

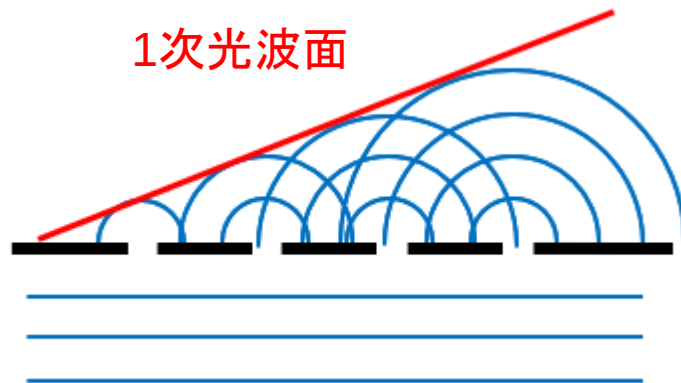
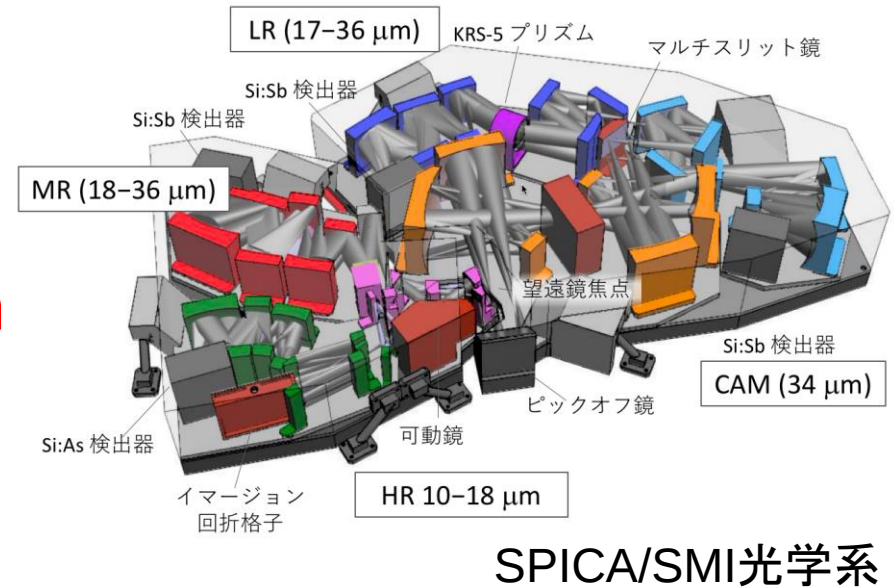
マイクロミラー技術を用いた 可変CGH干渉計の開発

可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2024/11/25-26

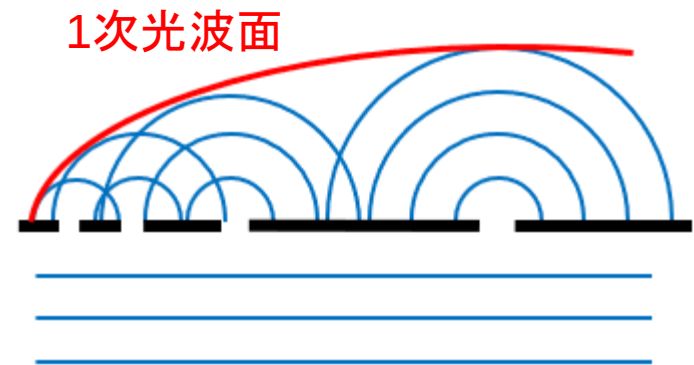
○國生拓摩, 中原勇人, 近藤翼,
金田英宏(名古屋大学), 木野勝(京都大学)

1.研究の背景

- **自由曲面鏡**: 少ない光学面数で
広視野光学系を実現
⇒ 将来の宇宙望遠鏡装置に必須
- **Computer Generated Hologram (CGH)**: 単一素子で任意の波面を生成
⇒ 自由曲面鏡の形状評価に有用



開口が等間隔



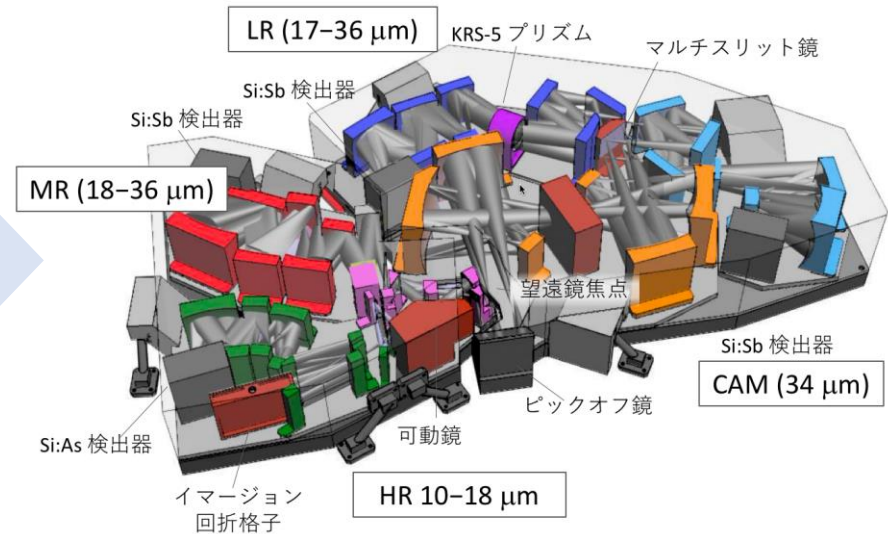
開口が不等間隔(CGH)

入射波面

1.研究の背景

- 結像性能の高い広視野光学系：
複数の異なる自由曲面鏡が必要

例：SPICA, GREX-PLUS搭載装置は
>20枚の自由曲面鏡を用いる設計



SPICA/SMI光学系

- 光学素子の評価では鏡面ごとに
専用のCGHが必要
- CGHの製作コスト：数100万円/枚
⇒ **開発コストが肥大化**

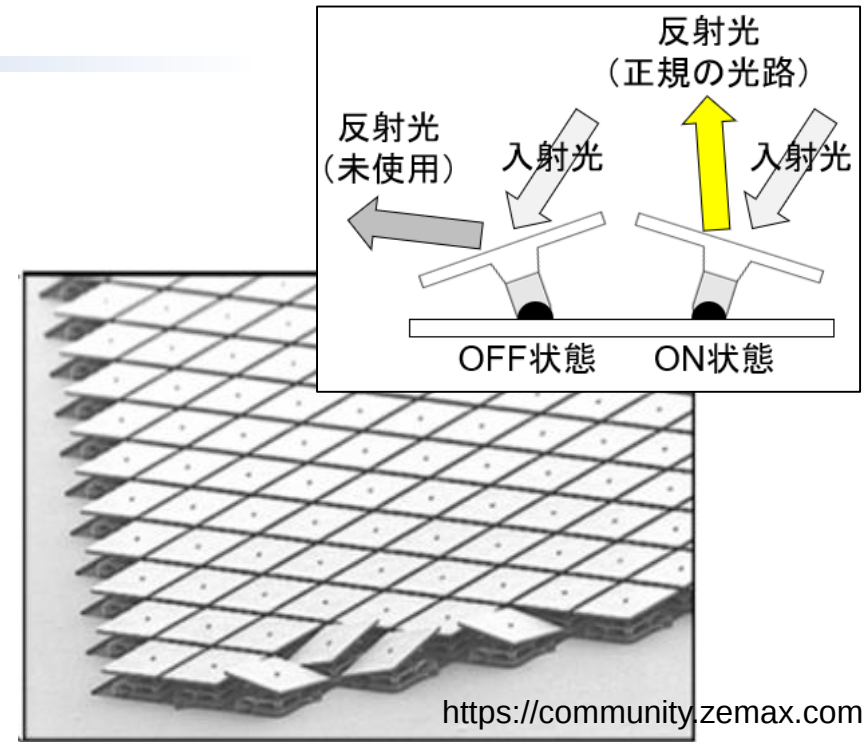


本研究の目的：

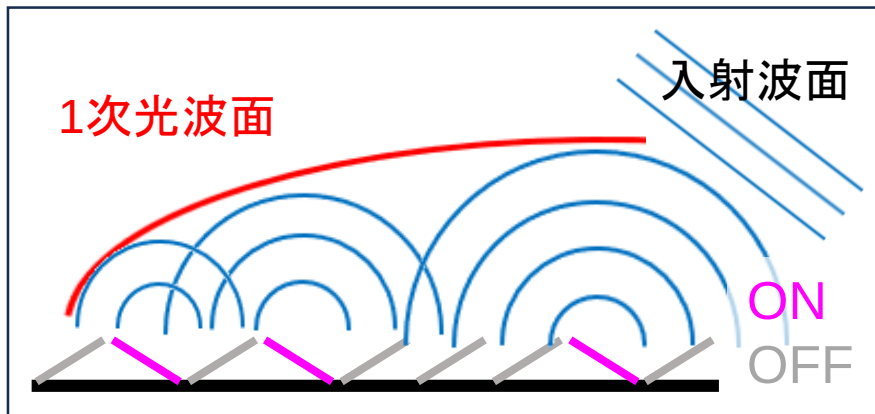
- ・ マイクロミラー技術により単一素子で**可変CGH**を実現
- ・ GREX-PLUSの要求測定精度**<60 nm RMS**を満たすか検証

2.方法

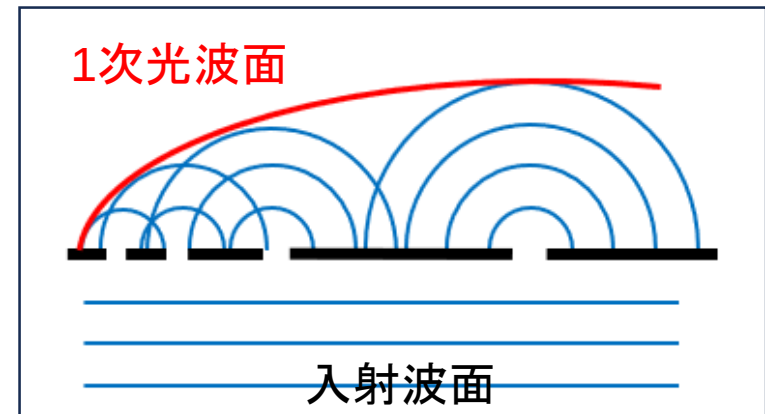
- **Digital Micromirror Device**
(DMD, Texas Instruments社)
 - ・ マイクロミラー(サイズ $\geq 5 \mu\text{m}$)が格子上に並んだデバイスで、プロジェクター等で利用
 - ・ ON/OFF状態を選択することで**可変溝パターン**を持つ反射型回折格子として機能



DMDを用いたCGH

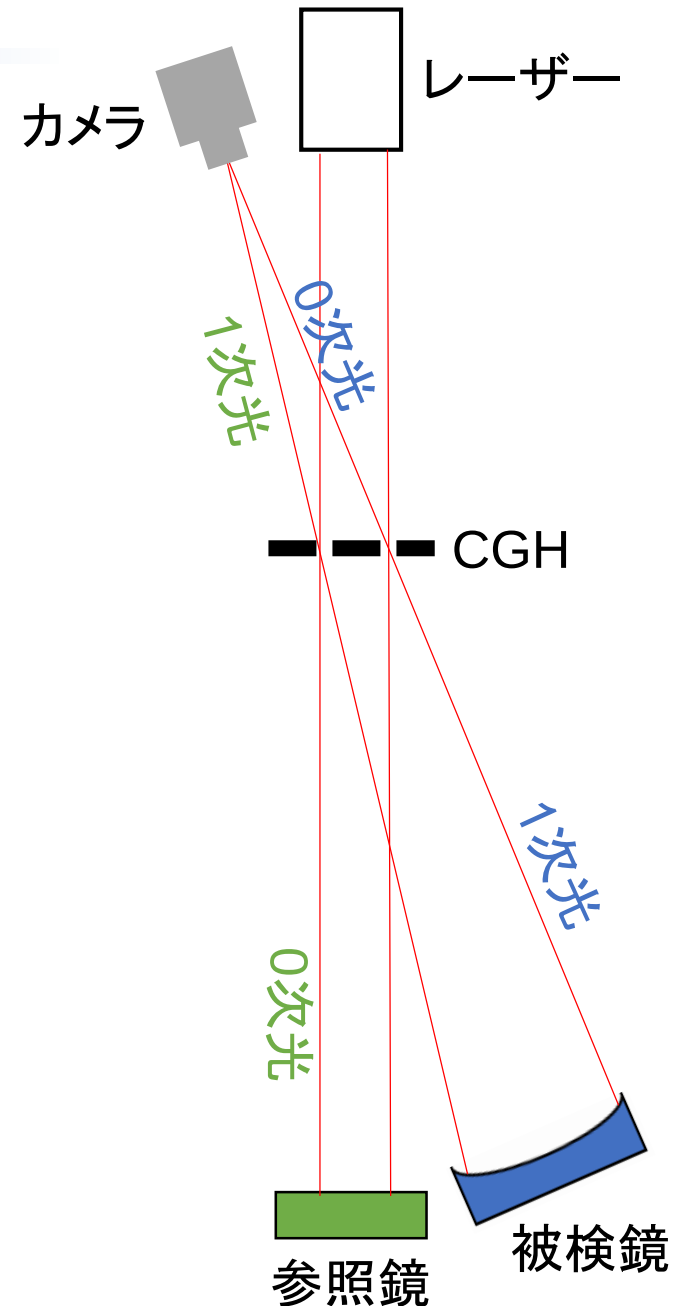


従来のCGH



2.方法

- 干渉光学系 (Kino & Kurita 2012)
 - 「せいめい」分割主鏡の形状測定で採用
 - 被検/参照光の0次+1次の光が干渉
 - 被検光と参照光がDMDを介するため
DMD基板の形状誤差をキャンセル



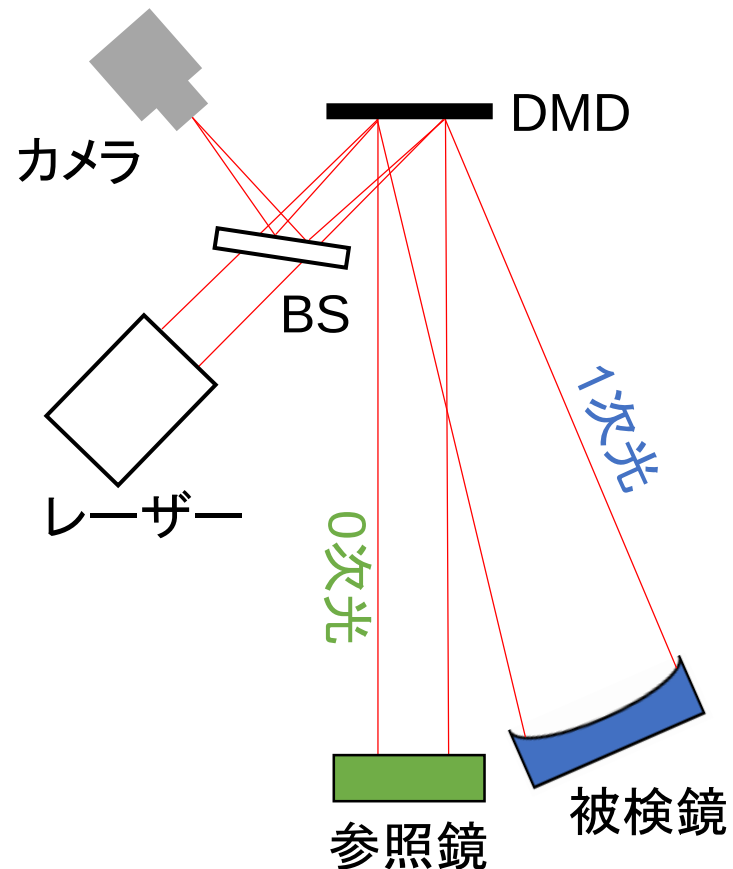
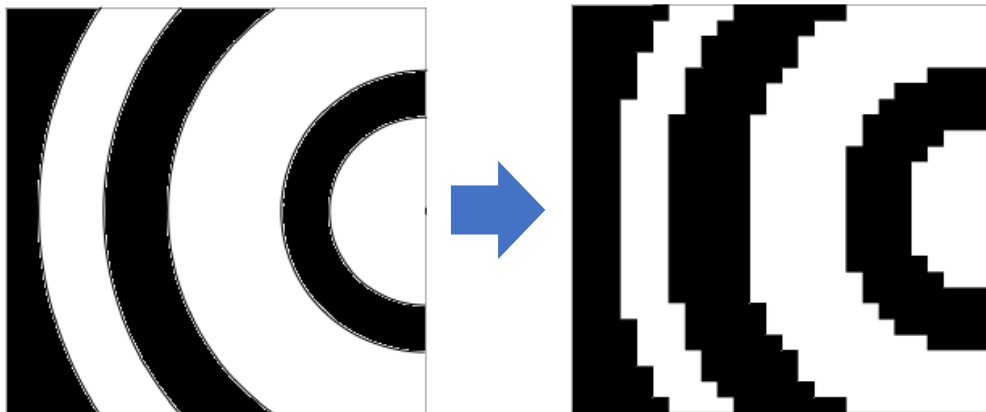
2.方法

➤ 干渉光学系 (Kino & Kurita 2012)

- 「せいめい」分割主鏡の形状測定で採用
- 被検/参照光の0次+1次の光が干渉
- 被検光と参照光がDMDを介するため
DMD基板の形状誤差をキャンセル

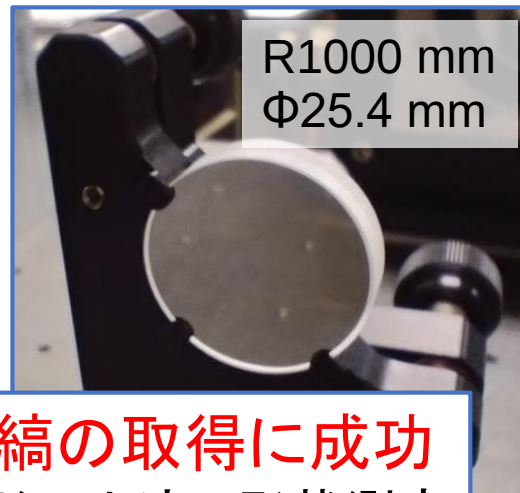
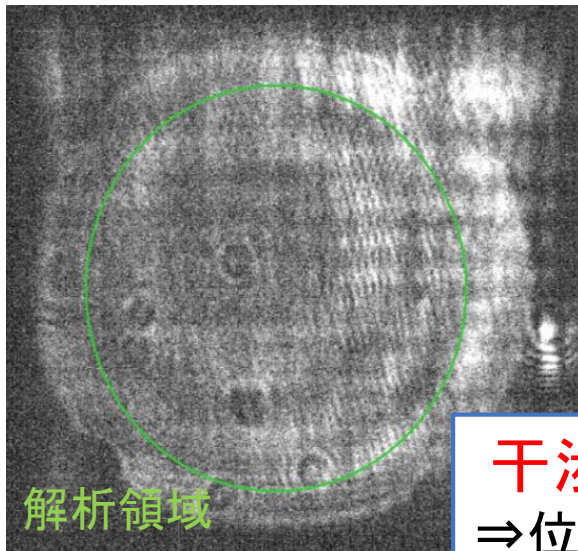
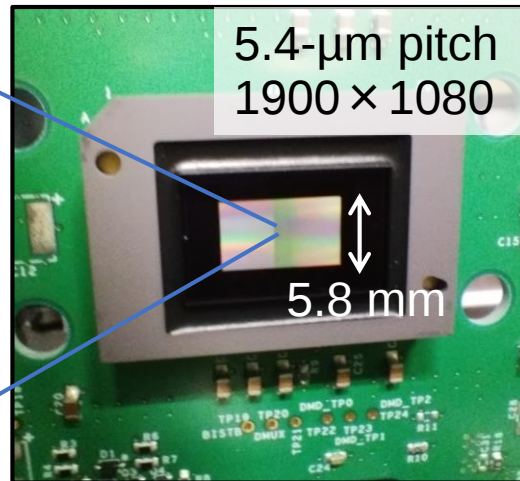
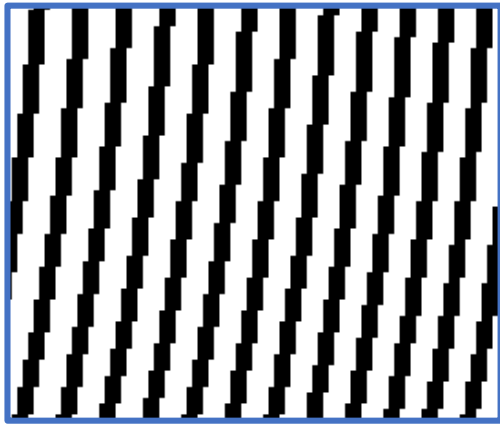
➤ CGHパターンの設計

- 連続的なパターンをマイクロミラーのピッチで量子化

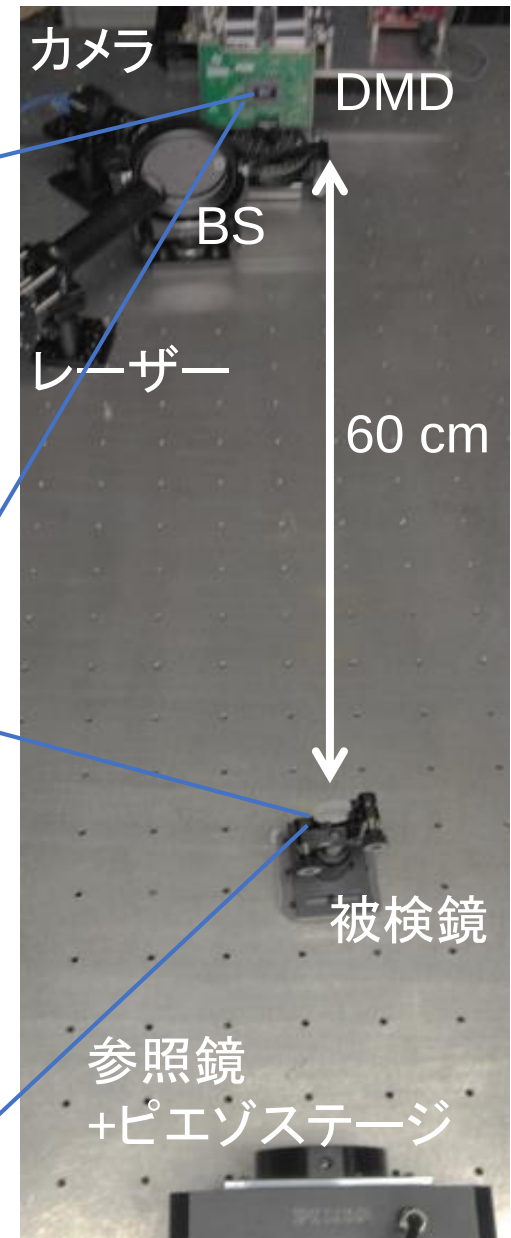


3.結果

➤ 測定難易度の低い球面鏡を測定

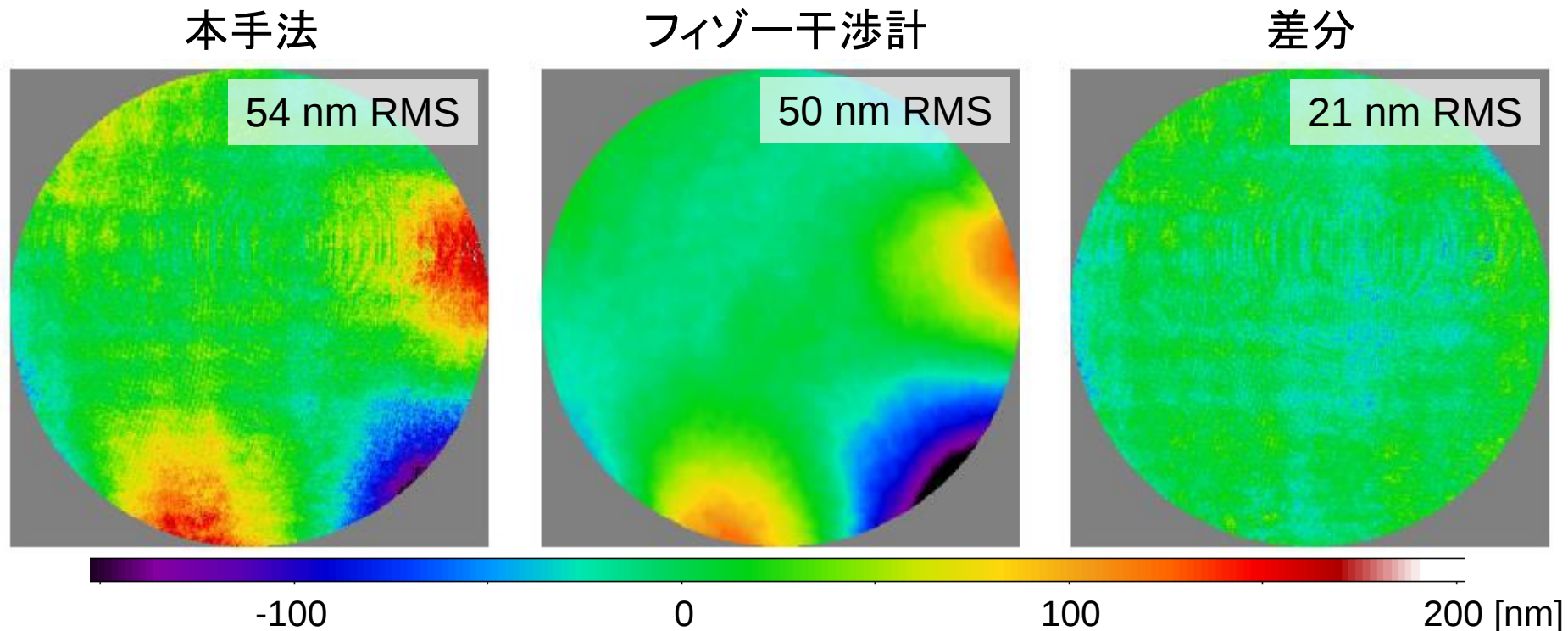


干渉縞の取得に成功
⇒位相シフト法で形状測定



3.結果

➤ フィゾー干渉計による測定結果との比較



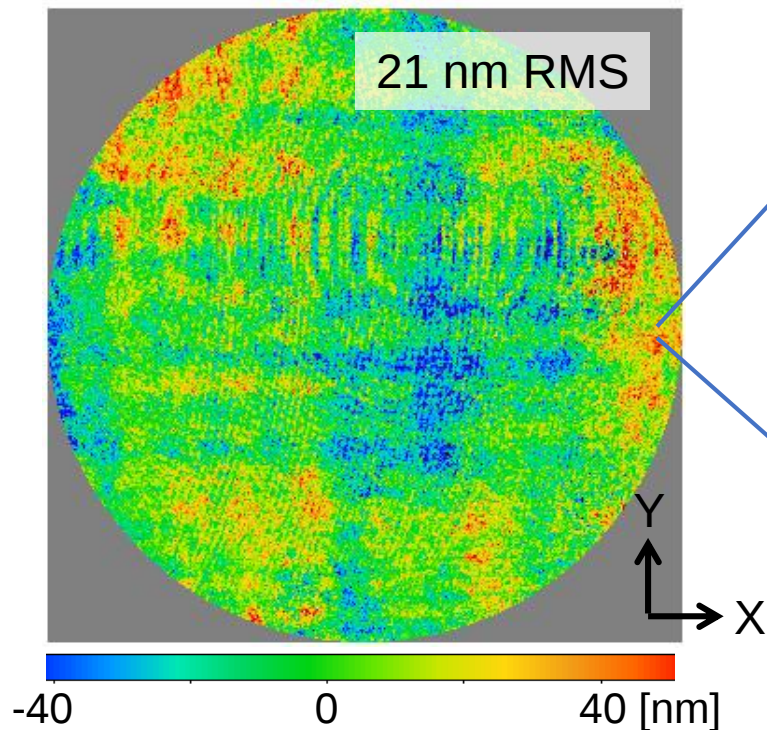
➤ 本手法の絶対精度: 21 nm RMS

⇒ 要求精度 60 nm RMS を達成

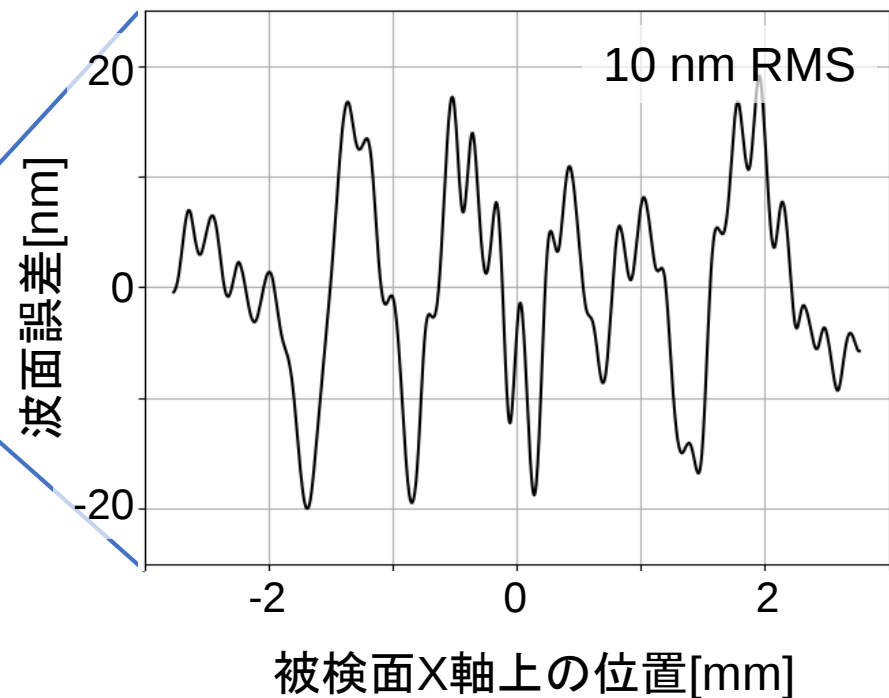
4.議論

➤ 本手法の絶対精度

本手法とフィゾー干渉計の差分



被検光の波面誤差の**予想値**
(1次光のホイヘンス-フレネル回折を計算)



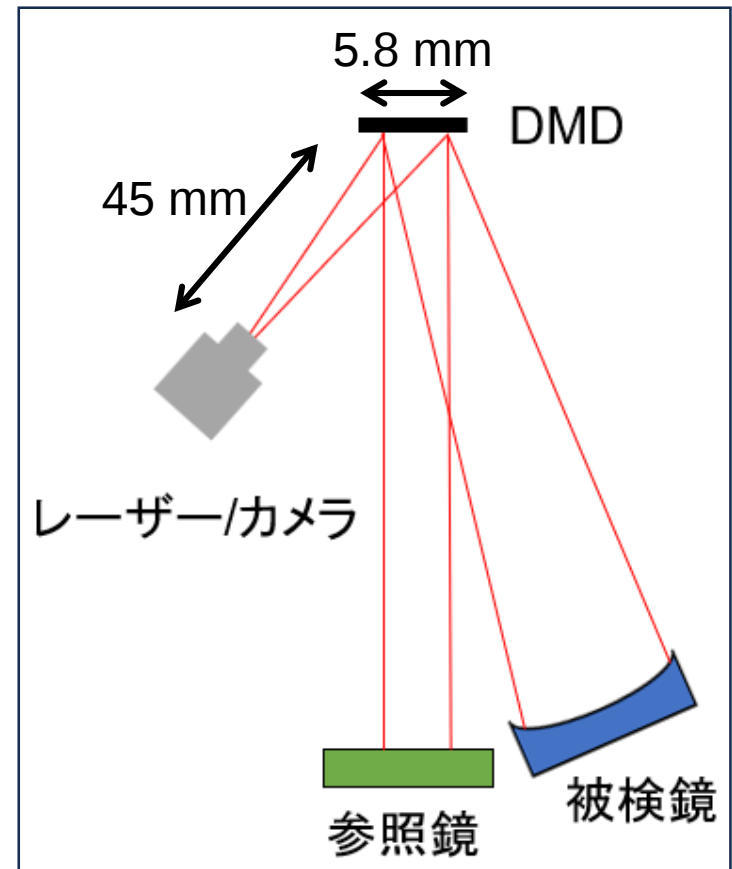
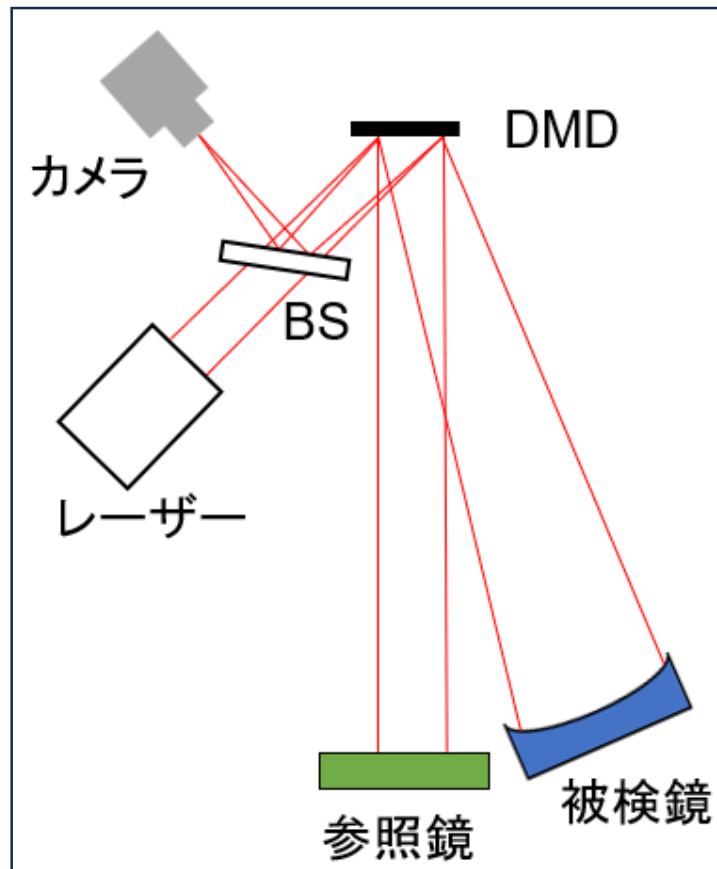
➤ DMD波面誤差の予想値: **10 nm RMS** < 実測値21 nm RMS

- 参照鏡の形状誤差? 他の鏡も測定して検証する予定

4.議論

➤ 本手法の適用限界

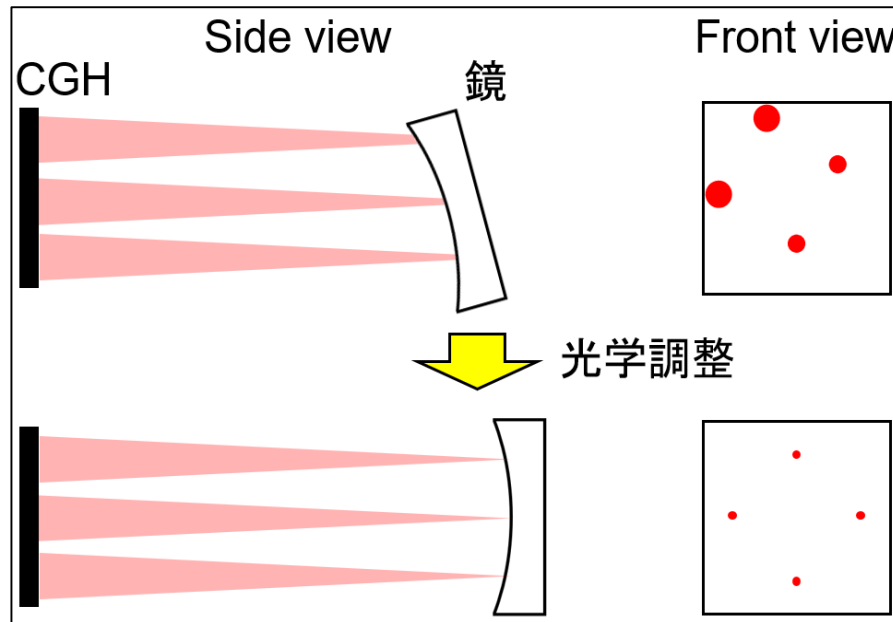
- ビームスプリッターによりレーザー/カメラとDMDの距離に制限
⇒測定できる被検鏡のF値>9
- 複数領域の測定を結合する波面縫い合わせ法を検討



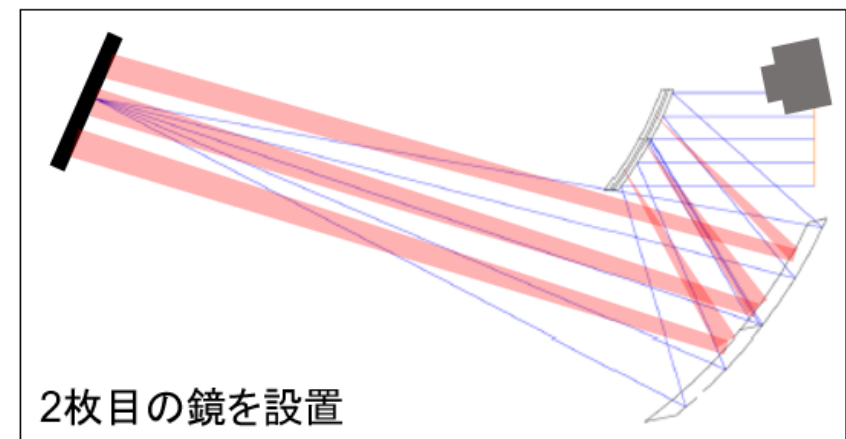
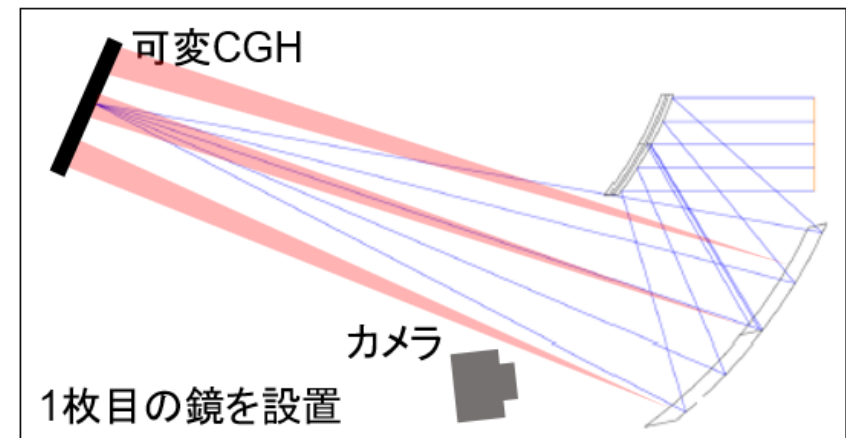
4.議論

➤ 光学アライメントへの応用

- 収束するマイナス1次光を利用して鏡面のアライメント
- CGHパターンを切り替えて複数の収束光を同時に測定



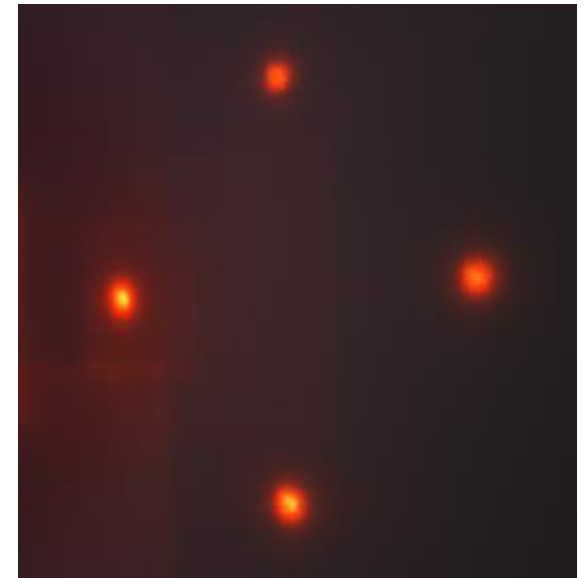
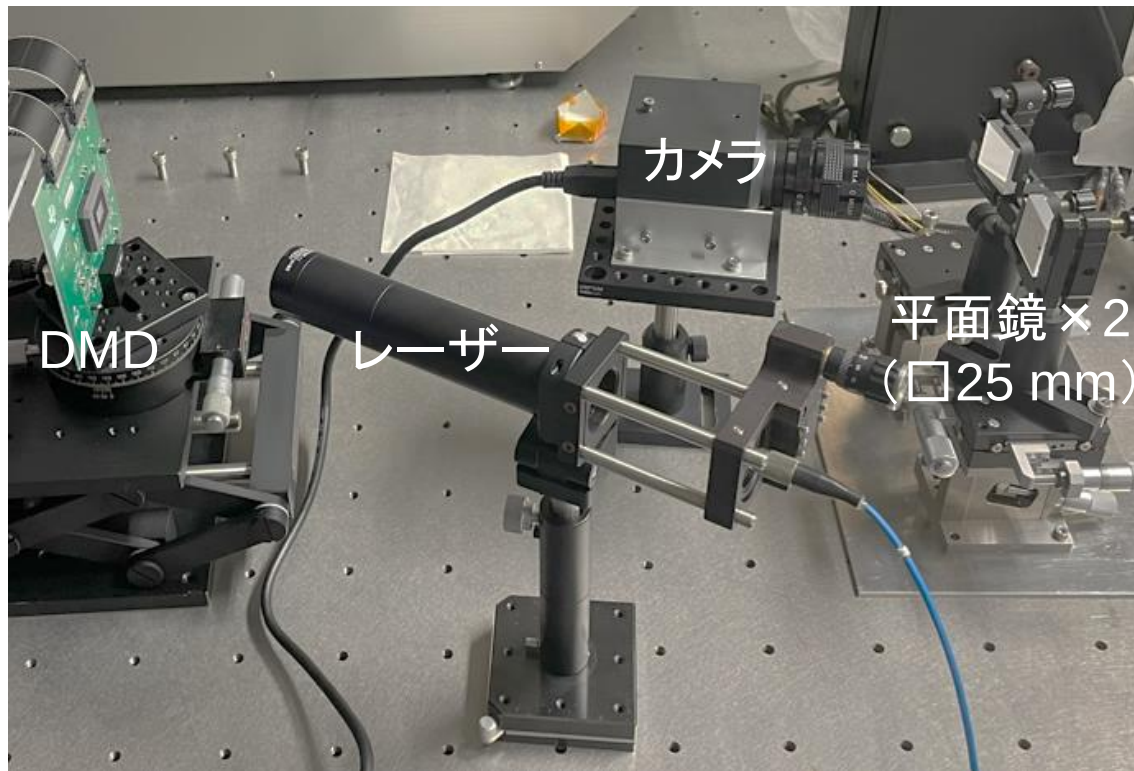
※ 実際の測定: 各収束光を作るため
それぞれ専用のCGHパターンを
DMDへ投影



4.議論

➤ 光学アライメントへの応用

- 収束するマイナス1次光を利用して鏡面のアライメント
- CGHパターンを切り替えて複数の収束光を同時に測定



4種類のCGHパターンを連続的に切り替えて30秒露光で撮影

5.まとめ

- 自由曲面鏡は将来の広視野スペース望遠鏡に必要。鏡面の形状測定にCGH干渉計が有用だが、開発コストが課題。
- Digital micromirror deviceを用いた可変CGHを提案。
本研究の最初のステップとして球面鏡の形状誤差を測定。
- フィゾー干渉計による測定との比較から、本手法の絶対精度は21 nm RMS。GREX-PLUSに要求される測定精度を達成。
- 光学素子の配置のため、測定可能な鏡のF値(>9)に制限。
波面縫い合わせ法による測定を検討。
- 今後は自由曲面鏡および冷却した鏡の形状評価を行う。
光学アライメントへの応用を検討。