



WASEDA UNIVERSITY



科研費新学術領域研究 2018~2022年度  
ソフトロボットの創成: 機電・物質・生体情報の有機的融合

Science of Soft Robots

## 物理学の視点からScienceを味わう

澤田秀之

早稲田大学 理工学術院

応用物理学科

<http://www.sawada.phys.waseda.ac.jp/>

2021/3/13

物理学の視点からScienceを味わう

© SAWALAB 2021

## 澤田研究室の研究 (の一部)



WASEDA UNIVERSITY

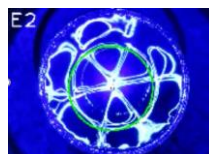
Physics, Informatics and Robotics



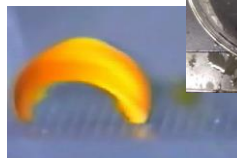
新学術領域 ソフトロボット学

Science of Soft Robot

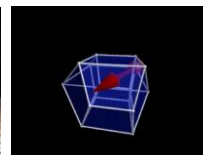
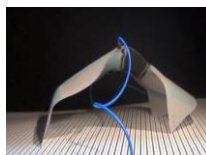
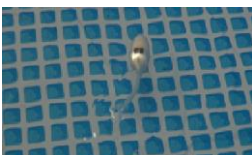
物理現象を利用した新しいマルチトランスデューサ



化学反応で駆動するケミカルロボット



柔軟な身体の実現に向けて

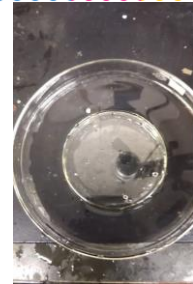


2021/3/13

物理学の視点からScienceを味わう

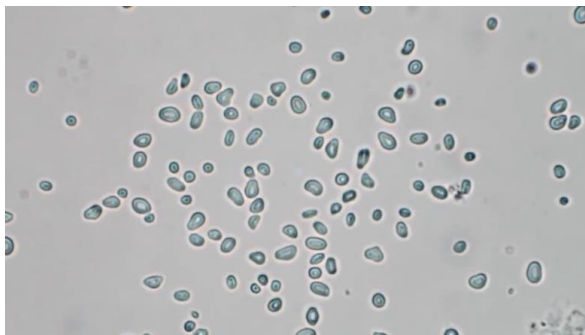
© SAWALAB 2021

## 自走油滴の運動制御



## 油滴の自走

### 花粉内の微小粒子のブラウン運動



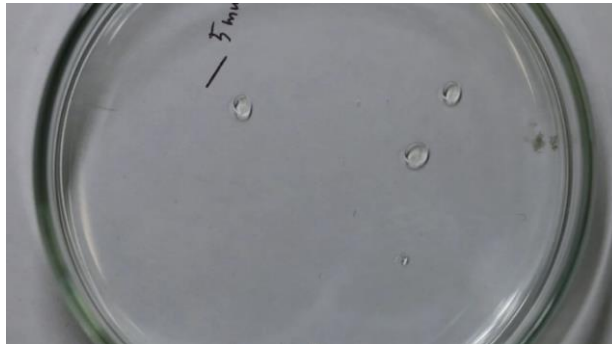
Robert Brown  
1827年

### Fokker-Planck方程式に従うランダムウォーク

$$\frac{\partial P(x, t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \alpha_1(x, t) P(x, t) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \alpha_2(x, t) P(x, t) \quad \frac{dx}{dt} = a(x, t) + b(x, t) R(t)$$

# 油滴の自走

水溶液に油滴を滴下すると

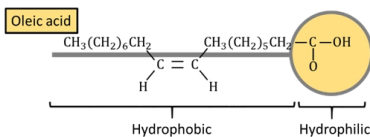
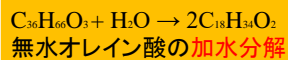
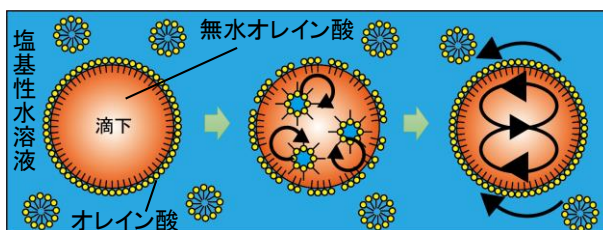


やはり、予測不能な挙動

運動を制御してみよう 
$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \alpha_1(x,t)P(x,t) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \alpha_2(x,t)P(x,t)$$

# 油滴の自走

脂肪酸無水物の加水分解による油滴の自走反応



## 自走原理

1. 滴下後、界面活性剤が油滴を取り囲む
2. 油滴内部に水溶液が取り込まれ(逆ミセル)、マランゴニ対流を生み出す。
3. 表面に一定方向の流れが生じ、界面活性剤の無水物の加水分解反応により対流が保持  
⇒油滴が自走し続ける

# 油滴の自走制御

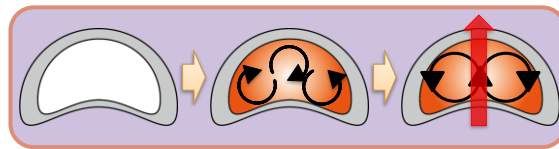
マランゴニ対流は、オレイン酸の濃度差に伴う油滴と溶液の界面における表面張力差により生起

濃度差を制御する物理量の考察

油滴の形状、温度、湿度 …



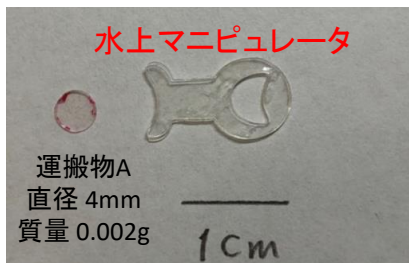
外骨格フレーム



$$\Delta\gamma = \gamma_{convex} - \gamma_{concave} = a \left( \left. \frac{dc}{dr} \right|_{convex} - \left. \frac{dc}{dr} \right|_{concave} \right)$$

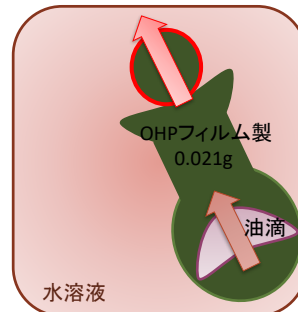
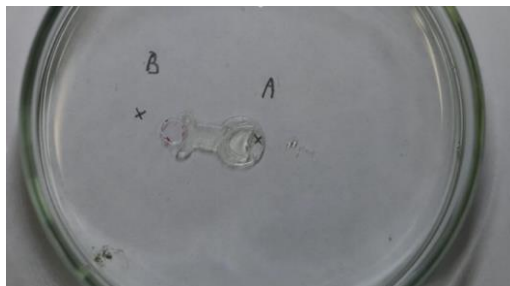
# 水上物体運搬

水上マニピュレータ



利点

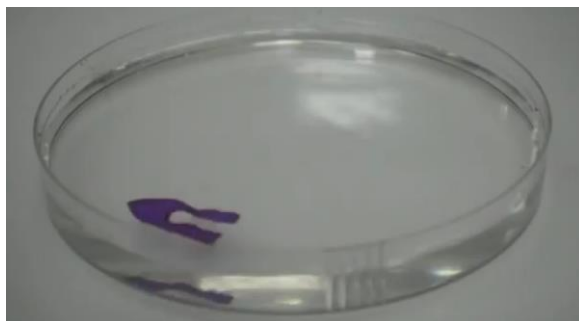
- ・電気が必要ない
- ・高pH水溶液中という過酷な環境下で駆動する超アクチュエータ



Masato Yamada, Hiroki Shigemune, Shingo Maeda, and Hideyuki Sawada, "Temperature and Humidity Dependence of Marangoni Convection and its Effect on the Self-propulsion of an Oil Droplet," Chemistry Letters, Advance Publication on the web, DOI: 10.1246/cl.200842, December 2020.

# 樟脳粒の自走制御

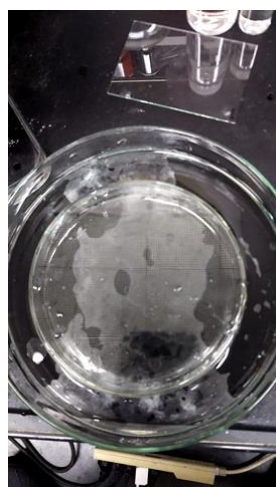
Camphor boat propelling on water



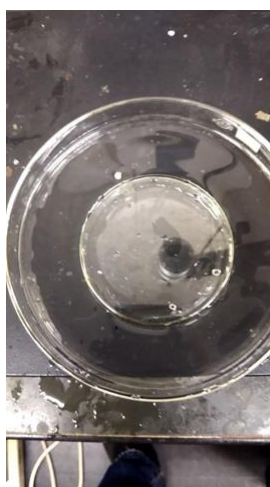
[https://www.youtube.com/watch?v=spDNbEaG\\_RM](https://www.youtube.com/watch?v=spDNbEaG_RM)

壁に沿って円運動

# 樟脳粒の自走制御



往復運動



壁と壁の間で往復運動



*Presented by*  
*Hideyuki Sawada Laboratory*  
*Waseda University*