

# 音場浮遊法を用いた無容器プロセッシングに関する研究

## Study on containerless processing with acoustically levitation technique

石井 光<sup>1</sup>, 金子 暁子<sup>1</sup>, 阿部 豊<sup>1</sup>, 長谷川 浩司

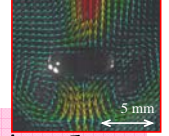
<sup>1</sup>Department of Engineering & Mechanics Energy, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan

### Introduction

#### Acoustic levitation technique

##### ・無容器プロセッシング

- ・コミタミネーション, 吸収・吸着など  
容器壁面からの影響を回避できる可能性がある。
- ・浮遊流体の種類に制限がない



分離, 濃縮, 抽出など, 化学分析における  
サンプルの前処理に活用され始めている。

Ref.) S. Santesson et al., Anal. Bioanal. Chem., Vol. 378, pp.1704-1709,(2004)

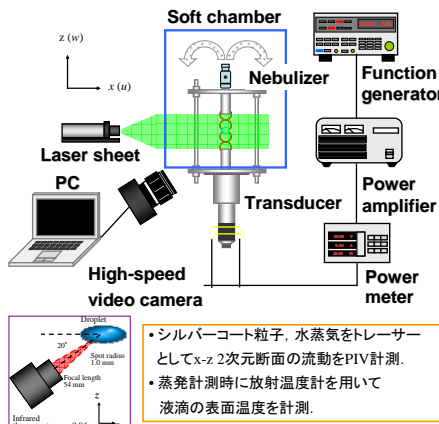
音場浮遊液滴の内部, 外部には流動が発生し,  
流動が物質輸送に影響を与える可能性が示唆されている。

#### 研究目的

- ・音場浮遊液滴の内部・外部流動が物質輸送に与える影響  
を明らかにする。
- ・音場浮遊液滴の内部流動, 外部流動, 物質輸送の  
相互関係から流動の発生メカニズムについて考察する。

### Experimental approach

#### Experimental apparatus



#### Conditions

##### 【 About fields 】

Frequency [kHz]	Temperature [°C]	Humidity [%]	SPL [dB]
19.4	25±2	45±5	160-163

##### 【 About samples 】

Sample	Density $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Surface tension $\sigma$ [mN/m]	Vapor pressure $P$ [Pa]
Water	997	73	3114
Ethanol	789	21	8467

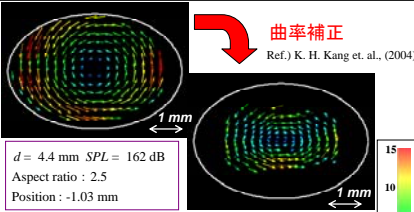
##### 【 About SPL 】

$$SPL = 20 \log_{10} \left( \frac{P_{rms}}{P_0} \right) \quad P_{rms}: \text{RMS sound pressure}$$
$$P_0 = 20 [\mu\text{Pa}]$$

### Internal and external flow structure

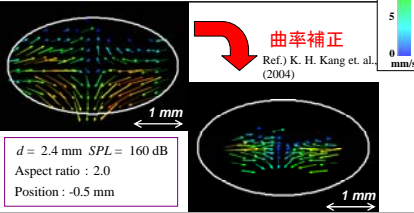
#### Internal Flow

Water  
droplet



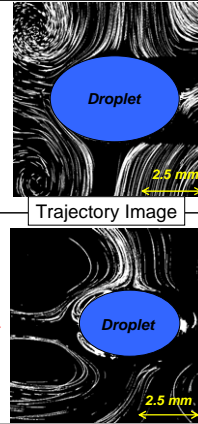
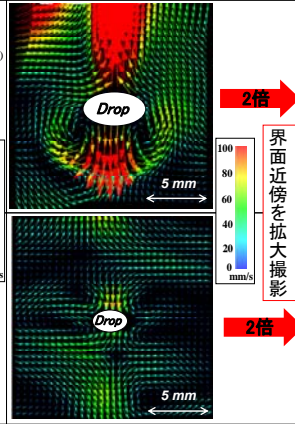
曲率補正  
Ref.) K. H. Kang et al., (2004)

Ethanol  
droplet

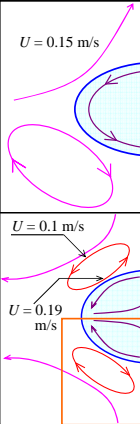


曲率補正  
Ref.) K. H. Kang et al., (2004)

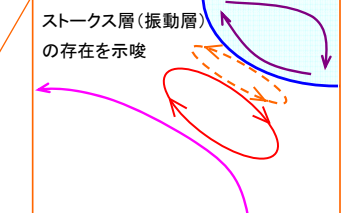
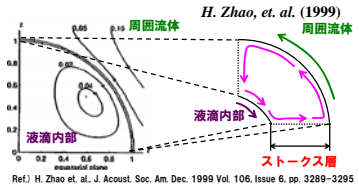
#### External Flow



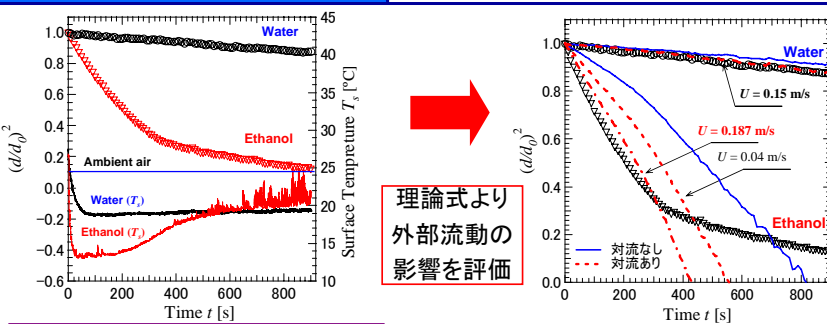
#### 流動構造概略図



#### 内外流動発生機構に関する理論的知見



### Evaporation process



#### Theory : d<sup>2</sup>-law (Frohn and Roth, 2000)

##### 対流なし

$$\left( \frac{d}{d_0} \right)^2 = 1 - \frac{8DM}{\rho_l R} \left( \frac{P_s}{T_s} - \frac{P_\infty}{T_\infty} \right) \frac{t}{d_0^2}$$

##### 強制対流あり

$$\left( \frac{d}{d_0} \right)^2 = 1 - \frac{8DM}{\rho_l R} \left( \frac{P_s}{T_s} - \frac{P_\infty}{T_\infty} \right) \frac{Sh}{2} \frac{t}{d_0^2}$$

##### Ranz-Marshall の式

$$Sh = 2 + 0.6 Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad Re = \frac{Ud}{\nu} \quad Sc = \frac{\nu}{D}$$

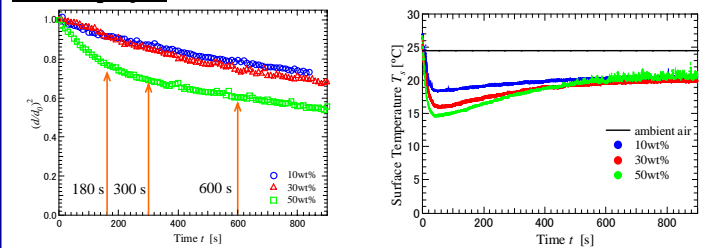
適用範囲  $1 < Re Sc^{1/3} < 5 \times 10^4$

実験条件  $Re Sc^{1/3}$  Water = 3.2 Ethanol = 34.4

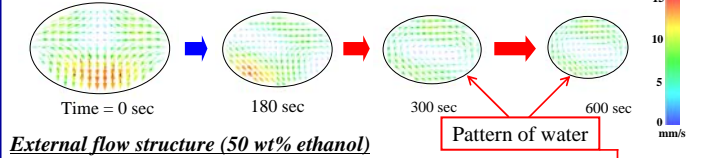
d : diameter  $\rho_l$  : density Sh : Sherwood number  
d<sub>0</sub> : initial diameter R : gas constant Re : Reynolds number  
t : time P : vapor Sc : Schmidt number  
M : molecular mass T : temperature  $\nu$  : kinematic viscosity  
D : binary diffusion coefficient

### Discussion

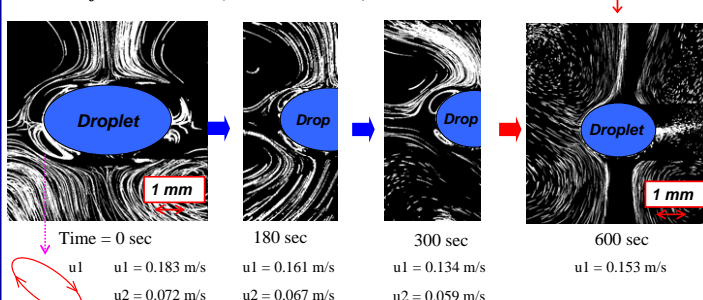
#### Mixture profile (d = 3.0 mm, SPL = 161 dB, Temperature = 25 °C, Humidity = 40%)



#### Internal flow structure (50 wt% ethanol)



#### External flow structure (50 wt% ethanol)



### Conclusion

- ・水液滴の場合, 内部に1つの循環渦, 液滴下部に1つのトロイダル渦の発生が確認された。
- ・エタノール液滴の場合, 内部・外部に2つのトロイダル渦の発生が確認された。
- ・浮遊液滴の内部流動に関して, 回転楕円体を仮定した曲率補正手法を確立し, 適用した。
- ・浮遊液滴界面近傍の外部流動観測を行った結果, エタノール液滴の界面に循環渦が観測された。
- ・エタノール液滴の内部・外部流動計測結果より, 界面近傍にストークス層の存在が示唆された。
- ・水, エタノールともに拡散を仮定した理論と比べ蒸発が促進された。
- ・PIV計測結果より得られた界面付近の流速を強制対流を考慮した理論式に適用した結果,  
浮遊液滴の界面近傍の流れ場が液滴界面からの蒸発を促進していると考えられる。

#### References

- A. Frohn and Roth, Dynamics of Droplets, pp.29-38,(2000).
- K. H. Kang et al., Measurement Sci. and Tech., 15, pp.1104-1112,(2004).
- A. L. Yarin et al., J. Fluid Mech., Vol. 399, pp.151-204,(1999).
- H. Zhao et al., J. Acoust. Soc. Am, Dec. 1999, Vol. 106, Issue 6, pp.3289-3295

