

インクジェット印刷における泡トラブルとその対策

富士ゼロックス株式会社 藤井 雅彦

1. はじめに

ここではインクジェットにおける気泡のトラブルについて、特にインク滴を吐出するデバイスであるプリントヘッド内に滞在する気泡について、発生や成長の原因、そして気泡に起因するトラブルについて記載する。さらにこれらのトラブルを防止、解決するための気泡の検出手段と対応策についても説明する。

図1は代表的なインクジェット方式であるピエゾインクジェット(撓みモード)とサーマルインクジェット(ルーフシューター)のプリントヘッド構造の一例と、構造要素の呼称を示している¹⁾。以下の説明では、ここに記載した呼称を用いる。

1.1 気泡の発生と成長、移動

1.1.1 キャビテーション気泡と整流拡散

ピエゾインクジェットでは、プリントヘッドに付設されたピエゾ素子に電圧を印加して振動板を変形させ、その変形によって発生する音響波(粗密波)をメニスカスに到達させてインク滴を吐出させる。インク中を伝播する音響波の疎、すなわち低圧状態で溶存気泡を多く含むインクからキャビテーション気泡(Cavitation Bubble)がインク中に析出することがある。発生した気泡はピエゾ素子が発生する圧力波である音響波による整流拡散(Rectified Diffusion)によりさらに成長する²⁻⁴⁾。整流拡散とは高圧力下(音響波の密)で気泡が収縮して気泡から液体に向かう気体の移動より、低圧力下(音響波の疎)で気泡が膨張

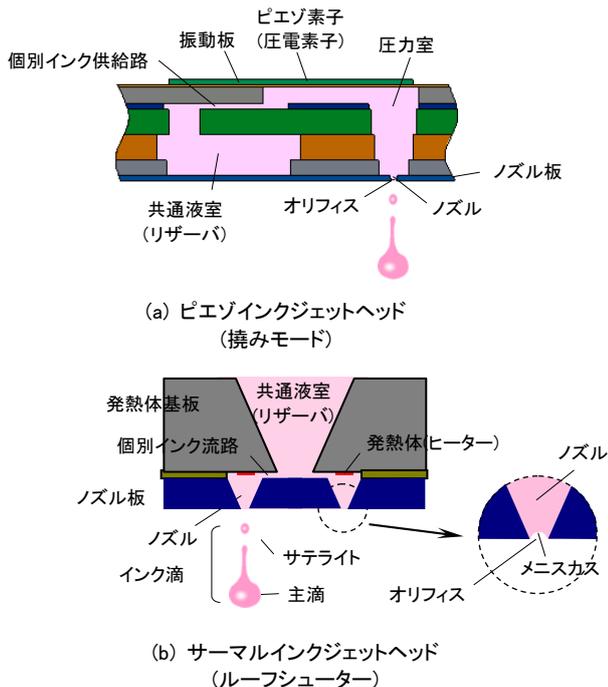


図1. インクジェットプリントヘッド基本構造¹⁾

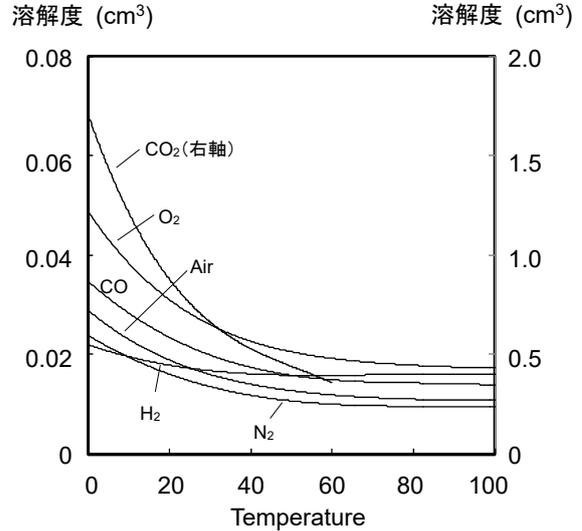


図2. 各種気体の水への溶解度
 (参考文献5記載の数値をグラフ化したもの)

し、液体から気泡に向かう溶存気体の移動が大きいことである。低圧力下で気泡が膨張した時の方が液体と接する気泡の表面積が大きく、拡散層が薄く濃度勾配が大きくなっているために起こる。

ピエゾから発生した音響波と、この音響波のメニスカス等からの反射により圧力室内で音響波の共振が起きている場合、この共振半径より大きな気泡は振動の節(ノズル側)へ、共振半径より小さな気泡振動の腹(振動板側)へ向かう力を受ける³⁾。またインクの流れや気泡が持つ浮力によっても気泡は移動する(1.3.2参照)。

1.1.2 温度変化による気泡の析出

図2は各種気体の水への溶解度を示している。溶解度とは1気圧の気体が1cm³の水に溶解する時の容積を、0°C、1気圧時の容積に換算した値である。インクの温度上昇によりインクに溶存している気体の運動エネルギーは大きくなり、インク中に溶存できる気体体積(溶解度)は液体の温度上昇とともに減少する。このためインクに溶解できない量の気体は気泡となってインク中に析出する。インク温度の上昇は環境温度の変化だけでなく、プリンタ使用によるプリントヘッドの温度上昇(駆動回路の発熱、インク滴の運動エネルギーに変換されなかった印加電気エネルギーによる蓄熱等)によっても起こる⁶⁾。発生した気泡はさらにインクの温度上昇や整流拡散により成長する。

1.1.3 ノズルからの侵入

インク滴を吐出した後、メニスカスは自由振動を始める。このメニスカスの後退時に大気から圧力室内に気泡を巻き込む

ことがある。特にノズルからインクが溢れるなどの理由により、ノズル基板面上にインクの層が形成されていると気泡を巻き込みやすい⁴⁾。プリントヘッドの機械的な振動や衝撃等により、大気と接しているノズル部から突発的に空気が気泡となって圧力室内、流路内に混入することがある。ノズル径に比べ圧力室サイズが大きいピエゾインクジェットでは、(メニスカスが壊れるという言い方をすることもあり)サーマルインクジェットよりこの現象は起こりやすい。

1.1.4 初期気泡

インクが充填されていないプリントヘッドにインクタンクを装着してインクを充填する際、プリントヘッドの流路内、特に微細な個別流路内の気体(空気)を完全にインクに置換できず、気泡が残ることがある。特に流路内部(インクとの接触面)がインクで濡れにくい(接触角が大きい)場合や、インク流れ速度が遅い領域(死水域)では気泡が残りやすい。

1.1.5 突発的な原因等その他

インクカートリッジの脱着時にプリントヘッドとの結合部(ジョイント部)から気泡が混入する場合がある。プリントヘッドの振動や衝撃によるノズルからの混入については1.1.3で述べた。またインク供給のためのチューブに液体透過性の高い材料を用いていると、大気からチューブ内に気体が浸透し、気泡を発生させる。気体透過性が高いプリントヘッド部材からの気泡侵入も報告されている⁷⁾。

メディア(紙)でのインクの浸透、広がり制御するために、インクには界面活性剤が添加されている。界面活性剤の種類によっては、起泡性(消泡性)が異なるため、流路内でのインクの運動による発泡性に違いが生じる。起泡性、消泡性の評価には、ロスマイルス法を用いることができる。

1.2 気泡によるトラブル

気泡がプリントヘッドの流路や圧力室に滞在すると、インク滴の不吐出や、吐出状態の変化(小滴化、吐出速度変化、吐出方向性変化)を引き起こす。以下、これらのトラブルを生じさせる原因を説明する。

1.2.1 インク流路の閉塞

近年、インクジェットプリンタの高画質化、あるいはインクジェット応用における描画パターンの微細化要求から、インクジェットプリントヘッドから吐出する液滴サイズが小さくなり、またノズルの解像度が高くなってきた。このためプリントヘッド内の個別流路やノズルサイズは極めて小さくなっている。この細かい流路内に気泡が発生、あるいは移動して滞在すると流路を塞いでインクの流れを阻害するため、圧力室やノズルにインクが供給されず、正常な吐出が出来なくなる。またインクカートリッジとプリントヘッドの結合部のフィルタ部に気泡が滞在してもインク供給を妨げることがある。

1.2.2 音響波の衰退

気泡(気体)の体積弾性率は水に比べ極めて小さい。このためピエゾインクジェットプリントヘッドの圧力室に気泡が存在すると、気泡はピエゾ素子から発生した音響波によって励振され膨張・収縮運動を行い、音響波を減衰させる。このためメニ

スカスに十分な音響エネルギーが到達出来ず、インク滴の不吐出や吐出方向性の変化を生じさせる。

1.3 気泡の検出と気泡トラブルへの対応

気泡が引き起こす種々のトラブルをなくすために、プリントヘッド内において気泡を発生させないか、トラブルを起こす大きさに成長させない(成長を遅らせる)ことが考えられる。また、トラブルを起こす前に、あるいは起こしてしまっても迅速に気泡を排出して回復させる、あるいはトラブルを起こさない場所へ移動させることも重要である。気泡の排出を適切なタイミングで行うため、プリントヘッド内に存在する気泡をリアルタイムで検出することも行われている。

1.3.1 気泡の検出

ピエゾインクジェットでは、吐出のための駆動源であるピエゾ素子を気泡の検出センサとして用いることができる。インクを吐出するためにピエゾに電圧波形を引加すると、発生した音響波はメニスカスや圧力室で反射され、再びピエゾ素子に到達し残留振動を引き起こす。圧力室やインク供給路に気泡が存在すると、気泡による音響波吸収や、気泡自体の体積振動により発生する音波(放射音圧)により、残留振動は気泡が存在しない時に比べ変化する。この変化をとらえて気泡を検出することが出来る⁸⁻¹⁰⁾。吐出のための駆動波形の後に、別途検出のための波形を引加しても良い。

1.3.2 気泡の発生・成長抑制

プリントヘッドの流路を構成する材料の気体透過性と流路内の気泡成長との関係を検討し、この結果より流路形成樹脂に鱗片状ガラスを含む合成樹脂を用い、気泡の浸透、および成長を抑制し、結果的に吐出欠陥を引き起こすまでの時間を延ばしている⁷⁾。インクタンクからプリントヘッドにチューブ等でインクを供給するオフキャリッジタイプにおいても、同様にチューブに透過性の低い材料を用いることが気泡の発生、成長を防ぐために有効である。

インクからの溶存気泡の析出を防ぐため、あらかじめ脱気したインクをプリントヘッドに供給することが考えられる。しかしノズルや大気解放口などの空気と接する場所、あるいは気体透過性のあるヘッド部材、インク供給部材から気体が侵入するため、脱気効果は持続しない。そこでプリントヘッドに一方的にインクを供給するだけでなく、プリントヘッドから、特にノズル近傍からインクを戻す供給路を併せ持ち、この循環経路の途中に脱気システムを設置し、脱気したインクをプリントヘッドに供給することがある(図3)。脱気の方法には加熱法や振動法などいくつかの方法が実用化されているが、インクジェットプリンタで採用されている方式の1つとして浸透膜を利用する減圧法がある¹¹⁾。図3に示すようにインク流路の一部を浸透膜で形成し、この領域を外側から減圧する。浸透膜からは気体だけが外部に排出され、脱気されたインクがプリントヘッドに供給される。必ずしも循環経路を持つ必要はなく、一方的に脱気したインクをプリントヘッドに供給することもできるが、1.1で説明したようにプリント休止中にノズル近傍のインクに気泡が発生してしまえばページ等による対応しなくなるため、循環経路

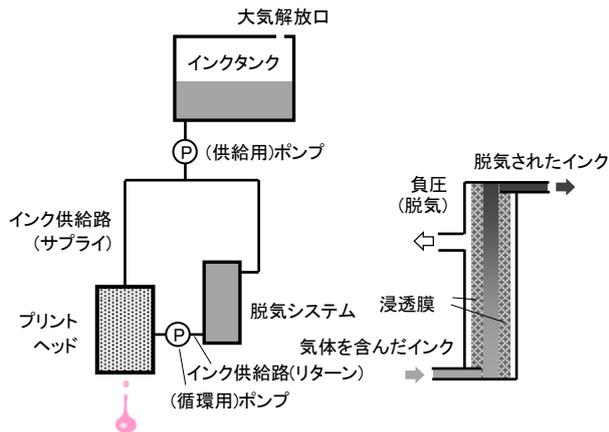


図 3. インク循環経路と脱気システムの一例

を持つことが好ましい。

1.3.3 気泡の排出、移動

インクジェットプリンタには、プリントヘッドの吐出状態を正常に維持するためにメンテナンス機能を保持している。このメンテナンス機能におけるパーズ、あるいはバキュームという動作は、プリントヘッド内のインクに圧力を加え(パーズでは上流からの加圧、バキュームではノズルからの吸引)、気泡を含んだインクをプリントヘッドのノズルから強制的に排出する¹⁾。パーズ、バキュームで必要なインクの流れ速度(気泡が受ける抗力)は、表面張力による気泡の流路部材への付着力や、(通常インクジェットは重力方向にインク滴を吐出するため)気泡の浮力に打ち勝つものでなくてはならない。ただしパーズやバキュームではシステムの構造上、気泡が存在する流路のインクのみを排出できず、他の流路やインクタンクからの供給路のインクも排出してしまうため、大量のインクを消費する。

また閉塞してトラブルを起こしやすいフィルタ部の流路に、微小な気泡が移動しやすいようなバイパスやリブを設け、気泡をフィルタ部から排除しやすくした構造や⁷⁾、インクと接する流路表面に気泡が付着しにくい処理をすることが提案されている¹²⁾。

サーマルインクジェットにおいて、ヒーターからバブルが発生しない程度の短パルスを連続して引加し、個別流路やリザ

ーバ内のインクの温度を上昇させインクを沸騰させる。沸騰により生じた大きな泡は個別流路などに滞在していた小さな泡と合体し大きな浮力を持つため、流路やノズル外に設置された気泡を貯める部屋に移動させることができる¹³⁾。気泡を貯めるスペースが必要となるが、パーズやバキュームのように大量のインクを消費することがない。

参考文献

- 1 藤井雅彦監修 日本画像学会編, インクジェット, 東京電機大学出版局, 34&195(2008)
- 2 Hideo Kimoto, The Journal of the Acoustic Society of Japan, Vol. 32, No. 11, 729-731 (1976)
- 3 Leighton, T.G, The Acoustic Bubble, Academic Press, 139 (1994)
- 4 Jos de Jong, Journal of Acoustic Society America, Vol. 120, Issue 3, 1257-1265 (2006)
- 5 国立天文台編, 理科年表 2006(机上版), 丸善出版, 499 (2006)
- 6 Masahiko Fujii, Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 43, No. 4, 332-338(1999)
- 7 高島永光他, 日本画像学会誌, Vol. 52, No. 1, 3-10 (2013)
- 8 Key-Si Kwon, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 180, 154-165(2012)
- 9 和田友宏, 「マハラノビスの距離」を用いた PIJ ヘッドの吐出評価方法, 日本画像学会 ICJ2007 講演予稿集, A-21(2007)
- 10 佐藤強, 液滴塗布ヘッド内の気泡検出に関する研究, 精密工学会誌, Vol. 77, No. 9, 861-867(2011)
- 11 Nathan P. Hine, Journal of Imaging Technology, Vol. 17, No. 5, 223-227 (1991)
- 12 例えば棹亮人他, 気泡付着防止用液体組成物, 特開 2009-113344
- 13 Kazuyuki Oda, Air Bubble Management on a New Thermal Ink Jet Head, Proceeding of IS&T's NIP 17, 314- 318 (2001)