

機械計測とロボット研磨による放物面鏡の製作状況

栗田光樹夫(京都大学)

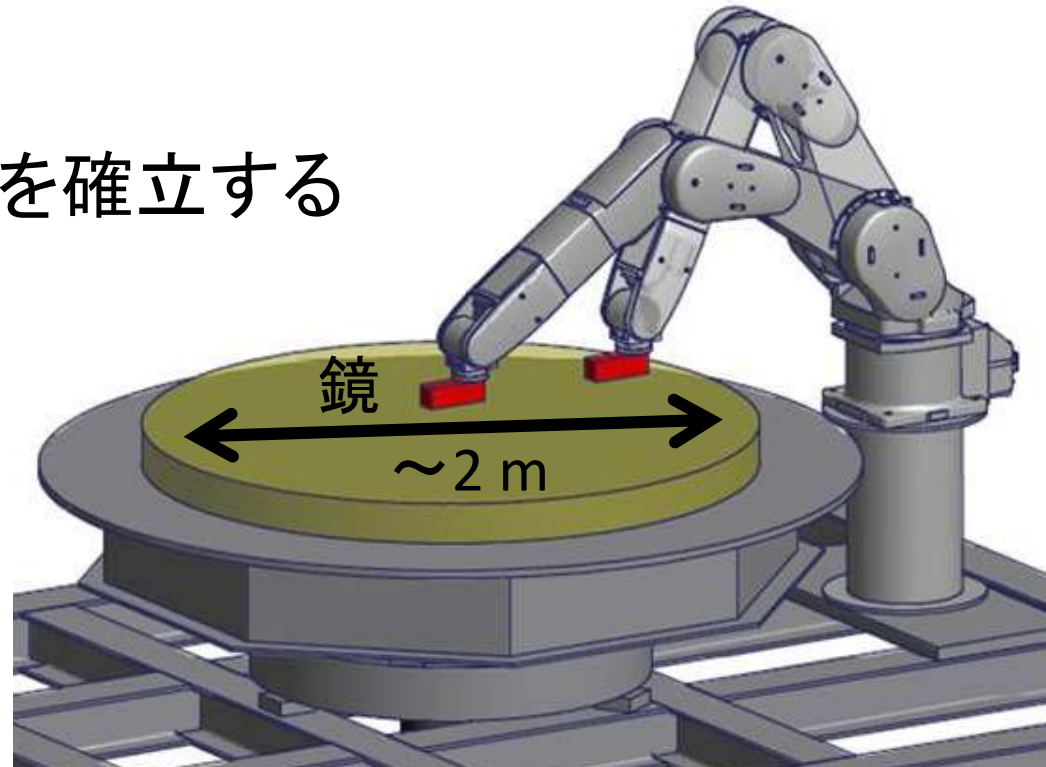
所仁志(アストロエアロスペース)

吉田泰、大川裕貴、石井遊哉、今西萌仁加(京都大学)

高橋啓介(アストロエアロ)

目的

- ロボットアームのみで
- 研磨と
- 計測を行い、
- メートルクラスの
- 自由曲面の製作工程を確立する



これまで

成果

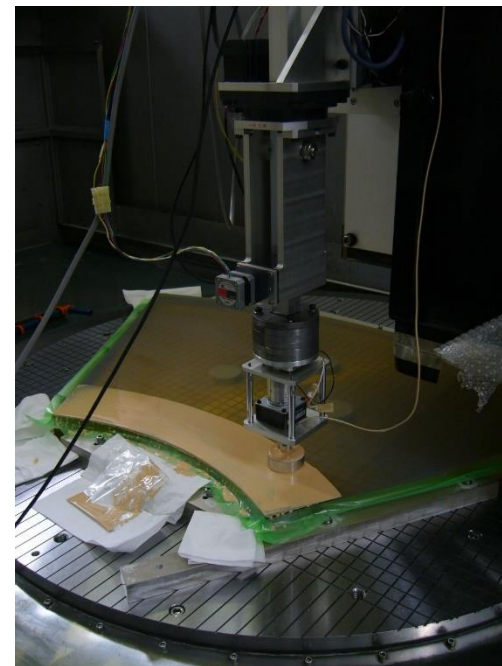
- 研削盤による
- 研削と研磨を行い
- 干渉計で計測を行い、
- メートルクラスの
- 主鏡の製作工程を確立した

課題

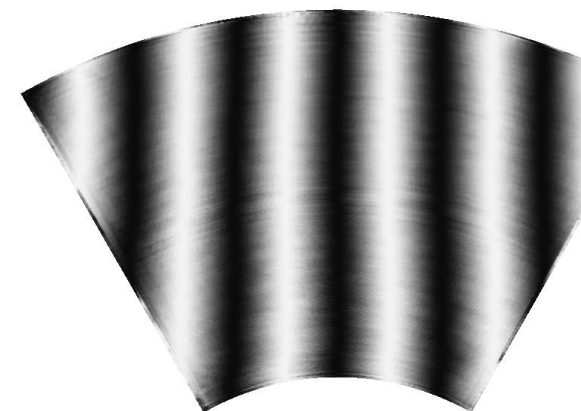
- 研削と研磨の分離
- 研磨機と計測器の融合
- 自由曲面への対応
- コンパクト化



研削



研磨

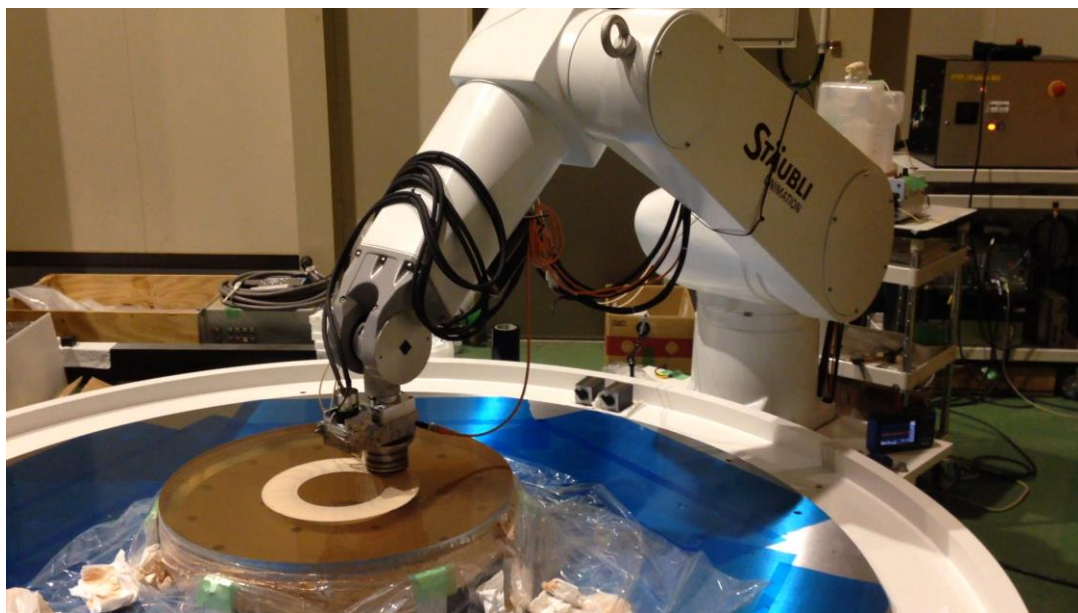
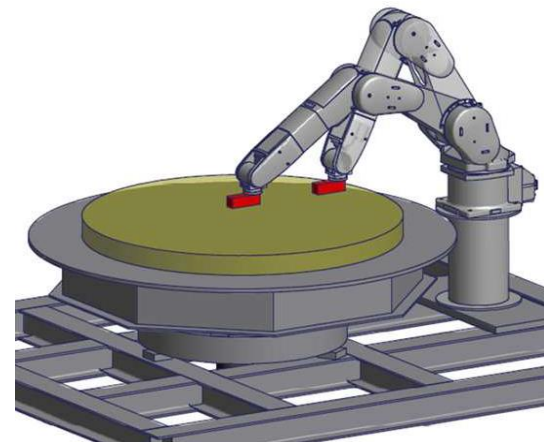


干渉計

ロボットアームと研磨機

メーカー: STAUBULI (スイス)

自由度: 6軸 + ターンテーブル1軸



研磨の様子(動画)



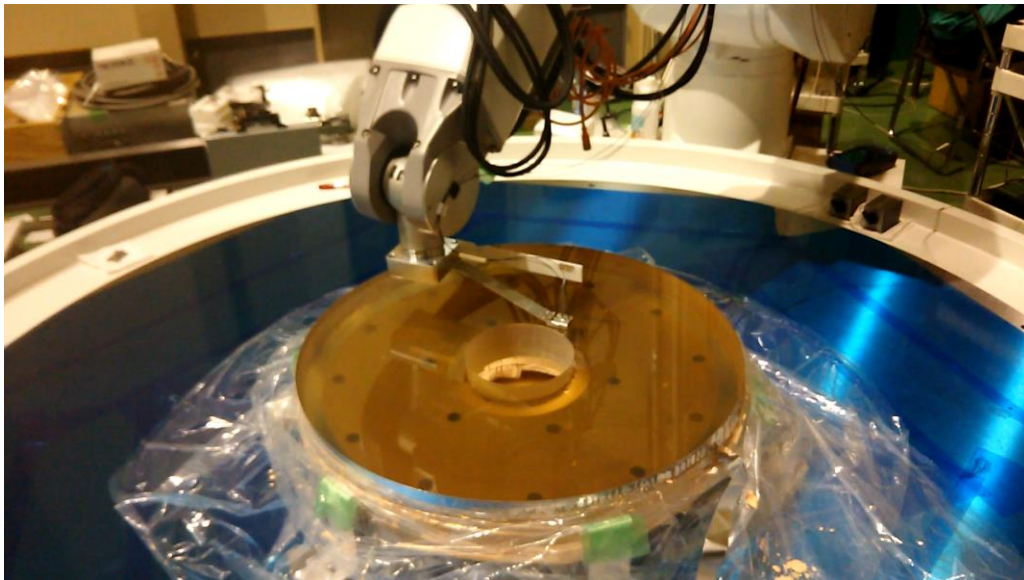
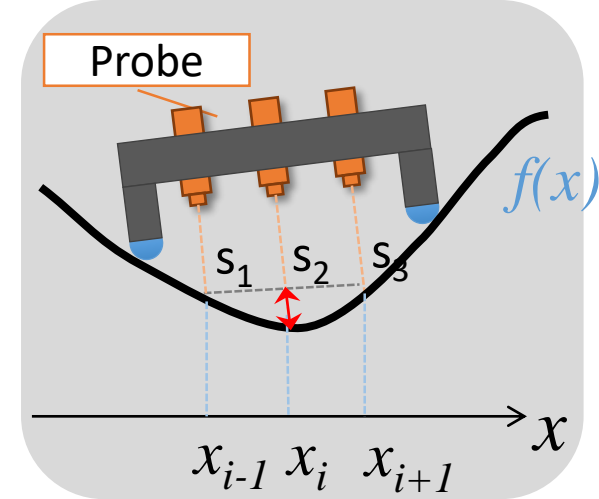
Φ600の鏡とロボットアーム
アストロエアロスペース

ロボットアームと計測

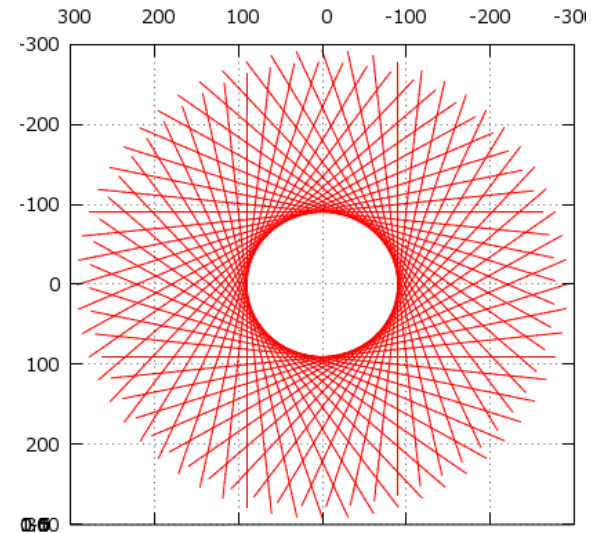
計測原理: ひきずり3点法

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)



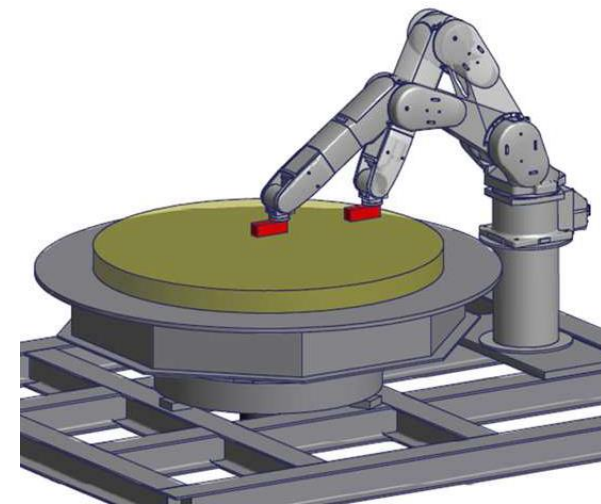
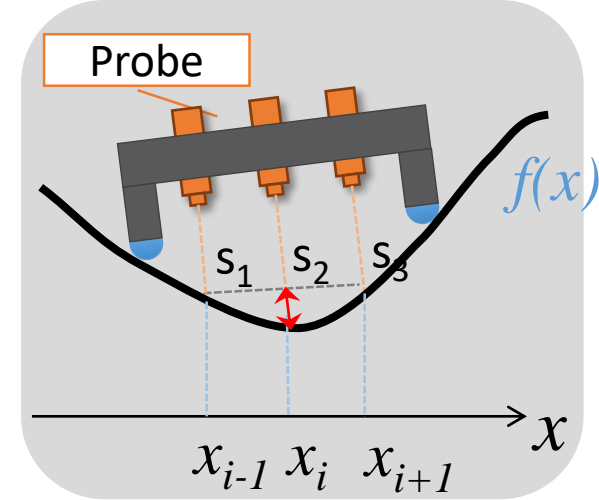
計測の様子(動画)



6度おきに60本の計測

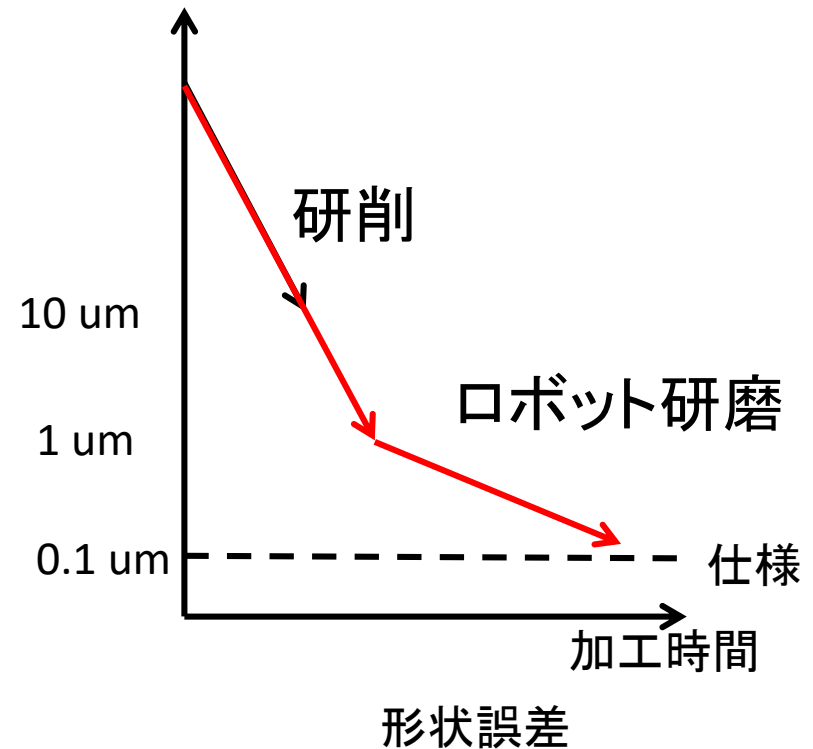
ひきずり3点法の特徴

- 無基準で自由曲面を計測可能
 - ただし、曲率は不定
- オン・ザ・マシン計測
 - 効率的で安定なフィードバックシステム
- 耐環境性
 - 通常環境で可能
- 加工機を計測機に拡張可能
 - 計測範囲も無制限
- コンパクト
 - 干渉計のように曲率半径相当の空間は不要
- シンプル・廉価
 - 駆動部の誤差の影響を受けない
 - センサも廉価なもので対応可能

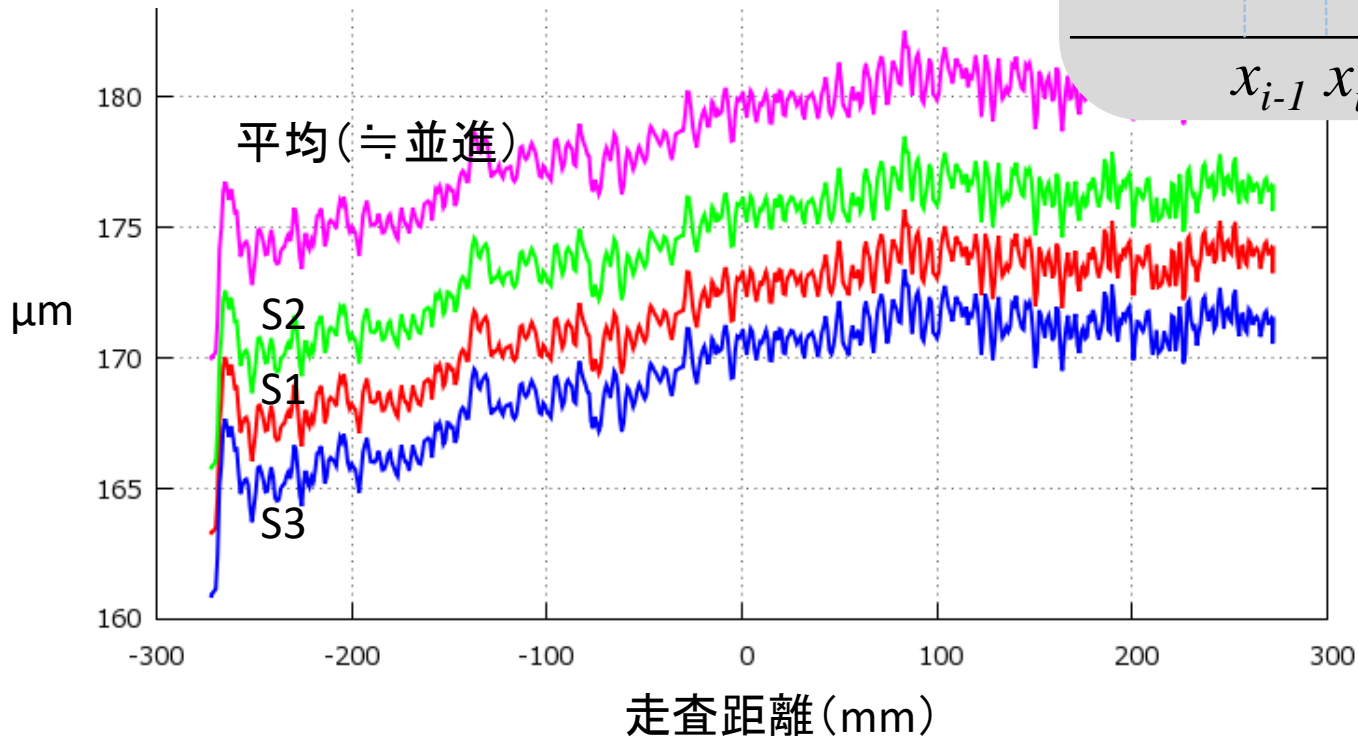
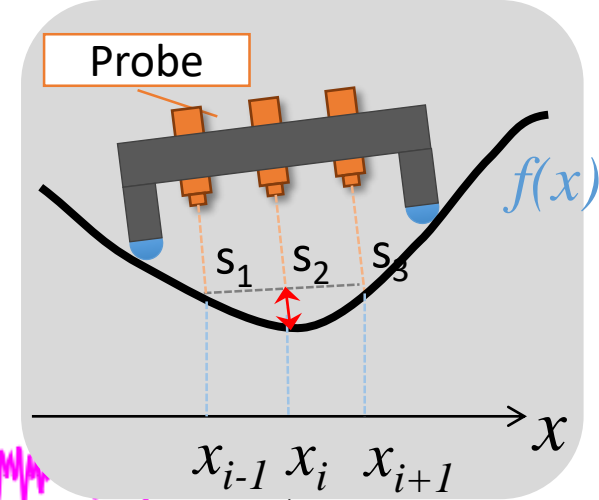


本加工と計測

- $\phi 600$ $R=3000$ の放物面
- 硝材: クリアセラム
- 研削盤で 1μ レベルまで加工
- ロボットで研磨と計測

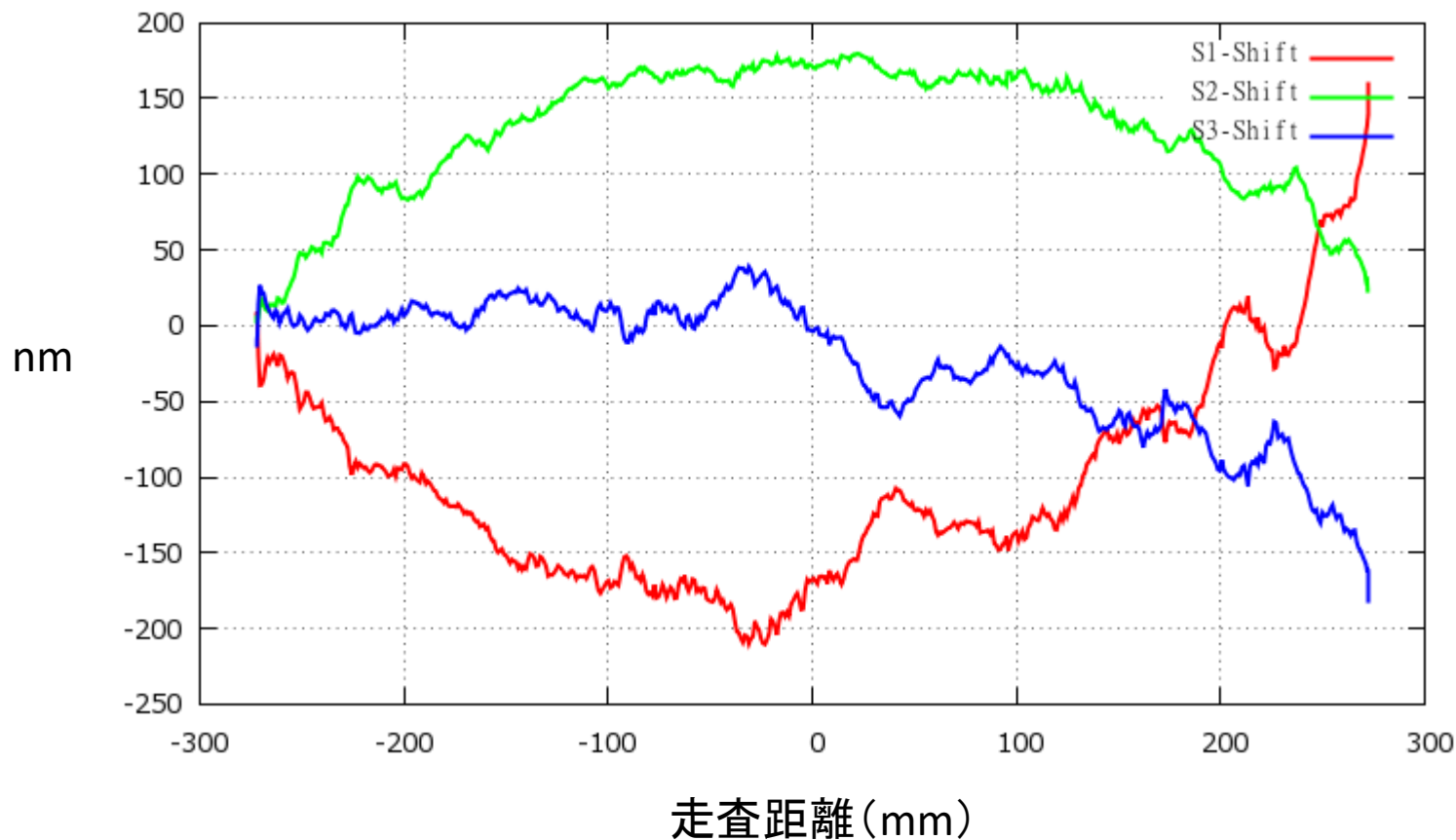


センサの出力値



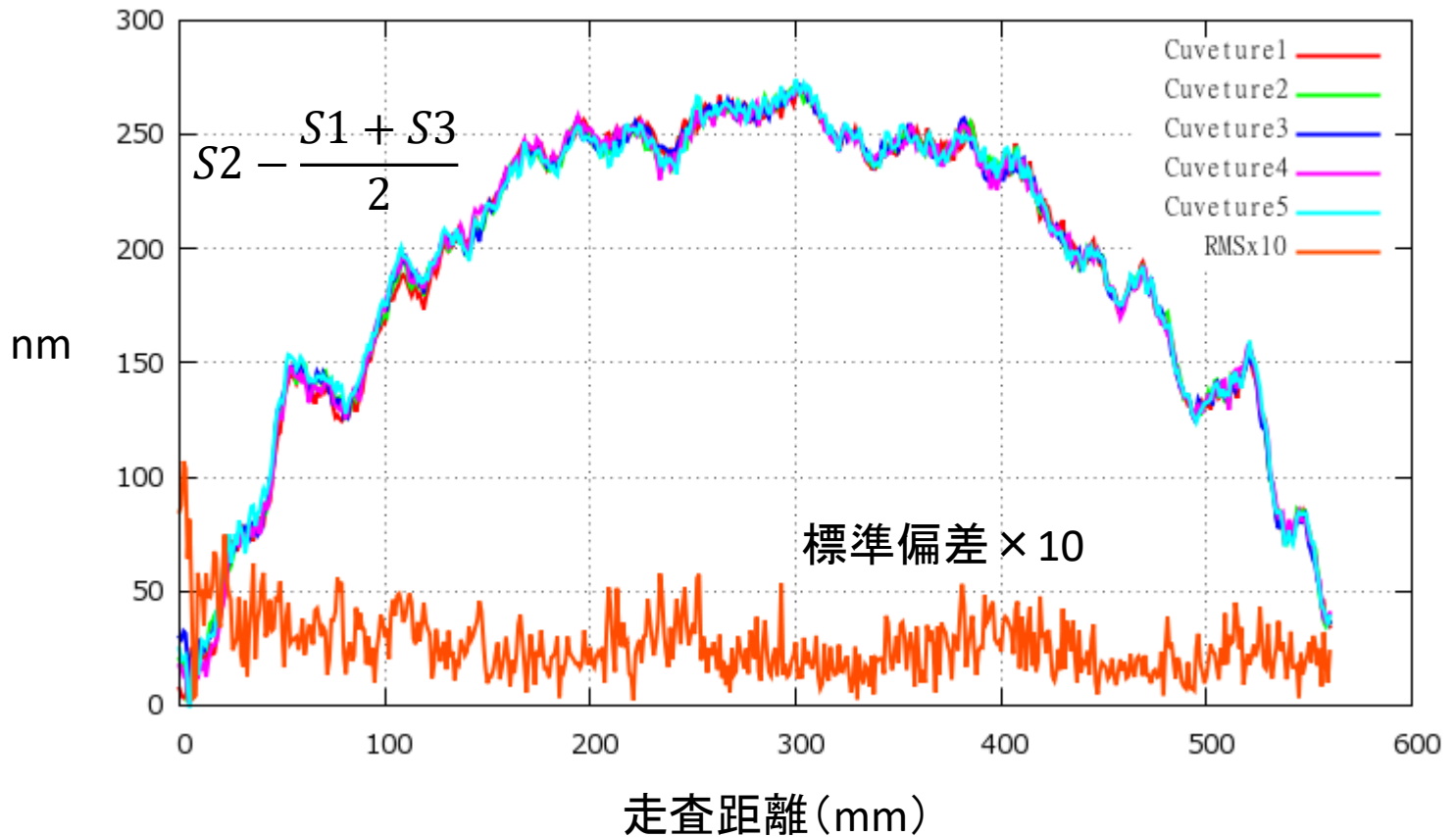
- 3つのセンサ値は基本的には同期しており、並進運動が主であることが分かる
- 3つのセンサは1μm程度で細かく振動し、5μm程度の緩やかな変動がある。
- 振動は足と鏡面での摩擦が、緩やかな変動は治具の姿勢変化に伴うものと考えられる。

平均値からの残差 ≡ 傾斜と形状



センサの両端S1(赤)とS3(青)が反転関係にあり、
これは主にセンサ列の傾斜を意味する

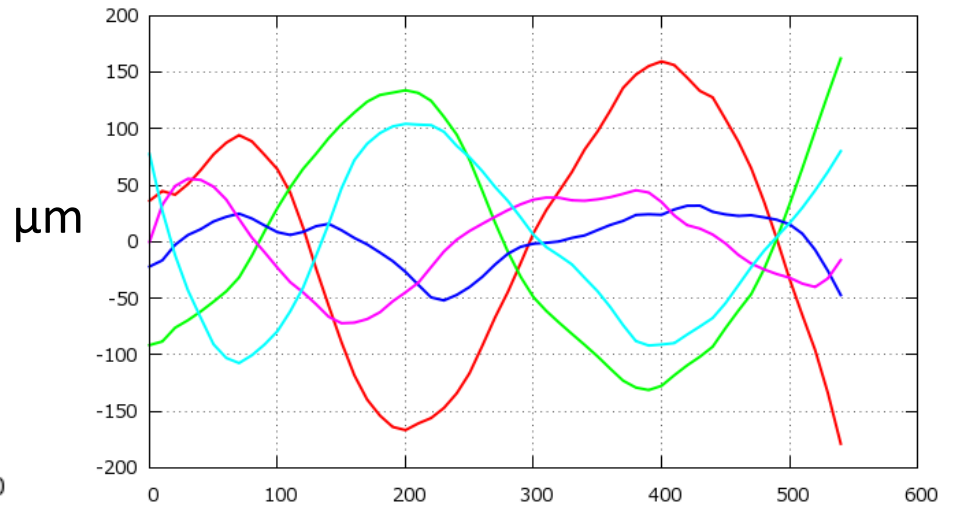
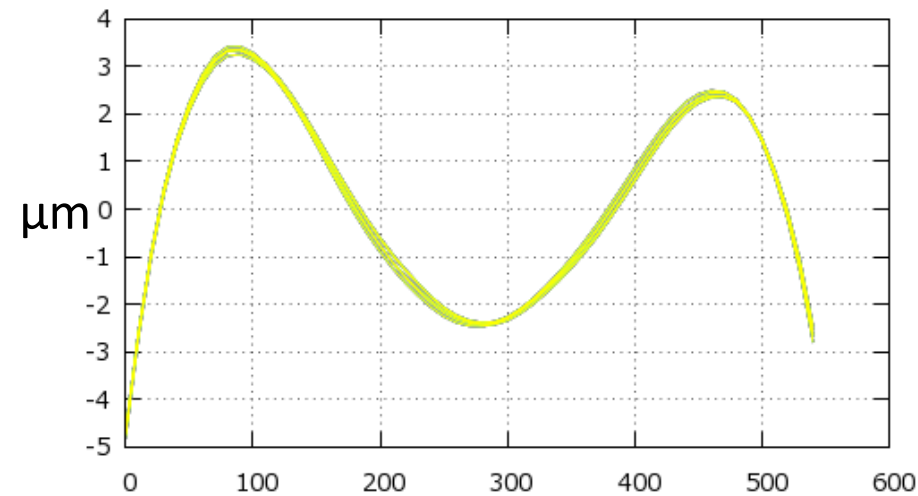
曲率再現性



再現性 ~ 2.6 nm

※平面鏡の時より10倍ほど悪い

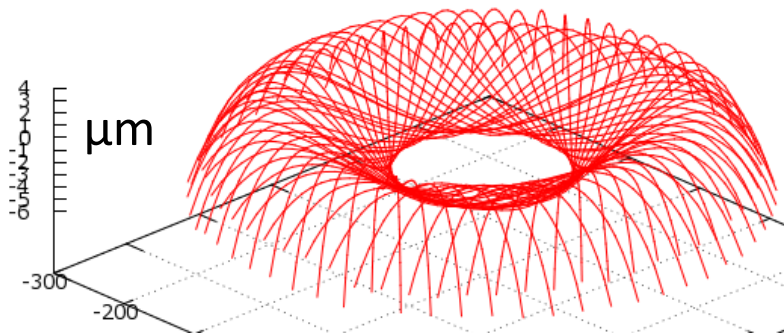
形状再現性



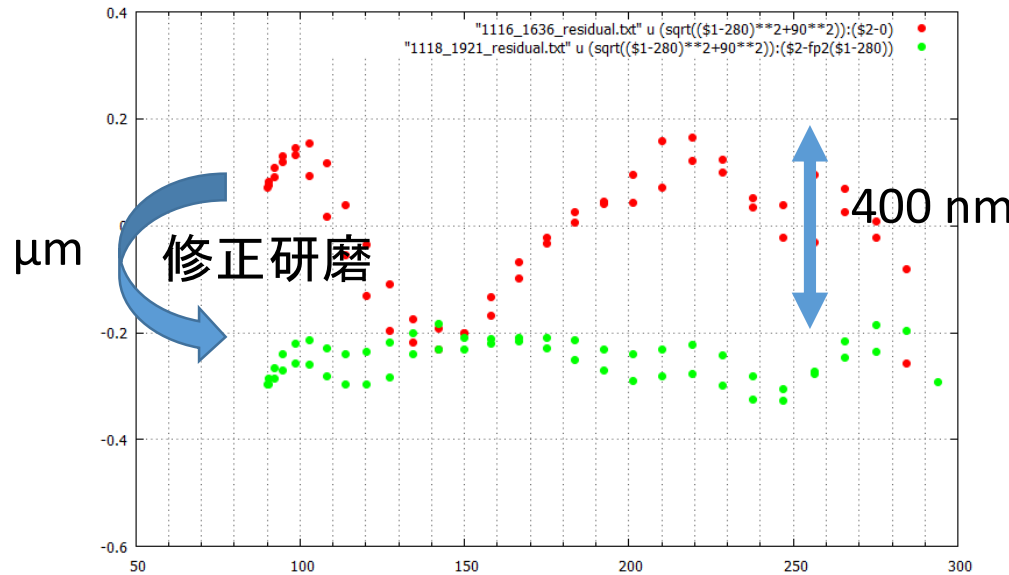
再現性: ~ 80 nm (許容範囲ではあるが)

※平面鏡の時は5nm程度だったので10倍ほど悪い

計測結果と修正研磨



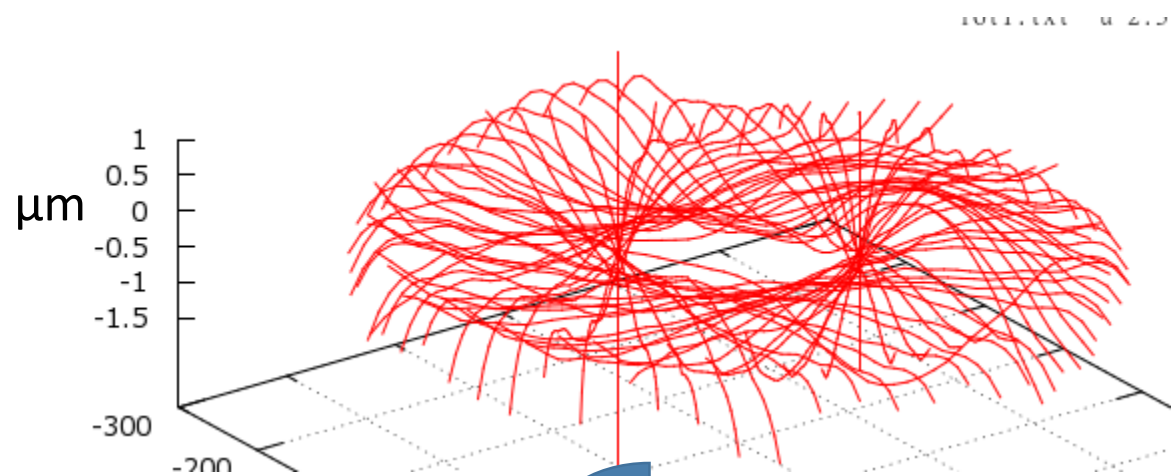
非球面成分



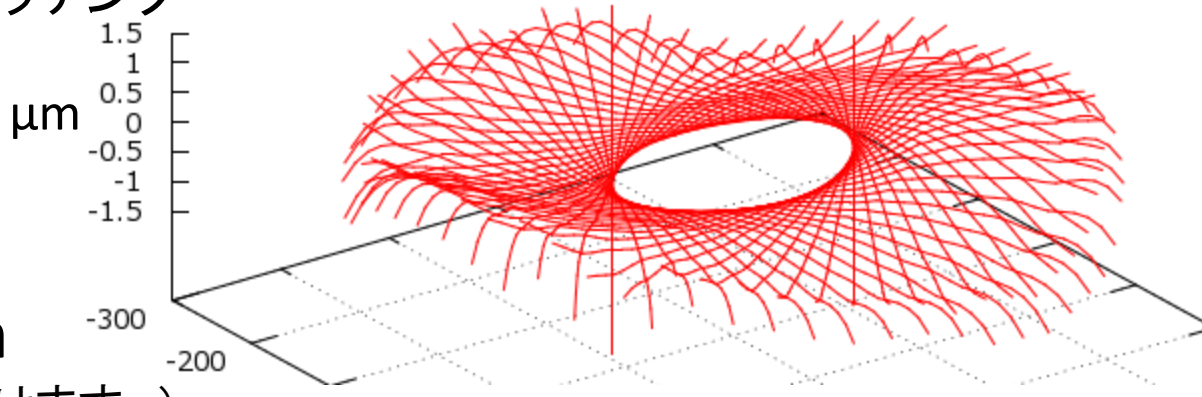
半径方向の平均誤差
(理想非球面度からの差)

回転研削加工による軸対称の形状誤差
を研磨により除去

最終結果

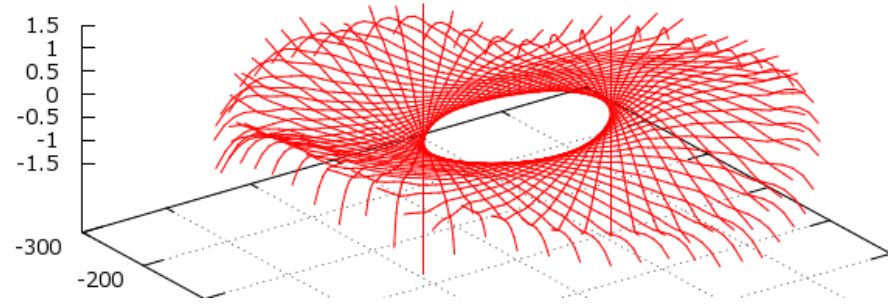


ステッチング

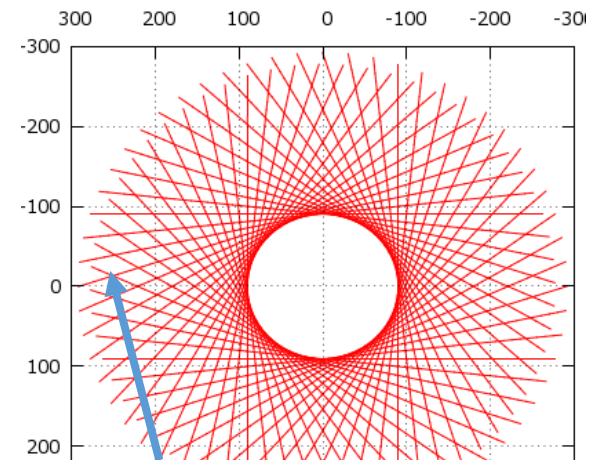


RMS=280 nm
(引き続き試験を続けます。)

議論(反省点)



- 同心円パターンの修正研磨はできた。
- 干渉計では計測できない面粗度が悪い研削直後でも計測できるが、計測精度は $1\mu\text{m}$ 程度
- 引きずり冶具が曲面に対応しておらず、不安定になり再現性が悪化した。
- うねりを確認できるが、計測値の面内座標の精度が悪く、これ以上考察できない(計測開始点を 0.1mm 誤ると 200nm の計測誤差を生ずる)。また、計測パスが非対称で、ステッチ交点が非効率であった。



端は特にうねりやすいが交わっておらず、ステッチングが効果的にはたらかなかった