

# セグメント主鏡制御装置の 開発状況

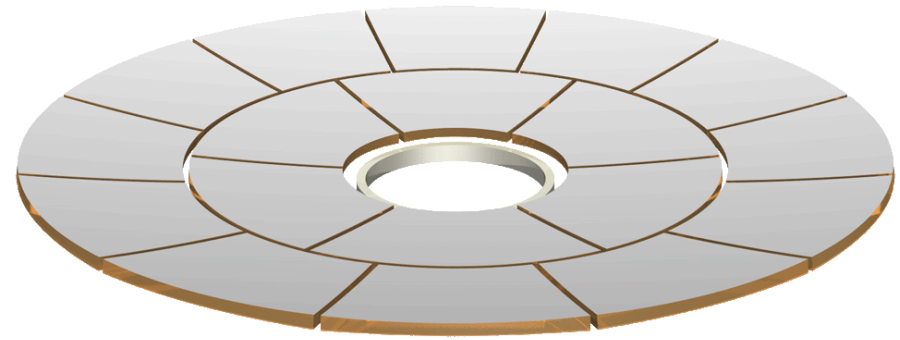
木野 勝 (京都大学)

軸屋 一郎、上野 幸紀 (金沢大学)

山田 克彦 (大阪大学)

## セグメント鏡

分割数 : 6+12  
大きさ : 対角~1.2 m  
重さ : 約70 kg



設置精度 : rms  $\leq 50$  nm

## 外乱

架台の重力変形・熱変形  
:  $\sim 100$   $\mu\text{m}$  変動は遅い

風圧 : 300 nm @1 Hz  
10 nm @10 Hz

鏡の段差・傾きをリアルタイムに計測して補正

## I 非干渉化行列

- ・導出 (2、6枚、18枚)
- ・誤差伝播の評価 (2、6枚、18枚)

## I アクチュエータの伝達関数

- ・特性の測定

## I 支持構造の伝達関数

- ・機械設計  
(内周リング・内周・外周)
- ・特性 (静的・動的) の測定

## I センサモデル

- ・特性の測定

---

## I 量産

- ・アクチュエータの購入
- ・支持構造の製作
- ・センサの購入

## I 制御システムモデル構築

- ・制御ソフトの作成

## I 制御・通信システム

- ・制御用計算機
- ・アクチュエータドライバ
- ・センサ読出し回路



## I 実機 (or 単純化モデル) で動作検証

## I 光学センサとの統合

- ・アクチュエータドライバの製作
- ・センサ読み出し回路の製作

## I 非干渉化行列

- ・導出 (2、6枚、18枚)
- ・誤差伝播の評価 (2、6枚、18枚)

## I アクチュエータの伝達関数

- ・特性の測定

## I 支持構造の伝達関数

- ・機械設計  
(内周リング・内周・外周)
- ・特性 (静的・動的) の測定

## I センサモデル

- ・特性の測定

---

## I 量産

- ・アクチュエータの購入
- ・支持構造の製作
- ・センサの購入

## I 制御システムモデル構築

- ・制御ソフトの作成

## I 制御・通信システム

- ・制御用計算機
- ・アクチュエータドライバ
- ・センサ読出し回路

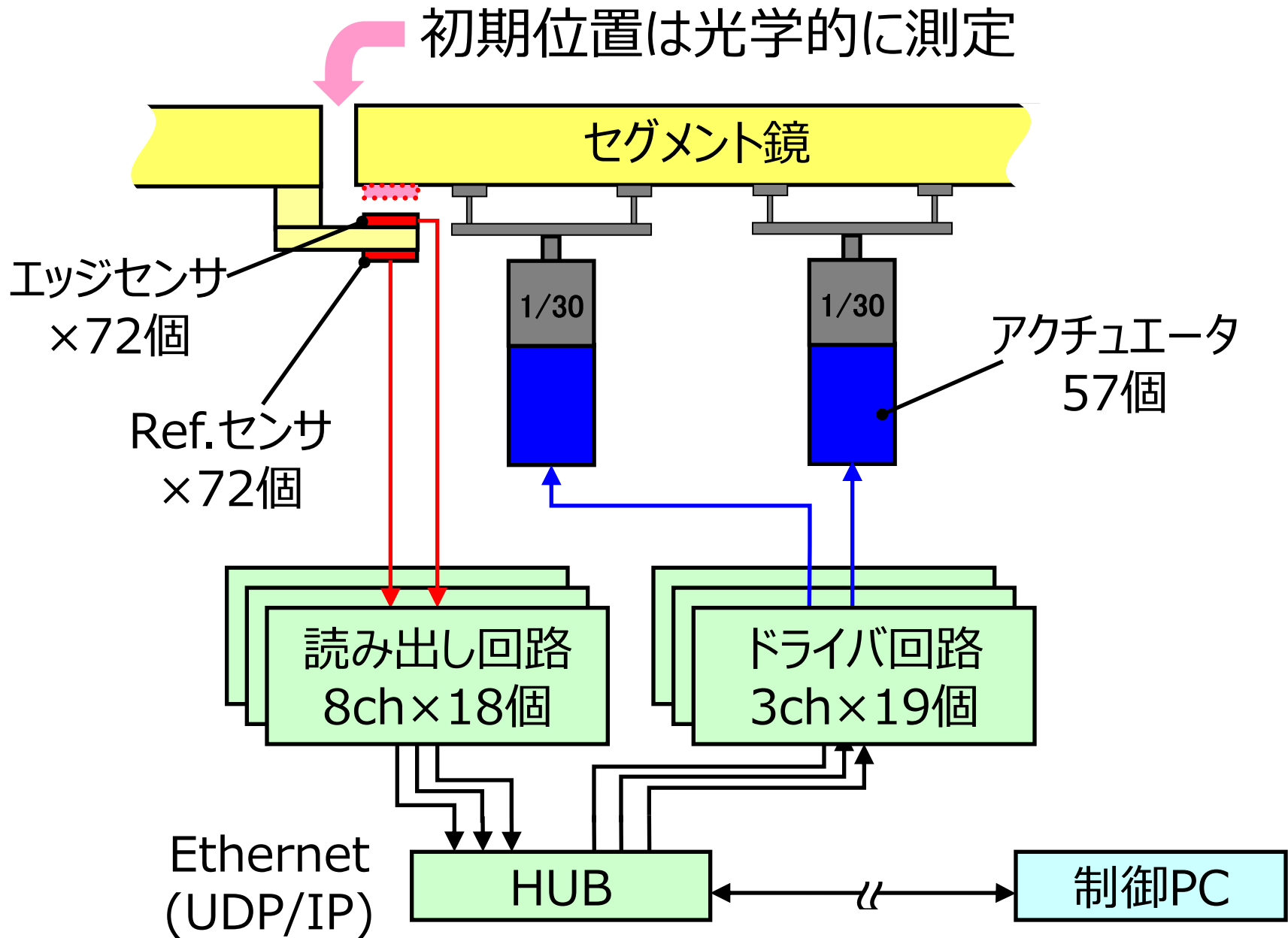


## I 実機 (or 単純化モデル) で動作検証

## I 光学センサとの統合

- ・アクチュエータドライバの製作
- ・センサ読み出し回路の製作





## 実験対象

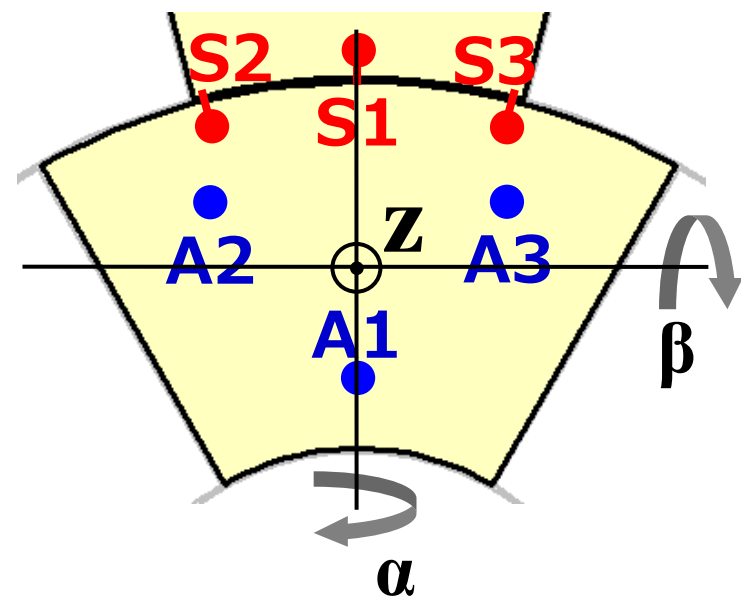
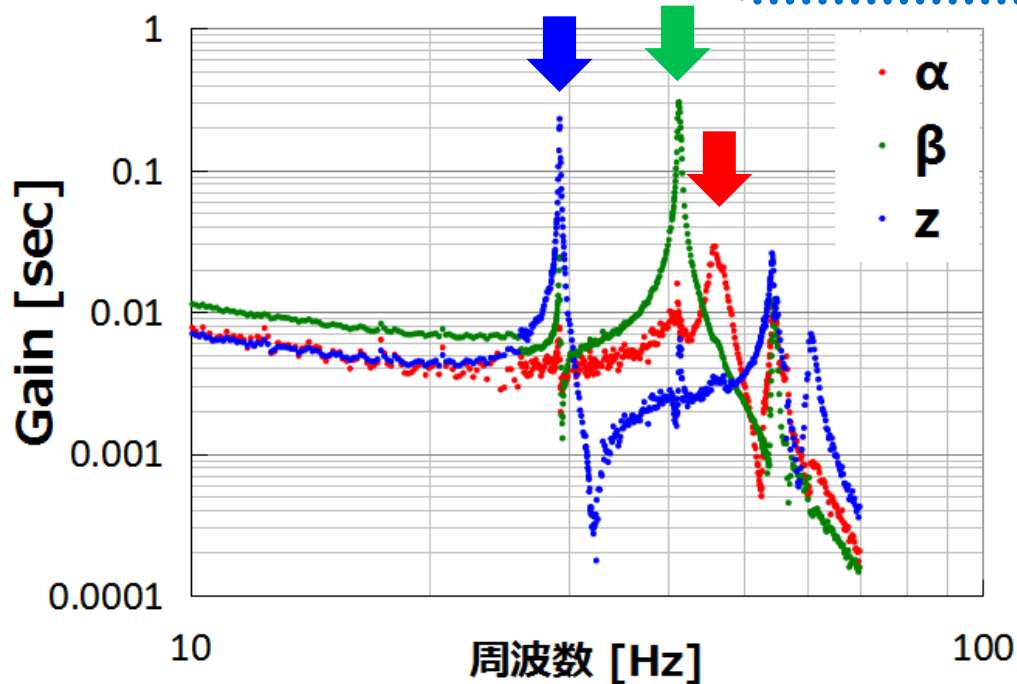
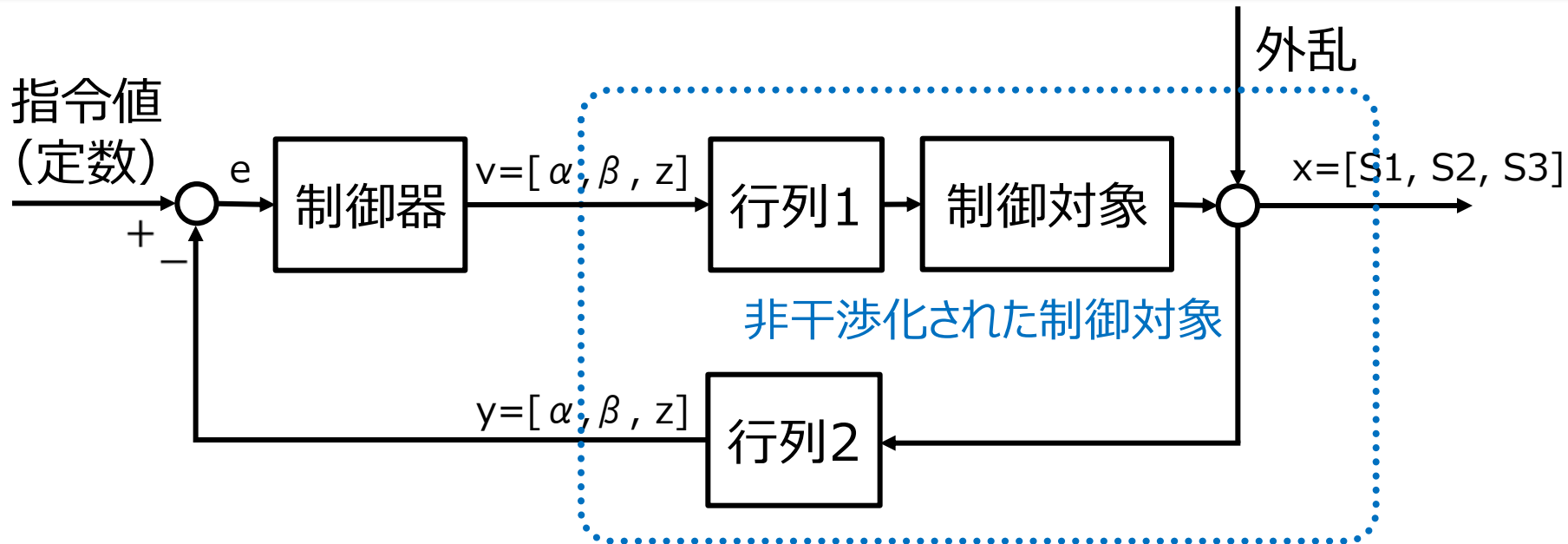
- アルミ製ダミーセグメント
  - ▶ 制御対象は内周側
- 実機相当の支持・駆動構造



## これまでの流れ

- 開ループ特性を測定
  - ▶ 正弦波で周波数掃引、M系列乱数
- システム同定 . . . 伝達関数を推定
- 制御器の設計 . . . 比例制御×(LPF、NF)
  - ➡ 制御器を離散化してプログラムに実装

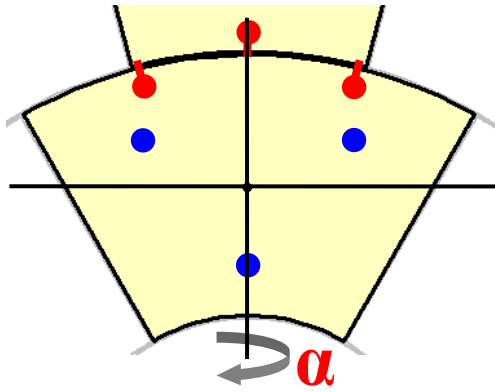
# 制御のフロー



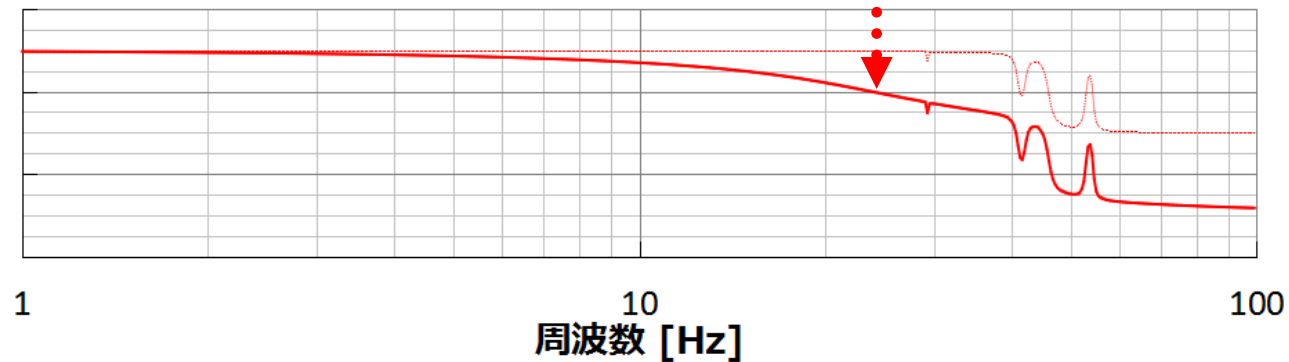
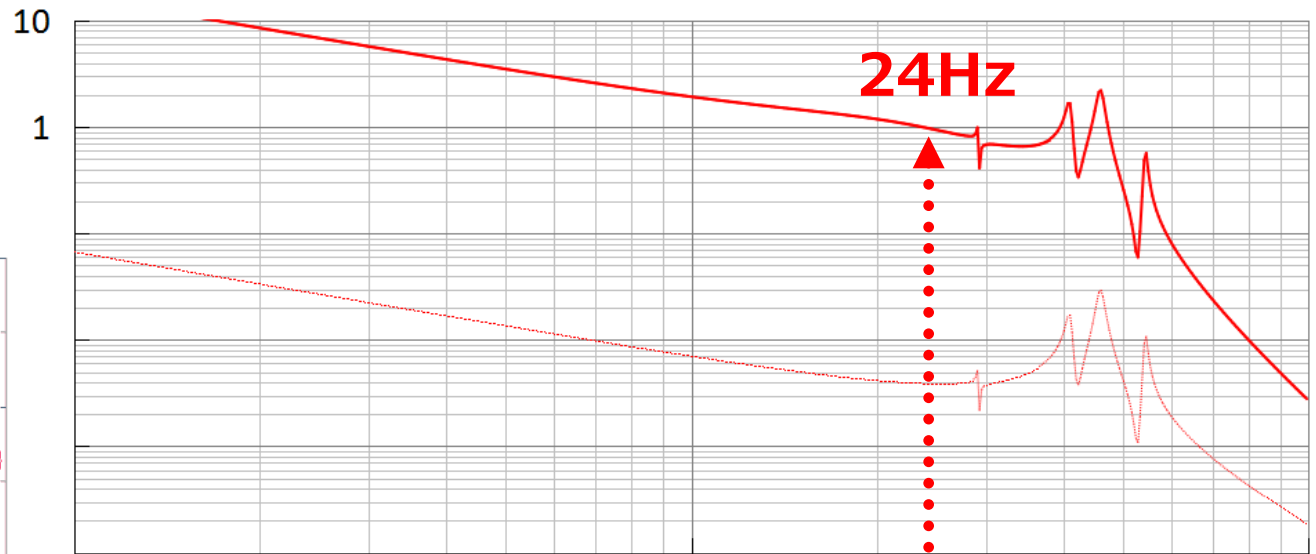
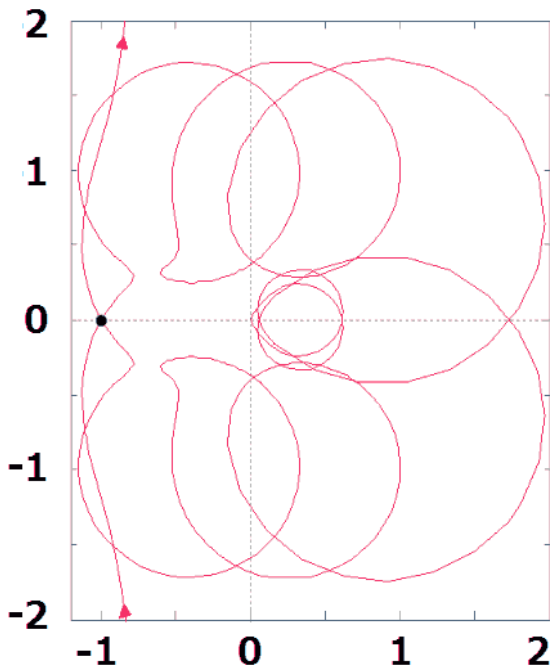


# 制御器の設計

- 比例制御×2次ローパスフィルタ → 最大24Hz



ナイキスト線図  $\alpha$



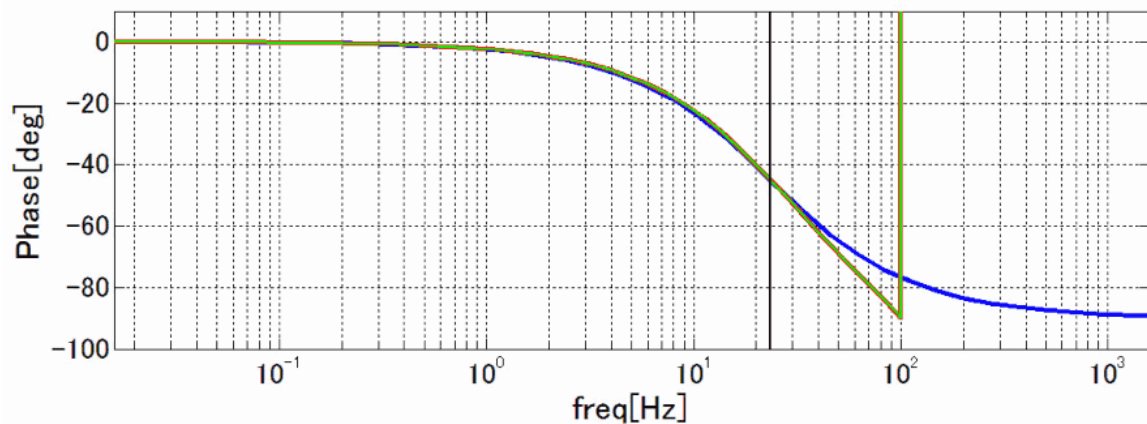
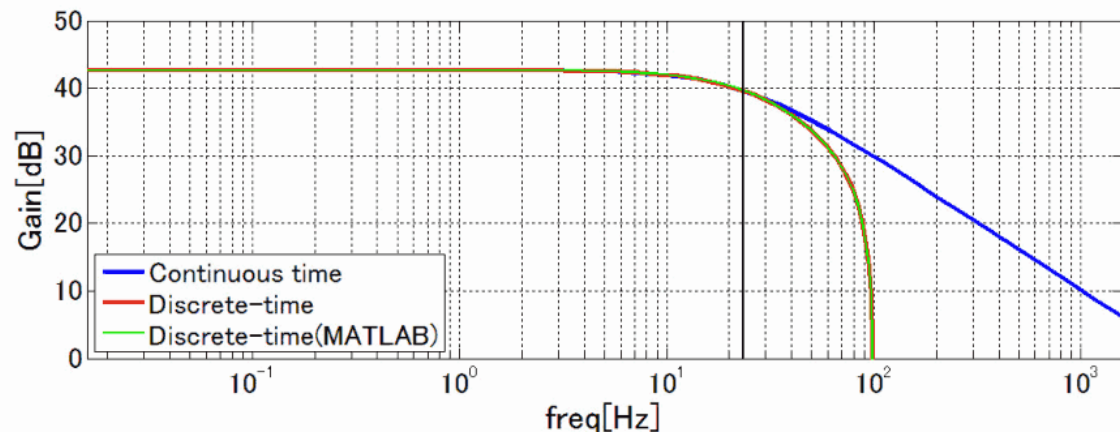
# 1次LPFの離散化

- 連続時間  $C(s) = \frac{2\pi f_c K_p}{s + 2\pi f_c}$
- 離散時間  $C(z) = \frac{K_p \tan(\pi f_c T)(z + 1)}{\{\tan(\pi f_c T) + 1\}z + \{\tan(\pi f_c T) - 1\}}$

$K_p$  : 比例ゲイン

$f_c$  : カットオフ周波数

$T$  : 時間間隔(5ms)



# 1次LPFの離散化

- 離散時間  $C(z) = \frac{K_p \tan(\pi f_c T)(z + 1)}{\{\tan(\pi f_c T) + 1\}z + \{\tan(\pi f_c T) - 1\}}$

$z$ の多項式として

$$C(z) = \frac{b_n z^n + b_{n-1} z^{n-1} + \dots + b_0}{z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_0}$$

- 漸化式で書く

$$x_1[k + 1] = -a_0 x_n[k] + (b_0 - a_0 b_n) \underline{u[k]}, \quad \text{入力}$$

$$x_2[k + 1] = x_1[k] - a_1 x_n[k] + (b_1 - a_1 b_n) \underline{u[k]},$$

⋮

$$x_n[k + 1] = x_{n-1}[k] - a_{n-1} x_n[k] + (b_{n-1} - a_{n-1} b_n) \underline{u[k]},$$

$$\text{出力 } \underline{y[k]} = x_n[k] + \underline{b_n u[k]}$$

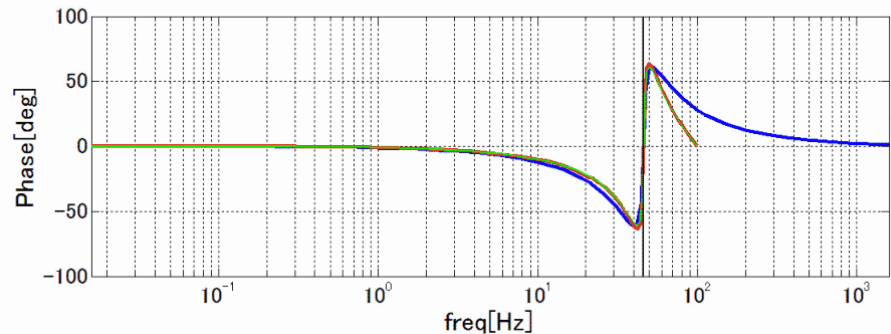
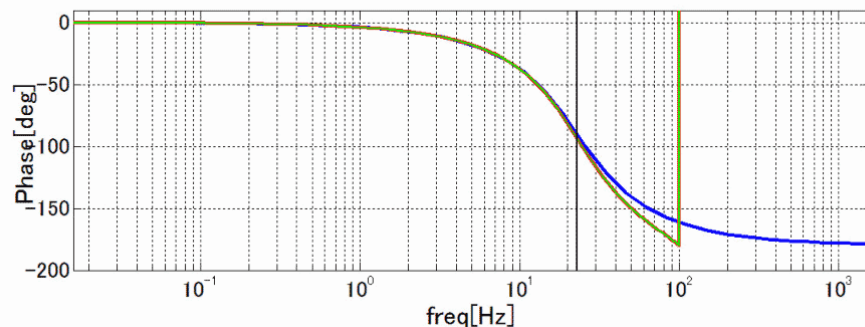
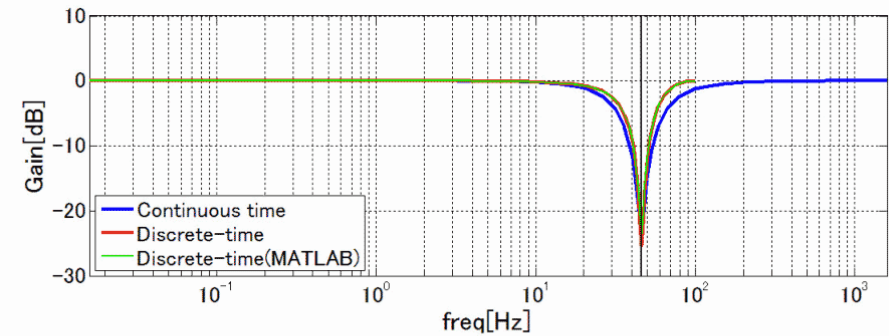
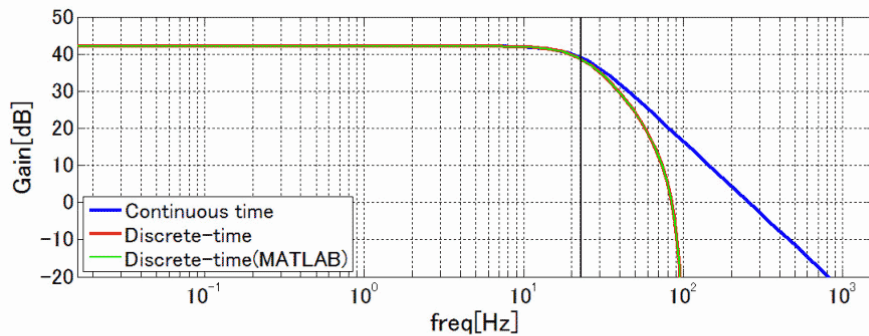
# 他のフィルタも離散化

## • 2次LPF

$$C(z) = \frac{K_p \tan^2(\pi f_c T)(z + 1)^2}{\{1 + 2\zeta \tan(\pi f_c T) + \tan^2(\pi f_c T)\}z^2 + 2\{\tan^2(\pi f_c T) - 1\}z + \{1 - 2\zeta \tan(\pi f_c T) + \tan^2(\pi f_c T)\}}$$

## • ノッチフィルタ

$$C(z) = \frac{\{1 + \frac{a}{\omega} \tan(\frac{\omega T}{2}) + \tan^2(\frac{\omega T}{2})\}z^2 + 2\{\tan^2(\frac{\omega T}{2}) - 1\}z + \{1 - \frac{a}{\omega} \tan(\frac{\omega T}{2}) + \tan^2(\frac{\omega T}{2})\}}{\{1 + \frac{1}{Q} \tan(\frac{\omega T}{2}) + \tan^2(\frac{\omega T}{2})\}z^2 + 2\{\tan^2(\frac{\omega T}{2}) - 1\}z + \{1 - \frac{1}{Q} \tan(\frac{\omega T}{2}) + \tan^2(\frac{\omega T}{2})\}}$$



2次LPFのボード線図

ノッチフィルタのボード線図

## 制御システムのハードウェア

- 制御回路（センサ読出・主鏡用ドライバ・WH用ドライバ）の実装が完了

## 制御器の離散時間化（軸屋さん・上野さん）

- 1次LPF、2次LPF、ノッチフィルタを離散化プログラム中で組み合わせて使用可能
- 試験プログラムへの実装はほぼ完了

動作試験と性能評価を予定