

CTA報告94: CTA 大口径望遠鏡 central CCD pixel の開発

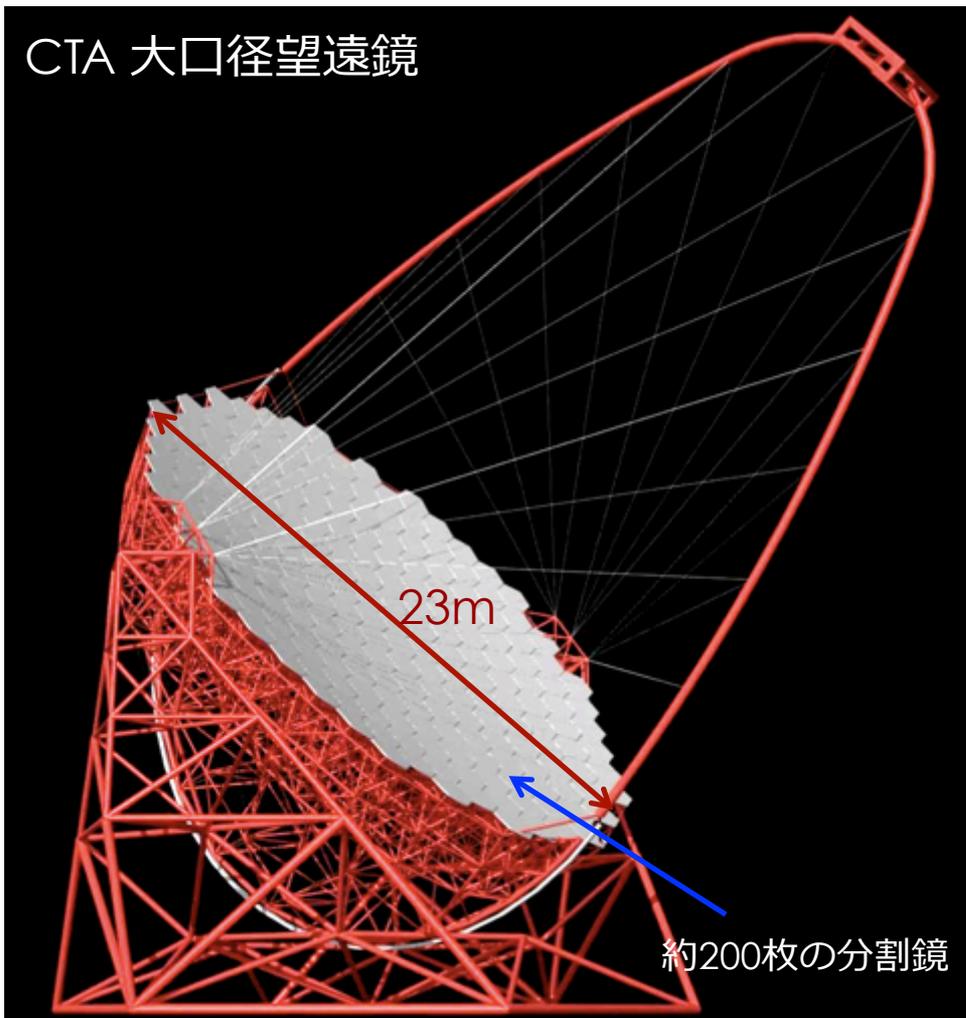
齋藤隆之^{A,B},

荻野桃子^C, 奥村暁^{D,E}, 小野祥弥^F, 加賀谷美佳^F, 片桐秀明^F, 小島拓実^C, 齋藤浩二^C, 千川道幸^G,
長紀仁^F, 手嶋政廣^{C,H}, 中嶋大輔^C, 野田浩司^H, 林田将明^C, 花畑義隆^C, 深見哲志^C,
柳田昭平^F, 山本常夏^I, 吉田龍生^F, 他 CTA-Japan Consortium

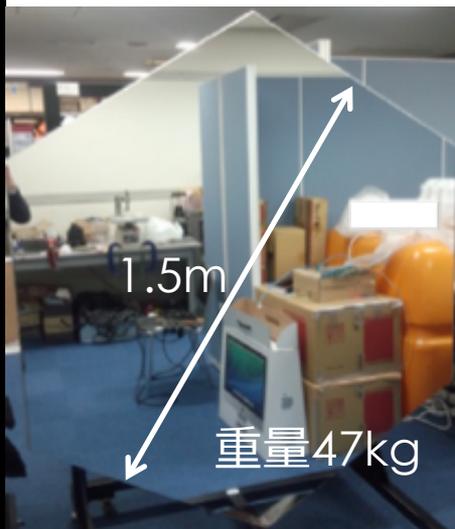
京大理^A, 京大白眉センター^B, 東大宇宙線研^C, 名大 STE 研^D, レスター大^E, 茨城大理^F, 近畿大理^G,
Max-Planck-Inst. fuer Phys.^H, 甲南大理工^I

CTA 大口径望遠鏡の反射鏡

CTA 大口径望遠鏡



分割鏡



アクチュエータ



自己重力により望遠鏡構造は天頂角に依存して歪む。

アクチュエータで分割鏡の向きを補正しながら観測し、集光性能を維持する。

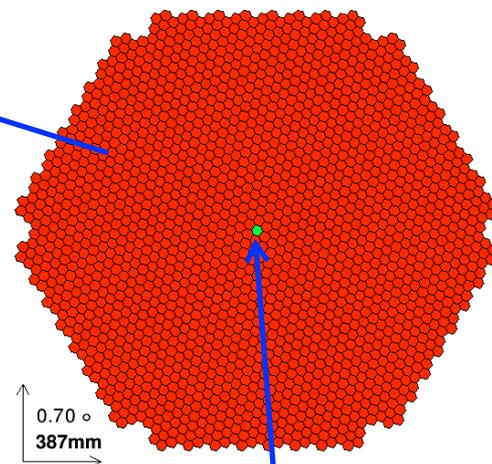
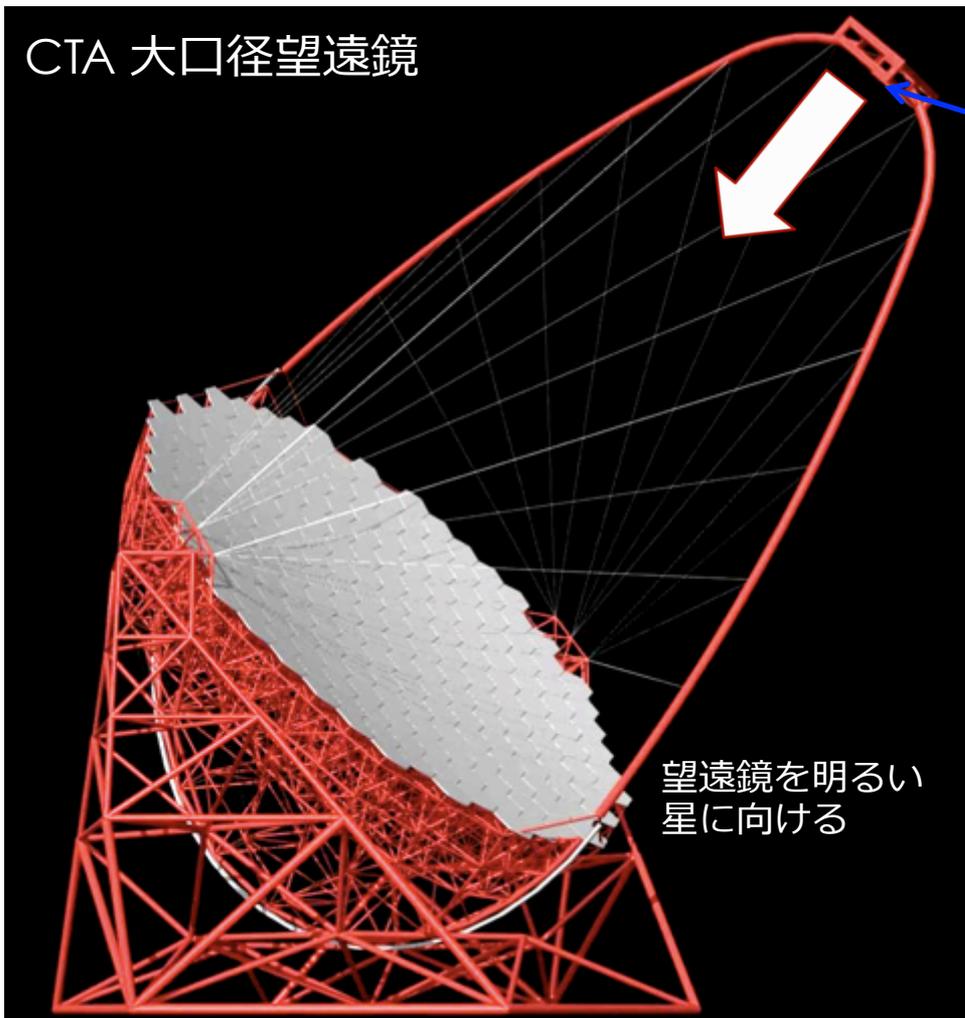
補正が正しくできているか確認する機構を作りたい。

観測開始前の分割鏡の状態の確認もしたい。

Central CCD pixelとは



CTA 大口径望遠鏡

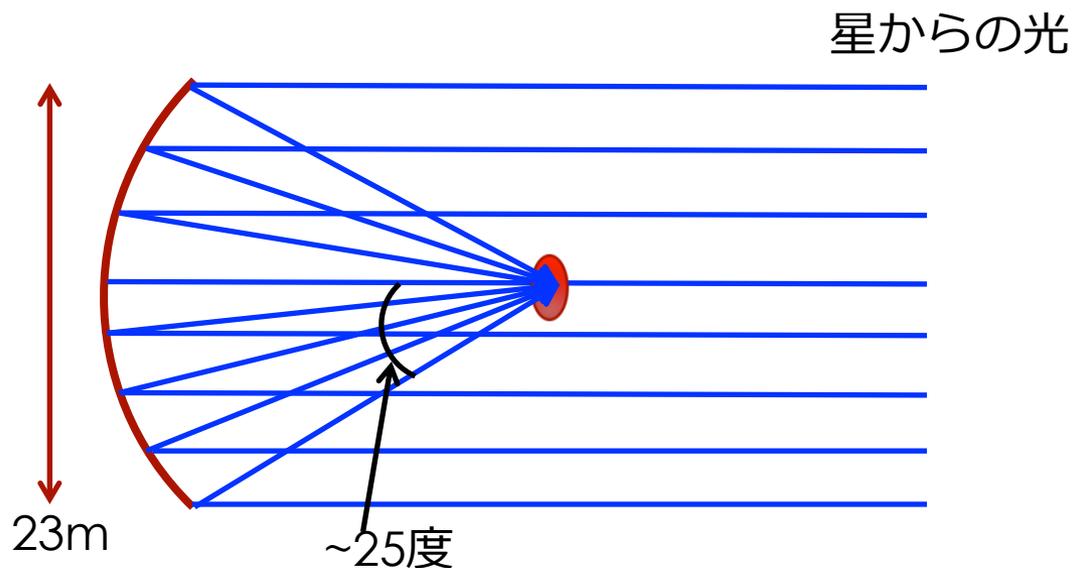


1854ピクセルの
PMTカメラ

中心の1ピクセル
をCCDカメラに

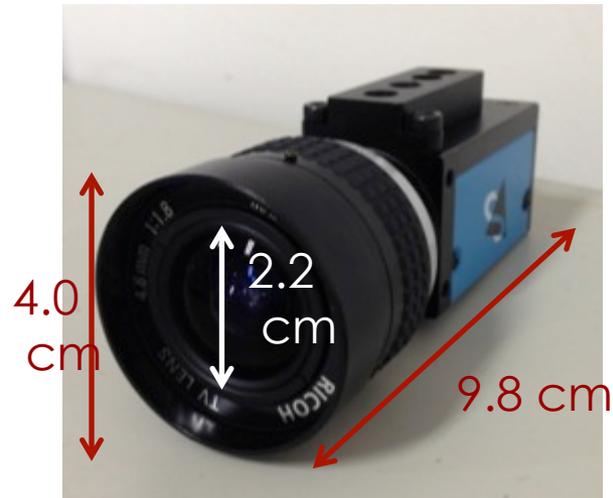


Central CCDの使い方

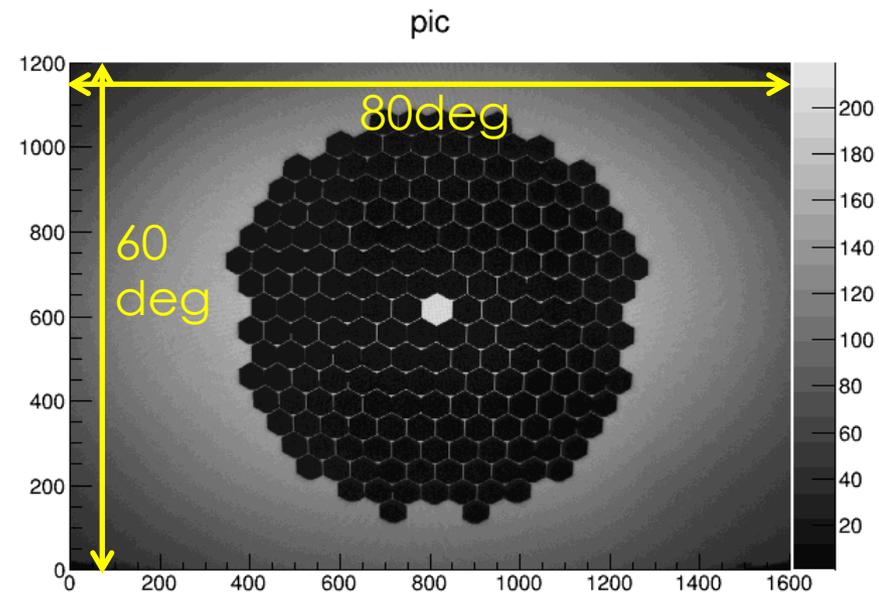
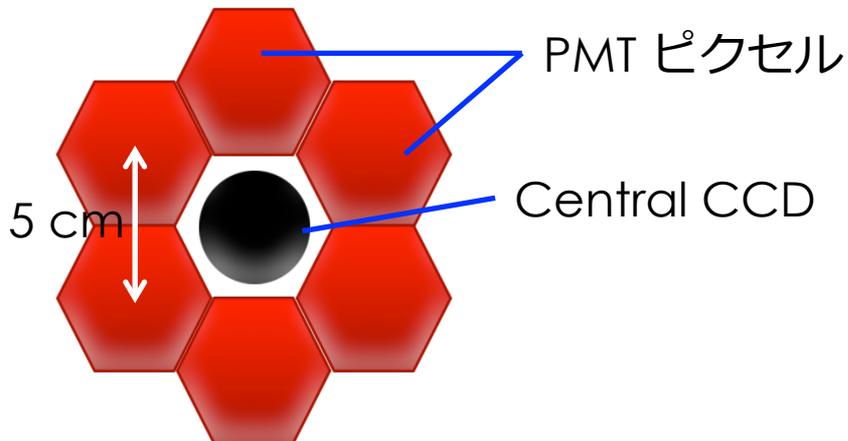


- 望遠鏡を明るい星に向ける
- 鏡の表面に焦点を合わせる
- 星の像ではなく、一様に光る分割鏡が見えるはず
- 分割鏡の向きと反射率の確認ができる

CCD カメラ

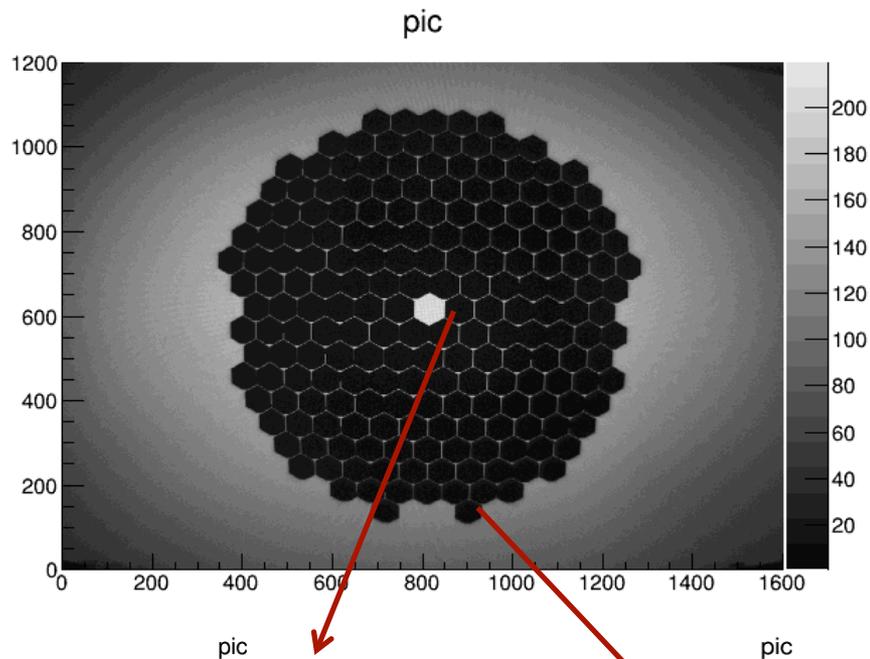


- CCD Camera
Imaging Source, DMK 23G274
1600 x 1200 pixels
PoE対応
- Lense
Richo, FL-CC0418DX-VG

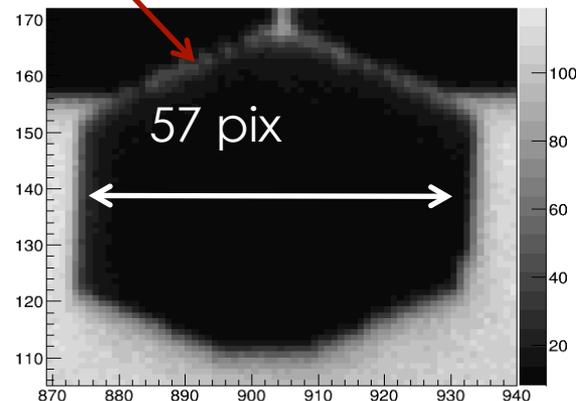
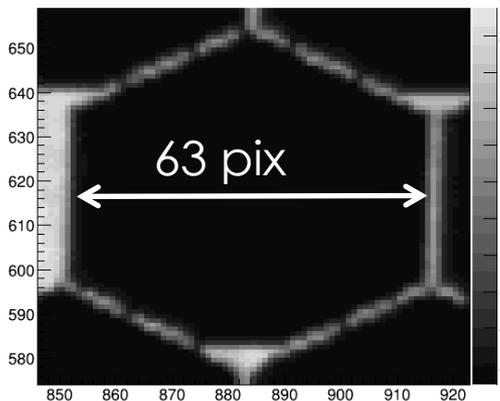
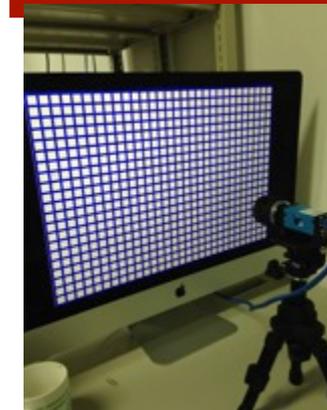
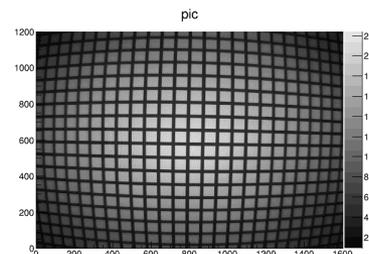
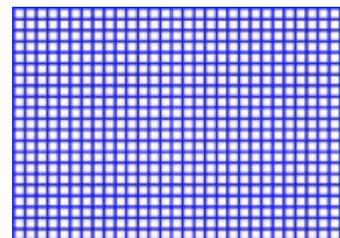


大口径反射鏡はこのように写る

各分割鏡の画素数



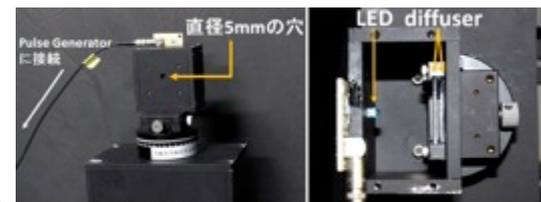
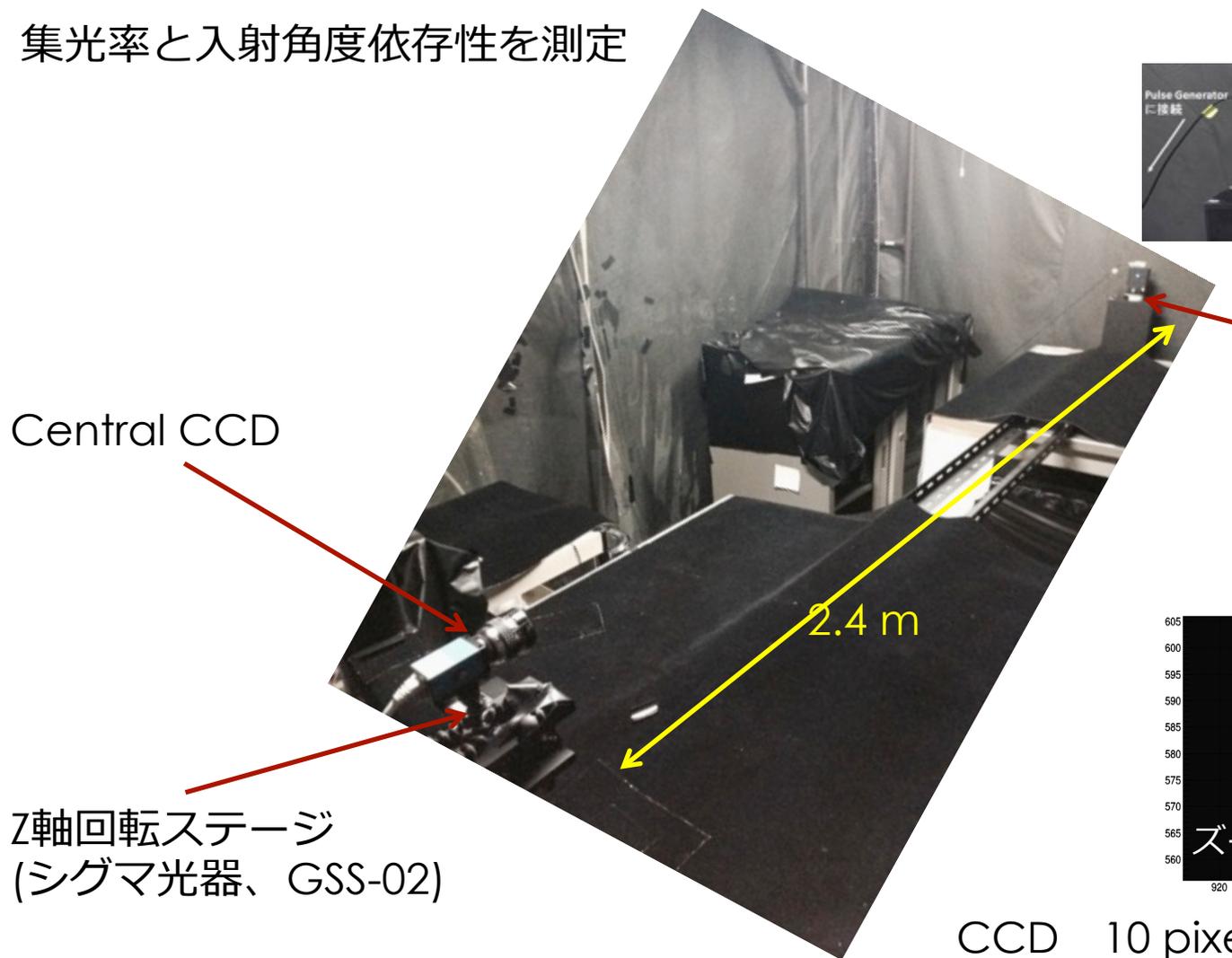
歪み



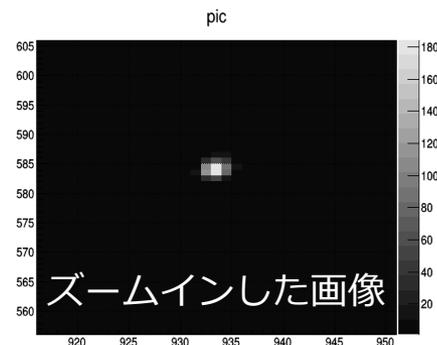
広角レンズなので多少歪むが、
中心でも端でも~3000 pixel以上
の画素数

集光性能の測定

- 集光率と入射角度依存性を測定

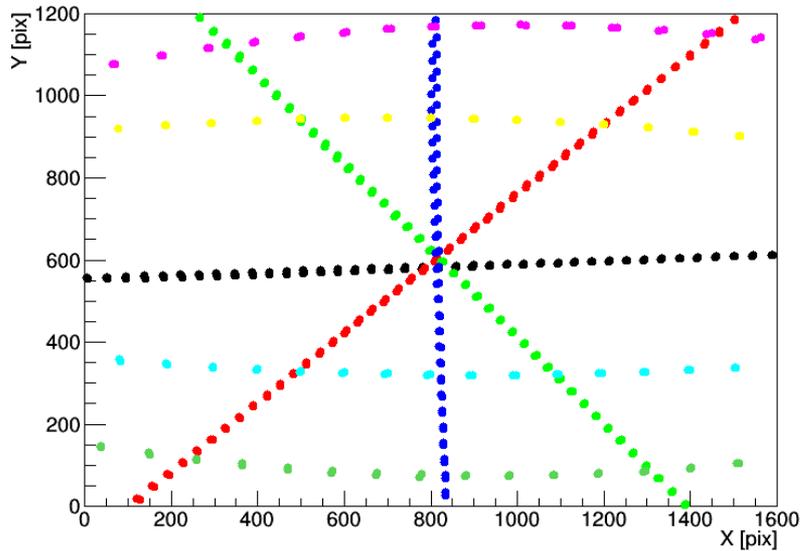


光源:
LED NSPB346KS
(日亜、465 nm)

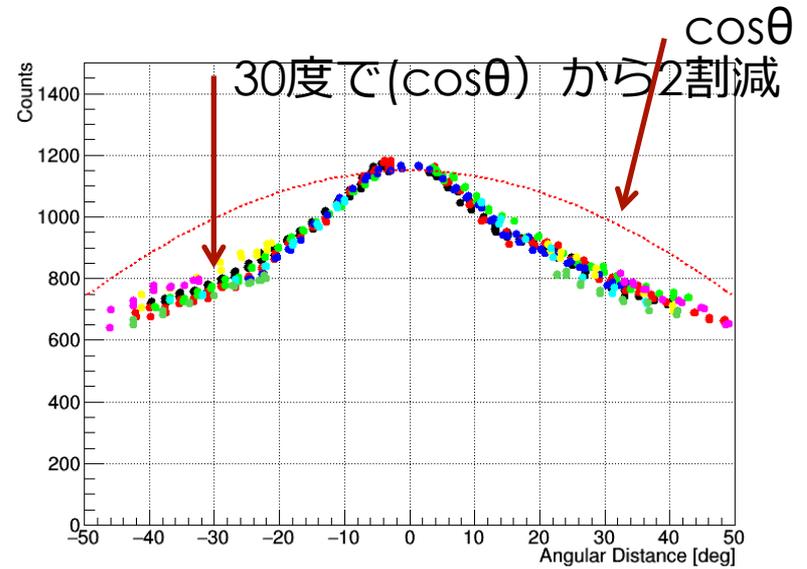


CCD 10 pixelくらいのスポット

集光性能の測定結果



CCD上のスポットの位置の分布

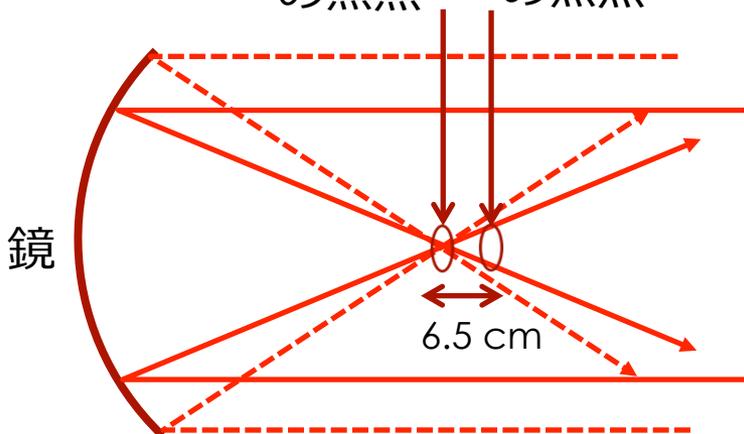


光軸からの角度 vs スポットのカウント

30度で3割減($\cos\theta$ の効果込み) 。十分な集光性能

焦点距離補正

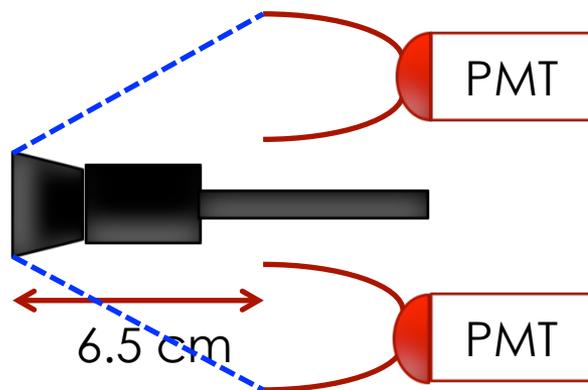
無限遠
の焦点 12 km
の焦点



実は...

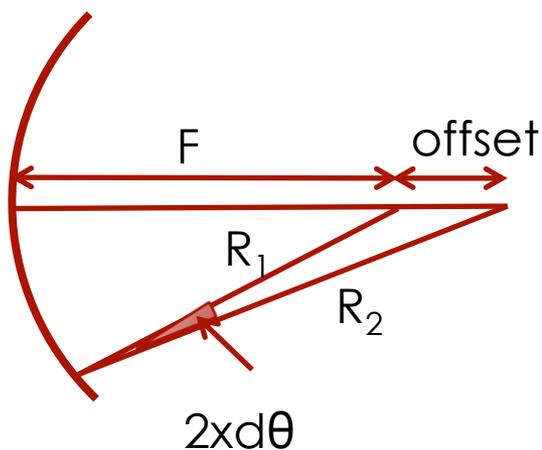
ガンマ線観測時は、空気シャワー最大発達点付近の上空12kmに焦点を合わせる。

PMTピクセルと同一平面上にCCDを設置すると、星（無限遠）からの光は、鏡の中央部に当たったものしか集光しない。



6.5 cm突き出したいが、そうすると隣のPMTピクセルが陰になる。

焦点距離補正



$$2d\theta = \text{ArcCos}((R_1^2 + R_2^2 - \text{offset}^2) / 2 * R_1 R_2)$$

個々の分割鏡を $d\theta$ だけ回転させて焦点距離を補正
 $d\theta$ の値は分割鏡の位置に依存

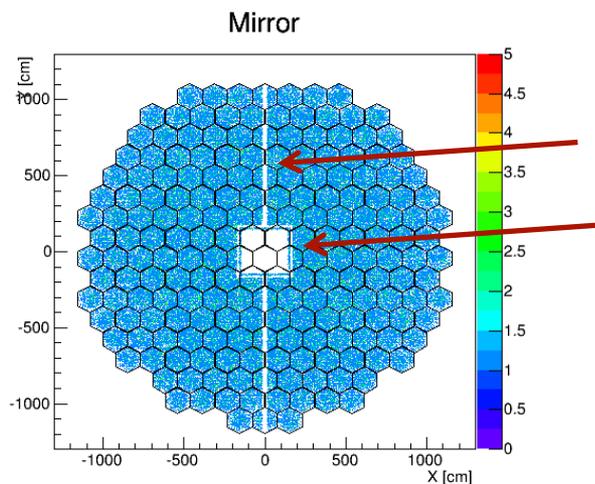
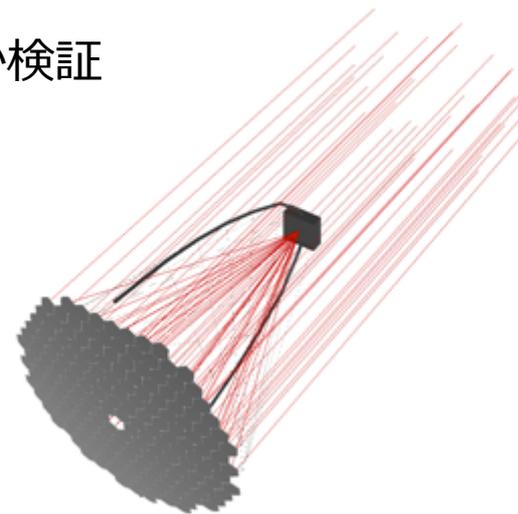
光線追跡シミュレーション



Central CCDによる分割鏡のモニターが機能するか検証

ROBAST v2.2 (@名大奥村さん) を使用

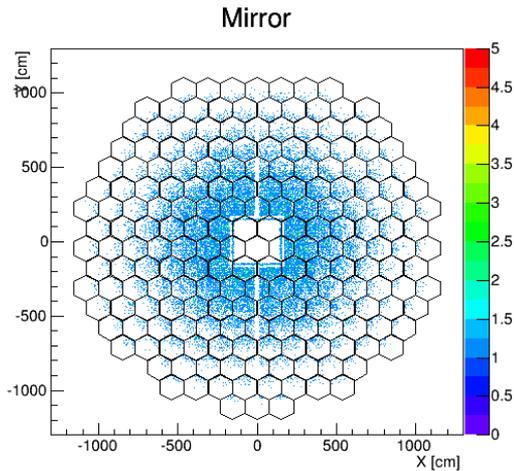
例) CCDカメラが無限遠の焦点にある場合
(PMTよりも6.5cm突き出た場合、非現実的)



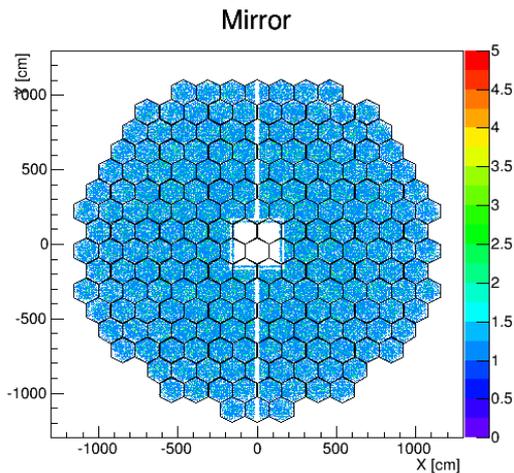
アーチの陰
カメラ筐体の陰

Central CCDに集光された無限遠からの光が鏡のどこで反射されたかをプロット

焦点距離補正の検証



CCDカメラの位置: 12km放物面焦点(PMTの位置)
分割鏡の向き: 放物面



CCDカメラの位置: 12km放物面焦点(PMTの位置)
分割鏡の向き: 焦点距離が6.5cm長くなるよう補正

$$2d\theta = \text{ArcCos}((R_1^2 + R_2^2 - \text{offset}^2) / 2 * R_1 R_2)$$

分割鏡の向きモニター



- 例えば、分割鏡の向きが理想的な方向に対して、ガウス分布の誤差を持っていた場合

CCDの画像

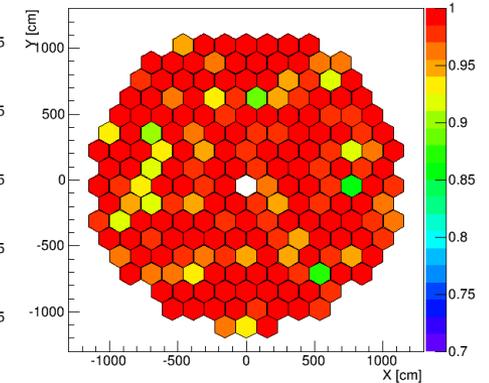
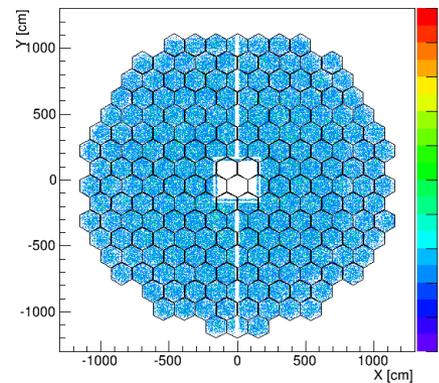
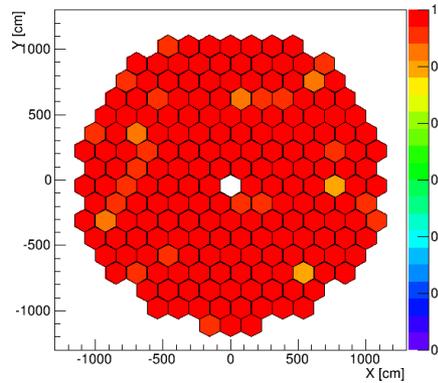
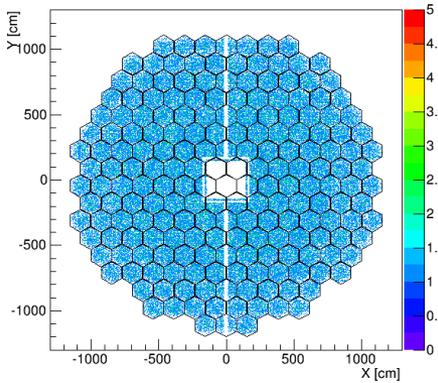
各分割鏡の集光率
(理想的な場合を1とする)

Mirror

Ratio w.r.t. perfect alignment

Mirror

Ratio w.r.t. perfect alignment



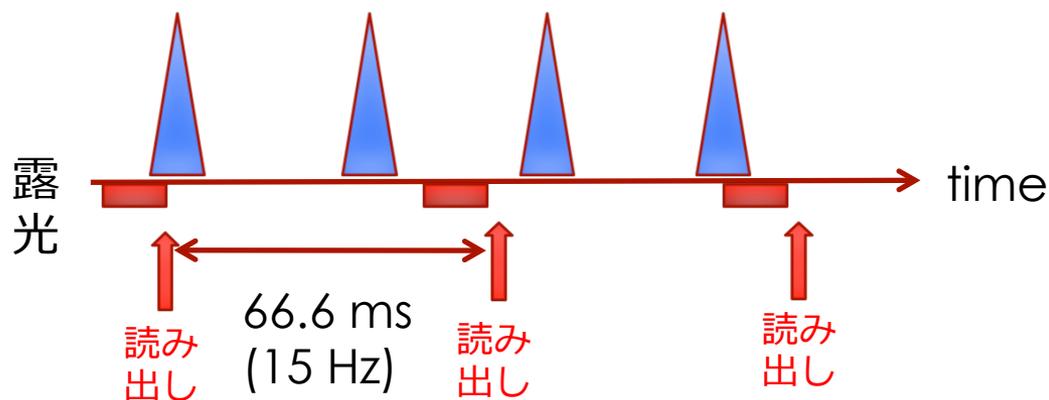
$\sigma_{\theta} = 0.001$ 度

$\sigma_{\theta} = 0.002$ 度

$\Delta\theta$ がGaussian 分布
 $RMS = \sigma_{\theta}$

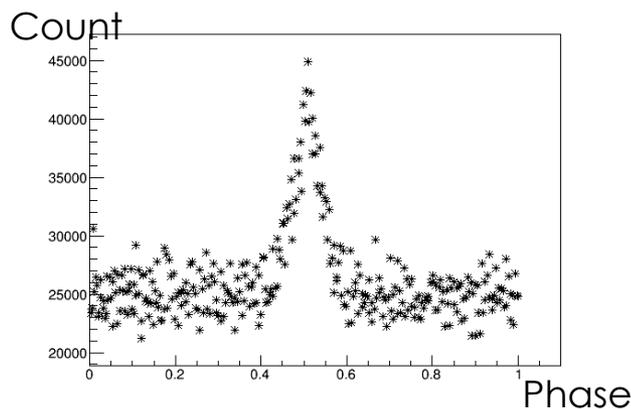
Central CCDその他の使い道

■ Crab およびその他の可視光パルサーの観測



Frame rateが15 Hzなので、パルサーの波形を見るためにはDead timeが増える

ガンマ線と同時観測する場合、焦点距離補正ができないので集光率は落ちる。



30HzでLEDを点滅させ、波形がとれることを確認

結論

- 分割鏡をモニターするための、Central CCDピクセルを開発中
- 焦点距離の補正などをすれば機能することをシミュレーションで確認（精度0.002度程度）
- 可視光パルサーの観測にも利用できる

