

高効率シェアモードヘッドの開発

西 眞一、 小松 克明、 竹内 良夫

コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社
IJT 開発センター 第2 開発室

Development of an Energy Efficient Shear-Type Inkjet Head

Shinichi Nishi, Katsuaki Komatsu, Yoshio Takeuchi
2nd R&D Division, Inkjet Technology R&D Center,
KONICA MINOLTA TECHNOLOGY CENTER, INC.

Recently the developments of high-quality and high-speed inkjet printer are accelerated. It is necessary to develop an energy efficient multi-channel print head for more high-speed printers. The shear-type inkjet head was computationally simulated to analyze the fluid flow dynamics and the jet forming process. The results showed that the nozzle shape strongly affected the energy efficiency in the droplet ejection process. The prototype print head with funnel type nozzles proved that the energy efficiency was fairly improved.

1. はじめに

近年インクジェットプリンターの高速・高画質化が著しいが、より一層の高速化には各チャンネルの性能向上の他にチャンネル数の増加を図る必要がある。チャンネル数の増加には加工を含めた構造上の課題以外に、液滴噴射時のヘッド温度上昇を抑制するため、駆動効率を向上させ液滴噴射に要するエネルギーを小さくすることが重要となる。

この課題を解決するため Computational Fluid Dynamics (CFD) を用いたシェアモードヘッドの動作解析を行い、駆動効率向上化検討を行った。試作ヘッドを作成し効果を確認したので、その結果について報告する。

2. 高効率化の検討

2.1 ヘッド構造と駆動波形

Fig.1 にシェアモードヘッドの構造を示す。PZT の分極方向に直交する方向に電界を加えることにより屈曲変形を与え、チャンネル内インクを加圧する。チャンネル内に発生した圧力がノズル、インク供給室

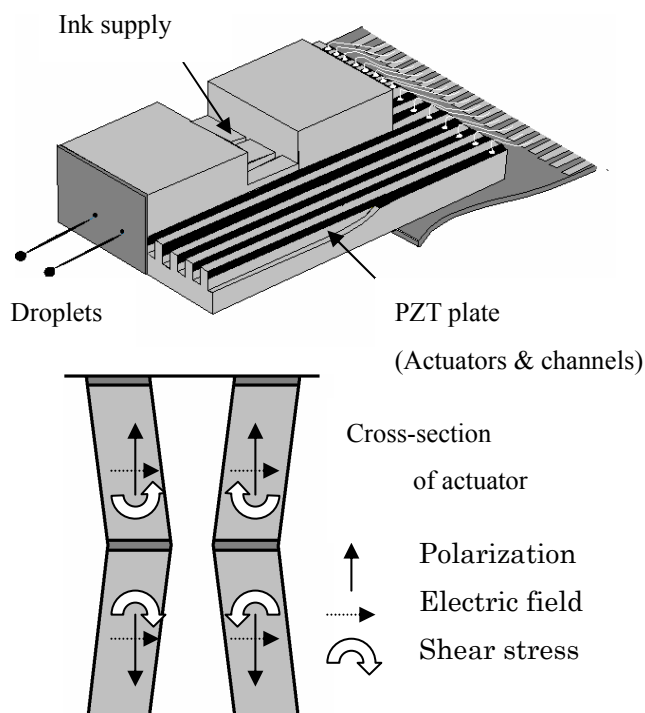


Fig.1 Structure and function of a shear-type print head
との各々の境界で反射し、共振することによりノズルに加わる圧力が時間変化し、インク液滴が噴射される。

液滴噴射プロセスを Fig.2 に示す。駆動波形として電圧低減のため最初の立ち上がりで発生した負圧が半周期後正圧のピークに達したときに加算さ

れるように反対方向に電圧を加える波形を用いる。このときのチャンネル内圧力の時間変化と液滴形成プロセスを、CFD を用いて計算した結果を同図内に示す¹⁾。

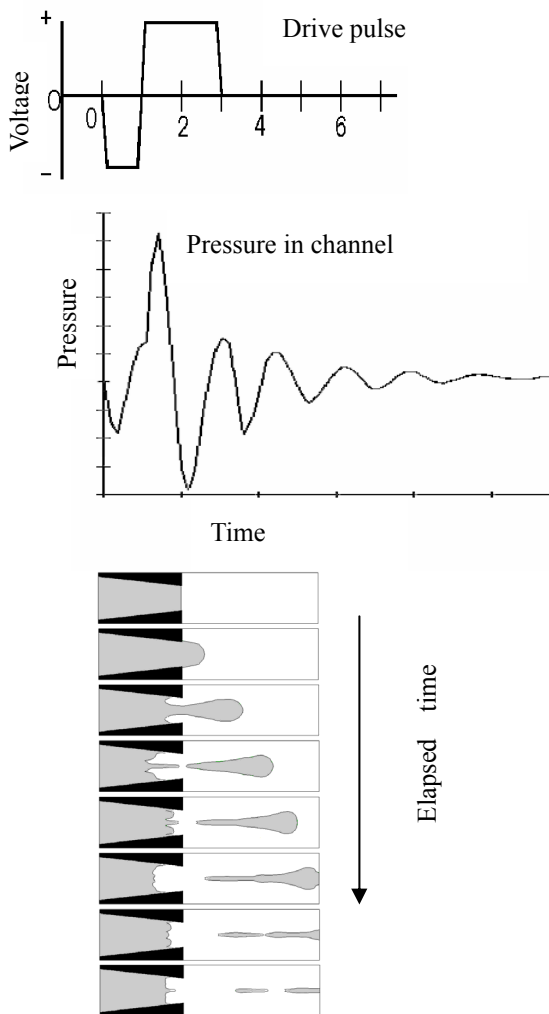


Fig.2 Droplet ejection process analyzed by CFD

2.2 高速・高画質化と消費エネルギー

高速・高画質化を行うにはチャンネル内での圧力共振周波数を上げる必要がある。液滴量は共振周波数に反比例し、駆動可能周波数は比例の関係があるためである²⁾。

$$V_d = \pi r^2 \times v / (2 \times f)$$

V_d : 液滴体積 r : ノズル半径

v : 液滴速度 f : 共振周波数

ノズルに加える圧力の周波数と一定速度の液滴の噴射に必要な圧力の関係を Fig. 3 に示す。周波数が高くなると急激に必要な噴射圧力が大きくなる。発生圧力はアクチュエータの変位量に比例するので

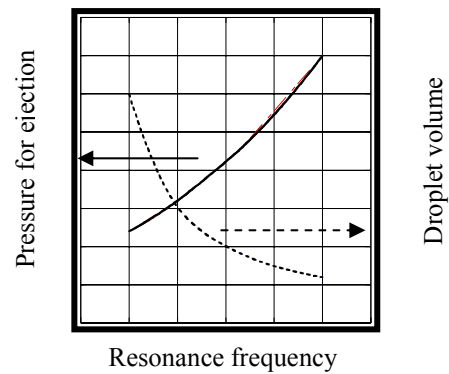


Fig.3 Pressure for ejection and droplet volume as a function of resonance frequency

変位量を大きくする必要がある。変位量とインクに与えるエネルギーの関係は次式で与えられる。

$$E = (1/2) \times B \times (x/W)^2 \times L \times H \times W$$

E : インクに与えられる弾性エネルギー

B : インクの体積弾性率

x : アクチュエータの平均変位量

L : チャンネル長さ W : チャンネル幅

H : チャンネル深さ

チャンネル圧力 P とエネルギーの関係は次の式で表される。

$$E = (1/2) \times P^2 \times L \times H \times W / B$$

アクチュエータ変位量は駆動電圧に比例するので高周波数駆動を行うと駆動電圧が高くなる。アクチュエータの静電容量は高速化対応設計により低下する可能性があるため必ずしも一滴あたりの駆動エネルギーが増加するとは限らないが、高速・高画質化のためにチャンネル数の増加や駆動周波数の上昇により消費エネルギーは増加する。

$$W_a = (1/2) \times C \times V^2 \times A \times f_d \times N$$

W_a : 消費エネルギー

C : アクチュエータ静電容量

V : 駆動電圧 f_d : 駆動周波数

A : 波形係数 N : チャンネル数

このため温度上昇によりインク特性値が変化し、液滴速度や液適量の変動により画質の低下が顕著になる。

2.3 チャンネル構造と発生エネルギー

チャンネル形状の設計にはノズル密度等の前提条件があり、自由度が制限される。アクチュエータの検討には圧電素子の異方性を考慮した有限要素法

を使用した。電圧を加えた時の変位量の計算例を Fig. 4 に示す。アクチュエータのコンプライアンスは内圧上昇による押し戻し変位量として計算する。1 個のアクチュエータのコンプライアンスとチャンネル内インクのコンプライアンスの比をコンプライアンス比 (kcr) という。

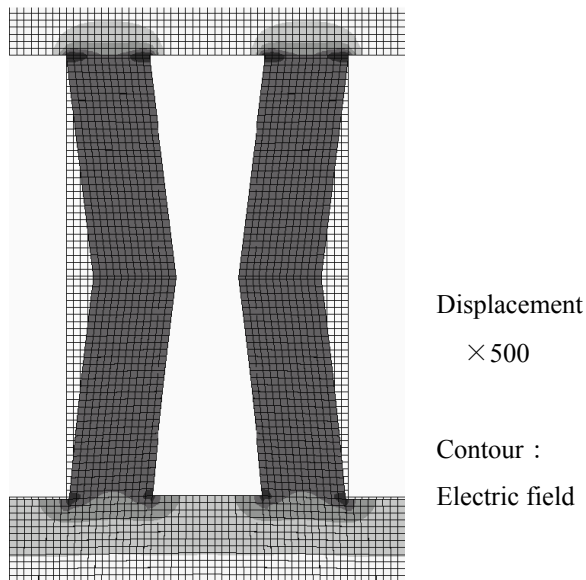


Fig.4 Deformation of actuators by application of voltage calculated by finite element model

電圧印加によるチャンネル内発生圧力は以下の式で計算できる。ここで λ はチャンネル駆動パターンにより決まる定数である。

$$P=2 \times (\Delta x/W) \times B \times V / (1+\lambda \times kcr)$$

Δx : 単位電圧印加による

アクチュエータ平均変位

V: 駆動電圧

コンプライアンス比の値によりチャンネル内を伝播する圧力波の速度も変化する。このため共振周波数にも影響を与えるので注意する必要がある。

圧力波の伝播速度

$$C_0 = (B/\rho)^{1/2} / (1+kcr)^{1/2}$$

ρ : インクの密度

圧力波の共振周波数

$$f = C_0(1-\alpha)/4L \quad \alpha : \text{形状補正係数}$$

一例としてチャンネルピッチ一定でチャンネル幅を変えたとき発生圧力と弾性エネルギーがどのように変化するかを Fig. 5 に示す。チャンネル幅が小さいほど発生圧力は高くなるが、弾性エネルギーはあるチャンネル幅でピークを持つ。またチャンネル長に対し、

共振周波数がどのように変化するかを Fig. 6 に示す。

実際の設計ではこれらの要因以外に PZT の耐電界強度やコンプライアンス比による隣接チャンネルへの影響、またインク供給特性を考慮してアクチュエータを含めたチャンネル形状を決めなくてはならない。

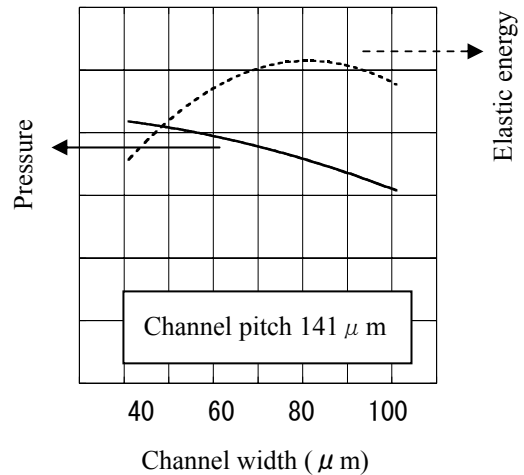


Fig.5 Pressure and elastic energy in channel as a function of channel width

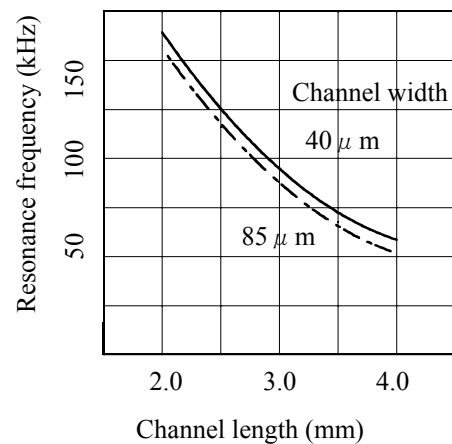


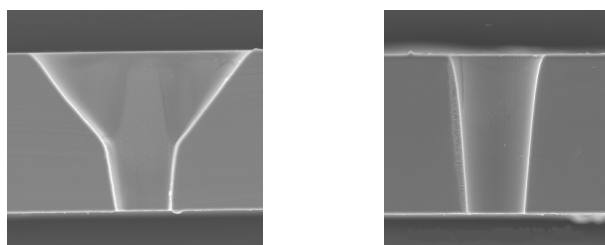
Fig.6 Resonance frequency as a function of channel length

2.4 ノズル形状と効率

ノズル径を小さくすれば液適量も少なくなるが、ノズル内での粘性抵抗やイナータンスが非常に大きくなりエネルギー損失が大きくなる。ノズル長さを短くすると改善されるが、ノズル板の強度が低下し、コンプライアンス増加による圧力の低下や飛翔方向の不安定性が生じる。また、チャンネルの流路インピーダンスとノズルインピーダンスの整合条件によりノズルへのエネルギー伝達率が変化するこ

ともにも注意が必要である。

エネルギー損失を小さくし且つ飛翔方向を安定化するためには Fig. 7 に示す漏斗型ノズル形状が良い特性を示す。このような形状にするとノズル板裏側コーナーのインク流れの淀みが解消されるため、チャンネル内気泡の排出も容易となる。



Funneled nozzle

Tapered nozzle

Fig.7 Photographs (cross-section of nozzle)

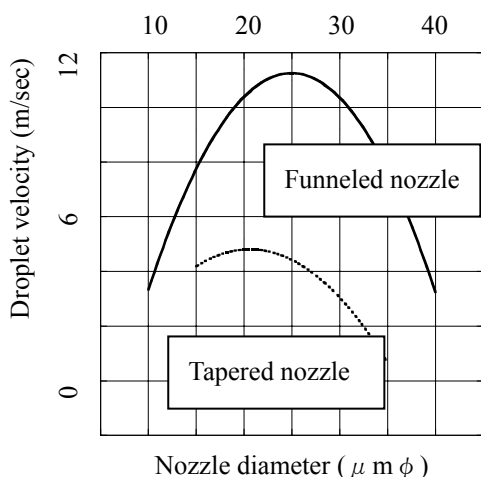


Fig.8 Droplet velocity as a function of nozzle diameter

Fig. 8 はテーパ型ノズルと漏斗型ノズルでノズル径を変えたときの液滴速度を CFD により計算した結果である。液滴速度が最高となるノズル径が存在する。この径はチャンネル形状やインク特性などの要因が異なると変化する。効率は各種要因により変化するが、計算ではノズル形状変更で2倍近くの向上が期待できることがわかった。

3. 考察

シエアモードヘッドの駆動エネルギーは最初 PZT アクチュエータを駆動する電気エネルギーとして与えられ、駆動回路で大部分のエネルギーが消費され、残りの一部がアクチュエータの変位によりチャンネル内インクに弾性エネルギーとして変換される。この弾性エネルギーは圧力波となってチャンネル内を伝播し、定在波を形成する。そして、ノズル

内インクを加圧し液滴を形成し噴射させる。

インク液滴を形成するために必要なエネルギーは表面を形成するために必要なエネルギーと液滴の運動エネルギーであるが、その他にノズル内でのインクの運動によりかなりの割合を消費する。また、液滴噴射後もインクの残留運動が収まるまでエネルギーは消費される。

ヘッドの駆動エネルギーを概算すると、電気入力エネルギー0.45 μJ に対し、チャンネル内インクの弾性エネルギーは6nJ と2桁近く小さく、液滴表面形成エネルギーは0.08 nJ、液滴運動エネルギーは0.22 nJ 程度である。

4. 試作ヘッドの特性

検討の結果を用いて試作したヘッドの特性を Table1 に示す。ヘッド駆動は3サイクルで行い、インクは油性インクを使用した。このヘッドにおける一滴噴射に必要な駆動エネルギーは約0.5 μJ であった。

Table 1 Technical data of the prototype print head

Droplet volume: <u>15pl</u>	Ejection frequency: <u>13kHz</u>
Number of channels: <u>512</u>	Channel pitch: <u>180dpi</u>
Ink: 10cp, 28dyn/cm, 0.83g/cm ³	

5. まとめ

シエアモードヘッドの高効率駆動化を、CFD を用いて検討した結果、ノズル形状の最適化により駆動効率の良いヘッドが開発できた。今後、配線部等の静電容量を減少させることにより更に効率を数倍高くすることが可能である。

シエアモードヘッドはマルチチャンネル化が比較的容易であり、また高効率駆動が可能なことより³⁾、将来の高速・高画質プリンタ用のヘッドとして有望である。

参考文献

- 1) 竹内良夫：“シエアモードインクジェットヘッドの設計”、KONICA TECHNOLOGY REPORT VOL. 15, 31(2002)
- 2) 岩石晃、宮木明彦、川村匠、加藤雅之、三上知久：“粒量可変インクジェットヘッドの設計技術”、Japan Hardcopy 2000
- 3) Alfred Zollner, Peter Moestl：“Improving the performance of a shear-type piezo printhead”、SPIE Vol. 2949, 434(1997)