



# CTA報告 129 :

## 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<sup>A</sup>, 手嶋政廣<sup>A,B</sup>, 野田浩司<sup>C</sup>, 稲田知大<sup>A</sup>, 奥村暁<sup>D</sup>, 加賀谷美佳<sup>E</sup>, 片桐秀明<sup>E</sup>,  
黒田隼人<sup>A</sup>, 齋藤隆之<sup>A</sup>, 千川道幸<sup>F</sup>, 中嶋大輔<sup>A</sup>, 林田将明<sup>G</sup>, 山本常夏<sup>H</sup>, 吉田龍生<sup>E</sup>,  
李健<sup>F</sup>, 他CTA-Japan consortium

東大宇宙線研<sup>A</sup>, Max-Planck-Inst. fuer Phys.<sup>B</sup>, IFAE<sup>C</sup>, 名大ISEE<sup>D</sup>, 茨城大理<sup>E</sup>,  
近畿大理工<sup>F</sup>, 千葉大理<sup>G</sup>, 甲南大理工<sup>H</sup>

# CTA大口徑望遠鏡

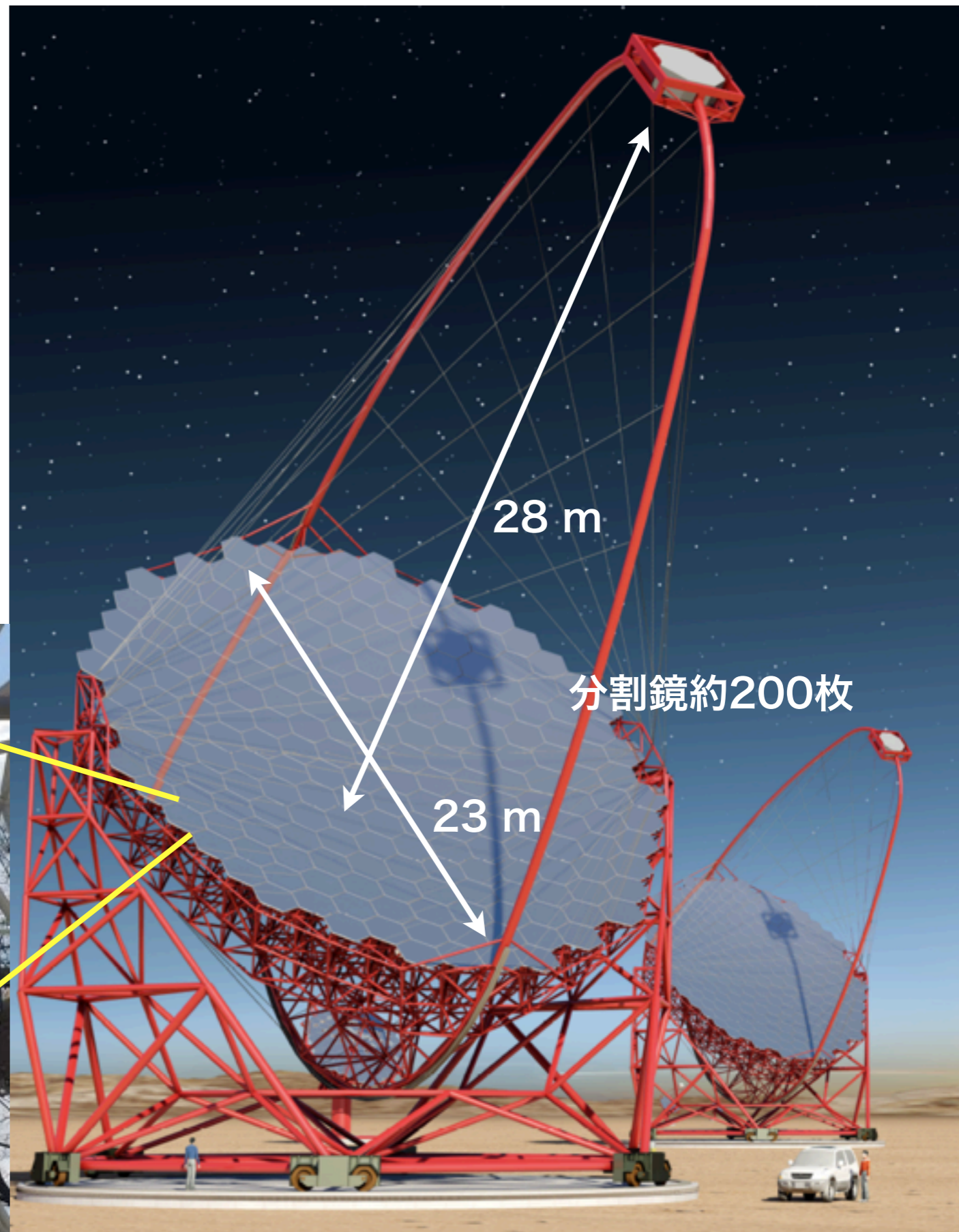
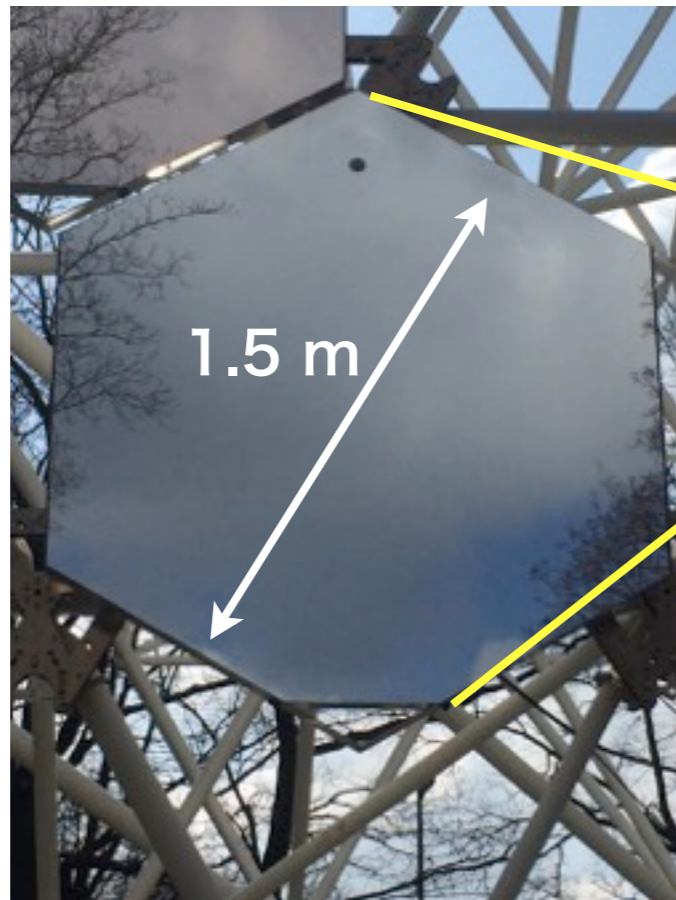
現在建設中、2018年夏頃初観測予定

## 望遠鏡全体の光学的特性

- 放物面鏡（分割鏡約200枚で構成）
- 口径：23 m
- 焦点距離：28 m
- 20秒で180°回転可能（突発天体に対応）

## 分割鏡

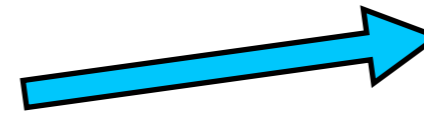
- 球面鏡
- 対辺距離：1.5m
- 焦点距離：~28m
- 重さ ~50 kg
- 集光精度(仕様値)  
16.7mm @ 焦点  
(焦点面pixelの1/3)



# AMC (Active Mirror Control) システム

## 方向制御の必要性

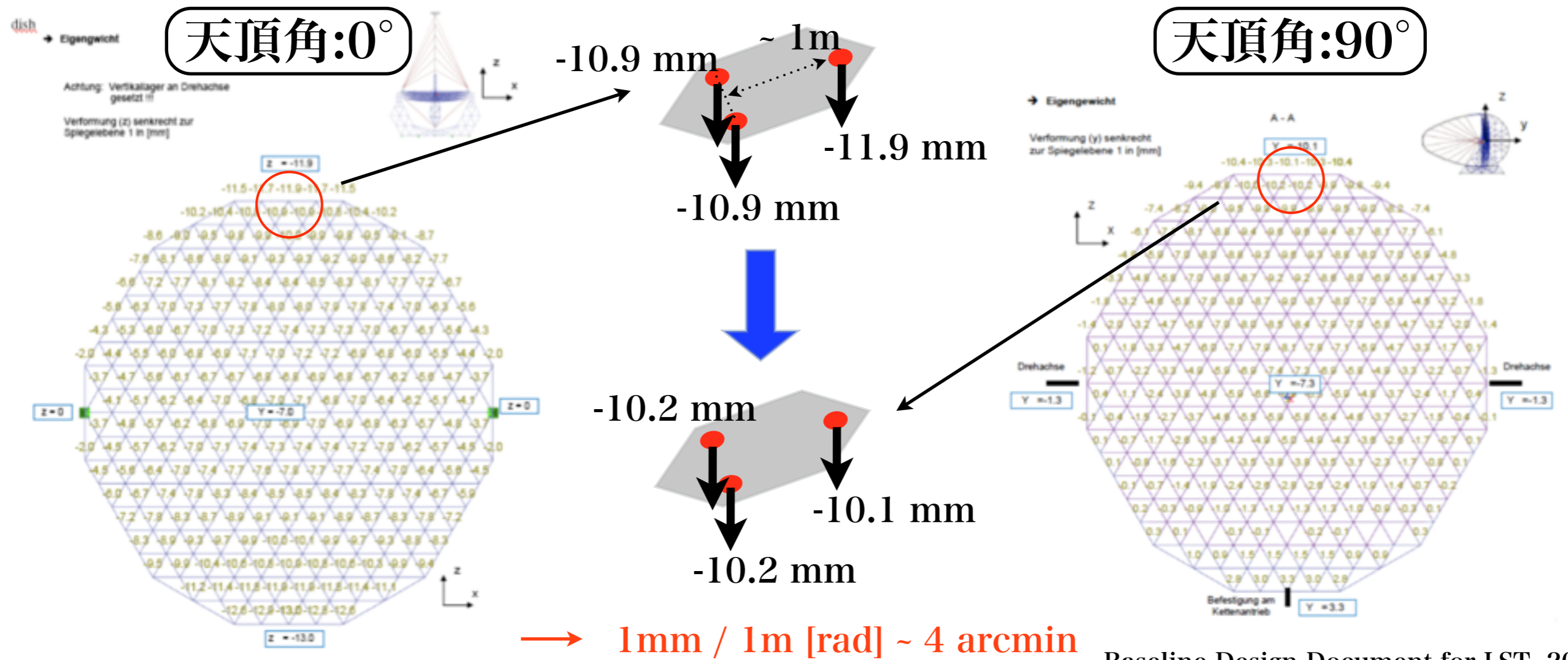
- ・ 分割鏡に生じる方向の歪み (最大4分角程度)
  - 望遠鏡の自重による天頂角に依存した構造体の歪み
  - 強風、気温による構造体の変形



焦点面イメージの変形

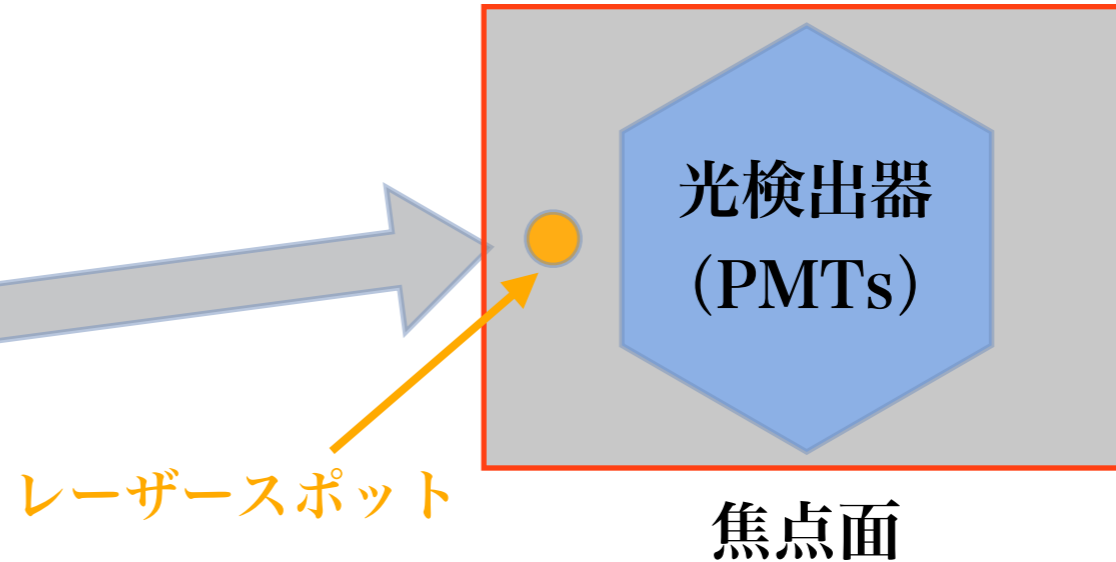
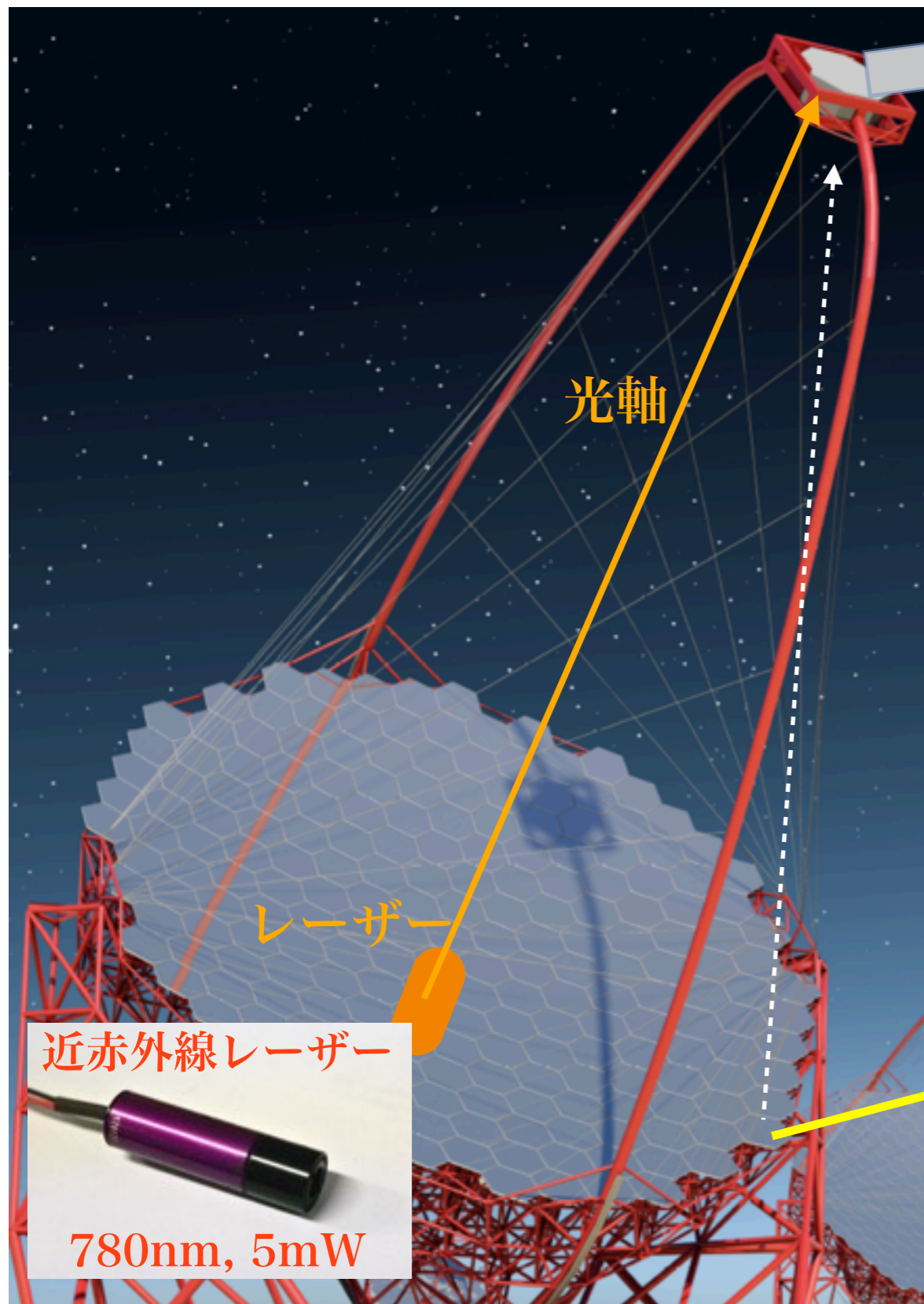


角度分解能の低下及び  
γ線の識別性能の低下

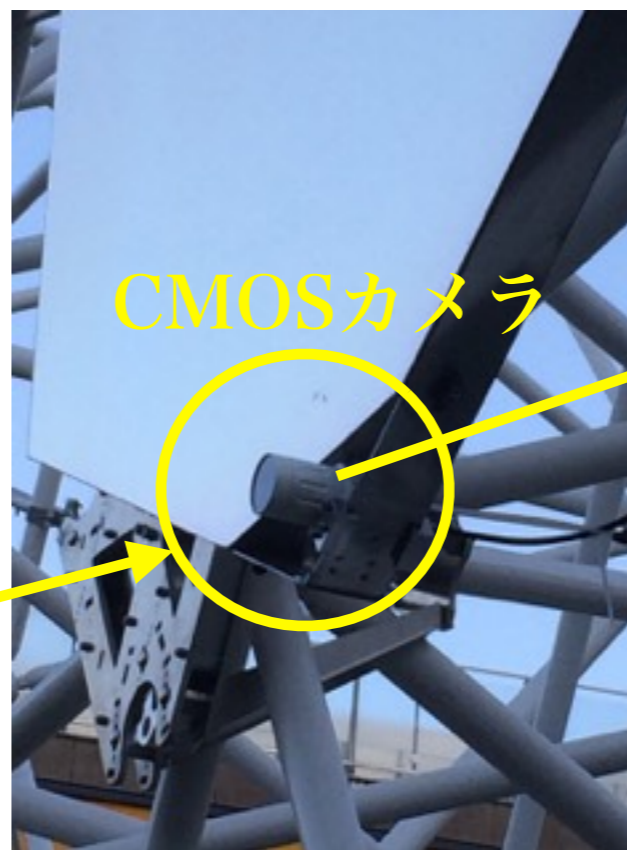


Baseline Design Document for LST, 2013

# 分割鏡方向補正過程

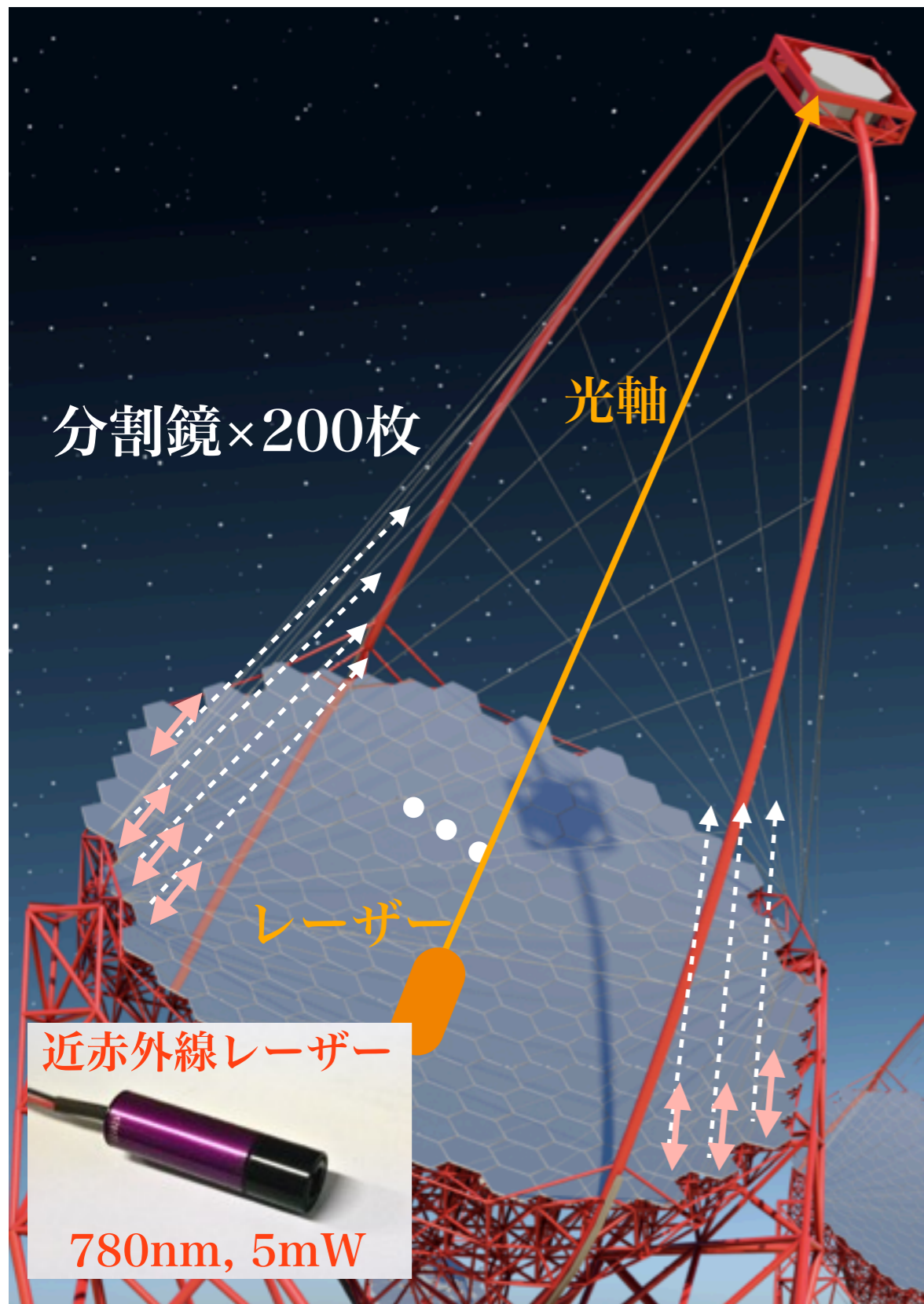


- ① 方向変化が非常に小さい望遠鏡中心から焦点面にレーザーを照射する
- ② 各分割鏡が正しい方向を向く時、固定されたカメラで焦点面のレーザースポットを撮影する

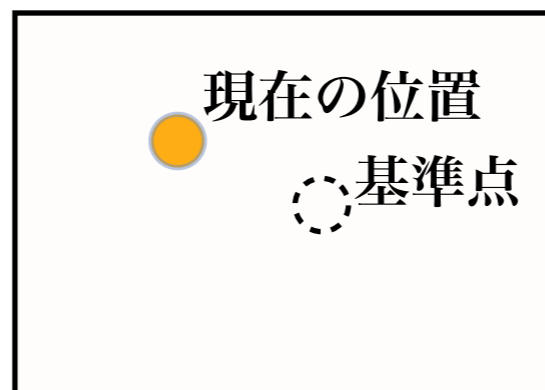


- 読み出しレンジ : 8 bit
- 1280 × 960 pixel
- 使用レンズ: f=25 mm

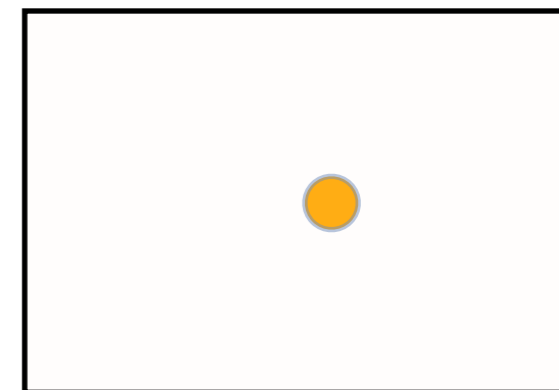
# 分割鏡方向補正過程



- ② スポット位置を解析し、基準点とのずれを計算する
- ③ 分割鏡を支えるアクチュエータの長さを調整することでスポットの位置を元に戻す



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  $\mu\text{m}$ の精度で伸縮可能

(① ~ ③) の操作を200枚分行う

# AMCシステムデバイス

- アクチュエータ、CMOSカメラ、分割鏡

初号機分の製作完了、現地に輸送済み

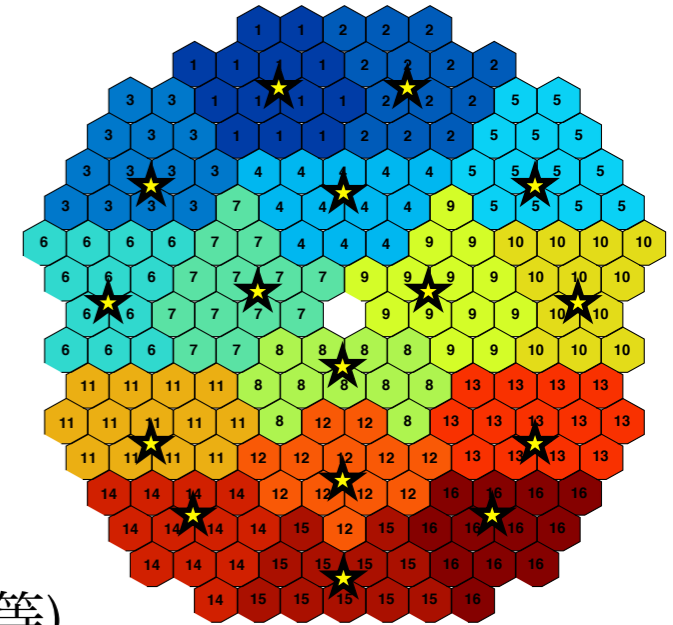
- 電源ボックス (+ 制御PC、ネットスイッチ等)

年内に製作、現地に輸送予定 (1台が約13枚の分割鏡を制御)

- その他 (インターフェースプレート、CMOSカメラジグ、無線モジュール等)

ほぼ全て製作完了、現地に輸送済み

分割鏡グループと制御PC(☆印)



電源ボックス



AMC制御PC



防水アンテナ  
(TWE-AN-D114)



無線モジュールXBee  
(XBP24-ASI-001)

インターフェースプレート



CMOSカメラ固定ジグ



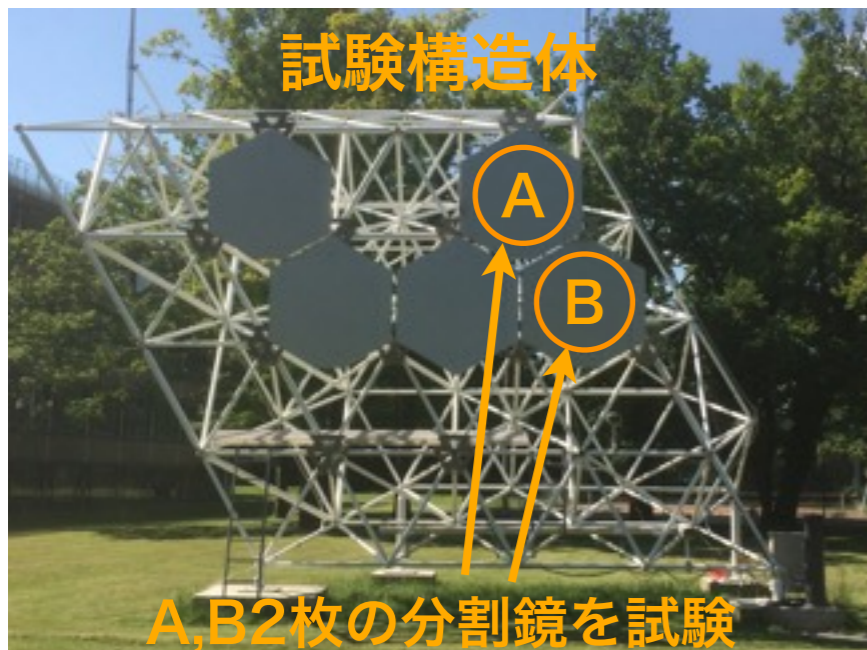
# AMCシステム稼働試験

- ・現状のAMCシステムの性能確認のため、以下の2つの試験を実施

## I 試験構造体を用いた実地試験@Max Planck Institute(MPI)

- ・28 m離れた場所のLEDを用いて2枚の分割鏡の方向を同時に補正 (7晩の測定)

\* 試験構造体：大口径望遠鏡の1/8を模した構造体



## II 実際と同じハードウェア (PC、アクチュエータ、カメラジグ等) を用いた試験@宇宙線研

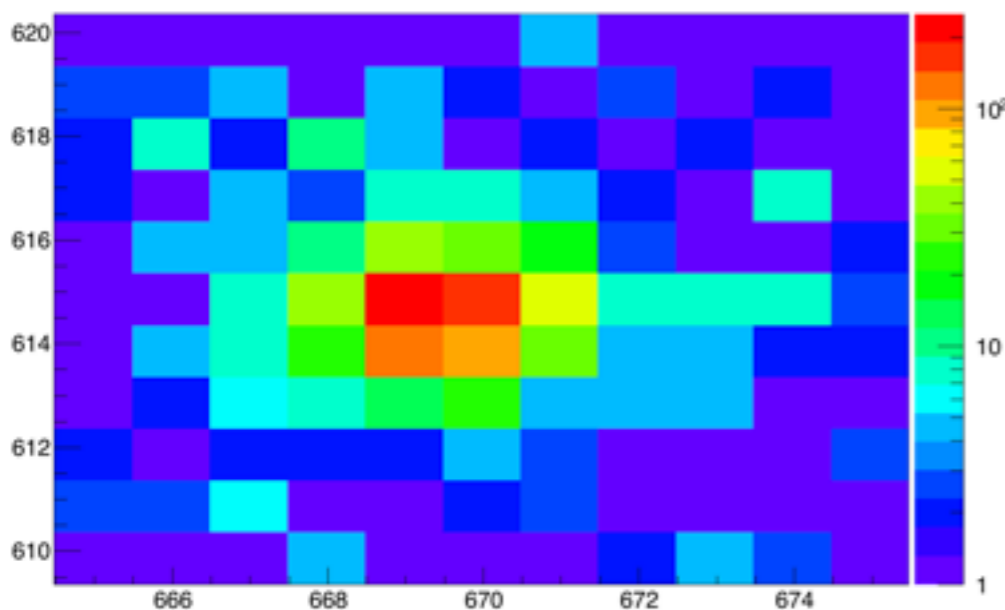
- ・28 m離れたLEDを用いて分割鏡を補正 (1晩の測定)



# 試験方法

- ① カメラ画像上においてスポットをランダムに動かす。  
(アクチュエータをランダムに動かす)
- ② 分割鏡補正過程を行いスポットを元の正しい位置に戻す。  
(AMC補正1回目)
- ③ この状態からもう一度分割鏡補正を行う。  
(AMC補正2回目)

① ~ ③ のループを繰り返し行い、制御の安定性を確認



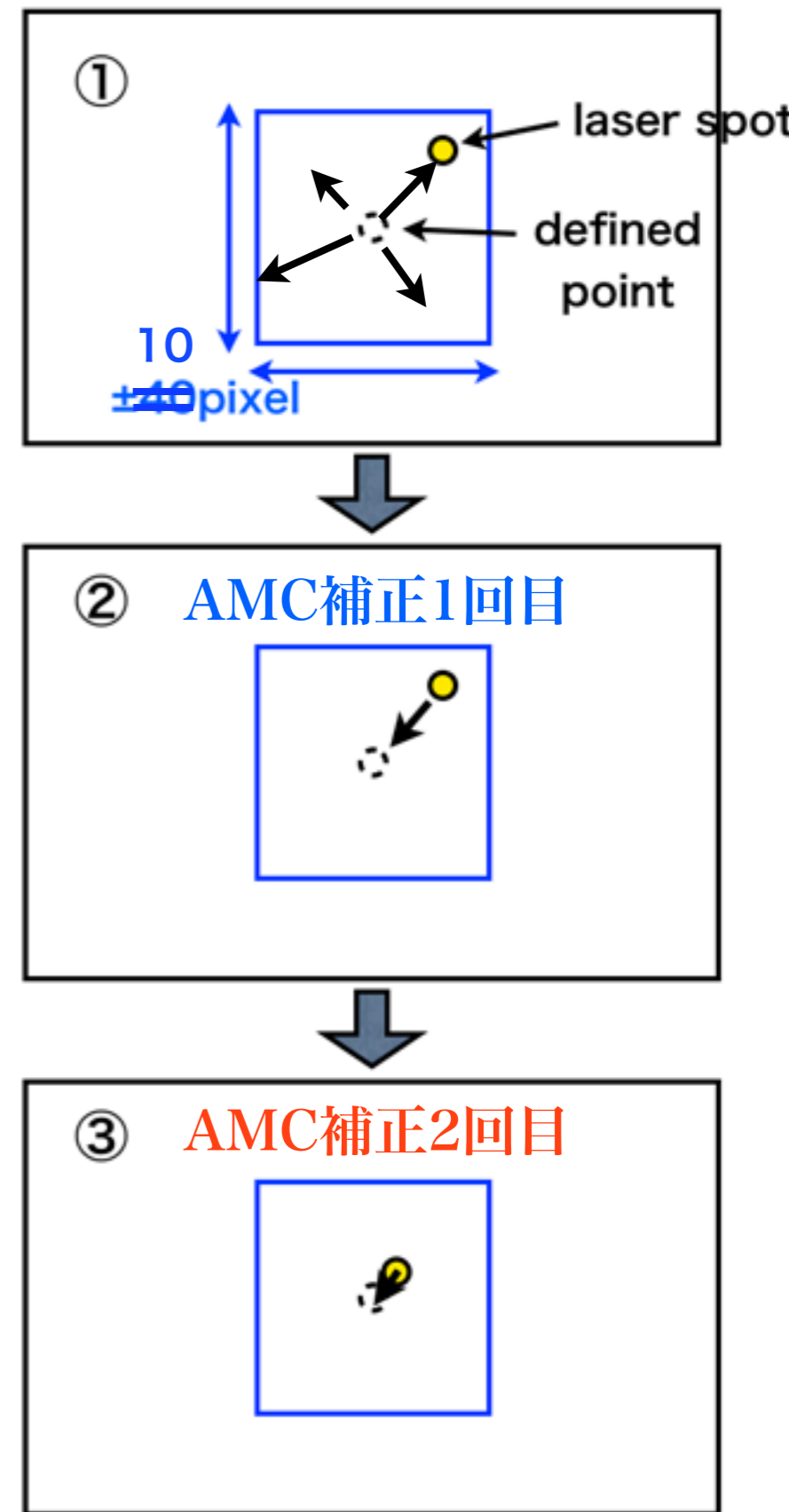
LED拡大画像

(左図から重心解析により  
スポット位置を算出する)

結果1 : AMC補正 (②,③) 後のスポット位置の2次元分布

結果2 : 補正後スポット位置の目標点からのずれの大きさ分布

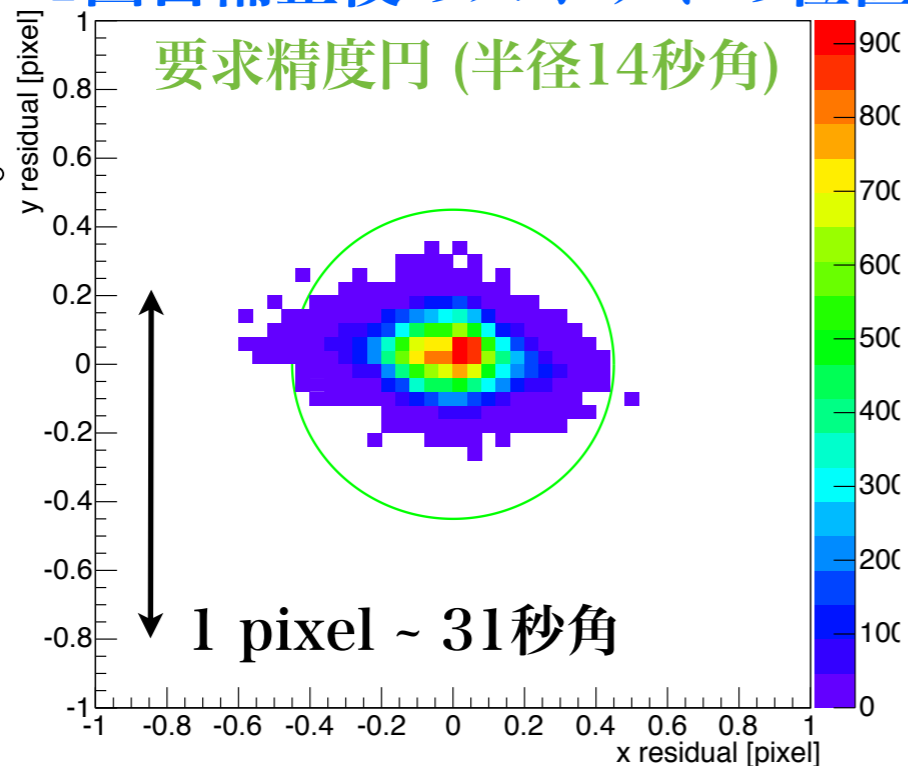
結果3 : 一回のAMC補正にかかる制御時間



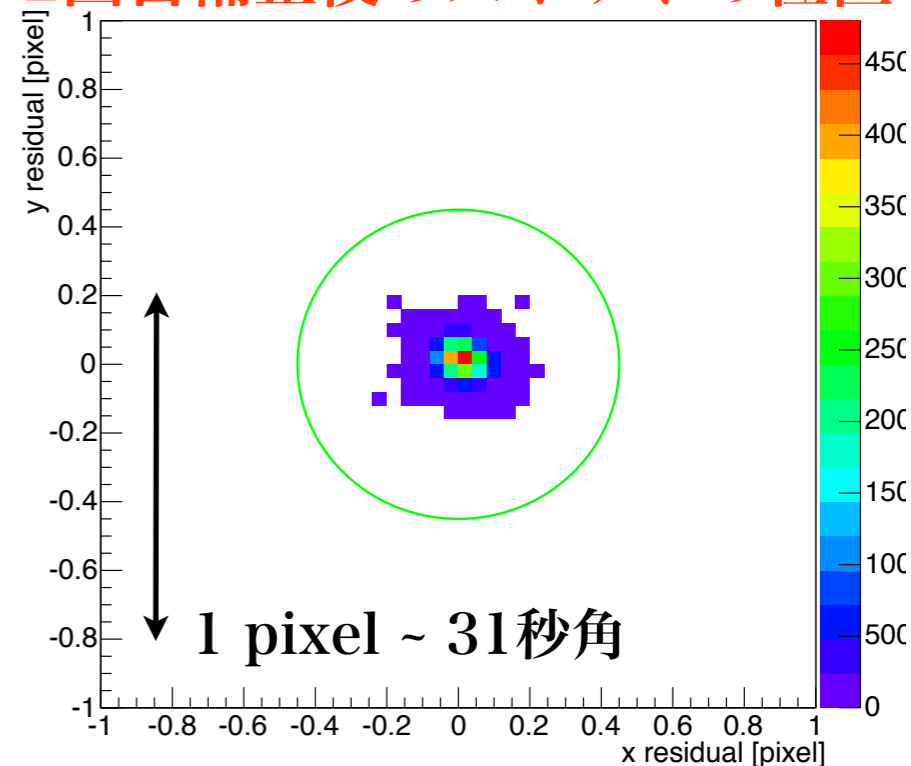


# 結果1：補正後のスポット分布

## 1回目補正後のスポットの位置

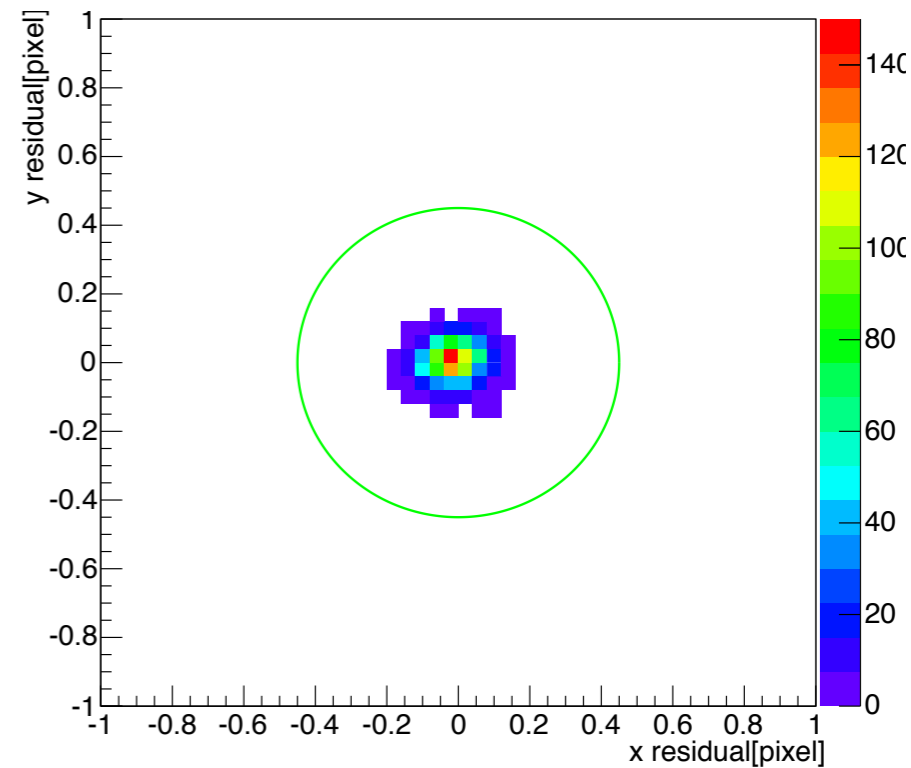
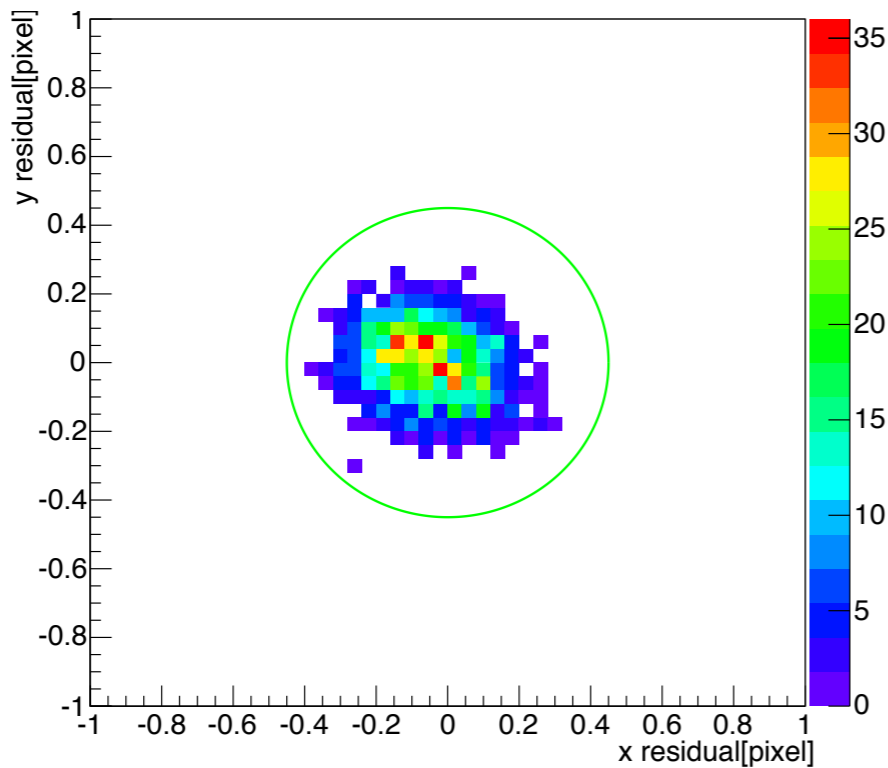


## 2回目補正後のスポットの位置



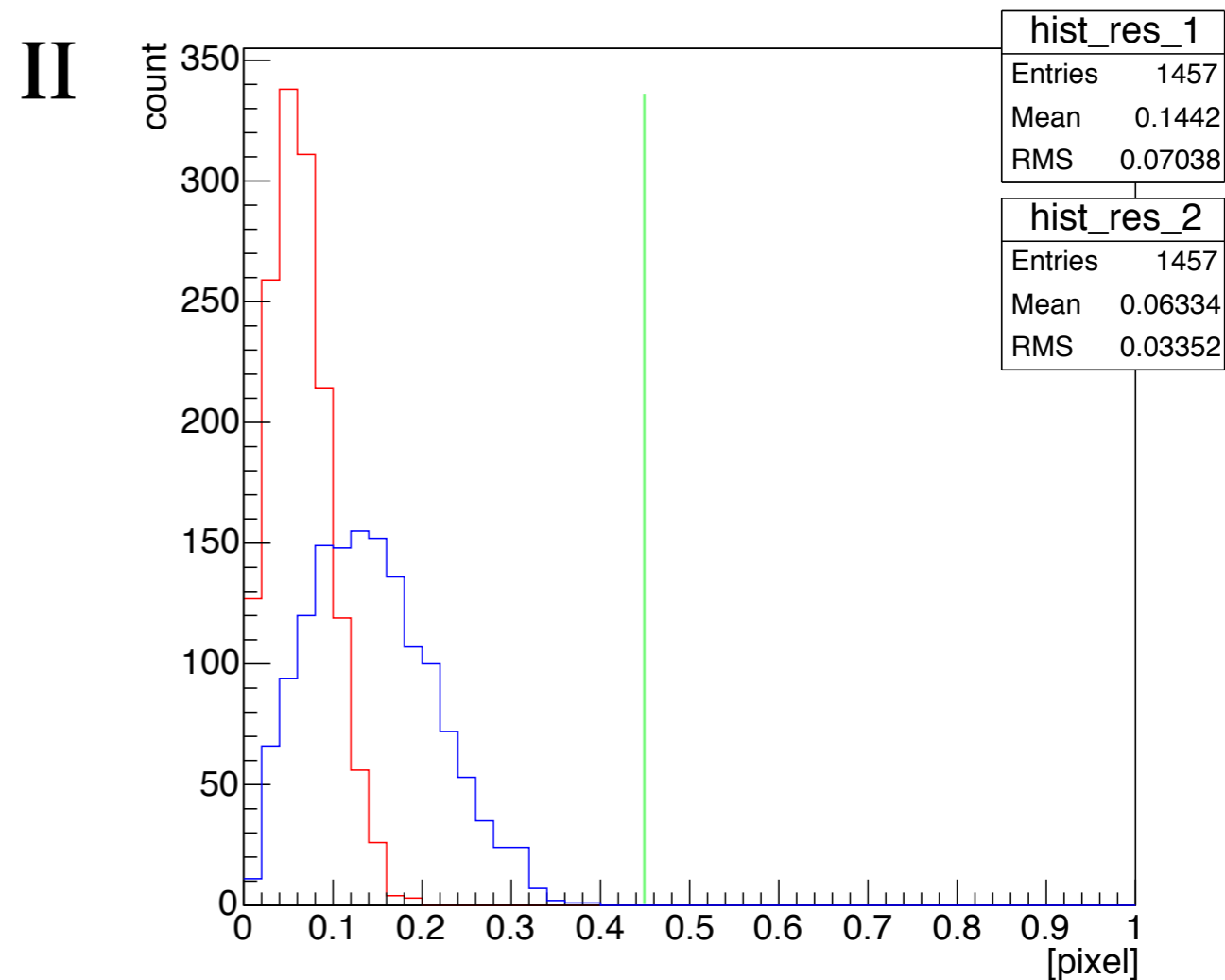
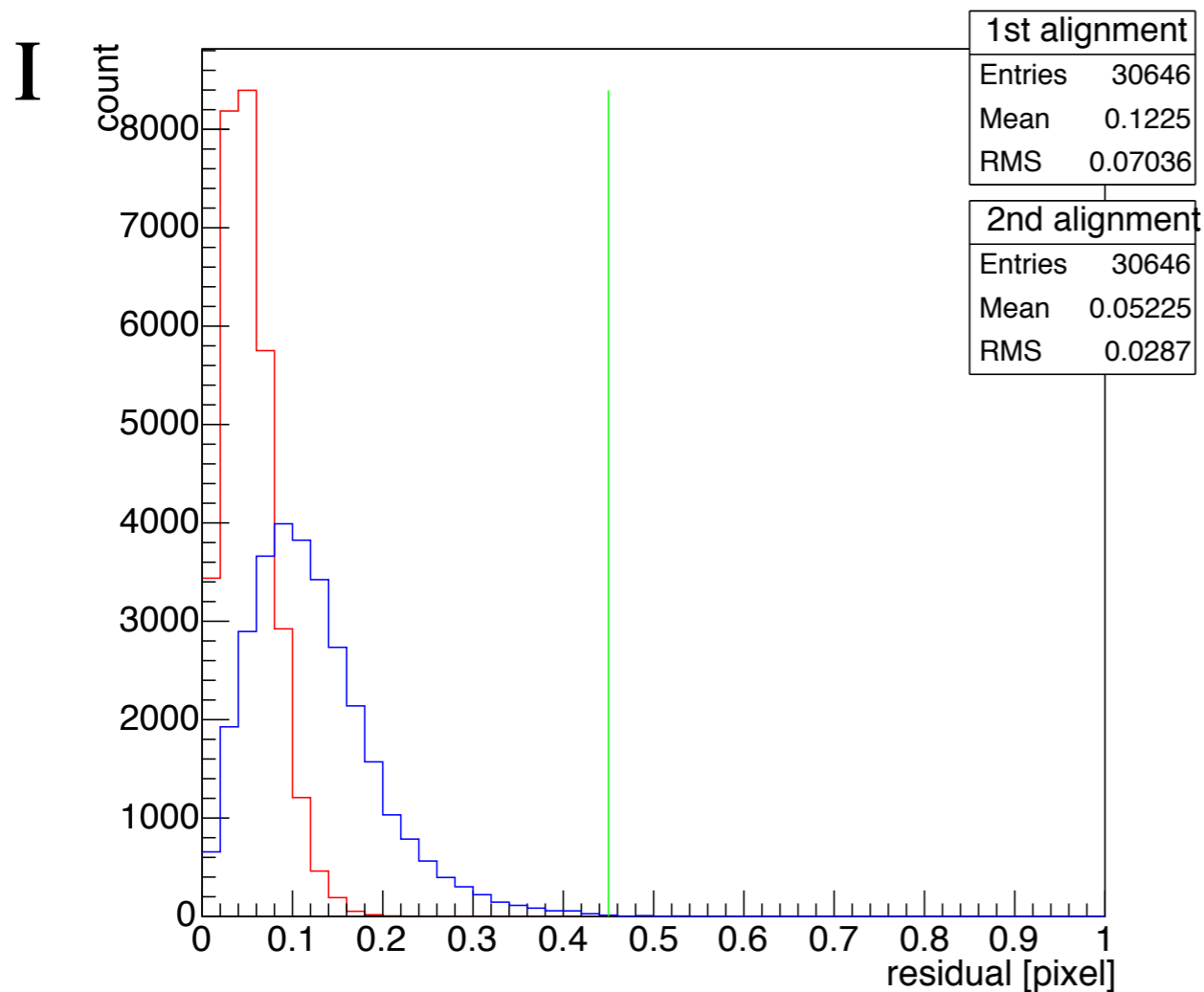
I  
(鏡Aの結果のみ。  
鏡Bもほぼ同じ  
結果。)

II



AMCの要求精度(14秒角)以内に十分補正可能

## 結果2：補正後のずれの大きさ分布



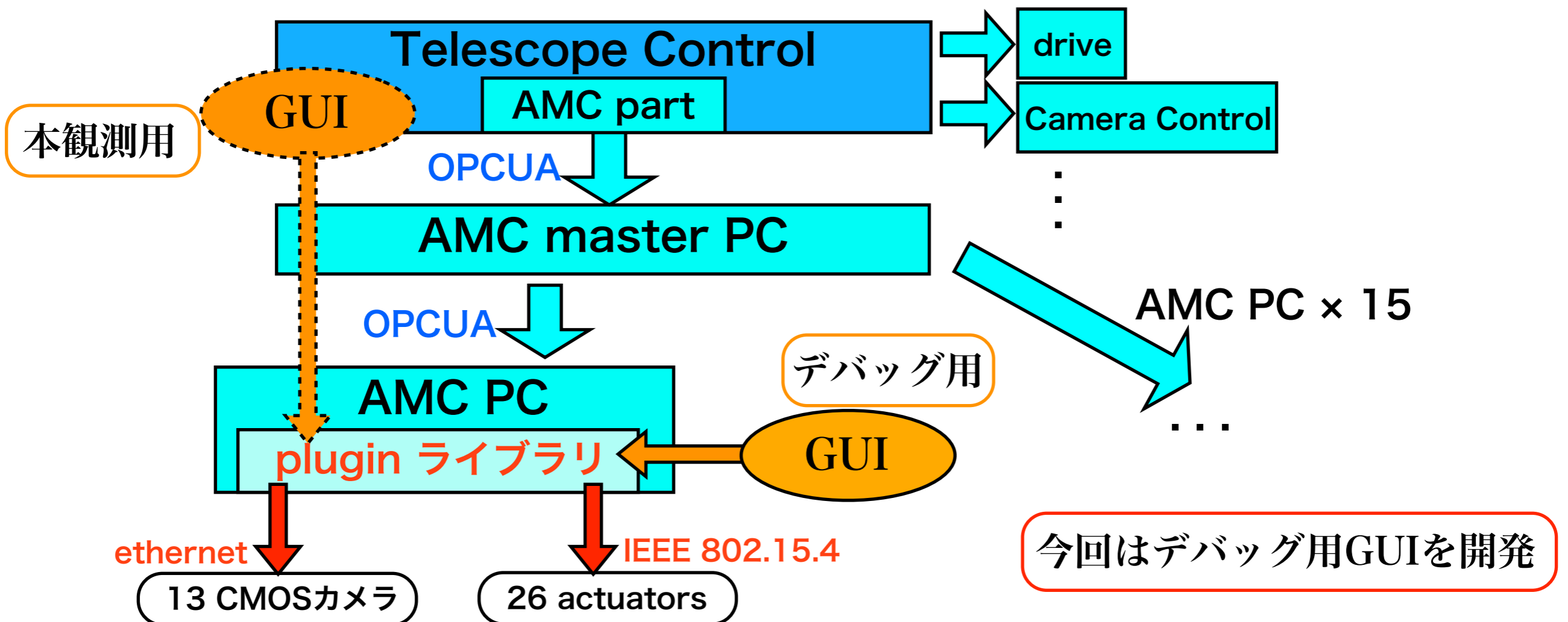
- I,IIの結果共に

- 1回の補正の場合は平均約3-4秒角の精度で制御可能
- 2回の補正の場合は平均約2秒角の精度で制御可能
- 1回の補正でも要求精度を下回る確率は $\sim 10^{-4}$ 程度(0.02/200枚)  
-> **1回の補正(5秒程度)で十分な精度を達成**

# AMCソフトウェア

CTA内で個々に開発された各システムについて、以下を実現するソフト開発が必要

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最終的に1箇所から制御
  - ・CTA内でのOPCUAの開発、管理の簡易化
2. 観測用GUIによる制御 + デバッグ用GUIによる制御
  - ・直感的なシステム操作 + デバッグを効率化するためのインターフェースの構築



# AMCソフトウェア

- 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

アクチュエータとの接続状態モニター

接続失敗

接続成功

無線通信強度を表す色

Mirror No  Act No  Command

Set Position :  mm  step

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

# 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。
- ・ CTA大口径望遠鏡初号機の建設に向け、AMCシステムを構成する多くのデバイスは製造が完了し、建設地に到着した。
- ・ LEDを用いて、MPIでの実地試験と最新ハードを使用した宇宙線研での試験により、現在のAMCシステムの補正精度が十分であると確認した。
- ・ AMCデバイスを制御するGUIを作成し、直接デバイスに接続したAMCPCからそのGUIを通して動作を確認した。

## 今後の予定

- 今年末頃まで：
  - ・ 一部の分割鏡を初号機にインストールし、各種AMCデバイスのセットアップと動作確認を行う。
  - ・ ICRR等で実際のレーザーを用いたAMCシステムの性能評価を行う。
- 年度末頃まで：
  - ・ 初号機にレーザーとスクリーンを搭載し、初号機にてシステム性能評価を行う。
  - ・ OPCUA経由で制御する観測用のGUIを開発する。