

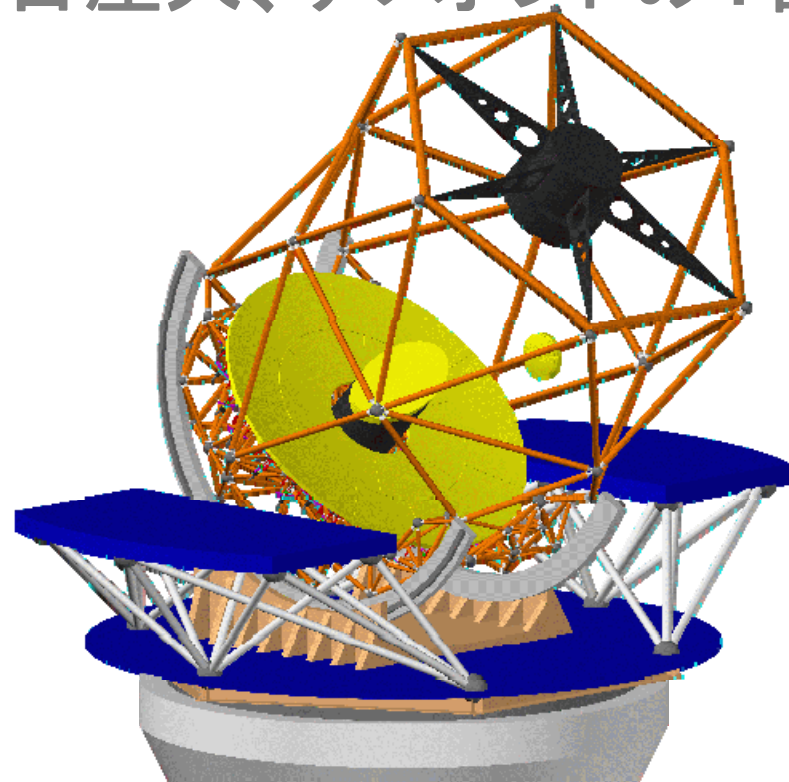
セグメント鏡の研削加工

所 仁志

株式会社ナノオプトニクス・エナジー

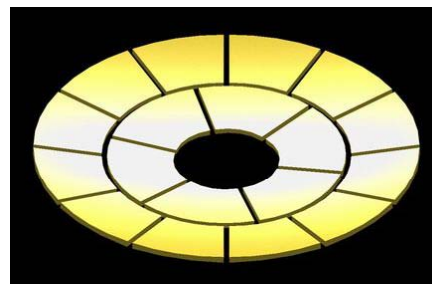
岡山3.8m新技術望遠鏡計画

- 国立天文台岡山観測所内に設置する、分割鏡方式の3.8m望遠鏡
- 京都大、国立天文台、名古屋大、ナノオプトの4者の連携で建設
- 技術開発
 - セグメント鏡の製作
 - セグメント鏡の制御
 - 軽量架台



セグメント鏡

- 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

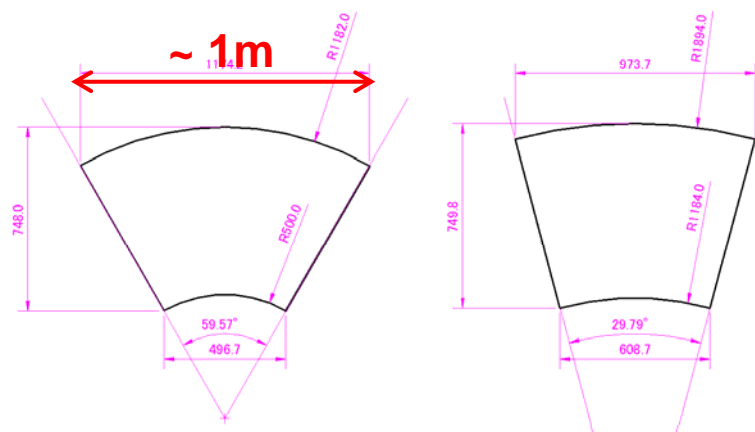


内周セグメント

- 近似球面R = 10080.5 mm (19 mm 凹)
- 非球面量: -0.04 ~ +0.05 mm

外周セグメント

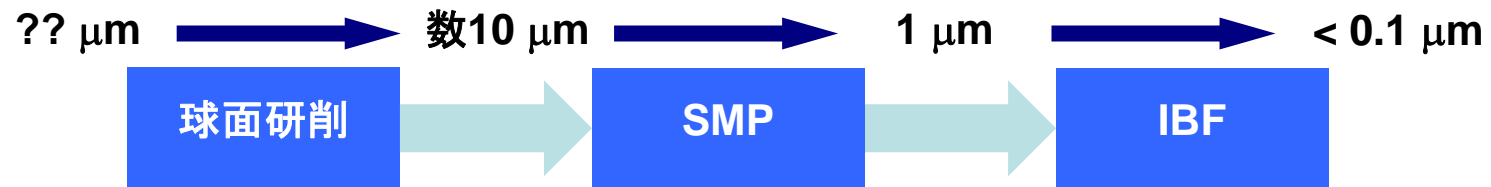
- 近似球面R = 10251.1 mm (16 mm 凹)
- 非球面量: -0.10 ~ +0.10 mm



- 材質: クリアセラム -z HS
- 形状誤差 <math>< 0.15 \mu\text{m}</math> p-v、表面粗さ <math>< 10 \text{ nm}</math> p-v

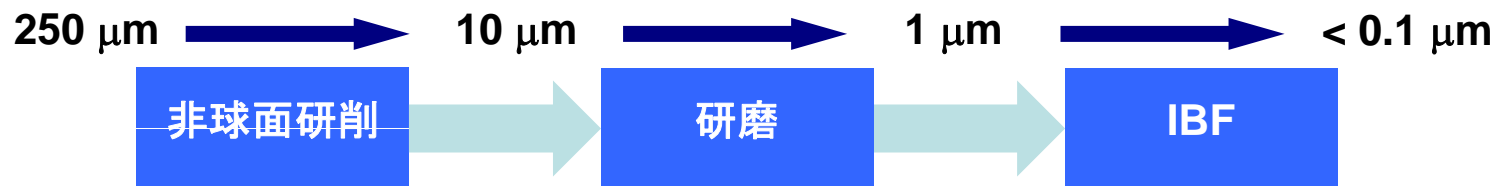
セグメント鏡の製作方法

- TMT (Keckと同じ手法)



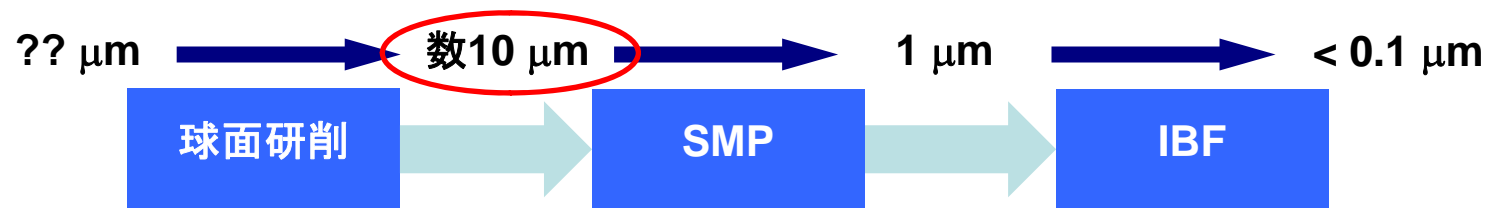
SMP: Stressed Mirror Polishing
IBF: Ion Beam Figuring

- E-ELT (GTCと同じ手法)



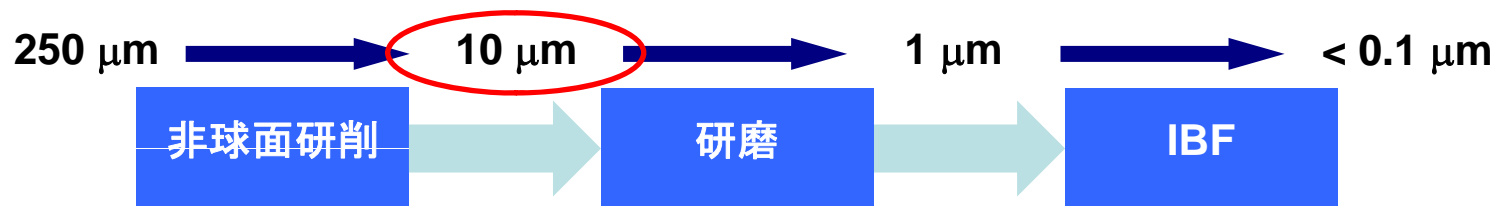
セグメント鏡の製作方法

- TMT (Keckと同じ手法)



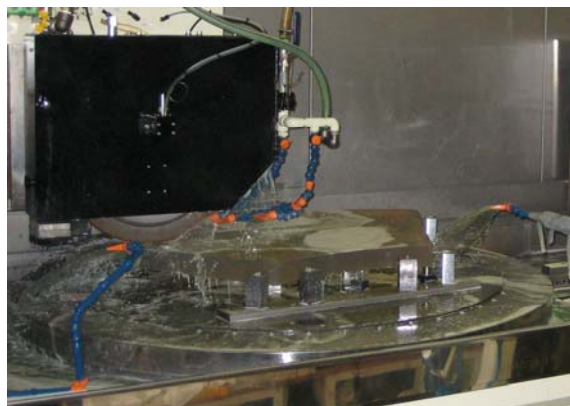
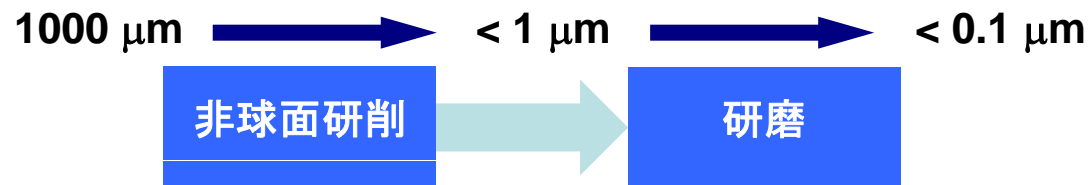
SMP: Stressed Mirror Polishing
IBF: Ion Beam Figuring

- E-ELT (GTCと同じ手法)



超精密研削を用いた製作方法

- 超精密研削を用いて、非球面研削での精度を $1\ \mu\text{m}$ 以下とし、研磨時間を削減する
- 縁だれを3 mm幅まで許容することで、IBF工程を削除(TMT、E-ELTは、縁だれ幅 $< 0.5\ \text{mm}$)



超精密研削に必要なもの

- 研削による形状精度を**10 μm から< 1 μm** とするには以下の4つが必要
 1. 高精度な加工機
 2. 切れ味の良い砥石
 3. 加工機の特性を考慮した加エプログラム
 4. 治具

超精密研削に必要なもの

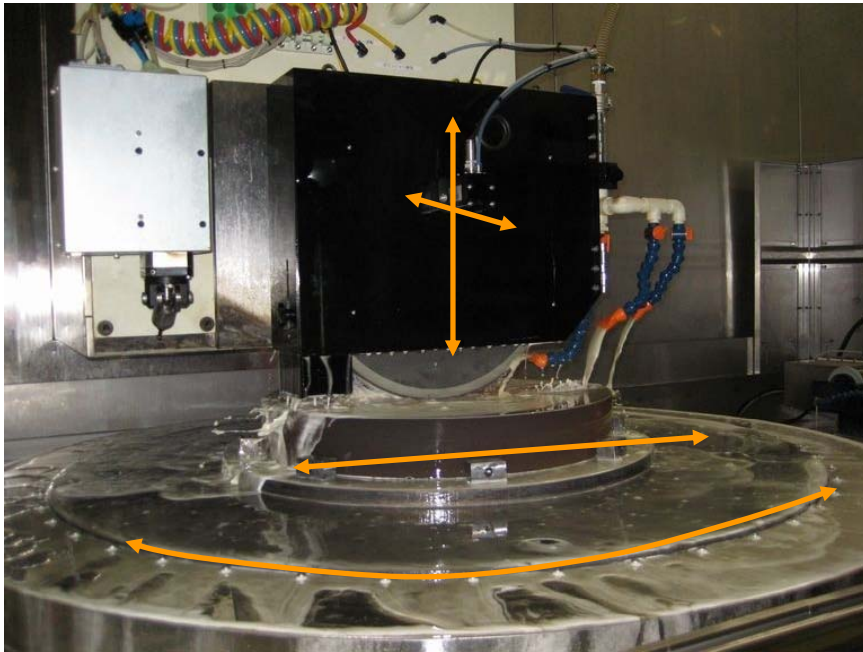
- 研削による形状精度を $10\ \mu\text{m}$ から $< 1\ \mu\text{m}$ とするには以下の4つが必要
 1. 高精度な加工機
 2. 切れ味の良い砥石
 3. 加工機の特性を考慮した加エプログラム
 4. 治具

超精密研削に必要なもの

- 研削による形状精度を $10\ \mu\text{m}$ から $< 1\ \mu\text{m}$ とするには以下の4つが必要
 1. 高精度な加工機
 2. 切れ味の良い砥石
 3. 加工機の特性を考慮した加エプログラム
 4. 治具

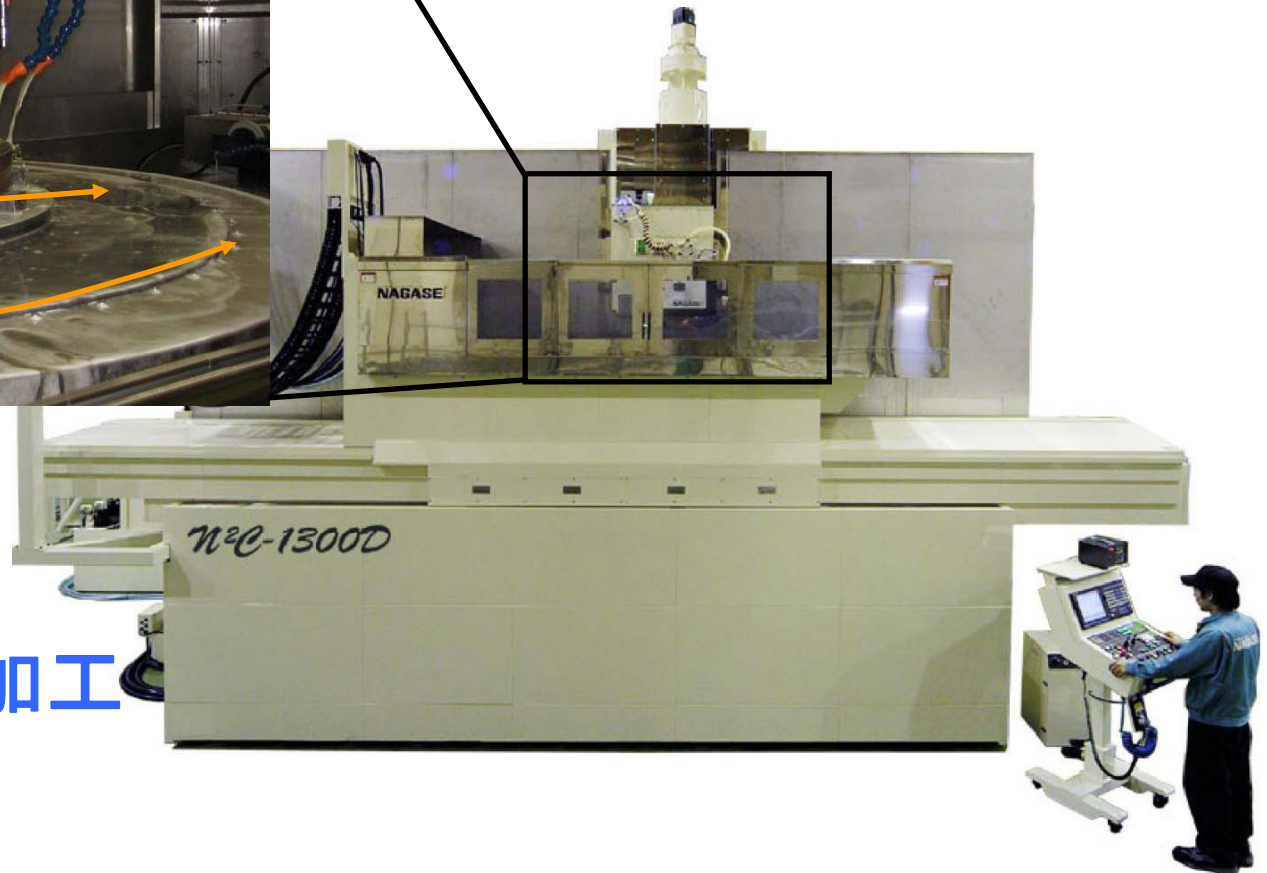
超精密研削加工機

4軸同期制御可能
位置決め精度: 10 nm



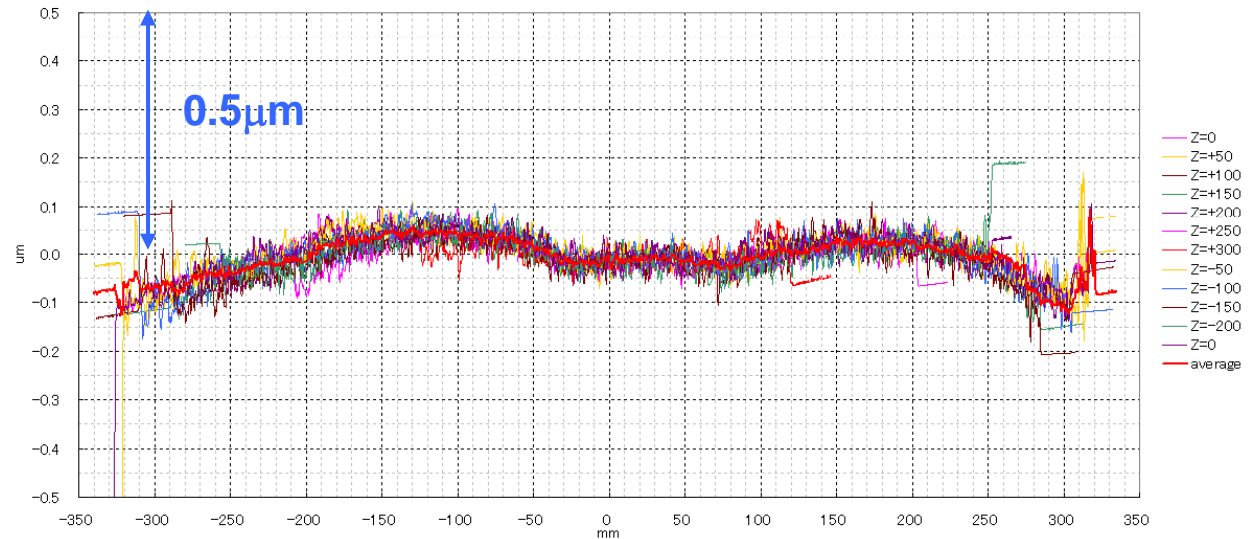
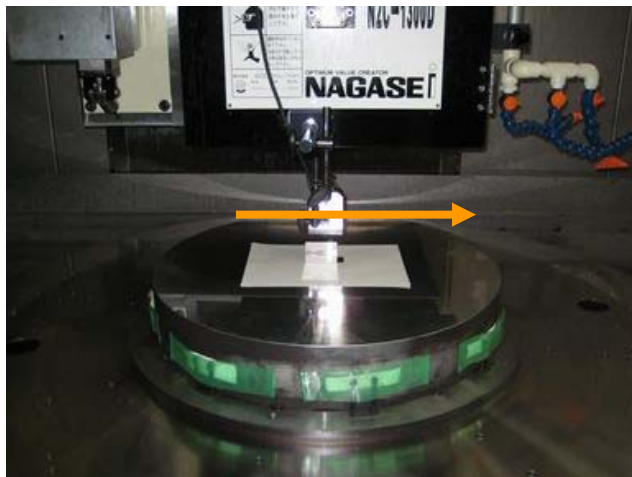
ワークスペース:
 $\phi 1300$ mm

TMTセグメントも加工
できる



左右軸 真直度

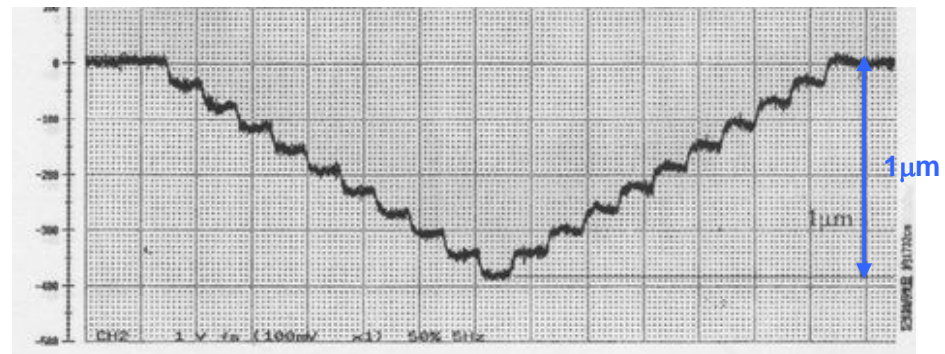
- 砥石軸に取り付けたレーザー変位計 (Keyence LT-9010M) で平面原器 ($\phi 650\text{mm}$) を測定



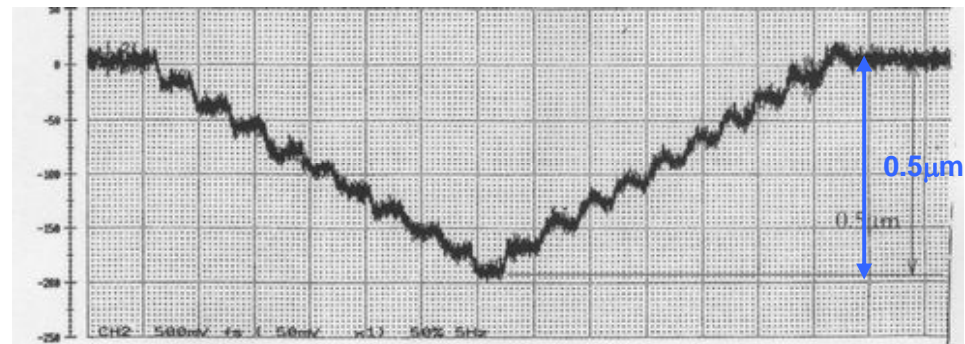
- 真直度 $\sim 0.15\mu\text{m}$ 、再現性 $\sim 50\text{nm}$
- 前後軸・上下軸もほぼ同程度

上下軸 ス置テツプ応答

- 100 nmステップ



- 50 nmステップ

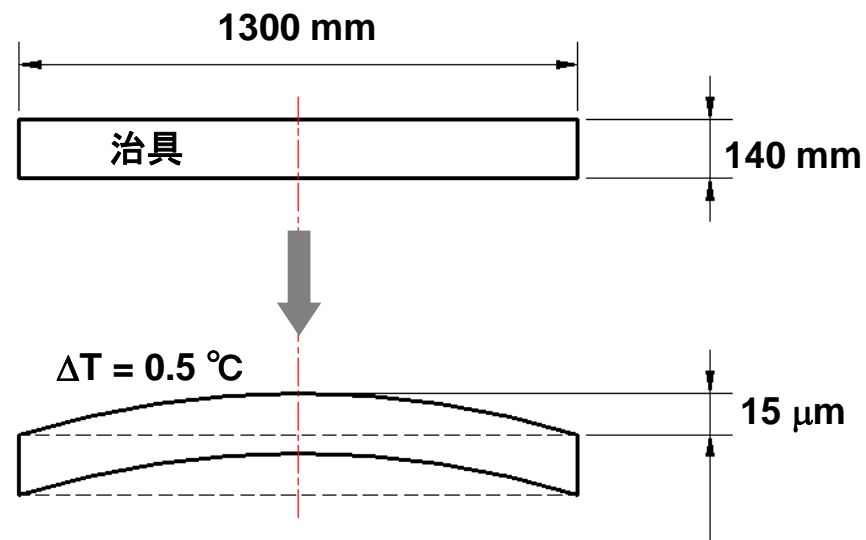


超精密研削に必要なもの

- 研削による形状精度を10 μm から $< 1 \mu\text{m}$ とするには以下の4つが必要
 1. 高精度な加工機
 2. 切れ味の良い砥石
 3. 加工機の特性を考慮した加エプログラム
 4. 治具

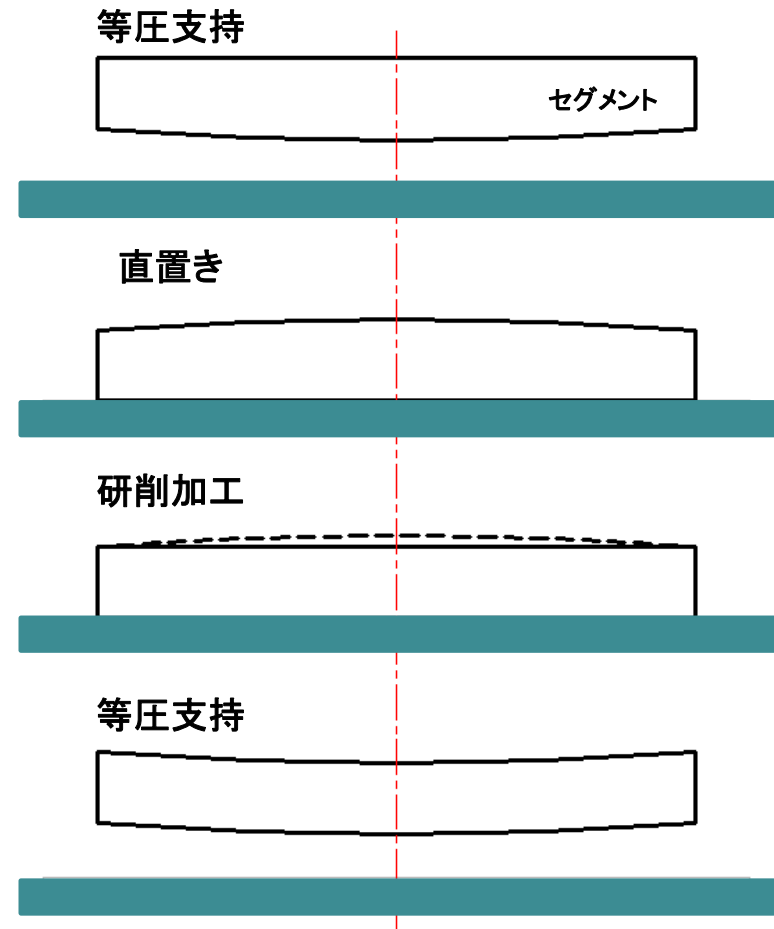
温度環境の変化

- 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



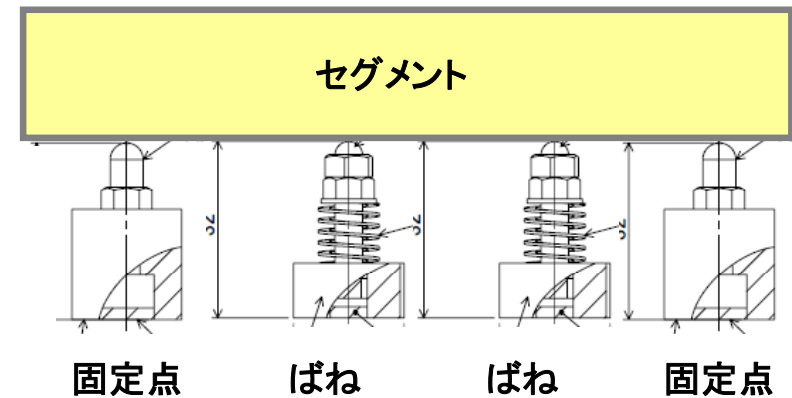
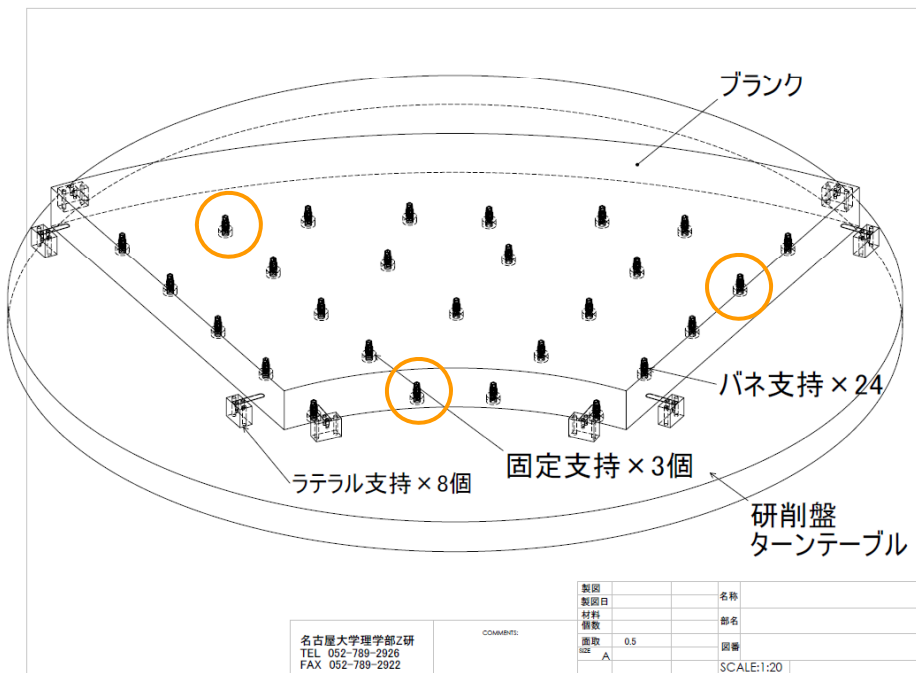
裏面形状の影響

- 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



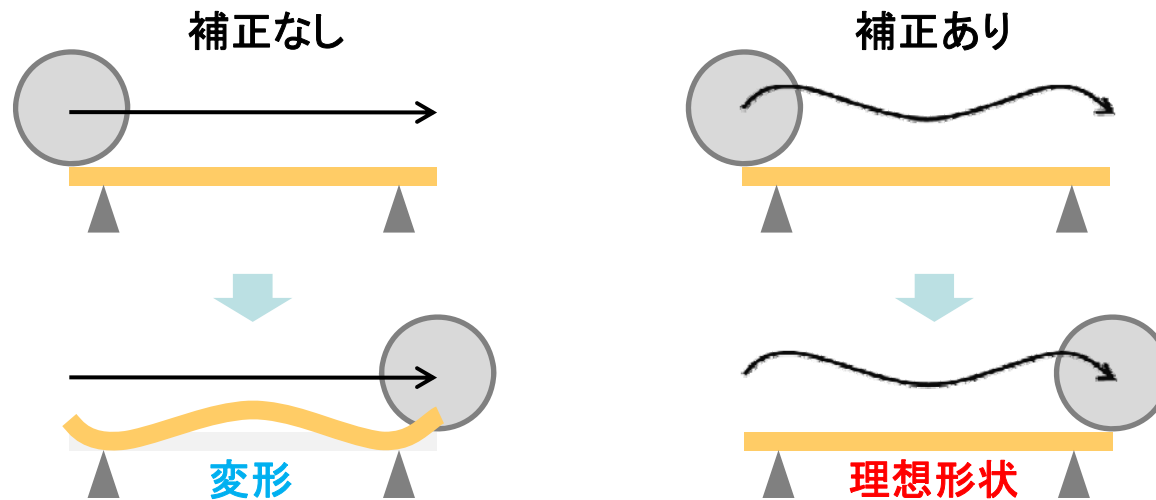
ばね方式治具

- 等圧支持をばねで実現
- 固定点3点+ばね支持24点(27点等荷重)



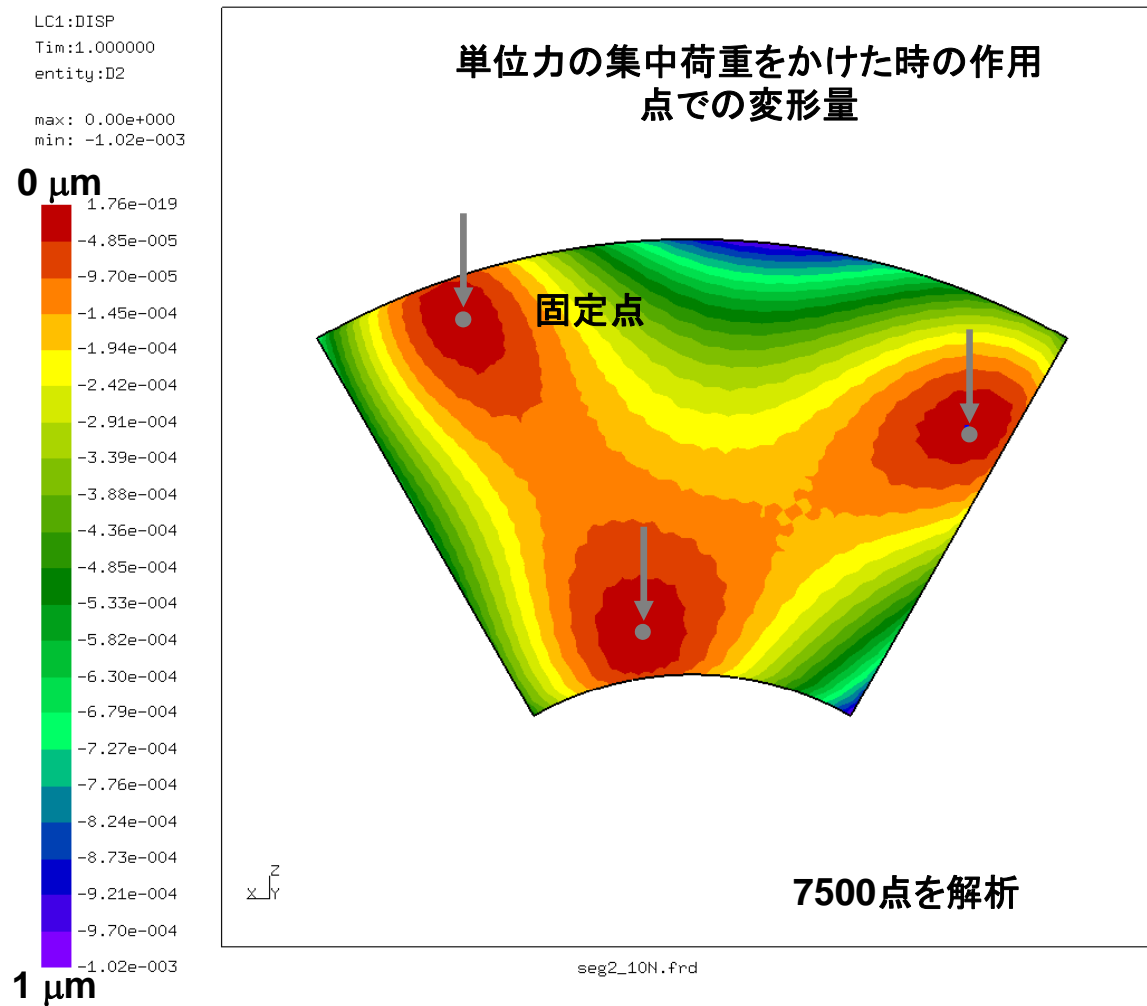
ばね方式治具

- 温度環境変化の影響をほとんど受けない
- 裏面の影響を受けない
- 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



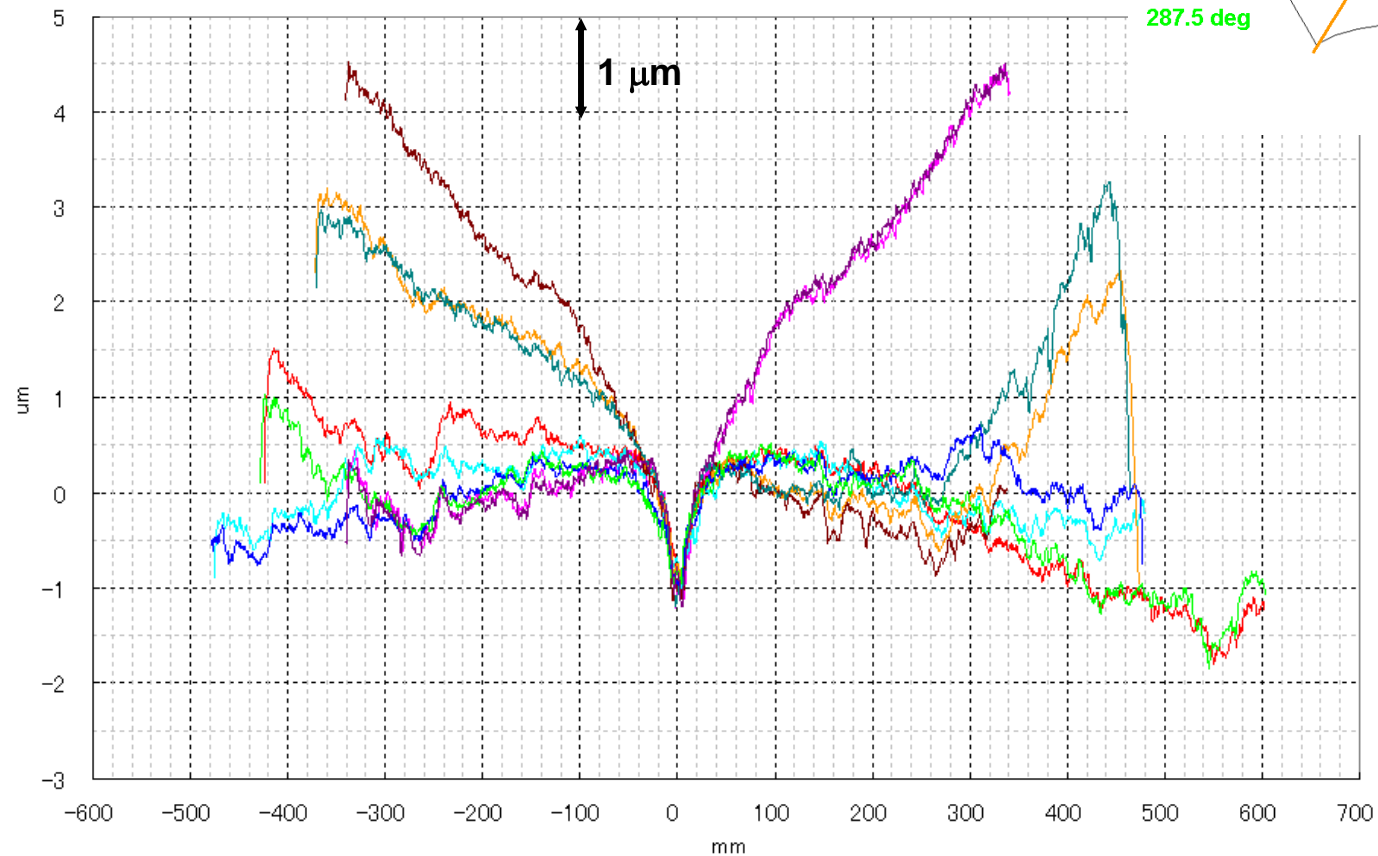
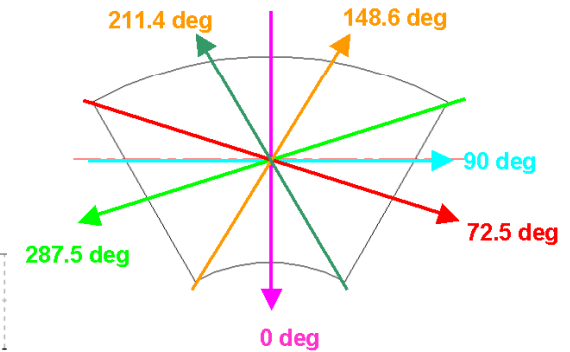
ばね方式治具

- 研削抵抗により変形をシミュレーション



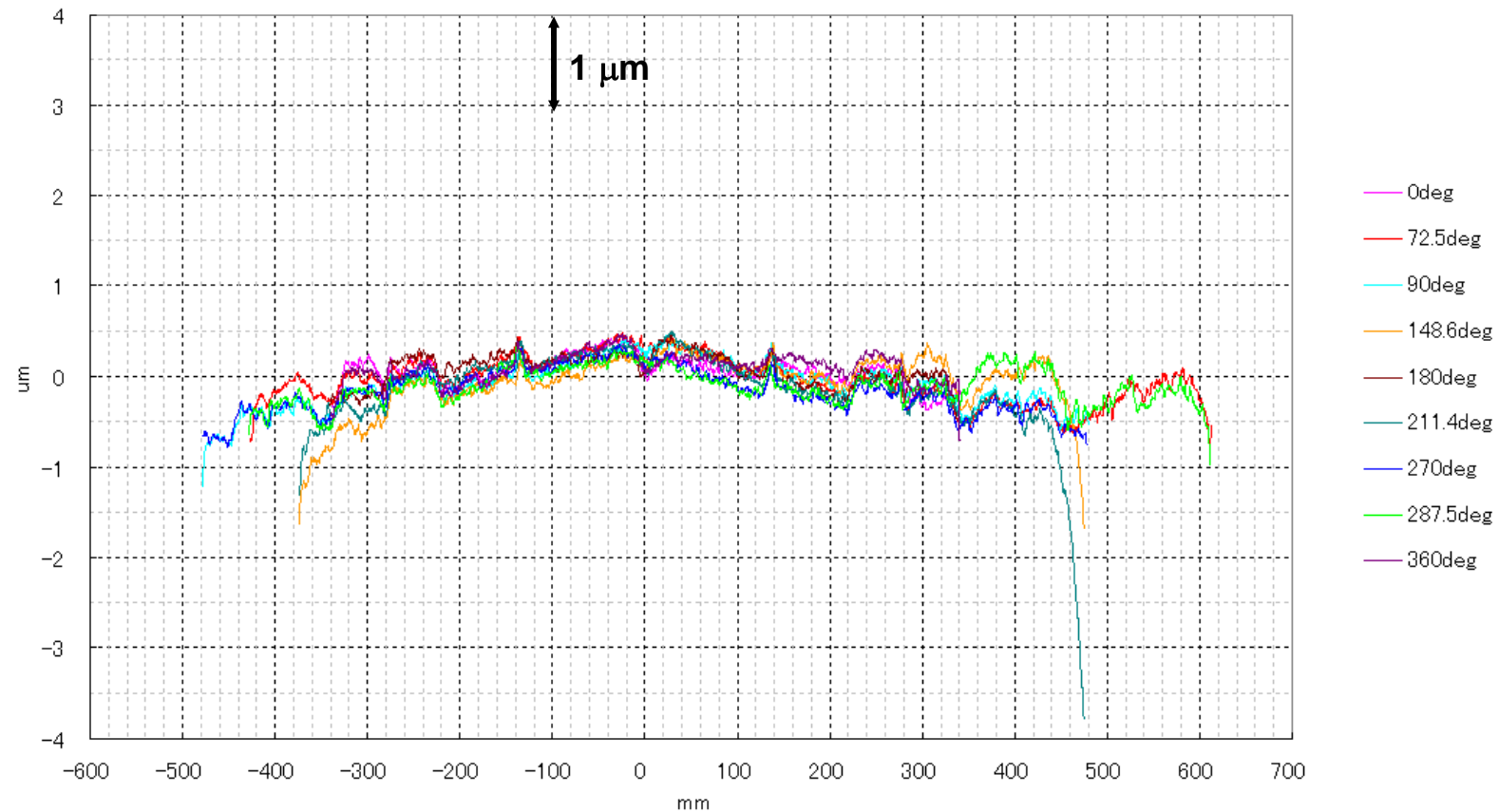
加工変形補正2

- #2,400砥石で補正加工
- 補正前(研削抵抗 = 6 kgf)

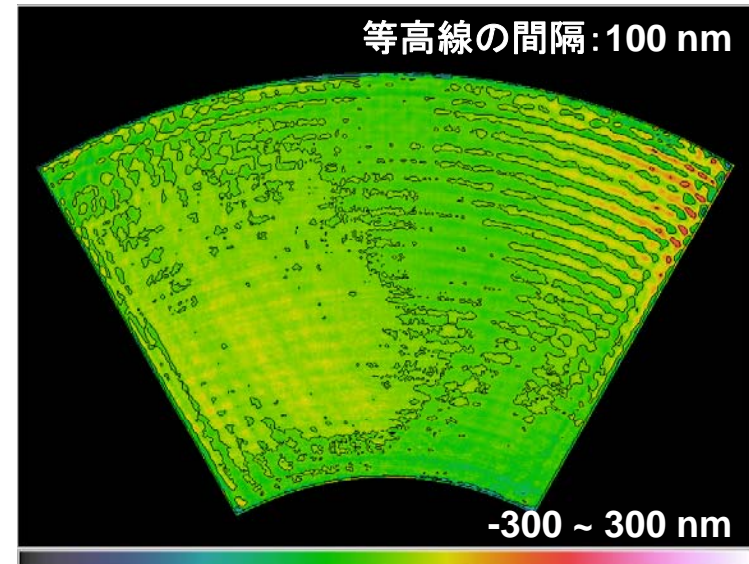
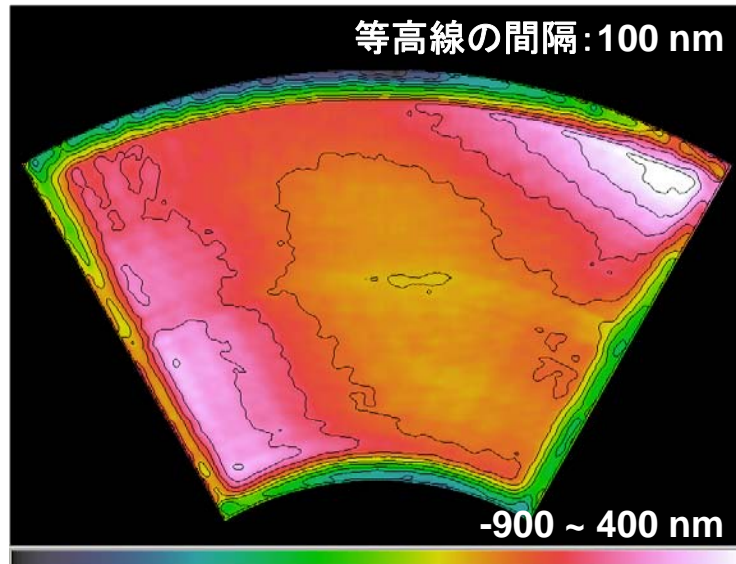


加工変形補正3

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



仕上げ研磨

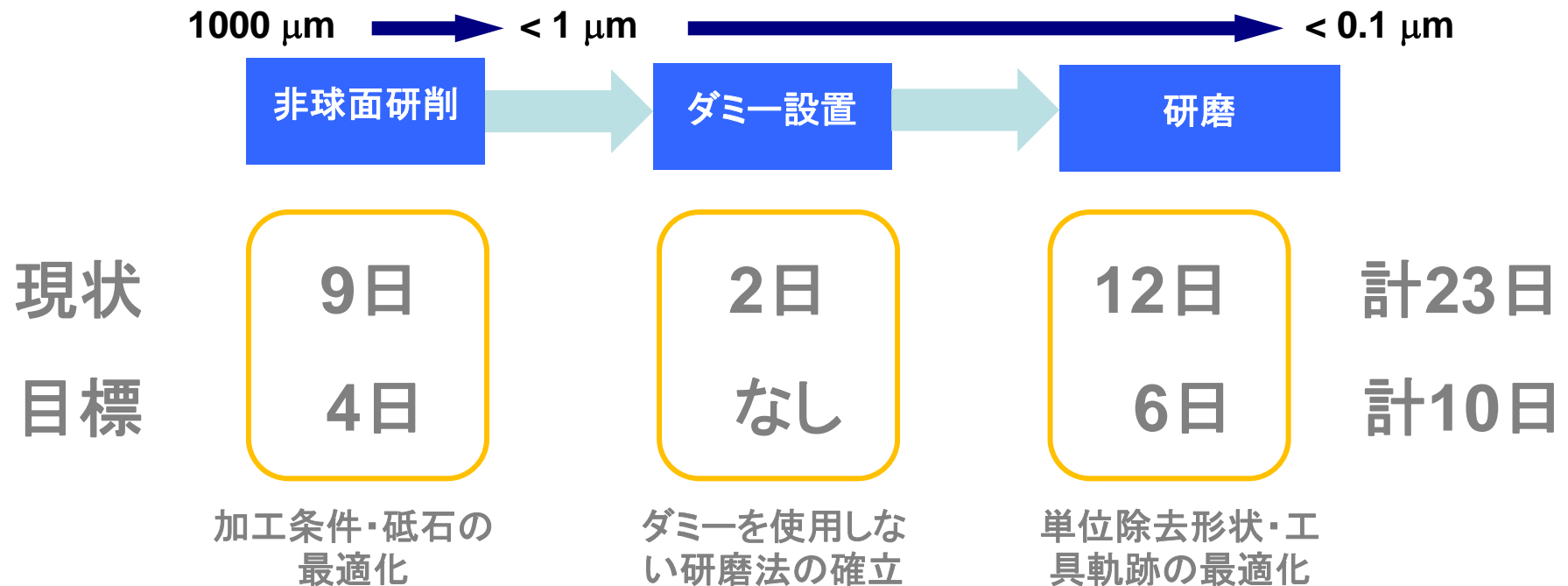
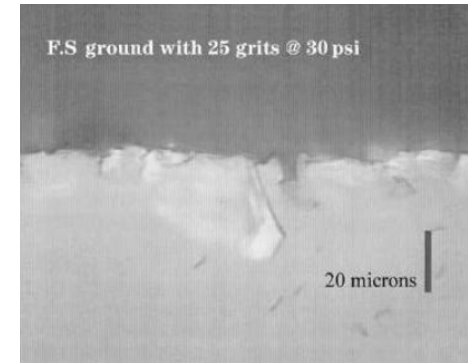


- 大部分の領域は形状誤差 < 100 nm p-v
- 工具径と同程度のスケールのリップル ~ 200 nm p-v

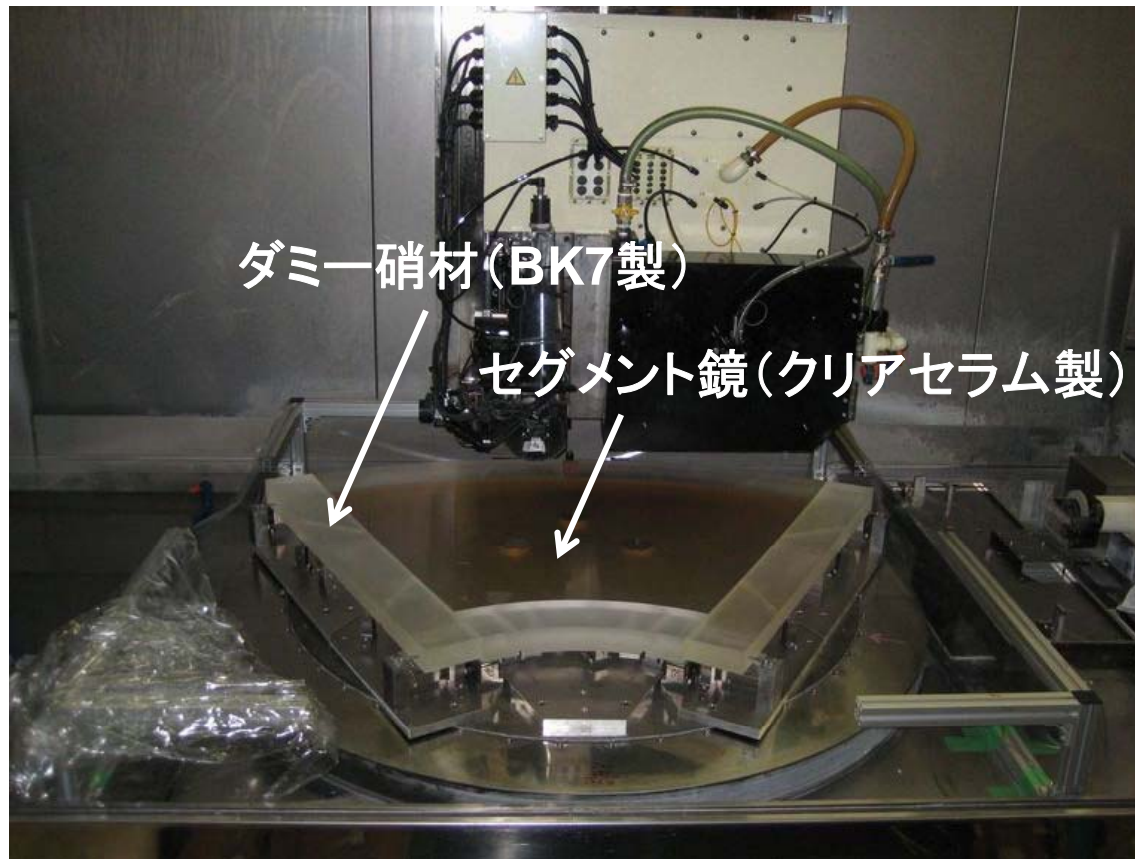
Backup Slides

目標と今後の課題

- 製作日数を23日から10日に短縮
- SSDの評価、縁だれ・縁上がりの対策



ダミー硝材を使用した研磨



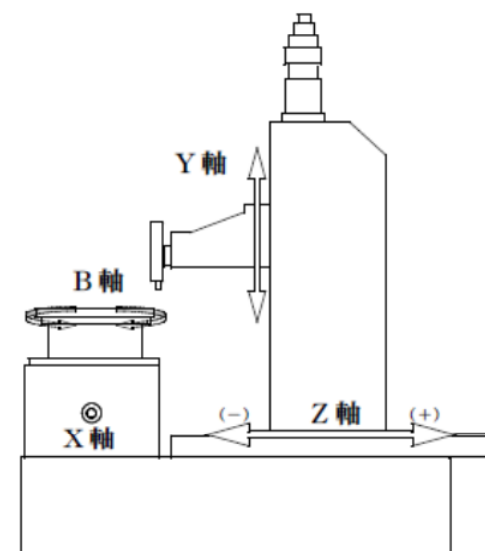
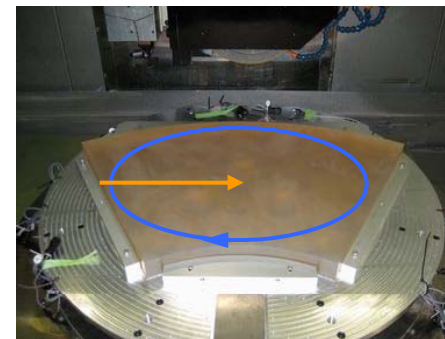
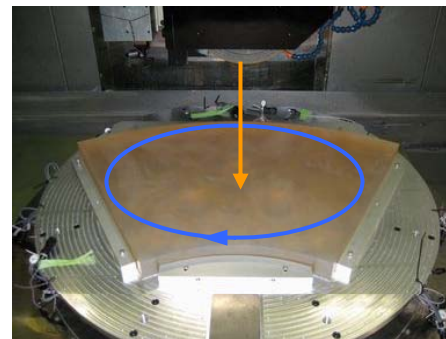
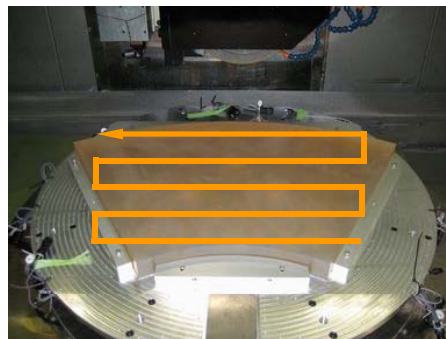
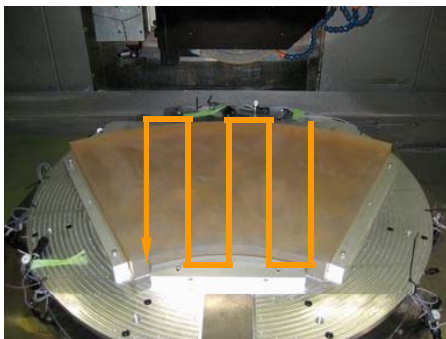
- 段差: $5 \sim 8 \mu\text{m}$
(ダミーが低い)
- 隙間: $\sim 0.5 \text{ mm}$
- 支持剛性: $0.3 \mu\text{m/kgf}$

超精密研削に必要なもの

- 研削による形状精度を $10\ \mu\text{m}$ から $< 1\ \mu\text{m}$ とするには以下の4つが必要
 1. 高精度な加工機
 2. 切れ味の良い砥石
 3. 加工機の特性を考慮した加エプログラム
 4. 治具

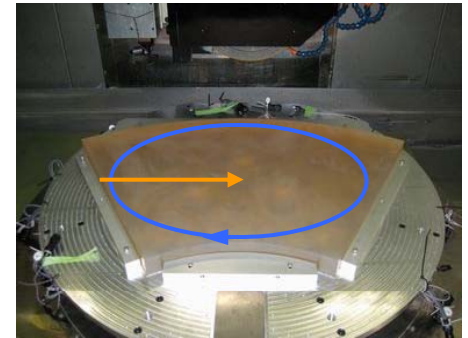
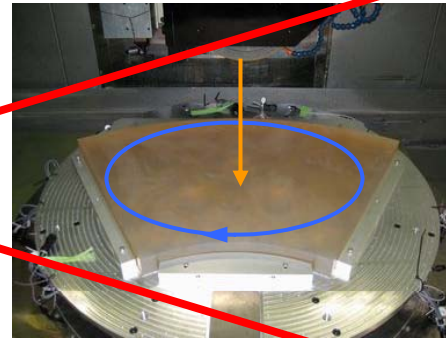
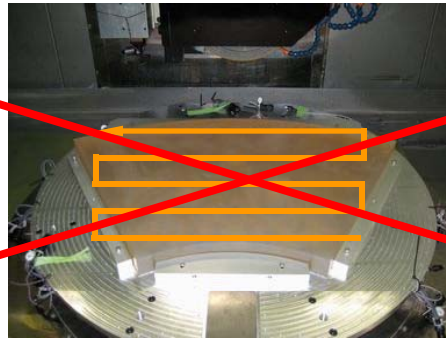
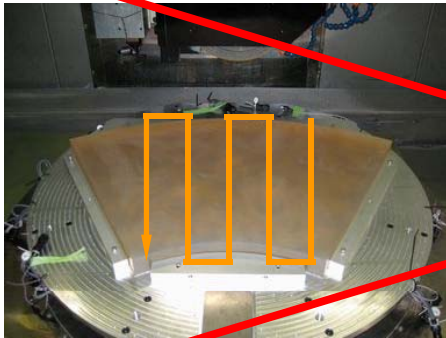
砥石の軌跡

- 4つの軌跡が考えられる

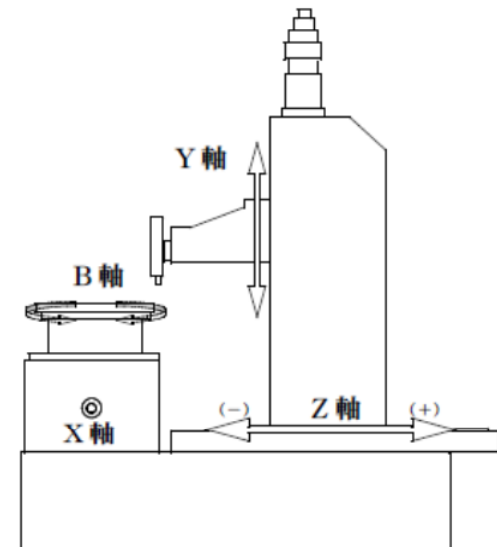


砥石の軌跡

- 4つの軌跡が考えられる



- 不安定な前後軸を使用しない
左右送りロータリー研削を採用



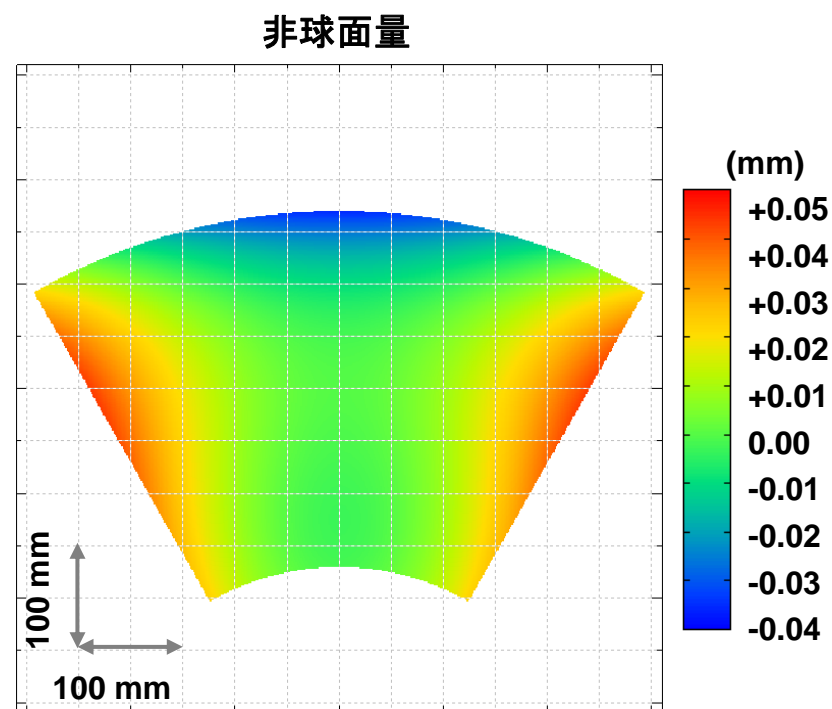
砥石の軌跡

- 渦巻き方式

- 加工半径を徐々に小さくする
- 左右軸を単調減少
- 1回転で上下軸を微動

- 等高線方式

- 加工高さを徐々に低くする
- 上下軸を単調減少
- 1回転で左右軸を微動



砥石の軌跡

- 渦巻き方式
 - 1回転で上下軸を微動
- 等高線方式
 - 1回転で左右軸を微動

