

# 微小インク滴の溶媒の揮発挙動に関する研究

Studies on the Evaporation Behavior of Solvents in Minuscule Ink Droplet



スペシャリティ事業部門  
スペシャリティ事業部  
Speciality Business Division  
Speciality Business Department

濱中 政爾  
Seiji HAMANAKA

## 要 旨

インクジェットプリンターを用いた画像形成技術において、微小インク滴の溶媒の揮発挙動を知ることは重要である。本報では、屋外の看板やポスターに使用される塩ビフィルム上での水系インクの溶媒の揮発挙動を把握するため、有機溶剤と水のみからなるモデルインクを調整し、微小インク滴の揮発挙動を検討した。塩ビフィルムへの浸透性を有する有機溶剤を用いた場合は、水が蒸発した後、有機溶剤の浸透が開始されるため、水の揮発性に影響を与えにくいことが確認できた。一方、塩ビフィルムへの浸透性を有さず、水よりも蒸発速度が速い有機溶剤を用いた場合は、塩ビフィルムに対する水の接触角を下げる効果があっても有機溶剤が水より先に揮発し、その効果が持続しないため、水の揮発性は向上しにくいことが確認できた。また、塩ビフィルムへの浸透性を有さず、水よりも蒸発速度が遅い有機溶剤を用いた場合は、塩ビフィルムに対する水の接触角を下げる効果が大きいほど液滴の表面積が増加するため、水の揮発性は向上することを確認した。

## Abstract

It was examined for us which effect of the organic solvent which gave it to evaporation behavior of aqua on vinyl chloride film used for outdoor signboard and poster in minuscule droplets of ink in the image formation technology which used an ink-jet printer. It was appreciated for us when it used the organic solvent which had osmosis, so that penetration of organic solvent was started after water evaporated it was appreciated that it was hard to give effect to evaporation behavior of aqua. On the other hand when it did not hold osmosis to vinyl chloride film, and evaporation rate used fast organic solvent than aqua, even if it was assumed that was effective lower angle of contact of aqua for vinyl chloride film, because organic solvent evaporates more in advance since aqua, and the effect does not continue, it was appreciated that evaporation property of aqua was hard to improve. And when it did not hold osmosis to vinyl chloride film, and evaporation rate used late organic solvent than aqua It was appreciated that evaporation property of aqua improved so that surface area of fluid drop increased if effect to lower angle of contact of aqua for vinyl chloride film was big.

## 1. はじめに

インクジェットプリンターでは、液滴径数十 $\mu\text{m}$ のインクをノズルからメディア(印刷用紙やフィルムなどの塗布対象物)に吐出し、溶媒が浸透あるいは揮発することにより1ドットが形成される。インクの粘度を低くしなければノズルからインクを吐出することができず(数 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ~20 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )、インク中の溶媒成分は80%以上となるのが通常である。このように、溶媒の浸透あるいは揮発の制御が印刷物の画質に大きく影響を及ぼすことから、溶媒の選択が重要となっている。

従来、屋外の看板やポスターに使用される印刷物は有機溶剤系インクを塩ビフィルムに吐出し、溶媒を浸透させて画像を形成していた。近年では、VOC(揮発性有機化合物)の排出量が少なく、印刷後すぐに加工ができるなどの特長を持つ水系インクの需要が高まっている。しかし、塩ビフィルムに対して水系インクの浸透性は弱く、溶剤系インクに比べ濡れ広がりにくく、また、乾燥過程で生じるにじみなどにより、水系インクの画質は溶剤系インクと比べ劣る傾向にある。そのため、水系インクの画質を向上させるためには、塩ビフィルムに対する濡れ性、浸透性あるいは揮発性を向上させることが重要であると考えられる。

本報では、塩ビフィルムに対する水系インクの濡れ性、浸透性あるいは揮発性の制御に不可欠な有機溶剤の影響を把握するため、水と各有機溶剤のみを混合したモデルインクを調整し、微小インク滴(0.5~1.0nl)における溶媒の揮発挙動を検討したので報告する。

## 2. 実験

### 2.1 試料

構造が異なる2種類のグリコールエーテル有機溶剤A(グリコールの両末端のOH基の水素がアルキル基に置換されたグリコールエーテル)およびB(グリコールの片末端のOH基の水素がアルキル基に置換されたグリコールエーテル)と、アルコール溶剤Cの3種の有機溶剤を用いた。これらの有機溶剤の特性値を表1に示す。また、イオン交換水を用いて各溶剤を希釈した水溶液(溶剤Aおよび溶剤B:10, 20, 30, 60wt%、溶剤C:10, 40, 60, 80wt%)を調整した。

### 2.2 測定

気温20~25 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度30~35%、塩ビフィルムの温度25 $^{\circ}\text{C}$ の条件下において、自動極小接触角計(MCA-3:協和界面科学社製)を用い微小インク滴(以下微小液滴と略す。)を滴下し、真横から液滴径、液滴高さおよび液滴の接触角を測定した。なお、微小液滴の体積は数式(1)より算出した。

数式(1)

$$V = \frac{\pi h r^2}{3} \left( \frac{2 + \cos \theta_{APP}}{1 + \cos \theta_{APP}} \right)$$

ここで、 $V$ は液滴の体積、 $h$ は液滴の高さ、 $\theta_{APP}$ は液滴の接触角、 $r$ は液滴の接触半径を示している。

表1 水および有機溶剤の特性値

|        | 溶剤種       | 粘度<br>(20 $^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ) | 表面張力<br>(20 $^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{mN/m}$ ) | 蒸気圧<br>(20 $^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{hPa}$ ) | 沸点<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | 水への溶解度   |
|--------|-----------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|----------|
| イオン交換水 | —         | 1                                                          | 73                                               | 23                                             | 100                          | —        |
| 溶剤A    | グリコールエーテル | 1                                                          | <25                                              | <1.0                                           | <200                         | $\infty$ |
| 溶剤B    | グリコールエーテル | 5                                                          | <25                                              | <0.1                                           | >200                         | $\infty$ |
| 溶剤C    | アルコール     | 1.2                                                        | 22                                               | 57                                             | 79                           | $\infty$ |

## 2.3 無次元化

微小液滴が塩ビフィルムへ着弾した瞬間( $t=0$ )の液滴の体積 $V_0$ を前述の式(1)から求めた。さらに、液滴を球と仮定し数式(2)から相当径 $d_0$ を算出した。

得られた相当径 $d_0$ から塩ビフィルムに微小液滴が着弾した瞬間における液滴の液量を同じにするために、無次元液滴径 $=d/d_0$ 、無次元液滴高さ $=h/d_0$ 、修正時間 $=t/d_0$ を求めた後に、数式(1)より無次元液滴体積 $V'$ を求めた。

数式(2)

$$V_0 = \frac{1}{6} \pi d_0^3$$

## 3. 結果と考察

### 3.1 微小液滴の溶媒の揮発挙動

溶剤A、B、Cおよび水の微小液滴を真上から観察した揮発挙動を図1に示す。各微小液滴は異なる挙動を示した。水および溶剤Cは液滴径が低下しながら液滴体積が減少しているのに対して、溶剤Aおよび溶剤Bは液滴径を維持しながら液滴体積が減少していた。また、揮発後、溶剤Aが着弾した塩ビフィルムの表面は粗くなり、膨潤していた。このことから、溶剤Aは塩ビフィルムに対し浸透性があると確認できた。それに対し、溶剤BとCおよび水が着弾した塩ビフィルムの表面は変化が見られず、溶剤BとCおよび水は塩ビフィルムを膨潤させるほどの浸透性はないと考えられる。

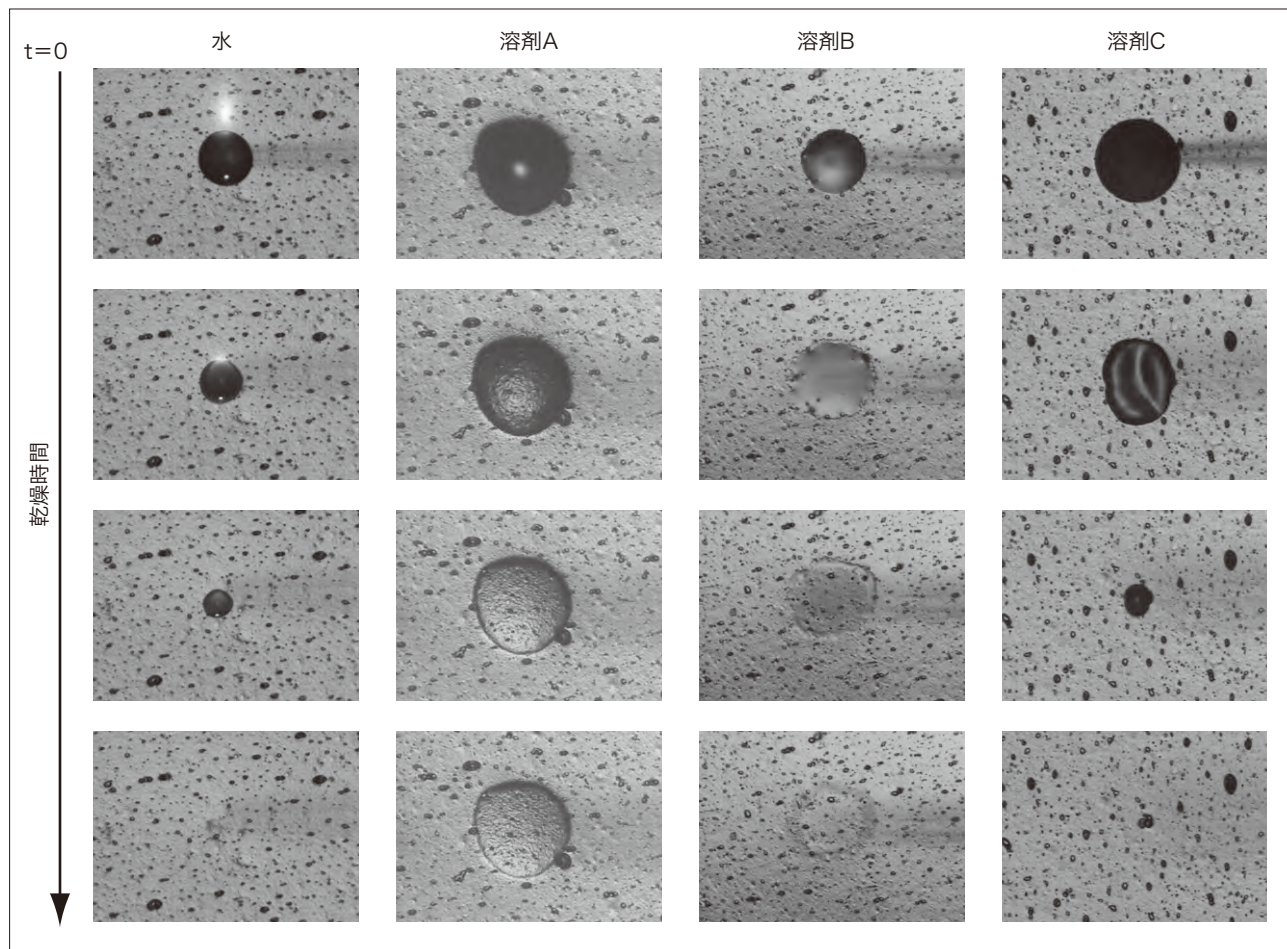


図1 水および各溶剤の揮発挙動



## 3.2 水の揮発性に与える有機溶剤の影響

### 3.2.1 溶剤Aを含む水溶液

溶剤Aを含む水溶液の無次元化した液滴径、液滴高さ、接触角および液滴体積変化を図2～5に示す。

10wt%水溶液の揮発過程は1段階目(修正時間0～350s/m)は液滴径が変化しないで、液滴高さ・接触角および液滴体積の値が減少し、2段階目(修正時間350～580s/m)は液滴径の値がわずかに減少しながら液滴高さ・接触角および液滴体積の値が減少した。さらに、3段階目(修正時間580s/m～)は液滴径の値が増大し、液滴高さおよび接触角の値が減少する3段階の過程を経て揮発した。20wt%水溶液の乾燥過程においては10wt%水溶液で確認された2段階目の揮発挙動が見られないまま、3段階目の過程を経て揮発した。

30～40wt%水溶液および溶剤Aの揮発過程においては10wt%水溶液で確認された1および2段階目の揮発挙動が見られず、微小液滴が着弾すると同時に液滴径の値が増大する3段階目の過程を経て揮発した。また、図5に示した液滴体積の変化(傾き)が10wt%および20wt%水溶液は水のみとほぼ等しく、30wt%水溶液は修正時間280s/mまでは水のみとほぼ等しく、修正時間280s/m以降で若干大きくなった。40wt%水溶液および溶剤Aにおいては液滴体積が修正時間500s/m以降で一定になったが、これは塩ビフィルムが膨潤した影響を受けたためと考えられる。

10wt%水溶液の揮発挙動を真上から観察した結果を図6に示す。

3段階目の液滴径の値が急激に増加した後に、塩ビ

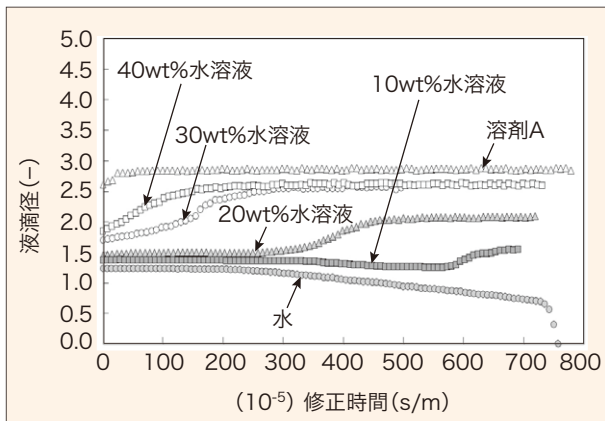


図2 揮発時間と溶剤Aの各濃度における液滴径の関係

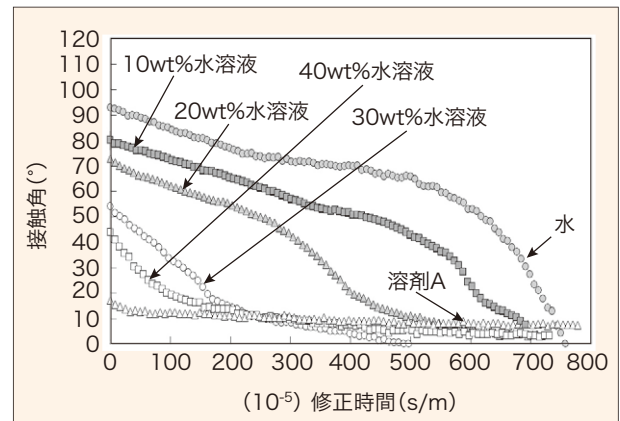


図4 揮発時間と溶剤Aの各濃度における接触角の関係

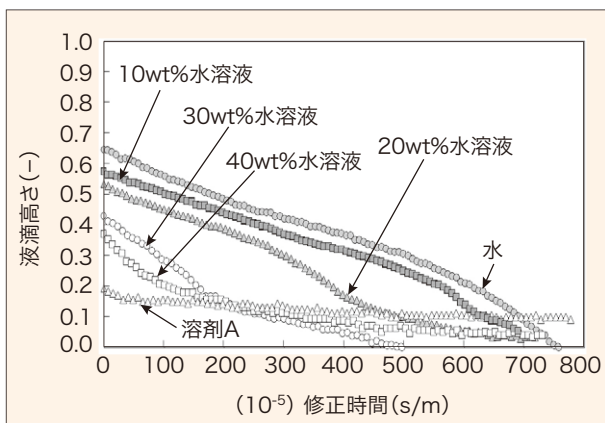


図3 揮発時間と溶剤Aの各濃度における液滴高さの関係

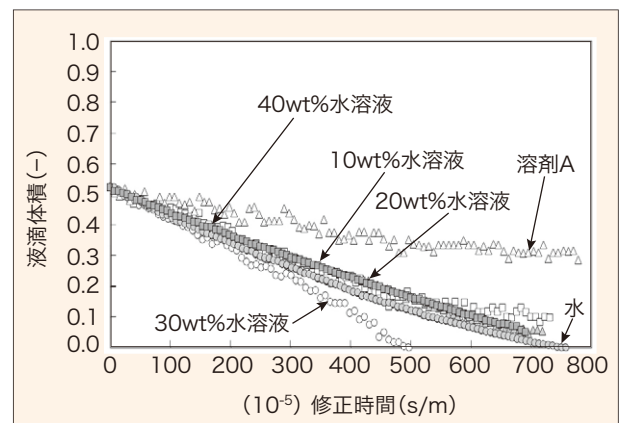


図5 揮発時間と溶剤Aの各濃度における液滴体積の関係

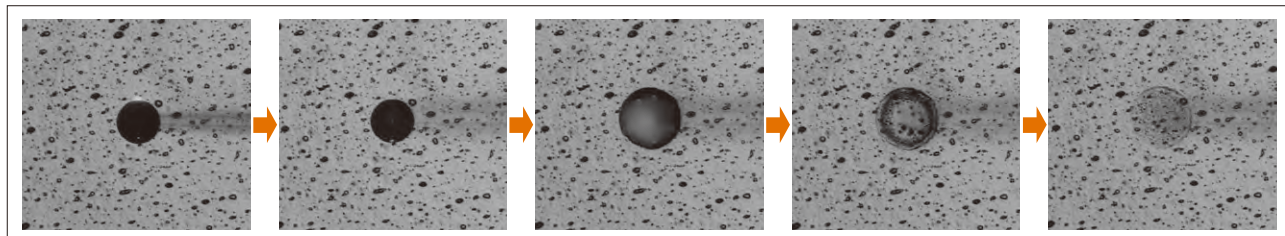


図6 溶剤Aを用いた10wt%水溶液滴の揮発挙動

フィルムへ浸透している様子が確認された(図6 右から2つ目)。

10wt%水溶液の1段階目と2段階目の揮発挙動は水のみでの揮発挙動とほぼ同様で、また、溶剤Aの濃度が高くなるほど、液滴径が増大する3段階目までの時間が短くなり、塩ビフィルムに着弾した直後の液滴径ならびに最大到達径も増加していた。このことから、2段階目までは水が主に揮発したと考えられ、溶剤Aは濃度が高まり3段階目へ移行し、その後、塩ビフィルムへ浸透が始まったと推測される。以上のことから、溶剤Aは塩ビフィルムへ浸透性を有するが、水と混合した場合、水の揮発性に影響を与えにくいと考えられる。

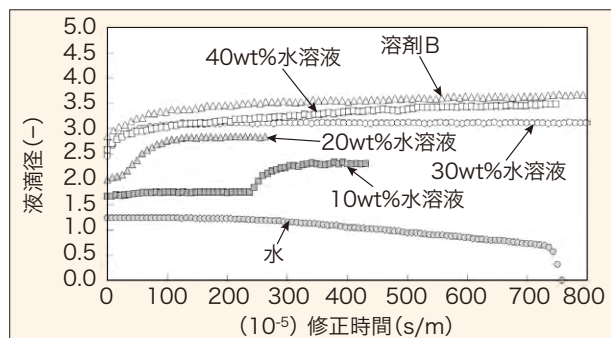


図7 揮発時間と溶剤Bの各濃度における液滴径の関係

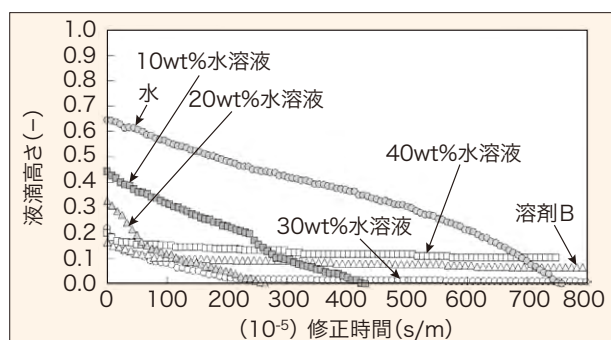


図8 揮発時間と溶剤Bの各濃度における液滴高さの関係

### 3.2.2 溶剤Bを含む水溶液

溶剤Bを含む水溶液の無次元化した液滴径・液滴高さ・接触角および液滴体積変化を図7～10に示す。10wt%水溶液の揮発過程において、1段階目(修正時間0～220s/m)は液滴径が変化しないで、液滴高さ・接触角および液滴体積の値が減少し、2段階目(修正時間220s/m～)は液滴径の値が増大し、液滴高さおよび接触角の値が減少する2段階の過程を経て揮発した。また、図10に示した液滴体積の変化をみると、10wt%水溶液の方が水のみより傾きが大きくなっており、溶剤Bを混合したことによる水の揮発性の向上が確認された。

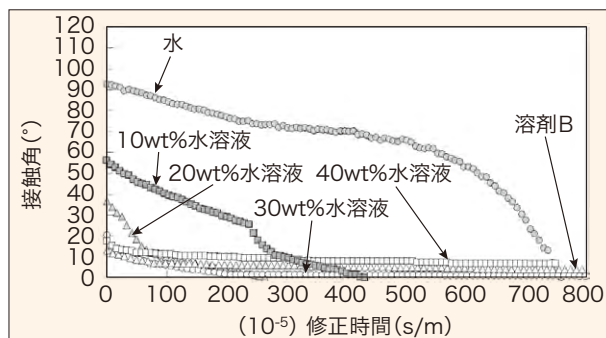


図9 揮発時間と溶剤Bの各濃度における接触角の関係

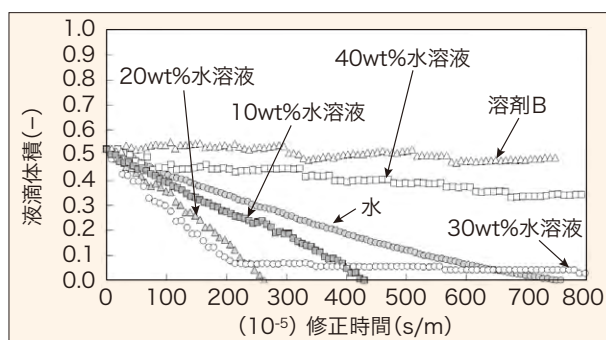


図10 揮発時間と溶剤Bの各濃度における液滴体積の関係

同一濃度における溶剤Aと溶剤Bを比較すると、塩ビフィルムに着弾した直後の液滴径は溶剤Bの方が大きく、液滴径が急激に増加するまでの時間も速く、また接触角が低くなっていることから、塩ビフィルムへの濡れ性を向上させやすいことがわかる。無次元化した液滴径・液滴高さをを用い算出した各濃度の表面積変化を図11～12に示す。塩ビフィルムへの濡れ性を向上させやすい溶剤Bの方が、溶剤Aよりも同一時間で比較すると表面積が大きくなっており、この表面積増大の効果により溶剤Bは水の揮発性を大きく向上させたと考えられる。

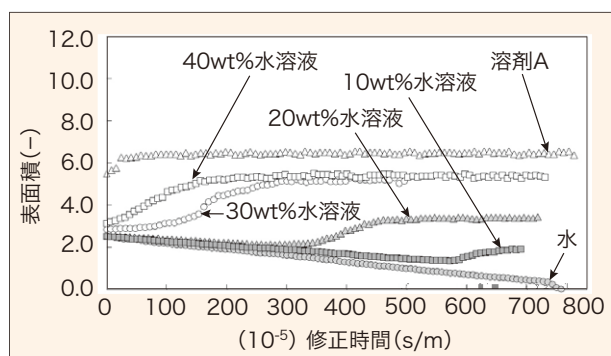


図11 揮発時間と溶剤Aの各濃度における表面積の関係

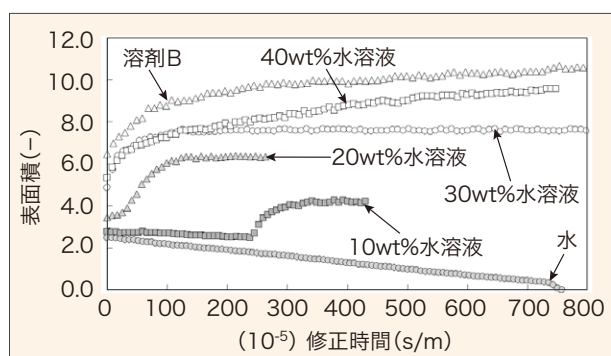


図12 揮発時間と溶剤Bの各濃度における表面積の関係

### 3.2.3 溶剤Cを含む水溶液

溶剤Cを含む水溶液滴の無次元化した液滴径・液滴高さ・接触角および液滴体積変化を図13～16に示す。液滴径の値は40wt%以上において修正時間150s/mの間で急激に減少し、その後は緩やかに減少した。液滴高さの値は10～60wt%においては時間とともに減少したが、80wt%および溶剤Cにおいては減少した後

増加し、再び減少した。接触角の値は80wt%および溶剤Cにおける液滴高さと同様に減少した後増加し、再び減少した。また、液滴体積の値が修正時間150s/mまでに40wt%以上の全ての濃度において急激に減少し、その後は水よりも緩やかに減少していたことから、溶剤Cを混合したことによる水の揮発性の向上は確認できなかった。

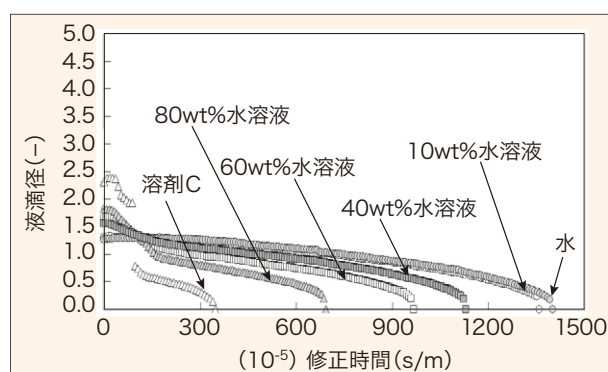


図13 揮発時間と溶剤Cの各濃度における液滴径の関係

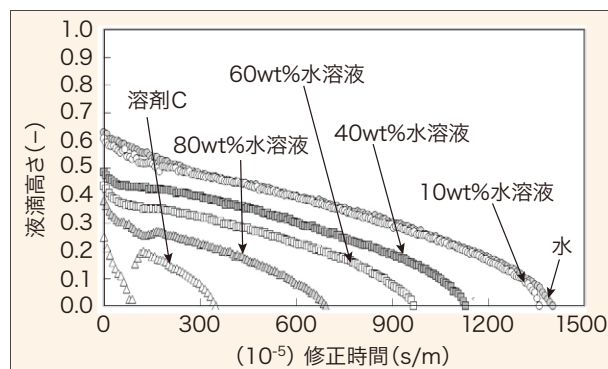


図14 揮発時間と溶剤Cの各濃度における液滴高さの関係

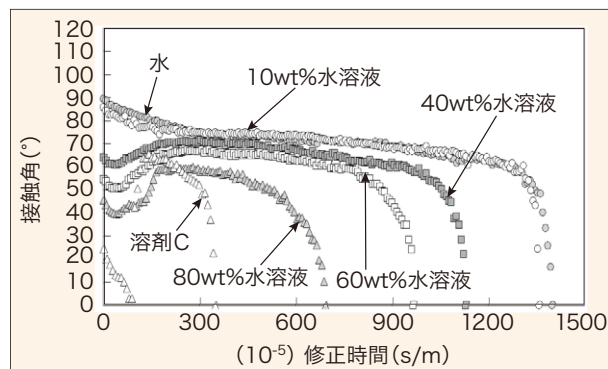


図15 揮発時間と溶剤Cの各濃度における接触角の関係



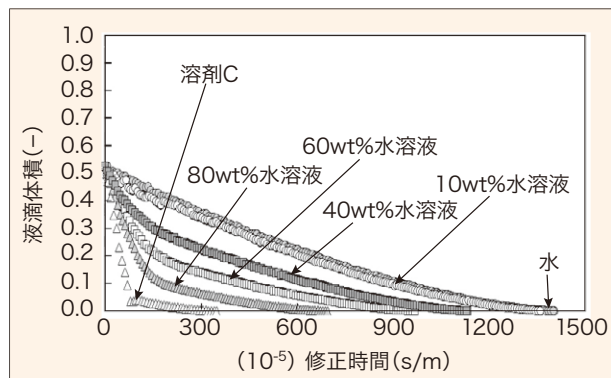


図16 揮発時間と溶剤Cの各濃度における液滴体積の関係

無次元化した液滴径・液滴高さをを用い算出した各濃度の表面積変化を図17に示す。溶剤Cの濃度が低い場合は、濃度に依存せず表面積変化は水の場合とほぼ同等であった。また、溶剤Cの濃度が高い場合は、着弾した直後の液滴の表面積は大きいものの、その後、表面積は急激に低下し、最後には水の場合とほぼ同等になった。このことから、溶剤Cを混合した場合、揮発過程の初期で液滴中の溶剤Cが先に揮発していると推測される。以上のことから、溶剤Cは混合したことによる水の揮発性に影響を与えにくいと考えられる。

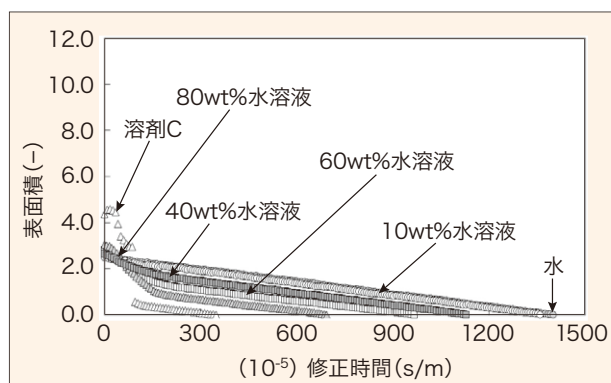


図17 揮発時間と溶剤Cの各濃度における表面積の関係

## 4. まとめ

構造が異なる3種類の有機溶剤を用いた水溶液を調整し、微小インク滴の揮発に伴う液滴径・液滴高さ・接触角・液滴体積および表面積を測定し、水の揮発性に及ぼす有機溶剤の影響について考察した。今回実験した水溶液の揮発挙動の違いを3つにまとめると次のようになる。

- (1) 塩ビフィルムへの浸透性を有する有機溶剤Aを混合しても、水が揮発した後に溶剤の浸透が開始されるため、水の揮発への寄与が小さい。
- (2) 塩ビフィルムへの浸透性を有さず、水よりも蒸発速度が速い有機溶剤Cは、水の接触角を下げる効果があっても、有機溶剤Cが水より先に揮発しその効果が持続しないため、水の揮発性は向上しにくい。
- (3) 塩ビフィルムへの浸透性を有さず、水よりも蒸発速度が遅い有機溶剤Bは、水の接触角を下げる効果が大きく、液滴の表面積が増加することにより、水の揮発性は向上する。

以上のことから、有機溶剤を用いて水の揮発性を向上させるためには、水よりも蒸発速度が遅くてメディアに対する水の接触角を下げる効果のある有機溶剤を選定することが有効であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 技術情報協会：インクジェット技術における微小液滴の吐出・衝突・乾燥, p.350,
- 2) E.B.Dussan V. : Ann.Rer.Fluid Mech.1997,11