

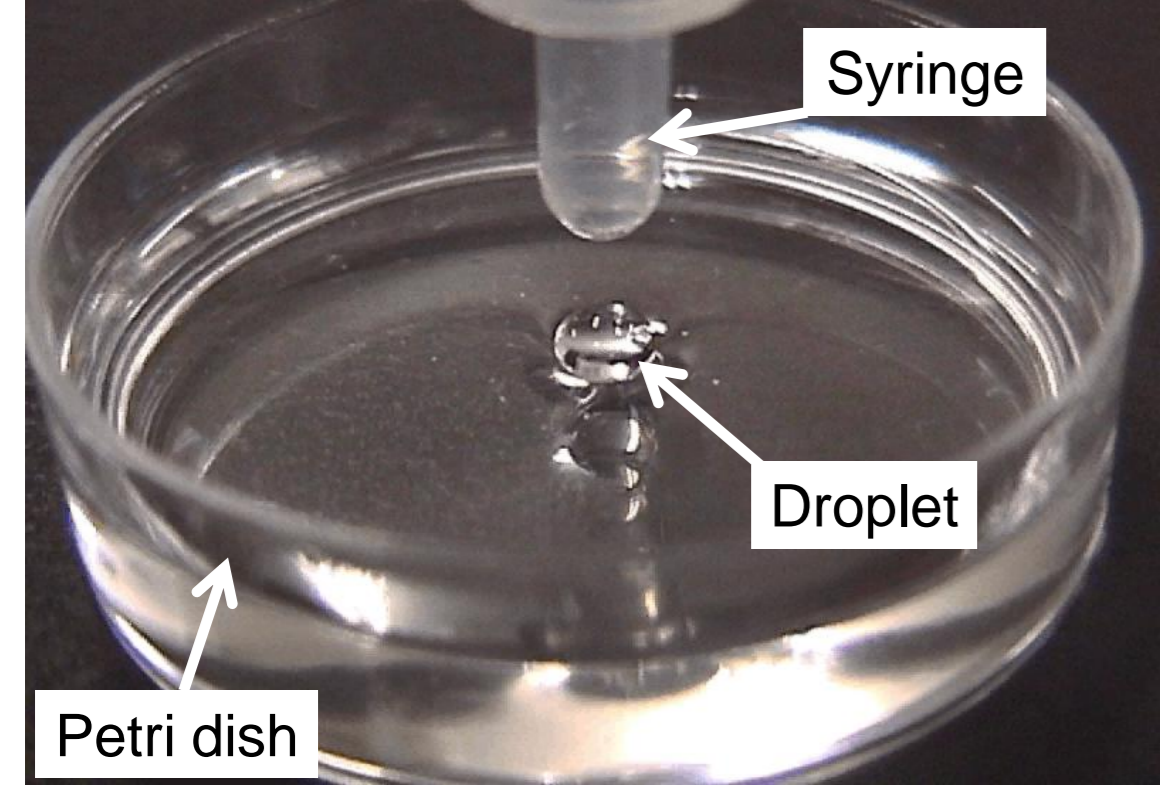
温度差により保持された液滴及び液面におけるマランゴニ対流の観察

Observation of Marangoni Convection in a Droplet Kept Remaining on a Liquid Pool by the Temperature Difference

研究背景

液面上に保持された液滴

液面上に液面と同じ液体の液滴が保持される現象



Photograph of a droplet of silicone oil.

液滴が保持される仕組み

数 μm 程度の空気層が存在し液滴を保持している[1]

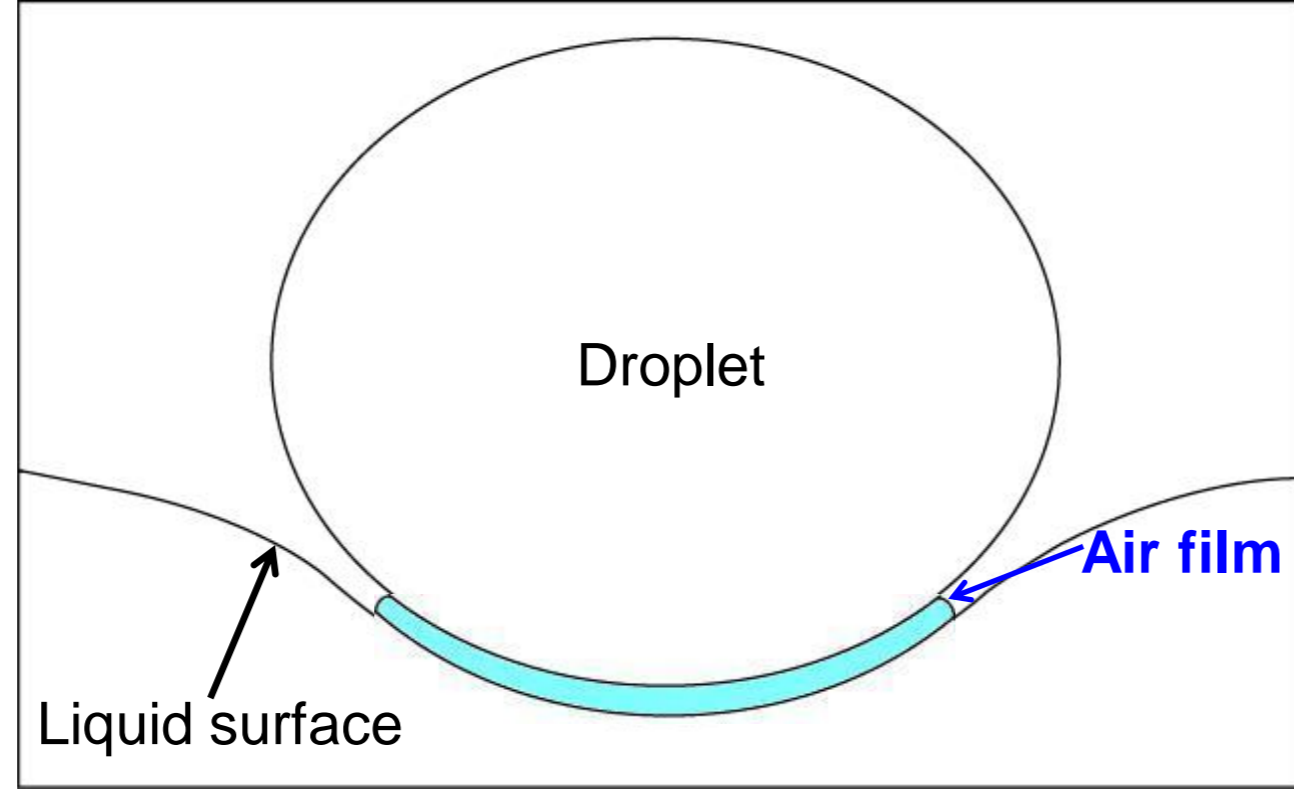


Diagram of side view of a droplet floating on a liquid surface.

保持方法例

- 保持要因: 空気層に空気が流入
- 垂直方向に振動させた液面上に滴下 [1]
 - 跳水面に滴下 [2]
 - 液滴に回転速度 [3]
 - 液滴と液面との間に温度差 [4][5]
- 保持要因: 液面表面同士の反発
- 水に界面活性剤(洗剤)を混合[6]

液滴の**保持時間**や**動き**を自由に操作

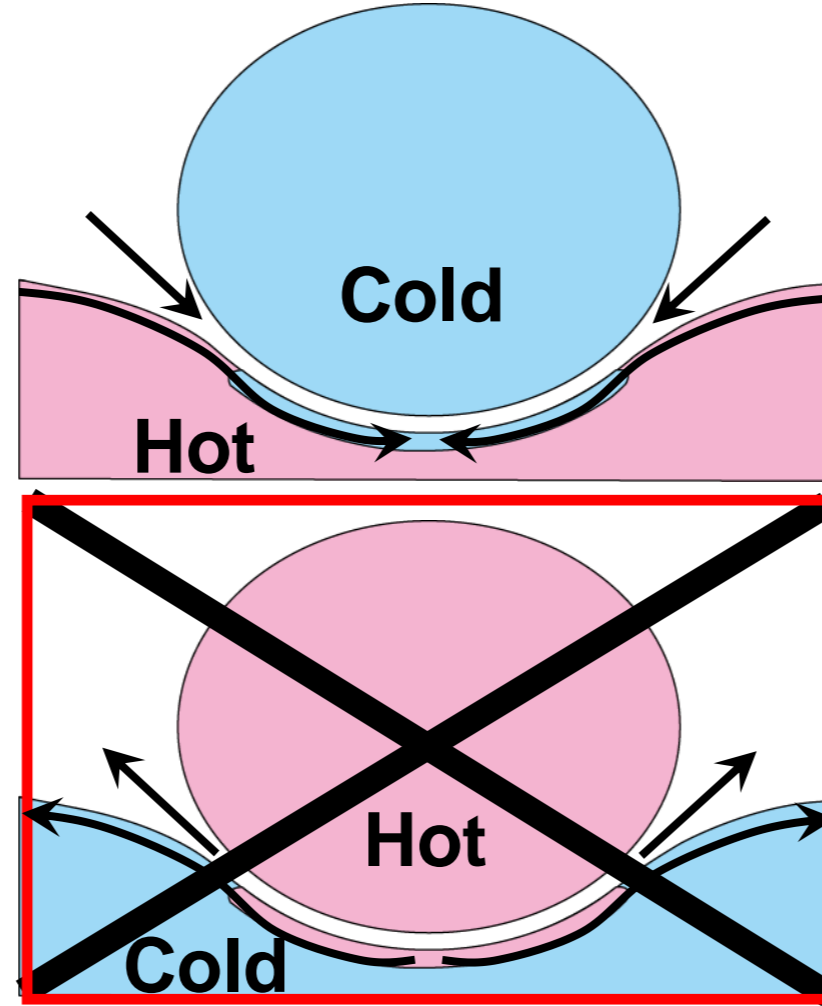
非接触流体輸送装置など
新しい輸送方法に応用

[1] Y. Couder et al., Phys. Rev. Lett. 94, 177801 (2005). [2] K. R. Sreenivas et al. J. Fluid Mech., vol. 380, 297 (1999). [3] 松本兼太郎, 鳥取大学工学部応用数理工学科卒業論文 (2009). [4] R. Savino, D. Paterna and M. Lappa, J. Fluid Mech. vol.479, pp. 307-326 (2003). [5] 上野貴浩, 日本機械学会 中国四国支部講演論文集 No. 105-1 pp.385-386 (2010). [6] Y.Amarouchene et al, Phys. Rev. Lett.87, 206104 (2001).

研究目的

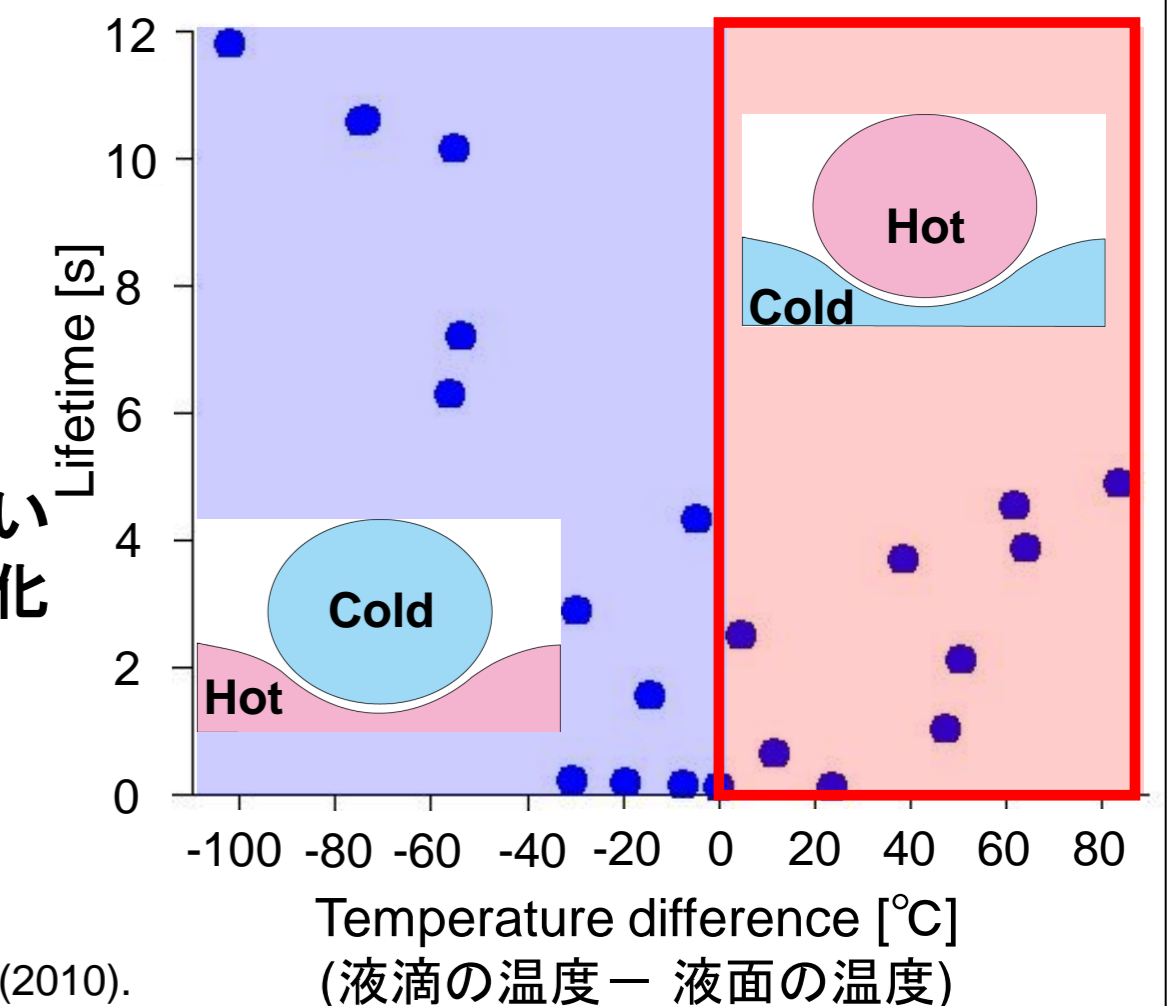
先行研究 (液滴と液面との温度差による方法で液滴を保持)

- マランゴニ対流による液滴保持
- 液滴と液面の温度差により液面において温度勾配が生じる
 - 表面張力不均一性が発生(温度が低くなると表面力が高くなる)
 - 温度の高い部分が低い部分に引っ張られることで流動が起こる
 - マランゴニ対流 (表面張力不均一性により)
 - 周囲の空気においても流れが発生
 - 保持できるのは空気層に入り込む方向に流動が起こる
液滴の温度の方が低い場合のみ



温度差と保持時間の関係

- 液滴の温度が液面の温度より低い場合も高い場合も保持できる
- 液滴の温度の方が高い場合の方が液滴の寿命が長い
 - 液面上に保持された液滴はある温度差になると一体化
 - 保持時間は粘度に依存しない



上野貴浩, 日本機械学会 中国四国支部講演論文集 No. 105-1 pp.385-386 (2010).

2つの研究で液滴の温度の方が高い場合において液滴の保持に関して相違がある → 温度の高い場合に注目 → 液面だけでなく液滴においても温度差により温度勾配が生じているのではないかと

研究目的: 液滴の温度が液面の温度よりも高い場合において温度差により保持された液滴及び液面に発生する流動の方向と流動の速度を調査し明らかにする

実験装置・調査方法

※ヒーターには温度コントローラ付

実験条件	
試料	シリコンオイル 500CS 表面張力: 20.9mN m ⁻¹ (25°C) 16.2mN m ⁻¹ (100°C)
可視化粒子	ナイロン粒子 ORGASOL 粒子径: 50 μm
液滴のサイズ	3.6~4.4mm
液滴の温度	常温~100°C 熱画像計測装置で測定
光源	レーザー光 (シート状) 厚さ 2mm ※特定の断面が観察可能
観察対象	液滴 液面 (液滴の真下) ※別々に観察

熱画像計測装置による液滴の温度測定

液滴が通過する点における温度の時間変化

極大が液滴の通過に対応
極大値が液滴の温度

液滴及び液面における流動の観察方法

高速度カメラを用いて60fpsで撮影 (同時観察が不可能だったため別々に撮影)

可視化粒子の位置を画像解析ソフトImageJで特定

特定した座標から粒子の移動距離を計算

粒子が1秒当りに移動する距離を計算=流動速度

液滴の流動観察時

液面の流動観察時

撮影方向: 斜め上 1mm / 撮影方向: 真横 1mm

実験結果

液滴の流動方向及び流動速度

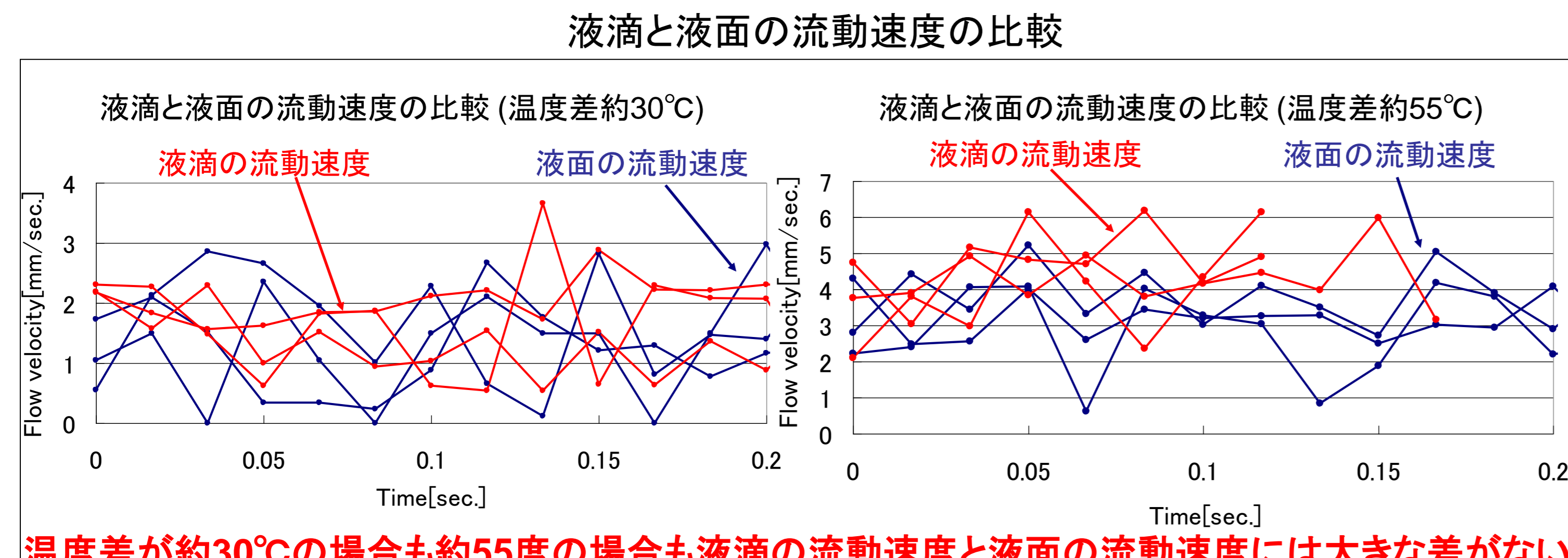
表面: 空気層に入り込む方向
内部: 上昇する方向

流動速度 (温度差: 約30°C) 0.5~3mm/sec.
流動速度 (温度差: 約55°C) 2~6mm/sec.
温度差が大きい方がより流動速度が速い

液面の流動方向及び流動速度

表面: 空気層を送り出す方向
内部: 上昇する方向

流動速度 (温度差: 約30°C) 0.5~3mm/sec.
流動速度 (温度差: 約55°C) 2~5mm/sec.
温度差が大きい方がより流動速度が速い



まとめ

シリコンオイルを用いて、液滴の温度の方が高い場合に保持された液滴及び液面に発生する流動の観察を行った結果、以下の事が明らかとなった

- 液面だけでなく液滴においても流動が発生
- 液滴表面の流動: 空気層に入り込む方向
液面の流動: 空気層を送り出す方向
- 流動速度: 温度差が大きいほど速い
- 液滴の流動速度と液面の流動速度には大きな差がない

温度差により流動が発生し、流動が液滴の保持に影響