

P2-253:DOEを用いた月面天測望遠鏡の開発及びDOE試作状況

○鹿島伸悟¹⁾、荒木博志¹⁾、鶴田誠逸¹⁾、花田英夫¹⁾、安田進²⁾、宇都宮真²⁾、鈴木浩文³⁾

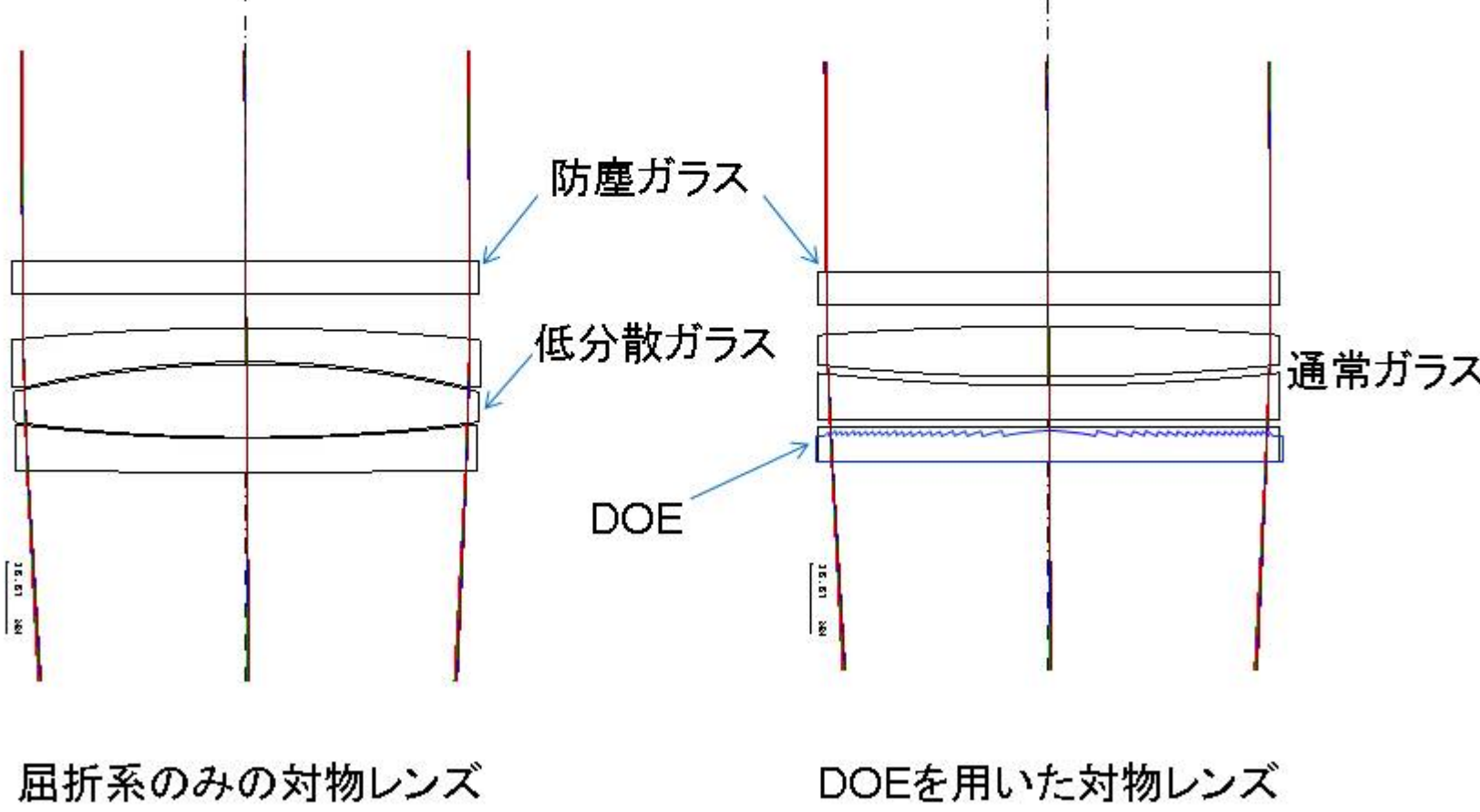
1:国立天文台 RISE月惑星探査検討室 2:JAXA 3:中部大工学部

背景

- 次期SELENE計画の一環として、月面に写真天頂筒方式の天測望遠鏡(ILOM)を設置することを考えている
- これにより月の微妙な振動や変動を高精度に測定・解析し、月の内部構造やその起源を明らかにすることが目的である
- このため、ILOMは月面という過酷な環境で、星像位置決定精度1masという高精度を実現する必要がある
- このためにキーとなる要素技術は以下の三つである
 - 高度に色収差が補正され且つ温度変化に強い屈折光学系⇒温度変化に弱いガラスの代わりにDOEを用いて色収差を補正
 - 微妙な傾斜を自動補償するための光学的に高精度な水銀面⇒振動等の影響に強い新規水銀皿の開発(鶴田氏ポスターP2-254参照)
 - 望遠鏡光軸をCCD側に折り曲げるスパイダプリズム⇒温度変化で折り曲げ方向のずれない構造・材質の適用

対物レンズ比較

屈折系のみでは色収差を良好に補正するため、下記の低分散ガラスが必須だが、このガラスのdn/dtが大きく、環境温度変化に弱くなる

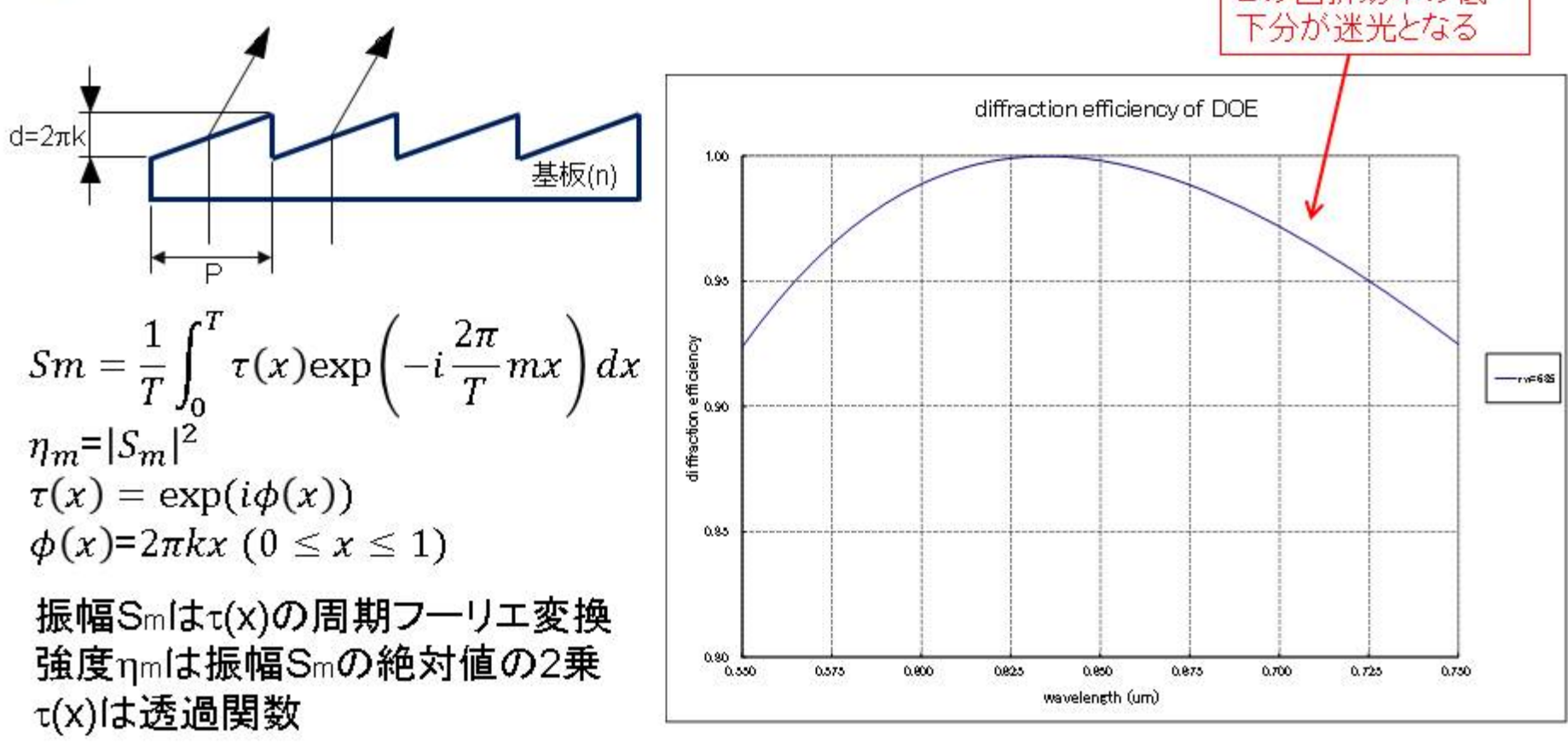


DOEの特徴

- 通常のレンズは「屈折」で光線を曲げるが、DOE (Diffractive Optical Element = 回折光学素子)は、その名の通り「回折」で光を曲げる
- 屈折と回折は色分散が逆であるため、色収差の発生方向が逆になる
- そのため、屈折レンズとDOEを組み合わせることにより、非常に強力な色収差補正が可能となる
- DOEの基板は比較的自由に選べるため、目的に応じて適切な材料を用いることができる(今回は石英を選択)
- ピッチ(溝間隔)を制御することにより、変曲点があっても良い自由な非球面レンズとしての効果もある
- ただ、回折効率の波長や形状への依存性が問題である
- 製造も難しいが、中部大鈴木研の協力の下、試作中である

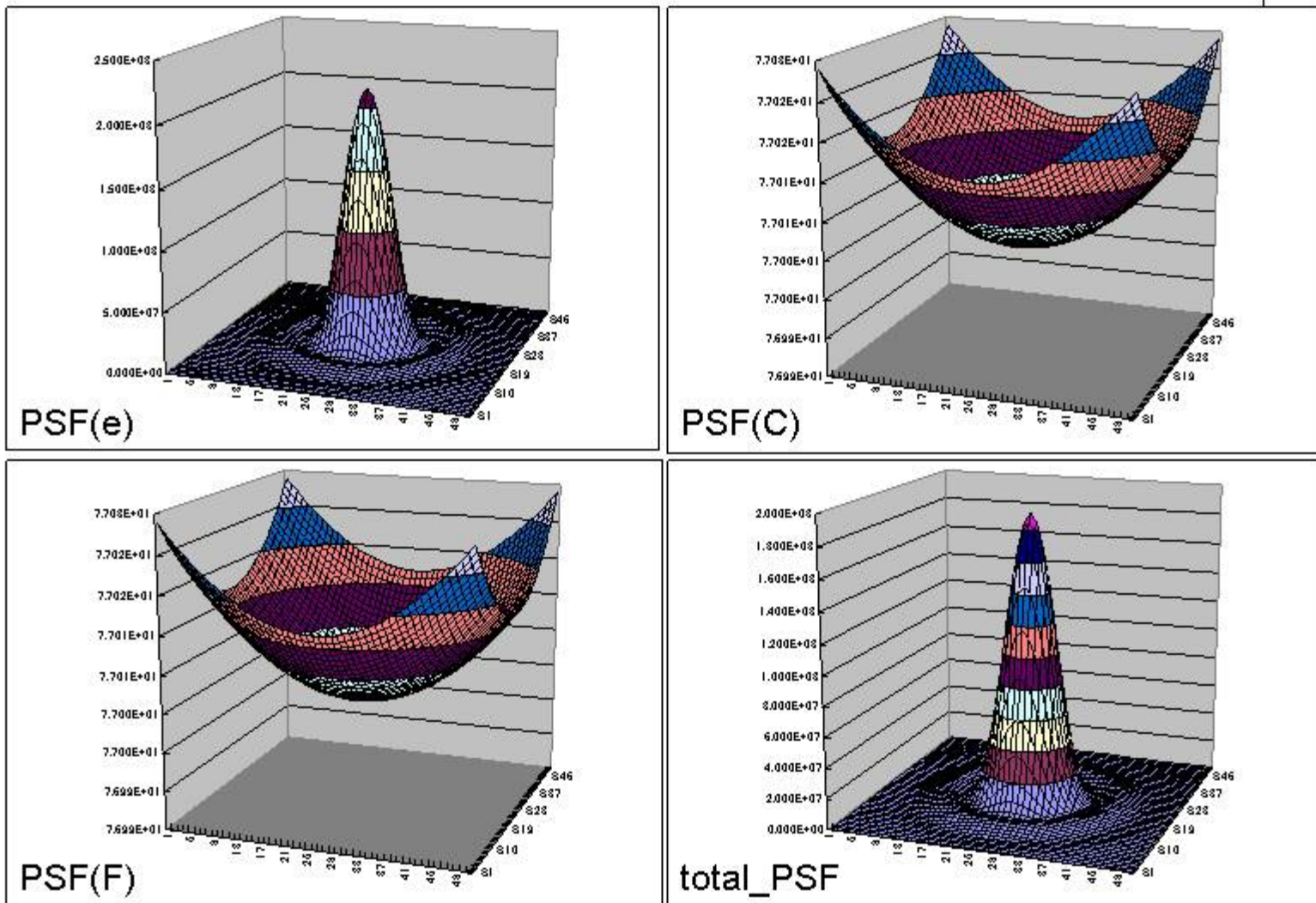
DOEの回折効率

- 波長に比べてピッチが十分に広い場合は薄型近似としてスカラー理論で十分高精度に計算可能
- 一般にはピッチ>10λであれば良いと言われている

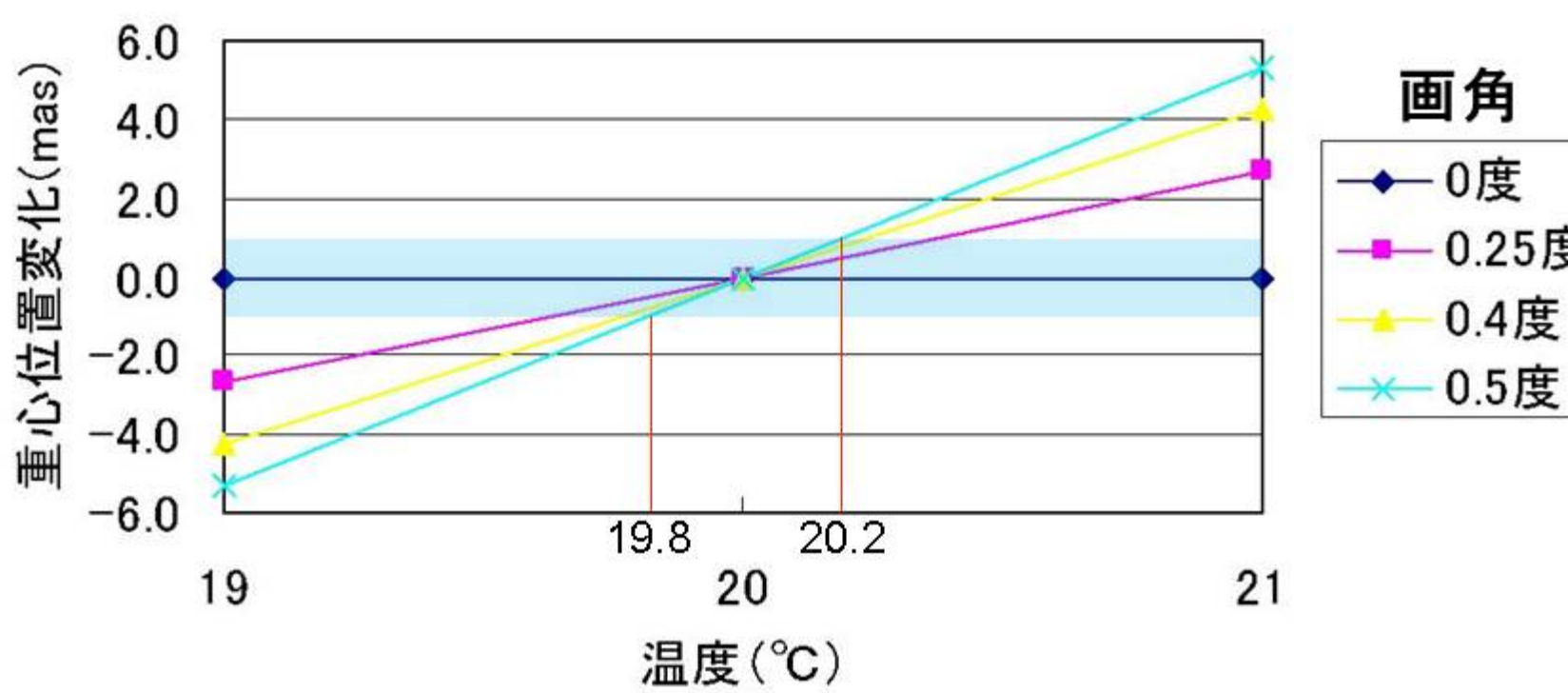


不要次数光考慮PSF

基準波長(e)のPSFに、その他の波長(C,F)の不要次数光による迷光が重畳したものがTotal_PSFとなるが、下記のように殆ど影響しない

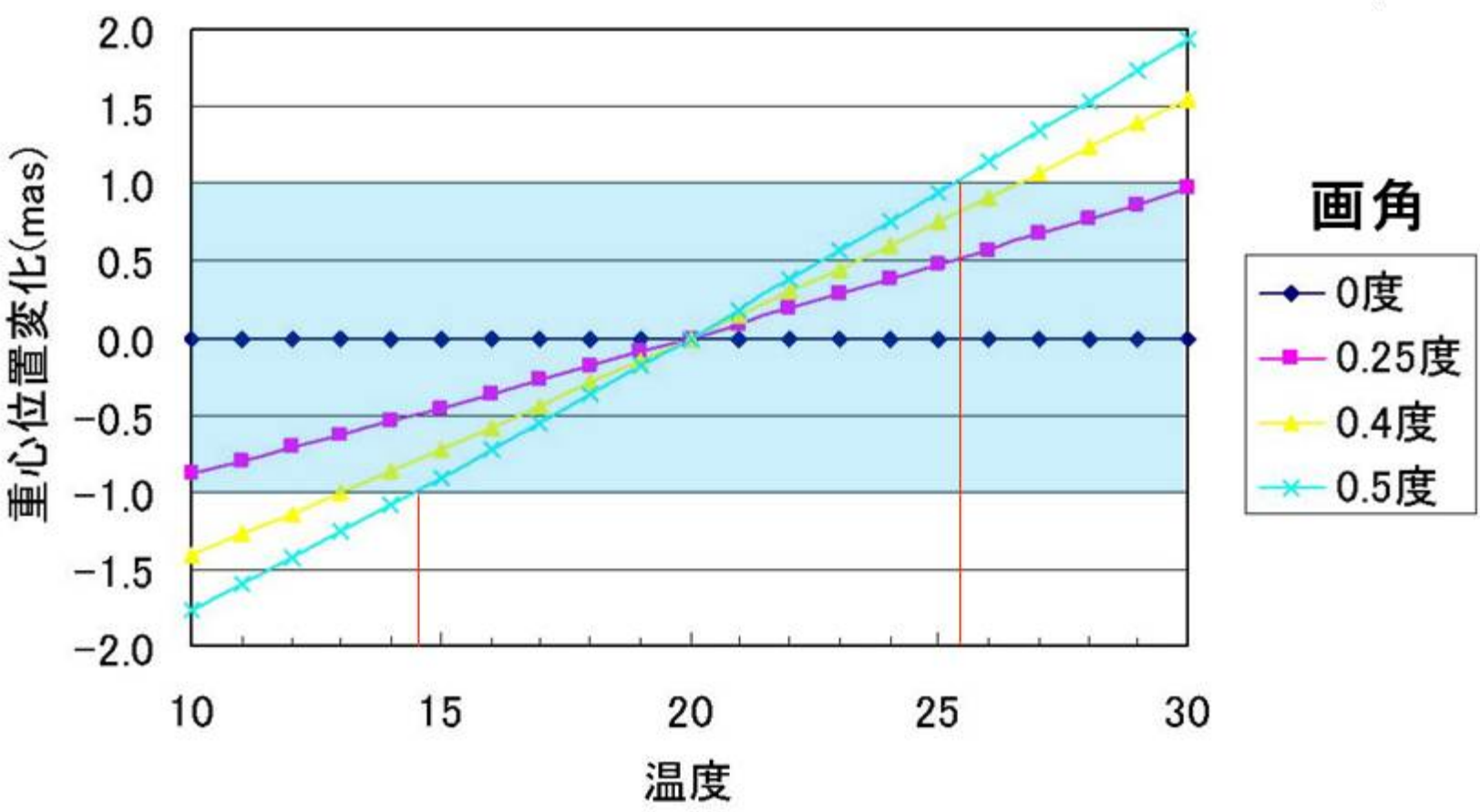


温度変化と星像中心位置の変化 従来の屈折系の対物レンズの場合



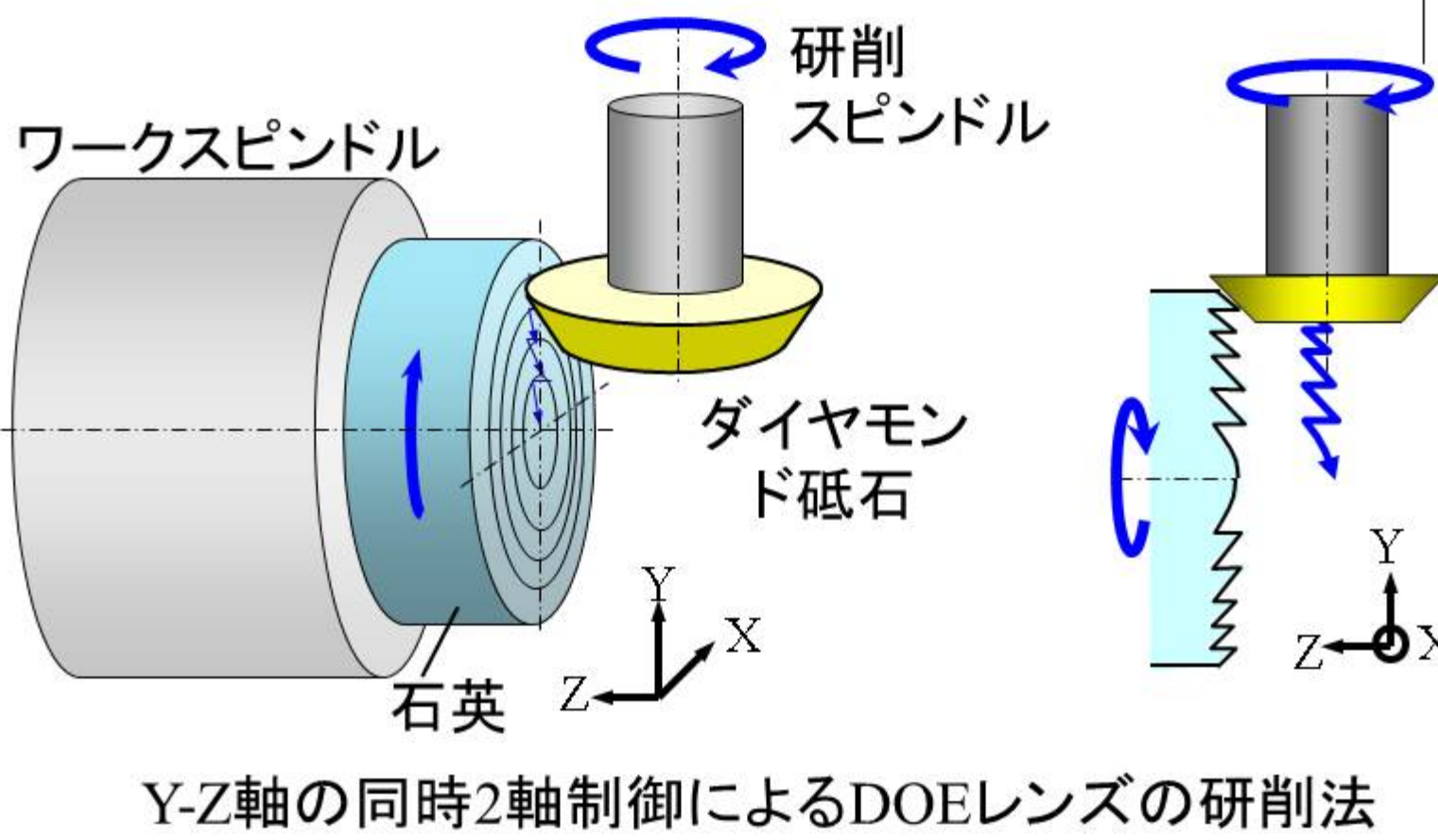
1masの精度に対する温度変化の許容範囲は約±0.2℃

温度変化と星像中心位置の変化 DOEを用いた対物レンズの場合



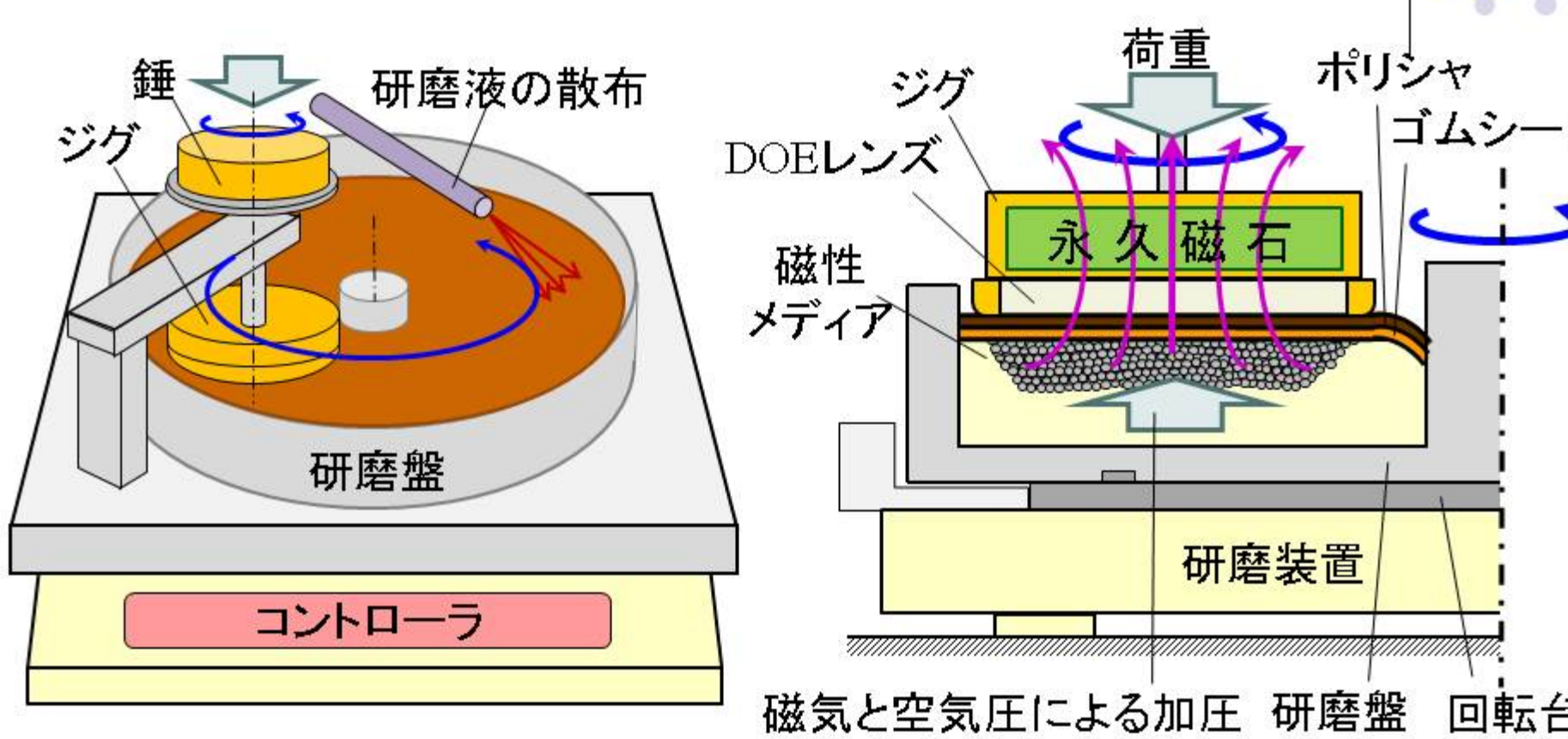
1masの精度に対する温度変化の許容範囲は約±5℃に拡大！

DOE試作:中部大での研削プロセス



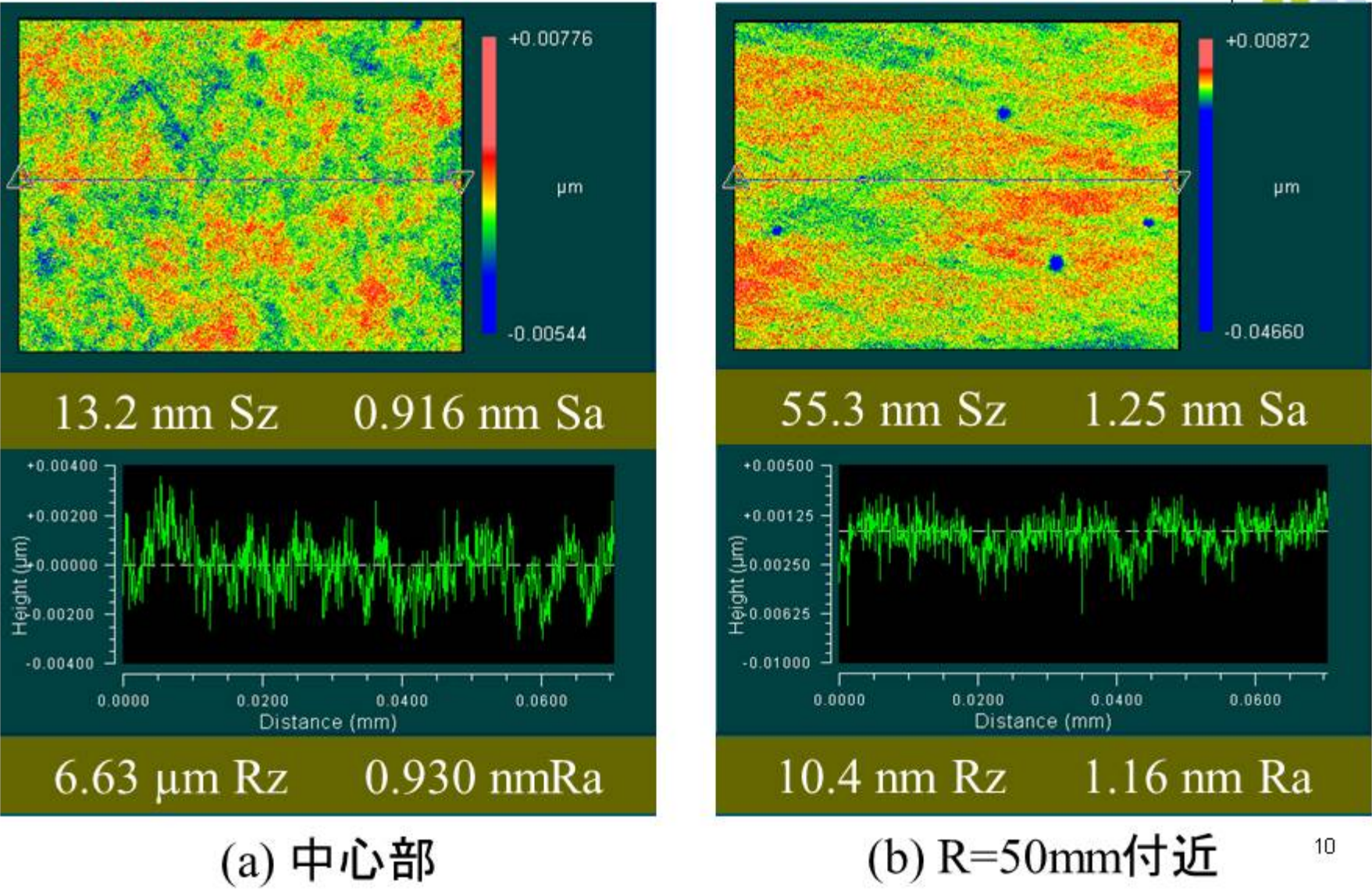
工具切れ刃先端の鋭さが形状精度を向上させる上で重要

中部大での均等研磨プロセス

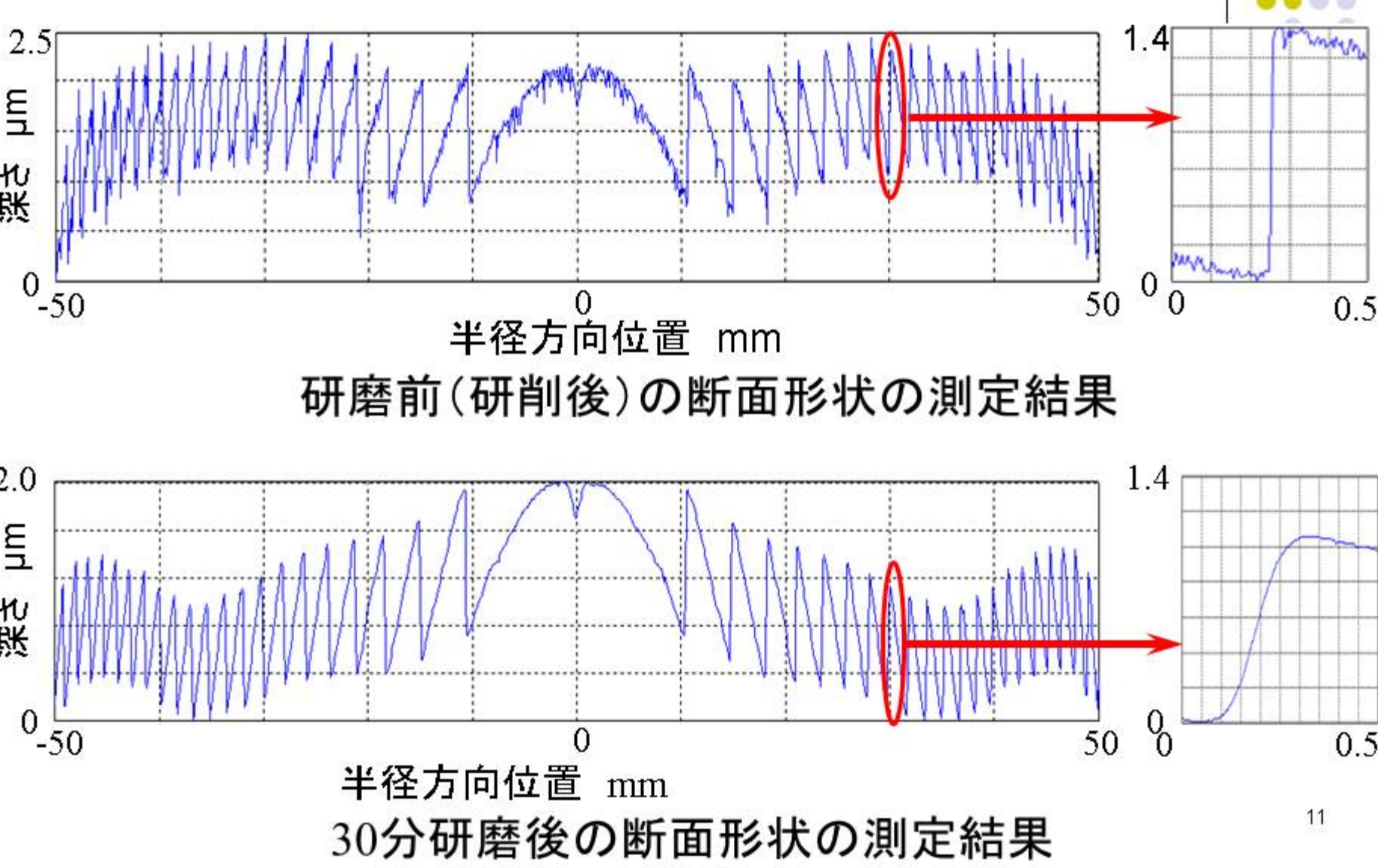


一定の研磨圧を保つことが形状精度を維持する上で重要

研磨後の表面粗さの測定結果



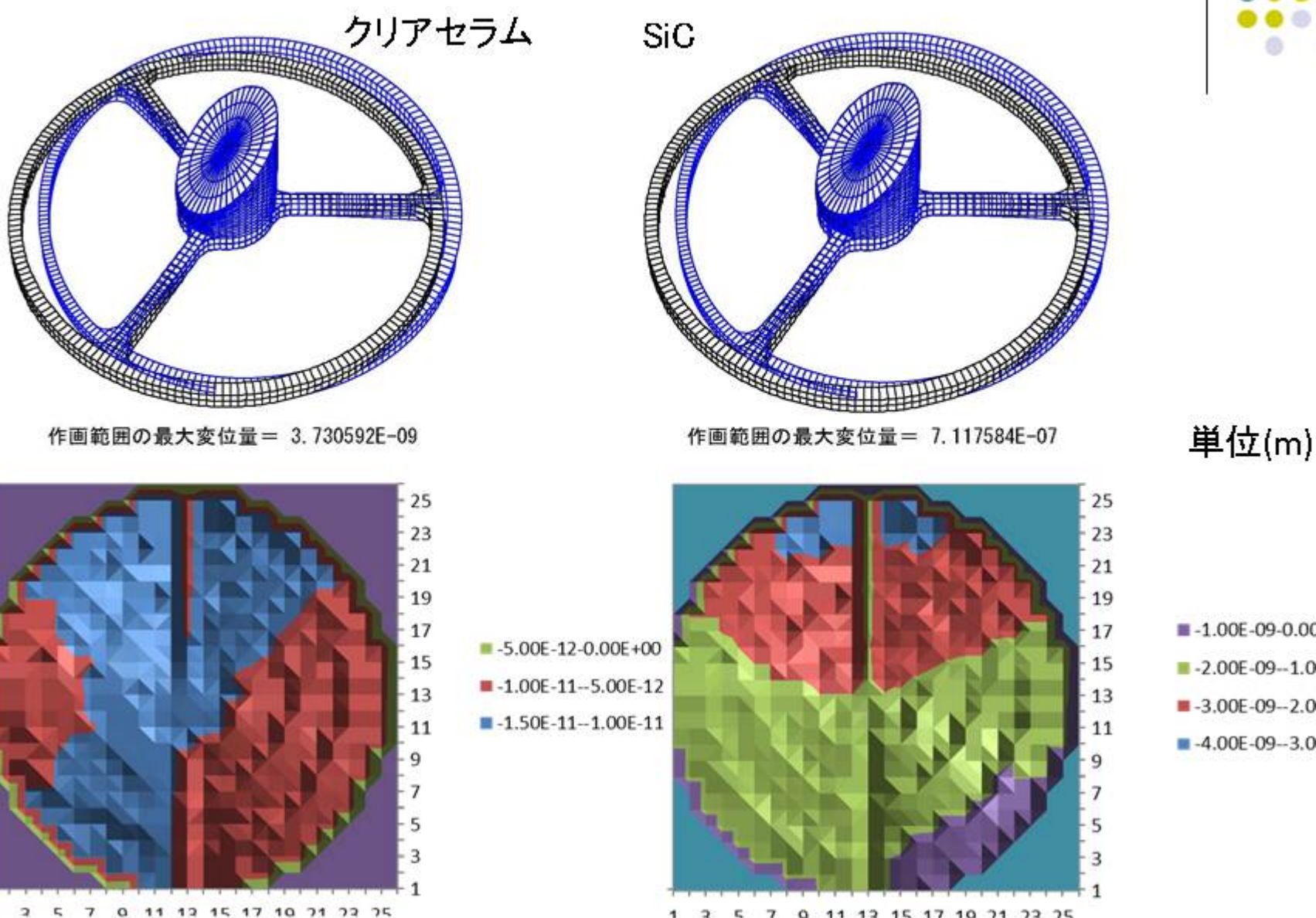
加工後の断面形状の測定結果



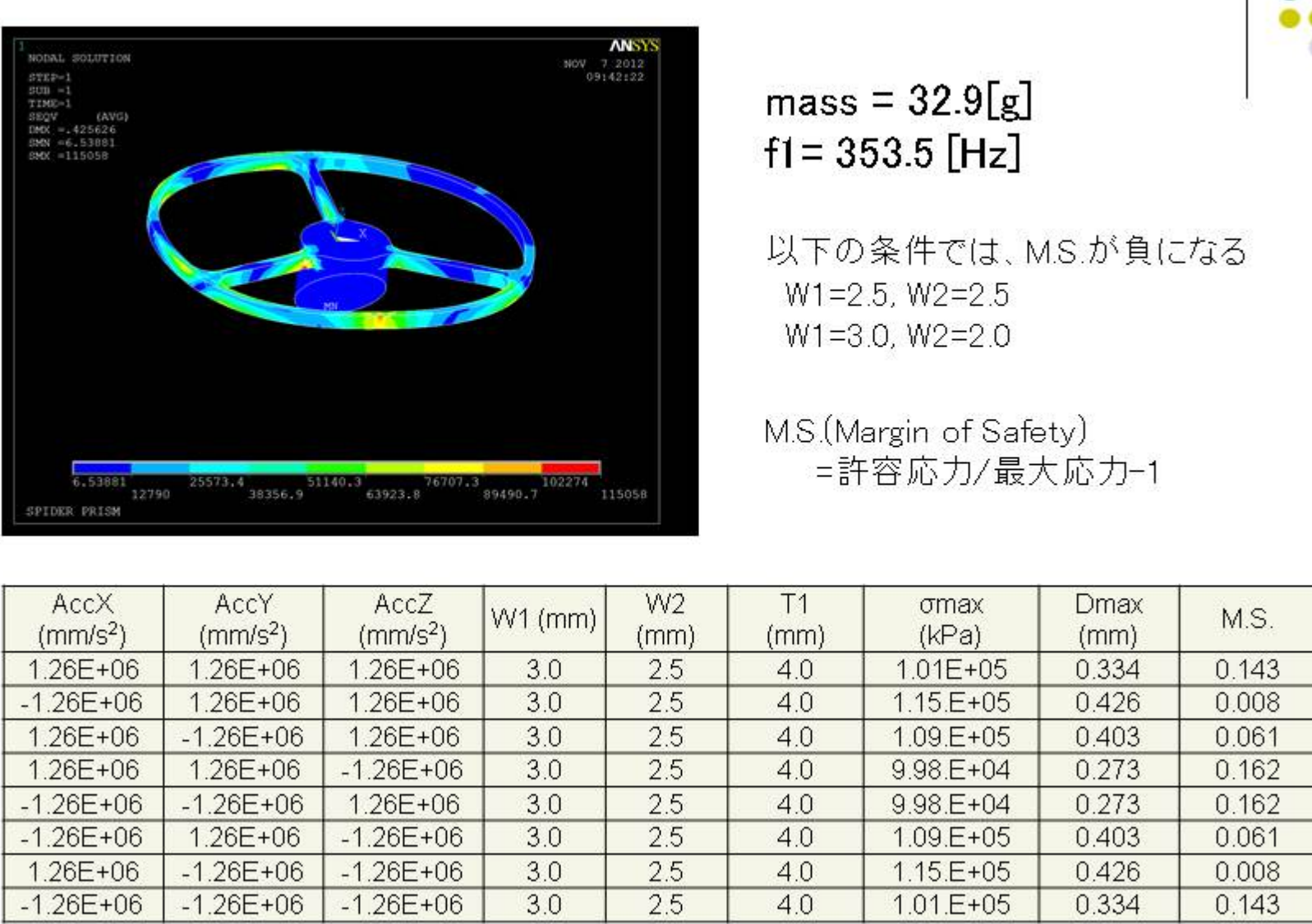
スパイダプリズムの検討

- ILOMは鶴田氏ポスター(P2-254)にあるように、水銀面で反射させて微小な傾斜を補償するPZT(写真天頂筒)の構成をとるため、反射望遠鏡の副鏡によく見られる構造で反射プリズムを支える必要がある
- この際問題となるのが以下の二つである
 - 温度勾配に伴う反射面の角度変化: 像ズレ<1masが必要
 - スパイダ部の強度: 光学的には「遮蔽」となるためできるだけ細くしたいが、打ち上げ時のGに耐える必要がある
- これらに関しては有限要素法を使って解析中である
- これまでは同じ材質で形成することばかり考えていたが、線膨張係数をゼロ以下にもできるCFRPとクリアセラムを組み合わせるという案も出ており、現在検討中である

材質による変形量の差違(by花田)



スパイダ部の強度解析(by安田)



まとめと今後の予定

- 屈折レンズだけでは性能(特に色収差)と環境温度変化許容量を共に満たすことはできないが、DOEを用いることにより、性能を満足しつつ実現可能な環境温度許容量とすることができた
- DOEの欠点である「不要次数光」に関しても、星像の位置検出には影響しないことを明らかにした
- 製造が非常に困難なDOEに関しては、光学素子の精密加工の権威である中部大工学部の鈴木研に協力して頂くことで、形状・面荒さ共に十分実用になるものが試作でき、難関をクリアできた
- スパイダプリズムの関しても、ほぼ製造の目処が立ってきた
- DOEと組み合わせる屈折レンズや鏡筒等を試作し、「望遠鏡としての光学性能」を評価することが来期の目標である

DOE試作品を持って来ていますので、ご興味のある方は鹿島に声をかけ下さい！

2014/1/9-10 第14回宇宙科学シンポジウム