

強制流動沸騰における沸騰熱伝達および流動特性に及ぼす溶存気体の影響

○榎崎裕白 (筑波大院), 松本聡 (JAXA), 金子暁子, 阿部豊 (筑波大)

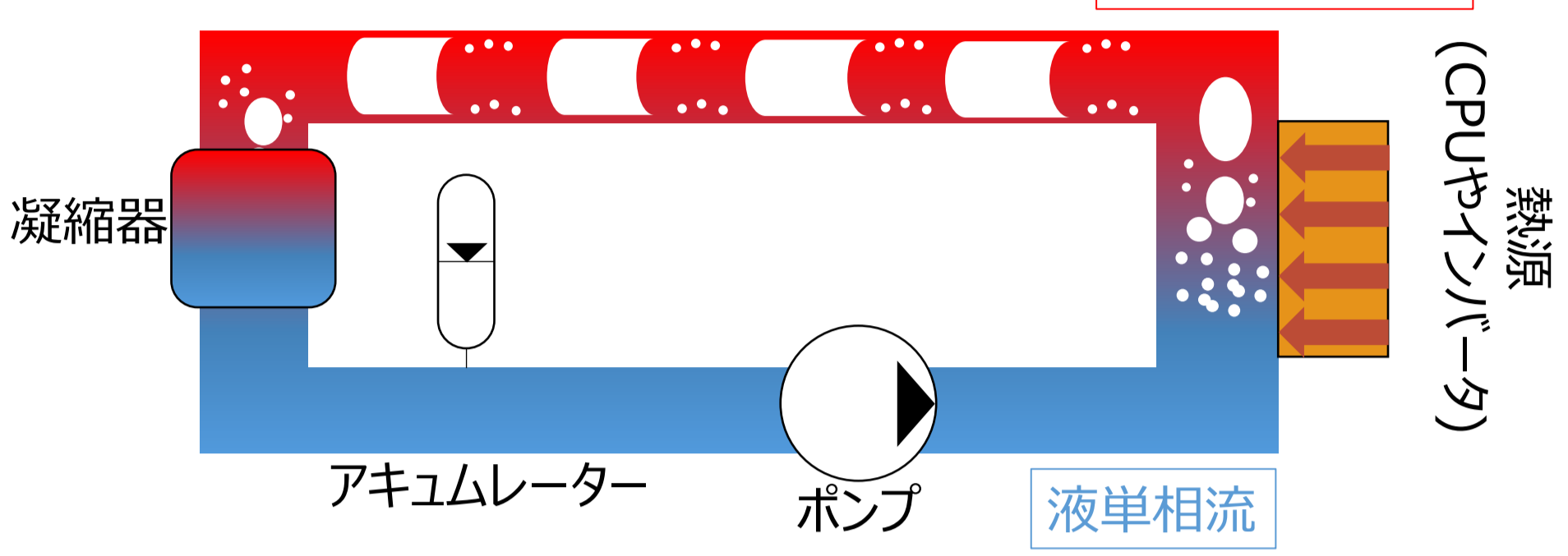
Effect of dissolved gas on boiling heat transfer and two-phase flow behavior in forced flow boiling

○Hiroaki NARAZAKI (Univ. of Tsukuba), Satoshi MATSUMOTO (JAXA), Akiko KANEKO, Yutaka ABE (Univ. of Tsukuba)

研究背景・目的

宇宙機の大型化による排熱量の増大により高効率な排熱システムが必要

二相流体ループ式熱輸送システム



実用化に向けた課題

宇宙実験で用いられる試験流体

Perfluorohexane(FC-72の主成分)
特徴: 高空気溶解量(水の約25倍)

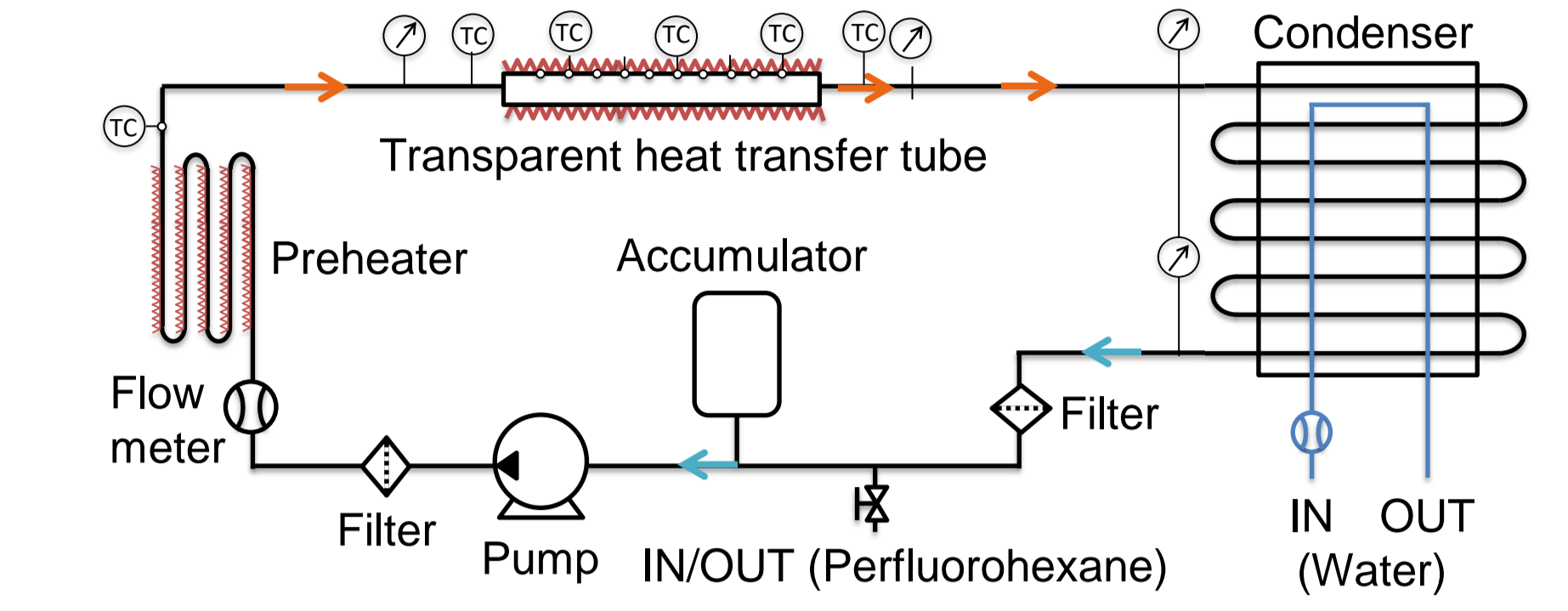
実験装置内に蓄積した空気が熱伝達に影響をもたらす可能性

<研究目的>

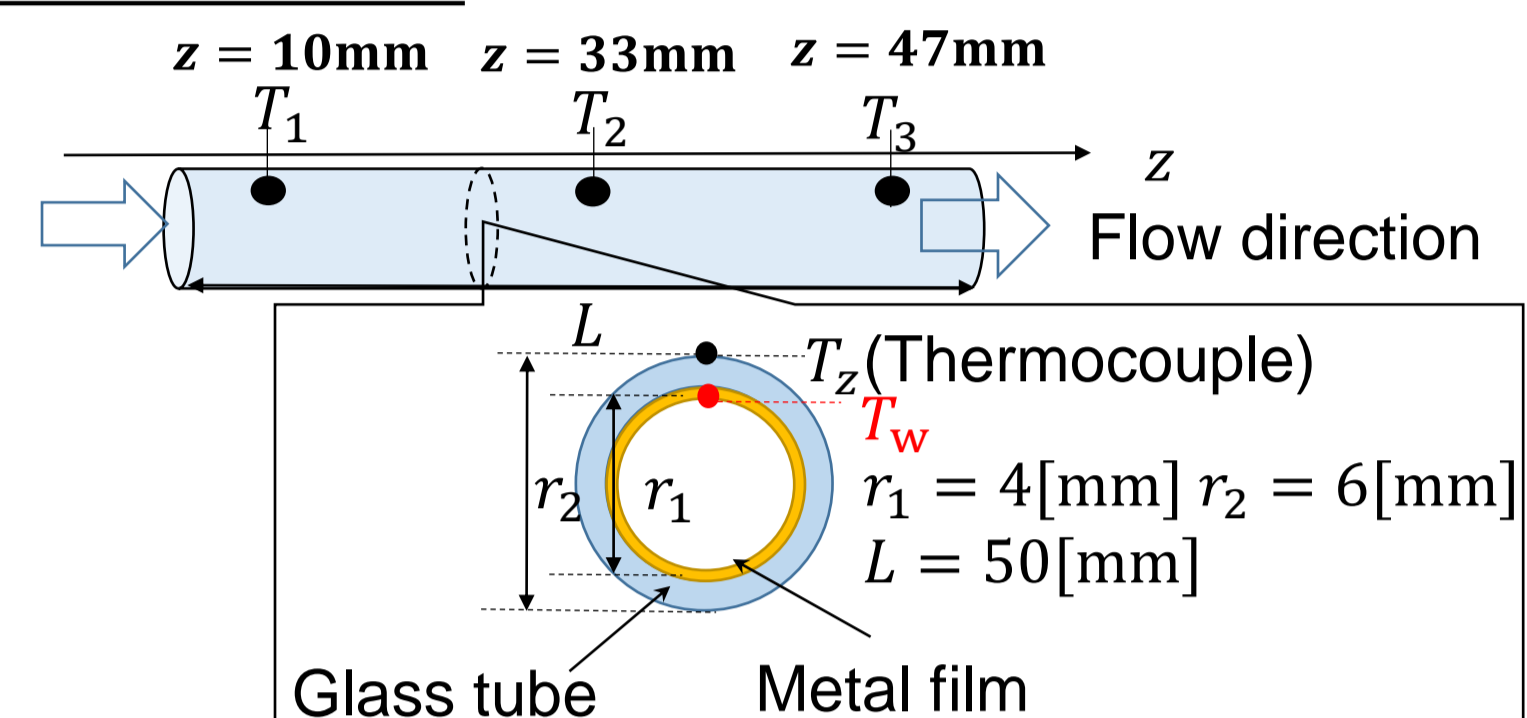
溶存空気が沸騰二相流挙動及び沸騰熱伝達に及ぼす影響の解明

実験装置・条件

Experimental apparatus



Test section



Experimental condition

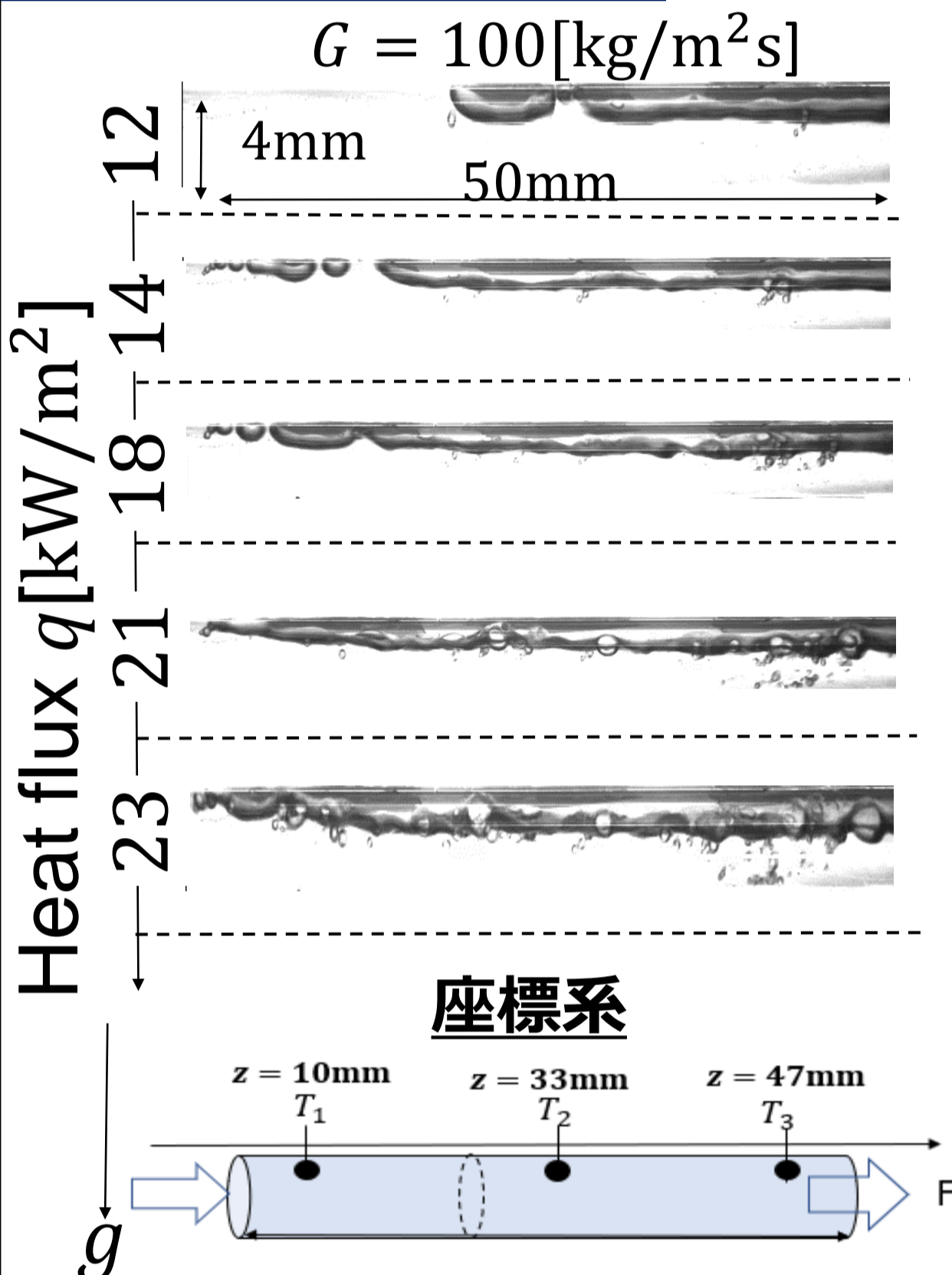
沸騰二相流可視化実験

Working Fluid	Perfluorohexane
Inlet pressure P_{in}	95~103kPa
Mass flux G	100~300 kg/m ² s
Heat flux: q	0~31kW/m ²
Dissolved air concentration	0, 8.5, 14.1, 19.8 [vol/vol%]
subcooling: ΔT_{sub}	10K

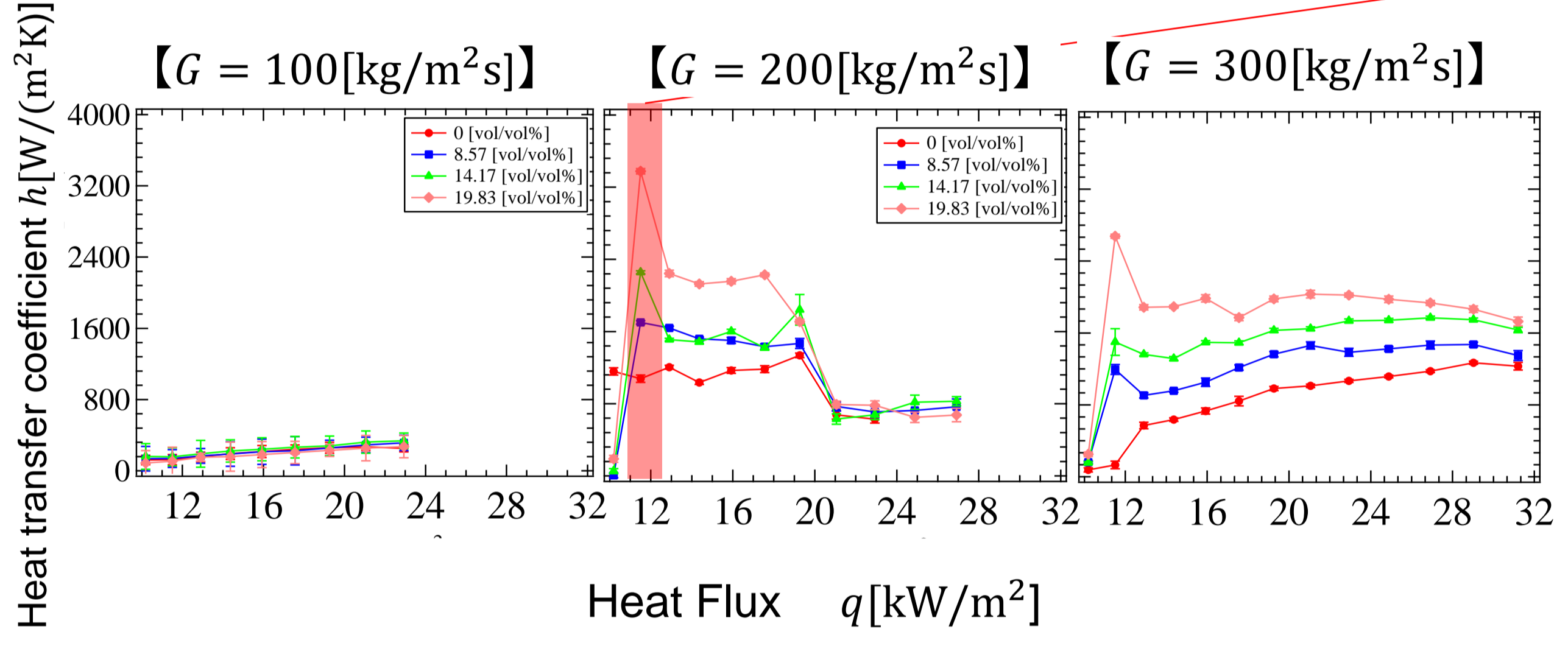
凝縮挙動可視化実験

Electric power from Nichrome	3.6W
Mass flux G	50 kg/m ² s
Heat flux: q	1.4kW/m ²
Dissolved air concentration	0, 8.5 [vol/vol%]
subcooling: ΔT_{sub}	10K

沸騰熱伝達特性



局所熱伝達率



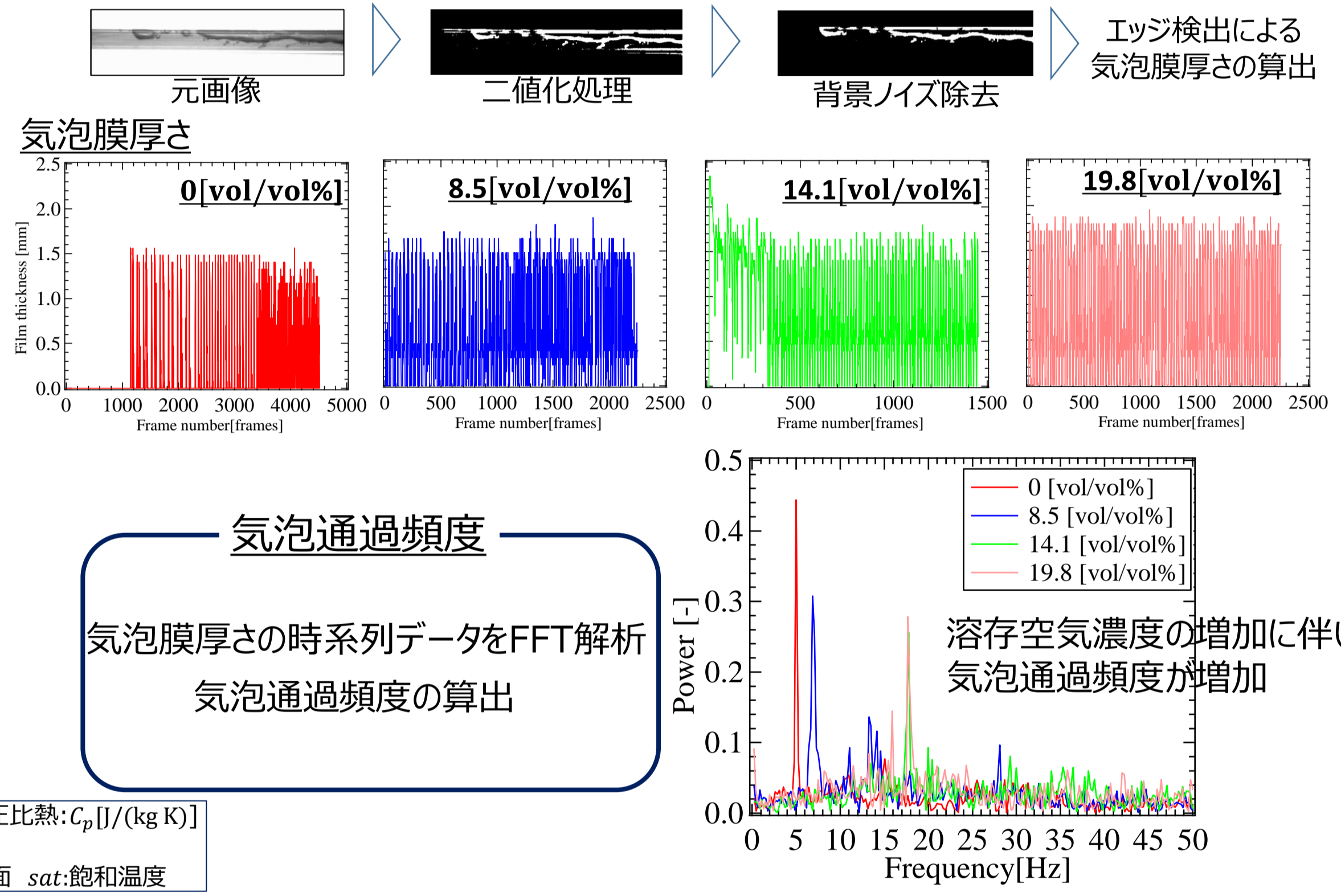
沸騰開始直後において溶存空気濃度の増加に伴い熱伝達率が増加

$$熱流束: q = \frac{GAC_p(T_{out} - T_{in})}{\pi rL} [kW/m^2]$$

$$沸騰熱伝達率: h = \frac{q}{(T_w - T_{sat})} [W/(m^2K)]$$

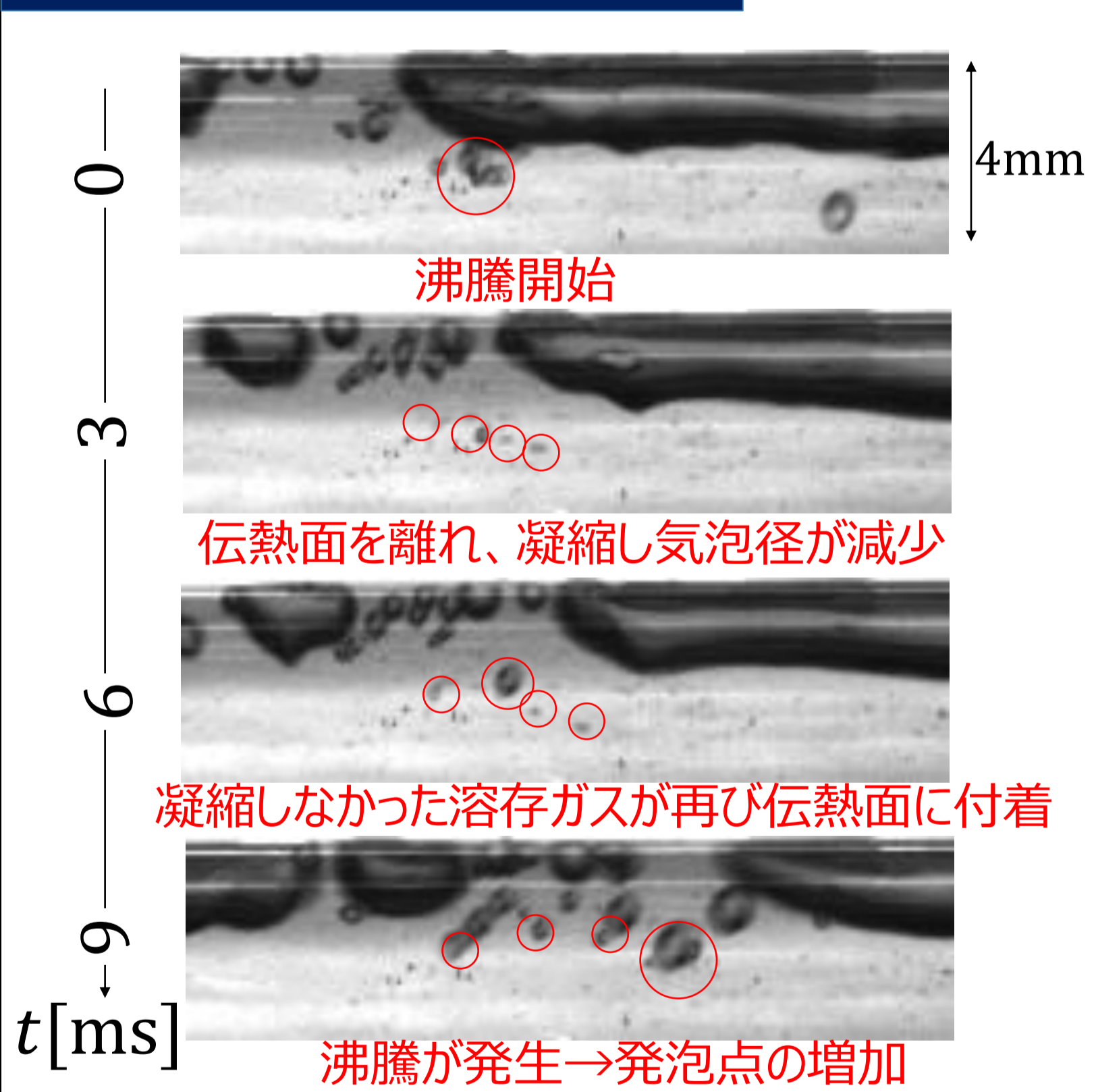
質量流量: G [kg/(m²s)] 断面積: A [m²] 低圧比熱: C_p [J/(kg K)]
温度: T [K] 流路半径: r [m] 流路長さ: L [m]
out: テスト部出口 in: テスト部入口 w: 伝熱面 sat: 飽和温度

沸騰流動への影響

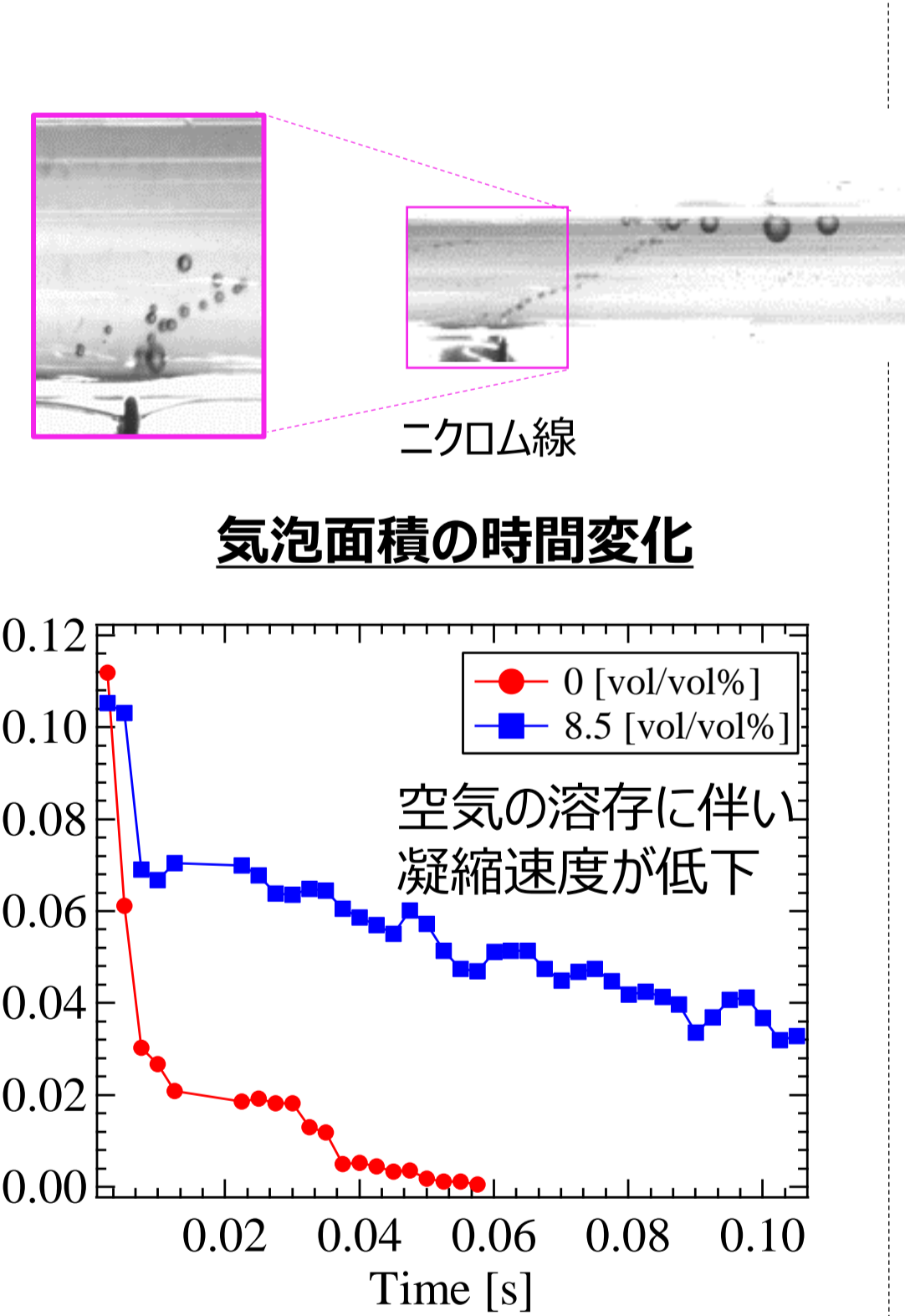


気泡通過頻度
気泡膜厚さの時系列データをFFT解析
気泡通過頻度の算出

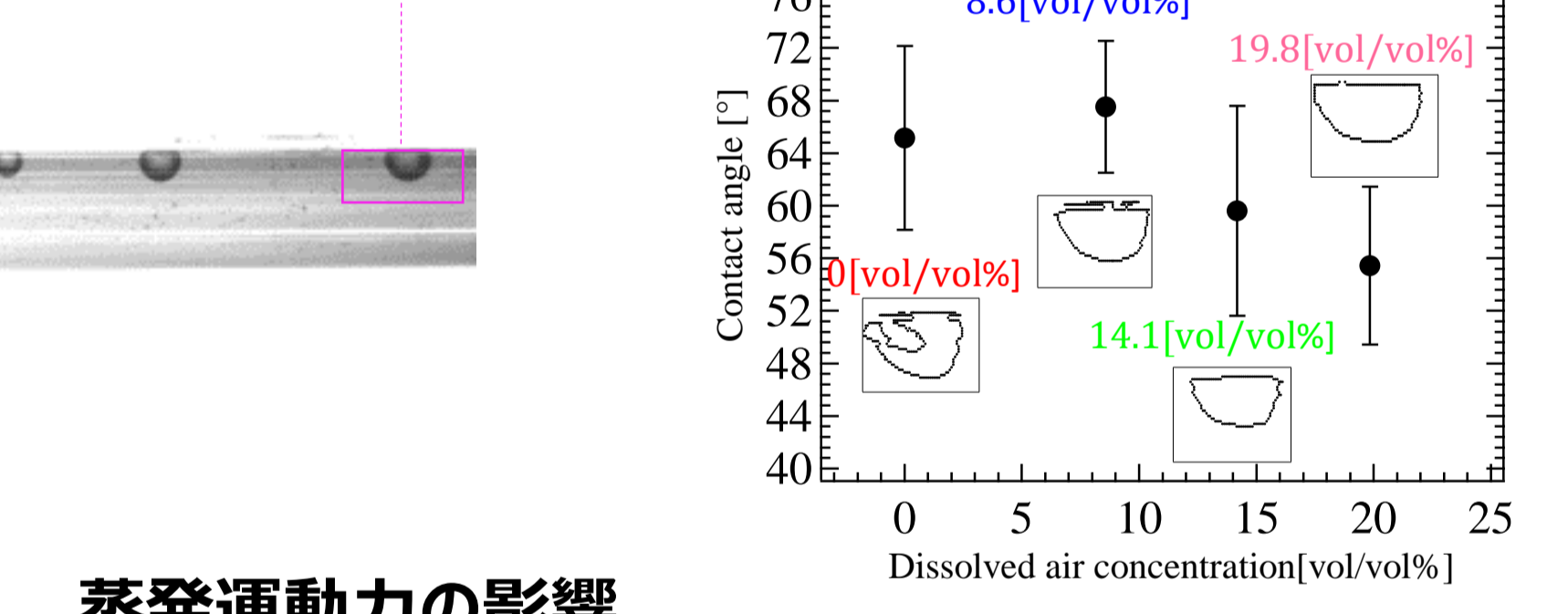
相変化挙動への影響



凝縮挙動への影響



溶存空気と接触角の関係

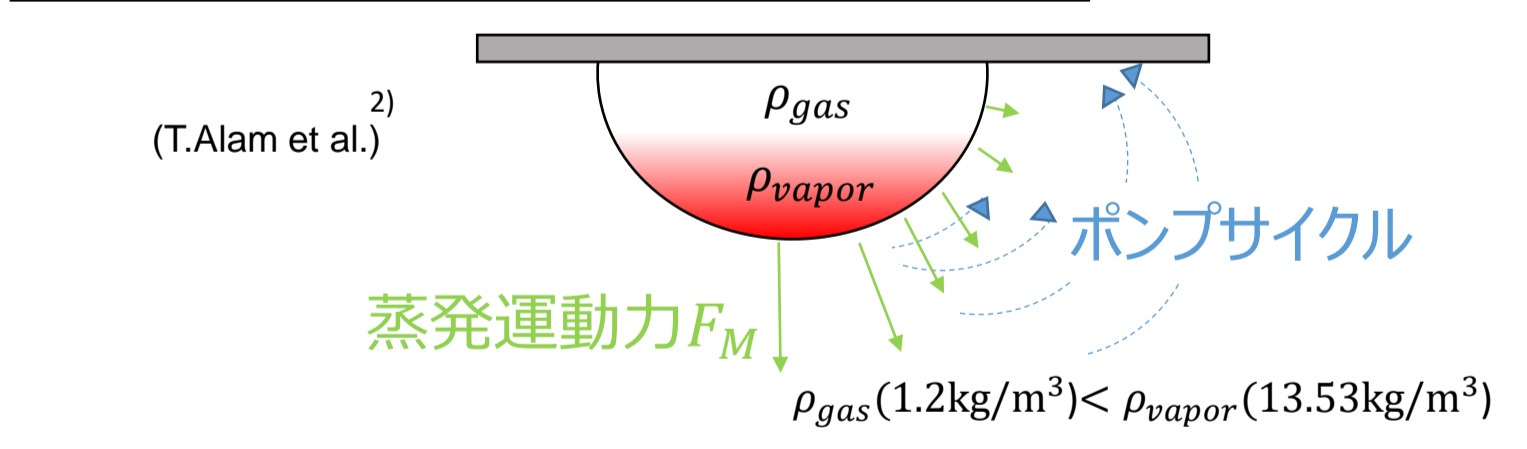


気泡輪郭をプロットし接触角を算出
伝熱面
サブクール液
接触角

接触角の変化

溶存空気濃度の増加に伴い接触角は減少し沸騰気泡は扁平な形状をとる傾向を得た

蒸発運動力の発生に伴う界面運動



気相密度、蒸発速度に依存する蒸発運動力の発生
蒸発速度の違いにより伝熱面付近に熱交換を行う液相を供給

フローパターンの遷移への影響

無次元フローパターンマップ Kim-Mudawar et al.(2012)^[2]

重力の影響が少ないマイクロチャンネル内の流動遷移パターンと良好に一致

気相の慣性力が支配的

Modified Weber number We^* (気相慣性力と液粘性力、表面張力の比)

$$We^* = 2.45 \frac{Re_v^{0.64}}{Su_v^{0.3} (1 + 1.09X_{tt}^{0.039})^{0.4}} \quad (Re_l \leq 1250) [G = 100kg/(m^2s)]$$

$$We^* = 0.85 \frac{Re_v^{0.64} X_{tt}^{1.57}}{Su_v^{0.3} (1 + 1.09X_{tt}^{0.039})^{0.4}} \left[\left(\frac{\mu_v}{\mu_l} \right)^2 \left(\frac{\rho_l}{\rho_v} \right) \right]^{0.084} \quad (Re_l > 1250) [G = 200, 300kg/(m^2s)]$$

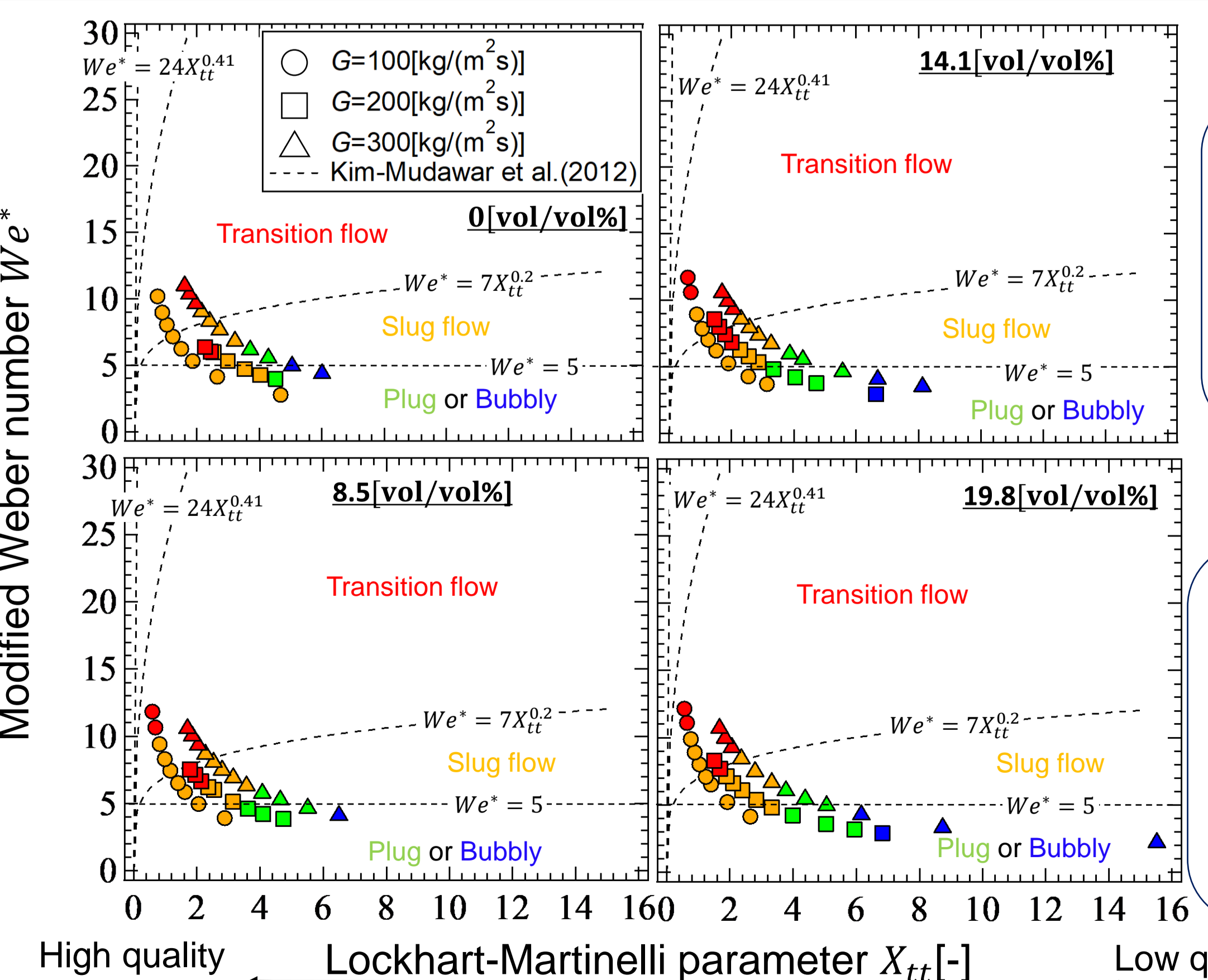
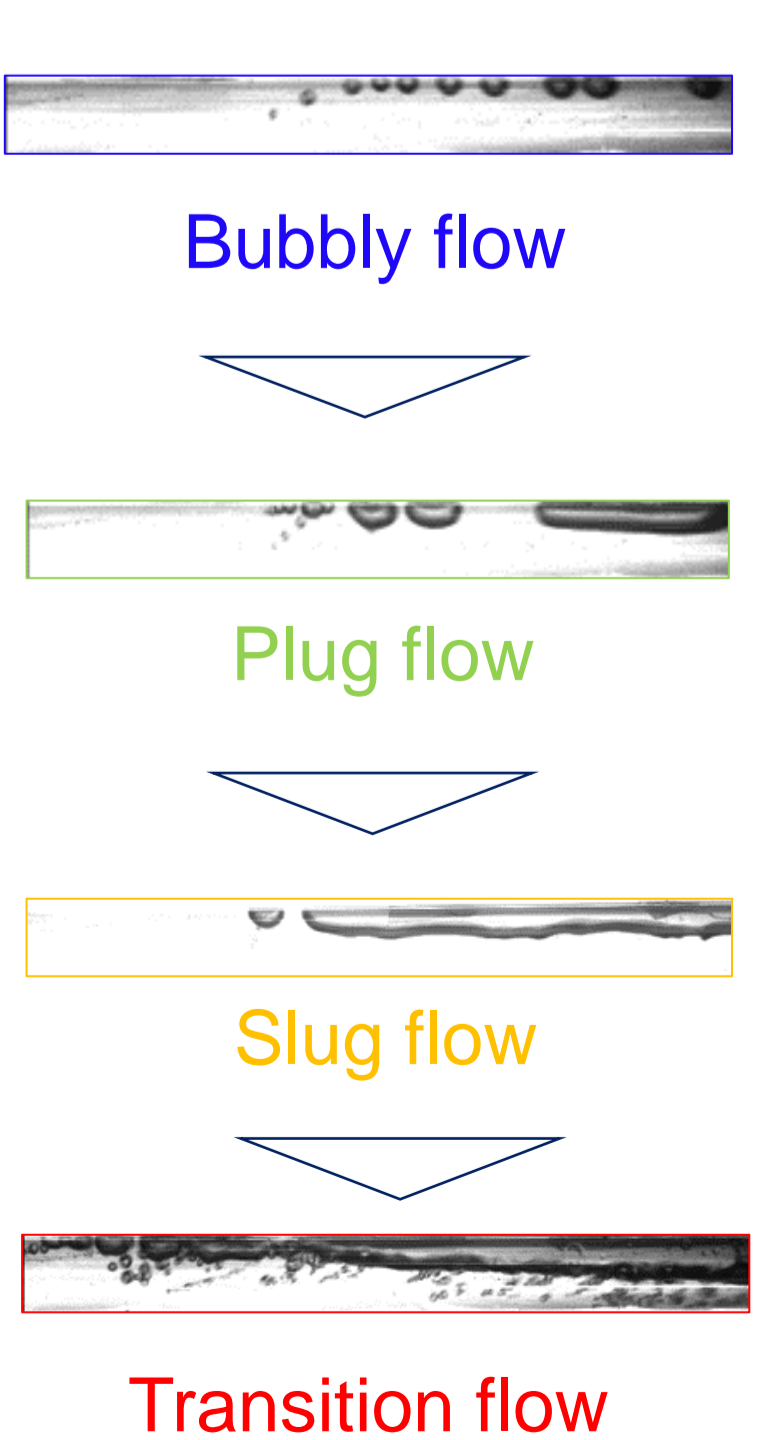
Lockhart-Martinelli parameter X_{tt}

$$X_{tt} = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0.9} \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_v} \right)^{0.1}$$

$$x = \frac{1}{h_{lv}} \left[\frac{GAC_p(T_{out} - T_{in})}{GA} - C_p(T_{sat} - T_{in}) \right]$$

x: quality [-] h_{lv} : latent heat transfer [kJ/kg]
 Q_{fluid} : Heat exchange [W] G : Mass flow rate [kg/(m²s)]
 A : Cross section area [m²] C_p : specific heat [J/(kg K)]
 T : Temperature [K]
sat: saturation, in: inlet, out: outlet
 ρ : density [kg/m³]
 μ : dynamic viscosity [Pa·s] l : liquid, v : vapor
 σ : Surface tension [N/m] D_h : diameter [m]

Flow pattern



可視化結果との比較
高流量条件では流動遷移は無次元マップと一致
重力に対して気相に働く慣性力が支配的に働くため

溶存空気の影響
溶存空気濃度の増加に伴い気泡流~プラグ流への遷移領域が変化
低クオリティ条件では溶存空気の析出による影響が顕著に表れた

結言

核沸騰に対し、溶存空気の析出による影響が顕著に表れる低熱流束、低クオリティ条件において溶存空気濃度は沸騰熱伝達特性や流動様式の変化に影響する

参考文献

- [1] S.G.Kandlikar., APPLIED PHYSICS LETTERS Vol.102., 051611(2013)
- [2] Kim et al. International Journal of Heat and Mass Transfer Vol.55(2012)pp984-994