

インクジェットを利用した微小液滴形成における 粘度及び表面張力が与える影響

色染化学チーム 向井 俊博

要 旨

インクジェットとは微小な液滴を吐出し、メディアに対して着滴させる印刷方式の総称である。現在では、家庭用のプリンターをはじめとした印刷分野以外にも、多岐にわたる産業分野において使用されている技術である。本報では、多価アルコールや界面活性剤から成る様々な物性値のインクを吐出し、マイクロ秒オーダーにおける液滴形成を観察することで、インク物性及び駆動条件が微小液滴に与える影響について検討した。結果、粘度と吐出速度には相関があり、粘度が高い溶液ほど吐出速度は遅くなること、液滴サイズは物性値よりもピエゾ素子の変形量による要因が大きく、駆動波形や駆動電圧を制御することで様々な大きさの液滴を容易に作り出すことができることが分かった。また、今回測定した静的表面張力と吐出速度には明確な相関がなく、液滴形成には静的表面張力以外の物性的な要因があることが分かった。

1. はじめに

インクジェット（以下、IJ）とは微小な液滴を吐出し、メディアに対して着滴させる印刷方式の総称である。現在では、家庭用のプリンターをはじめとした印刷分野以外にも、テキスタイルプリントやプリンタブルエレクトロニクスといった産業分野においても使用されている技術である。インク液滴を形成する方法としては、様々な方法が提案されているが、特に産業分野においては電圧を加えると変形するピエゾ素子を利用した方式が最も多く採用されている。

このピエゾ素子の変形により吐出される液滴は、その物性（粘度、表面張力）により、吐出速度が異なることが知られており、インクが微細なノズルを通過し、液滴が形成される際の複雑なメカニズムについては様々な考察がされているが¹⁾、当然のことながら、IJヘッド及びその他装置周辺の構成、駆動波形、電圧、周波数等の条件により結果は異なるため、一般的な傾向を示すのみに留まっている。そのため、パターンニングを行う際には、使用するIJ装置に応じてインク物性の調製、IJ装置の印刷条件を最適化しなければならない。具体的には、パターンニングでは、液滴の吐出速度とキャリッジの駆動速度を連動させる必要があるため、吐出速度を評価することは重要である。また、液滴サイズはメディア上に形成される1ドットの大きさを決定する重要な因子であり、液滴を任意の大きさに調整することは非常に重要である。

これまでに多価アルコールを用いて様々な組成のインクを調製し、それらの物性が液滴の吐出速度に与える影響について検討された事例はあるが²⁾、界面活性剤を添加したインクについての報告は少ない。本報では、IJ装置を用いた液滴の精密制御を目的とし、多価アルコール及び界面活性剤により、様々な物性に調製したインクを用い、IJ装置の電圧を変化させ、それらの液滴を吐出した際の速度や液滴サイズを測定し、評価を行った。これらの結果から、IJインクの物性において重要とされる粘度及び表面張力が吐出速度や液滴体積に対して与える影響について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 実験材料

吐出する溶液を調製する薬品として市販のポリエーテルポリオール系の界面活性剤Aを使用した。2,4,7,9-テトラメチル-5-デシン-4,7-ジオール-ジ(ポリオキシエチレン)エーテルは分子量約670の試薬をシグマアルドリッチより購入し、使用した。その他、実験で使用した溶液については特級及び1級グレードの試薬より調製した。また、界面活性剤の添加量についてはCMC濃度の10倍以上を目安に添加した。調製した溶液はすべて0.45 μm のフィルターでろ過後に使用した。溶液組成について下記の表1、表2に示す。表1に示すインクは界面活性剤による影響を検討するため、また、表2に示すインクは多価アルコールの影響を検討するた

めに調製した。下記以外のインクとしてテキスタイル捺染で使用実績がある市販のテキスタイル用インクとしてインクMを比較対象として使用した。

表1. 水及び界面活性剤からなるインク組成

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Triton X-100	1					
Triton X-165		1				
ポリオキシエチレンエーテル			1			
エアゾルOT				1		
界面活性剤A					0.1	
水	99	99	99	99	99.9	100

表2. 水、グリセリン及び界面活性剤からなるインク組成

	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
グリセリン	15	30	15	30	15	30
ポリオキシエチレンエーテル			1	1		
界面活性剤A					1	1
水	85	70	84	69	84	69

2. 2 粘度及び表面張力測定

粘度は回転粘度計TV-22L（東機産業社製）を使用し、測定した。表面張力は接触角計DSA-Mk2（Kruss社製）を使用し、ペンダントドロップ法により測定した。測定温度は23℃とした。

2. 3 吐出方法及び液滴観察

IJ評価装置Inkjet Designer（クラスターテクノロジー社製）を使用し、ノズル径 $\phi 25\mu\text{m}$ のヘッドより調製したインクを吐出した。このときの吐出条件としては、低粘度のインクを吐出することに適する駆動波形Wave Cを選択し、駆動周波数1000Hz、駆動電圧10V～15Vで行った。

液滴観察はInkjet Designerに搭載されているカメラにより、吐出されている液滴を撮影して行った。具体的には、インクを吐出してから100 μ 秒後のノズルからの移動距離から吐出速度を求めた。また、そのときの液滴径から液滴を球体と仮定した体積を計算し、液滴体積とした。

3. 結果及び考察

3. 1 駆動電圧が吐出速度及び液滴体積に与える影響

様々な物性をもつインクについて駆動電圧を10V～

15Vの間で変え、そのときの吐出速度及び1液滴あたりの体積を評価した。1wt%のTriton X-100溶液についてInkjet Designerを用いて吐出し、その100 μ 秒後の液滴を撮影した様子を図1に示す。駆動電圧に応じて液滴の移動している距離が長くなっており、吐出速度が速くなっていることが分かる。

図1に示した1wt%のTriton X-100溶液以外にも1wt%のTriton X-165溶液、水、30wt%のグリセリン溶液について吐出速度を測定した結果を図2に示す。吐出速度は電圧と比例関係にあり、電圧が高ければ、インクの吐出速度が速くなることが分かった。また、インクを構成する組成によって吐出速度が異なっており、インク物性の違いにより吐出速度が変化するものと考えられる。また、今回、調製した他のインクについても、すべて同様の傾向が見られた。

次に、吐出されてから100 μ 秒後、電圧を変えた際の1滴あたりの体積を測定した結果を図3に示す。図3では、吐出量と電圧との関係を示しているが、吐出速度と同様に、1滴あたりの体積も電圧が高くなると増加していることが分かる。一部、逆転している箇所があるが、測定誤差によるものと考えられる。

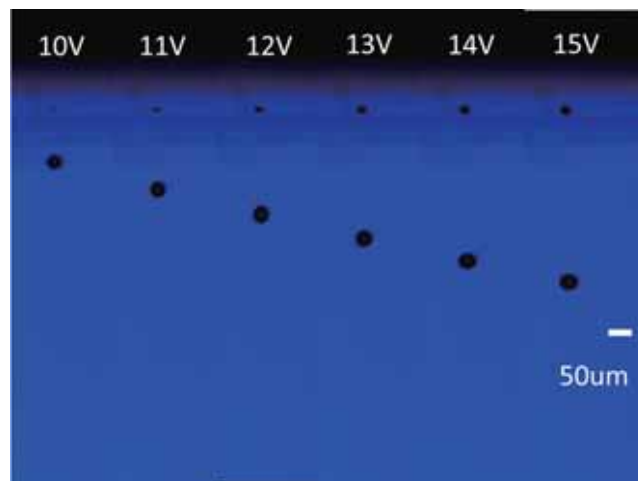


図1. 電圧を変えたときの液滴観察結果 (Triton X-100 1wt%の場合)

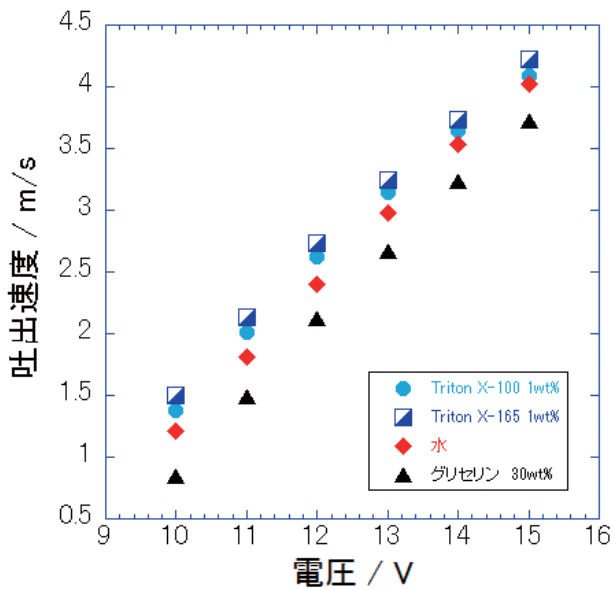


図2. 吐出速度と電圧の関係

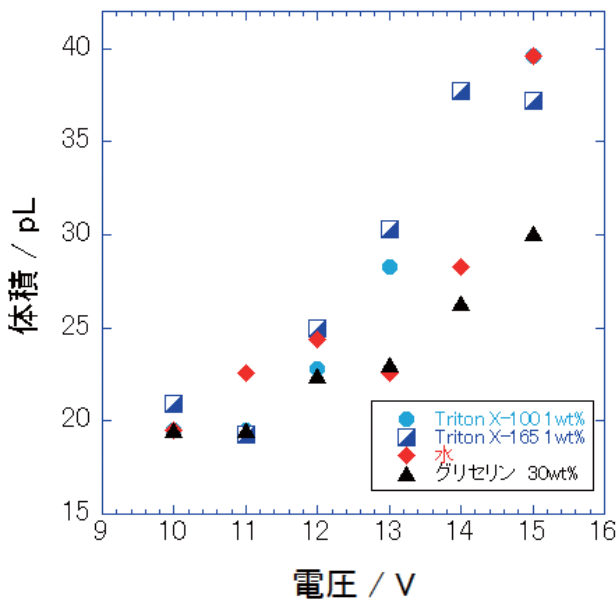


図3. 液滴体積と電圧の関係

3. 2 粘度及び表面張力が吐出速度及び液滴体積に与える影響

調製した溶液の粘度及び表面張力を表3に示す。また、それらを電圧15Vで吐出した液滴の吐出速度、液滴直径、1滴あたりの体積を表4に示す。

表3. インク液滴の物性値

	粘度(mPa·s)	表面張力(mN/m)
No.1	0.98	30.80
No.2	0.98	38.10
No.3	0.96	29.40
No.4	0.99	24.70
No.5	0.92	40.20
No.6	0.93	71.70
No.7	1.45	70.50
No.8	2.27	71.70
No.9	1.47	29.60
No.10	2.42	29.10
No.11	1.41	37.40
No.12	2.28	33.20
インクM	3.77	34.70

表4. インク液滴の吐出速度、直径及び体積

	速度 (m/s)	直径 (μm)	体積 (pL)
No.1	4.09	42.3	39.6
No.2	4.22	41.4	37.2
No.3	4.25	39.5	32.3
No.4	3.89	40.4	34.5
No.5	4.03	41.3	36.9
No.6	4.02	42.3	39.6
No.7	4.03	41.4	37.2
No.8	3.72	40.5	34.8
No.9	4.12	41.3	36.9
No.10	3.86	38.6	30.1
No.11	3.87	41.5	37.4
No.12	3.78	39.7	32.8
インクM	3.50	36.9	26.3

表3と表4より粘度と吐出速度との関係を図4に示す。これより、粘度が高くなるにつれて吐出速度が遅くなっている傾向にあることが分かる。しかし、粘度のみに依存するわけではなく、界面活性剤の種類によってその吐出速度は異なっている。表3のNo.1～No.6のインクは粘度がほぼ同じであるが、インクを構成している界面活性剤の種類が異なっており、表面張力がそれぞれ異なっている。No.1～No.6の表面張力と吐出速度の関係を図5に示す。表面張力と吐出速度との関係において相関は見られないが、使用している界面活性剤の種類により吐出速度が異なることが分かる。ここで示した表面張力は静的表面張力であり、比較的長い時間スケールでの物性を示しており、この結果から、静的表面張力以外の物性値が液滴速度に影響を与えていることが推測される。

次に、液滴体積と粘度の関係を図6に示す。粘度が高いほど、形成される液滴は小さくなる傾向にあるこ

とが分かる。また、吐出速度の場合と同様に、表面張力と体積との関係において相関は見られなかったが、界面活性剤の種類により吐出される1滴あたりの体積は異なっているため、静的表面張力以外の物性値が液滴体積に影響を与えていることが推測される。

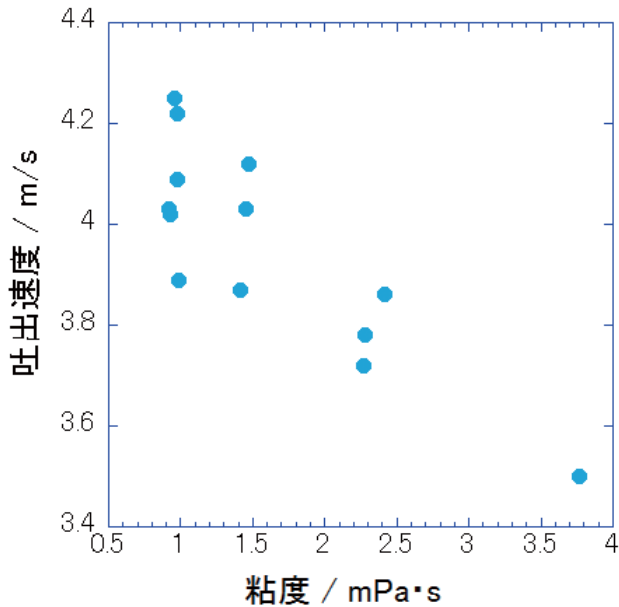


図4. 吐出速度と粘度の関係

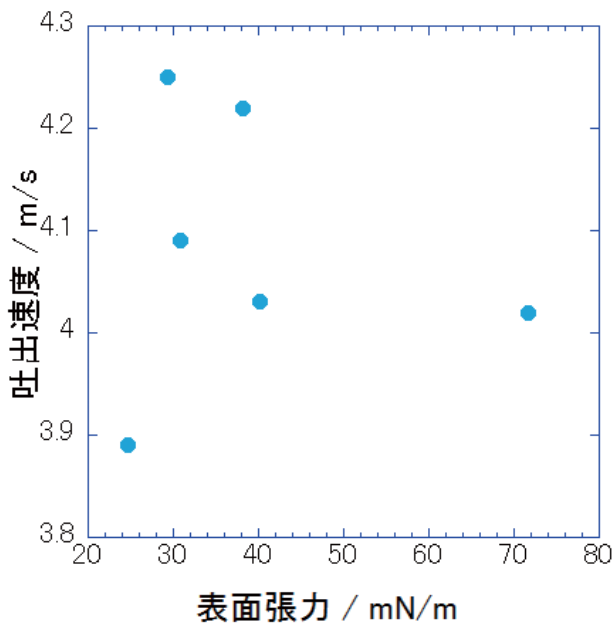


図5. 吐出速度と表面張力の関係

IJでは微細なノズルから高速でインクを押し出すため、静的表面張力よりも動的表面張力が影響すると

われており³⁾、動的表面張力をはじめとしたその他の物性を与える影響については今後の検討課題とする。

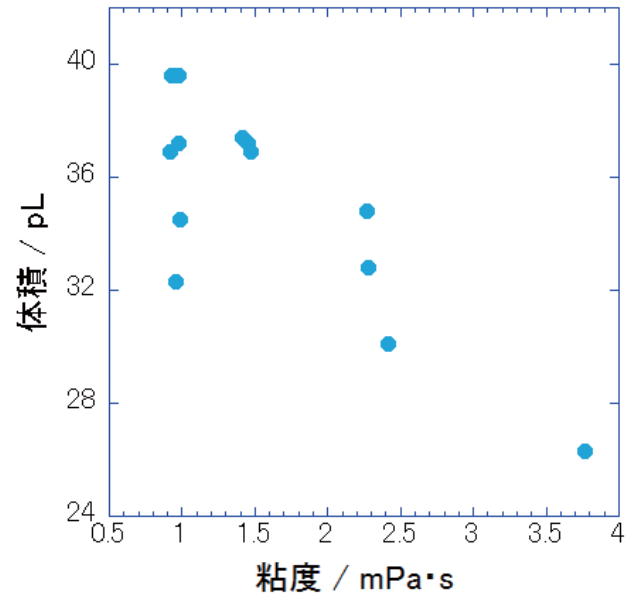


図6. 粘度と液滴体積の関係

IJによる微小液滴形成は、駆動波形や駆動電圧といった機械的要因以外にも、インク物性が影響を与える複雑な現象である。特にインクに含まれる界面活性剤による影響は、予測することが難しいが、今回の実験結果から、使用する界面活性剤の種類や多価アルコールの濃度、さらに駆動波系や駆動電圧を調整することにより、任意の液滴の大きさや吐出速度を制御することが可能であると考えられる。また、今回の実験で測定を行っていない動的表面張力をはじめとした物性値については今後の検討課題とする。

4. まとめ

様々な物性のインクを調製し、IJ評価装置によりマイクロ秒オーダーにおける液滴形成を観察することで、インク物性が微小液滴に与える影響について検討した結果、以下のことが分かった。

- 1) 駆動電圧が高くなると、吐出速度は速くなり、1液滴あたりの体積も大きくなる。
- 2) 粘度が高くなると、吐出速度は遅くなり、1滴あたりの体積は小さくなる。
- 3) IJによる微小液滴形成はインク物性と駆動波系、駆動電圧等の機械的要因が重なり、複雑なメカニ

ズムで引き起こされる現象である。

今後、さらにインク組成及び物性と吐出状態との相関を考察することで、現在の市場には存在しない染料及び顔料以外の新たなインクを開発することができる考える。

参考文献

- 1) 藤井雅彦, 他: インクジェット, 日本画像学会編, p.52 (2008).
- 2) 鈴木健司, 他: 色材協会誌, 70, 291 (1997).
- 3) 高橋恭介: インクジェットプリンターの応用と材料Ⅱ, シーエムシー出版, p.44 (2013).