

CTA 報告73: CTA大口径望遠鏡に用いる 分割鏡制御システムの開発



小島拓実^A

野里明香^B、千川道幸^B、林田将明^A、荻野桃子^A、奥村暁^{C,D}、加賀谷美佳^E、
片桐秀明^E、斉藤浩二^A、田中駿也^E、手嶋政廣^{A,F}、中嶋大輔^A、野田浩司^F、
花畑義隆^A、馬場浩則^E、柳田昭平^E、山本常夏^G、吉田龍生^E、

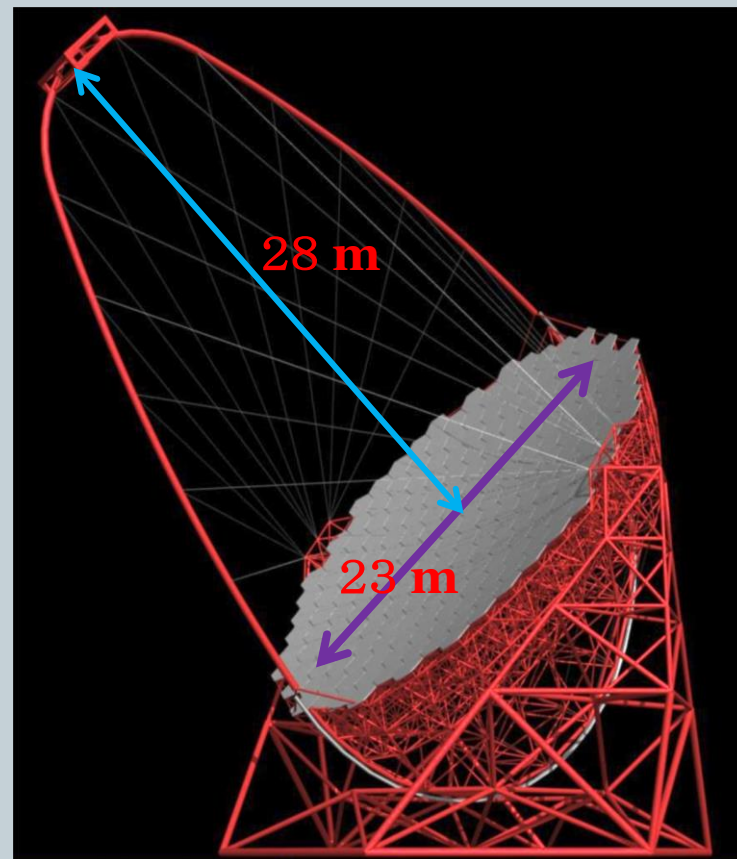
他 **CTA-JAPAN CONSORTIUM**

東大宇宙線研^A

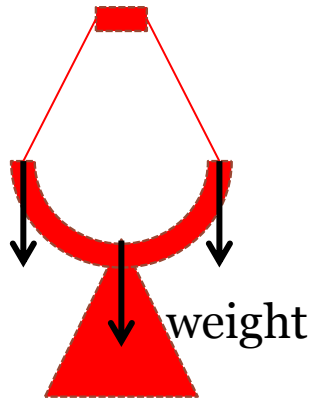
近畿大理工^B、名大 **STE** 研^C、レスター大^D、茨城大理工^E、
MAX-PLANCK-INST. FUER PHYS.^F、甲南大理工^G

大口径望遠鏡(LST)

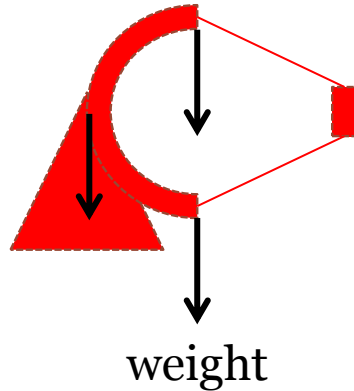
- 望遠鏡主鏡
 - >口径23 mの放物面鏡
 - 焦点距離28 m
 - 分割鏡198枚から構成
- 望遠鏡(主鏡)光軸
 - >主鏡中心からIRレーザーを照射し、基準とする
- 回転速度: 180 deg/20 sec
 - >望遠鏡軽量化のために CFRP (carbon-fiber-reinforced plastic) を使用



LSTの光学系の変形



MAX ~13mm



MAX ~11mm

LSTは様々な角度で、天体を観測



構造体の自重により光学系が変形



結像性能の劣化

LSTでは、Low energy側 (20 GeV~200 GeV) のガンマ線を観測

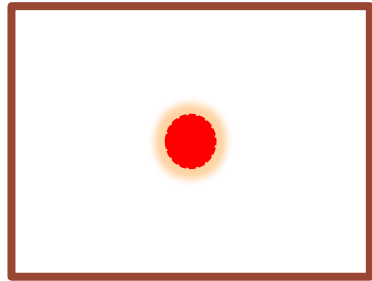
-> 結像性能が S/N に影響大

観測中でも補正し、限界まで感度を向上

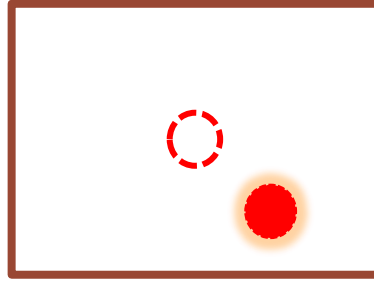
AMC (Active Mirror Control)

システム

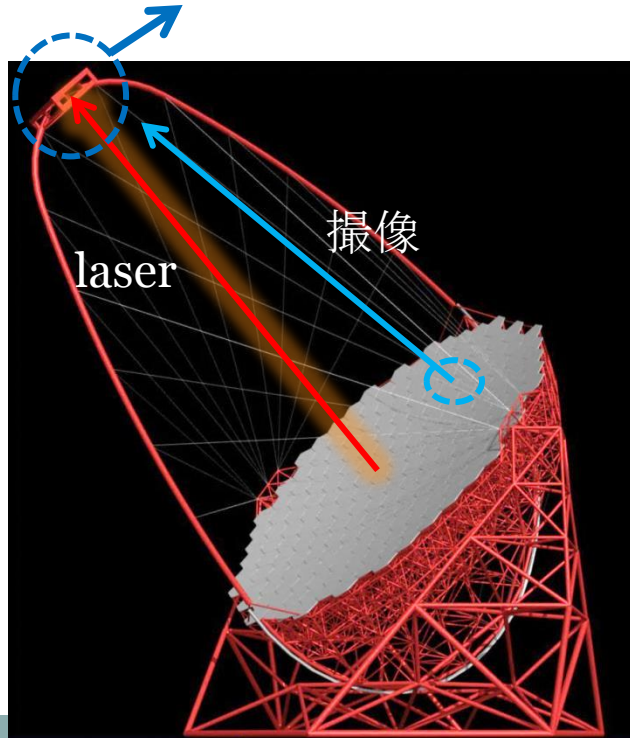
AMCシステムの補正方法



正しい光学系



変形した光学系 (例)



- ① レーザースポットを撮像し、位置を決定
- ② スポットの移動量から、変形量を計算
- ③ 分割鏡の方向を修正
- ④ ①～③をループ

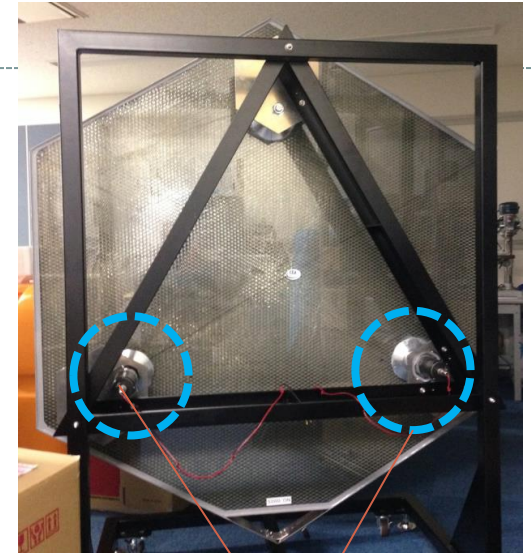
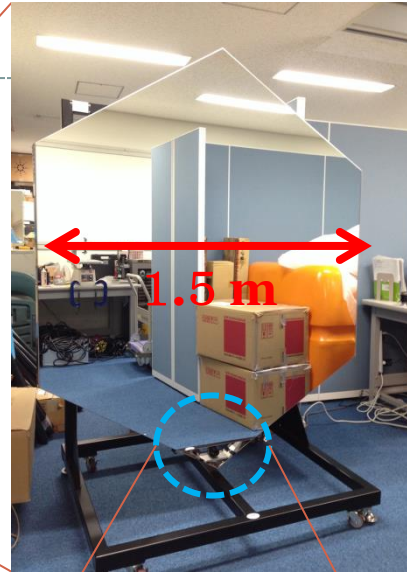
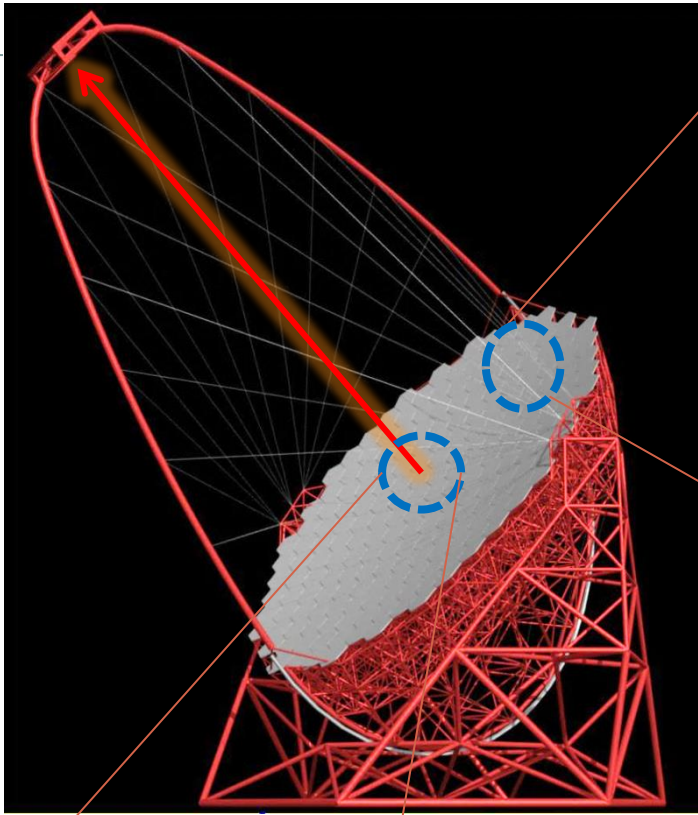
※装置については次ページで説明

分割鏡を $\pm 0.005 \text{ deg}$ の精度で補正



スポットの位置を 2.44 mm 以下の精度で決定

AMCシステムに用いる装置



アクチュエータ

- ・分割鏡の方向を修正
- ・無線で操作

CMOSカメラ

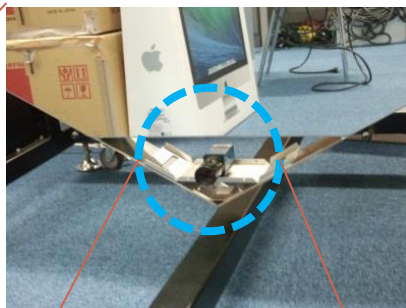
- ・レーザースポットを撮像
- ・防水加工 (IP67)



IRレーザー
(波長: 750~900 nm)



使用装置 (CMOSカメラ)



CMOSカメラ

Pixel size : $3.75 \mu\text{m}$

画素数 : 1280×960

イーサネットを使い、画像
データを取得

使用レンズ

焦点距離 35 mm

3.84 m

画像
@28 m

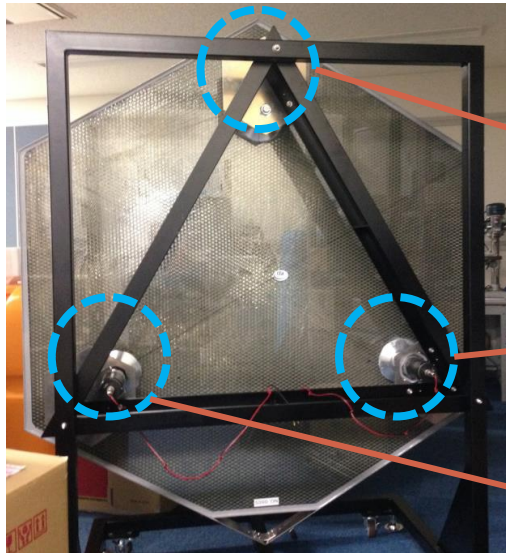
2.88 m

撮影すると、

$1 \text{ pixel} = 3.00 \text{ mm} \times 3.00 \text{ mm}$

要求精度 (2.44 mm) 程度

使用装置(アクチュエータ)



Fix point



Actuator
(MST用)



Actuator (MST用) の仕様

Stepping motor : 1step = $1/32$ mm (LST用は作成中、1step = $1/256$ mm)

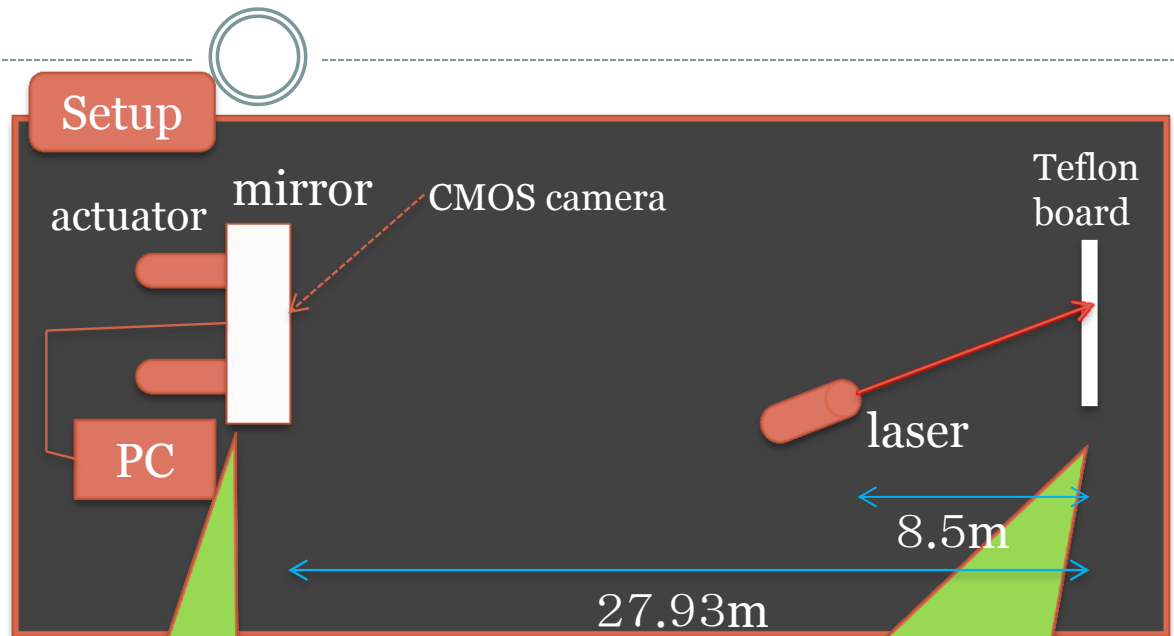
1 stepごとに 2.17×10^{-3} deg 変化

-> 28 m先で **1.06mm** (0.353pixel) の変化

要求精度(2.44 mm程度)未満

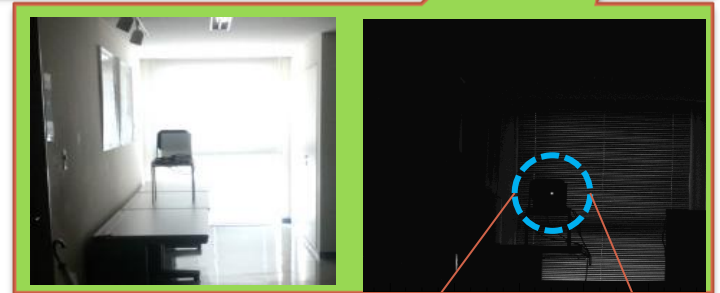
AMCの性能評価 (Setup)

- AMCシステムが実現可能か、テスト測定。
- アクチュエータはMST用 (1turn = 1mm = 32step) を使用 (予想) 1turn動くとspot位置が 11.28pixel移動



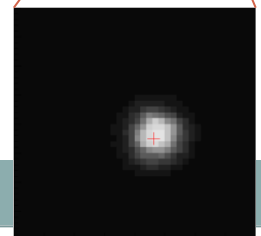
測定方法

- ① 分割鏡から約28 m先の対象にレーザーを照射
- ② アクチュエータを1turnずつ動かす、それぞれの方向で撮像
- ③ スポットの重心位置を計算



CMOS camera

Laser spot



AMCの性能評価(結果)

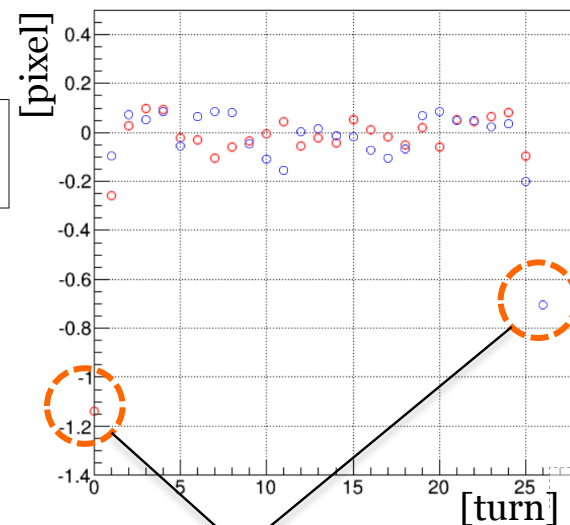
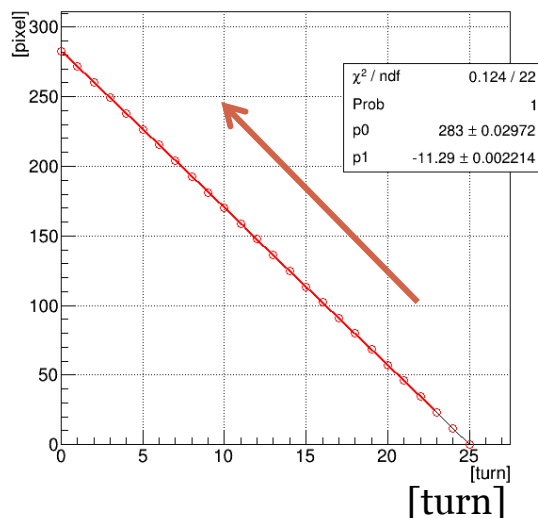
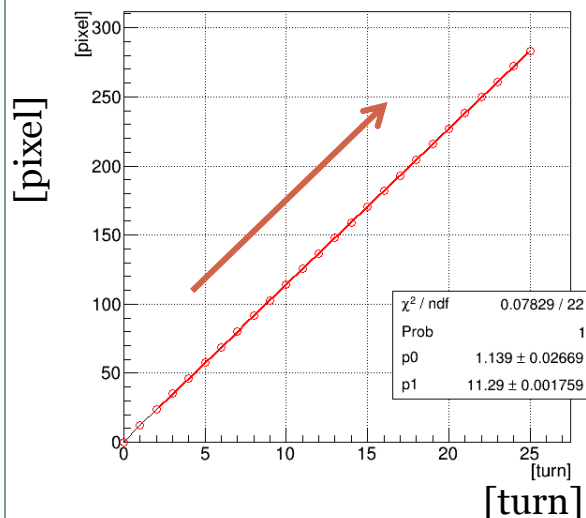


初点からの距離

残差

伸びる方向

縮む方向



アクチュエータの遊び

赤:伸
青:縮

- 1turn (1mm) ごとのスポットの移動量 -> 11.29 pixel (予想: 11.28pixel)
- 両端: アクチュエータの進行方向の折り返し点 -> 遊びの影響
- 残差: 両端を除いて 0.2pixel 以内に収まっている (要求精度 0.8pixel 未満)

まとめ & 今後



- 大口径望遠鏡 (LST) の構造体の自重による光学系の変形 -> AMCシステムを導入する。
- AMCシステムの性能評価 -> 1turn(1mm)ごとのレーザースポットの移動を確認した。
- AMCシステムの構築 -> 画像取得、解析とアクチュエータ操作を同時制御するプログラムの開発していく。
(スポットの移動量からアクチュエータの必要可動量を計算)
- 今回はMST用を使用 -> LST用のアクチュエータが完成後、同様の測定をし、より正確なテストを行う。