



# CTA大口径望遠鏡用 分割鏡制御システムの開発状況

深見哲志、稲田知大、加賀谷美佳、黒田隼人、齋藤隆之、手嶋政廣、中嶋大輔、  
林田将明 (東大宇宙線研)、奥村暁(名大ISEE)、  
片桐秀明、吉田龍生(茨城大理)、千川道幸、李健(近畿大理工)、  
野田浩司(IFAE)、山本常夏(甲南大理工)、他CTA-Japan Consortium

# CTA大口徑望遠鏡

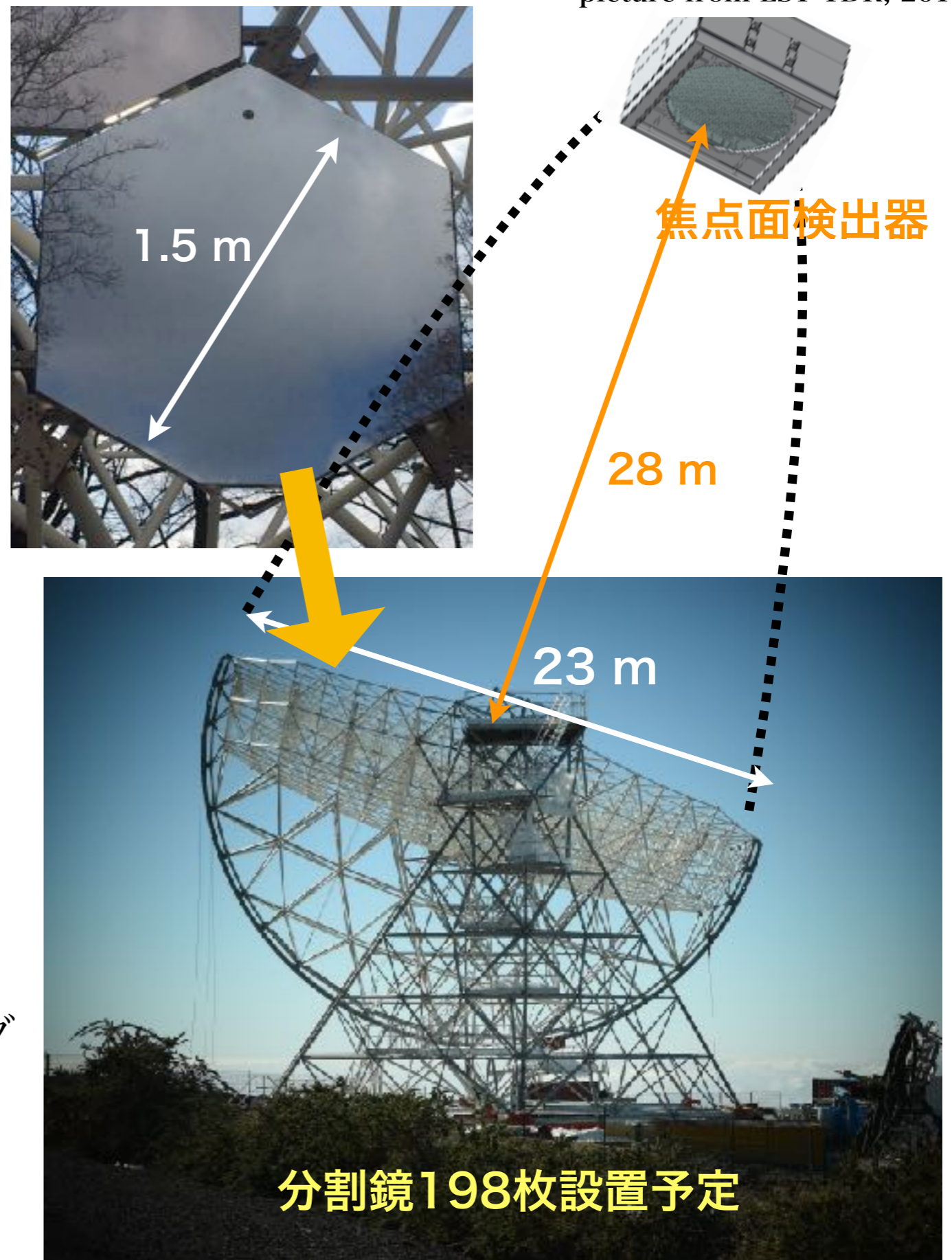
構造体完成、2018年内に初観測予定

## 望遠鏡全体の仕様

- 放物面鏡 (分割鏡198枚で構成)
- 口径 : 23 m (反射面積 : ~400 m<sup>2</sup>)
- 焦点距離 : 28 m
- 20秒で180°回転可能 (突発天体に対応)

## 分割鏡の仕様

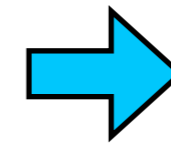
- 球面鏡 (曲率半径 : 56 - 58.4 m)
- 対辺距離 : 1.5 m (表面積 : 2.0 m<sup>2</sup>)
- 重さ ~50 kg
- アルミハニカム構造、鏡面5層コーティング
- 集光精度(仕様値) : 16.7 mm @ 28 m  
(焦点面pixelの1/3)



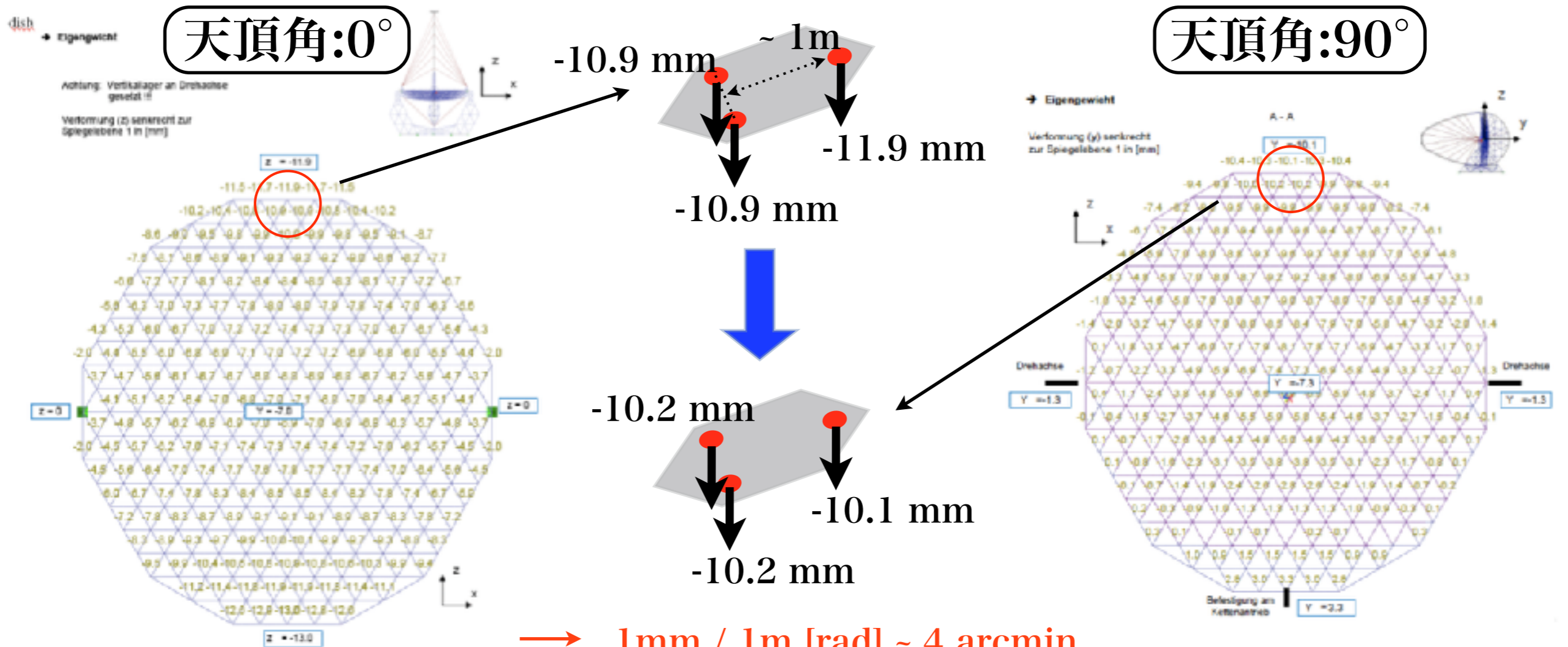
# AMC (Active Mirror Control) システム

- 分割鏡に生じる方向の歪み (最大4分角程度)

- 望遠鏡の自重による天頂角に依存した構造体の歪み
- 強風、気温による構造体の変形



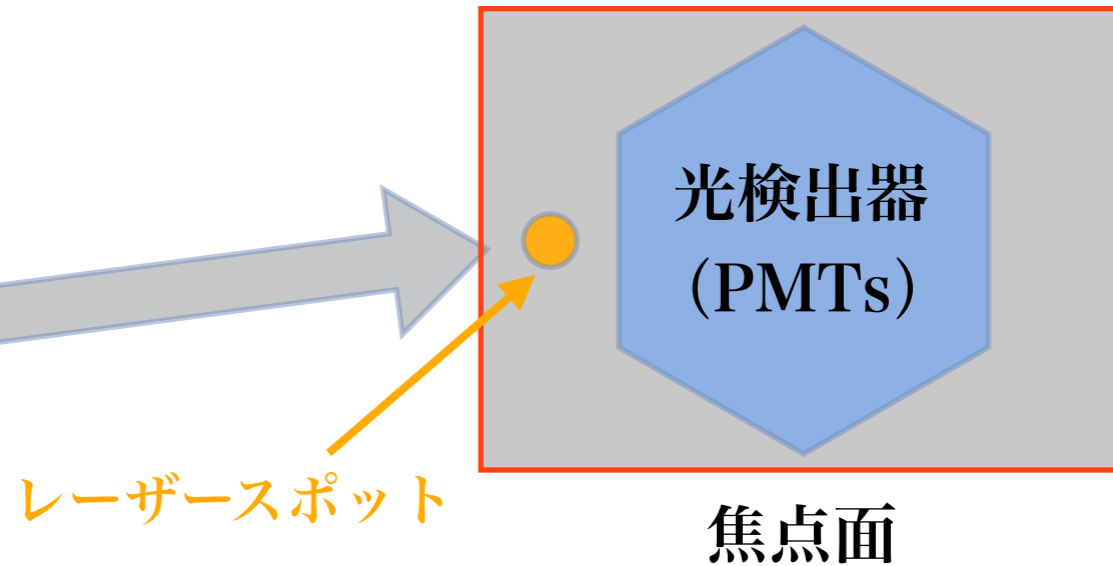
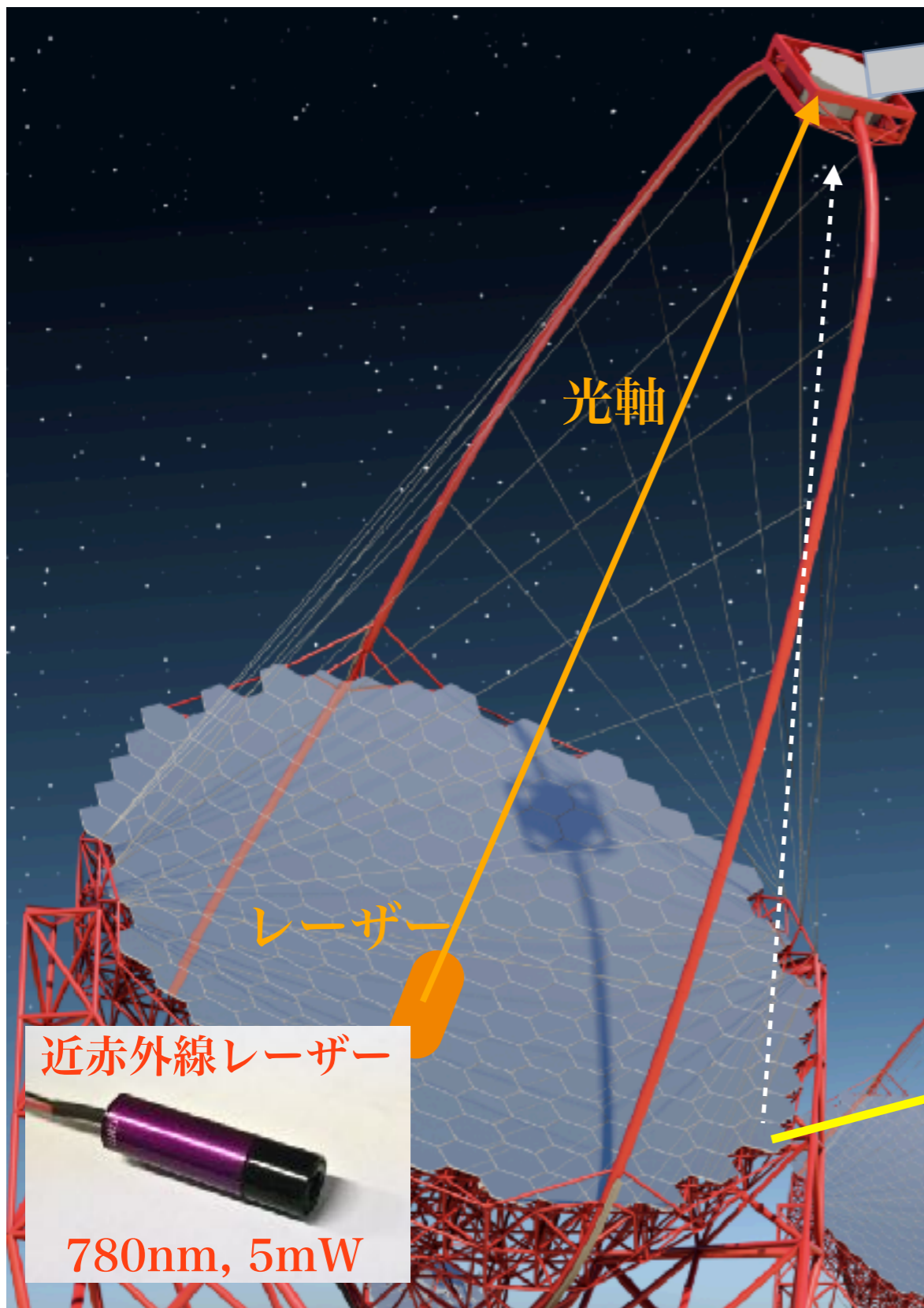
予想できない鏡面の変形を  
観測中リアルタイムで制御



Baseline Design Document for LST, 2013



# 分割鏡方向補正過程



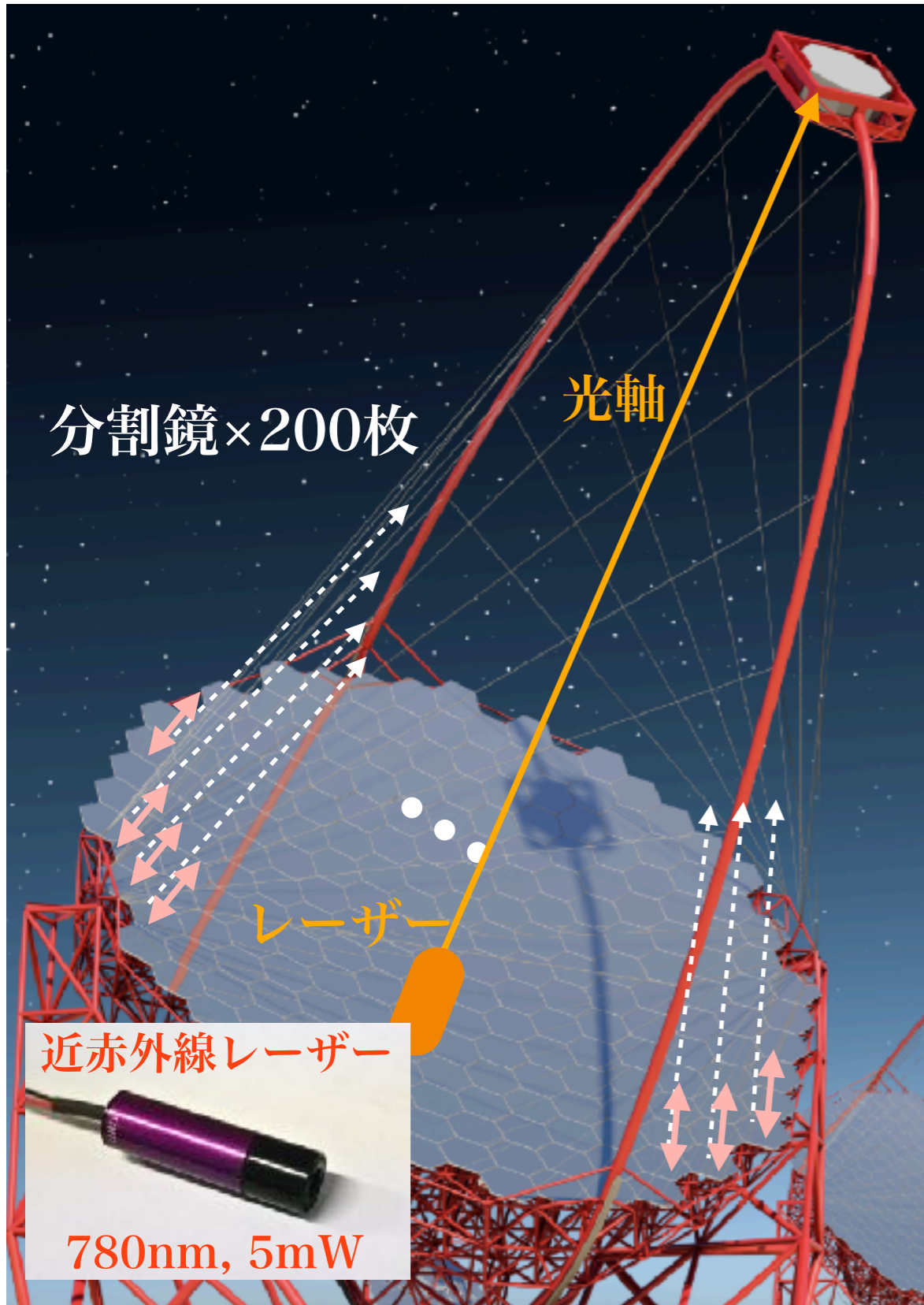
- ① 光軸の定義  
望遠鏡中心から焦点面にレーザーを照射する
- ② 各分割鏡の正しい方向の記憶  
分割鏡に固定されたカメラで光軸スポットを撮影



- 読み出しレンジ : 8 bit
- 1280 × 960 pixel
- 使用レンズ: f=25 mm



# 分割鏡方向補正過程

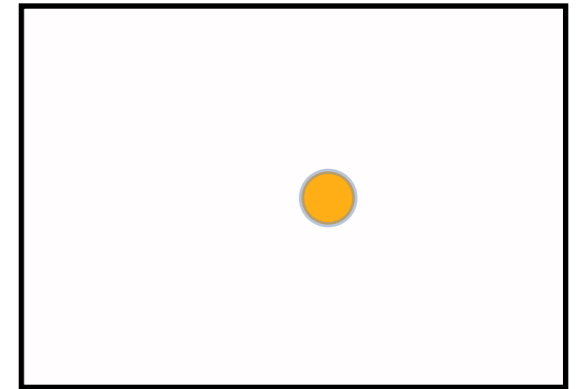
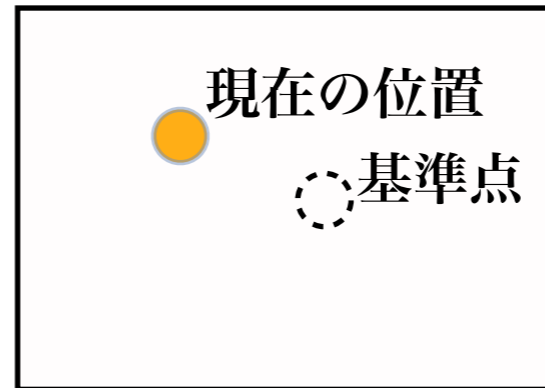


## ② 分割鏡の方向のずれ検出

光軸スポットの画角内での基準点とのずれを計算  
(基準点は明るい星の観測により校正する)

## ③ 分割鏡方向の補正

スポットずれに対応した長さだけアクチュエータを伸縮



カメラの焦点面画像



- 日本とチューリッヒ大の共同生産
- 5  $\mu$ mの精度で伸縮可能

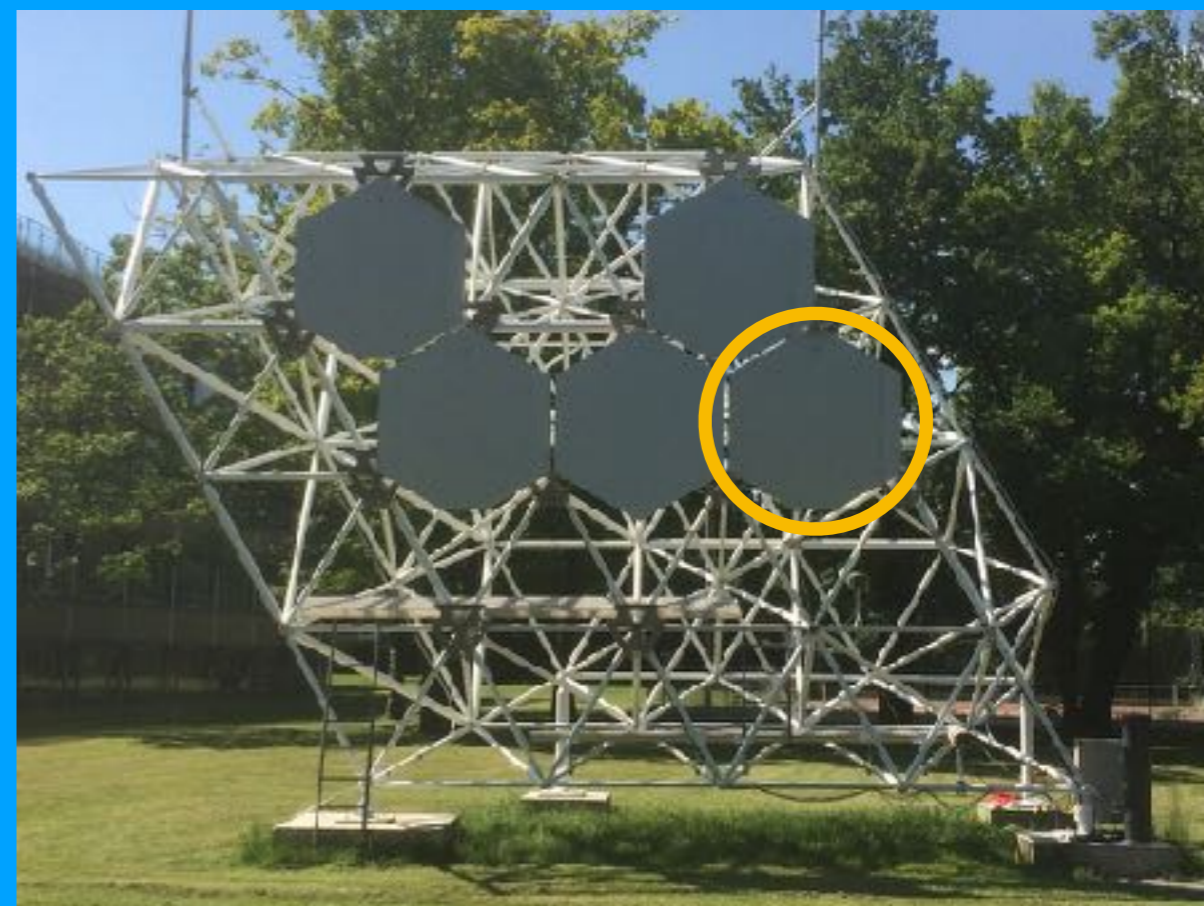
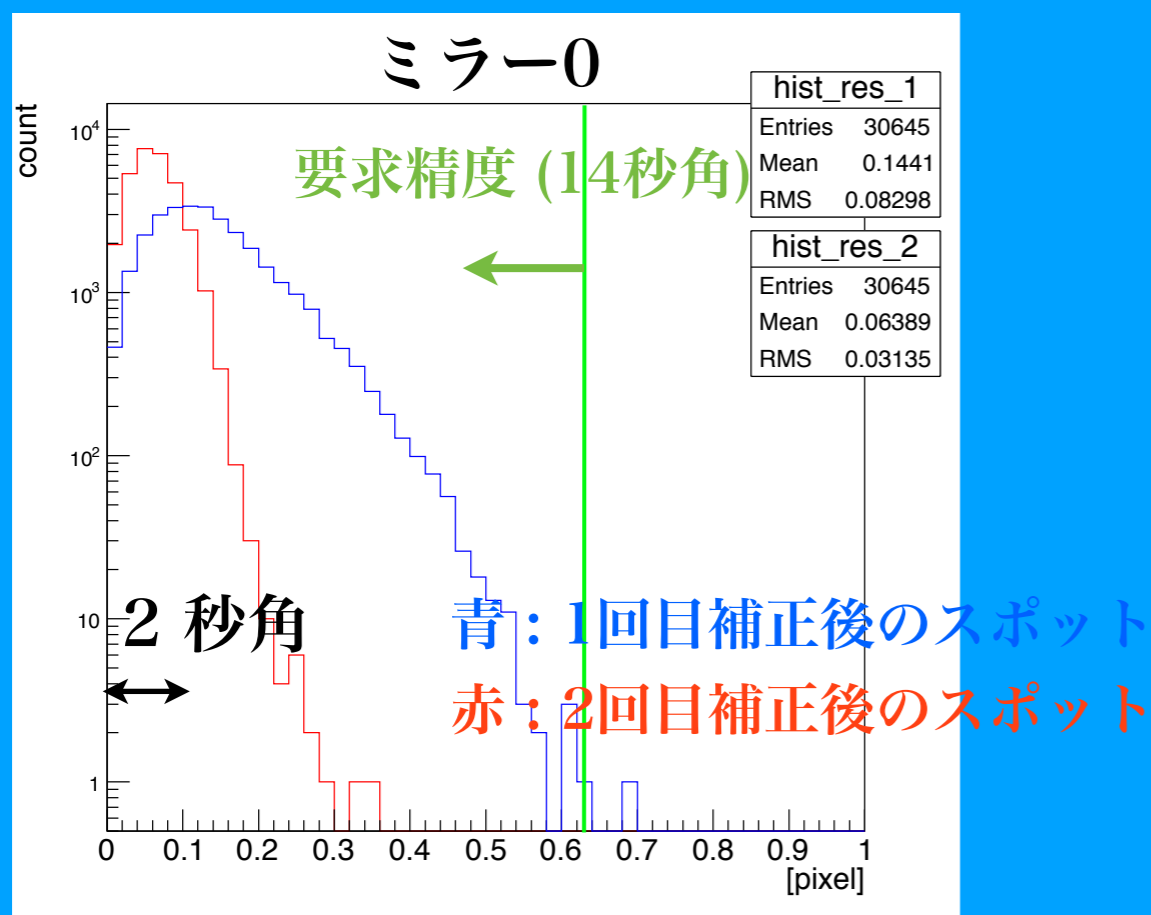
(① ~ ③) × 200枚繰り返し



# 分割鏡方向補正過程

- ② 分割鏡の方向のずれ検出  
光軸スポットの画角内での基準点とのずれを計算
- ③ 分割鏡方向の補正

マックスプランク物理学研究所での試験構造体を用いた実地試験により、平均5秒角での補正を達成していることを確認した。



5 μmの精度で補正可能

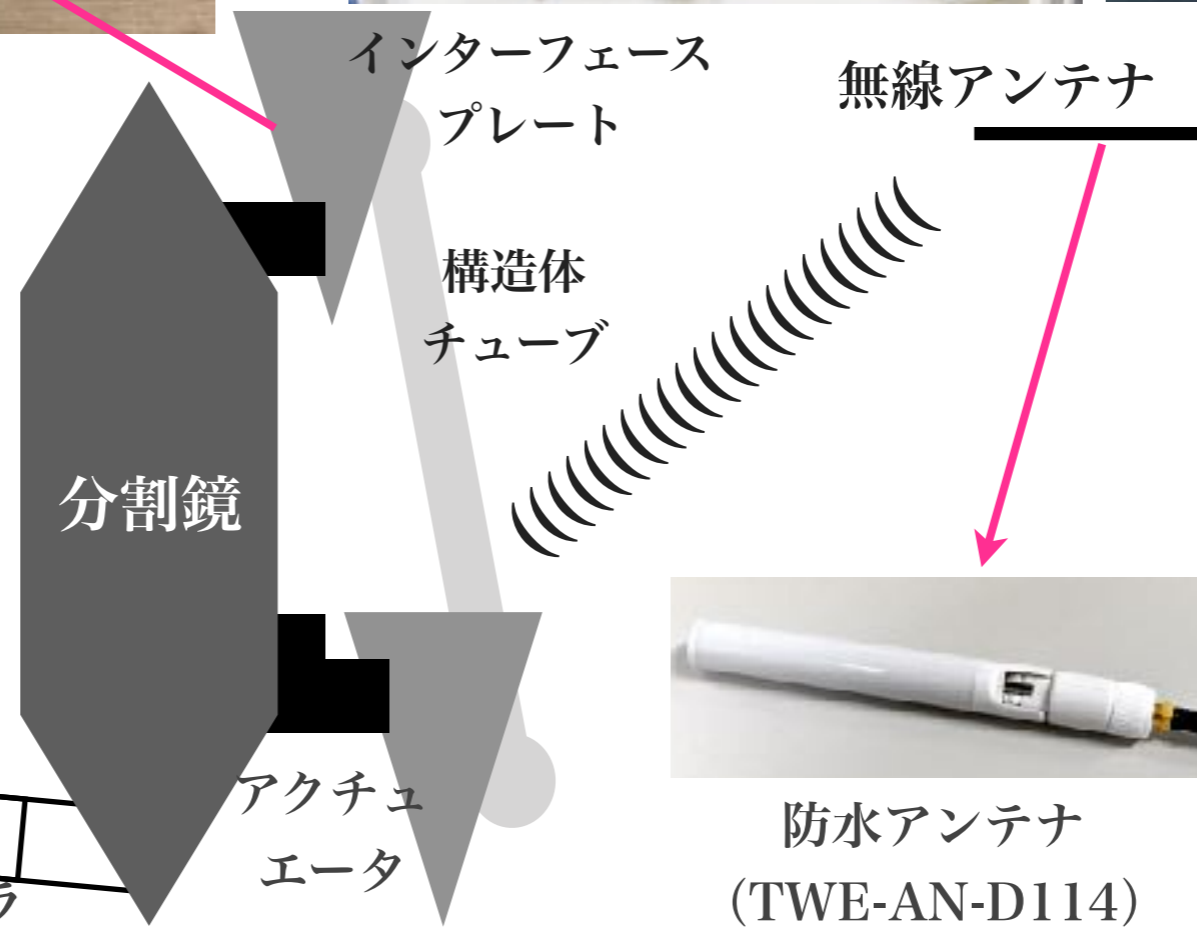
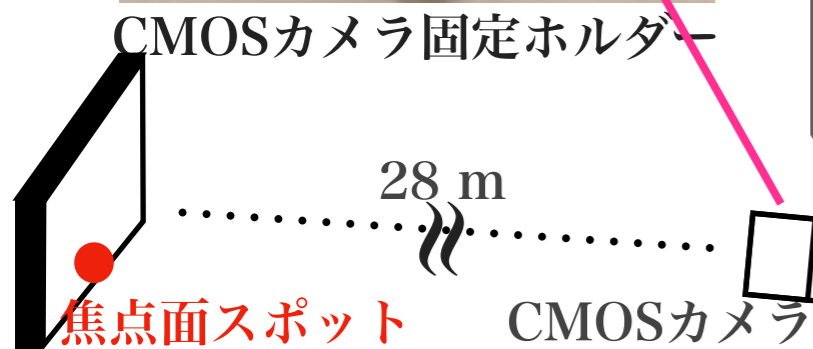
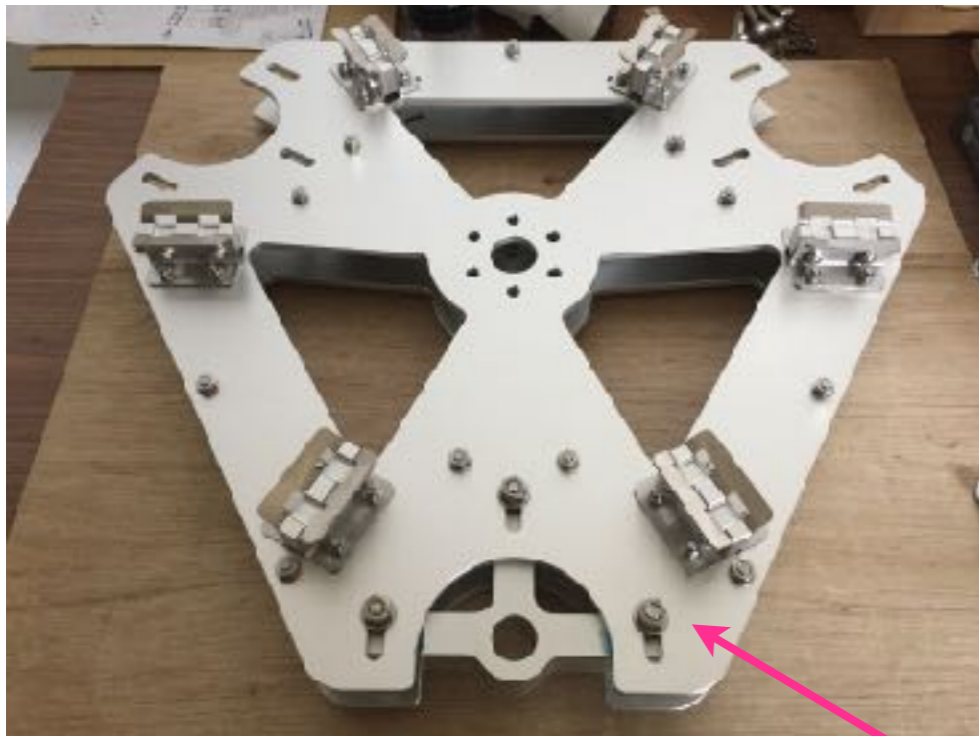
( ① ~ ③ ) × 200枚繰り返し

780nm, 5mW





# AMCシステムハードウェア

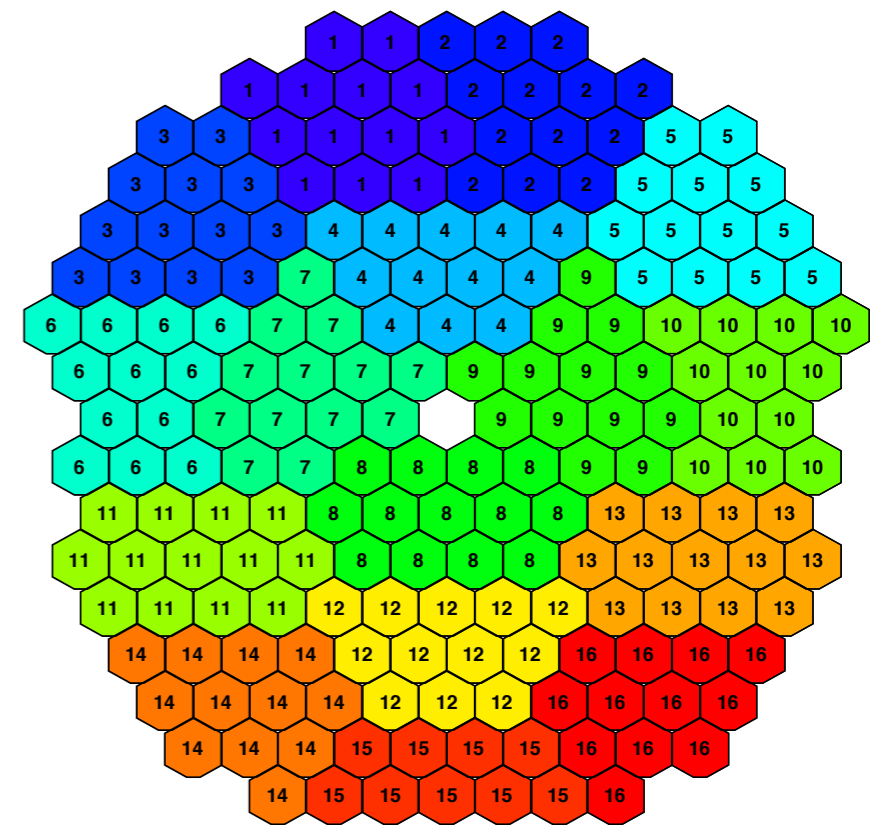




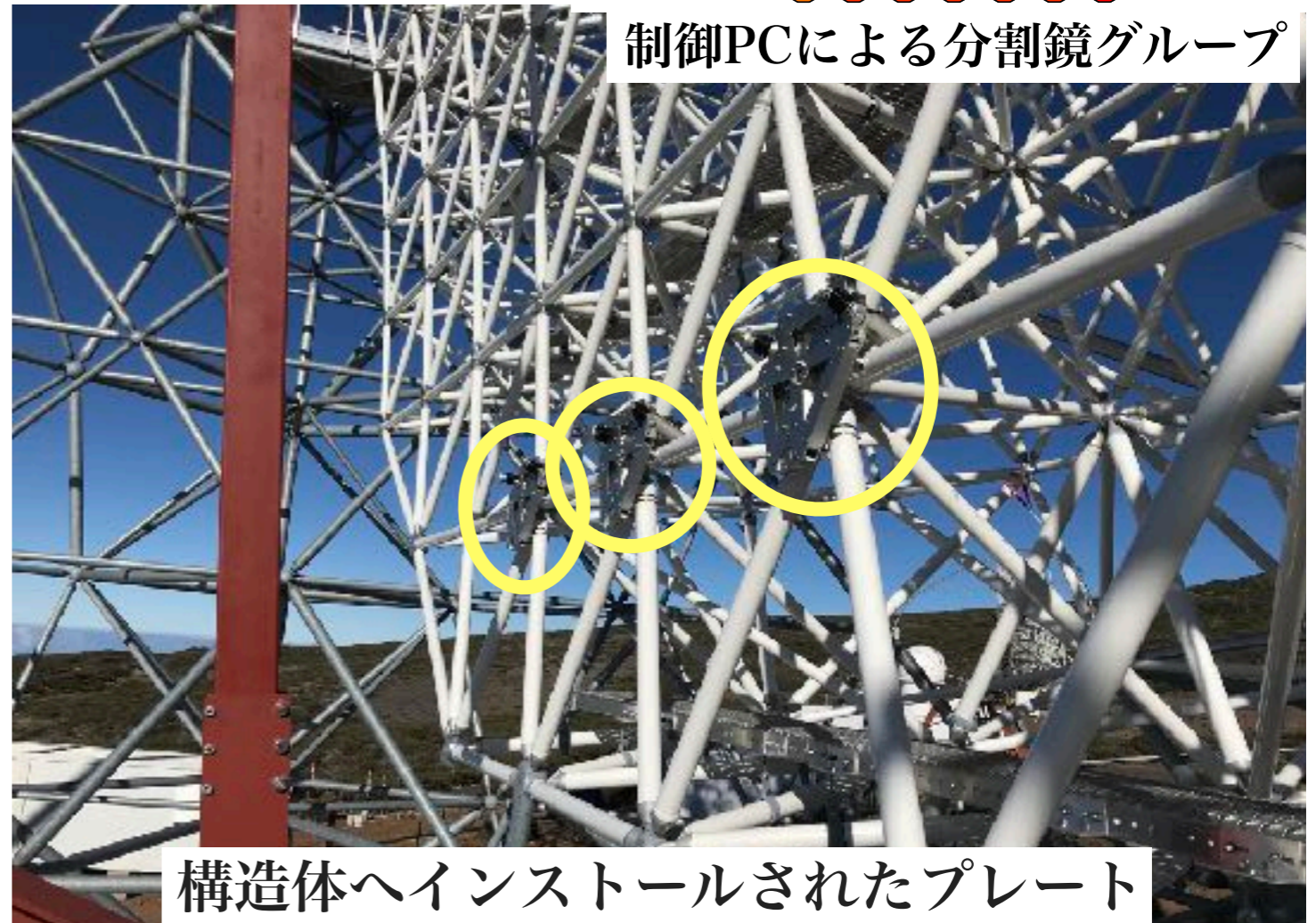
# セットアップ① (アクチュエータ、IFプレート)

- アクチュエータの無線通信設定 (サブグループの作成)
- アクチュエータ、IFプレートのアセンブリ

→ 今年2月に終了、プレートのインストールが進行中



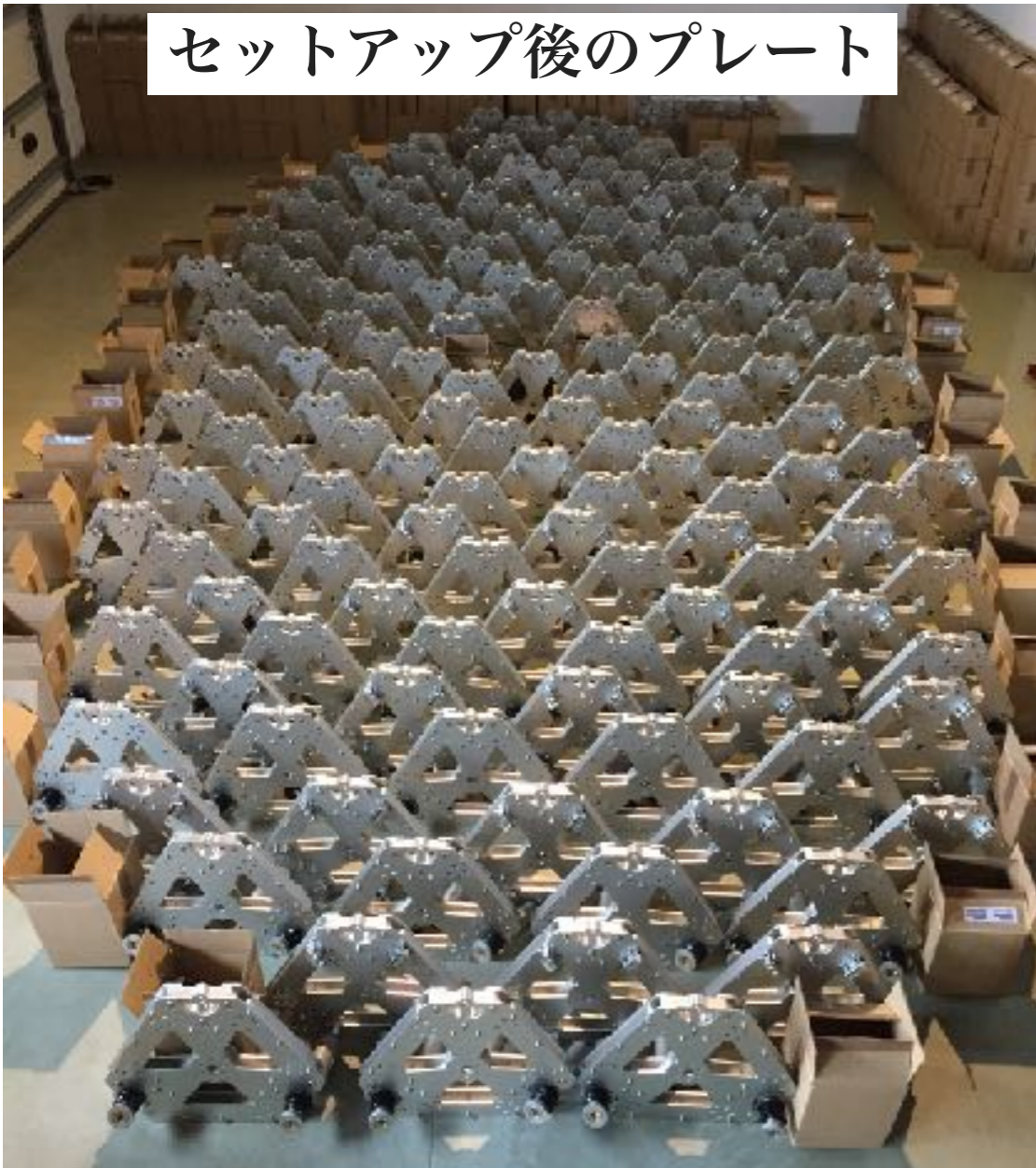
制御PCによる分割鏡グループ



構造体へインストールされたプレート

picture by T. Saito, 2018 Feb.

セットアップ後のプレート

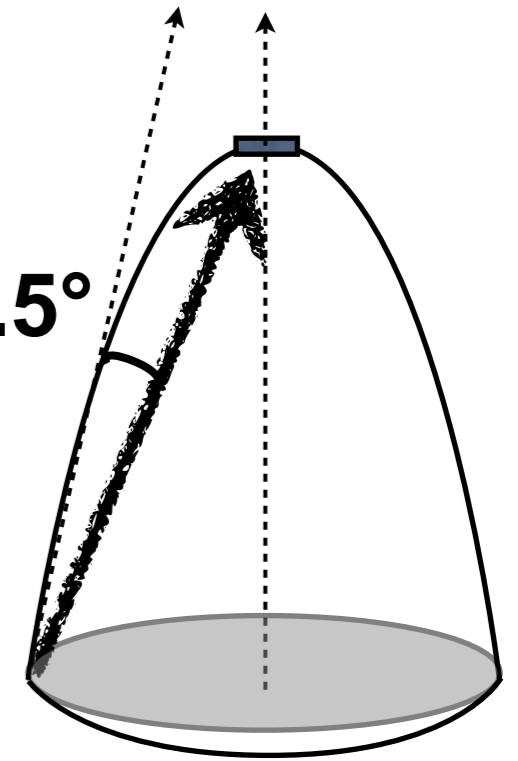




## セットアップ② (CMOSカメラ)

- レンズ調整、ネットワーク (IPアドレス) 設定等
- 個々のCMOSカメラの角度調整@CTA倉庫
  - エッジ付近ではスポットが調整なしで視野角( $8^\circ \times 11^\circ$ )に入らない
  - 収差の影響を抑えるためスポットを視野の中心に据える
  - 構造体の中ではなく地上で行い、作業時間を減らす (計算値を用いる)

~11.5°



➡ 進行中、4月上旬に終了予定

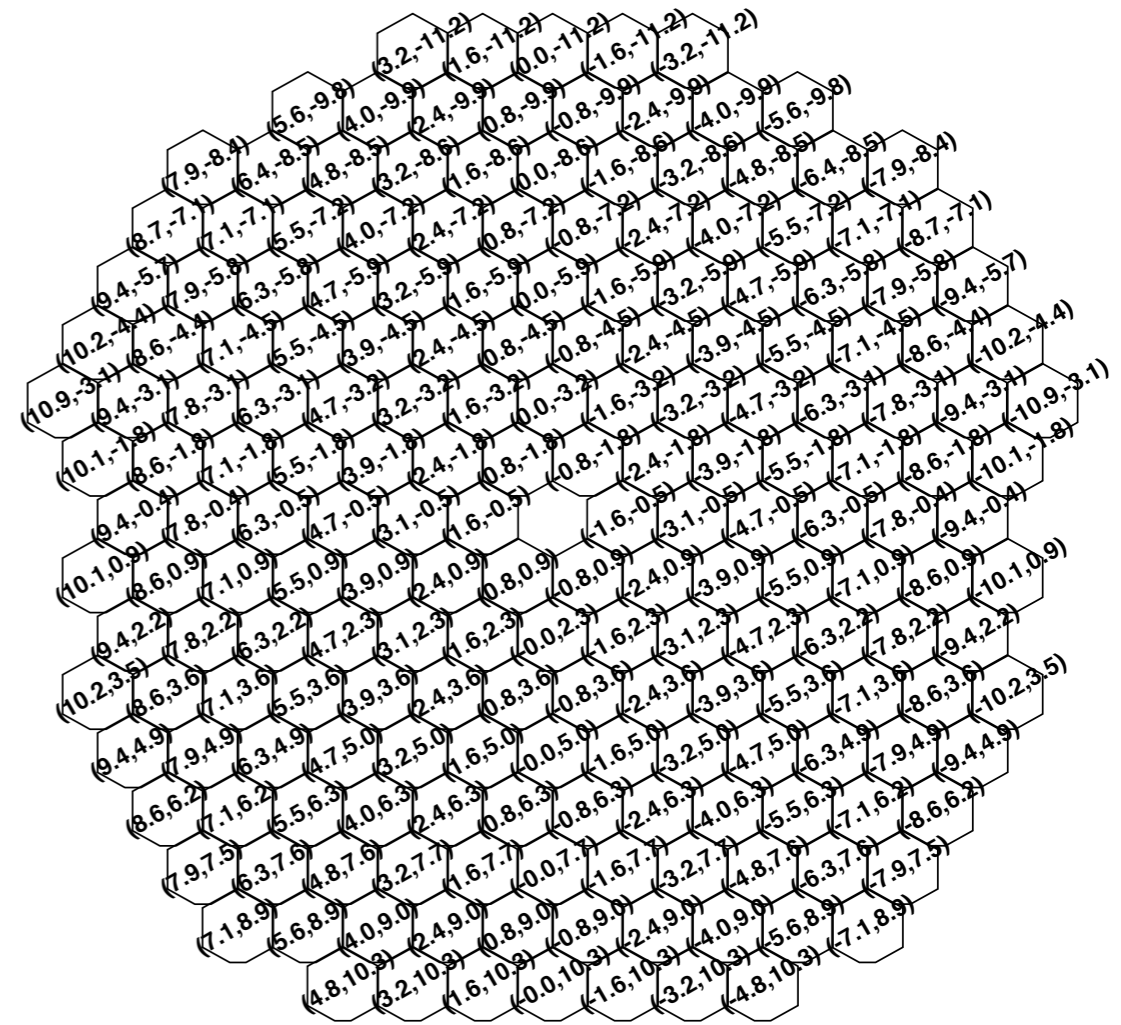


カメラ角度調整用金具



角度調整用スクリーン

## CMOSカメラ角度調整値

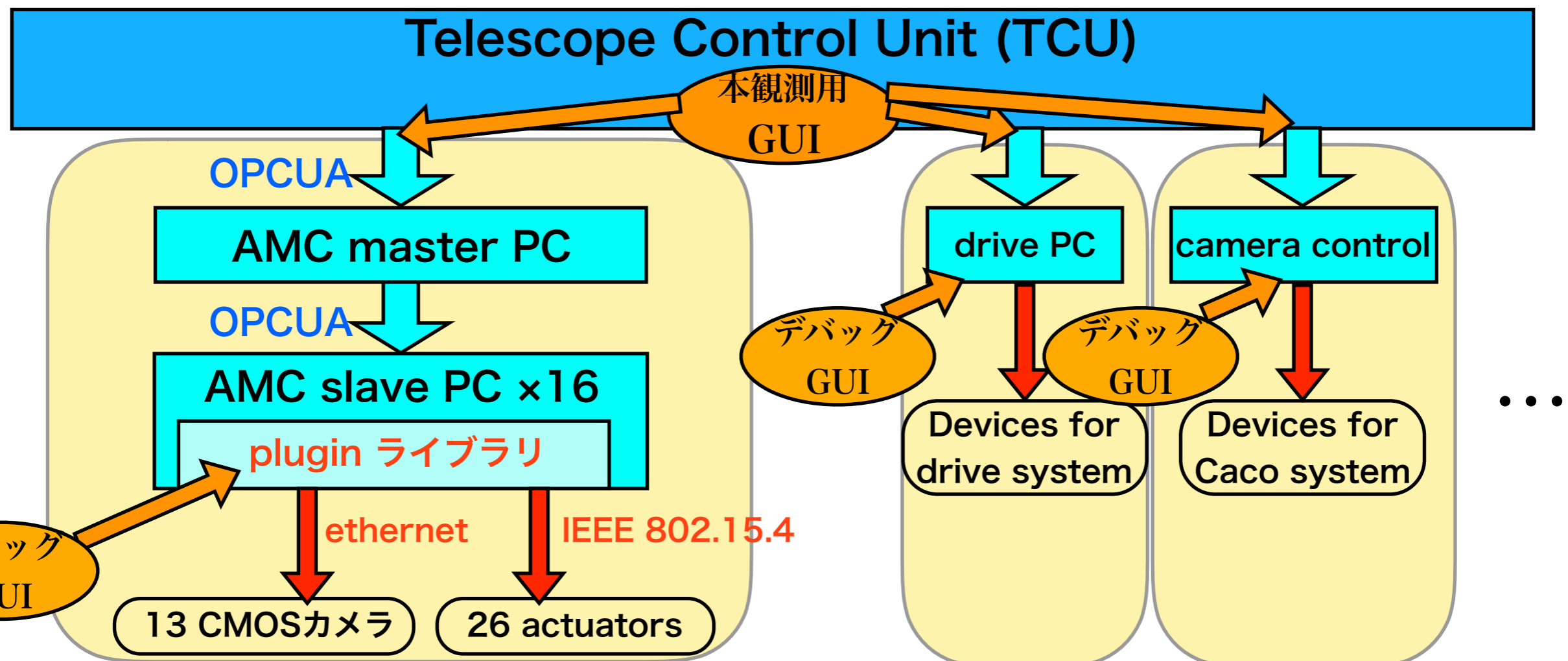




# AMCソフトウェア

AMCシステム(を含む全サブシステム)のソフトウェアに課された条件:

1. 統一のオートメーション用通信規格OPCUAを用いた制御
  - ・異なる通信規格のデバイスをTCU(Telescope Control Unit)が全て制御する
  - ・CTA、大口径望遠鏡グループ内でのOPCUAの開発管理を容易にする
2. デバッグ用GUIによる制御
  - ・本観測用GUIでは見えないローレベルの情報を得る
  - ・本観測用GUIと並行して開発する事で開発時間を短縮する



# AMC本観測用GUI

- ・ 本観測用GUIのディスプレイ

Menu
Large Size Telescope - CTA-LST

- Telescope Control Unit  
Status
- Camera  
Status
- Mount  
Status
- Active Mirror Control  
Status
- Power Supply  
Status
- CCD  
Status
- Condition Monitoring  
Status

### Mirror Layout

Identify Slaves

### Slaves

#### Slaves Information

	Lib Ver	Box Humid	Box Temp	cmosLibVer	maxDevPix	memCMOSStorage	IP	Port	Status	Used
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Mirrors

#### Showing info from Slave no: 11

ID	Used	Delay	Actuator1			Actuator2			Camera				Status	
			ID	Temp	Delay	ID	Temp	Exposure	Gain	ID	ImageConfigIP			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Console Log

```
5/2/2018, 12:49:59 > Getting info from slave 11
```

picture from Jaume (LST software team)



# AMCデバッグGUI①

- 1グループ用の分割鏡制御のデバッグGUIを作成し、3枚分の制御により動作を確認

AMC Slave GUI for Debugging

Group ID : 1

制御する分割鏡グループ

接続状況

Mirror No 1 Act No 1 Command p Run

Set Position: 1 mm 0 step

アクチュエータの長さ と 信号強度

	act1	act2
length (mm)	10	9
length (step)	0	255
signal strength (-dBm)	47	63

Write All Read All Quit

# AMCデバッグGUI②

AMC Slave GUI for Debugging (CMOS cameras)

Group 1 **CMOSカメラ制御ディスプレイ(@ICRR)**



Camera No.  
1

Exposure  
100000

Frequency [Hz]  
10

Gain  
0

Get Image

カメラID,露光時間等のパラメータ



# まとめ

- ・ CTA大口径望遠鏡AMCシステムは、現行の望遠鏡と比べ1桁以上の高感度、高分解能のガンマ線観測を実現させるために必要不可欠な能動的分割鏡制御システムである。
- ・ AMCシステムのハードウェアは4月以降の分割鏡インストール、電源ボックスインストールに向けて順調にセットアップが進められている。
- ・ AMCソフトウェアに関して、アクチュエータやCMOSカメラを制御するデバッグGUIを作成し、直接デバイスに接続している制御PCからGUIを通して動作を確認した。

## 今後の予定

- 年度末頃まで：
- ・ AMCソフトウェア開発を行い、GUI単体での能動的制御試験を目指す。
- 年度明け以降：
- ・ 現地(ラパルマ島)にてCMOSカメラのセットアップを終了させ、分割鏡のインストールを業者と共同で行う。
  - ・ AMC電源ボックス内の設定を構造体へのインストール前に行う。
  - ・ 各種AMCデバイス用ケーブルの配線を行う。
  - ・ 焦点面カメラ取り付け後、システムの動作確認を試験する。