

Computer-Generated Hologramを用いた 鏡面精度測定に関する研究

広島大学M1 石川あゆみ

国立天文台 鈴木竜二

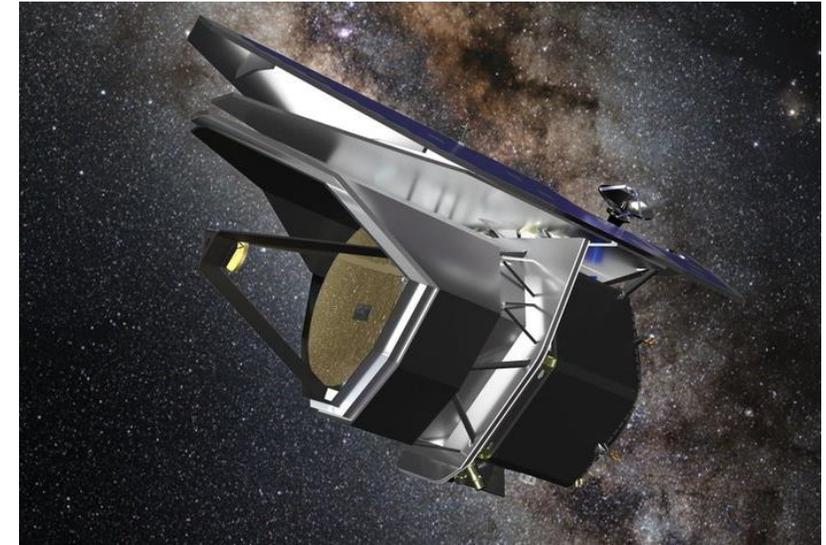
名古屋大学 近藤翼

広島大学 稲見華恵

PRIMA (PRobe far-Infrared Mission for Astrophysics)

- 2030年代 打ち上げ目標
- 口径1.8m , **赤外線**冷却宇宙望遠鏡
- JWST と ALMA の間の波長帯 24 ~ 261 μm
- 銀河と超巨大ブラックホールの共進化、惑星形成、重元素とダストの進化
- NASAのStep1 selectionを通過
- 撮像、偏光、分光観測
 - **高感度観測を実現する光学系**

PRIMAのイメージ



Spacecraft: NASA/JPL-Caltech; Background: ESO/S. Brunier

本研究の目的

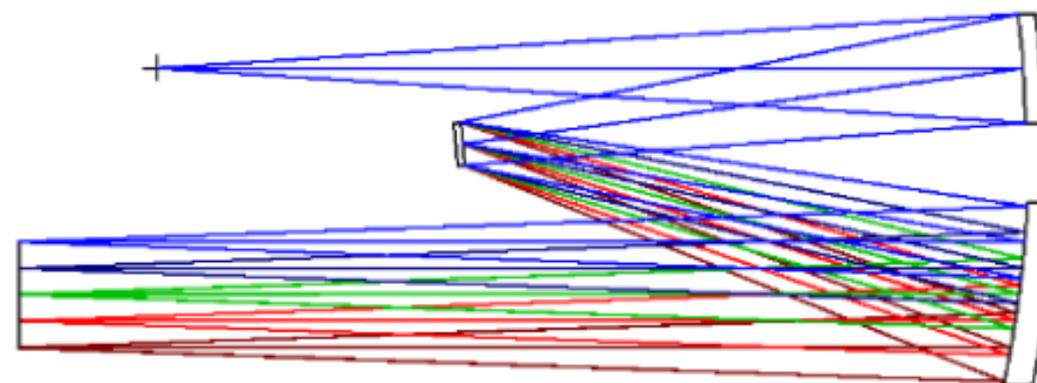
- ・ 極低温 (<10K) での鏡面形状測定 (130nm rms @鏡面)
- ・ アライメント誤差と形状を分離 (後述)

ステップ

- ①測定アイディアの立案・検討 ← 本日の報告
- ②実験セットアップの構築
- ③冷却試験

PRIMAのBand 1
(自由曲面3枚で構成された光学系)

~185mm



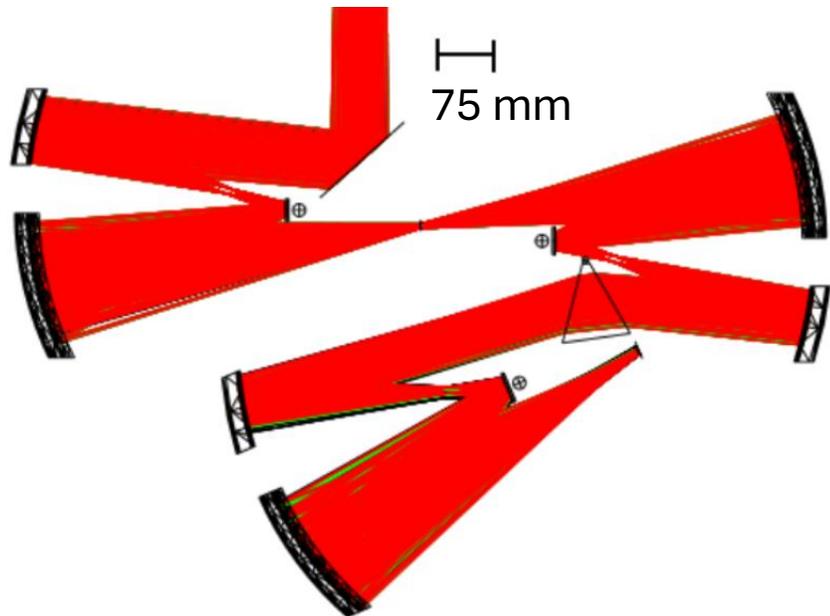
J. M. Rodgers, 2023

本研究で測定する鏡

回転対称軸を持たない 自由曲面鏡

- ・ 収差を補正
- ・ 性能を満たしつつ、鏡の枚数（ \equiv 光のロス）を最小限に抑える
 - 体積・重量を削減（軽量・コンパクトを実現）

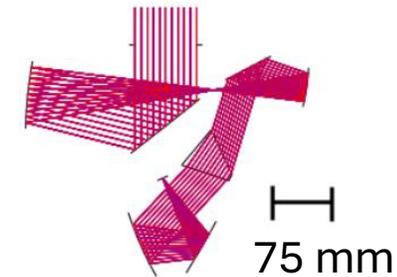
回転対称鏡による光学系



体積97%減



自由曲面鏡の光学系

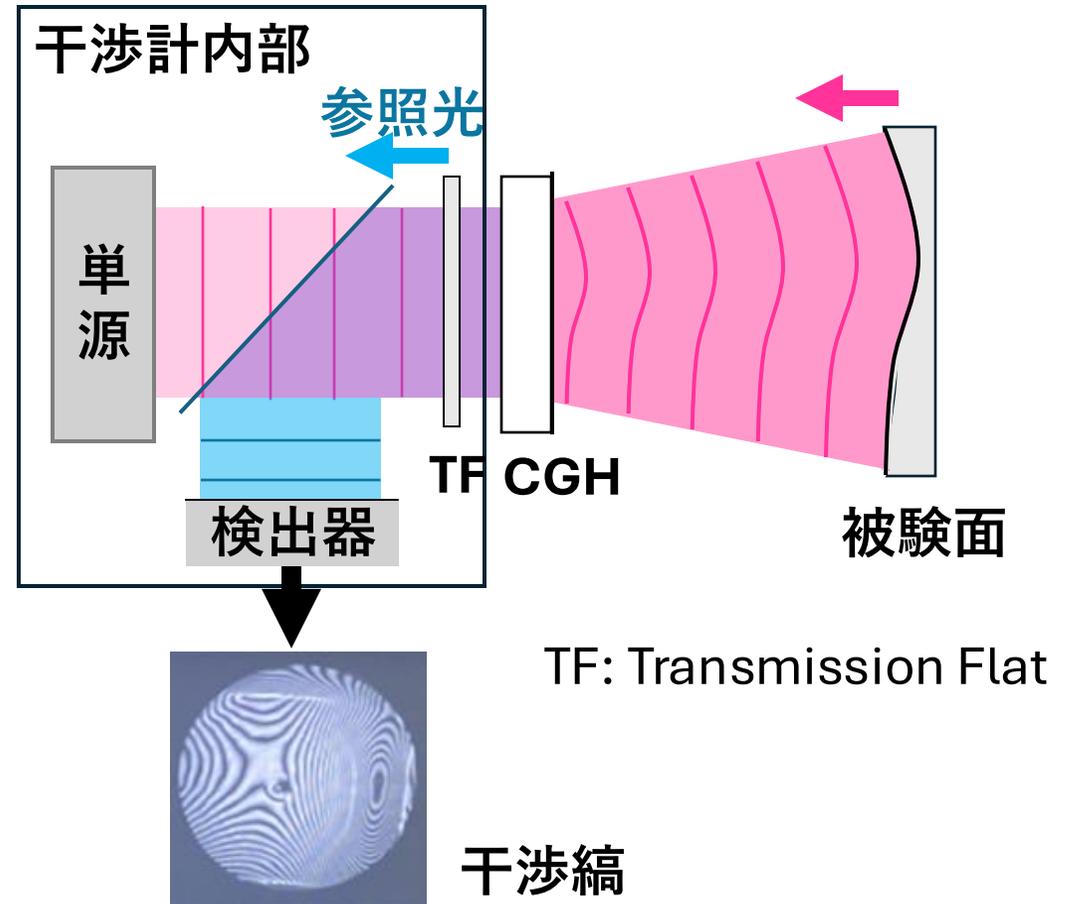
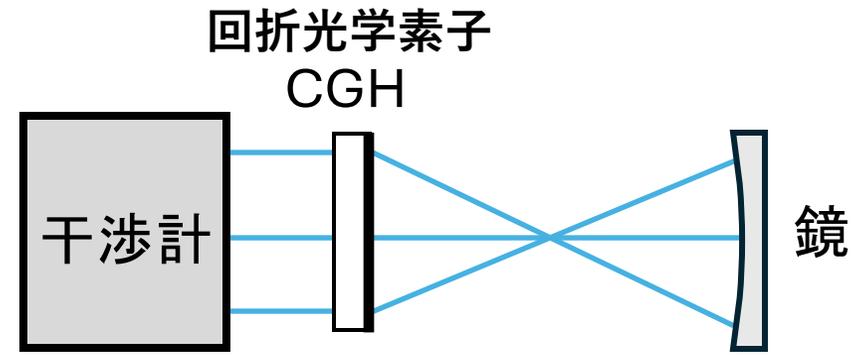
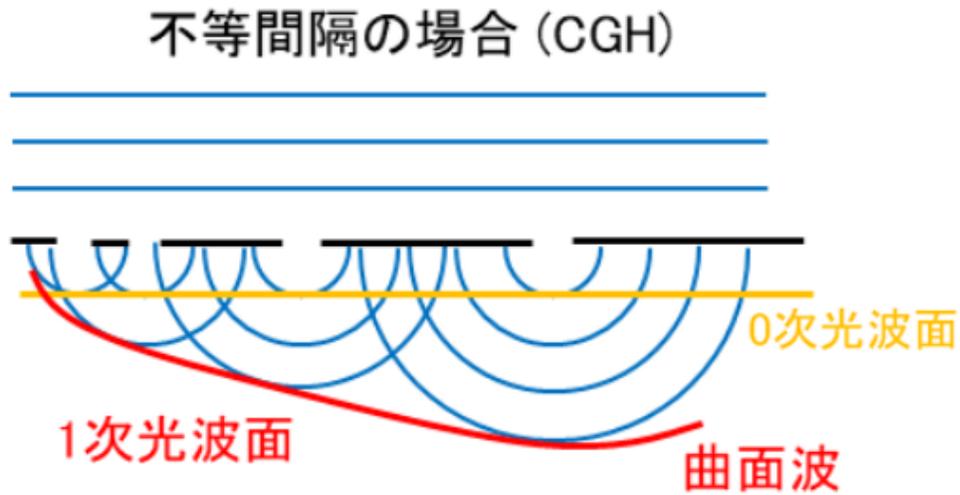


Howard & West, 2016

原理

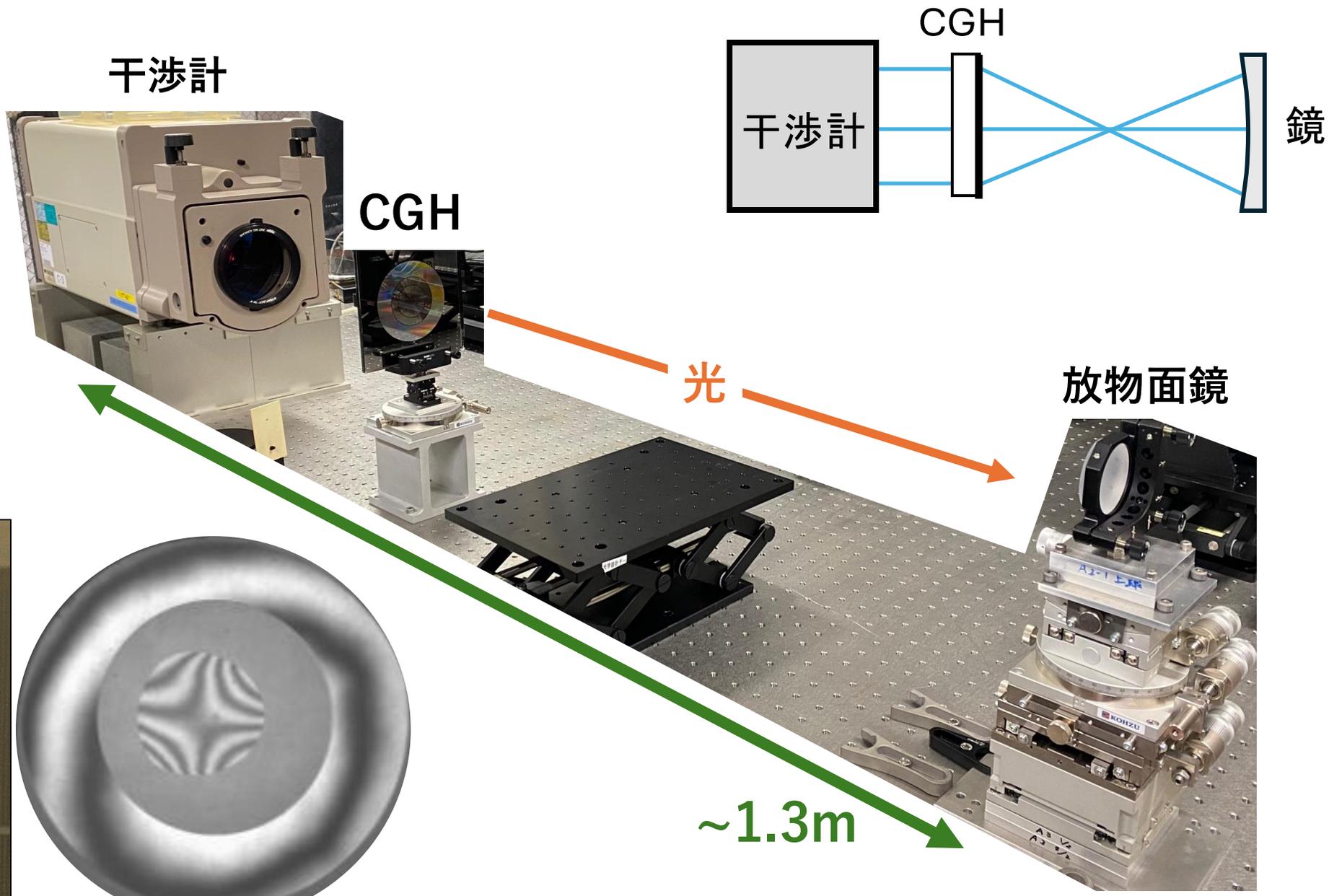
CGHで被験面と同じ波面を生成

Computer Generated Hologram

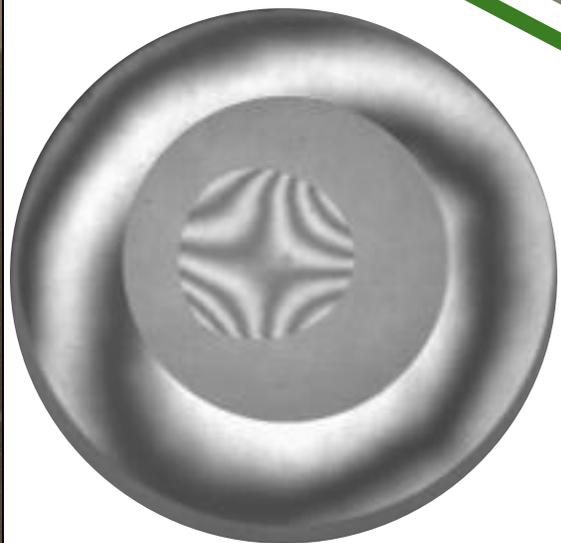
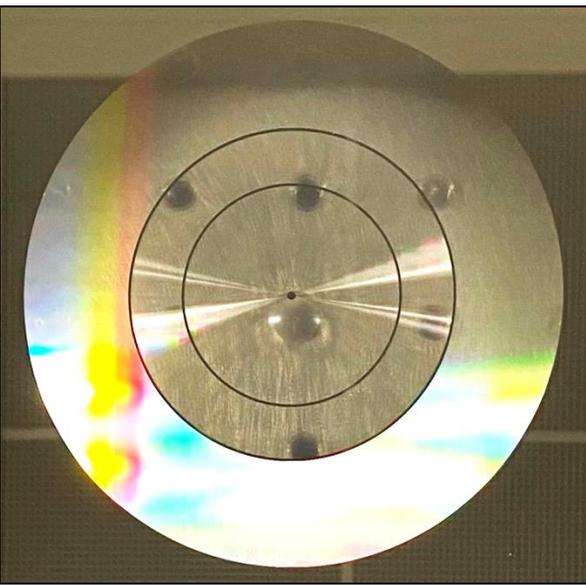


軸外し放物面測定

@ATC, NAOJ

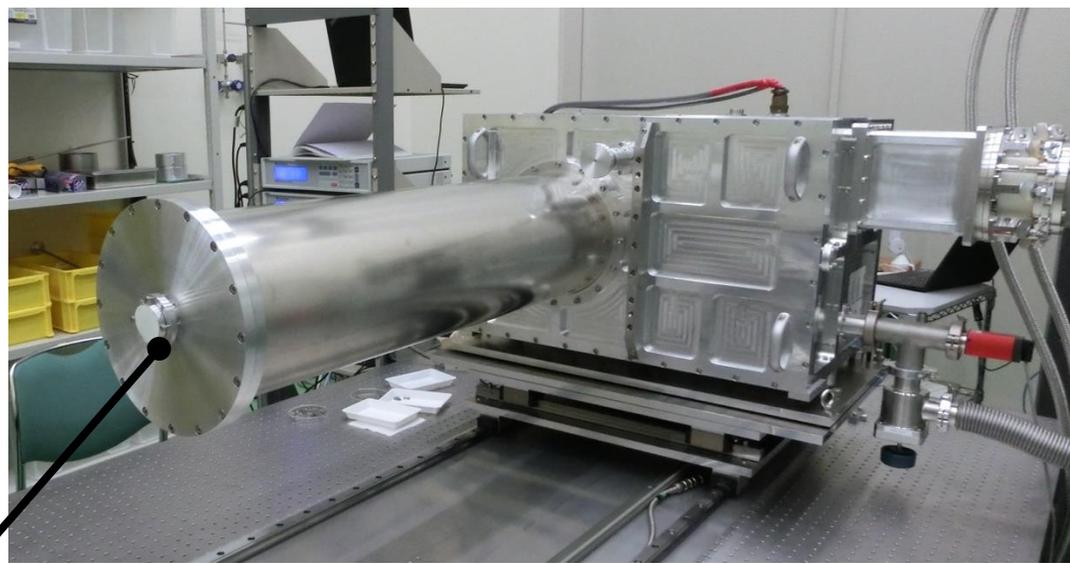
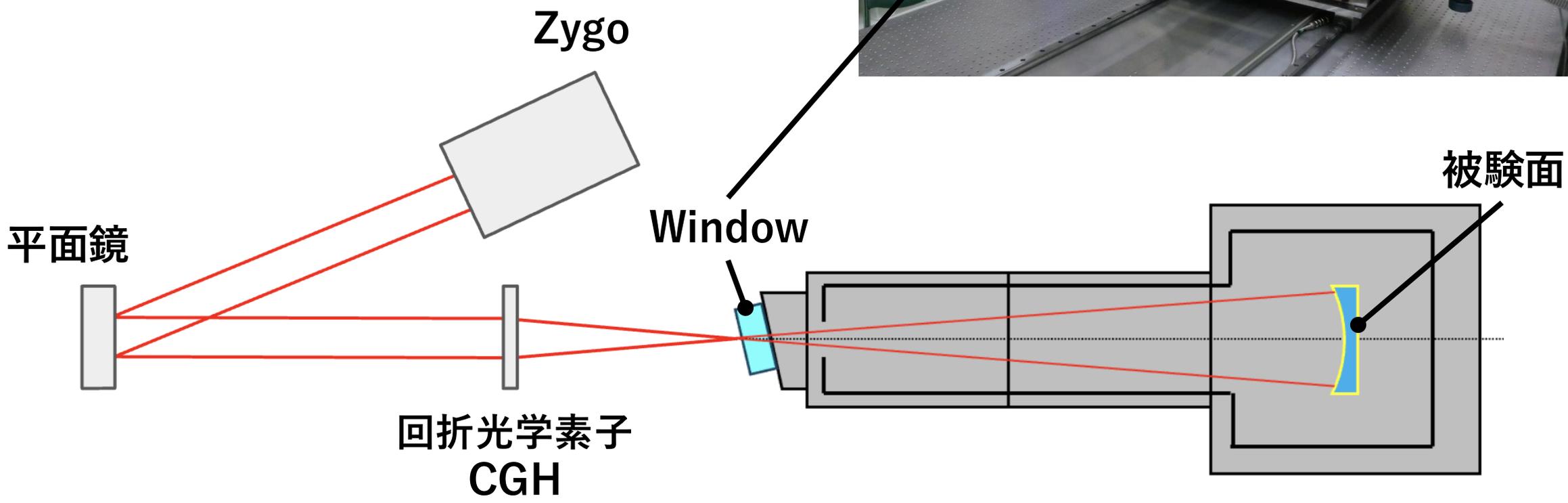


回折光学素子
CGH



干涉縞

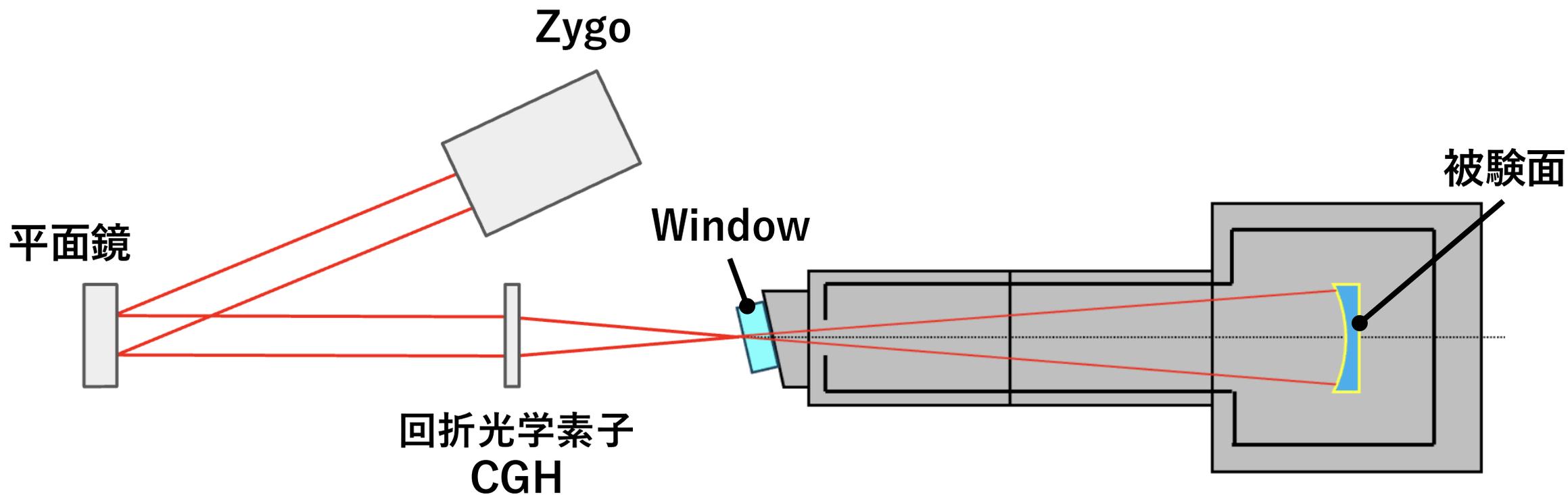
検討中の測定方法



検討中の測定方法

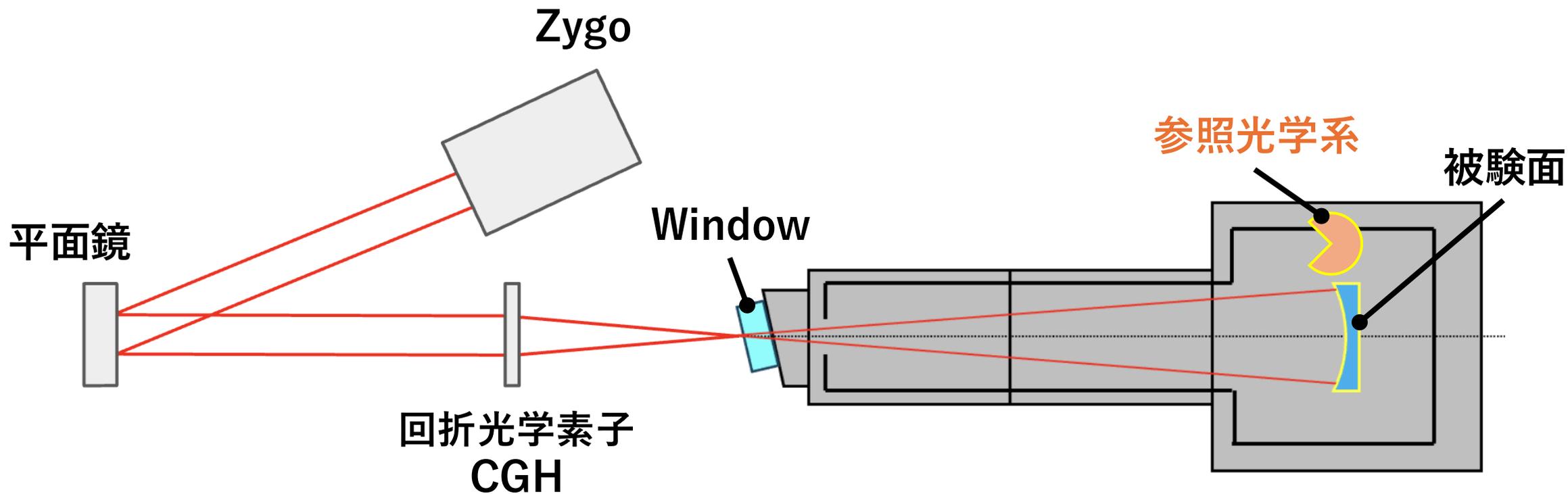
被験面によるアライメント …鏡の形状誤差を打ち消すようなアライメント

→ 真の形状が分からない



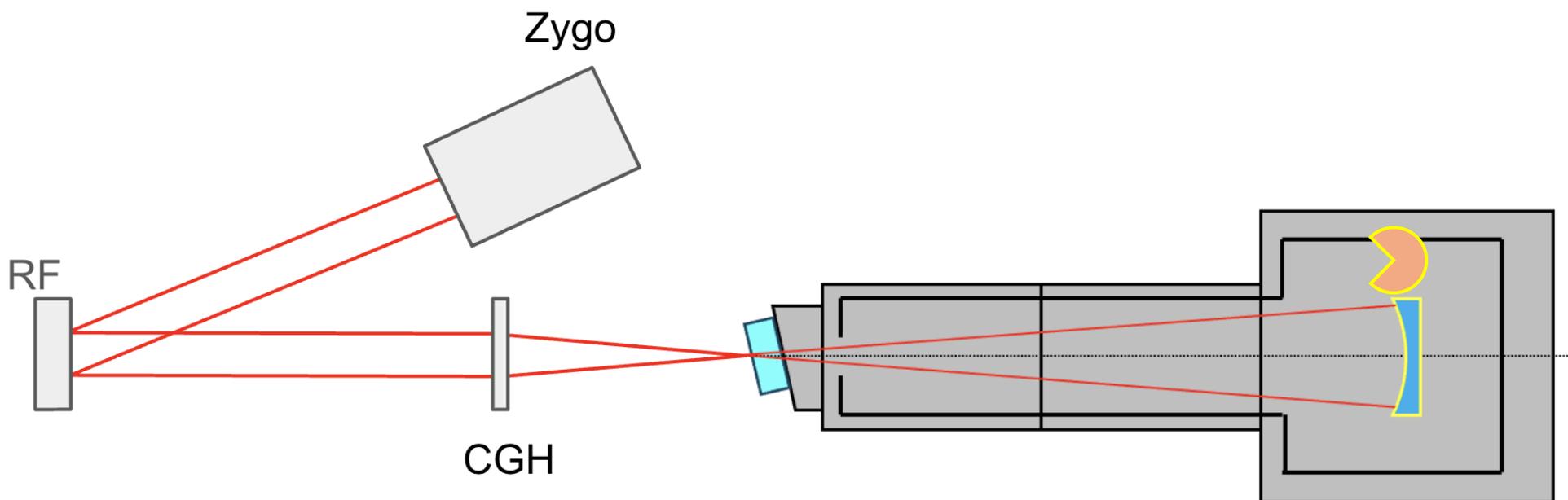
検討中の測定方法

~~被験面によるアライメント~~ → 参照光学系 (コーナーキューブ、ウェッジ)
+ アライメント用のCGHパターン

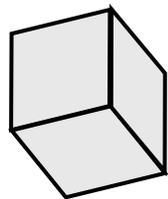


検討中のアラインメントプラン

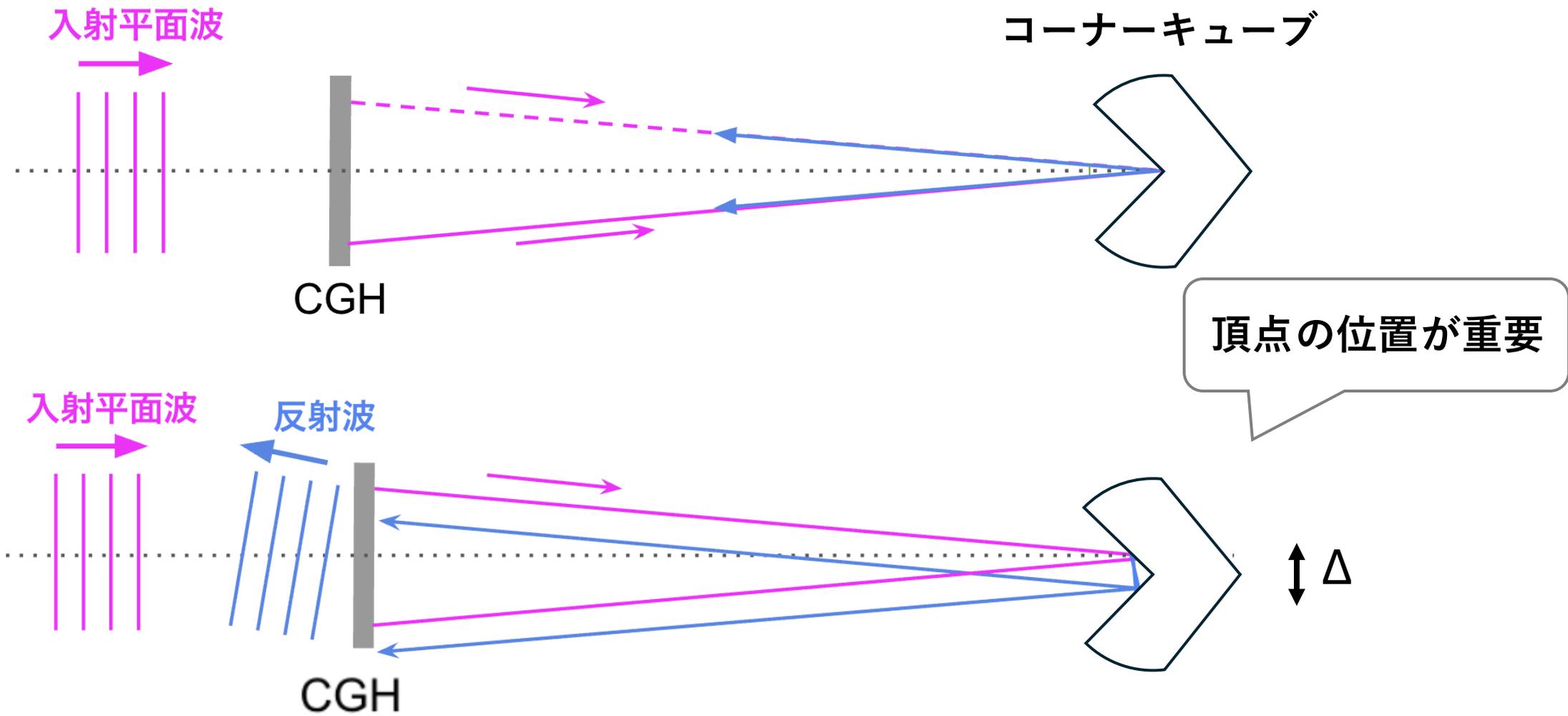
1. 常温において、被験面を用いてアラインメント
2. 参照光学系をヌルとなる位置へ調整
3. 冷却
4. 参照光学系を用いてアラインメント



コーナーキューブ

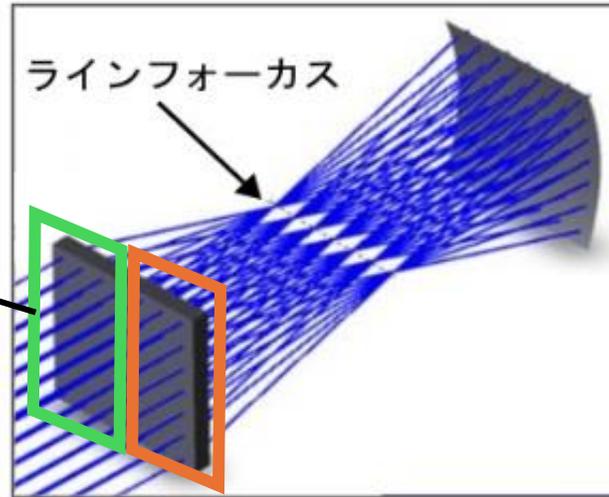


…入射光を元来た方向へ反射



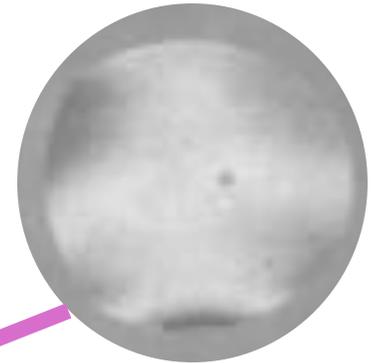
参照光学系用パターンの原理

円筒波



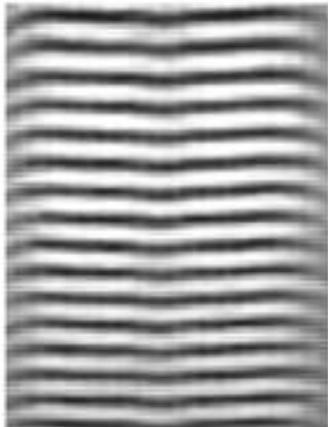
左右で異なるTiltが
与えられている

縞1本以下
目では判別できない



Interferograms for Line Focus References at $f/20$ (15 mm CGH with SMR at distance of 300 mm)

15 fringes: $\Delta x = 0.1$ mm



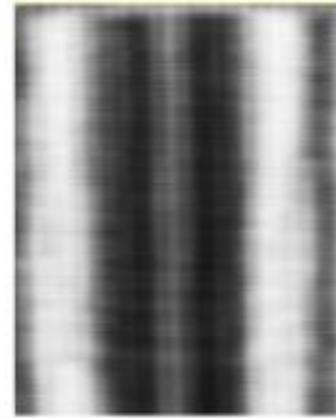
3 fringes: $\Delta x = 20$ μm



1 fringe: $\Delta x = 6$ μm



0.1 fringes: $\Delta x = 0.6$ μm

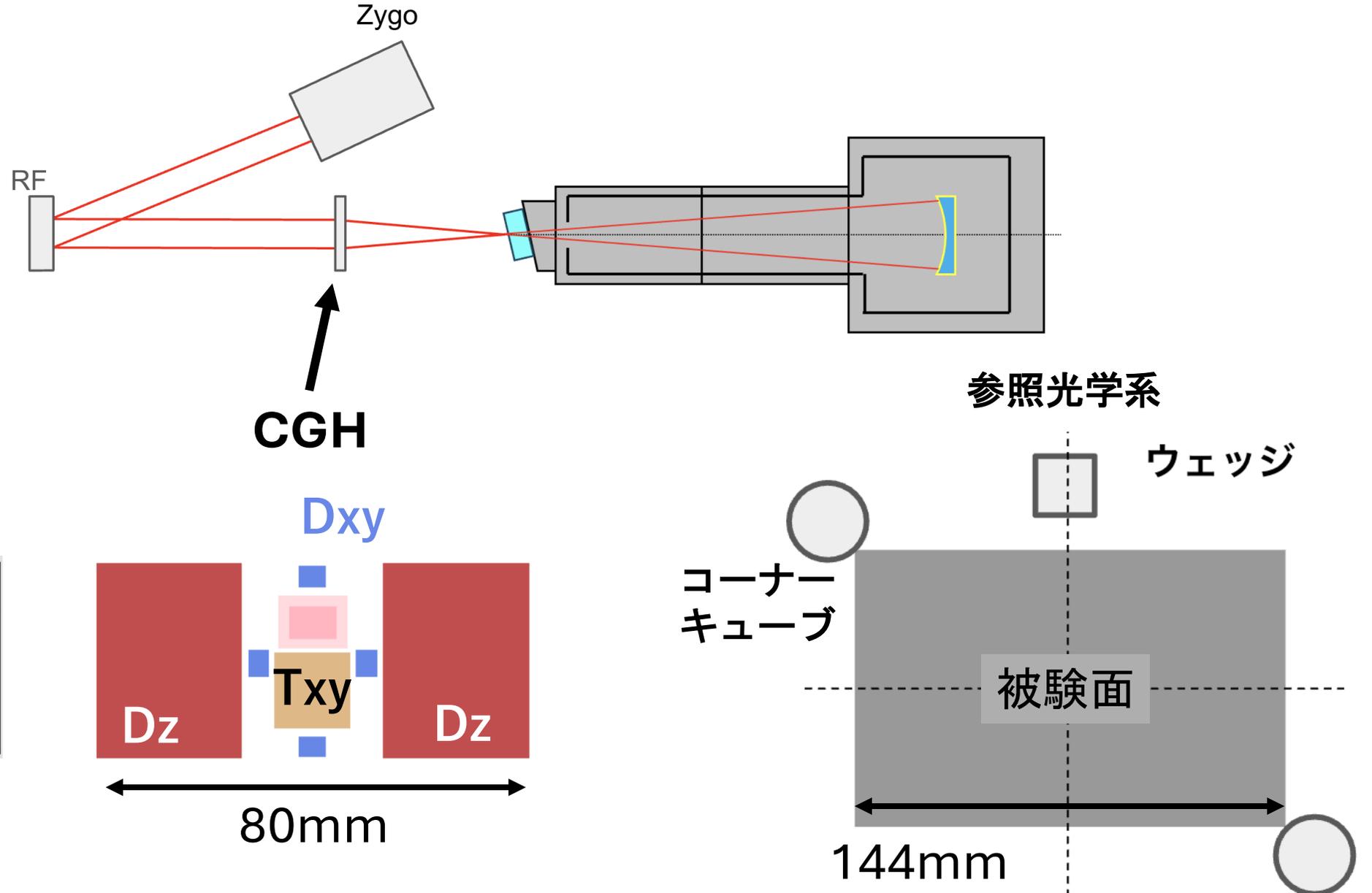


傾きに変換

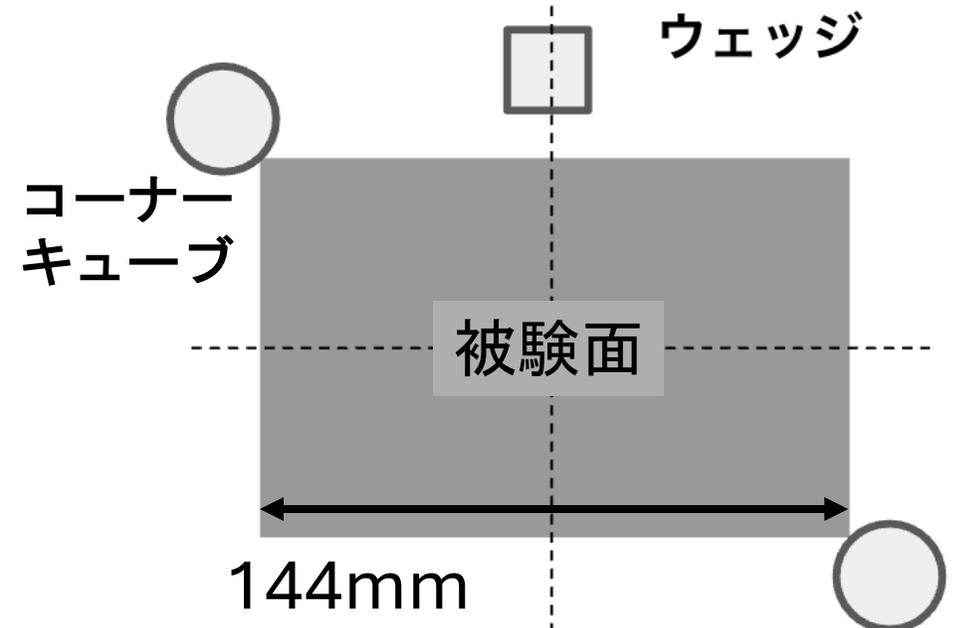
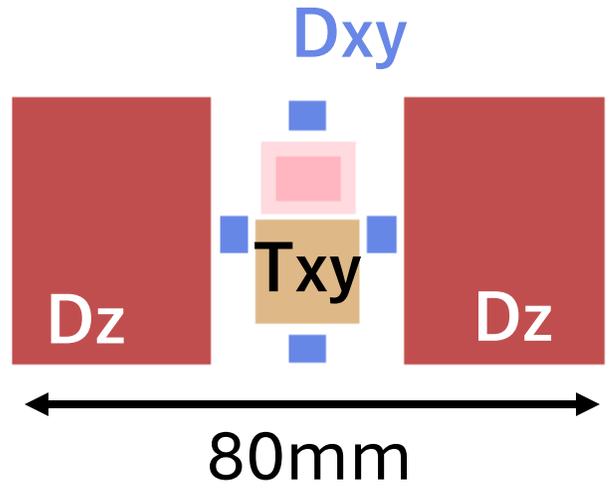


縞1本以下を
目で調整できる

検討中のCGHパターン …精度とパターンの大きさの関係を定式化



自由度	精度
Dxy	10 μm
Dz	40 μm
Txy	5 arcsec



まとめ

- ・ 参照光学系（コーナーキューブ、ウェッジ）を使った測定の検討
- ・ CGHパターンと原理

今後

- ・ 参照光学系の支持方法の検討
- ・ 測定、解析プランの検討
- ・ 実験セットアップの構築
- ・ 冷却試験