

---

一般セッション(口頭講演)| インクジェット

## [IJ1] インクジェット(1) プロセス Inkjet (1) Process

2018年6月19日(火) 14:00 ~ 15:00 大ホール (けやき会館 一階)

---

### [IJ1-03] 微小液滴の高速着弾現象の観察 Observation of Fast Wetting Dynamics of Micro-Droplets on Substrates

\*横田 涼輔<sup>1</sup>、平野 太一<sup>1</sup>、美谷 周二朗<sup>1</sup>、酒井 啓司<sup>1</sup> (1. 東京大学)

\*Ryohsuke Yokota<sup>1</sup>, Taichi Hirano<sup>1</sup>, Shujiro Mitani<sup>1</sup>, Keiji Sakai<sup>1</sup> (1. The University of Tokyo)

インクジェット液滴が基板に着弾し、濡れ広がる様子をマイクロ秒以下の時間分解能で鮮明に観察する簡便な方法を開発した。この手法により、ガラス基板やインクジェット紙、ゲルなどの様々な基板での微小液滴の高速な濡れ広がりを観察し、動的接触角を高時間分解能で測定することに成功した。本講演では、開発した手法を説明するとともに、得られた動的接触角の基板や液体への依存性について議論する。

## 微小液滴の高速着弾現象の観察

横田 涼輔\*, 平野 太一\*, 美谷 周二朗\*, 酒井 啓司\*

\*東京大学生産技術研究所

Observation of fast impingement dynamics of micro-droplets on substrates

Ryohsuke Yokota\*, Taichi Hirano\*, Shujiro Mitani\* and Keiji Sakai\*

\*Institute of Industry and Science, the University of Tokyo

Recently, inkjet technology is applied not only for printing but also for patterning of electric circuits. However, it is difficult to observe impingement, wetting and drying dynamics of microdroplets ejected from inkjet due to the lack of spatial and temporal resolution of the measurement system. We developed a simple method that can observe the microdroplets dynamics on substrates with high time resolution. We succeeded in observing and analyzing the dynamic wetting and contact angle accurately.

### 1. はじめに

近年の技術革新によって、インクジェットは紙への印刷だけでなく、Printed ElectronicsやBioプリントなど様々な分野に応用を広げている。その際に重要となるのは、液滴の濡れ広がりや乾燥といったダイナミクスである。しかし、インクジェットのような微小液滴の運動の時定数は、マイクロ秒オーダーであり、このような微小領域における高速な現象を直接観察することは高性能ハイスピードカメラを用いたとしても困難である。

そこで我々は、マイクロメートルオーダーの微小な液滴が基板に着弾し、濡れ広がる様子や乾燥する様子をマイクロ秒オーダーで観察する手法を新たに開発した。この手法は、様々な液体・基板に対応できるため、様々な応用に利用できると考えられる。

### 2. 実験

#### 2.1 液滴生成機構

液滴生成機構は、独自に開発したオンデマンド型のインクジェットヘッドを利用している。このインクジェット機構の基本となる部分は、ガラス毛细管を外側からピエゾ素子で挟んだ形状になっている。この機構により液体に触れる部分がガラス毛细管のみとなるため、耐腐食性が高い。また機構も簡便であり、ディスプレイ用のガラス管を用いていることから、汎用性が高いという特徴がある。

#### 2.2 光学系

観察にはストロボ法を用いた。高速な運動であっても繰返し再現性が高い場合には、ストロボの発光周波数と運動の周波数を同期させることによって映像上は停止して撮影される。また、ストロボの発光

タイミングをずらすことによって、運動の様子をコマ送りの映像として観察することも可能である。このときの1コマあたりの時間間隔は、発光タイミングのずらし方で決まるため、運動の時間スケールに応じた動画撮影時の時間スケールの変更が容易である。この手法における時間分解能は、ストロボの発光の持続時間のみで決まるため、マイクロ秒以下の時間分解能を実現することが可能である。

光源には、発光時間が短く大光量のパルスライトである菅原研究所製NPL-91を用いた。このパルスライトの発光時間は75 nsである。このような大光量のパルスライトを用いたとしても、インクジェットのような極微細な空間を観察するには、十分な明るさでない。そのため、レンズによって光を液滴の着弾地点で集光させることにより、十分な明るさを実現した。また基板端の影響を小さくするため、顕微鏡をほんの僅かに傾けて設置している。そのため集光したパルスライトの光は基板に反射した後、顕微鏡に入射するようにセットアップした。

#### 2.3 制御系

射出した液滴をそのまま基板に着弾させるだけでは、浸透や乾燥を待ってから射出するとしても、残留物などの影響が積算されることとなり、現象の繰返し再現性が保てなくなる。そのためストロボ法を利用するにあたっては、液滴が移動し、新たに射出された液滴は新しい表面に着弾する必要がある。そこで我々は、移動ステージを用い、移動ステージと液滴の射出タイミングを制御することにより、高時間分解能かつ長時間の観察可能な実験系を実現した (Fig. 1)。

\* 〒153-8505 東京都目黒区駒場4丁目6-1

\* 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505, Japan

e-mail: ryokota@iis.u-tokyo.ac.jp

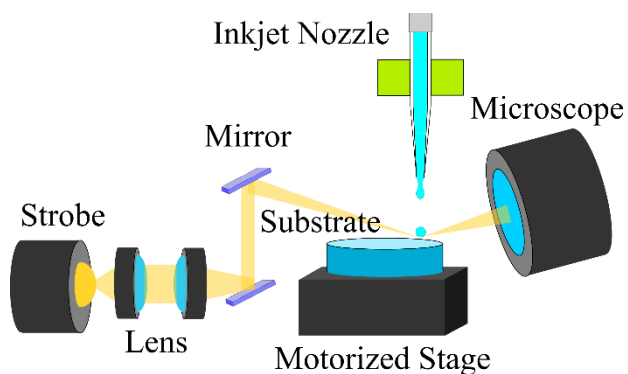


Fig.1 Schematic image of measurement setup.

本手法では、新しい表面を供給し続ける必要があるため、一回の実験時間が制限されている。そのため単純な横移動等では、実験可能な時間は2-3分程度であり、十分な実験時間を確保できない。そこで我々は、基板の上に螺旋を描きながら射出することにした(Fig. 2)。この手法では、一定の直線運動と回転運動のみの単純な制御で、基板を効率良く使うことができるため、実験時間は15分程度になる。さらに螺旋形状を描くことで、省スペースで実験が可能である点も、この手法の特徴である。

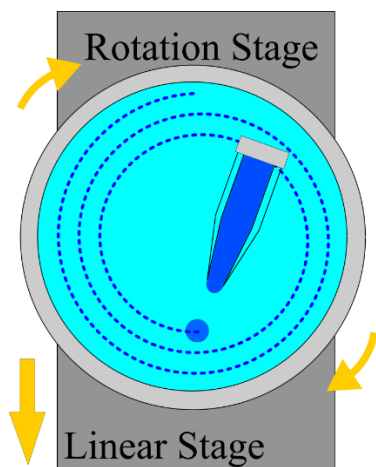


Fig.2 Newly developed method of ejection by spiral pitch. Setup for providing fresh surface at landing spot of droplets.

### 3. 結果

#### 3.1 測定試料・基板

測定試料として、異なる物性値を持つ4種類の液体を用いて実験を行った(Table 1)。

基板については、ガラス基板とインクジェット紙基板を用いた。ガラス基板には、光学用の平行平面基板を用いた。またインクジェット紙基板は、プラスチック製の円形基板の上に、インクジェット紙を貼り付けたものである。

Table 1 Table of physical properties of sample liquid.

	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Surface Tension [mN/m]	Viscosity [mPa · s]
Water	1.00	72.8	0.89
Ethylene glycol	1.11	48.4	16.1
Ethanol	0.785	22.4	1.10
10cSt Silicon	0.935	20.1	9.35

#### 3.2 実験結果

500 ns ごとに、画像の撮影を行った。ここでは、ガラス基板に対し水液滴を着弾させた際の画像の一部を Fig. 3 に示す。

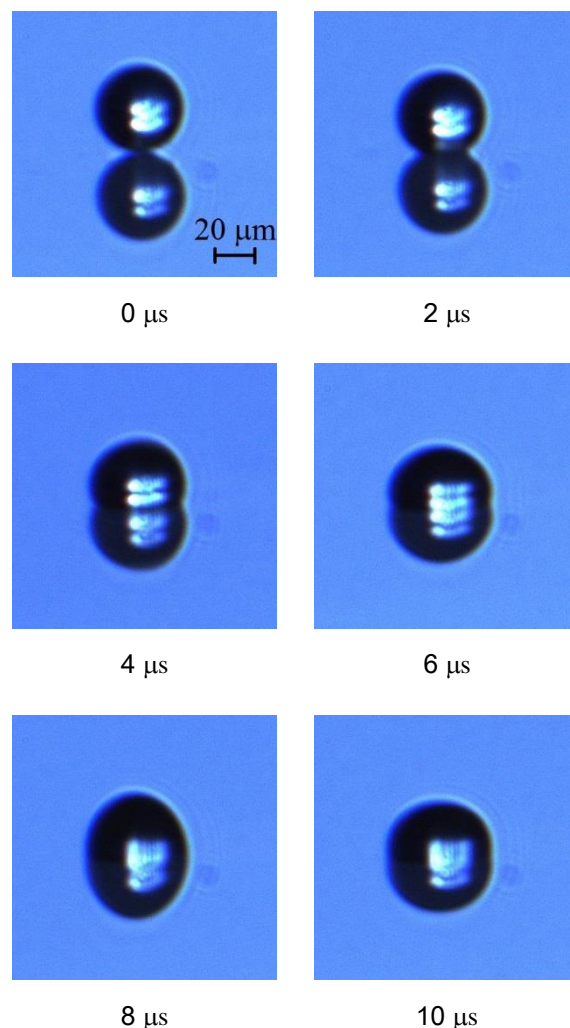


Fig.3 Water droplets impinge on glass substrate. The image reflected by the substrate are also observed.

#### 4. 液滴の形状解析

濡れ広がりや接触角の動的な変化を調べるために画像解析を行った。

##### 4.1 解析手法

液滴画像を二値化し、解析することにした。今回撮影を行ったどの液滴においても、基板による反射も観察されている。液滴は濡れ広がり部分球の形状になる。このときの高さを  $h$ 、幅を  $w$  とした。また接触角については、液滴の幅  $w$  及び高さ  $h$  を用いて、次の式により算出した。

$$\theta = 2 \tan^{-1} \frac{h}{w} \quad (1)$$

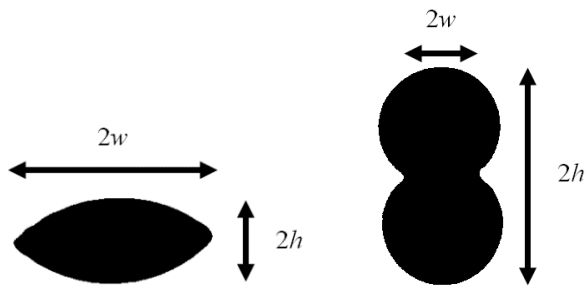


Fig.4 Binary image of droplet.

##### 4.2 解析結果

Fig. 5 はガラス基板上に着弾させた液滴の濡れ広がり幅  $w$  の時間変化を示したものである。Fig. 6 はガラス基板上に着弾させた液滴の接触角の変化を示したものである。Fig. 7 は、インクジェット紙上の各種液滴の濡れ広がり様子である。

またガラス基板上に着弾させた液滴については、 $10 \mu\text{s}$  程度までは、どの液滴も類似の傾向を示している。しかし、それ以降は表面張力の差によって、濡れ広がりや接触角に差が出ていることが分かる。

インクジェット紙基板については、液滴の濡れ広がりに対して、紙への浸透が支配的になるまでの時間に差があることが分かる。エタノールが他の2液体に比べて、早く液滴が小さくなっているのは、液滴の浸透だけでなく蒸発も支配的になっていると考えられる。

このことから、液滴の粘度や表面張力といった物性値に依存して、濡れ広がり様子が変化することが確認された。

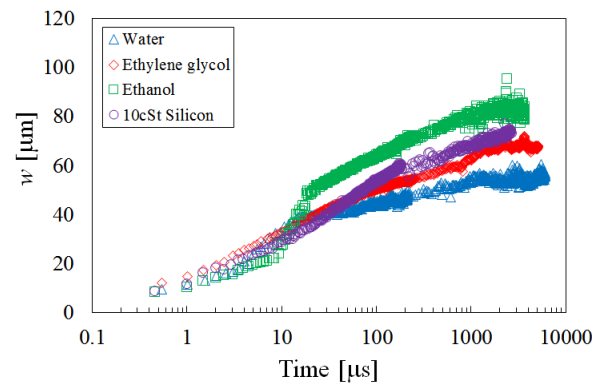


Fig.5 Width of Droplet on glass.

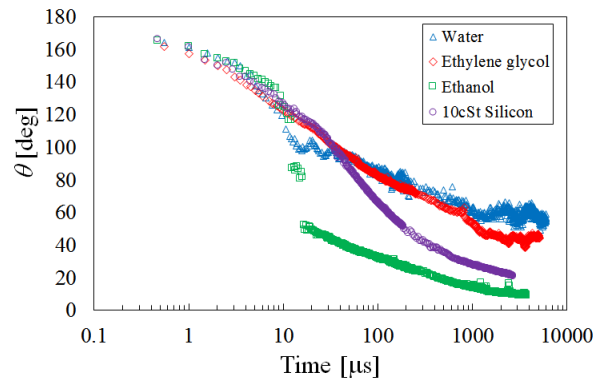


Fig.6 Contact angle of droplets on glass.

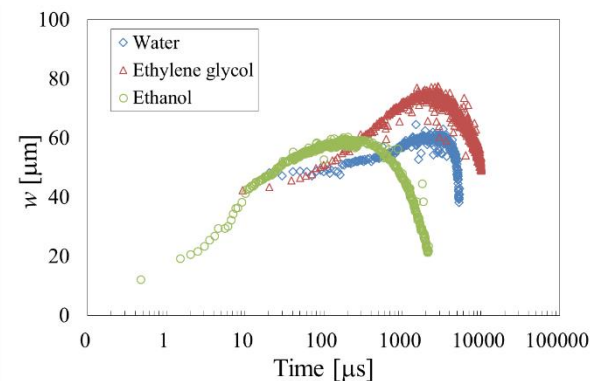


Fig.7 Width of droplets on paper.

#### 5. まとめ

新たな手法の開発により、インクジェットのような微小な液滴が基板に着弾し、濡れ広がるダイナミクスを観察・解析することに成功した。また液体の物性値の違いによる、濡れ広がりや接触角の変化を捉えることにも成功した。この手法によって、これまで困難であった、インクジェットが基板に着弾する過程の直接観察が容易に可能になり、濡れ広がりや乾燥のダイナミクスの理解につながると考えられる。

## 参考文献

- 1) P. G. de Gennes, "Wetting: statics and dynamics", *Reviews of Modern Physics*, 57, 3, pp.827-863 (1985)
- 2) L. Tanner, "The spreading of silicone oil drops on horizontal surfaces", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 12, 9, pp.1473-1484 (1979)
- 3) Tatsuya Yamada and Keiji Sakai, "Observation of collision and oscillation of microdroplets with extremely large shear deformation", *Physics of Fluids*, 24, 022103 (2012)
- 4) Hideaki Kutsuna and Keiji Sakai, "Hyper Rheology Measurement by Emission and Collision of Micro-Fluid Particles", *Applied Physics Express*, 1, 027002 (2008)
- 5) Horace Lamb, "Hydrodynamics", DOVER SCIENCE BOOK, (1932)