

振動自己相殺型小型パルス管冷凍機の開発

高エネルギー加速器研究機構

低温工学センター 鈴木敏一 都丸隆行 新富孝和 山本明
素粒子原子核研究所 佐藤伸明 春山富義

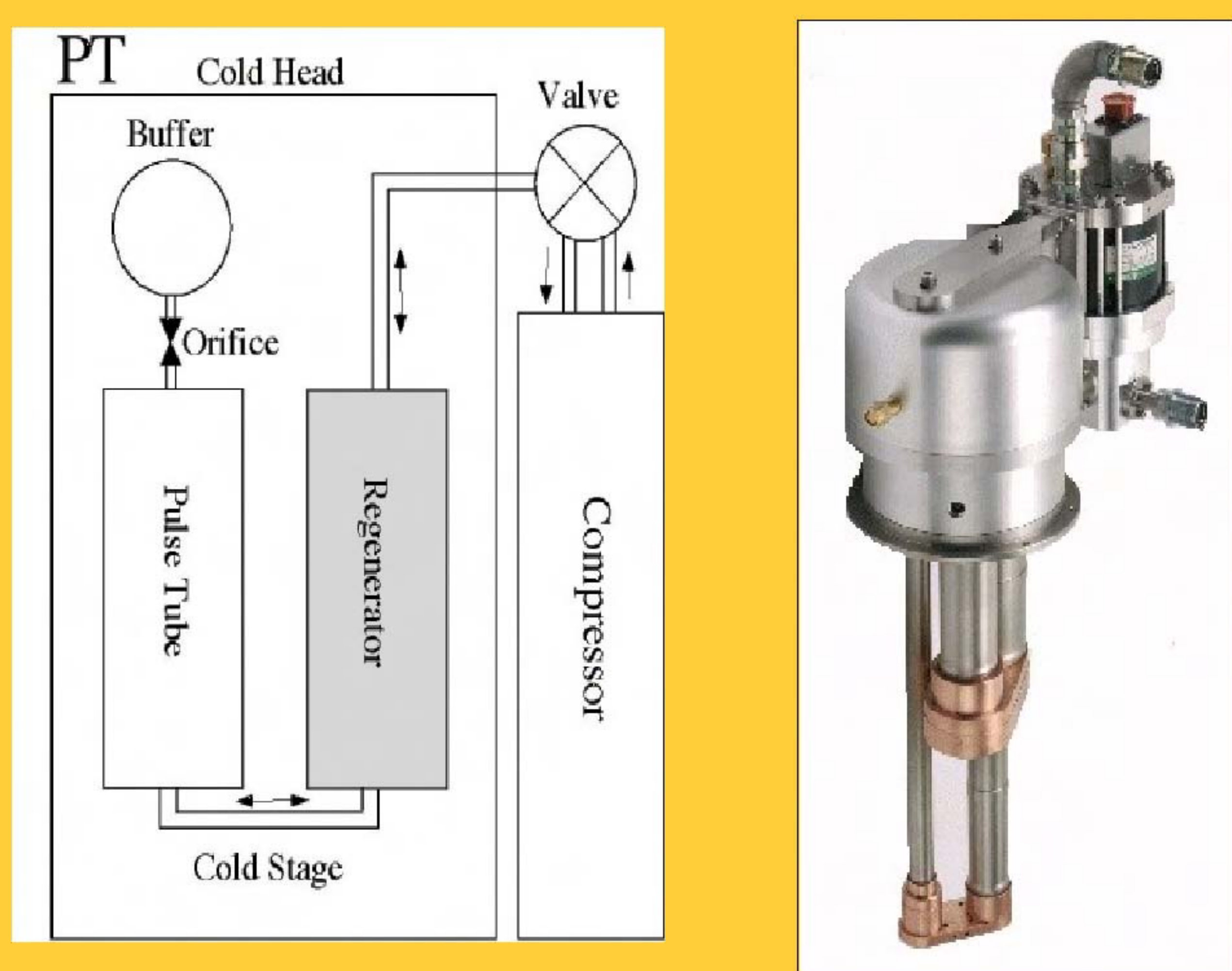
コールドステージの振動の起源自体を振動低減に使う

内圧による管の弾性伸縮
→コールドステージ振動

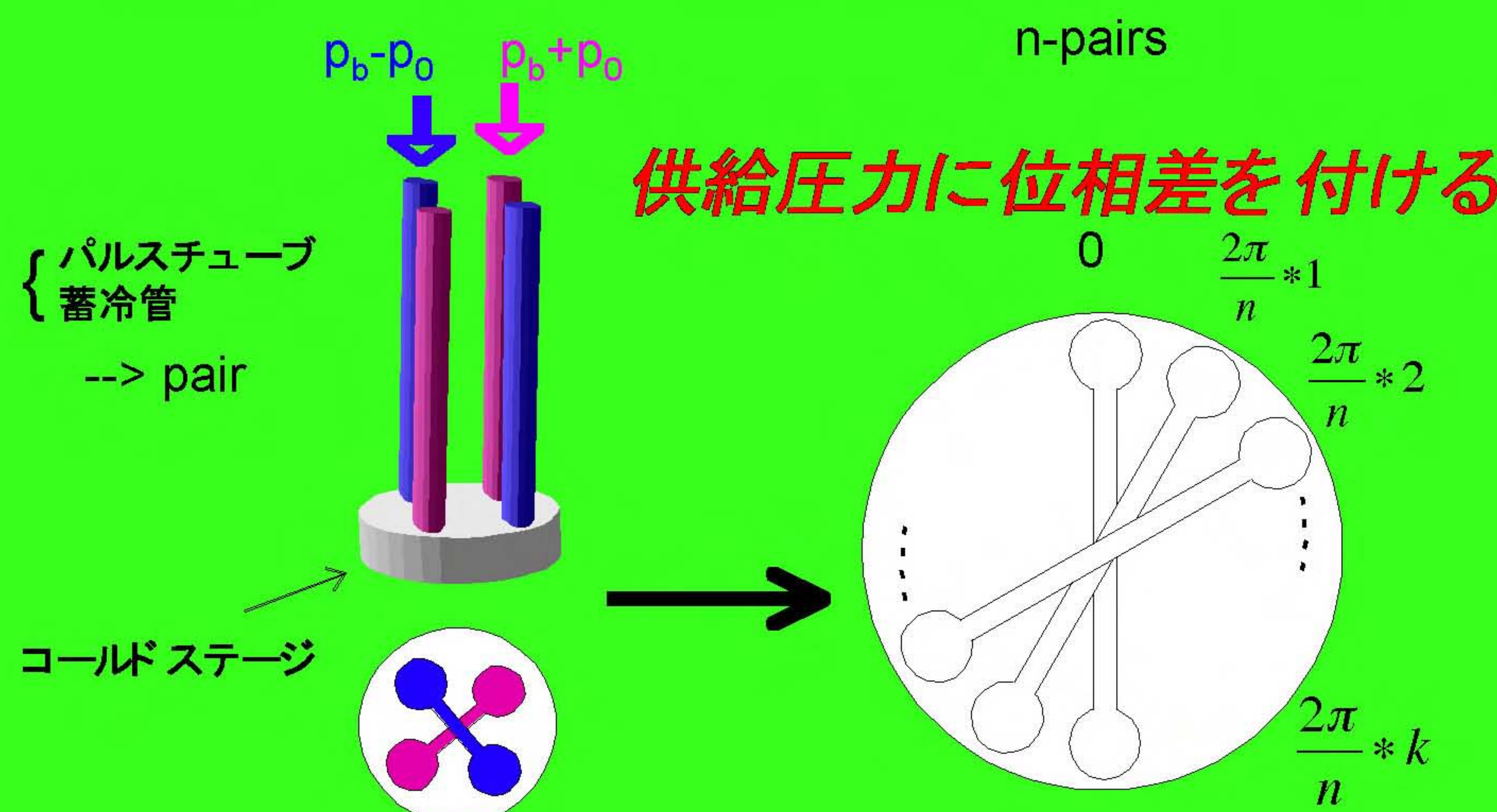
複数組の管に
適切な位相差で圧力供給

モデル冷凍機
実証実験

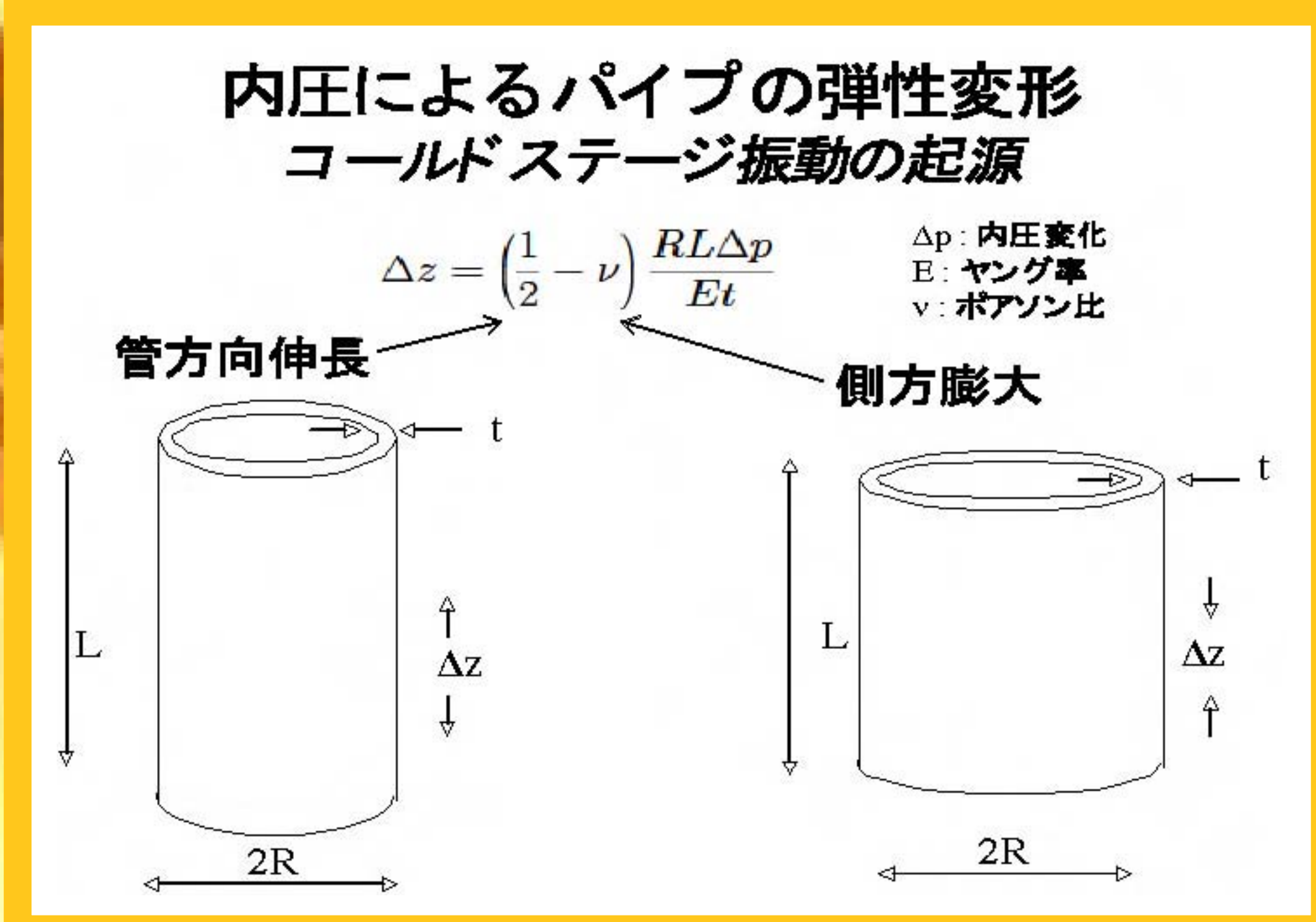
パルスチューブ(PT)冷凍機
模式図と写真



コールドステージ振動自己相殺



実証実験モデル



コールドステージ振動自己相殺

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

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

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

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

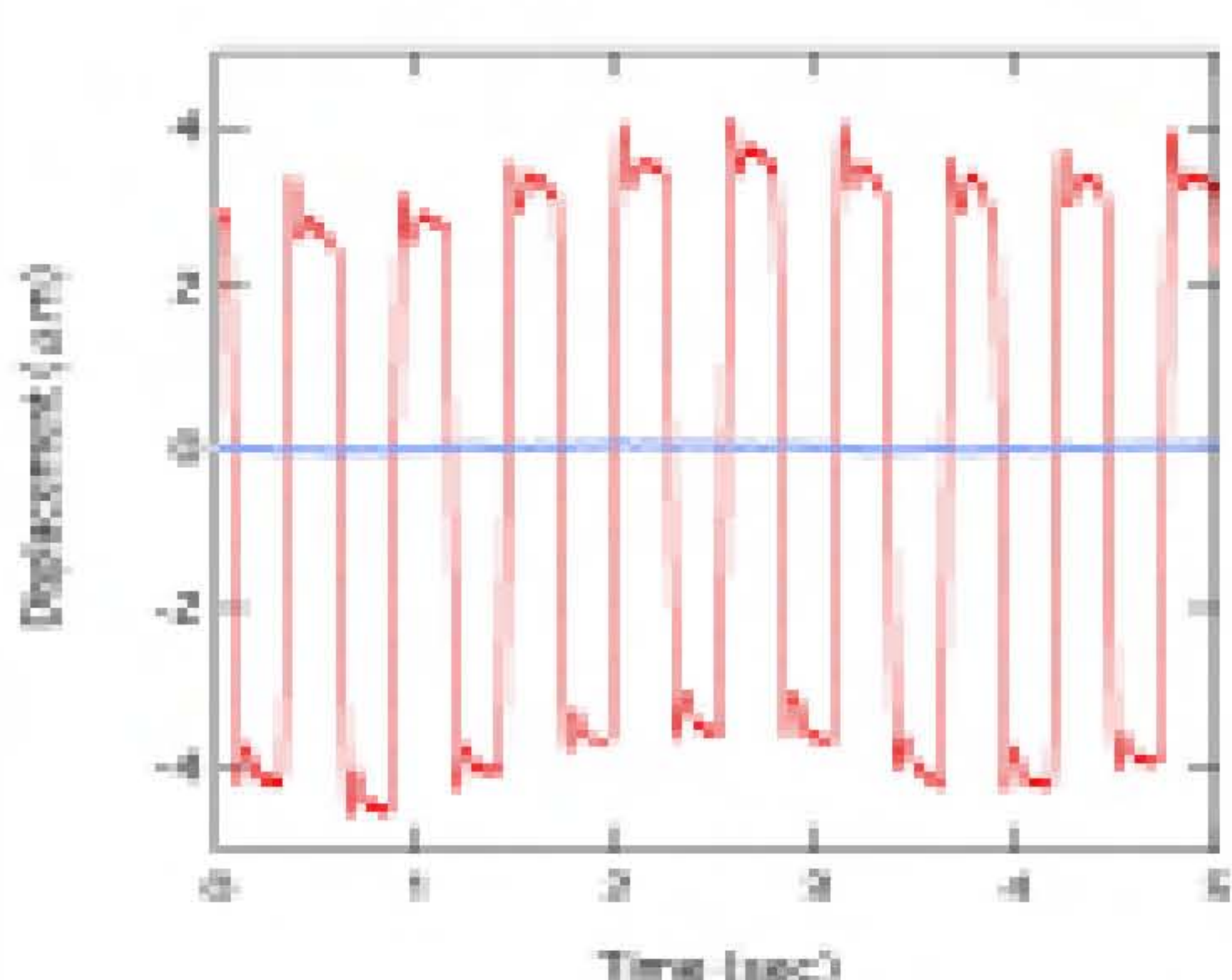
($k, n \in \mathbb{N}, k \leq n$)



1本管の振動と比較して、4本管で96%、6本管で98%の振動低減を達成した

実験結果 (Δz)

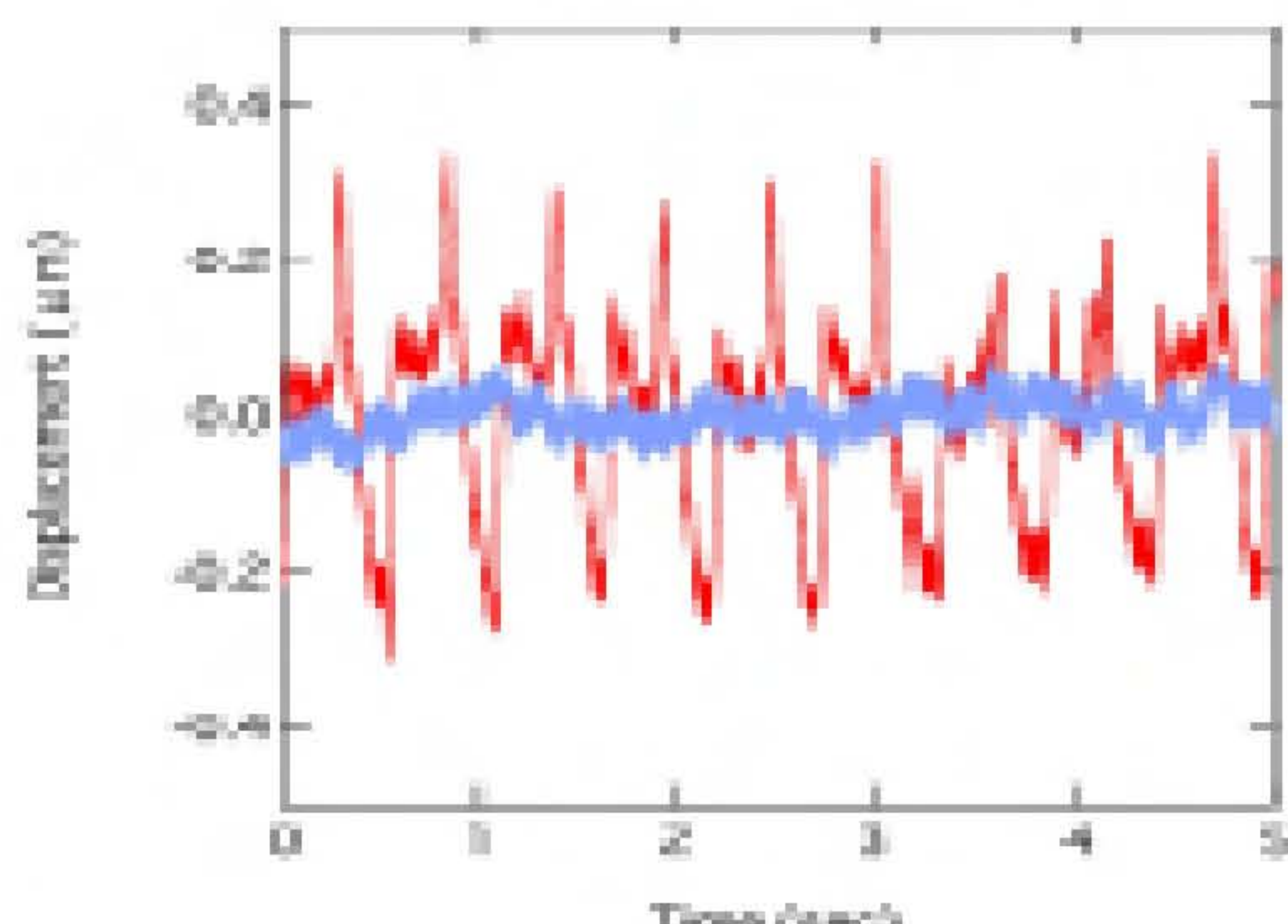
1本管モデル



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

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

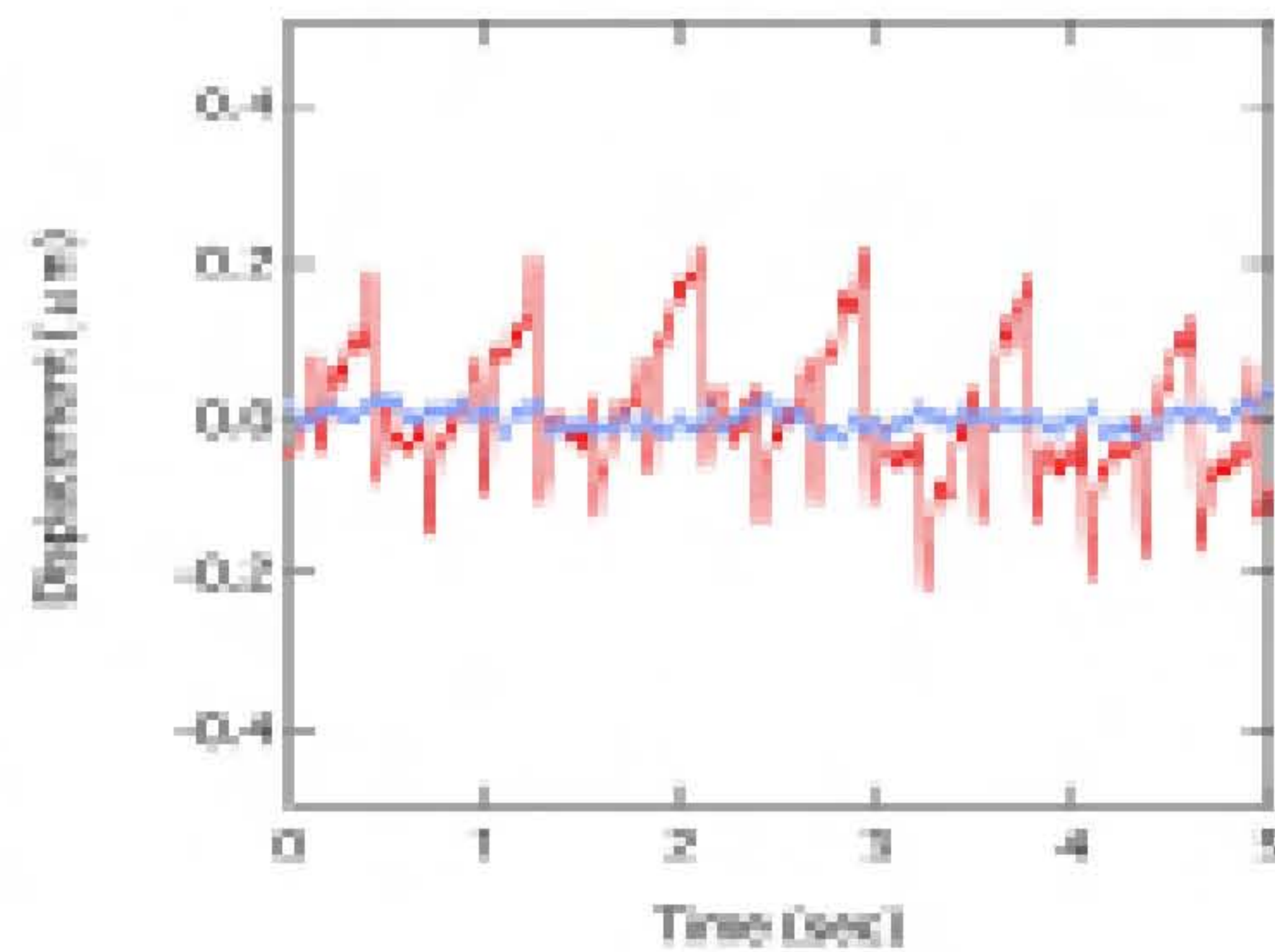
4本管モデル



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

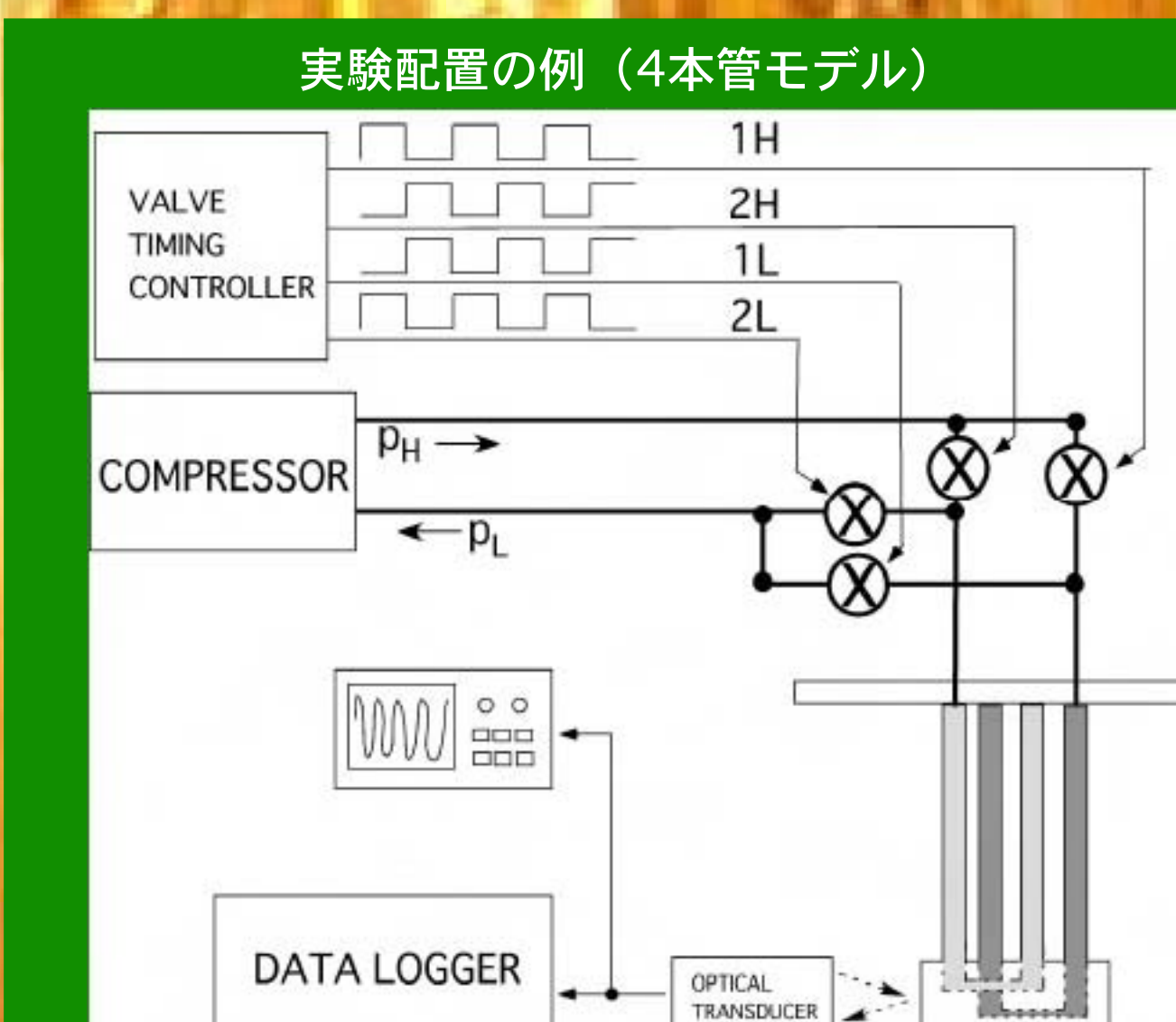
$$\Delta z_{\text{noise}}^{RMS} = 0.023 \mu m$$

6本管モデル



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

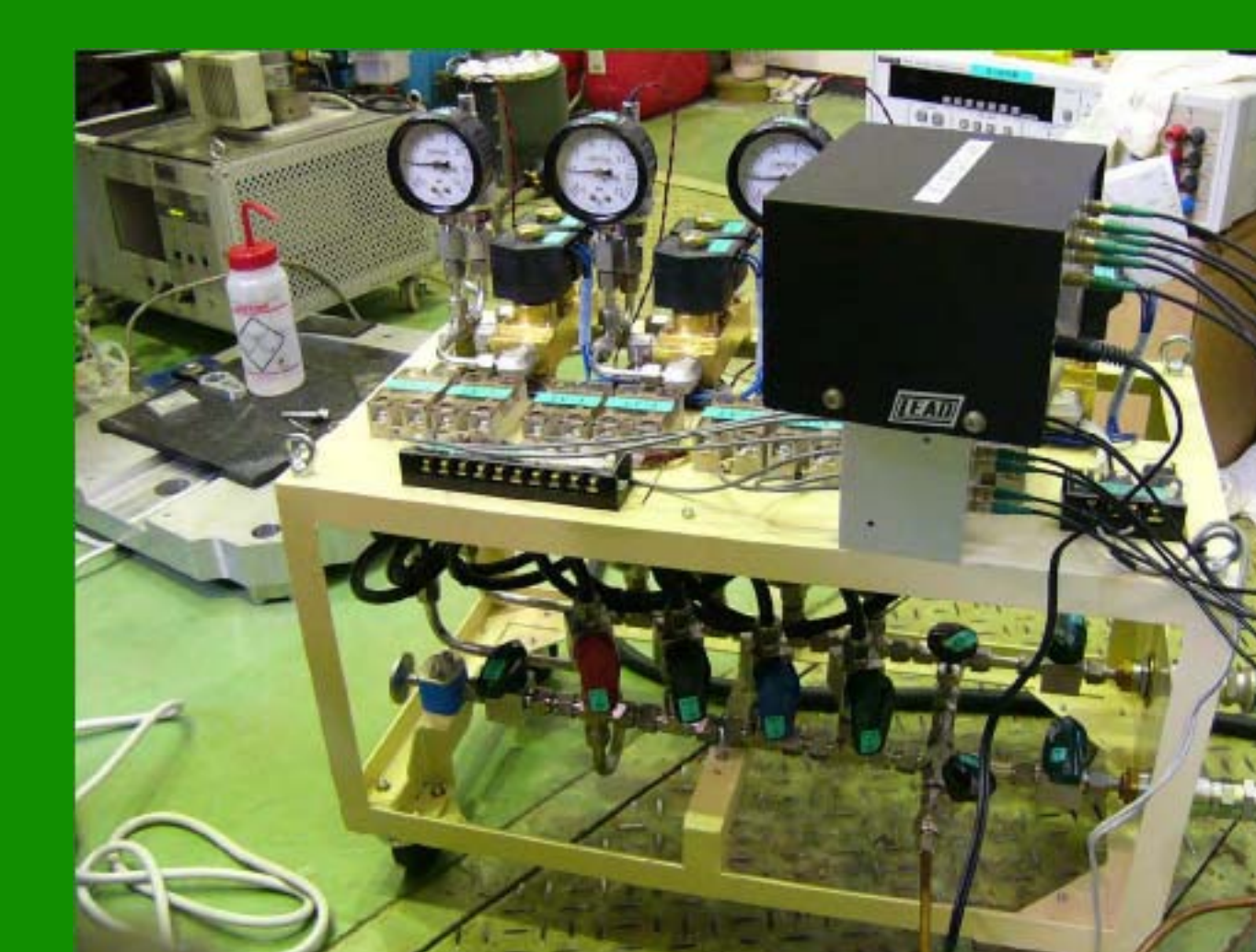
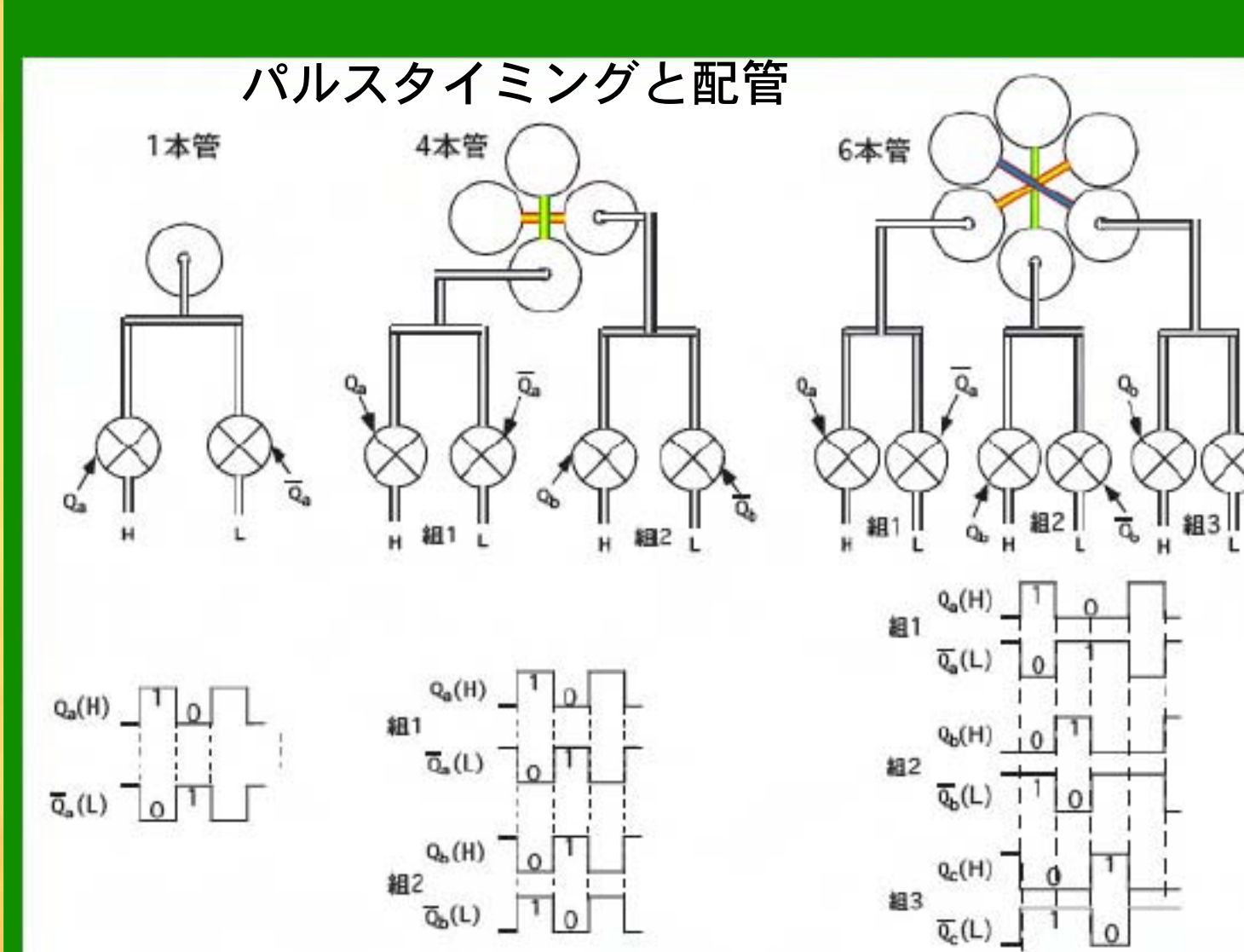
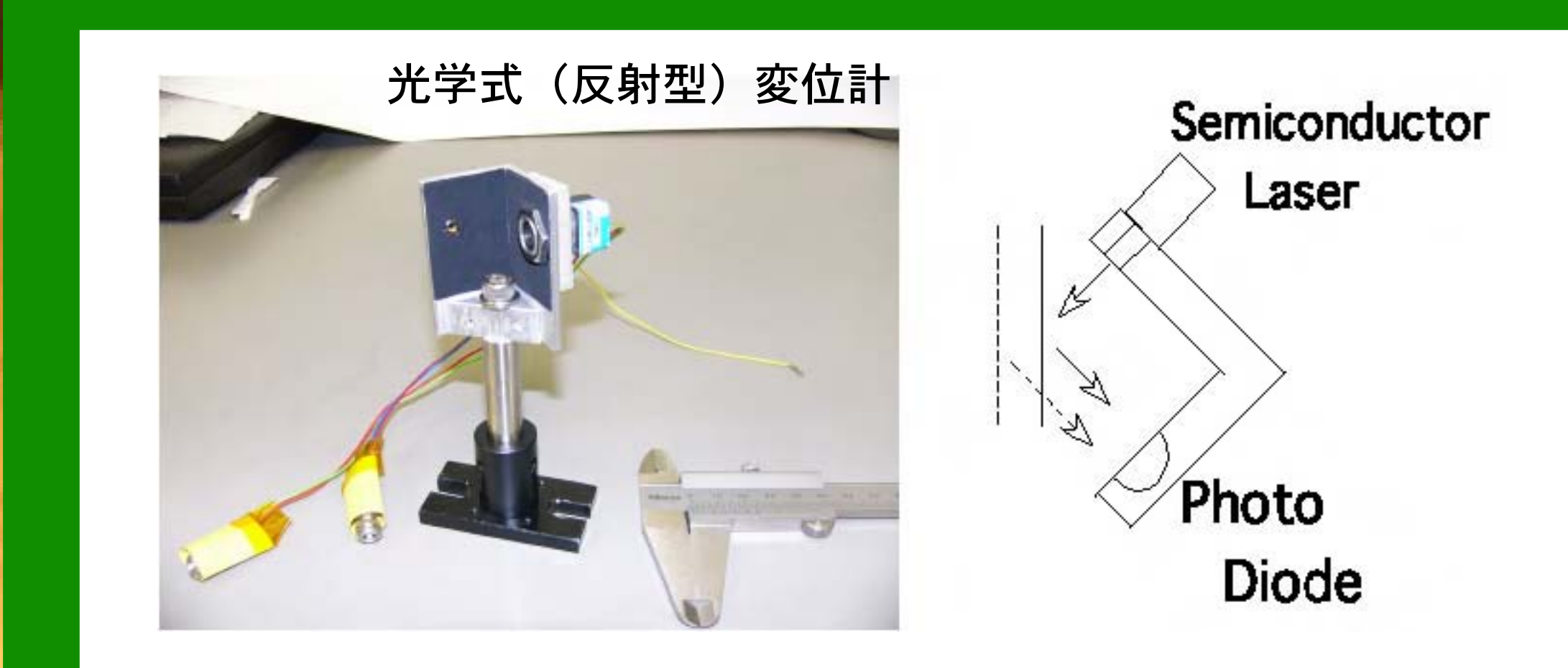
$$\Delta z_{\text{noise}}^{RMS} = 0.012 \mu m$$

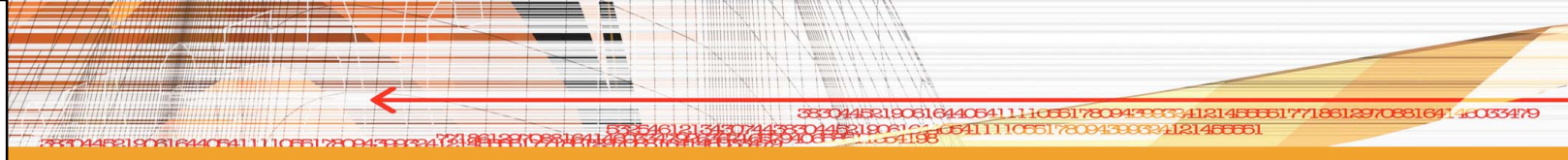


R=10 mm L=200 mm
t=0.2 mm

Stainless steel
E=210 GPa ν=0.29

Δp=p_H-p_L=0.64 MPa





振動自己相殺型小型パルス管冷凍機の開発

従来型
3.4 μ m
振幅

98%低減

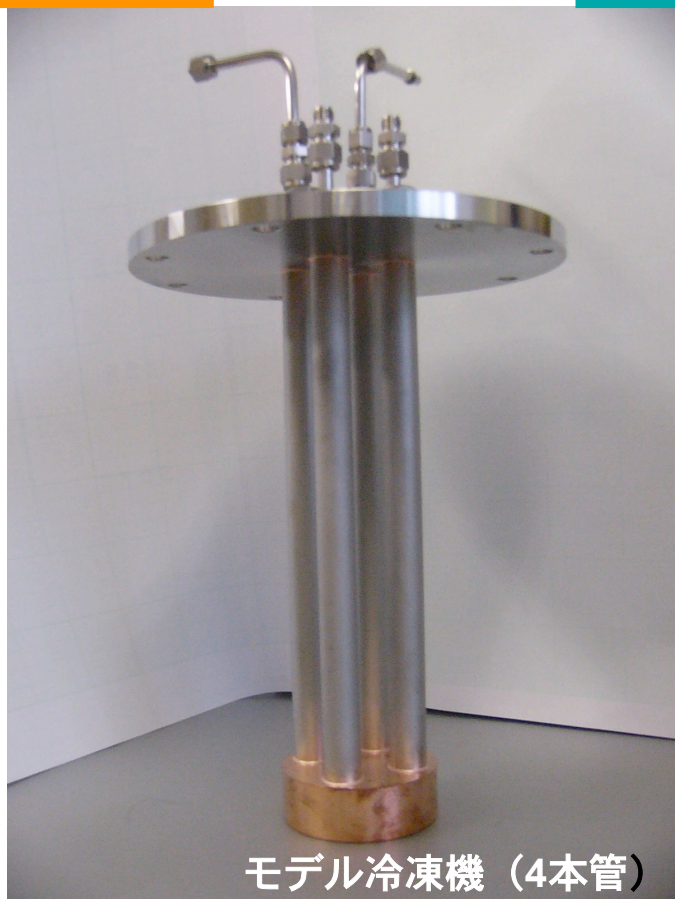
相殺型
82nm
振幅

原理的に小型冷凍機の本質的な振動を極限まで低減できる技術である。

モデル冷凍機により振動低減の原理検証実験を行った。

今後、蓄冷器を備えたモデルでの実用化研究を進め、装置の小型化が可能な特徴を活かしてコンパクトな冷凍機開発も目指す。

用途として電子顕微鏡の被観測物、超伝導磁気共鳴装置、脳磁計測用 SQUID、半導体検出素子等々の超低振動極低温冷却がある。



モデル冷凍機 (4本管)