

微細流体塗布技術開発

Development of technology for shooting minuscule droplets of liquid

長島 貴，石田 毅，小田 啓二

Takashi Nagashima, Takeshi Ishida, Keiji Oda

要 旨 生産工程で使われる高粘度材料を高速かつ微細に塗布するため、インクジェットヘッドの開発を行った。

インクジェット法は材料の利用効率が高く、環境負荷も小さいなどのメリットがあるが、低粘度の液体しか塗布できない。

そこで我々は高粘度特有の課題（たとえば流体抵抗が大きいので塗布できない、また液中の泡が抜けないなど）の検討を行った。

ノズルやヘッドなどの構造部材の改善や塗布条件の最適化を行うことで塗布が可能なることを確認した。

今後は塗布のバラツキやメンテナンスなどの量産技術の検討を行っていく。

Summary The development of an inkjet head was done to shoot a high viscosity material used in the production process with high-speed in extremely fine droplets.

Although only liquid of low viscosity can be sprayed in this way, the efficiency of use of the material is high and, there is the advantage of having a low environmental burden.

So, we did an examination of the problems (fluid resistance is large, persistence of bubbles in the liquid) which are characteristic of high viscosity liquids.

It was confirmed that such liquids could be sprayed by improvement of the structural components such as nozzle and head, and optimizing the conditions of application.

The examination of the dispersion of the spray and of issues relating to mass production technology, such as maintenance, will be done from here on.

キーワード : インクジェット，高粘度，ピエゾ，ノズル，タンク，メニスカス

1. ま え が き

近年製品の小型軽量・高密度化が進み、製造工程においては微細な液体を高速に塗布するニーズが高まっている。それを実現する方法のひとつとしてインクジェット法がある。この方

法によれば材料の利用効率を高めることができるためコスト面で有利であり、また環境負荷を減らすことも可能である。さらに印刷の版なども必要ないので機種の切替も容易であり、多品種少量生産に適した工法といえる。図1(a)にス

クリーン印刷，図1(b)にインクジェット印刷の原理概要を示す。しかし一般的に知られているインクジェット法の塗布材料は粘度が低い液体に限定される。一方製造工程で使われる材料はアクリル，エポキシ系などの接着剤やハンダペーストなどのように粘度が高いものが多い。ペースト材料などでは塗布後の液滴の広がりを防止するために高粘度を必要とすることもある。したがって高粘度の液体をインクジェットで塗布できれば多くの上述したメリットを享受できる。今回我々は高粘度の液体塗布を目的としたインクジェットヘッドの開発を行ったので報告する。

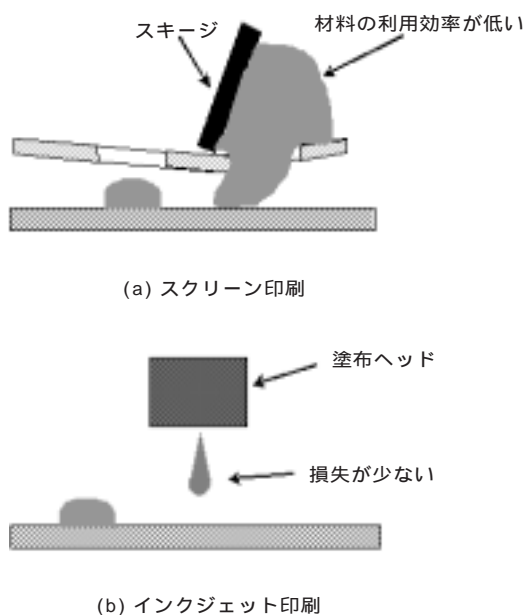


図1 各種印刷法

2. 一般的なインクジェット法

ここではプリンターに多く採用されているインクジェット技術を述べる。

主な特徴には次のようなものがある。

- ・塗布できる液体は数 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ~ $10\text{mPa}\cdot\text{s}$ 程度の低粘度材料に限定
- ・1滴の量は数 pL であり，塗布速度は数十 KHz
- ・液体の供給は低い粘性を利用した毛細管現象を利用

液滴の吐出は圧力室の液体に圧力を加えることで行われるが，方式により2つに分類されている。図2(a)にサーマル方式，図2(b)にピエゾ方式の構成を示す。

- ・サーマル方式(電気熱変換型)
- ・ピエゾ方式(電気機械変換型)

サーマル方式はヒータで液体を沸騰させることにより圧力を発生させて吐出している。気泡の体積変化が大きいため圧力室を小さくできるメリットがあるが，沸騰しやすい水系の液体を使う制約がある。

一方ピエゾ式は電圧により伸縮するピエゾ素子を圧力発生源としており，圧力室内の体積を変化させることで吐出を行っている。液体材料の制約が少ないメリットがある。

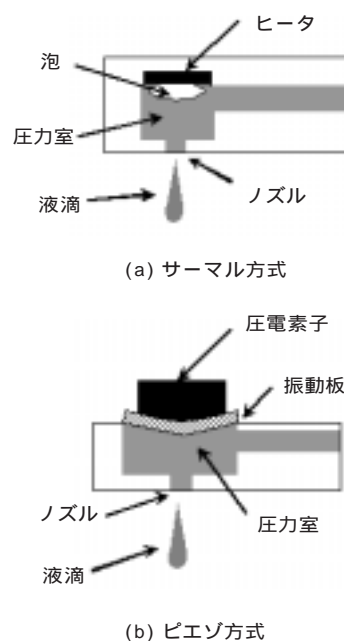


図2 インクジェットプリンターの方式

3. 高粘度液体用インクジェット塗布の課題

高粘度液体を塗布する場合の課題には次のようなものが考えられる。

- ・流体抵抗が大きいためノズルから吐出できない。
- ・溶液の揮発によるインクの粘度変化が大きい。

- ・毛細管現象では液体の供給が間に合わない (図3)。
- ・液体中に内在する気泡が抜けにくい。
- ・吐出時の液切れが悪い。

上述の課題を解決すれば，高粘度液体塗布用のヘッドが実現できると思われる。

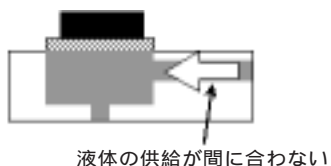


図3 高粘度液体の供給

4. 開発事例

今回開発した塗布装置について述べる。開発した塗布装置の外観を図4に示す。またシステムの基本構成を図5に示す。本塗布装置の基本的な構成は，塗布を行うヘッド，液体を貯蔵しておくタンク部，ピエゾ用電源部，制御部である。ヘッド構造は液体の選定範囲が広いピエゾ方式を採用した。

一般的に高粘度液体を塗布する場合は液体を加熱することにより，数 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ まで粘度を下げて塗布している。しかし我々はさまざまな液体に応用できるヘッドを目指すため，常温下で塗布を行った。粘度が数千 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ の液体を使い，着弾時の液滴径を数十～数百 μm にすることを目標として開発を行った。

4.1 ヘッド部

ヘッド部の構造を図6に示す。ヘッド部はノズル，振動板，圧力室，液体の供給部，液路，ピエゾ素子から構成されている。高粘度塗布のためには低粘度の時より大きな圧力を加える必要があるため，変位，発生力の大きな積層タイプのピエゾを採用した。その変位を生かすためには振動板を大きくする必要があるので，圧力室の体積が大きくなってしまいノズルまで圧力が伝わりにくくなる懸念がある。そこで振動板に突起をつけることで圧力ロスが少なくなるよ

うにしている。開発したヘッドの外観を図7に示す。



図4 装置概観

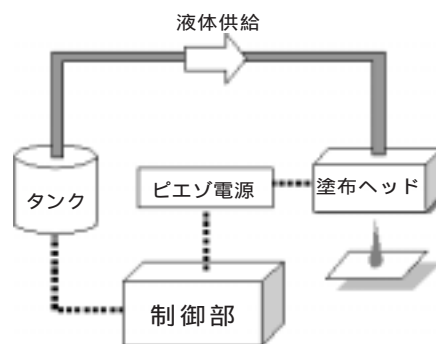


図5 システム構成

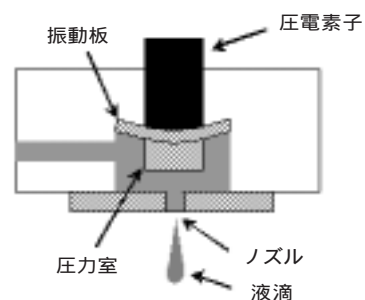


図6 ヘッド構造

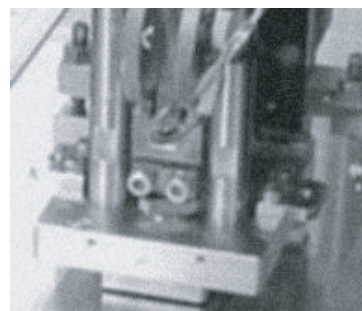


図7 塗布ヘッド

4.2 ノズル部

孔の形状や表面性状は塗布する液滴の量や位置精度，塗布の安定性に大きく影響する。特に振動板の変位が大きな塗布ヘッドの場合，圧力室内に泡を巻き込みやすくなるので，ノズルの孔形状を工夫している。

また高粘度液体を塗布する際にはノズル部に大きな圧力がかかるため，剛性が高いノズルが求められる。図8に示すようにノズルは，剛性が低いと圧力ロスが生じて塗布性が低下したり，耐久性に影響が出てしまうからである。通常小径ノズルを作成する場合は板厚は薄くなるので，剛性が低下してしまう。ノズルの部品形状，取付け構造，加工方法などを考慮して十分な剛性を確保することが必要である。

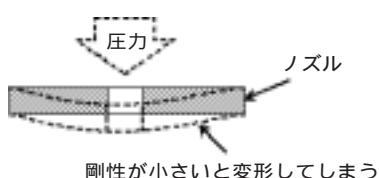


図8 ノズル

4.3 タンク部

タンクの外観を図9に示す。タンクに求められる機能の一つとしては液体を脱泡し，貯蔵しておくことがある。インクジェット法ではヘッド内に泡が存在すると塗布が困難となる。微小な泡があるだけで塗布不良の原因となることが分かっている。そこでタンク自身に脱泡機能を持たせ，泡の存在しない液をヘッドに送るようにしている。



図9 タンク

もうひとつの機能は液体を強制的にヘッドに供給することである。低粘度液は毛細管現象による供給で十分対応できたが，高粘度材料は強制的にノズルに液送しないと，塗布速度に対して供給不足となる。また液送時の供給ロスを少なくするため配管の材質や長さを最適化する必要がある。

4.4 メニスカスコントロール

塗布の安定性をあげるために，塗布中におけるノズル部の液面位置(メニスカス)を常に一定に保つ必要がある。メニスカスが引っ込みすぎるとヘッド内に泡が混入してしまい，塗布不良の原因となる。逆に，出っ張りすぎるとノズル先端に液が付着してしまい，液滴の直進性の低下，不要なチリの発生，塗布量のバラツキが生じてしまう。この様子を図10に示す。

塗布最中だけでなく，塗布開始時や停止時のメニスカスの状態も連続的に安定塗布する上で重要である。停止中にはノズル先端が液ダレにより汚れないようにするとともに，塗布開始時は高粘度液体を迅速に液送できるようにメニスカスコントロールを行う必要がある。

以上のように，高粘度特有の現象を把握しながら，ピエゾの駆動シーケンス，タンクやヘッドの設計，液体の物性など，システム全体の取り組みが必要がある。

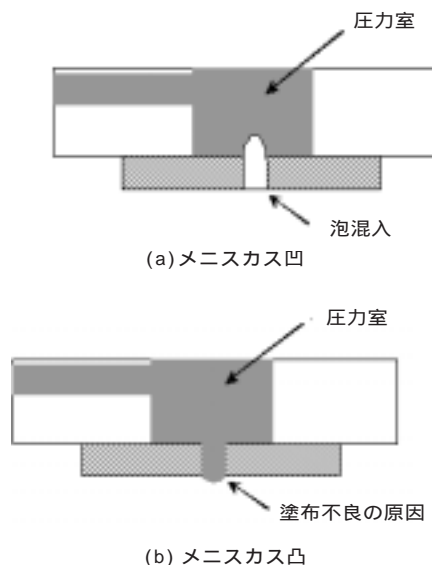


図10 メニスカス

4.5 塗布例

塗布の一例を紹介する。ノズルやヘッド、タンクなどの構造部材の改善や塗布条件の最適化を行うことで高粘度材料の塗布が可能なが確認できた。さらにピエゾの駆動波形や液体の供給圧力を変えると、液滴の直進性や品質が大きく変わることが分かった。

次に塗布の安定性を確認するため、ノズルから吐出される液滴の様子を観察した(図11)。吐出した液体は液柱となり、飛行していくことが確認できた。一般的なインクジェットでも液柱の現象は見られるが、粘度が高い場合はさらに液体の切れが悪い。そのためワークとの距離が近すぎると液滴を分離しにくくなるため、塗布状態を確認しながら塗布距離を設定している。

以上のように塗布の確認はできたが、今後の課題としては次のような内容があげられる。

塗布した液滴量にはバラツキがあり、その液滴の周囲にはチリ状の微細な飛び散りがみられた。塗布量バラツキや飛び散りは低粘度液でも課題とされており、塗布品質を低下させる要因となるので引き続き改善していく必要がある。また、量産時の課題となる液体の粘度管理、メンテナンス方法、生産リードタイムなども引き続き検討を行う。

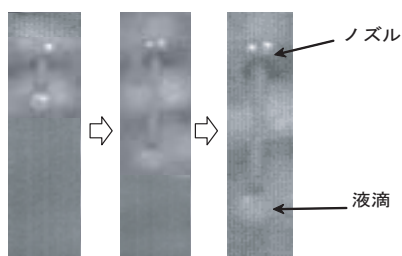


図11 液滴の様子

5. まとめ

従来は数 mPa・s 程度の粘度の液体しか塗布できなかったインクジェット法を応用して、高粘度の液体でも塗布できることを確認した。この方法を使えば生産の効率化や材料の有効利用さらに環境負荷を低減できるなどの期待がある。

しかしながら塗布量バラツキや飛び散りの課題も残されており、今後はヘッドをはじめとして塗布材料などの改善を進めることで塗布品質を向上させたい。さらに微細化、高速化が実現できれば、有機ELやPDPなどの量産装置にも活用の道が開ける。

参考文献

- (1) インクジェット最新技術 情報機構
- (2) インクジェットプリンター技術と材料 甘利武司 シーエムシー
- (3) 最新インクジェット技術ノウハウ集 技術情報協会
- (4) 『インクジェットにおける吐出安定化技術』 セミナーテキスト 情報機構

筆者紹介

長島 貴(ながしま たかし)

生産統括部 生産技術センター
主にディスプレイ、生産技術関連の開発に従事。

石田 毅(いしだ たけし)

生産統括部 生産技術センター
主にピックアップ関連などの生産技術開発に従事。

小田 啓二(おだ けいじ)

生産統括部 生産技術センター
主にCAE、工法開発、ピックアップ関連などの生産技術開発に従事。