

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*

寺尾 博年^{*1}, 中谷 壽文^{*2}, 対馬 登^{*2}
白川 享志^{*2}, 日比野 郁夫^{*2}, 新田 勇^{*3}Study on a Thin Film Thermal Print Head for High Definition
Multi-Level-Tone Color Imaging UseHirotoishi TERAOK^{*4}, Toshifumi NAKATANI, Noboru TSUSHIMA,
Takashi SHIRAKAWA, Ikuko HIBINO and Isami NITTA^{**} ENGINEERING DEPT. 3, ALPS ELECTRIC CO., LTD.
41-25 Aza Yanagimachi, Noda, Onahama, Iwaki-shi, Fukushima, 971-8615 Japan

We studied a 600 dpi high definition thermal print head. Fast thermal response, thermal resistance, uniform contact pressure on print media, and micro process are necessary to achieve 600 dpi high definition thermal transfer print. Therefore, we examined a new structure of a low thermal diffusivity layer on a high thermal diffusivity substrate, and optimum new design of the head shape. As a result, we could drive a 600 dpi thermal print head at high speed and high duty. We studied thermal print head to achieve multi-level tone in thermal transfer printing, which required appropriate heat control of heating elements on the head and varying the amount of resin ink melted by the energized head edge, that is, varying dot diameter as needed. After a series of examination, we came to the conclusion that head form especially the part between a heating elements and head edge is deeply related to the property of the tone. This meant that optimization of the head form was the key to the solution. Thus we have attained multi-level-tone printing by varying dot diameter in 16 levels with the enhanced print head.

Key Words: Machine Element, Tribology, Design, Heat Conduction, Thermophysical Property

1. 結 論

熱転写方式のプリンタは、安価でコンパクトなどの特長から、日本語ワープロまたはパソコン用出力機器として使われてきた。最近ではデジタルスチルカメラ用の小型携帯型プリンタとしても熱転写方式が採用されている。デジタルスチルカメラの画像出力用プリンタには写真画質に迫る高精細と高速印刷が必要とされている。熱転写方式は、図1に示すように、インクリボン上の固体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。従って、この印刷工程においては、サーマルヘッドの接触圧力や加熱したときのインクの溶解具合が大変重要になってくる。著者らはこれまで接触圧力分布の粘弾性解析を行い、サーマルヘッドの接触圧力分布を初めて明らかにした^①。またサーマルヘ

ッドで発生した熱は印刷用紙を通して逃げる為、印刷用紙の熱伝導特性も問題になるが、この簡便な評価法を開発した^②。しかしながら高精細かつ高速印刷を達成するにはサーマルヘッドの発熱体の微細化並びに加熱駆動周波数を上げると同時にその周波数に追従するサーマルヘッドの高速熱応答特性を達成する必要がある^{③④}。

Ink transfer process

1, Press and Contact

2, Heat

3, Press and Cool

4, Transfer

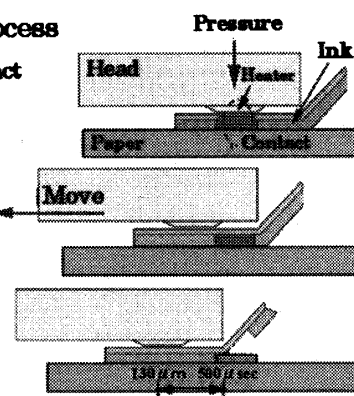


Fig.1 Details of ink transfer process

* 原稿受付 2005年5月20日。

^{*1} 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)。^{*2} アルプス電気(株)。^{*3} 正員, 新潟大学大学院自然科学研究科 (〒950-2181 新潟市五十嵐2の町8050)。

E-mail: teraohit@alps.co.jp

図 2(a)に示すように、10inch/sec (以下 IPS) のヘッド速度で解像度 400dot/inch (以下 dpi) で印刷を行う場合はヘッドの加熱を 4kHz で行うことになる。この場合サーマルヘッドの温度は 4kHz の駆動周波数に追従するために所定のドットサイズで印刷することができる。解像度を 600dpi に上げるにはサーマルヘッドの加熱の駆動周波数を 6kHz とし、この周波数でヘッドの発熱体を ON/OFF させる必要がある。しかし、この条件ではサーマルヘッド基板が蓄熱するために所定のドット径が大きくなり、図 2(b)のように連続した印刷ドットの間がつぶれてしまう結果となる。

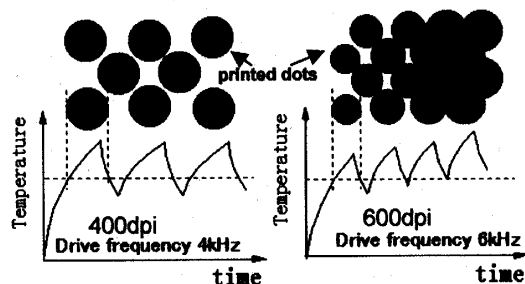


Fig.2 Relation between driving frequency and print image

この問題を解決するために、単に基板の放熱性を改善することも考えられるが、逆に急激な昇温のためには膨大な熱エネルギーを発生させなければならなくなる。小さなエネルギーで急速な昇温と急速な冷却を実現するためには、熱拡散率の高い材料上に熱拡散率の低い保温層を形成した基板が必要となる。

そこで、本研究では熱拡散率の観点からサーマルヘッド材料の検討を行った。さらに、サーマルヘッドの形状の最適化を行った結果 10IPS の速度で 600dpi の印刷が可能となったので、そのことについて報告する。

従来の熱転写方式ではドット径を制御することができないため、多階調印刷ができなかった。しかし、本研究のような高サイクルの加熱冷却を安定して実現できるサーマルヘッドが開発できれば、多階調印刷も可能となる。本研究ではその性能評価も行った。

2. 実験

2.1 サーマルヘッドの構造 サーマルヘッドの断面構造を図 3 に示す。一般的なサーマルヘッドの構造は、ヒートシンク並びに支持体としての絶縁基板上 (アルミナセラミック) に、保温層としての熱絶縁層 (グレーズ) が形成され、更にこの表面上に発熱体、保護膜が形成される構造が用いられる⁹⁾¹⁰⁾。また普通紙上にレジインクを強固に押しつけるために、直線

状の凸状突出部をつくり、この頂上に発熱体を形成する。こうすることでサーマルヘッドに加えた荷重を発熱体部に集中させることができる⁹⁾。熱転写方式でのインク転写において、インクをインクリボンのベースフィルムから剥離させる場合、発熱体からヘッドのエッジまでの距離、いわゆるエッジ距離によって転写特性が大きく変化することが知られている⁹⁾。熱転写方式で高速かつ高密度で印刷するには、高速な熱応答性がサーマルヘッドに要求されるため、従来のアルミナセラミックよりも熱拡散率が高い基板をベースに使い、グレーズよりも熱拡散率の低い保温層を薄く形成すればよいことになる。表 1 に種々の材料の熱拡散率を示す。

2.2 試作ヘッドの構造 本研究に使用したヘッドの断面構造を図 3 に示す。解像度を 600dpi とするために 240 ドットの発熱体を $42\mu\text{m}$ ピッチで紙面に垂直方向に一列にならべ、一度に 0.4 インチの幅で印刷できるシリアル型熱転写プリンタ用ヘッドである。ヘッドの外形寸法は $18\text{mm} \times 8.5\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ である。

本研究ではサーマルヘッドのベース基板として、単結晶 Si ウェハを選択した。それは、熱拡散率がアルミナセラミックに対し 6 倍高く、かつ表面が平滑で 600dpi の配線パターンを安定して形成することができるためである。保温層は従来のグレーズに対し、種々の成膜条件で低密度柱状構造の薄膜を作製し、その性能を調べた。

今回試作したヘッドでは、直線状の凸状突出部の高さを約 1.5 倍にし、かつ平坦部と突出部頂面までの斜面の角度も約 1.5 倍としている。またエッジ距離を約 $60 \sim 150\mu\text{m}$ に変化させ、インク転写に及ぼす影響を調べた。

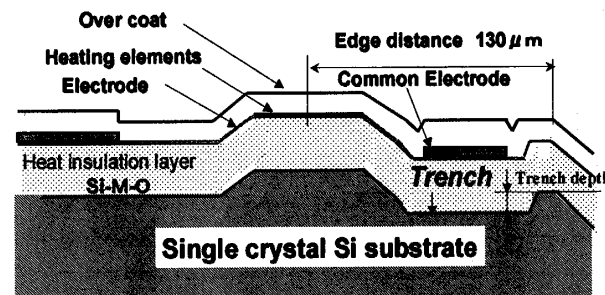


Fig.3 Structure of a thermal print head

Table.1 Thermal diffusivity of various materials

Material	Thermal Diffusivity(mm^2/s)
Alumina ceramics	12.1
Single crystal Si	72.6
Glaze	0.45
SiO ₂ sputtered film	0.89
Heat insulation layer	0.39

2・3 印刷の実験条件 本研究のヘッドを市販の熱転写プリンタ (MD5500 アルプス電気製) に搭載し、専用紙を用いて印刷を行った。使用した印刷速度とヘッドの押しつけ圧力、並びに投入電力は 254mm/sec と 6.0MPa, 0.26W/dot とした。印刷実験に用いたパターンは、1 ドットの周囲が必ず空白となる面積率 25% のパターンを用いた。

2・4 印刷濃度と階調性評価 印刷濃度測定には反射濃度計 RD918 (マクベス社製) を使用した。階調性評価には、入力データの階調値を変えて印刷し、その印刷濃度を測定して比較を行った。

2・5 ヘッド熱応答測定 ヘッドの熱応答特性の評価には赤外線顕微鏡型放射温度計: RM2A (日本バーンズ製) にて対物レンズ 36 倍を用いて測定をおこなった。熱応答波形比較では投入電力を 0.26W/dot とした。

3. 実験結果

3・1 保温層の検討 サーマルヘッド基板材料は単結晶 Si であるが、その上に形成する熱拡散率の低い保温層材とその形成方法を検討した。

本研究では保温層材の作製方法として、ターゲット材に Si や金属等を使い、酸素ガス中でスパッタリングする、いわゆる反応性スパッタリング法を採用した。熱拡散率を表 1 に示しているが、グレーズ保温層の 0.45(mm²/s) に対し、Si 合金酸化膜のスパッタ保温層は 0.39(mm²/s) と約 15% 熱拡散率が低くなっている。

スパッタリングを採用したことで、成膜条件によりさまざまな密度の膜が形成できる。図 4 に成膜条件の違いによる構造の変化を示した。成膜ガス圧が高くなるに従い、低密度の柱状構造になっていく様子が分かる。密度が変化することで熱応答特性も変化する。図 5 に成膜ガス圧に対するヘッド発熱温度の変化を示した。ガス圧が高いほど、発熱温度が高くなることが分かる。本研究では熱応答特性と再現性を考慮し、成膜圧力は約 1Pa とした。

また、反応性スパッタリングを採用した理由は、成膜速度を上げる為である。スパッタリング法は厚膜印刷法や塗布法等に比べ、成膜速度が遅いため生産性が悪く、SiO₂ のような絶縁物を使った場合は特に遅くなるからである。反応性スパッタリングの採用により SiO₂ をターゲット材料とした場合に比べ、成膜速度は約 3 倍となった。

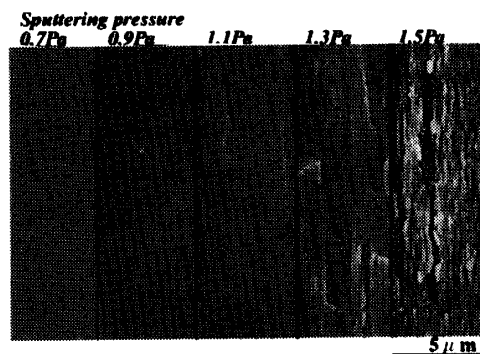


Fig.4 SEM image of heat insulation layer

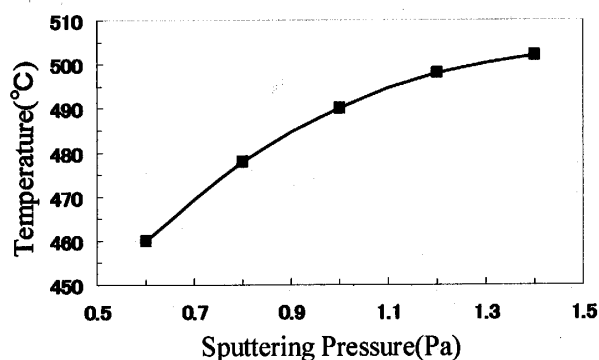


Fig.5 Relation between sputtering pressure and head temperature

3・2 熱応答特性 Si 基板ならびにスパッタ保温層を採用した本研究のヘッド熱応答特性を測定した。単独パルスの測定において、従来ヘッドに比べ本研究のヘッドは同一温度到達時間で比較した場合、約 20% 速い応答性を示した。これは保温層熱拡散率が従来ヘッドより低いためと考えられる。

また図 6 に連続パルスを与えた場合の測定結果を示すが、従来ヘッドに比べ、基板での蓄熱による温度上昇もなく、高速高密度駆動に対応していることがわかる。これはヘッド基板の熱拡散率が従来の 6 倍も大きいと考えられる。

3・3 多階調印刷 一方、熱転写方式において多階調印刷を実現するためには、1 ドットのドット径を従来よりも小さくし、かつその径を制御する必要がある。またドット径を小さくした場合の転写ドットの安定性が連続階調にとっては不可欠であり、そのためにはインクを十分に定着させなければならない。

図 7 にドット径を変化させる場合のヘッド温度とインク温度、そのときのドット径の関係を模式図で示した。図 1 に示したように、熱転写方式でのレジニンクの転写プロセスは大きく分けて 4 工程からなる。

印刷速度 10IPS, 駆動周波数 6kHz であるため, この一連の工程が時間にして $500\mu\text{sec}$, 距離にして $130\mu\text{m}$ で行われることになる。ここで, ヘッドエッジ部にてインクがベースフィルムより剥離される時点で, 図 7 に示すように, ヘッド温度を下げ, 転写ドット部のレジニンクの温度を低くすることにより, ドット径を小さくすることができる。しかし, 従来ヘッドにてヘッド温度を下げて印刷すると, 転写されたレジニンクは図 8(a)に示すように尾を引いた形となり不安定な転写状態となる。一方, 本研究で試作したサーマルヘッドを用いると, 図 8(b)に示すようにドット径を小さくできることが確認された。

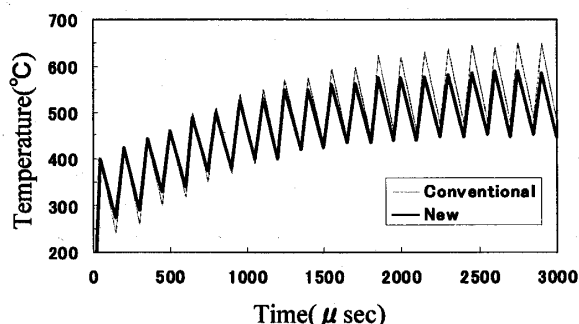


Fig.6 Head peak temperature of continuation pulse

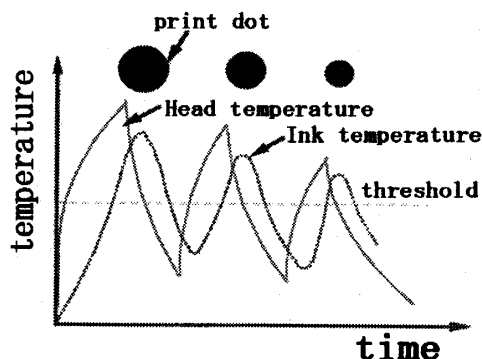


Fig.7 Relation between dot diameter and head temperature or ink temperature

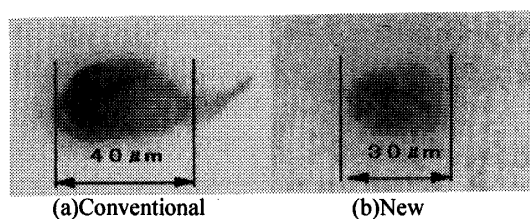


Fig.8 Image of print dot

3・4 ヘッド形状検討 インク転写の安定性を検討する目的で, ヘッドの発熱体からヘッドエッジまでの形状を変更して検討を進めた。具体的には下記表 2 に示すように, 発熱体からヘッドエッジまでのエッジ距離と発熱体からエッジまでの間に溝を形成した場合のその深さを変えて比較を行った。

Table.2 Head shape of each sample

No	Edge distance(μm)	Trench depth(μm)
1	80	0
2	80	0
3	100	0
4	120	0
5	130	0
6	140	0
7	150	0
8	130	2
9	130	3
10	130	4
11	130	5

エッジ距離を変更した場合の印刷評価結果を図 9 に示す。この検討では印刷濃度だけでなく, 印刷インクの紙との密着性を評価する目的で消しゴムにて 10 回摺動した後の濃度測定結果も示した。図 9 より, ヘッドエッジ距離が短ければ短いほど, 印刷濃度が高い傾向を示すことがわかる。一方, インクの紙への定着性をみると, エッジ距離に最適値があることが分かり, この印刷条件では $130\mu\text{m}$ 付近が最適値であることを示している。またその最適範囲も $130\mu\text{m}$ に対して $\pm 5\mu\text{m}$ 程度である。

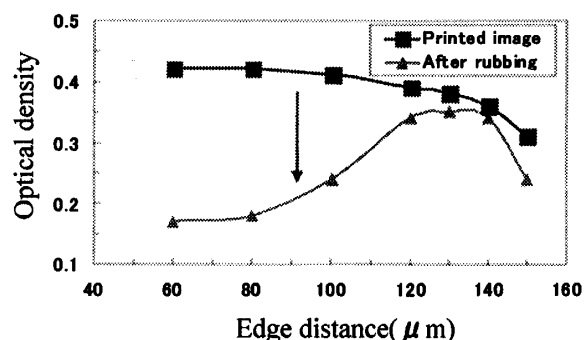


Fig.9 Relation between edge distance and print density and relations between edge distance and rubbing-resistance

溝深さを変更した場合の印刷評価結果を図 10 に示す。この検討では印刷濃度だけでなく, 印刷走行状態を示すスリップ率も示している。スリップ率とは下記

に示す式(1)の通りであり、値が小さいほど、インクの走行が安定であることを示す。

$$\text{Slip ratio}(\%) = 100 - \frac{\text{Ink spent length} \times 100}{\text{Print length}} \quad (1)$$

図 10 より、転写ドットの安定性から溝深さは $2\mu\text{m}$ 以上が必要であることが分かる。また逆に $4\mu\text{m}$ 以上の場合、スリップ率が増加し、インクリボンの搬送に不具合が生じてくることが分かる。よって、溝の形成には $3\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ の加工精度が必要であることが分かる。

このヘッドを使用した印刷結果を図 8(b)に示した。従来ヘッドに比べて、レジニンクが安定に転写されていることが分かる。また同時にシャドー部（ドット径の大きいところ）では、印刷のつぶれも緩和された。

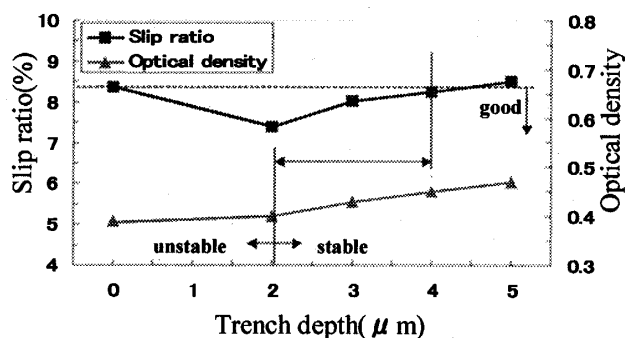


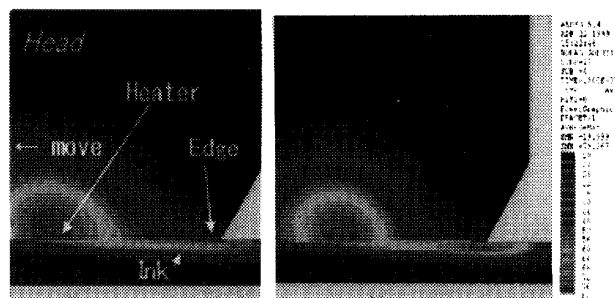
Fig.10 Relation between trench depth and optical density or slip ratio

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = Q \quad (2)$$

ρ	Density
c	Specific heat
T	Temperature
t	Time
V_x, V_y	Velocity of a moving fluid
k	Thermal conductivity
Q	Generation of heat

Table.3 Material properties

Materials	Thermal conductivity λ (w/mK)	Specific heat c (J/kgK)	Density ρ (kg/m ³)
Si substrate	150	805	2330
Heat insulation layer	1.2	1800	1000
Heater	45	700	6500
Over coat	3	1000	3200
PET	0.14	1340	1400
Paraffin	0.32	2520	840
Ink	0.349	2440	980
Paper	0.06	1170	1050



(a)Conventional (b)New
Fig.11 Simulated thermal distribution

4. 考 察

ヘッド形状を変更した場合インク転写状態が改善された。その原因を調べるために、ヘッド発熱体からインクが転写されるヘッドエッジ部までのインクの温度分布解析を汎用有限要素解析ソフト ANSYS (Ver6.1) を使用して2次元問題として行った。解析に用いた境界条件は、サーマルヘッド、並びに、媒体表面の境界面に熱伝達率をあたえ、空气中へ熱伝達するモデルとした。またヘッドとインクリボンの接触部には $0.2\mu\text{m}$ の空気層を入れた計算とし、実験との調整をおこなった。使った式は式(2)の通りであり、入力した熱物性値は表 3 に示す通りである。図 11 に FEM 解析によるヘッドとインクの温度分布を示した。

図 11(a)は従来ヘッドについての結果である。発熱体からエッジ部までの間にインク温度のピークが見られる。これより、インクの熱がヘッド発熱部とエッジ部の間の接触部分でヘッド側に逃げ、そのためエッジ部で温度が下がっていることが分かる。このことが原因で、ハイライト部分（ドット径が小さいところ）においてインクの転写が不安定となっていたと考えられる。

次に、ヘッド発熱体からエッジまでの間で、インクの熱がヘッド側に逃げないようにするため、コモン電極を溝に埋め込む構造にて熱解析を行った。この結果を図 11(b)に示す。この場合は、ヘッド発熱部とエッジ部の間で必要以上にインクの熱がヘッド側に逃げることはなくなり、レジニンクがベースフィルムから剥離されるヘッドのエッジ部にてインク温度がピークを示している。よって、多階調印刷を行うためには、発熱体からエッジまでの間でインクの熱がヘッド側に逃げにくい形状設計をすればよいことがわかる。 $130\mu\text{m}$ のエッジ距離が最適値を示した理由もこのインクの温度とヘッドの走行が関係していたこともこの解析からわかった。すなわち、インク内の温度がピークをむかえるのが、発熱体から $130\mu\text{m}$ 離れた位置であるということである。

以上で明らかになったように、サーマルヘッドには高い加工精度が要求される。必要なヘッド形状加工については、単結晶 Si 基板の異方性エッチングにより達成している。あらかじめ凸状の突出部を異方性エッチングにて加工し、その後、溝部分を同様に異方性エッチングにて加工することで、加工誤差を $\pm 1\mu\text{m}$ に抑えることができた。

図 12 に階調値に対する、印刷濃度の関係を示す。横軸は発熱体に入力する電力の大きさを示している。図 12 より、0~20%のハイライト部分では、従来ヘッドの場合は 0~10%まで印刷濃度の上昇が見られなかったが、本ヘッドでは濃度が徐々に上がっている。一方 90%~100%のシャドウ部分では、従来は 90%でほぼ濃度が飽和仕切っていたが、本ヘッドでは 90%~100%の間でも濃度の上昇が見られた。従って従来ヘッドの場合実質 10%~90%までの 80%の間の階調表現しかできなかったが、本ヘッドの場合、0~100%までの階調表現ができ、階調特性が向上したことが分かる。図 13 に印刷結果の比較を示す。この図は自然面のハイライト部分を拡大した図である。図 13(a)は従来ヘッドで印刷した場合であり、2 値の面積階調による印刷、図 13(b)は本ヘッドによる多階調印刷の結果であるが、この画像比較によっても、本ヘッドによって階調特性が向上したことが分かる。

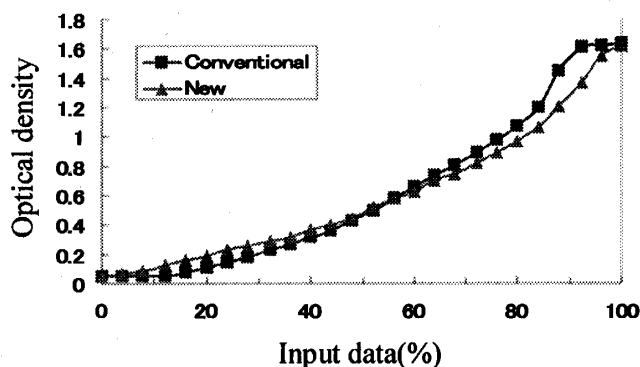


Fig.12 Tone reproduction curve of new head

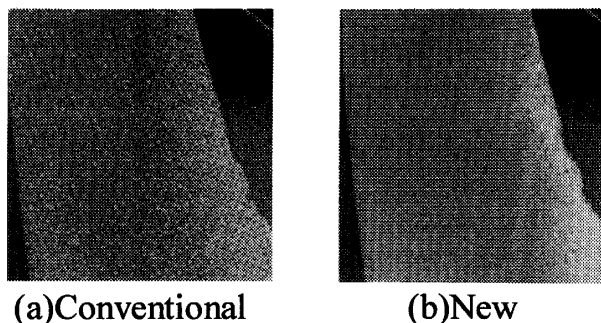


Fig.13 Comparison with printed image

5. 結 論

本研究では、熱転写方式にて高速、高精細印刷を可能とするために、熱拡散率の観点からサーマルヘッド材料の検討を行った。さらに、サーマルヘッドの形状の最適化を行った結果、以下のことが実現できた。

- (1) 高熱拡散率の単結晶 Si 基板の上に、低熱拡散率層をスパッタで形成した結果、600dpi のサーマルヘッドを高速に高密度で駆動でき、熱転写方式にて速度 10IPS、解像度 600dpi の印刷が実現できた。
- (2) 発熱体からヘッド端部までの間のヘッド形状が階調特性に影響することが分かった。ヘッド形状を最適化することで、1 ドットの径を 16 段階に変化させることができ、レジインクを用いた熱転写方式での多階調印刷が実現できた。

文 献

- (1) Nitta, I, Terao, H., Seshita, T., Analysis of contact pressure acting on a thermal print head of a thermal transfer printer, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 70, No.693 (2004), pp. 258-263.
- (2) Nitta, I, Terao, H., Seshita, T., Evaluation of Thermal Conductivities of Printing Papers Using a Thermal Transfer Printer, *Journal of the Japan Society of Precision Engineering*, Vol. 70, 4 (2004), 522.
- (3) Nagata, T., Sato, K, Watanabe, M., Pulse Durability Characteristics of Thin-Film Thermal Head, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 62, No.601 (1996), pp. 56-61.
- (4) Nagata, T., Sato, K, Watanabe, M., Printing Characteristics Estimation of Thermal Head, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol. 61, No.581 (1995), pp. 286-294.
- (5) Nagata, T., Watanabe, M., 16dots/mm thermal printing head developing heat efficiency with polyimide heat insulating layer. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol. 61, No.585 (1996), pp. 286-291.
- (6) Murata, A., Mochizuki, S., Morimoto, Y., Egashira, N., Printing Characteristics of Full-Color Thermal Dye-Transfer Printers Using Semiconductor Laser Heat. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol. 61, No.582 (1995), pp. 328-333.
- (7) Hibino, I., Ono, S., Uchida, T., Study of Highdefinition Thermal Transfer Process. *Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers*, VOL. J81-C-2 NO. 6 PAGE. 566-573 (1998/06)