
solid 25°C	380.8	370.8	751.6	0.00129

Table.2 Material properties (Platen rubber, PET)

	Ee (MPa)	Ei (MPa)	E (MPa)	Tri (sec)
Platen rubber	67.1	41.8	108.9	0.000158
PET	495.0	146.0	641.0	0.027

た。そこで、25、60°Cにおける固体状態のインクについても粘弾性測定を行った。

以上の測定により得られた粘弾性特性を表1に示す。実際の印刷時のインクの加熱時間は 167 μ s と非常に短いので、インクの温度は 83°Cに達したとしても溶融状態にはない。予備的な解析では、83°Cの溶融インクの各バネ定数を徐々に大きくしていった結果、約 100 倍にしたときに計算可能となった。以上のことより、ある程度あいまいさが残るが、計算に用いたインクの各バネ定数は溶融状態のものを約 100 倍にした値とした。このようにした場合、Ee の値は 60°Cのものに近くなるが、Ei の値は 60°Cのものに比べて小さいことがわかる。

緩和時間は温度依存性がほとんど見られなかったもので、83°Cのときの値をそのまま用いた。

2.2 PET, プラテンゴムの粘弾性測定

PET とプラテンゴムの粘弾性測定には粘弾性測定機(レオメトリック社製 RSA-II)を使用した。この測定機では薄い平板状の試験片を引張ることにより測定を行うため、得られる値は縦弾性に関する貯蔵弾性率(E')と損失弾性率(E'')である。PET については 0°Cから 250°C、プラテンゴムについては50°Cから 100°Cの各温度で測定することにより周波数依存性(マスターカーブ)を求めた。

PET は印刷時におよそ 200°Cの熱転写ヘッドと直接接触することから、基準温度 150°Cで求めた粘弾性特性を採用した。一方、プラテンゴムは基準温度を室温の 22°Cとして求めたものを採用した。式(1), 式(2)において、G'を E', G''を E'', Ge を Ee, Gi を Ei, G(t) を E(t)と置き換えることにより、インクの場合と同じように Ee と Ei および Tri を求めた。このようにして得られた粘弾性特性値を表2に示す。

3. 数値解析

3.1 解析条件 印刷動作時における熱転写ヘッドの接触圧力解析は、汎用有限要素解析ソフトMARC(Ver.7.3)を使用して2次元問題として行った。印刷用紙については現時点でモデル化が困難であるため、今回は解析に取り入れなかった。紙の厚み方向の弾性係数を測定したところ、本解析で加える荷重時には約100MPaとプラテンゴムの縦弾性率に近い値であった。そのため、紙を解析に含めなくても解析値は現実の値からそれほどずれることはないと考えた。解析の詳細について以下に示す。

実際の印刷動作を模して、熱転写ヘッドをPETとインクおよびプラテンゴムの積層物の上に19.6 N (2.0kgf)の荷重で押し付け、その後摺動するものとした。接触は熱転写ヘッドとPETのみである。PETとインクおよびプラテンゴムは一体となっておりすべりは生じない。また、摺動面の摩擦係数は0と仮定した。この時熱転写ヘッドは剛体とし、その形状は図6に示

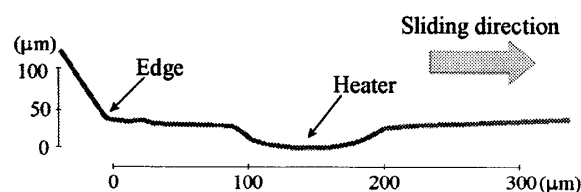


Fig.6 Shape of the thermal print head surface

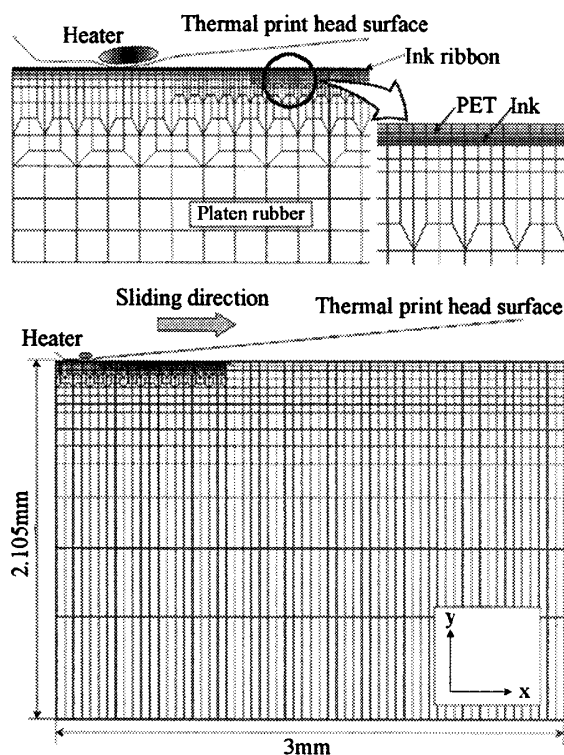


Fig.7 FEM analysis

すように表面粗さ計で実際に測定したものを用いた。図において下に凸になっている部分が発熱体である。また、熱転写ヘッドは反時計方向に 3° 傾けた状態でPETと接触させた(図7)。摺動させる時の速度は、標準の254mm/s, さらにその15倍, 12倍および2倍の50 mm/s, 127mm/sおよび508mm/sとした。PETとインクおよびプラテンゴムの積層物は、図7に示すように縦2.105mm, 横3mmの大きさとした。上から $3\mu\text{m}$ の層をPET, $2\mu\text{m}$ の層をインク, その下2.1mmをプラテンゴムとした。また、熱転写ヘッドが接触する部分はx方向, y方向ともに細かく分割した。

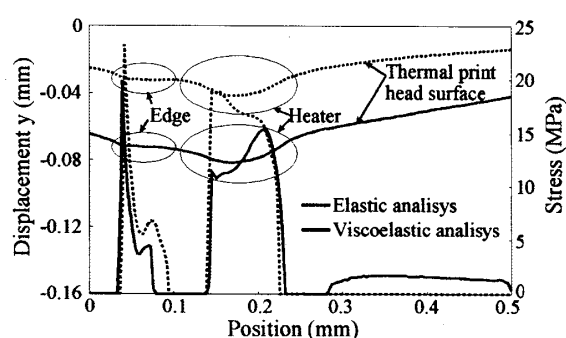


Fig.8 Difference in contact pressure between elastic analysis and viscoelastic analysis

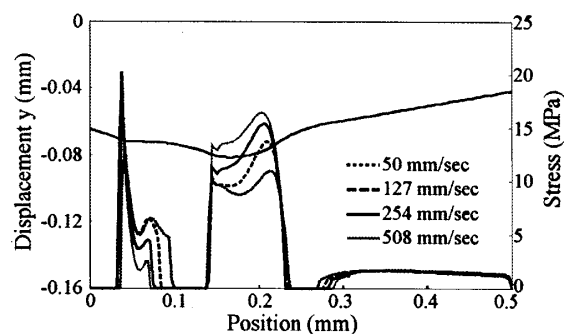


Fig.9 Difference in contact pressure by moving speed

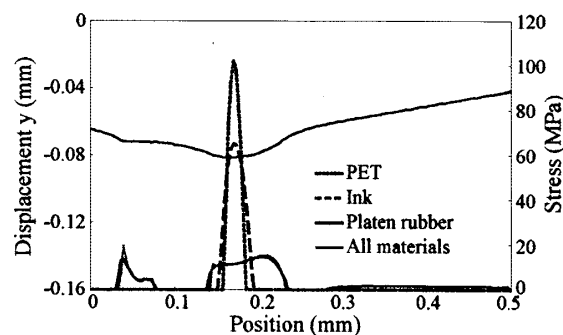


Fig.10 Difference in contact pressure

3-2 解析結果 図8に、熱転写ヘッド摺動速度が 254mm/s の場合の粘弾性解析結果を示す。比較のために弾性解析による計算結果も示した。左側の縦軸は y 方向すなわち深さ方向の変位であるが、両解析結果ともほぼ熱転写ヘッドの形状をあらわしている。粘弾性解析に対して弾性解析では熱転写ヘッドの低下量が少ないことが分かる。

粘弾性解析の接触圧力を見ると、熱転写ヘッドの発熱部(Heater部)の右側にも接触している部分があることがわかる。発熱部では突起の右側に圧力のピークが存在する。弾性解析ではこの圧力のピークは発熱部の突起の左側に存在する。これらは、粘弾性体上を円柱が純転がりする場合の圧力分布と同様な傾向である。したがって、弾性解析では発熱部の最適位置を正確に予測することができず、粘弾性解析を行わなければならないことが分かる。

発熱部により加熱されたインクはエッジ部で再加圧(定着)される。しかし、粘弾性解析によるエッジ部の接触圧力は弾性解析のものより小さくなっていることが分かる。

図9に、摺動速度を変化させた場合の結果を示す。深さ方向の変位については、摺動速度が変化してもほとんど変化が見られなかったため、 254mm/s の結果のみを示す。図中の丸で示される熱転写ヘッドの発熱部とエッジにおいて接触圧力の速度依存性が確認できる。発熱体部分においては、摺動速度が大きくなるほど接触圧力が高くなり、また、その摺動方向の前側において特に接触圧力が大きくなっている。これらのことは粘弾性特性の影響によるものと考えられる。また、エッジ部においても速度による影響は見られるが、発熱体部とは異なり速度が大きくなるほど接触圧力は小さくなっている。これは、摺動速度が速いために、発熱体部で受けた変形が十分に回復しないためと考えられる。発熱体部とエッジ部の間は接触圧力が 0MPa となっており、熱転写ヘッドが十分に接触できていないことがわかる。

次に、インクとPETおよびプラテンゴムの各部位が接触圧力に及ぼす影響を調べるため、それぞれの部位のみを剛体の上に載せ、その上を熱転写ヘッドが摺動するという条件で解析を行った。熱転写ヘッドの摺動速度は 254mm/s で一定とし、その他条件は上述の解析と同じとした。解析結果を図10に示す。この図では、インクとPETの深さ方向の変位は最大 $1\mu\text{m}$ 程度と非常に小さかったため、それらの変位の計算結果は省略した。

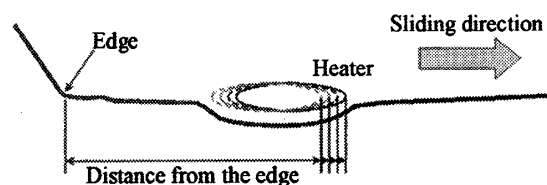


Fig. 11 Position of the heater

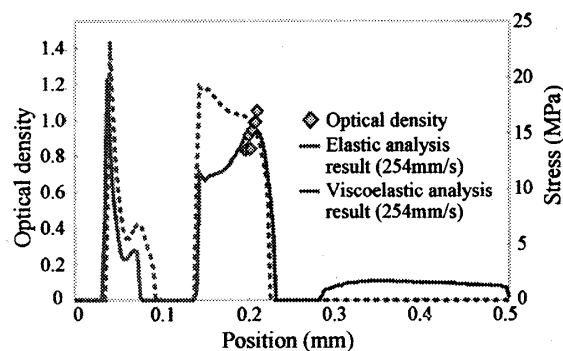


Fig. 12 Analysis result and optical density

インクおよびPETのみを用いた場合、接触圧力が非常に高くなっている。これは、インクとPETの厚さがそれぞれ $2\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ と薄いために、押し込み量が減少し、接触幅が非常に小さくなったためである。

一方、プラテンゴムのみを考慮すると全ての部材を用いて解析した接触圧力分布に非常に近いものとなった。このことは、インクとPETよりも接触圧力に及ぼす影響が強いことを表している。また、プラテンゴムのみの解析結果をよく見ると、エッジ部で大きく立ち上がった接触圧力が、インクとPETを用いることでより鋭くなっていることが分かる。これは、熱転写ヘッドと直接接触するPETのバネ定数と緩和時間がインクとプラテンゴムに比べて非常に大きいので、接触圧力を十分に緩和できていないためである。したがって、圧力分布の形を決めているのはプラテンゴムで、プラテンゴムが大きく変形することによってインクとPETの過度に高い接触圧力を緩和しているということになる。

4. 考 察

今回の解析結果の妥当性を評価するために、以下のような実験を行った。

先に述べたように、熱転写ヘッドの接触圧力分布とインクの転写性、すなわち印刷濃度は非常に密接な関係にあると考えられる。接触圧力が高い位置に発熱体が存在すると、インクリボン上のインクを効率的に溶解することができ、印刷用紙へのインクの転写性能が向上する。反対に、低い接触圧力のところに発熱体が

位置すれば、インクが十分に溶融できずに、インクの転写性能が低下する。

この考えに従えば、接触圧力分布に依存して、発熱体には最適位置が存在することになる。そこで、図 11 に示されるような、熱転写ヘッド上の発熱体の位置を変えた数種類の熱転写ヘッドを用意して印刷実験を行った。そして印刷後の印刷濃度を比較することで、発熱体と接触圧力分布の位置関係を考察した。

試作した熱転写ヘッドの概略は図 11 に示しており、そのエッジから発熱体右端までの距離を 2μ ごとに変化させた。これらの熱転写ヘッドを使用して印刷を行い、それぞれの印刷濃度を反射濃度計（マクベス社、RD918）にて測定した。

図 12 に印刷濃度の測定結果を示す。図中の横軸は熱転写ヘッドの位置を、左側の縦軸は印刷濃度を示す。印刷濃度の縦軸は入射光強度 1 に対して反射光強度が $1/e$ 倍となるときを 1 としている。発熱体右端とエッジの距離が離れるほど、印刷濃度が高くなるのがわかる。一方、図 12 の右側の縦軸は接触圧力を表わし、熱転写ヘッドの移動速度が 254mm/s の場合の接触圧力分布(図 8 のもの)を示した。

粘弾性解析により求めた接触圧力分布は印刷濃度測定で得られた印刷濃度の変化におおむね一致していることが分かる。一方、弾性解析によると、発熱体右端からエッジに向かうにしたがい接触圧力が大きくなるので、印刷濃度の変化とは逆の傾向である。

ここで、冷却の効果を考察する。発熱体右端とエッジの距離が長くなると、加熱されたインクが冷却される時間が長くなり、インクの転写に有利に働く。しかし、発熱体を移動させた量は最大で $12\mu\text{m}$ であり、発熱体右端とエッジの距離は約 $130\mu\text{m}$ であるので、その距離は最大でも $142\mu\text{m}$ でしかない。しかも、インクの冷却の大部分はエッジのところで行なわれる。これより、冷却の影響は少ないと判断できる。

したがって、発熱体を配置する位置と接触圧力分布とは相関が認められ、接触圧力が高い位置に発熱体の右端を一致させた方がインクの転写性が良くなることが分かる。

解析においては、インクのパネ定数の決定にあいまいさが残ったが、インクの緩和時間は温度によらず約 1.3ms であった。このことは、接触圧力の大きさにはある程度のあいまいさを残すが、接触圧力のピークの位置はほぼ正確であることを意味する。したがって、接触圧力の分布形は現実の姿を反映していると考えら

れる。重要なのは圧力のピークの位置がどこかということであり、それが転写性能を左右する。

以上のことより、粘弾性解析は実際の印刷時の接触圧力分布を再現しているものと考えられる。

5. 結 言

熱転写プリンタは、インクを飛ばすインクジェット方式とは異なり、その印刷方式に由来して、接触圧力分布がより印刷品質に大きく影響を及ぼす。本研究では、接触圧力の解析に必要な各部材の粘弾性特性の測定を行い、得られた測定値を用いて粘弾性解析を行うことによって、熱転写ヘッドの接触圧力分布を明らかにした。主な結論を以下に示す。

- (1) 粘弾性解析により求めた熱転写ヘッドの接触圧力は、弾性解析で求めたものより小さく、また異なる位置で最大値を示すことを明らかにした。
- (2) 粘弾性解析で求めた接触圧力分布の妥当性を印刷濃度の観点より評価した結果、本研究で解析した接触圧力分布は妥当であることを示した。

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パルス印加寿命特性, 械論, 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) 日本レオロジー学会編, 講座・レオロジー, (1996), 41, 高分子刊行会.
- (7) Johnson, K. L., Contact mechanics, (1985), 302, Cambridge University Press.