

京大岡山3.8m望遠鏡計画： 分割鏡の開発

所 仁志

名古屋大学大学院 理学研究科
光赤外天文計測学研究室

分割鏡の仕様

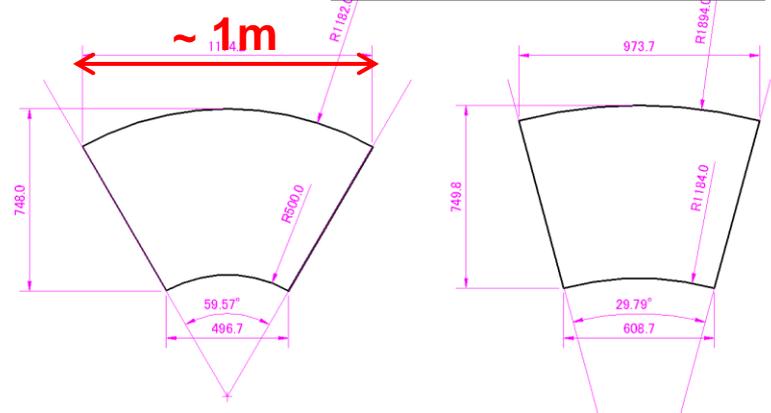
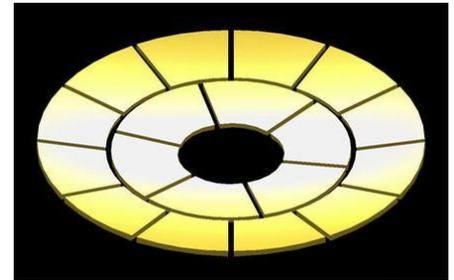
- 内周6枚、外周12枚の計18枚で主鏡を構成
- 1 mサイズの**非軸対称非球面**

内周セグメント

- 近似球面R = 10080.5 mm (19 mm 凹)
- 非球面量: 42 μm

外周セグメント

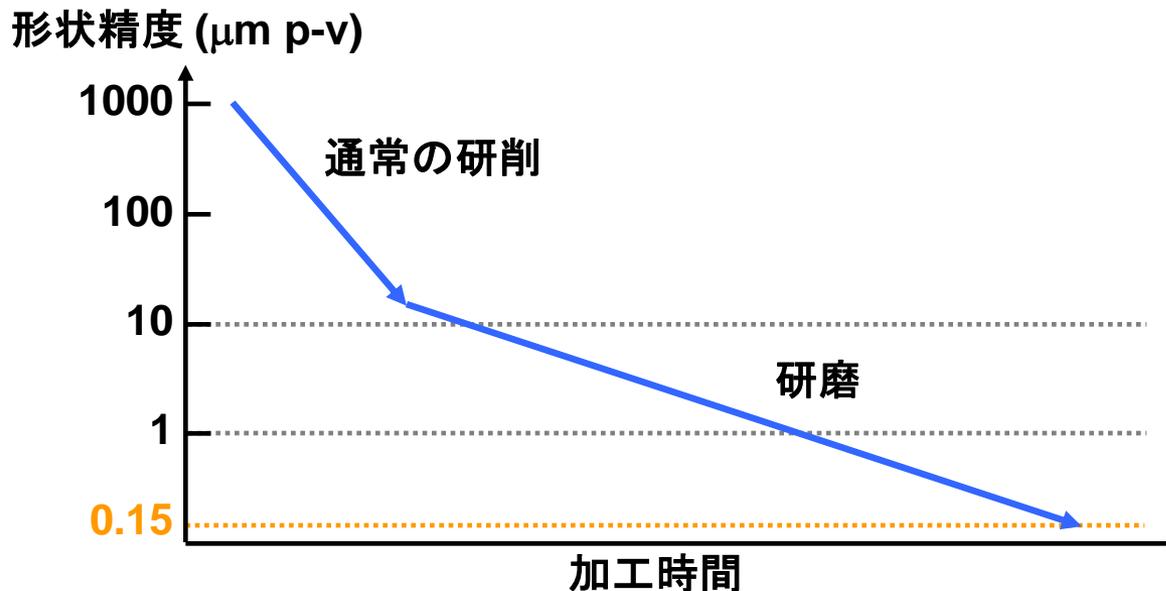
- 近似球面R = 10251.1 mm (16 mm 凹)
- 非球面量: 150 μm



- 材質: 極低熱膨張ガラスセラミックス
- 形状精度 < 0.15 μm p-v、表面粗さ < 10 nm p-v

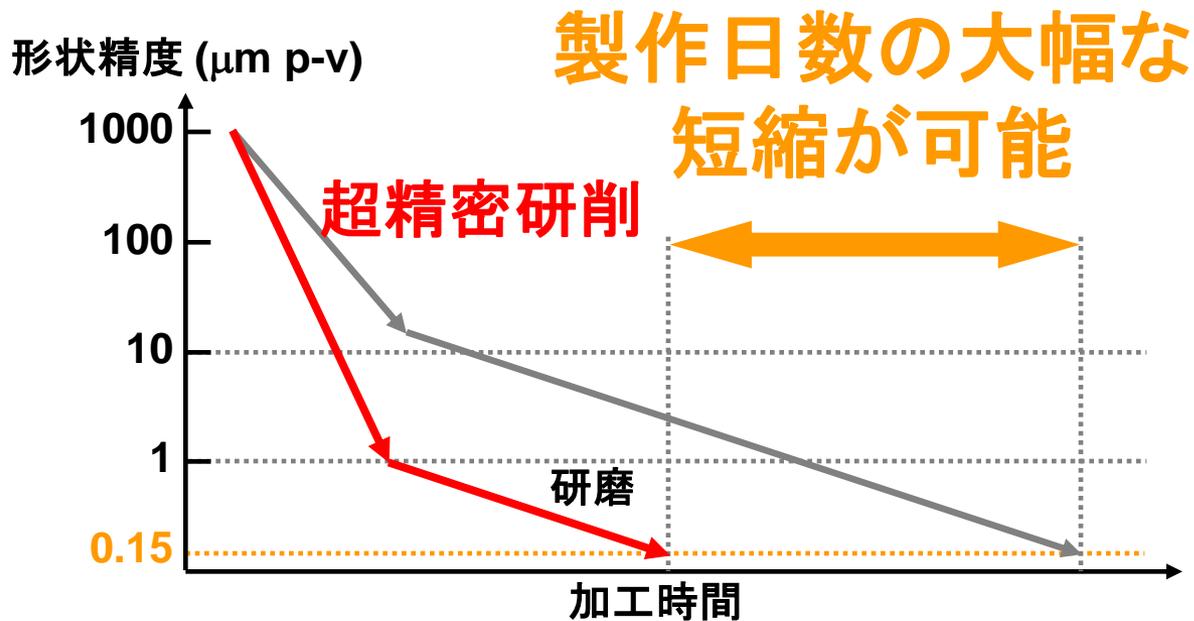
従来の鏡面加工方法

- 研削によって10 μm p-v程度の形状精度に粗加工し、その後研磨で仕上げる
- 要求される形状精度を満たすために、長期間の研磨仕上げが必要



新しい鏡面加工方法

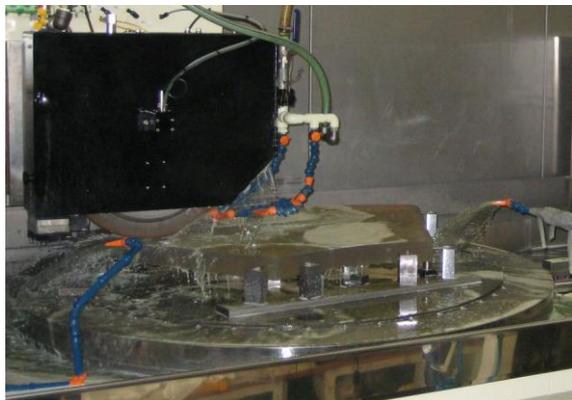
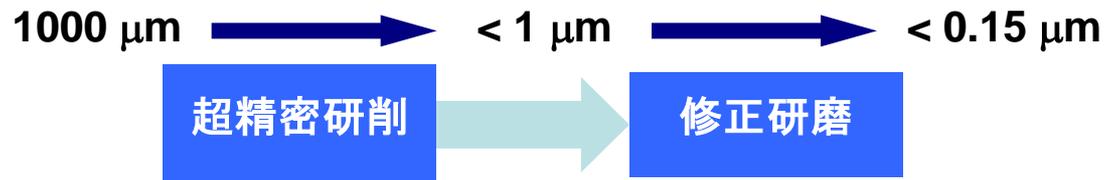
- 超精密研削によって、形状精度を従来の1/10以下の1 μm p-vまで追い込む
- 研磨による仕上げ時間を大幅に短縮することが可能



1. 超精密研削

2. 修正研磨

3. 現状と最近の取り組み

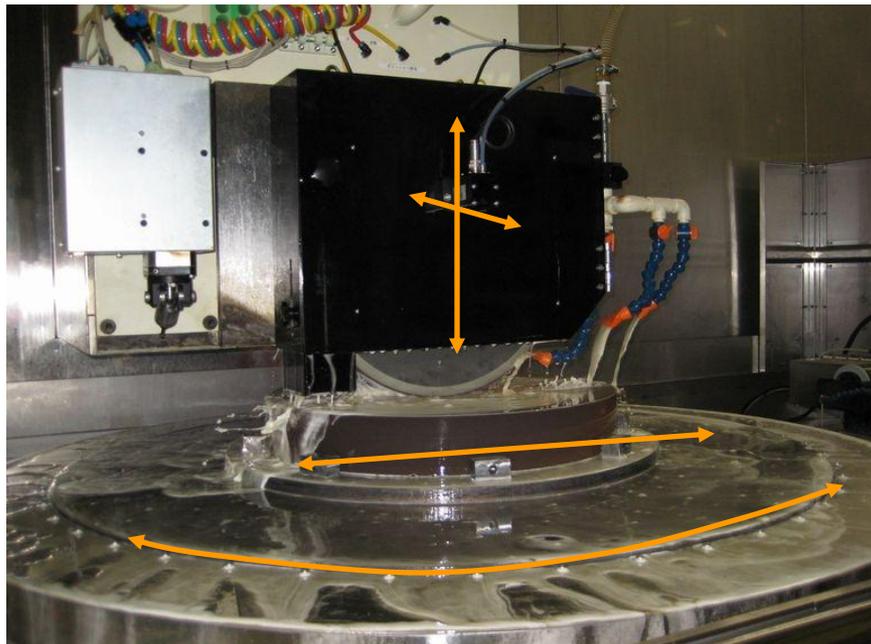


1. 超精密研削

2. 修正研磨

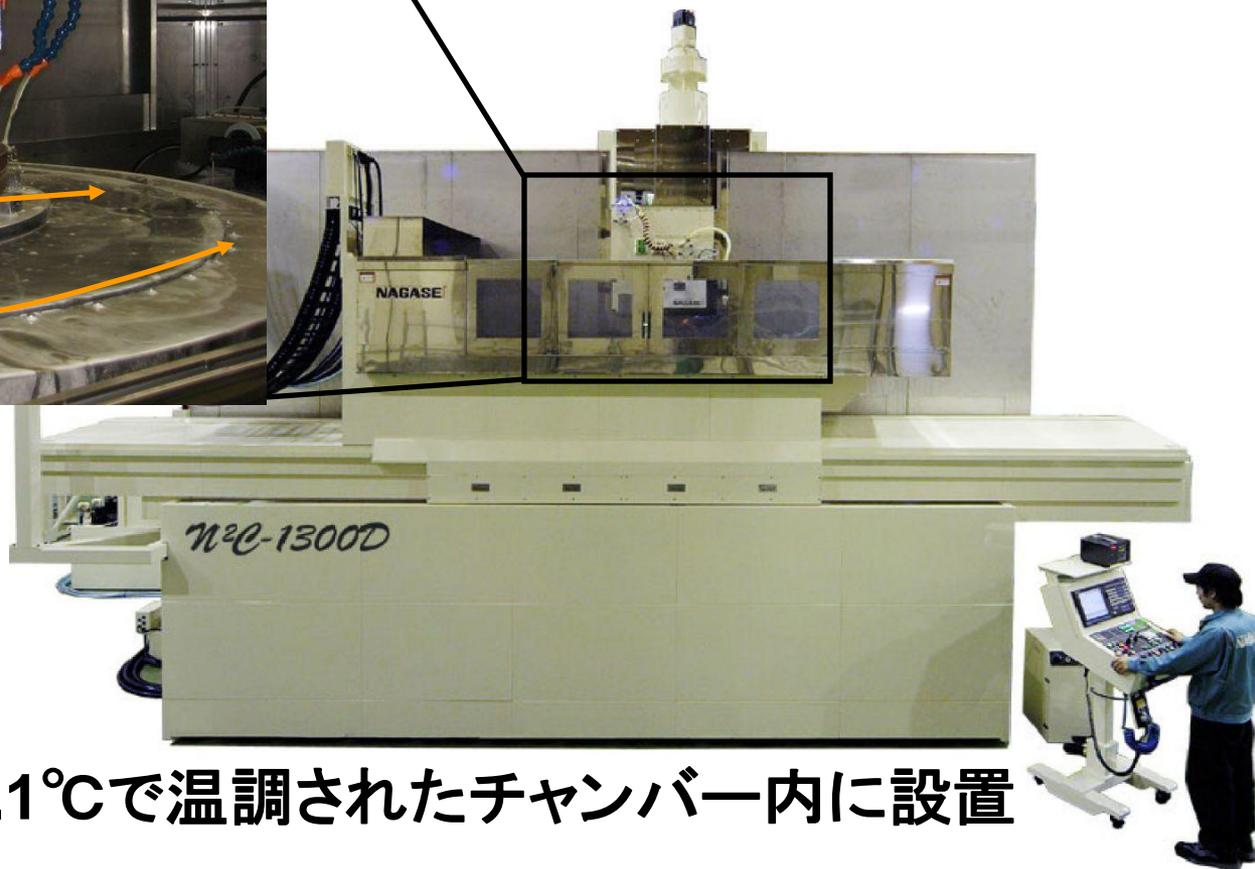
3. 現状と最近の取り組み

超精密研削加工機



- 4軸同期制御可能
- 位置決め精度: 10 nm

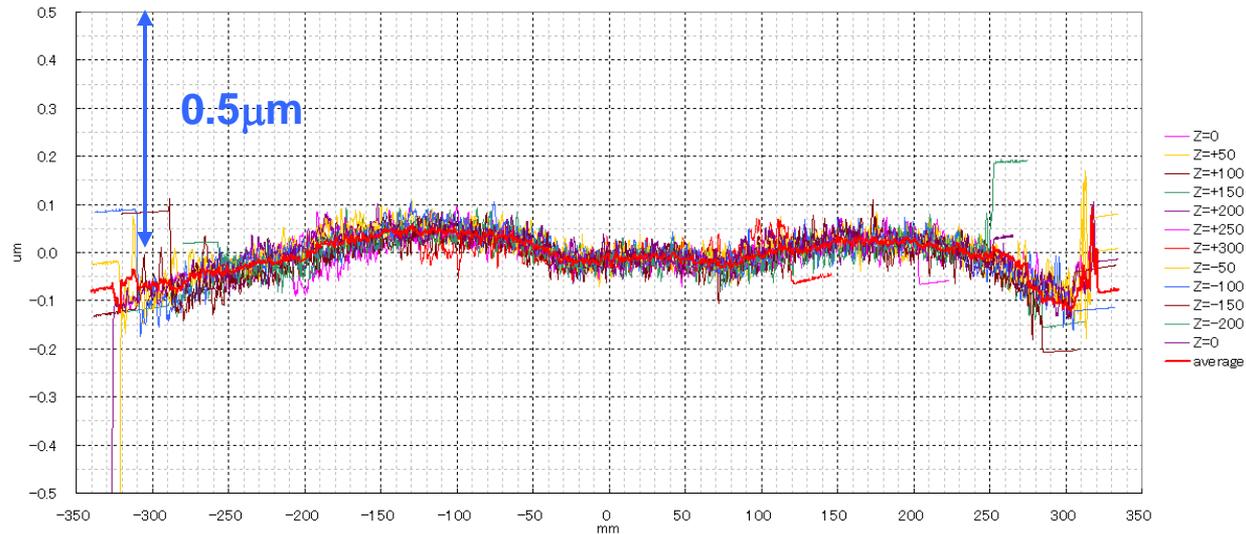
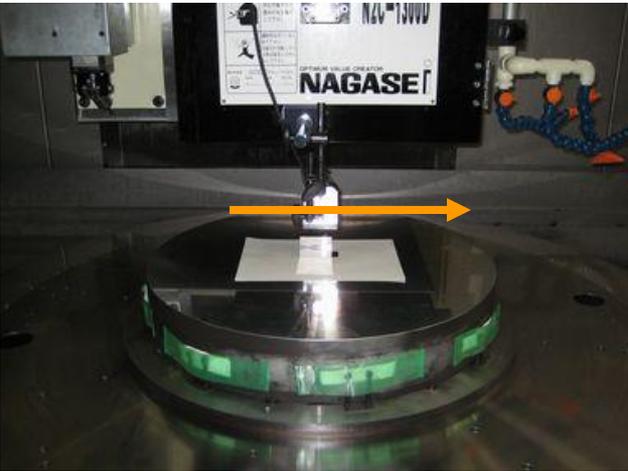
ワークスペース:
 $\phi 1300$ mm



±0.1°Cで温調されたチャンバー内に設置

左右軸 真直度

- 砥石軸に取り付けたレーザー変位計 (Keyence LT-9010M) で平面原器 ($\phi 650\text{mm}$) を測定



- 真直度 $\sim 0.15\mu\text{m}$ 、再現性 $\sim 50\text{nm p-v}$
- 前後軸・上下軸もほぼ同程度

加工時の支持治具

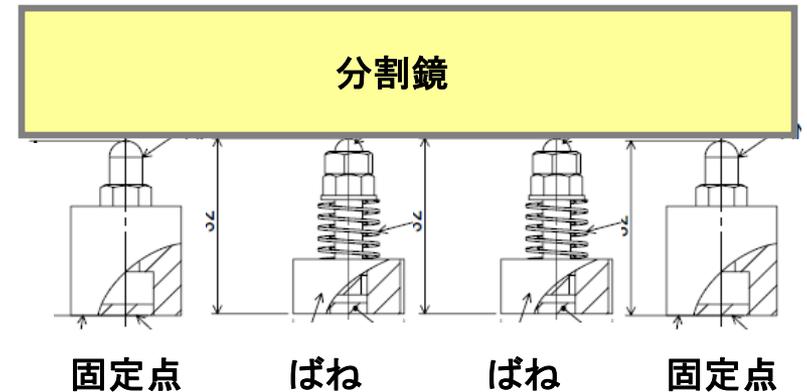
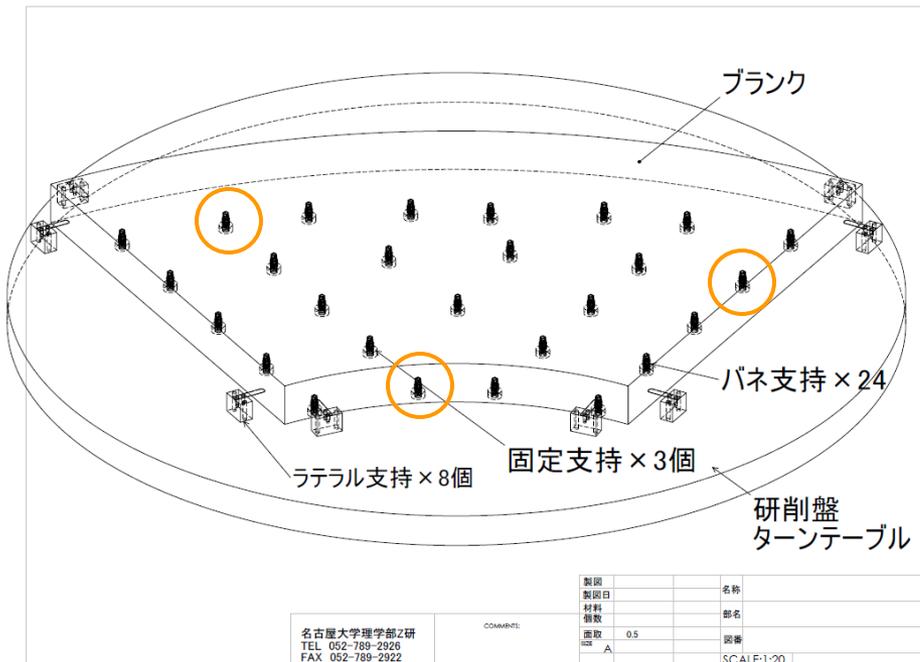
治具には以下が求められる

- 温度変化による変形が分割鏡の鏡面形状に影響しないこと
- 分割鏡裏面の形状の影響を受けないこと
- 望遠鏡搭載時の支持状態(27点等荷重支持)を再現すること

平面治具ではこれらを満たすことができない

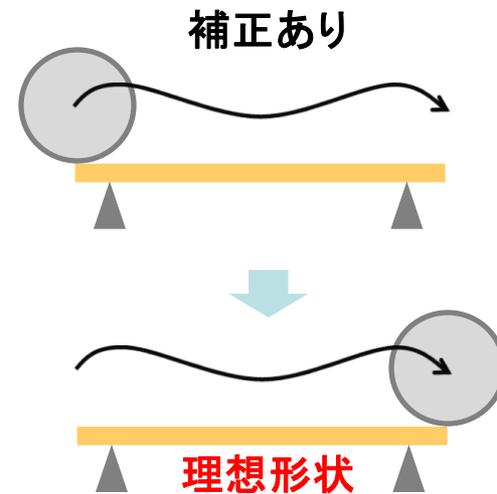
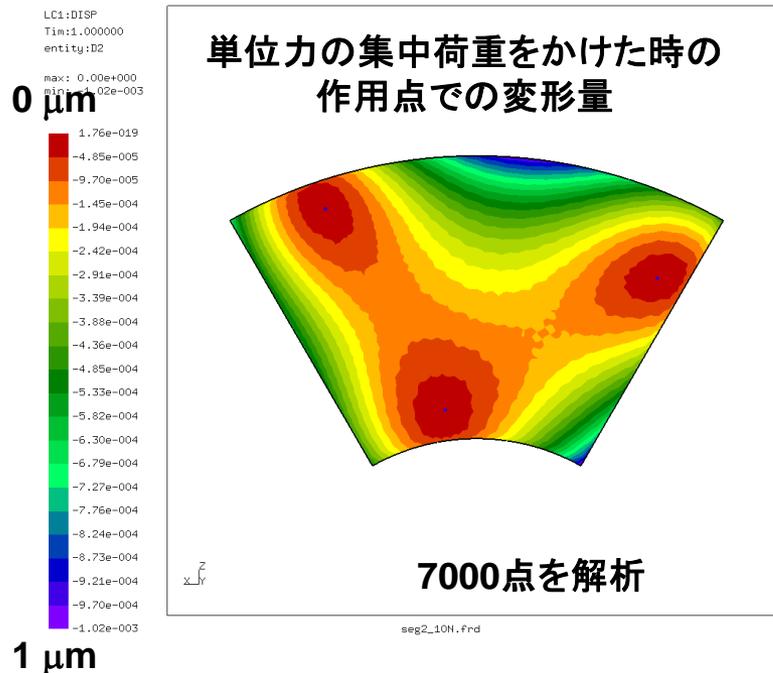
ばね方式治具

- 望遠鏡搭載時の支持状態をばねで実現
- 固定点3点+ばね支持24点(27点等荷重)



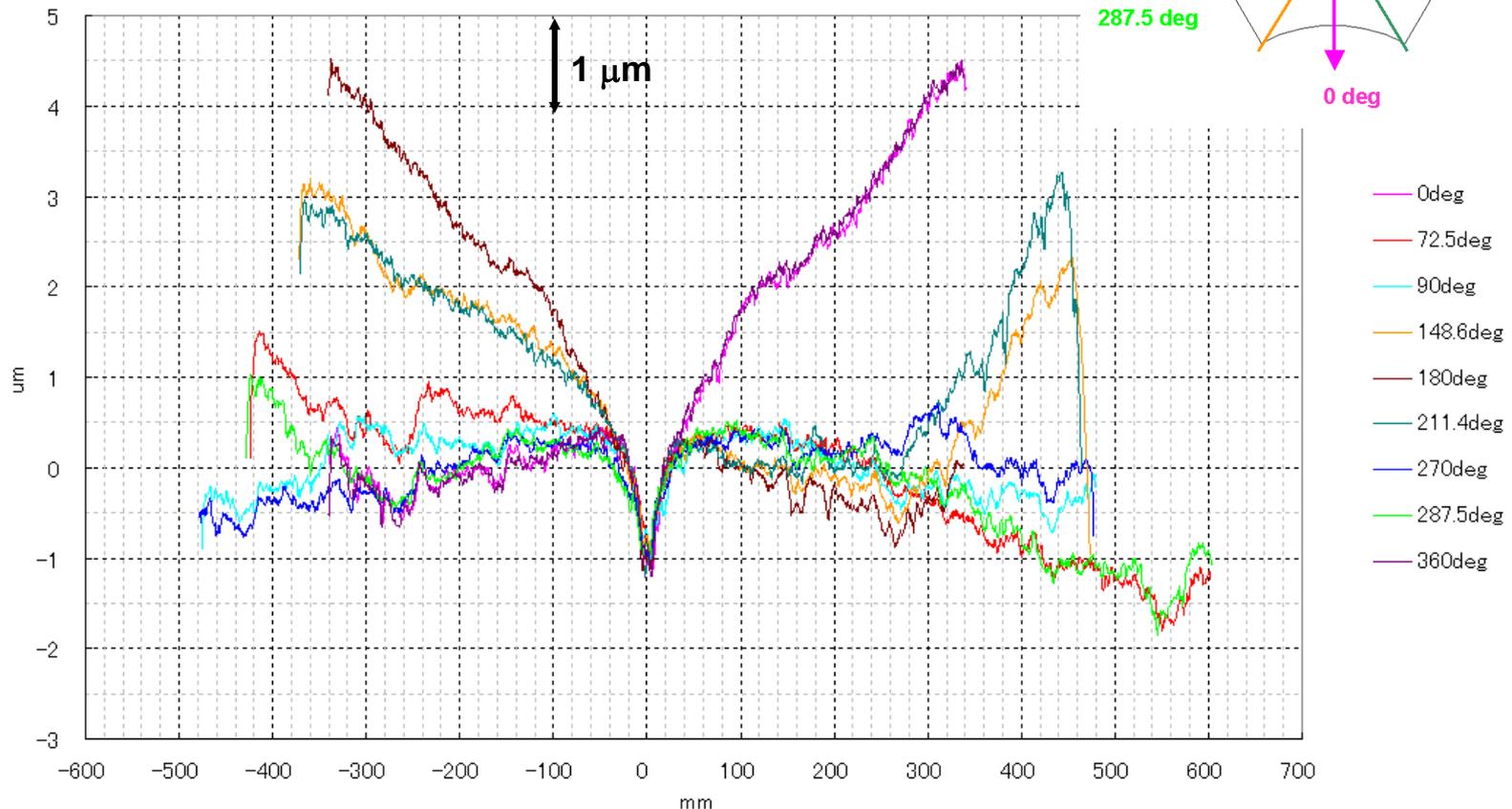
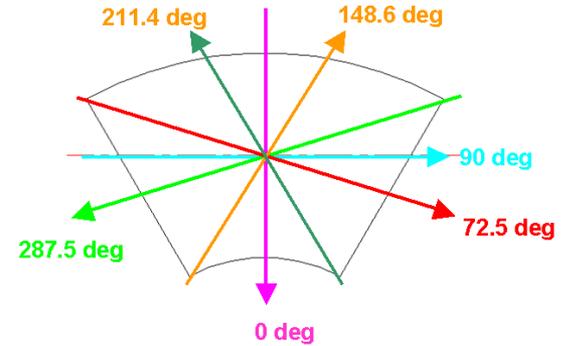
ばね方式治具

- 加工抵抗により変形してしまう
⇒加工変形シミュレーションの結果を砥石の加工軌跡に反映する必要あり



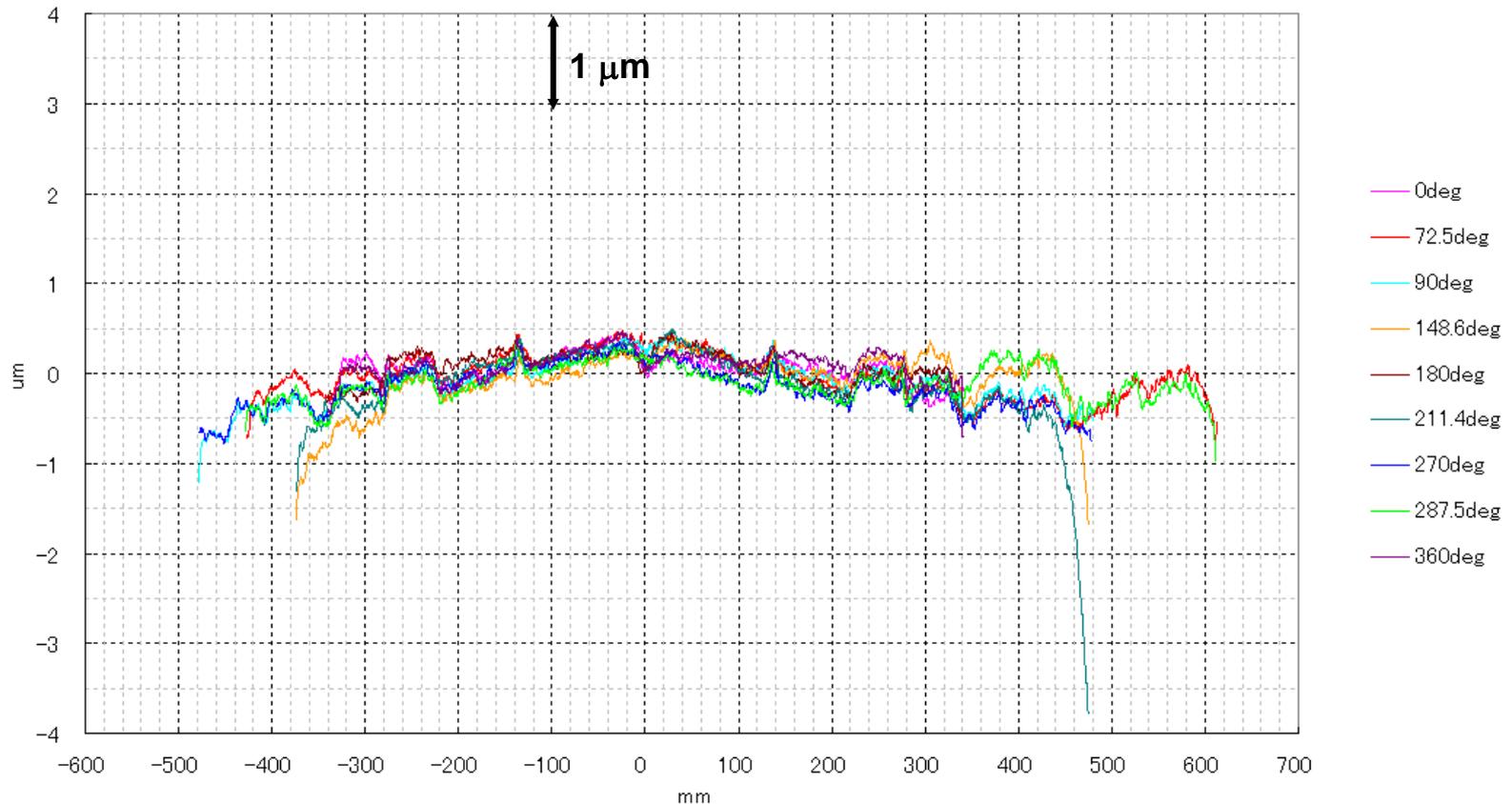
補正加工前

- #2,400砥石で加工
- 補正前(研削抵抗 = 6 kgf)



補正加工後

- #2,400砥石で補正加工
- 補正後(形状誤差 $\sim 1 \mu\text{m}$)

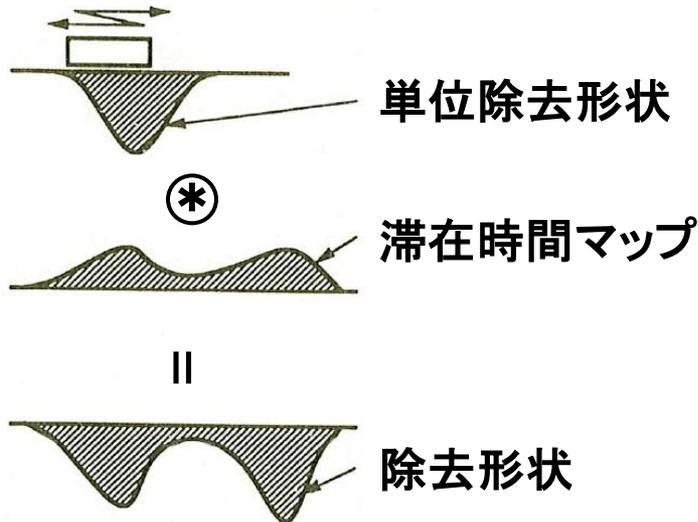


1. 超精密研削

2. 修正研磨

3. 現状と最近の取り組み

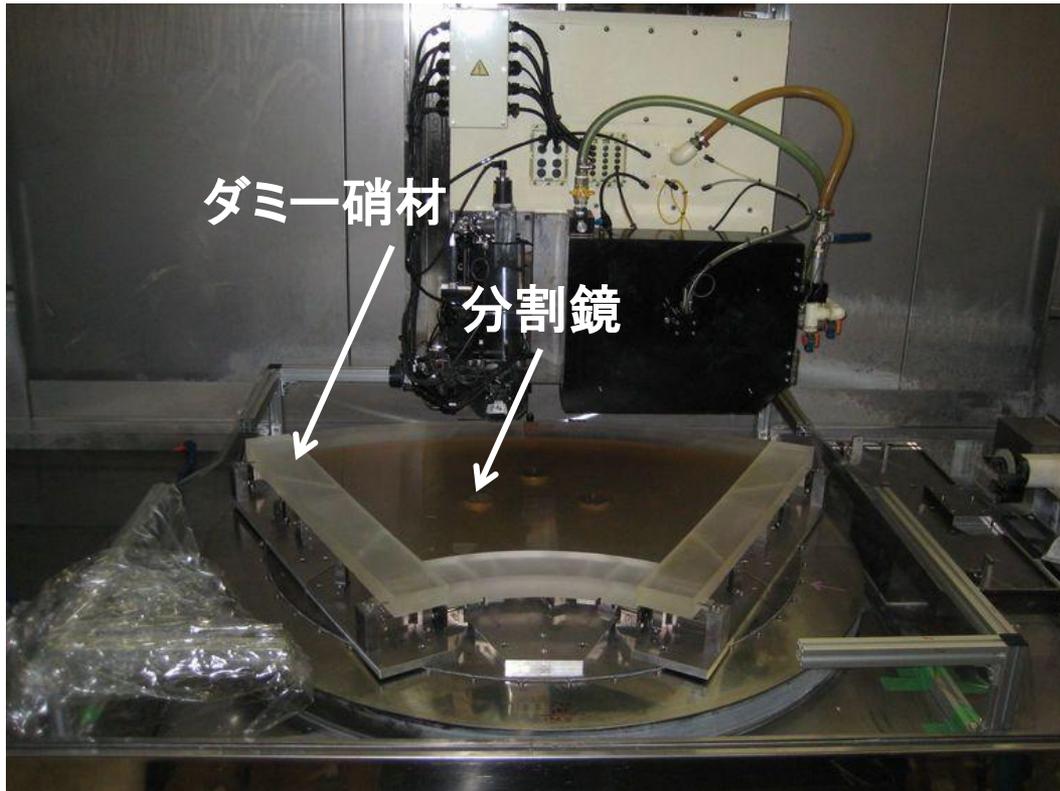
修正研磨の方法



- 除去形状は単位除去形状と滞在時間のコンボリユーションで与えられる
- 目標除去形状を単位除去形状でデコンボリユーションすることで最適な滞在時間を算出

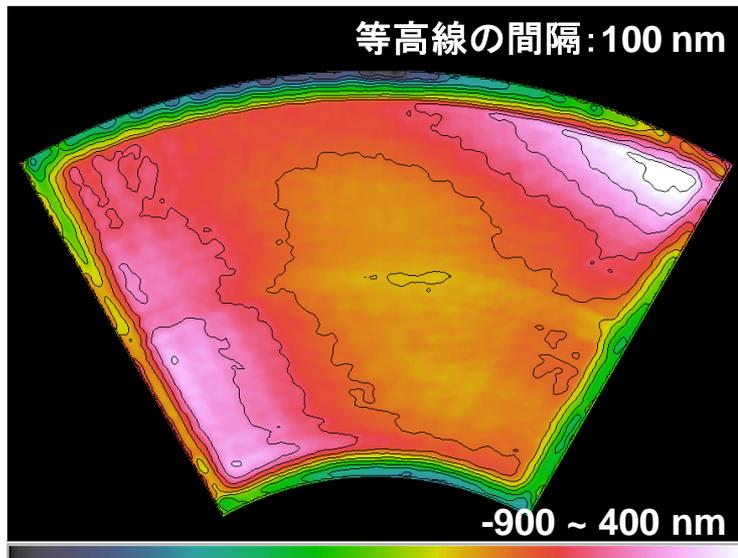
- 分割鏡の縁で単位除去形状が変化しないように、外周にダミーを設置

ダミー硝材を使用した研磨

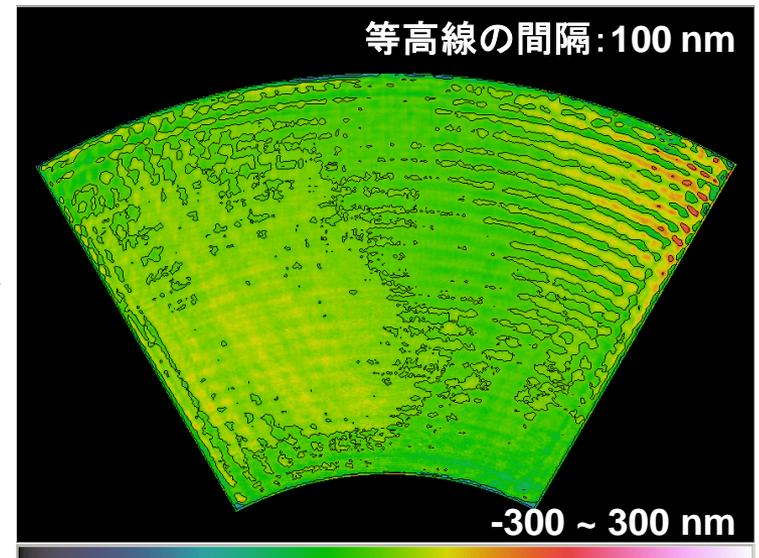


- 段差: $5 \sim 8 \mu\text{m}$
(ダミーが低い)
- 隙間: $\sim 0.5 \text{ mm}$
- 支持剛性: $0.3 \mu\text{m/kgf}$

修正研磨



14回の修正



- 大部分の領域は形状誤差 $< 0.1 \mu\text{m p-v}$
- 工具径と同じスケールのリップル $\sim 0.15 \mu\text{m p-v}$

1. 超精密研削

2. 修正研磨

3. 現状と最近の取り組み

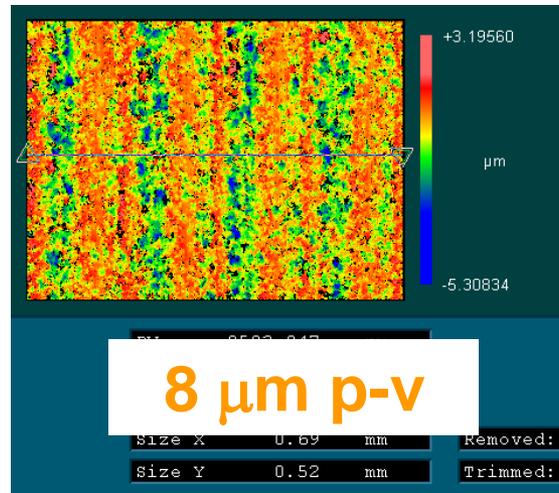
現状

- 研削:形状精度1 μm p-v、表面粗さ700 nm p-v
- 研磨:形状精度0.15 μm p-v、表面粗さ10 nm p-v
- 製作期間:23日(研削9日、研磨14日)

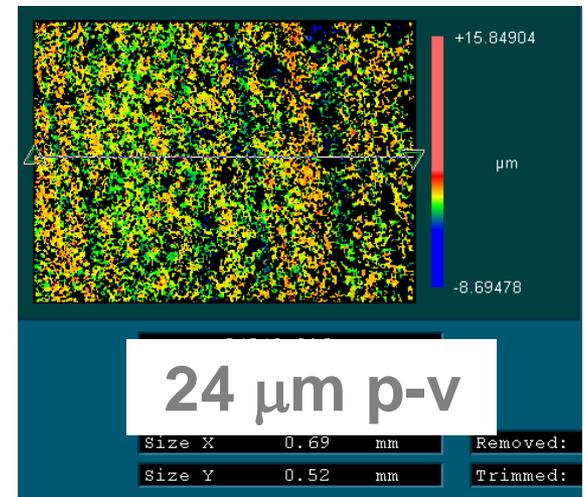
- より高速な分割鏡製作を実現するための基礎実験を行っている
 - クリープフィード研削 (株)ナガセインテグレックス)
 - 圧力一定研磨 (大阪電通大学)
 - 公転・自転研磨ツールの適用 (群馬大学)
 - 複合砥粒砥石による超仕上げ加工 (大阪電通大、(株)ミズホ)

クリープフィード研削

- 切込み大・砥石送り速度小を特徴とする研削方法
- 除去効率が高く、表面粗さの小さい加工面を得ることが可能
- 小型の研削機を用いた試験で、従来の**3倍の除去効率**・**1/3以下の表面粗さ**を達成



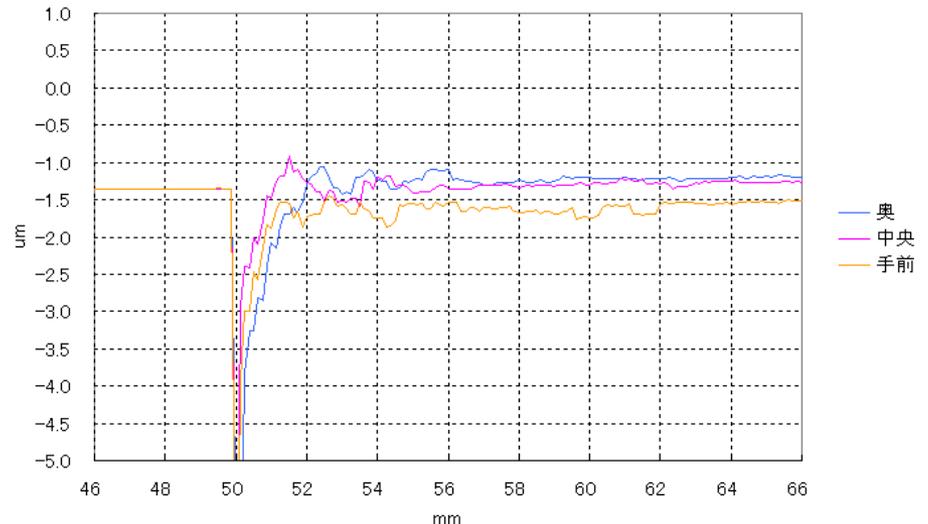
クリープフィード研削



従来の研削

圧力一定研磨

- ダミーを必要としない研磨方法
- 研磨工具のはみ出し量に応じて研磨荷重を調整し、圧力を一定に保つ
- 基礎実験によって、エッジ付近の除去量の均一性：
～20 %、縁だれ幅：
2 mm以下を確認



現状

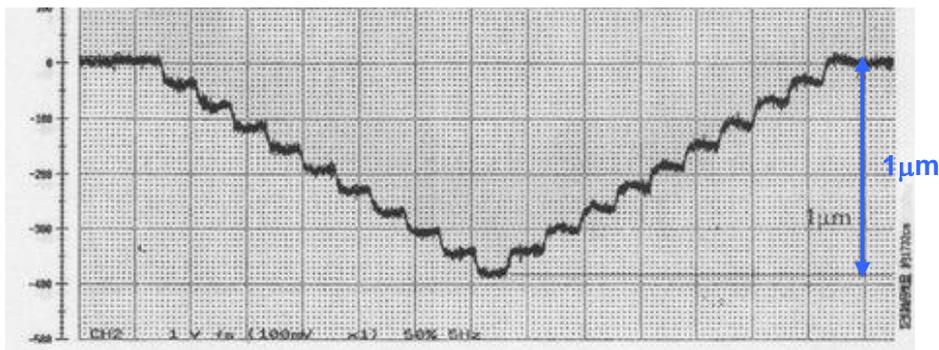
- 研削:形状精度1 μm p-v、表面粗さ700 nm p-v
- 研磨:形状精度0.15 μm p-v、表面粗さ10 nm p-v
- 製作期間:23日(研削9日、研磨14日)

- より高速な分割鏡製作を実現するための基礎実験を行っている
 - クリープフィード研削 (株)ナガセインテグレックス)
 - 圧力一定研磨 (大阪電通大学)
 - 公転・自転研磨ツールの適用 (群馬大学)
 - 複合砥粒砥石による超仕上げ加工 (大阪電通大、(株)ミズホ)

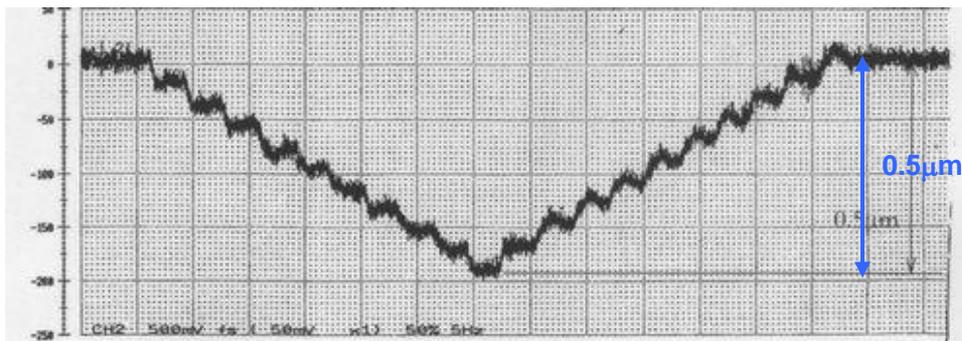
Backup Slides

上下軸 ス置テツプ応答

- 100 nmステップ

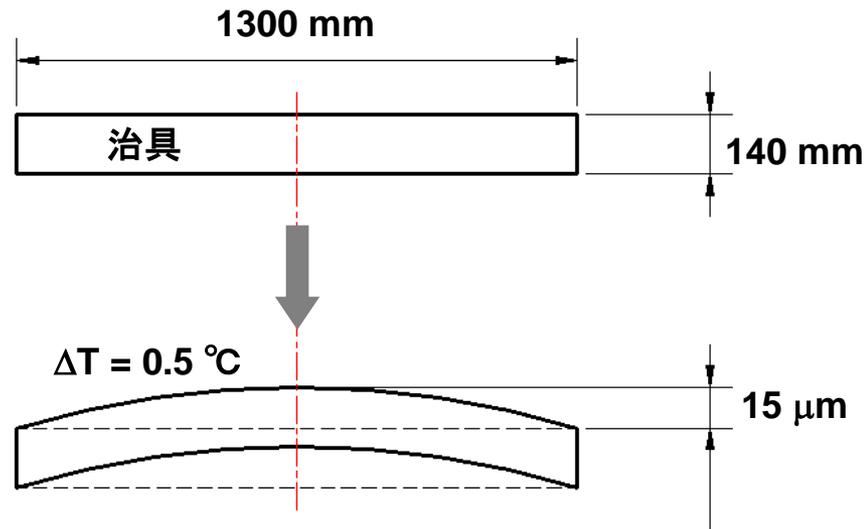


- 50 nmステップ



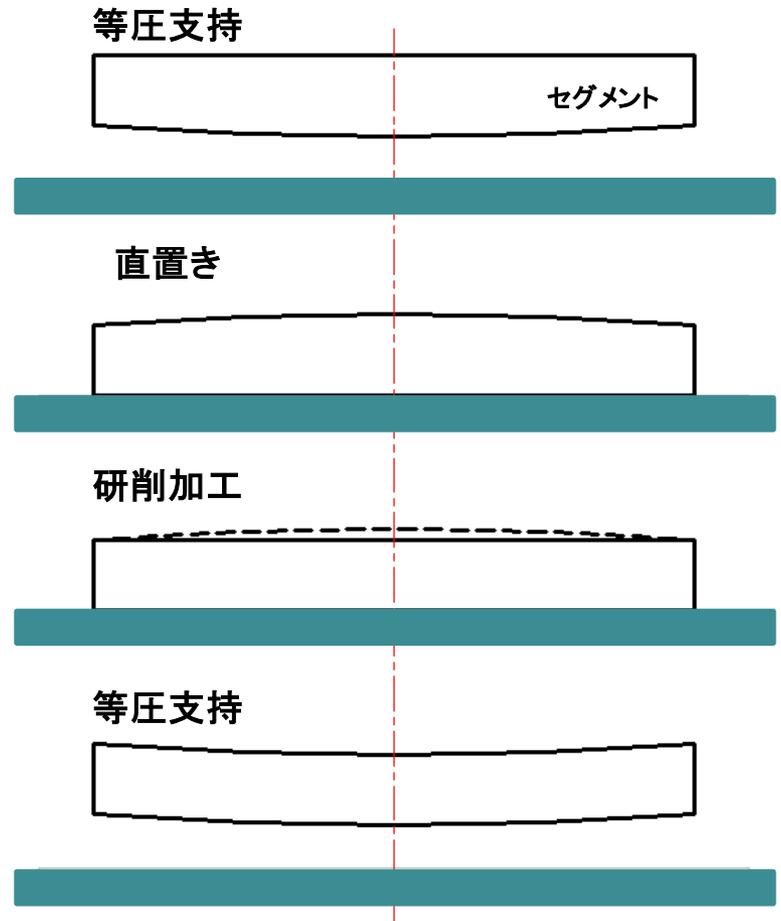
温度環境の変化

- 0.5°Cの温度差で、治具は15 μm変形
 - これに自重変形、温度ムラ、研削盤との固定の影響が加わる
- 変形量の予想が困難



加工時の支持治具

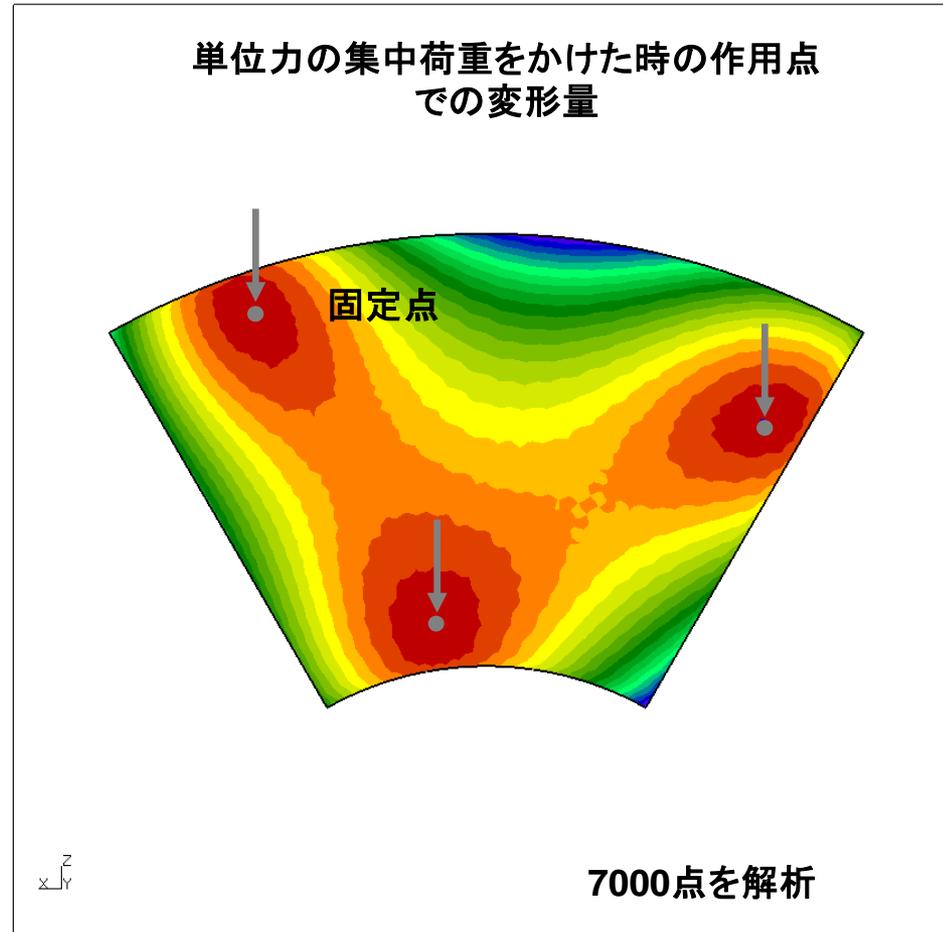
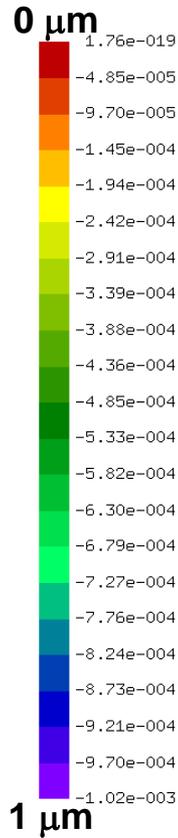
- 治具の平面がでたとしても...
- セグメント裏面が治具にならなくなってしまい、表面が変形
- 直置きだと、三面の精密研削が必要



加工抵抗による変形

LC1:DISP
Tim:1.000000
entity:D2

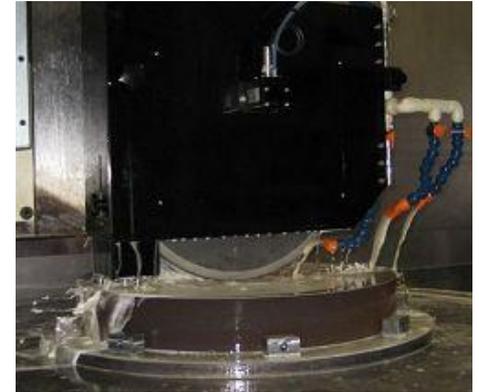
max: 0.00e+000
min: -1.02e-003



ガラスの鏡面加工方法

• 研削

- 回転する砥石で材料を除去
- 砥石の運動軌跡を転写
- 材料除去効率は高いが、到達できる形状精度は加工機の運動精度で決まる



• 研磨

- 酸化セリウムの化学的・機械的作用で材料を除去
- 研削に比べ材料除去効率が低い
- 工具滞在時間の制御で形状を創成
- 形状測定・修正研磨の繰り返しが必要

