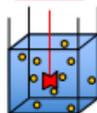


# 共焦点顕微鏡を用いた二成分液滴蒸発過程における マイクロ粒子の時空間分布計測

生産技術研究所 革新的シミュレーションセンター 長谷川研究室  
http://www.yslab.iis.u-tokyo.ac.jp

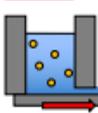
## 複雑流体の塗布乾燥

### 1. 分散



- 応用例
- 燃料電池、太陽光電池
  - 光学フィルム

### 2. 塗布



### 3. 乾燥



環境(温度, 湿度)

相変化  
温度, 湿度変化  
マランゴニ効果  
による力

気液界面

多成分溶媒

蒸発に伴う内部流動

エタノール多

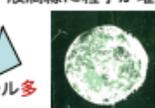
蒸発に伴い粒子が自己集積化

(コーヒーステイン現象)

水多



液滴縁に粒子が堆積

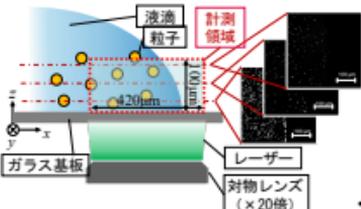


縁に集まる傾向抑制

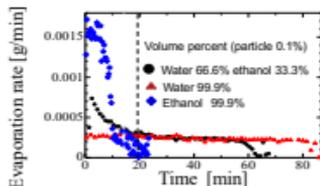
## 共焦点顕微鏡による3次元可視化

## 蒸発速度

- 実験条件
- 溶媒: 水, エタノール
- 粒子: ポリスチレン  
直径  $3\mu\text{m}$
- 体積:  $20\mu\text{L}$
- 基板: ガラス  
(撥水加工)



- $1\mu\text{m}$ 毎に粒子の2次元画像を撮影
- 重ね合わせることで3次元可視化

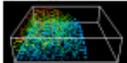


- 水エタノール混合溶媒の蒸発は二段階存在
- 第一段階: エタノールの蒸発率に近い
- 第二段階: 水の蒸発率に近い

## 溶媒混合割合、粒子径、粒子濃度変化時の粒子配列の様子

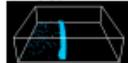
Water 99.9% ethanol 0% particle 0.1%

$\beta = 0.05$



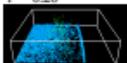
基板面に粒子が移動

$\beta = 0.80$



接触線に粒子が移動

$\beta = 0.20$



静止流体中の沈殿距離 ( $L = 200\mu\text{m}$ )  
可視化領域高さ:  $100\mu\text{m}$

重力により基板面に沈殿

蒸発に伴う内部流動大

Water 66.6% ethanol 33.3% particle 0.1%

$\beta = 0.20$



気液界面に沿うような流れ

- 蒸発量: 液滴縁 > 液滴頂点
- 揮発性: エタノール > 水

エタノール濃度高

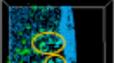
エタノール濃度低

濃度差マランゴニ対流

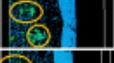
濃度差マランゴニ対流により

粒子が気液界面に突出

$\beta = 0.50$



$\beta = 0.59$

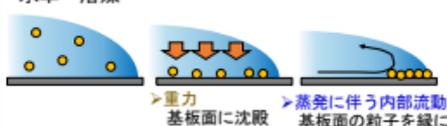


$\beta = 0.65$



気液界面に突出した粒子が中心方向に移動

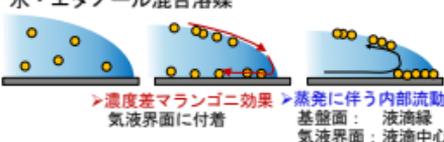
### 水単一溶媒



重力  
基板面に沈殿

蒸発に伴う内部流動  
基板面の粒子を縁に

### 水・エタノール混合溶媒



濃度差マランゴニ効果  
気液界面に付着

蒸発に伴う内部流動  
基板面: 液滴縁  
気液界面: 液滴中心

コーヒーステイン現象の発生

コーヒーステイン現象の抑制