

コーヒーリング現象を応用した微粒子パターンニング

～ジュール熱を応用した溶液対流の制御～

Fine particle patterning based on the coffee ring effect

-solution convection method by joule heat control-

Abstract

Coffee rings, which remain after coffee droplets dry up in a planar shape, use Joule heat to control solution convection in the coffee ring and deposit particles at the desired location.

1. はじめに

コーヒーリングとは、コーヒーの液滴が平面上で自然に蒸発した後に残る、円環状の残渣物のことである（図1）。コーヒーに限らず、紅茶や赤ワインなど微粒子を含む液体であれば同様の現象が起き、コーヒーリング効果やコーヒーステイン効果と呼ばれている。コーヒーリング効果は、蒸発途中の液滴の中に生じる中心から外縁に向けての溶液の流れによって微粒子が運ばれることによって発現する。（図2）外側に微粒子が集まる原因としては外縁部の方が表面積が広く、カーブが急であるため溶媒の蒸発が速いからである。しかし、一般にインクジェットプリンティングなどの場面においてはこの効果が生じることは好ましくないとされ、インク成分を検討するなどして発現の抑制が試みられている。本研究ではこのコーヒーリング効果からヒントを得て、ジュール熱を用いて溶液の対流を制御することで目的の場所に残渣物を堆積させることを試みる。これが成功すれば、金属ナノ粒子などの有用な微粒子を任意にパターンニングする技術にも繋げられる。



図1

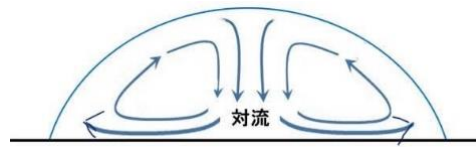


図2

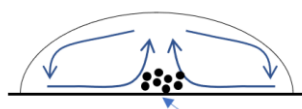
2. 研究方法

私たちは自然蒸発の場合は中心から外縁に向けて溶液の流れが生じるが、液滴内に熱源を置くことで対流の仕方を制御でき、任意の位置に微粒子の位置を堆積させられると考えた。その上で次の2つの実験を行った。

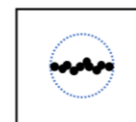
②自然蒸発の際とは異なる対流が生まれる



①熱源を置く



③熱源のあった場所にコーヒーが残る



予想：電熱線のあったところにコーヒーが並ぶ。

図3 実験仮説と結果の予想

【実験Ⅰ】

- ①スライドガラスの上に電熱線を置き、セロファンテープで固定した。
- ②セロファンテープの上からコーヒーを滴下した。
- ③電熱線に通電しジュール熱を発生させた状態で、液滴の蒸発を待った。室内の気温、湿度、電熱線の熱量はすべて統一させた。

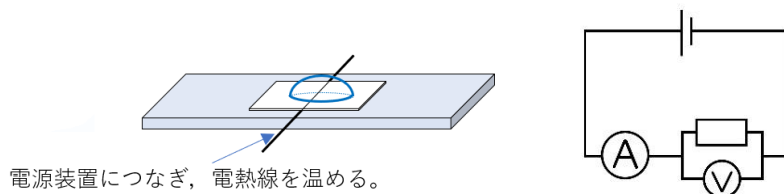


図4 サンプルの構造と実験回路図

【実験Ⅱ】

実験Ⅰと同様の設計で、電熱線に通電せずジュール熱を発生させない場合、電熱線の太さを変えた場合、電熱線の形状を変えた場合について実験し、実験Ⅰの結果と対照して行った。室内の気温、湿度、電熱線の熱量はすべて統一させた。

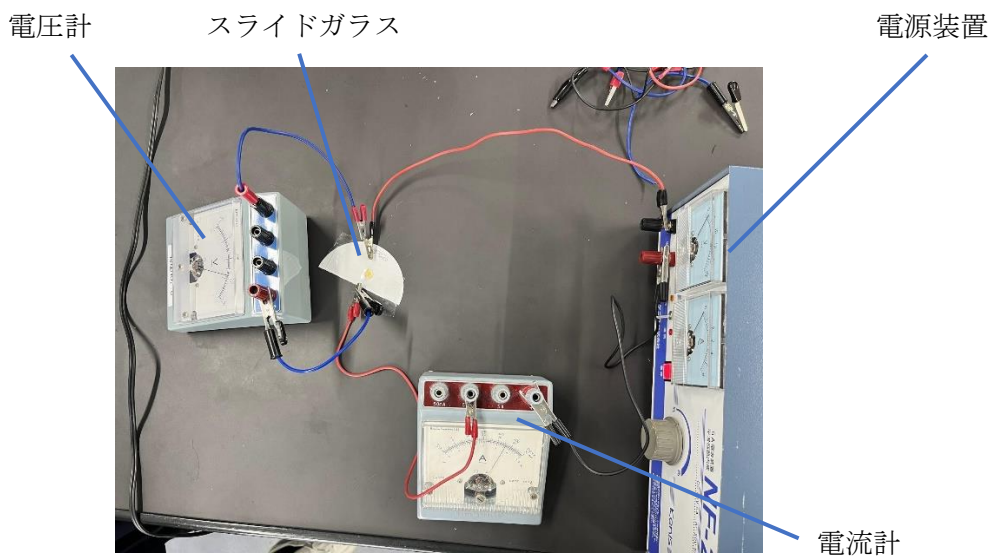


図5 実験の様子

3. 実験結果

表 1

	電熱線の太さ	電流 (A)	電圧 (V)	熱量 (W)	電熱線の形	備考
①	電熱線なし	-	-	-	-	気温：20℃ 湿度：43.6%
②	0.12mm	×	×	×	直線型	(同上)
③	0.12mm	0.4	1.6	0.64	直線型	(同上)
④	0.26mm	0.81	0.84	0.68	直線型	(同上)
⑤	0.12mm	0.35	1.8	0.63	ハート形 交差あり	(同上)
⑥	0.12mm	0.52	1.28	0.67	交差型	(同上)

- ①： 縁にのみ微粒子が堆積した。これは通常のコーヒーリング効果によるものである。
- ②： ①と同様に縁にのみ微粒子が堆積した。これにより，通電せず単に置いた電熱線がコーヒーの堆積の仕方に影響を与えないことが分かった。
- ③： 縁と電熱線上に微粒子が堆積した。
- ④： ③と同様に，縁と電熱線上に微粒子が堆積した。
- ⑤： 熱の影響でセロファンテープの粘着力が弱くなり冒頭で電熱線の位置がずれて少し崩れたハート型になったが，③ や ④と同様に縁と電熱線上と縁に濃く表れた。
- ⑥： ③～⑤ と同様に縁と電熱線上に微が堆積した。交差型に堆積した。

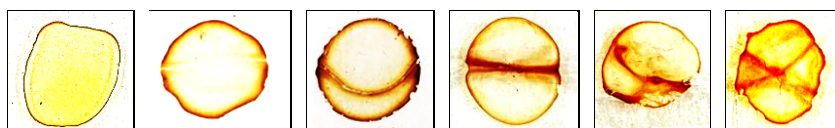


図6 左から順に ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥ の実験結果

4. 考察

実験の結果より，私たちはコーヒー微粒子のパターニングに成功した。また，電熱線の太さを変えても微粒子が堆積したことから，電熱線の太さと微粒子の堆積は関係が薄いと考察された。さらに，電熱線の形を変えても電熱線に沿って微粒子が堆積したため，文字や記号などの様々なパターニングが可能であると予想される。

5. 今後の課題

本研究では，微粒子を含む液体を，熱を用いて任意の場所にパターニングすることができることを明らかにした。今回の研究ではコーヒーのみの実験しか行えなかったため，別の液体でも同様に微粒子のパターニングが可能なのか検証したい。微粒子のパターニング

には成功したものの通常の外縁にも堆積見られた。この理由や、堆積を抑制する方法を検討したい。大学の先生からいただいた課題は次の主な二つである。粒子の大きさをそろえること、そしてコーヒーリング現象で粒子が集まる順番は電熱線上からなのか、それとも外縁上からなのかどちらからなのかわかっていないことである。もし電熱線上からだった場合、電熱線の磁気による効果も考えられてしまう。そのため完全な対照実験を行うことができなかった。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、終始多大なご指導をいただいた 山口 耕司 先生 に感謝の意を表します。また、ご高評いただいた大阪教育大学の先生方、その他多くの方々にご指導ご鞭撻を賜りました。ここに誠意の意を表します。

7. 参考文献

- Yuto Ooi, Itsuo Hanasaki, Daiki Mizumura & Yu Matsuda. Suppressing the coffee-ring effect of colloidal droplets by dispersed cellulose nanofibers. Science and Technology of Advanced Materials Volume 18, 2017 - Issue 1
- 3分で簡単「コーヒーリング効果」なぜコーヒーのシミはリング状に？元塾講師がわかりやすく解説. <https://studyz.net/100094026>
- 株式会社ライフテック. 熱はどうやって伝わるのか？輻射（放射）熱，対流熱，伝導熱の3つの熱の種類と違いについて. <https://www.e-lifetech.com/blog/2833/>