

インクジェット技術の基礎
～いまさら聞けないインクジェット技術～

Introduction to Ink Jet Printhead Technology

プリントヘッド技術概論

FUJI XEROX Co., Ltd.
富士ゼロックス株式会社

THE DOCUMENT COMPANY
FUJI XEROX

IJ Technology Development Center
IJ技術開発センター

Masahiko FUJII
藤井 雅彦



Introduction to Ink Jet printhead technology
プリントヘッド技術概論

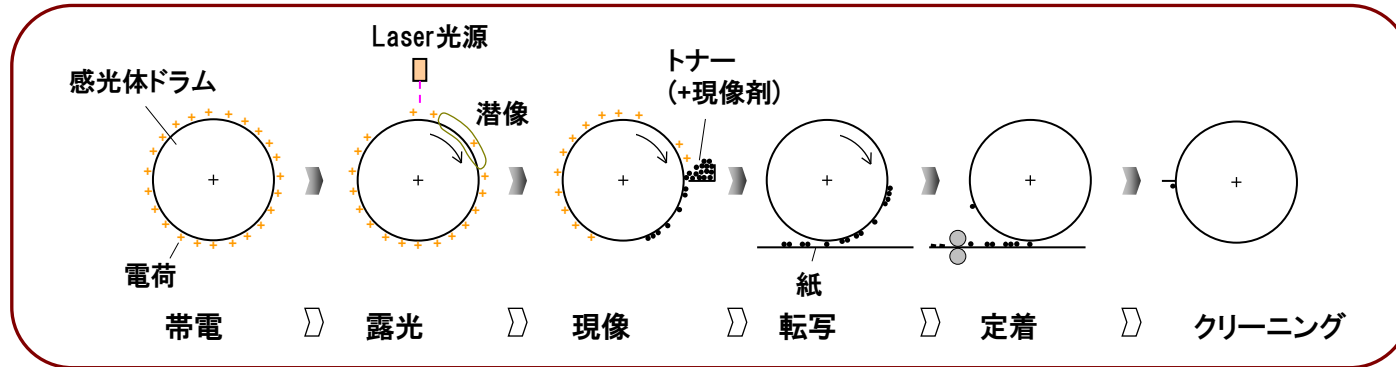
1	はじめに	2
2	インクジェット方式の分類と特徴	6
	2.1 連続噴射型	
	2.2 オンデマンド型	
3	サーマルインクジェット方式とピエゾインクジェット方式	18
	3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド構造と駆動方式	
	3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド構造と駆動方式	
	3.3 プリントヘッドの噴射特性と測定	
	3.4 プリントヘッドの特性変動と故障原因	
	3.5 両方式の比較	
	3.6 プリントヘッドの高性能化	
4	インクジェット技術の研究・開発の歴史	49

1

Introduction
はじめに

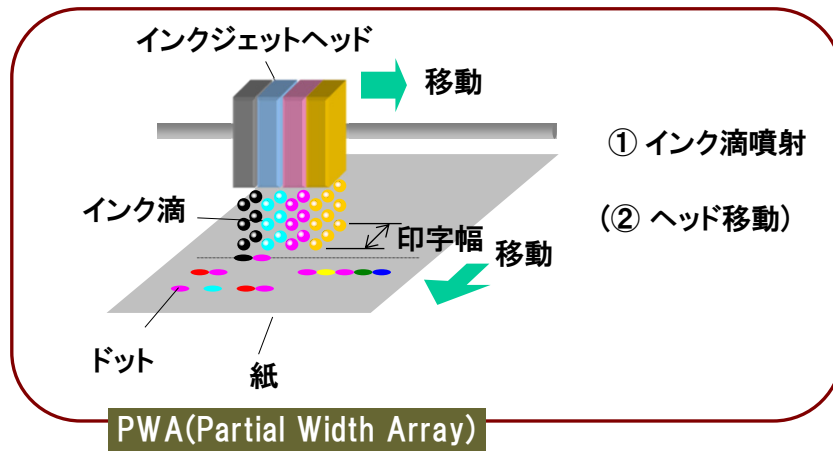
電子写真方式との比較

電子写真方式(Laser)

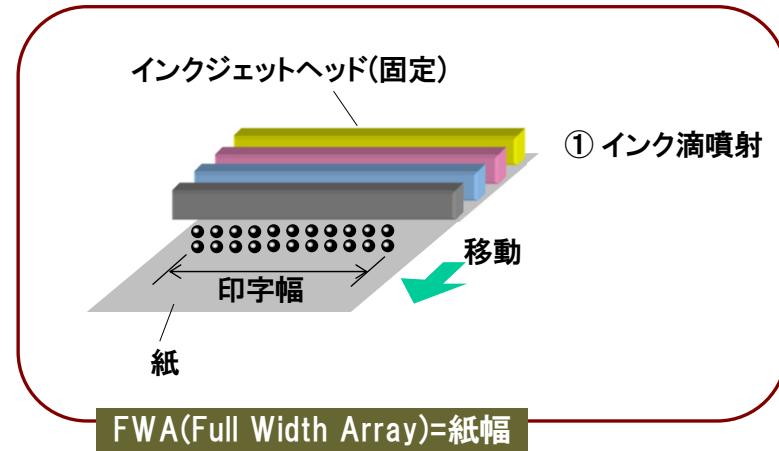


複雑な印字プロセス→大型化, 高コスト, プロセス安定性(再現性)が低い.

Ink Jet方式



シンプルな印字プロセス→小型化, 低コスト化可能.



キャリッジ機構が不要で, さらにプロセスがシンプル. 高速印字が可能.



インクジェットの特徴

Q インクジェット方式の特徴は？

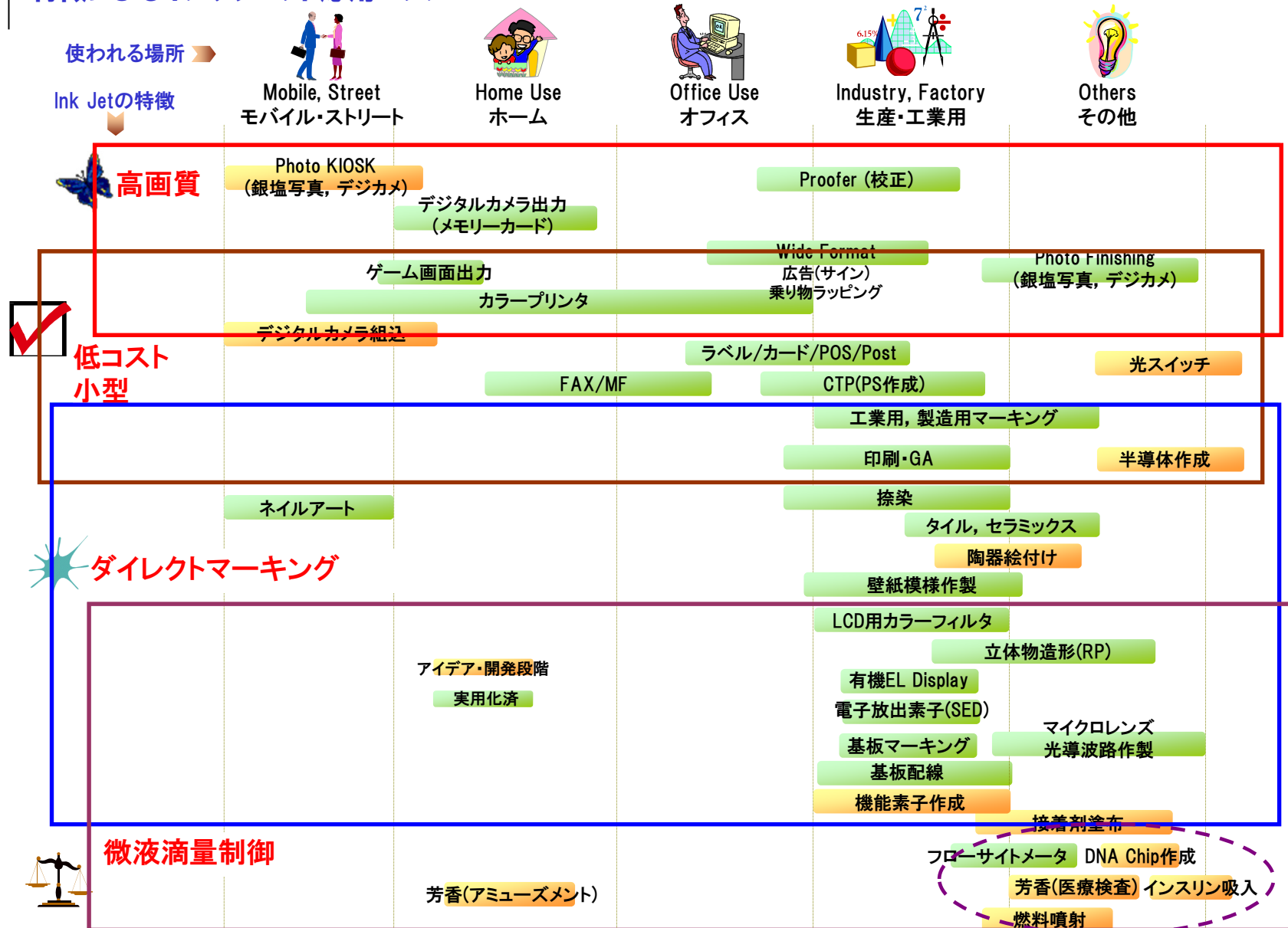
A 記録対象に向けてマーキング剤(インク滴)を直接噴射するので(非接触),

- ① 構成が非常に簡単であり[小型, 低コスト]
- ② 印字対象が広範囲に選べる
- ③ 極微量の液体を制御できる



1 はじめに

特徴によるインクジェット応用マップ



2


Classification and Features of Ink Jet

インクジェット方式の分類と特徴

2 インクジェット方式の分類と特徴

2 インクジェット方式の分類と特徴

インクジェット方式の分類

 既に使われていない方法, 現在開発中の方式も含む.
ここに記載されていない方法も多数あり.

Type of Ink Jet インクジェット方式



● Drop on Demand
オンデマンド型

● Continuous
連続噴射型

● Binary Deflection
2値偏向型

● Multiple Deflection
多値偏向型

● Hertz
ハーツ型

● Heat Deflection
熱偏向型

● Piezoelectric
電気-機械変換型
(ピエゾ方式)

● Valve Type
バルブ型

● Electro-Rheological Fluid Ink Jet
ERFインクジェット

● Thermal Ink Jet
電気-熱変換型
(サーマルインクジェット方式)

● Electrostatic Pull
静電吸引型

● Electrostatic Actuator
静電変位型

● Buckling diaphragm
座屈変位型

● Spark Jet
放電型
(スパークジェット方式)

● Acoustic Ink Jet Printer
音響エネルギー型
(AIP)

● Shear Type
シエア型

● Push Type
プッシュ型

● Bend Type
バンド型

● Squeezed Tube
ゲールド型

● Side Shooter
サイドシューター

● Roof Shooter
ルーフシューター

● Back Shooter
バックシューター

● Mesh Type
メッシュ型

● Direct Heat Type
通電型

● Longitudinal Wave
縦波方式

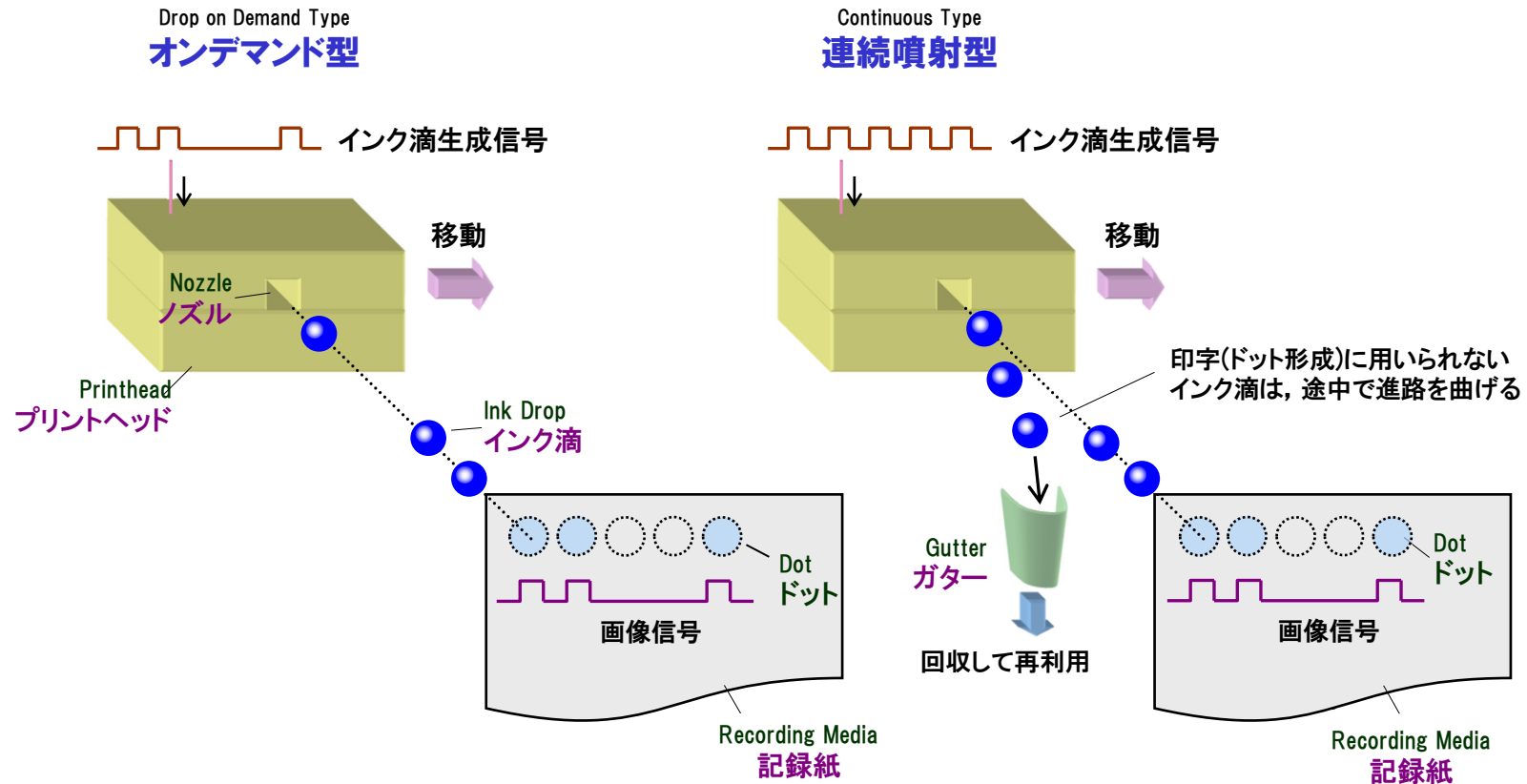
● Transversal Wave
横波(キャピラリー波)方式



2 インクジェット方式の分類と特徴

2 インクジェット方式の分類と特徴

オンデマンド型と連続噴射型



📌 パーソナル市場のインクジェットプリンタは全てオンデマンド型である。

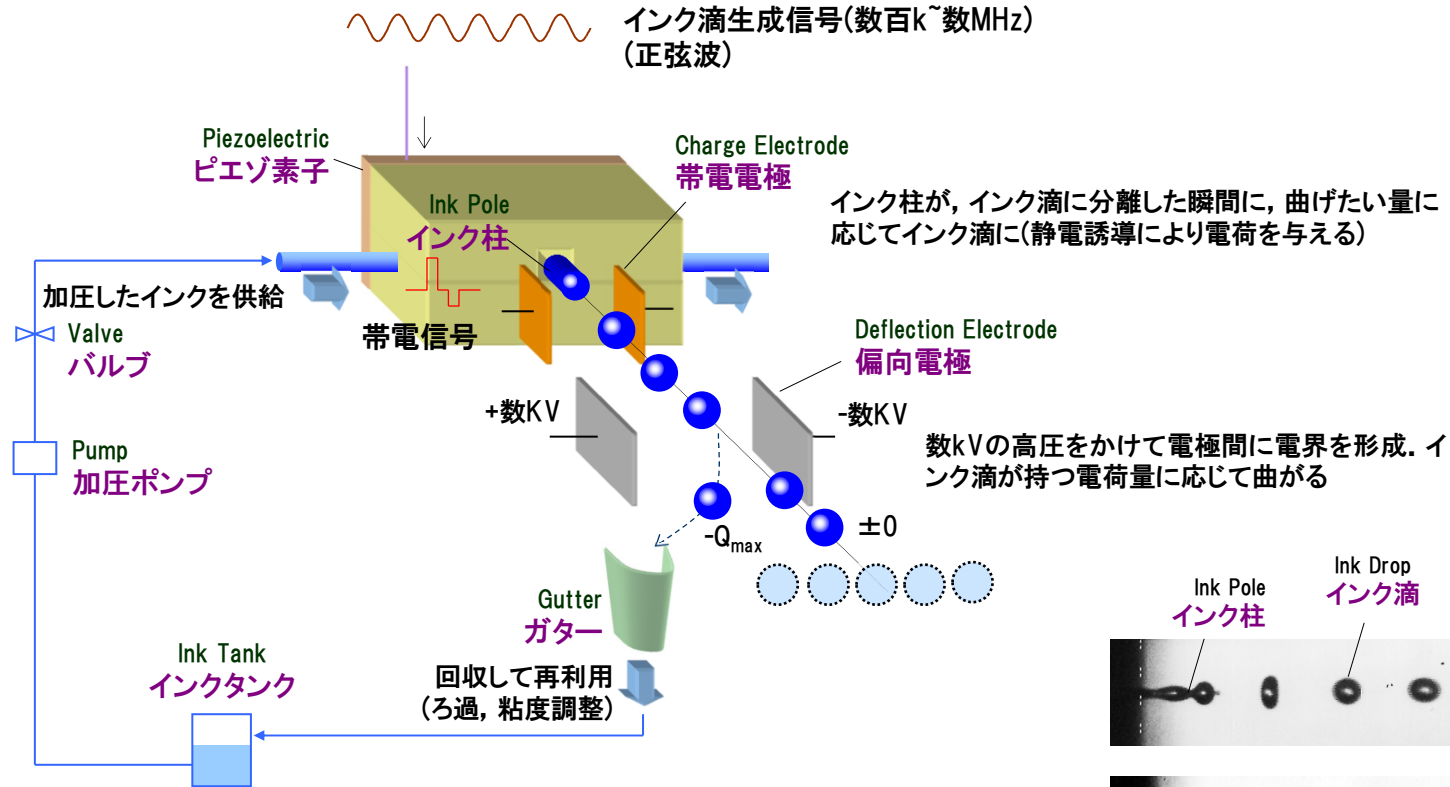
📌 偏向のための機構、インク回収機構が必要で、構成が複雑になり、大型化する。特に多偏向型では、前後滴からの静電力の影響、前滴の空気力学的影響を考慮しなければならず、制御も複雑化する。



2 インクジェット方式の分類と特徴

2.1 連続噴射型

連続噴射型



加圧されたインクがプリントヘッドに供給され、ノズルからインク柱として噴出する(速度:20~50m/s)。ピエゾ素子の振動により、インク柱にくびれが生じ表面張力によってインク滴に分離する。分離したインク滴に、帯電電極で電荷を与える(静電誘導)。電荷を持ったインク滴は、電界が生じた偏向電極内で帯電量に応じて曲がり、紙上の所望の位置へ到達する。

□ 2値偏向

帯電あり/なし制御であり、印字に用いられるインク滴は(帯電されず)直進し、紙に到達する。

□ 多値偏向

帯電電極での帯電量を細かく制御。帯電量により偏向量が変わるので、紙上の所望の位置に到達する。曲がる量は帯電量だけでなく、前後のインク滴の帯電量、順番(空気抵抗)の影響を受け、これを補正するシステムは非常に複雑になる。



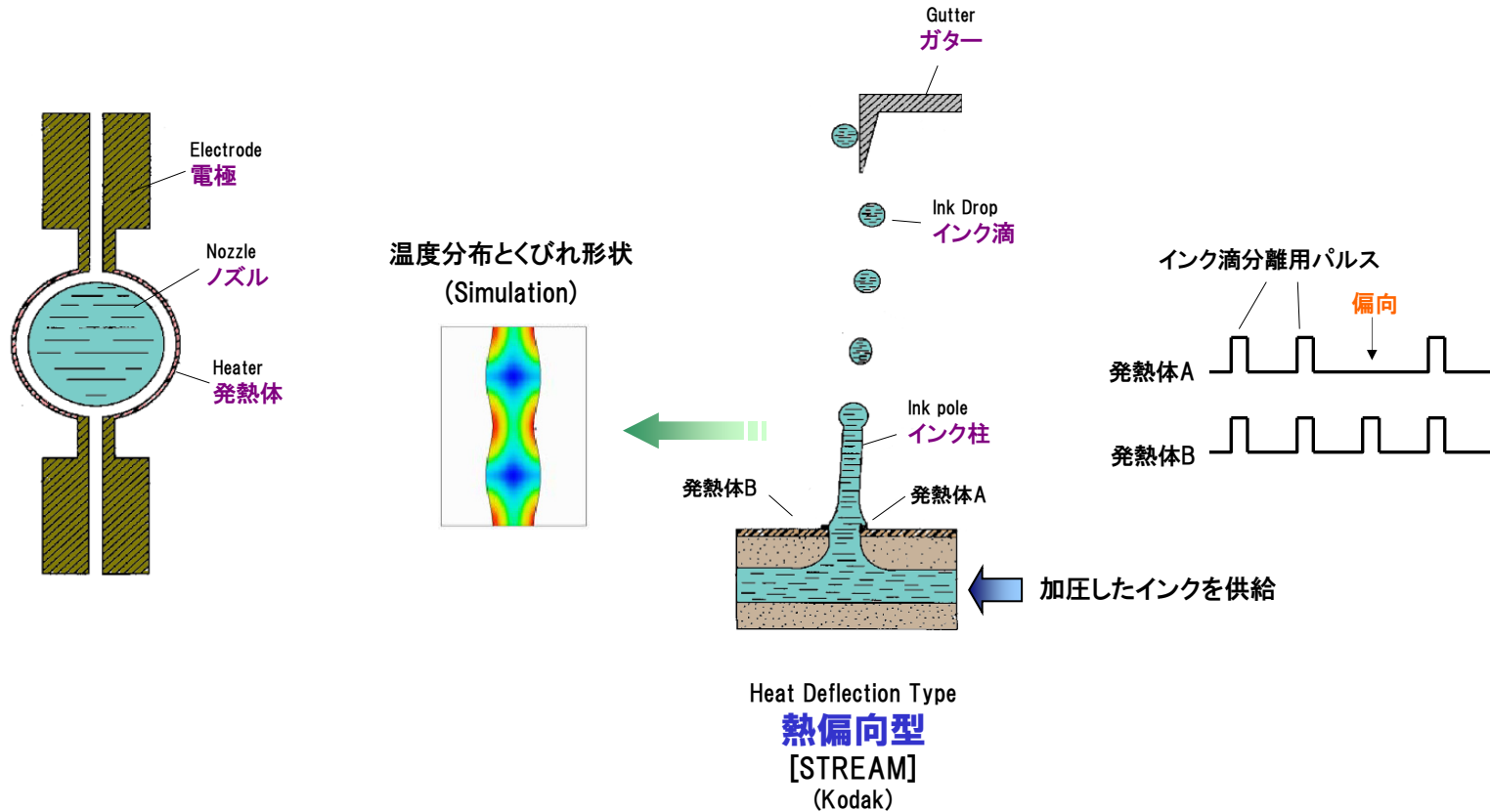
Micro-Dot=Satellite
マイクロドロップ=サテライト



2 インクジェット方式の分類と特徴

2.1 連続噴射型

連続噴射型(熱偏向型)

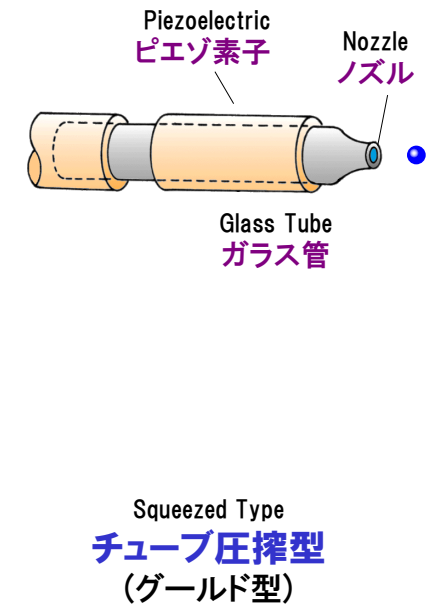
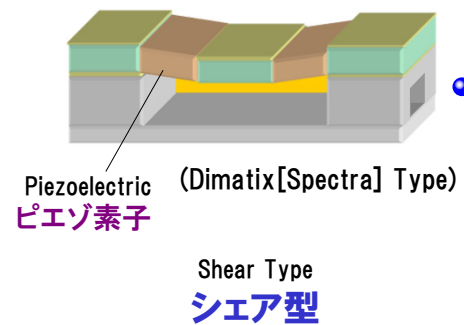
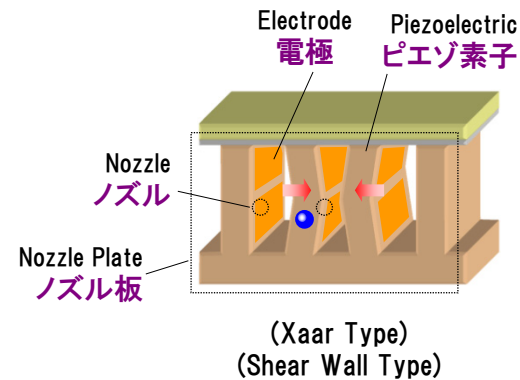
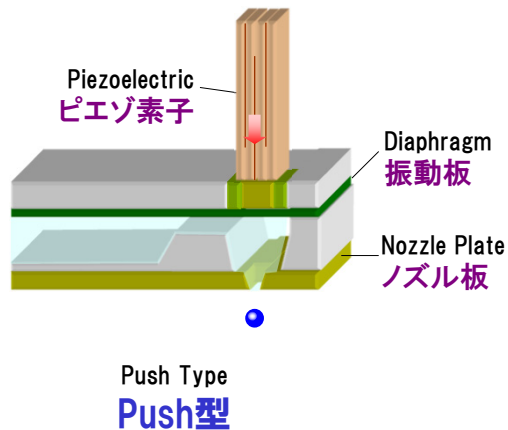
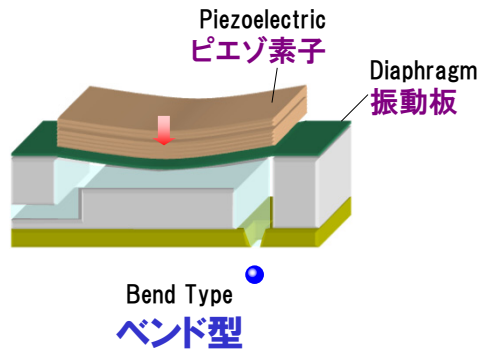



1997年頃から特許出願が始まった。連続噴射型の欠点であった装置の大型化(帯電・偏向手段), ノズルの低解像度改善, 非導電インク(油性インクの使用)を可能にする方式として注目している。

2 インクジェット方式の分類と特徴

2.2 オンデマンド型

ピエゾインクジェット方式



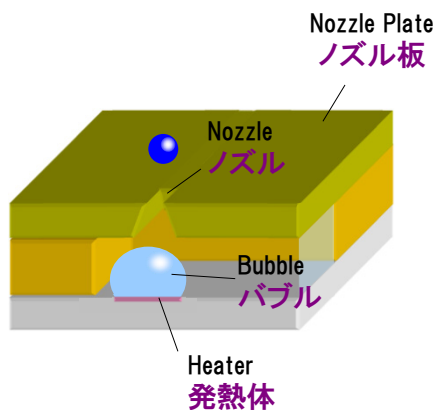
 比較的大面積のピエゾアクチュエーターが必要なため、インラインでの高密度化は難しい。マトリクス配列や千鳥配列により、解像度を高める工夫が見られる。グールド型は、過去、例えばキヤノンが製品化したが、現在はほとんど見られない。



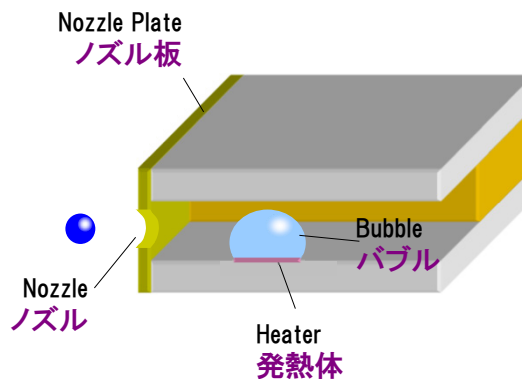
2 インクジェット方式の分類と特徴

2.2 オンデマンド型

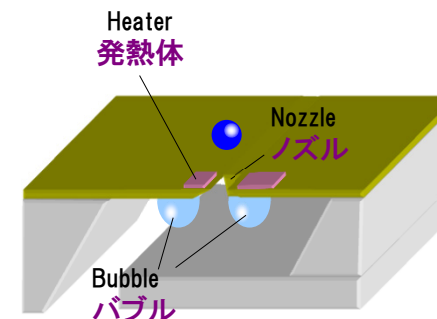
サーマルインクジェット方式



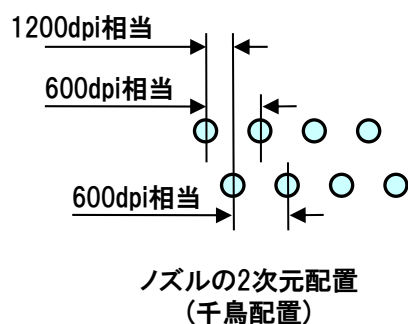
(A)
Roof Shooter
ルーフシューター
(HP, Lexmark, Canon, SONY)



(B)
Side Shooter
サイドシューター
(Xerox, Canon)



(C)
Back Shooter
バックシューター



✎ プリントヘッドの大部分を、半導体プロセス、マイクロマシンングで作製できるので、(他の方式に比べ)低コスト化、高解像度化に優れている。
サイドシューター、ルーフシューターの呼び方は、下表のようにメーカーにより異なるので注意が必要。

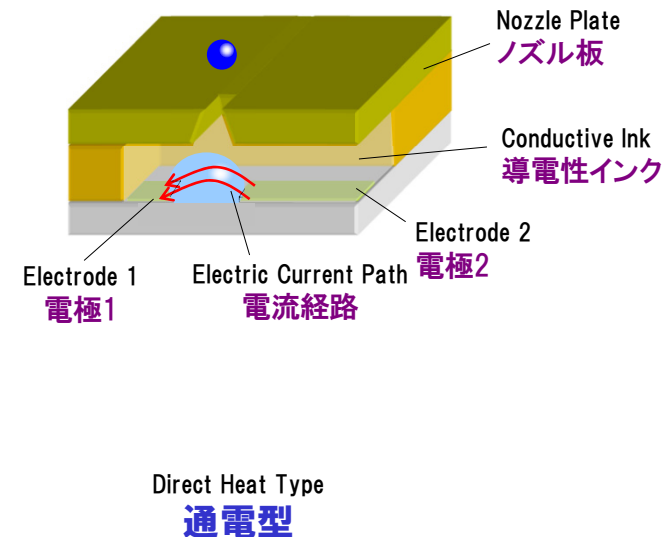
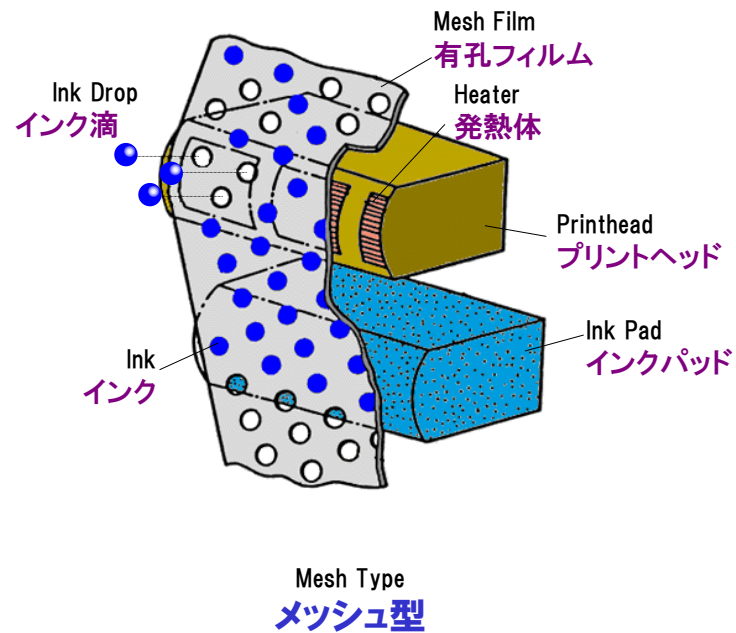
	A	B
呼び方1	ルーフシューター	サイドシューター
呼び方2	サイドシューター	エッジシューター
呼び方3	トップシューター	サイドシューター





2 インクジェット方式の分類と特徴

2.2 オンデマンド型

サーマルインクジェット方式



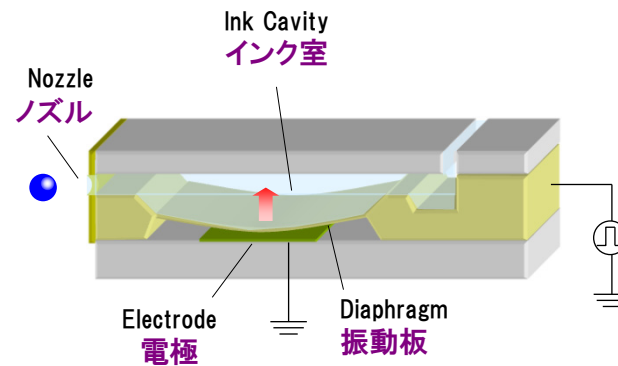
 1983年にエルム社から出願された方式で、その後1991~1992年にかけて各社から関連特許の出願が相次いだ。現在研究・開発を進めている会社はない模様。

 発熱体による加熱ではないので、コゲーションが生じない、キャビテーションダメージがないなどのメリットをうたっている。


2 インクジェット方式の分類と特徴

2.2 オンデマンド型

その他オンデマンド型



Electrostatic Actuator Ink Jet
静電変位型インクジェット

-  MEMS技術を多用してアクチュエータ、流路を作成できる。
EPSONがPOS用プリンタとして製品化。(SEAJet*)
ピエゾ方式に比べメニスカスの細かな制御が難しいので、インク滴の微細化はやや遅れている(現状8pl程度)

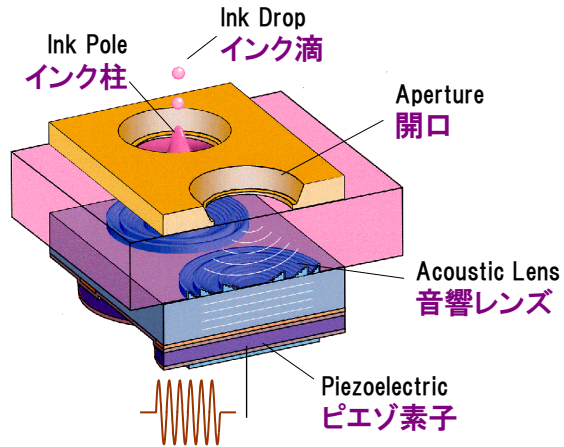
* SEAJetはセイコーエプソンの登録商標です。



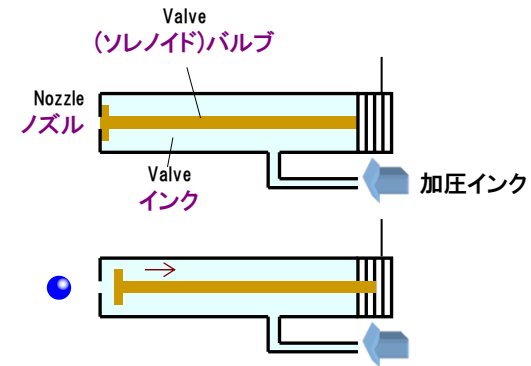
2 インクジェット方式の分類と特徴

2.2 オンデマンド型

その他オンデマンド型



Acoustic Ink Jet Printer : AIP
音響エネルギー型

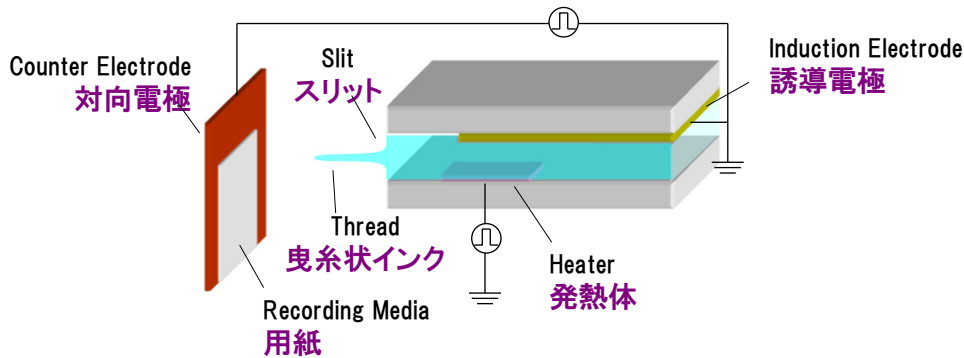


Valve Type
バルブ型

2 インクジェット方式の分類と特徴

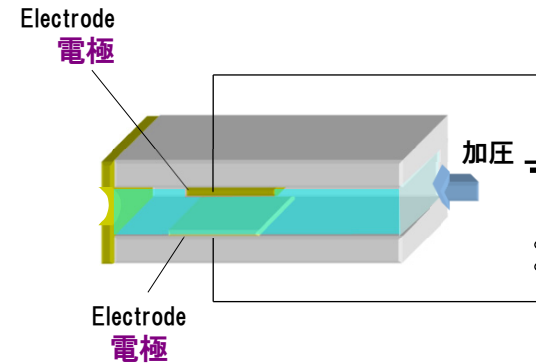
2.2 オンデマンド型

その他オンデマンド型

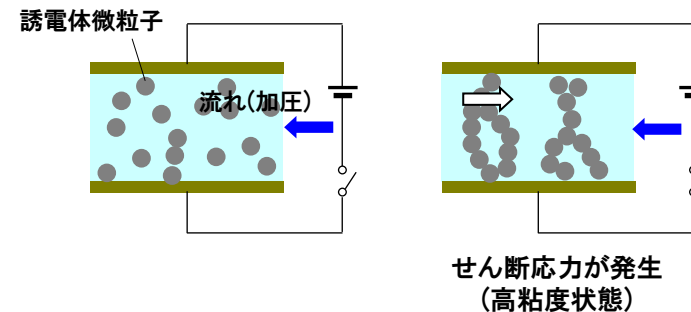


Electrostatic Pull Ink Jet
静電吸引型インクジェット
(図はサーマルスリットジェット)

📌 サーマルスリットジェットは、ノズルではなくスリットになっており、印字するピットの発熱体を駆動し(バブルは発生させない)、その部分のインクを温めて粘度を下げ(ちぎれやすくして)紙に到達させる。
その他、Headから紙方向に空気流を生じさせ、インクの飛翔をアシストする方式(松下)や、電界のON/OFFだけで吸引する方式もある。



Electro-Rheological Fluid Ink Jet
ERFインクジェット



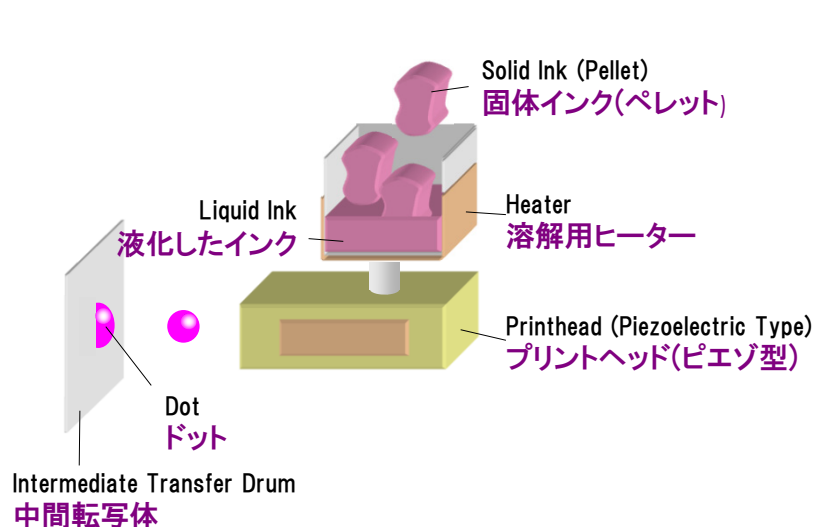
📌 電場をかけておくと、発生するせん断応力により流体は動かないが、噴射するときのみ、電場を切る。




2 インクジェット方式の分類と特徴

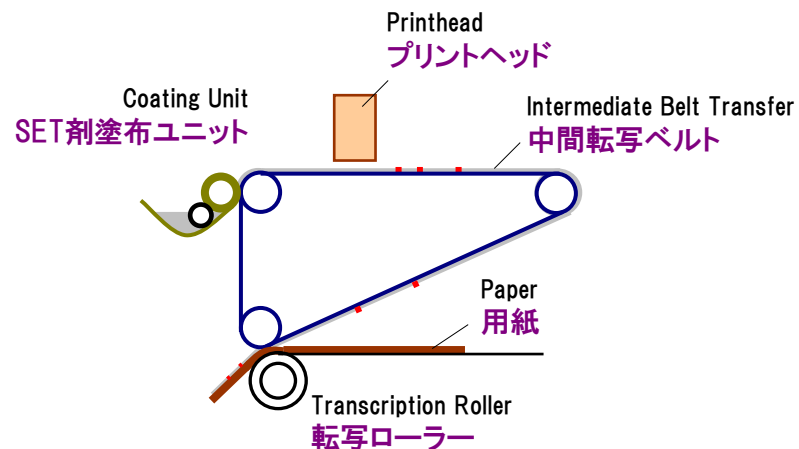
2.2 オンデマンド型

ユニークマーキングプロセス (普通紙画質向上)




Solid Ink Jet (Hot Melt, Phase Change Ink Jet)
ソリッドインクジェット: SIJ

 紙に付着後すぐに固化するので、普通紙でもにじみが少ない。Phaser Jet(Xerox)がこの方式。



SC(Chemical Set) Process
CSプロセス

 中間転写ベルトに、吸水性粉体(高吸水性ポリアクリル酸)を塗布する。粉体に打ち込まれたインクは瞬時に高粘度化するため、普通紙上のにじみを防止することができる。

中間体の使用は、シンプルなインクジェットプロセスを複雑化し、大型化を招くが、(用紙の浮き上がりの影響が排除でき)高画質化、信頼性向上へ寄与する



3

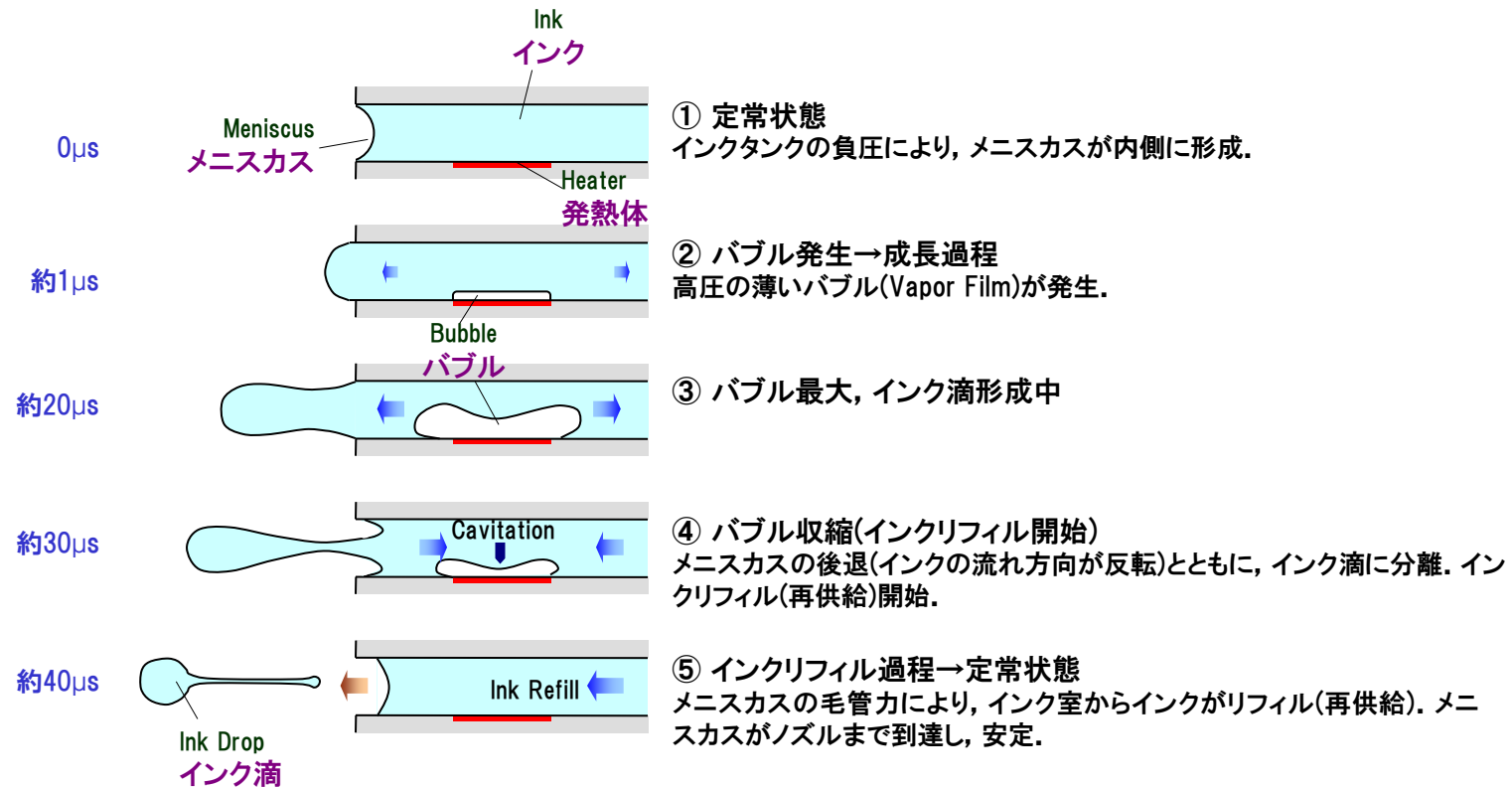
Thermal Ink Jet and Piezo Ink Jet

サーマルインクジェット方式とピエゾインクジェット方式

- 3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド構造と駆動方式
- 3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド構造と駆動方式
- 3.3 プリントヘッドの噴射特性と測定
- 3.4 プリントヘッドの特性変動と故障原因
- 3.5 両方式の比較
- 3.6 プリントヘッドの高性能化

3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

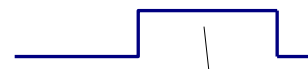
サーマルインクジェットの噴射原理



3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

駆動パルス波形

Single Pulse Drive
シングルパルス駆動



Main Pulse
メインパルス

インク滴を吐出するためのバブルを発生させる

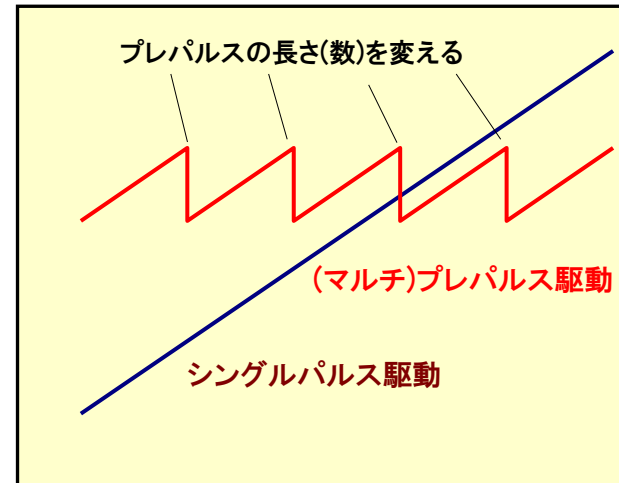
(Multi) Pre-Pulse Drive
(マルチ)プレパルス駆動
(Pre-Heat Drive)
(プレヒート駆動)



Pre-Pulse
プレパルス

バブルを発生させない程度の長さの
パルスで、発熱体周囲のインクを温める

インク滴体積
インク滴速度



インク温度(プリントヘッド温度)

環境温度の変化, 印字によるプリントヘッド温度変化

吐出されるインク滴の特性(体積, 速度)が変化し, 画像(濃度等)が変化

プレパルスの長さ(数)を温度により切り替える

温度変化によらず安定した噴射特性が得られる。

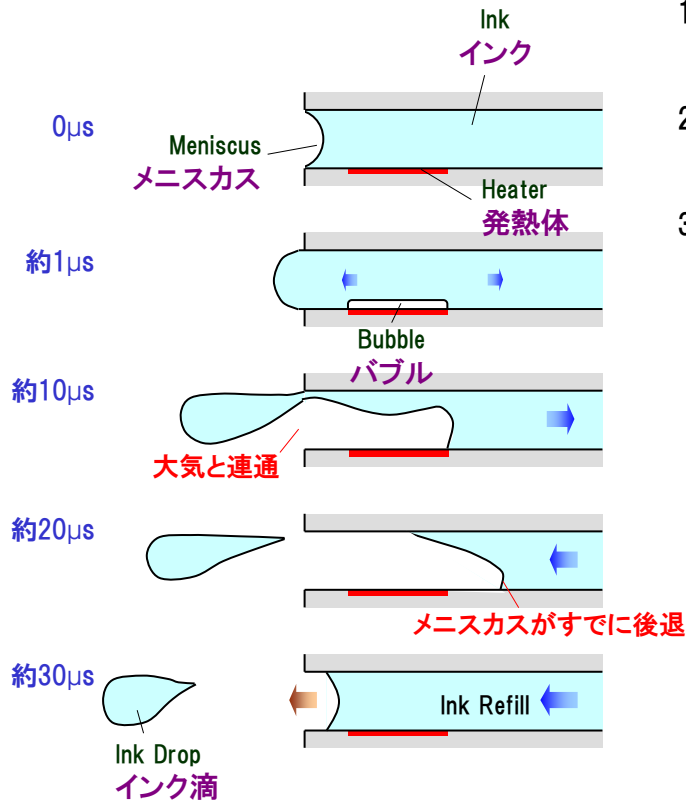
低温環境では, インク滴の吐出力が高くてできるので, 目詰まり回復力が強くなる

メインパルスによりバブルが発生し, 断熱状態になる前に発熱体から離れた場所に存在するインクまで熱を伝播させることができ, 過熱領域としてバブルの発生・成長に寄与できる。



3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

大気連通方式



バブルと大気が連通

1. 温度によって噴射インク滴量の変化がなくなる→Pre Heat制御が不要になる。
2. バブルの消滅がない→Cavitationによる発熱体へのダメージがない→プリントヘッドの寿命が長くなる。
3. 発熱体をノズルに近づけることができるので、噴射に要するエネルギーを低減できる。

左図はサイドシューターで説明しているが、CanonのMFDT*はルーフシューター。

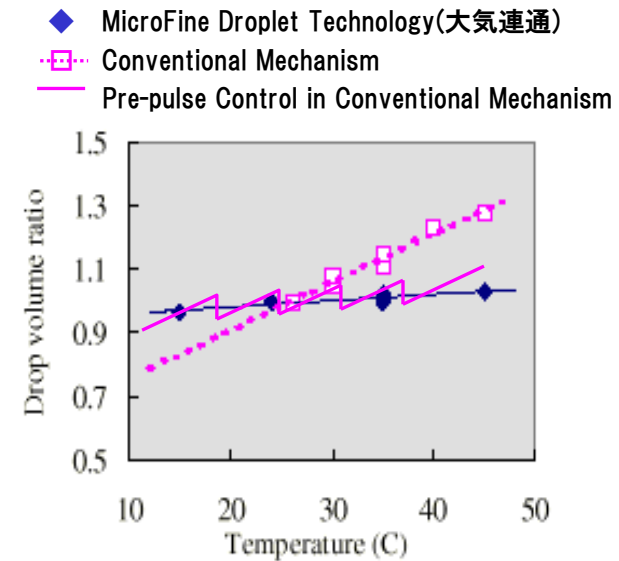


図. 噴射インク滴量の温度依存性

* MFDT: MicroFine Droplet Technologyはキヤノンの登録商標です



3 インクジェットプリントヘッド技術

3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

プリントヘッド基本構成

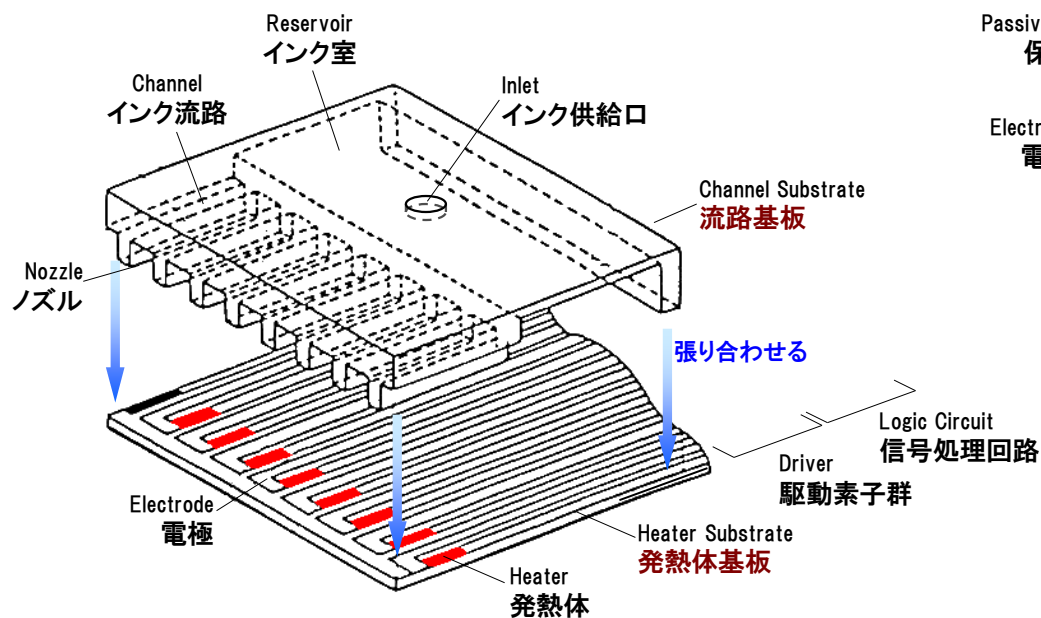


図. Thermal Ink Jet printheadの概略構成図
(サイドシューター)

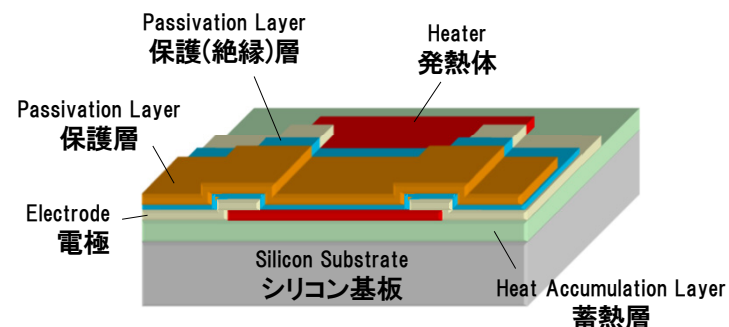


図. 発熱体基板の概略構成図

- 保護層 キャビテーションダメージ、インクの腐食を防止：Ta
- 保護層 絶縁層：P-SiO₂, SiNなど
- 発熱体 電気(電流)信号により発熱する TaAl, HfB₂, TaN, poly-Siなど
- 電極
- 蓄熱層 発熱体で発生した熱を効率良くインク側へ逃がす：SiO₂, BPSGなど
- Si基板 駆動回路、駆動素子を半導体プロセスで作製するため、Siが用いられる

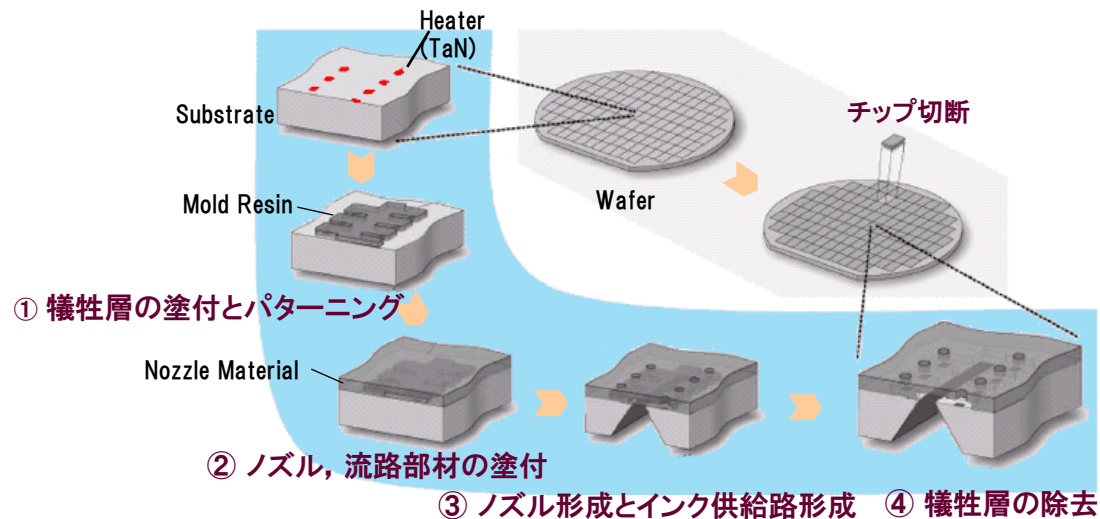
両者の接合に接着剤を用いない、熱による各層のはがれ、破壊が起きないことが長尺化に必要。

3 インクジェットプリントヘッド技術

3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

フォトリソによるプリントヘッド作成

ノズル解像度: 600dpi (2列千鳥配置で1200dpi), 最小インク滴量: 1pl
フォトリソ + ODE (Orientation Dependent Etching)



- ① 犠牲層(溶解可能な感光性樹脂層, 例えばレジスト)をコーティング, 流路形状にパターンニング
- ② ノズル, 流路構成部材(例えばエポキシ系カチオン重合硬化物)をコーティング
- ③ フォトリソによりノズル形成, ODEによりインク供給路形成
- ④ 犠牲層(溶解可能樹脂)を除去

図. プリントヘッドの作製

発熱体基板と流路/ノズル形成部材の接合に接着剤不要



3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

MEMS技術によるプリントヘッド作成

ノズル解像度:800dpi (In-line), 印字幅:1インチ
ICP-RIE (Inductively-Coupled Plasma-Reactive Ion Etching)
+ ODE(Orientation Dependent Etching)

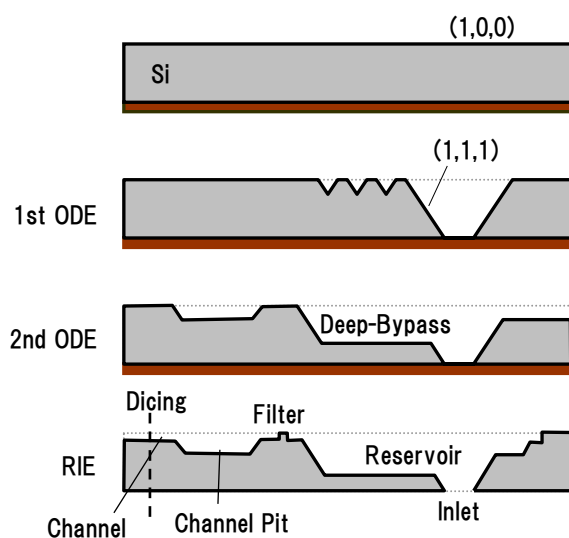


図. プリントヘッドの作製

深く時間がかかるプロセスはODEで、浅く形状の自由度が求められるプロセスはRIEで形成。
Wafer面内の均一性(形状, 寸法)が高い。
In-lineで1600dpiも作製可能。
流路入り口近傍にフィルタを設置。

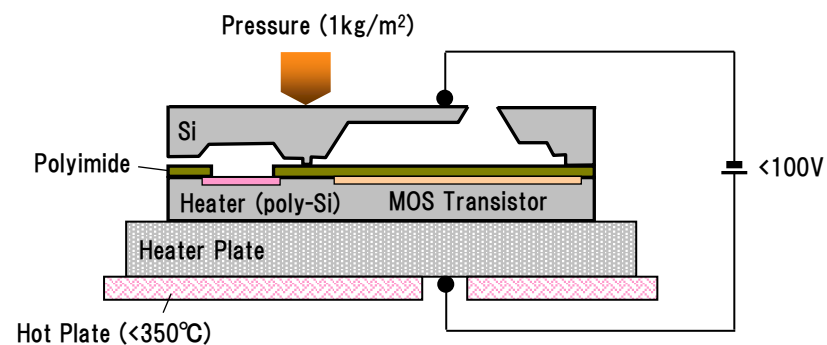
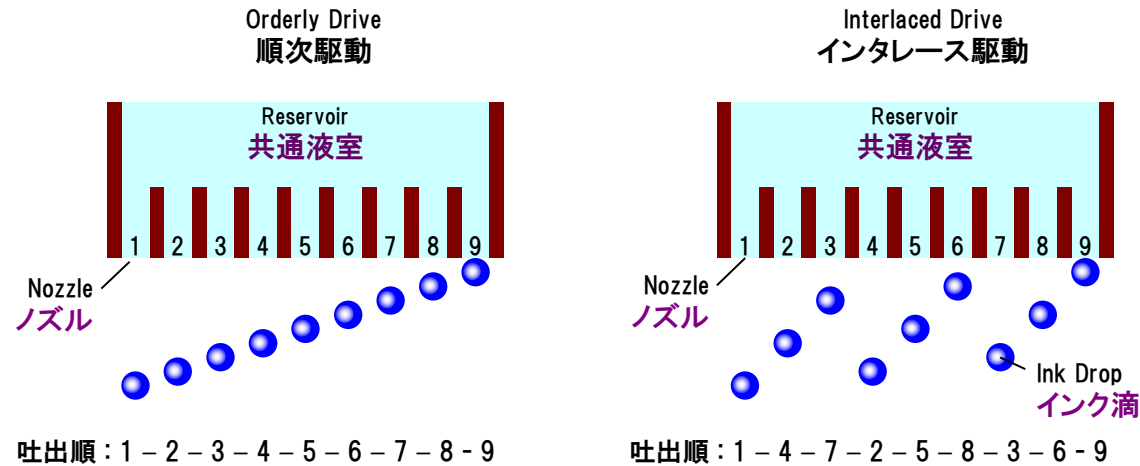


図. 基板同士の直接接合



3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

複数の発熱体の駆動順



5番目のノズルに着目すると⇒

次のタイミングで噴射されるのは	-----	隣(6番)	-----	3つ先(8番)
隣のノズルが噴射されるのは	-----	すぐ前, すぐ次	-----	3つ前, 3つ後



インタレース駆動の設計と効果

次のタイミングで噴射するノズルとの空間的間隔を開ける(空間的隔離). 流体クロストークの防止
隣接するノズルとの時間的間隔を開ける(時間的隔離). 圧力伝播クロストークの防止.

欠点は直線性が損なわれる. ノズルが2次元的に配置できるルーフシューターでは, ノズル配置を(ずれを補正するよう)ずらして, 直線性を確保している.

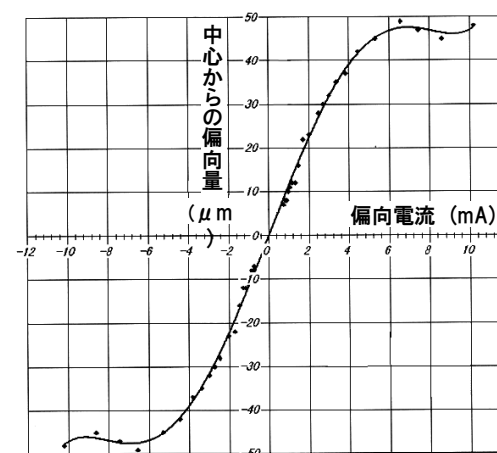
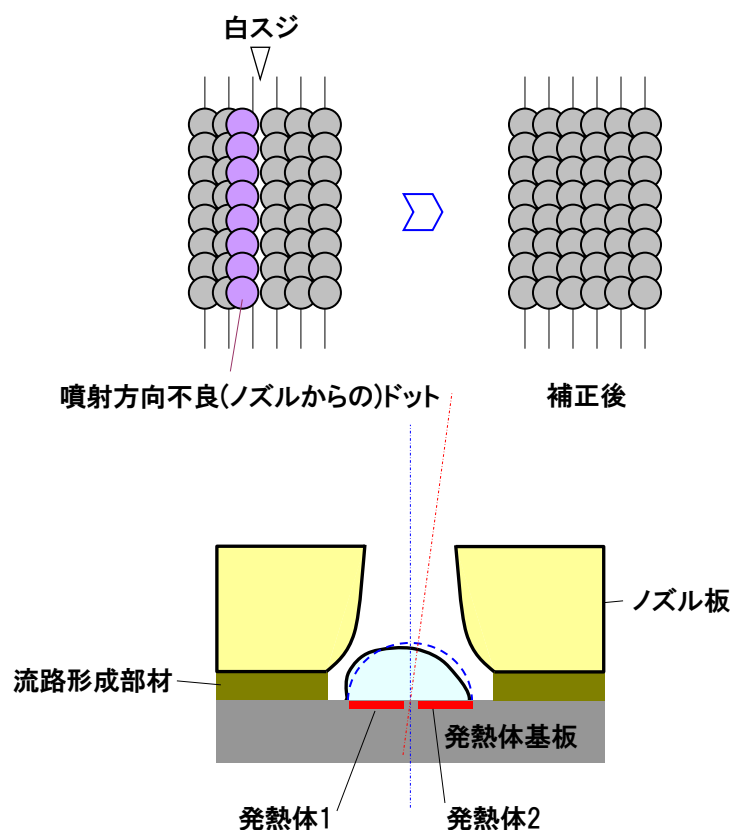
3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

偏向制御

- ・2つの発熱体のバブル発生・成長状態(バランス)を制御することで、インク滴の噴射方向を制御。(SONYのFWAプリンタに搭載:LDショット*)

バランス:バブルサイズ(電流, 電圧, パルス幅等), 発生・成長タイミング(パルス印加タイミング等)

- ・製造不良やその他要因による噴射方向性不良を補正→特に分割印字(5章参照)が困難な紙幅(FWA)ヘッドプリンタにおけるスジ除去に有効。



偏向電流と偏向量
(ノズル-紙距離:2mm)

✎ 偏向できる角度は、ノズル径/ノズル-発熱体距離にも影響を受け、比が0.5では偏向しない。またノズル形状(テーパ状)にも影響する。

* LDショットはソニーの登録商標です



3.1 サーマルインクジェットプリントヘッド

インク滴量とノズルサイズ, エネルギー損失

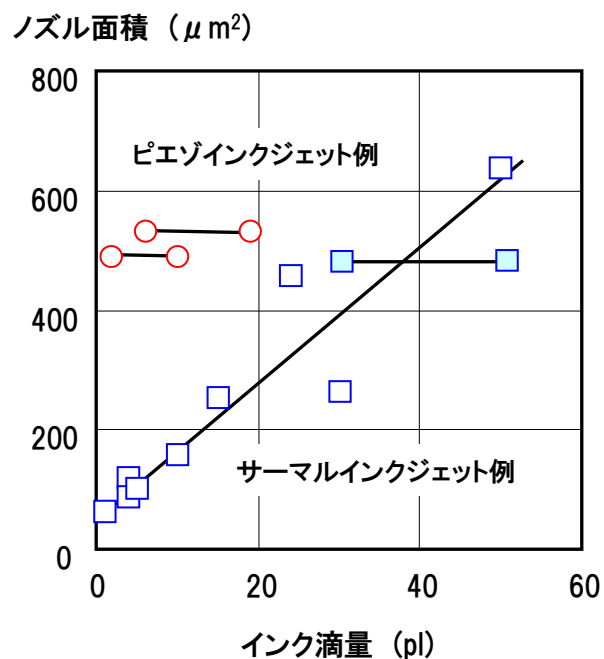


図. インク滴量とノズル面積

- (1) 電極や駆動素子における電氣的損失(電圧降下)
- (2) 発熱体周囲での熱伝導
- (3) バブル発生(インクへの熱伝導)
- (4) インク流路における圧力伝播
- (5) ノズルにおけるメニスカスの表面張力

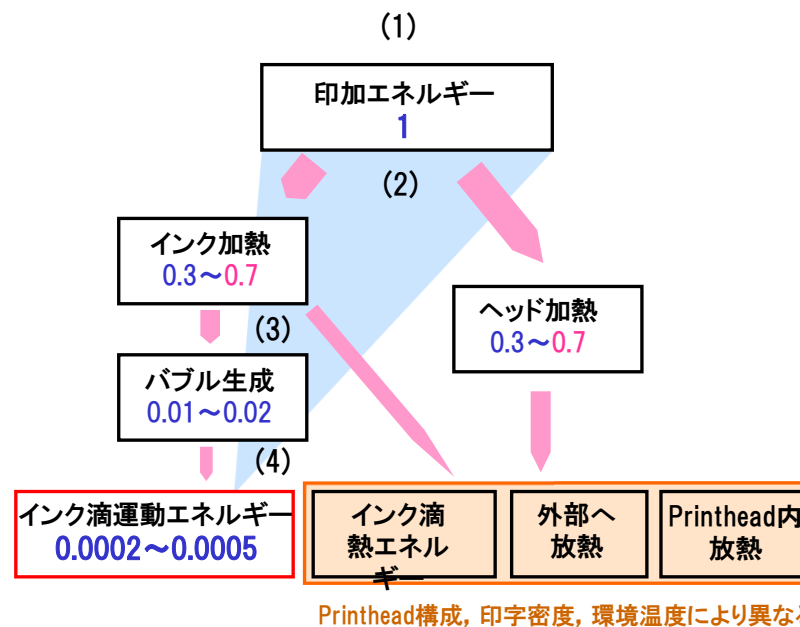


図. サーマルインクジェットプリントヘッドにおけるエネルギー損失

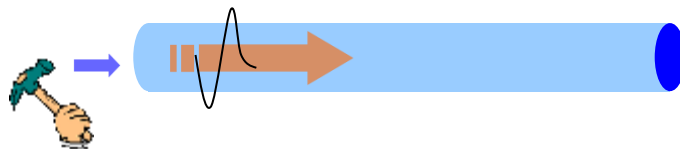
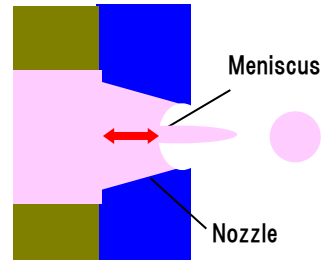


3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド

■ ピエゾインクジェットの噴射原理

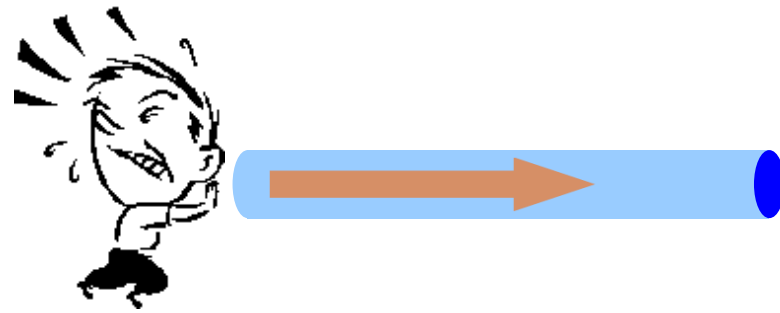
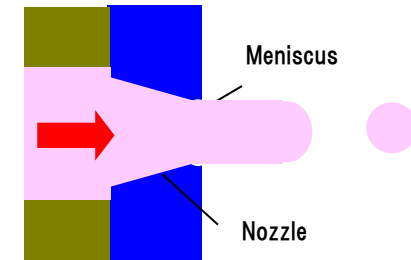
■ ピエゾインクジェットの噴射

圧力波が音速で伝播しメニスカスを振動することによりインクを噴射
(圧縮モデル)



■ サーマルインクジェットの噴射

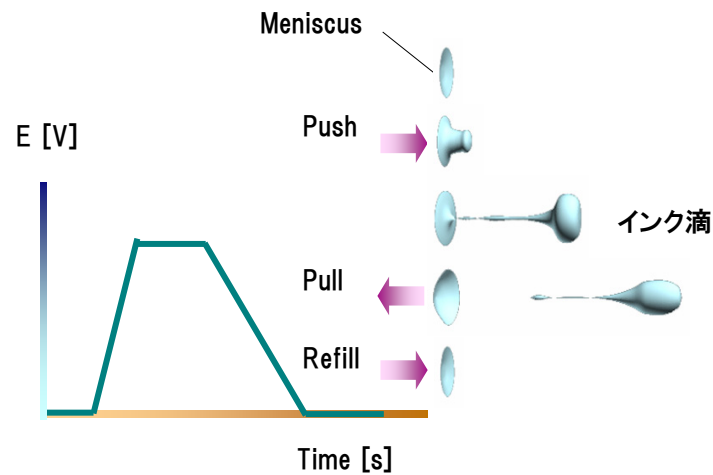
体積変化でインクを押し出すことによりインクを噴射。
(非圧縮モデル)



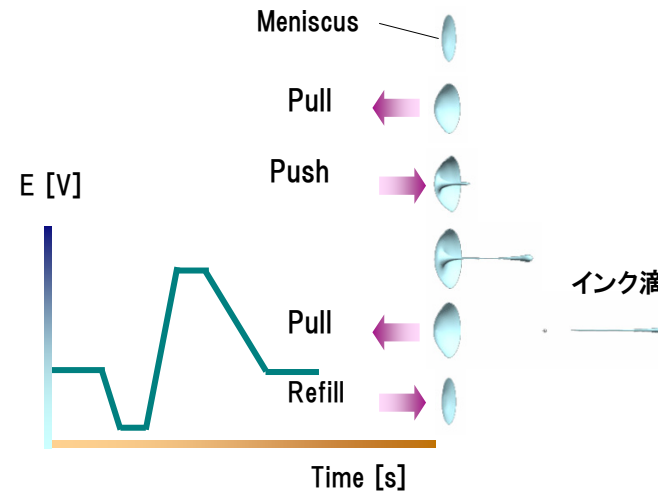
3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド

駆動波形

□ Conventional



□ Pull-Push-Pull駆動



最初のPullによってメニスカスを引き込み、位置を揃える。
次のPushでink滴を噴射。最後のPullはメニスカス振動を抑制する。

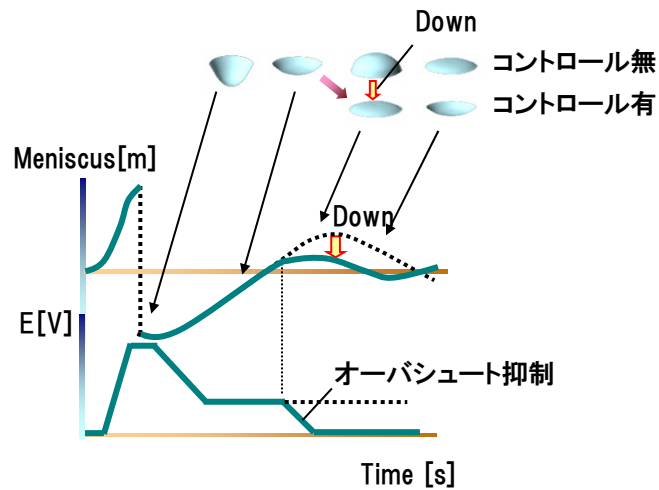
より小さなインク滴を噴射するため、急激に最初のpullを行なう場合、DPE(Drastic Pull Ejection meniscus Control)と呼ばれる。



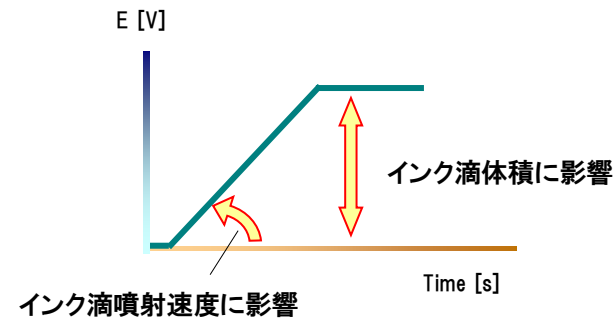
3 インクジェットプリントヘッド技術

3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド

駆動波形



メニスカスのオーバーシュートを抑制することで(早く安定化させる), 駆動周波数を向上させることができる。



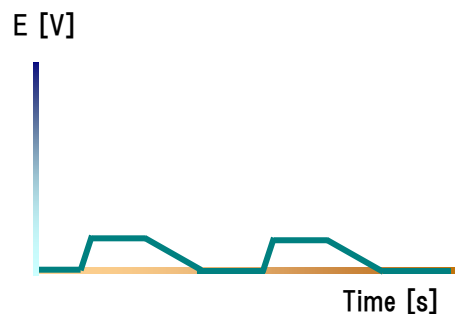
小インク滴と、中インク滴を噴射する駆動波形を足し合わせて大インク滴を噴射することも行なわれている。



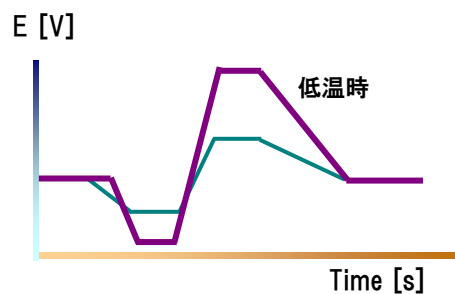
3 インクジェットプリントヘッド技術

3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド

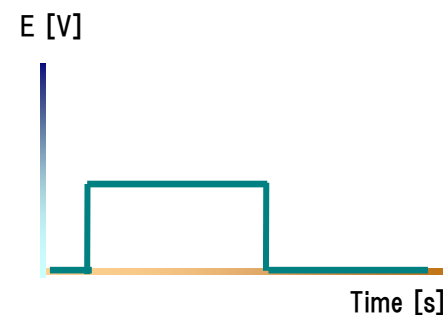
駆動波形



インク滴が噴射されない程度にメニスカスを振動させ、(ノズル近傍の)インク増粘度を防止する。
(Quivering Meniscus Control)



温度変化(粘度変化)による噴射インク滴量, 速度変化を補正するため, 温度を検出し駆動波形を変更する。

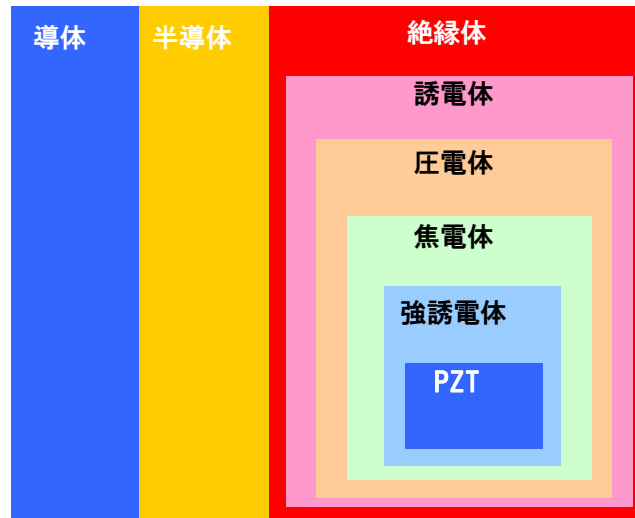


矩形波駆動をするピエゾインクジェットプリンタもある。駆動回路の低コスト化が可能だが、メニスカス制御ができないため、噴射インク滴サイズの微小化が難しい。




3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド

ピエゾの分極を分極処理

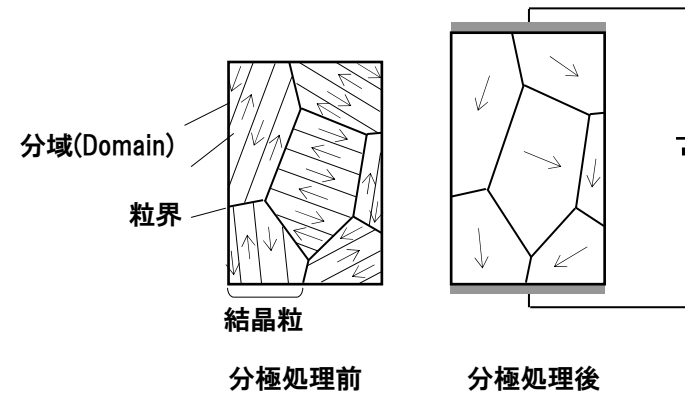
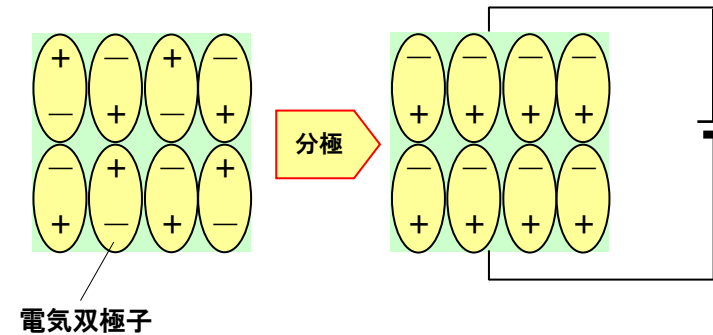



広く使用されている圧電体

- ①チタン酸ジルコン酸鉛:Pb(Zi,Ti)O₃ (PZT)
- ②チタン酸バリウム:BaTiO₃ (鉛フリー, 変位量が小さい)

 RoHS指令では、鉛フリーについて、代替材料のない電子セラミックス部品の中の鉛は、除外されている。

物質・材料研究機構材料研究所から、鉛フリーで、しかもPZTの40倍の歪を発生させることができる新圧電材料(原理)の発表があった。



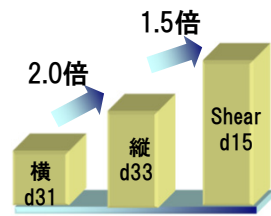
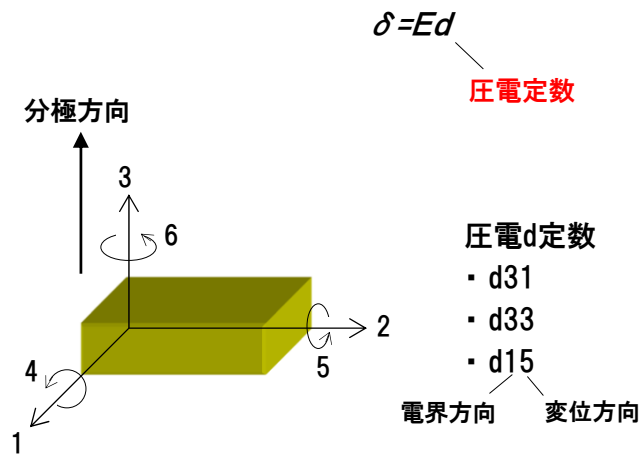
 圧電セラミックスは、予め圧電特性をもたせるため、直流電界を加えて電気双極子の向きをそろえる処理(分極処理、電界ポーリング等と呼ばれている)を行ってから使用する

3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド

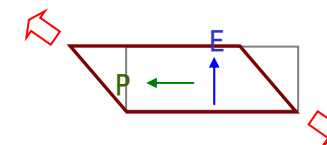
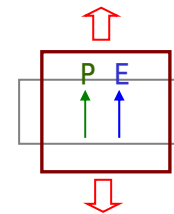
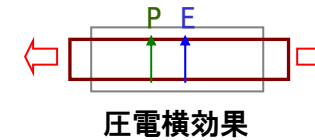
ピエゾ作成法と圧電定数

- ・グリーンシート法
- ・(スクリーン)印刷法
- ・スパッタ法
- ・AD法
- ・ゾルゲル法(CSD法)
- ・水膜法
- ・ガスデポジション法
- ・CVD法
- ・引き上げ法
- ...etc

歪み量[δ]は電界[E]の大きさに比例する。この時の定数を圧電定数またはd定数と呼ぶ。



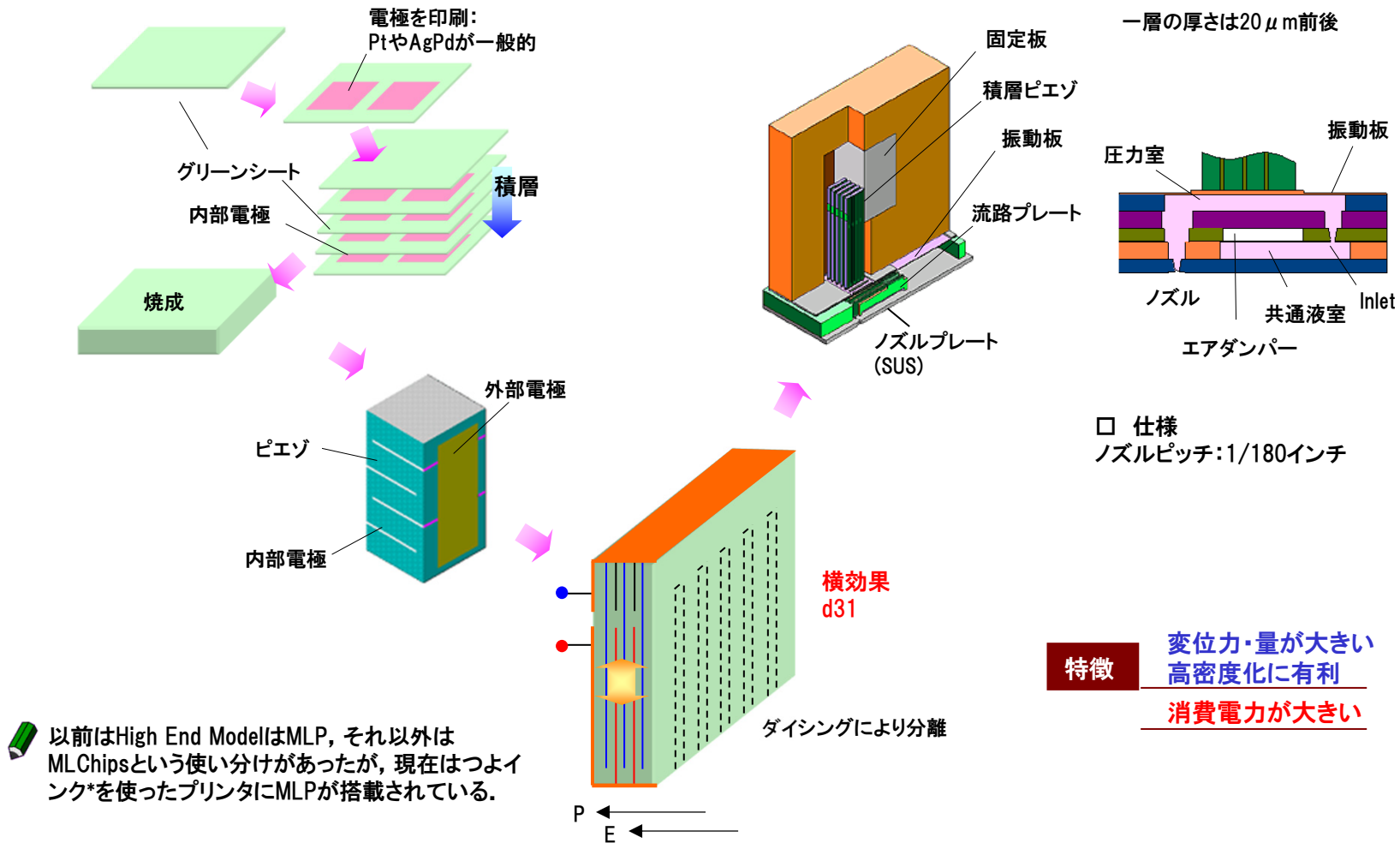
圧電定数の比較



3 インクジェットプリントヘッド技術

3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド

積層型1 (MLP*)



以前はHigh End ModelはMLP, それ以外はMLChipsという使い分けがあったが、現在はつよインク*を使ったプリンタにMLPが搭載されている。

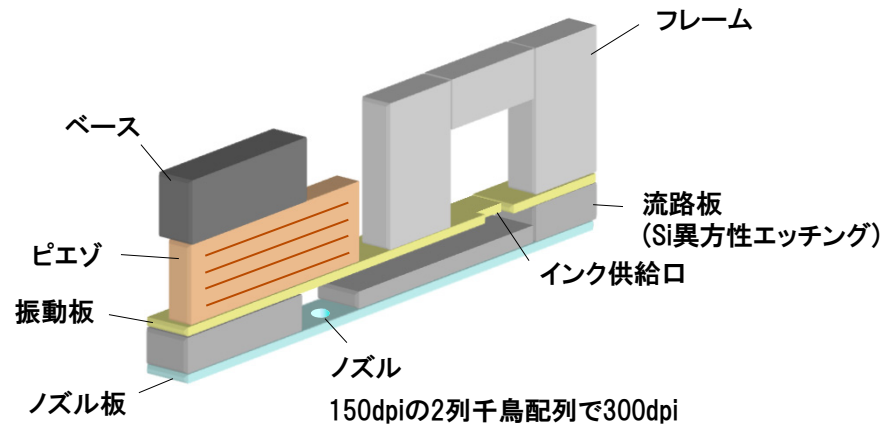
*MLP (Multi Layer Piezo), つよインクはセイコーエプソンの登録商標です



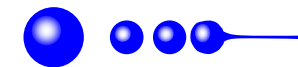
3 インクジェットプリントヘッド技術

3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド：プリントヘッド構造

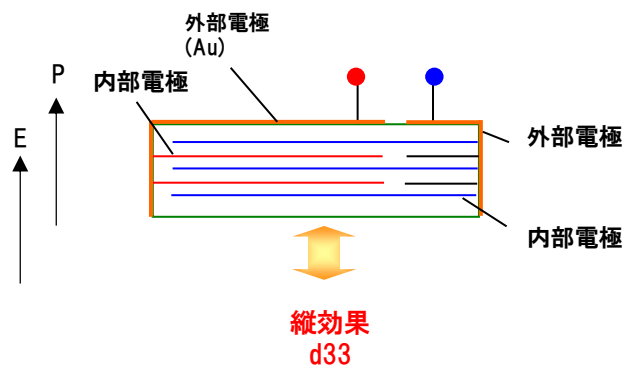
積層型2



ドロップ径変調方法 (M-Dot*)



連続してインク滴を噴射し、空中で合体させる
(後滴の速度を速め、前の滴に合体させる)



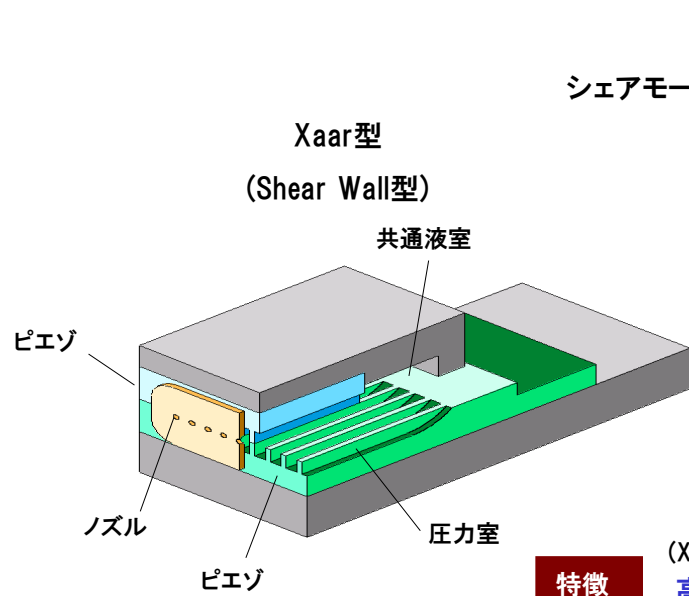
*M-Dot (Modulated Dot Technology)はリコーの登録商標です



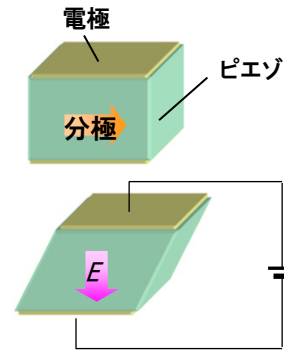
3 インクジェットプリントヘッド技術

3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド：プリントヘッド構造

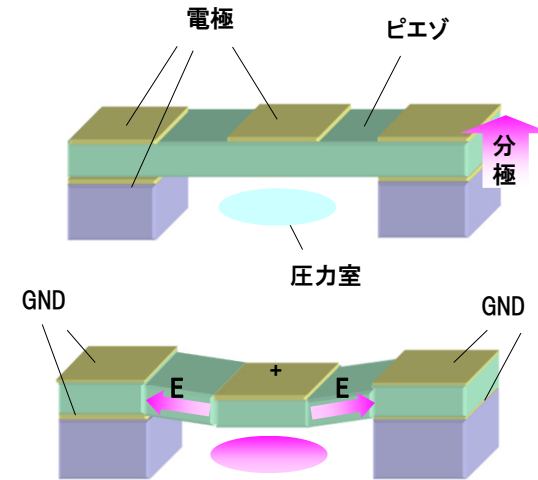
シェア型



シェアモード



Spectra型
(Dimatix型)

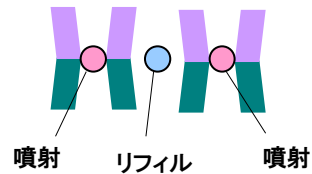
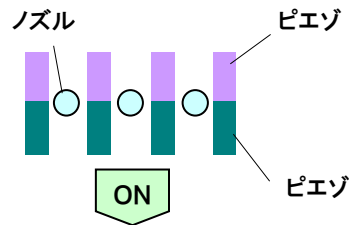


特徴

(Xaar型)

高密度化に有利

(水性インクの取り扱いに工夫が必要)



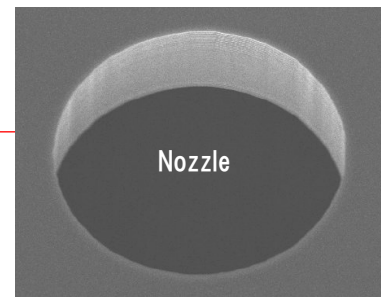
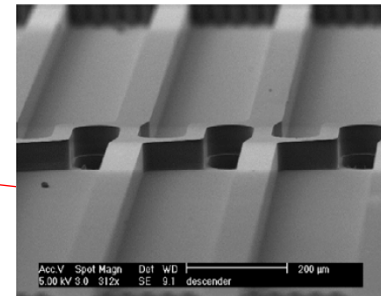
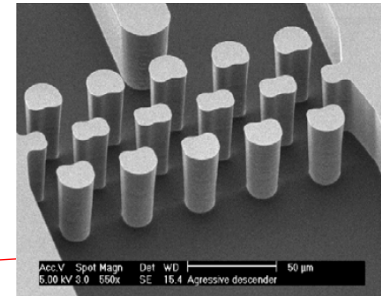
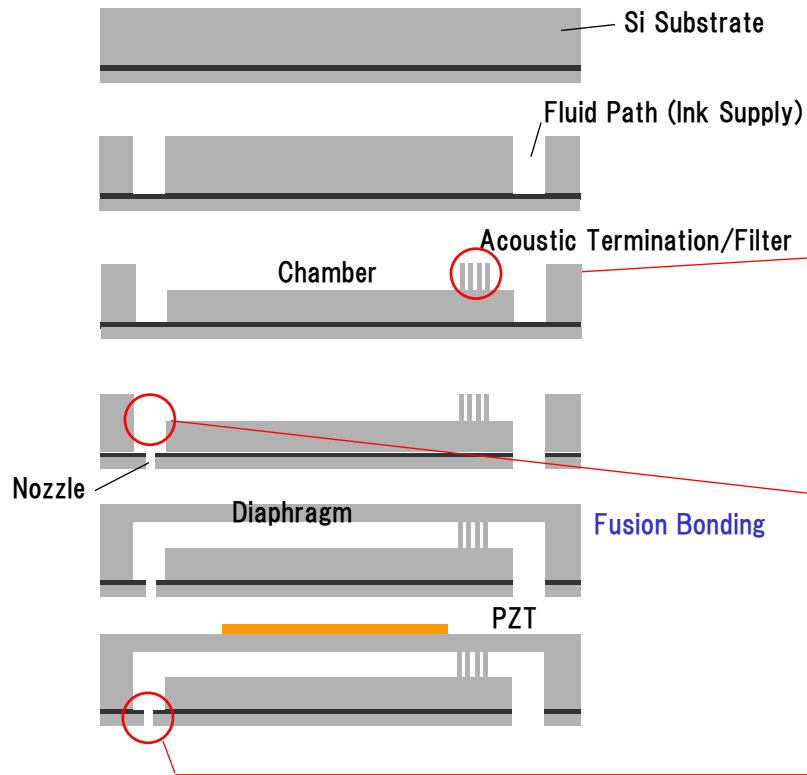
隣接するノズルは、同時に噴射できない



3 インクジェットプリントヘッド技術

3.2 ピエゾインクジェットプリントヘッド: プリントヘッド構造

MEMS技術によるプリントヘッド作成



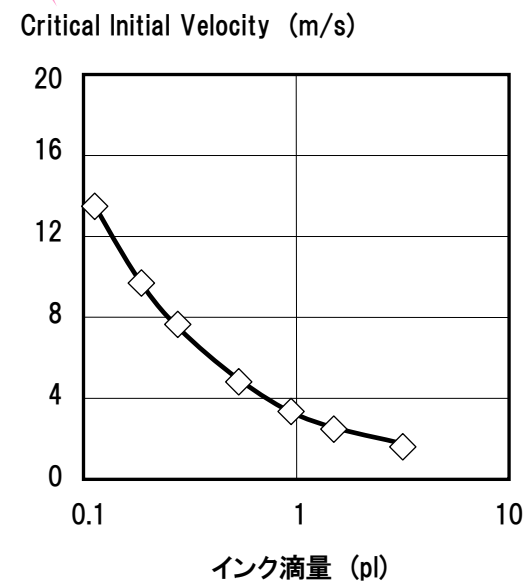
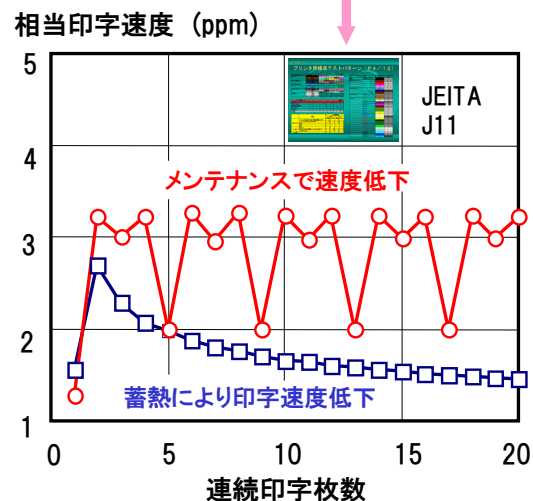
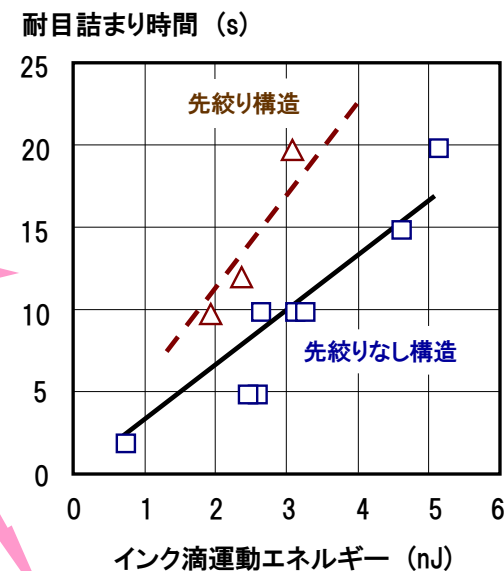
Dimatix(Spectra) M-Class
25V, 8ng, 8m/s, 180dpi, 304ノズル
速度のばらつき: 2%(σ)
方向性ばらつき: 0.87mrad(σ)



3.3 プリントヘッドの噴射特性と測定

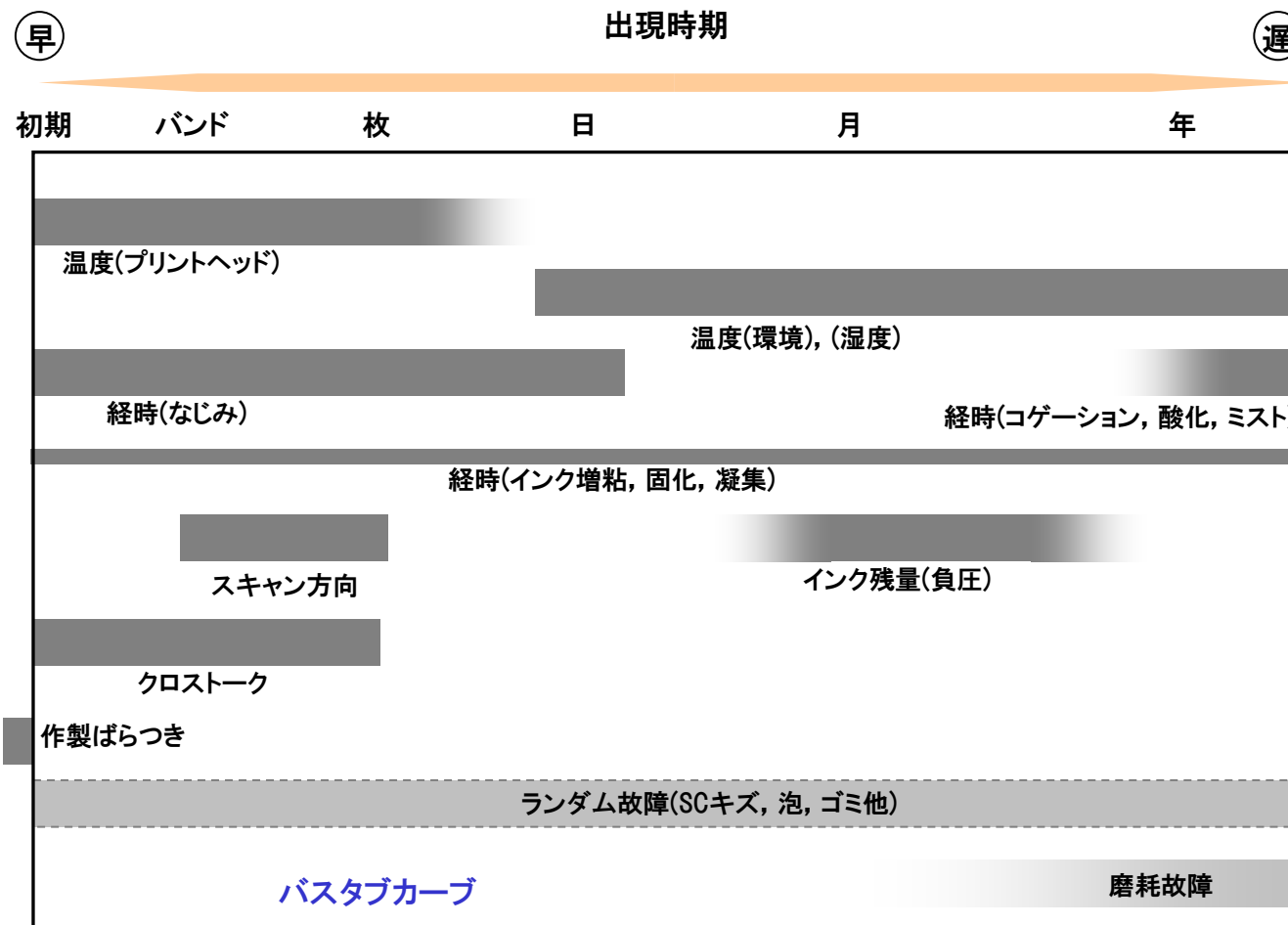
プリントヘッドの噴射特性

プリントヘッド噴射特性	関連するプリンタ性能・仕様
インク滴量	画質(ドットサイズ, 粒状性, 階調性)
ドット形状	画質(線画質他)
インク滴速度	信頼性(耐目詰まり性), 着弾位置精度
最大駆動周波数	印字速度
噴射寿命	ヘッド交換時期(ランニングコスト)
耐目詰まり性	生産性, インク消費量(ランニングコスト)
目詰まり回復性	インク消費量(ランニングコスト), 装置サイズ
着弾位置精度	画質, (分割印字数→印字速度)
消費エネルギー	コスト, (蓄熱→生産性)



3.4 プrintヘッドの特性変動と故障原因

変動/故障要因・原因



3.4 プリントヘッドの特性変動と故障原因

変動/故障要因・原因

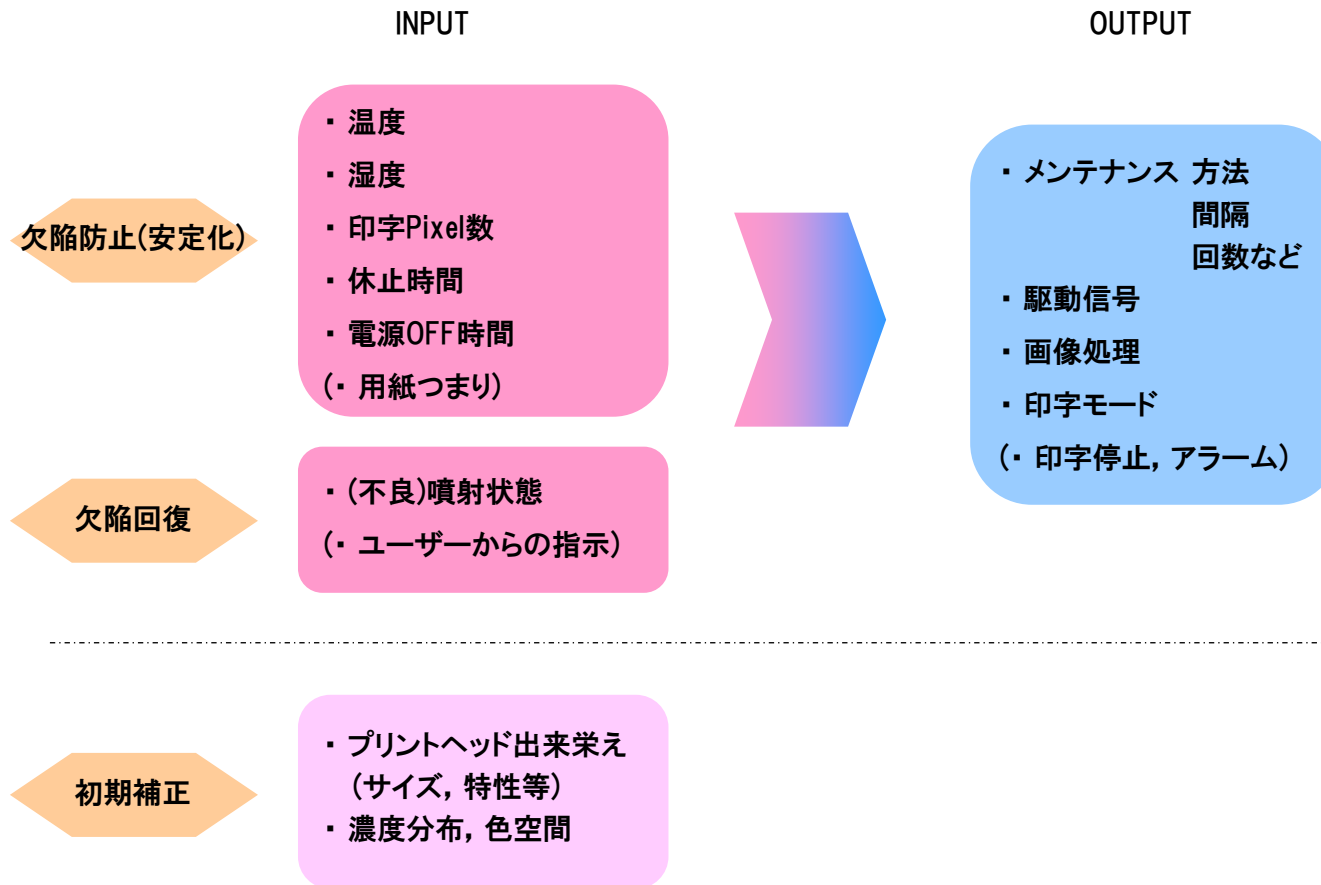
システムの対応策が必要

変動要因	特性変動原因	欠陥	対応策
温度 (環境温度, ヘッド 昇温)	<ul style="list-style-type: none"> ・ インク粘度変化, ・ バブル内圧変化(T) ・ 気泡の発生・成長 	<ul style="list-style-type: none"> → 濃度変動, 位置ずれ 不吐出, 小ドット → 不吐出, 小ドット, (方 向性不良) 	<ul style="list-style-type: none"> → Feed Back System(プレパルス駆動, 予備 過熱) → 大気連通メカニズム(TIJ) → メンテナンス(Spitting, Priming, SHDJ等) → 脱気
経時 (パルス数, 時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・ コゲーション, 抵抗値変化(T) ・ PA劣化(P) ・ 内面接触角(なじみ, 汚染) ・ (ミスト) ・ インク増粘, 固化, 凝集, 沈殿 	<ul style="list-style-type: none"> → 濃度低下, 不吐出 (駆動開始電圧変化) → 濃度変動, 方向性不 良 → → 誤動作, 汚れ 方向性不良, 不吐出 小(薄)ドット 	<ul style="list-style-type: none"> → 回復手段, Feed Back System, インク組成, (低エネルギー化) → Aging → 吸引・回収 → メンテナンス(Spitting, Priming,他) → 噴射エネルギーの向上, (メニスカス振動)
Printhead間差	<ul style="list-style-type: none"> ・ 形状・寸法差, Actuator特性差, ・ Printhead温度特性 	<ul style="list-style-type: none"> → 濃度ムラ, 濃度差, 色 差 → 濃度ムラ, 不吐出 	<ul style="list-style-type: none"> → IDによる補正手段(駆動条件, 画像処理) → 高精度作製技術 → 濃度Profile検出, データ補正
Printhead内			
印字パターン (走査方向)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 負圧差, 温度差, クロストーク ・ 色重ね順, サテライト着弾位置 	<ul style="list-style-type: none"> → 小ドット, 不吐出, 方 向性 → 色差, 濃度差 	<ul style="list-style-type: none"> → インタレース駆動, Feed Back System, 補 償波形 → 対称ヘッド配置, 画像処理
その他 ランダム故障	<ul style="list-style-type: none"> ・ 表面処理キズ ・ 気泡 ・ ゴミ(環境ゴミ, 他) 	<ul style="list-style-type: none"> → 方向性不良, 不吐出 → 不吐出, 小ドット → 不吐出, 小ドット 	<ul style="list-style-type: none"> → ザグリ, 複合素材, マシン停止 → メンテナンス → メンテナンス, フィルタ
磨耗故障	<ul style="list-style-type: none"> ・ キャビテーションダメージ(T) ・ 応力疲労(P) 		



3.4 プrintヘッドの特性変動と故障原因

安定化技術の適用



3.5 両方式の比較

特徴比較

特性	サーマルインクジェット(プリントヘッド)		ピエゾインクジェット(プリントヘッド)
PrintHead寿命	Heater故障が起こる。コゲによる特性低下がある。 10 ⁸ ~10 ⁹ パルス(1億~10億パルス)	<	10 ⁹ パルス(10億パルス)以上
PrintHead(作製)コスト	半導体プロセスが応用できる	>	精密機械加工, 組み立てが必要
PrintHeadサイズ	インクを吐出するためのActuator(発熱体)が小さいため, 高解像度に配列できる。	>	大面積のActuatorが必要であり, 解像度を高めるためには複数列必要。
使用インク範囲	(バブル発生が必要であり水性のインクを考慮した材料) 油性インクなど, 範囲は広い。高粘度にも対応できる。	>	油性インクなど, 範囲は広い。高粘度にも対応できる。
ノズル解像度	ノズル, 流路の作成限界まで高密度化できる。1列で90dpi(1mmで90dpi)程度まで高密度化できる。	>	大きなActuatorが必要なため, 1列当たりの解像度が低いため, 複数列で解像度を高めている。1列で90dpi(1mmで90dpi)程度まで高密度化できる。
ノズル数	プリントヘッドコストやサイズの点で, 有利。 1280ノズル/Head*2	(>)	解像度が低いため, 多ノズル化はヘッドサイズの点で不利。360ノズル/Head*2
駆動周波数	Bubble収縮時間, 蓄熱から限界がある	<	ピエゾの応答はMHz程度まである。残留振動抑制が可能。
必要エネルギー	ムダが多い(印加エネルギーの1/1000程度に変換されず, 残りは熱)	<	積層型はTIJと同程度必要な場合があるが, 他はTIJの1/5~1/10程度
小ドロップ化	ノズル加工と信頼性で決まり, 現状はほぼ同等。1plが最小。	(<)	同じドロップ量でもノズルを大きくでき, 信頼性の点でやや有利。1.5plが最小。
ドロップサイズ変調	同一流路内に複数の発熱体をプリントヘッドが製品化された。レベルは3値。変調範囲も2~3倍	<	メニスカスの変位量制御ができるため, 変調可能。変調範囲は約10倍

TIJ or Piezo?
今後の市場展開, 応用の範囲の違として両者の差が現れる
Who Cares?
In Consumer's Market.

- ・画質
- ・速度
- ・価格
- ・サイズ



180npi/4pl

800npi/4pl

サーマルインクジェット/ピエゾサイズ比較例(流路容積)

*1 TIJでもHotmelt型インク噴射の研究が行なわれていた(IBM)。また(非水系)溶剤系インクも使用されている(ゼネラル)。バブル生成用液体を, 噴射インクを分離することで, 様々なインクを噴射するTIJヘッドが考案されている(キヤノン)。

*2 コンシューマー向けプリンタ。工業用, その他用途にはさらに多ノズルプリントヘッドが導入されている。



3.6 プリントヘッドの高性能化

高画質アプローチ

写真画質の向上の課題とアプローチ

1. 階調性(特にシャド一部) → **小ドロップ化**, Photoインク, 低含水インク
2. 光沢性均一性 → グロスオプチマイザー
3. 保存安定性(耐環境性) → 顔料インク, メディア
4. **プロセス安定性(噴射安定性), 均一性**
- (5. 粒状性の改善) → **小ドロップ化**, Photoインク

普通紙画質の向上の課題とアプローチ

1. **にじみ(Feathering, ICB)防止, 濃度向上**
 - 反応液[2液間反応] → ヘッドコスト, サイズ, 塗布方法
 - インク間反応(カチオン/アニオン, 顔料/多価金属イオン(ポリマー), pH反応) → 信頼性
 - 高粘度インク, 相変化インク(Phaser) → 噴射力, (Head対応)
 - XERO共用インクジェット普通紙
2. **色再現性**
3. **カール, カックル防止**
4. (定着性)
5. 乾燥性(高速印字時)
6. (両面印字)



3.6 プリントヘッドの高性能化

インク滴の小滴化傾向

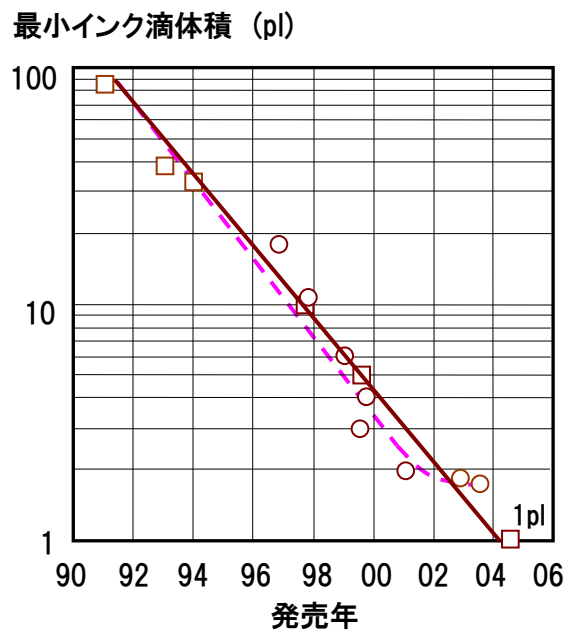


図. インクジェットプリンタの小インク滴化傾向
(コンシューマー向け)

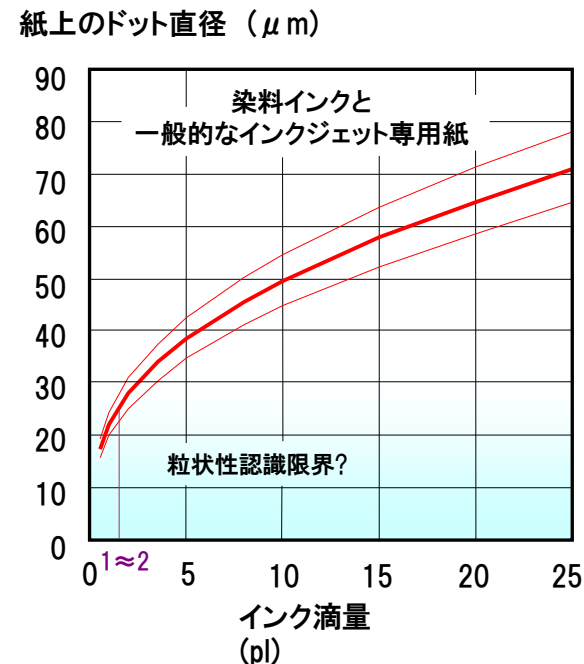


図. インク滴量と紙上のドット径
(Typical Case)

キヤノンはインスリン吸引用に、0.014plの液滴形成を発表。
 産業技術総合研究所は配線形成(1 μm)などの用途に、1flの液滴を噴射できるプリントヘッドを発表した。
 インク滴が小さくなると、空気による慣性抵抗と粘性抵抗が無視できなくなり、メディアに到達させるにはなんらかのアシストが必要。産総研の方式は静電吸引型である。



3.6 プリントヘッドの高性能化

高速化アプローチ

- 駆動周波数の向上 → 流路抵抗低減, クロストーク改善, 蓄熱改善(エネルギー低下)
- ノズル数(Swath)増加
 プリントヘッドの紙幅化 → 均一性向上, 低コスト化, 蓄熱改善
- 分割数の低減, 往復印字 → 方向性, 均一性の改善(作製精度向上), 対称ヘッド, TDの短縮
- メンテナンス時間短縮, 頻度減 → プリントヘッドロバストネス, 簡易メンテナンス法
- 並列処理 → 印字エンジン間特性差(色差), 装置サイズ



3.6 プリントヘッドの高性能化

駆動周波数とノズル数

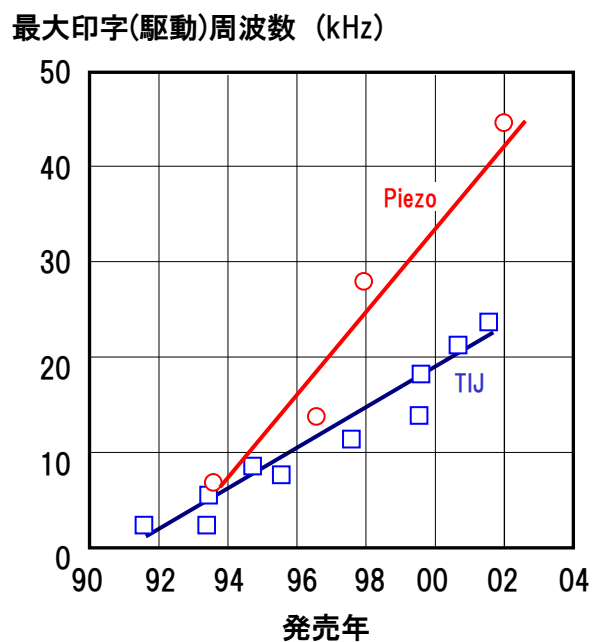


図. インクジェットプリンタの駆動周波数向上傾向
(コンシューマー向け製品)

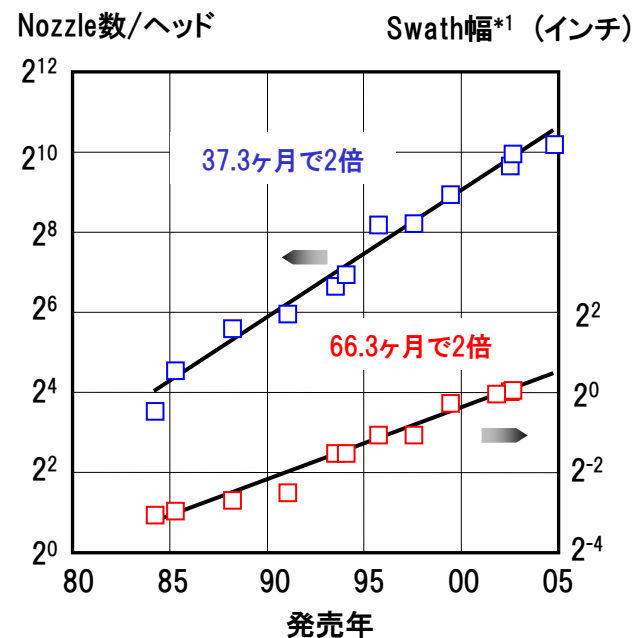


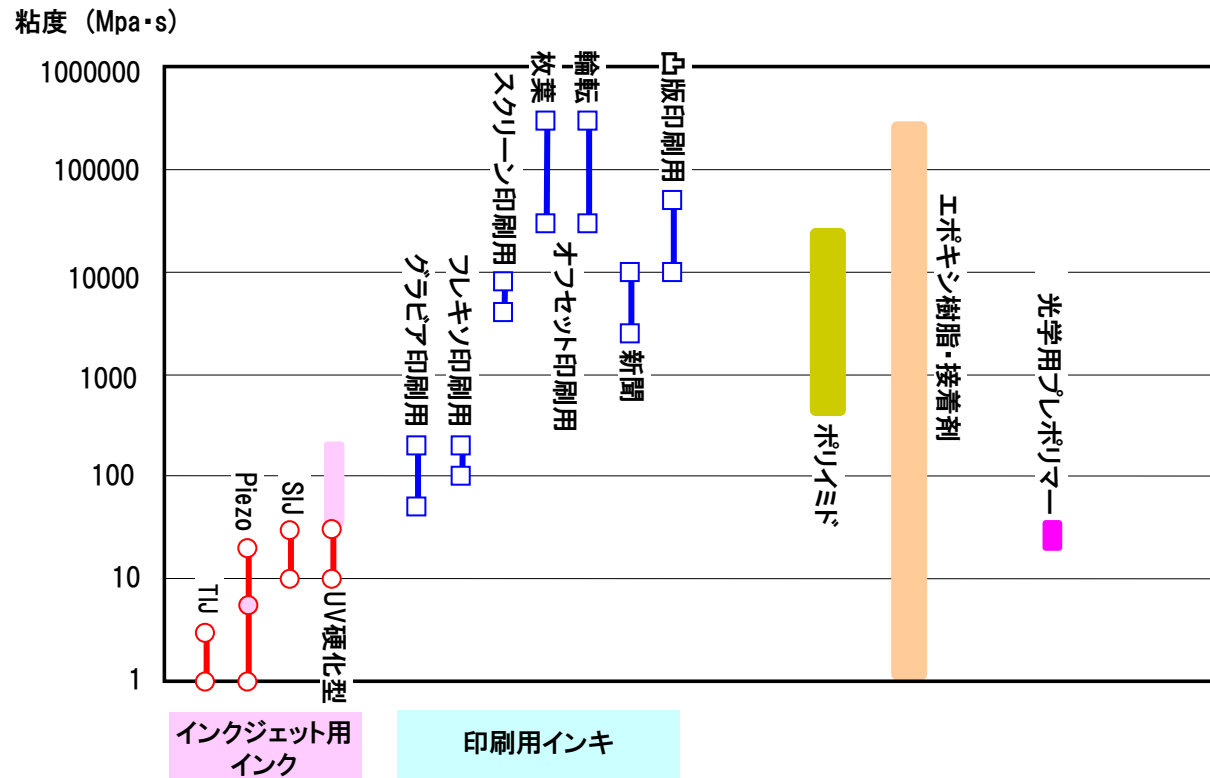
図. プリントヘッド当たりノズル数とSwath幅の増加傾向
(コンシューマー向け製品)

🖨️ 駆動周波数の向上には、インク滴量の減少も寄与していた(Refill)蓄熱, Actuatorの応答性, メニスカス残留振動の抑制, (流路抵抗)等, 駆動周波数の向上には、ピエゾインクジェットが有利な点がある。



3.6 プリントヘッドの高性能化

インク(材料) 粘度範囲



- ・ 安定に噴射できる液体の物性・組成の拡大
- ・ 信頼性向上(寿命改善, 連続噴射安定性)
- ・ 使いやすさ(ロバストネス, Interface, 制御)



4

History of Development and Research on Ink Jet Technology インクジェット技術の研究・開発の歴史

歴史年表

研究・開発

製品状況

10.-22.-38
ASTORIA

- 1856 J. Plateau 液滴分離現象の研究
- 1867 L. Kelvin 液滴の荷電実験と応用
- 1878 L. Rayleigh 液滴形成理論
- 1880 P. Curie 圧電現象発見
- 1931 C. Weber 粘性液体によるインク滴形成実験

理論解析・基礎実験

- 1938 Xerography原理
- 1946 C. W. Hansel オンデマンド型の特許出願
- 1948 R. Elmqvist Rayleigh原理用いた印字装置の特許出願

- 1958 C. Winston 静電吸引型Ink Jetの特許出願
- 1962 M. Naiman 沸騰圧力による方式の特許出願
- 1963 R. Sweet 連続噴射型の特許出願

- 1970 S. I. Zoltan チューブ圧搾方式の特許出願
- 1970 E. L. Kyser シングルキャビティー型の特許出願
- 1971 N. Stemme ダブルキャビティー型の特許出願

- 1977 I. Endo サーマルインクジェット方式の特許出願
- 1977 M. Bovio 放電型の特許出願

- 1981 T. Tanaka 濃淡インク使用による階調再現の特許出願

1952 Siemens Mingograph 21

各種方式の特許出願 Ideojet

1976 IBM IBM6640
1977 Applicon カラー連続噴射型インクジェットプリンタ
1977 Simens PT-80

1982 Olivetti 放電型インクジェットプリンタ
1984 HP ThinkJet
1986 HP PaintJet
1993 HP DeskJet 1200C
1994 HP OfficeJet(MFP)
1996 キヤノン P-400L
1996 エプソン PM-700C
2000 エプソン TM-J8000
2004 理想科学 ORPHIS HC5000

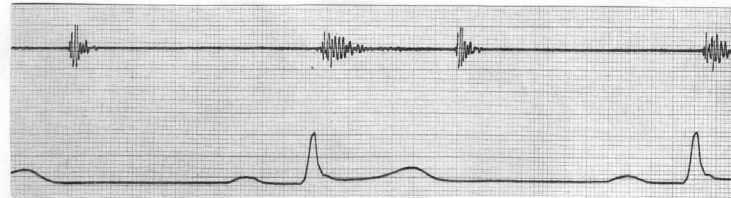
インクジェットプリンタの製品化



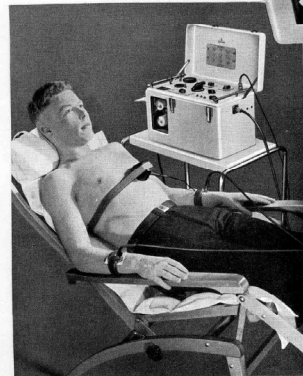
Mingograph

1952

"Mingograph 21" Düsen-Direktschreiber, Zweikurvengerät für das Ekg. und den Herzschall. Als Schreibzeiger dienen sehr feine Flüssigkeitsstrahlen, die unter hohem Druck aus Düsen austreten und die Kurvenzüge auf das Registrierpapier spritzen.

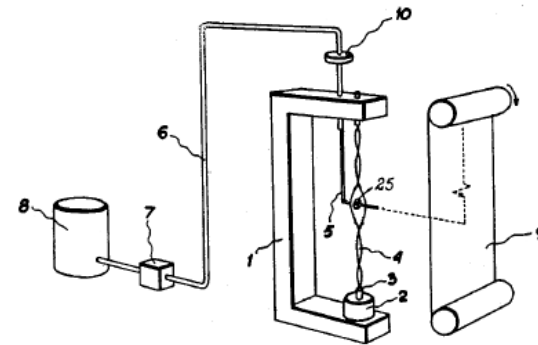


Die Düse ist an der Schleife eines Oszillographen befestigt und folgt deren Bewegungen. Die verwendete Flüssigkeit ist keine Tinte, sondern ein klares Präparat; beim Auftreffen auf das Registrierpapier entsteht durch chemische Reaktion eine farb-echte Linie. Die Strichstärke ist einstellbar. Eine geräuschlos und völlig erschütterungsfrei arbeitende Pumpe, die zugleich mit dem Synchronmotor für den Papiertransport gestartet wird, führt der Düse die Registrierflüssigkeit unter hohem Druck zu.



Gemeinsame Registrierung des Ekg. und Phonokardiogramms mit dem Mingograph.

Der "Mingograph 21" ist der erste Direkt-schreiber der Welt, der auch den Herzschall, das Phonokardiogramm, in allen Einzelheiten aufzeichnet. Das neuartige Düsen-Registrier-system erlaubt die Aufzeichnung aller normalen und pathologischen Herztöne und -geräusche, (auch musikalischer Geräusche höchster Frequenz) Der Mingograph 21 zeichnet synchron ein Ekg. und eine Herzschallkurve.

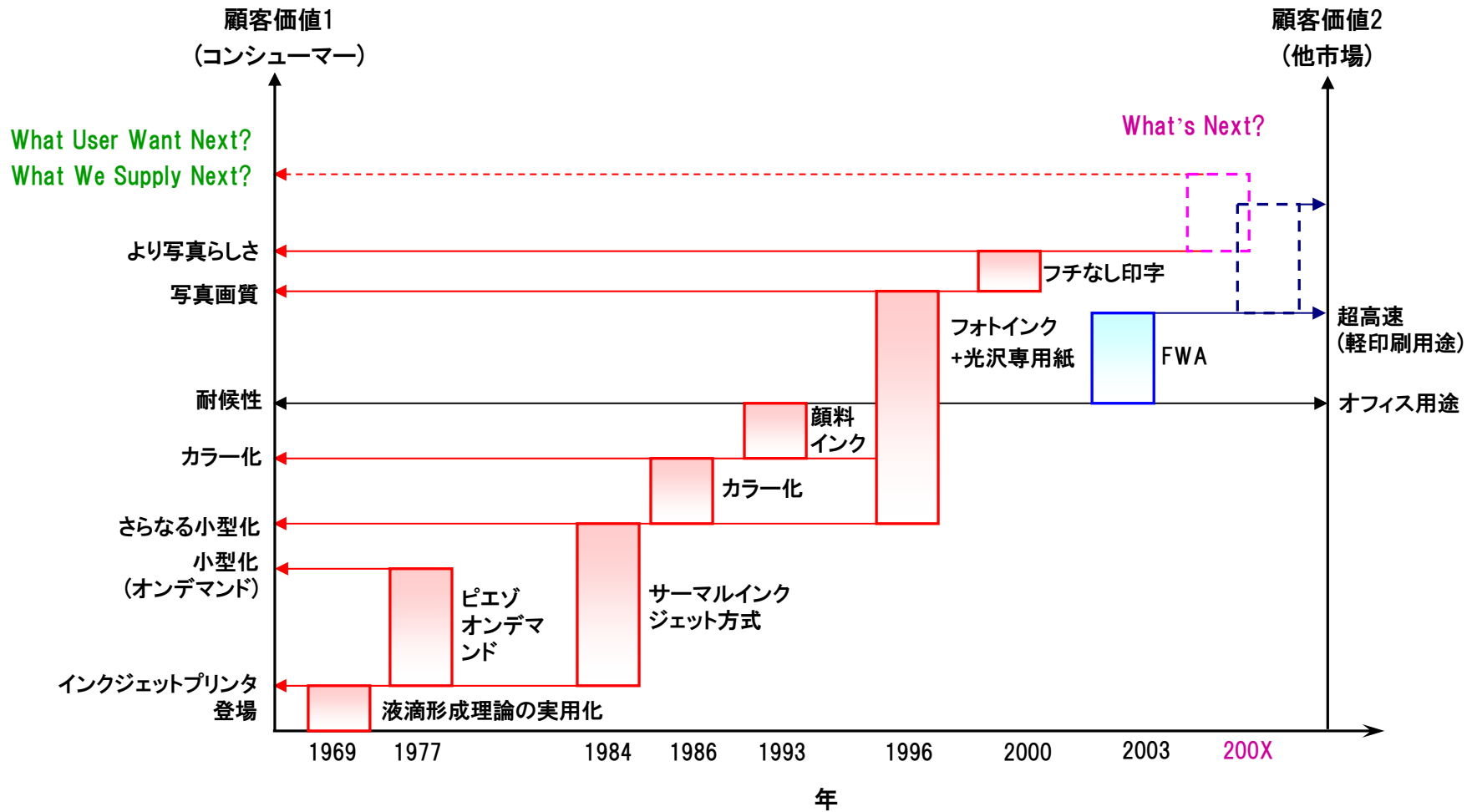


USP 2,566,443

Siemens-AG提供



技術ブレークスルーと顧客価値の増大



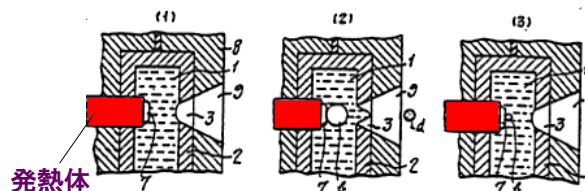
数々の技術ブレークスルーにより、インクジェットは顧客価値を高めてきた。次はどのようなブレークスルーにより、どのように顧客価値を高めていこうか？

サーマルインクジェット原理特許

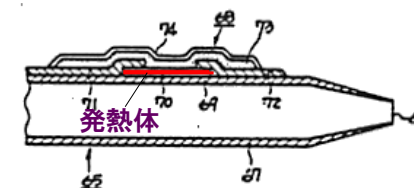
	Stemme	リコー	キャノン	諏訪精工舎
公開番号	特開昭48-9622	特開昭54-51837	特開昭54-59936	特開昭54-161935
出願日	1972.1.10	1977.9.30	1977.10.3	1978.6.12
請求範囲	(実施例の説明)圧力上昇させる蒸気を発生させるため、液を直接加熱	圧力上昇させる発熱体と冷却手段を有す	熱エネルギーの作用によって吐出. 熱変換体を有す	気体をガス化してインク層を加圧. ガス化する手段として発熱体

HPも1978年からサーマルインクジェットの開発を行っていたといわれている[16]

圧力変化を生じさせる手段は、ノズルの室内に閉じ込められていて電気的に加熱されたときに膨張するノズルの腔体より成ることもでき、或いは圧力上昇を生じさせる蒸気を発生するために液を直接に加熱する加熱コイルであることができる。

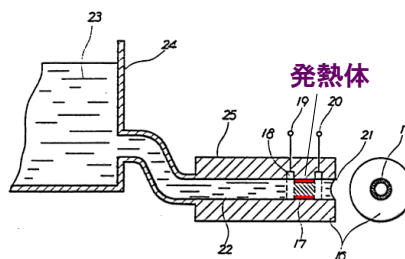


特開昭54-51837 出願日:1977.9.30
(リコー)



特開昭54-59936 出願日:1977.10.3
(キャノン)

特開昭48-9622
(by Nils Gustaf Eric Stemme)



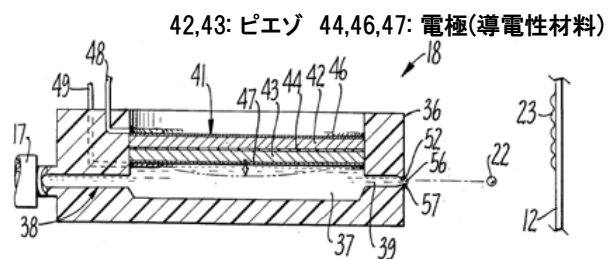
特開昭54-161935 出願日:1978.6.12
(諏訪精工舎)



インクの加熱・気体の発生によりインクを加圧する原理は、Stemmeの特許の実施例に開示されている。国内で8ヶ月の短期間に、同様の原理が複数の会社から出願されているのは非常に興味深い。

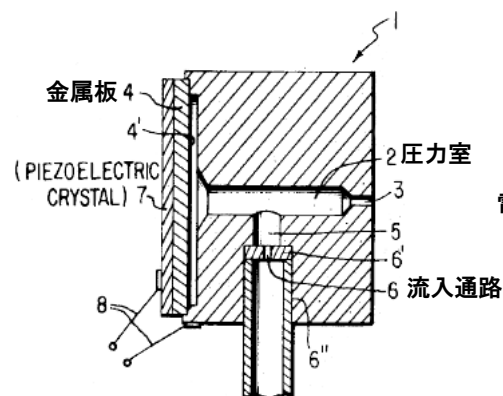
ピエゾインクジェット特許

シングルキャビティー型



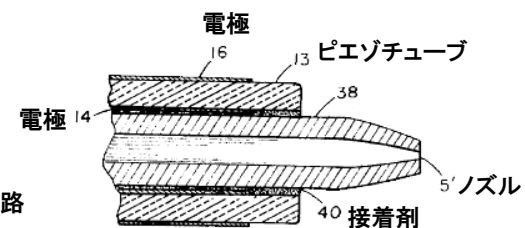
USP 3,946,398
E. L. Kyser (Silonics Corp.)
1970.06.29出願

ダブルキャビティー型



USP 3,747,120
N. G. E. Stemme
1972.01.10出願
(1971.01.11 Sweden優先権)

グールド型



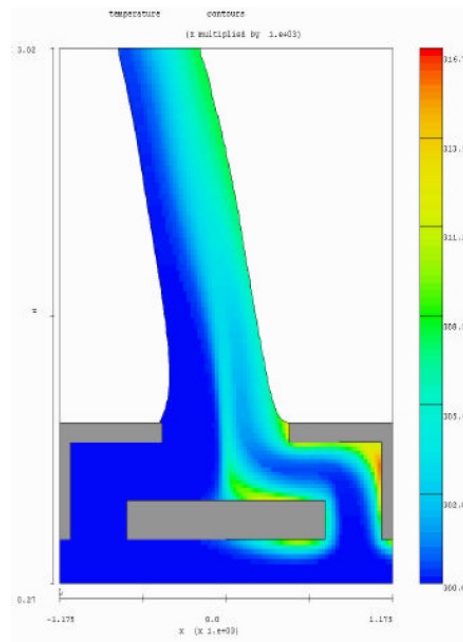
USP 3,683,212
S. I. Zoltan (Clevite Corp.)
1970.09.09出願

オンデマンド型ピエゾ方式は、1970年代初頭に複数の方式が発明された。

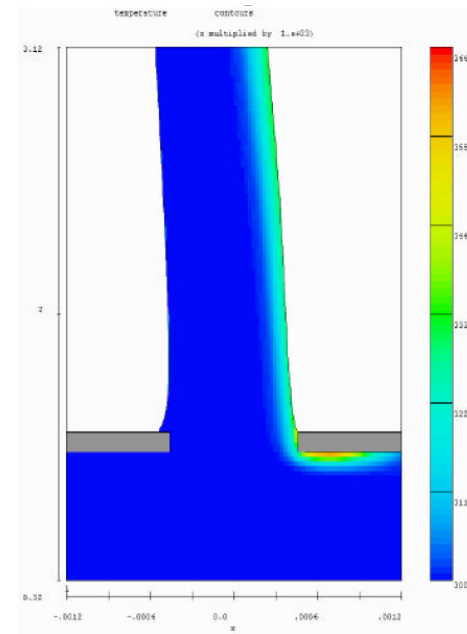
Introduction to Ink Jet Printhead Technology
プリントヘッド技術概論

The End

熱変更型の偏向原理



Bottom Heaterあり

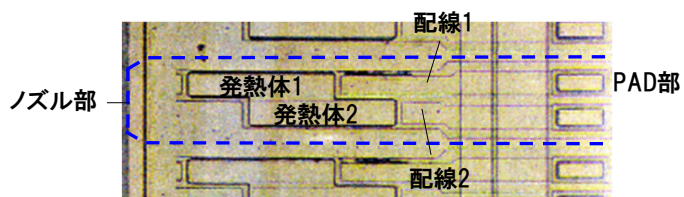


Bottom Heaterなし

インク滴量変調技術の比較

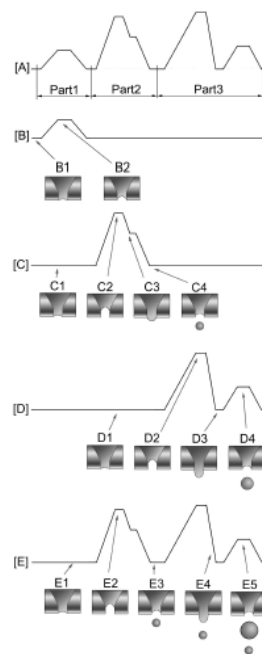
階調再現性の向上, テキスト画質向上, 高速印字における濃度確保のため, ドット径変調技術が採用されている。

変調技術	説明		技術内容	特徴, 課題
ドロップ量変調	ノズルから噴射されるインク滴量を変える→紙上のドット径も変わる	TIJ	マルチヒーター	変調範囲(2~3倍), インク滴速度差
		PIJ	メニスカス制御	変調範囲(10倍程度),
		PIJ	マルチドロップ	高周波数応答性必要
ドット径変調	紙上のドットを変える	PIJ	マルチドット	高周波数応答性必要

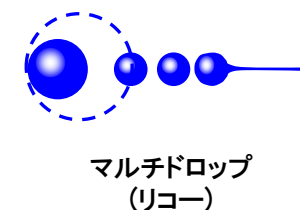


TIJにおけるマルチヒーター
(キヤノン)

同一「流路」に複数の発熱体を設置。選択・組み合わせでインク滴量を変調。プレパルス制御との組み合わせで変調範囲拡大。

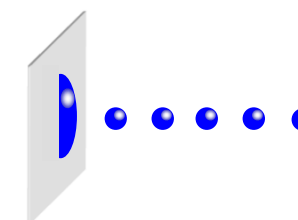


PIJにおけるメニスカス制御
(エプソン)



マルチドロップ
(リコー)

連続してインク滴を噴射し, 空中で合体させる
(後滴の速度を速め, 前の滴に合体させる)



マルチドロップ
(コニカミノルタ, 東芝テックなど)