静電誘引形インクジェットに基づく 階調画再生の一手法

富 川 武 彦[†], 松 尾 一 寿[†]
正会員 松 本 欣 二^{††}

あらまし 本論文は原画の有する階調の連続性を損わずに再生する方法として、静電誘引形インクジェットの誘電性インクに特有な曳糸性を応用した階調画像の記録について検討したものである。濃度レベルに対応して印加電圧を変化させ、この振幅変調によって曳糸流量を制御する再生方法を試みた。その結果、低濃度域の再生不良、濃度帯域の狭いこと、などの問題が判明した。これらに対して、インク静圧を極端に下げれば曳糸が低電圧に起因した微粒子化をせず、反射濃度0に至るまで階調が連続することを実験的に確認した。そこで独立した対向電極を設けた2本のノズルにそれぞれ異ったインク静圧をかけ、重ね走査をして濃度帯域を広くする方法を提案した。その他に、過渡応答性を改善するために条件付きラプラシアン操作を施し、その効果を確認した。

1. ま え が き

本論文はインクジェットに基づく階調画像の記録について検討したものである。一般にインクジェット発生方法として、①低圧力静電誘引形¹⁾、②中圧力反復形：オンデマンド形²⁾、非オンデマンド形³⁾、③高圧噴射形⁴⁾などがあり、単位時間の生成粒子数はそれぞれ① 4×10^3 個/s、② 5×10^4 個/s、③ 2×10^5 個/s程度である。これ以外にも磁性インクを用いた方法がIBMから報告されている⁵⁾。階調特性を持たせるには、①粒子径を動的に可変する、②同一粒子径による記録密度を制御するなどがある。すでに、Hertz⁴⁾は高圧噴射に基づく、またStemme²⁾は中圧反復に基づく方法で階調表現を試みているが、静電誘引形の階調記録はいまだに見当らない。

著者らは静電誘引形の曳糸生成に特有な利点、すなわちノズル直径の1/100程度の細い液柱が発生できること、インクの加圧機構や循環系が不要なことなどを積極的に利用するための検討を行った⁶⁾。その結果、濃度帯域が狭い点、濃度がラン長により変化する点、曳糸生成の履歴現象、インクの過渡応答性、などの問題が明らかとなり、それらの一部に対する問題解決の

方法を提案した。

2. 実 験 装 置

実験装置のブロック図は文献1)に譲る。同期モーターで主走査を、パルスモーターで間欠副走査を行い、白ラインはスキップさせた。ステンレス製注射針の先端を中心線と30°の角度に切断してノズルとした。これは曳糸径の初期値をノズルの内径でなく先端の曲率半径に対応させるためである。斜め切断ノズルは過去に酒井らの静電塗装の実験で用いられたことがある⁷⁾。針は内径 $\phi_i=300 \mu\text{m}$ 、外径 $500 \mu\text{m}$ 、長さ15 mmのものをを用いた。ノズルの先端にメニスカスを形成させるため、インクの液面の高さによる静圧力を利用している。インクは曳糸現象を発生させ易くするように油性染料Orient Oil Black HBB (Orient Che.)を溶解した芳香族系有機溶剤Solvent 150 (Exxon Che.)を主成分としたものである。この溶液は、低導電性で高誘電率を示す油性インクである。インク物性値、特に粘度は温度依存性が強く20°C付近で約 $0.03 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^\circ\text{C}$ 変化するため、今回は電球によるヒートアップを施して実験した。表1に使用インクの物性値を示す。物性値の計測は表面張力：ディヌイ氏法、粘度：ピペット形逆流管法、導電率と誘電率：インピーダンスブリッジ法、吸収波長：分光光度計法、密度：体積・質量計測法をそれぞれ用いた。ノズルの先端から空隙 $l_{ce}=2.5 \text{ mm}$ 隔てて内径1 mm、外径5 mm、厚さ0.1 mmの対向電極を設置し、これに信号

[†] 福岡工業大学

^{††} 静岡大学

"A Method of Tone Reproduction Based on Electrostatic Ink Jet Using Dielectric-ink" by Takehiko Tomikawa, Kazuhisa Matsuo (Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka) and Kinji Matsumoto (Shizuoka University, Hamamatsu)

表 1 インク物性値
Physical properties of ink.

表面張力	3.0×10^{-2} N/m
粘性係数	6.0×10^{-6} m ² /s
導電率	5.3×10^{-9} 1/Ω·m
誘電率	2.2×10^{-10} F/m
密度	9.6×10^2 kg/m ³
沸点	200 °C
最大吸収波長	4.99×10^{-7} m
着色	CI26150 (Orient)

図 1 曳糸生成部分の詳細 (単位: mm)
Schematic diagram of nozzle and electrode (units: mm)

電圧 V_s をかけ、またインク自身に直流バイアス V_b を印加した。対向電極から 1 mm 隔てた所に外径 $\phi_o = 70$ mm のドラムを設け、これを接地した。したがって、針と対向電極との間には $(V_b - V_s)$ の差電圧がかかる。曳糸生成部分の詳細を図 1 に示す。入力画像データは 256×256 画素 (pel) とし、入力時のノイズ成分を減らすため同一データを 4 回入力した平均値をとっている。これを A/D 変換器により 8 ビット/pel とし、磁気ディスクに格納した。反射濃度の測定には光電倍增管 R 192 (浜松ホトニクス製) を用いた。入力画像としてファクシミリテストチャート No. 1 (画像電子学会) より濃淡の女性像を用いた。

3. 曳糸の利用

3.1 曳糸の生成

一般に、液体の粘度の増加と表面張力の減少は曳糸の成長を促す。また、導電率 10^{-10} 1/Ω·m 前後の非水系液体において曳糸長は印加電圧により変化し、その極大値が存在する⁸⁾。曳糸を利用して階調表現する方法としては、① V_b または V_s を可変とする、② 重ね走査をする、③ インク静圧を可変とする、④ 異種濃度のインクを準備する、⑤ 異種径のノズルを準備する、等が考えられる。③は流体圧縮のために信号追従性が悪い、④はインク濃度の経時変化が生じ易い、⑤は内径 100 μm 以下のノズルを必要とするために目詰りが生じ易い、等の欠点がある。そこで、以下①と②の方法を検討の対象とした。

細管内流速を v_0 、動粘性係数を ν とすると、細管内でのレイノルズナンバーは $Re = v_0 \phi_i / \nu$ で、 $v_0 = 0.01$ m/s、 $\nu = 6 \times 10^{-6}$ m²/s 前後では細管内の Re 値は高々 0.5 程度であり、層流をなしていると思わせる。よって、ニュートン流体における Hagen/Poiseuille 流れの式が適用できる。つまり、流量 Q は密度 ρ 、細管長 l_c 、細管両端の圧力差 ΔP として、

$$Q = \frac{\pi \phi_i^4 \Delta P}{128 \nu \rho l_c} \propto \frac{\phi_i^4}{\nu \rho l_c} \{k_1 H + k_2 (V_b - V_s) - k_3 \sigma\} \quad (1)$$

と表せる⁷⁾。ただし、 k_{1-3} : 正定数、 H : インク静圧、 σ : 表面張力である。上式の { } 内の符号により

$$\{k_1 H + k_2 (V_b - V_s) - k_3 \sigma\} = \begin{cases} \text{負: 流出せず} \\ 0: \text{流出開始} \\ \text{正: 流出する} \end{cases}$$

に区分できる。一定のインク静圧、表面張力の下で Q は静電誘引力によって決まり、曳糸体積の変化が濃度制御を司る電圧 $(V_b - V_s)$ に比例することになる。しかし、これはあくまでも巨視的な解釈であり、表面張力の動的変化や細管の形状等による影響を考慮していない¹⁰⁾。(1)式からわかるように、飛翔を開始させるには、ノズルの先端で表面張力によって形成されたメニスカスを不安定状態にさせるに足るポテンシャル $(V_b - V_s)$ を与える必要がある。静電誘引による曳糸を実際に投影させて、顕微鏡撮影 (倍率 200, シャッター速度 1.5 秒) したものを写真 1(a)(b) に示す。(a)におけるポテンシャルを 20% 上昇させたものが(b)である。

3.2 曳糸の変調

直流バイアス値および変調電圧の範囲を決定するためにインク静圧 $H = 15$ mmAq での曳糸応答を調べてみると、飛翔開始 (1.9 kV)、曳糸開始 (2.0 kV)、霧化開始 (2.6 kV) となった。ここで、1.9~2.0 kV の範囲は低電圧微粒子化領域 (仮称) である。故に、 $V_b = 2.5$ kV、 $V_s = 0 \sim 600$ V を妥当な電圧と考えて設定した。 $(V_b - V_s)$ 値は、コロナ放電開始電圧 (約 2.8 kV) 以下でのインクジェットが霧状となる霧化移行電圧以下にする必要がある。 V_b を一定とし V_s をデューティ 50% の 2 値パルスとした場合のパルスの応答 ($f = 0.8 \sim 6$ kHz) を図 2 に示す。図より、

$$\begin{cases} f < 2 & \text{kHz} & \text{線形応答領域} \\ 2 \leq f < 4 & \text{kHz} & \text{臨界応答領域} \\ 4 \leq f & \text{kHz} & \text{高周波微粒子化領域} \end{cases}$$

に大別できる。曳糸状態のパルス応答周波数の上限は、電荷集中の時定数による制限と考えられる¹¹⁾。高

(a) DC 2 kV

(b) DC 2.4 kV

写真 1 曳糸の顕微鏡写真
Microphotographs of liquid thread.

図 2 パルス周波数応答 ($f=0.8\sim 6$ kHz)
Pulse frequency response.

周波微粒子化領域では f の増加に伴って粒子間隔が広がっている。

次に、パルス応答と機構との相関を考える。ドラム周速度を v_D とすると $v_D = N\pi\phi_D \times 10^3 / 60$ m/s であり、回転数 $N=360$ rpm の場合は $v_D=1.3$ m/s となる。画像空間周波数を $f \equiv Fv_D \times 10^{-3} / 2$ (ただし、 F : 解像度) と定義すれば、画素形成時間 t_{pel} 、画素の長さ l_{pel} はそれぞれ $t_{pel} = 10^6 / f$ μ s, $l_{pel} = 1/F = v_D \times 10^3 / 2f$ mm である。再現性の目安として図 2 における黒画素長の測定値を l_{pel} で除した値は 0.7~0.8 となった。この原因として、

- ① 飛翔開始時にはメニスカス形成を伴っているため応答時間の遅れが生じ、飛翔切断は飛翔開始電圧より電位が低くなる(以下、履歴現象と記す)。
- ② 断続飛翔する液滴には表面張力による表面積の最小化が働く。

の 2 点が考えられる。図 2 のパルス応答から判断して最高画周波数を $f_{max}=2$ kHz にとれば $t_{pel}=500$ μ s, $F=3$ 本/mm を得る。この解像度では粗雑となるため副走査方向に内挿補間を施すことになるが、主走査方向においては曳糸の性質から画素間での自然補間がなされることに期待できる。

N の値を前述の回転数の 1/2 以下に落しても曳糸の記録状態は同じ傾向を示していることから、ドラム外周における空気層流の影響は少ないと見なせるが、 $N>480$ rpm では記録の尾引き現象が著しい。図 3 は $H=15$ mmAq, V_b 一定, V_s をパラメーターとした時のグレイスケール出力である。

(a) 図は DC 応答で, $V_s=100\sim 500$ V の範囲で電圧に反比例した濃度変化を示している。また, $V_s<100$ V の領域では濃度の飽和化の傾向が見られるが、その一因としてインク浸透が挙げられる。インクの浸透、拡散のため反射濃度がインク量に単純には比例しない。 $V_s>500$ V の領域では低電圧微粒子化現象に

(a) DC

(b) pulse ($f=1.8$ kHz)

図 3 グレイスケール出力 ($H=15$ mmAq, $V_b=\text{const.}$)

Gray-scale response.

移行し、この点が低濃度の下限を与える。低電圧微粒子化領域では飛翔粒子が変調周期とは独立した固有の周期を有している。実測した画素間隔を周波数として換算すると、 $f=v_0/(2 \times \text{画素間隔})$ より $f=200 \sim 750\text{Hz}$ ($V_s=500 \sim 600\text{V}$) となる。一方、(b)図はパルス応答 ($f=1.8\text{kHz}$) の場合で、低濃度の下限が約 200V 上昇しており、この傾向は f の増加に伴い顕著である。さらに、同一走査線上で曳糸化と低電圧微粒子化現象との混在が見られ、曳糸の不安定さが現れている。

以上の実験結果は、kerosene ($\sigma=25\text{dyn/cm}$, $\rho=0.8\text{g/cm}^3$, 導電率 $=1.8 \times 10^{-11}\text{1}/\Omega \cdot \text{m}$) ベースのインクを使用した場合と比較しても大差が認められなかった。判明したことは、 V_s をパラメーターとしたインクの流量変調だけで得られる濃度帯域は狭く、反射濃度値で $0.4 \sim 0.6$ ($8 \sim 12\text{dB}$) 程度となること、変調周波数によって濃度帯域が変化すること、流量が変化した瞬間には定常状態と違った濃度となること、である。

4. 重ね走査の効果

4.1 重ねと濃度レベル

インクは減法混色であるから重ねにより高濃度化する。ここで、 m :重複度、 n : V_s による階調レベル数、 n_g :表現可能レベル数とし、混色の順序による濃度差はないものと仮定すれば、

$$n_g = n + m - 1 C_m \quad (2)$$

(仮定:混色の順序による差はない)

となる。以下、例として $m=2$, $n=5$ の時、つまり $n_g=15$ レベルの場合について考察する。合成濃度の組み合わせを行列 G で表し、点 (i, j) における成分

図4 重ね走査と濃度 ($m=2$, $n=5$)
Gray levels with multi-scanning.

$g_{i,j}$ を第1走査と第2走査との重ねた濃度とし、 $g_{i,j} = \{(g^{n_1}, g^{n_2}) | n_1, n_2 = 0 \sim 4\}$ で表す。仮定より $g_{i,j} = g_{j,i}$ として $i \geq j$ 成分のみを対象とすれば、

$$G = \begin{bmatrix} (0,0) \\ (1,0) & (1,1) \\ (2,0) & (2,1) & (2,2) \\ (3,0) & (3,1) & (3,2) & (3,3) \\ (4,0) & (4,1) & (4,2) & (4,3) & (4,4) \end{bmatrix} \quad (0 \sim 4: \text{白} \sim \text{黒}) \quad (3)$$

となる。ただし、()内の数字は各成分の添字 n_1 , n_2 を意味する。減法混色において $(g^{n_1}, g^{n_2}) = \gamma(g^{n_1} + g^{n_2})$ を仮定する。 γ は同色系で $0.5 < \gamma < 1.0$ である。 g^1 を基準にとると $g^{n_1 \text{ or } n_2} = \{a_{n_1 \text{ or } n_2} \cdot g^1 | n_1 \text{ or } n_2 = 0 \sim 4\}$, $a_{0 \sim 4}$ は濃度係数で、 $a_0=0$, $1 < a_2 < a_3 < a_4$ とすれば(3)式は、

$$G = \gamma g^1 \begin{bmatrix} 0 & & & & \\ 1 & & & & \\ a_2 & 1+a_2 & & & \\ a_3 & 1+a_3 & a_2+a_3 & & \\ a_4 & 1+a_4 & a_2+a_4 & a_3+a_4 & 2a_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

となる。(4)式において右対角成分(例えば、 $2a_3$ と a_2+a_4)間の値が近接しがちであることがわかる。行列の各成分間に近接値がなく、その差分に偏りのない濃度係数を選定することが困難であるため(2)式の n_g は $n+m-1C_m$ より小さくなる。図4は $m=2$, $n=5$ における重ね走査の実測例であり $g^0 \sim g^4$ の値をそれぞれ $0, 0.4, 0.45, 0.5, 0.57$ 付近の反射濃度レベルとした。この例では、実質的な表現可能レベル数はせいぜい9レベルとなる。以上、 g^{n_1} と g^{n_2} とは互いに独立したものとして扱ったが、 g^{n_1} により一意的に g^{n_2} が決定される場合を考えてみる。これは、次節に述べるノズル2本を同一インク供給源へ配置した重ね走査方式に対応することになる。 g^{n_2} を g^{n_1} の比例値として $\beta \cdot g^{n_1}$ (β :定数、ただし $\gamma(1+\beta) > 1$) で表すと合成濃度 $g_{i,j} = \{(g^{n_1}, \beta \cdot g^{n_1}) | n_1 = 0 \sim 4\}$ は、 $(g^{n_1}, \beta \cdot g^{n_1}) = \gamma(1+\beta)g^{n_1}$ と書ける。よって、(4)式は次のような対角成分となる。

$$G = \gamma(1+\beta)g^1 \begin{bmatrix} 0 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & a_2 & & \\ & & & a_3 & \\ & & & & a_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

第1走査と第2走査とが従属関係にあるため、(5)式における $i \neq j$ 成分の組み合わせは存在しないことになる。結果として濃度帯域は、 $m=1$ における

$0 \sim a_4 g^1$ から $m=2$ における $0 \sim \gamma(1+\beta)a_4 g^1$ へと拡張される。

m の増加に伴う処理速度の低下は、マルチノズル化することで解消され得る。印字速度を増すほど走査間の時間間隔を充分とれなくなるため、付着インクが乾燥しない状態で重ねが起これ、それによるさまざまな影響を考慮に入れたうえでの係数 $a_0 \sim a_4$ を定量化することは容易でない。重ねに要する時間 (t_t) は、単一ノズルの時に $t_t = 60/N$ 秒となり、マルチノズル化の時に後述(6)式より算出できる。この t_t を $t_t \sim t_t \pm 1/2f_{max}$ の範囲で変化させると、①同一画素、②画素間、③前二者の中間、等のいろいろな重ねの状態を生じさせることができる。

4.2 インク静圧の影響

静電誘引形のインクジェットにおいて、曳糸生成に適したインク静圧の範囲は $H=10 \sim 30$ mmAq 前後であった。ところが H の値を徐々に下げるにつれて低電圧微粒子化領域が狭くなり、 $H=0 \sim 3$ mmAq 前後において飛翔開始電圧＝曳糸開始電圧となって、ポテンシャル ($V_b - V_s$) = $1.9 \sim 2.0$ kV における低電圧微粒子化が起これなくなった。つまり、曳糸生成領域の下限としての閾値が認められないことであり、飛翔開始点から霧化に至る範囲を連続して表現できることになる。しかし、この場合はメニスカスの縮小に伴う周波数特性は向上するが、飛翔量は減少する。 $H \approx 1$ mmAq における V_s をパラメータとした濃度出力を図5に示す。微粒子化領域の消失する理由は、弱電界中では曳糸を持続させるのに十分なクーロン力が得られず、メニスカス形状変化と電荷の時定数により周期的に断続飛翔するが、極端な低圧の場合、メニスカス形状が凸形とならないため引っ込み現象¹²⁾が発生しないことに関係あると考えられる。

圧力差を設けた2本のノズルによる上記応用例を図6に示す。ノズル間隔を $l_d = 10$ mm とし、同一走査上に配置した2本のノズルは同一インクの供給を受け、異なるインク静圧がかかるようにしてある。ただし、上方のノズルは $0 < H < 3$ mmAq の静圧を常時保持する必要がある。このノズル機構は V_b を直接インク層の中に導き V_s を対向電極へ供給した電界重畳であるため、 V_{s1} と V_{s2} とのクロストーク問題がなく、記録紙の浮きに対してノズルと対向電極との空隙 l_{ce} における電位傾斜 (V_b/l_{ce}) を一定に保てる利点を有する。

第2ノズル信号は第1ノズル信号に対してノズル間隔相当の時間だけ遅らせる必要があり、下式より算出できる。

図5 グレイスケール出力 ($H=1$ mmAq, $V_b = \text{const.}$)

Gray-scale response.

図6 電界重畳形ノズル

Nozzles of superposed in electric field.

$$t_t \approx (60/\pi N) \sin^{-1}(l_d/\phi_D) \quad (6)$$

$l_d = 10$ mm としたので、(6)式の値は 7.6 ms となる。一方、回転数が N' に、ドラム周速度が v_D' に変動した場合の画素の位置ずれ Δl_{pei} は $\Delta l_{pei} = t_t |v_D - v_D'| \propto |N - N'|/N$ となり、主走査回転数の変動率に比例することになる。変動率は1%程度に押えることが可能なため問題ないが、厳密には t_t が V_s に対して独立でないため、(6)式の値とは多少異なる。

5. 過渡応答特性の改善

原画の有する濃度情報は、システムを通した後の再生画に正しく再現されていない。本方式の画像処理系、

原画 → 光電変換* → A/D → CPU → D/A → 曳糸化* → 再生画

において*印の過程が画像劣化の主な要因となっている。光電変換系に対する濃度補正としての微分演算処理は周知のようであるが、ここでは流体の連続性に付随した画像の劣化を改善する立場で検討する。再生画は、曳糸部分の持つ時定数のため過渡応答は悪く、濃度のステップエッジやグラディエントの急な部分に追従しきれず像の輪郭が緩慢となる。そこで、ラプラス

(a) 補正前
Without compensation.

(b) 補正後 ($\eta\hat{t}=0.6$, $\theta_w: V_s=500$ V 対応点)
Without compensation.

図 7 ラプラシアン操作と濃度断面
Sections of gray level with Laplacian compensation.

作用素を主走査方向に施すことを試みた。曳糸部のインクの体積 $Q(x, t)$ を主走査方向の位置 x と時間 t との関数とし、 $Q(x, 0)$: 平均化されていない曳糸部分の体積、 $Q(x, \hat{t})$: $t = \hat{t}$ において平均化された曳糸部分の体積とする。ステップ入力に対する曳糸体積の過渡応答が拡散方程式 $\partial Q / \partial t = \eta \nabla_x^2 Q$ (η : 正定数) に基づく推移に従うものとすれば¹³⁾、時間さきみ $\tau = h^2 / 4\eta$ とした陽解法の差分近似式は、 $Q_{i,j+1} = (Q_{i-1,j} + 2Q_{i,j} + Q_{i+1,j}) / 4$ と単純化される。ただし、 $x = ih$, $t = j\tau$ とし、 $(ih, j\tau) \rightarrow i, j$ と略記。次に、 $Q_{(x,t)}$ を $t = \hat{t}$ のまわりで Taylor 展開し、前記の拡散過程と連立させれば $Q_{(x,0)} = Q_{(x,\hat{t})} - \eta\hat{t} \nabla_x^2 Q_{(x,\hat{t})}$ を得る。ラプラス作用素の正/負によりオーバーシュート/アンダーシュートが起り、高域部が強調される。ところが、実際には白レベルから曳糸の飛翔開始レベルを横切るような濃度変化時にメニスカス体積の動特性に起因した履歴現象が起り、オーバーシュートを行うと、この傾向をいっそう悪化させることになる。そこで、ラプラシアンの補正値が許容濃度帯域 ($g'_{\min} \sim g'_{\max}$) を超さぬような制限等も含めて以下の条件を定めた。ここで体積変数は濃度変数に置き替えて表現する。

- (i) if $(g_{i-1,j} < \theta_w) \cap (g_{i,j} > \theta_w)$ then $\nabla_x^2 g_{i,j} = 0$
- (ii) if $(g_{i,j} - \eta\hat{t} \nabla_x^2 g_{i,j}) \begin{cases} < \theta_w & \text{then } g_{i,0} = \theta_w \\ > g'_{\max} & \text{then } g_{i,0} = g'_{\max} \end{cases}$
- (iii) if $(g_{i-1,j} < \theta_w) \cap (g_{i,j} < \theta_w)$ then $\nabla_x^2 g_{i,j} = 0$
- (iv) else $g_{i,j} - \eta\hat{t} \nabla_x^2 g_{i,j}$ (8)

(θ_w : 曳糸の下限臨界濃度)

この条件下における微分補正したテストチャートの濃度断面を図 7 に示す。この図で (a) は補正前、(b) は経験値として $\eta\hat{t} = 0.6$, θ_w を $V_s = 500$ V 対応点に置いて補正したものである。ところで条件 (i) ~ (iii) を適用する頻度はそれぞれ全体の (i) 7%, (ii) 12%, (iii) 9% であった。

6. む す び

静電誘引形インクジェットに特有な曳糸性に着目した画像の記録について実験した。その結果、低濃度領

(a) $H=15$ mmAq, $m=1$, $n=5$

(b) $H=11$ mmAq, $l_d=10$ mm, $m=2$, $n=5$,
 $\eta\hat{t}=0.6$, $\theta_w: V_s=500$ V 対応点

図 8 実画への適応例 (主走査: 3 pel/mm, 副走査: 6 本/mm)

Print example.

域の再生不良，濃度帯域幅の狭いこと，過渡応答性の不良，履歴現象の存在，等の問題が明らかとなった．次に，これらの問題について検討し，インク静圧を特に低くすれば曳糸が低電圧微粒子化せず，白領域に至るまで連続階調が可能であることを実験的に確認した．具体例として，独立した対向電極を設けた2本のノズルにそれぞれ異ったインク静圧をかけ，重ね走査をして濃淡ダイナミックレンジを広くする方法を提案した．また，過渡応答特性を改善するための限定条件をつけたラブラシアン操作を施す実験を行い，その有効性が確認できた．しかし，パルス応答，履歴現象，再生画の忠実性，などにおいて改善すべき課題はまだ残されている．最後に検討した結果を総合してサンプル画に適用した例を図8に示す．(a)図は $H=15$ mmAq, $m=1$, $n=5$ の場合で，(b)図は $H=11$ mmAq, $l_d=10$ mm, $m=2$, $n=5$, $\eta f=0.6$, θ_w : $V_s=500$ V 対応点の場合で，内挿補間を施したものである．

インクの物性計測に協力して下さった静岡工業試験場の仁科雅夫氏，および資料を提供された東芝総研の大野忠義氏に感謝します．

(昭和58年9月1日受付，昭和59年3月21日再受付)

【参 考 文 献】

- 1) J. Zeleny: "Instability of Electrified Liquid Surfaces", Phys. Rev., **2**, 10, p. 1 (1917)
- 2) E. Stemme, S. Lasson: "The Piezoelectric Capillary Injector", IEEE Trans., **ED-20**, 1, p. 14 (1973)
- 3) R. G. Sweet: "Signal Apparatus Fluid Drop Recorder", US Patent # 3596275 (1971)
- 4) C. H. Hertz, A. Mansson: "Electric Control of Fluids Jets and its Application to Recording Devices", Rev. of Sci. Instruments, **43**, 3, p. 413 (1972)
- 5) R. S. Heard: "Electrostatic/Magnetic Ink Jet System", IBM Tech. D. Bull., **18**, 4, p. 1115 (1975)
- 6) 富川，松本: "静電誘引形インクジェットに基く階調ファクシミリ"، 信学論誌, **J65-D**, 1, p. 136 (1982)
- 7) 酒井，三好: "電気噴霧について"، 電学誌, **78**, 838, p. 85 (1958)
- 8) 萩原: "静電気による液体の微粒化(II)", 第21回応用物理講演予稿, p. 151 (1974)
- 9) 安居院，中嶋: "導電性流体の静電微粒化に関する流体物性値の影響について"، 信学論誌, **J60-C**, 2, p. 106 (1977)
- 10) 緒方，篠原: "静電微粒化に適する液体の電気的性質"، 化学工学論文集, **3**, 6, p. 586 (1977)
- 11) 大野ほか: "2色インクジェットファクシミリ"، 画像電子学誌, **5**, 2, p. 43 (1976)
- 12) 棚沢，荒木: "静電気力による均一微粒化"، 日本機械学論誌, **37**, 298, p. 1178 (1971)
- 13) A. C. Kak, A. Rosenfeld: "Digital Picture Processing", Academic Press, p. 188 (1969)

**A Method of Tone Reproduction Based on Electrostatic
Ink Jet Using Dielectric-Ink**

by Takehiko Tomikawa, Kazuhisa Matsuo and Kinji Matsumoto

This paper presents various considerations of electrostatically extracted ink jet application to the gray-scale image reproduction of natural pictures. Remarkable in electrostatic ink jet extraction is the liquid thread which uses dielectric-ink.

Reproduction of gray levels as a function of thread volume modulation is tried. There exists a smooth tone extending to the low density region under extremely low static ink pressure. Accordingly, the new nozzle mechanism is achieved by setting two nozzles to the same ink source with different ink pressures, together with the electrodes in pairs. It is found that application of the modified Laplacian operation to digitized input data could provide qualitative improvement of the reproduction, though its profounder improvements must be taken into account.