

## 論文

## 接触圧力解析によるサーマルヘッドの設計

寺尾 博年\*, 荻山 理\*, 小林 浩\*, 新田 勇\*\*

(2006.4.18 受理)

## Design of a Thermal Print Head by Contact Pressure Analysis

Hirotoishi TERAO\*, Osamu OGIYAMA\*, Hiroshi KOBAYASHI\* and Isami NITTA\*\*

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. Thus it is important to place the heater of the thermal head at the position where the contact pressure becomes most high. The visco elastic properties of the ink, PET and platen rubber were measured with a rheometer. The contact pressures on the thermal 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 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 position of the thermal print head changed. The optical densities were changed with the heater position. It can be found that the optical densities decreased with the calculated contact pressure. We designed the thermal print head by using this analytical result, and confirmed the print characteristic.

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

熱転写プリンタの印刷方式は、インクと紙をサーマルヘッドにより直接加圧した上で、同時に印刷したい部分を加熱することで、インクを紙の最表面ににじむことなく定着する印刷方式である。したがって、接触圧力が最も高くなる位置にサーマルヘッドの発熱体を設計する必要がある。サーマルヘッドへの接触圧力解析には有限要素法 (FEM) を用いて計算した。計算に用いたインク、PET、およびプラテングムの粘弾性物性値はレオメータで測定した。粘弾性変形を考慮した場合の接触圧力は、弾性変形のみで得られたものと異なっていた。印刷品質への接触圧力の影響を調べるためにサーマルヘッドの発熱体の位置を変えたサンプルを用いて印刷濃度を測定し、発熱体の位置によって印刷濃度が変化するを確認した。印刷実験によって計算で求めた接触圧力解析結果の妥当性が検証され、この解析を用いることによってサーマルヘッドの設計が可能であることを確認した。

## 1. はじめに

熱転写プリンタは安価でコンパクト且つ高信頼性などの特長から、日本語ワープロまたはパソコン用出力機器、バーコード印刷機として使われてきた。最近ではフィルムに直接記録できる特長からシールラベル印刷や CD/DVD レーベル印刷、カード印刷等その用途が広がっている<sup>1)</sup>。Fig. 1 は、熱転写プリン

タのサーマルヘッド部分の概略図である。サーマル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<sup>2-5)</sup>。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<sup>6)</sup>。

熱転写プリンタの印刷時に、サーマル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、サーマルヘッドの発

- \* アルプス電気(株) ペリフェラル事業部  
〒971-8615 いわき市小名浜野田字柳町 41-25.
- \*\* 新潟大学 工学部  
〒950-2181 新潟市五十嵐2の町 8050
- \* Alps Electric Co., Ltd. Peripheral Products Division  
41-25 Aza Yanagimachi Noda Onahama Iwaki-City  
Fukushima, Pref, 971-8615 Japan
- \*\* Graduate School of Sci. and Tech., Niigata University  
Ikarashi 2-nocho 8050, Niigata, 950-2181, Japan

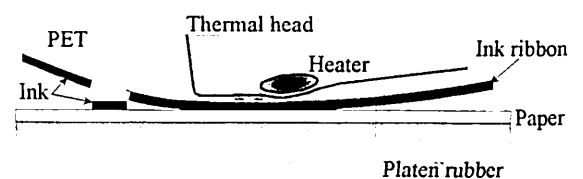


Fig. 1 Details of thermal head and paper interface.

熱体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、普通紙の場合は紙繊維をつぶし、真実接触面積が十分にとれるようにするためである。このとき、加熱後のインクがある程度冷却されたときに接触圧力を加えることで、インクを印刷用紙に付着させることができる。

したがって、サーマルヘッドとインクリボンの接触圧力を明らかにすることは、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。ところで、インクリボンやプラテンゴム<sup>7)</sup>には粘弾性特性が存在するために、単なる弾性解析<sup>8,9)</sup>では接触圧力分布が正確に評価できない。よって従来はサーマルヘッドの形状を変えたサンプルを試作し、その特性検証によって形状設計が行われてきた<sup>10)</sup>。

そこで本論文では、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ない、粘弾性解析を行うことによって、サーマルヘッドの接触圧力分布を明らかにした。また、発熱位置を変更した数種類のサーマルヘッドを用いて印刷をおこない、印刷品質の一つである印刷濃度を測定した。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。さらに、本論文では粘弾性解析を用いて実際にサーマルヘッドの設計を行った。

## 2. 粘弾性測定

数値解析を行うにあたって必要となる粘弾性特性は、三要素 Maxwell モデルで表されるバネのヤング率 ( $E_e$ ,  $E_i$ ) 及び緩和時間 ( $Tri$ ) である。三要素 Maxwell モデルとは Fig. 2 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。

Fig. 2 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、ダッシュポットは動く時間が無く、バネ  $E_e$ ,  $E_i$  だけがフックの法則にしたがって伸び、その分だけが一瞬のうちに変形する。模型の両端の長さは変わらないので、次にダッシュポットが動き出す。このダッシュポットで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動けば、バネ  $E_i$  はその分だけ元の長さに戻るので、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、その速度は次第に遅くなる。また、バネの動く速度も遅くなる。バネ  $E_i$  に作用する力が初期の力の  $1/e$  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、測定を行う速度によっても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、PET、プラテンゴ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 Rheotress RS 50 とレオメトリックサイエンティフィック社製のもの) を使用した。はじめに、インクが溶融する  $83^{\circ}\text{C}$  の温度で粘弾性特性を測定した。この測定器で得られる値は、周波数 (角周波数) ごとのせん断に関する損失弾性率 ( $G''$ ) と貯蔵弾性

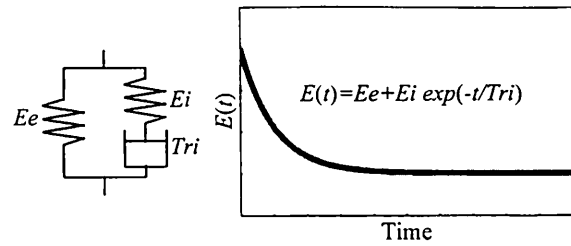


Fig. 2 Maxwell Three element model.

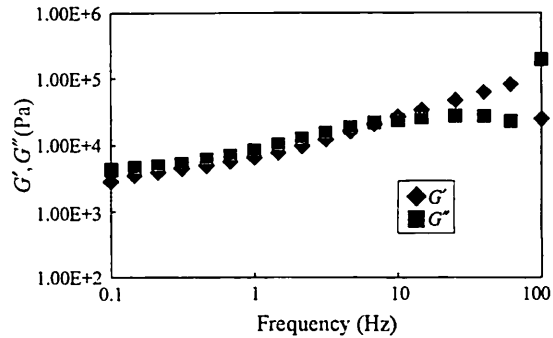


Fig. 3 Measurement of  $G'$ ,  $G''$ .

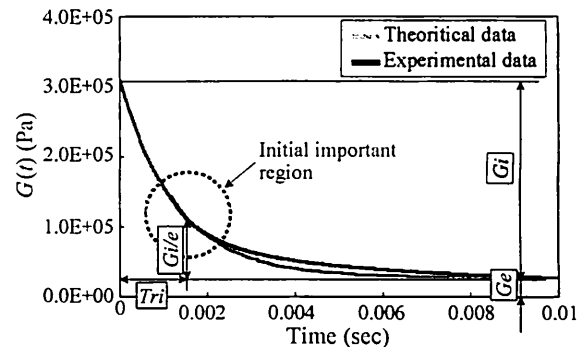


Fig. 4 Theoretical data of three element Maxwell model.

率 ( $G''$ ) である。インクを直径 35 mm、厚さ 0.5 mm 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 Hz ~ 100 Hz とした。

その測定結果を Fig. 3 に示す。このグラフの縦軸は損失弾性率、貯蔵弾性率、また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右肩上がりに上昇している様子がわかる。これらの結果を用いて、以下に示す式よりせん断弾性率  $G(t)$  の時間変化を求めた<sup>11)</sup>。ここで  $t$  は時間 (s),  $\omega$  は角周波数 (rad/s) である。

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

$$t = 1/\omega$$

実験より得られる時間は、 $t = 1/\omega = 1/(2\pi \times 100) = 1.592 \times 10^{-3}$  (s) から  $t = 1/(2\pi \times 0.1) = 1.592$  (s) までである。式より得られた曲線に、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。

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

$Ge$ ,  $Gi$  はそれぞれのバネ定数を示し、 $Tri$  は緩和時間を示す。

式より得られた曲線と三要素 Maxwell モデルの算出方法を Fig. 4 に示す。グラフに漸近線を引き、それを境にそれぞれ

$Ge$ ,  $Gi$ に分ける。次に  $Gi$  が  $Gi/e$  となるまでの間を  $Tri$  とする。実際の印刷動作中では、印刷用紙表面上のある一点をサーマルヘッドが通過する時間は非常にわずかであると考えられる。そのため、図中の丸で囲んだ初期部分の領域に三要素 Maxwell モデルの理論値がよく一致するような  $Ge$ ,  $Gi$ ,  $Tri$  を求めた。

以上の測定により得られた粘弾性測定値は、せん断に関するものである。しかし、数値解析ではその粘弾性特性を Maxwell モデルの縦弾性率  $E(t)$  によって定義するため、これらを縦弾性率に変換する必要がある。そこで式(3)を使って値を変換し、三要素 Maxwell モデルの縦弾性率  $Ee$ ,  $Ei$  を求めた。

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

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

ここで  $Ee$ ,  $Ei$  はバネ定数 (縦弾性率),  $Ge$ ,  $Gi$  はバネ定数 (せん断弾性率),  $\nu$  はポアソン比を示す。ポアソン比は 0.5 とした。ヤング率  $E$  は  $Ee$  と  $Ei$  を合計したものである。これをインクの粘弾性物性値とした。この結果を Table 1 に示す。しかし、このようにして求めた粘弾性特性は溶融状態で測定したものであるため、予備的に行った解析ではヤング率が小さすぎて計算を遂行することができなかった。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。この測定器では前述のレオメータと同じように、各測定温度での損失弾性率 ( $G''$ ) と貯蔵弾性率 ( $G'$ ) の周波数依存性 (マスターカーブ) が得られる。そこで、得られたマスターカーブから同じようにして  $Ee$ ,  $Ei$ ,  $Tri$  を求めた。

以上の測定により得られた粘弾性特性を Table 1 に示す。実際の印刷時のインクの加熱時間は 167  $\mu$ s と非常に短いため、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。

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 $\times$ 100	79.2	7.6	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	0.00016
PET	495.0	146.0	641.0	0.027

(4)

緩和時間は温度依存性があまり見られなかったので、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, プラテンゴムの粘弾性測定は粘弾性測定器 (レオメトリック社製 RSA-II) を使用した。この測定器では薄い平板上の試験片を引っ張ることにより粘弾性特性を測定するために、得られる値は縦弾性に関する損失弾性率 ( $E''$ ) と貯蔵弾性率 ( $E'$ ) である。各測定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 の粘弾性測定では、印刷時におよそ 200 (°C) のサーマルヘッドと直接接触することから、測定基準温度を 150 (°C) とした。一方プラテンゴムは測定基準温度を室温の 22 (°C) とした。それぞれの測定結果より、(1), (2)式において、 $G'$  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、インクの粘弾性測定の場合と同じように  $Ee$ ,  $Ei$ ,  $Tri$  を求めた。このようにして得られた各物性値を Table 2 に示す。

## 3. 数値解析

### 3.1 解析条件

印刷動作時におけるサーマルヘッドの接触圧力解析を、汎用有限要素解析ソフト MARC (Ver. 7.3) を使用して二次元問題として調べた。印刷用紙については、そのモデル化が困難であるため、今回は印刷用紙については解析に取り入れなかった。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サーマルヘッドを PET, インク, プラテンゴムに 2 kgf の荷重で押し付け、その後摺動させた。この時サーマルヘッドは剛体とし、Fig. 5 に示す表面粗さ計で実際に測定した形状をモデル化して用いた。図において凸になっている部分が発熱体部分である。また、Fig. 5 に示すサーマルヘッドは反時計方向に 3° 傾けた状態で PET と接触させた (Fig. 6)。摺動させる時の速度は、標準の 254 mm/s, さらにその 1/5 倍, 1/2 倍および 2 倍の 50 mm/s, 127 mm/s および 508 mm/s とした。PET, インク, プラテンゴムは Fig. 6 に示されるような縦 2.105 mm, 横 3 mm のメッシュを作成し、上から 3  $\mu$ m の層を PET, 2  $\mu$ m の層をインク, その下 2.1 mm をプラテンゴムとした。また、サーマルヘッドが接触する部分は  $x$ ,  $y$  両方向ともに細かく分割した。

### 3.2 解析結果

Fig. 7 に、サーマルヘッド摺動速度が 254 mm/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。弾性解析結果を波線、粘弾性解析結果を実線で示して

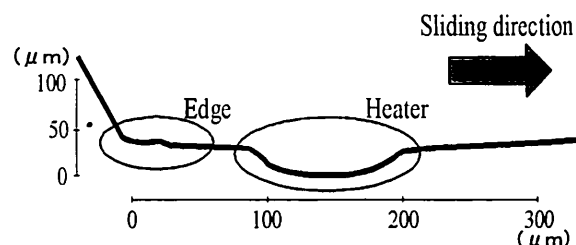


Fig. 5 Shape profile of thermal head.

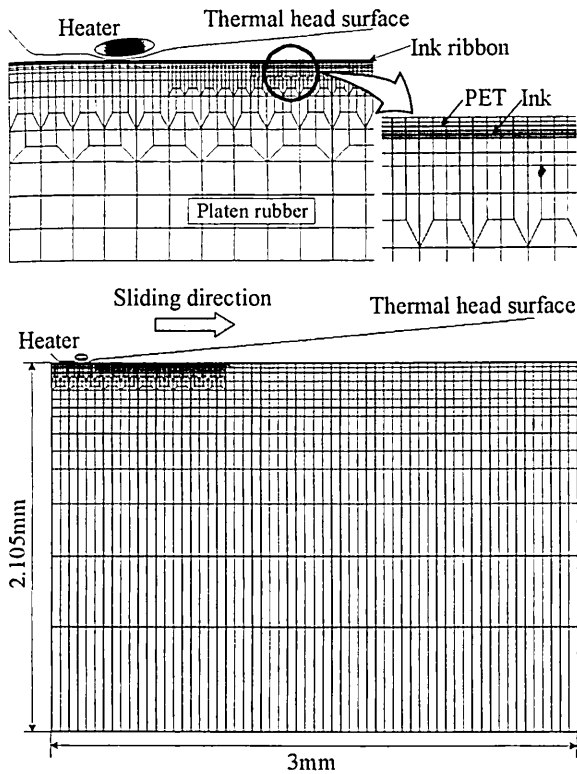


Fig. 6 FEM analysis.

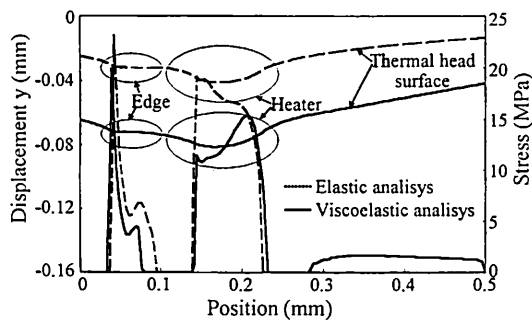


Fig. 7 Difference in contact pressure between elastic analysis and viscoelastic analysis.

いる。図の上部にある2本の線は、左側の縦軸の Displacement  $y$  の値であるが、これはメッシュ節点の  $y$  方向の変位である。両解析結果ともほぼサーマル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の場合サーマルヘッドの低下量が少ないことが分かる。

図の下部にある線が粘弾性解析の接触圧力を示しているがこれを見ると、サーマルヘッドの発熱部の右側にも接触している部分が存在することがわかる。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突起の左側に存在する。これらは、粘弾性体上を円柱が純ころがりする場合の圧力分布と同様である<sup>12)</sup>。したがって、発熱体の最適位置を決定するためには弾性解析ではピークの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。発熱体により加熱されたインクがエッジ部で再加圧(定着)されるが、そのところの圧力は弾性解析よりも圧力の作用範囲が少なくなっていることが分かる。

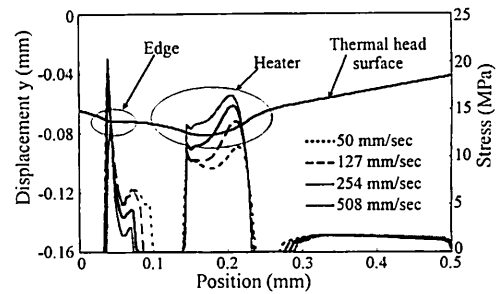


Fig. 8 Difference in contact pressure by moving speed.

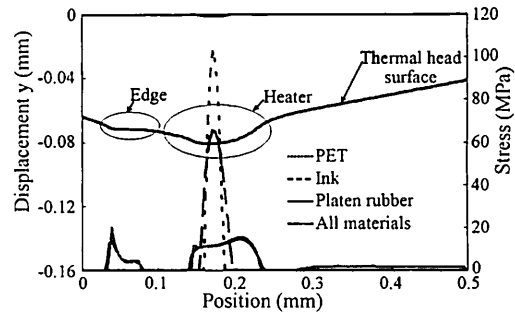


Fig. 9 Difference in contact pressure by materials.

Fig. 8に、摺動速度を変化させたときの結果を示す。節点  $y$  方向の変位は、速度による変化はほとんど見られなかったため、254 mm/sの結果のみを示す。図中の丸で示されるサーマル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、発熱部で受けた変形が十分に回復しないためである。発熱部とエッジ部の間は接触圧力が0 MPaとなっており、サーマル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、PETおよびプラテンゴムの各部材が接触圧力に及ぼす影響を調べるため、それぞれ部材のみを剛体の上に載せるといった条件で解析を行った。サーマルヘッド摺動速度は254 mm/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Fig. 9に示す。このグラフ中において、インクとPETの節点  $y$  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、その結果は省略した。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、サーマルヘッドと直接接するPETのヤング率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く、サーマルヘッド通過時に圧力を十分に緩和出来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. サーマルヘッドの設計評価

##### 4.1 形状変更の影響解析

従来のヘッドでは、発熱体からエッジまでの距離、いわゆるエッジ距離が変化した場合、印刷特性が大きく変化することが知られている<sup>10)</sup>。先の粘弾性解析を用い、エッジ距離が変化した場合でも安定した印刷特性を得るためのヘッド形状について解析を行った。Fig. 10 に形状の異なる2種の解析結果を示す。Type A は角凸形状、Type B はR凸形状である。

両タイプのヘッド形状にてエッジ距離を変化させた場合のヘッド表面の応力を計算した。結果を Fig. 11 に示す。Type A

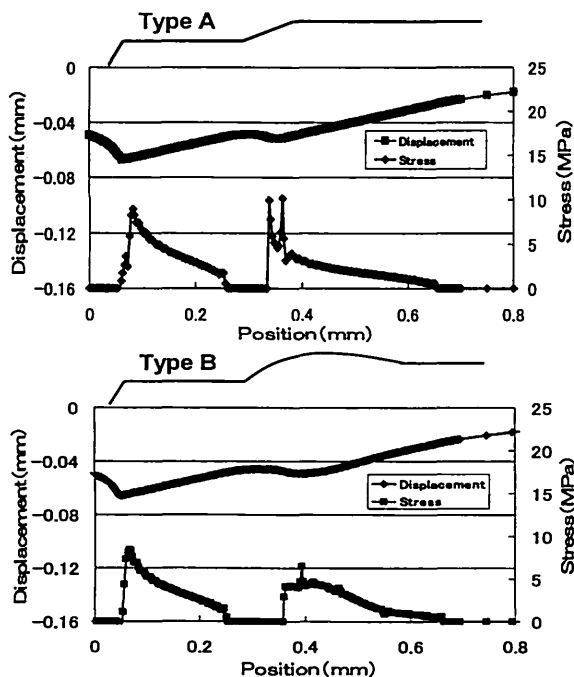


Fig. 10 Difference in contact pressure between Type A and Type B.

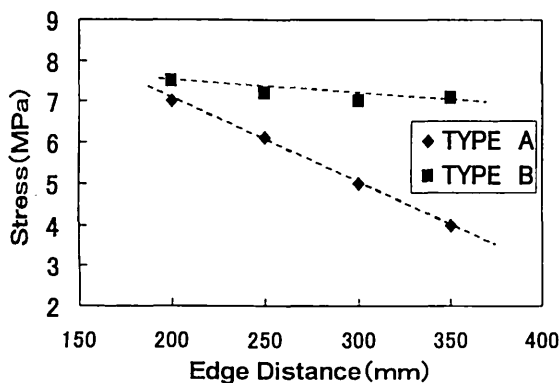


Fig. 11 Relationship between edge distance and head surface.

ではエッジ距離が長い側 (350  $\mu\text{m}$ ) へ変化させると、発熱体部に加わる応力が低下しているのがわかる。ところが Type B では、エッジ距離が変化しても、凸部の応力は殆ど変化を示していない。これは発熱体凸部の形状により、エッジ距離に依存しない一定の応力が保持されることを示している。これは凸コーナー部がR形状となっているため、角凸と比較すると角部の局所的な応力 (局圧) が減少し、応力が平均的に分散していると考えられる。このようにエッジ距離に対する応力変化が少ないことから、印画押圧がエッジ距離に依存しない、すなわち印画特性が安定するという効果が期待できる。

##### 4.2 試作ヘッドの特性検討

粘弾性解析結果より、サーマルヘッドの形状を Type B とし て試作を行った。Fig. 12 は試作したサーマルヘッドの断面 SEM 写真である。

試作ヘッドを用いて画像の評価を行った。Fig. 13 は試作ヘッドにおけるエッジ距離と印刷濃度の関係を示したものである。測定した印画濃度は 20% である。試作したサーマルヘッドのエッジ距離は 200  $\mu\text{m}$  から 400  $\mu\text{m}$  であるが、Type B にてほぼ安定した濃度を保っている事がわかる。最終的には 300  $\pm$  50  $\mu\text{m}$  のエッジ距離にすることで、特性が安定な凸形状のサーマルヘッドを得る事ができた。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 1.3 ms 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、接触圧力のピーク的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的位置がどこかということであり、それが転写

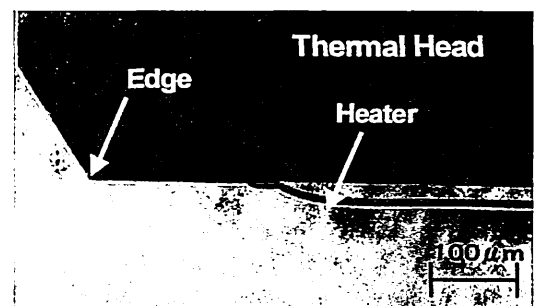


Fig. 12 SEM image of cross section of the head.

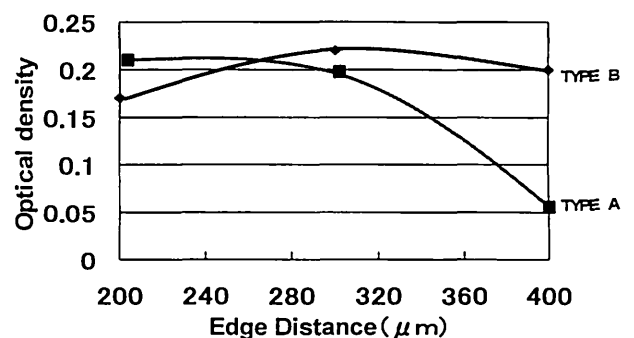


Fig. 13 Relationship between edge distance and optical density.

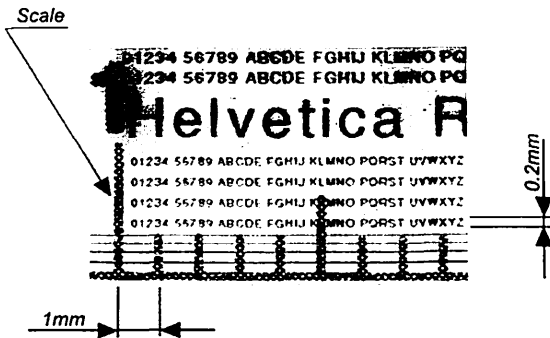


Fig. 14 Micro character print.



Fig. 15 Image of Circuit print.

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。

本解析を用い 600 dpi 並びに 1200 dpi の高精細 2 インチサーマルヘッドの設計を行った。これらのサーマルヘッドで安定した印画を得るために、上記同様の凸形状の解析を行い、また印刷検証を行うことで、最適化設計を行うことができた。

## 5. 今後の応用展開

本研究によって設計したヘッドを用い、高精細高速プリンタへの応用が期待される。

### 5.1 カード、セキュリティ印刷機への応用

600 dpi, 1200 dpi サーマルヘッドを用いた高精細印画が可能となり、190 lpi のフルカラーグラフィックスを 600 dpi のサーマルヘッドで印刷することができた。また 1200 dpi ヘッドを用いて Fig. 14 に示すマイクロ文字を印刷することで、セキュリティに優れたオンデマンドカード印刷を行うことも可能である。

### 5.2 デジタルファブ리케이션への応用

Fig. 15 は銅の蒸着膜をサーマルプリンタでパターン化し電気回路を印刷した結果を示す<sup>13)</sup>。サーマルプリンタの特徴であるドライプロセスと本高精細ヘッドを組み合わせる事によってフルカラーグラフィックスだけでなくデジタルファブ리케이션への応用も今後期待される。

## 6. まとめ

熱転写プリンタは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。本論文では、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、サーマル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サーマル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。
- (3) 解析によって得られた形状を用いてサーマルヘッドの設計を行った結果、エッジ距離に依存しないサーマルヘッドを得る事ができ、安定な特性が得られた。

## 参考文献

- 1) Y. Oyamada, T. Ishiko and H. Terao: Expanding Applications on the Thermal Transfer Printing, Proc. IS & T's NIP 19, 383-386 (2003).
- 2) 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, 機論, 62-601, C, 56-61 (1996).
- 3) 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, 289-294 (1995).
- 4) 永田達也, 渡邊道弘: ポリイミド蓄熱層を用いた 16 dot/mm 感熱記録ヘッド開発, 機論, 61-585, B, 286-291 (1995).
- 5) 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, 328-333 (1995).
- 6) H. Terao, T. Nakatani, N. Tsushima and I. Hibino: Study of 1200 dpi high resolution thermal print head, Proc. IS & T's NIP 17, 504-507 (2001).
- 7) 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, 233-238 (1998).
- 8) I. Nitta, T. Hasegawa, Analysis of contact stiffness between metal ground surfaces using thin PET film, Computational Methods in contact mechanics IV, WIT Press, 49-58 (1999).
- 9) I. Nitta, New joining method for laser scanner lenses by using a shrink fitter, Computational Methods in contact mechanics V, WIT Press, 31-40 (2001).
- 10) 寺尾博年, 中谷壽文, 対馬登, 白川享志, 日比野郁夫, 新田勇: 高精細多階調カラー画像印刷用薄膜熱転写ヘッドの検討, 機論, 72-716, C, 291-263 (2006).
- 11) 日本レオロジー学会編, 講座・レオロジー, 高分子刊行会, 41 (1999).
- 12) Johnson, K. L., Contact mechanics, Cambridge University Press, 302 (1985).
- 13) K. Yoshida: On-Demand Direct Printing of Conductive Circuit Pattern by Thermal Transfer Technology, Proc. IS & T's NIP 21, 200-202 (2005).