

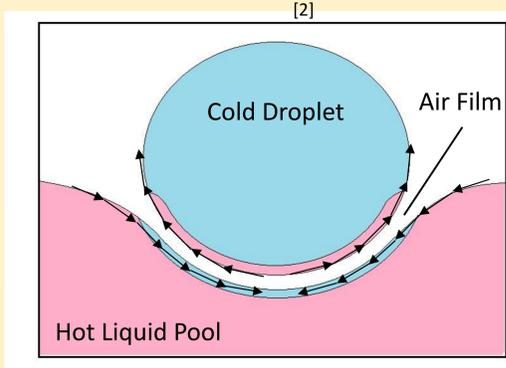
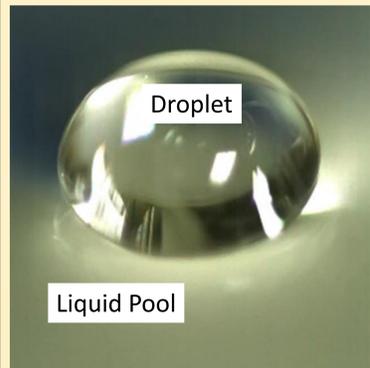
温度差によって液面上に液滴を保持する空気層の膜厚及び流動の測定

Measurement of Flow and Thickness of a Thin Air Film Which Sustains a Droplet on the Liquid Pool by the Temperature Difference

研究背景

温度差によって液面上に液滴が保持される現象

温度差によって液面上に保持される液滴[1] 液面と液滴の間にできるわずかな空気層によって保持される



温度差を与えて液面上に液滴を滴下
 ↓
 液滴及び液面表面で局所的な温度勾配が発生
 ↓
 表面張力の低い方から高い方へ引っ張られるマランゴニ対流が発生
 ↓
 空気層内の圧力が上昇し液滴が保持される[3]

液滴を保持するのに必要な流動速度の見積もり

研究目的
 流動によって液滴を保持する空気膜厚の推定

実際の空気膜厚と比較
 流動による液滴保持の妥当性の検証

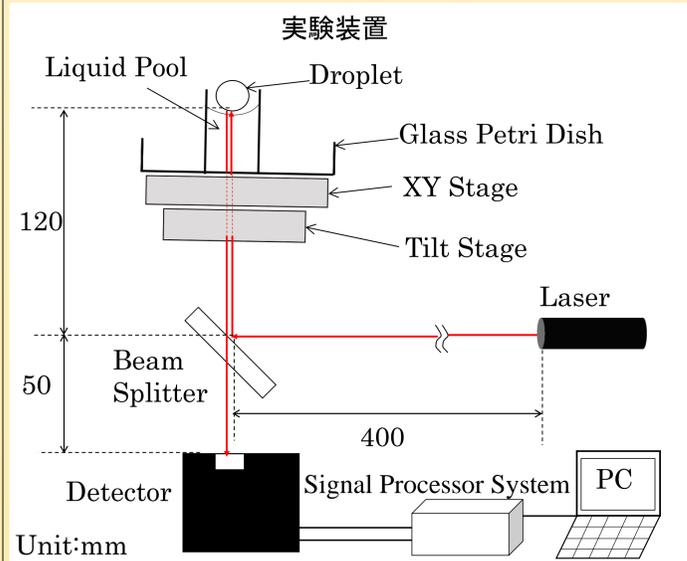
液滴保持メカニズムの解明

[1] T. Nakai, T. Ueno, K. Kanzawa, T. Goto, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 23, No. 3, pp. 386-392 (2011).
 [2] Y. Couder et al., Phys. Rev. Lett. 94, 177801 (2005).
 [3] 神澤 颯司, 中井 唱, 後藤 知伸, 日本機械学会 2011年度年次大会 講演番号J054011.

空気膜厚測定

実験方法

光干渉法を用いて反射光の強弱から薄膜の膜厚変化の推定が可能[4]



光干渉法

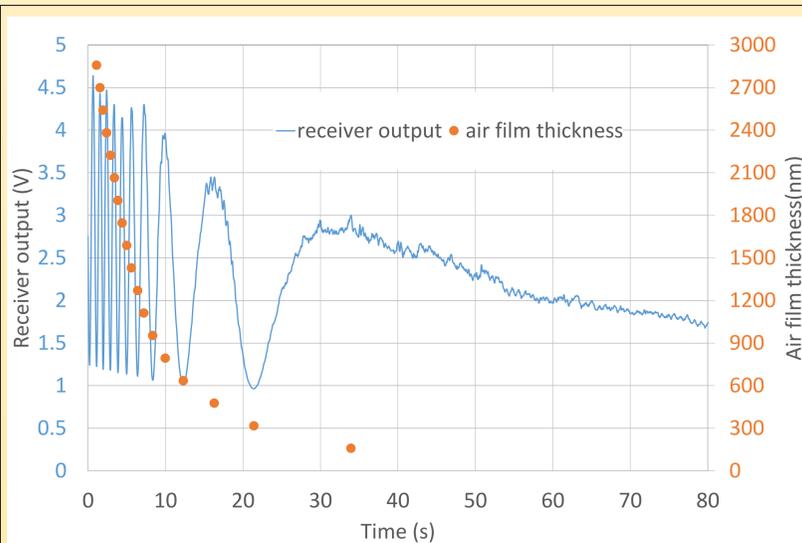
下方から液滴及び液面にレーザー光を投光
 ↓
 反射光を連続的に検出

波長の1/4の分解能をもつ膜厚変化測定が可能

液滴保持条件

試料: シリコンオイル 500CS
 液滴滴下高さ: 約10mm
 液面温度: 130°C
 液滴温度: 25°C(常温)

実験結果



1000nm以下では膜厚変化は緩やか

→ 膜厚が減少することで空気層内の圧力が上昇

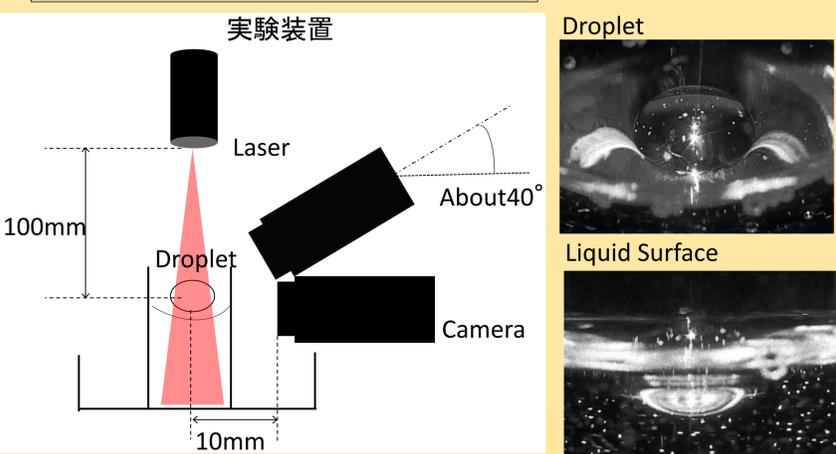
流動速度測定

実験方法

可視化粒子を用いて流動を撮影

粒子: ORGASOL 粒子径: 50µm
 混合比: シリコンオイル200ml:粒子0.01g

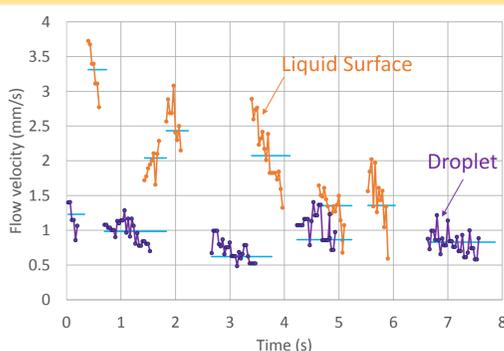
液滴の流動を撮影するカメラは水平方向から約40°傾けて設置



粒子が流動に引きずられて動く位置を画像解析ソフトimageJを用いて特定

→ 流動速度を測定

実験結果



流動速度は液滴滴下後著しく低下

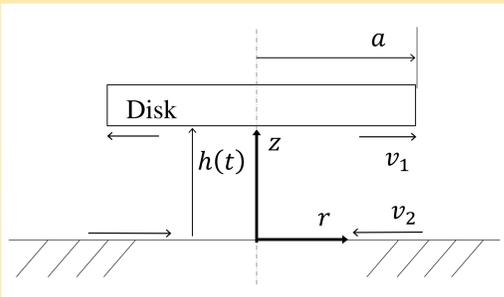
流動速度
 液面表面 > 液滴表面

流動速度差
 (液滴滴下後8秒まで)
 0.5~2mm/s

膜厚変化シミュレーション

計算方法

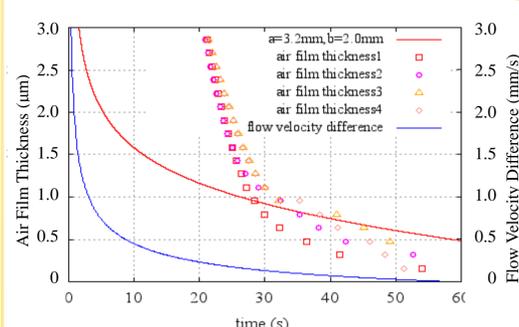
表面が接線方向に動く円盤と平板のすきま流れを想定して運動方程式を導出



$$m \frac{d^2 h}{dt^2} = -\frac{3}{2} \pi \mu a^4 \frac{1}{h^3} \frac{dh}{dt} - 2 \pi \mu a^3 \Delta v \frac{1}{h^2} - mg$$

計算結果

空気層の中心方向に向かう流動の方が外周方向より速い場合のみ浮上する解をもつ



実験結果と定性的に同様
 (膜厚の減少に伴い膜厚の減少速度が遅くなる)

結言

温度差によって液面所に液滴を保持させたとき、流動による液滴保持の妥当性の検証を行った。

光干渉法による空気膜厚変化測定

・液滴液面間の空気膜厚は1000nmまでは急激に減少するが、それ以下では緩やかに減少する。

液滴および液面表面の流動速度測定

・液滴表面の流動速度(外周方向)よりも液面表面の流動速度(中心方向)の方が液滴滴下後8秒までで0.5~2mm/s速い。

空気膜厚変化シミュレーション

・流動速度差が0.5mm/s以下というわずかな流動速度差でも空気層が薄くなることで長時間保持される。