

CTA報告63: CTA大口徑望遠鏡用分割鏡の形状測定システム であるPhase Measuring Deflectometry法の開発

2013年9月20日

茨城大学大学院理工学研究科

馬場浩則

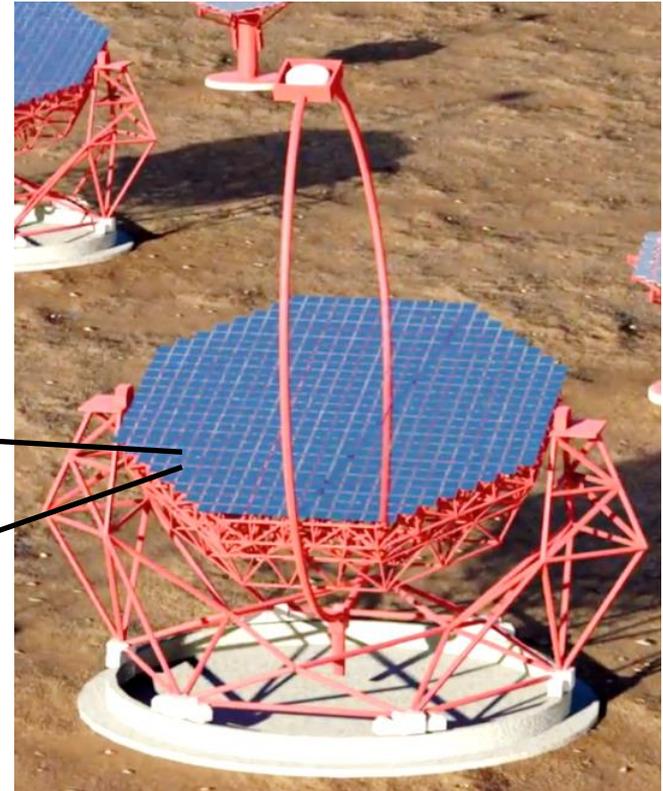
手嶋政廣^{B,C}, 中嶋大輔^B, 林田将明^B, 花畑義隆^B, 吉田龍生^A, 齋藤浩二^B,
佐々木浩人^D, 奥村暁^{E,F}, 加賀谷美佳^A, 片桐秀明^A, 田中駿也^A, 千川道幸^G,
野里明香^G, 野田浩司^C, 柳田昭平^A, 山本常夏^D,
他 CTA-Japan consortium, R.Krobot^I

茨城大理^A, 東大宇宙線研^B, Max-Planck-Inst. fuer Phys.^C, 甲南大理工^D,
名大STE研^E, レスター大^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
焦点距離(f)	:28m
F値(焦点距離/口径)	:1.2
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

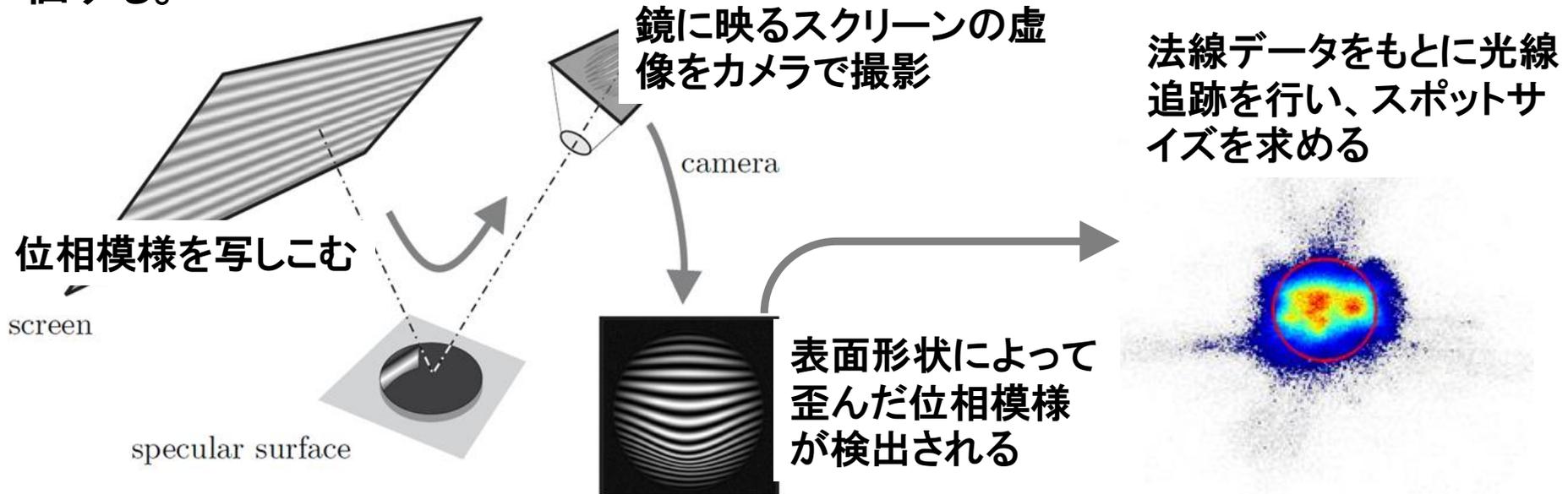
対辺間1.51m、**焦点距離28~29.2m**、80%の光の直径がカメラの1/3Pixelに入るスポットサイズの($d_{80}=15\text{mm}$)の分割球面鏡が**LST一台あたり約200枚**必要となる。

→要求値の半分のスポットサイズ形状まで可能な測定精度かつ、効率のよい分割球面鏡の評価方法が必要

LST(CG画像)

Phase Measuring Deflectometry (PMD)法

PMD法とはドイツ、エアランゲン大学で開発された測定方法で、**位相シフト法**、**ステレオカメラ写真測量**を利用し、**鏡面各点の法線**、**表面形状**を高精度で測定する。そして形状データから**光線追跡シミュレーション**を行い、**スポットサイズ**を評価する。

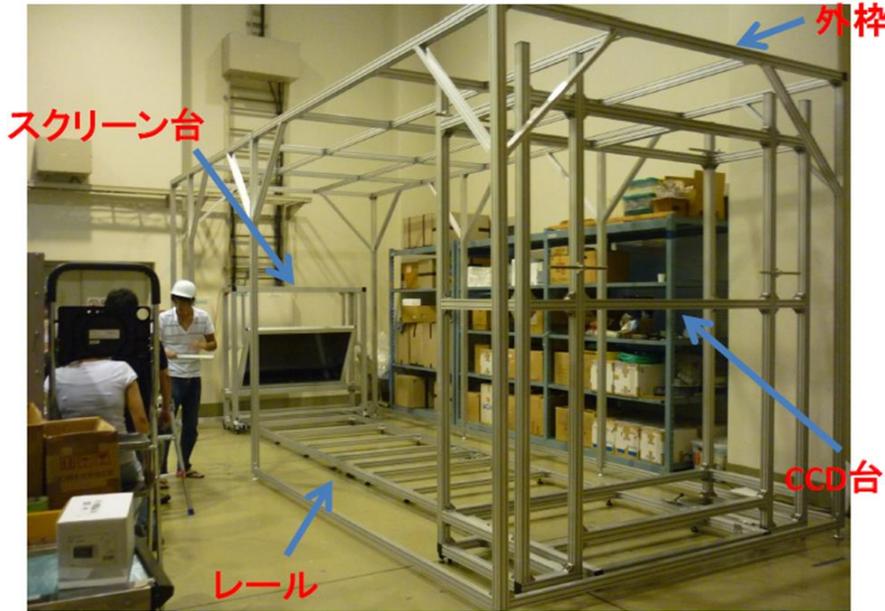


メリット

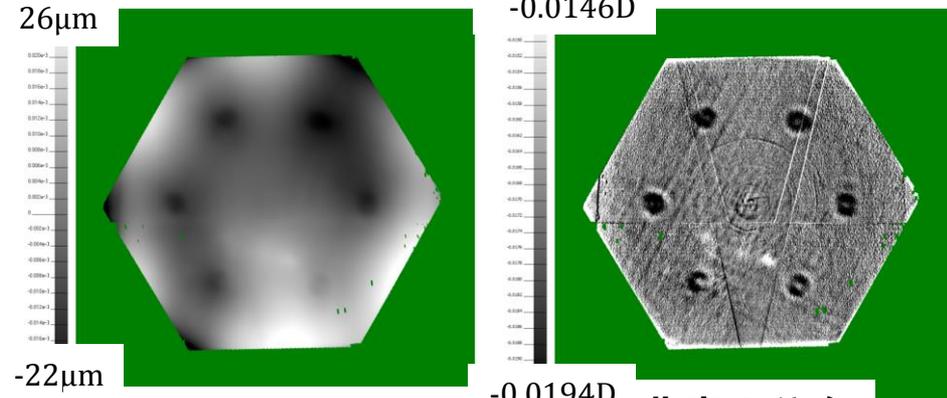
- ・測定作業は鏡を置き撮影するだけ
- ・**直接鏡面の情報(座標、法線)が得られる**
- ・測定範囲がCCDの合成視野とスクリーンの投影範囲のみに依存するため、**大型の物でも測定可能**
- ・LST用分割用の曲率半径(56m)に対して**装置が小型(実際の装置は7m)**

PMD装置開発(前回報告)

宇宙線研究所にて実際にPMD法装置を製作し、キャリブレーション、LST分割鏡の測定を行った。



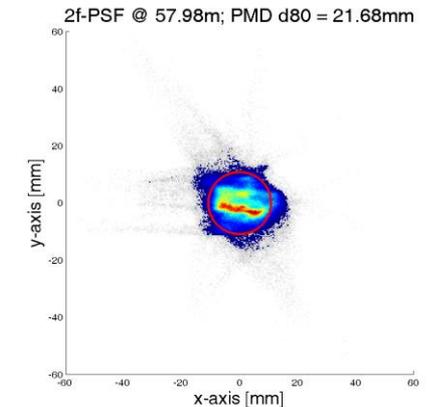
宇宙線研に設置したPMD装置
全長(7m×3m×3m)



理想球面からのずれ

曲率の分布

スポットサイズ
D80=21.68mm
R=57.98m

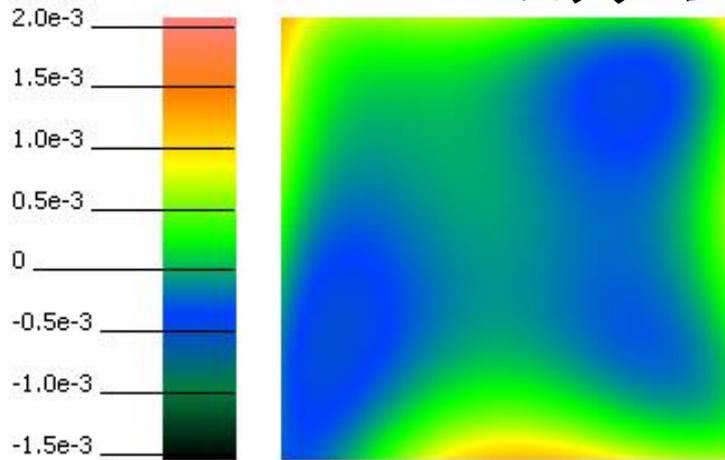


結果は画像合成の跡が残っているが、理想球面からのずれではその影響が出ていない。また、約 $\pm 20\mu\text{m}$ 程度の構造は測定できると思われ、**画像を合成しても1つにまとまったスポットが得られるようになった。**

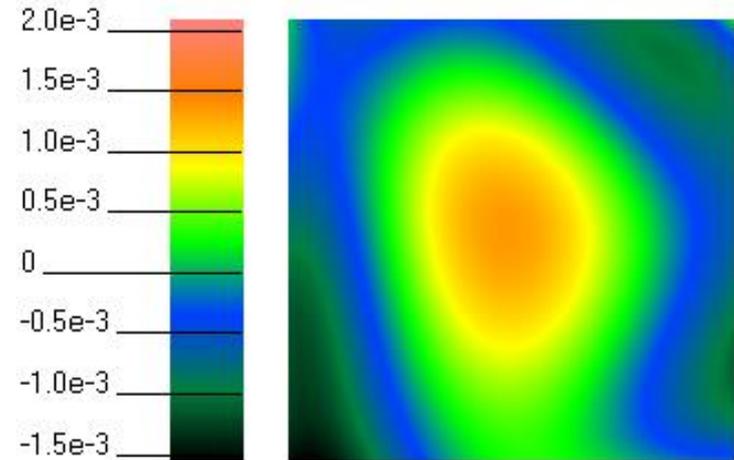
PMD装置の再解析

装置の再解析を行うと、スクリーンキャリブレーションに顕著な違いがあった。

スクリーンの変形に対する補正(mm)



装置完成時のキャリブレーション結果



再解析時のキャリブレーション結果

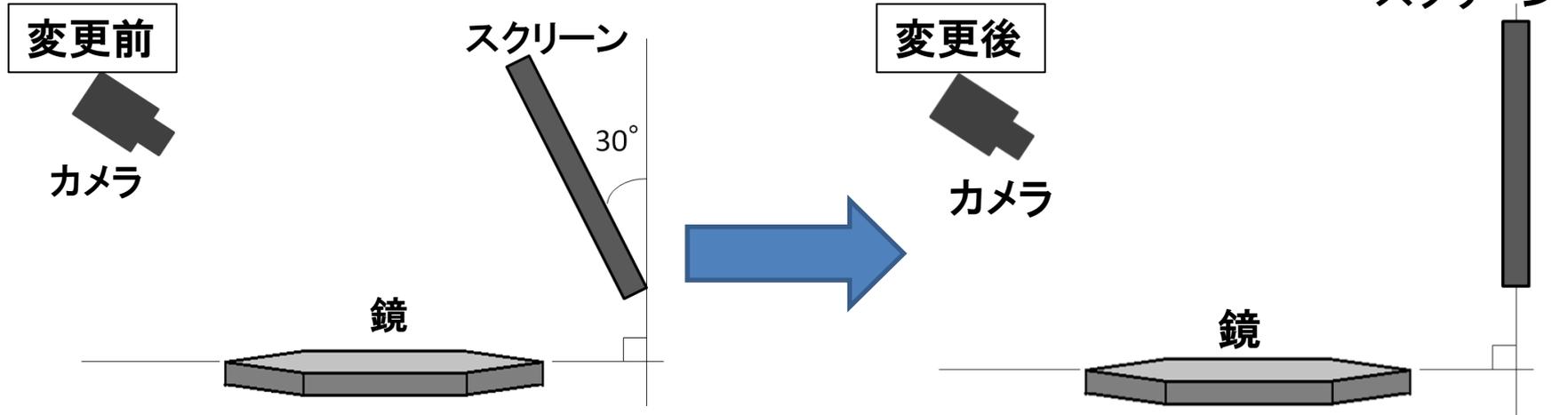
スクリーン初期から改良直前までに変化が著しいが、装置完成時の最初のキャリブレーションから、今回のキャリブレーションまで、1度も行っていなかった。

スクリーンが中央が盛り上がるという時間変化をしたのに対して、古いキャリブレーションデータを使用していた。つまり、**再解析以前の測定では取り除けていないスクリーンの歪みの影響を受けていた。**

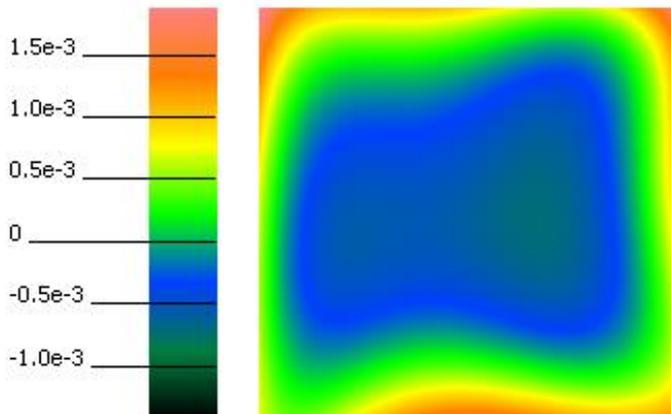
このことについて、さらに装置改善も行った。

装置改良

スクリーンの変形に対し、スクリーンの設置の変更を行った。
これまではスクリーンを30度下に傾けて設置し、鏡の有効面積(位相が映っている面積)を増やしていた。しかし、実測において十分すぎるほどの有効面積が得られてることが分かり、スクリーンが地面と垂直になるよう改良した。



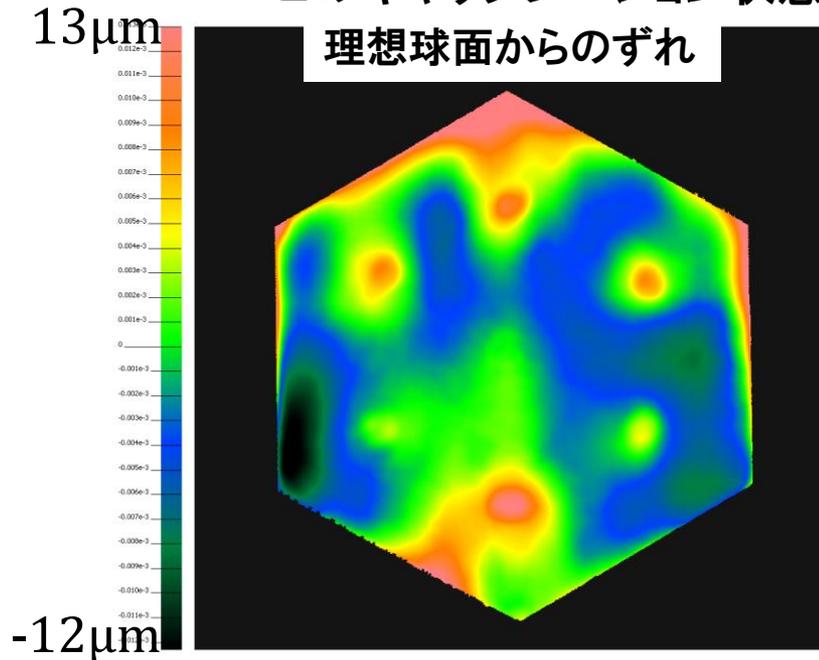
改良後のキャリブレーション結果



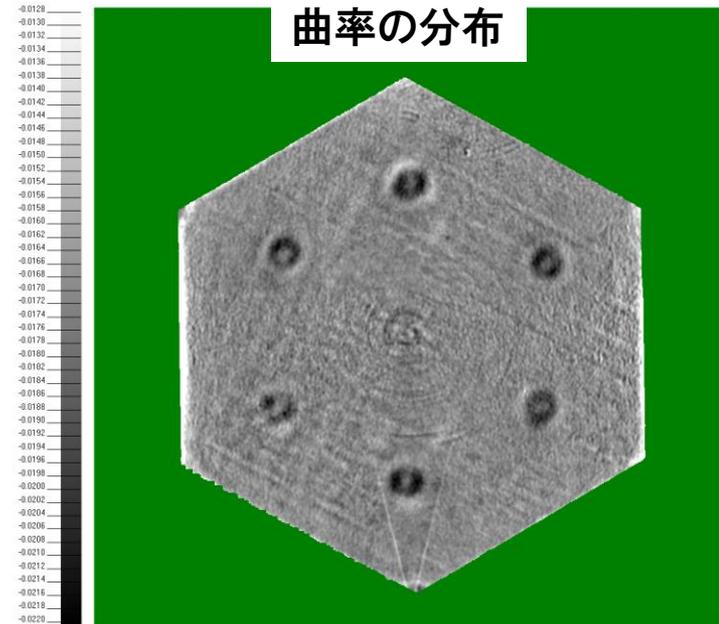
斜め置きによるスクリーンの中央が膨らむ変形がなくなり、変形しにくくなったと考えられる。
またスクリーンを立てることで、今後のスクリーンキャリブレーションでスクリーンに対して撮影位置をより離すことが出来、カメラの視野角による影響を抑えられ、精度を上げられる

測定結果

このキャリブレーション状態で、前回と同様の鏡を測定した。



Fit 58.095m

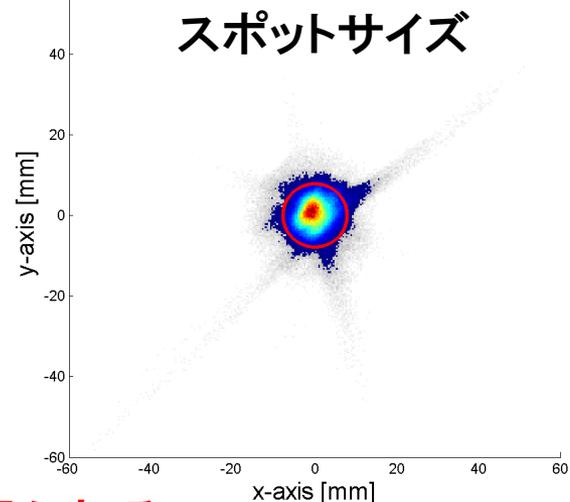


レイトレース結果

曲率半径58.14m

D80(2f)=15.7mm

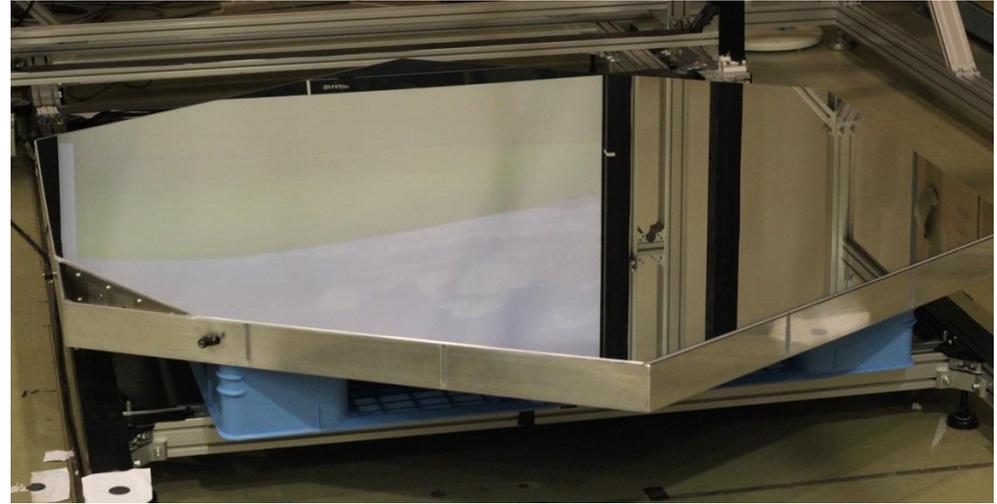
±10 μ mで表面を測定で出来ており、合成
跡もほとんど見られない。そして**スポット**
の形状がより鮮明になった。



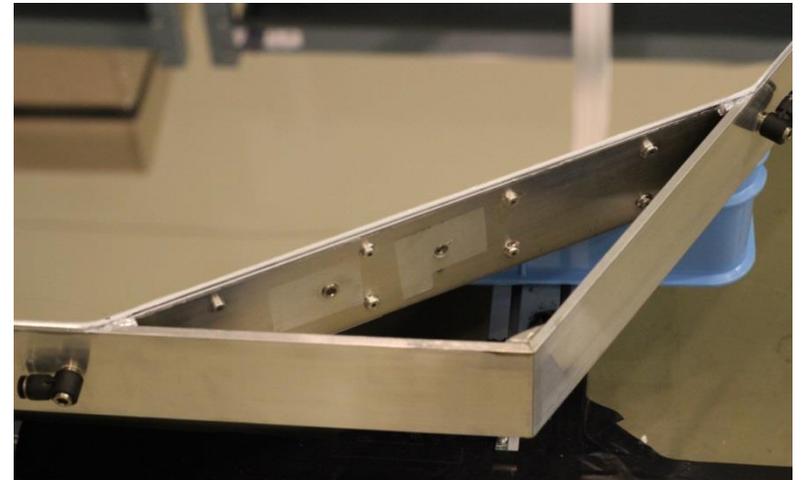
測定精度の向上が見られる

新しく生産された鏡の測定

新しく複数枚のLST分割鏡が生産、納品されたため、その鏡をPMD装置で測定を行った。

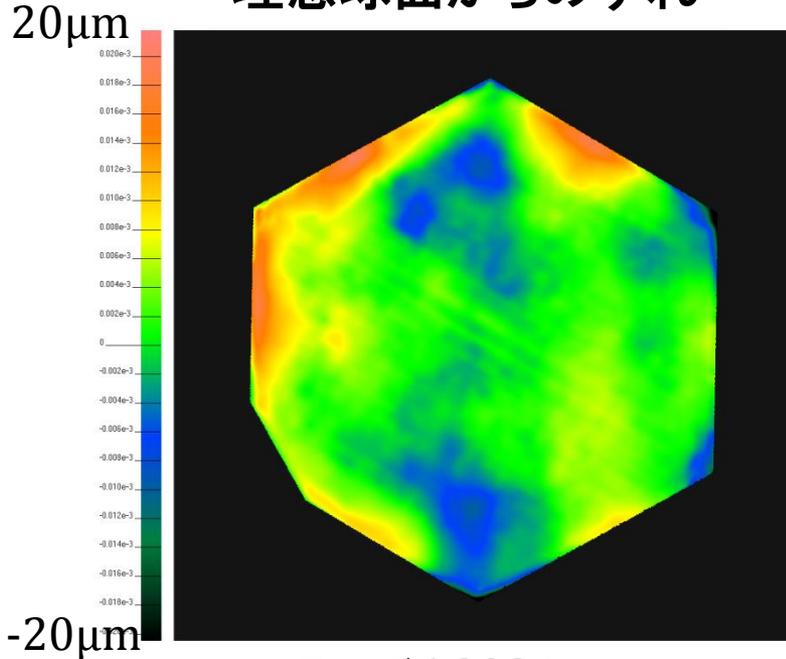


新しく生産された鏡は光学系調整装置取り付けのため、一つの角が削ってある。



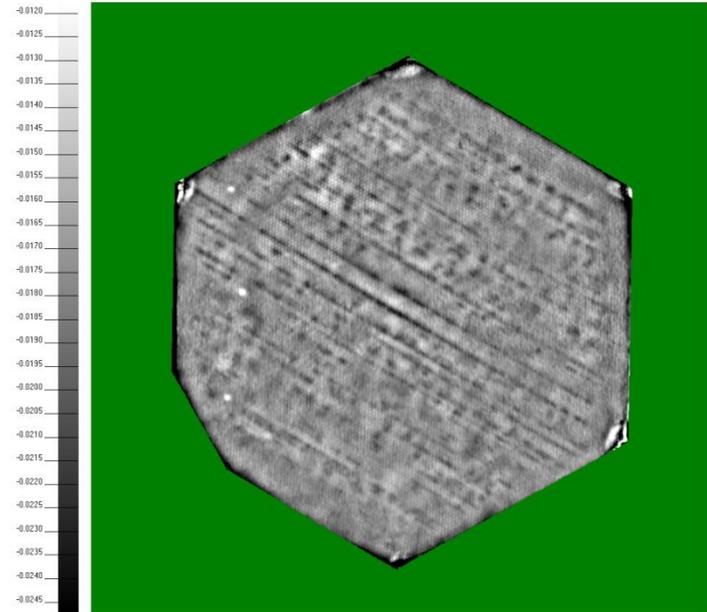
PMD法による測定結果

理想球面からのずれ



Fit ; 56.9094m

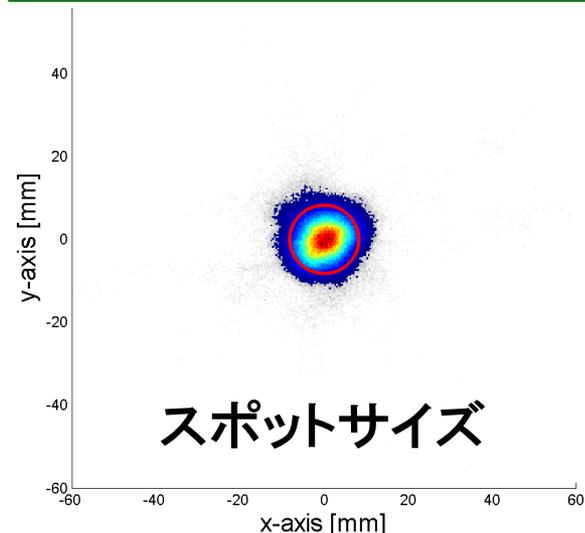
曲率の分布



レイトレース結果

- ・曲率半径57.02m
- ・ $D80(2f)=16.4\text{mm} > \text{要求値}: 30\text{mm}$

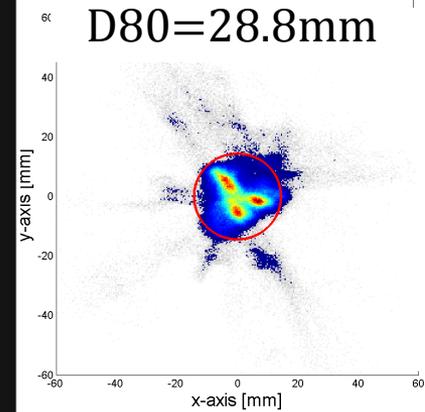
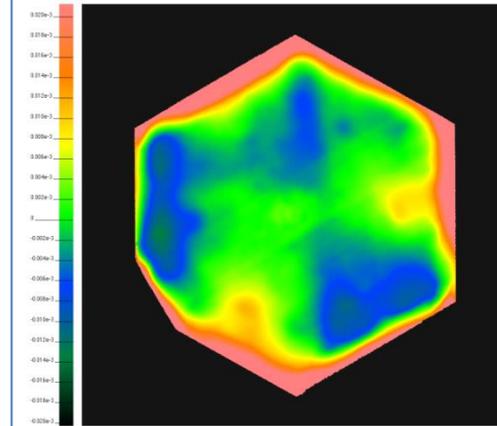
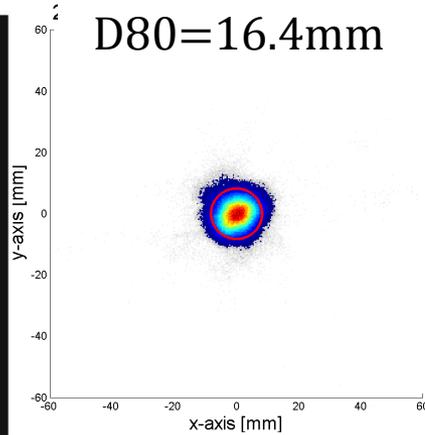
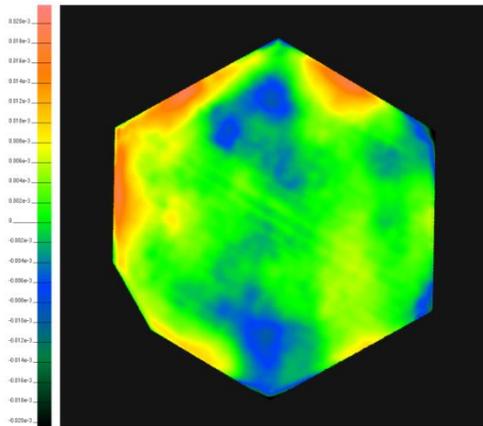
理想球面からのずれではピーク差 $10\mu\text{m}$ 程度の構造を持つ斜めの線が見え、**スポットサイズは要求値の半分の大きさ(15mm)程度でも測定が出来ている。**



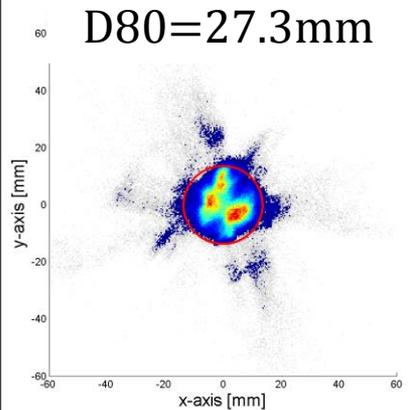
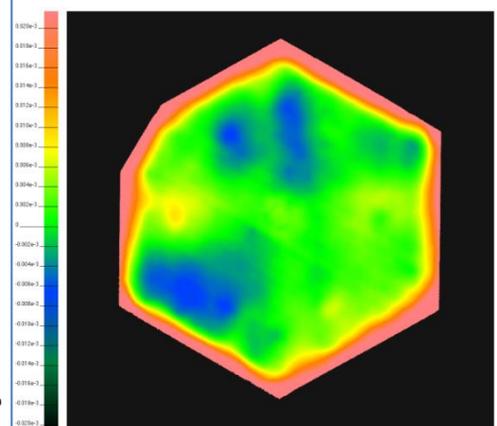
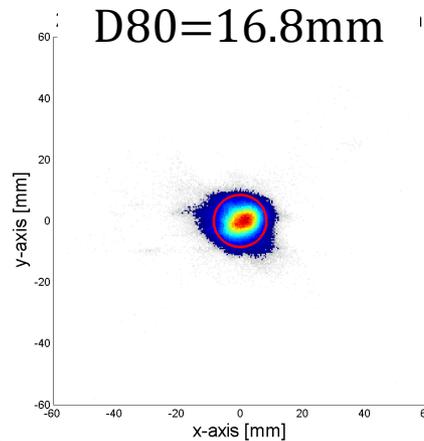
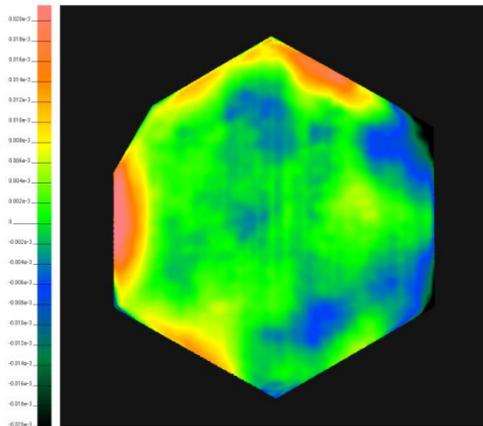
スポットサイズ

PMD装置のスポットサイズ測定精度考察 カラーバー±20 μm

複数の鏡を回転させて測定した。



60
度
回
転



表面形状では10 μm の形状が回転していることが確認できる。また、異なった鏡についてそのスポットサイズの判別が可能である。

スポットサイズの要求を満たすかの判断は可能となってきたと考えられる。

まとめ

・PMD装置について再解析を行うと、スクリーンキャリブレーションに顕著な違いがあり、スクリーン変形を補正できていなかった。そのため、スクリーンの変形を抑えるためにスクリーンを垂直にし、再度キャリブレーションを行った。

→現在PMD装置は表面形状について $\pm 10\mu\text{m}$ の測定が可能となり、また、要求値の半分のスポットを測定することができた。

・新しく複数枚LST分割鏡が生産、納品され、PMD法で測定した。

→異なった鏡でもそのスポットを判別することが出来、鏡が要求が満たすどうかの評価までは可能と予想される。

今後

PMD法について、現状の精度の調査、スポットサイズを要求値の半分まで形状測定可能にするための精度向上をしていく。この方法として現在、キャリブレーションに使う基準鏡をより正確なものに変えることなどを考えている。

また、生産された鏡はすべて2f法(曲率半径に位置に光源と検出器を置き、実際にスポットを求めてる)という測定がされており、PMD法のクロスチェックとして使用するためにも、2f法で得られたスポットサイズ画像の解析を行っていく。