

# 油膜を利用したラボチップ

原文: On-chip manipulation of free droplets

NATURE 426 (515)/4 December 2003; www.naturejpn.com/digest

「ラボ・オン・チップ」のシステム(実験室での分析や反応をガラス基板上等で行うシステム)は、パイプを装備した工場のようなものである。だが、チップ上のマイクロチャンネルを流動する粒子、細胞、タンパク質が壁にくっついてチャンネルを詰まらせてしまうことがあり、物質を運ぶうえで問題が生じる可能性があった。より適応性の高い微小流体システムでは、固体表面上で液体を液滴として運ぶことができるが<sup>1-10</sup>、液体が固体壁に接触しているため、同じような問題が残る。今回の研究では、液体の中に液体を流す微小流体システムによって、水や炭化水素のマイクロリットルやナノリットル単位の浮遊液滴を自由に流動させてみた。このシステムでは、濃度の高いフッ素化した油の上を液滴が浮き、油の下に設置した電極によって生じる交流または直流の電場によって動く。このような微小流体チップは、微小スケールでの運搬や混合、化学物質や材料の合成のための用途の広いツールとして応用できるだろう。

私たちが開発した、液体中に液体を流す微小流体装置(図1)では、フッ素処理した油(F-油)の表面を、水やドデカンの微小液滴が自由に浮かんでおり、油膜下の電極から交流(a.c.)または直流(d.c.)電場を発生させる。空間的に不均一な交流電場が誘電泳動力を発生し<sup>11</sup>、分極性物質を電場強度の高い領域へと引き寄せる。

液滴は電圧を加えられた電極へと移動し、その上で浮かび、電場に捕らえられる(図2a)。異なる電極の電圧を変えるスイッチをプログ

ラムングすることで、液滴を容易に移動できる(図2a,bおよび補足資料を参照)。今回の実験で使った電圧(200~600V)はほかの誘電泳動実験で使われているのと同程度である。交流モードにおける液滴の速さは、電場強度の2乗に対応しており、誘電泳動の理論に一致している<sup>11</sup>。液滴は粘性抵抗しか受けないので、著しく低い消費電力で動く。ただし、固体壁の電極に接触したときはより動きが遅くなる<sup>8-10</sup>。

水滴は直流電場に強く引き寄せられるかばねつけられ、 $2.0\text{mm s}^{-1}$ の速度で動く。つまり、液滴には著しい電荷または双極子モーメントがあり、クーロン斥力や引力によって動いている、ということを示唆している。液滴の帯電や再帯電は、F-油を通じたイオン移動によって起きると考えられ、この現象は常に観察された。このほか、予想以上に強い内部分極が液滴に生じている証拠も得られた(この件は別稿で紹介する)。こうした強い帯電効果によって、炭化水素の油の液滴を操作することもできる。だが、こうした液滴では分極率が低いために、対称な交流電場には反応しない。

いろいろなものが混じった液滴の内部に無機固形物が沈殿して、透き通った貝のような球ができた<sup>9,12</sup>。また、マイクロ粒子やナノ粒子を含む液滴が乾いて、非対称の微小な集合体ができた(図2c、補足資料を参照)。実験で使ったチップは、こうして残された浮遊粒子を操作するために使うこともできる。私たちの研究グループは、界面活性剤を使ってドデカンと水の液滴を混ぜ合わせることで、炭化水素を外皮として対称な水のカプセルを作ることでもできた(図2d、補足資料を参照)。

本稿で紹介した適応性の高い微小流体装置は、幅広い応用が可能だろう。例えば、いろいろ

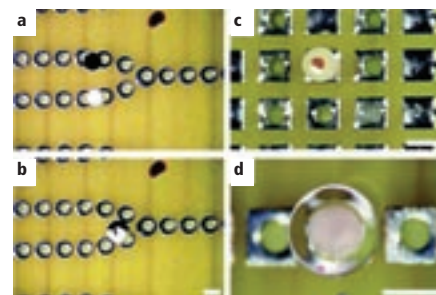


図2 液体の中に液体を流す微小流体チップの上を自由に流れる液滴の様子(動画は補足資料を参照)。

a ラテックスの微小球を含む液滴(白)と金のナノ粒子を含む液滴(紫)(それぞれ750ナノリットル)を運んだ。

b 経路の合流部で接触した瞬間、液滴が混ざる。混合した液滴はその後、1本の経路を流れていく。

c ポリスチレンラテックス(白)と磁性ラテックス(茶色)を含む2つの液滴が、混じるときに非等方的な粒子の集合体を一時的に形成する。

d ラテックスと界面活性剤(Sodium Dodecyl Sulphate)2 mMを含む液滴が、液体のドデカン外皮の内側でカプセル状になっている。

縮尺:1mm。詳しくは<http://crystal.che.ncsu.edu>。

ろな物質の合成や生物学的な微量分析など。より複雑な応用分野としては、生きた細胞や遺伝子材料を個別の液滴に閉じこめる、生化学反応の実験、沈殿物の分析、類似薬物や毒物のスクリーニングなどが考えられる。■

Orlin D. Velev, Brian G. Prevo, Ketan H. Bhatt

Department of Chemical Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina 27695-7905, USA

e-mail: odvelev@unity.ncsu.edu

1. Chaudhury, M. K. & Whitesides, G. W. *Science* **256**, 1539-1541 (1992).
2. Lee, S. W. & Laibinis, P. E. *J. Am. Chem. Soc.* **122**, 5395-5396 (2000).
3. Daniel, S., Chaudhury, M. K. & Chen, J. C. *Science* **291**, 633-636 (2001).
4. Ichimura, K., Oh, S. K. & Nakagawa, M. *Science* **288**, 1624-1626 (2000).
5. Daniel, S. & Chaudhury, M. K. *Langmuir* **18**, 3404-3407 (2002).
6. Washizu, M. *IEEE T. Ind. Applic.* **34**, 732-737 (1998).
7. Rosslee, C. & Abbott, N. L. *Curr. Opin. Coll. Interface Sci.* **5**, 81-87 (2000).
8. Pollack, M. G., Fair, R. B. & Shenderov, A. D. *Appl. Phys. Lett.* **77**, 1725-1726 (2000).
9. Jones, T. B., Gunji, M., Washizu, M. & Feldman, M. *J. Appl. Phys.* **89**, 1441-1448 (2001).
10. Cho, S. K., Moon, H. J. & Kim, C. J. *J. Microelectromech. S* **12**, 70-80 (2003).
11. Fuhr, G. et al. *Naturwissenschaften* **81**, 528-535 (1994).
12. Dinsmore, A. D. et al. *Science* **298**, 1006-1009 (2002).
13. Velev, O. D., Lenhoff, A. M. & Kaler, E. W. *Science* **287**, 2240-2243 (2000).

補足資料がネイチャーのウェブサイトにあります。

この論文への金銭的な利害関係:なしとの報告

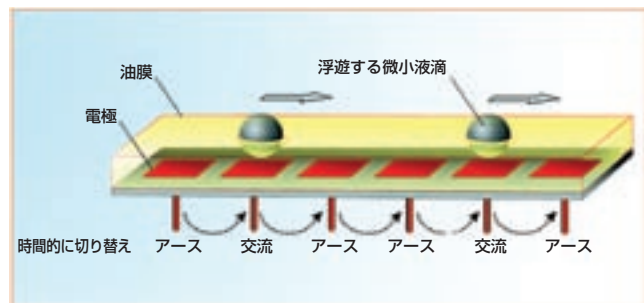


図1 液体の中に液体を流す微小流体チップに使った誘電泳動装置の概要図。