

天文用装置開発と制御工学の連携

金沢大学 軸屋一郎

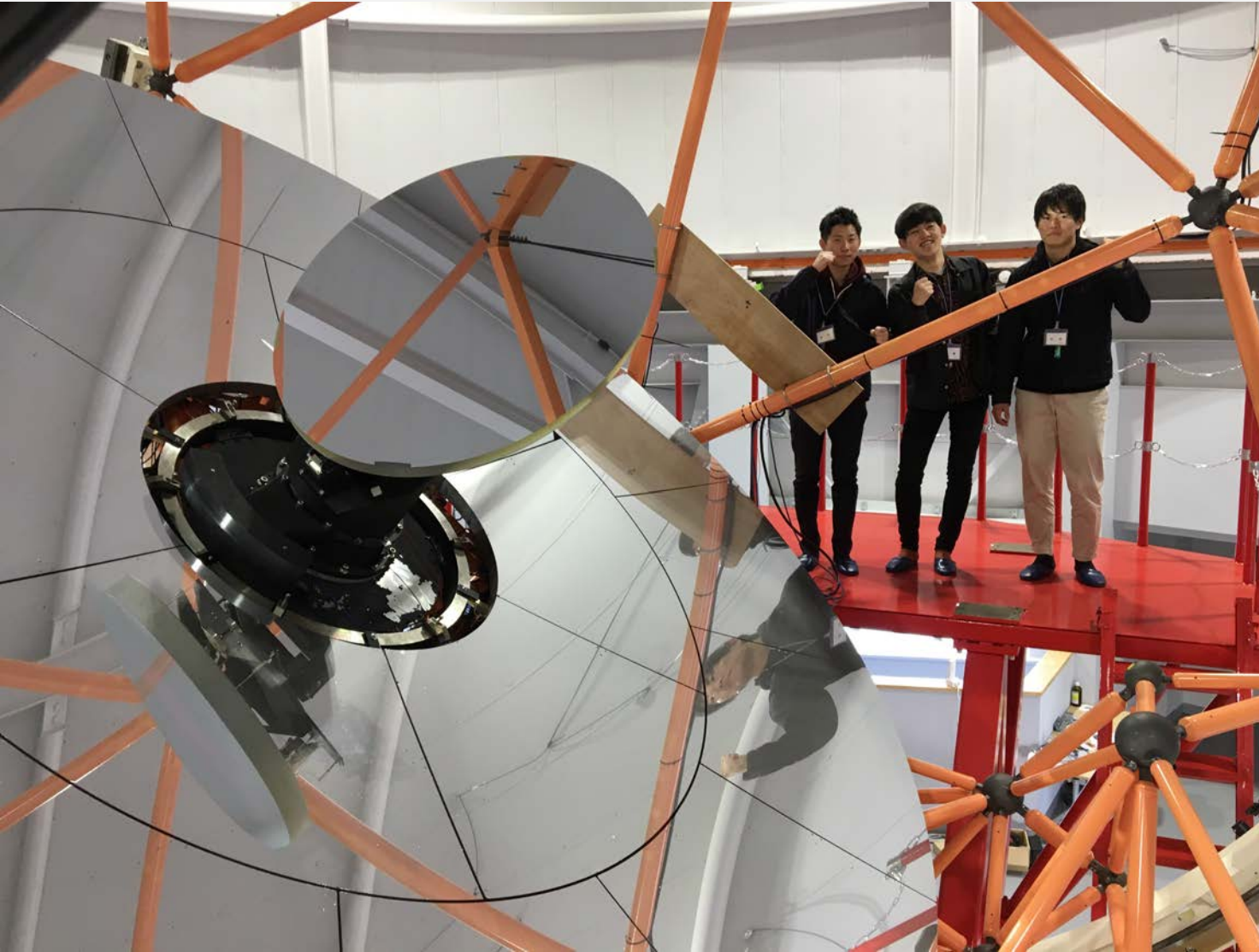


発表概要

- ◆ 自己紹介
- ◆ 装置開発と制御工学
 - ◆ 分割主鏡制御@せいめい望遠鏡
 - ◆ チョッパー制御@MIMIZUKU.TAO
- ◆ 思うこと…
- ◆ おわりに

分割主鏡@せいめい望遠鏡

= 6 内周セグメント + 12 外周セグメント



分割主鏡制御系

@京都大学

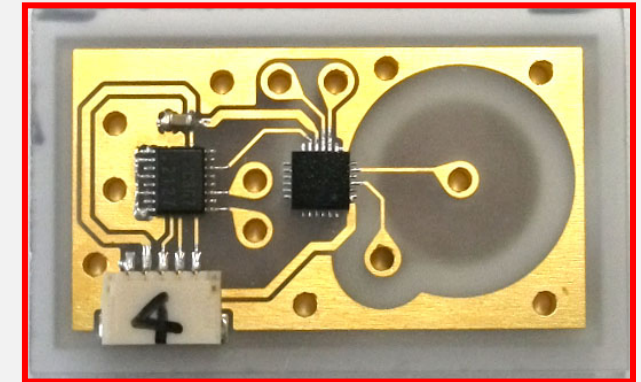
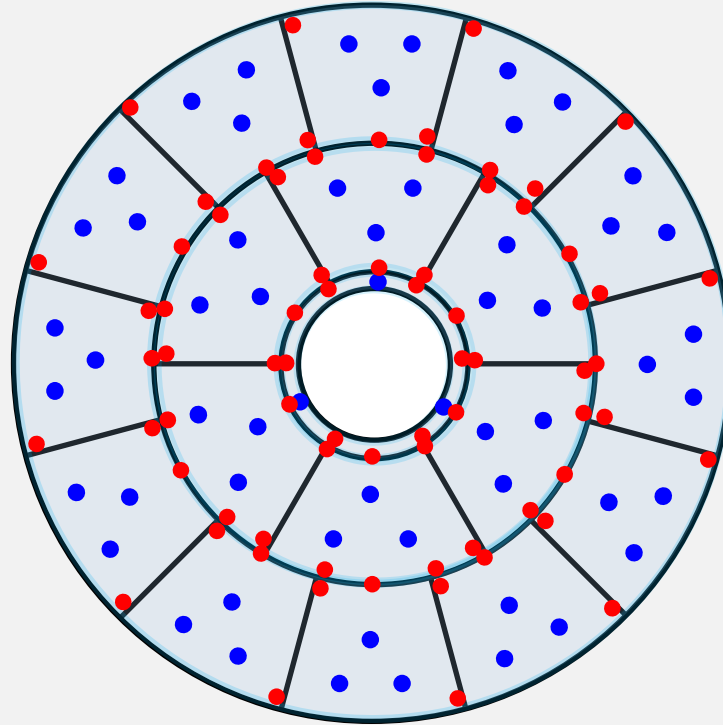
鏡を架台に固定せずに
二軸回転・一軸並進の
3自由度を残す

57自由度駆動

制御残差 rms 100nmの
オーダーでは望遠鏡架台
のたわみや風圧の影響を
無視できない

● 57 アクチュエータ

● 72 エッジセンサ

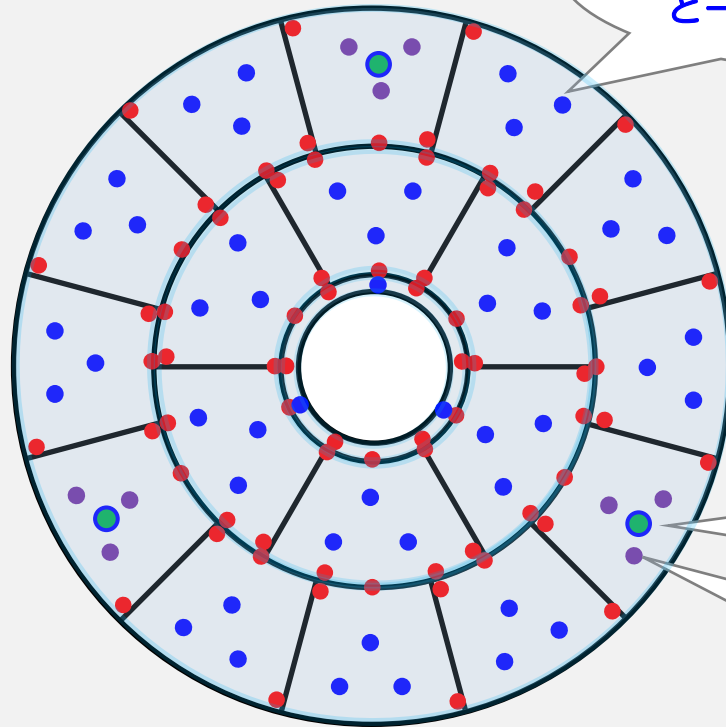


相対距離センサ

鏡間の相対位置を計測可能
鏡全体の絶対位置は計測不能

分割主鏡制御における自由度

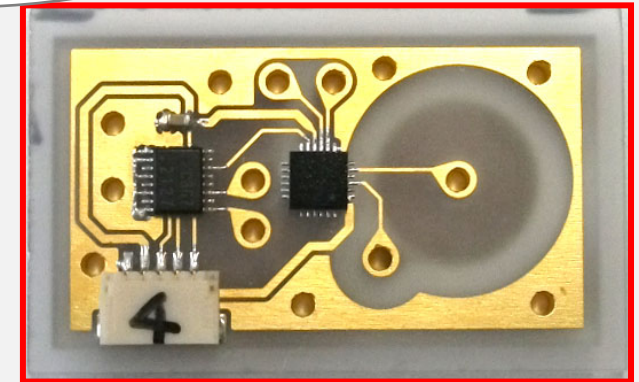
- 3 自由度を仮想的に固定して理想鏡面形状を構成
- 54 自由度が理想鏡面形状からの変位を表す



エッジセンサ72個の計測値からアクチュエータ57個の駆動量を毎時刻決定
組み合わせは $72 \times 57 = 4104$ 通り

$3 \times 19 - 3 = 54$ 自由度を制御

セグメントを背面から
三点で押して二軸回転
と一軸並進を制御



仮想固定点

$1 \times 3 = 3$ 自由度を固定

アクチュエータ作用点
が平面上に拘束される

制御工学的アプローチ

フィードバック制御の基礎方程式

$$\frac{dx}{dt} = u, \quad y = Cx,$$

ただし x は54自由度, u はアクチュエータ駆動量, y はセンサ出力, C は作用行列を表す.

集中制御則

$$u = -kC^+y,$$

ただし k はスカラー定数, C^+ は C の擬似逆行列を表す.

閉ループ系を解析すると指数安定性が確認できる.

$$\frac{dx}{dt} = -kx \Rightarrow x(t) = e^{-kt}x(0)$$

次に、制御問題を定式化
(評価関数, 性能指標)

まず、制御対象
のモデルを作る

平衡点(力の釣り合い)
ではなく、過渡特性
(平衡点への収束具合)
を議論する

自動制御：関数で書
き下してプログラム
実装することにより
制御演算を自動化

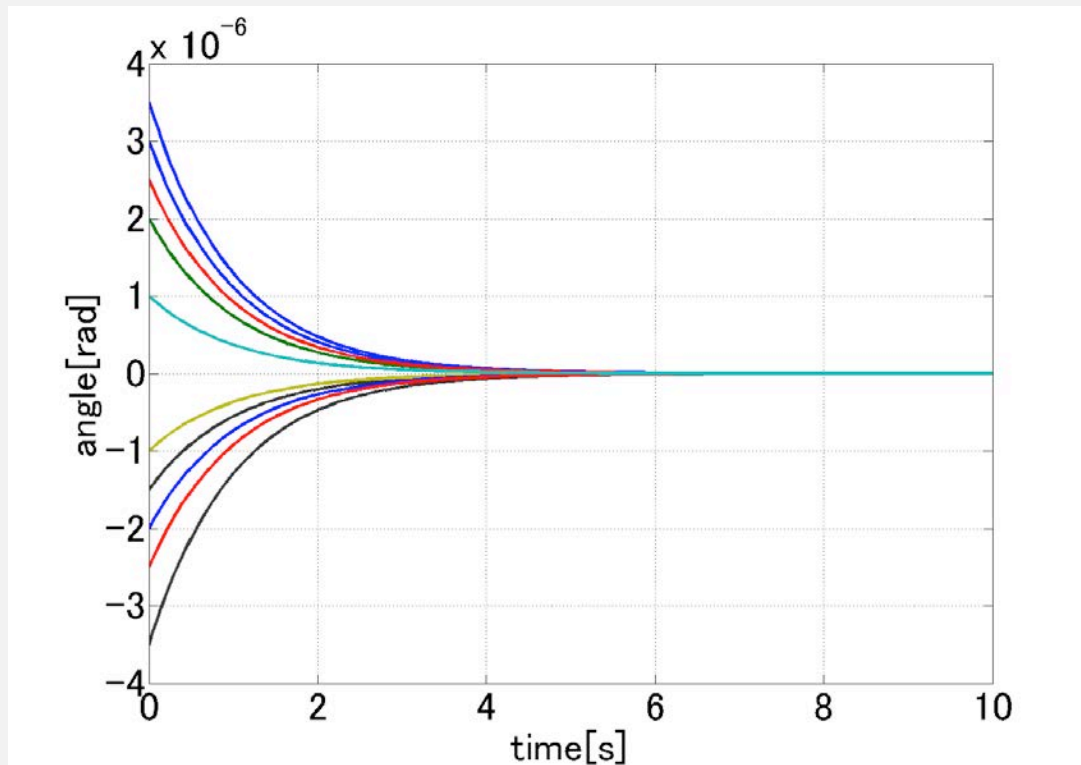
安定性：うまく
動作する理論的
保障を与える

制御性能を数理
的に検証

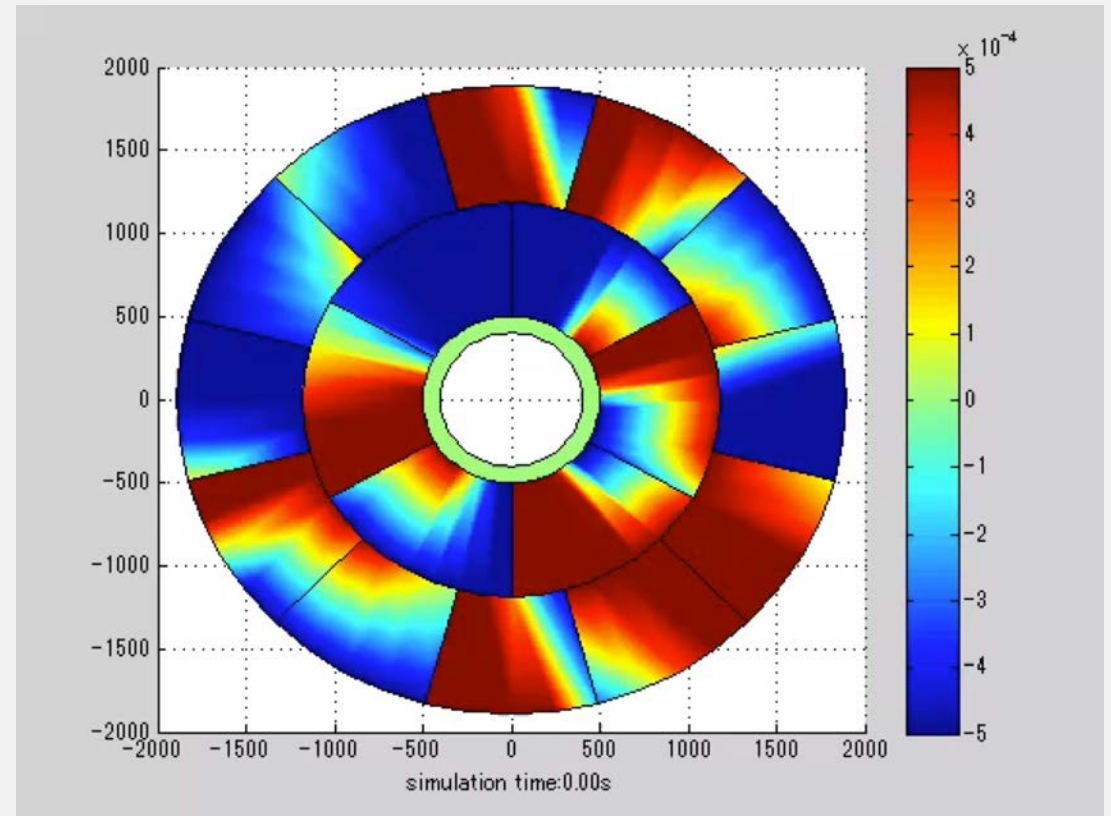
シミュレーション事例@集中制御則

主候補：
全てのセンサ情報を統合
してアクチュエータ駆動

@金沢大学



Exponential Convergence of Tilt Angles

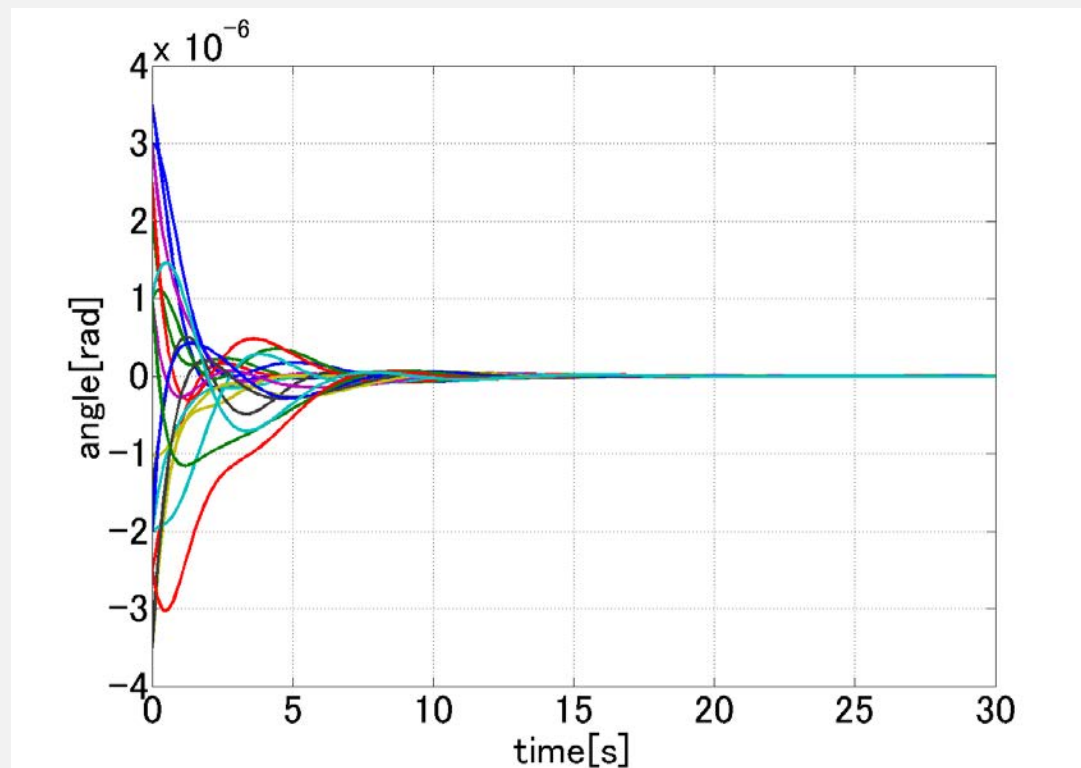


Red-Green-Blue: Out-of-plane displacements

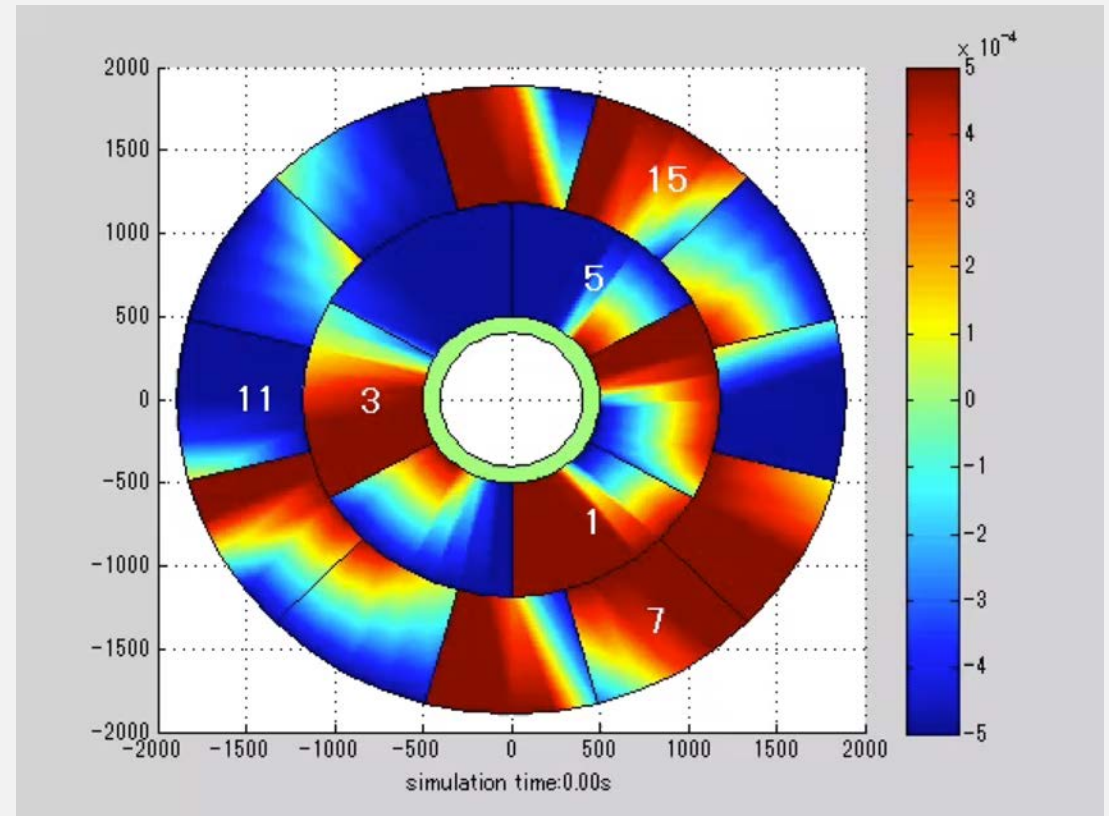
シミュレーション事例@分散制御則

バックアッププラン：
局所的なセンサ情報から
アクチュエータ駆動

@金沢大学



Exponential Convergence of Tilt Angles



Red-Green-Blue: Out-of-plane displacements

研究成果

Thank you so
much !!!

48-1



Publ. Astron. Soc. Japan (2020) 72 (3), 48 (1–11)

doi: 10.1093/pasj/psaa036

Advance Access Publication Date: 2020 May 22



The Seimei telescope project and technical developments

Mikio KURITA,^{1,2,*} Masaru KINO,³ Fumihide IWAMURO,¹ Kouji OHTA,¹
Daisaku NOGAMI,¹ Hideyuki IZUMIURA,⁴ Michitoshi YOSHIDA ⁵,
Kazuya MATSUBAYASHI,³ Daisuke KURODA,³ Yoshikazu NAKATANI,³
Kodai YAMAMOTO,¹ Hironori TSUTSUI,³ Masatsugu IRIBE,⁶ Ichiro JIKUYA,⁷
Hiroshi OHTANI,^{1,†} Kazunari SHIBATA,⁸ Keisuke TAKAHASHI,² Hitoshi TOKORO,⁹
Toshinori MAIHARA,¹⁰ and Tetsuya NAGATA¹

分割主鏡制御を定式化し
てシミュレーション評価
した制御工学の論文

制御試験+性能評価
を論文化する予定

定式化を精緻化
@SPIE Astro.2020

〔計測自動制御学会論文集〕
Vol.55, No.8, 485/490 (2019)

せいめい望遠鏡の分割主鏡制御の概念設計

軸 屋 一 郎*・上 野 幸 紀*・木 野 勝**

栗 田 光樹夫**・山 田 克 彦***

Conceptual Design for Control System of Segmented Primary Mirror in SEIMEI Telescope

Ichiro JIKUYA*, Koki UENO*, Masaru KINO**,
Mikio KURITA** and Katsuhiko YAMADA***

A segmented mirror system is essential to realize extremely large telescopes. In this paper, we discuss the conceptual design for the control system of the segmented primary mirror in the SEIMEI telescope employing 18 segments, 72 sensors, and 54 actuators. Two types of control algorithms, Centralized Control System (CCS) and Distributed Control System (DCS), are presented. CCS drives all the segments by integrated information of all sensors and DCS drives each segment by individual information of local sensors, and they are expected to play complementary roles. The effectiveness of CCS and DCS are demonstrated by numerical simulations.

Key Words: active optics, position control, vibration control, telescope, segmented mirror

Open-Loop System Identification of MIMO Integrator Model

Ichiro JIKUYA^{*}, Masaru KINO^{**}, and Katsuhiko YAMADA^{***}

Abstract: This paper considers the open-loop system identification of a multi-input multi-output (MIMO) integrator model which is a multiplication of a constant matrix, called the action matrix, and the integrator. Our problem is to estimate the action matrix from the measured input and output data. The estimation algorithm is proposed by removing trends from the numerically integrated input and output so that the effects of input and output disturbances are eliminated. The proposed method is applicable to the basic scenario (constant input and output offsets), which is similar to previous studies, and the non-constant output offset; however, it is not applicable to the non-constant input offset. The discussion in this paper indicates the essential difficulties in the open-loop system identification with the integrator.

Key Words: system identification, parameter estimation, multi-input multi-output, integrator.

現在の状況

- ◆ 分割主鏡制御は無事に実機実装されて天体観測に至っている
- ◆ 補償光学を想定するともう少し性能向上したい

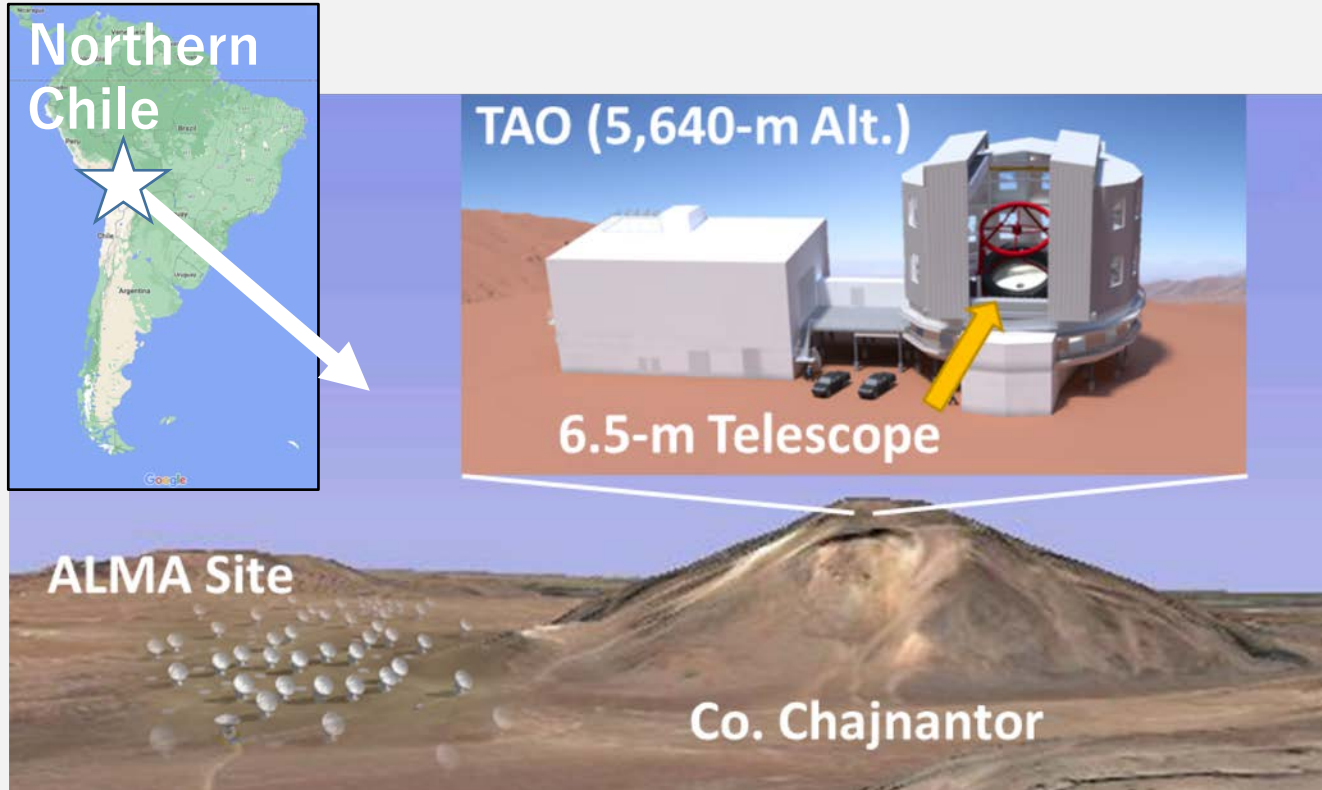
制御残差 rms 100nm $\Rightarrow$ rms 50nm

発表概要

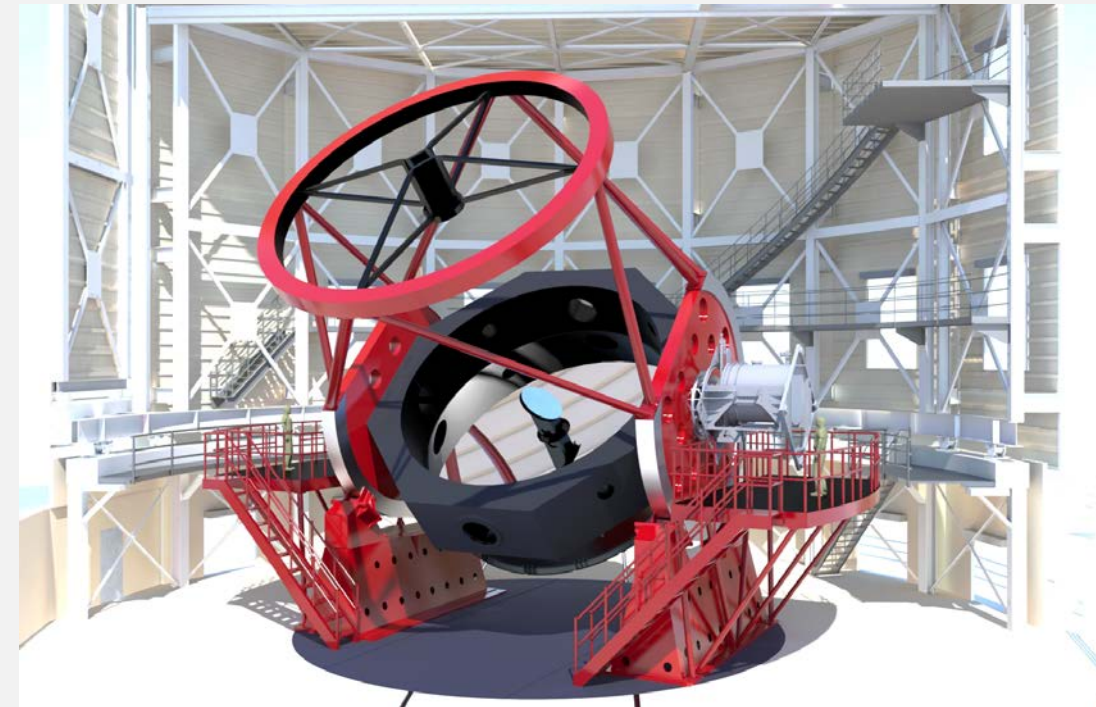
- ◆ 自己紹介
- ◆ 装置開発と制御工学
 - ◆ 分割主鏡制御@せいめい望遠鏡
 - ◆ チョッパー制御@MIMIZUKU.TAO
- ◆ 思うこと…
- ◆ おわりに

TAO project

The University of Tokyo Atacama Observatory



Construction site of TAO.



TAO 6.5-m telescope.

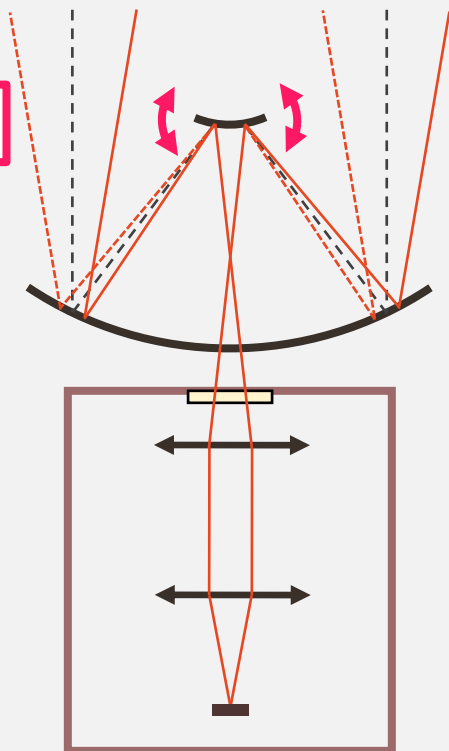
MIMIZUKU

Mid-Infrared Multi-field Imager for gaZing at the UnKnown Universe



Chopping

副鏡チョッピング@すばる

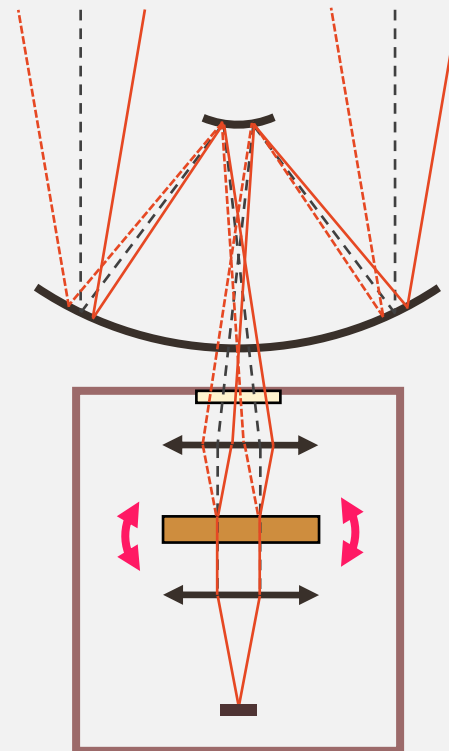


副鏡

主鏡

装置

検出器

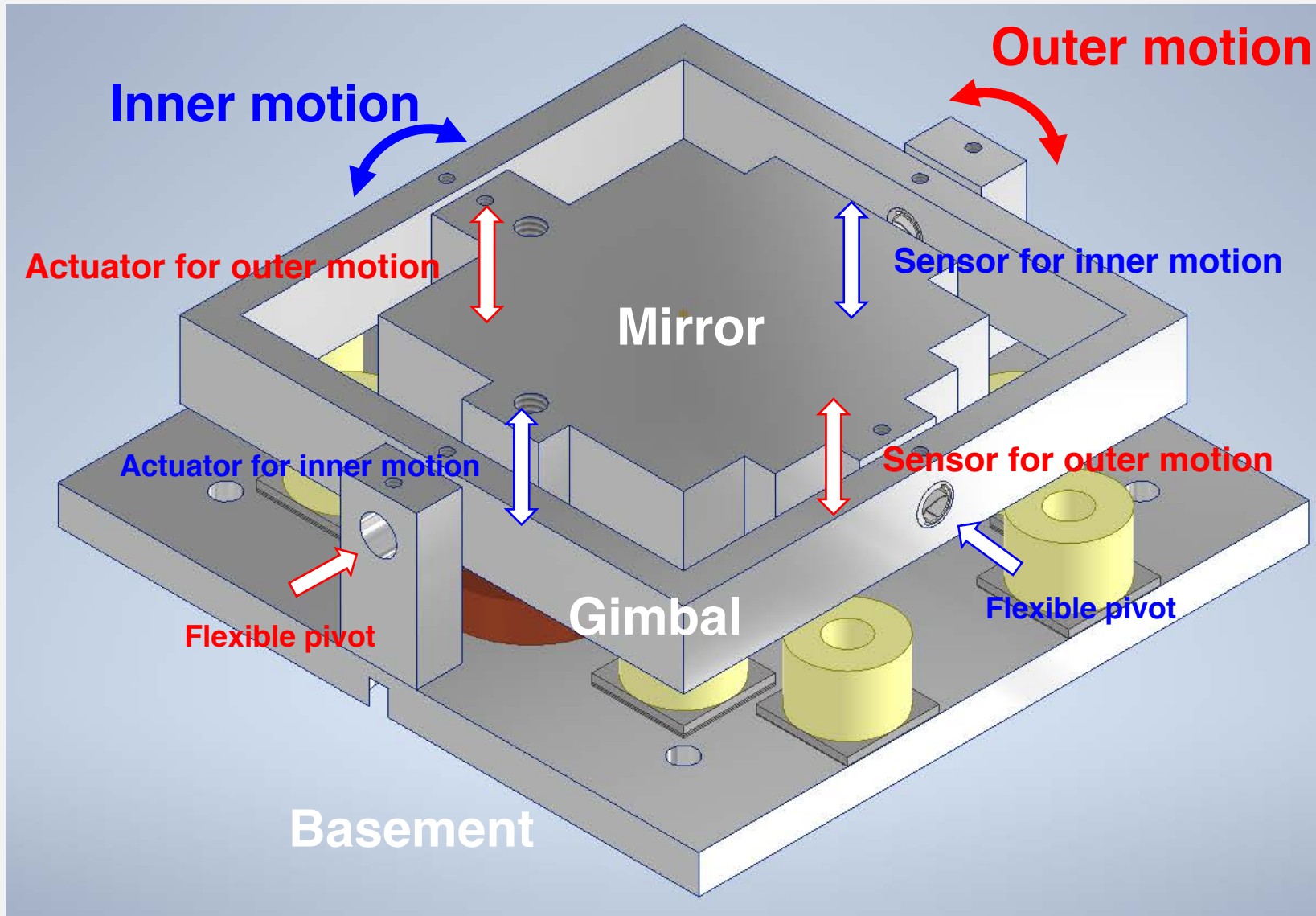


冷却チョッピング@TAO

➡ TMTへの展開

チョッパー試作機

@岡山理科大学

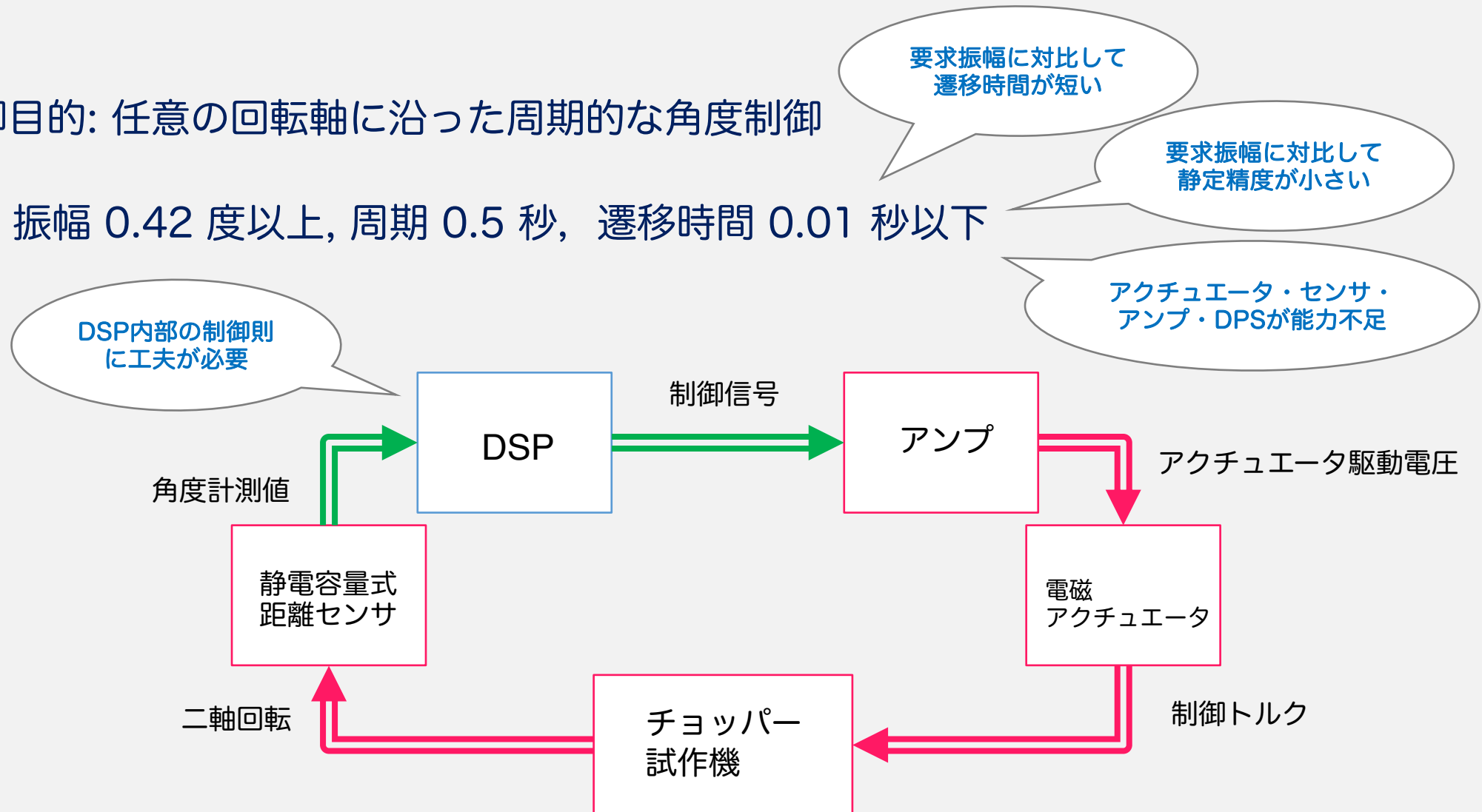


制御工学的アプローチ

@金沢大学

◆ 制御目的: 任意の回転軸に沿った周期的な角度制御

◆ 振幅 0.42 度以上, 周期 0.5 秒, 遷移時間 0.01 秒以下



現在の状況

- ◆ 試作機 1 号設計完了@岡山理科大学
- ◆ 常温試験基礎検討完了@金沢大学
- ◆ 低温試験中@東大天文センター

発表概要

- ◆ 自己紹介
- ◆ 装置開発と制御工学
 - ◆ 分割主鏡制御@せいめい望遠鏡
 - ◆ チョッパー制御@MIMIZUKU.TAO
- ◆ 思うこと…
- ◆ おわりに

おわりに

- ◆ 理学と工学が分離しているのは勿体ないと思います
- ◆ 仲間探しが重要、でも仲間探しの一般論はないと思います
- ◆ 制御工学が関係するテーマならご相談ください

謝辞：山田克彦先生（大阪大学）、木野様・栗田様・京都大学の皆様、本田様・上塚様・宮田様・東京大学の皆様、一緒に研究を進めてくれた学生さんに深く感謝いたします。山中様、OISTERの関係者の皆様、講演の機会を頂きありがとうございました。