

# 振動自己相殺型 パルス管冷凍機システム の開発

鈴木 敏一

高エネルギー加速器研究機構

2005.11.21

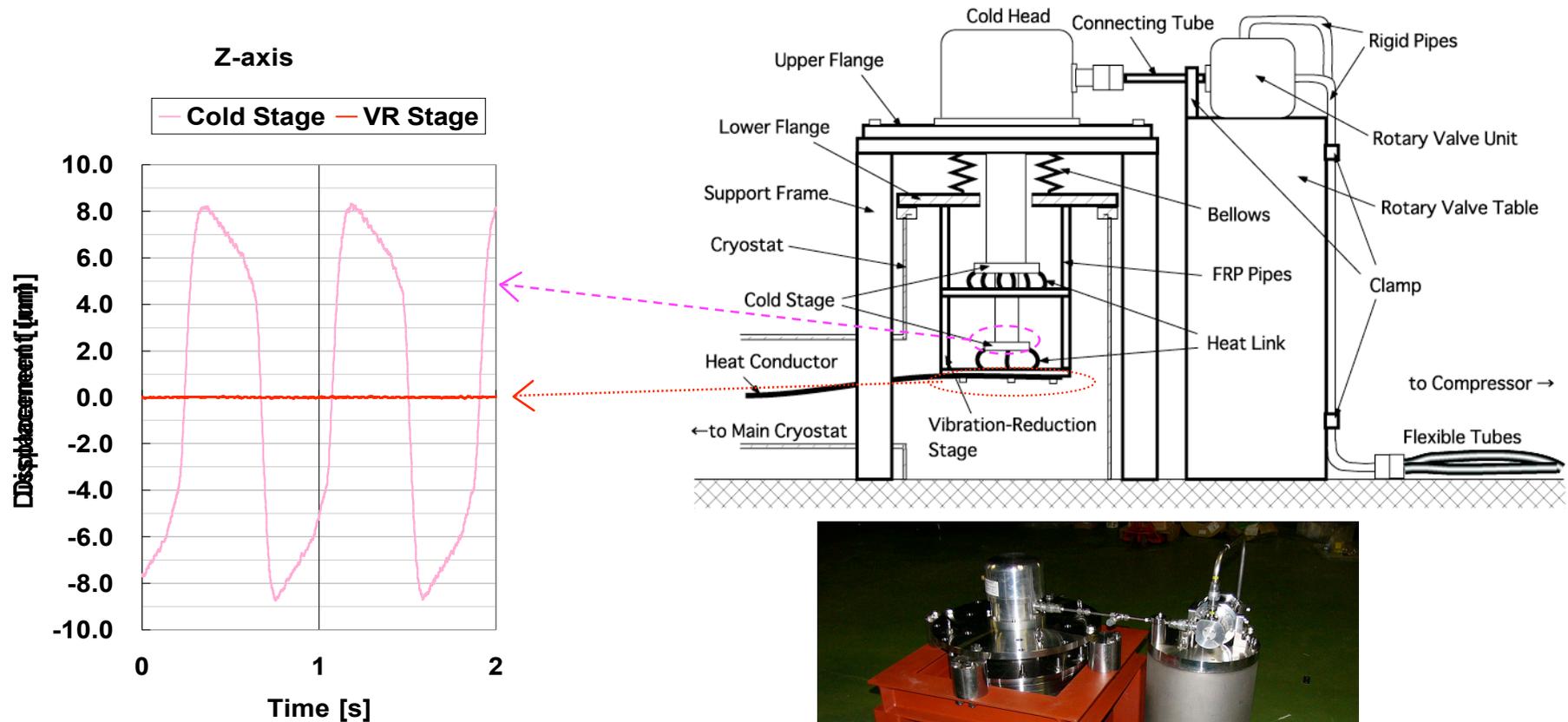
2005年度秋季低温工学・超伝導学会

1D-p07

# 目次

減振ステージ型パルスチューブ冷凍機  
内圧によるパイプの変形:振動源  
振動の自己相殺法  
実証試験モデル  
実験装置  
実験結果  
まとめと結論

# 低振動小型冷凍機システムの例



下段（2nd）減振ステージの振幅  
 $\Delta z = \pm 50 \text{ nm}$ （99.7%振動減）



# 減振ステージ型冷凍機システム

- ・ 背景地盤振動レベル（以下）まで振動低減可能
- ・ 付加的な構造体が必要

## 振動自己相殺法

パルス管の振動自体を逆手に取る  
小型超低振動冷凍機実現の可能性

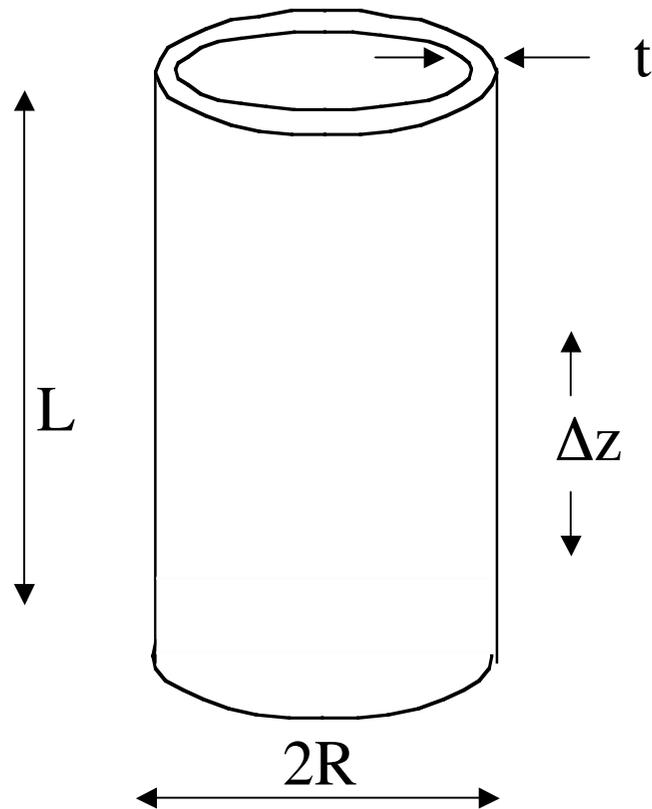
**振動自己相殺法の実験検証**

# 内圧によるパイプの弾性変形 コールドステージ振動の起源

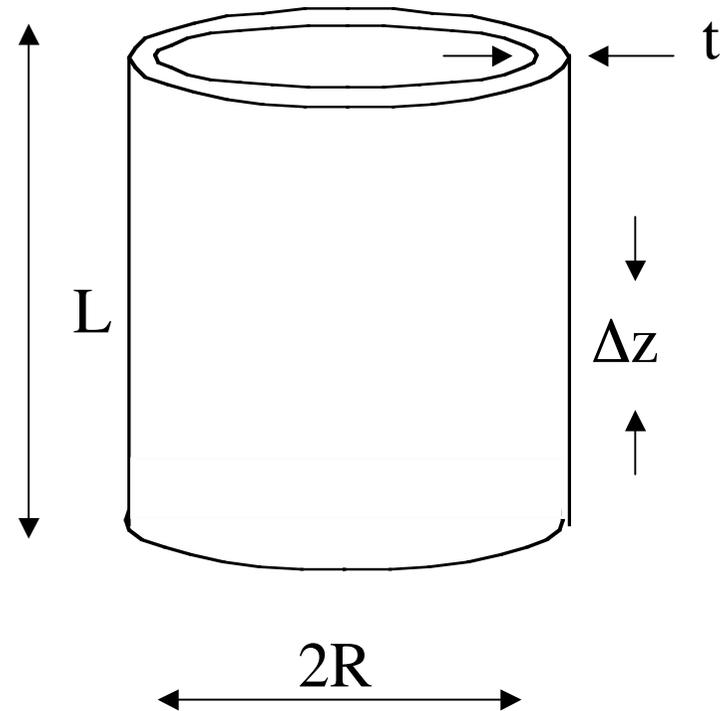
$$\Delta z = \left( \frac{1}{2} - \nu \right) \frac{RL\Delta p}{Et}$$

$\Delta p$  : 内圧変化  
 $E$  : ヤング率  
 $\nu$  : ポアソン比

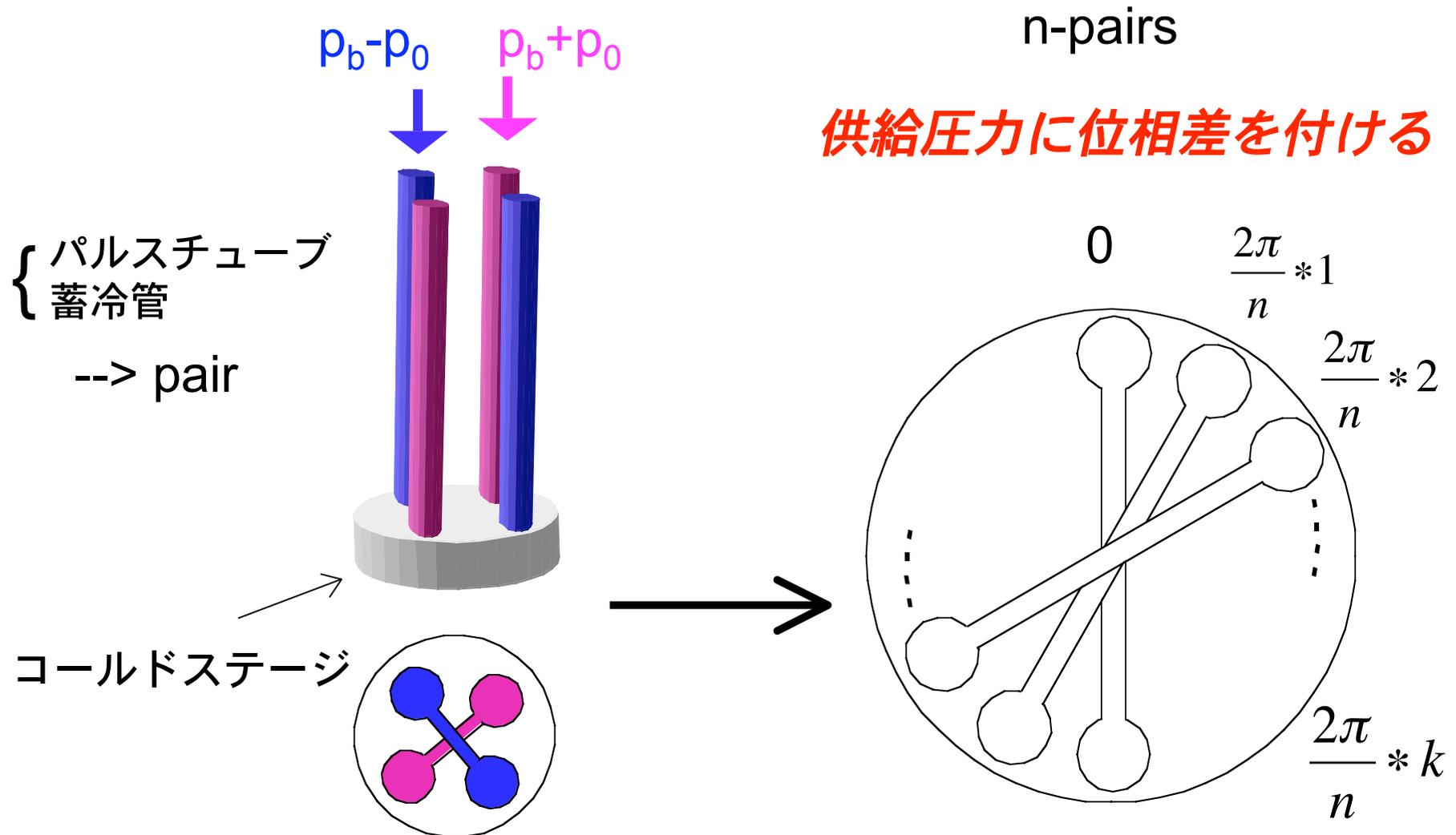
管方向伸長



側方膨大



# コールドステージ振動自己相殺



# コールドステージ振動自己相殺

$$k\text{番目 pair } p(t) = p_0 \exp\left[i\left(\omega t + \frac{2\pi}{n}k\right)\right] \rightarrow \Delta z_k = \Delta z_0 \exp\left[i\left(\omega t + \frac{2\pi}{n}k\right)\right]$$

同形同質のパイプ --> n-pairをつくる

$$\Delta z_0 \equiv \left(\frac{1}{2} - \nu\right) \frac{p_0 RL}{tE}$$

る

$$\Delta z_{ColdStage}(t) = \sum_{k=1}^n \Delta z_0 \exp\left[i\left(\omega t + \frac{2\pi}{n}k\right)\right]$$

$$= \left(\Delta z_0 \exp[i\omega t]\right) \sum_{k=1}^n \exp\left[i\frac{2\pi}{n}k\right]$$

$$= 0 \quad \because) \sum_{k=1}^n \exp\left[i\frac{2\pi}{n}k\right] = 0$$

$$(k, n \in N, \quad k \leq n)$$

# 実証試験モデル(非冷却)



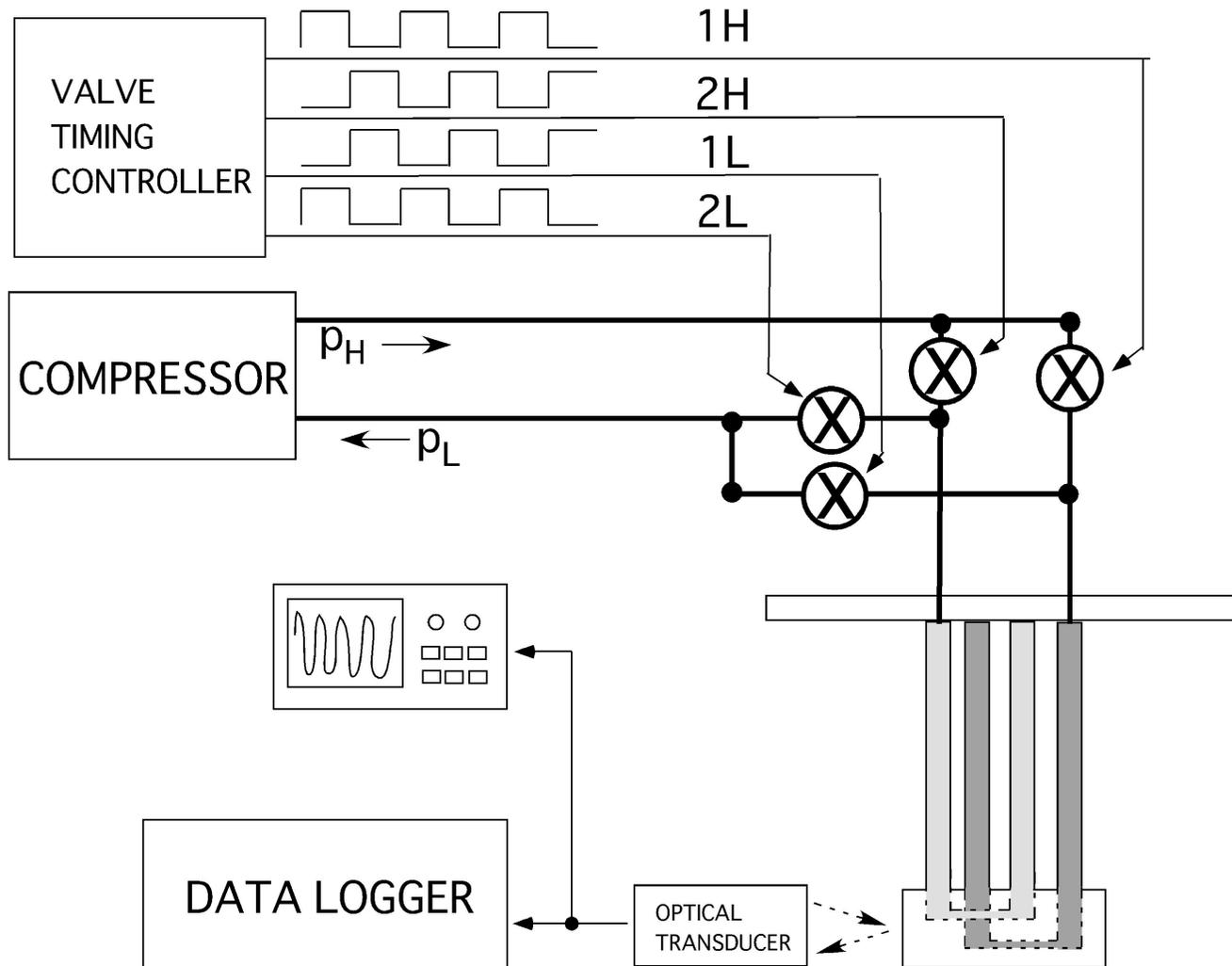
1本管

4本管

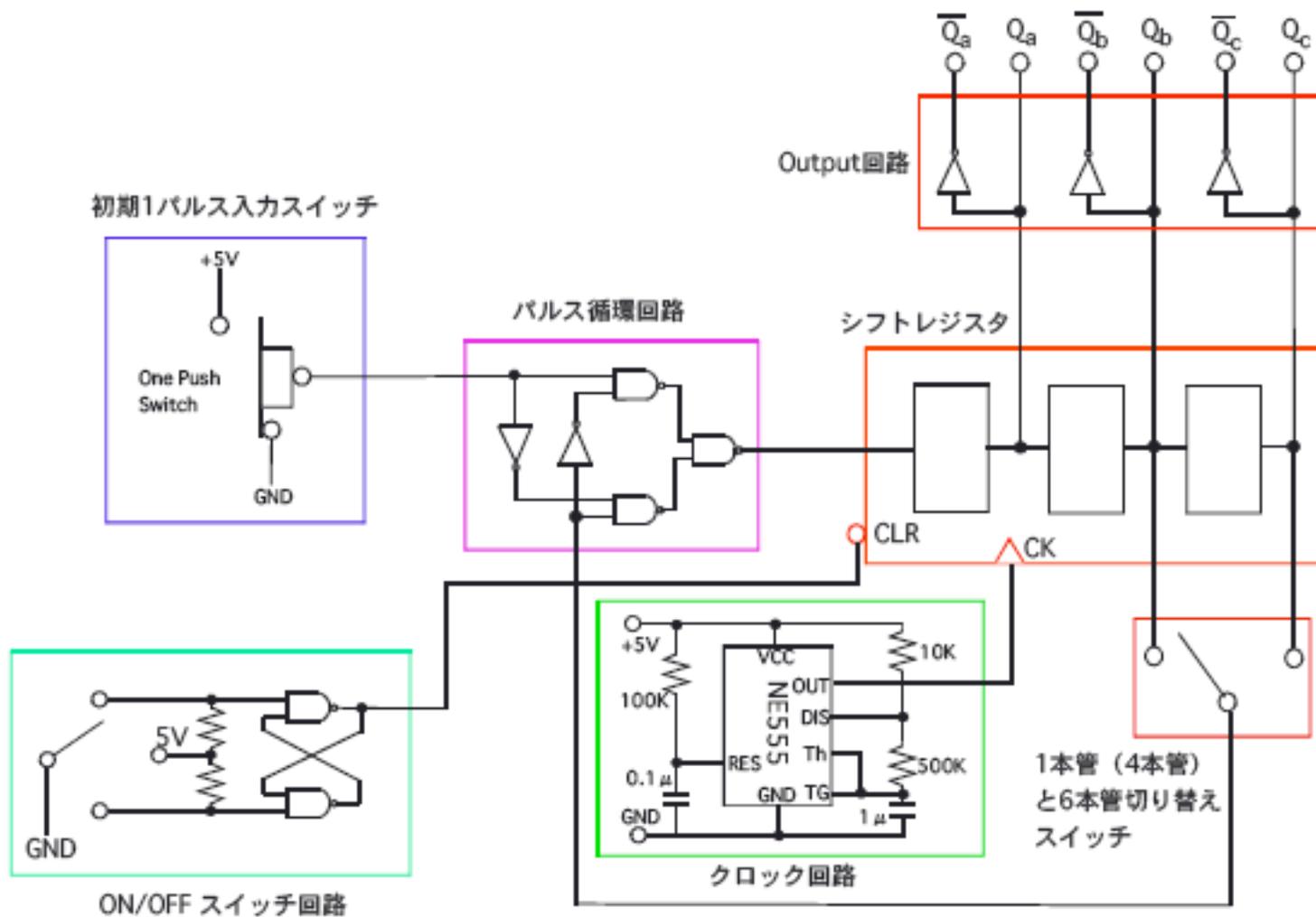
6本管

R=10mm L=200mm t=0.2mm  
Stainless steel E=210GPa  $\nu=0.29$   
 $\Delta p=0.64\text{MPa}$

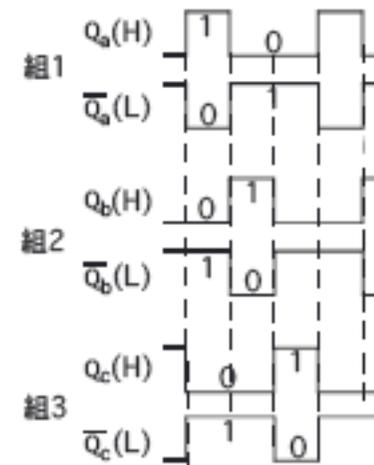
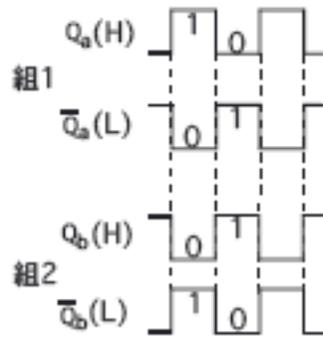
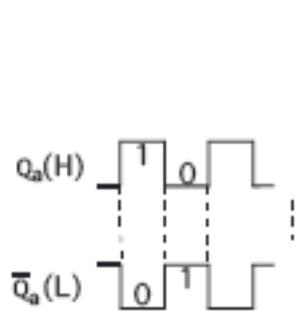
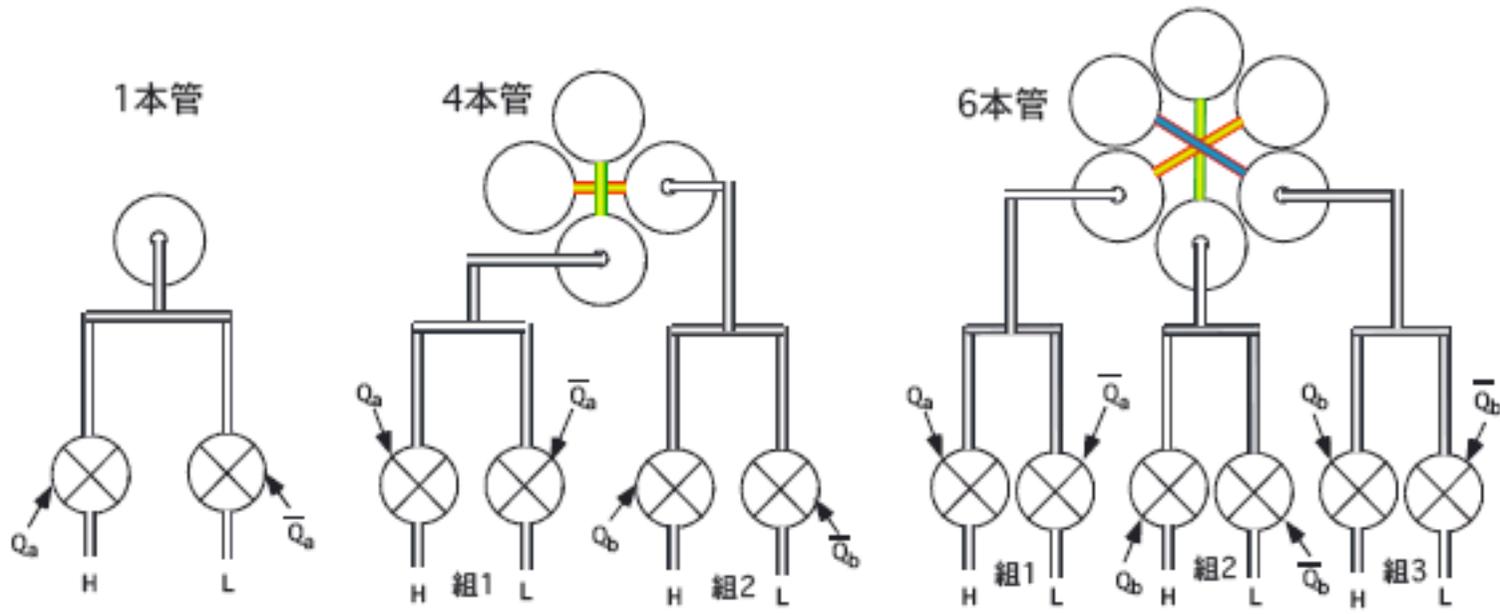
# 実験装置



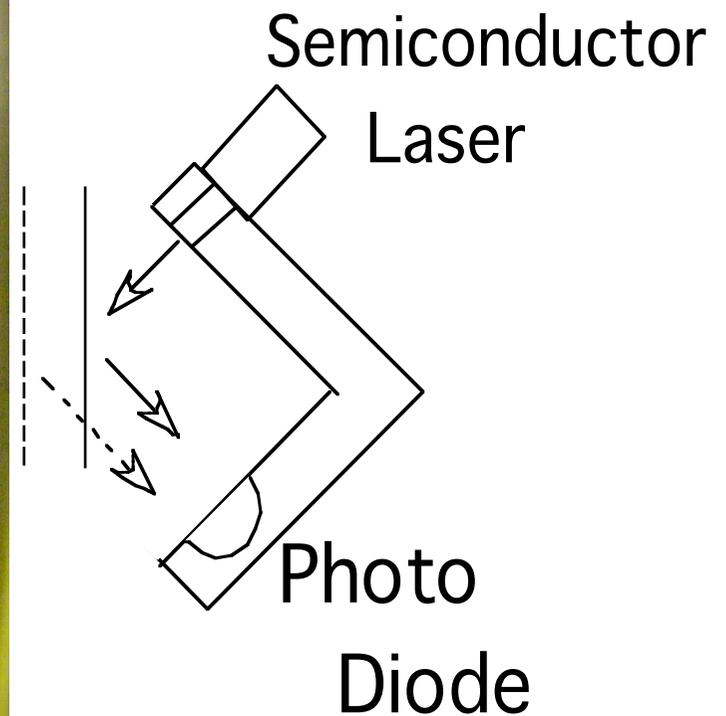
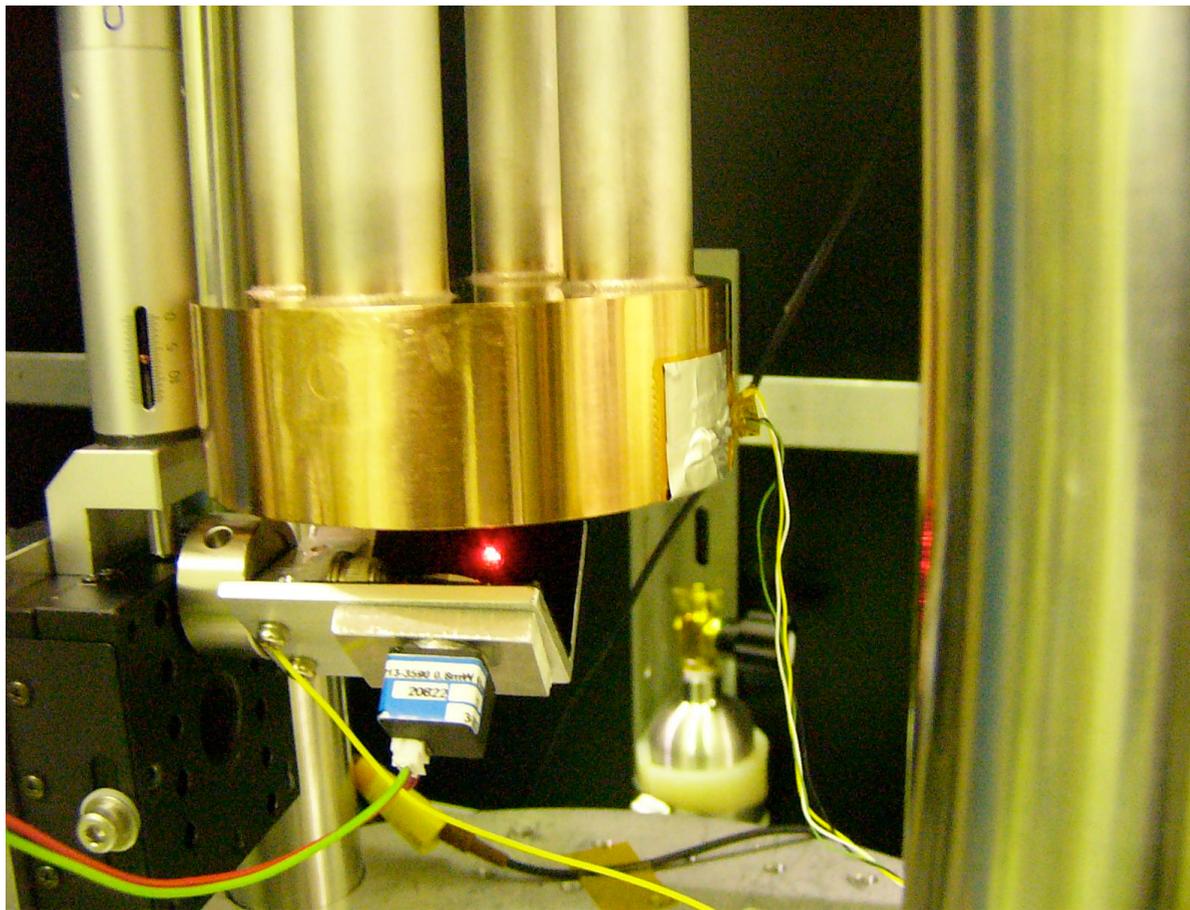
# 制御パルス発生器



# 配管とバルブ接続

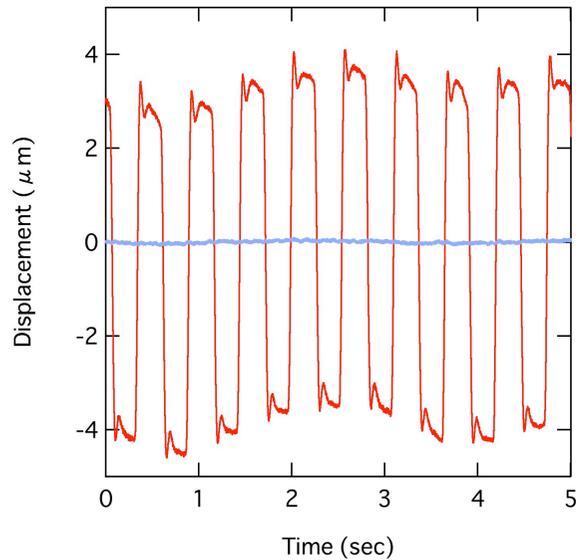


# 光学式（反射型）振動測定



# 実験結果 ( $\Delta z$ )

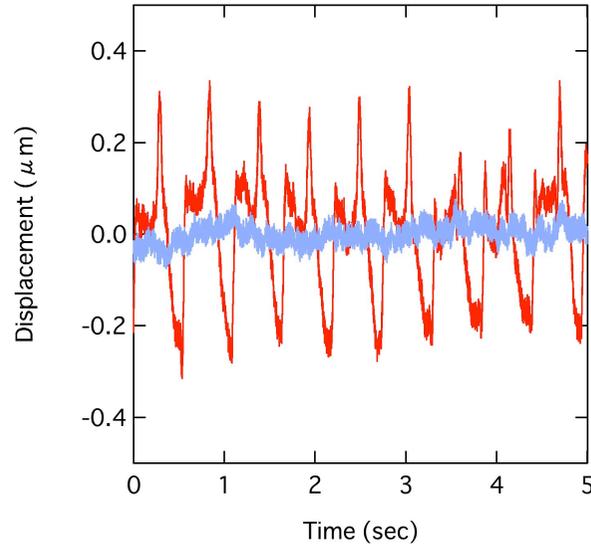
## 1本管モデル



$$\Delta z_0^{RMS} = 3.4 \mu m$$

$$\Delta z_{Noise}^{RMS} = 0.029 \mu m$$

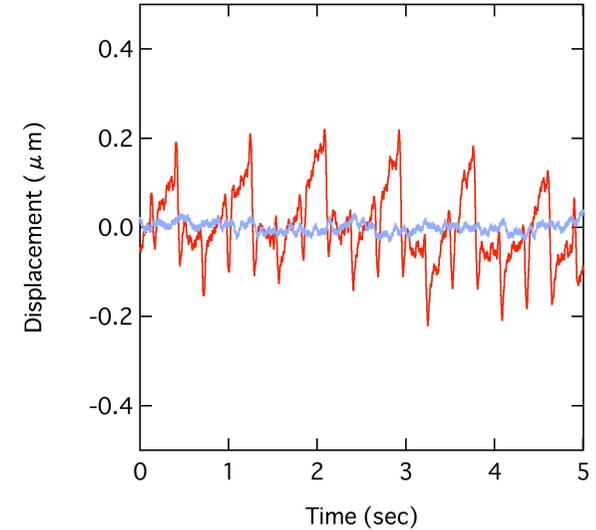
## 4本管モデル



$$\Delta z_0^{RMS} = 0.13 \mu m$$

$$\Delta z_{Noise}^{RMS} = 0.023 \mu m$$

## 6本管モデル

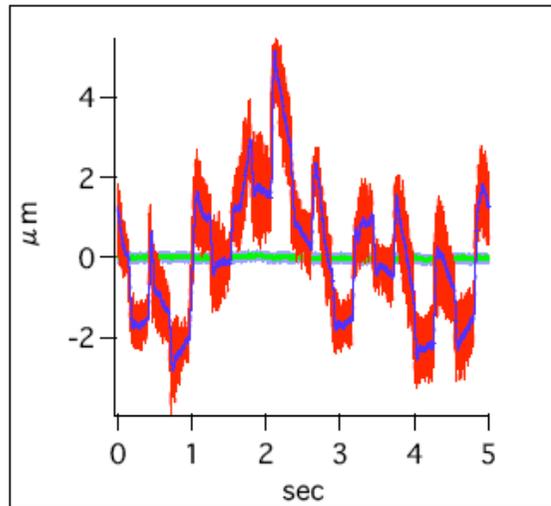


$$\Delta z_0^{RMS} = 0.082 \mu m$$

$$\Delta z_{Noise}^{RMS} = 0.012 \mu m$$

# 実験結果 ( $\Delta x$ )

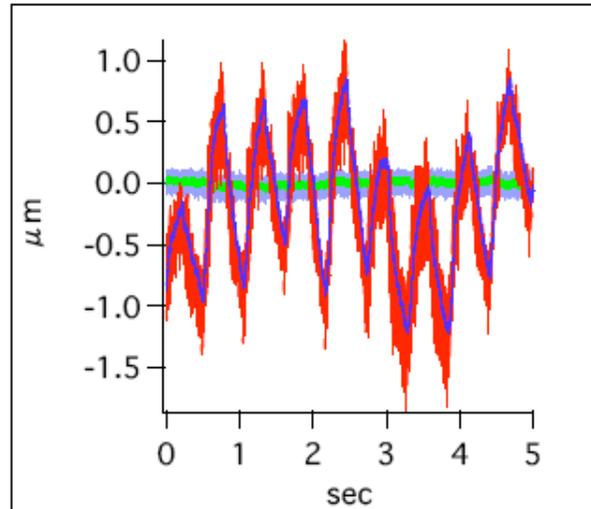
## 1本管モデル



$$\Delta x_0^{RMS} = 1.6 \mu m$$

$$\Delta x_{Noise}^{RMS} = 0.029 \mu m$$

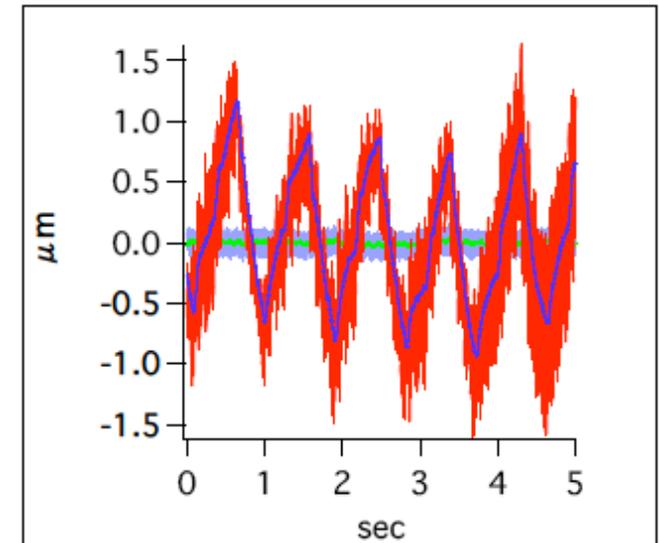
## 4本管モデル



$$\Delta x_0^{RMS} = 0.53 \mu m$$

$$\Delta x_{Noise}^{RMS} = 0.023 \mu m$$

## 6本管モデル

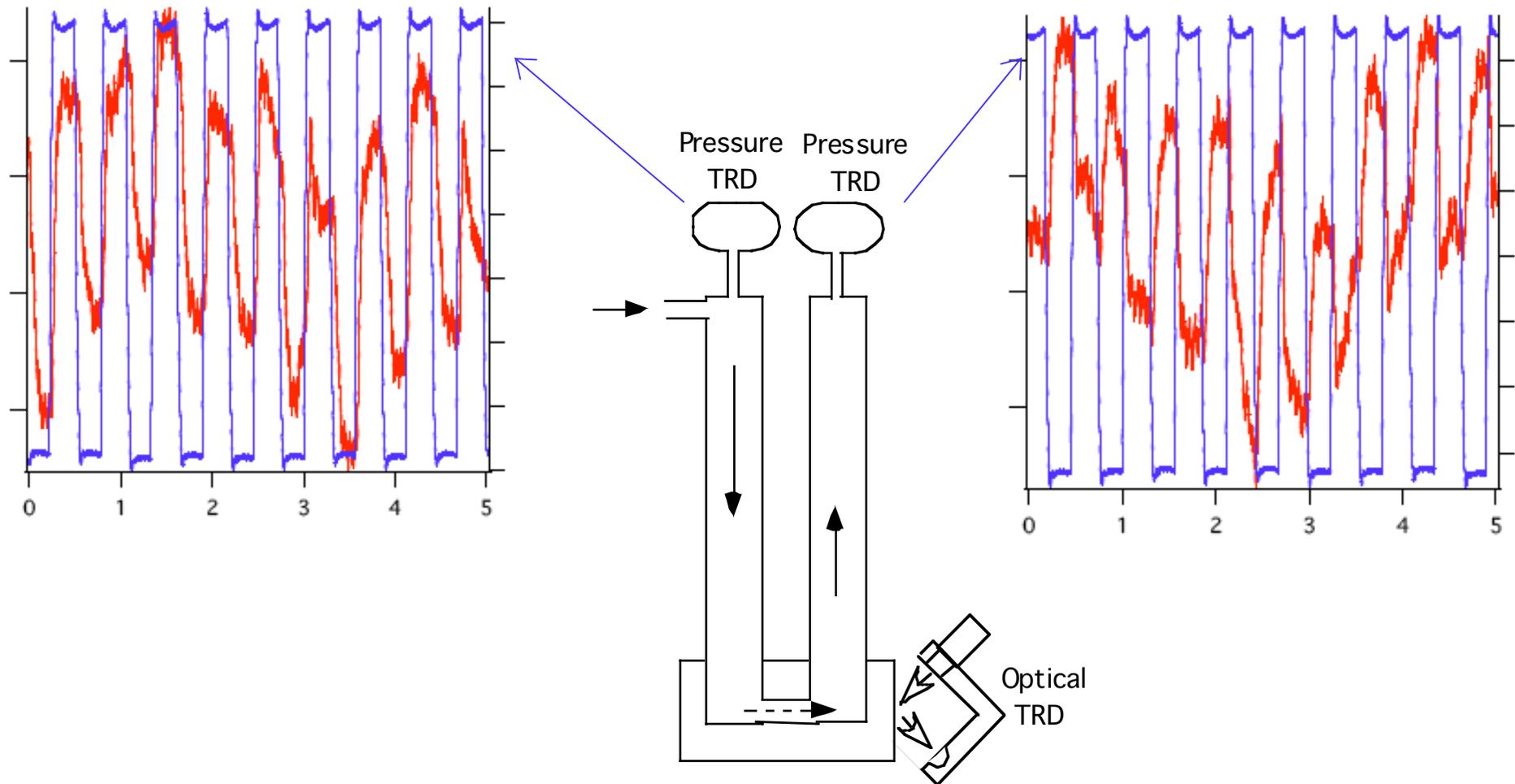


$$\Delta x_0^{RMS} = 0.51 \mu m$$

$$\Delta x_{Noise}^{RMS} = 0.012 \mu m$$

# 圧力分布の時間遅れ効果

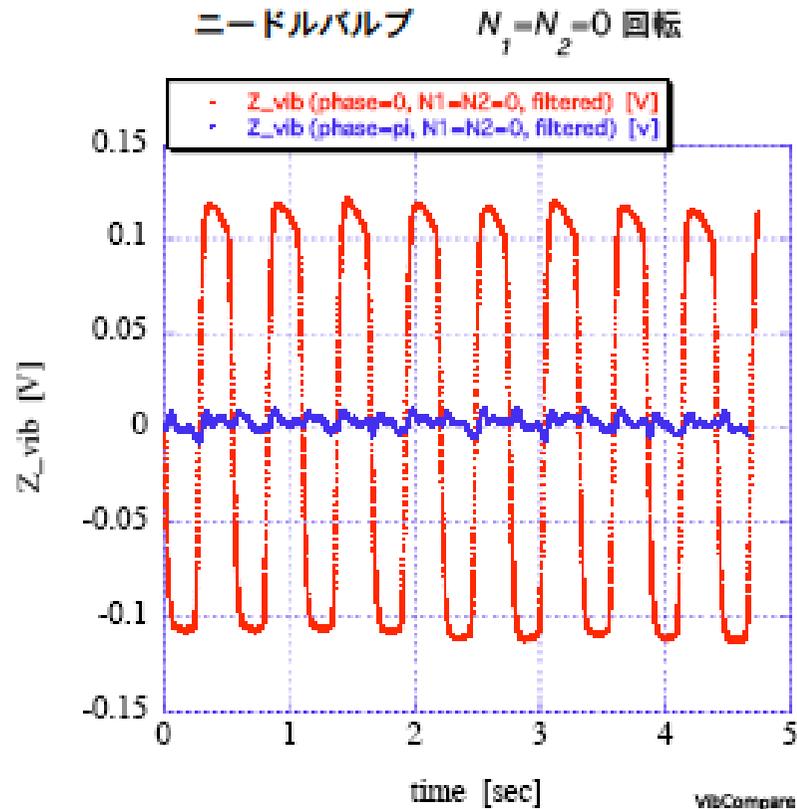
狭窄部の通過抵抗 -> 圧力分布の時間遅れ -> 横方向振動誘起



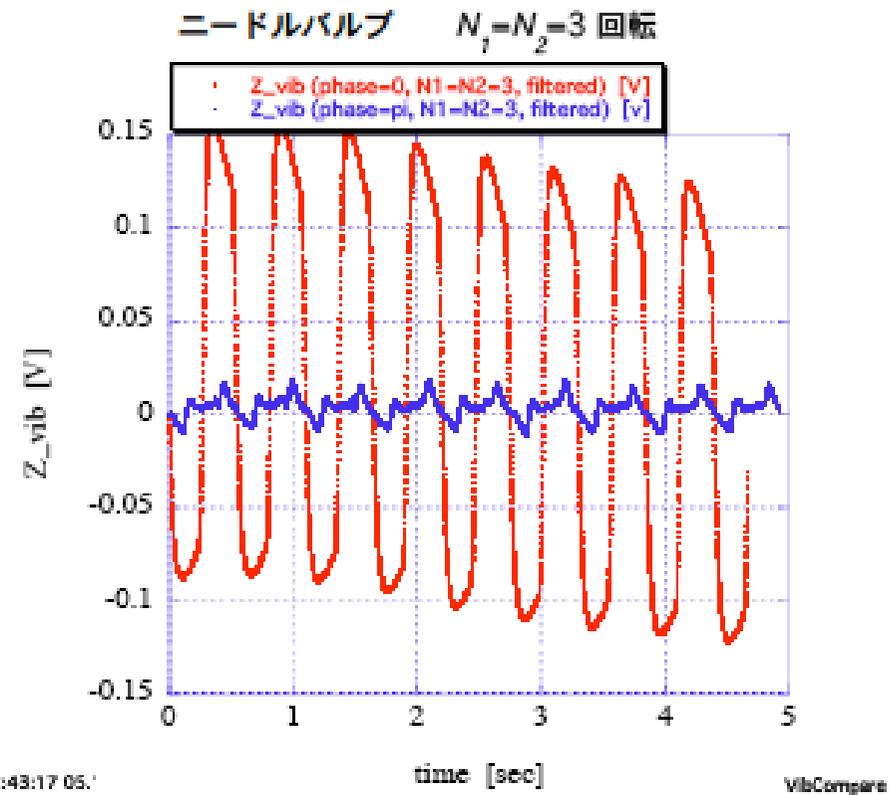


# 冷却型 Z方向振動

## 振動相殺効果（蓄冷器無）



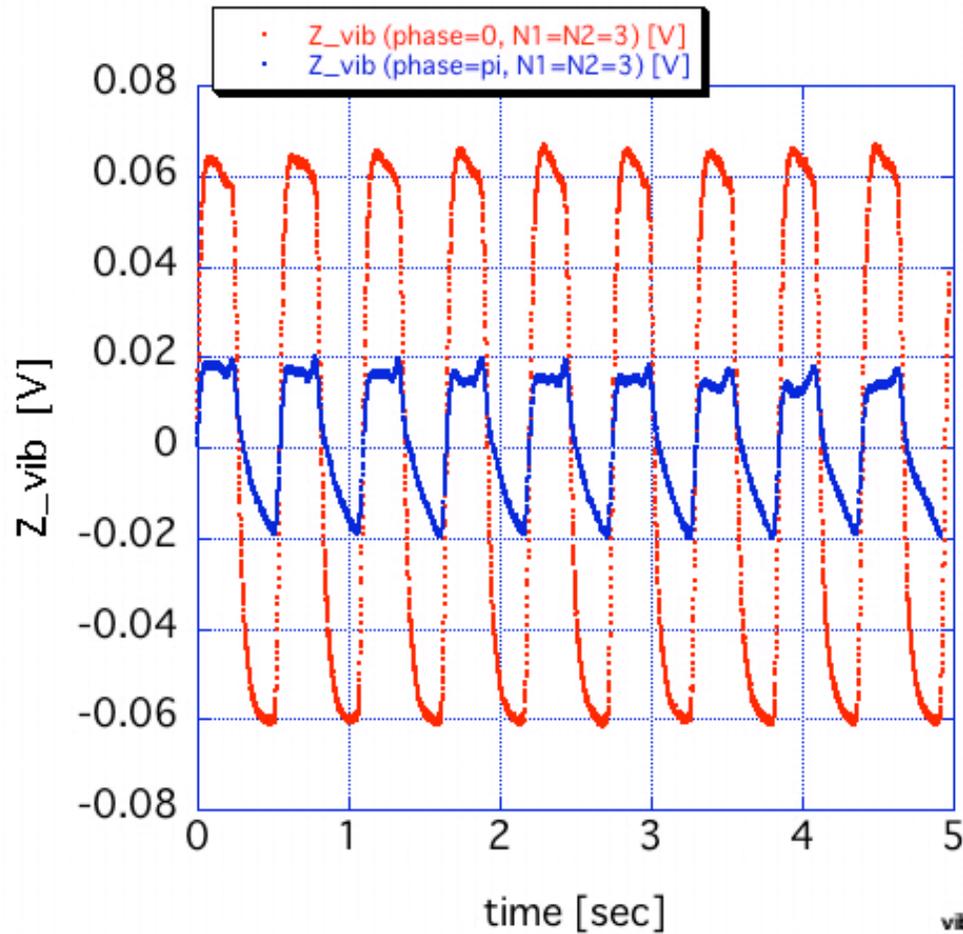
92%相殺



89%相殺

# 冷却型 Z方向振動

振動相殺効果（蓄冷器有）  $T=200$  [K]



69%相殺

波形非对称

# まとめと結論

- 試験モデル（非冷却）のコールドステージ振幅
  - $\Delta z = 3.4\mu\text{m}$  (1本管)
  - $\Delta z = 0.13\mu\text{m}$  (4本管) 96%振動低減
  - $\Delta z = 0.082\mu\text{m}$  (6本管) 98%振動低減
- 試験モデル（冷却型）のコールドステージ振幅
  - 蓄冷器無し 89%~92%
  - 蓄冷器有り 69%
- **振動自己相殺法はコールドステージ振動の低減に有効な方法となりうる。**
- **実際に冷凍機として働くモデルでの実験を継続中**