

# セグメント主鏡制御装置の 開発状況

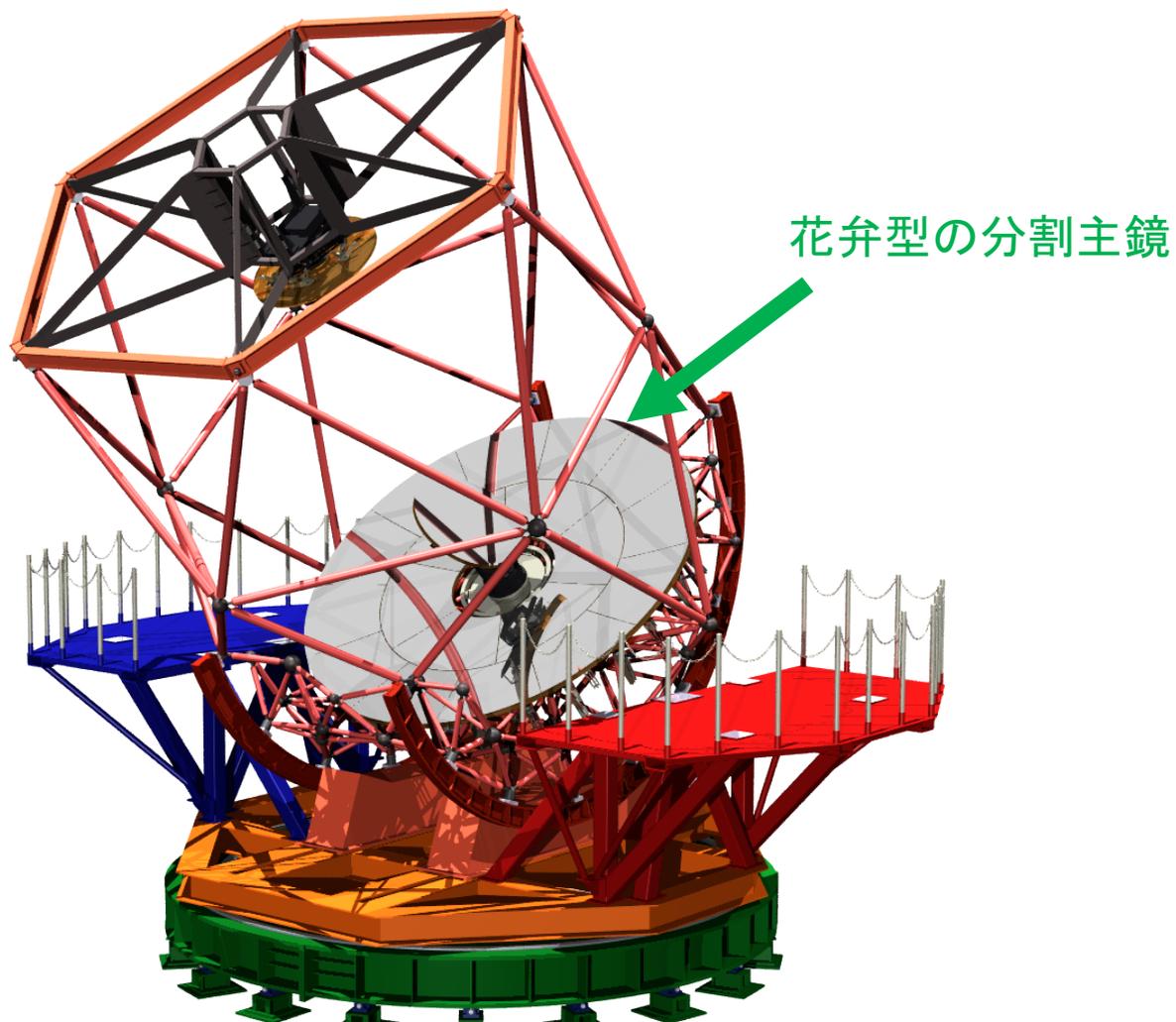
第44回望遠鏡および観測装置会議

キャンパスプラザ京都

2017.09.09 13:00-17:45

木野勝（京都大学）・近藤真吾（金沢大学）・上野幸紀（金沢大学）  
・軸屋一郎（金沢大学）・山田克彦（大阪大学）

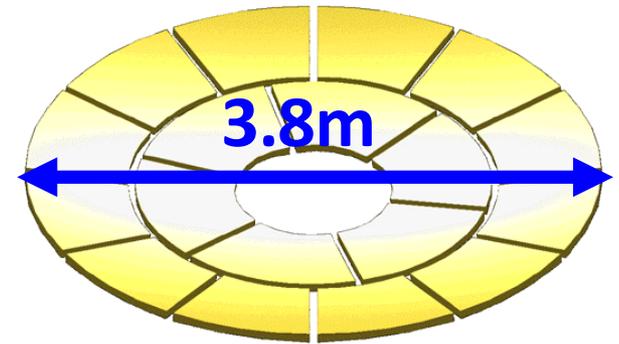
# 岡山3.8m望遠鏡開発計画



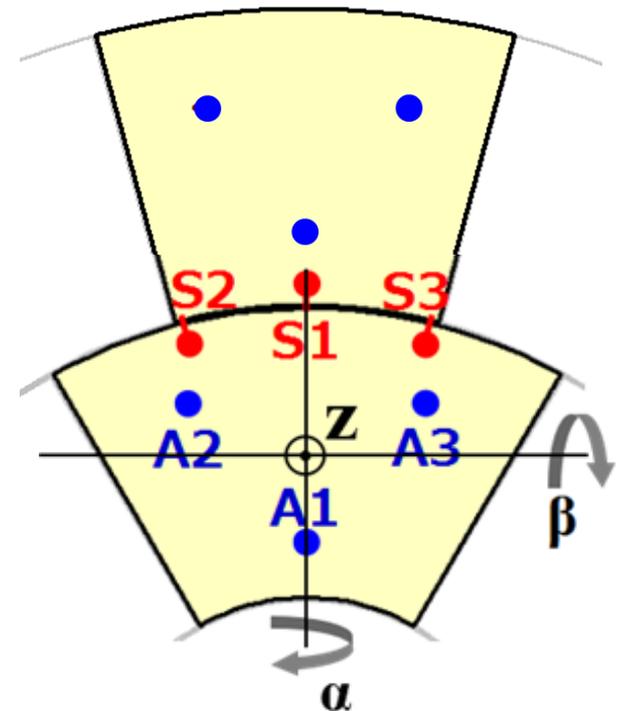
# 分割主鏡

分割主鏡： 主鏡を18分割

(一枚あたり約70kg)



テストベッド： 2枚の分割鏡



● センサー

● アクチュエーター

# 概要

古典制御の復習

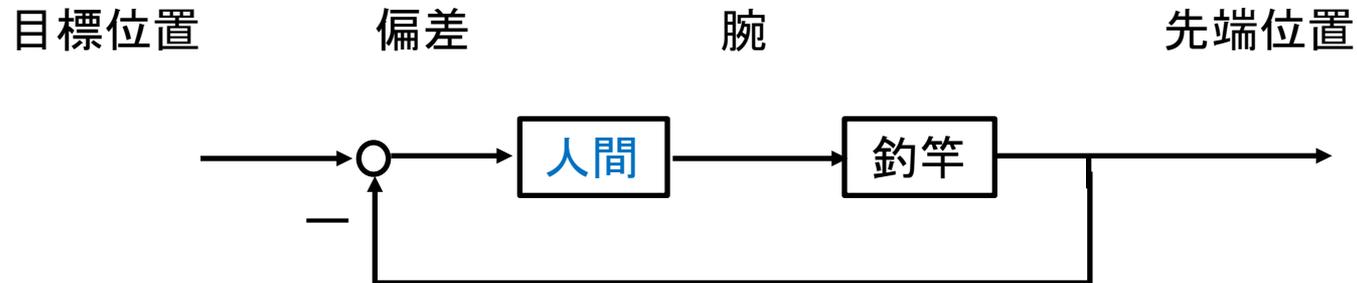
低周波振動の解析

まとめ

# 古典制御の復習 1

狙い：「動特性」を抑える方法論

- 例： ものすごく柔らかい釣竿の先端をぴたっと止めたい
  - 力を入れ過ぎたらかえって振れが増大
  - 先端を“眺めて”そっと揺れを殺す



# 古典制御の復習 2

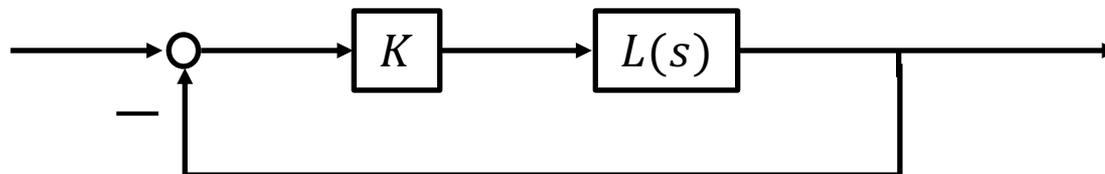
数学的道具： ラプラス変換

- 信号 $y(t)$ にラプラス変換を施し信号 $Y(s)$ に変換
  - 微分方程式にラプラス変換を施し伝達関数 $L(s)$ に変換
- ⇒ 周波数 $f$ [Hz]で $Y(2\pi if)$ と $L(2\pi if)$ は複素数と同一視可能
- ⇒ 四則演算により制御系の解析・設計が可能になる

指令値： $r(t)$

偏差： $e(t)$

出力： $y(t)$



# 古典制御の復習 3

- 振動制御では指令値を0として仮想的に外乱信号 $d(t)$ を印加

$$Y(2\pi if) = D(2\pi if) - KL(2\pi if)Y(2\pi if)$$

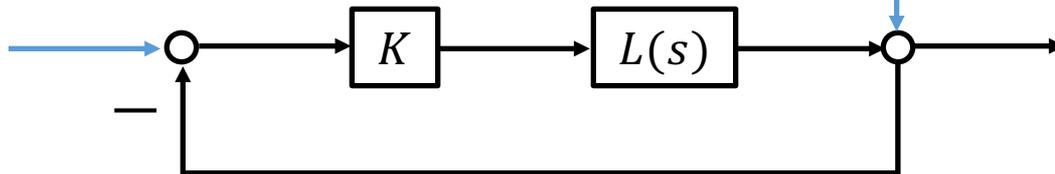
$$\frac{Y(2\pi if)}{D(2\pi if)} = \frac{1}{1 + KL(2\pi if)}$$

周波数領域における外乱 $d(t)$ から出力 $y(t)$ への伝達特性を表す

指令値:  $r(t) = 0$

外乱:  $d(t)$

出力:  $y(t)$

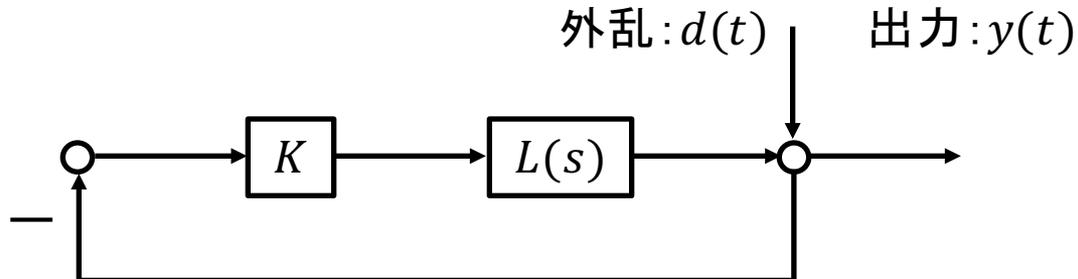


# 古典制御の復習 4

- 理想的には、ゲイン $K$ を大きくすると完璧な振動抑制

$$\frac{Y(2\pi if)}{D(2\pi if)} = \frac{1}{1 + KL(2\pi if)} \xrightarrow{K \rightarrow \infty} 0$$

すべての周波数において外乱 $d(t)$ から出力 $y(t)$ への伝達特性は零

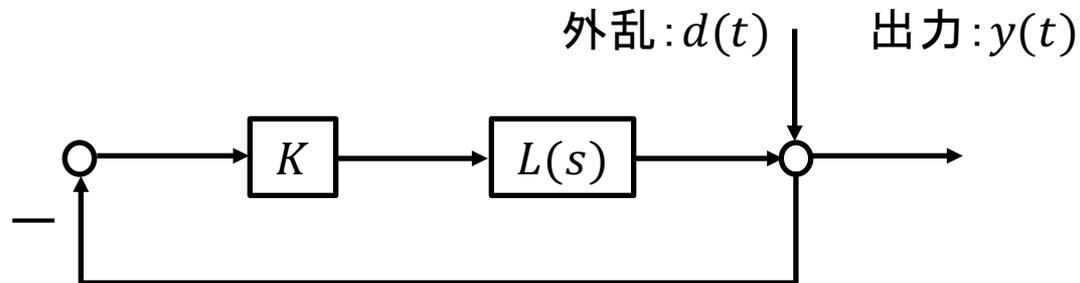


# 古典制御の復習 5

- ただし、途中で  $KL(2\pi if) = -1$  を満たすならば不安定化

$$\frac{Y(2\pi if)}{D(2\pi if)} = \frac{1}{1 + KL(2\pi if)} \xrightarrow{KL(2\pi if) = -1} \infty$$

ある周波数において外乱  $d(t)$  から出力  $y(t)$  への伝達特性が発散



# 古典制御の復習 6

- 不安定化条件

$$KL(2\pi if) = -1$$

$$\Leftrightarrow |KL(2\pi if)| = 1, \quad \angle KL(2\pi if) = -180[\text{deg}]$$

$$\Leftrightarrow 20 \log_{10}|KL(2\pi if)| = 0, \quad \angle KL(2\pi if) = -180[\text{deg}]$$

ゲイン0[dB]

位相遅れ180度

ゲインと位相の組み合わせにより不安定化  
ボード線図で確認可能

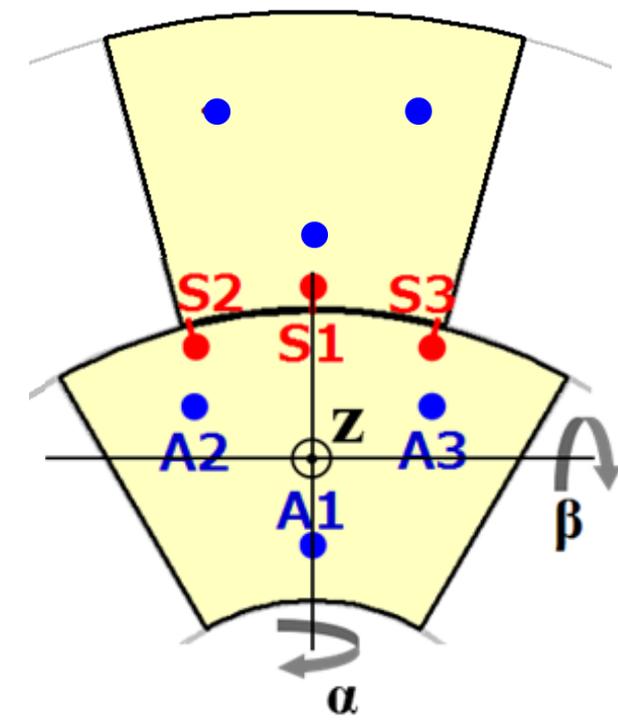
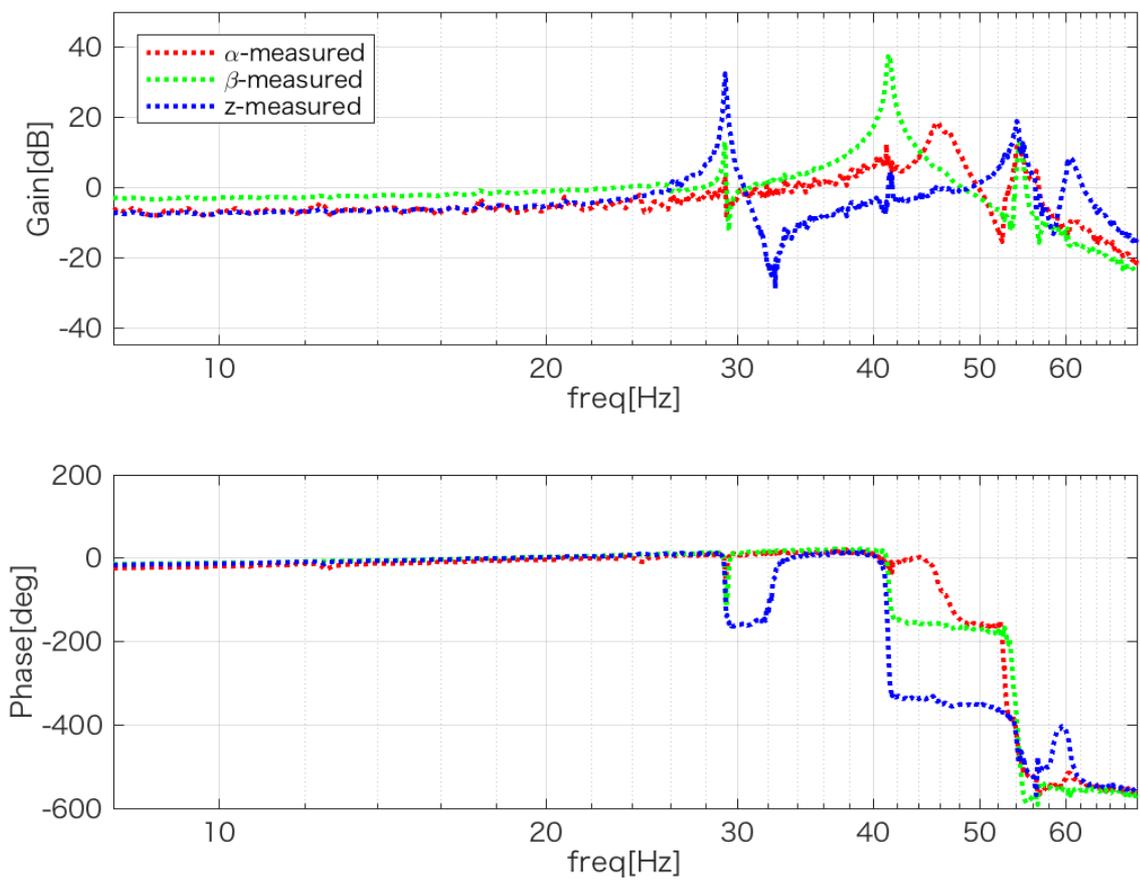
# 概要

古典制御の復習

低周波振動の解析

まとめ

# システム同定用データ



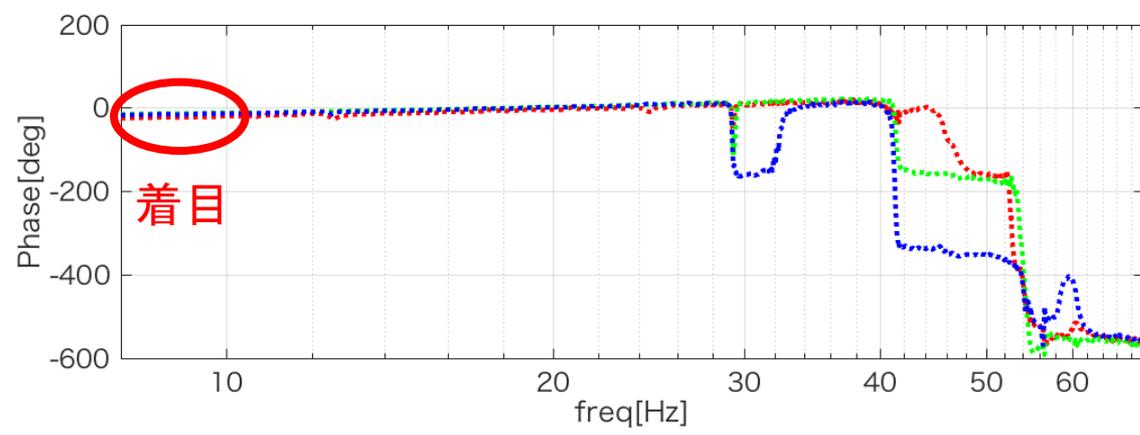
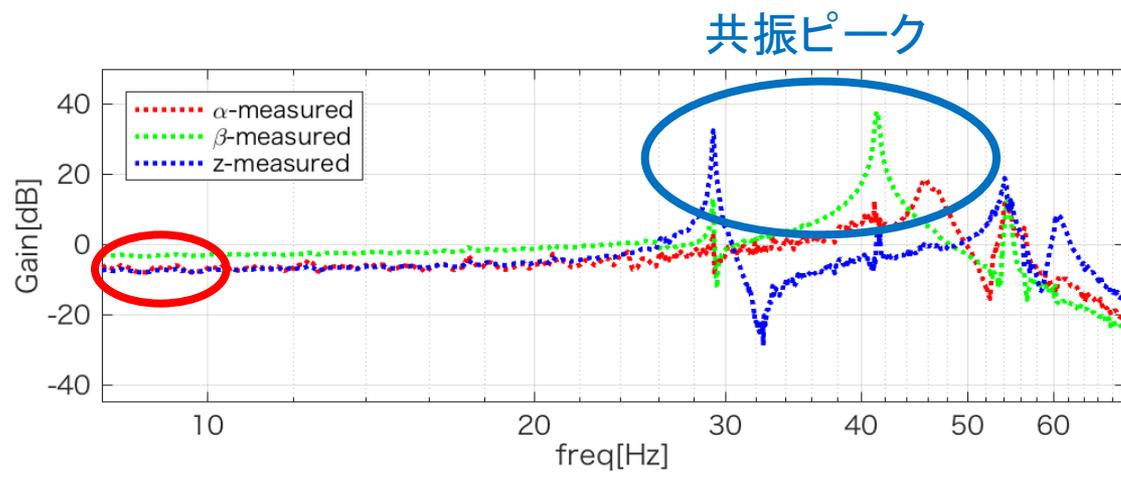
# システム同定用データの復習

- 測定データは「アクチュエータ位置入力（3入力）」から「相対位置出力（3出力）」への入出力特性を表す
- システム同定用データは、測定データに座標変換を施し、対角成分のみを抜き出し、 $\alpha$ モード、 $\beta$ モード、 $z$ モードに分離
- ステッピングモータへの指令は速度入力。積分器をかけることにより、各モードにおける「速度入力（1入力）」から「相対位置出力（1出力）」への伝達関数が得られ、制御系設計用モデルを構築。

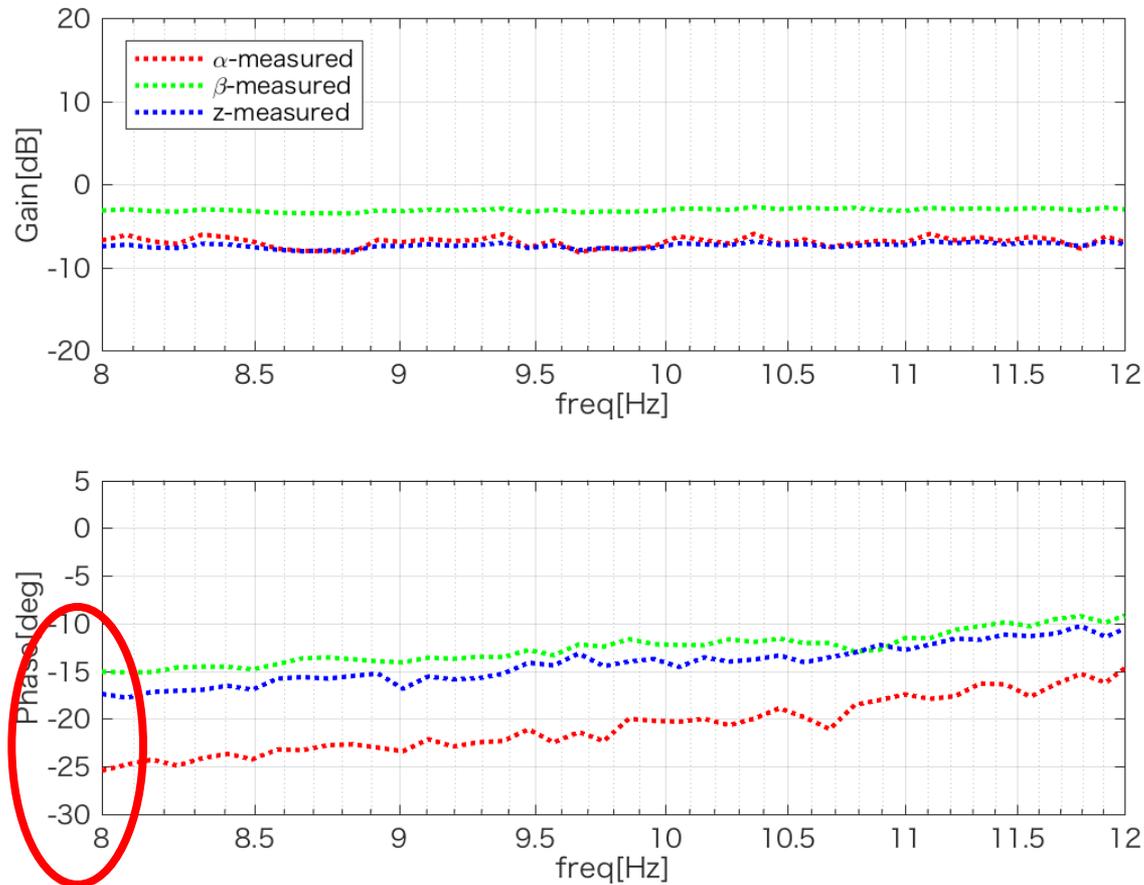
# 謎の低周波振動

- 制振実験を計画
  - 直感的には、「定数コントローラ」を用いた場合より「LPF」を用いた場合にはゲインを上げられるはず
  - 振動が発生するなら「共振ピーク付近(30Hz以上)」のはず
- 制振実験の結果
  - フィードバック制御を施したら「相対位置」の振動が減少
  - ただし、ゲインを上げると「LPF」を用いた場合に振動発生
  - 振動は低周波 (1~5Hz付近)

# システム同定用データ



# システム同定用データ（低周波）



位相遅れ有： 制御系設計では位相遅れ無とみなしていた

# システム同定用データの検証

- 発振周波数（1～5[Hz]）は測定範囲（8～64[Hz]）を外れていた
- 機械的共振だけが介在するなら、低周波領域の位相はゼロであるはず。実際には15 ～25[deg]遅れている。原因不明
- 位相遅れに起因した低周波振動？

# 概要

古典制御の復習

低周波振動の解析

まとめ

# 考察

- 難点：テストベッドの時点において予想とは異なる実機特性
  - そもそも理想的な非干渉化は実現できない
  - 本来は現れるはずのない共振特性
  - 本来は現れるはずのない低周波領域の位相遅れ
- 少なくとも…
  - フィードバック制御そのものは必要
  - 非干渉化が機能するならノッチフィルタが有力
  - 低周波領域における位相余裕の確保が必要

# 気になること

## 1. センサ

- 静特性・動特性に関わらず最大のボトルネック
- 信頼性？
- 温度ドリフトへの対処？

## 2. アクチュエータ

## 3. 制御アルゴリズム

- 他入出力への拡張？
- 非干渉化が機能しない時の方策？