

# 地震加速度付加時の気液二相流の詳細 予測技術高度化に関する研究 (3)構造物加振実験装置の製作と 気泡挙動に関する予備実験結果

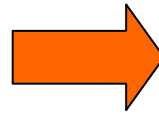
---

○水野皓介(筑波大院)  
金子暁子(筑波大学)  
文字秀明(筑波大学)  
阿部豊(筑波大学)  
吉田啓之(原子力機構)  
高瀬和之(原子力機構)

# 機器が地震動から受ける影響についての研究

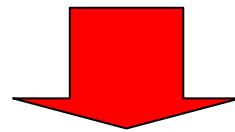
従来

配管や炉心容器などの耐震強度の研究



固体に対しての振動応答解析

- ・炉心内部の冷却材が地震動から受ける影響についての知見は不十分
- ・振動付加に伴う気液二相流の挙動変動による出力変動への影響



加振による**構造物内の流体**に及ぼす影響の解明の必要性

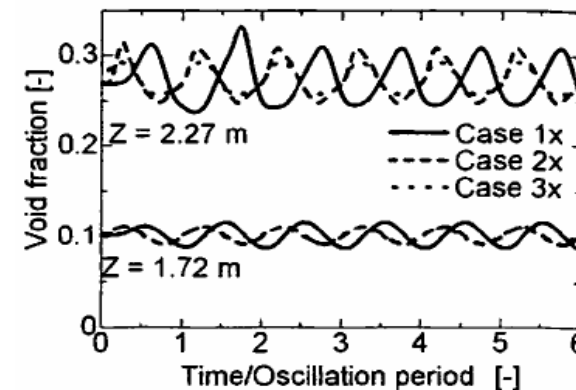
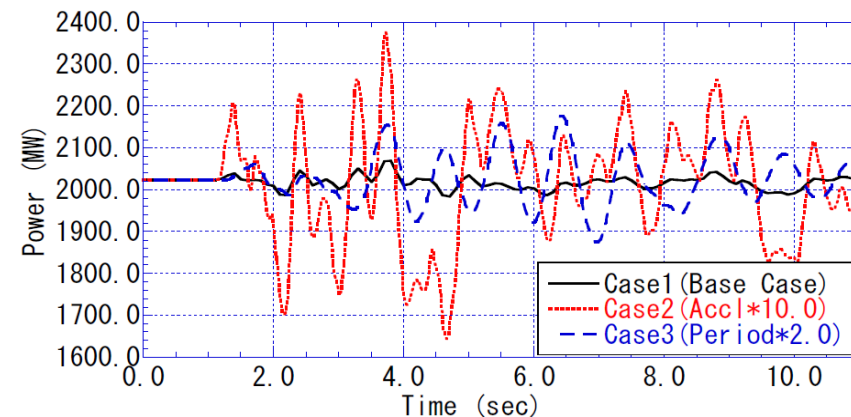
# 過去の研究

大竹ら (2010)

- ・矩形流路において加熱面に対して振動を付加した際の沸騰伝熱特性を示し、加熱面への振動の付加により限界熱流束が上昇することを示唆

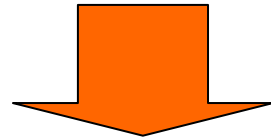
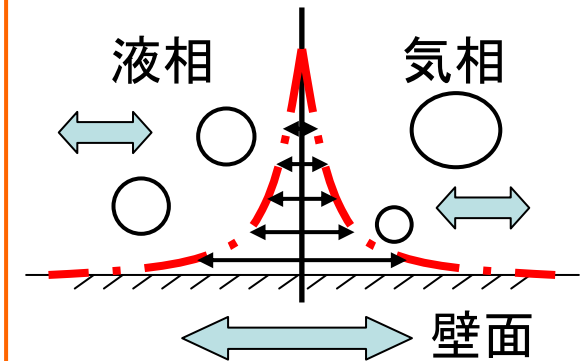
三沢ら(2010)

- ・地震加速度を付加した場合の原子炉の応答解析を行い、地震動がボイド率の変動および出力応答に大きな影響を及ぼすことを予測



# 研究目的

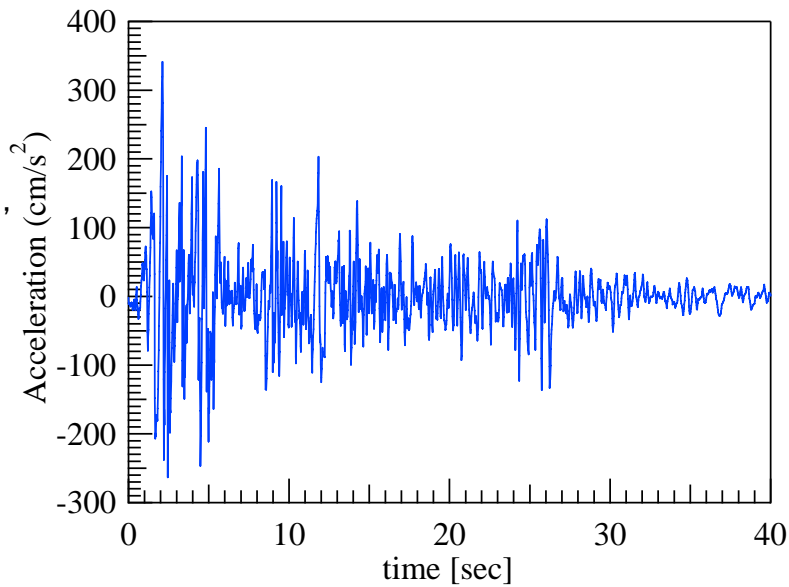
- ・構造物加振による壁面振動が気相および液相の挙動に与える影響について解明
- ・地震加速度付加時における二相流挙動の解析手法の開発・整備するための基礎的な実験データベースを構築



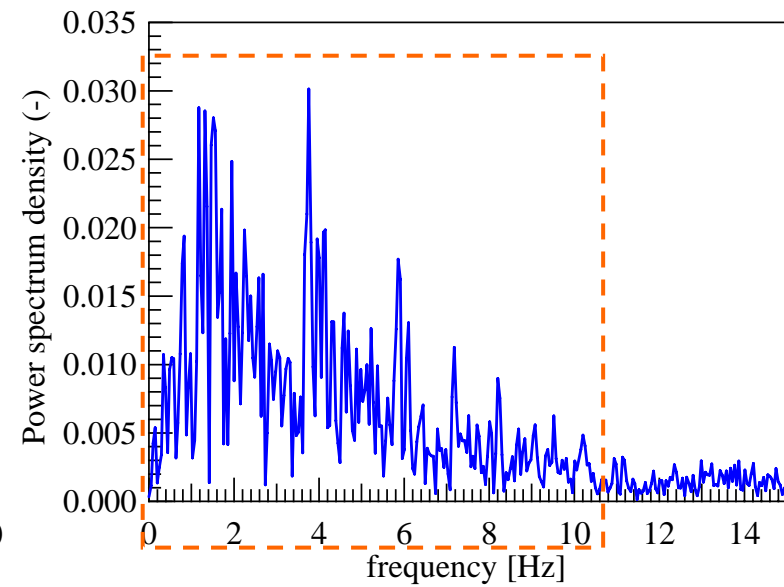
- ・加振台を用いて流路に振動を付加し二相流の可視化実験を行うための装置の設計・製作
- ・実験より加振時の二相流挙動を観測し，気液各相が受ける影響について調べるための予備実験を行う

# 加振条件

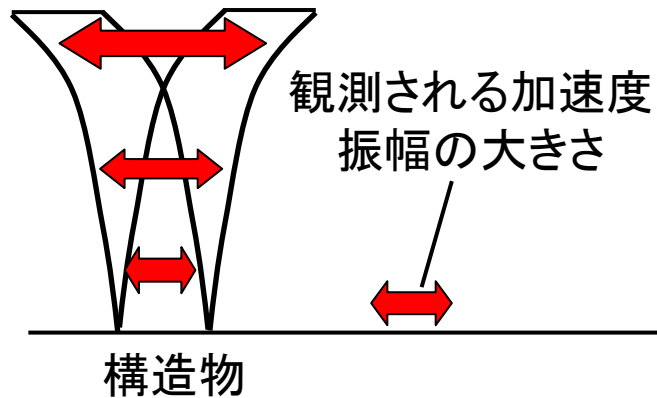
1940年アメリカ,  
エルセントロ  
地方で発生し  
た地震データ



観測波形

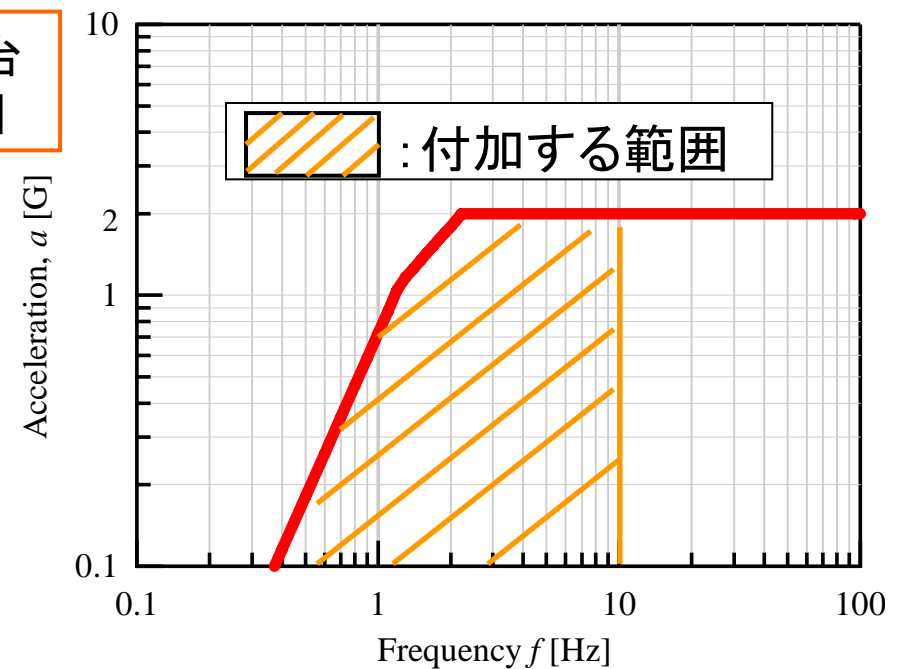


加速度応答スペクトル

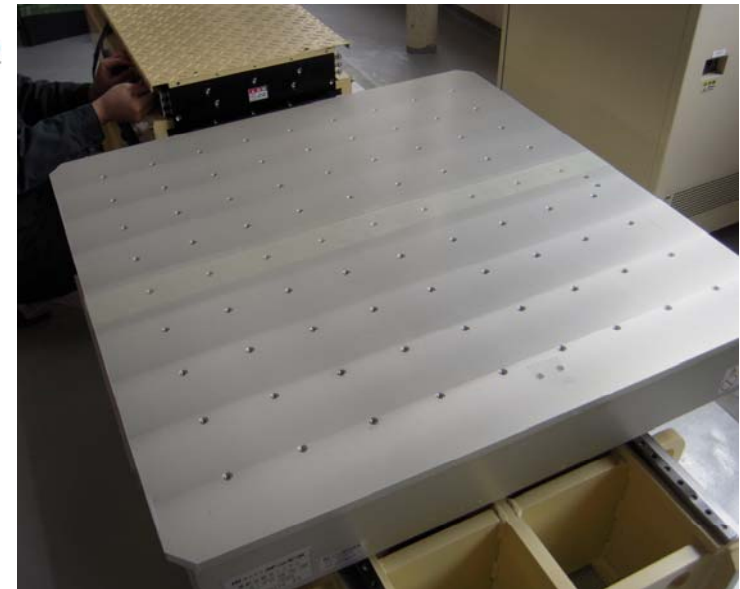
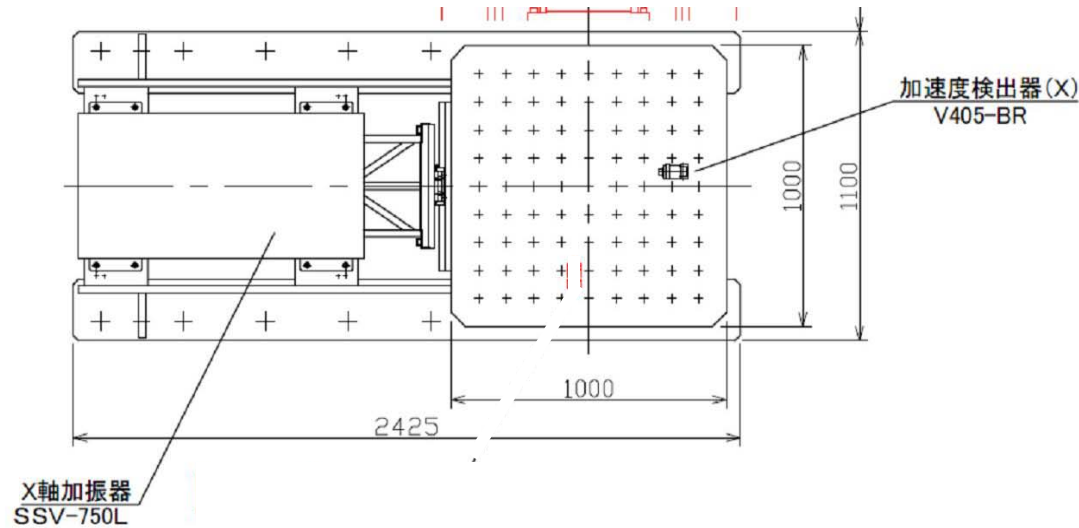


構造物における振動応答

設計した加振台  
の性能曲線図



# 加振台



## 実際の地震動に基づく振動を再現可能な装置

- ① 加速度振幅... 構造物の振動応答を考慮し、  
一般に観測される加速度より  
も大きな加速度の範囲を設定.
- ② 振動数... 一般的に高い出力割合を示す  
0.1-10 [Hz]を設定.

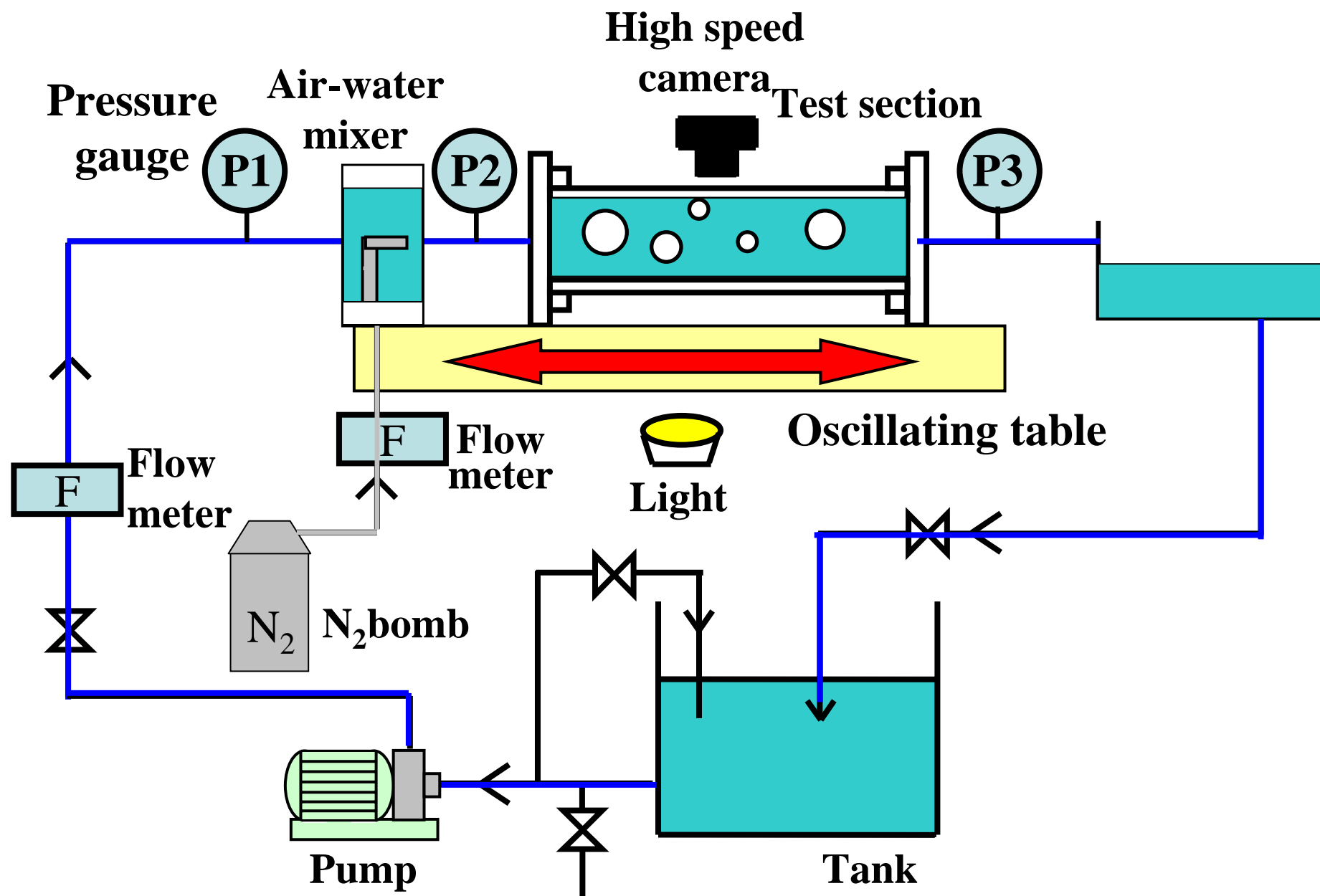
振動方向: 水平1軸

最大付加加速度: 2 G  
( $=2 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

振動数: 0.1-100 Hz

付加可能な・地震動模擬波  
振動波形: ・正弦波

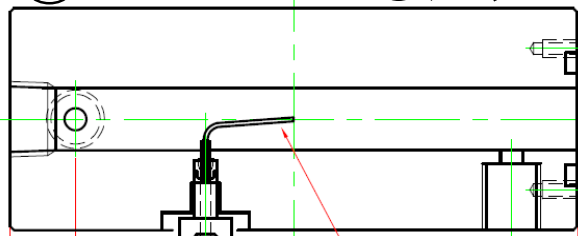
# 構造物加振実験装置概要図



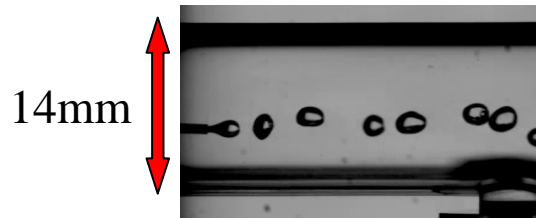
# 実験装置詳細

## 気液混合部

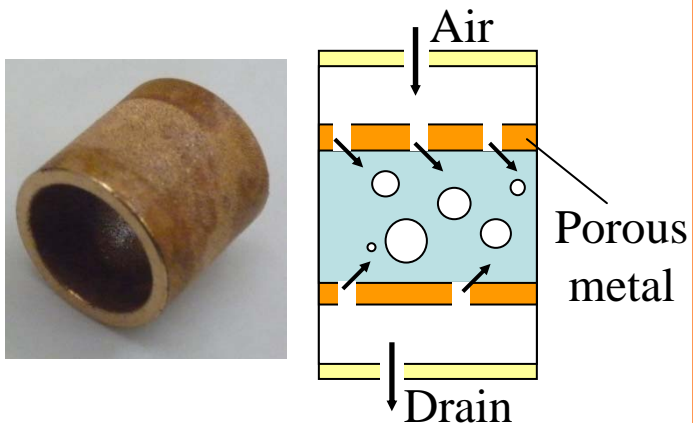
### ①ノズルによる注入



撮影速度: 500fps 再生速度: 10fps



### ②焼結金属による注入



## テスト部

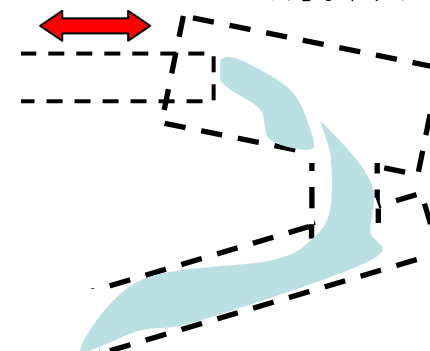


Length: 400mm, Diameter: 14mm

## 直線流路出口部

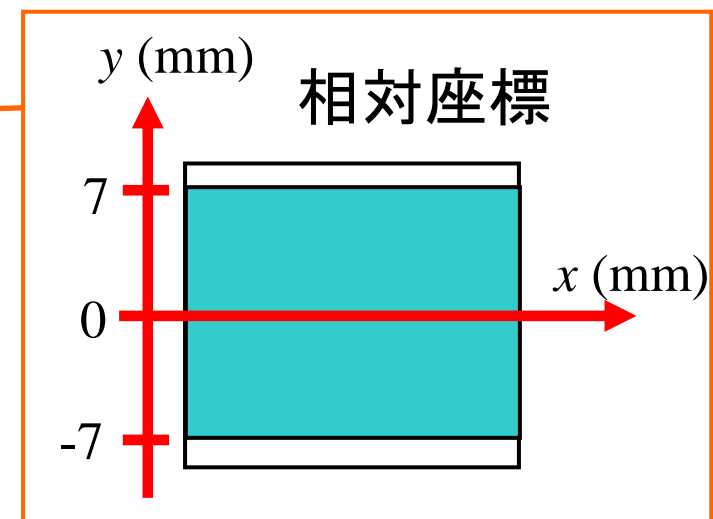
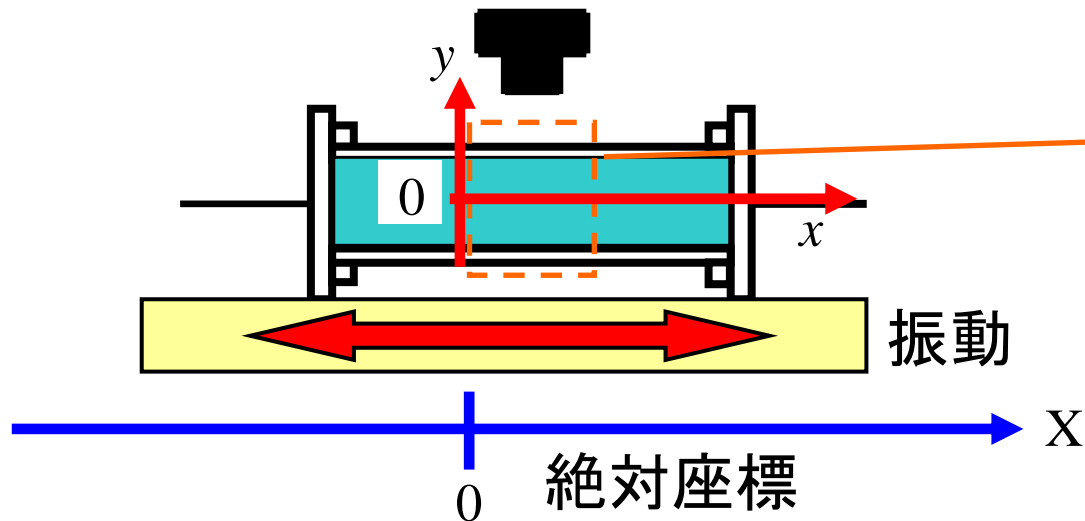
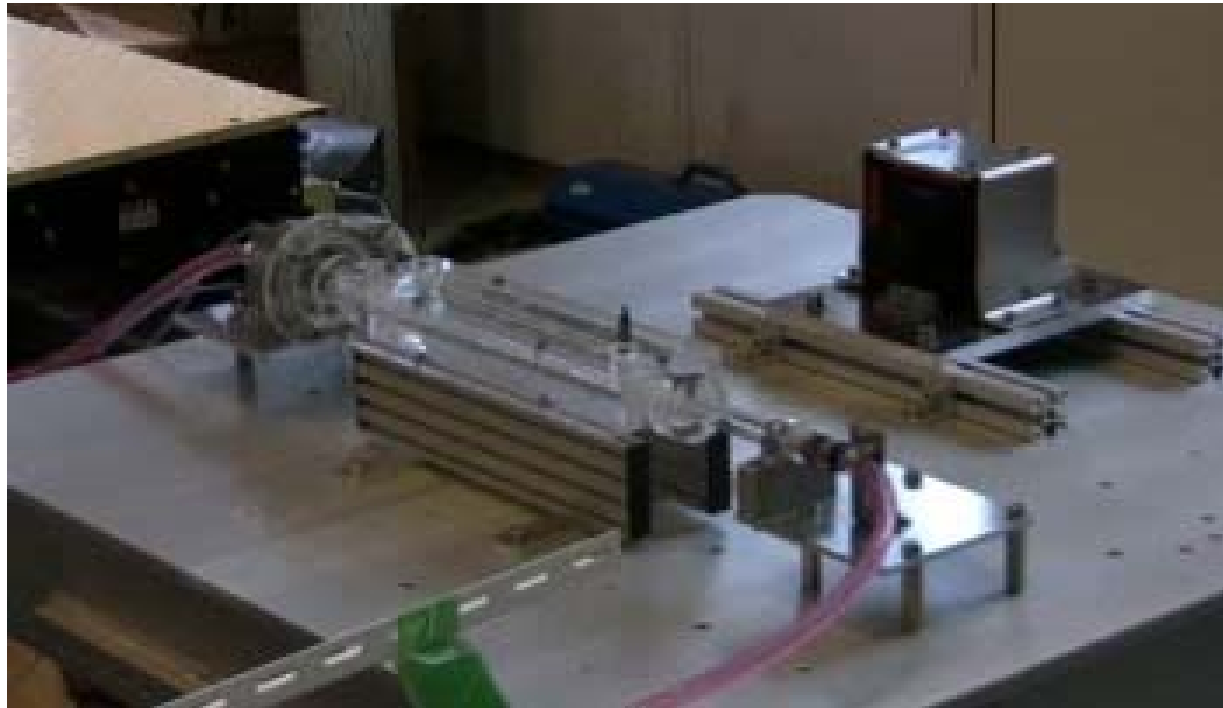


## 大気解放





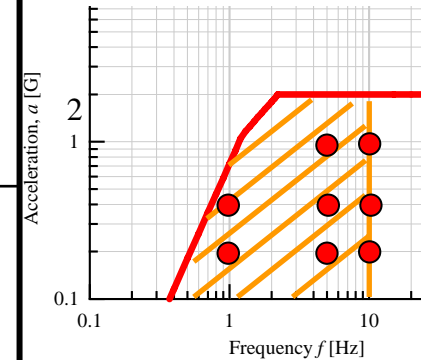
# 座標系



# 実験条件

## 付加する 振動条件

振動波形	加速度振幅 $a(\text{G})$ ※1 $\text{G}=9.8\text{m/s}^2$	振動数 $f(\text{Hz})$	流路に対する 振動方向
正弦波	0.1	1.0	平行
	0.4	5.0	
	1.0	10	



## 各相の 流量条件

液相見かけ 流速 $j_l(\text{m/s})$	0.50	1.00
気相見かけ 流速 $j_g(\text{m/s})$	$3.6 \times 10^{-2}$	$3.6 \times 10^{-2}$ $4.5 \times 10^{-2}$
体積流量比 $\beta(-)$	$6.7 \times 10^{-2}$	$3.5 \times 10^{-2}$ $4.4 \times 10^{-2}$

$$j_l = \frac{Q_l}{A}, \quad j_g = \frac{Q_g}{A},$$

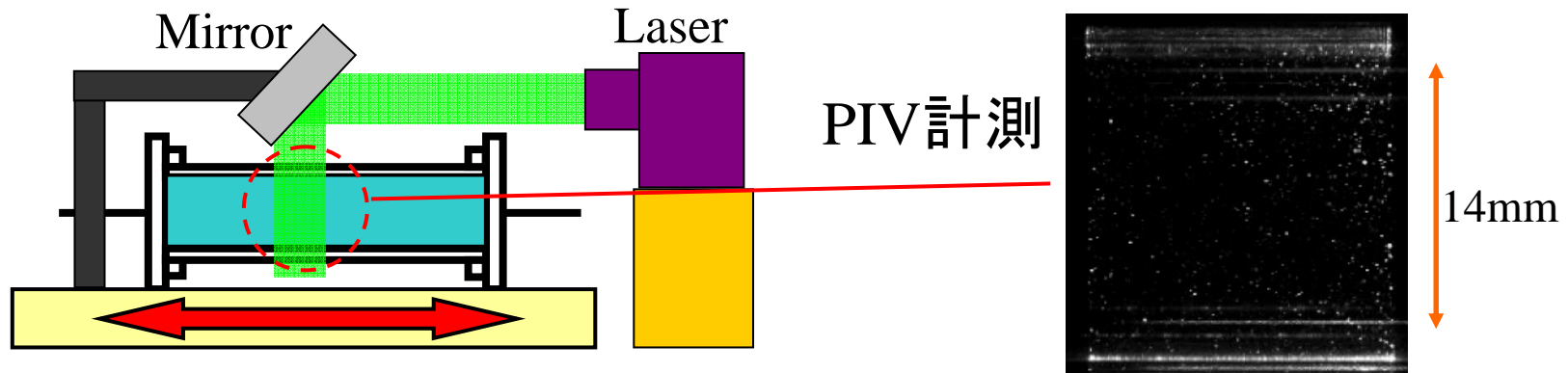
$$\beta = \frac{j_g}{j_l + j_g}$$

$Q_l$ : 液相容積流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

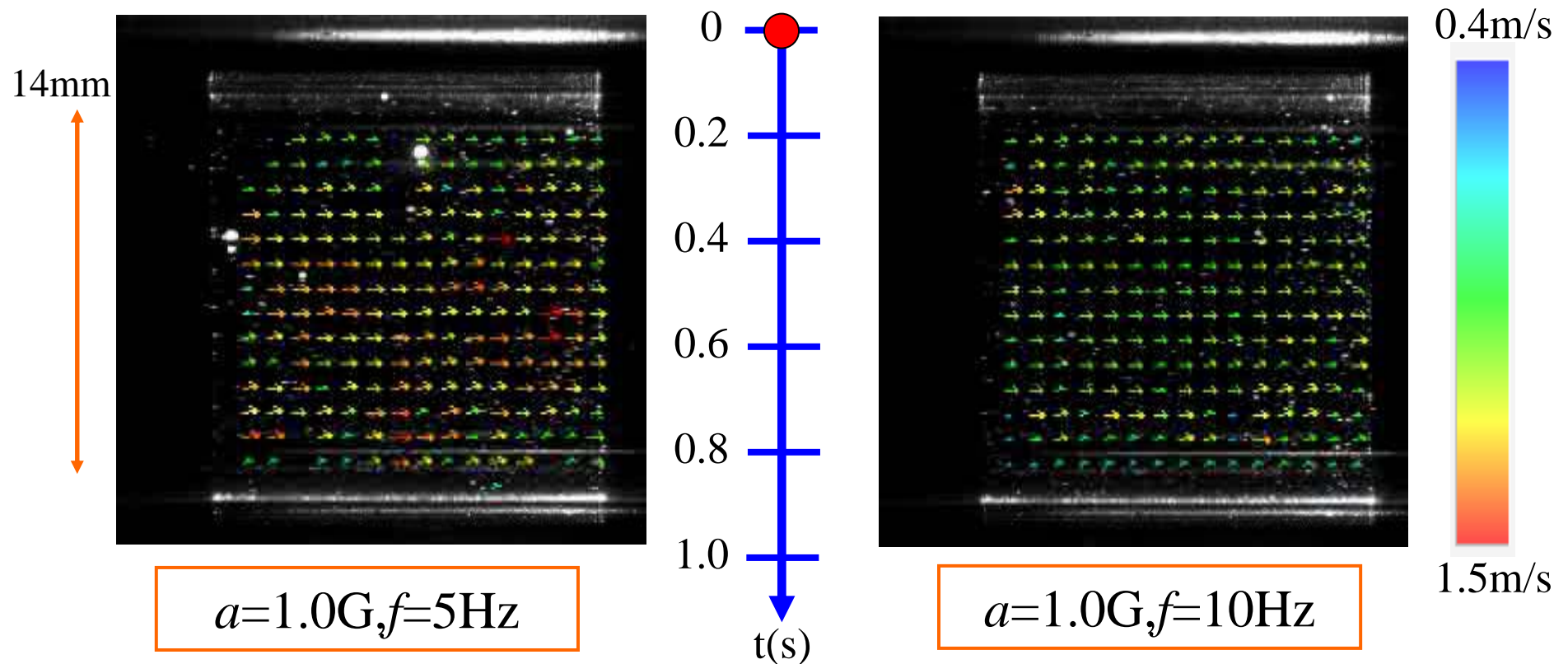
A: 流路断面積 ( $\text{m}^2$ )

$Q_g$ : 気相容積流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

# 液单相における速度場計測

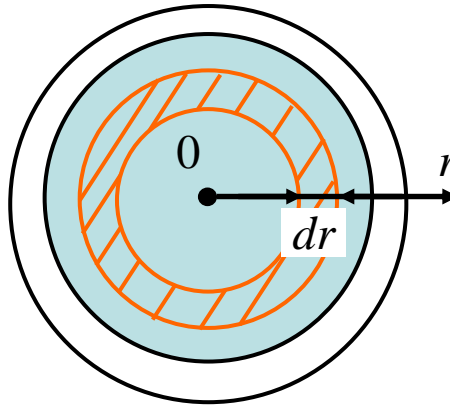
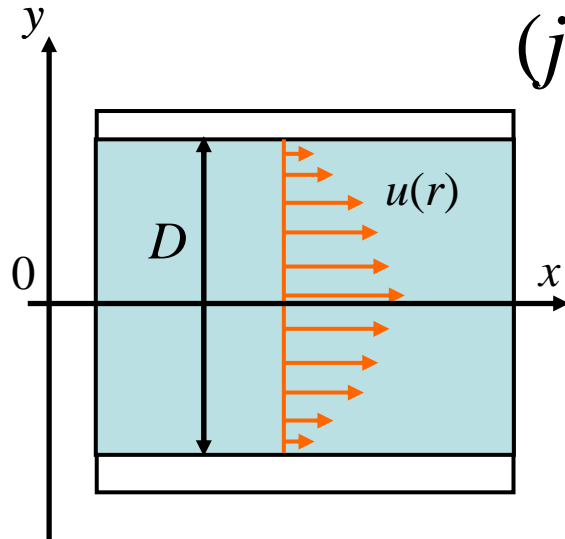


$j_l=1.0\text{m/s}$ における液单相速度場ベクトル算出結果



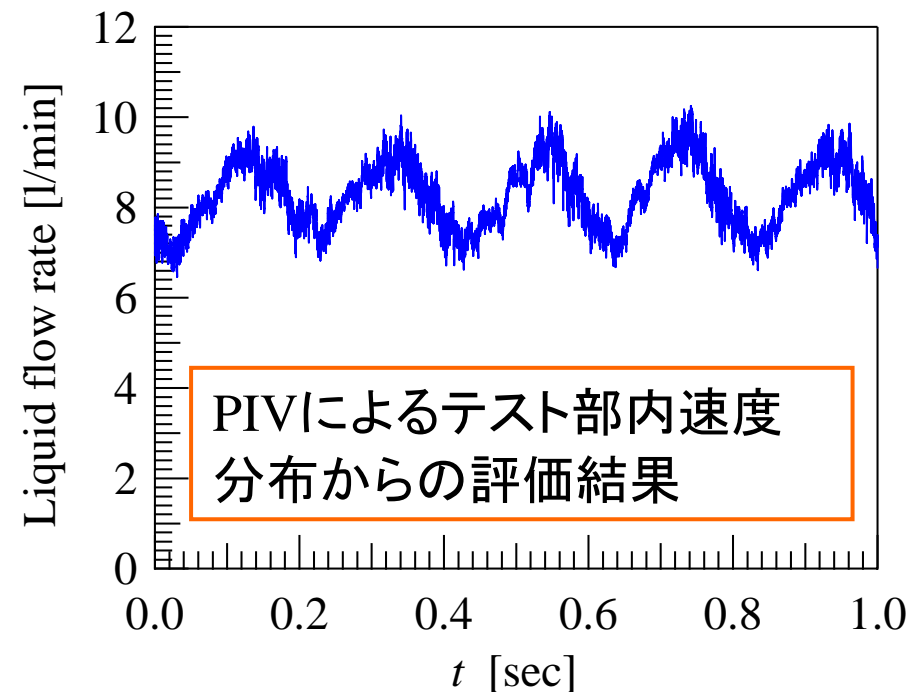
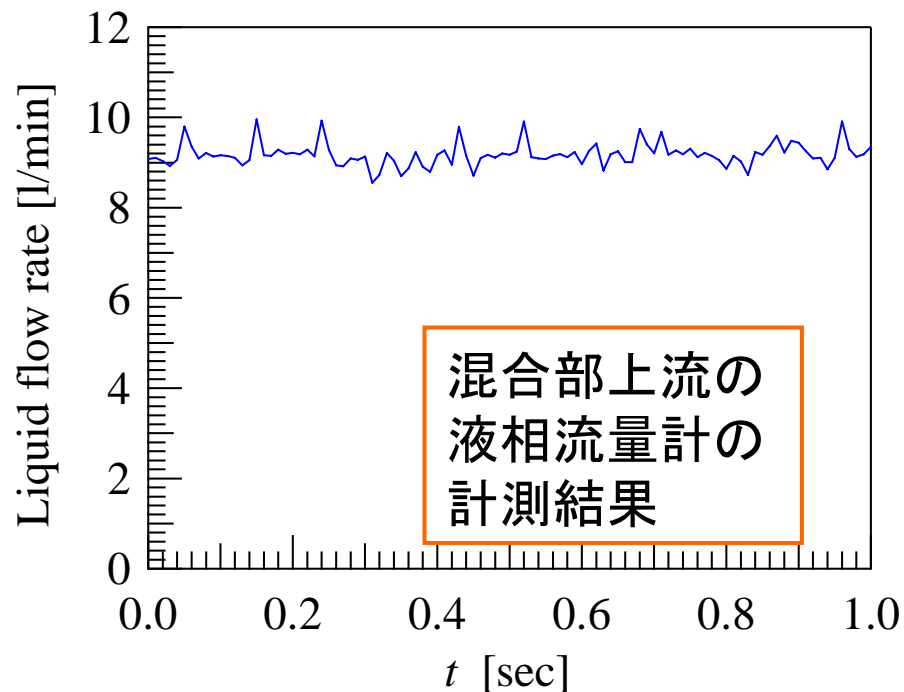
# 液相流量の計測値と評価値

( $j_l=1.0\text{m/s}$ ,  $a=1.0\text{G}$ ,  $f=5\text{Hz}$ )

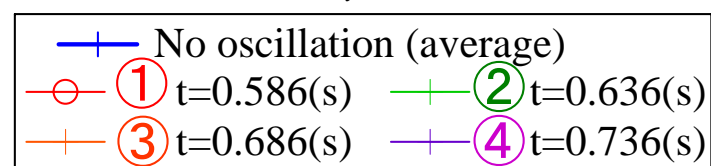
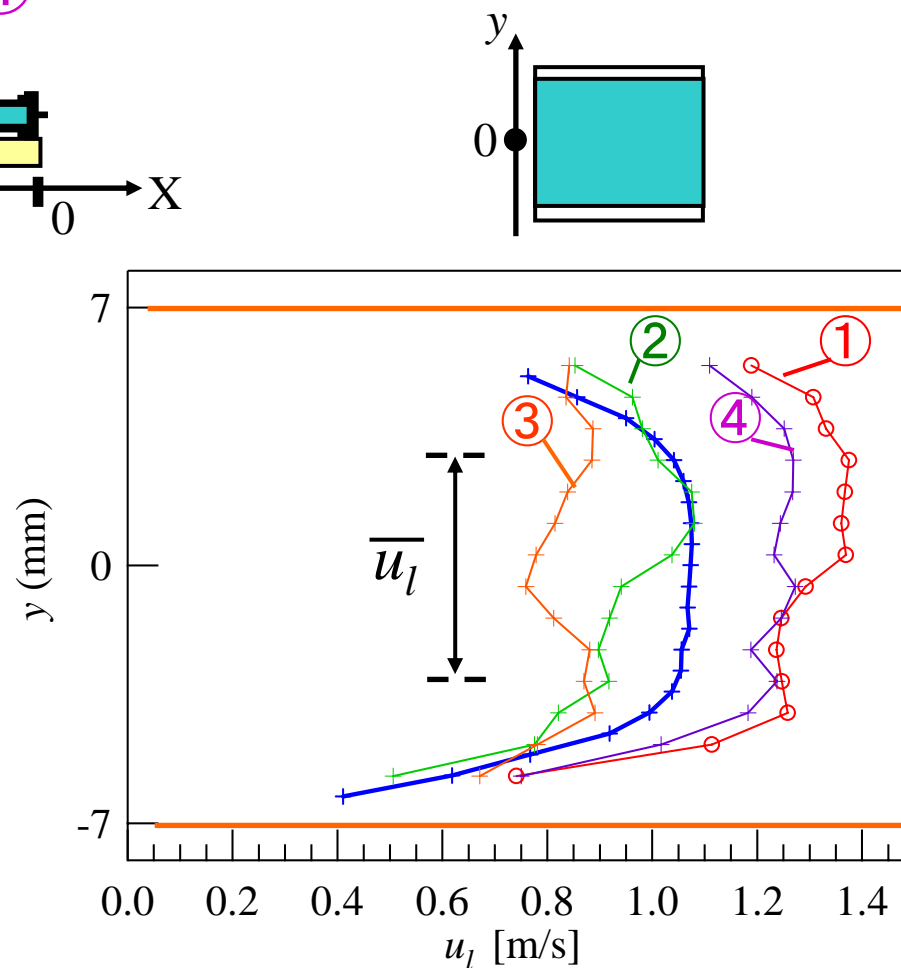
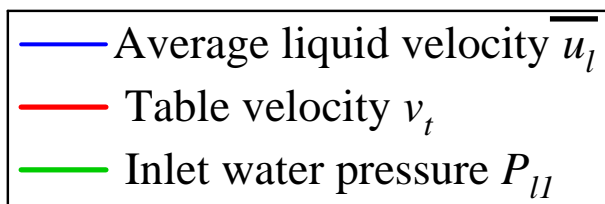
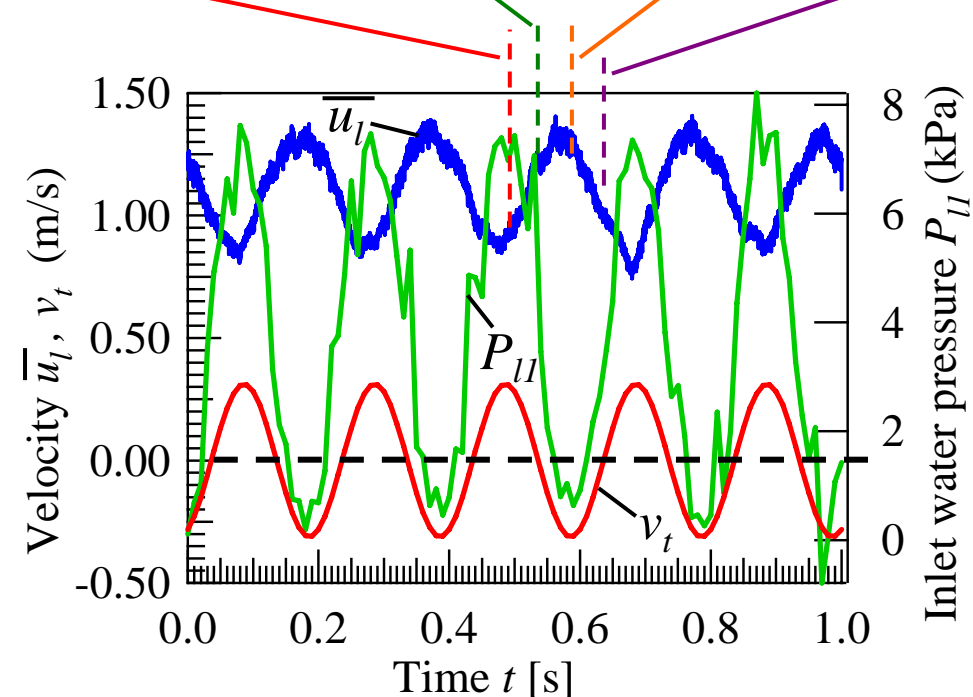
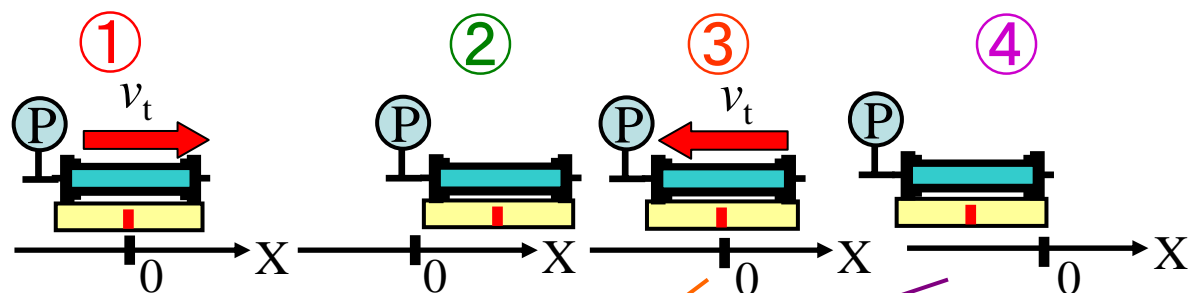


液相流量 $Q$ の算出

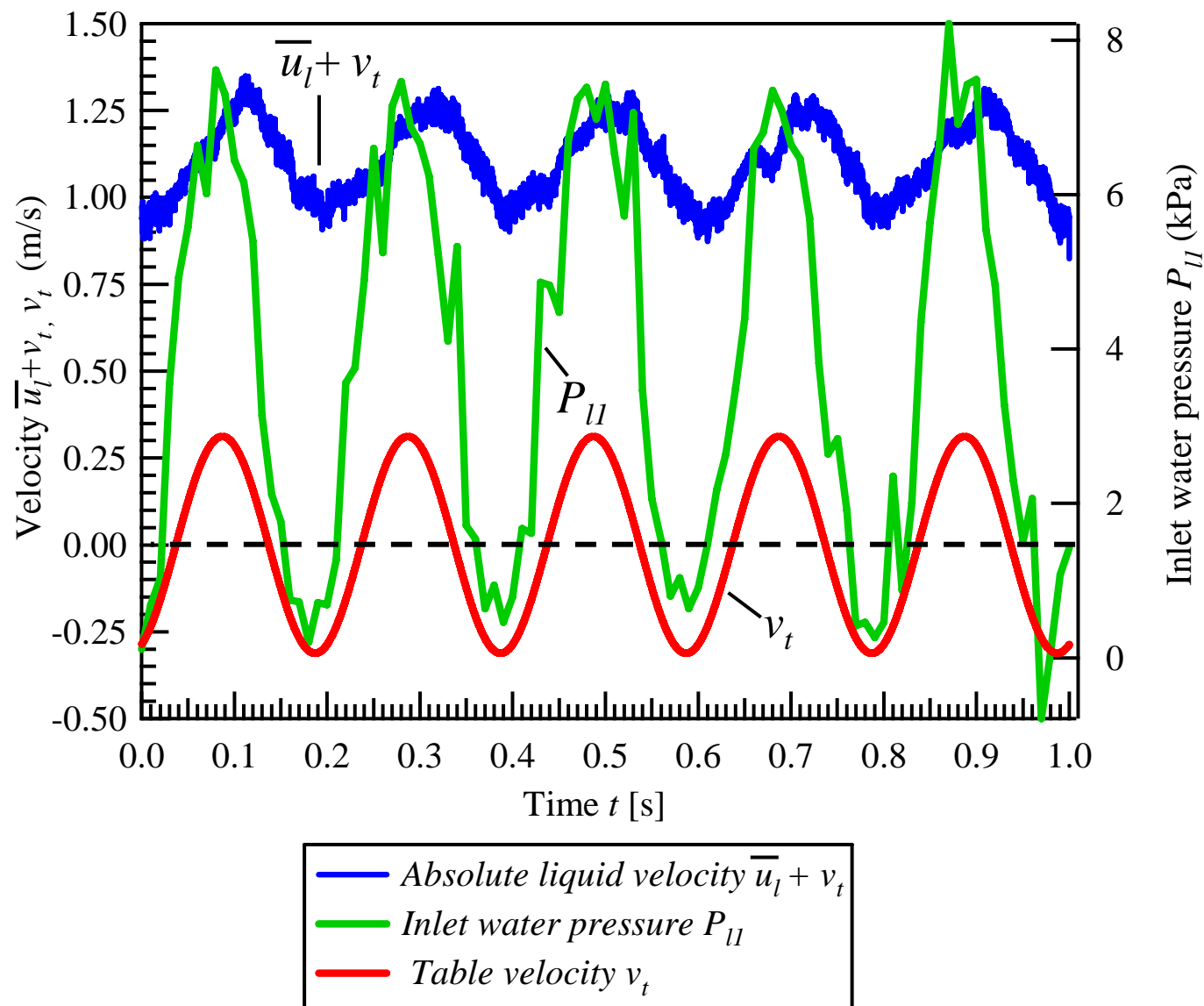
$$Q = \int u(r) 2\pi r dr$$



# 液相流速算出結果 ( $a=1.0G, f=5Hz$ )



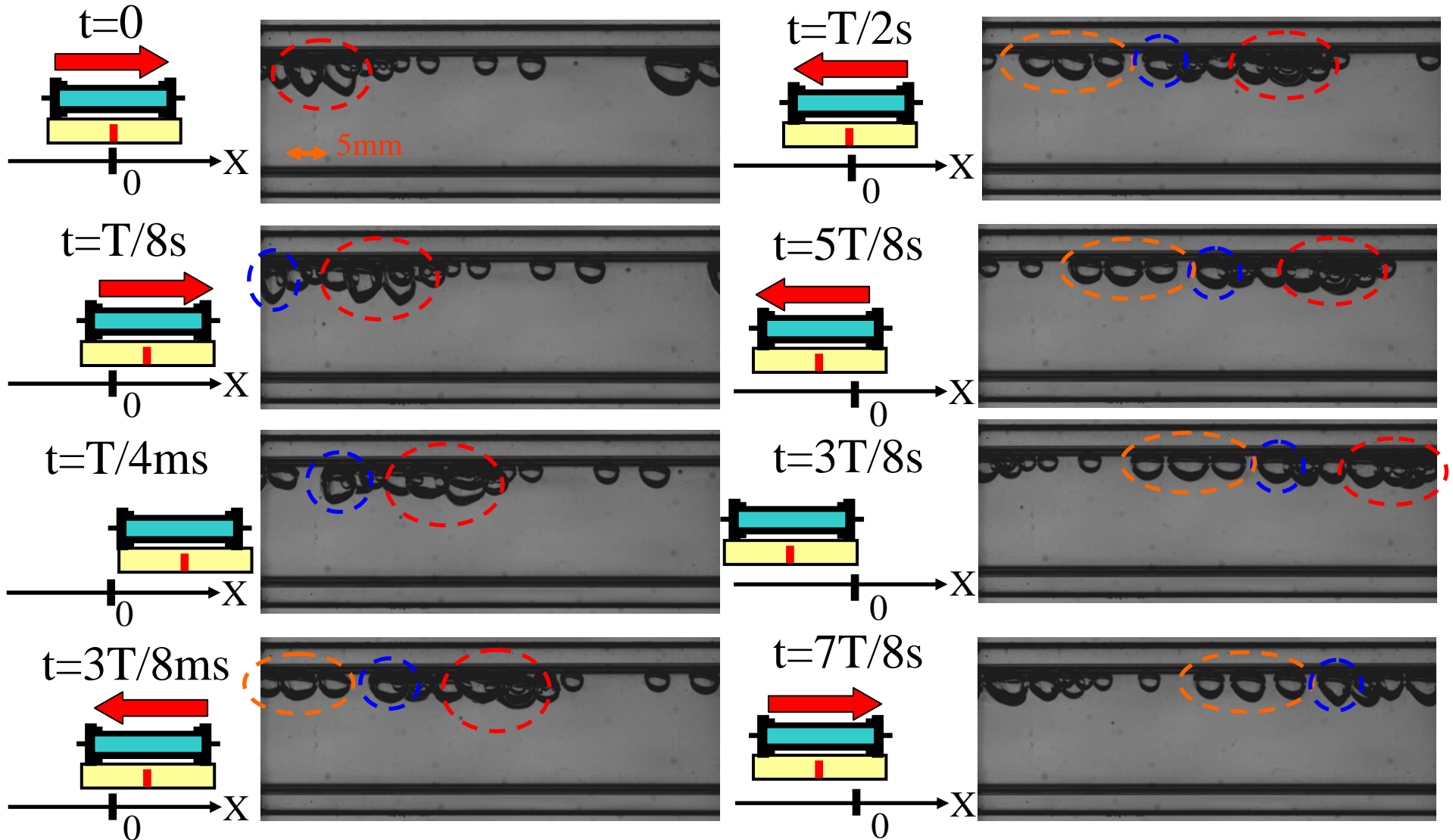
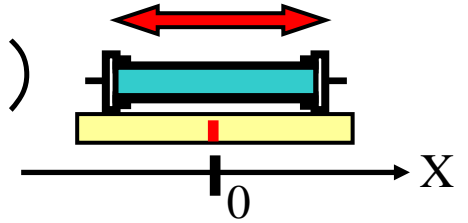
# 絶対座標系における液相流速



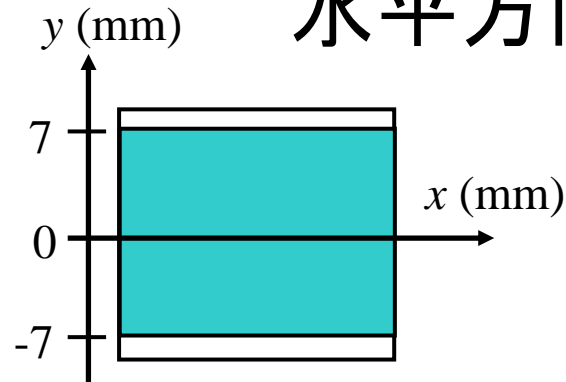
# 気泡形状についての変動

( $j_l=0.5\text{m/s}$ ,  $j_g=3.6 \times 10^{-2}\text{m/s}$ )

$a=1.0\text{G}$ ,  $f=10\text{Hz}$



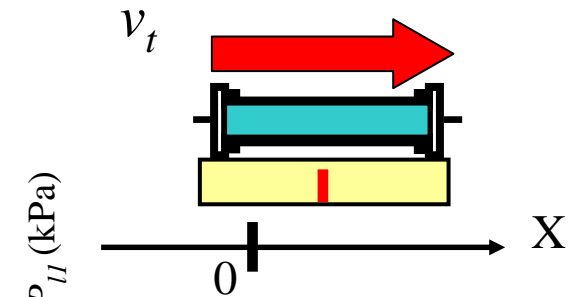
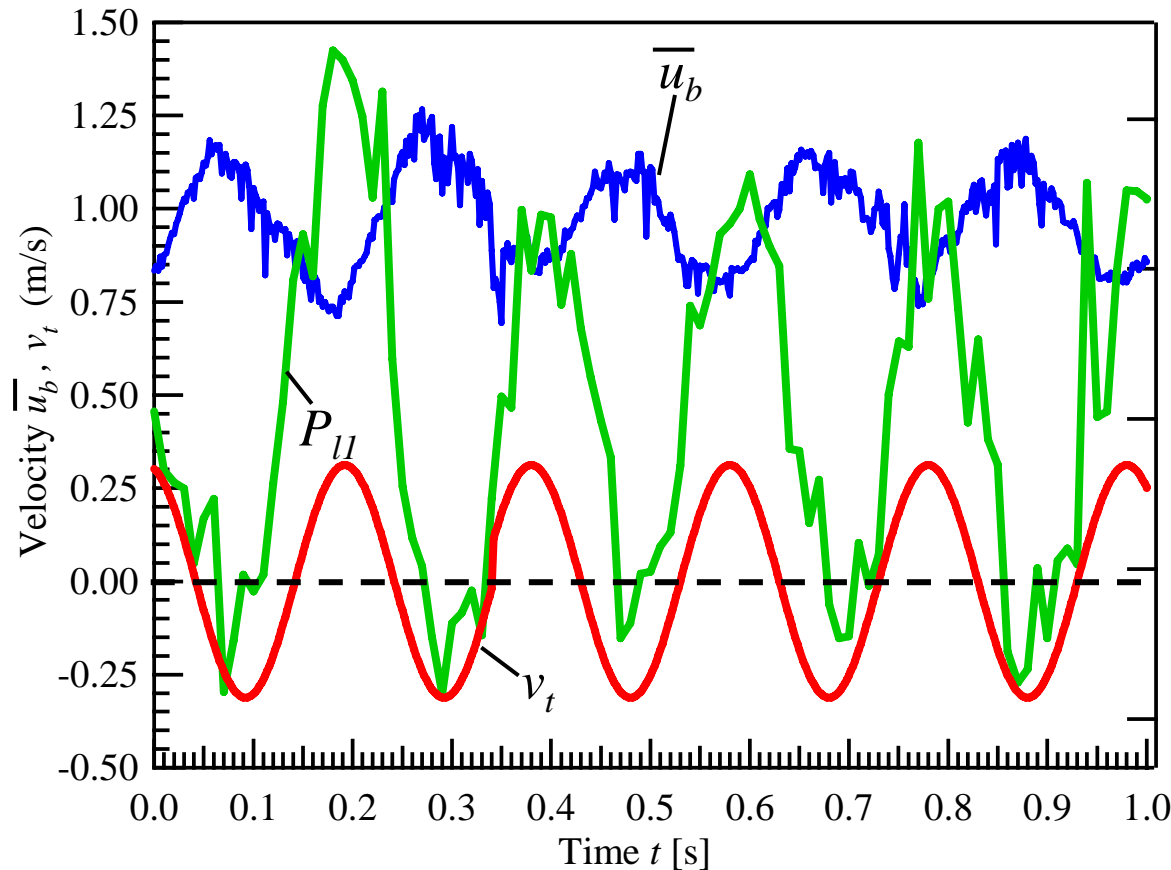
# 水平方向気泡移動速度算出結果



・水平方向  
移動速度  $u_b = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}$

$x(t)$ : 時刻  $t$  における気泡の  
水平方向位置 (mm)       $\Delta t$ : 撮影における  
時間分解能 (s)

$j_l = 1.0 \text{ m/s}$ ,  $j_g = 4.5 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ ,  $a = 1.0 \text{ G}$ ,  $f = 5 \text{ Hz}$  における  $u_b$  の算出結果



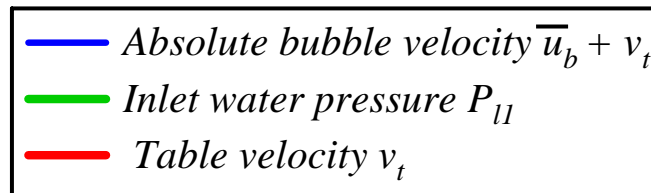
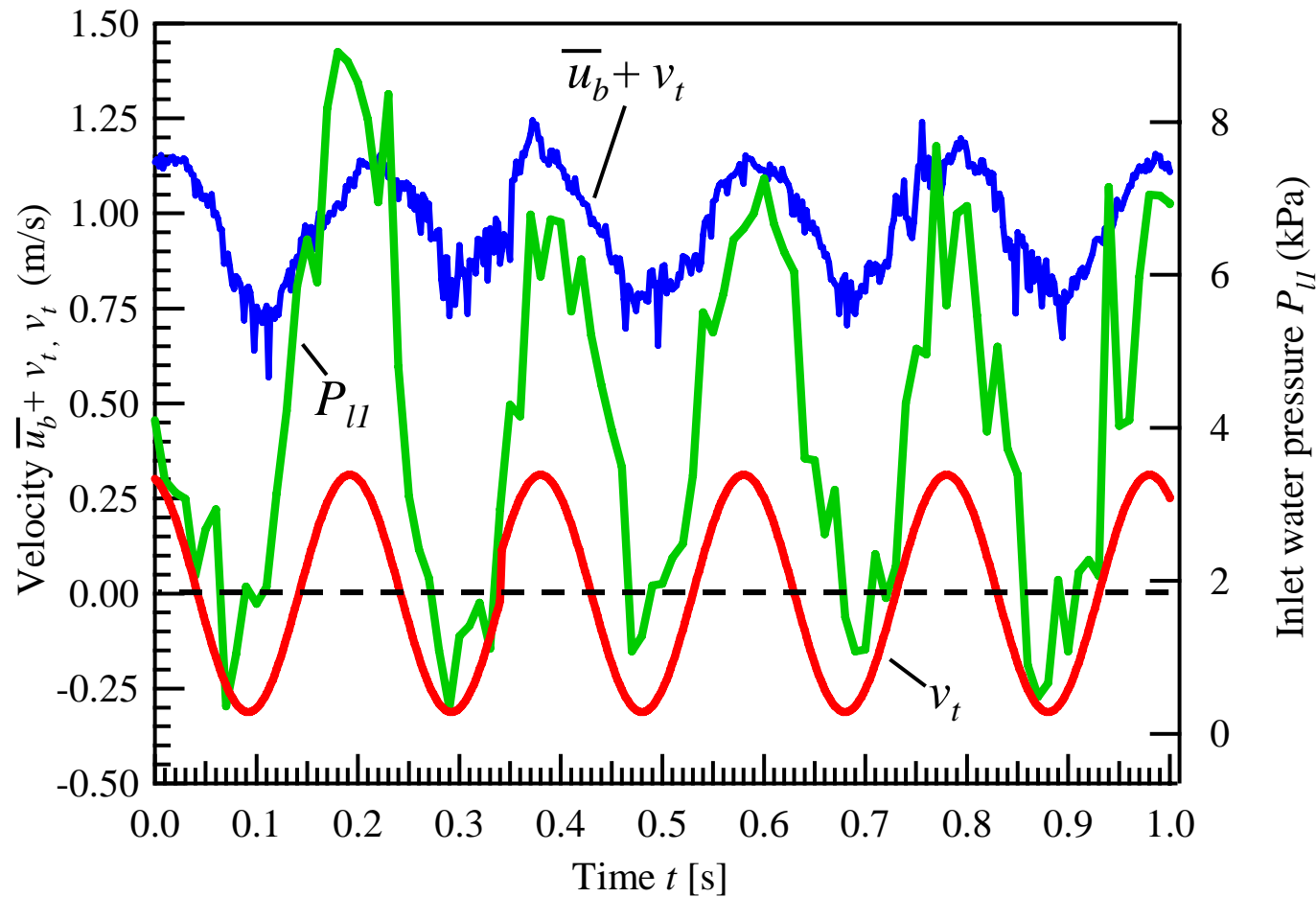
— Average bubble  
velocity  $\bar{u}_b$

— Inlet water  
pressure  $P_{II}$

— Table velocity  
 $v_t$

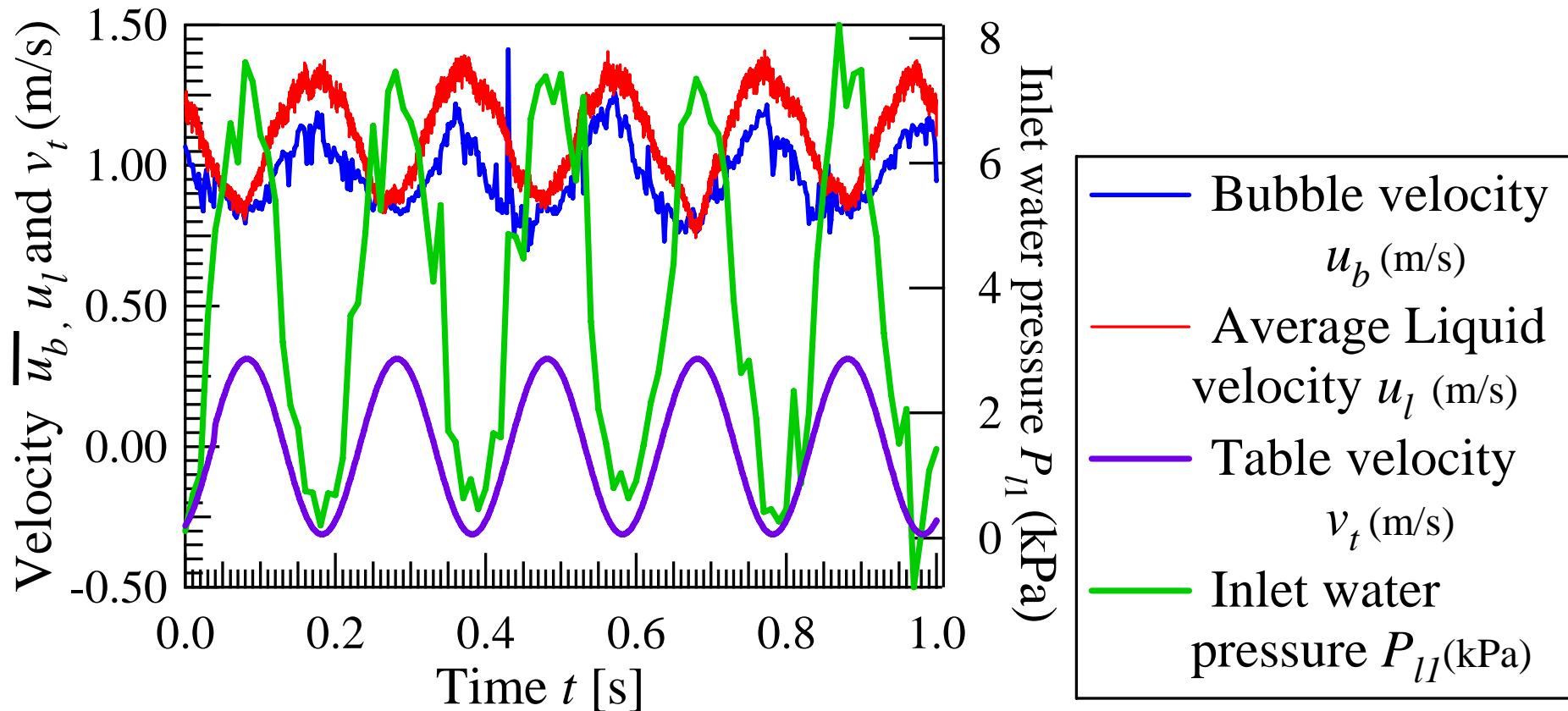
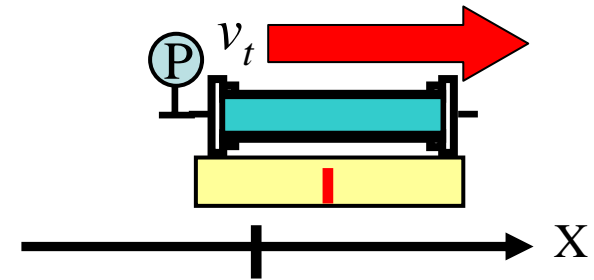


# 絶対座標系における気泡移動速度



# 気泡移動速度と液相流速の時間変動の比較

$$j_l = 1.0 \text{ m/s}, j_g = 4.5 \times 10^{-2} \text{ m/s}, \\ a = 1.0 \text{ G}, f = 5 \text{ Hz}$$



# 結言

- ・気液二相流が構造物の振動から受ける影響を調べるため実際の地震動および構造物の振動応答を考慮して、付加する振動条件を設定し、条件に適した振動台および流動可視化装置を設計・製作した.
- ・振動付加時における気泡流および液単相における可視化観測を行い、気泡・液相挙動について計測を行った.