

大型望遠鏡の光学試験のための 新しい波面縫い合わせ法の開発

國生拓摩、金田英宏、山岸光義、近藤徹(名古屋大学)、内藤聖貴、今井正、
片山晴義(EORC/JAXA)、川田光伸、中川貴雄(ISAS/JAXA)、尾中敬(東京大学)



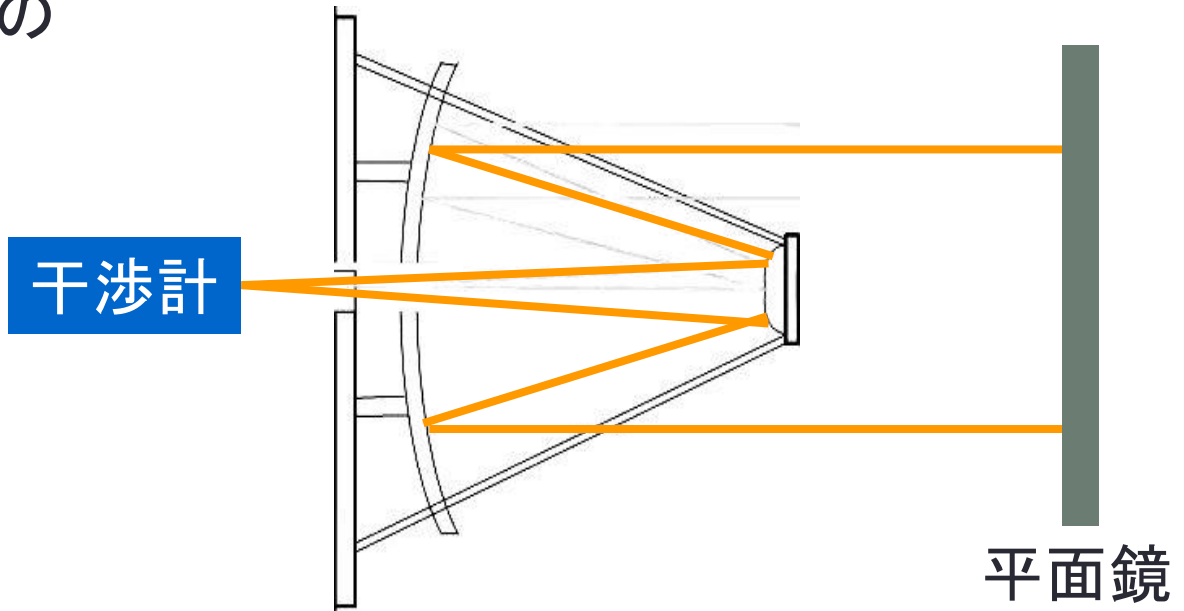
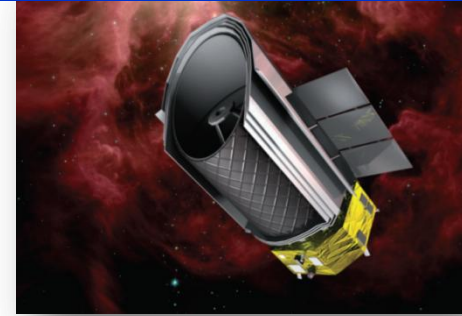
Outline

1. 研究の目的
2. 試験方法
stitchingアルゴリズム
試験セットアップ
3. 結果
4. Shearing法
5. まとめ

SPICA:口径3.2 m
波面誤差350 nmRMS@6 K

1. 目的 -大型望遠鏡の試験-

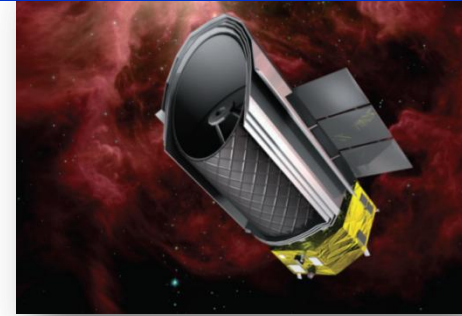
- 将来の科学衛星・地球観測衛星
⇒高解像度な観測のため望遠鏡が大型化(~3 m)
- 望遠鏡の試験方法:オートコリメーション法
⇒望遠鏡に匹敵するサイズの
平面鏡が必要
⇒直径1 m以上の平面鏡の
製作は困難



SPICA:口径3.2 m
波面誤差350 nmRMS@6 K

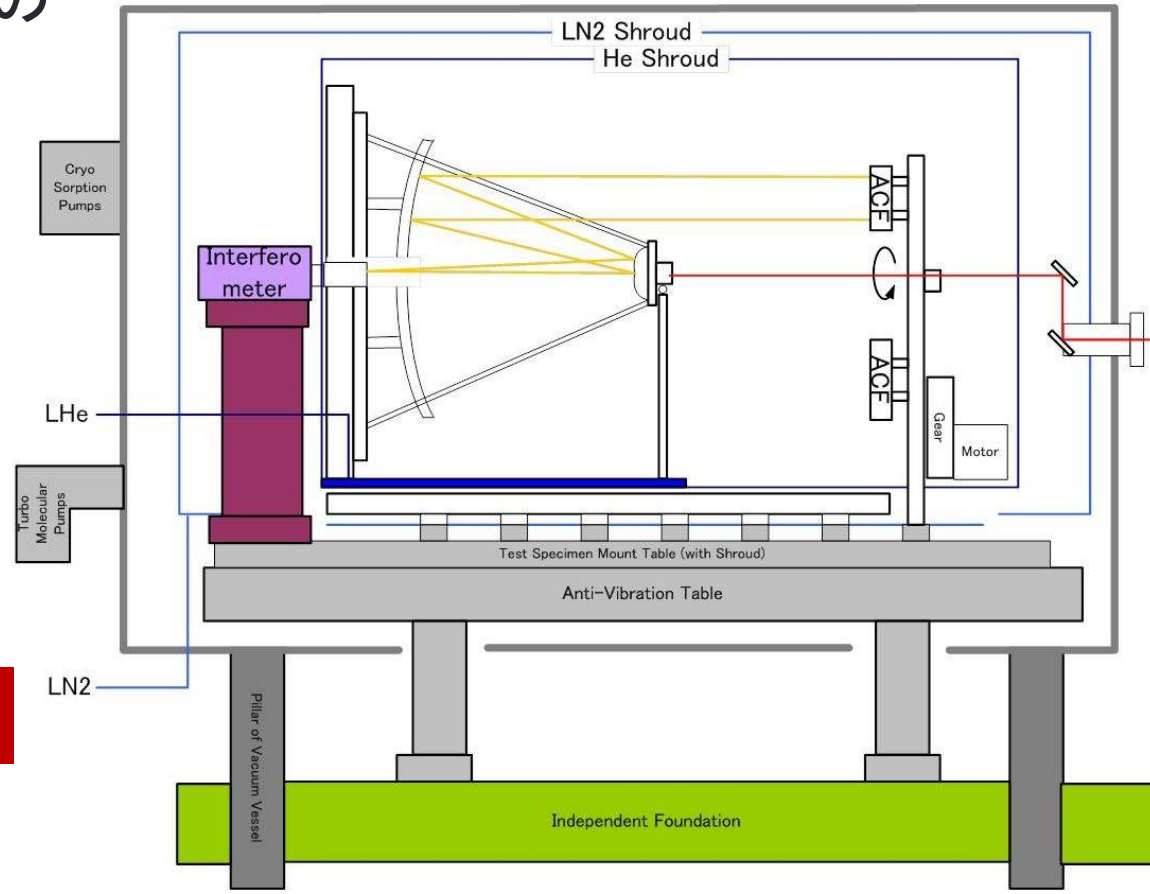
1. 目的 -大型望遠鏡の試験-

- 将来の科学衛星・地球観測衛星
⇒高解像度な観測のため望遠鏡が大型化(~3 m)
- 望遠鏡の試験方法:オートコリメーション法
⇒望遠鏡に匹敵するサイズの平面鏡が必要
⇒直径1 m以上の平面鏡の製作は困難



小型平面鏡を用いて
望遠鏡の分割された
波面を測定して繋ぎ合わせる

Stitching interferometry

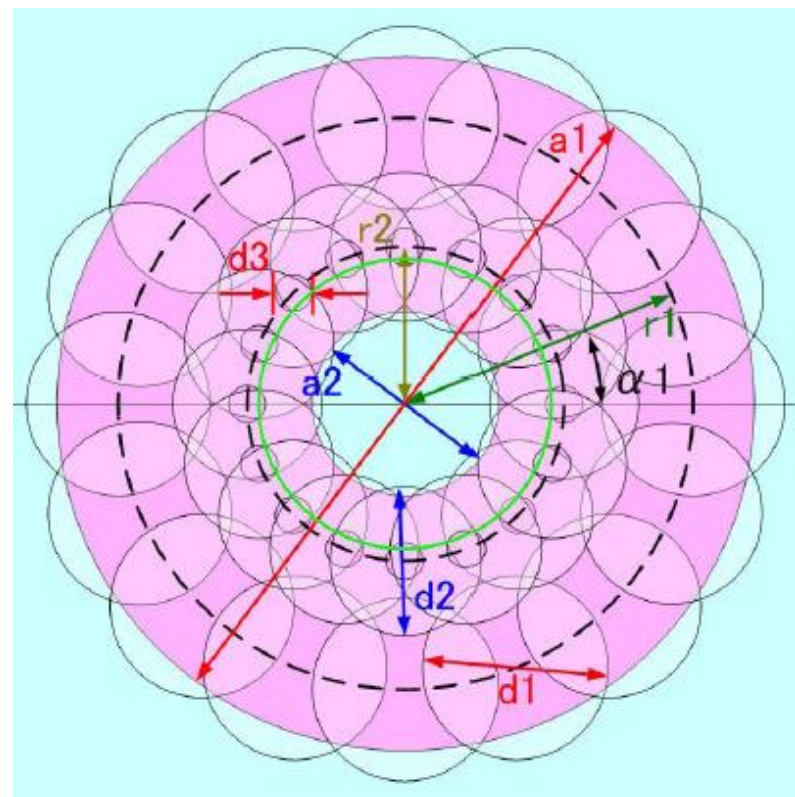
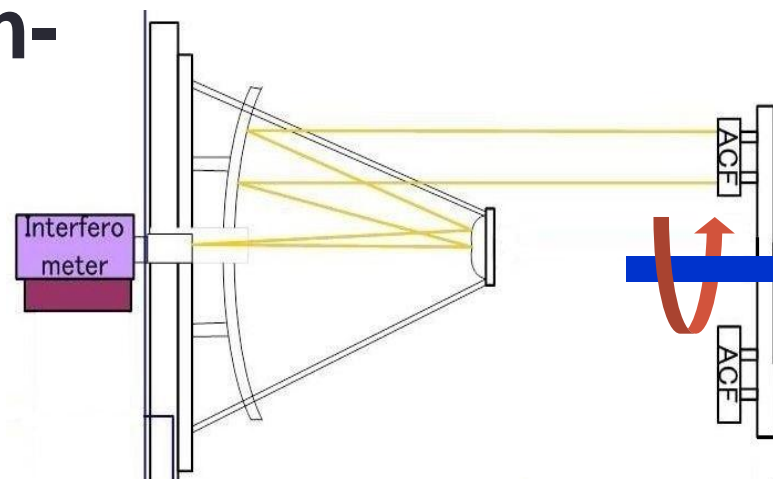
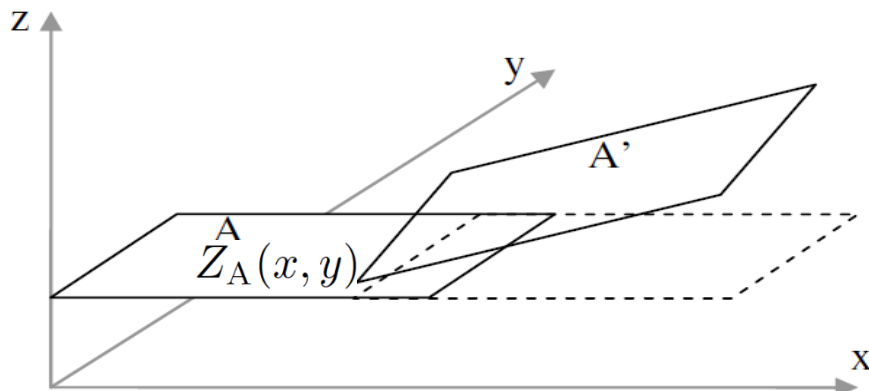


2. 方法 -stitching algorithm-

- 回転ステージの機械誤差で、平面鏡が僅かに傾く
⇒各回転位置の測定結果にtiltがのる
- 最小二乗法により、重なり領域の差が最小になるように各測定結果のtiltを決定する

$$\{Z_A(x, y) - [Z_{A'}(x, y) + ax + by + c]\}^2 \rightarrow \min$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x^2 & \sum xy & \sum x \\ \sum xy & \sum y^2 & \sum y \\ \sum x & \sum y & n \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum x\Delta(x, y) \\ \sum y\Delta(x, y) \\ \sum \Delta(x, y) \end{bmatrix}$$



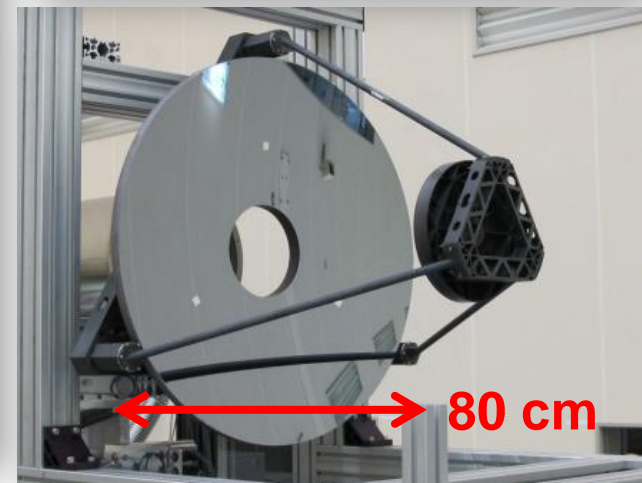
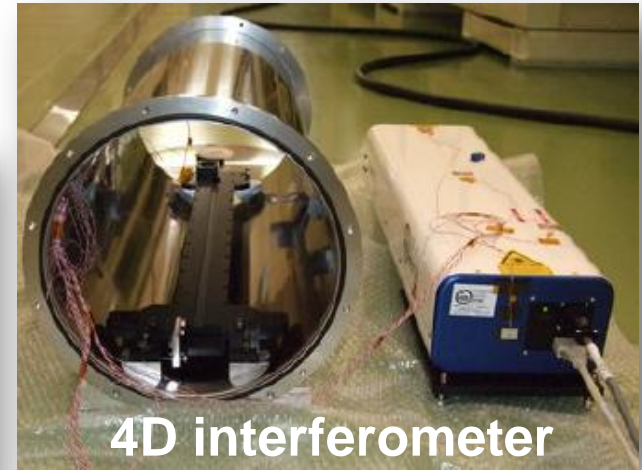
2. 方法 -コンフィグレーション-

@筑波宇宙センター

干渉計

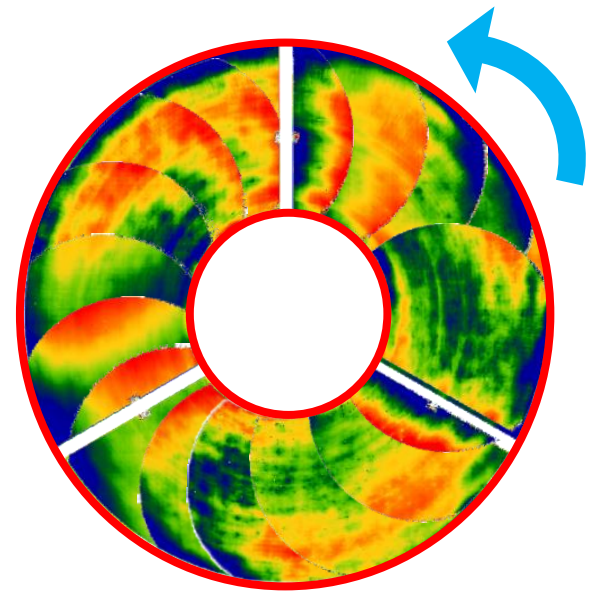
望遠鏡

小型平面鏡

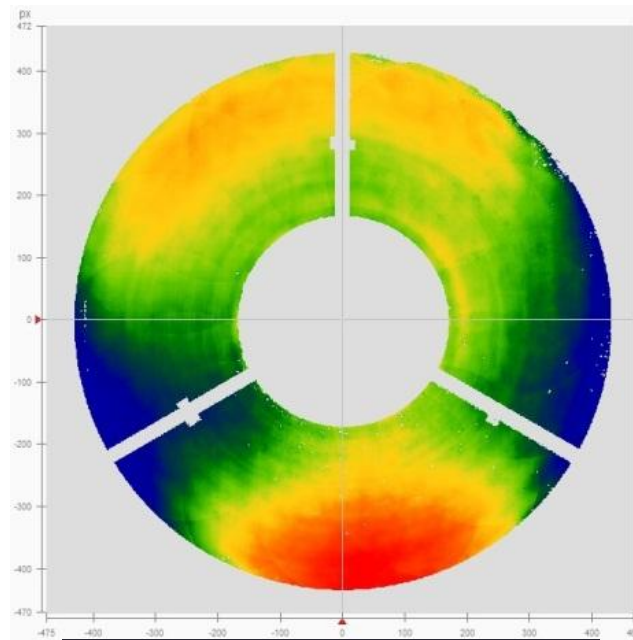


- 位相シフト干渉計 + 5軸ステージ @ 望遠鏡焦点
- HB-Cesic望遠鏡 (M1: 球面、M2: 6次の非球面)

3. 結果



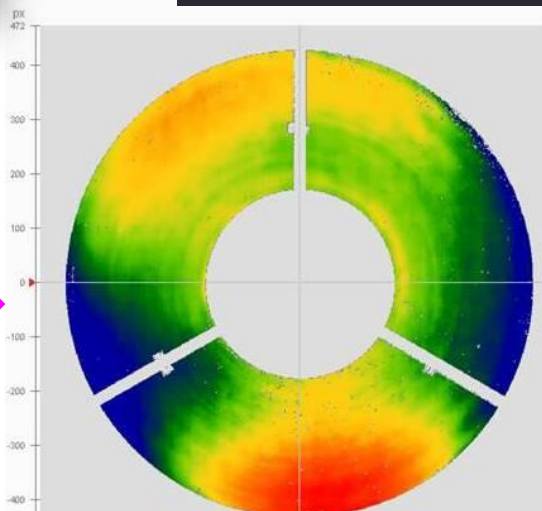
3. 結果



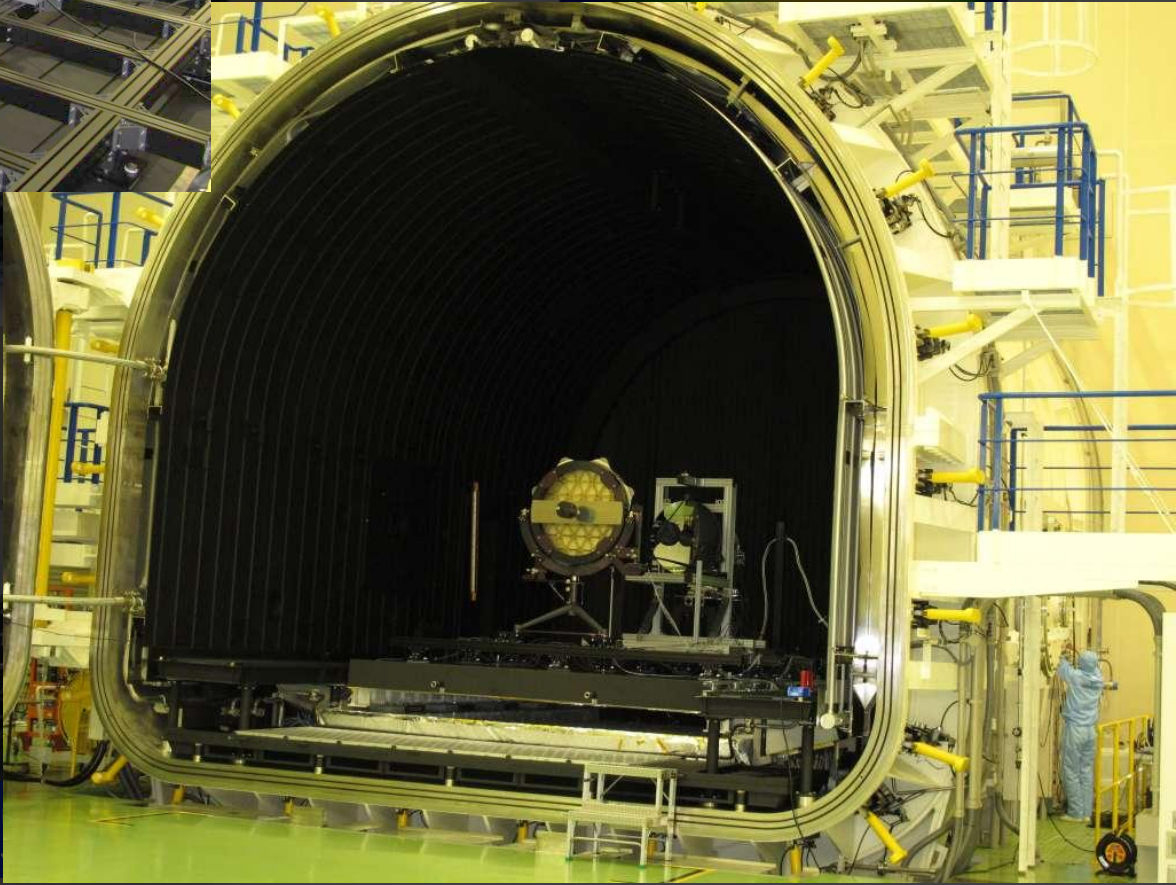
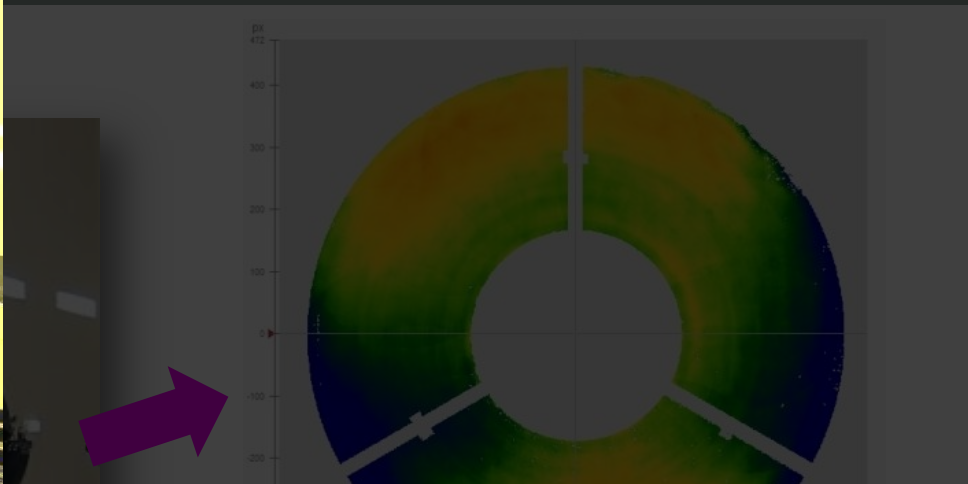
波面誤差: 1.70λ RMS



Φ90 cm平面鏡による測定

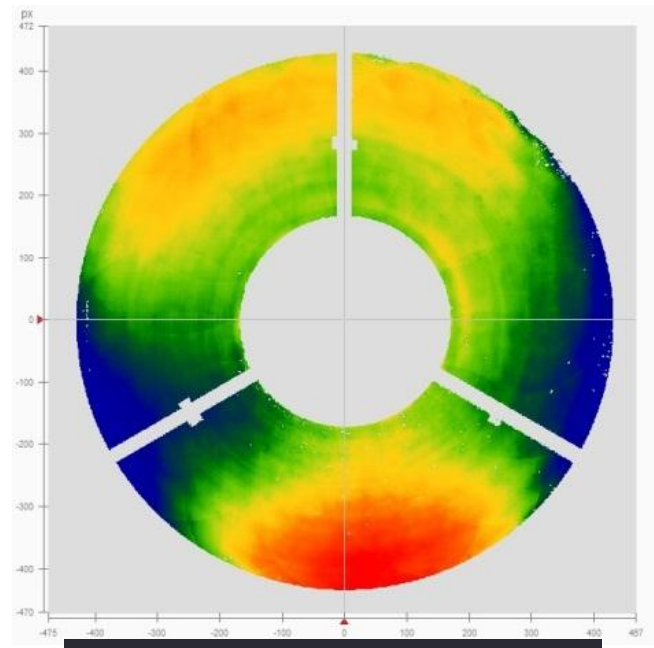


波面誤差: 1.72λ RMS



Φ90 cm平面鏡による測

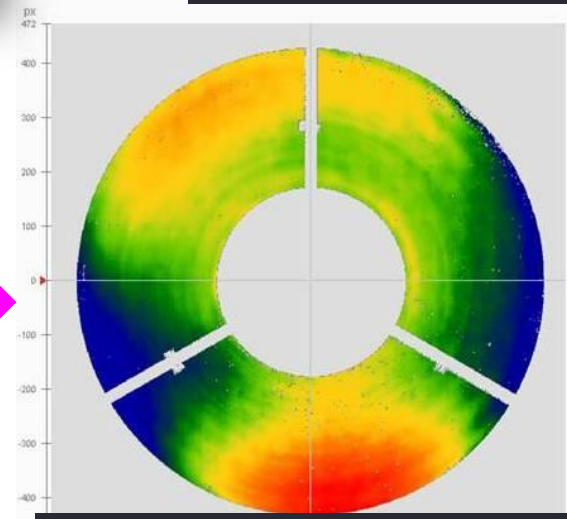
3. 結果



波面誤差: 1.70λ RMS

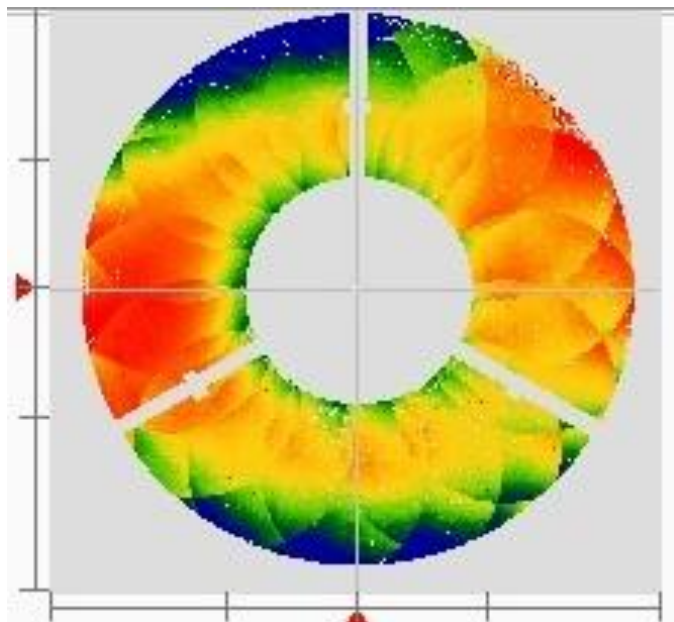


$\Phi 90$ cm平面鏡による測定

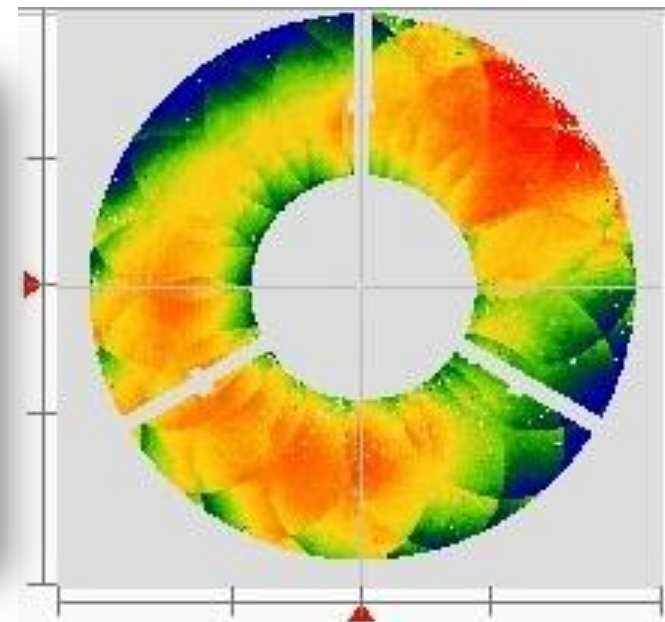


波面誤差: 1.72λ RMS

3. 結果



Stitching測定とフルアパーチャ
測定との差分: $0.27\lambda\text{RMS}$



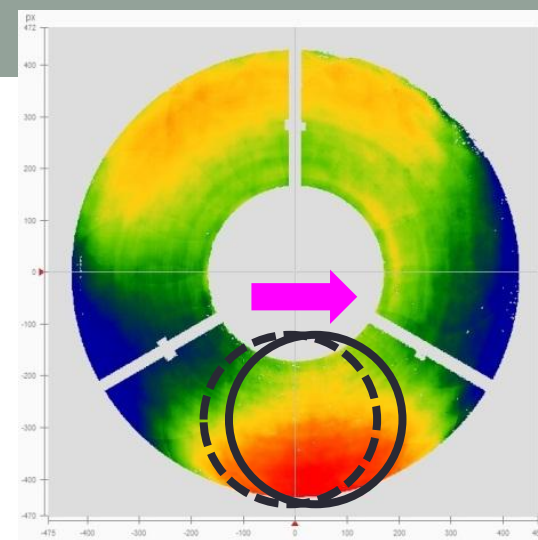
平面鏡を 22.5° 回転
: $0.26\lambda\text{RMS}$

- 平面鏡の形状誤差(支持構造に起因?)が測定結果に影響する
- 冷却望遠鏡(SPICA)の試験は極低温で行う
⇒ 平面鏡は熱収縮(+重力)で歪む

平面鏡形状誤差の影響を取り除くことが必要

4. Shearing法

- 平面鏡の形状誤差を直接測定することは困難
- Shearing: **平面鏡を微小移動させる(1.5°回転)**ことで、平面鏡形状を抽出



Step1. 微小移動前後の測定結果の差分を計算する:

$$[S(x', y) + W(x, y)] - [S(x, y) + W(x, y)] = S(x', y) - S(x, y)$$

微小移動**後**の
平面鏡形状誤差

微小移動**前**の
平面鏡形状誤差

望遠鏡の
波面誤差

Step2. 差分を移動距離で割る: $[S(x', y) - S(x, y)] / \Delta x \approx \partial S(x, y) / \partial x$

Step3. 微小移動の方向に沿って積分する: $\int \partial S(x, y) / \partial x dx = S(x, y)$

-
- 詳細はポスターをご覧ください
-

4. Shearing法

Y方向でも同様の計算をする

- 平面鏡の形
- Shearing:

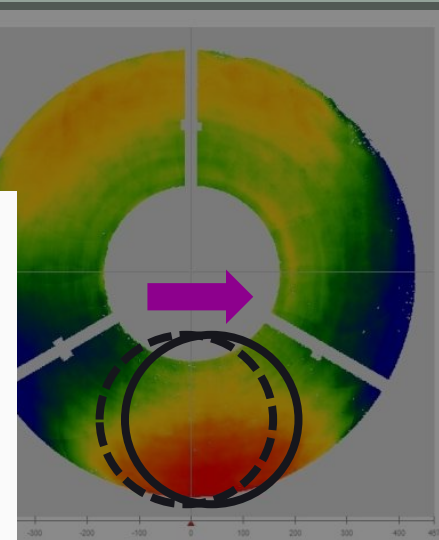
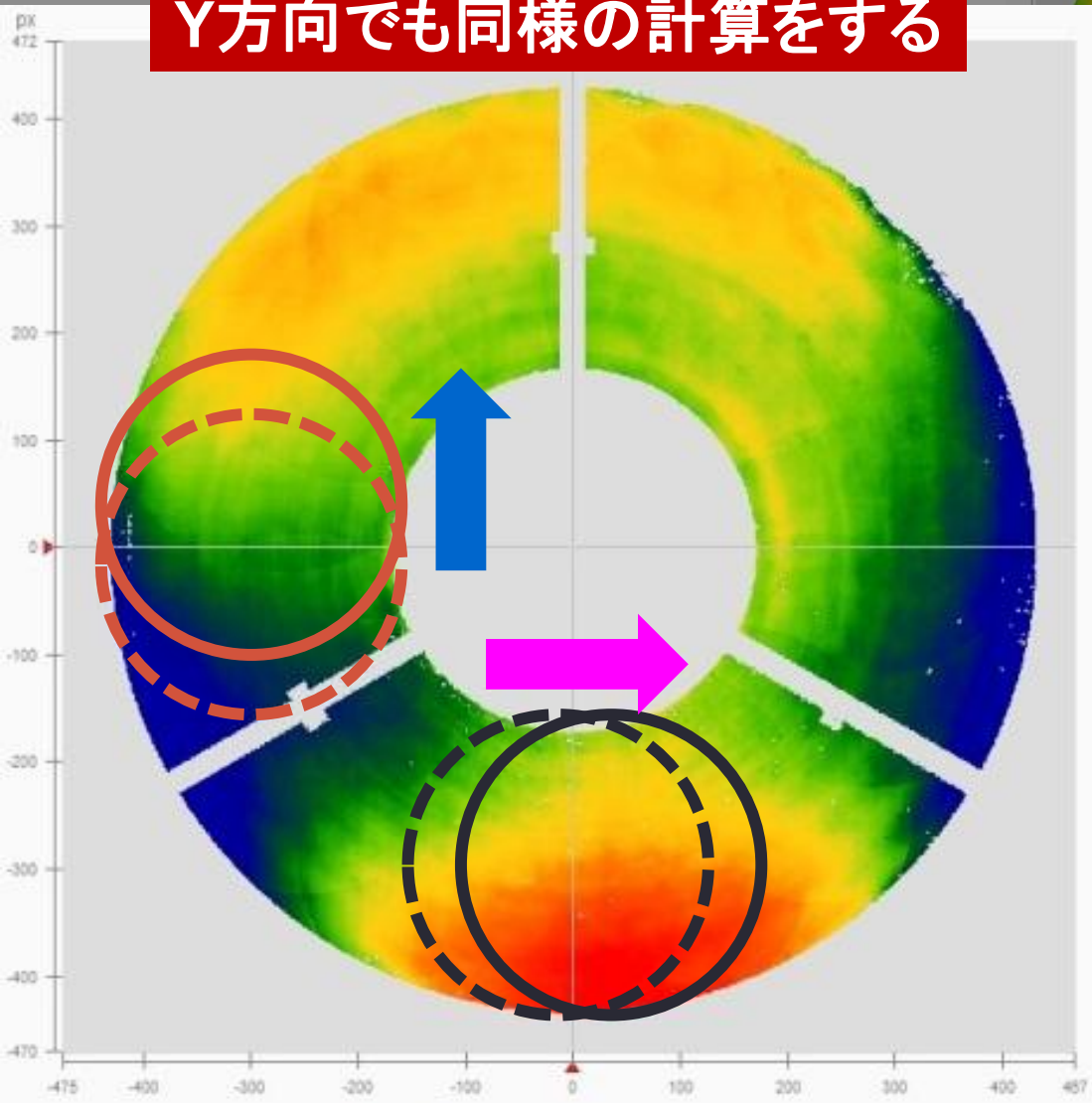
Step1. 微小

$$[S(x$$

微小移
平面鏡形

Step2. 差分

Step3. 微小



$$) - S(x, y)$$

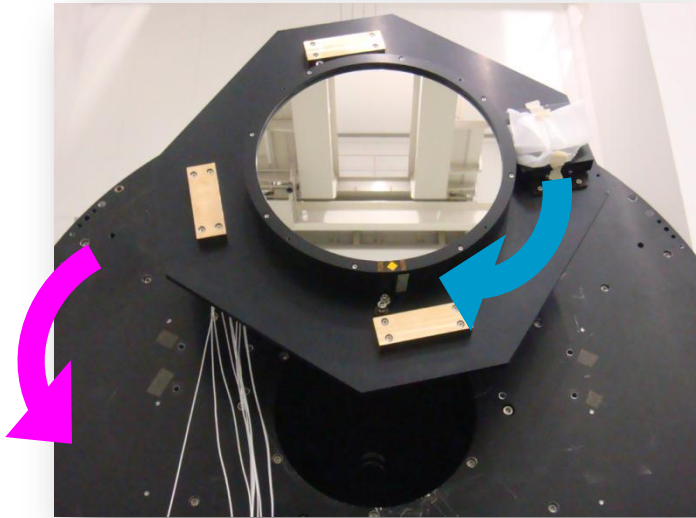
$$\partial S(x, y) / \partial x$$

$$= S(x, y)$$

■ ■ ■ 詳細はポスターをご覧ください

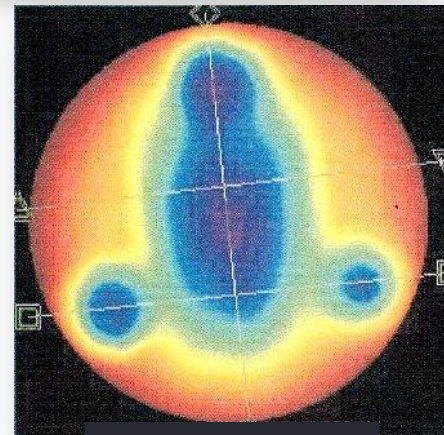
4. Shearing法

- 観覧車方式の小型回転ステージを用いる
⇒ 平面鏡の形状(重力・熱収縮による歪み)は常に同じ向き



- Shearingの妥当性を検証するため、低精度の平面鏡を測定に用いる

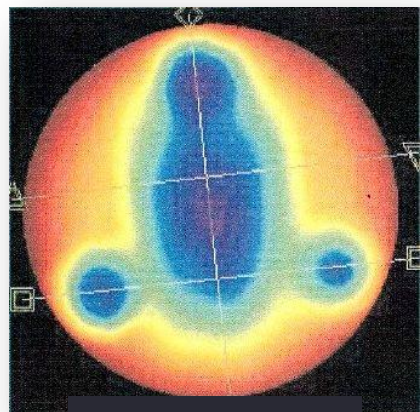
(先述の測定に用いた平面鏡は $0.02\lambda\text{RMS}$)



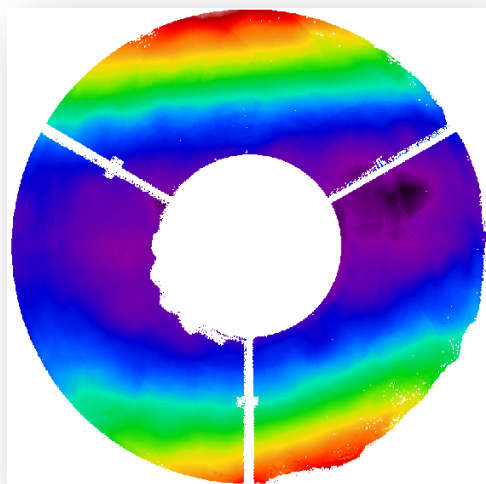
$0.92\lambda\text{RMS}$

4. Shearing法

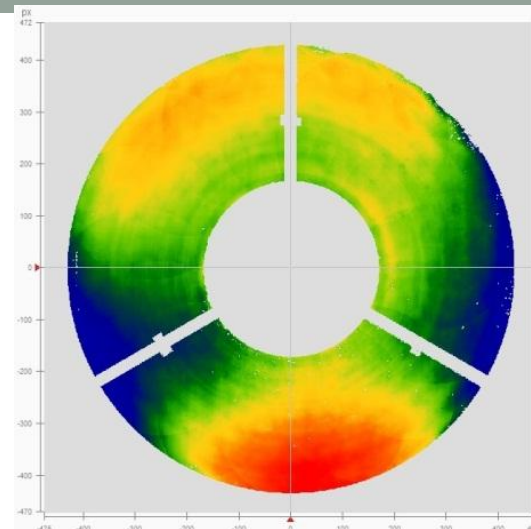
■ Stitchingの結果



0.92λRMS

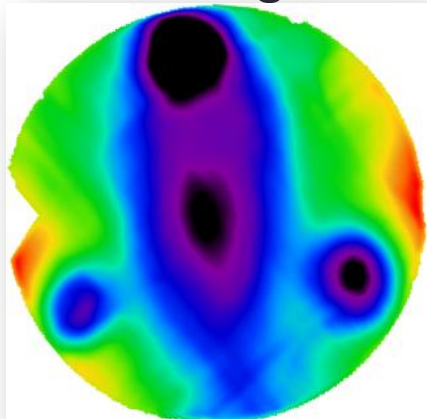


低精度平面鏡による
Stitching測定: 6.09λRMS

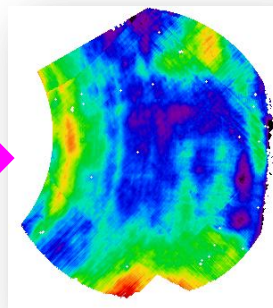
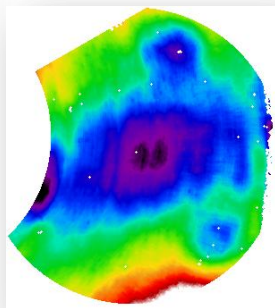


高精度平面鏡による
Stitching測定: 1.70λRMS

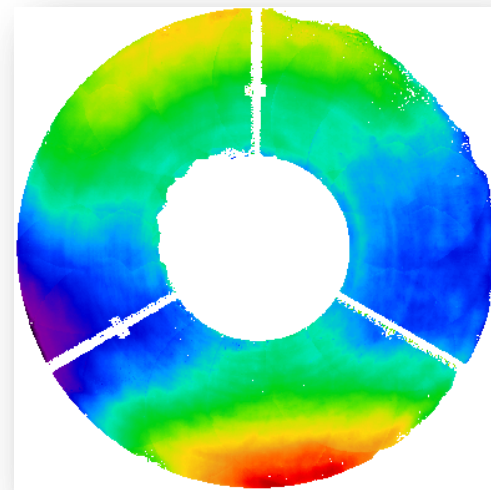
■ Shearingの結果



小型平面鏡の
形状誤差: 0.91λRMS



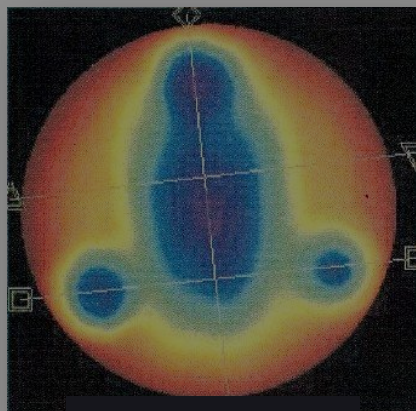
各サブアパーチャ
の測定結果から差し引く



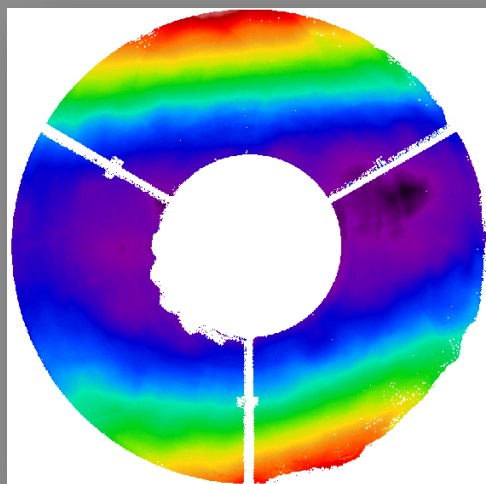
Shearingを適用した
Stitching測定: 2.43λRMS

4. Shearing法

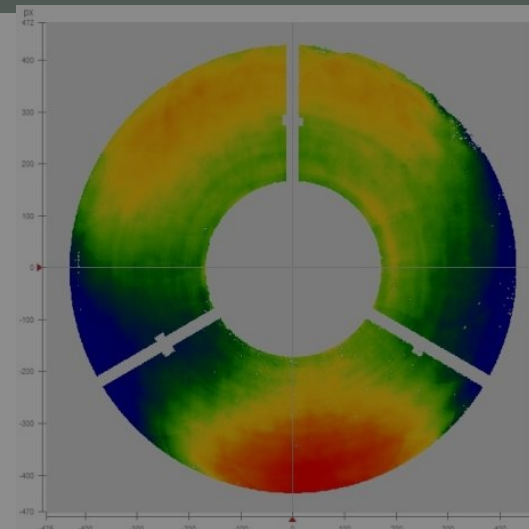
■ Stitchingの結果



0.92λRMS

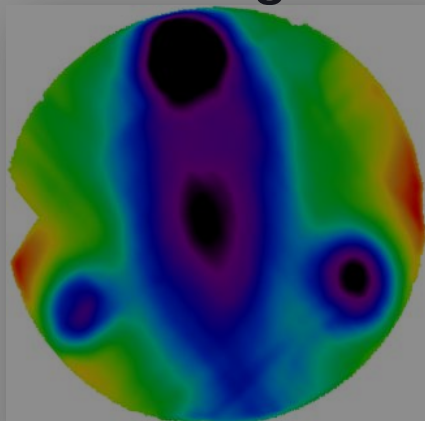


低精度平面鏡による
Stitching測定: 6.09λRMS

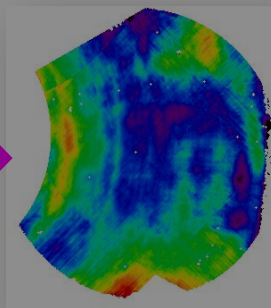
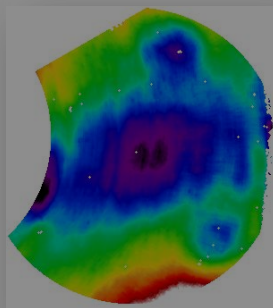


高精度平面鏡による
Stitching測定: 1.70λRMS

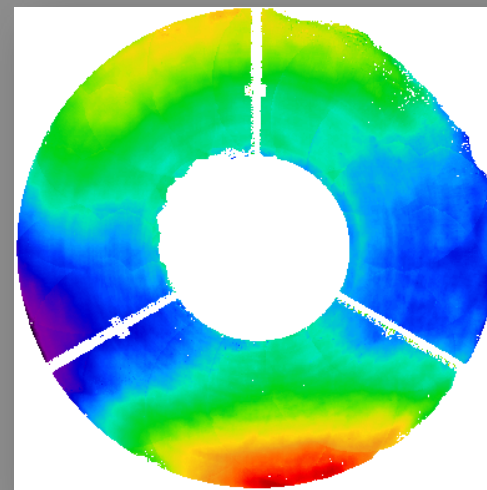
■ Shearingの結果



小型平面鏡の
形状誤差: 0.91λRMS



各サブアパーチャ
の測定結果から差し引く



Shearingを適用した
Stitching測定: 2.43λRMS

5. まとめ

- 大型望遠鏡の光学試験にはstitchingの技術が必要
⇒実際に測定を行い、stitchingの有効性を確認
- 平面鏡の歪みがstitchingの測定結果に影響を与える
⇒平面鏡の影響を緩和するshearing法を開発
- Shearing法により、stitching結果が6.09→2.43λRMSに改善
⇒本来の波面誤差までは改善していない
アルゴリズムの改善、測定システムの見直し
- 真空、低温化での試験