

黒田 隼人, 加賀谷 美佳, 稲田 知大, 齋藤 隆之, 手嶋 政廣, 中嶋 大輔, 林田 将明, 深見 哲志(東大宇宙線研), 奥村 曉 (名大 ISEE), 片桐 秀明, 吉田 龍生 (茨城大理), 千川 道幸, 李 健 (近畿大理工), 野田 浩司 (IFAE), 山本 常夏 (甲南大理工), 他 CTA-Japan コンソーシアム

Table of Contents.



- 1. 大口径望遠鏡 (Large-Size Telescope, LST)
- 2. 球面分割鏡製造状況と品質管理
- 3. 北サイトでの抽出検査
- 4. 二重混合ガウス分布: 新たな点広がり関数の定義とその影響

CTA計画 | 大口径望遠鏡



CTA計画の内で最大の口径を持つ望遠鏡

20 GeV - 1 TeVの低エネルギー帯を担当

198 枚の球面分割鏡から構成される

北サイト(La Palma島)には4台配置

2018年に初号機完成予定

LST Specification

主鏡直径 23 m

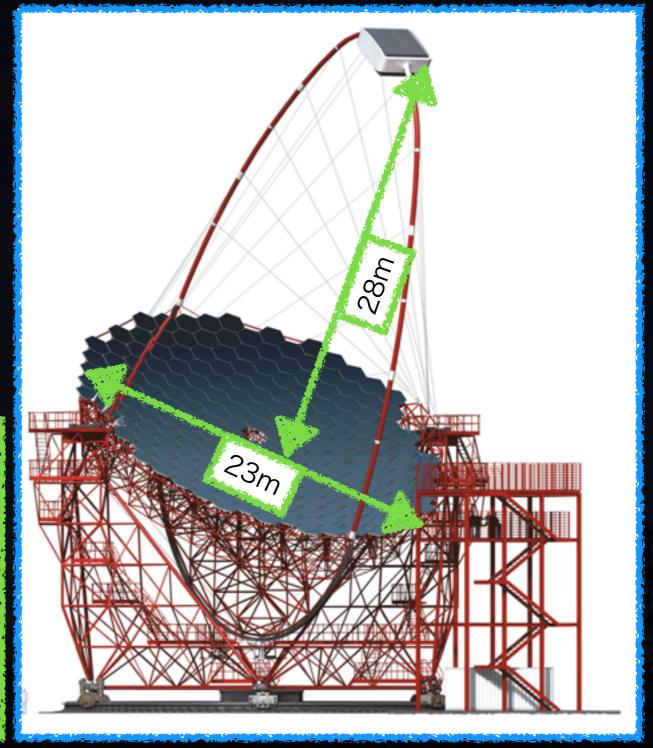
視野 4.5°

焦点距離 28 m (f/D = 1.22)

主鏡面 放物面

焦点面カメラ 光電子増倍管 1855 本

カメラピクセルサイズ 50 mm (0.1°)



CTA observatory

CTA計画 | 大口径望遠鏡 | 球面分割鏡 (Cta)



cherenkov telescope

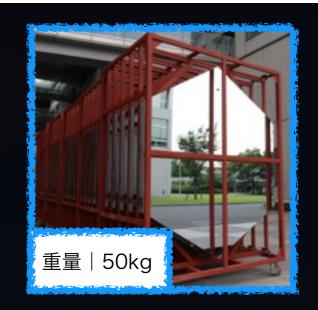
LST上での配置場所に対応した焦点距離28-29.2 mの球面鏡

三光精衡所との共同開発

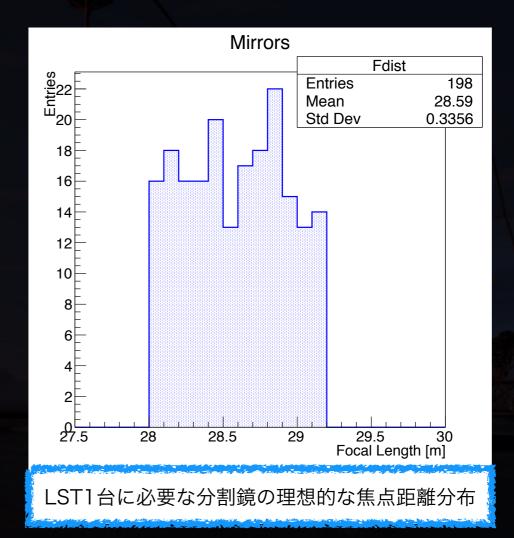
対辺1.51 m、重量50 kg

結像性能の要求水準はD80(像の光量80%が入る円の直径)<16.7mm

= カメラピクセルサイズの1/3未満



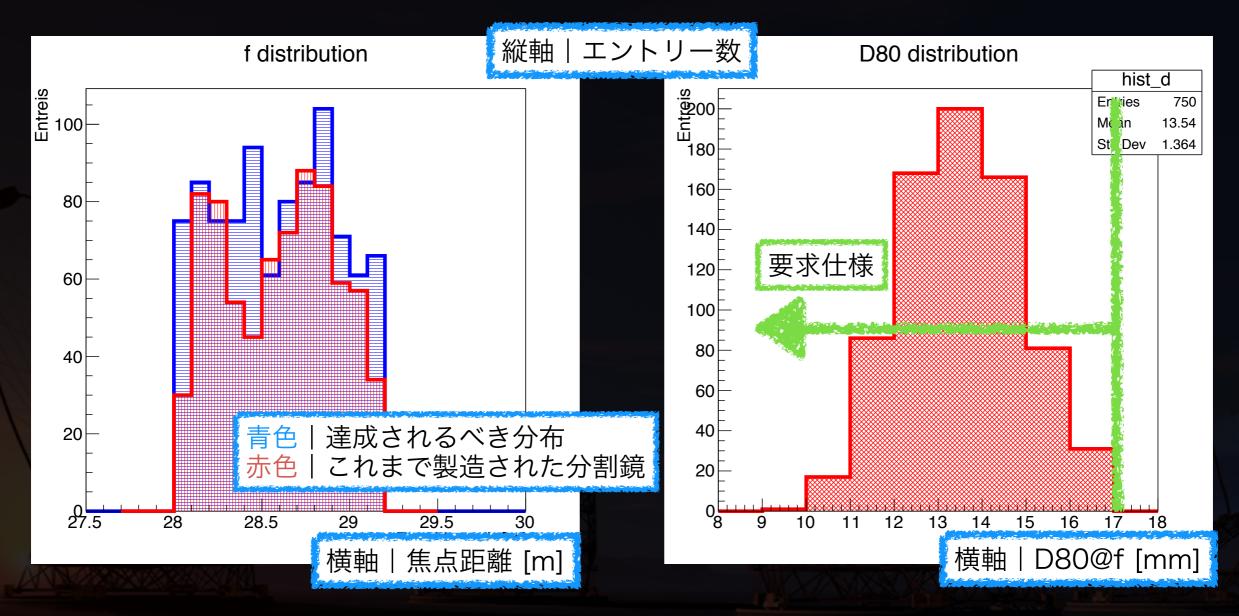




大口径望遠鏡 | 球面分割鏡 | 性能分布



2016-2017年度に製造された分割鏡(750枚)の光学性能分布 製造元に対するフィードバックを行い品質管理も実施



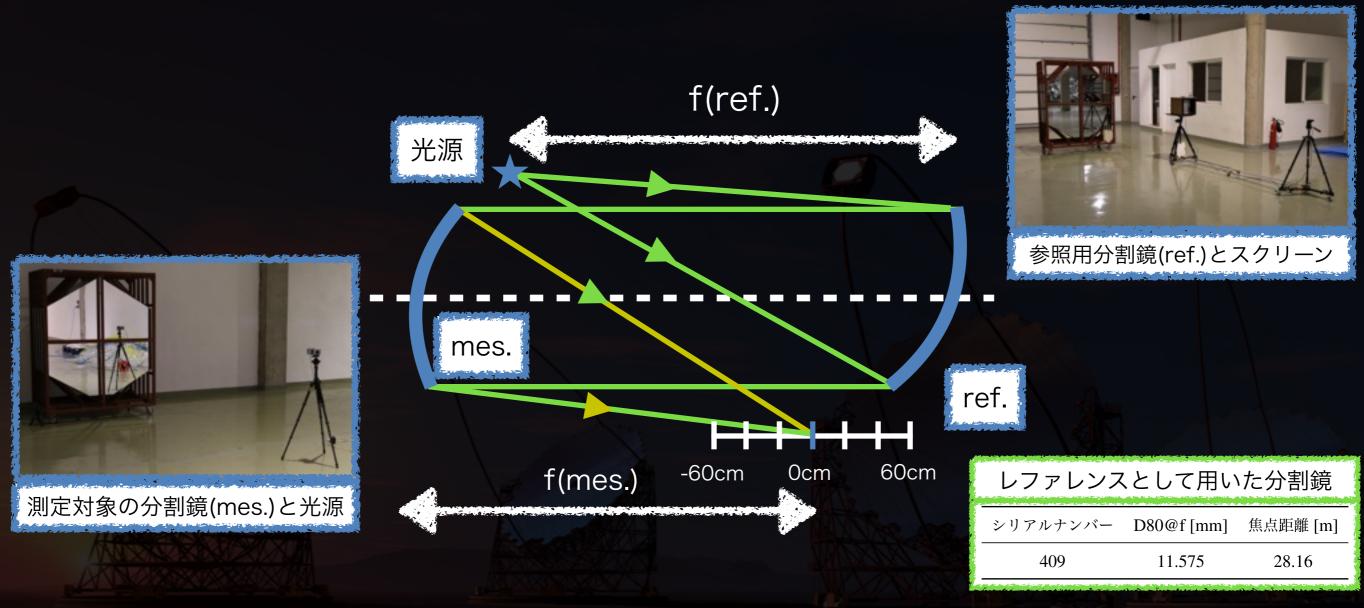
焦点距離

結像性能(D80)

北サイトでの抽出検査 | 測定手法 (Cta)



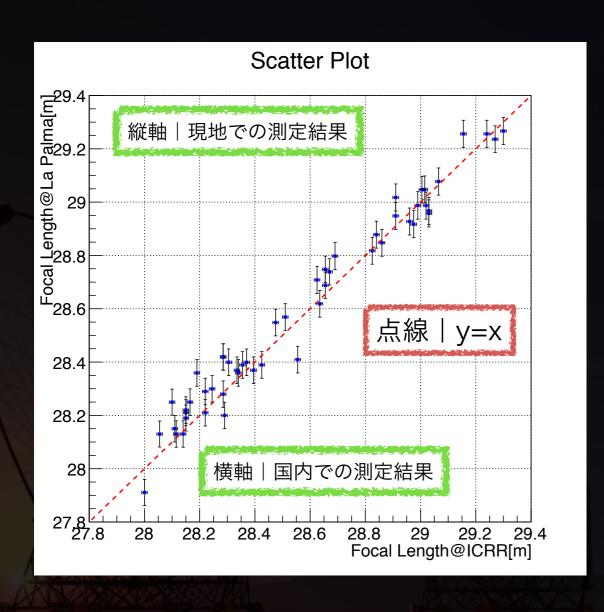
1f法 | CTA北サイトでの分割鏡集積場に合わせた新たな測定法 レファレンスとなる鏡(reference mirror)を用いて<mark>平行光</mark>を入射する

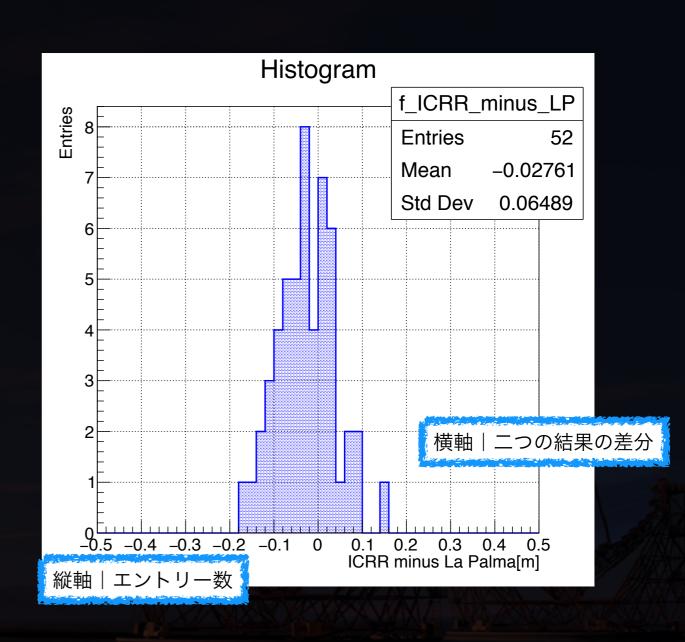


像の大きさは2つのガウス分布が畳み込まれたものになる。 今回は現地へと輸送された分割鏡の約1/5にあたる52枚に対し本抽出検査を実施

北サイトでの抽出検査 | 測定結果 | 焦点距離







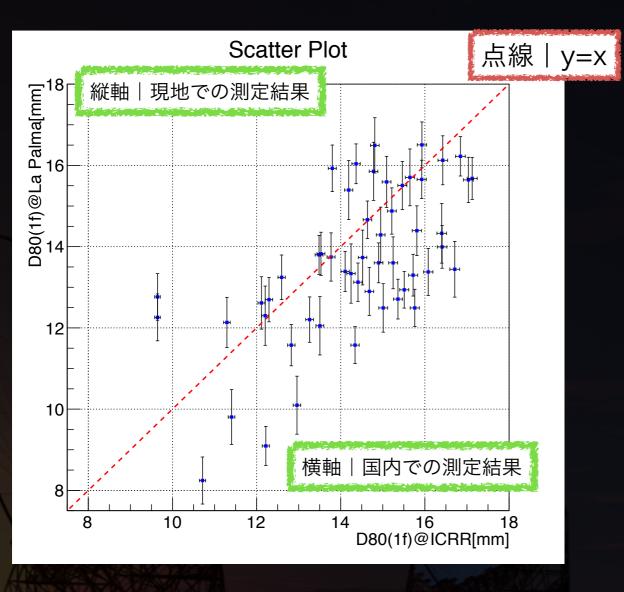
測定間の差は見られない

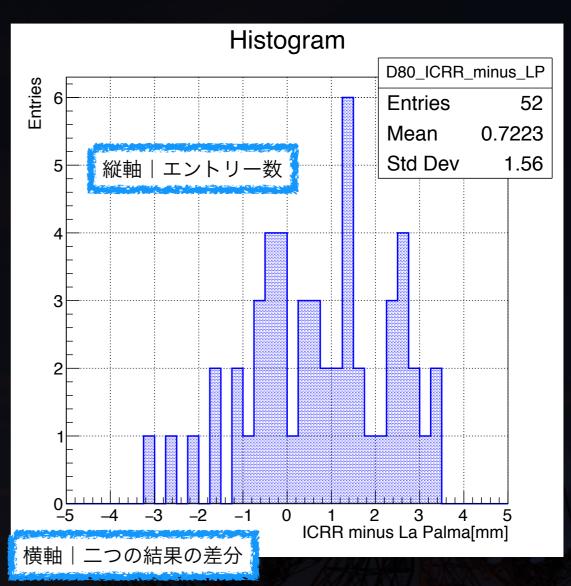


輸送前後での焦点距離の変動はない

北サイトでの抽出検査 | 測定結果 | D80







*2つの測定による差は10%程度

- * mean=0となることを期待したが、実際は2つの差分 > 0
- * D80は鏡面精度により決定されるため小さくなる変形は考えにくい
- * まだ評価しきれていない誤差が存在する? (アラインメント、スクリーンによる散乱…)

Table of Contents.



- 1. 大口径望遠鏡 (Large-Size Telescope, LST)
- 2. 球面分割鏡製造状況と品質管理
- 3. 北サイトでの抽出検査
- 4. 二重混合ガウス分布: 新たな点広がり関数の定義とその影響

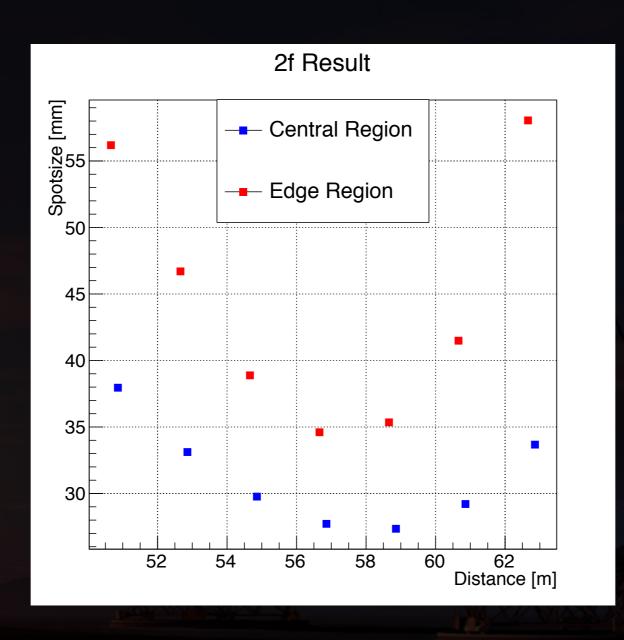
二重混合ガウス分布 | モチベーション (



cherenkov telescope array

分割鏡を2つの領域に分割(面積は等分割)して光学性能評価を行うと…?







分割鏡の結像性能は鏡面上の位置により異なる



新たな点広がり関数(PSF)の定義

二重混合ガウス分布 | 定義と手順 (cta)



$$f(r;\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} r \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right]$$



$$f(r; p, \sigma_{\text{main}}, \sigma_{\text{halo}}) = \frac{p}{2\pi\sigma_{\text{main}}^2} r \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma_{\text{main}}^2}\right] + \frac{1-p}{2\pi\sigma_{\text{halo}}^2} r \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma_{\text{halo}}^2}\right]$$

メイン成分

ハロー成分

の main メイン成分の標準偏差

 σ halo ハロー成分の標準偏差

2つのガウス分布の混合比

各パラメータの決定方法

- 得られた像をx軸及びy軸方向に射影
- 得られた各ヒストグラムに対して以下の分布関数を仮定し最小2乗フィッティング (誤差はエントリー数の平方根)

$$f(x; \alpha, \mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2) = \alpha \times \exp\left[-\frac{(x - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] + (1 - \alpha) \times \exp\left[-\frac{(x - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right]$$

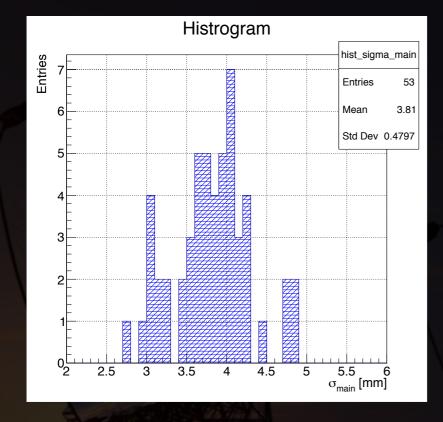
- 3. 2つのガウス分布の面積比を比較(混合比に対応)
- 得られた結果を二乗平均し分割鏡の結像性能とする 4. (誤差は基準となる分割鏡に対する複数回測定により定める)

53枚の分割鏡に対し実施

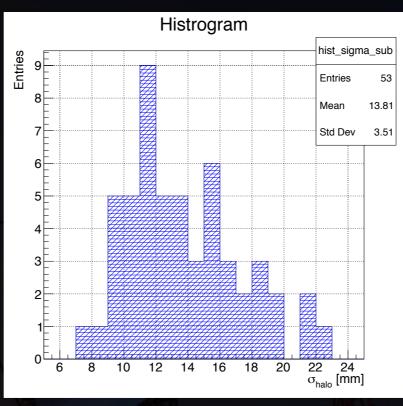
二重混合ガウス分布 | フィッティング | 結果



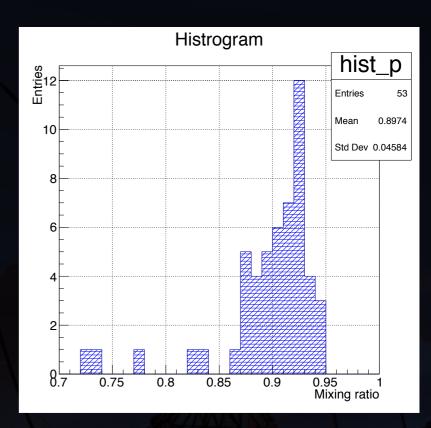
σmainの分布



σhaloの分布



混合比の分布



Mean = 3.8 mm Std Dev = 0.4797 mm

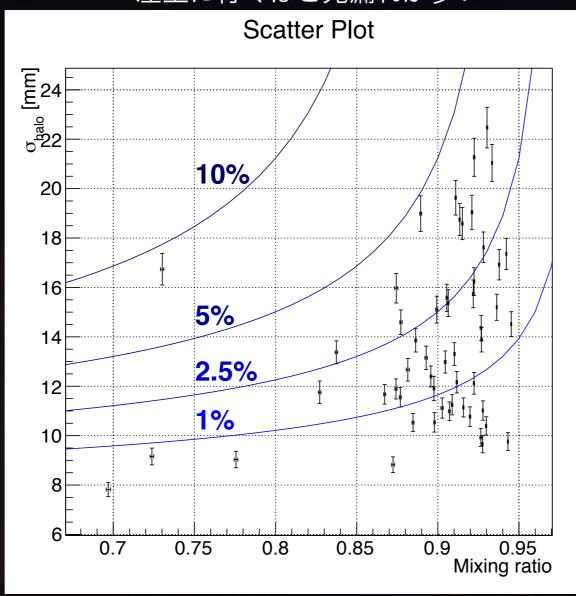
Mean = 13.81 mm Std Dev = 3.51 mm Mean = 0.8974Std Dev = 0.04584

二重混合ガウス分布 | フィッティング | 結果





左上に行くほど光漏れが多い



青線|重心から25 mm(カメラ 1 ピクセル)以上遠くに分布する光量の割合



多くの分割鏡が1-2%程度の光量流出

二重混合ガウス分布 | LSTに搭載する際の影響

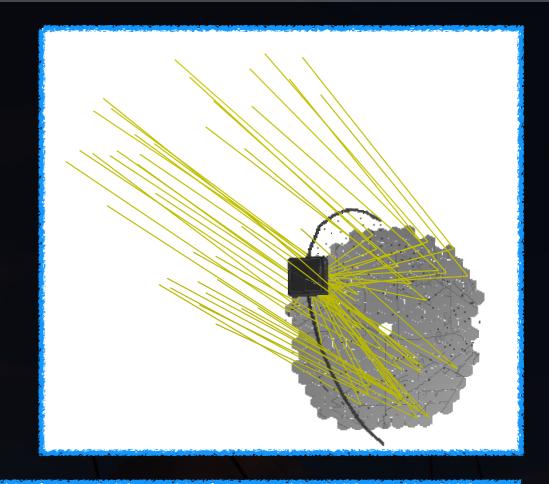


LST主鏡にこれらの分割鏡を用いるとどうなるか?



光線追尾シミュレーションを用いてハローの有無 が異なる分割鏡を再現し、これらの分割鏡を搭載 したLST同士の結像性能を比較

シミュレータ: ROBAST A.Okumura, 2016



Set Up

分割鏡の鏡形状

球殻^正六角形で定義

焦点距離

理想的な分布を仮定

分割鏡結像性能

ハローの有無に応じて2種の分割鏡を定義

ハロー成分あり | 典型的なp, σ main, σ halo

ハロー成分なし | 上記の分割鏡と同等のD80を持つ

D80@f = 15.3 mm

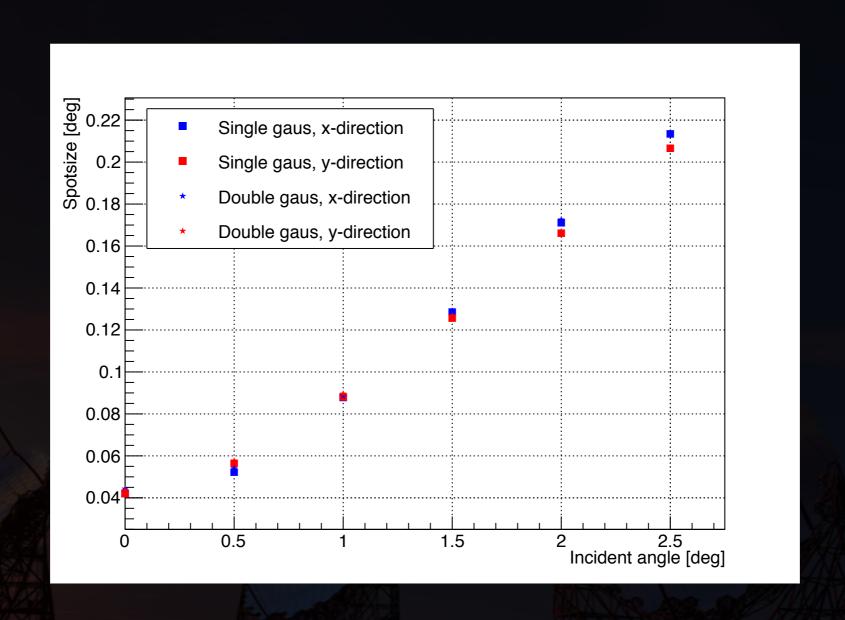
 $\sigma_{\mathrm{main}} = 3.82 \mathrm{\ mm}$

 $\sigma_{\rm halo} = 13.6 \ {\rm mm}$

p = 0.906

二重混合ガウス分布 | 光線追尾シミュレーション | 結果





分割鏡のPSF形状はLST全体の結像性能に影響を与えない

今後はevent triggerへの影響を考える必要がある

まとめ



- *LSTに搭載される球面分割鏡の品質管理を行った
- *輸送された分割鏡の約1/5に対して抽出検査を行い、焦点距離の変動がないことを示した
- * 結像性能の2測定間の差が10%程度である事がわかった
- * 分割鏡の結像性能が一様ではないことに着目し、分割鏡のPSFとして 二重混合ガウス分布を考案した
- * 上記のPSFを持つ分割鏡を光線追尾シミュレータを用いて再現し、 LSTの結像性能に対して影響を与えないことを示した
- * 今後はこのような分割鏡を搭載した際のevent triggerへの影響を調査