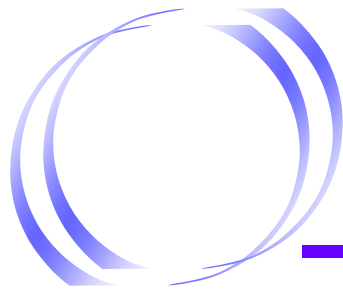




国友望遠鏡主鏡測定結果報告

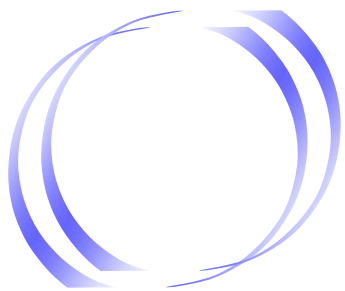
国立天文台 先端技術センター
都築 俊宏

2019/11/21



概要

- 冨田らによる先行研究^(※1)により、国友一貫斎が製作した反射望遠鏡（以下、国友望遠鏡）の主鏡面形状はほぼ正確な放物面であることがわかっている。当時の主鏡製作能力を検証するため、国友望遠鏡から取り外された主鏡と現在の市販凹面鏡のそれぞれに対して、面精度、面粗さ測定を行い、比較調査を実施した。
- 面精度測定はフィゾー干渉計を用いた。国友望遠鏡主鏡の面精度の測定結果は PV値で 0.67λ であり、現代の市販凹面鏡の測定結果(それぞれ 0.88λ 、 0.30λ)の中間の値であった。
- 面粗さ測定は表面粗さ測定機を用いた。国友望遠鏡主鏡の面粗さの測定結果は 3.7 nm RMS であり、現代の市販凹面鏡の測定結果（それぞれ 0.6 nm RMS 、 0.5 nm RMS ）より大きな値となった。顕微鏡による拡大画像からは、研磨で使用する砥粒の大きさの違いや、鏡の経年劣化による錆（さび）やヒビの発生が確認でき、これらが面粗さを大きくしている要因と考えられる。



測定対象と測定方法

測定対象

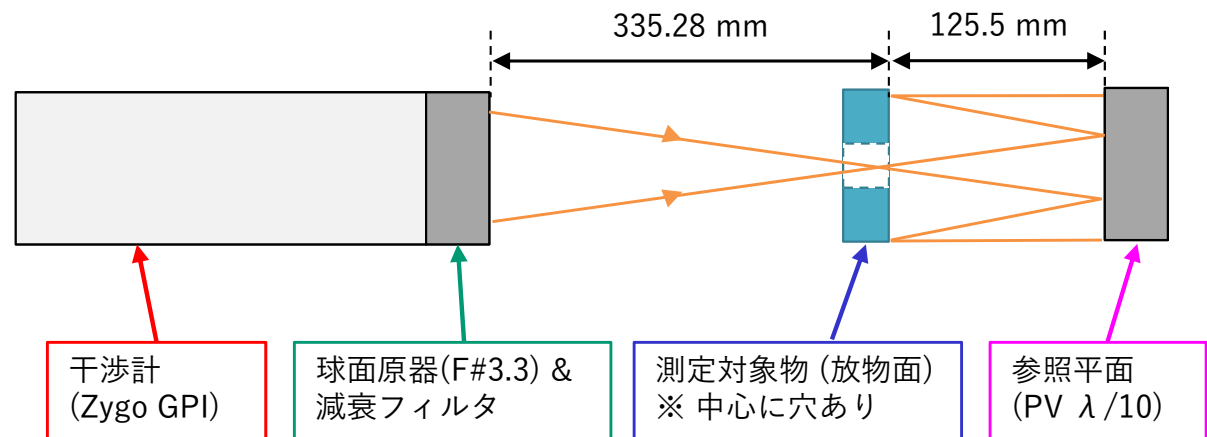
※1 “國友藤兵衛製作グレゴリー式反射望遠鏡の
学術調査” 国立天文台報 第4巻 (1998)

		国友望遠鏡主鏡 ^(※1)	市販反射鏡サンプル#1	市販反射鏡サンプル#2
外観				
基板	形状	丸型 (中心開口あり)	丸形	丸形
	外形寸法	外形： $\phi 62$ mm コバ厚：11.5 mm 中心開口： $\phi 20$ mm	外形： $\phi 50$ mm 中心厚：3 mm	外形： $\phi 50$ mm 中心厚：7.5 mm コバ厚：8 mm
	材質	錫を含む青銅	BK7	BK7
	スクラッチ/ディグ	-	60-40	20-10
光学面	形状	放物面 (凹面)	球面 (凹面)	球面 (凹面)
	曲率半径	502 mm	600 mm	600 mm
	面精度	PV $\lambda / 4$ ($\lambda = 633$ nm)	記載なし	PV $\lambda / 2$ ($\lambda = 633$ nm)
	有効範囲	不明	不明	外形の85 %
	コーティング	なし	Al (天文台にて蒸着)	Al
製作		現物：國友藤兵衛 複製：廣瀬一實氏	杉藤 (TS-0947R)	シグマ光機 (TCBS-50C08-600)

面精度測定方法（国友望遠鏡主鏡）

- 面精度測定は天文台ATCにあるZygo干渉計を使用(測定日時：)。
- 国友望遠鏡主鏡は穴あき放物面であるため、右図のようなnull光学系を構築した。この光学系では鏡面に2回反射する。
- 国友望遠鏡主鏡の有効径は不明のため、鏡の境界部分を1 mm程度マスクした領域で解析を行った。

【測定セットアップ概略図】



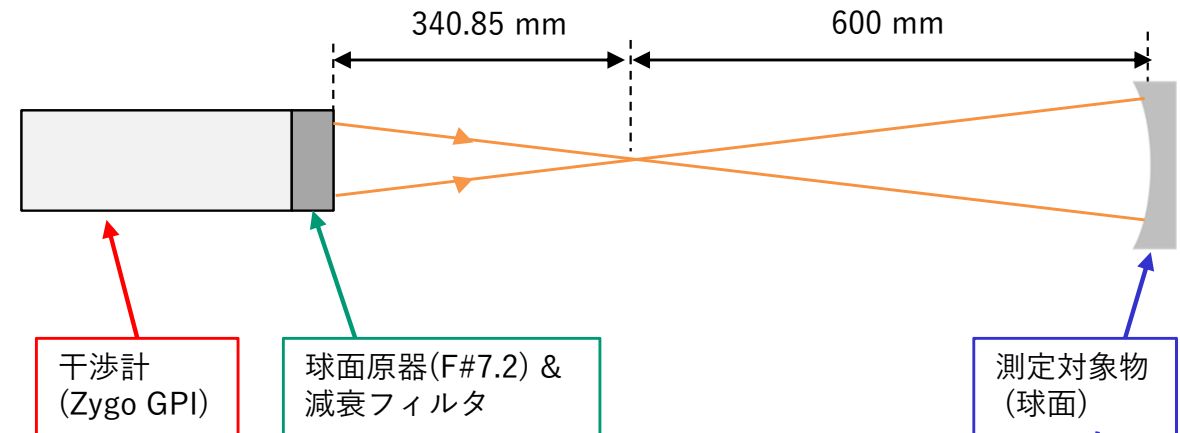
【写真】



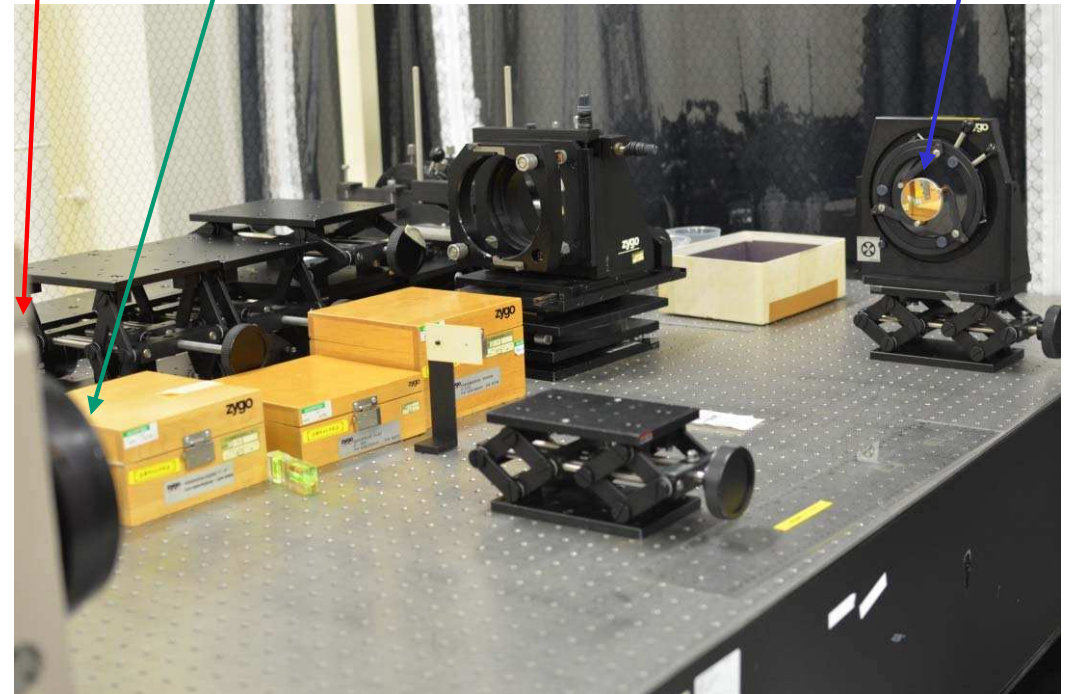
面精度測定方法（市販反射鏡サンプル）

- 面精度測定は天文台ATCにあるZygo干渉計を使用。
- 市販反射鏡は凹球面であるため、右図のようなnull光学系を構築した。この光学系では鏡面に1回反射する。
- 市販反射鏡サンプル#1の有効径は仕様に記載がない。そのため、市販反射鏡サンプル#2と同様に有効径（外形の85%）と仮定して解析を行った。

【測定セットアップ概略図】



【写真】



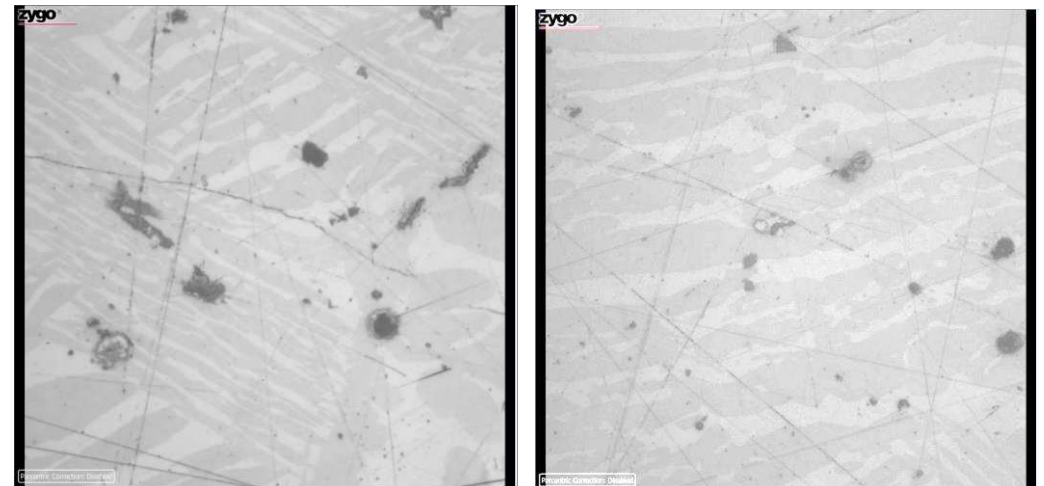
面粗さ測定方法

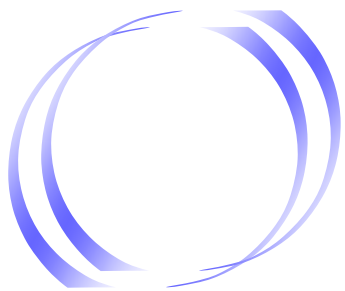
- 面粗さ測定は天文台ATCにある表面粗さ/形状測定機(Zygo社 NewView 8300、右上図)を使用した。
- 測定倍率は最大の50倍とし、測定範囲 $166.6 \mu\text{m} \times 166.6 \mu\text{m}$ における面粗さ(S_q , RMS)を測定した。なお、曲率成分はソフト上で除去した。
- 国友望遠鏡主鏡表面は全面にわたり経年劣化によるサビやヒビが存在した(右下図)。できるだけ製作当時の面粗さを評価するため、比較的サビが少ない場所(右下図右)を探し、面粗さ測定を実施した。

【Zygo社 NewView 8300】



【國友望遠鏡主鏡の拡大写真(50x)】





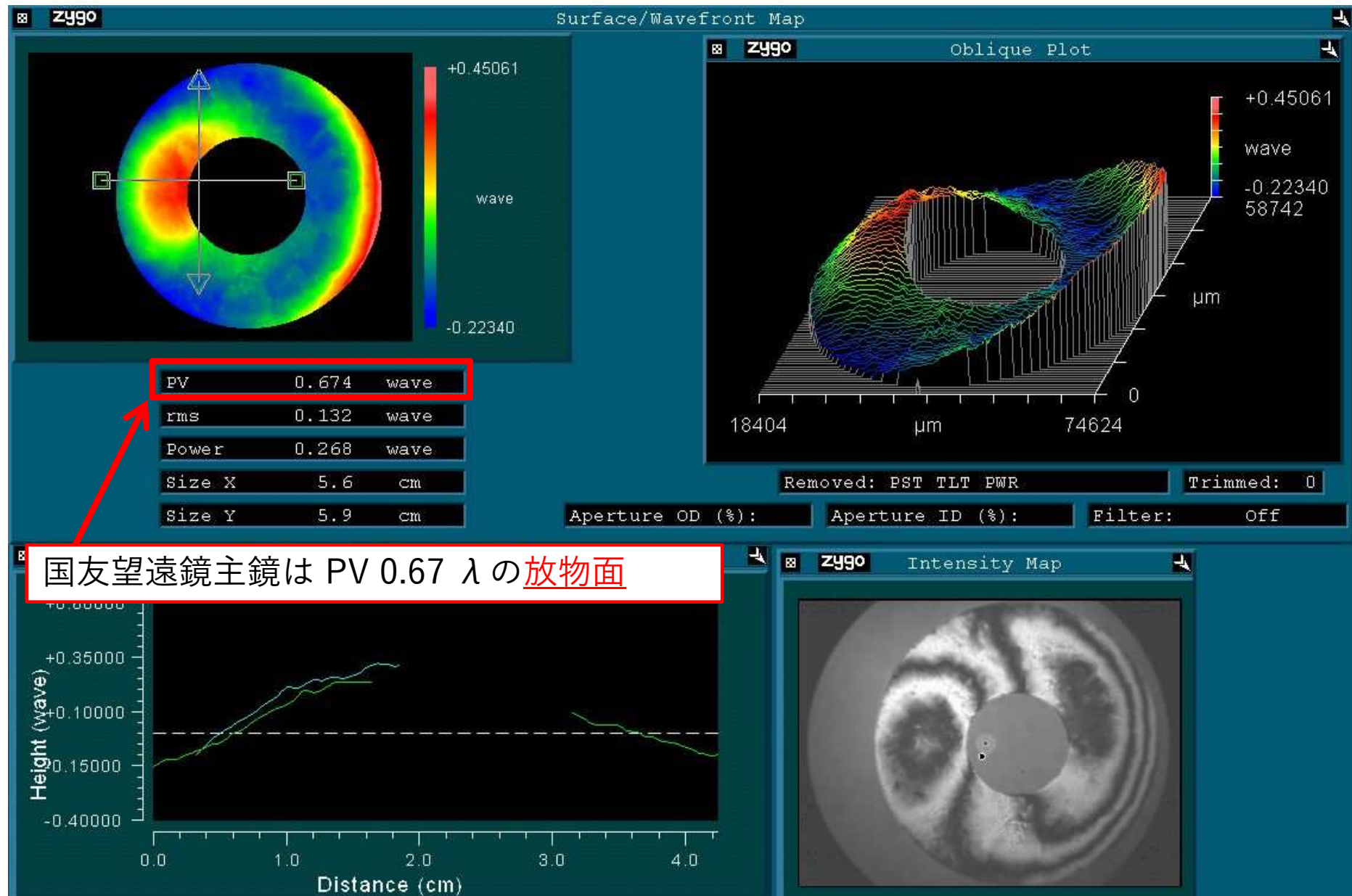
測定結果

- 面精度測定結果
- 表面拡大画像
- 面粗さ測定結果

面精度測定結果（国友望遠鏡主鏡）

- 面形状は面精度PV値 0.67λ の放物面であった。コマ成分が支配的。

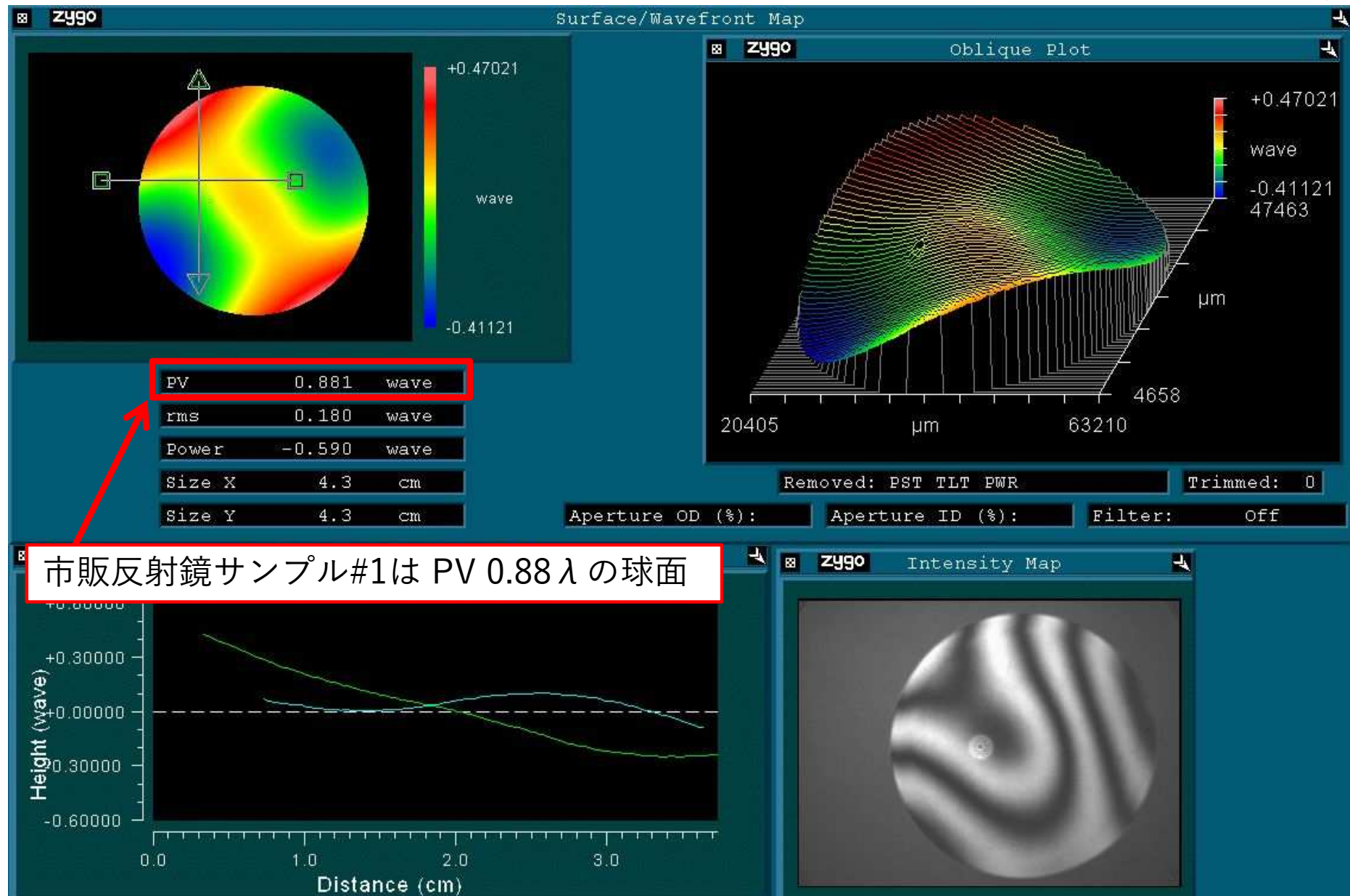
測定日時：2019/10/30 (水) PM



面精度測定結果（市販反射鏡サンプル#1）

- 面形状は面精度PV値で 0.88λ の球面であった。アス成分が支配的。

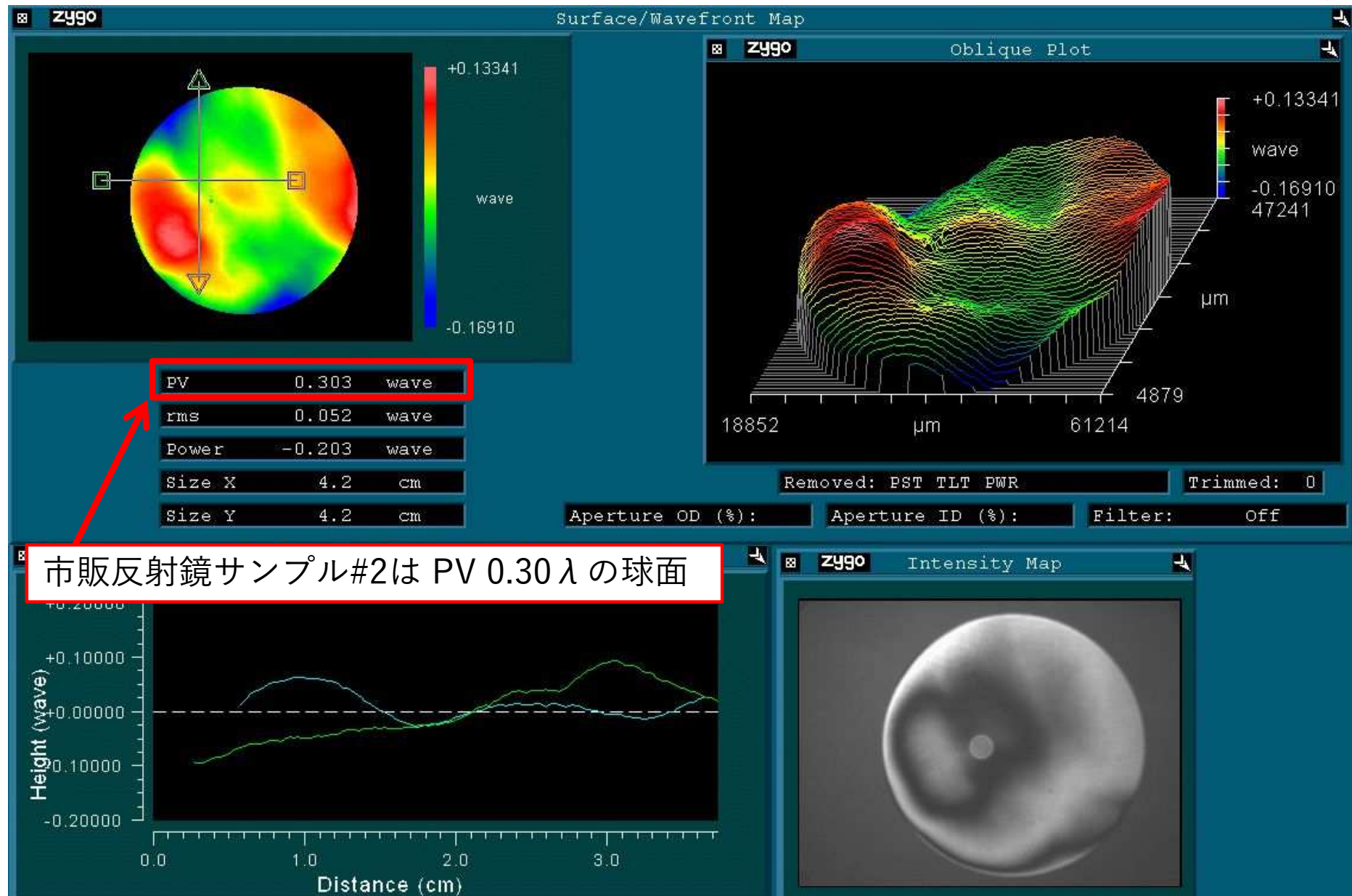
測定日時：2019/10/30 (水) PM



面精度測定結果（市販反射鏡サンプル#2）

- 面形状は面精度PV値で 0.30λ の球面であった。アス成分が大きい。

測定日時：2019/10/30 (水) PM

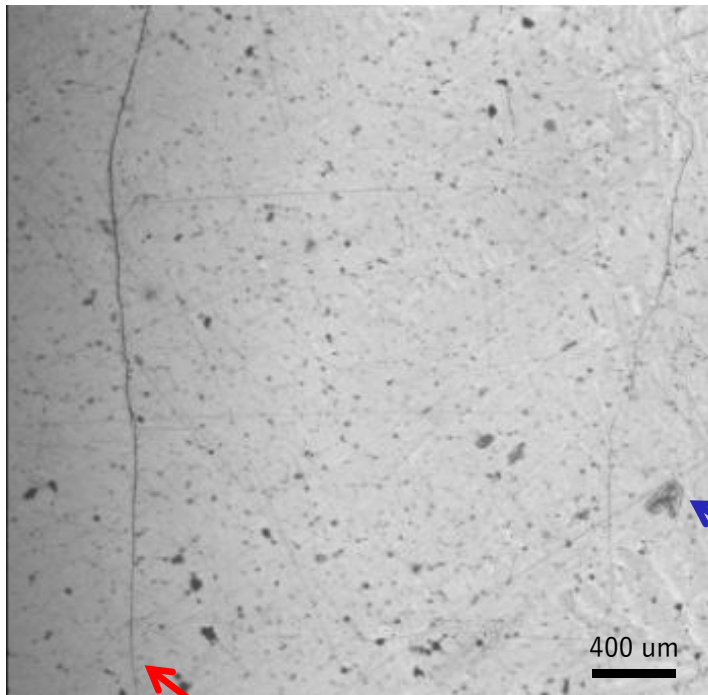


表面拡大画像（国友望遠鏡主鏡）

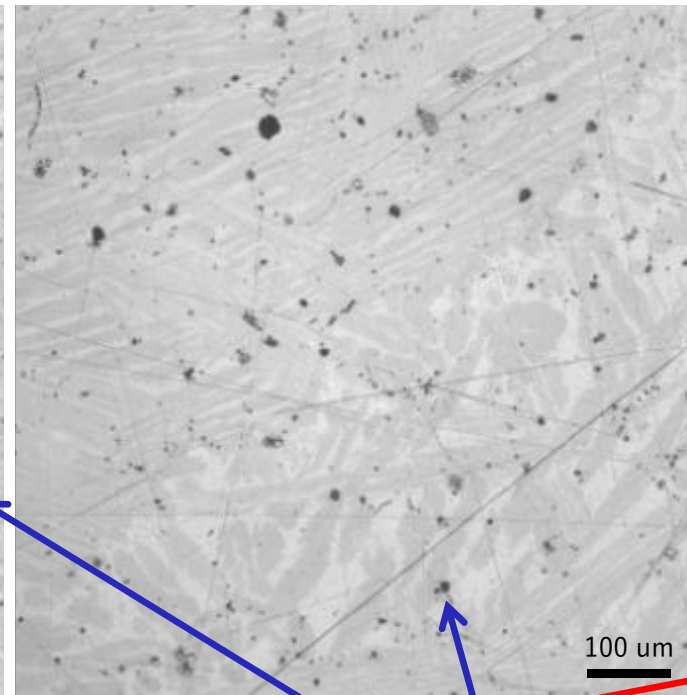
- 主鏡表面の顕微鏡での拡大画像（倍率2.75x, 10x, 50x）は以下ようになった。
- 主鏡表面には線上の亀裂（ヒビ、スジ）、黒い塊（サビ）が見られる。
- 拡大すると研磨による筋状の 패턴が見られる。パターン凹凸の大きさはPV値で20 nm、凹凸の幅はおよそ5 μm 程度。

撮影日時：2019/10/30（水）PM

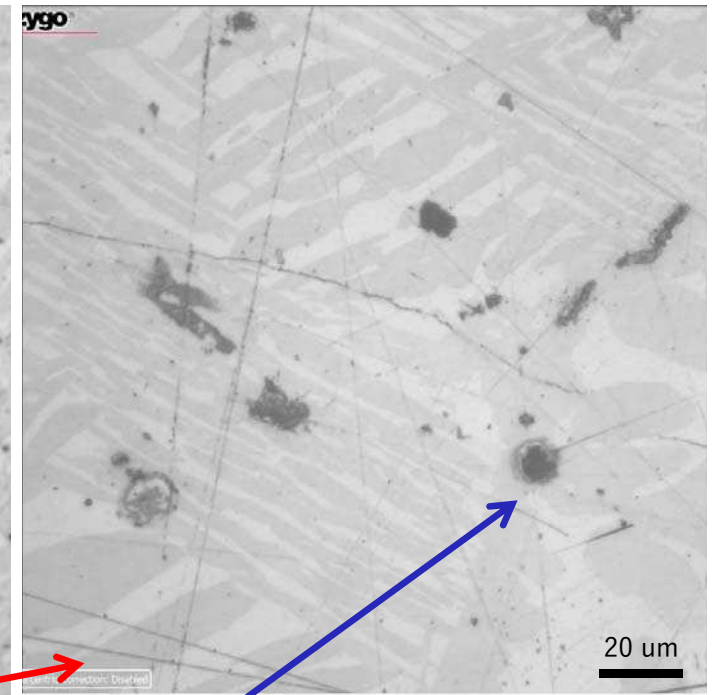
（倍率 2.75x）



（倍率 10.0x）



（倍率 50.0x）



ヒビ、スジ

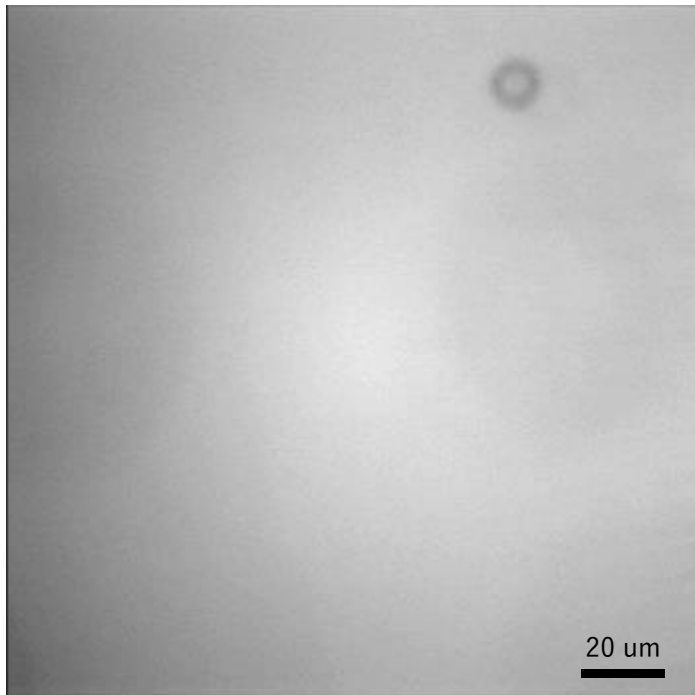
錆(サビ)

表面拡大画像(市販反射鏡サンプル)

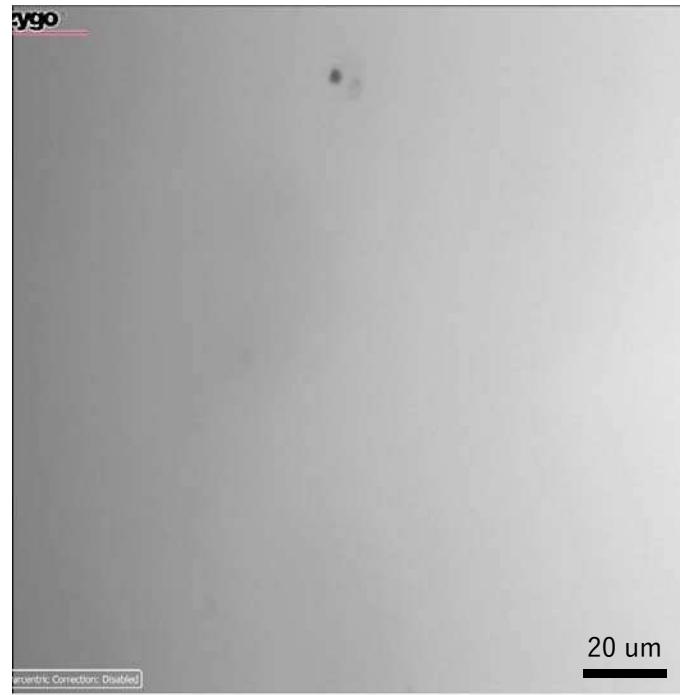
- 市販反射鏡サンプル(#1, #2)と国友主鏡表面の顕微鏡拡大画像(倍率50x)は以下のようになった。
- 市販反射鏡サンプルの表面には、国友主鏡表面に見られた亀裂、塊、研磨によるパターンは見られなかった。

撮影日時：2019/10/30 (水) PM

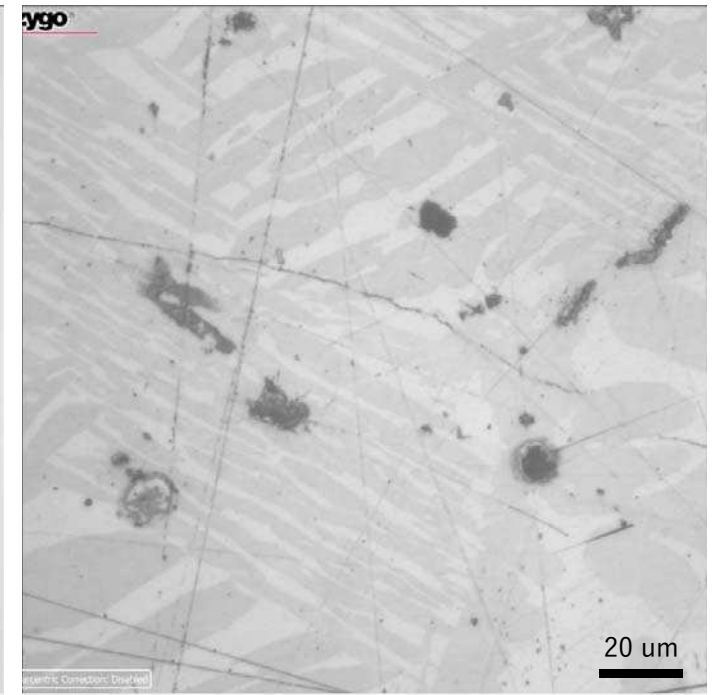
(市販鏡サンプル #1 倍率 50x)



(市販鏡サンプル #2 倍率 50x)



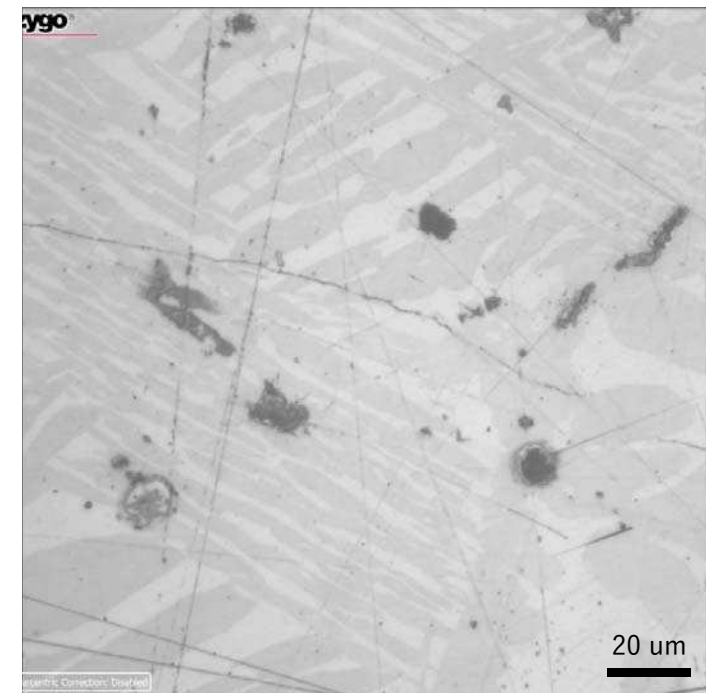
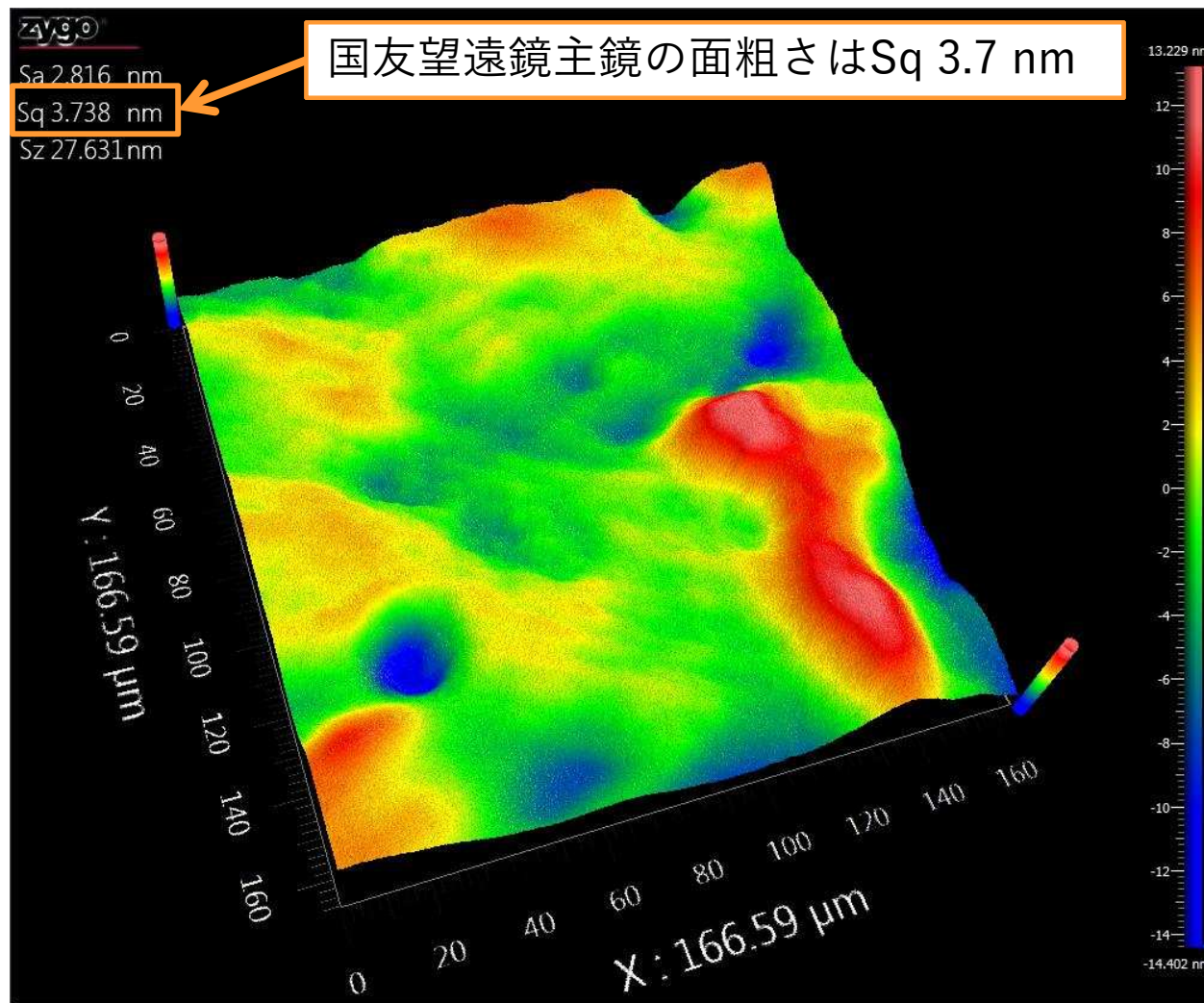
(参考：国友主鏡 倍率 50x)



面粗さ測定結果（国友望遠鏡主鏡）

- 主鏡表面の面粗さ測定結果(倍率50x)は以下ようになった。面粗さ(Sq)は3.7 nm、測定範囲内の凹凸の大きさは27.6 nmであった。
- 測定値を大きくしている要因は、スジ、錆(サビ)、研磨による筋状のパターンであった。

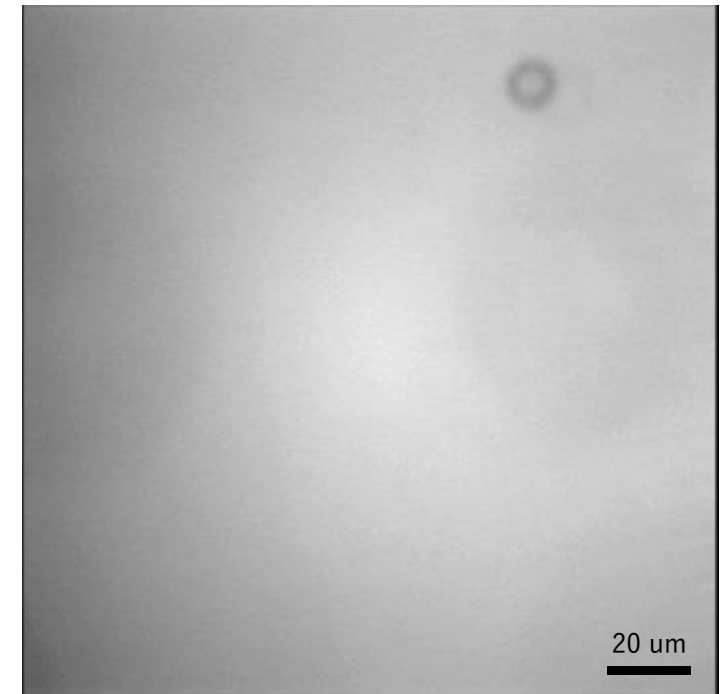
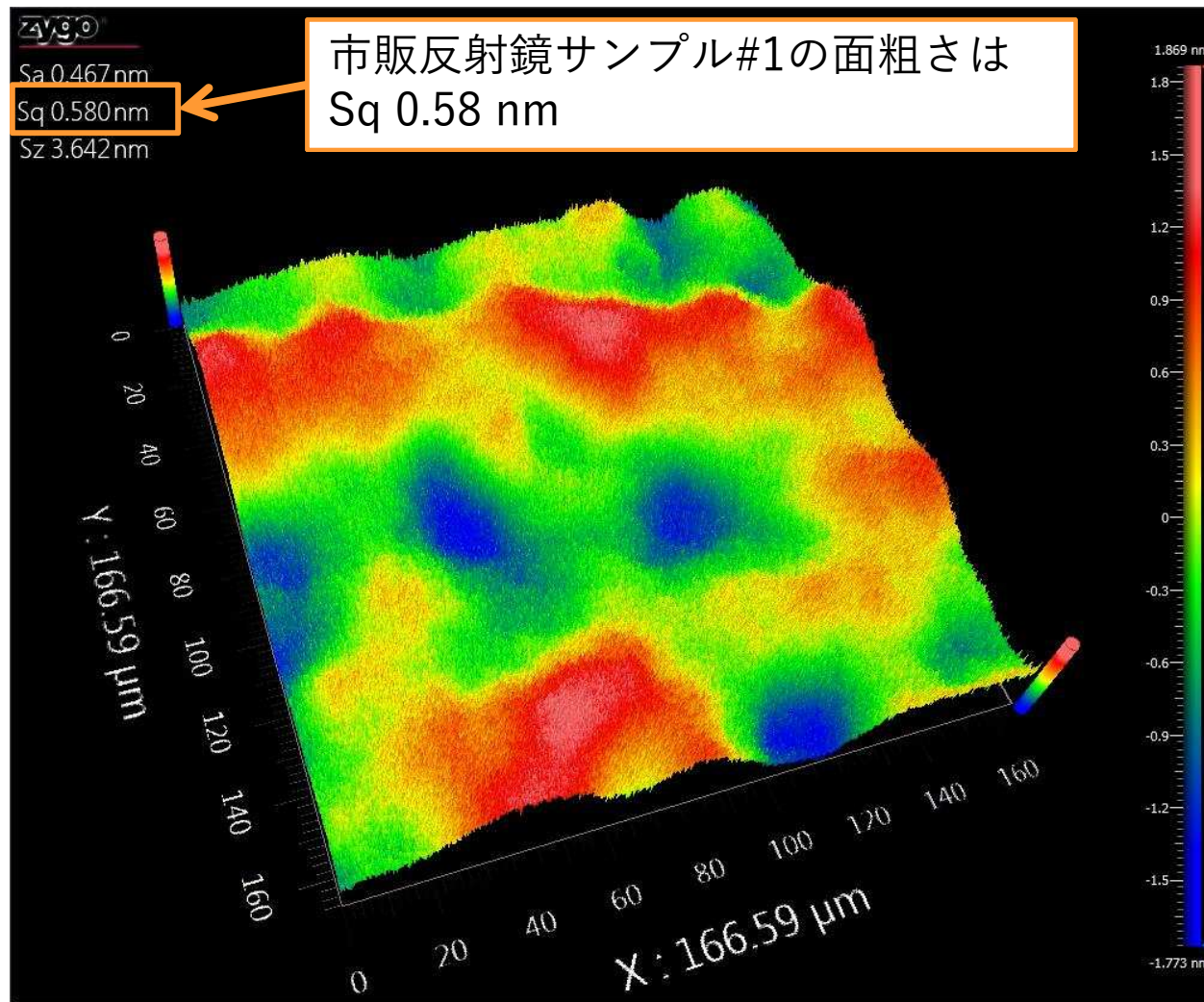
測定日時：2019/10/30 (水) PM



面粗さ測定結果（市販反射鏡サンプル#1）

- 市販反射鏡サンプル#1の鏡面の面粗さ測定結果(倍率50x)は以下ようになった。面粗さ(Sq)は0.58 nm、測定範囲内の凹凸の大きさは3.6 nmであった。
- 研磨のパターンは見られるものの、国友主鏡に比べて凹凸の大きさは一桁小さい。

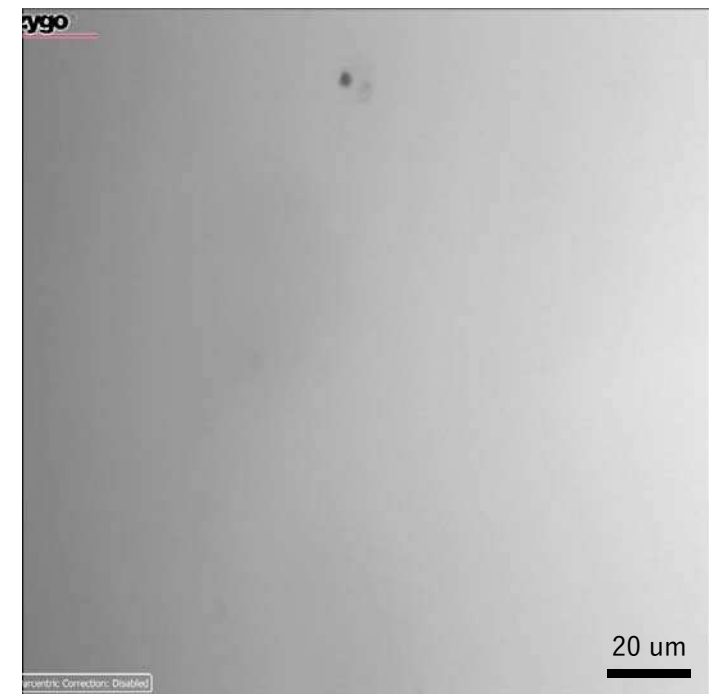
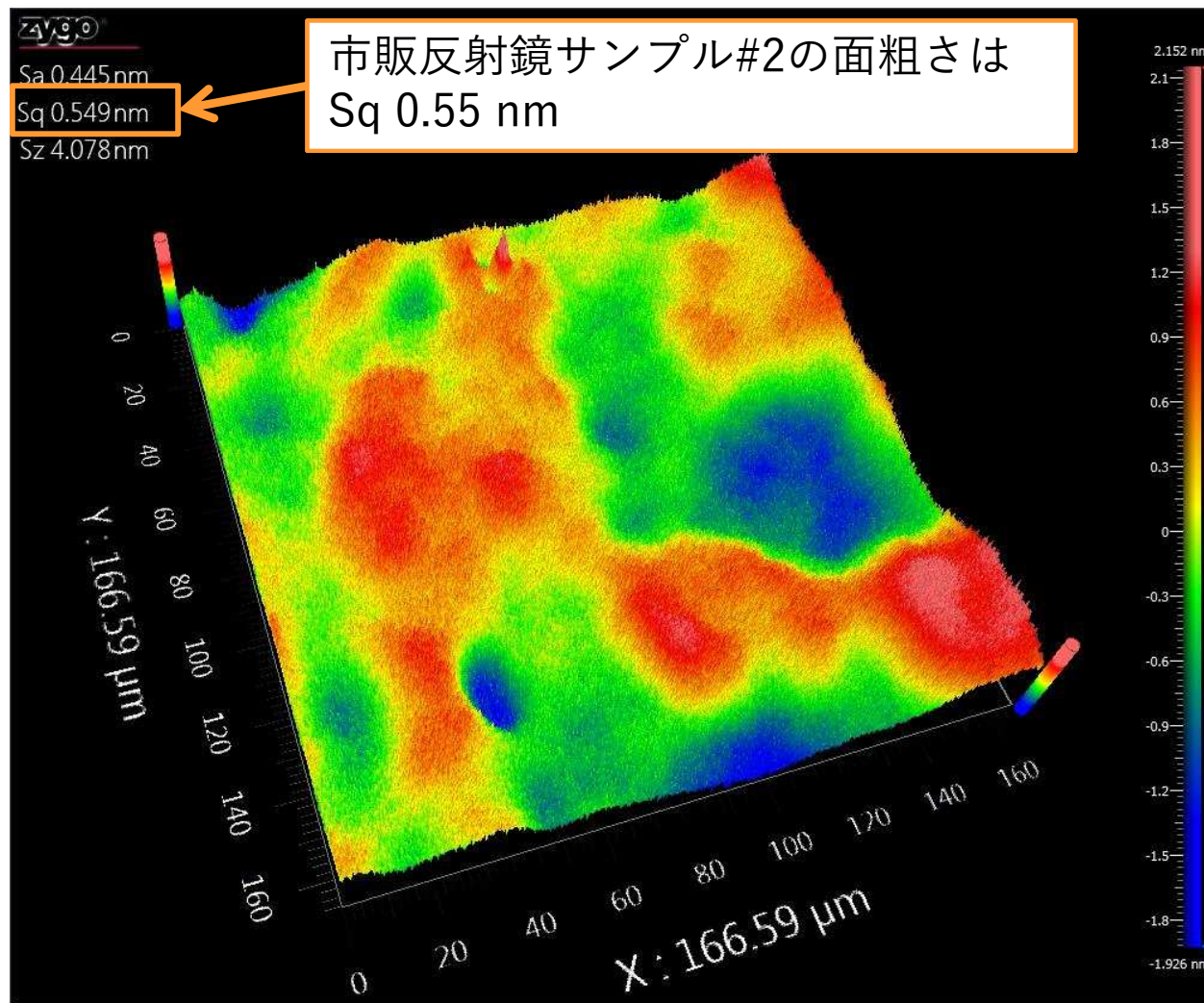
測定日時：2019/10/30 (水) PM



面粗さ測定結果（市販反射鏡サンプル#2）

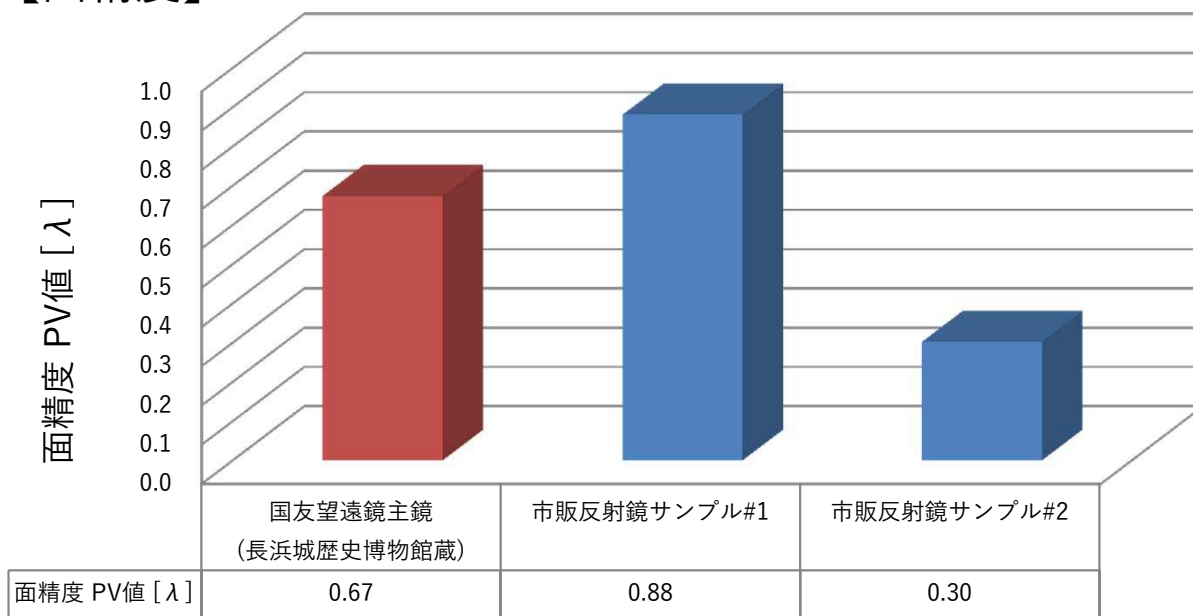
- 市販反射鏡サンプル#2の鏡面の面粗さ測定結果(倍率50x)は以下ようになった。面粗さ(Sq)は0.55 nm、測定範囲内の凹凸の大きさは4.1 nmであった。
- 市販反射鏡サンプル#1と同レベルの面粗さとなった。

測定日時：2019/10/30 (水) PM

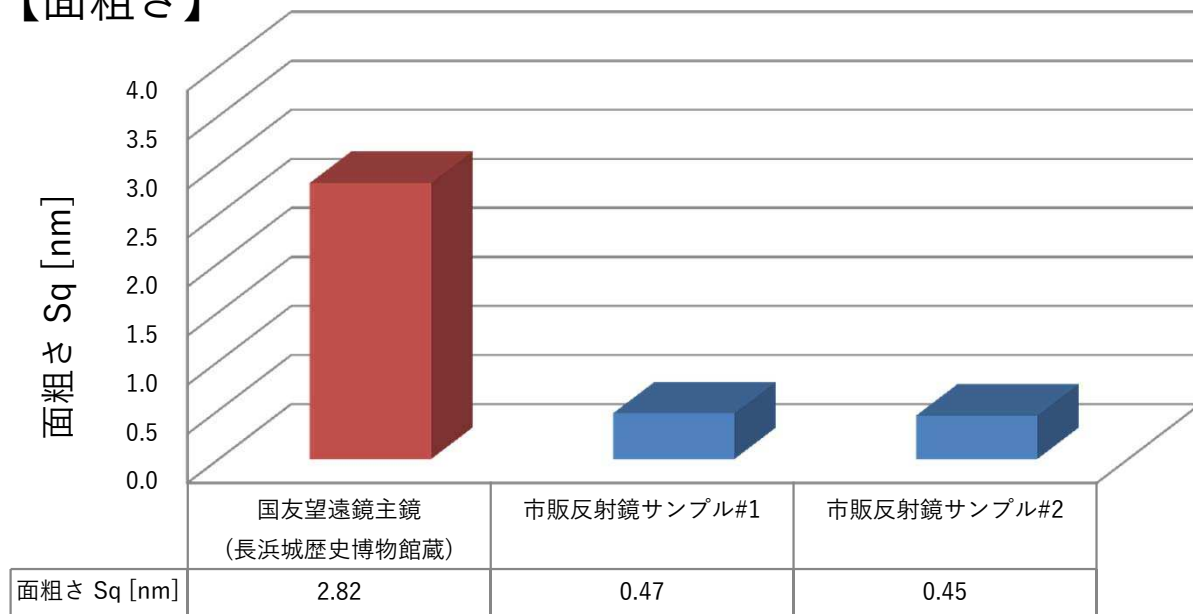


測定結果まとめ

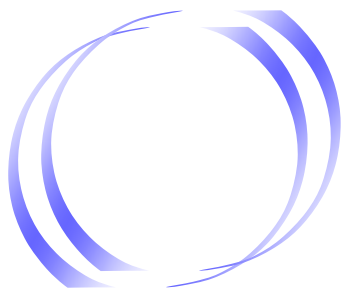
【面精度】



【面粗さ】



- 国友望遠鏡主鏡の面精度の測定結果は 0.67λ であり、現代の市販反射鏡サンプルの測定結果(それぞれ 0.88λ 、 0.30λ)の中間の値となった。
- 国友望遠鏡主鏡の面粗さの測定結果はSqで 3.7 nm であり、現代の市販反射鏡サンプルの測定結果(それぞれ 0.6 nm 、 0.5 nm)に比べて大きな値となった。
- 国友望遠鏡主鏡表面の顕微鏡拡大画像からは、研磨で使用する砥粒の大きさによる形状パターンや、鏡の経年劣化による亀裂や錆(さび)の発生が確認できた。



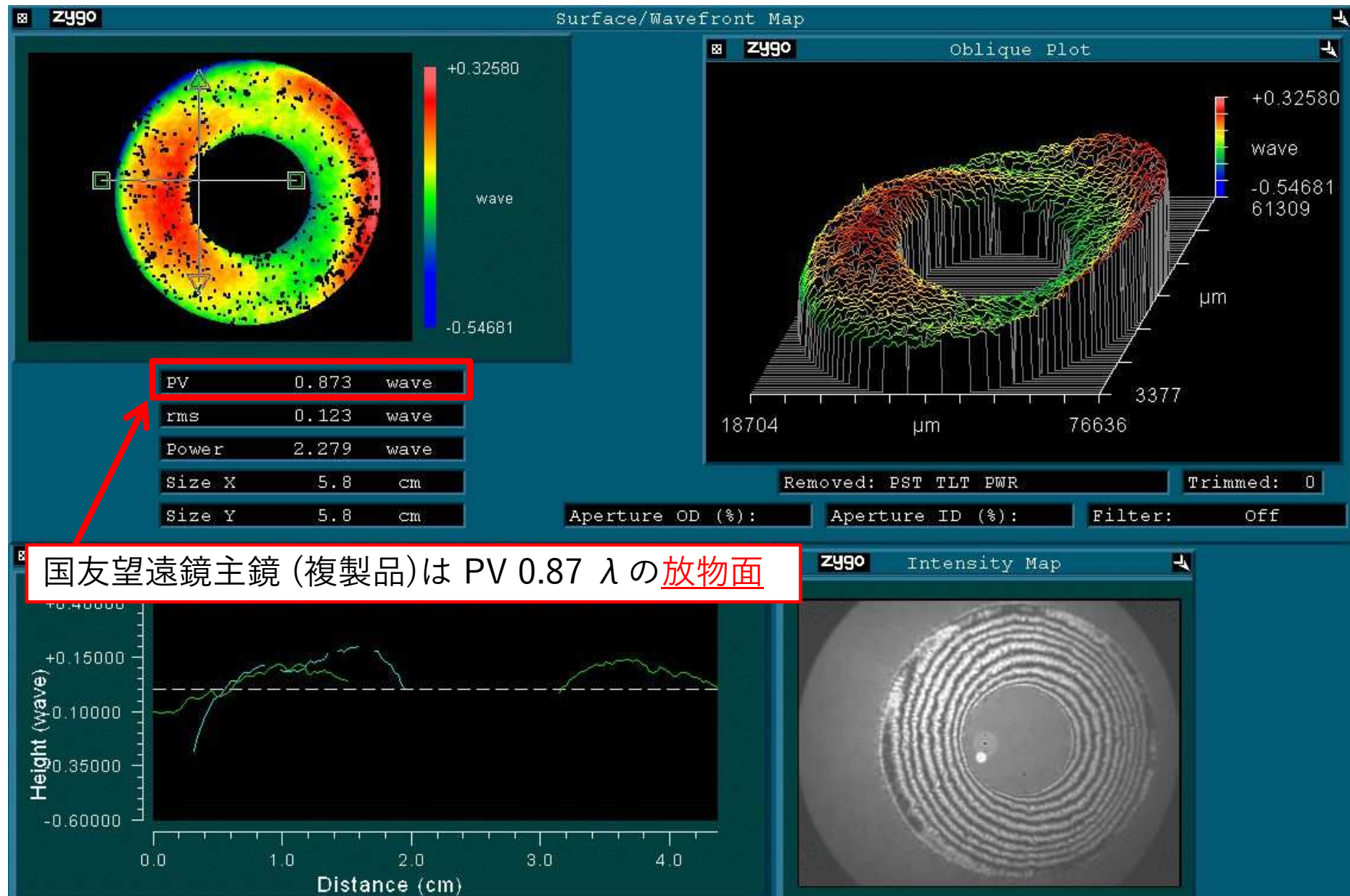
以下参考資料

- 国友望遠鏡主鏡 (レプリカ)の面精度測定結果
- 国友望遠鏡主鏡 (レプリカ)の面粗さ測定結果

面精度測定結果（国友望遠鏡主鏡（レプリカ））

- 面形状は面精度PV値 0.87λ の放物面であった。コマ成分が支配的。

測定日時：2019/10/30（水）PM



面粗さ測定結果（国友望遠鏡主鏡（レプリカ））

- レプリカ主鏡表面の面粗さ測定結果(倍率50x)は以下のようになった。面粗さ(Sq)は12.7 nm、測定範囲内の凹凸の大きさは96.0 nmであった。
- 測定値を大きくしている要因は、研磨による筋状のパターンであり、凹凸の幅、大きさは国友望遠鏡と比べて大きい。

測定日時：2019/10/30 (水) PM

