

機能性タンパク質から味や香りまで、機能性印刷における ピエゾ式インクジェットヘッドの可能性

From functional proteins to taste and smell,
the potential of piezoelectric inkjet heads in functional printing

齊藤 衛¹, 板倉 舞¹, 杉本 雅明¹

Mamoru SAITO¹, Mai ITAKURA¹, Masaaki SUGIMOTO¹

¹エレファンテック株式会社

¹Elephantech Inc.

【要約】

弊社はインクジェット技術を中心とした機能性印刷の可能性拡大に挑戦している。今回の実験を通し、水系インク向けに調整されているピエゾ式インクジェットヘッドで入手しやすいエプソン製インクジェットヘッドが社会に貢献できそうだと感じる領域について報告する。今回取り上げる液体は、バイオセンサーに使用する機能性タンパク質を溶解させるリン酸緩衝生理食塩水、また身近なものとして、レモン果汁と醤油とした。新しい材料をインクジェットで安定的に吐出しようとする様々な調整を行うことになるため、その課題も抽出した。本発表では AM 技術としての発展性も紹介する。

キーワード: アディティブマニュファクチャリング, 機能性印刷, バイオセンサー, 機能性タンパク質

【Abstract】

We are trying to expand the possibilities of functional printing based on inkjet technology. This paper reports on the areas in which EPSON's inkjet heads, which are easily available as piezoelectric inkjet heads tailored for water-based inks, are likely to make a contribution to society. We have chosen phosphate-buffered saline to dissolve the functional proteins used in the biosensor, and lemon juice and soy sauce as familiar liquids. Various adjustments are required to ensure the stable discharge of new materials by inkjet, and the issues were extracted. In this presentation, the development of AM technology will be introduced.

Keywords: additive manufacturing, functional printing, Biosensors, functional proteins

1. はじめに

エレファンテックは2014年に銀ナノインクを家庭用インクジェットプリンターから吐出し、回路のプロトタイプングを加速するという論文をきっかけに起業した。⁽¹⁾ 2020年4月にはAMC(アディティブマニュファクチャリングセンター)を立ち上げ、インクジェット技術を中心とした新しいものづくりに挑戦している。AM技術は資源節約と環境保護にも役立つ持続可能な生産プロセスとして注目されている。⁽²⁾ もともとグラフィック印刷用途向けに開発が進んできた水系のピエゾ式ヘッドは、低粘度領域に合わせたヘッド設計になっている。しかし、産業用途へ展開が進んだインクジェット技術は、インクに様々な機能付与がもたらされたことで高粘度化する方向に進み、それに合わせて産業用インクジェットヘッドは高粘度領域に合わせたヘッド設計へと進化を遂げたと理解している。一方で、AM技術に使用されるインクジェット機能性インクの中でも、水系インクは環境にも優しいため活用の幅が広がっているという背景から、グラフィック用途

で実績のあるヘッドにも活用の可能性が広がったと考えている。そこで我々は、インクジェットヘッドによる機能性印刷の可能性を追求するために、水に近い粘度域の身近な液体を吐出させることにトライした。本報告では、今後成長分野として考えられるヘルスケア分野やFoodTech分野⁽³⁾⁽⁴⁾で活用されそうな材料として、リン酸緩衝生理食塩水(PBS溶液)、レモン果汁、醤油を取り上げ、吐出性を中心に紹介する。

2. 実験装置および実験対象

弊社ではエプソン製 R&D 用インクジェット装置を使用し、エプソン製 PrecisionCore ヘッドにてインク吐出評価を実施している。表1に装置概要を示す。現在主流となっている他社実験機のIJヘッドは吐出可能な粘度域として10mPa・s前後になっていることが多い。つまり、今回使用するヘッドは低粘度領域でも吐出可能であることが強みとなっていると言える。また、表面張力についても水に近い高めの領域まで問題なく扱えるようだ。

表 1 R&D 用インクジェット装置概要

メーカー	セイコーエプソン
プリントヘッド	PrecisionCore
インク粘度の目安	1-10 mPa・s
必要最小インク量	50 mL
観察機能	インク滴の飛行観察
描画機能	100mm 角ステージへの描画
インク種類	水系・溶剤系インク

今回吐出評価に取り上げたインクおよび粘度を表 2 に整理した。粘度はブルックフィールド社製デジタル粘度計 LVDV1M を使用し、実験室環境にて計測した。

PBS 溶液は、バイオセンサー用途として酵素などの機能性タンパク質などを添加し使用する⁽⁶⁾ため、今後も活用の場が期待されている。レモン果汁と醤油は身近なものの一例として、味や香りを微量コントロールすることにより産まれるアイデアを期待して選定した。

表 2 使用した液体

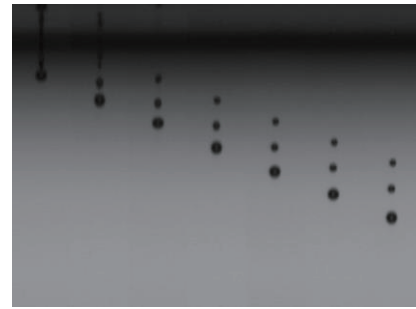
液体名	粘度 [mPa・s]
PBS 溶液	0.99
レモン果汁	1.26
醤油	3.48

3. 実験方法(評価方法)

R&D 用インクジェット装置にて、まずはヘッドに対して液体の初期充填を行い、波形や電圧調整を簡易的に実施した。ピエゾ式のインクジェットヘッドは電圧を印加する時間が液体に対して適切でないと正しく飛翔しないので、基本的に波形調整は液体ごとに実施する。また、初期充填時に気泡が抜けきらないと不吐出ノズルが発生するため、注意が必要である。ここでは、8割以上のノズルで正常吐出していればよしとし、それぞれの液体の特長を抽出した。

・リン酸緩衝生理食塩水 (PBS 溶液)

この液体は水と同等の物性であるが、安定して吐出させることが可能であった。図 1 に吐出の様子を載せる。図の上部にノズルが配置され、下方向に液滴が飛行している様子である。5 μ s 刻みで 7 回分の吐出観察画像を繋ぎ合わせたものである。主滴以外に、ノズルからの吐出直後にテール部のサテライトが 2 滴形成される特長があった。表面張力が高いことが影響しているものと推察される。

図 1. PBS 溶液の飛行状態(5 μ s 刻み)

・レモン果汁

テルヴィス社製のイタリア産有機レモン・ストレート果汁 100%を使用し吐出させた。レモン果汁は乾燥により吐出性が悪化するという特長があったため、図 2 に放置時間違いでの飛行状態を載せた。5 分放置後では約 17%のノズルで吐出異常が見られた。この状態はノズルクリーニングで回復する。また、1 日放置の試験において、飛行状態が悪化するなどの異常は見られなかった。長期的な使用環境を考慮するなら、リモネンの影響などを調査する必要がある。

図 3 にリトマス紙上に印刷した結果を載せた。本実験において、1 滴の吐出量は約 5 μ l である。味覚としてレモンの酸っぱさを感じる量は私の体感では 5~10 μ l 程度であった。つまり、インクジェットヘッドでレモン果汁は 100 万滴吐出することでやっと味覚に現れるということである。繊細な味覚表現や、個人の好みに合わせた安定的な味覚調整がインクジェット技術を用いれば実現できると考えられる。

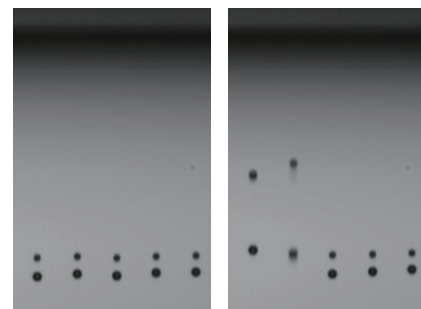


図 2. レモン果汁の飛行状態(放置時間違い)

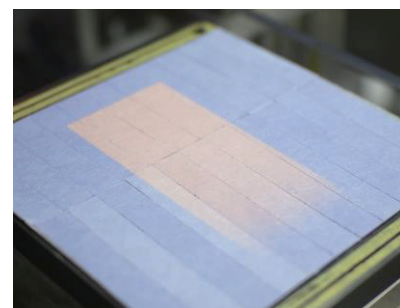


図 3. リトマス紙上に印刷したレモン果汁

・醤油

ヤマサ醤油社製のヤマサしょうゆを吐出させた。図 4 に周波数 30kHz での飛行状態を載せた。醤油は 5 分放置でも吐出異常が起きることなく、グラフィック印刷用インクに粘度に近い醤油は、吐出性が安定であった印象である。吐出評価中にはとても香ばしい香りがしたことが特長的であった。微量でも香りが立つということは、例えば食欲をコントロールする方法として、インクジェットが活用できる可能性を示唆している。極微量を広い面積に塗布することで、均一に揮発し漂う香りの新しい感覚は様々な用途展開が期待できる。

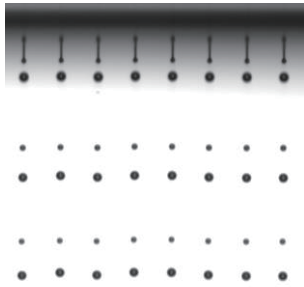


図 4. 醤油の飛行状態(周波数 30kHz)



図 5. 用紙へ印刷した醤油

4. 応用事例

応用事例として、PBS 溶液をもちいたバイオセンサー⁽⁶⁾の試作を進めている。このセンサーにはPBS溶液のみならず、銀インクによる回路パターンやレジスト材もインクジェットにて形成することで、無駄のない製造プロセスが構築できるかを検証する目的がある。将来的には他の材料もインクジェット印刷が可能になるか検討を進めたい。

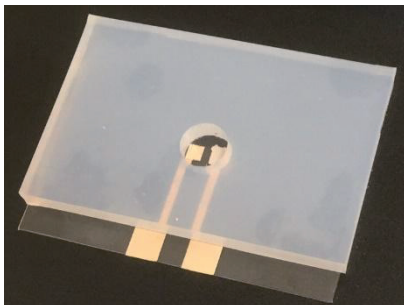


図 6. 試作中のバイオセンサー

5. おわりに

今回の実験により水系インク向けに設計されたピエゾ式インクジェットヘッドが水、レモン果汁、醤油などの低粘度領域の液体でも比較的容易に吐出できることが確認できた。吐出安定性を確保するためには、波形調整などにより追い込むことも必要になる。今後、市場が拡大していくであると想定される分野への展開として、インクジェット技術は大いに期待できると考えている。

謝辞

セイコーエプソン株式会社のご協力のもと、本テーマを進めることが出来た。ここに深く感謝いたします。

参考文献

1. M.Mehrpouya et al. “The Potential of Additive Manufacturing in the Smart Factory Industrial 4.0: A Review”, Applied Sciences (2019),3865.
2. Y. Kawahara et al, “Instant Inkjet Circuits: Lab-based Inkjet Printing to Support Rapid Prototyping of UbiComp Devices”,The 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2013) , Zurich, CH, 2013, pp. 363-372.
3. T. Sawada, “3D フードプリンタの影響と可能性について”, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (2019).
4. R. Wakasugi, “Practice of Food Design with New Textures using 3DPrinting”, Keio University (2019).
5. K. Nagamine et al, “Printed Organic Transistor-based Biosensors for Non-invasive Sweat Analysis”, Analytical Sciences (2020), pp.291-302.
6. K. Nagamine et al, “Noninvasive Sweat-Lactate Biosensor Employing a Hydrogel-Based Touch Pad”, Scientific Reports (2019), 9:10102.

