

CTA大口径望遠鏡用分割鏡制御システムの 試験構造体を用いた運用試験

深見哲志, 稲田知大, 岩村由樹, 加藤翔, 中嶋大輔, 花畑義隆, 林田将明 (東大宇宙線研),
手嶋政廣 (東大宇宙線研, Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 奥村暁 (名大 ISSE, MPIK),
小野祥弥, 加賀谷美佳, 片桐秀明, 重中茜, 長紀仁, 本橋大輔, 吉田龍生 (茨城大理),
齋藤隆之 (京大理), 千川道幸 (近畿大理工), 岸田柊, 山本常夏 (甲南大理工),
野田浩司 (Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 他 CTA-Japan consortium

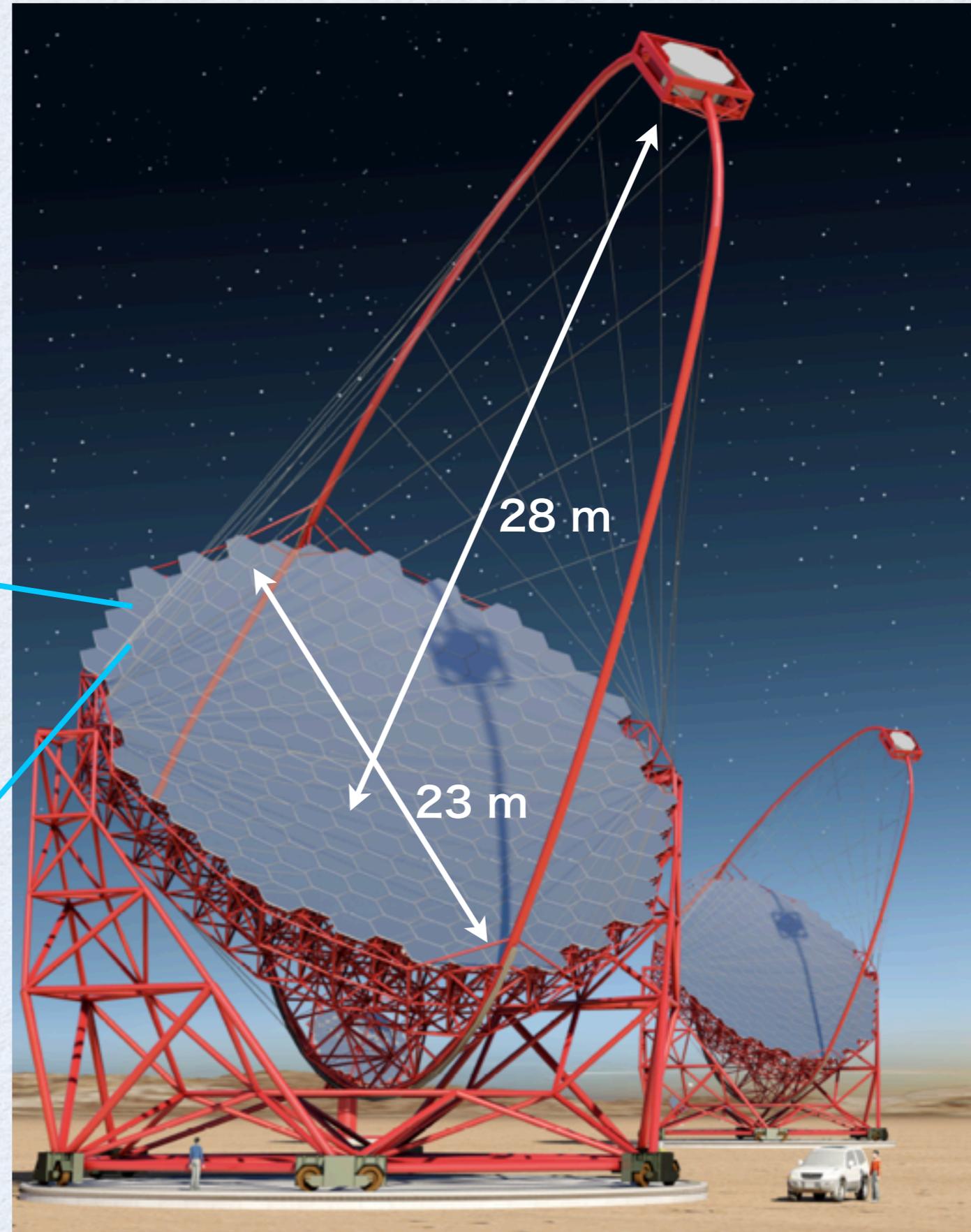
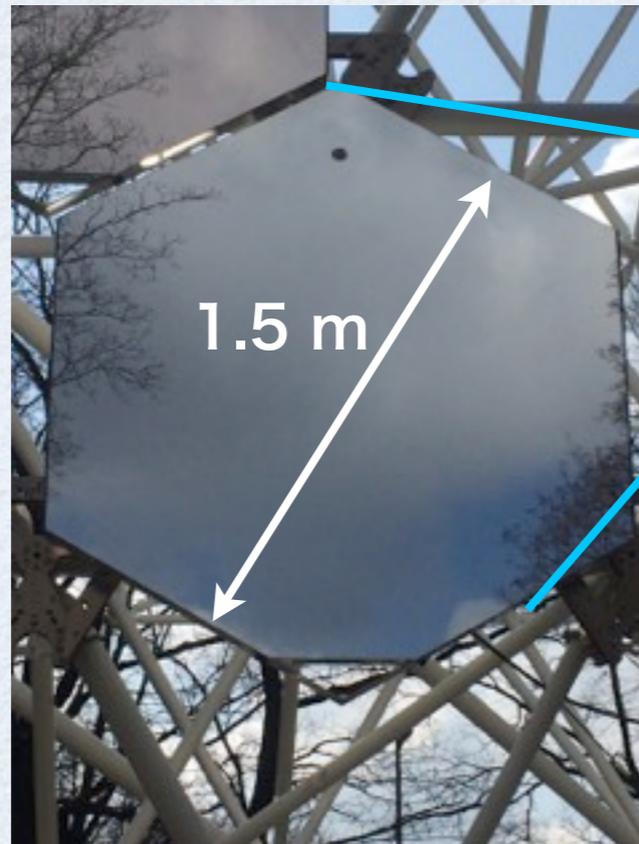
CTA大口徑望遠鏡の光学系特性

望遠鏡全体

- 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

分割鏡

- 球面鏡
- 対辺距離：1.5m
- 焦点距離：28m
- 重さ 47 kg
- スポットサイズ
16.7mm @ 28m



(焦点面カメラの1/3 pixel)

CTA大口径望遠鏡分割鏡制御システム

AMC (Active Mirror Control) システム : 能動的に分割鏡の方向を補正する機構

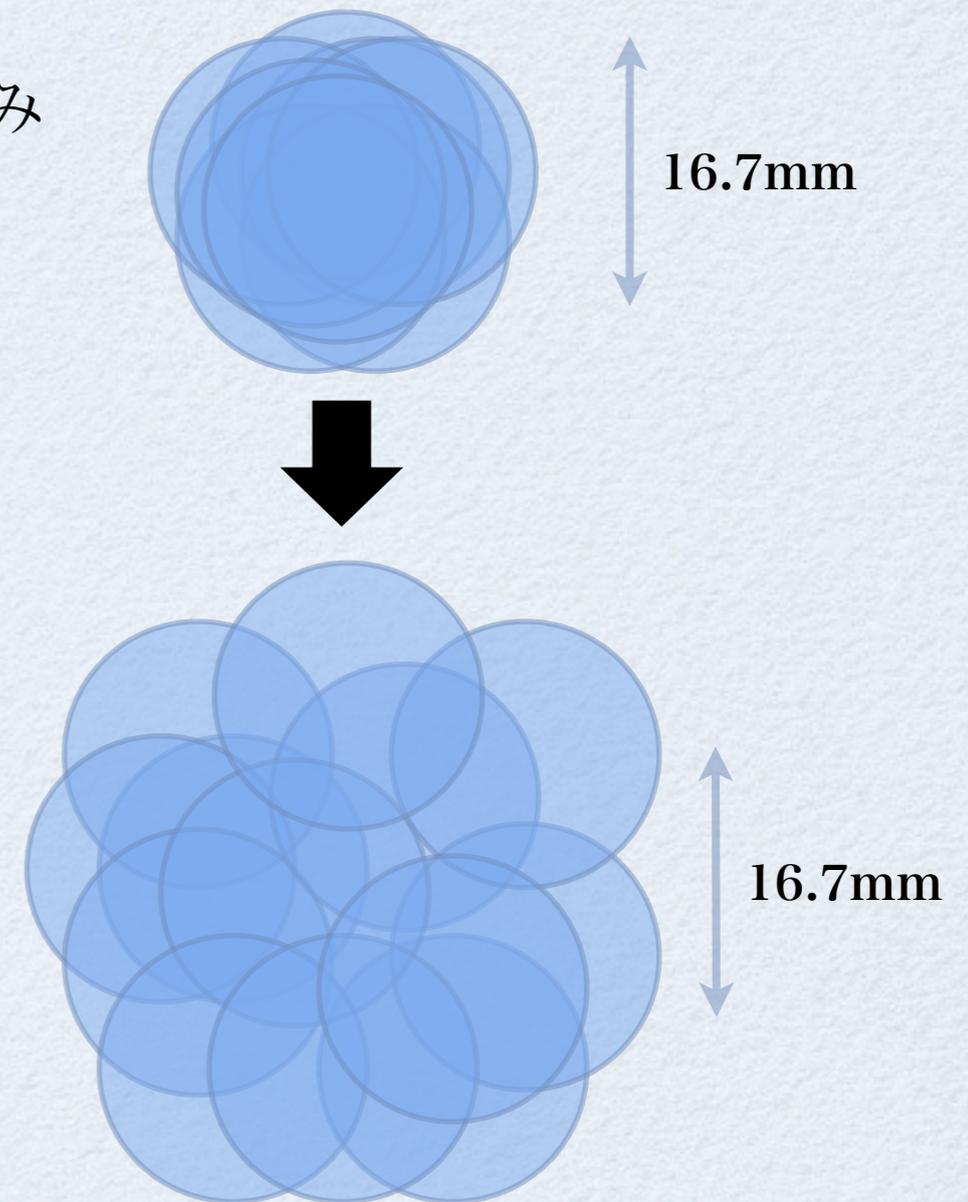
・ 方向制御の必要性

- ・ 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
- 結像性能の低下による焦点面イメージの変形
- 角度分解能の低下及び
γ線と宇宙線との識別性能の低下

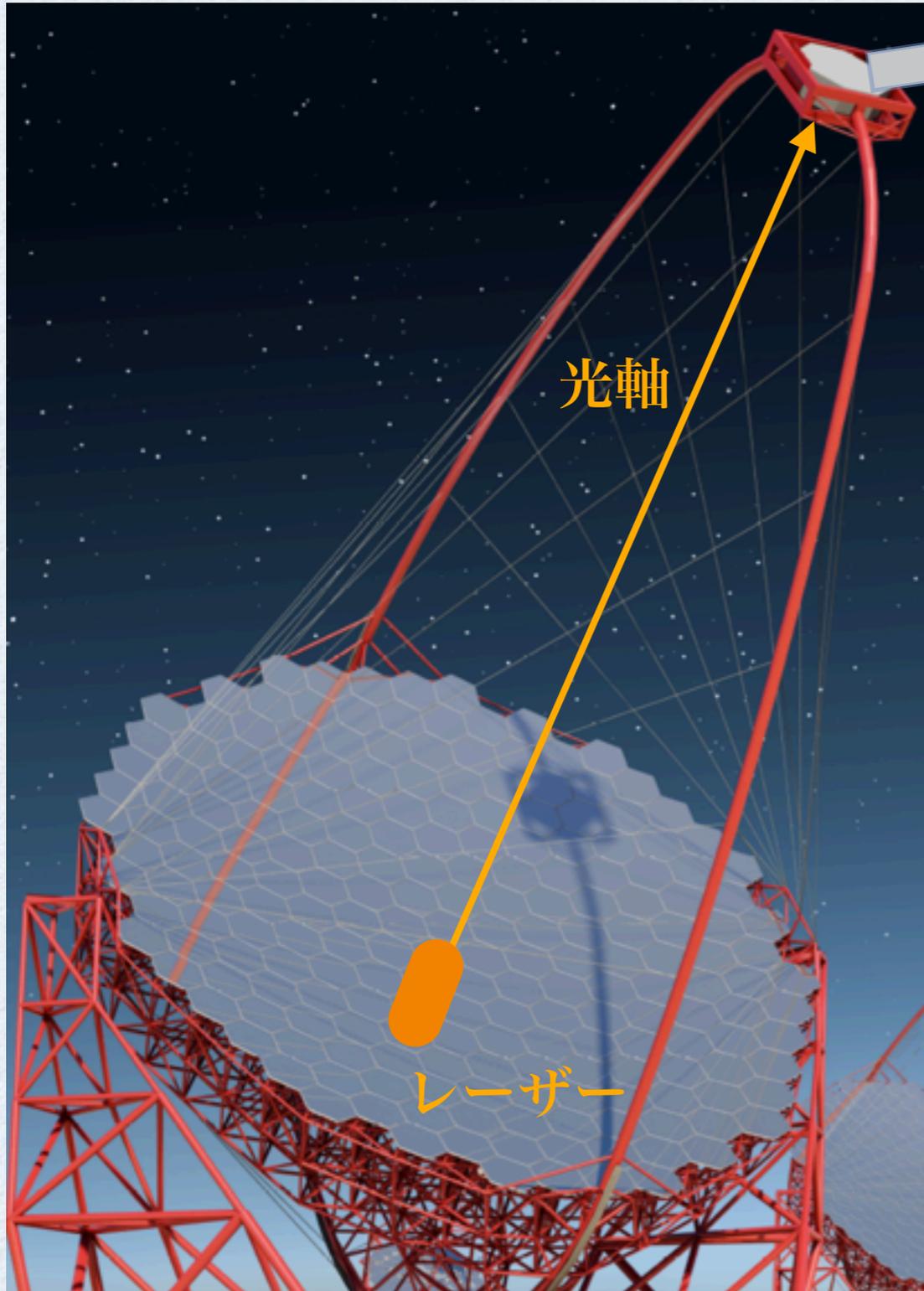
・ 要求精度

1. PSF (スポットの広がり)
2. ポインティング精度

→ **14秒角** (2.の制限から)



分割鏡補正過程



鏡面側から

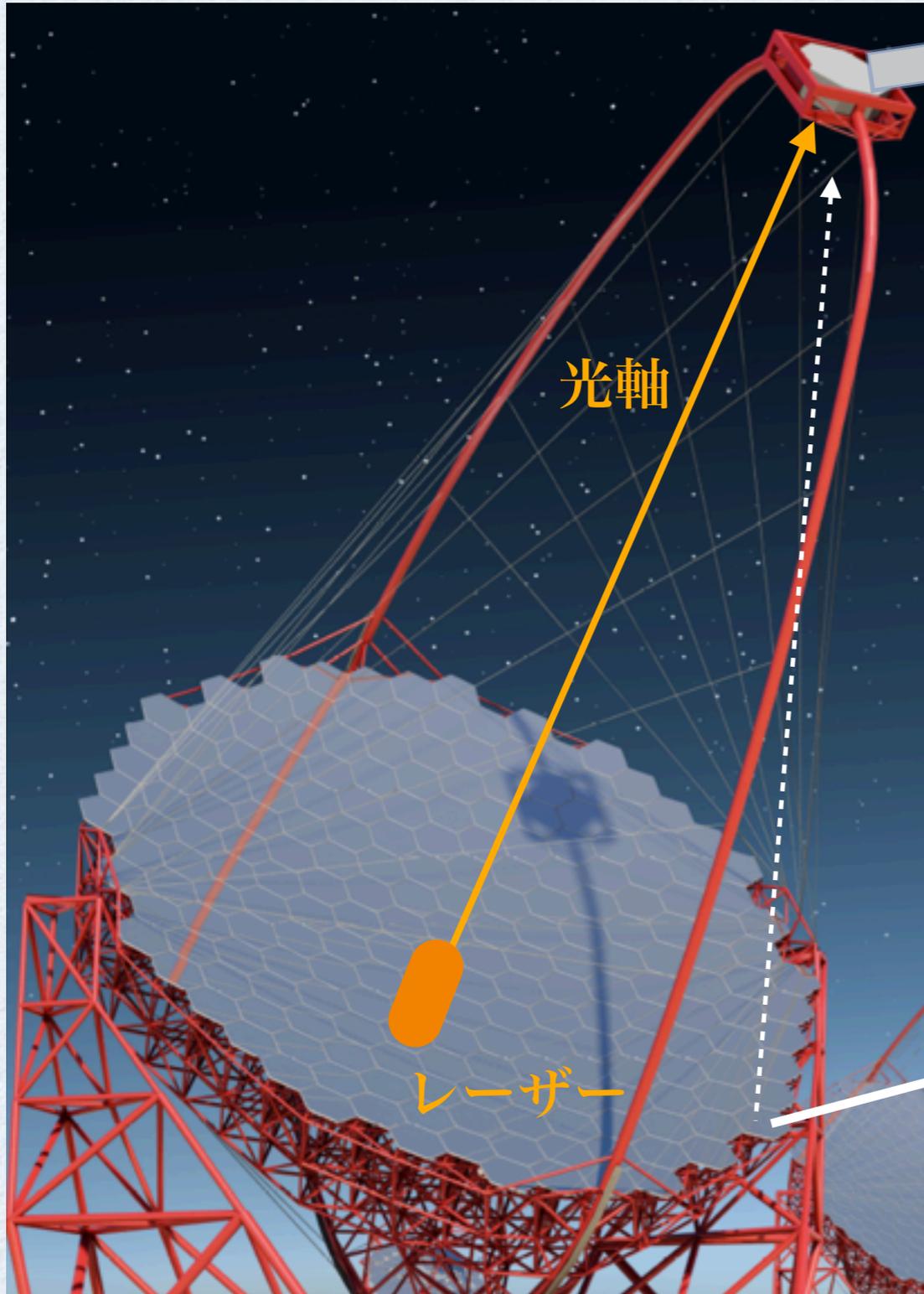
レーザースポット

検出器

焦点面

- 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

分割鏡補正過程



鏡面側から



レーザースポット



焦点面

- 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

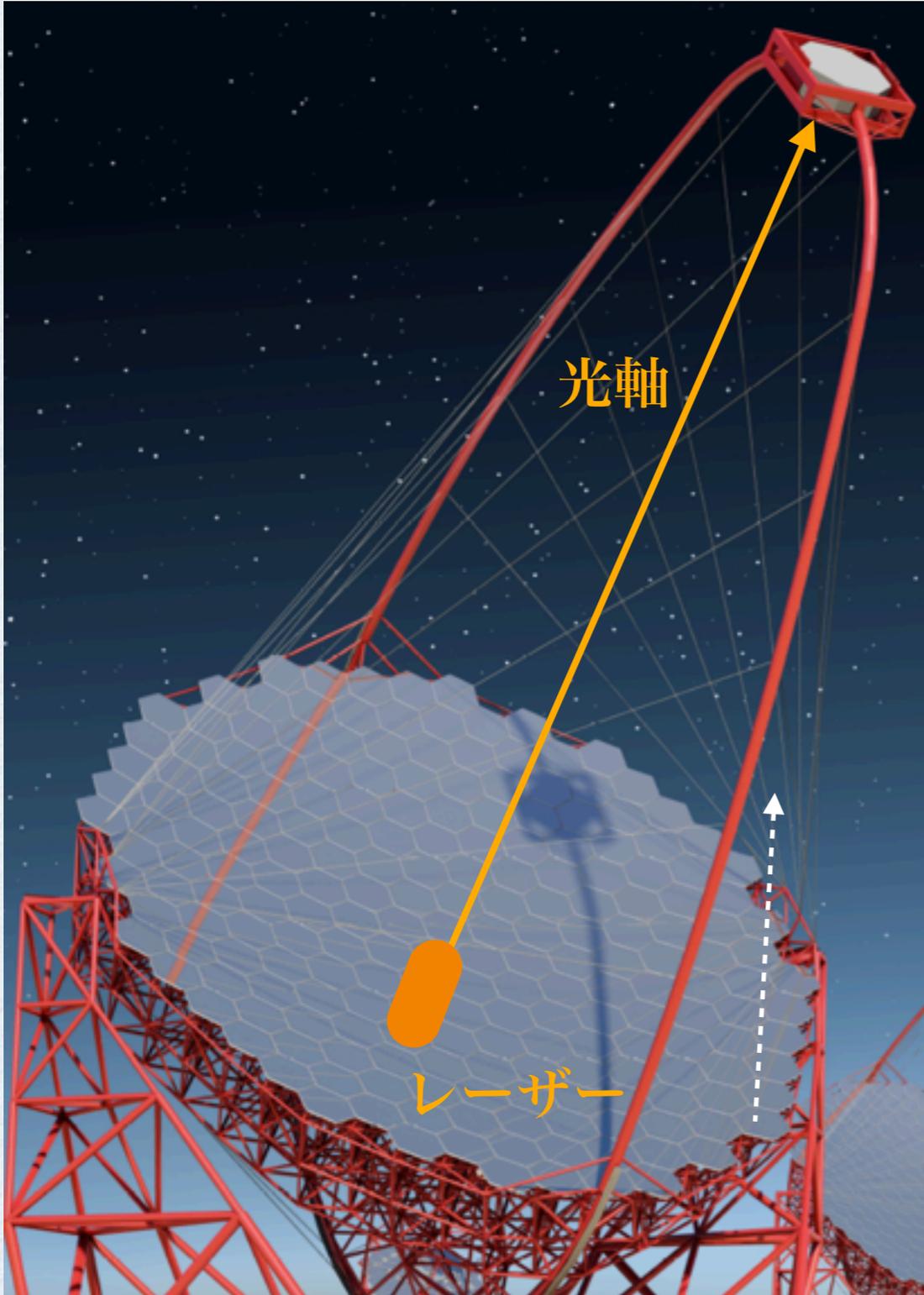


CMOSカメラ
(DMK23GM021)

- 8 bit、モノクロ
- 1280 × 960 pixel

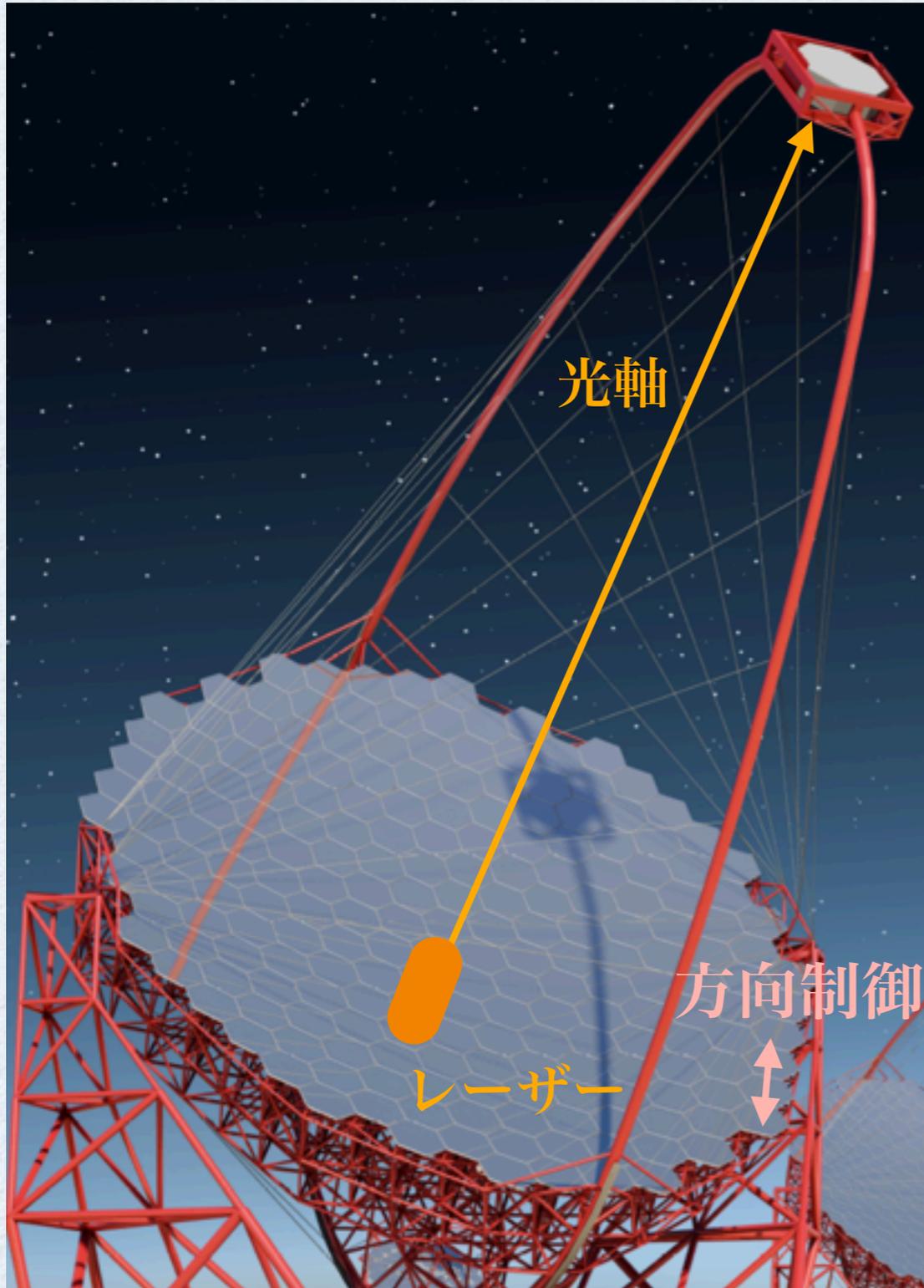
分割鏡補正過程

② スポット位置を解析し、基準点とのずれを計算する



カメラの焦点面画像

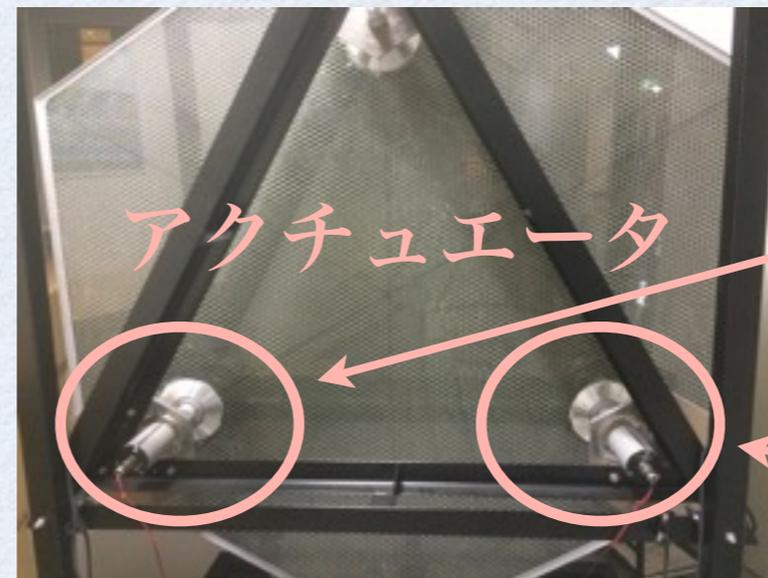
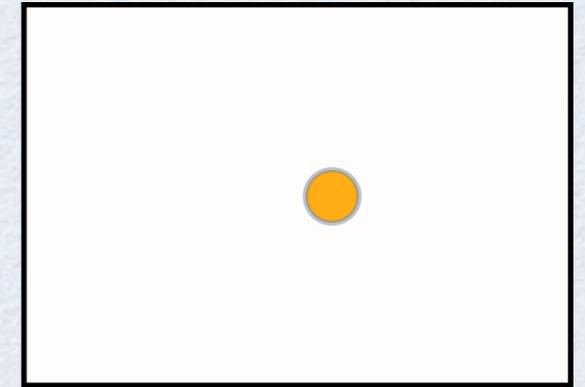
分割鏡補正過程



- 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

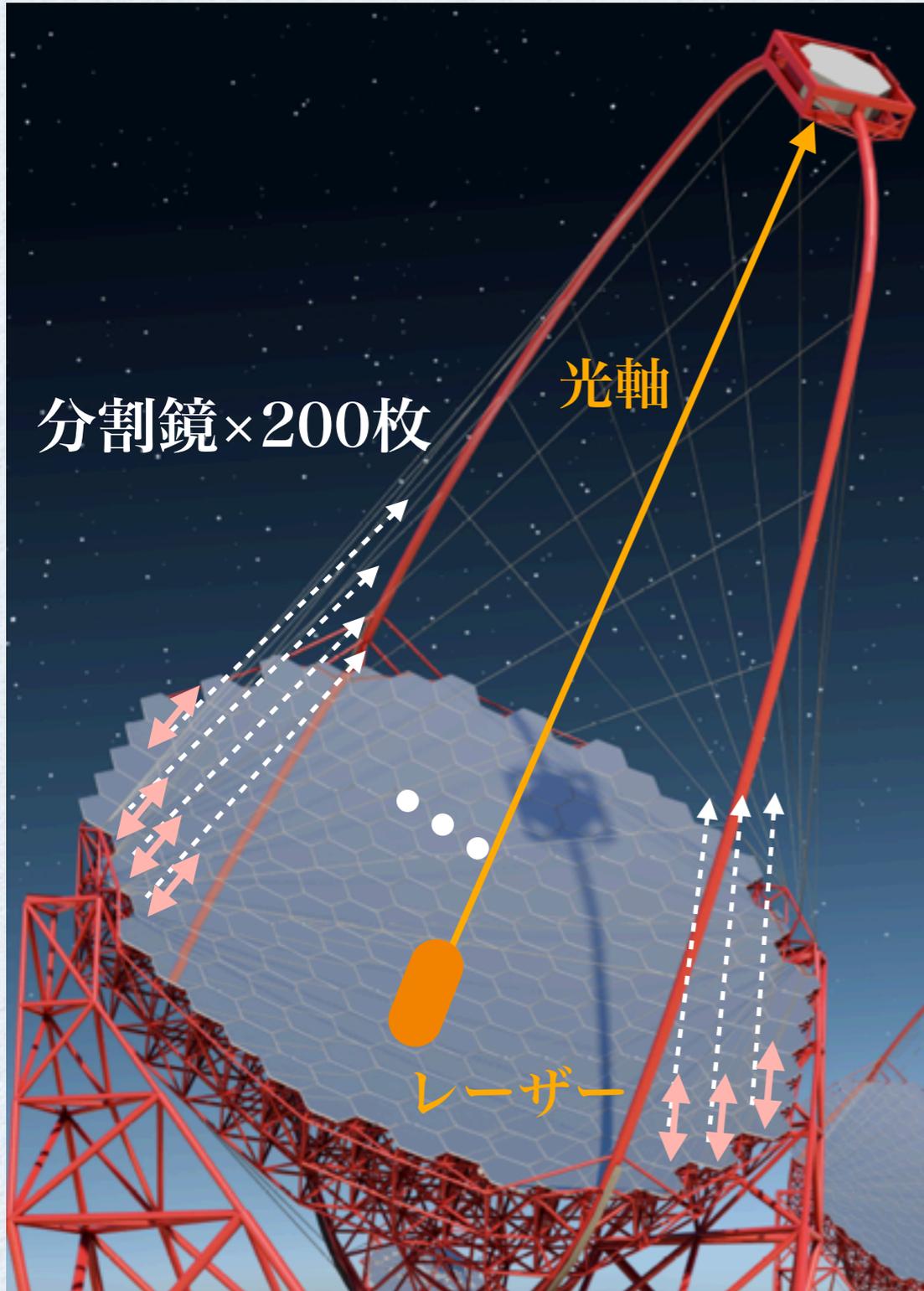


カメラの焦点面画像



- 日本とチューリッヒ大の共同生産
- 5 μm の精度で伸縮可能

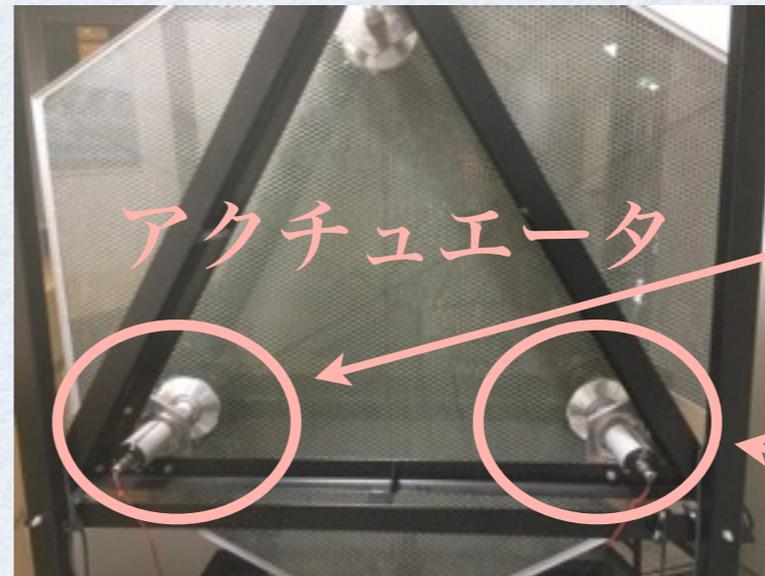
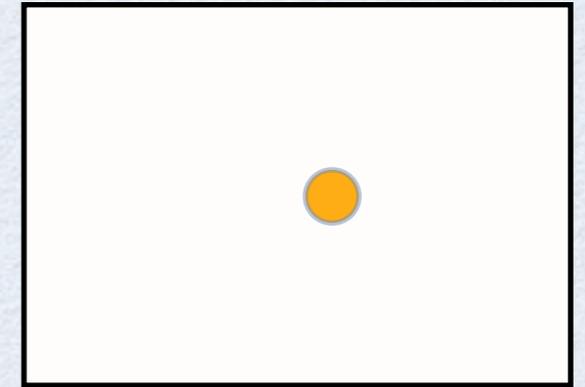
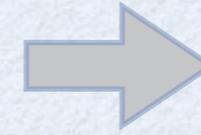
分割鏡補正過程



- 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 μm の精度で伸縮可能

(① ~ ③) × 200枚

(ローカルPC1台：13枚を制御)

AMCシステムの運用試験

・ 目的

分割鏡制御ソフトウェアを用いた
AMCシステムの運用試験

- システムの安定稼働の確認
- (制御にかかる時間の測定)

・ 試験装置

試験構造体

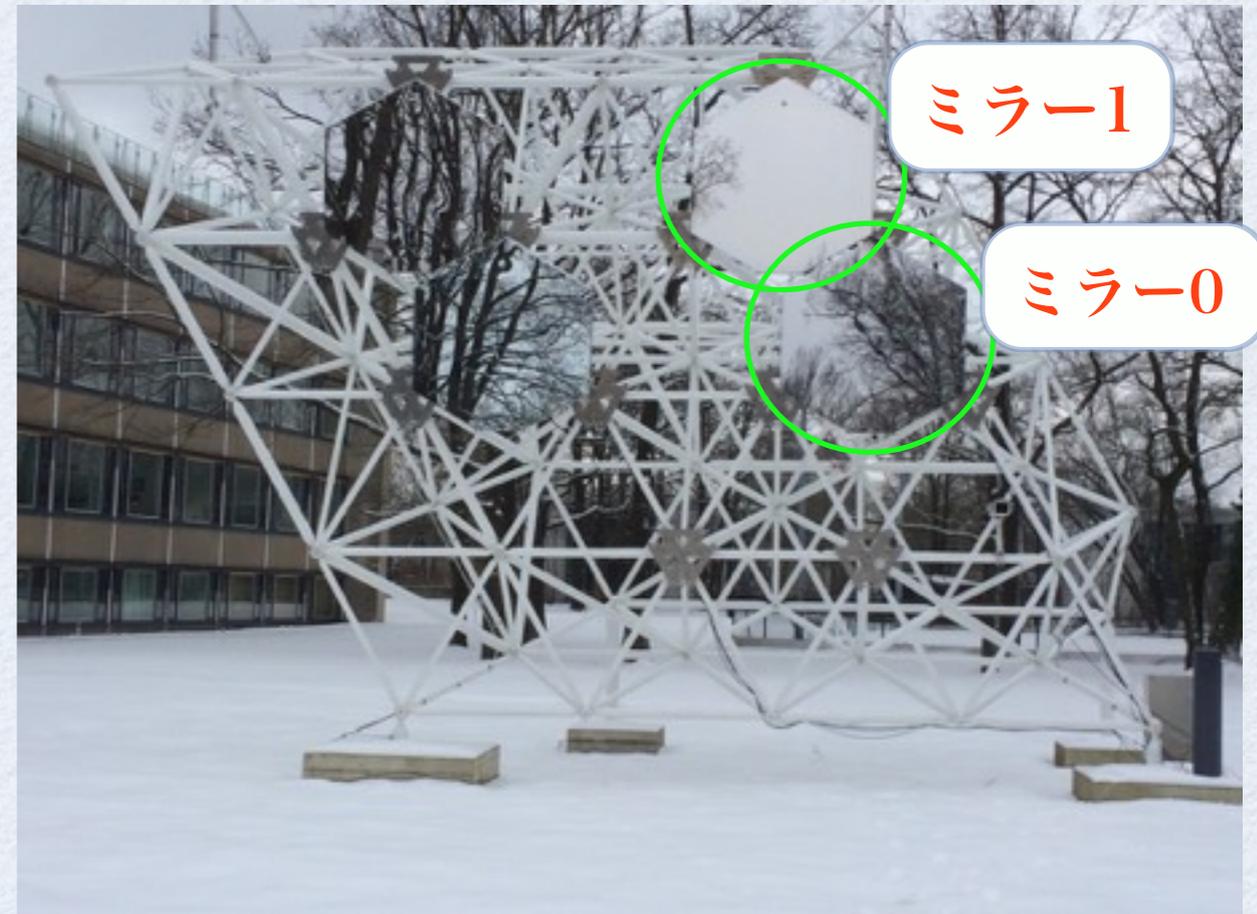
ドイツのマックスプランク物理学研究所に
建設されたLSTの1/8模型。

図の2枚の分割鏡(ミラー0、ミラー1)を用いた。

スクリーン、LED

構造体正面から28m離れた木製スクリーンと
LED (レーザースポットの代用)

図のLEDを用いた。



試験構造体



スクリーンとLED

・ 試験方法

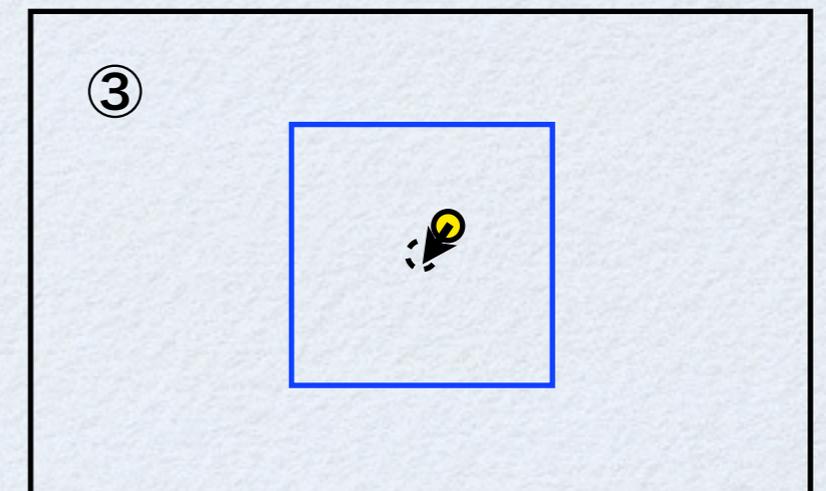
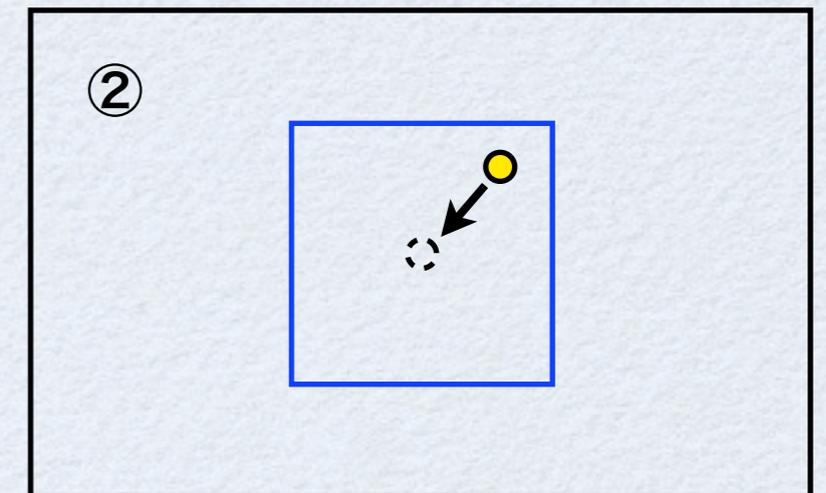
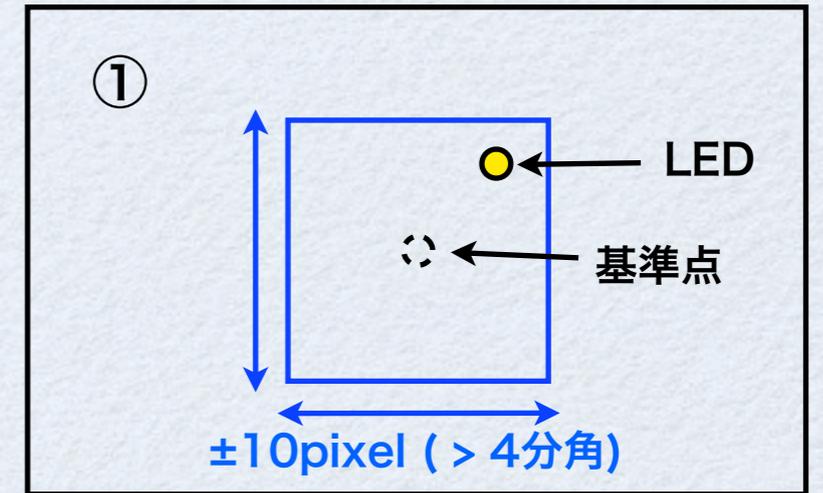
- ① カメラ画像上においてスポットをランダムに動かす。
(アクチュエータをランダムに動かす)
- ② AMC操作を行うことでスポットを元の正しい位置に戻す。
- ③ この状態からもう一度AMC操作を行う。

7晩通して ① ~ ③ を繰り返し行い、制御の安定性を確認

・ 結果

以降のページに示す。

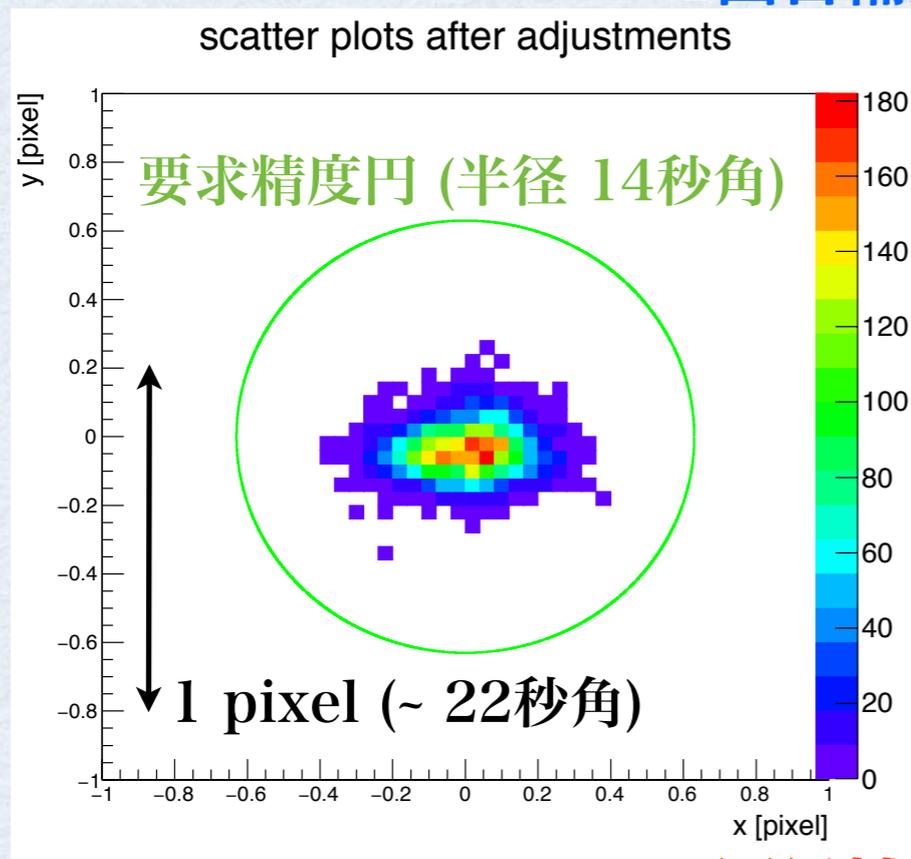
- ・ 結果1：制御の安定性 (1晩)
- ・ 結果2：制御の安定性 (7晩)



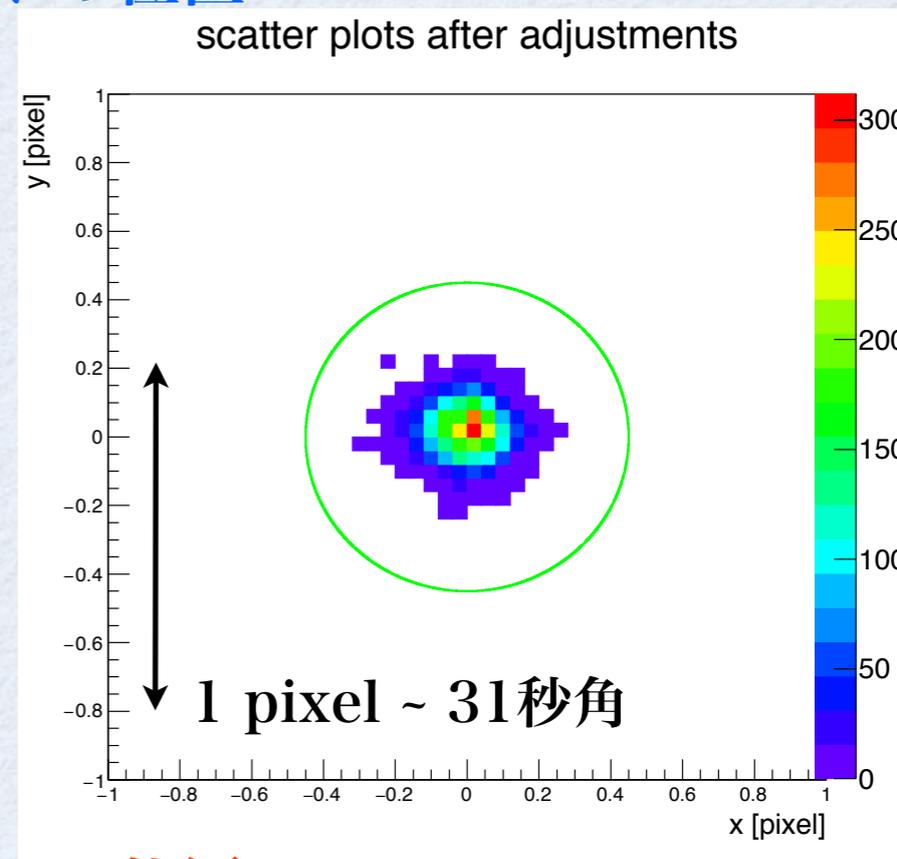
結果1：制御の安定性（1晩）

1回目補正後のスポットの位置

ミラー0

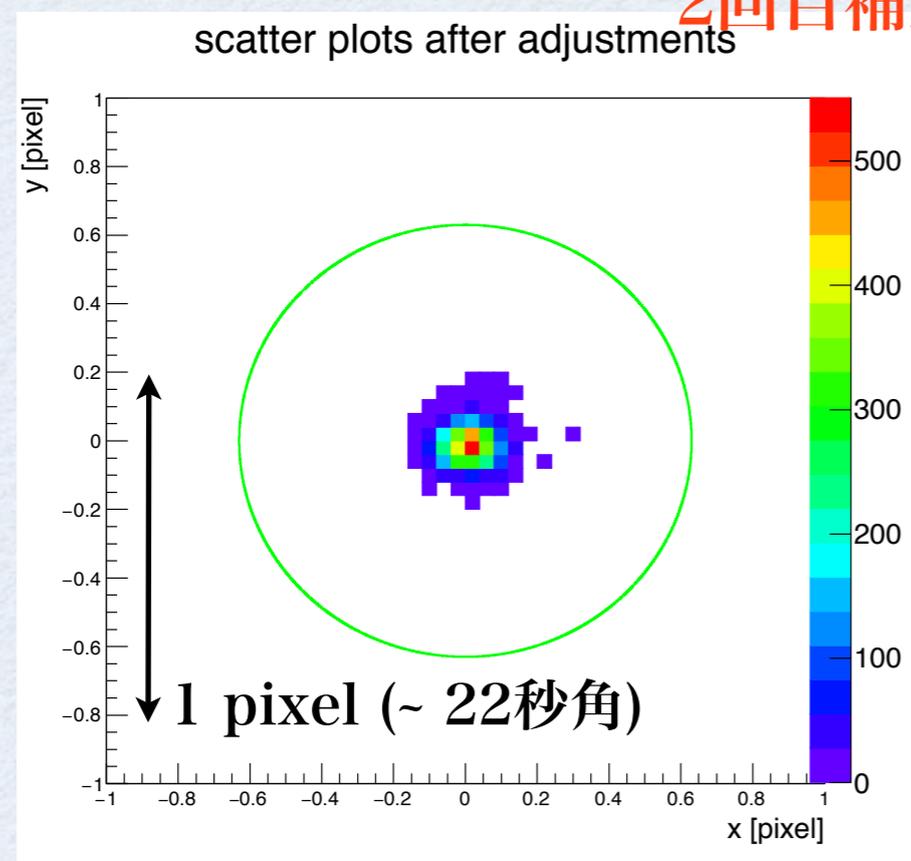


ミラー1

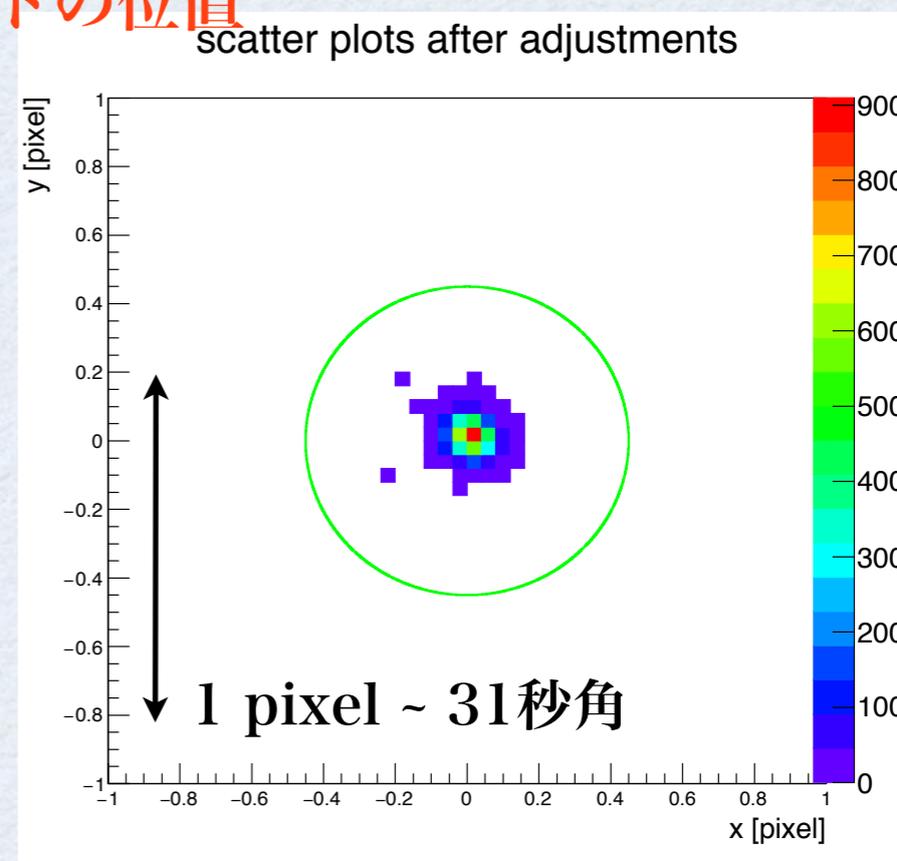


2回目補正後のスポットの位置

ミラー0



ミラー1



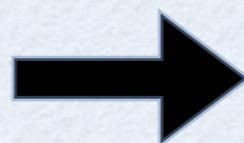
結果2：制御の安定性（7晩）

- 補正後の点と基準点との距離

要求精度から外れる確率：P

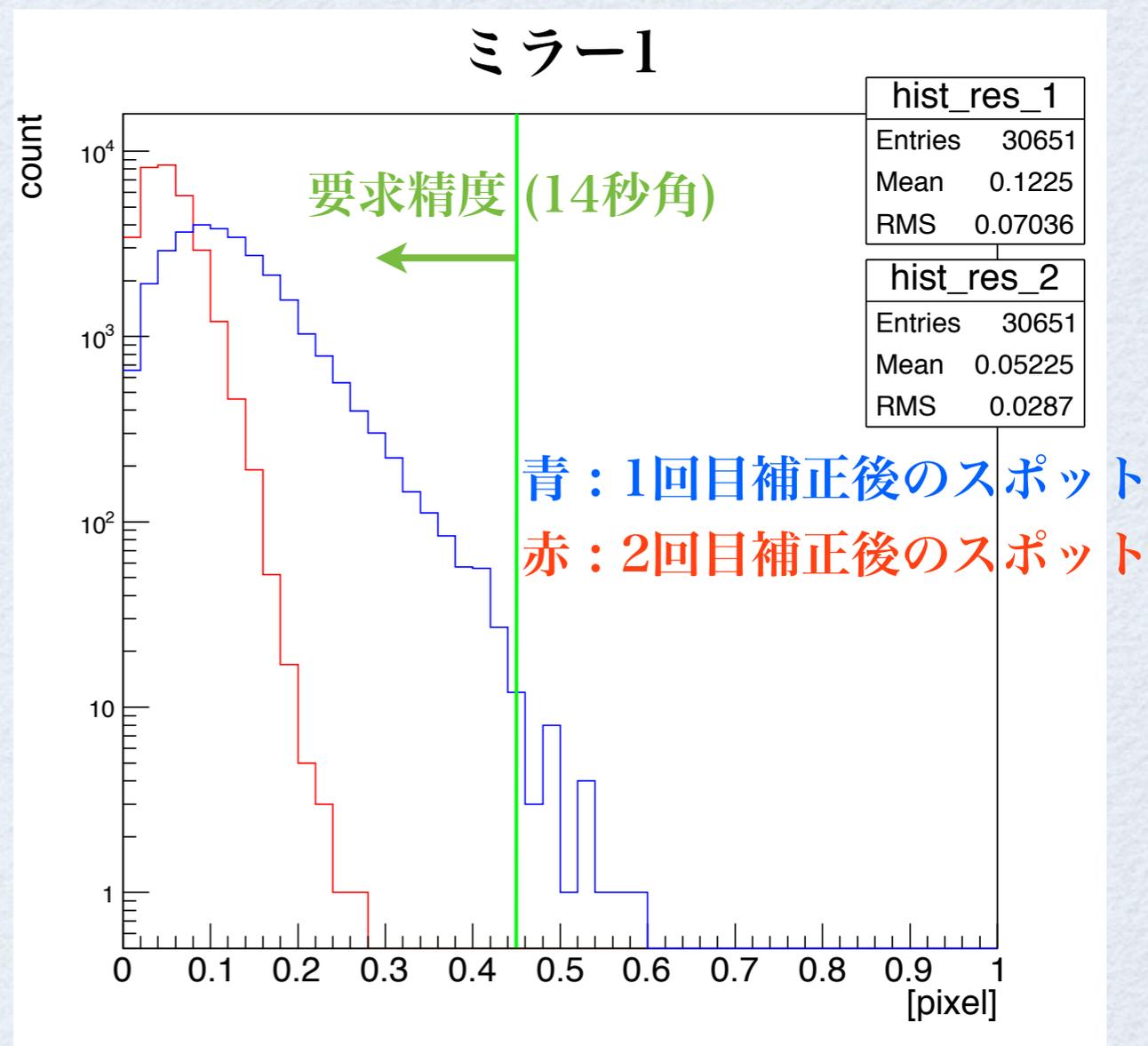
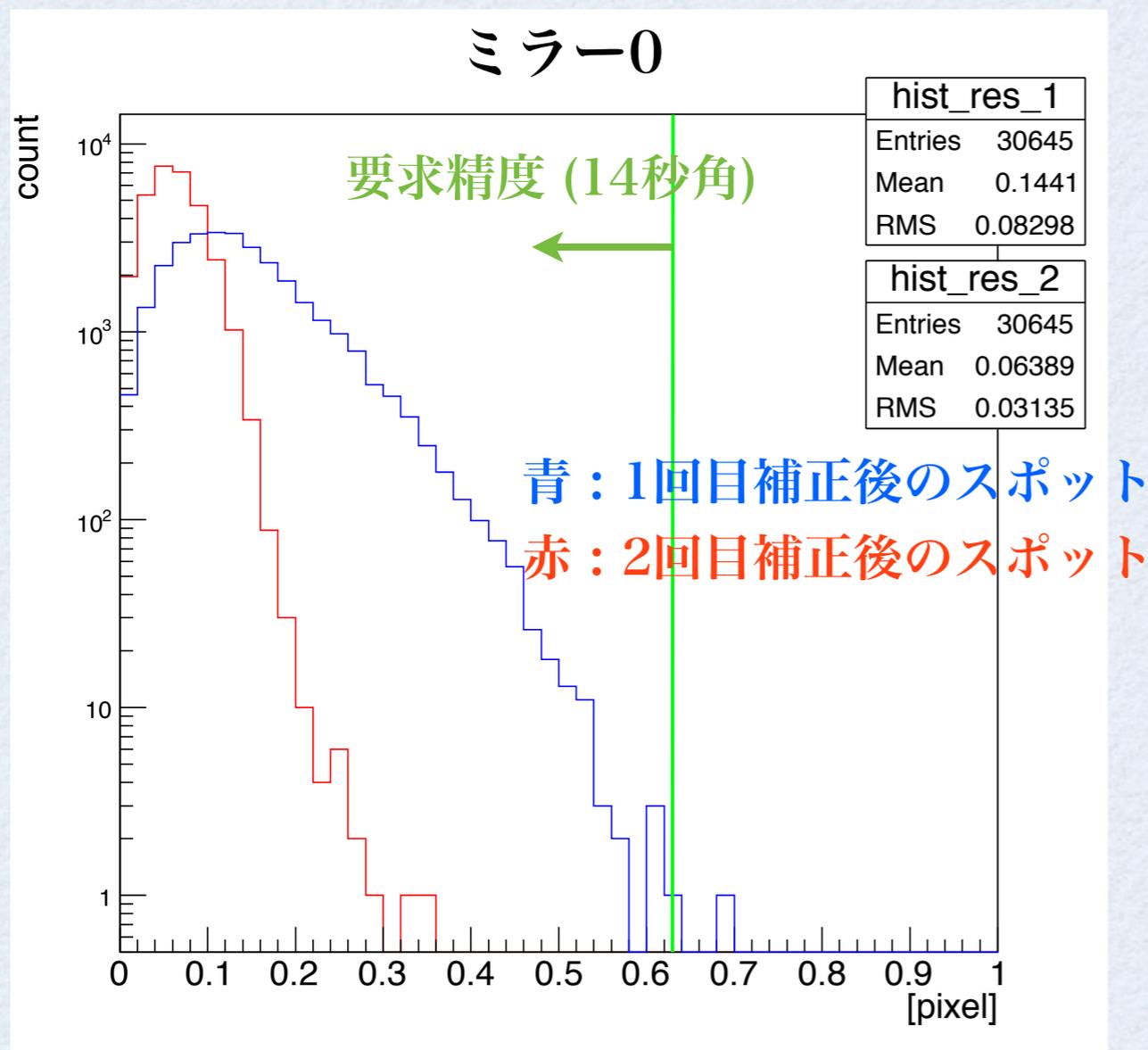
$$P_{m0,1} \sim 10^{-4}, P_{m0,2} \sim 10^{-9}$$

$$P_{m1,1} \sim 10^{-3}, P_{m1,2} \sim 10^{-9}$$



1分に1回補正、20年観測として

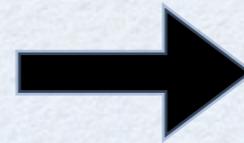
$$\left\{ \begin{array}{l} < 2-3 \text{ 枚}/200 \text{ 枚} (1 \text{ 回目}) \\ \sim 0 \text{ 枚}/200 \text{ 枚} (2 \text{ 回目}) \end{array} \right.$$



結果2：制御の安定性（7晩）

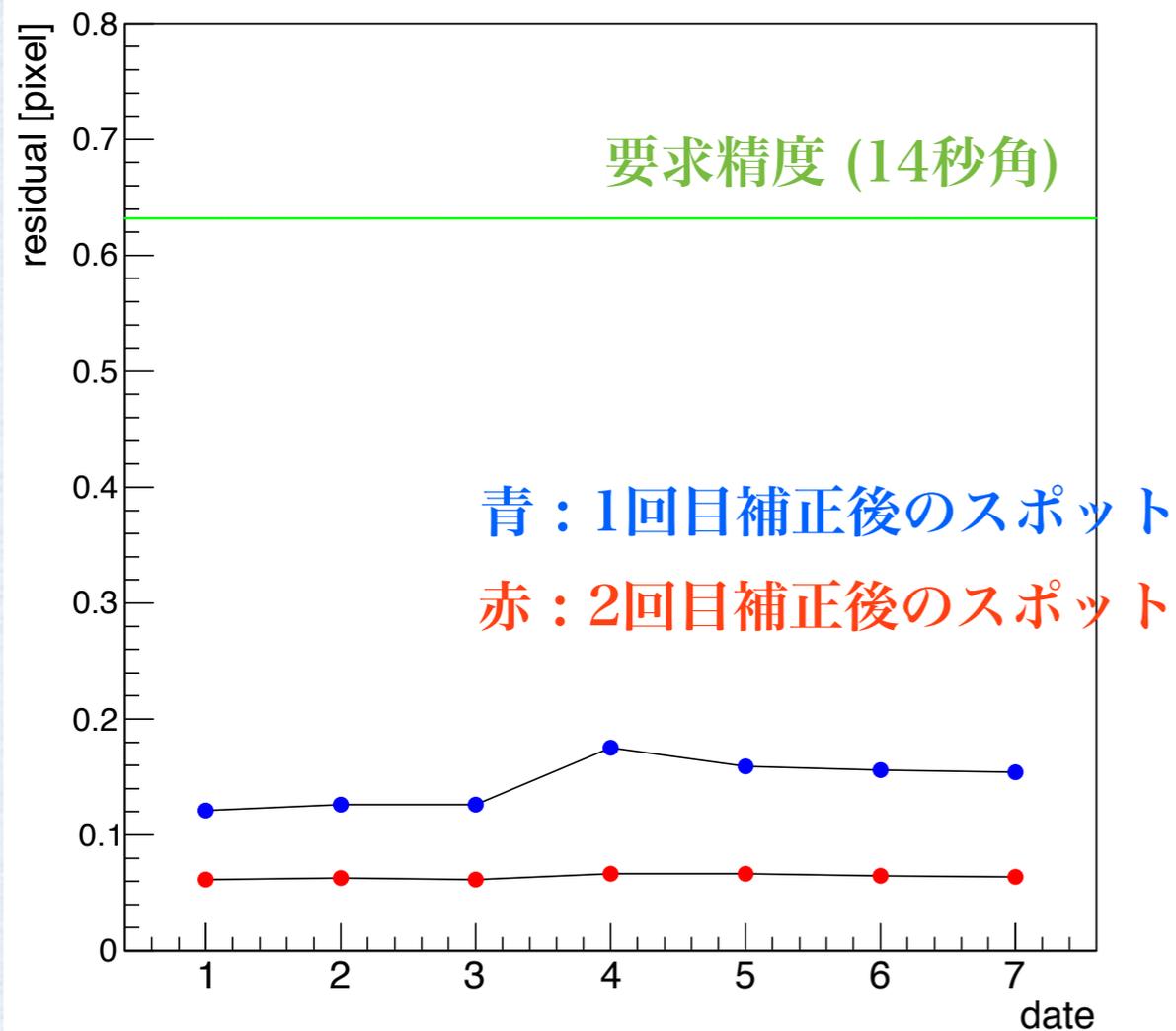
- 補正後の点と基準点との距離の平均（日ごと）

1回目補正後：平均約3-5秒角
2回目補正後：平均2秒角

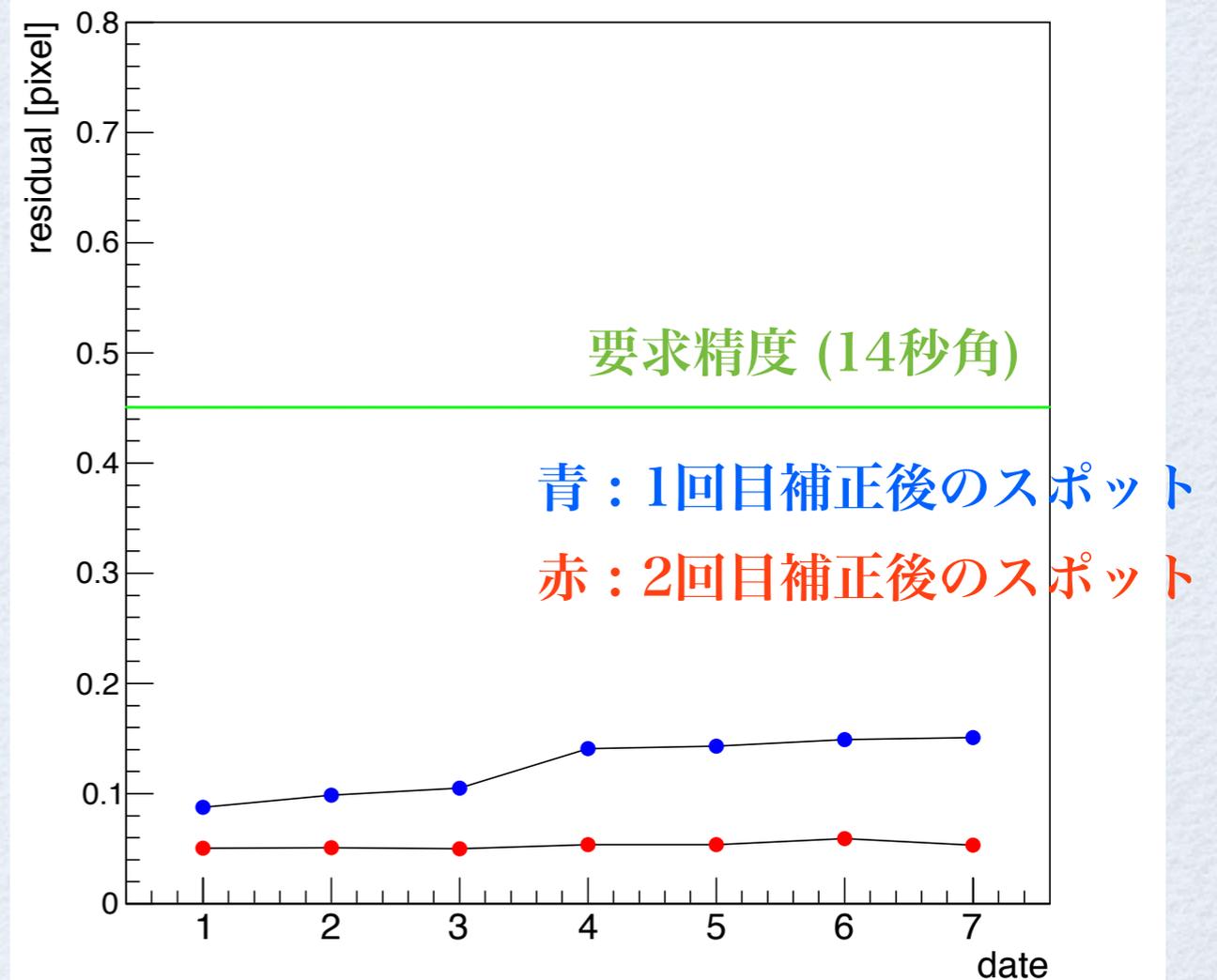


7晩通して十分な制御精度

ミラー0



ミラー1



まとめ

- CTA大口径望遠鏡AMCシステムは、能動的に方向のずれを検知し制御する、 γ 線天体の高感度測定に必要不可欠なシステムである。
- AMCシステムのソフトウェアを開発し、実際に近い環境である試験構造体を用いて、1回の補正で平均約3-5秒角、2回の補正で平均約2秒角で制御できることを確認した。

今後

- より長期的な運用試験を行い、強風や極端な気温の下でも十分な精度で制御可能であるか確認する。
- CTA大口径望遠鏡初号機を用い、200枚の分割鏡の制御試験を現地にて行う。
- 突発天体を素早く観測するため、AMCシステムを望遠鏡の高速回転後に発生する振動を考慮したものにアップデートする。