

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

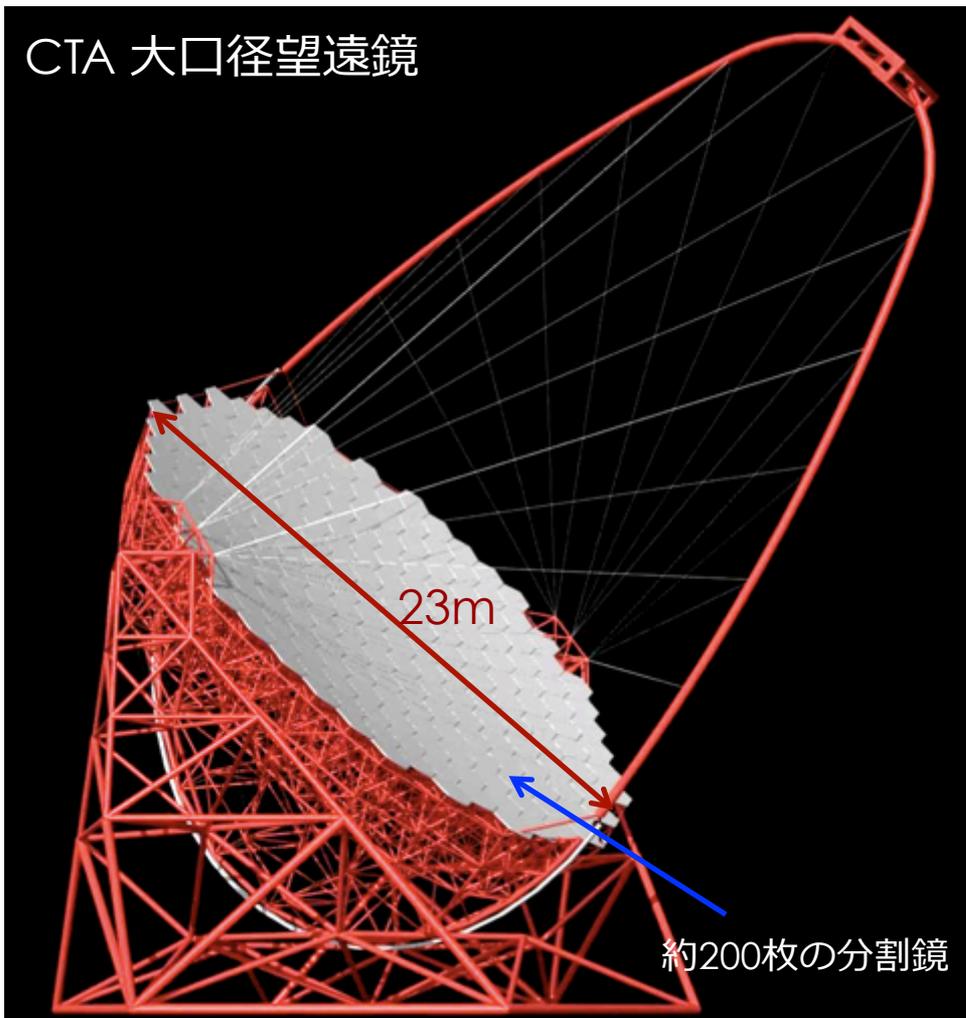
齋藤隆之^{A,B},

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

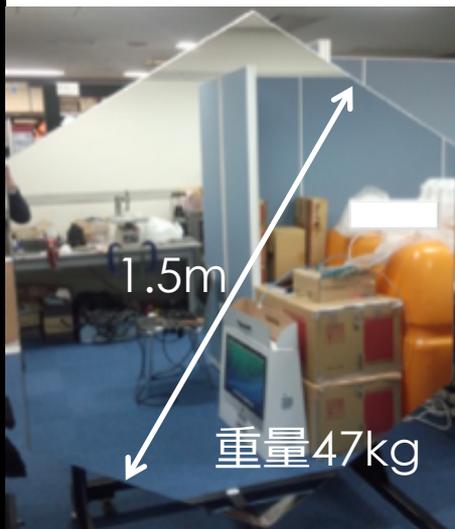
京大理^A, 京大白眉センター^B, 東大宇宙線研^C, 名大 STE 研^D, レスター大^E, 茨城大理^F, 近畿大理^G,
Max-Planck-Inst. fuer Phys.^H, 甲南大理工^I

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。

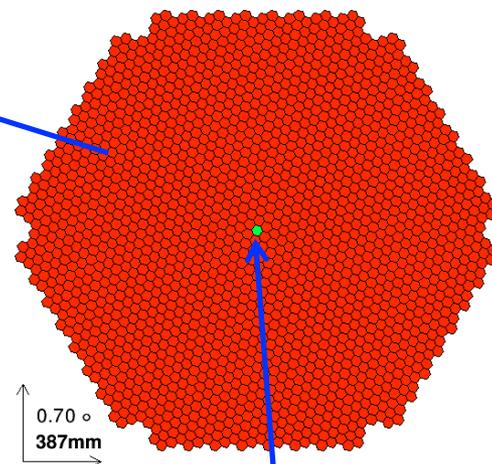
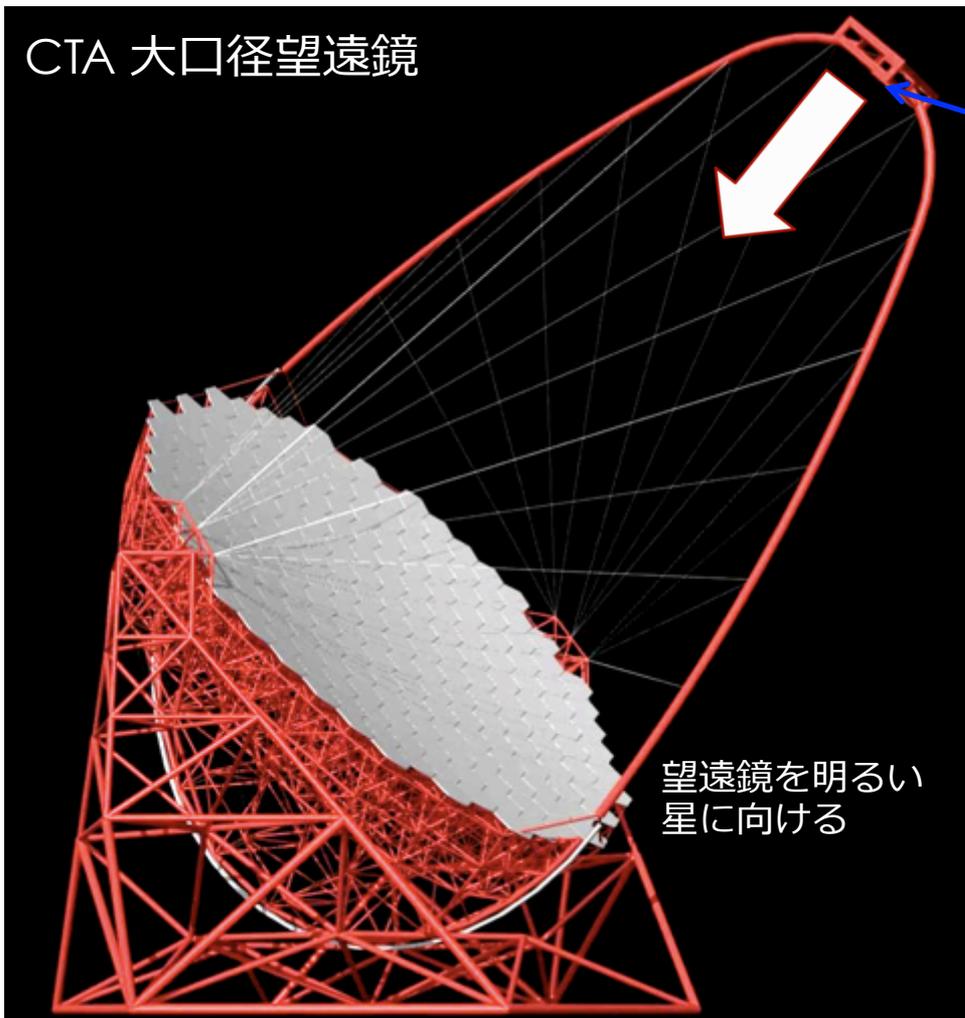
補正が正しくできているか確認する機構を作りたい。

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

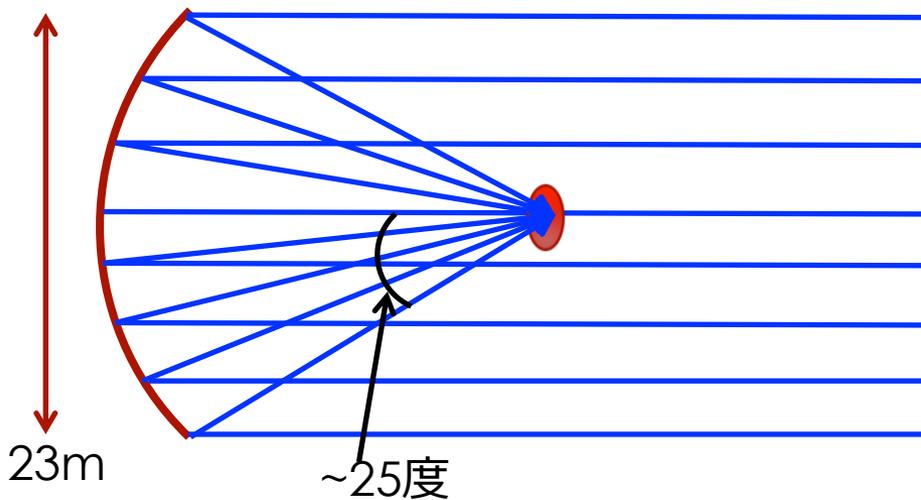
中心の1ピクセル
をCCDカメラに



Central CCDの使い方

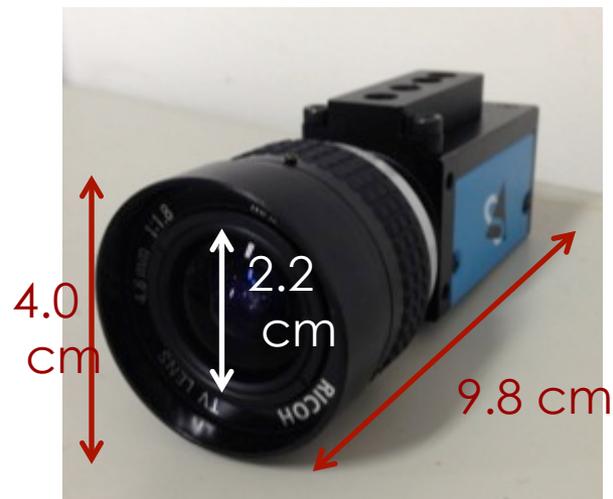


星からの光

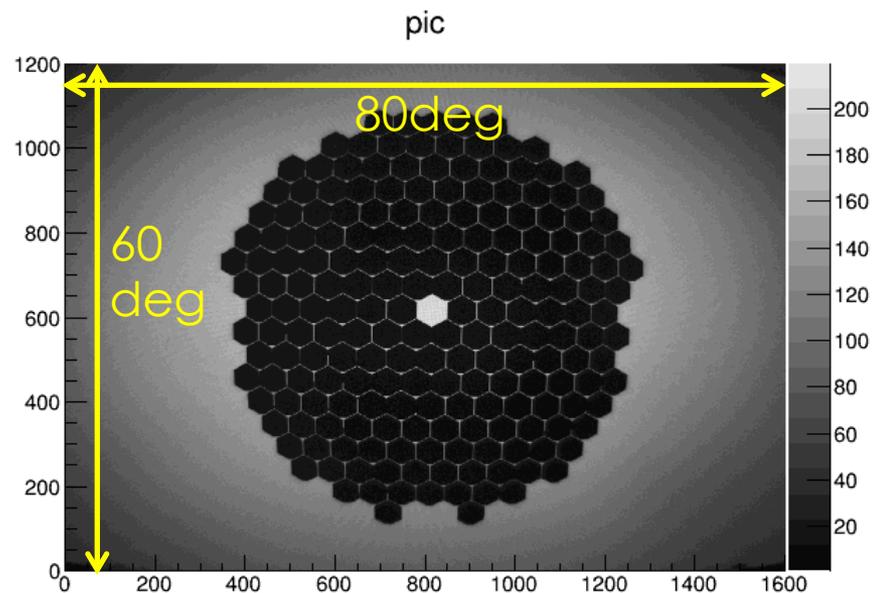
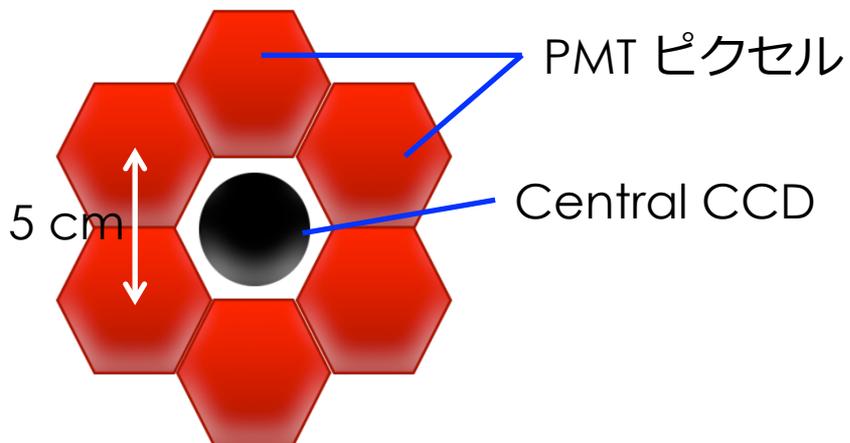


- 望遠鏡を明るい星に向ける
- 鏡の表面に焦点を合わせる
- 星の像ではなく、一様に光る分割鏡が見えるはず
- 分割鏡の向きと反射率の確認ができる

CCD カメラ

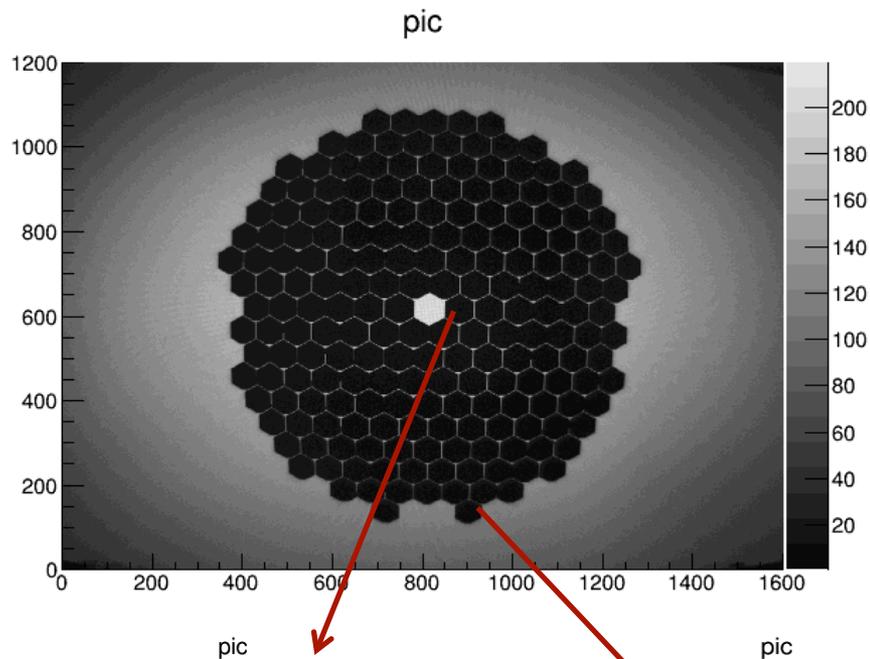


- CCD Camera
Imaging Source, DMK 23G274
1600 x 1200 pixels
PoE対応
- Lense
Richo, FL-CC0418DX-VG

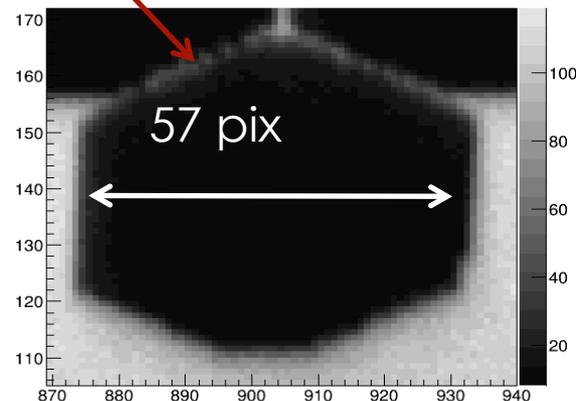
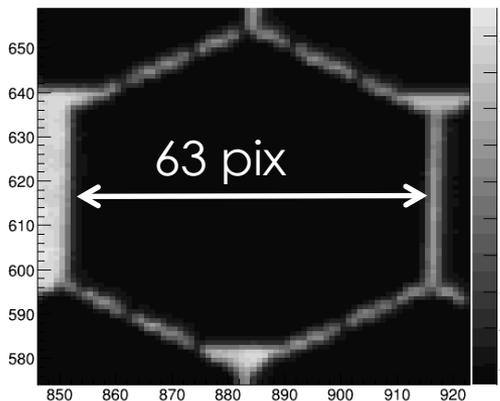
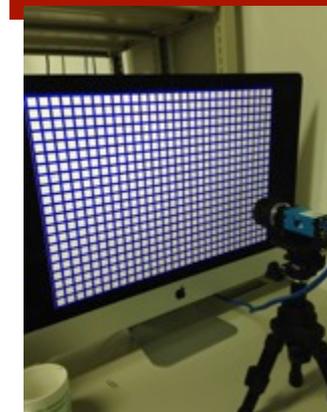
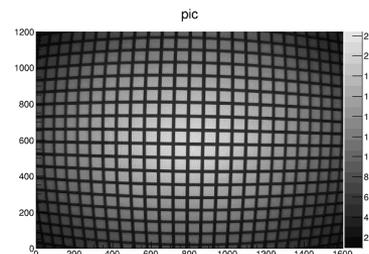
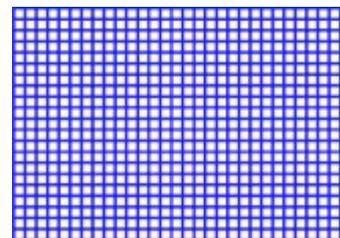


大口径反射鏡はこのように写る

各分割鏡の画素数



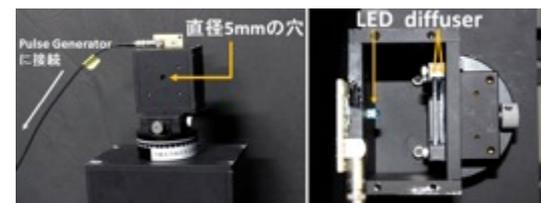
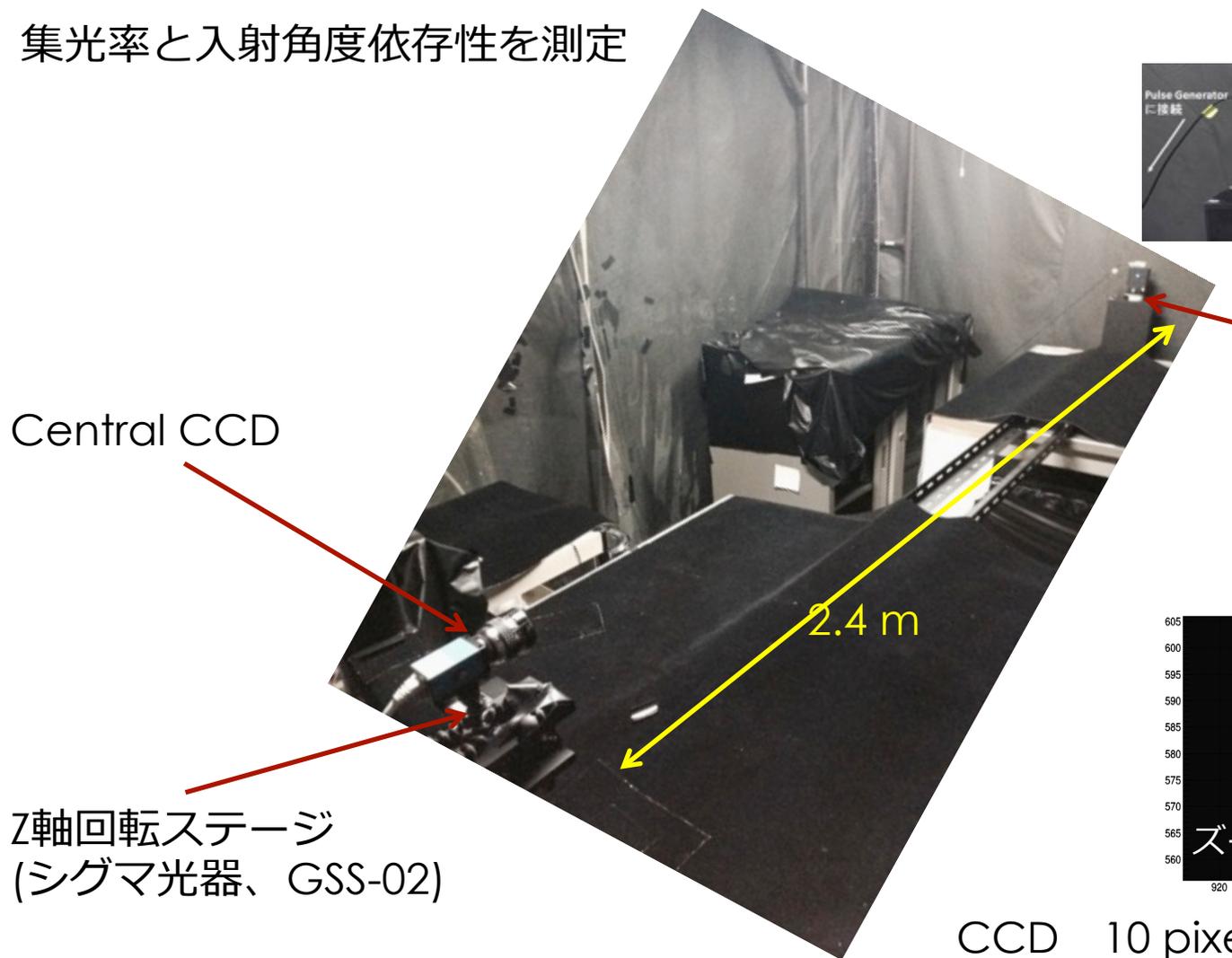
歪み



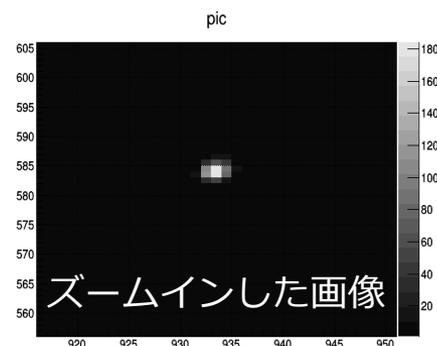
広角レンズなので多少歪むが、
中心でも端でも~3000 pixel以上
の画素数

集光性能の測定

- 集光率と入射角度依存性を測定

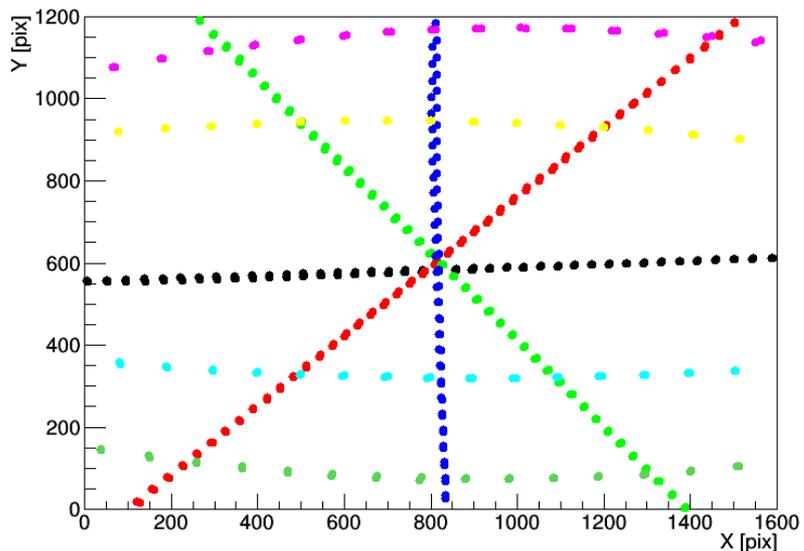


光源:
LED NSPB346KS
(日亜、465 nm)

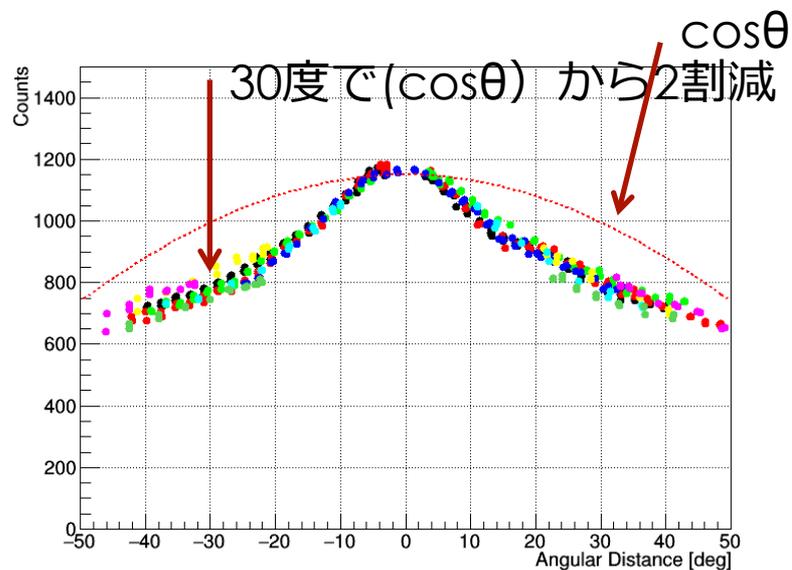


CCD 10 pixelくらいのスポット

集光性能の測定結果



CCD上のスポットの位置の分布

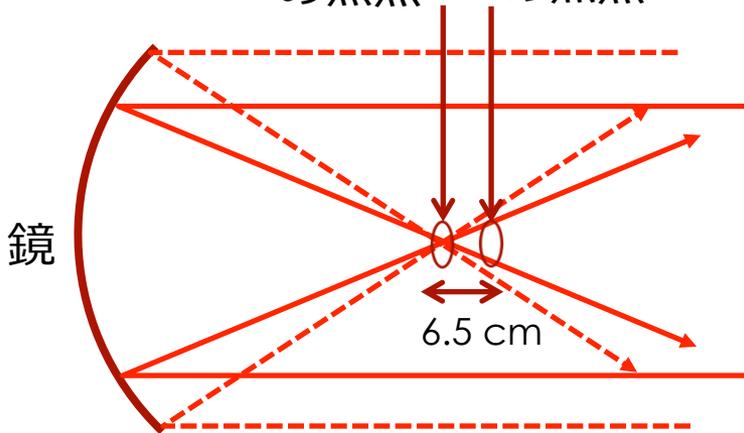


光軸からの角度 vs スポットのカウンント

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

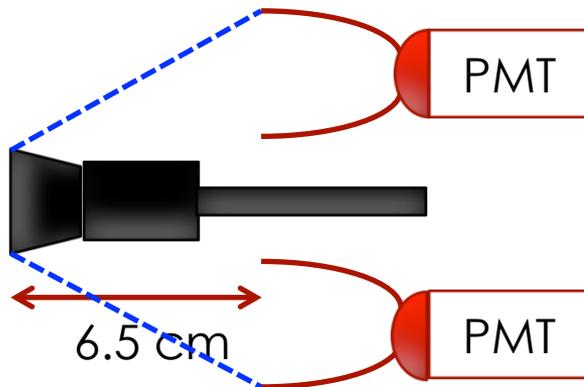
無限遠
の焦点 12 km
の焦点



実は...

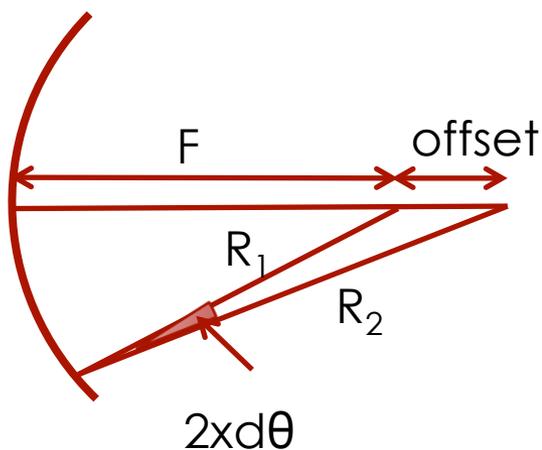
ガンマ線観測時は、空気シャワー最大発達点付近の上空12kmに焦点を合わせる。

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

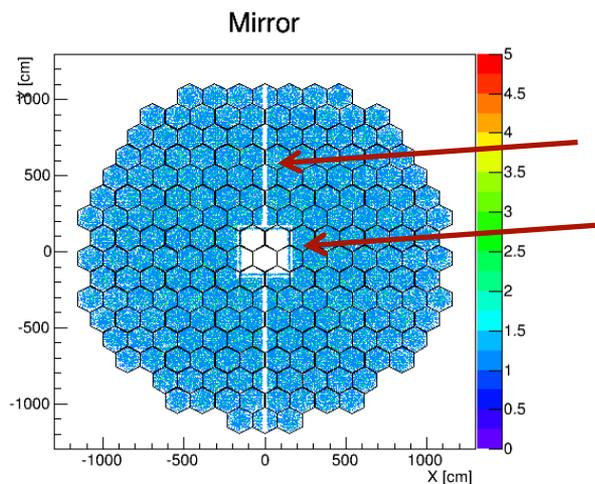
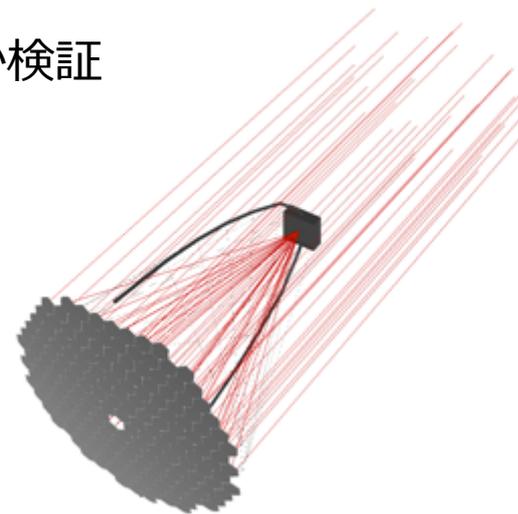
光線追跡シミュレーション



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)

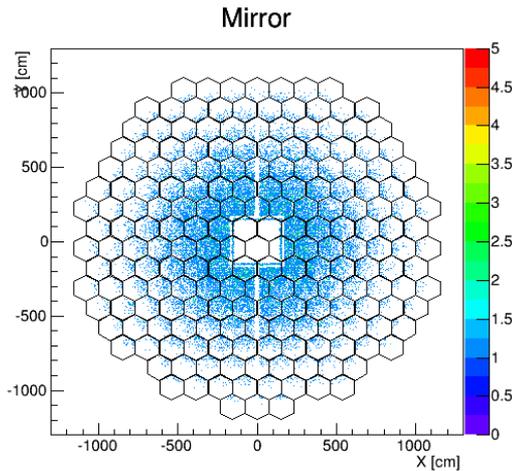


アーチの陰

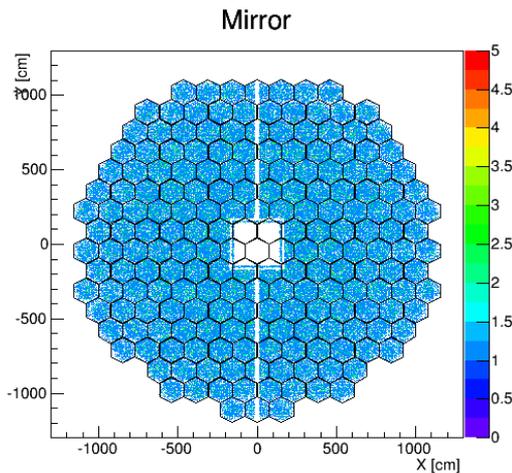
カメラ筐体の陰

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

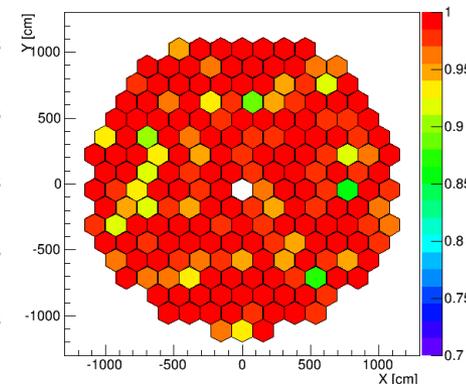
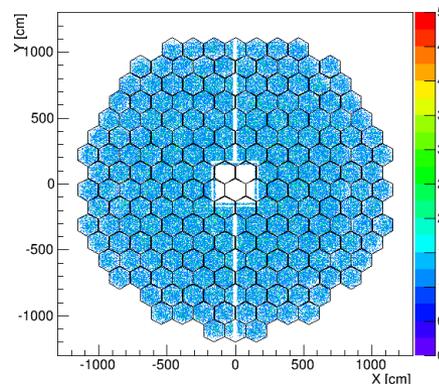
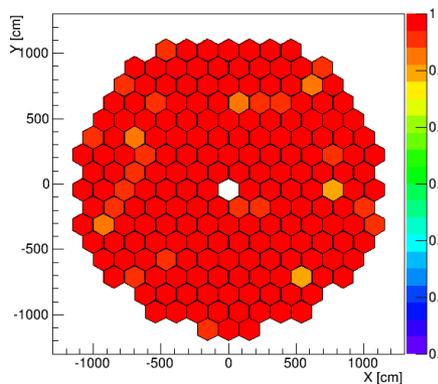
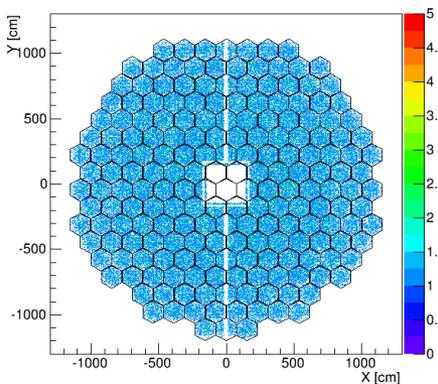
各分割鏡の集光率
(理想的な場合を1とする)

Mirror

Ratio w.r.t. perfect alignment

Mirror

Ratio w.r.t. perfect alignment



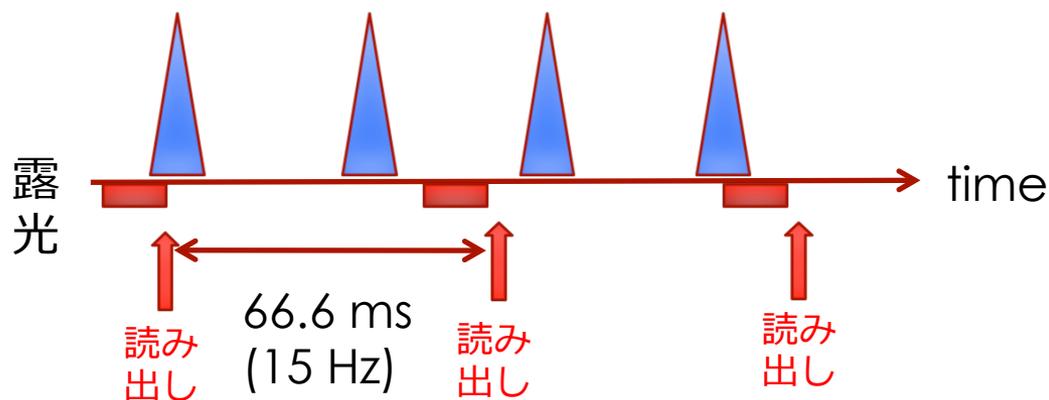
$\sigma_{\theta} = 0.001$ 度

$\sigma_{\theta} = 0.002$ 度

$\Delta\theta$ がGaussian 分布
RMS= σ_{θ}

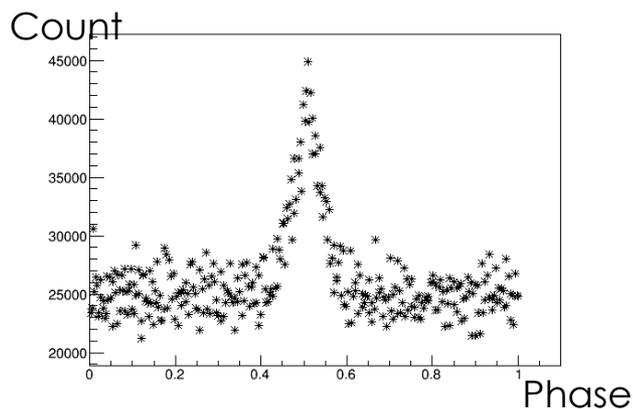
Central CCDその他の使い道

■ 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

