

分割鏡制御のデータ解析

2020/07/11

金沢大学

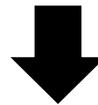
軸屋一郎・内田大智

目次

- 発表目的
- 分割鏡制御の概要
- 2つの分割鏡制御則
 - 集中制御
 - 分散制御
- データ解析
- まとめ

発表目的

- 3/2に制御実験
 - 集中制御…2019年9月5日にも行った.
 - 分散制御…初めて
- 2つの制御則について, 実機の制御実験を実施



どちらもシミュレーションと似た傾向が表れた.

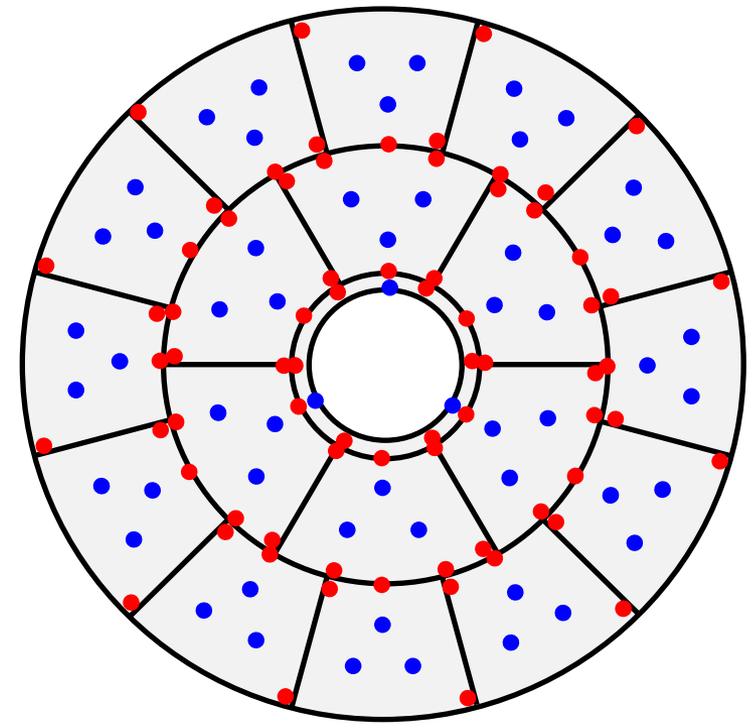
大規模で複雑なシステムがシミュレーション通りに動くことは, 制御工学の観点から非常に興味深い.

分割鏡の概要



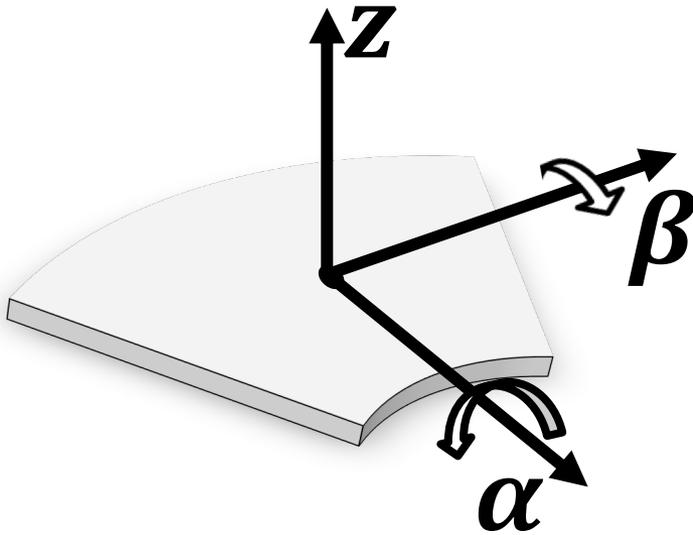
■ 扇型の分割主鏡

- 分割鏡18枚+内周リングで構成

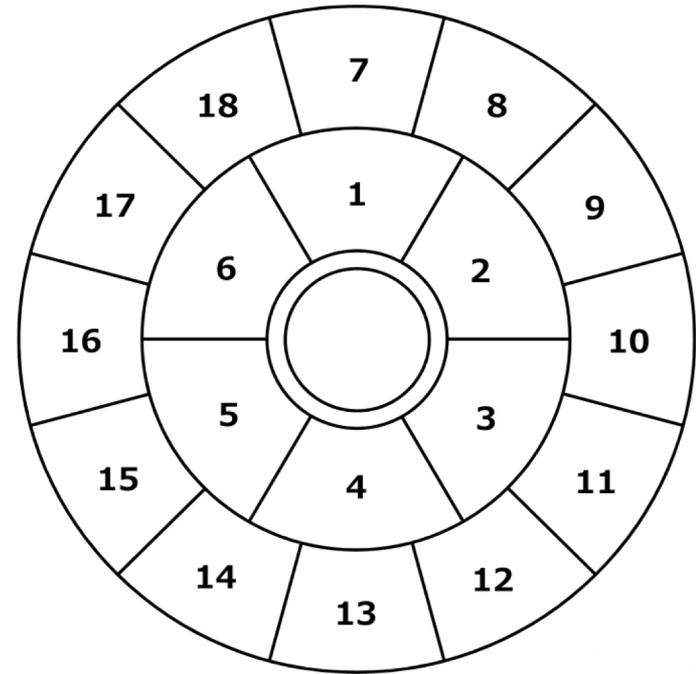


- センサ
- アクチュエータ

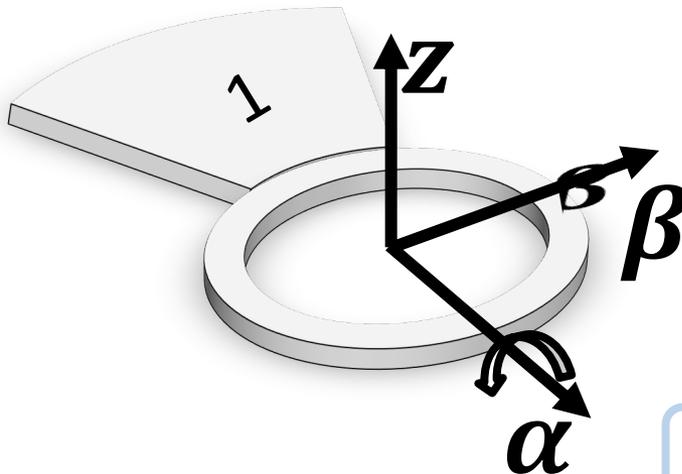
分割鏡および内周リングの状態



分割鏡の自由度



ミラーの番号



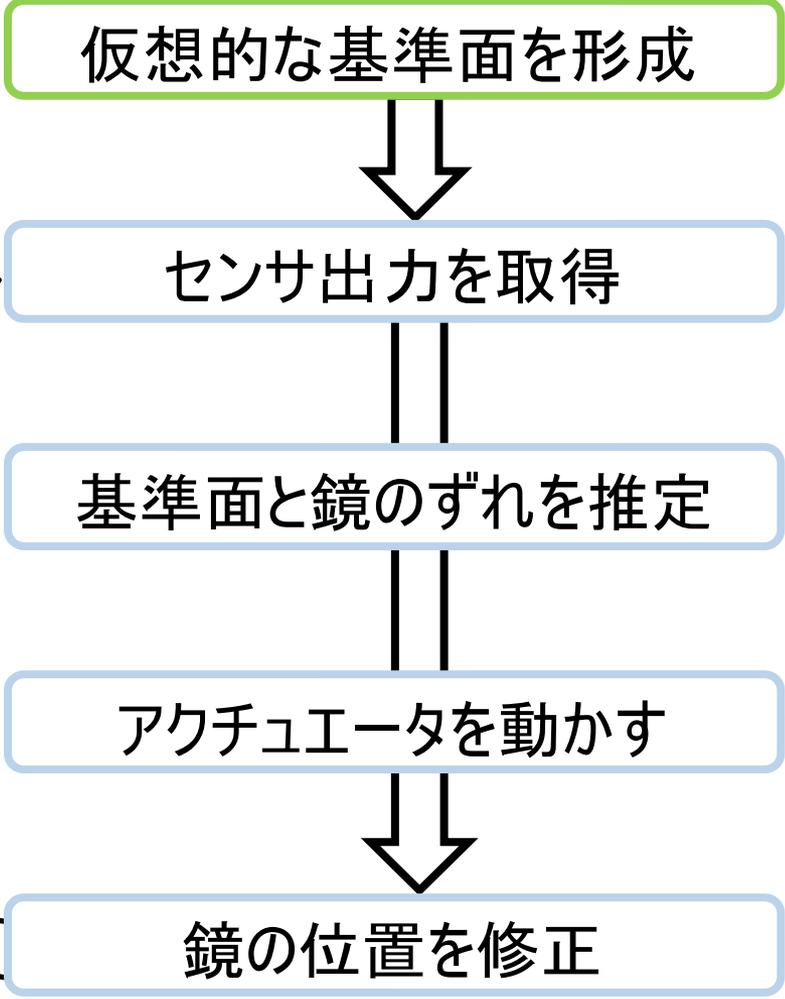
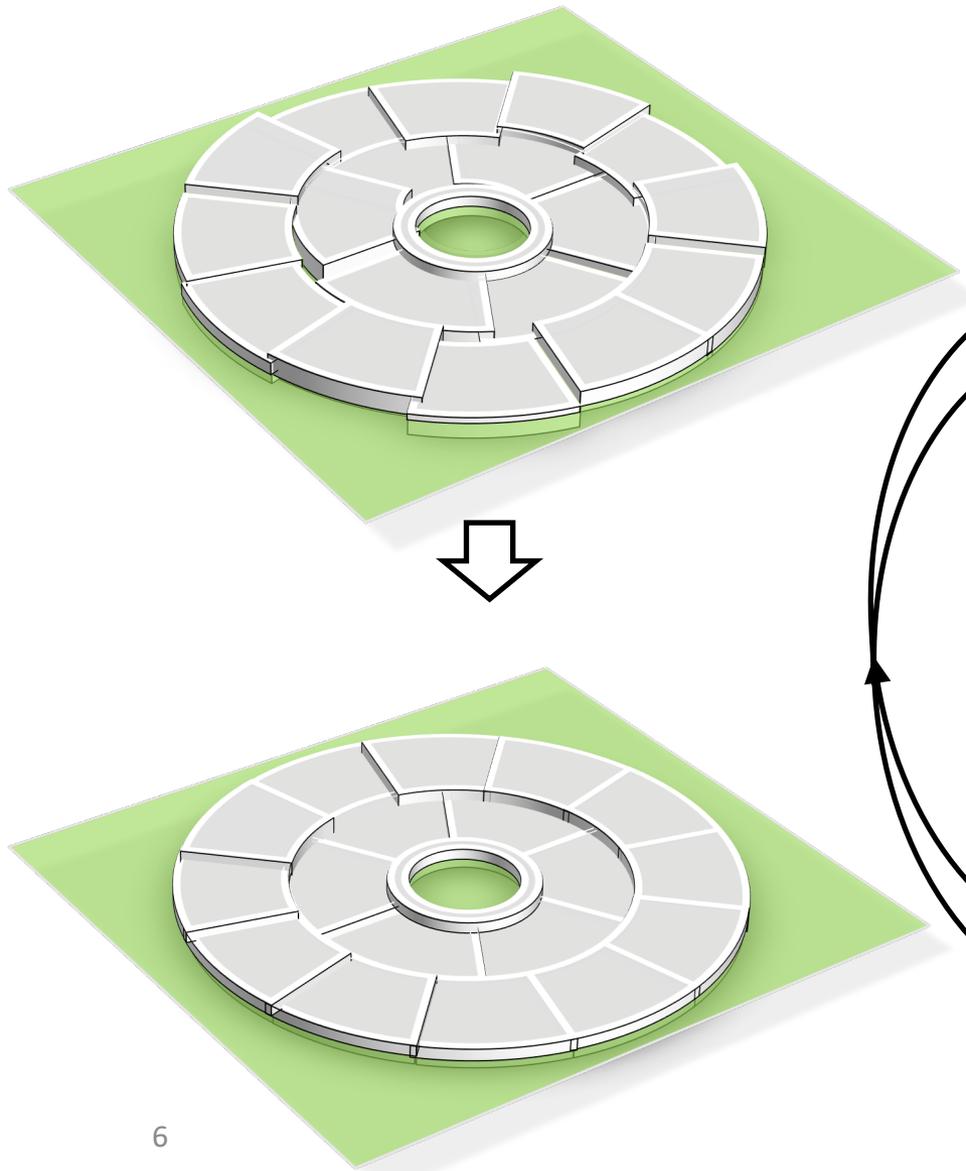
内周リングの自由度

- 分割鏡18枚+内周リングで構成



分割主鏡全体で57成分の状態

分割主鏡制御とは

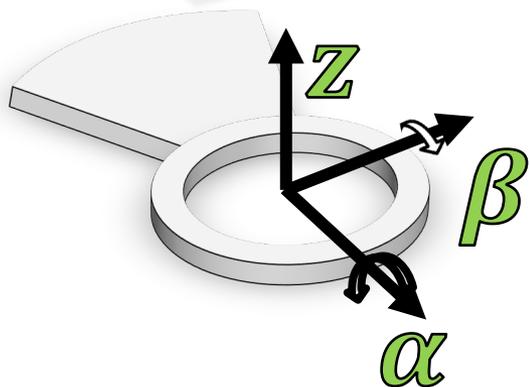
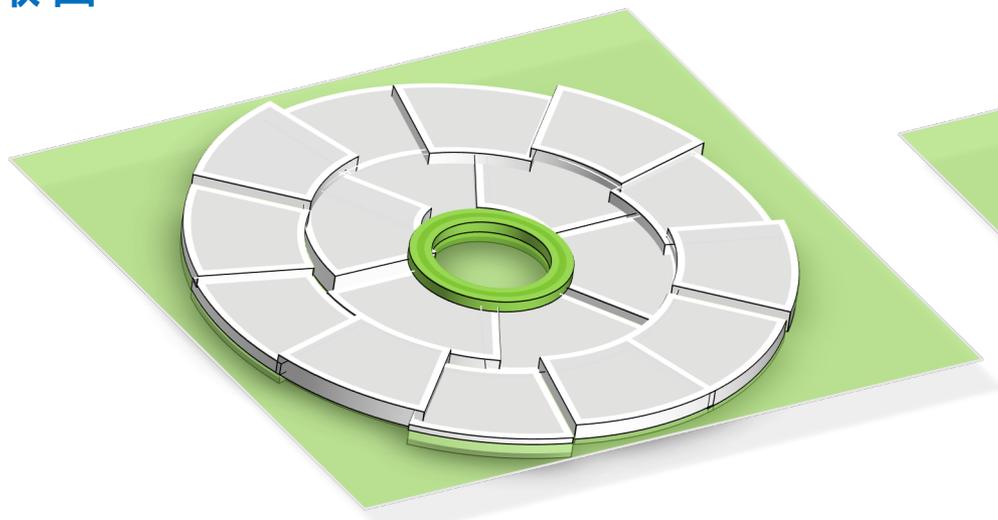


固定方式

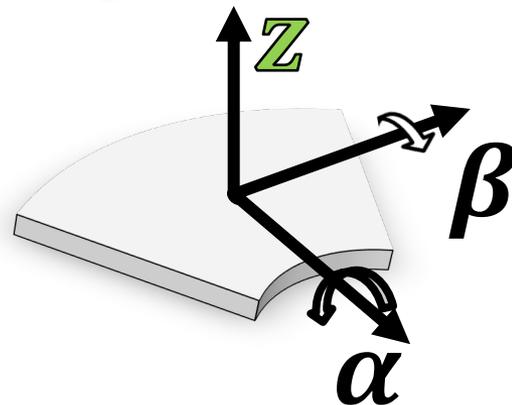
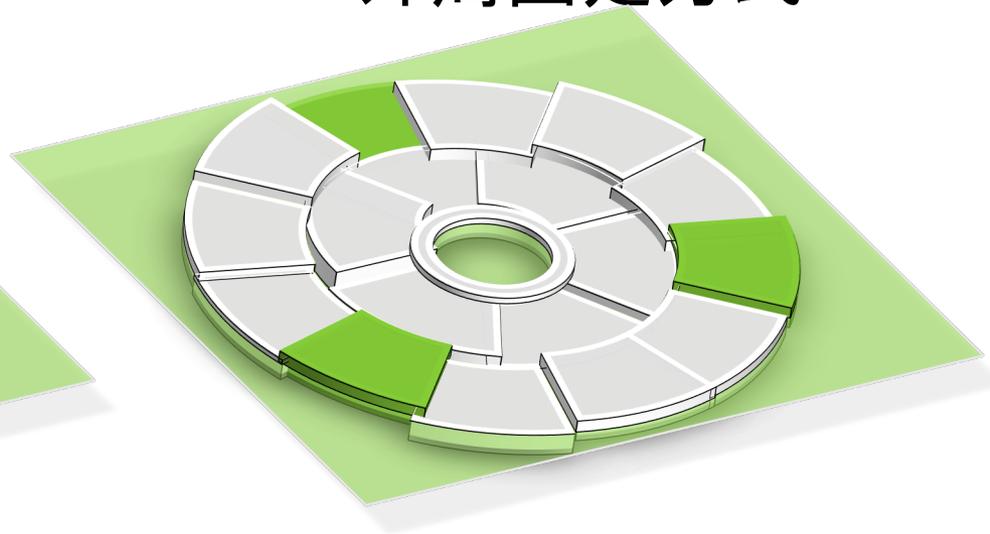
固定方式…基準面を形成する固定3成分の選び方

今回
報告

→ リング固定方式



外周固定方式



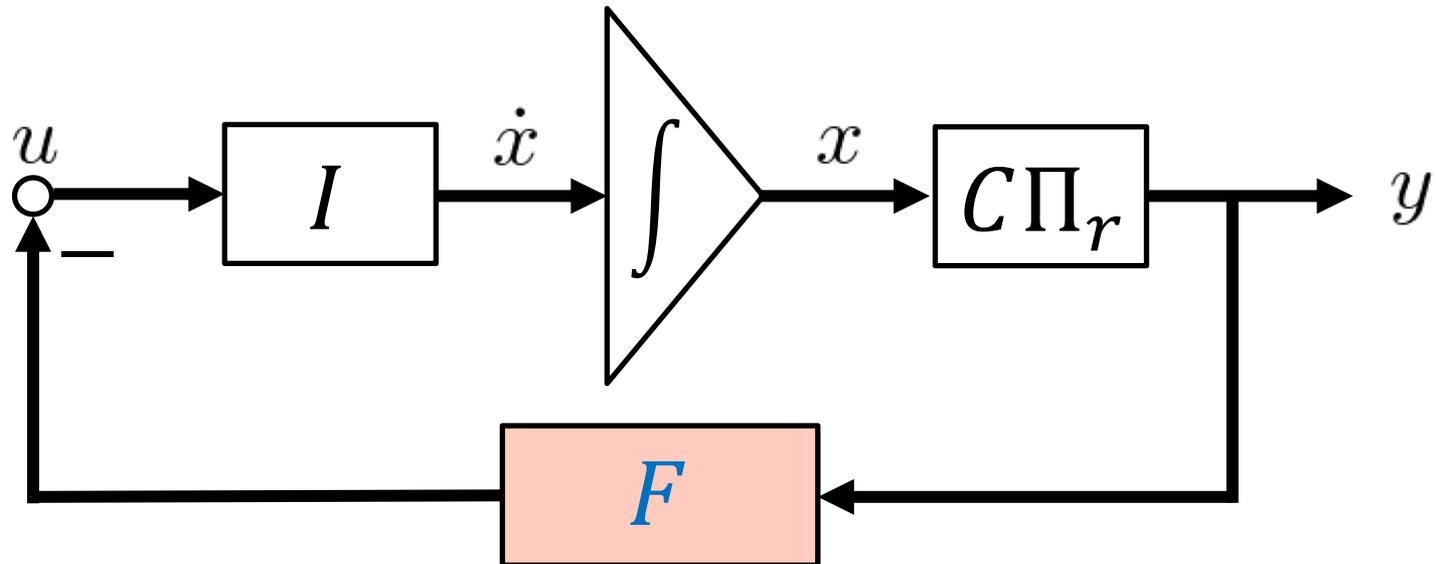
内周リング固定方式の制御システム

状態空間モデル:
$$\begin{cases} \dot{x} = u \\ y = C\Pi_r x \end{cases} \quad \text{出力フィードバック: } u = -Fy$$

x : リング以外の鏡の状態 (54成分)

y : センサ出力 (72成分) u : 速度入力 (54成分)

$C\Pi_r$: 鏡とセンサの幾何学的関係 (72 × 54)



集中制御

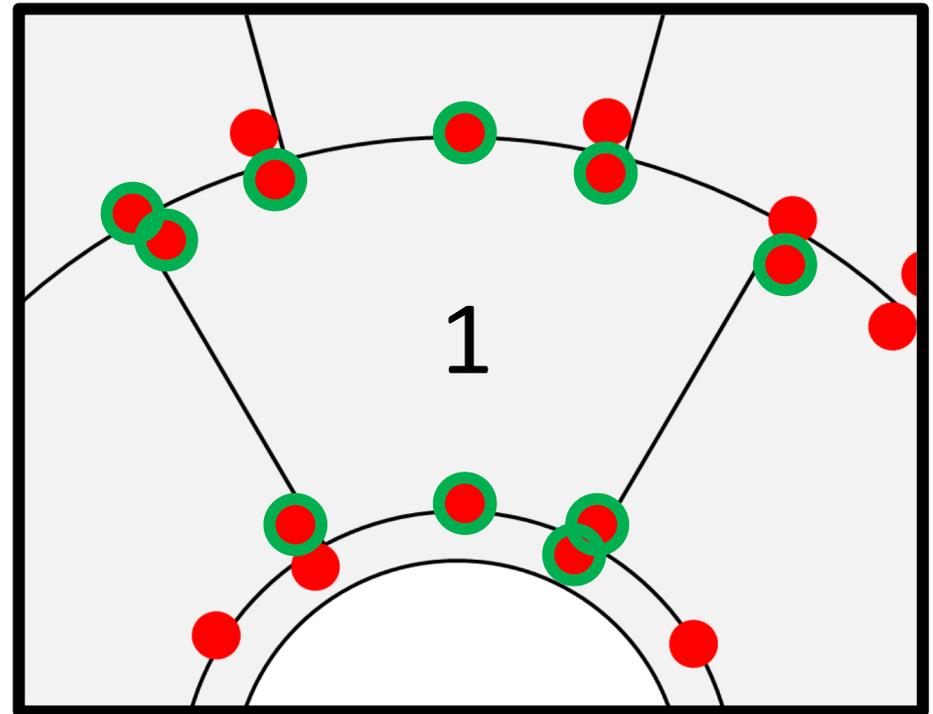
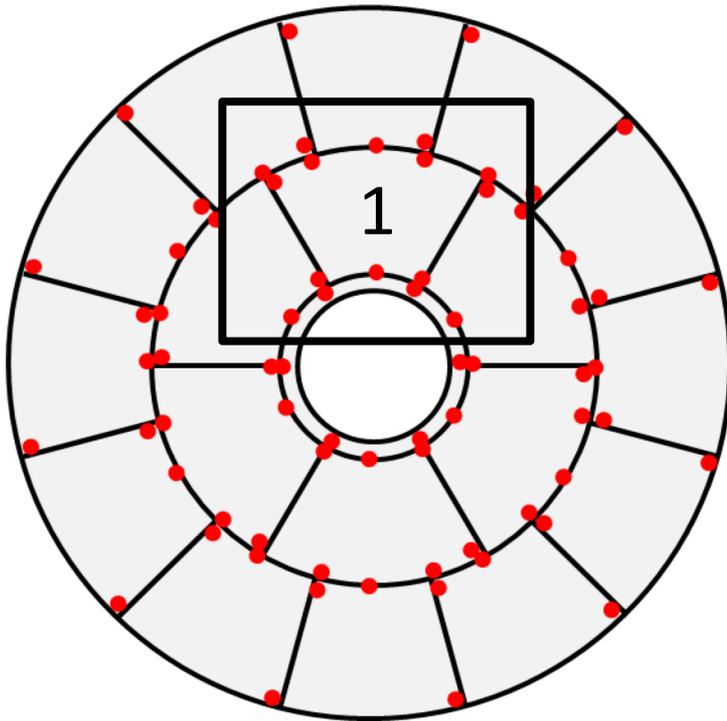
$C\Pi_r$ の特異な構造から状態を再構成

状態 x とセンサ出力 y の関係: $y = C\Pi_r x$

- $C\Pi_r$ は 72×54 の縦長行列
 - センサ出力 y から状態 x を再構成: $x = (C\Pi_r)^\dagger$
- フィードバックゲイン: $F = k(C\Pi_r)^\dagger$
 - k :スカラゲイン

分散制御

局所的なセンサ情報から擬似的に状態を推定



例えば, 分割鏡1の α_1, β_1, z_1 を推定する場合は, 分割鏡1と他の分割鏡間の相対位置を出力するセンサ(図中 ●)のいずれかを用いることを考える.

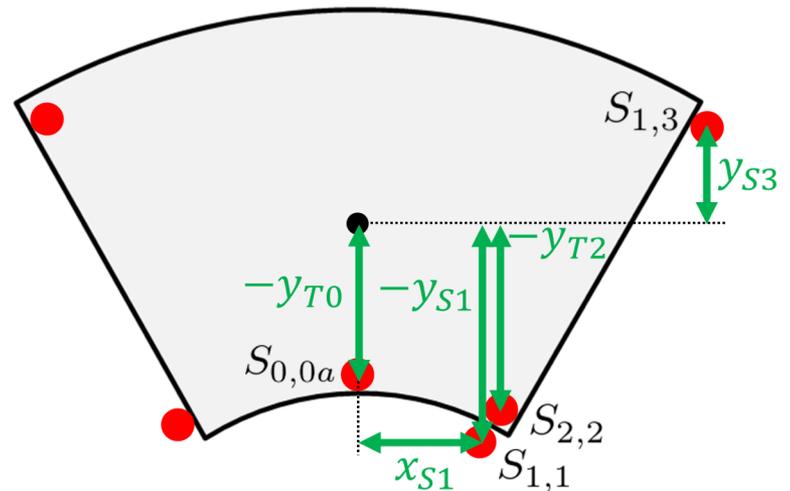
分散制御

局所的なセンサ情報から擬似的に状態を推定

分割鏡1の制御測

α_1, β_1, z_1 の推定値を $\hat{\alpha}_1, \hat{\beta}_1, \hat{z}_1$ とすると,

$$\left[\begin{array}{l} \hat{\alpha}_1 = \frac{-S_{0,0a} - S_{1,1}}{S_{S1}} \\ \hat{\beta}_1 = \frac{-S_{2,2} - S_{1,3}}{-y_{T2} + y_{S3}} \\ \hat{z}_1 = S_{0,0a} \end{array} \right.$$



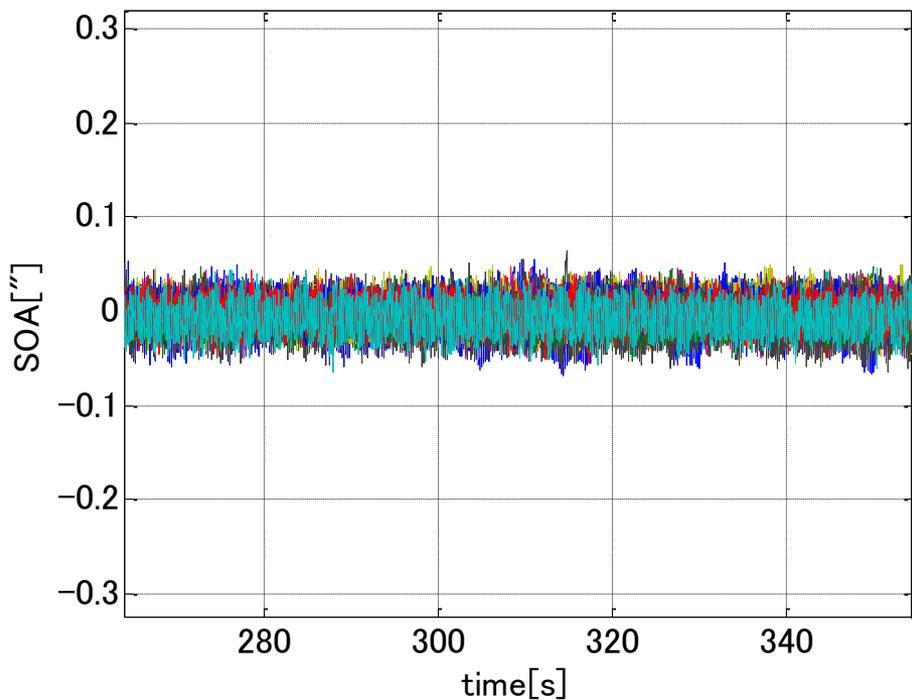
関係式を並べると $u = -Fy$ が導出される.

制御実験

- 定常状態解析
 - 理想鏡面状態を保持するように制御をかけたときの振幅を調査
 - 集中制御と分散制御を比較
- 過渡応答解析(分散制御のみ)
 - 分割鏡4番のみの指令値を
 $\alpha = 10[^\circ], \beta = 0[^\circ], z = 0[^\circ] \rightarrow \alpha = 0[^\circ], \beta = 0[^\circ], z = 0[^\circ]$
にしたときの分割鏡の動きを調査
 - シミュレーションと制御実験の結果を比較

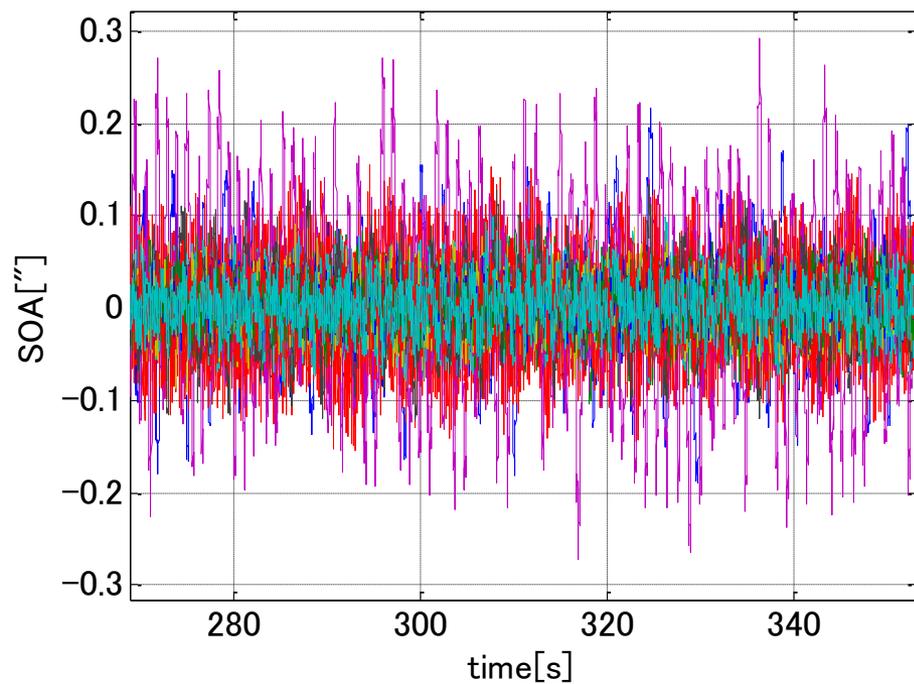
α モードの定常状態解析

α ["]の時間応答



集中制御

α ["]の時間応答(X_F)

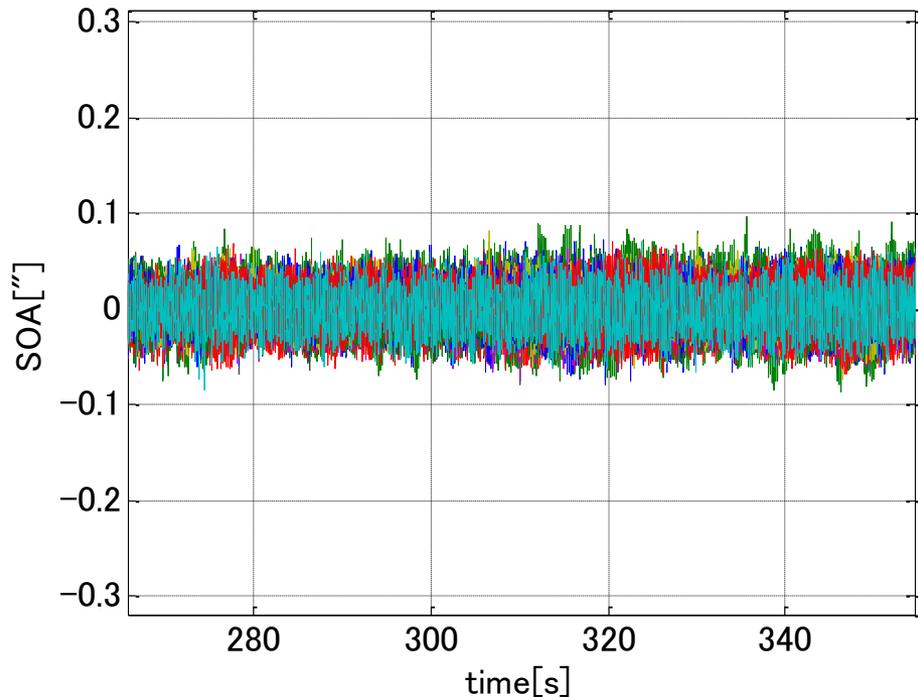


分散制御

$RMS[\alpha]$	集中制御	分散制御
平均 ["]	0.0130	0.0321
標準偏差 ["]	0.0032	0.0225

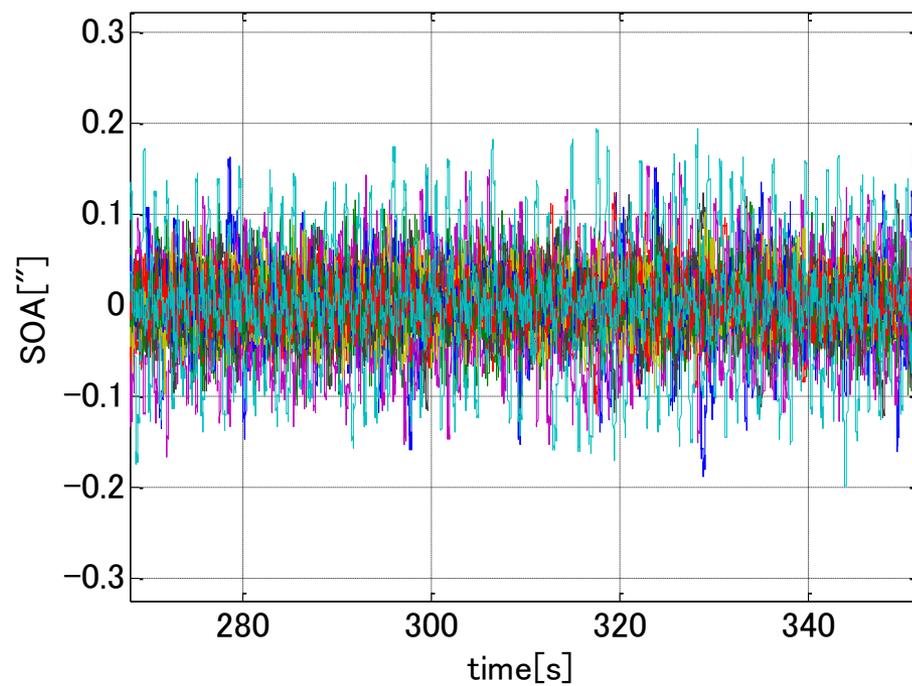
β モードの定常状態解析

β ["]の時間応答



集中制御

β ["]の時間応答(X_F)

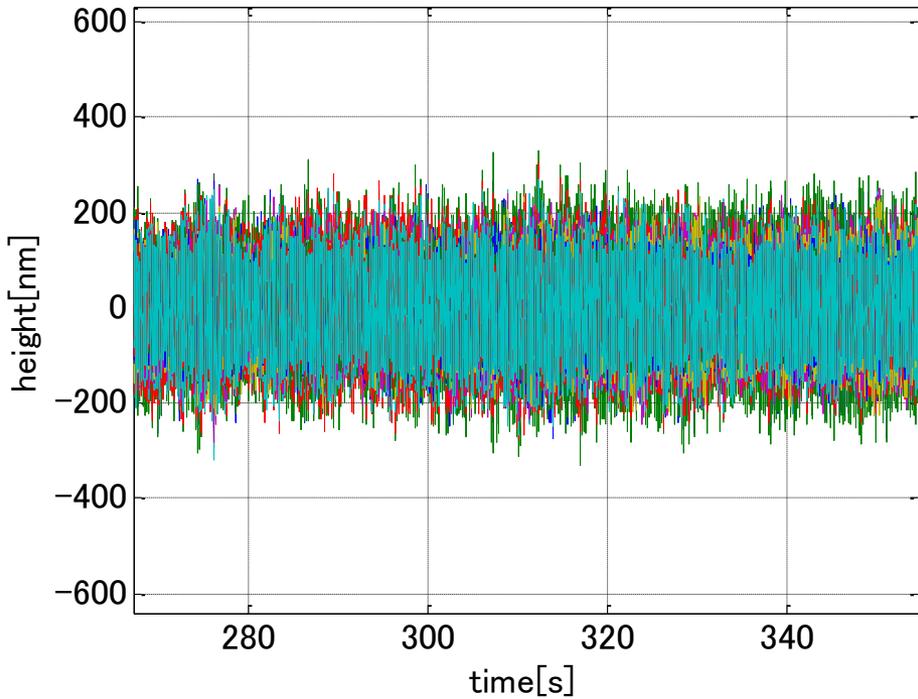


分散制御

$RMS[\beta]$	集中制御	分散制御
平均 [“]	0.0181	0.0324
標準偏差 [“]	0.0042	0.0183

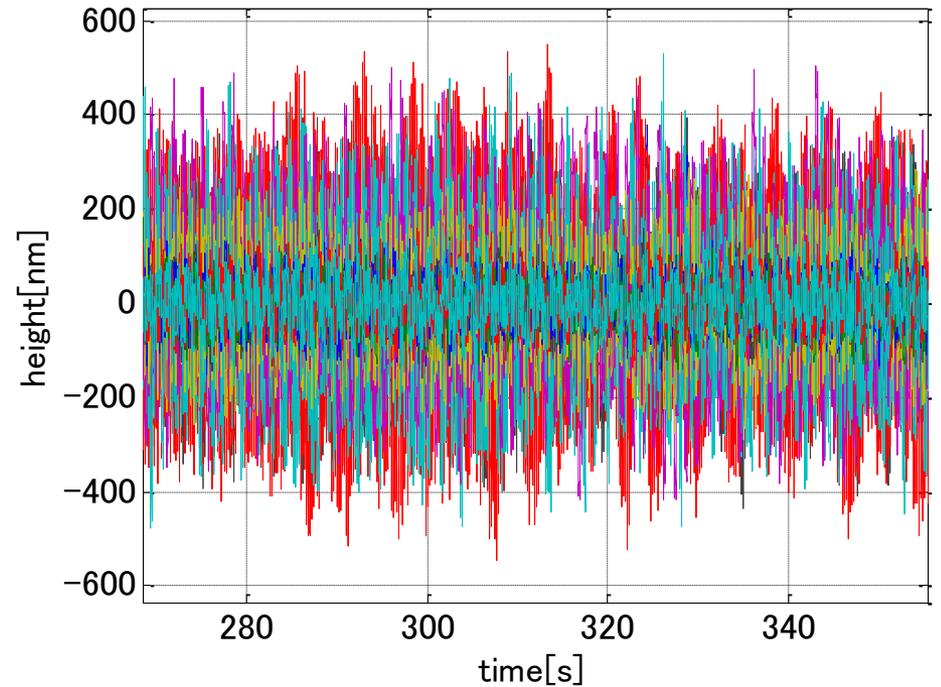
zモードの定常状態解析

z[nm]の時間応答



集中制御

z[nm]の時間応答(X_F)

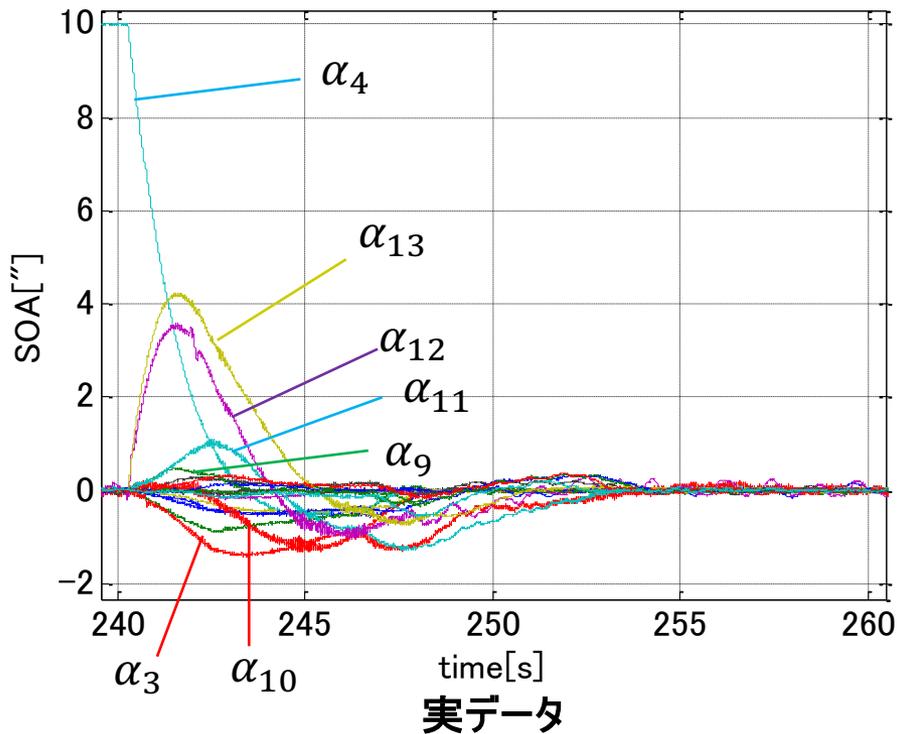


分散制御

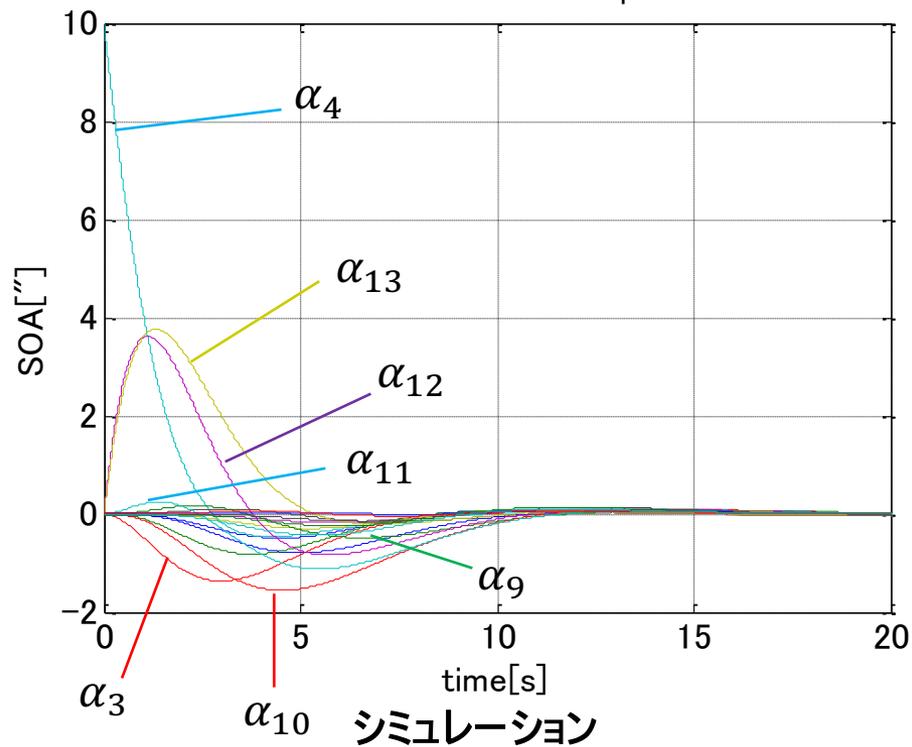
$RMS[z]$	集中制御	分散制御
平均 [nm]	62.2993	81.0441
標準偏差 [nm]	21.5810	61.7301

α モードの過渡応答解析

α ["]の時間応答(X_F)



α ["]の時間応答(X_F)

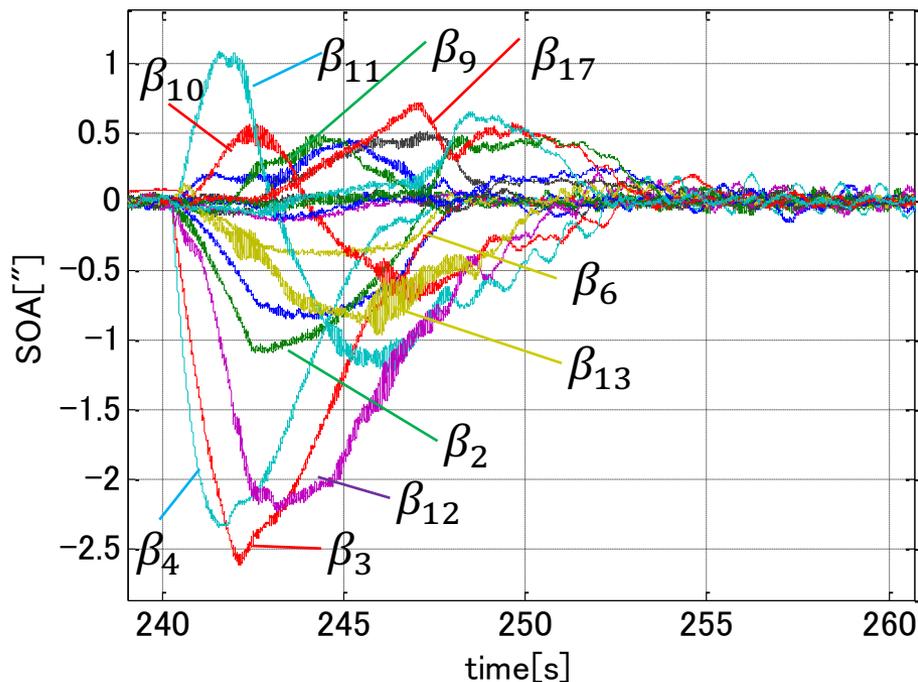


- 実機のデータとシミュレーションの波形はほぼ等しくなった。

	実データ	シミュレーション
収束時間[s]	14.0450	15.3950

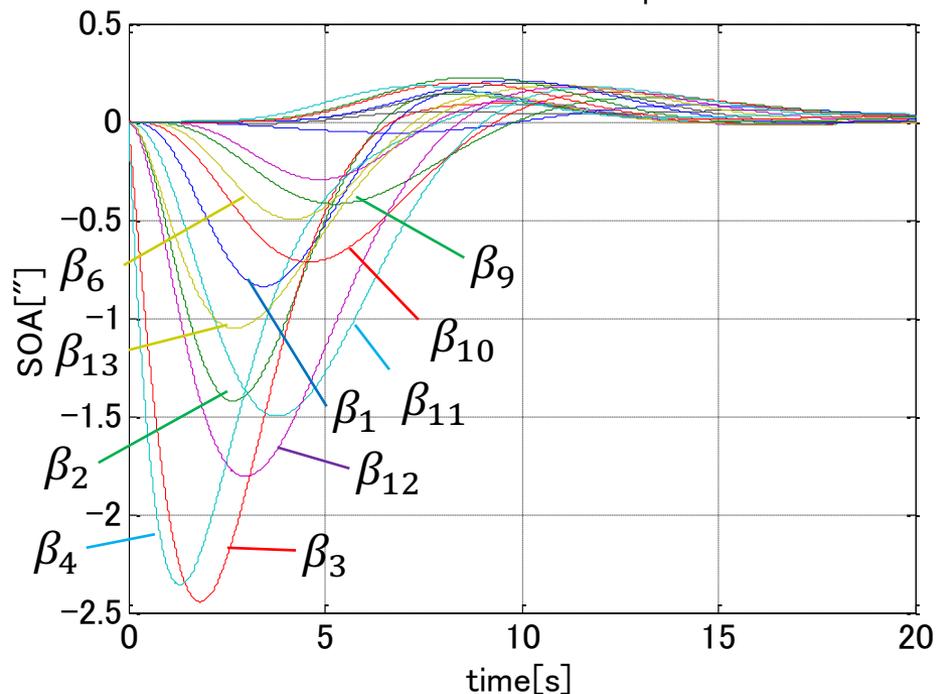
β モードの過渡応答解析

β [""]の時間応答(X_F)



実データ

β [""]の時間応答(X_F)



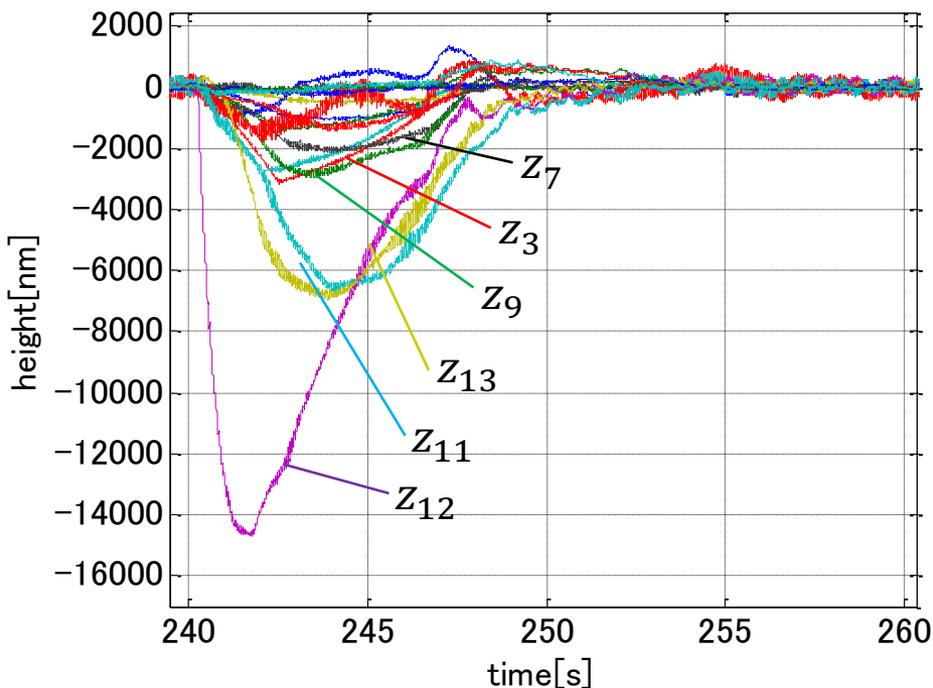
シミュレーション

- 実機のデータとシミュレーションの波形はほぼ等しくなった。

	実データ	シミュレーション
収束時間[s]	13.9300	17.3150

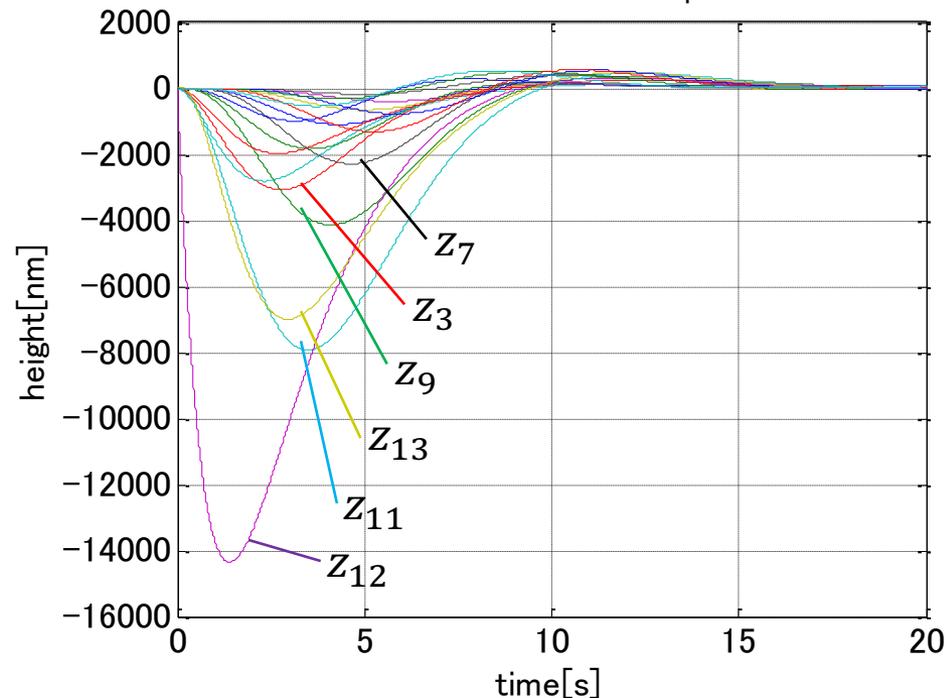
zモードの過渡応答解析

z[nm]の時間応答(X_F)



実データ

z[nm]の時間応答(X_F)



シミュレーション

- 実機のデータとシミュレーションの波形はほぼ等しくなった。

	実データ	シミュレーション
収束時間[s]	13.4200	16.2900

まとめ

- 2つの制御則において制御実験を行った。
 - 定常状態解析では集中制御のほうが振幅が小さくなった。
 - 分散制御もシミュレーション通りに動くことが確認された。（集中制御も同様）
- 5月にも制御実験を行っているが、そのデータの解析を行っていないので、至急取り掛かりたい。