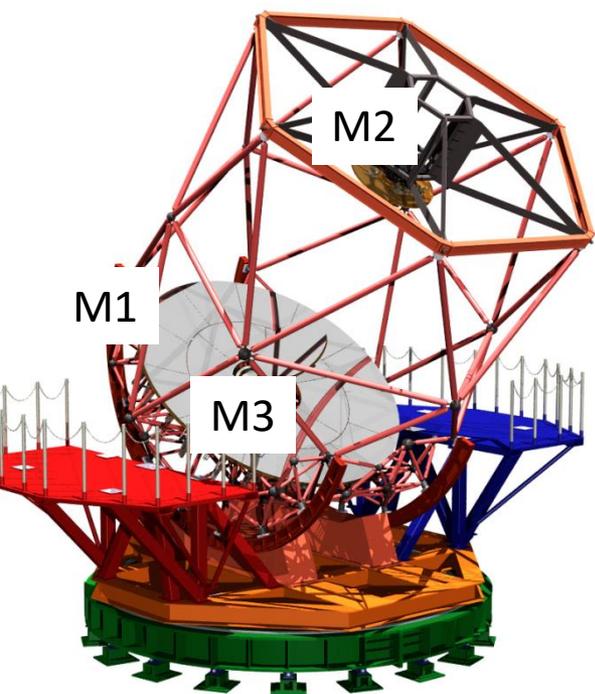




安全注意

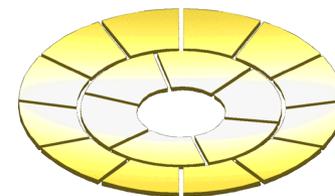
旋回注意

# 鏡加工



	形状	曲率半径	大きさ	枚数
主鏡	軸外し非球面	凹面 5000mm	~1m	6/12
副鏡	非球面	凸面 -1667mm	~1m	1
第三鏡	平面	平面	~1m	1

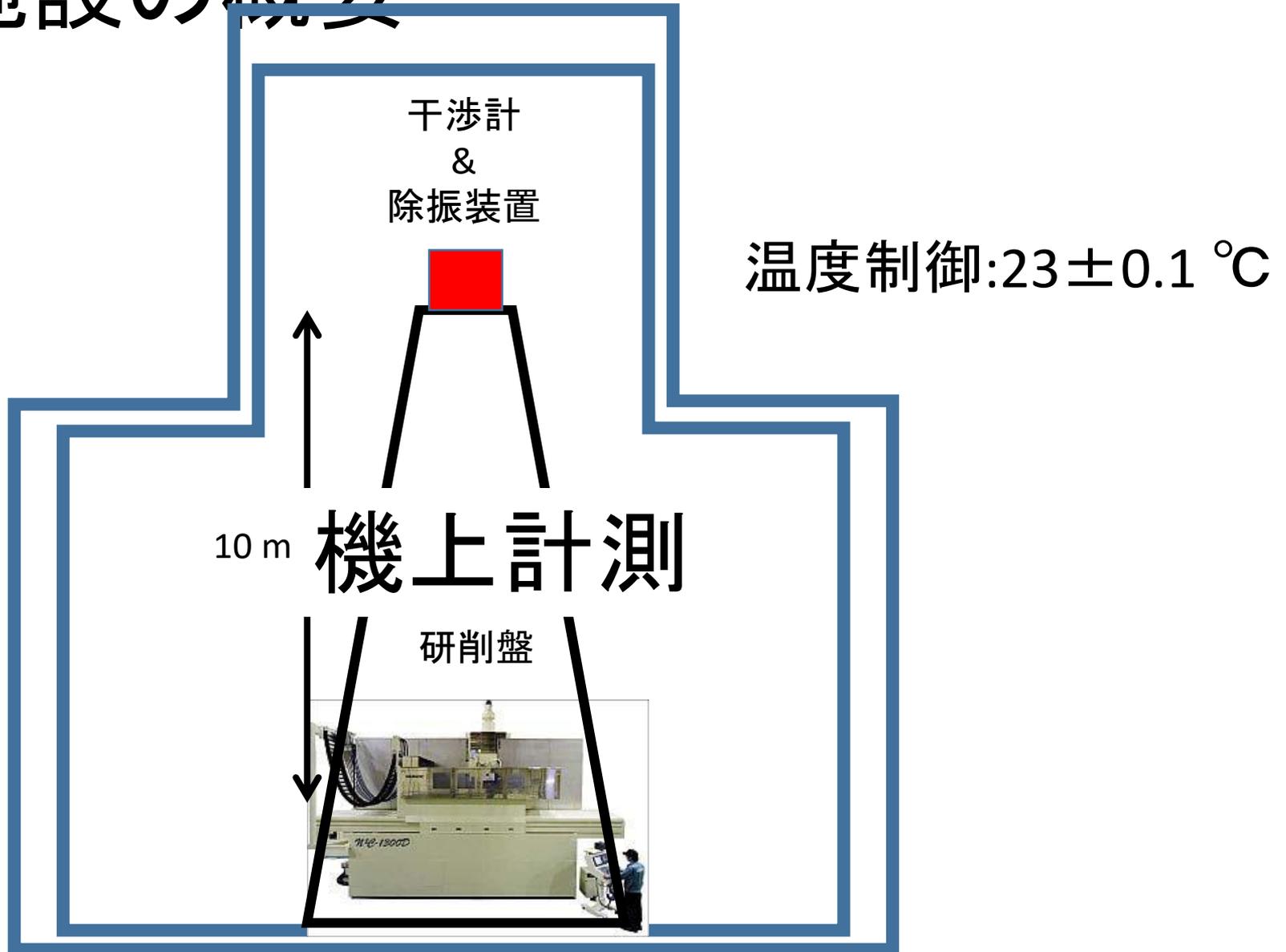
面精度:  $\lambda/20 \approx 30 \text{ nm}$



## 問題

このような加工と計測  
技術は国内にない

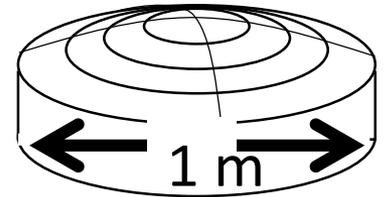
# 施設の概要



# 計測(3点法)

- 要求仕様

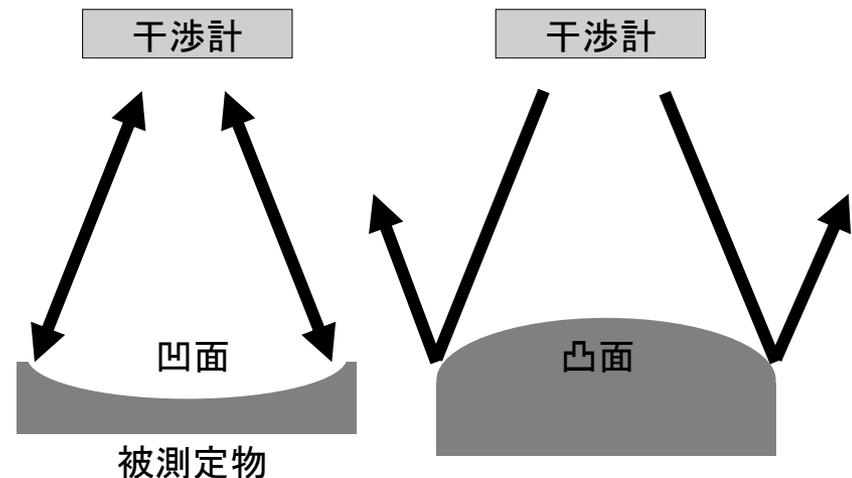
- 形 : 凸面と平面
  - 大きさ : ~1 m
- 干渉計が不得意な形状



自由曲面を計測できる測定器が必要

## 問題

干渉計では副鏡の計測が困難

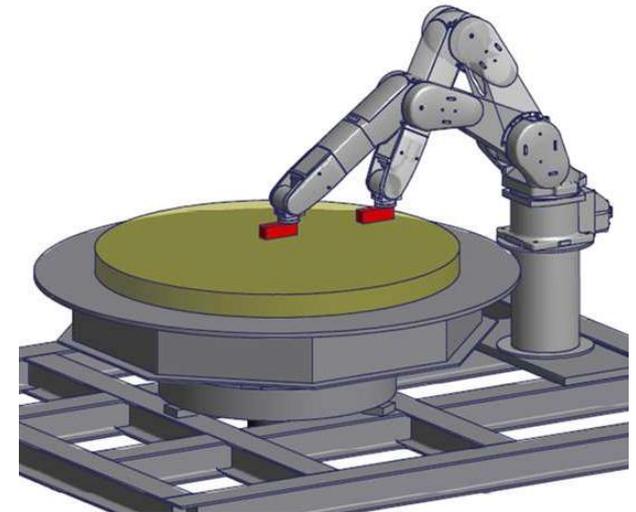
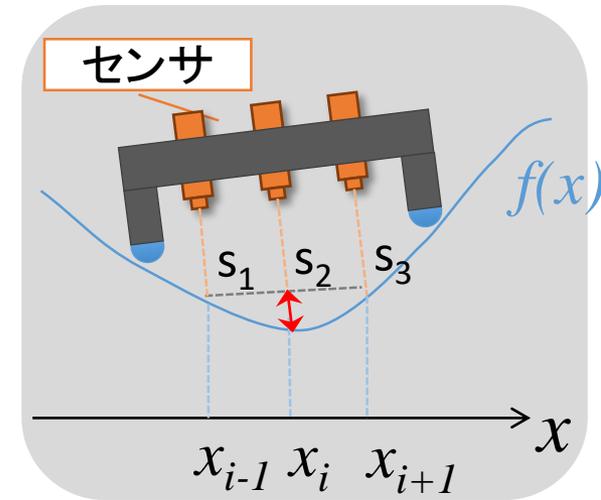


# 利点

- 十分な精度
- 単純な測定原理
  - 高精度な運動機構が不要
  - 低コスト
- 環境に強い
- 自由形状が計測可能
- 測定範囲が無制限
  - 大型の鏡に対応
- 機上計測をコンパクトに実現

## 不利な点

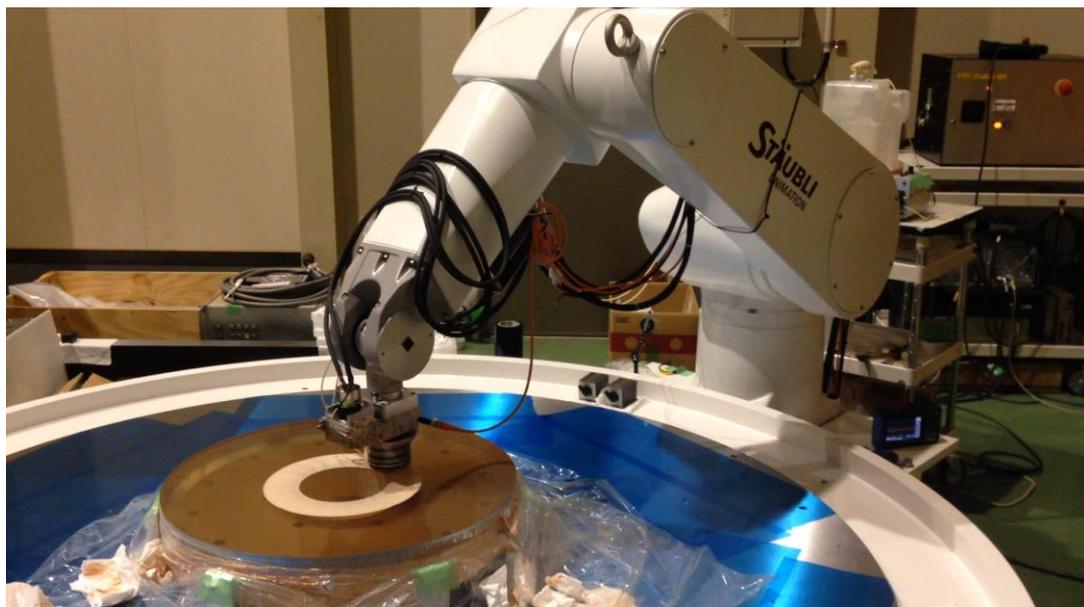
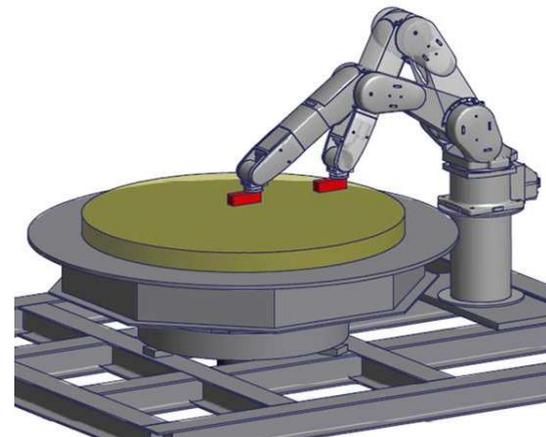
- 低空間分解能



# ロボットアームと研磨機

メーカー: STAUBLI (スイス)

自由度: 6軸 + ターンテーブル1軸



研磨の様子(動画)



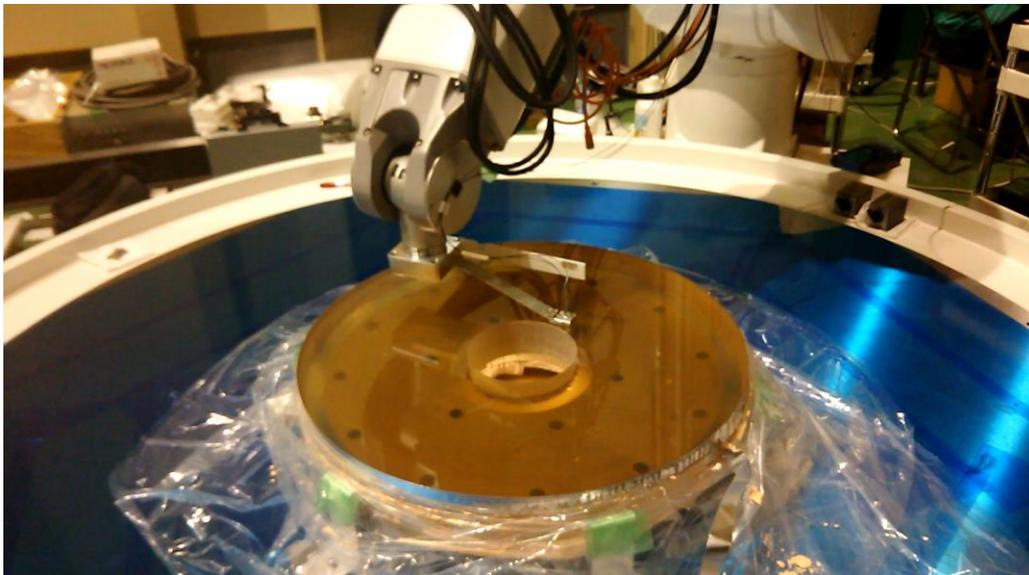
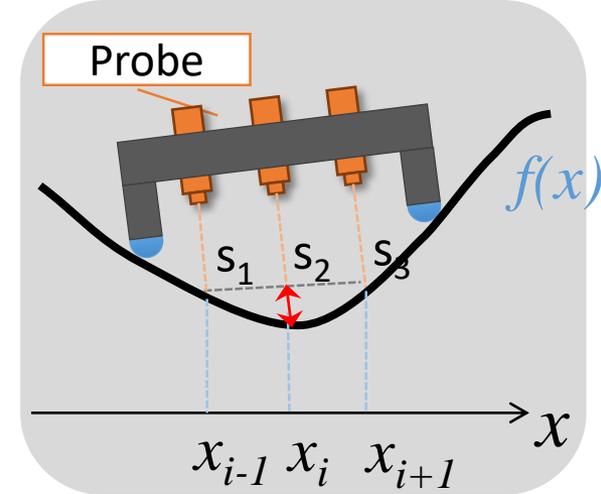
Φ600の鏡とロボットアーム  
アストロエアロスペース

# ロボットアームと計測

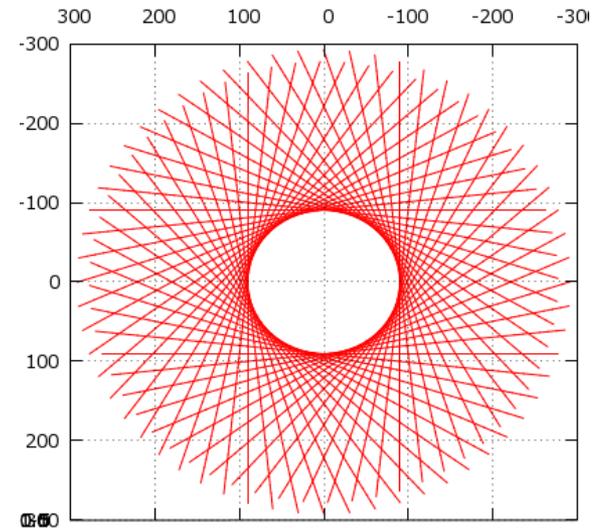
計測原理: ひきずり3点法

ロボットのヘッドの先にプローブを交換取り付け

計測時間: 45分程度(今後30分程度に)

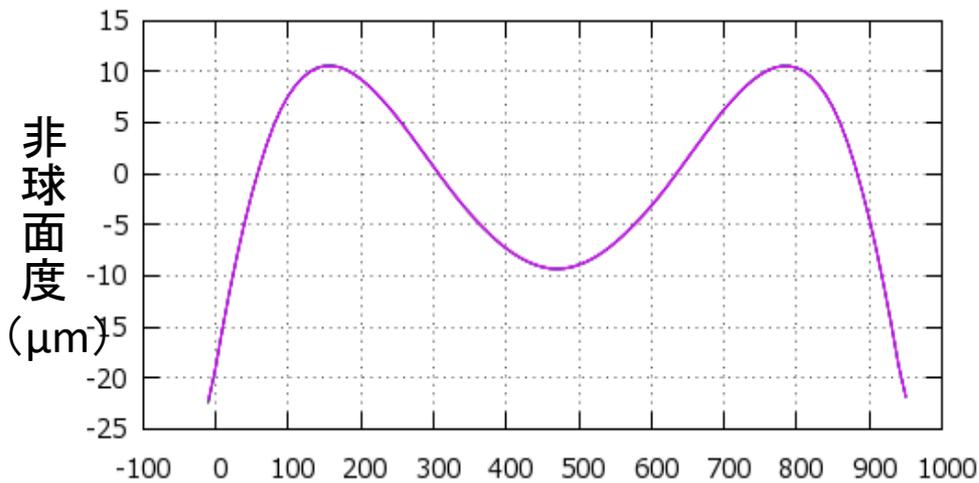


計測の様子(動画)

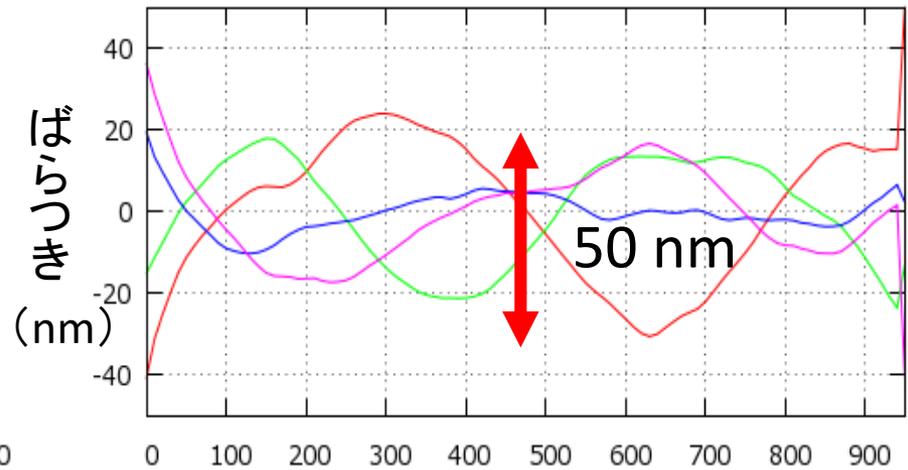


6度おきに60本の計測

# 計測結果と再現性Φ1000

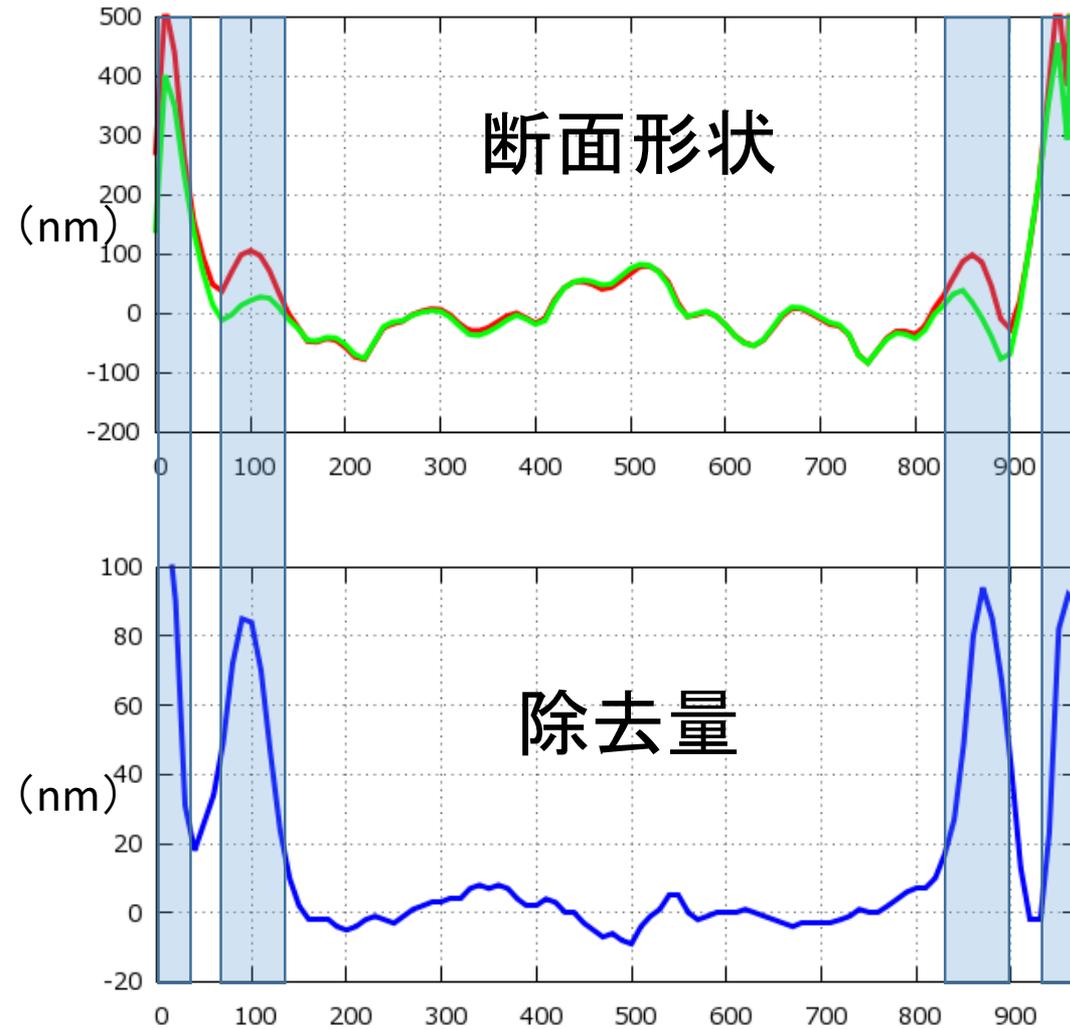


断面距離 (mm)  
4回の独立計測結果



断面距離 (nm)  
4回の独立計測結果

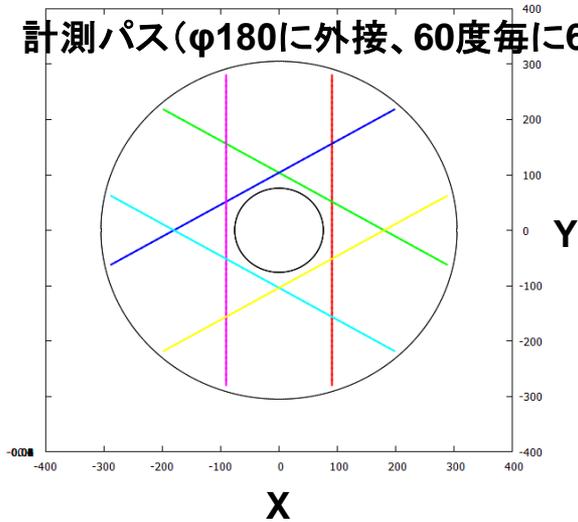
# 形状誤差と修正研磨



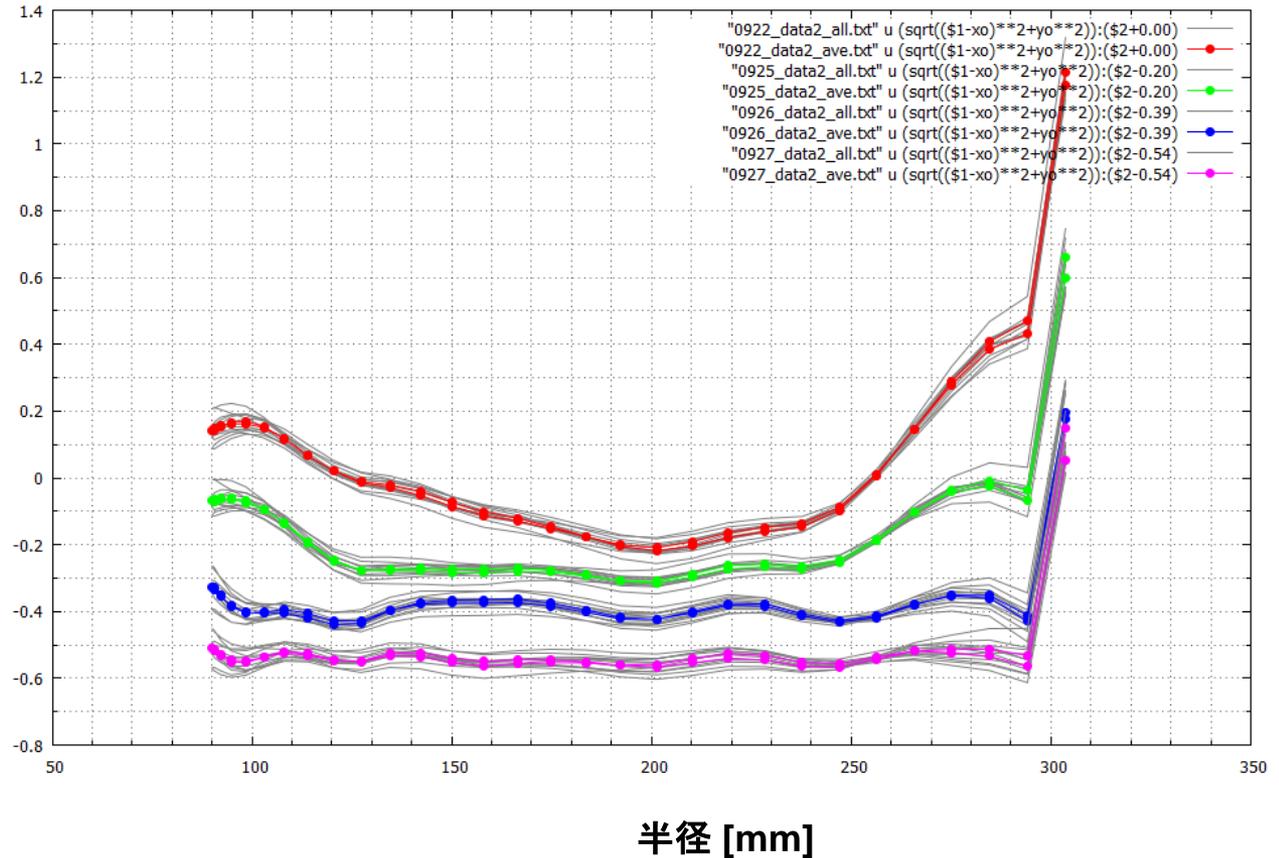
- 周辺部を除き  
P-V $\sim$ 150 nm  
RMS $\sim$ 50nm
- 軸対称性の高い形状誤差  
→軸対称加工のため
- 一部を修正研磨し改善
- 上記サイクルを1日で実現
  
- 日をまたいでも10nmレベルの計測再現性

# Φ600放物の研磨

計測パス(φ180に外接、60度毎に6本)



形状誤差 [um]

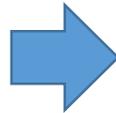




非接触化へ



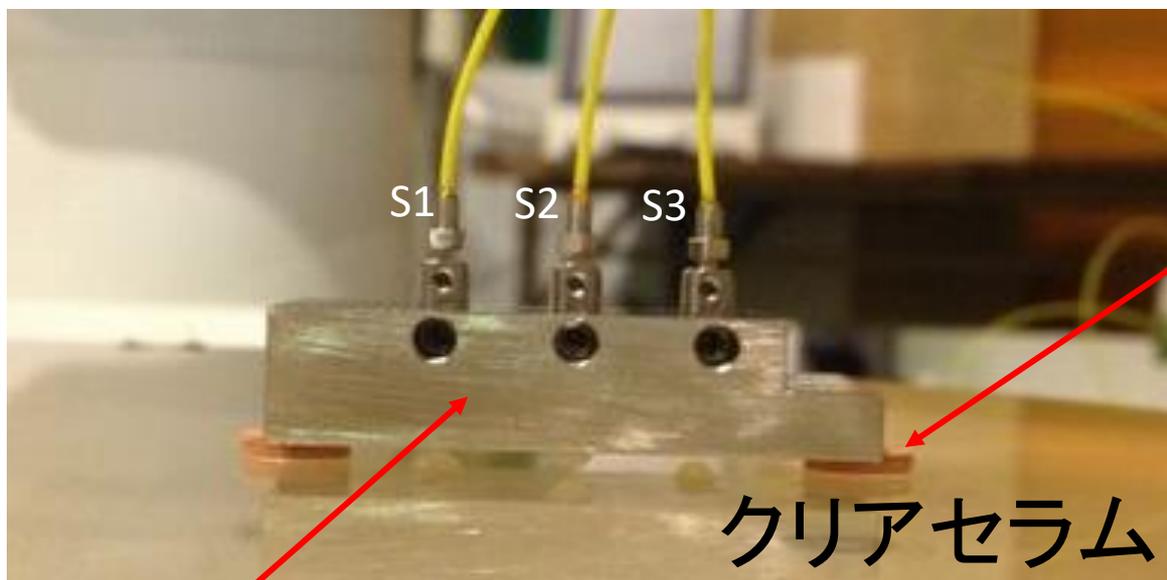
キーエンス SI-F  
振動に弱く非接触計測できず



Attocube FPS  
振動に強いが周期誤差が大きい  
(周期誤差は平均しても解決しない)

# Experiment

3つのセンサで被検面の曲率をモニタ

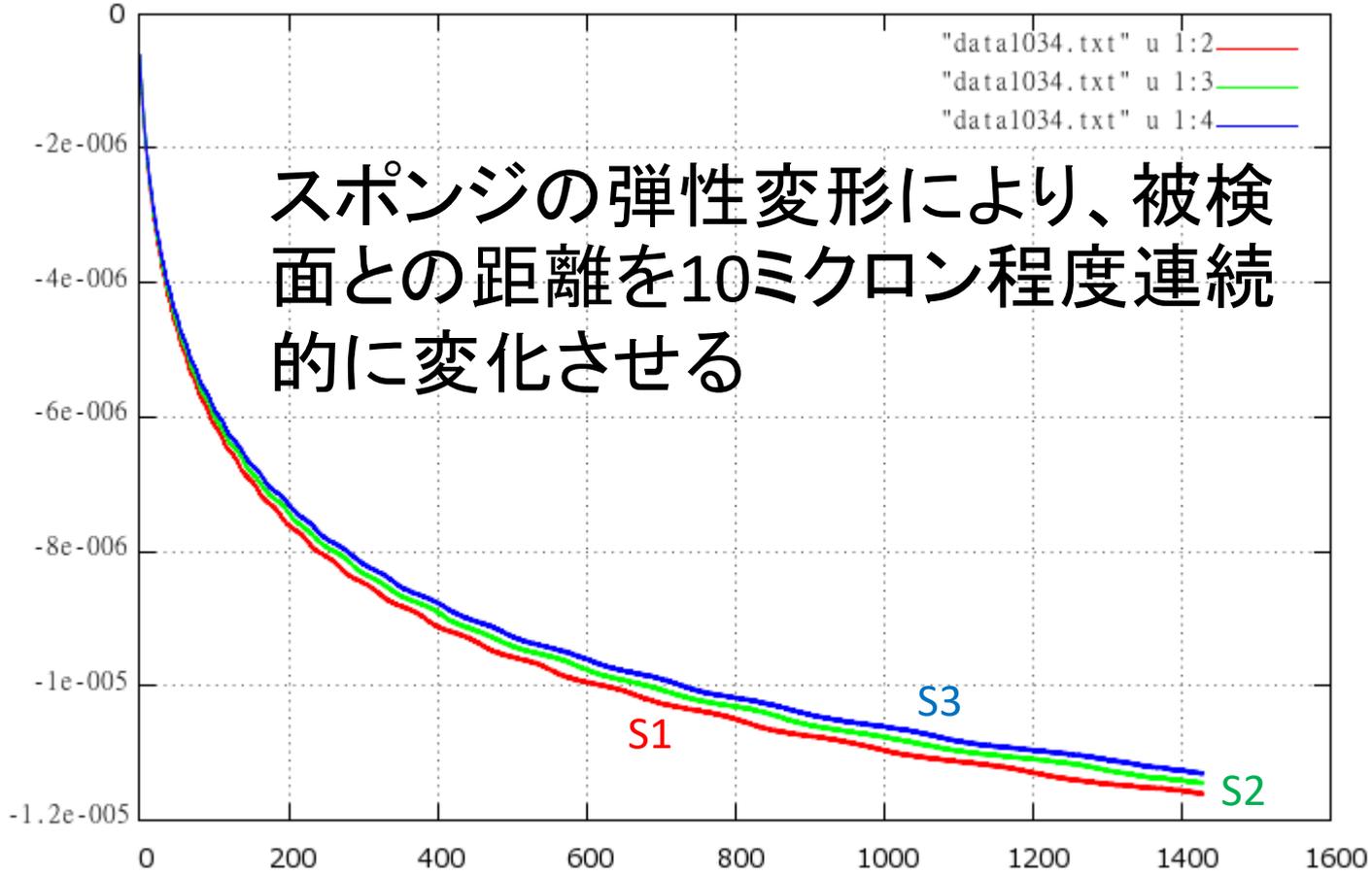


インバーブロック

クリアセラム

スポンジ

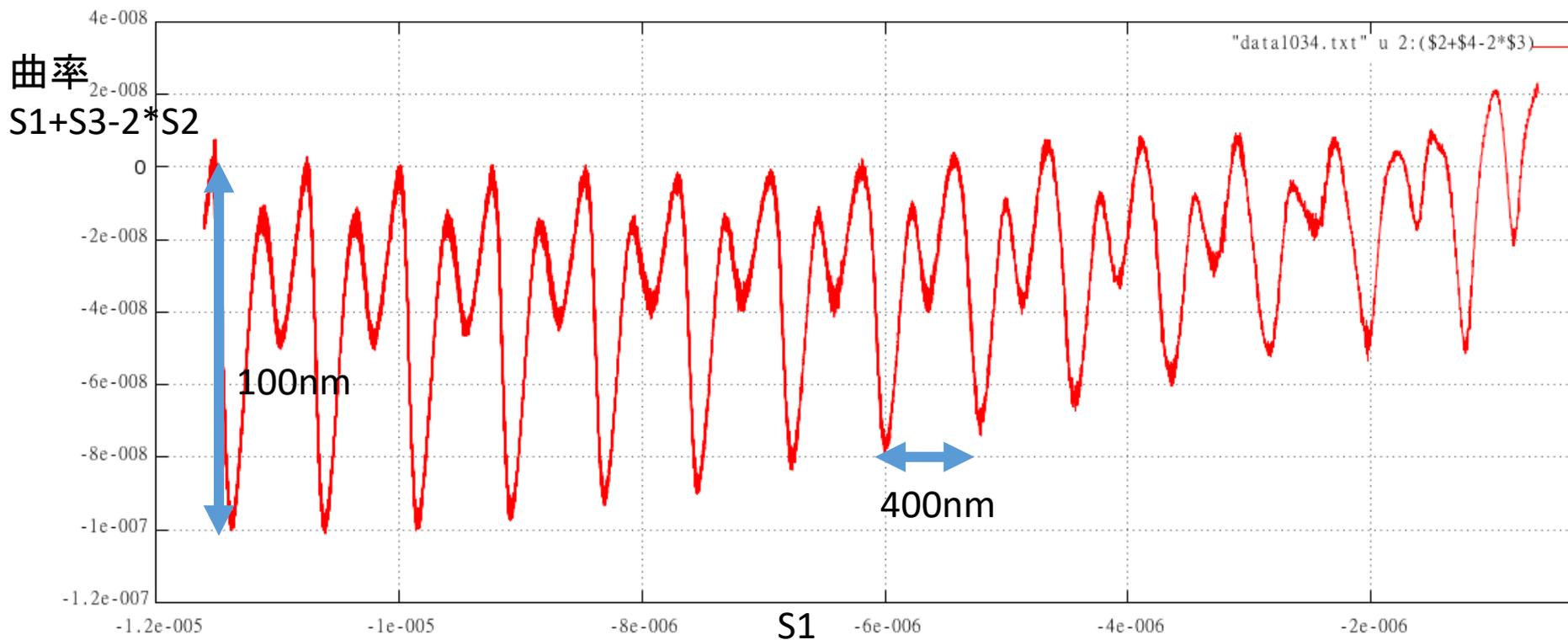
m



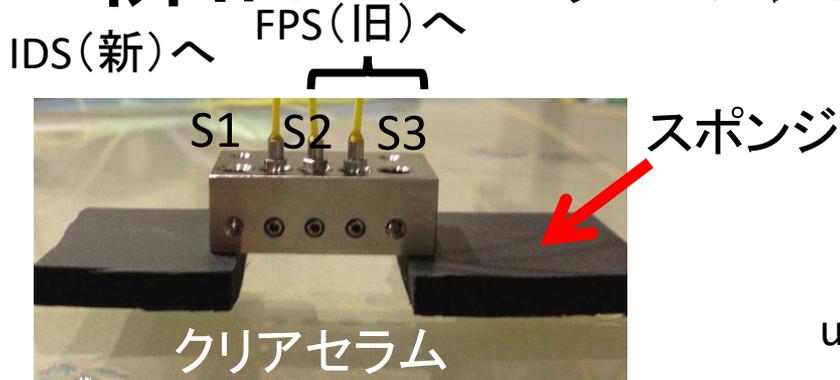
スポンジの弾性変形により、被検面との距離を10ミクロン程度連続的に変化させる

T(s)

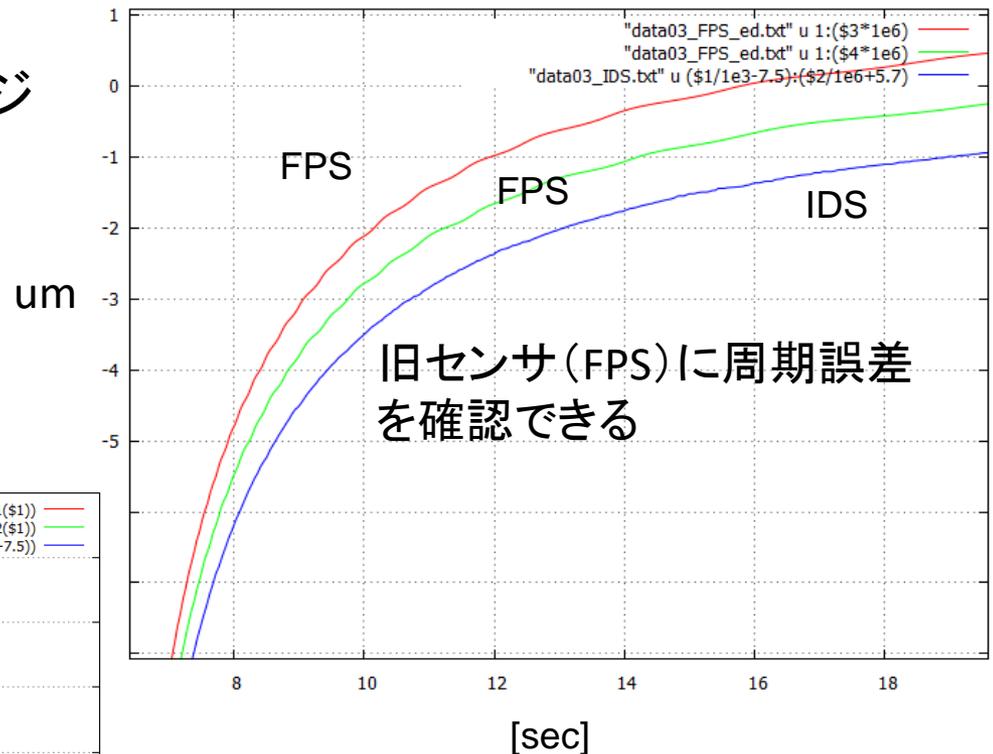
周期400nm(使用波長の1/4)で強度100nmの周期誤差を確認(この間被検面の曲率は一定なので)



# 新旧センサの比較



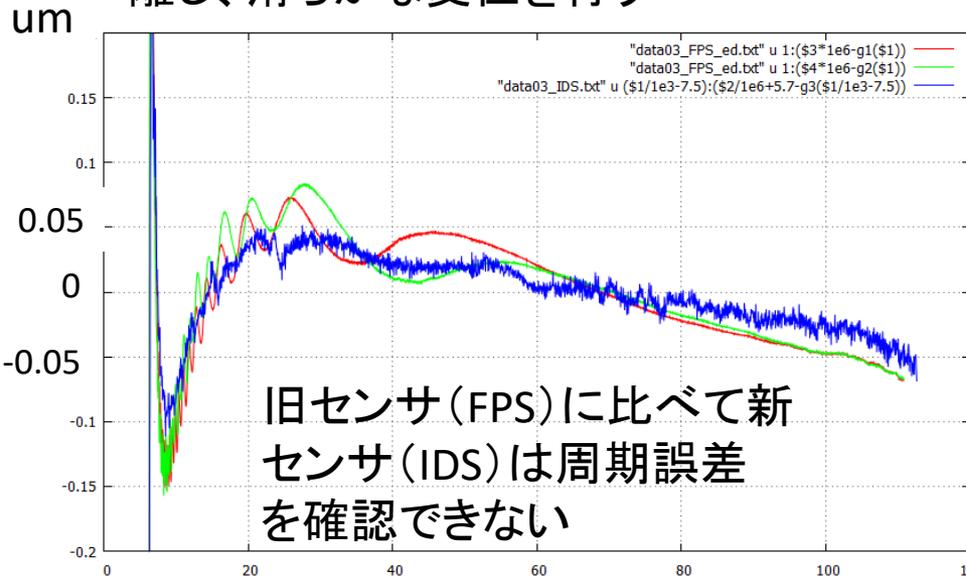
スポンジに押さえつけて  
離し、滑らかな変位を行う



旧センサ(FPS)に周期誤差  
を確認できる

センサの出力結果

新センサ(IDS)のばらつきが大きいのはサ  
ンプル時間が40usとFPSに比べて1024倍短  
く、細かな振動を捉えているため

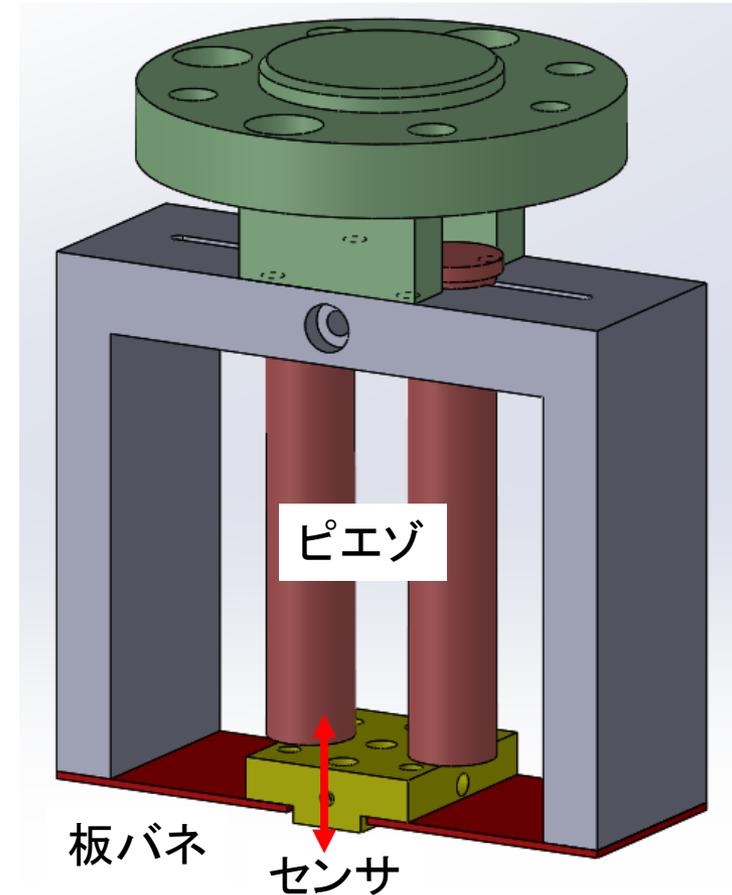


旧センサ(FPS)に比べて新  
センサ(IDS)は周期誤差  
を確認できない

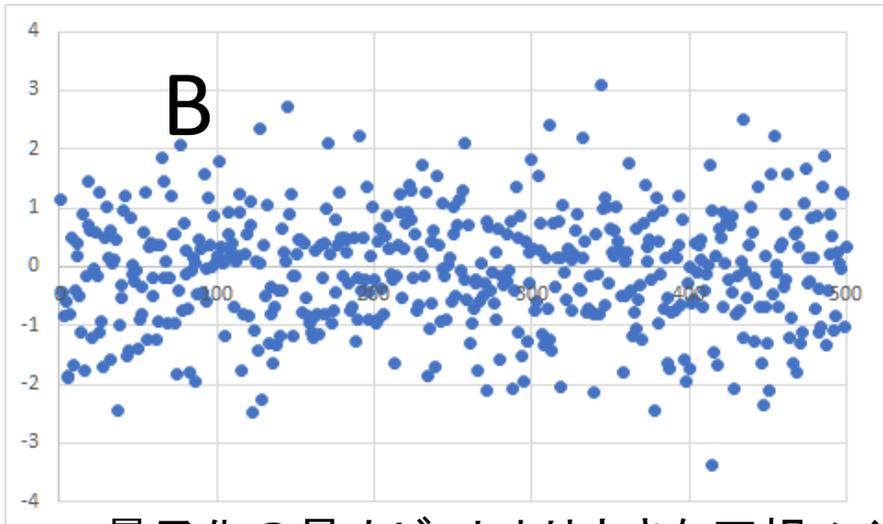
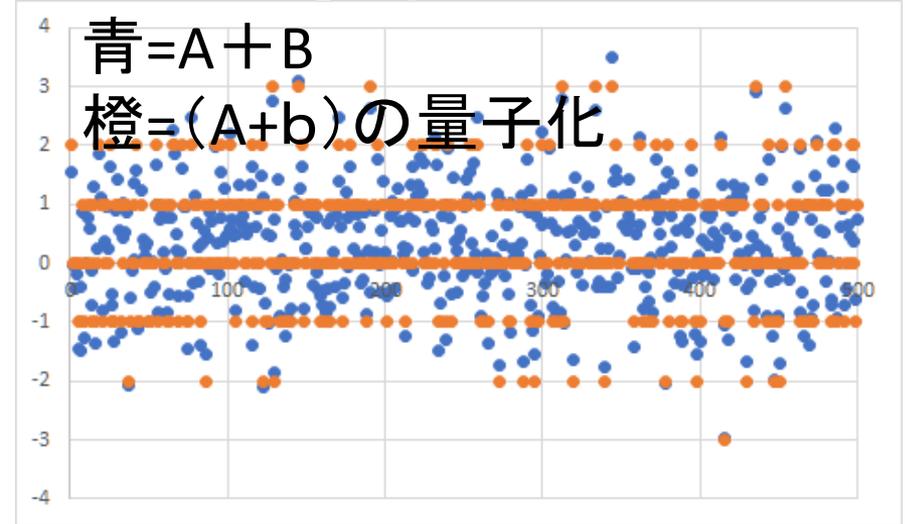
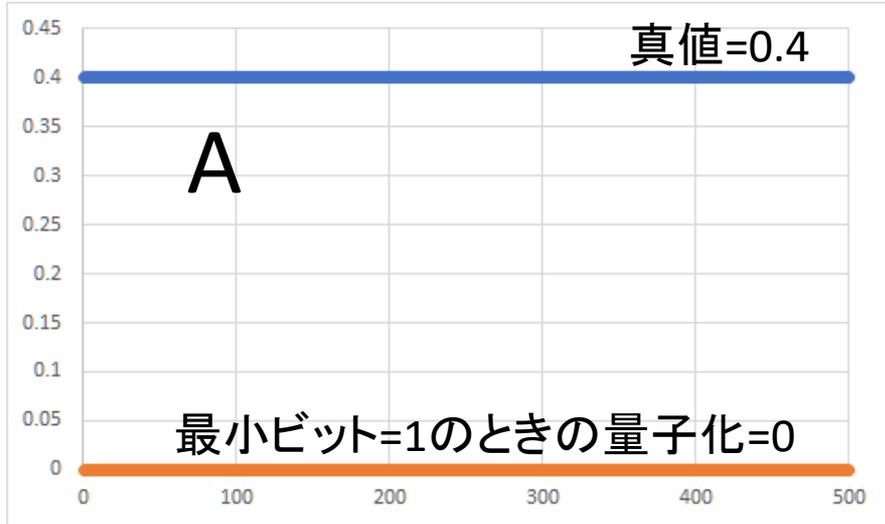
適当な滑らかな関数からの残差

# 加振装置

- 周期誤差の強度より十分大きな外乱振動を加え、十分な数のサンプリングを行うことで誤差の抑制を図る
- ピエゾ素子により任意の波形の振動をセンサに加える
- ただし、板バネによる固有振動数 = 734Hzまで



# 量子化ノイズにおける事例



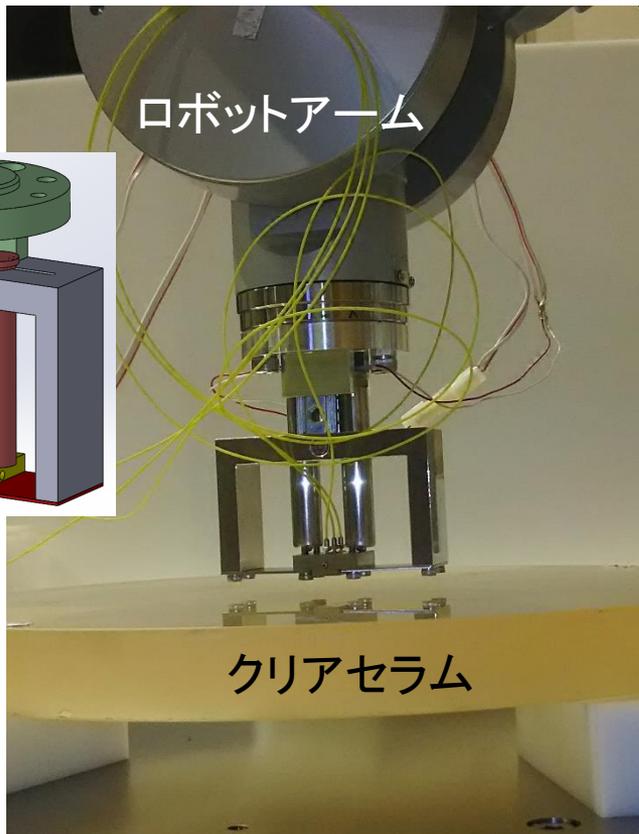
量子化の最小ビットより大きな正規ノイズ

青の平均= 0.404

橙の平均= 0.392

量子化の最小ビットより大きなランダムノイズを加え、十分な回数のサンプリングをすれば、その平均は真値に限りなく近づく。

# 実験



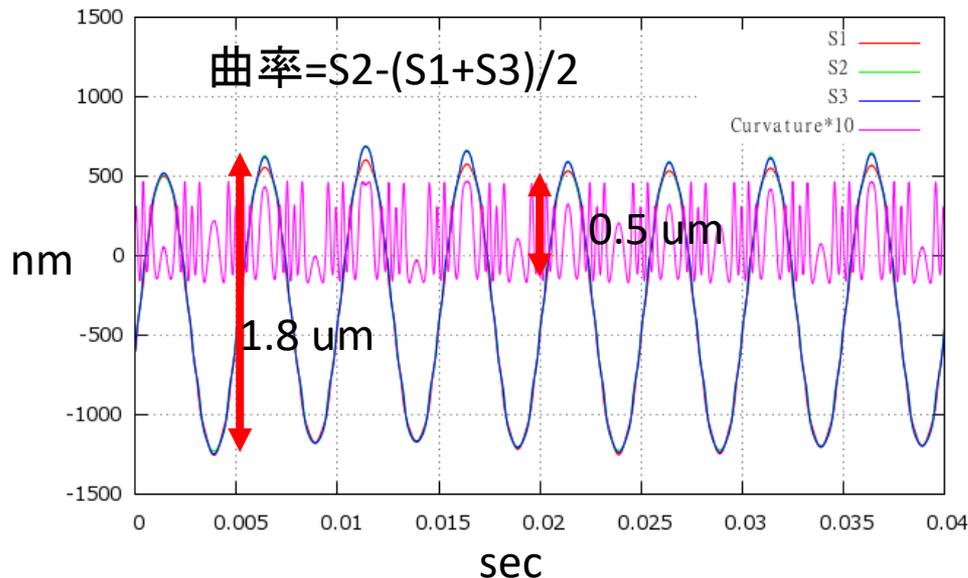
実験の様子

使用センサ:FPS(旧センサ)

サンプル周期:10.24us

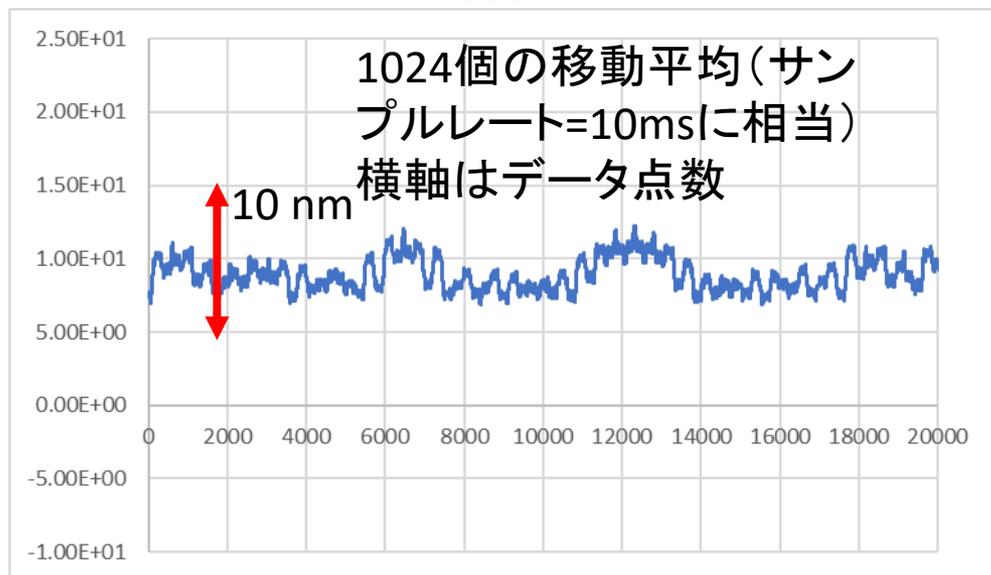
定点計測:曲率は一定値を示すことが理想

# 結果



センサの振幅=1.8 $\mu\text{m}$   
非線形誤差による曲率の振幅=0.5 $\mu\text{m}$

加振が正弦波のため、周期誤差も周期性が確認できる。理想はランダムな加振だが、実現が難しかった



平均化によりP-V=3nm程度に改善  
ただし、正弦波のため、変動がランダムではない。これにより系統的な形状誤差を出力する可能性がある