

CTA報告56: CTA 大口径望遠鏡用分割鏡の開発: 形状測定システム

2012年3月26日

茨城大学大学院理工学研究科
馬場浩則

手嶋政廣^{B,C}, 中嶋大輔^C, 林田将明^D, 齋藤浩二^B, 佐々木浩人^E, 吉田龍生^A, 奥村曉^F,
加賀谷美佳^A, 片桐秀明^A, 北本兼続^G, 峪中良介^G, 周小溪^G, 田中駿也^A, 千川道幸^G,
野里明香^G, 野田浩司^C, 柳田昭平^A, 山本常夏^E, 他 CTA-Japan consortium, Roman
Krobot^H

茨城大理^A, 東大宇宙線研^B, Max-Planck-Inst.fuer Phys.^C, 京都大理^D, 甲南大理工^E,
名大STE研^F, 近畿大理^G, 3D-Shape^H

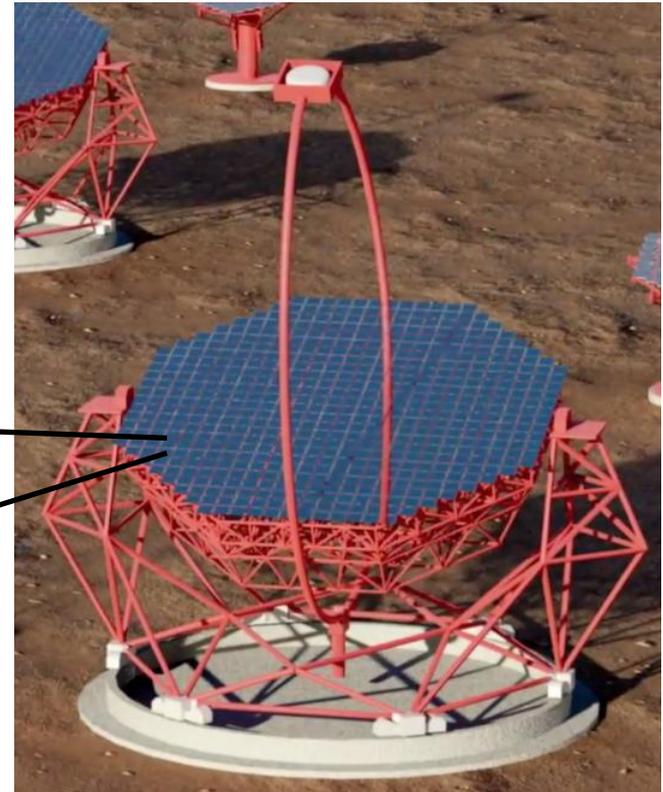
Large Size Telescope(LST:大口径望遠鏡)

LST仕様

口径(d)	:23m
F値(焦点距離/口径)	:1.2
焦点距離(f)	:28m
反射鏡面	:放物面型複合鏡
カメラPixelサイズ	:0.1度(50mm)



三光精衡所の製作によるLST用試作分割鏡



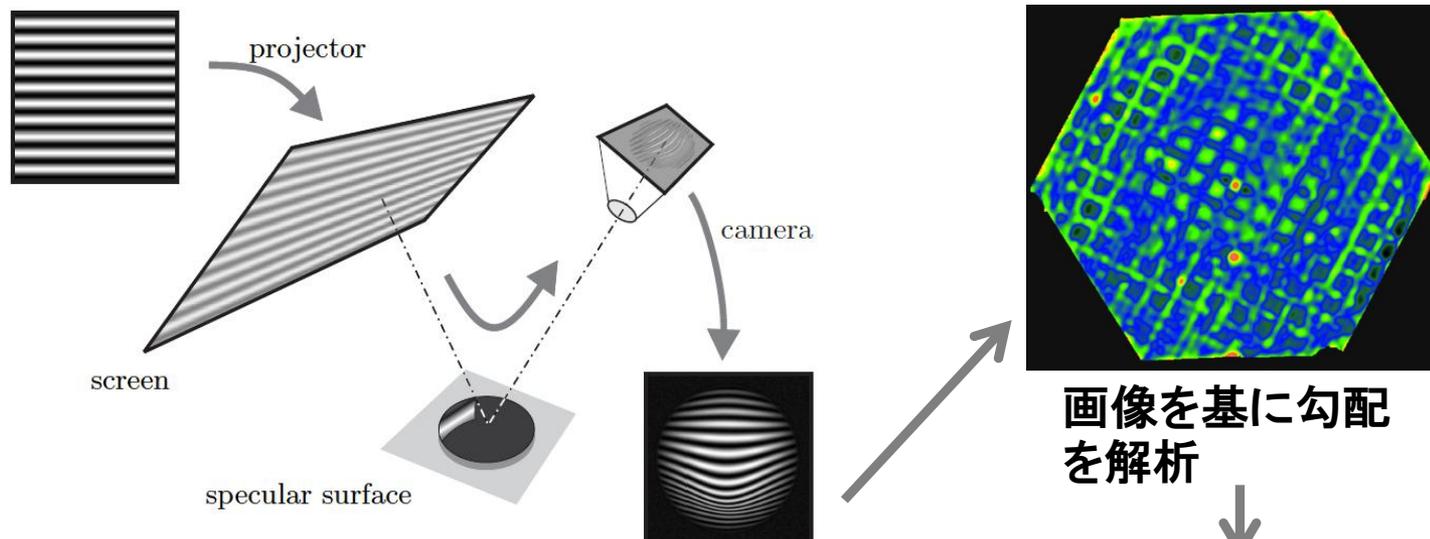
LST(CG画像)

対辺間1.51m、**焦点距離28~28.4m**、80%の光の半径がカメラの1/5Pixelに入るスポットサイズの(**直径:d80=20mm**)の分割球面鏡が**LST一台あたり206枚**必要となる。

→高精度かつ効率のよい分割球面鏡の評価方法が必要

Phase Measuring Deflectometry (PMD)法

PMD法は、**位相シフト法**、**ステレオカメラ写真測量**を利用して鏡面各点の勾配、法線ベクトルを求め、対象物の形状を高精度で測定する方法である。



スクリーンを使って位相がシフトする位相模様を鏡に映し、鏡面形状に依存して変形した像をカメラで撮影する

メリット

- ・測定作業は鏡を置き撮影するだけ
- ・**直接鏡面の情報(座標、法線)が得られる**
- ・測定範囲がCCDの合成視野とスクリーンの投影範囲のみに依存するため、**大型の物でも測定可能**
- ・曲率半径(56m)に対して**装置がコンパクト**

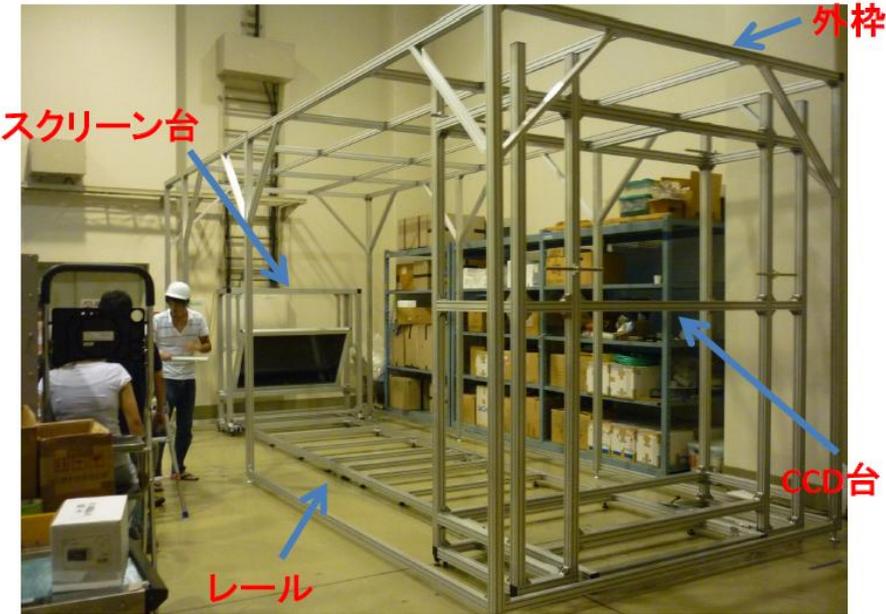
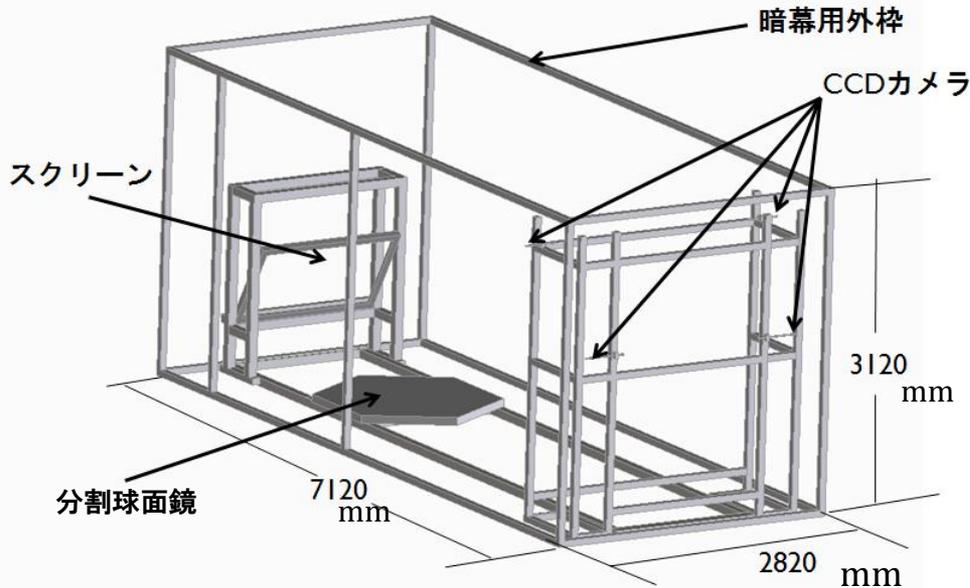
レイトレースでスポットサイズを求める

PMD法装置製作

前物理学会発表

PMD装置を設計、製作し、装置のキャリブレーションを行った
設計図

完成品



<機材仕様>

・スクリーン(シャープ社製 60インチ)

ピクセル数:1920×1080

画面サイズ:1329mm×748mm

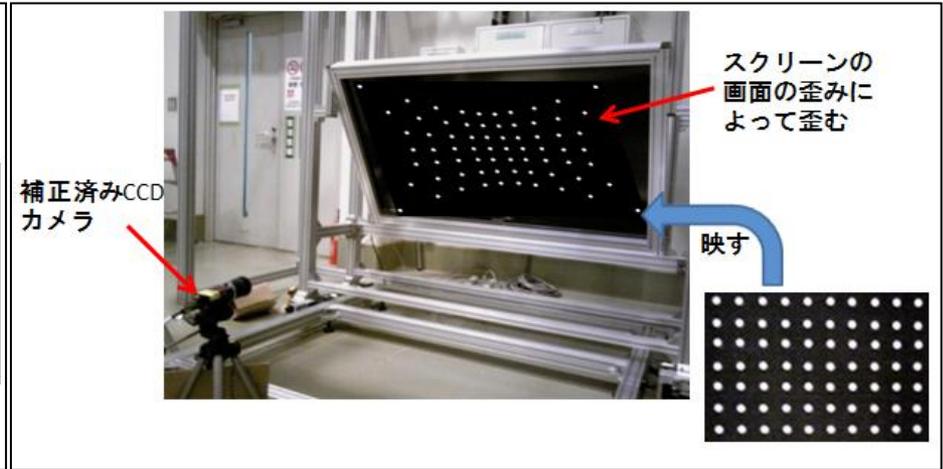
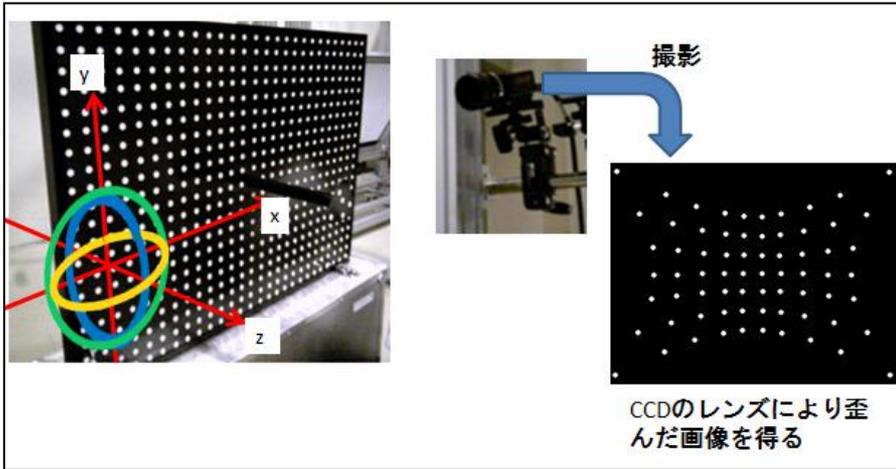
・カメラ(stingray社 CCDカメラ)

ピクセル数:1292×964 (1ピクセル:3.75 μ m×3.75 μ m)

レンズ焦点距離:16mm

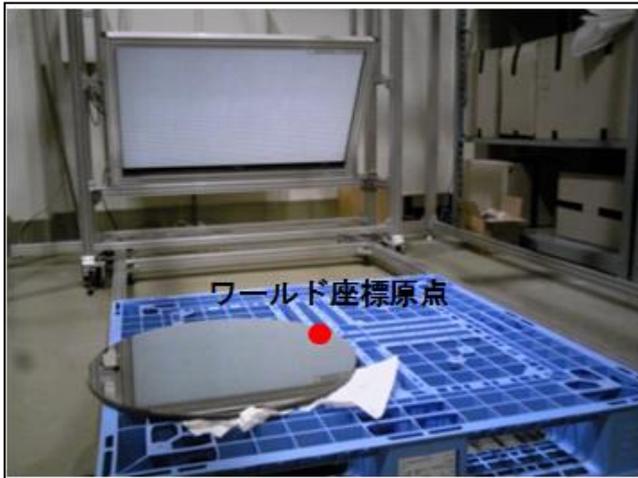
視野:17.05°×12.7°

キャリブレーション 前物理学会発表



カメラキャリブレーション
カメラレンズ固有の結像の歪みを補正

スクリーンキャリブレーション
スクリーン面固有の歪みを補正



ワールド座標キャリブレーション
全体座標の原点、CCDカメラ、スクリーンの全体座標上の値をもとめる。

この装置を使い、LST用1.51m分割鏡の測定を行った。

PMD法装置の改善

試測定際に問題のあった部分を改良し、装置の変更より再度キャリブレーションを行った。

- ・カメラ固定のバーの変更

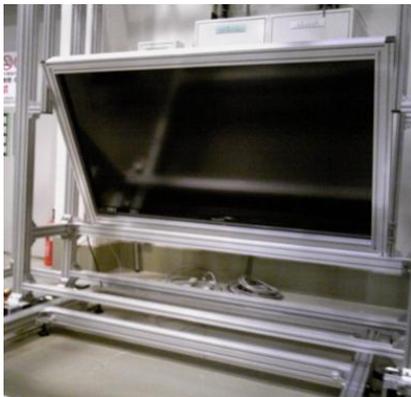
元々のバーはカメラクランプにあっておらず、固定が不十分

→より強固に



- ・スクリーン面にビニール製の白いシートを張った

→スクリーンの各素子ごとの明るさの個性を弱める。



測定に向けた確認

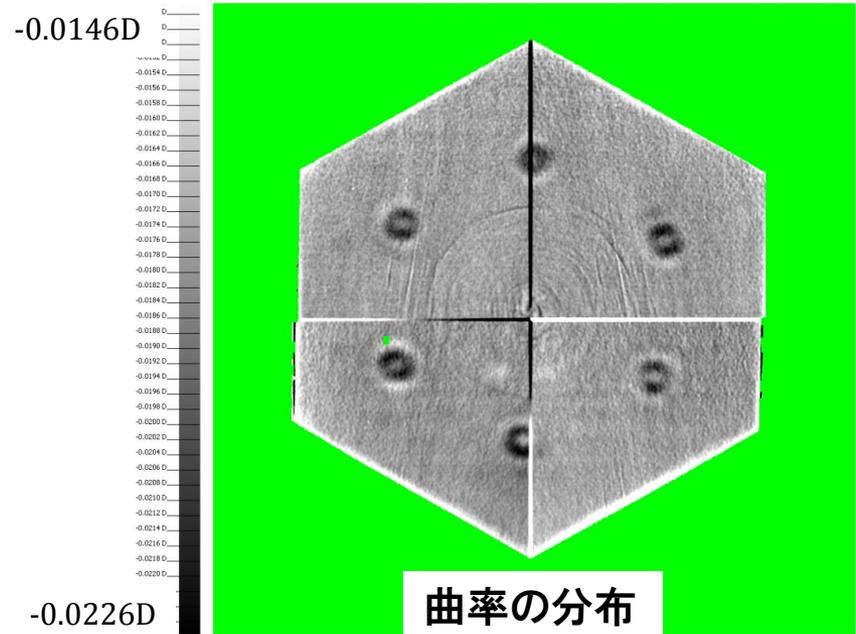
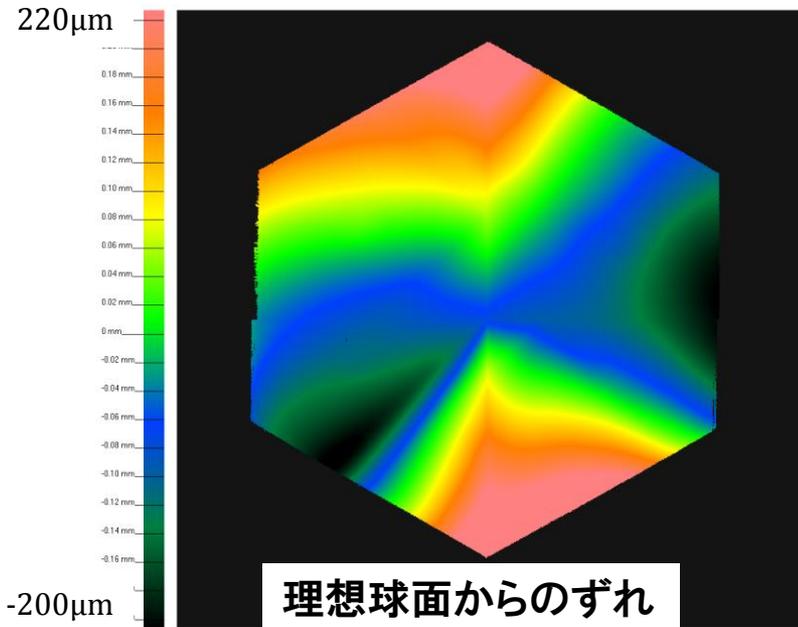
1.51m分割鏡を装置のセットし、視野の確認を行った。
(画像は見やすいように各CCDカメラの付近に置いたデジカムにより撮影したもの)

カメラの配置



4台のCCDカメラで分割鏡全体を捕えることが出来ている

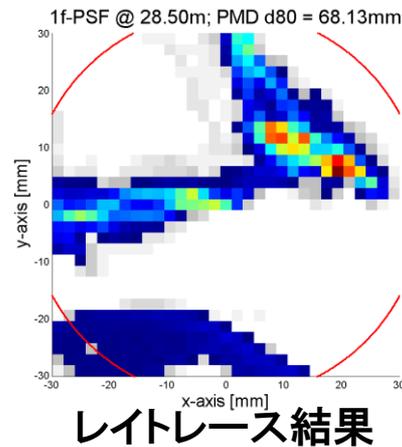
測定結果



曲率の分布には合成の境が見え、その影響が見える

レイトレース結果は焦点距離28.5m、D80は68.13mm、像は分離している

何らかの原因で合成が問題があることが分かった

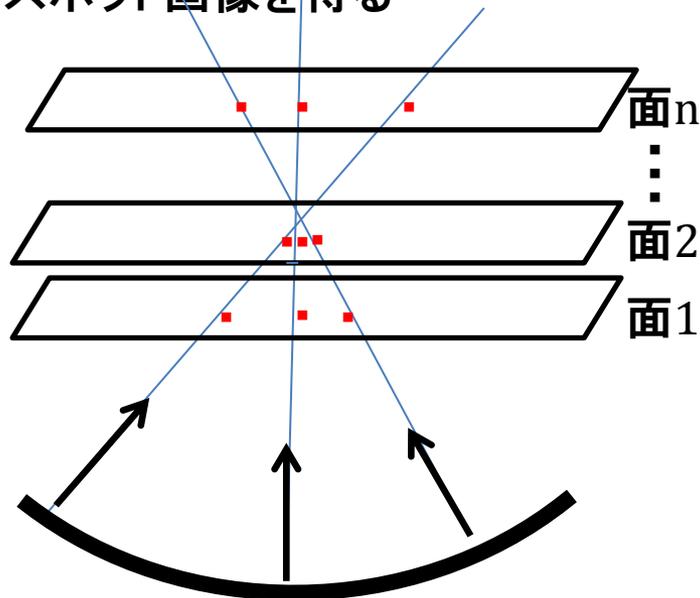


PMD画像の解析

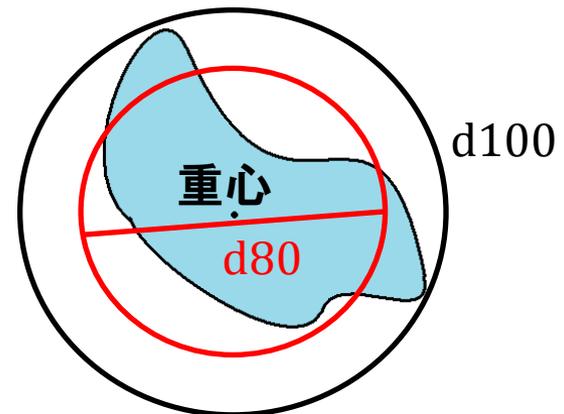
原因の調査として、PMD法の各カメラの画像によって得られる座標、法線のデータ（合成直前のデータ）使い、PMD法ソフトウェアとは別に解析を行い、スポットの重心からのd80を求めた。

解析方法

- ①各座標の法線の延長線と球面原点(0.0)垂直方向の直線(仮定上の光軸)に置いた面との交点を求める。この面を図のように徐々にずらし、複数枚のスポット画像を得る



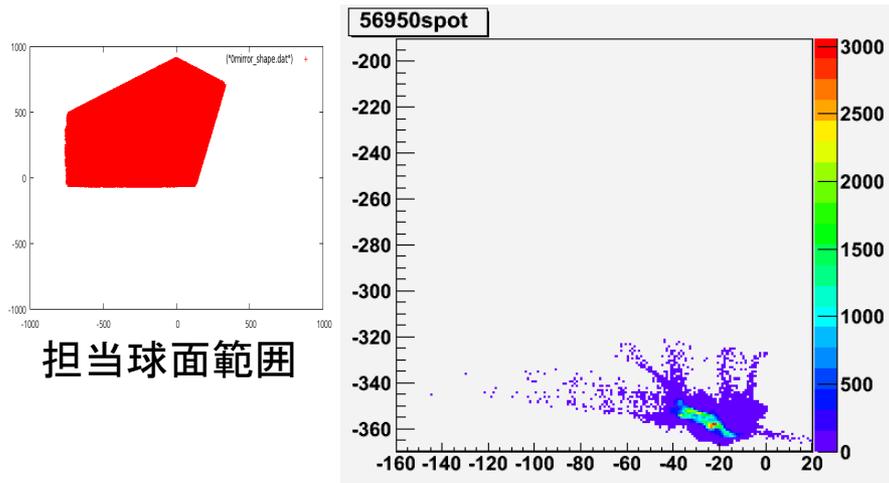
- ②得られたスポット画像の重心を求め、そこから放射方向に足し合わせ、80%の光が入る直径(d80)を求める。



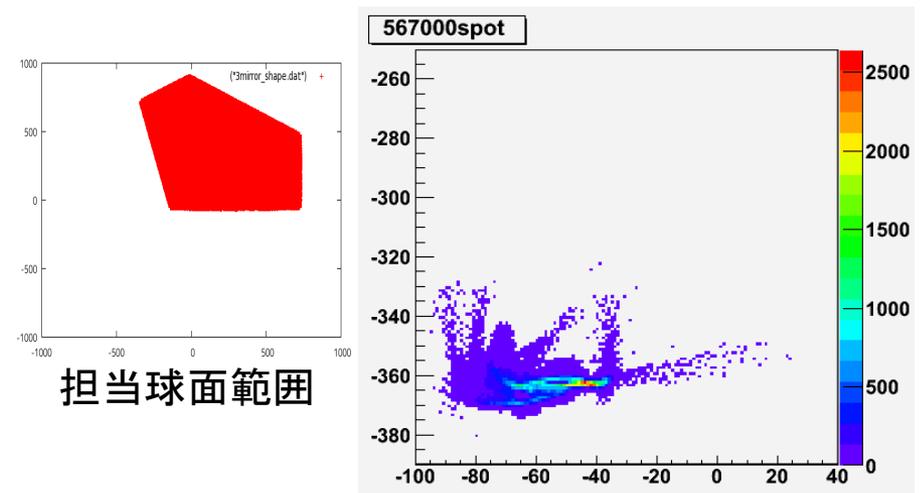
これをずらしたすべての画像で行い、最小のd80を求める

各カメラにより測定したデータのD80結果

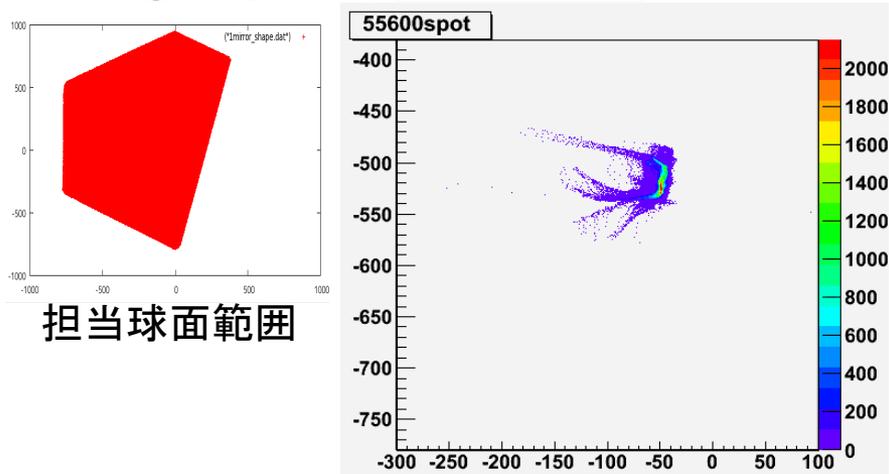
①左上カメラ d80=22mm



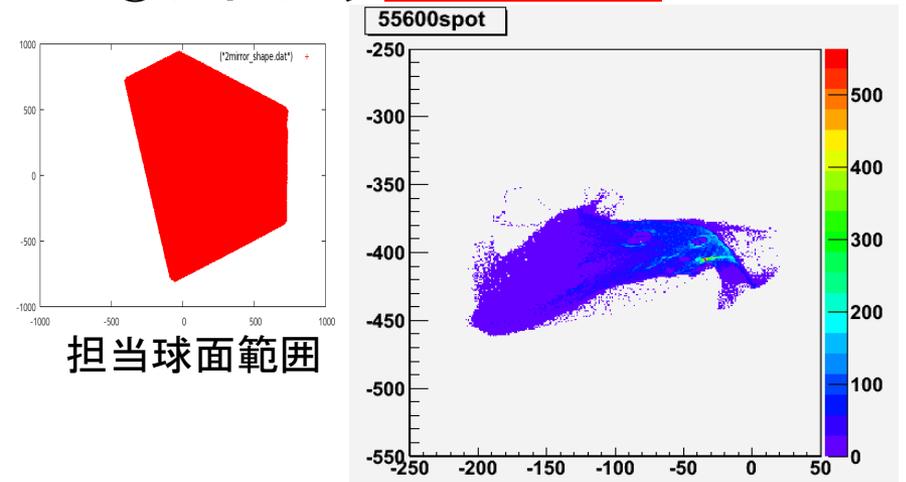
②右上カメラ d80=34mm



③左下カメラd80=34mm



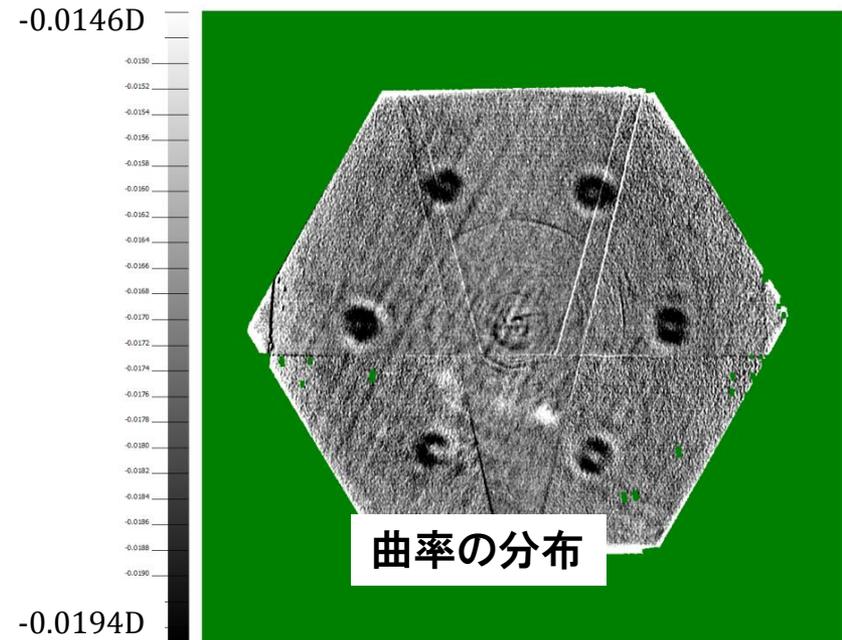
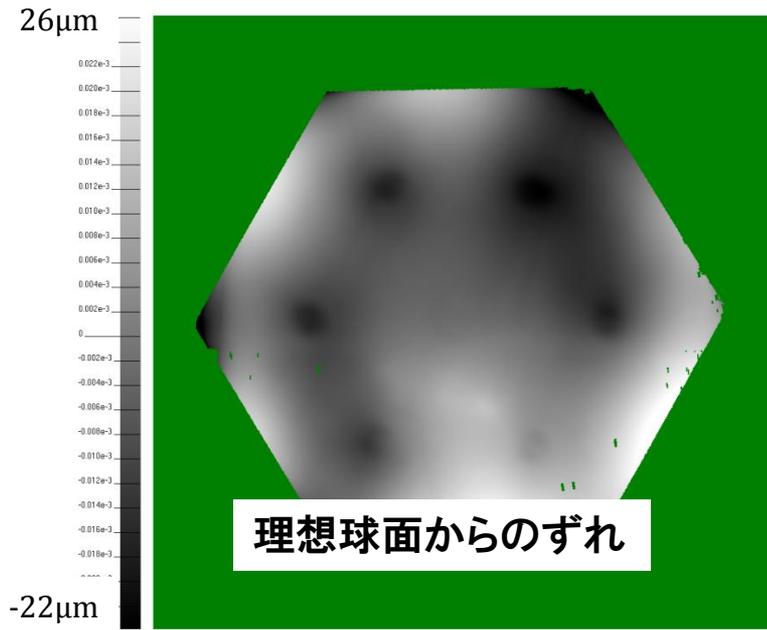
④右下カメラ d80=116mm



解析結果からは、右下のカメラによる測定に異常があることが分かった。

3D-shapeと行った解析と較正結果

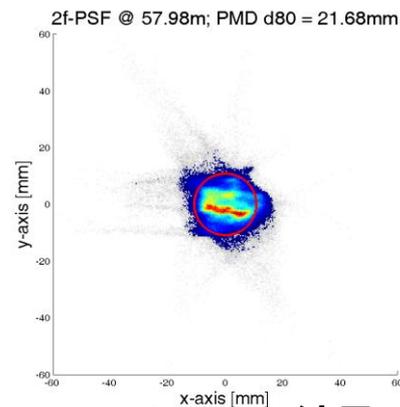
3D-shapeと協力し、再度、ワールド座標キャリブレーションと解析を行った。



若干境目があるが、ほとんど影響していない。

レイTRACE結果は曲率半径57.98m、像は1つにまとまっている。

実際に光を当てて測定した曲率半径57.7mと比較すると、測定差280mm (約0.5%)で求められている。



レイTRACE結果



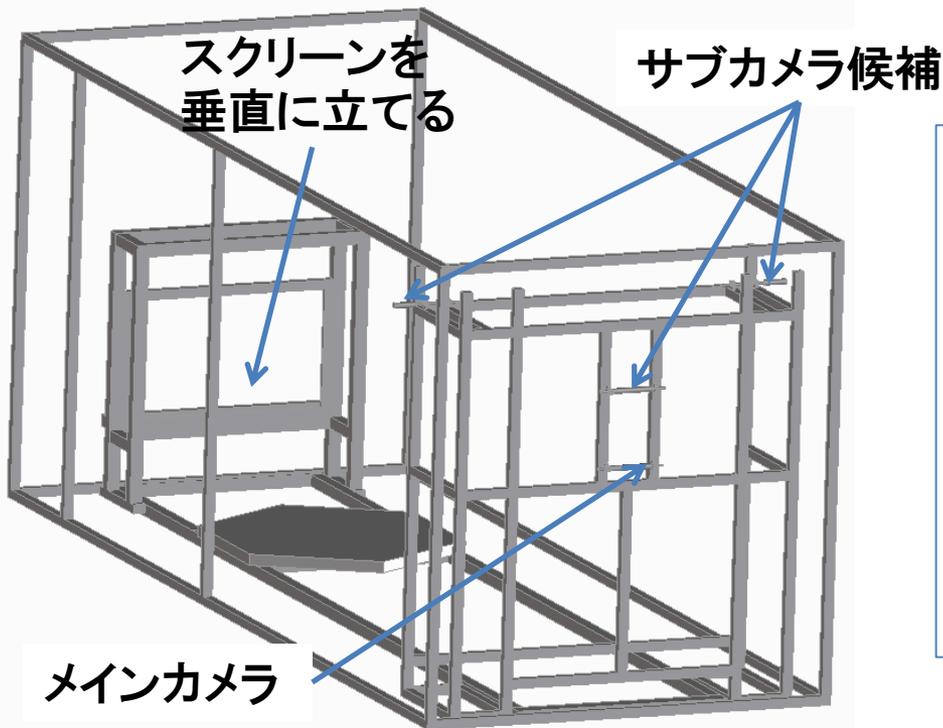
実際の光を当てて測定した焦点

PMD装置のさらなる改良

解析と画像合成の調整により、ある程度しっかりした合成画像と測定差280mmという結果が出たが、やはり画像合成は難しい。

→そこで画像合成を行わない、**一台のCCDカメラで測定を行う方法**を検討している

CCD台の中央にメインとなるカメラを置き、他の3台のカメラをステレオ測定用のサブカメラ候補する



<変更のメリット>

- ・スクリーン台を立てることにより、高い精度のスクリーンキャリブレーションが出来る
- ・カメラ台数を減らすことにより、カメラ個々によるシステムティックエラーを減らせる。
- ・画像合成を必要としない。

現在、この方法を採用すべく、調整を行っている

まとめ

PMD装置が完成し、実際に1.51mのLST用分割鏡を試測定した。

装置の改良やキャリブレーションを行い、測定を行うと、何らかの原因で画像合成に問題があることが分かった。

原因について左下のカメラのキャリブレーションがうまくいっていないことが考えられる。その後の3D-shapeと協力結果を考えると原因はワールド座標キャリブレーションであると考えられる。

3D-shapeと協力し、再度ワールド座標キャリブレーションを行い、得た合成画像はおおよそ上手くいったが、やはり合成自体は難しい。

そこで、スクリーンを垂直にし、1台のカメラで測定する方法を検討している。この方法は画像合成がいらす、また複数のカメラを使うことによるエラーを減少、キャリブレーション精度の向上が狙える。

現在、この測定に向けた開発を行っている。