

# Computer-Generated Hologramを用いた 軸外し放物面の鏡面精度測定

広島大学 修士1年 石川あゆみ

鈴木竜二, 尾崎忍夫 (国立天文台)

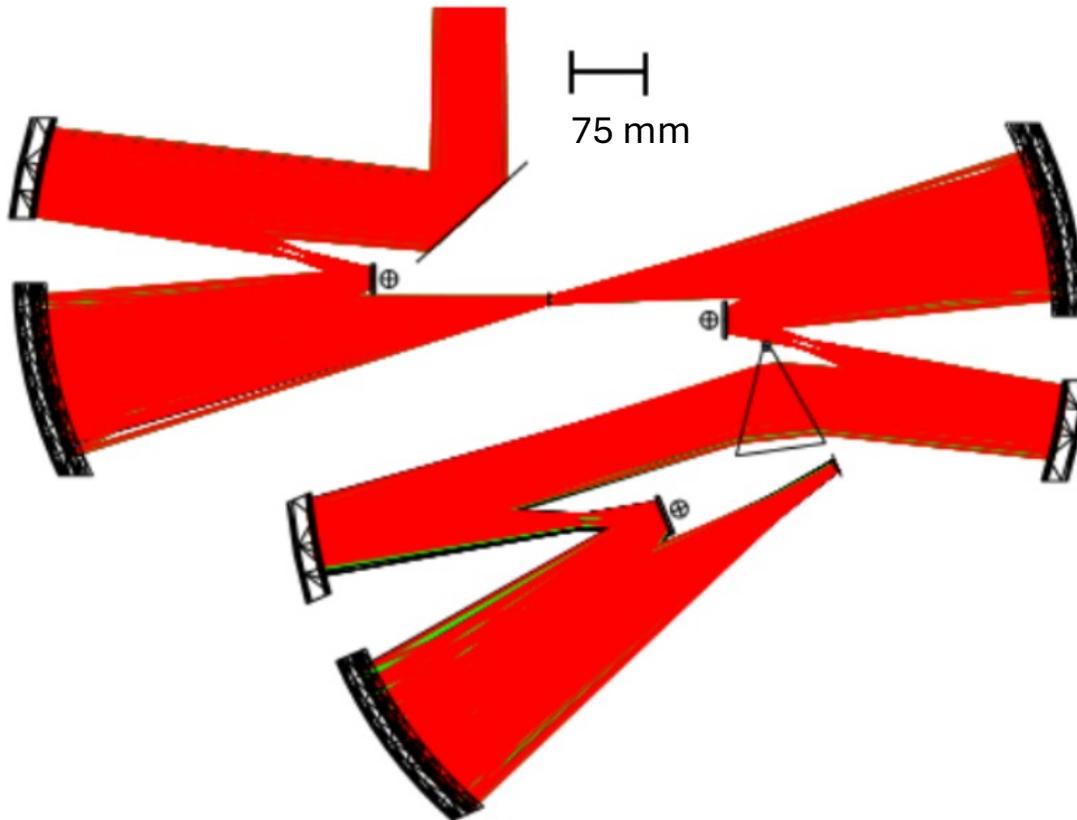
近藤翼 (名古屋大学)

中川貴雄 (ISAS/JAXA)

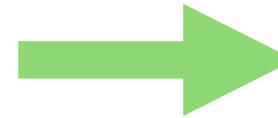
稲見華恵 (広島大学)

# 効率的な光学系

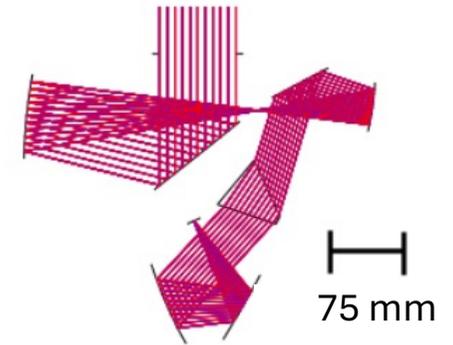
## 回転対称鏡による光学系



体積97%減



## 自由曲面鏡の光学系



Howard & West, 2016

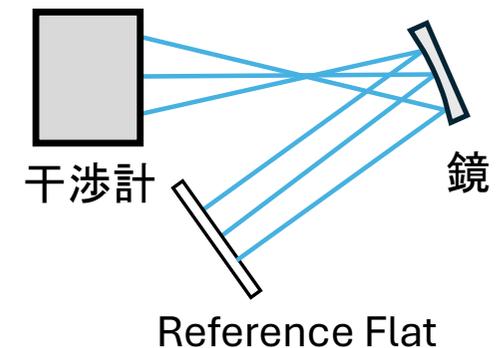
- ・ 体積 / 重量の削減
  - ・ 宇宙望遠鏡の最重要課題
- ・ 少ない鏡で収差を補正
  - ・ 観測時間の短縮
  - ・ 遠方宇宙の観測

# 本測定の目的

- ① GREX-PLUS、PRIMA の自由曲面鏡の**冷却測定(<10K)**の予備研究
  - 測定技術の獲得、CGHの設計・公差解析など一連の手法の確立
  - 常温**で、入手が簡単な**非球面**で自由曲面測定を模擬

- ② 測定精度の定量的な評価
  - 別の方法で事前に形状誤差を測定
  - 焦点を利用できる**軸外し放物面**を測定

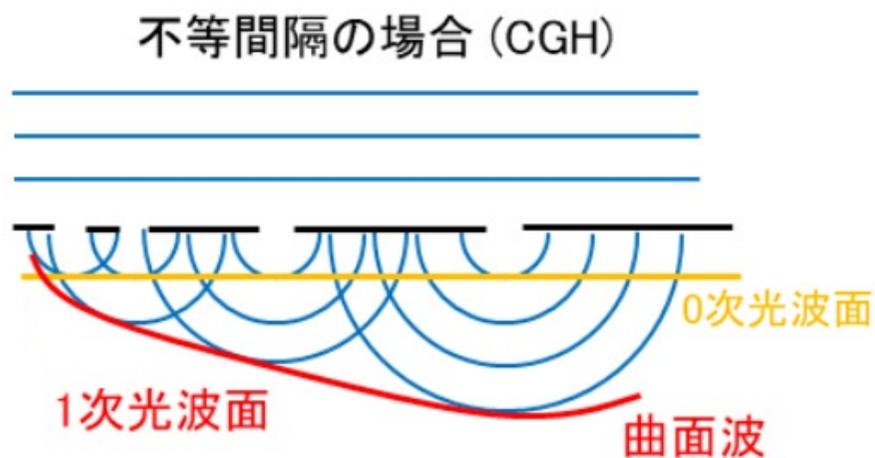
キャリブレーション測定



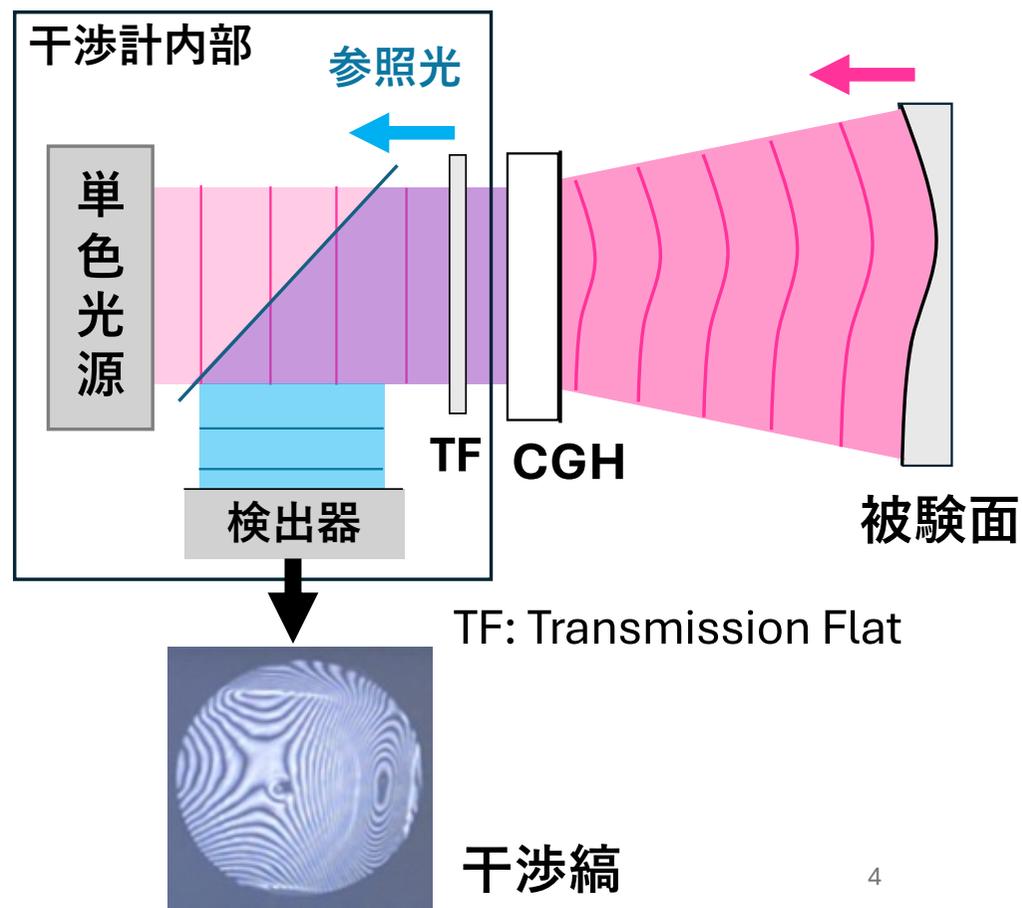
# 原理

CGHで被験面と同じ波面を生成

Computer Generated Hologram



CGHの波面と被験面とのずれを測定



# 測定法

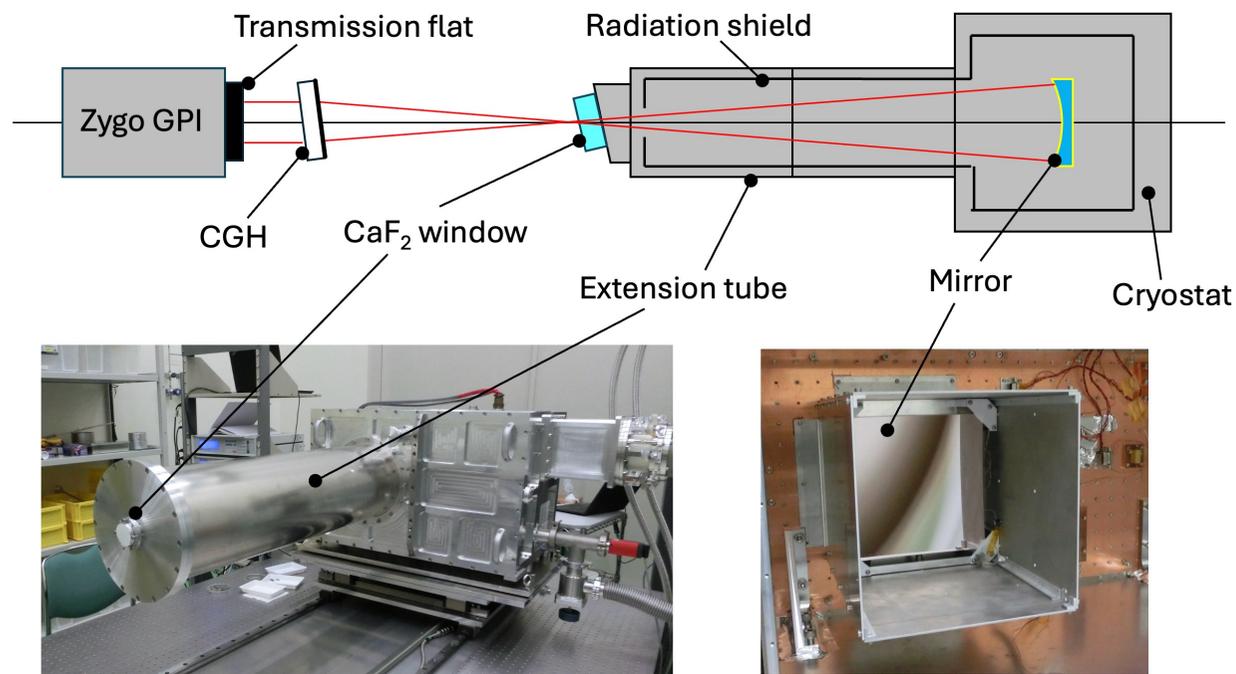
目標：測定誤差32 nm rms  
(鏡1枚で感度低下0.1% (@ 10um) に対応)

## 冷却下でも測定可能

回折光学素子CGHの集光点で

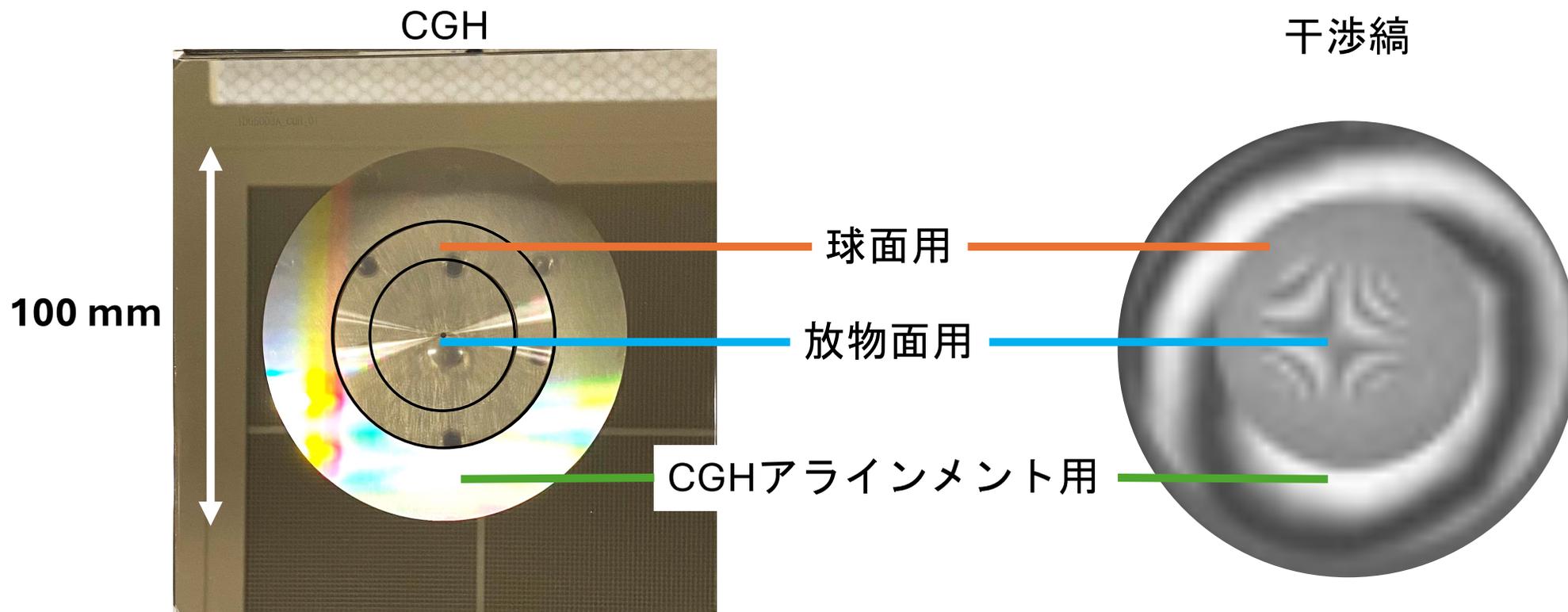
- ・窓を最小化
- ・窓による誤差を抑制

→冷却に有利



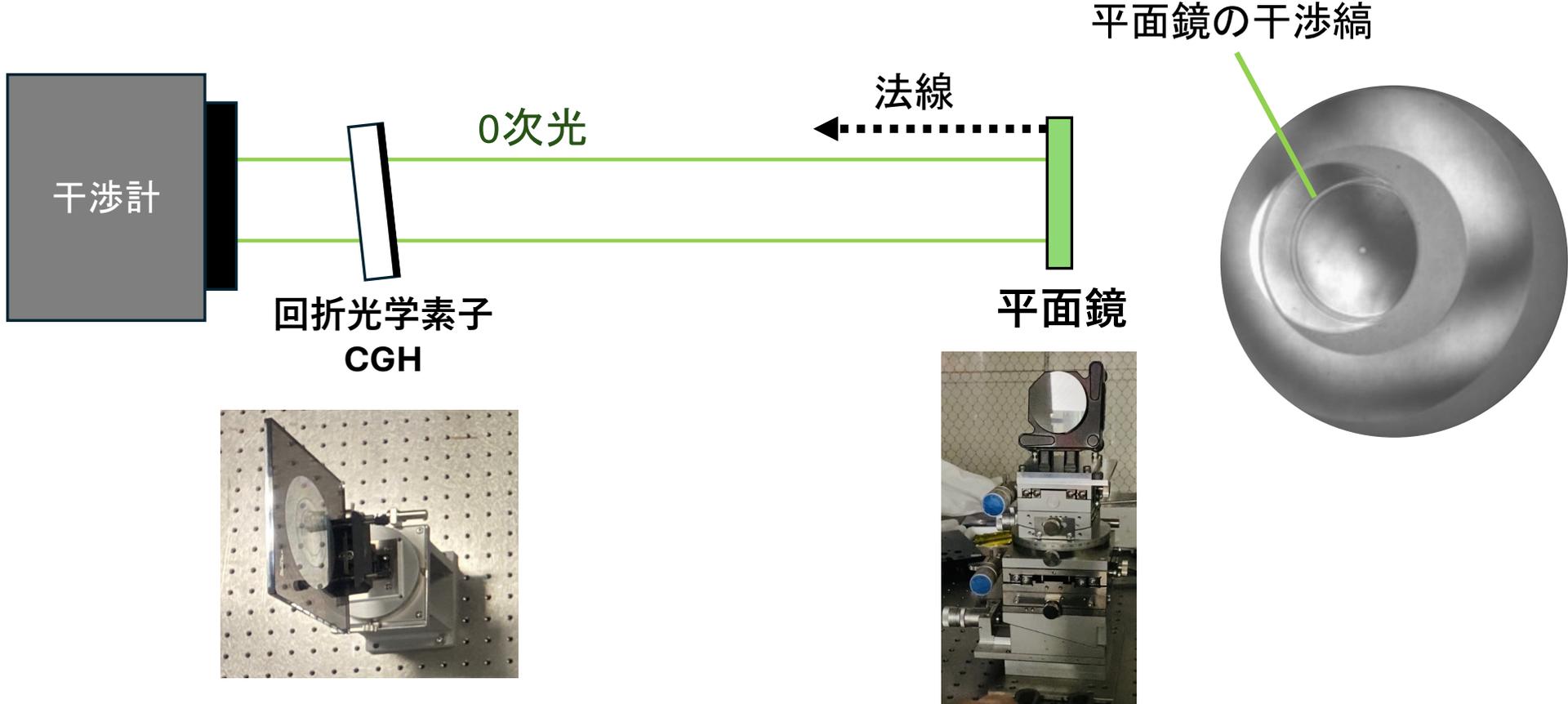
# CGH デザイン

放物面のアライメントは困難なため、複数のアライメントパターンを併用



# アラインメントプラン ① 平面鏡

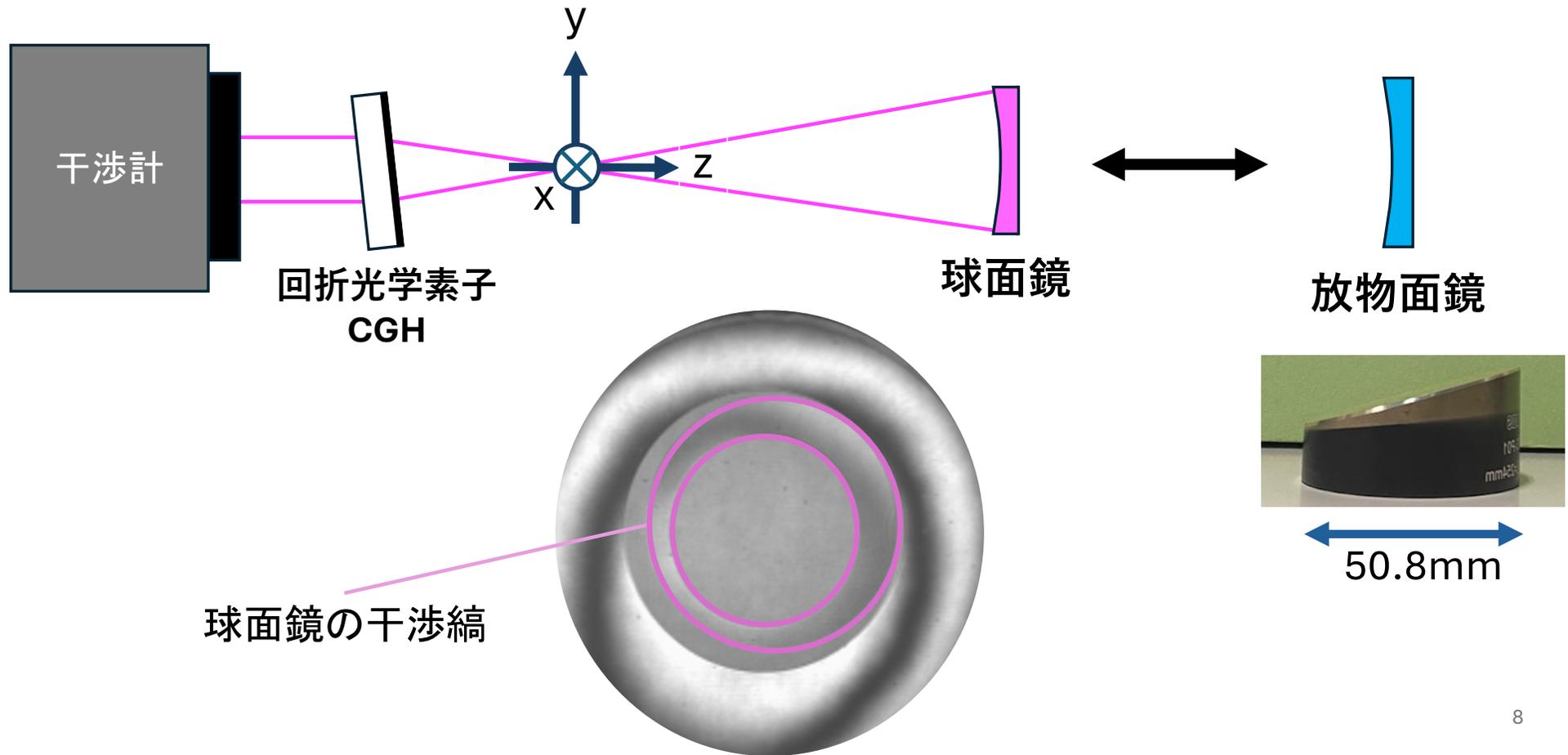
平面の法線から z 軸が決まる



# アラインメントプラン ② 球面鏡

球面鏡を光学アラインメント → 放物面鏡に取り替え測定

三次元測定機で  
アラインメント済み  
(プローブ誤差 4  $\mu\text{m}$ )

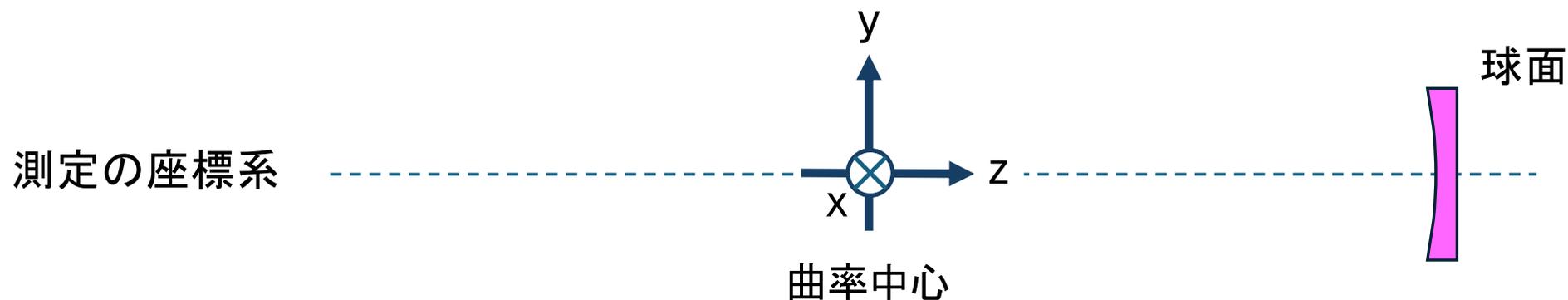


# 機械アラインメント ① 座標系を設定

## 1. 平面の測定から法線を導出：z軸を定義



## 2. 球面の測定から曲率中心を導出：原点を定義



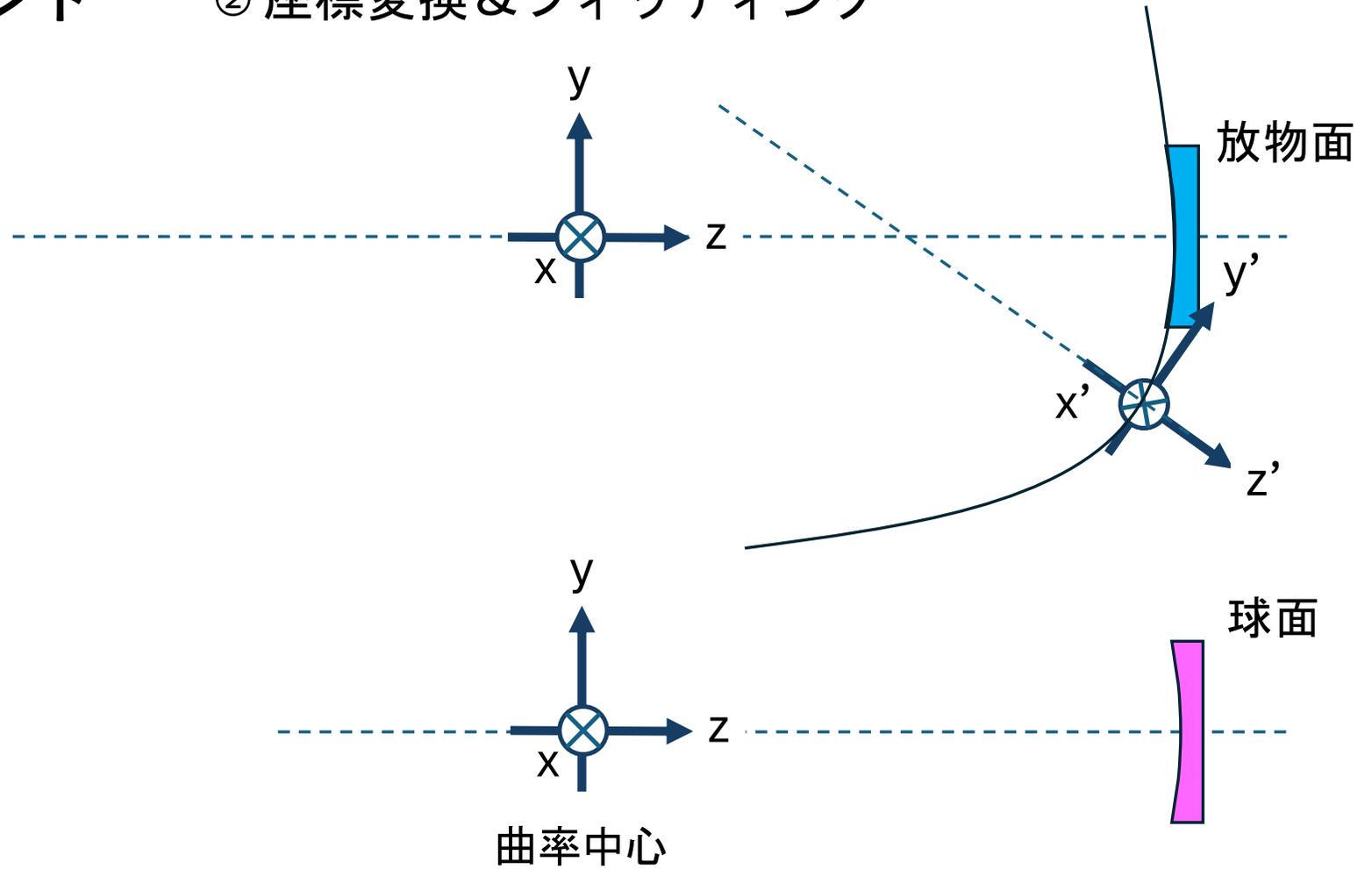
# 機械アラインメント

## ② 座標変換 & フィッティング

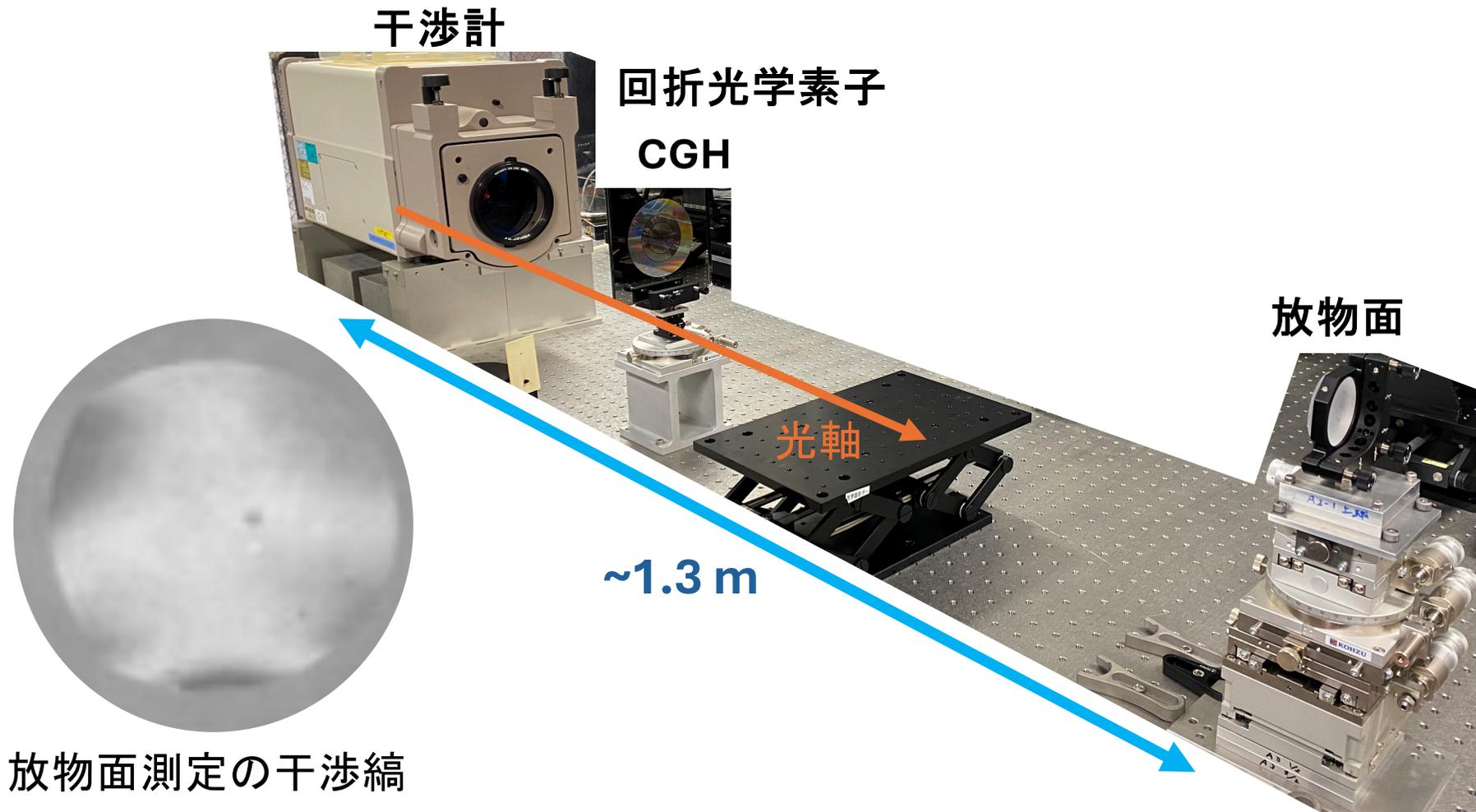
Fit の座標系



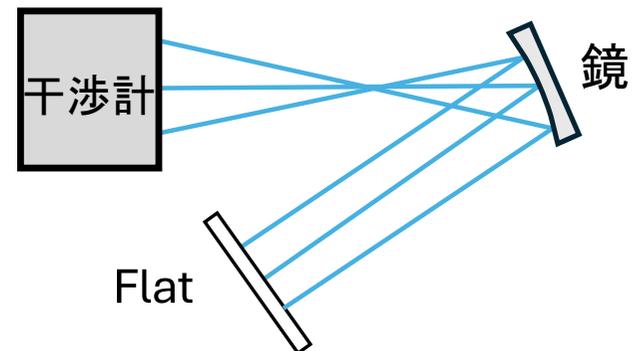
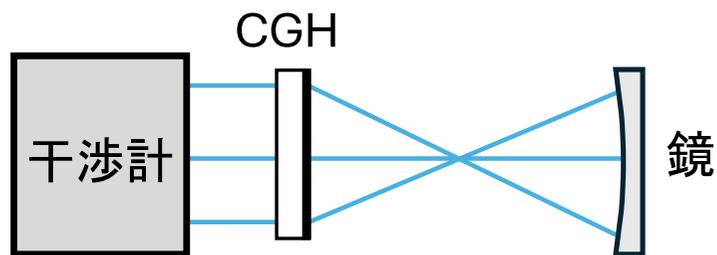
三次元測定機のプローブ



@国立天文台 ATC

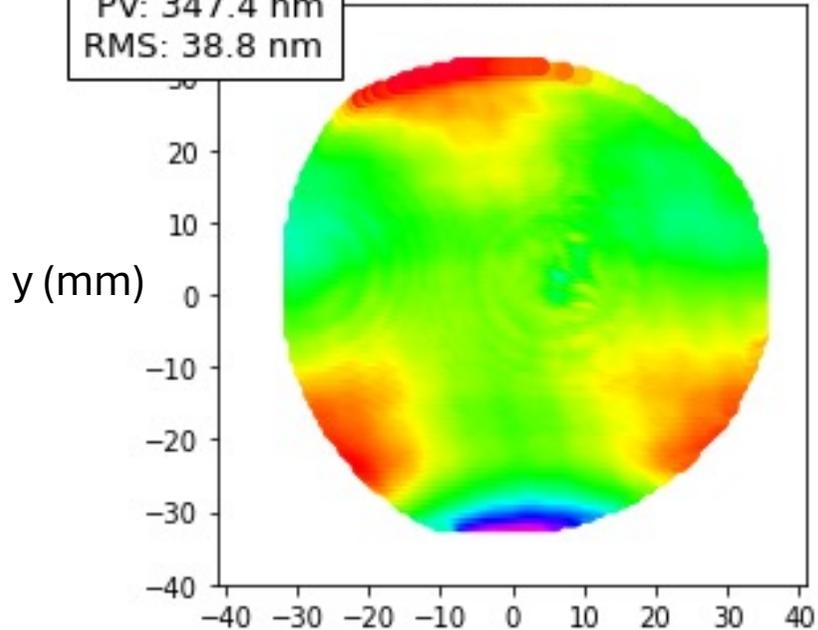


# 結果



## CGH測定

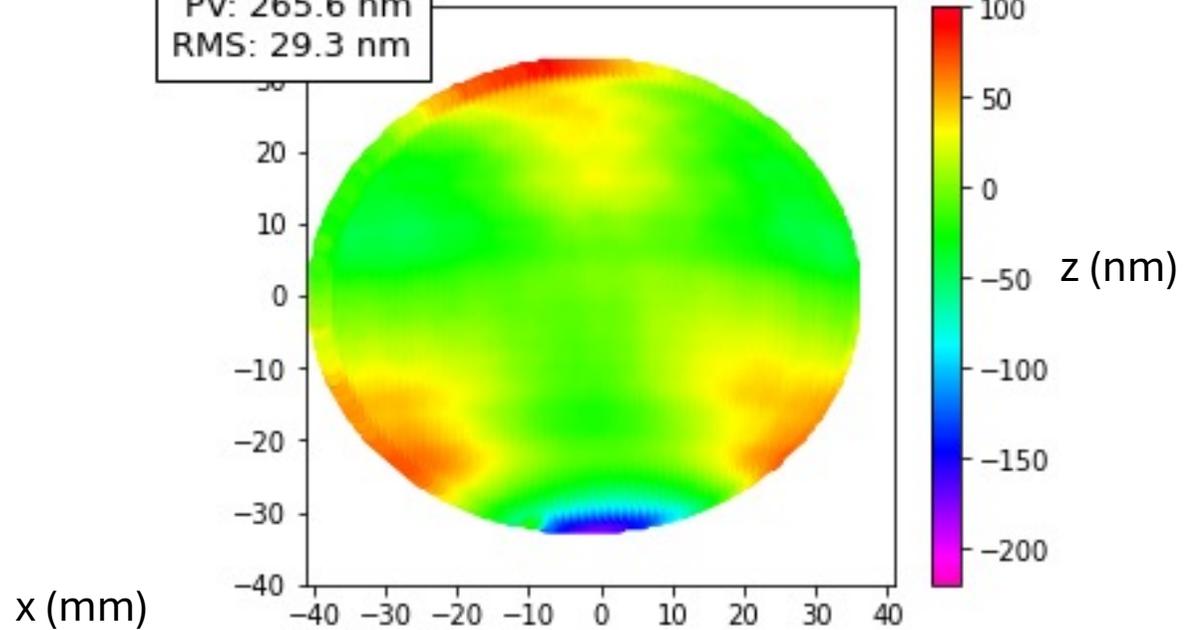
PV: 347.4 nm  
RMS: 38.8 nm



(CGH基板誤差を補正)

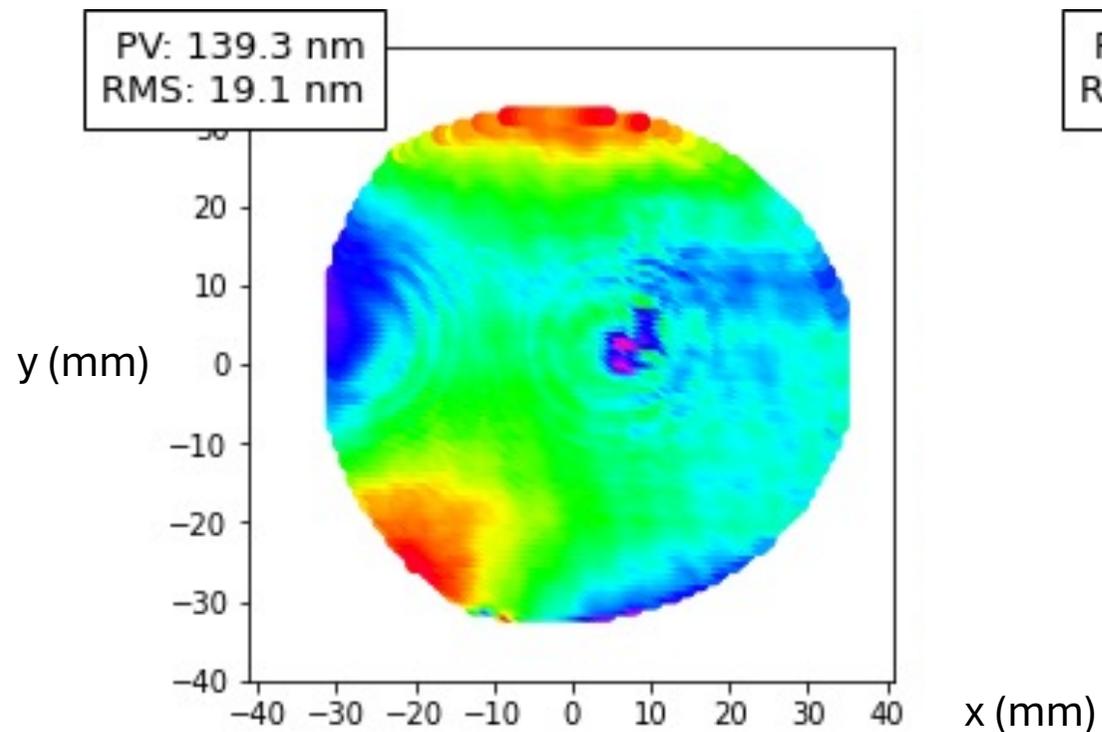
## キャリブレーション測定

PV: 265.6 nm  
RMS: 29.3 nm

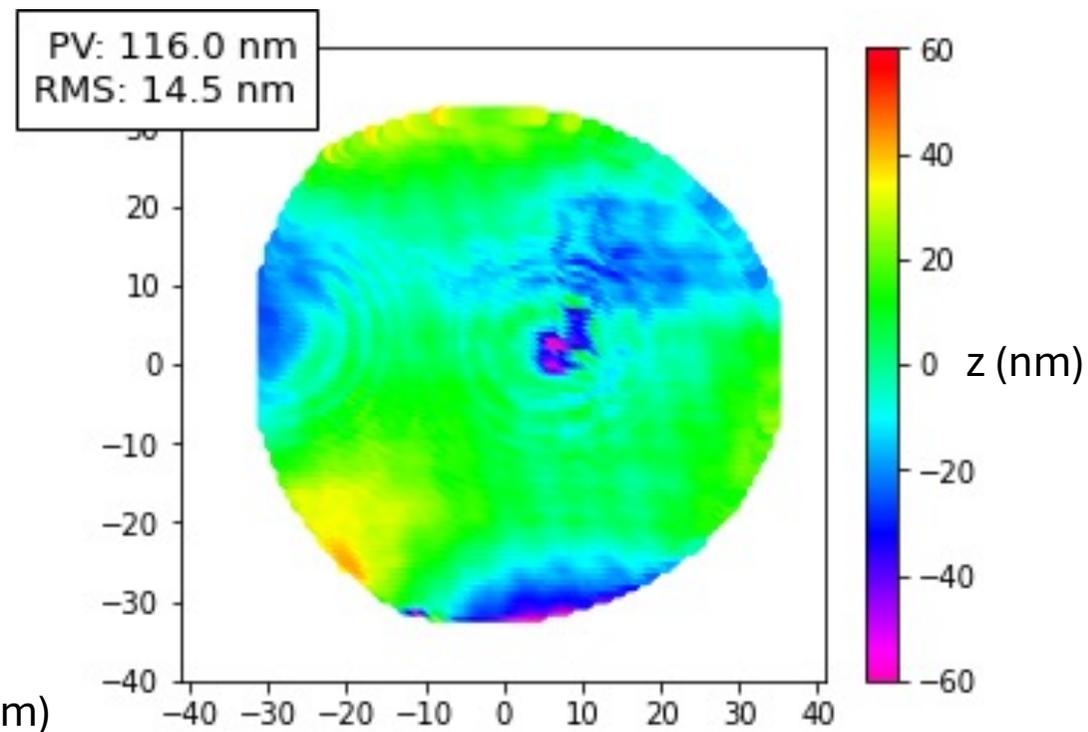


# 結果

非点収差 補正前



非点収差 補正後

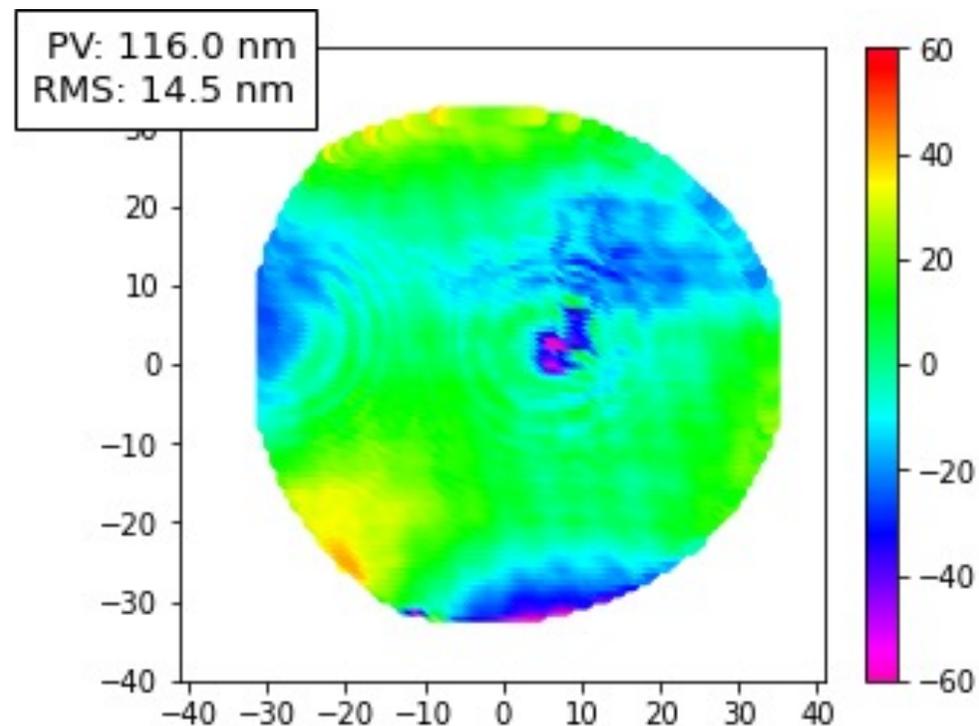


測定誤差 (CGH測定 - キャリブレーション - 基板誤差)

## 考察

- ・ 機械アラインメント&フィッティングの精度  
（目標：10  $\mu\text{m}$ , 5 arcsec）  
（実際：2 mm, 6 arcmin）
- ・ 補正後の測定誤差
  - ・ アラインメント誤差
    - ・ コマ、トレフオイル
  - ・ CGHのパターン誤差
  - ・ キャリブレーション誤差

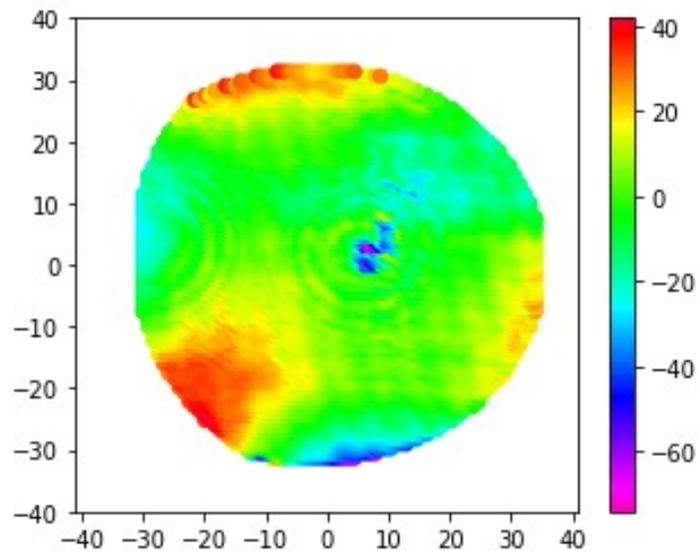
測定誤差(補正後)



(CGH測定 - キャリブレーション - 基板誤差)

## まとめと今後

- ・ 常温下で、軸外し放物面の測定技術を獲得 / 目標精度32 nm rms を達成
- ・ 機械アラインメントの精度向上
- ・ アラインメント誤差起因の測定誤差の強度比をシミュレーションで確認
- ・ 冷却下での自由曲面鏡のアラインメントプラン立案



本研究は、国立天文台・先端技術センターの設備を利用しました。  
また、大学共同利用機関法人自然科学研究機構OPEN MIX LAB事業（OML032302）の助成を受けました。感謝申し上げます。