

TAO/MIMIZUKUに向けた 冷却チョッパーの開発

東京大学理学系研究科天文学専攻 宮田研修士1年 道藤翼
宮田 隆志、上塚 貴史（東京大学）、本田充彦（岡山理科大学）

@可視赤外線観測装置技術ワークショップ

2020.12.01

地上中間赤外線観測

- 大気の放射が支配的
(すばるで-1等がうもれるくらい明るい。
変動タイムスケール～1秒)

↓
チョッピング：望遠鏡の視野を交互に切り替える
1秒より速いタイムスケール＝数Hzで振りたい



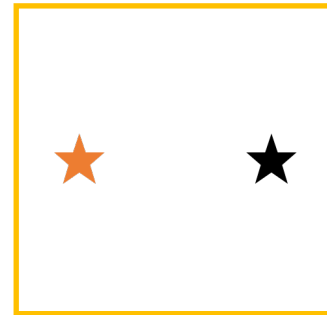
Chop Aの画像

—

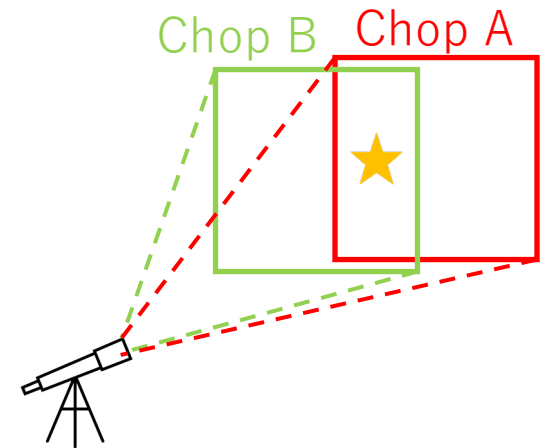


Chop Bの画像

=



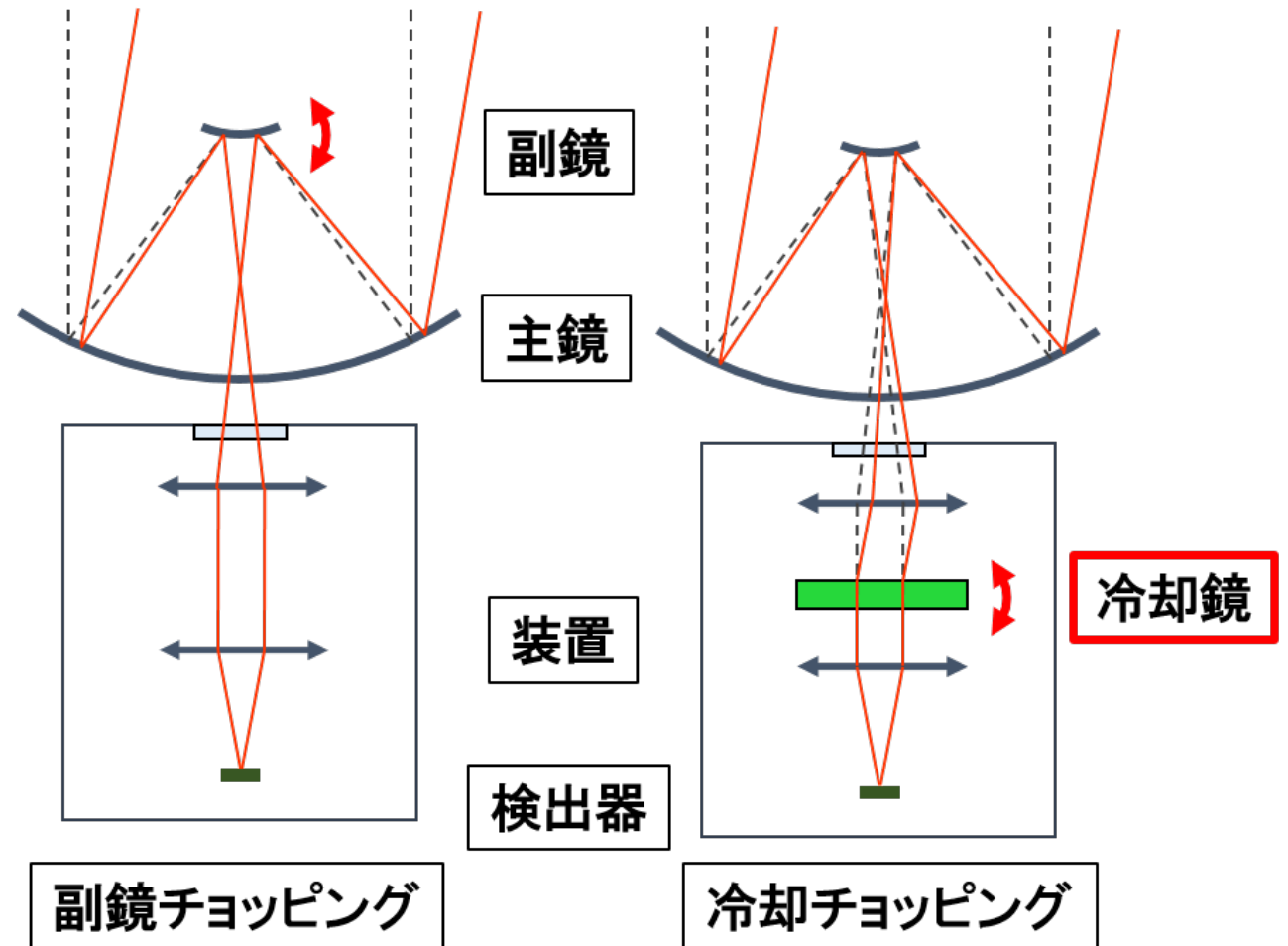
Chop A - Chop B の画像



- Chop間の画像を差し引きすることで星の像が見える

冷却チョッピング

- ・ 副鏡チョッピング
望遠鏡の副鏡を振って
視野を切り替え
- ・ 冷却チョッピング
装置内に冷却鏡を置き、
それを高速に振って視野
を切り替え



仕様（試作）

- 外側と内側の二軸で駆動
- 磁石とコイルの磁場の反発力などで駆動

ねじりばね

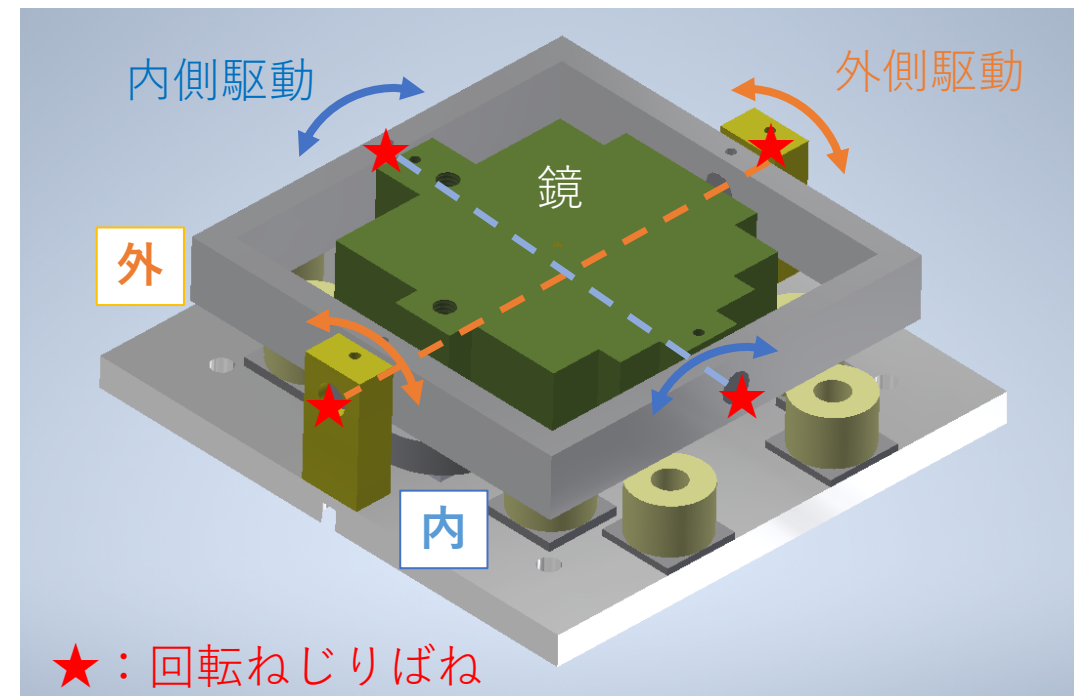
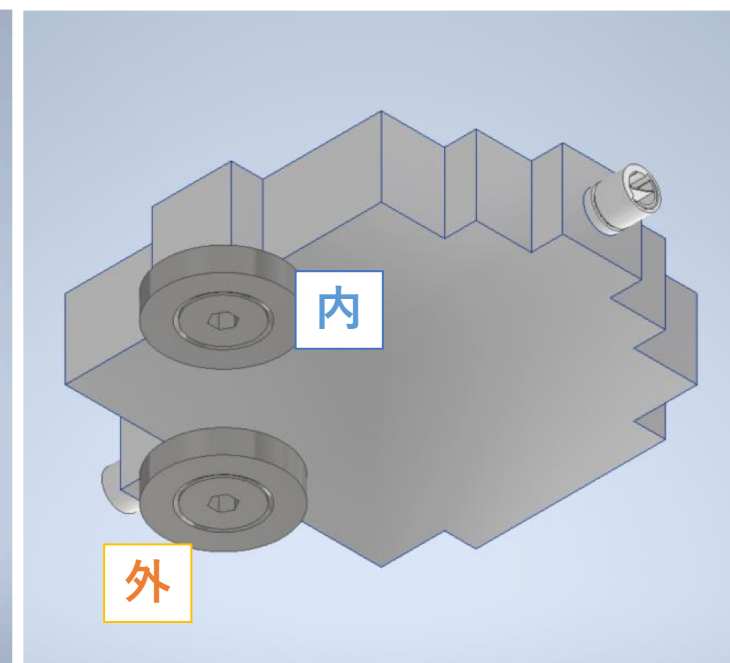
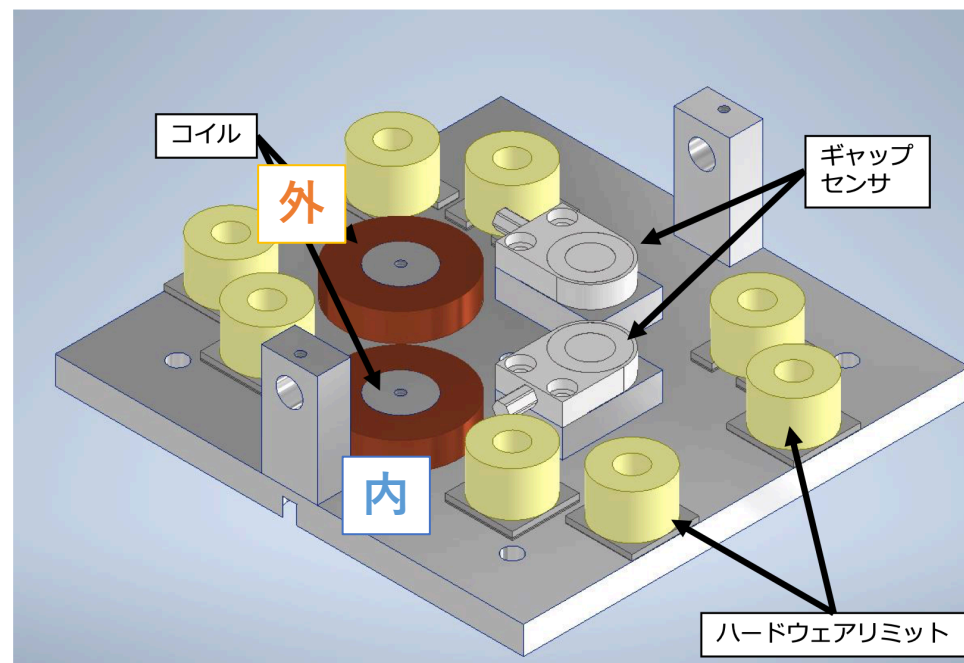


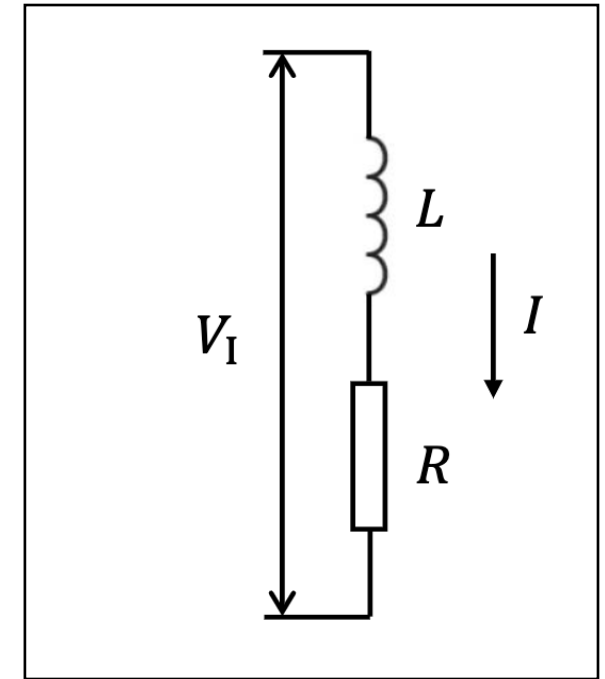
表 1：Chopperに対する要求

振幅	>0.04 deg
安定性 (rms)	<6×10 ⁻⁴ deg
周波数	>2Hz
静定時間	50ms



系の記述

V_I	入力電圧	θ	鏡の角度
R	回路の抵抗値	k	バネ定数
L	コイルのインダクタンス	β	比例定数（磁場と磁石の力）
I	電流	γ	比例定数（抵抗力）
α	比例係数（誘導起電力）	M	鏡の質量



回路方程式

$$V_I = RI + L\dot{I} + \alpha\dot{\theta}$$

運動方程式

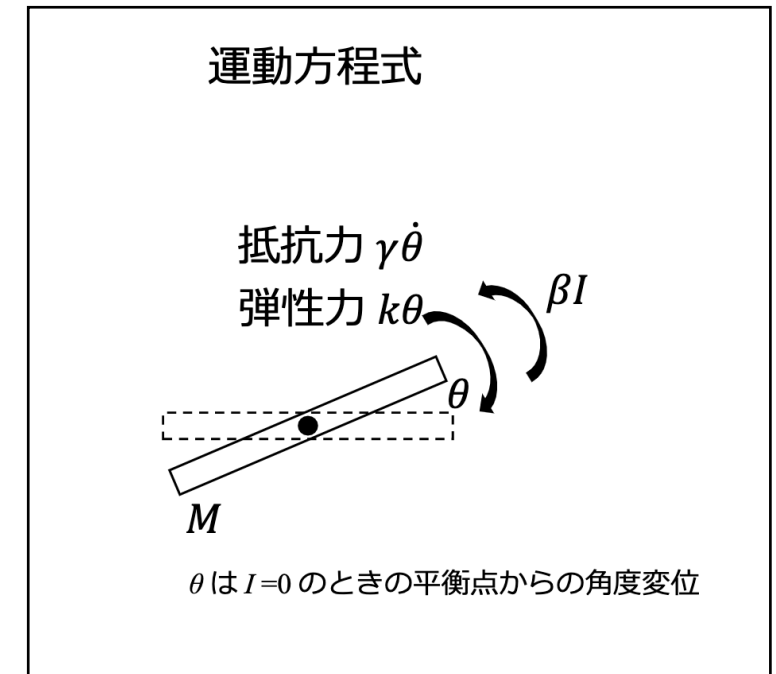
$$\beta I - k\theta - \gamma\dot{\theta} = M\ddot{\theta}$$

これらより

$$V_I = \left(\frac{LM}{\beta}\right)\ddot{\theta} + \left(\frac{RM}{\beta} + \frac{L\gamma}{\beta}\right)\dot{\theta} + \left(\frac{R\gamma}{\beta} + \frac{Lk}{\beta} + \alpha\right)\theta + \left(\frac{Rk}{\beta}\right)\theta$$

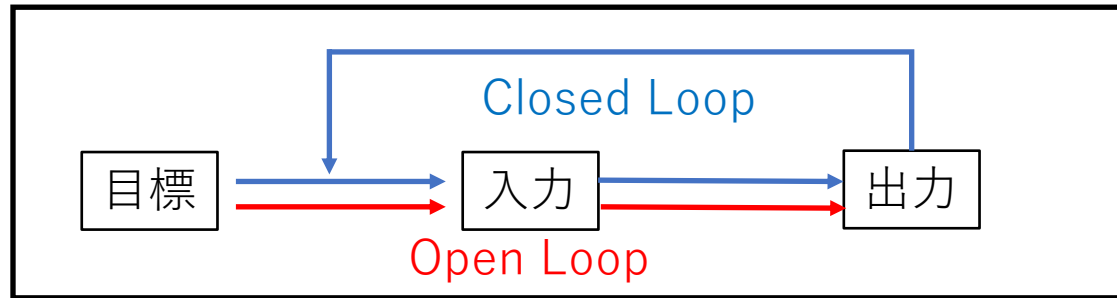
$$V_I = a_3\ddot{\theta} + a_2\dot{\theta} + a_1\theta + a_0\theta$$

角度をギャップセンサーが検知
→その大きさに依存する電圧を計測



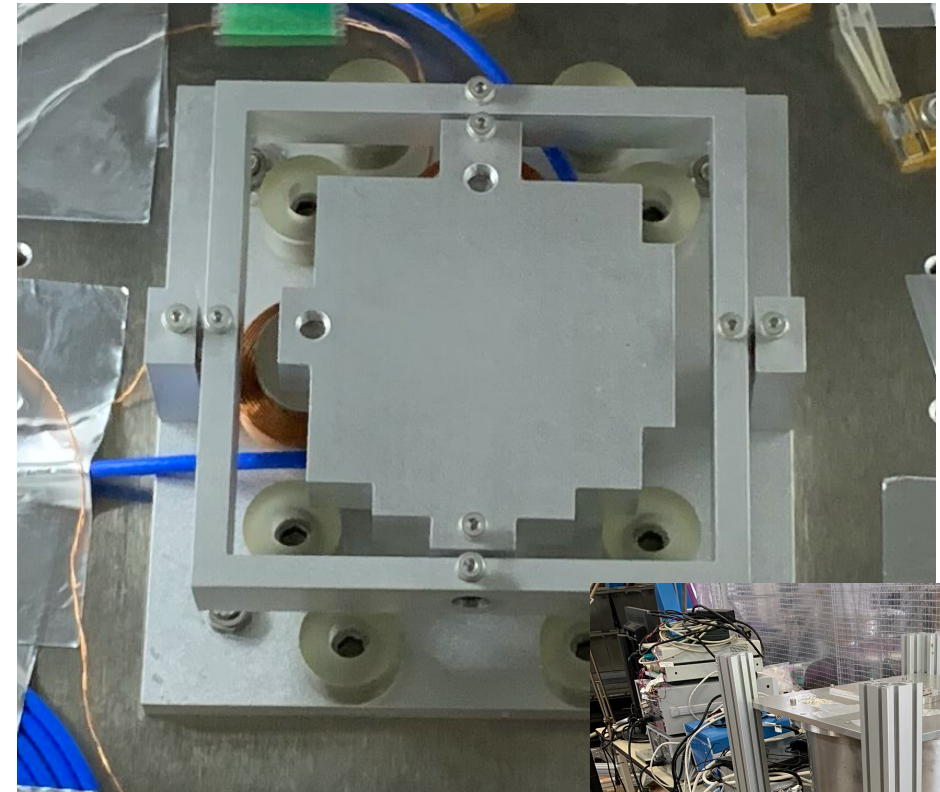
実験の様子

- 常温と低温それぞれで
Open Loopで
入力電圧を矩形的に変化させ
挙動を見た



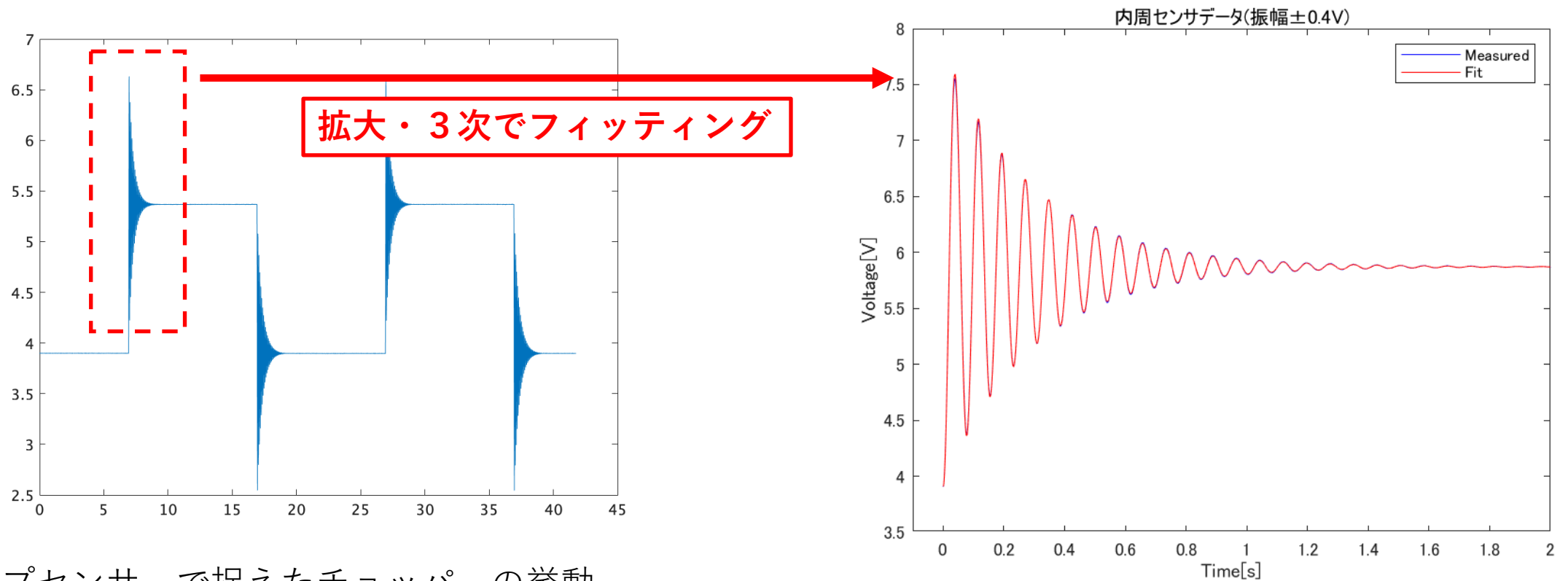
※制御のイメージ

- 先の微分方程式の係数を
測定結果のフィッティングから求める



内側駆動フィッティング結果

- **常温**でOpen Loopで入力電圧を矩形的に変化させた時の挙動を見た

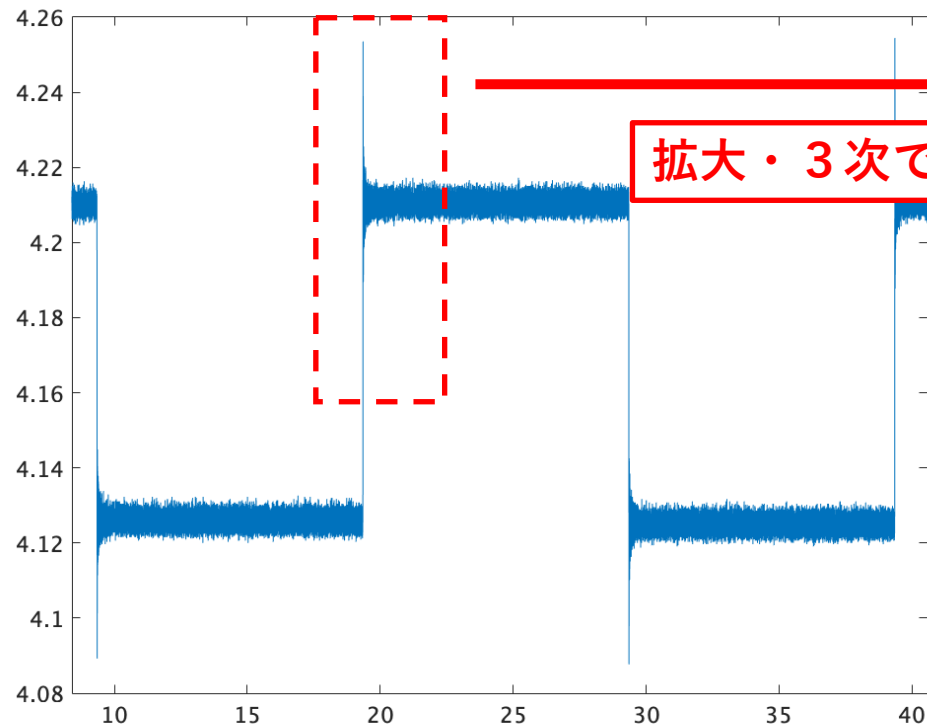


ギャップセンサーで捉えたチョッパーの挙動。
パタパタ振動している様子がわかる。

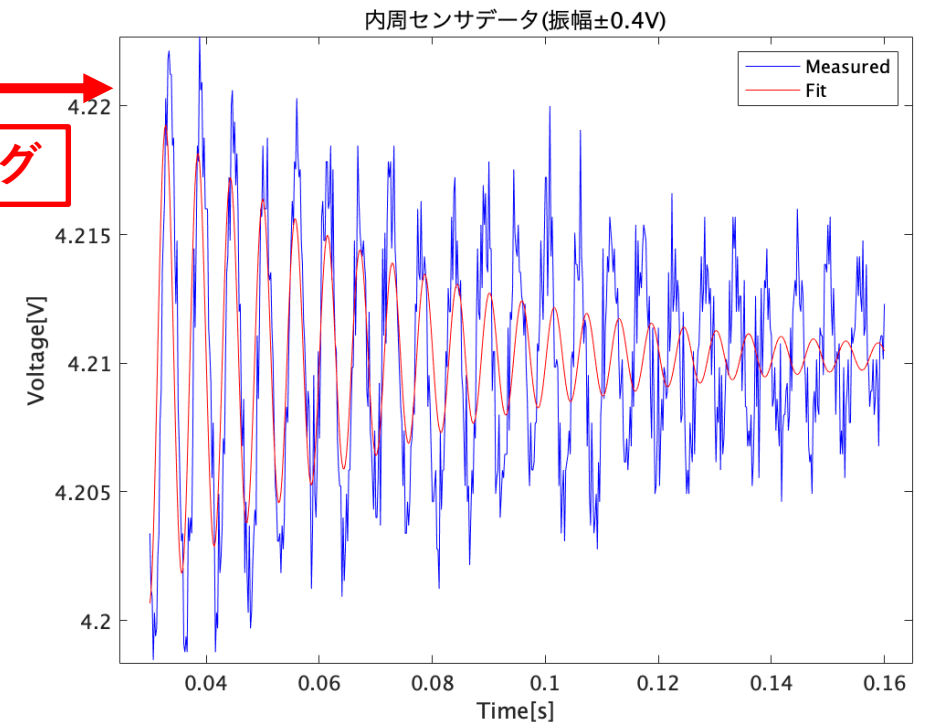
きれいにフィッティングできている

冷却時内側駆動フィッティング結果

- **低温**でOpen Loopで入力電圧を矩形的に変化させた時の挙動を見た



ギャップセンサーで捉えたチョッパーの挙動。
パタパタ振動している様子がわかる。



常温時と変わり、フィットできていない。

フィッティングパラメータ

V_I	入力電圧	θ	鏡の角度
R	回路の抵抗値	k	バネ定数
L	コイルのインダクタンス	β	比例定数（磁場と磁石の力）
I	電流	γ	比例定数（抵抗力）
α	比例係数（誘導起電力）	M	鏡の質量

$$V_I = \left(\frac{LM}{\beta}\right) \ddot{\theta} + \left(\frac{RM}{\beta} + \frac{L\gamma}{\beta}\right) \dot{\theta} + \left(\frac{R\gamma}{\beta} + \frac{Lk}{\beta} + \alpha\right) \theta + \left(\frac{Rk}{\beta}\right) \theta$$

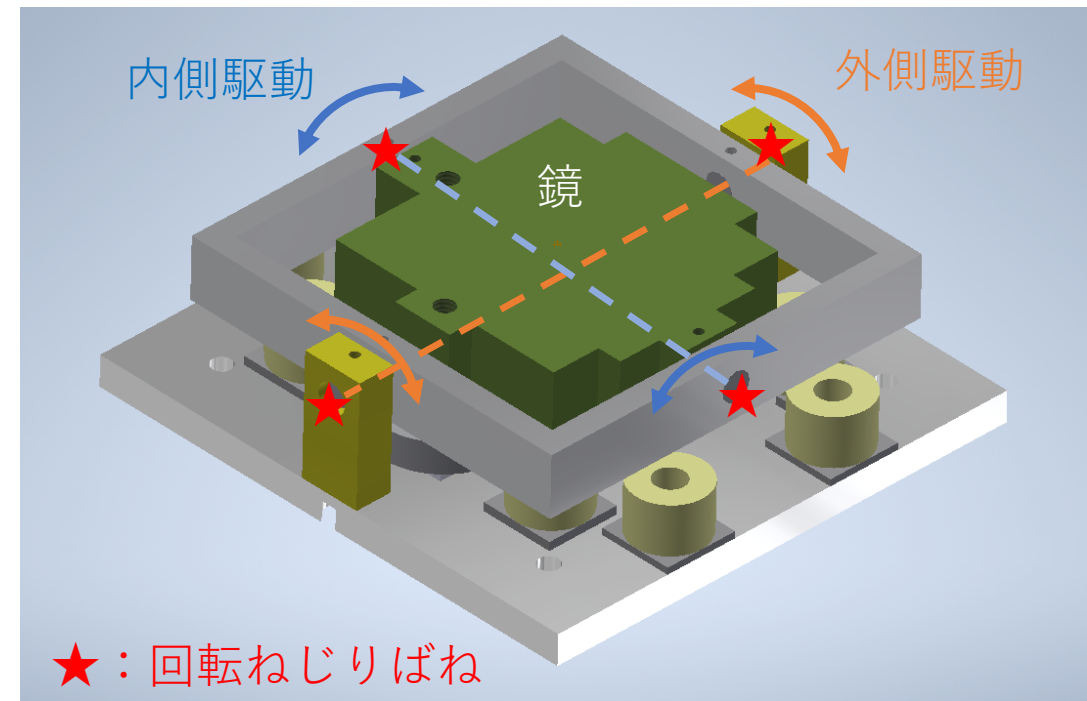
$$V_I = a_3 \ddot{V}_{GS} + a_2 \dot{V}_{GS} + a_1 \dot{V}_{GS} + a_0 V_{GS}$$

		a_3	a_2	a_1	a_0
内側	常温測定	2.0×10^{-8}	6.2×10^{-5}	5.5×10^{-4}	4.1×10^{-1}
	低温測定	1.6×10^{-7}	4.6×10^{-5}	1.9×10^{-1}	4.7×10^1
外側	常温測定	7.6×10^{-8}	1.8×10^{-4}	1.1×10^{-3}	4.7×10^{-1}
	低温測定	7.2×10^{-8}	1.8×10^{-4}	5.6×10^{-2}	1.3×10^2

R, β が変わらないとすると、**ばね定数 k が大きくなったと考えられる**

まとめと今後

- 内側駆動の動作を確認
 - 冷却によりねじりばねが100倍くらい硬くなった可能性
 - = 鏡の動きが1/100になってしまう



メーカー「冷えても動く」

→ 単体試験：今のところ動いている = 構造に問題あり？

- ねじりバネの回転軸の不一致の問題か
(そこに気を配って設計していなかった)

→ 新しい試験機を設計中