



2013年 第3回可視赤外線観測装置ワークショップ

アルミ製軽量自由曲面 ミラー製造における 最先端技術の紹介

2013年12月18日

(株)クリスタル光学 ○ 桐野 宙治、中川 寛之、
宮城 直紀、牛尾 恵大



JAXA

片ざ 宏一





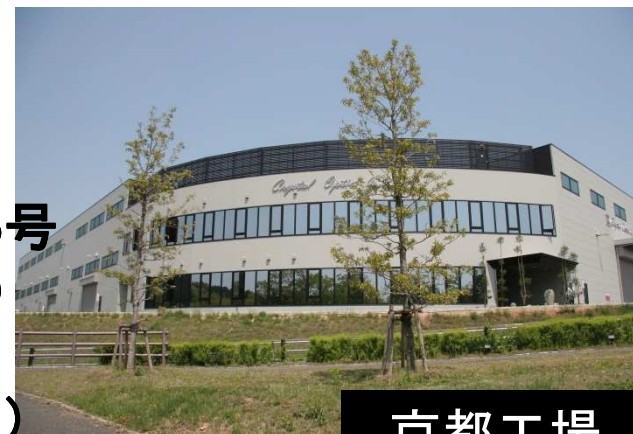
■ 本日の内容

- ☑ **会社紹介**
- ☑ **自由曲面の新たな加工方法**
- ☑ **最新トピックス(高精度化に向けて)**



会社紹介

- 社名 株式会社クリスタル光学
- 所在地 **滋賀県大津市**今堅田三丁目4番25号
- 設立 1985年4月10日(有限会社 設立)
1990年3月31日(株式会社 設立)
- 資本金 6,000万円(2013年9月1日現在)
- 代表取締役 桐野 茂
- 従業員数 110名(2013年9月1日現在)
- 事業内容 精密部品の受託加工(**超精密研磨、研削、切削**)
装置開発(超音波洗浄機)
- 工場 本社工場、大津工場、熊本工場、
京都工場



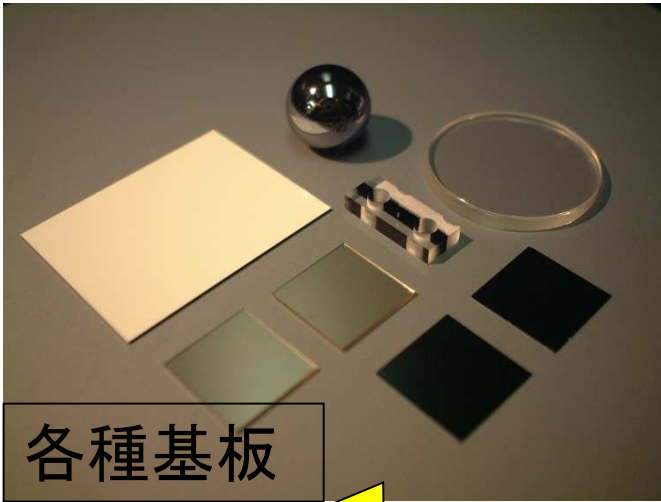
京都工場



本社工場屋上より

加工事例(光学材料)

光学・結晶



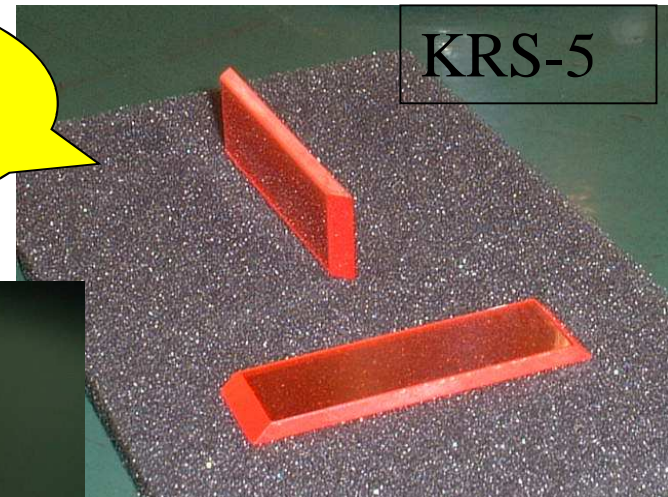
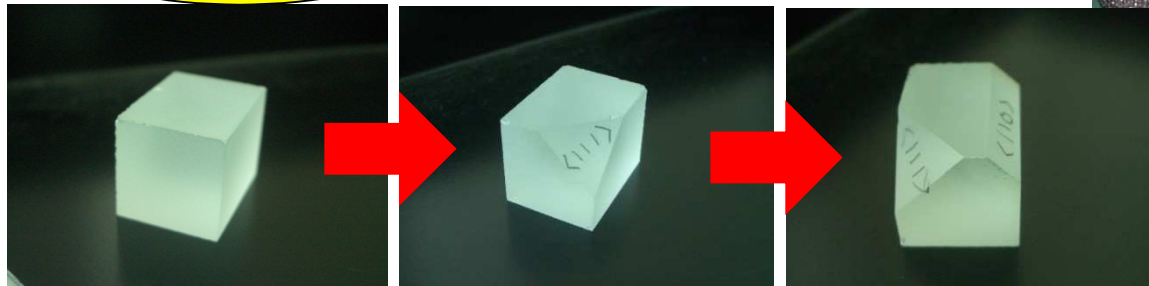
各種基板

加工実績

NaCl, KBr, KCl, CsI, CsBr,
AgCl, AgBr, ZnS, MgF₂,
CaF₂, BaF₂, LiF, Al₂O₃, SiO₂,
SrTiO₃, MgO, TiO₂, LaAlO₃,
Si, Ge, SiC, **CVDダイヤモンド膜**

各種光学
フィルター、
レンズ

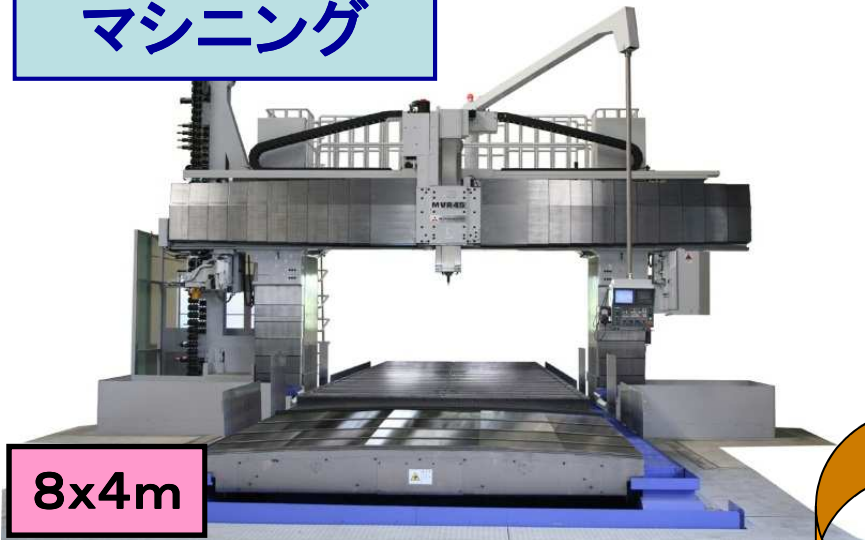
赤外線用
プリズム





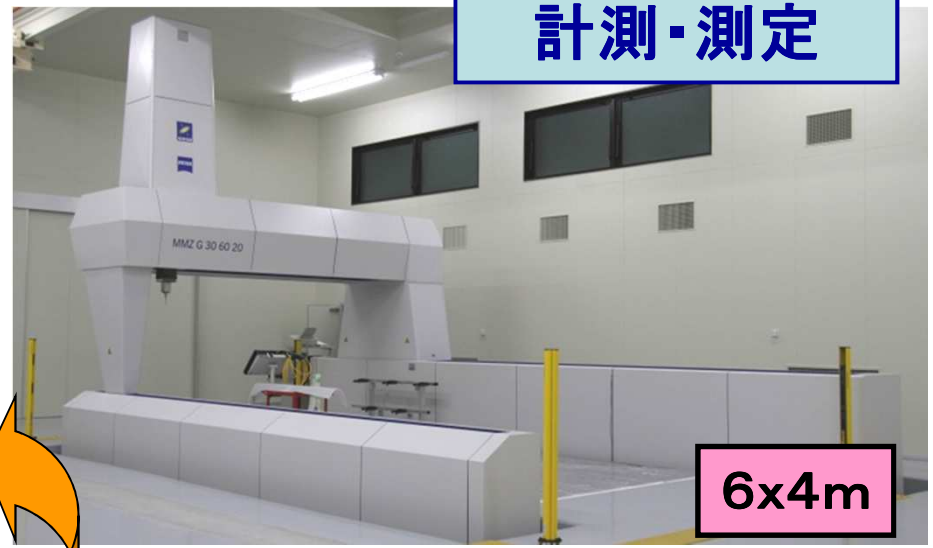
超大型加工設備(加工⇒測定)

マシニング



8x4m

計測・測定



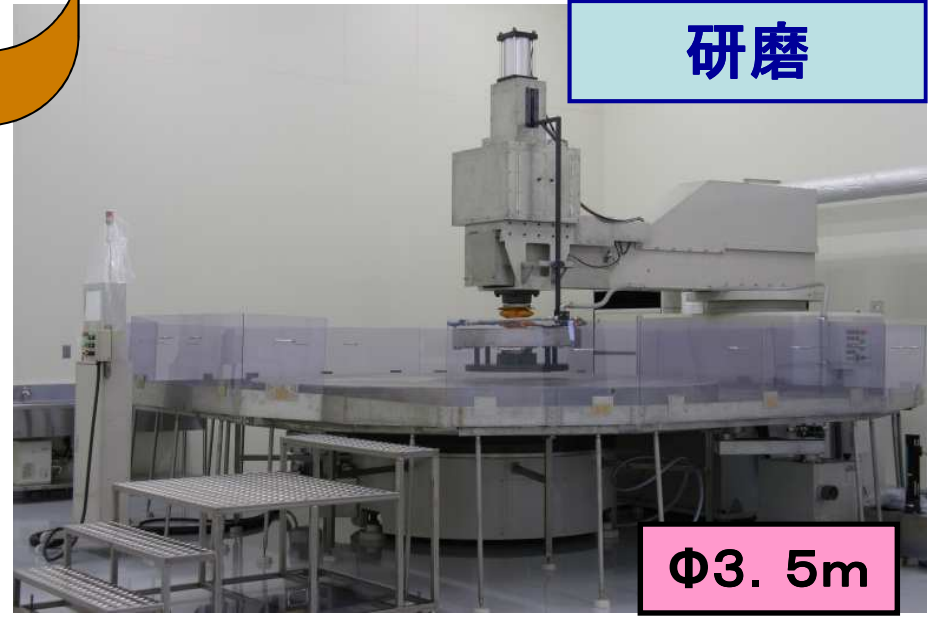
6x4m

研削



5x3m

研磨



Φ3.5m

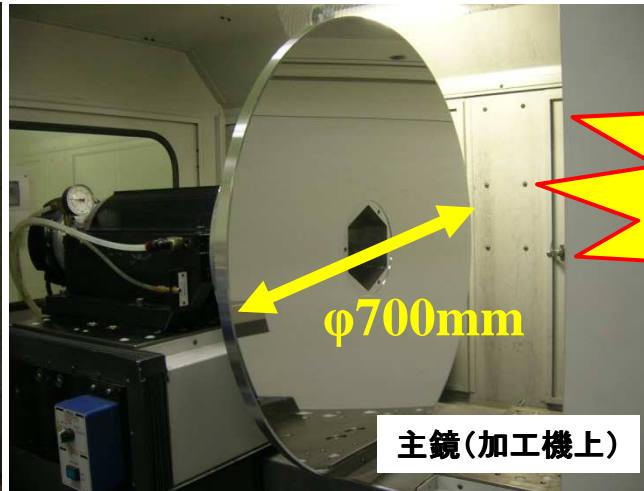


加工事例(天文／航空宇宙)

2013年4月:航空宇宙産業の
品質マネジメント規格JISQ9100認証取得



主鏡裏面のリブ構造



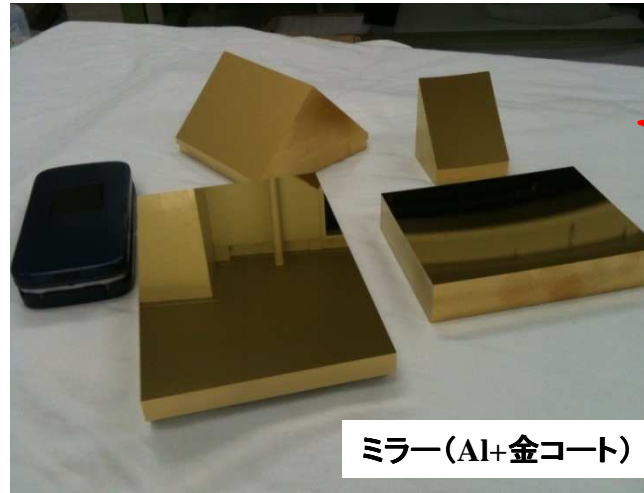
主鏡(加工機上)

大型アルミ
削りだし

JAXA様向け
反射型赤外望遠鏡



光学調整



ミラー(AI+金コート)

自由曲面
ミラー

東京大学様向け
中間赤外望遠鏡装置



超精密測定機器

形状精度



表面粗さ

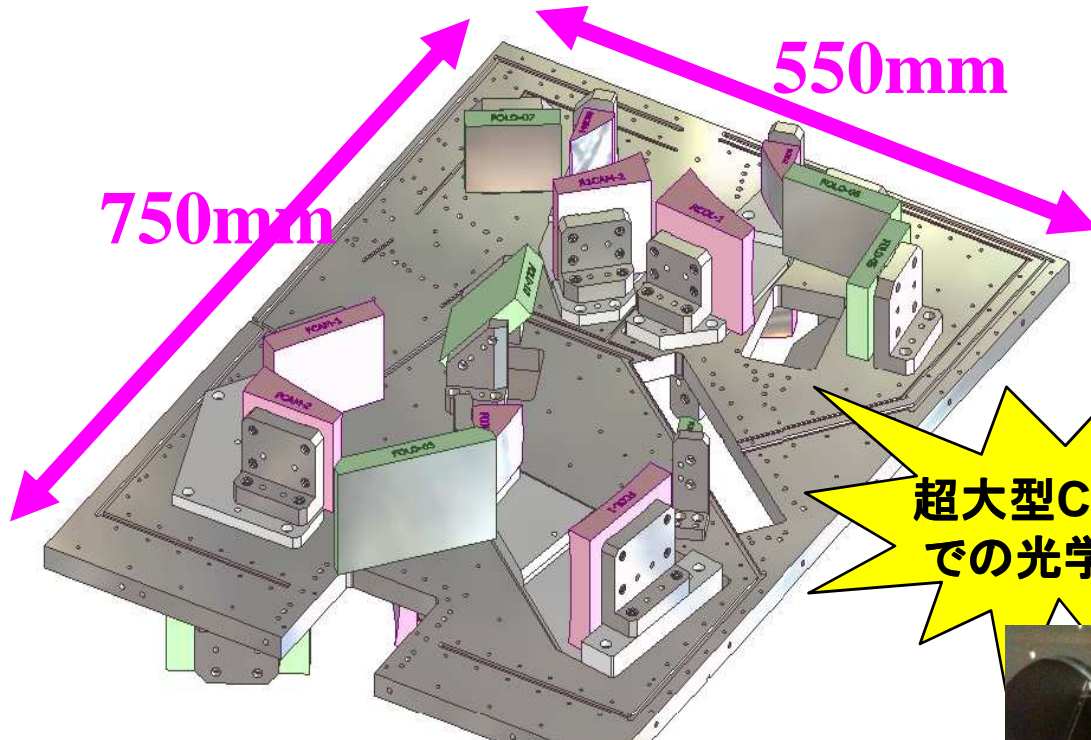


表面観察





自由曲面ミラーを含む“MIMIZUKU”の光学系



超大型CMM上での光学調整





■ 本日の内容

- ☑ 会社紹介
- ☑ **自由曲面の新たな加工方法**
- ☑ 最新トピックス(高精度化に向けて)

新たな**回転同期加工**の実用化により、自由曲面ミラー／レンズが身近なものに(比較的)低価格、短納期対応が可能



新しい加工法⇒回転同期加工

トロイダルミラー

直行する2軸の曲率が異なる

非球面ミラー

材質:アルミ, 形状:Φ40mm

形状:凸型非球面(ZAG2mm)

仕上:回転同期切削加工

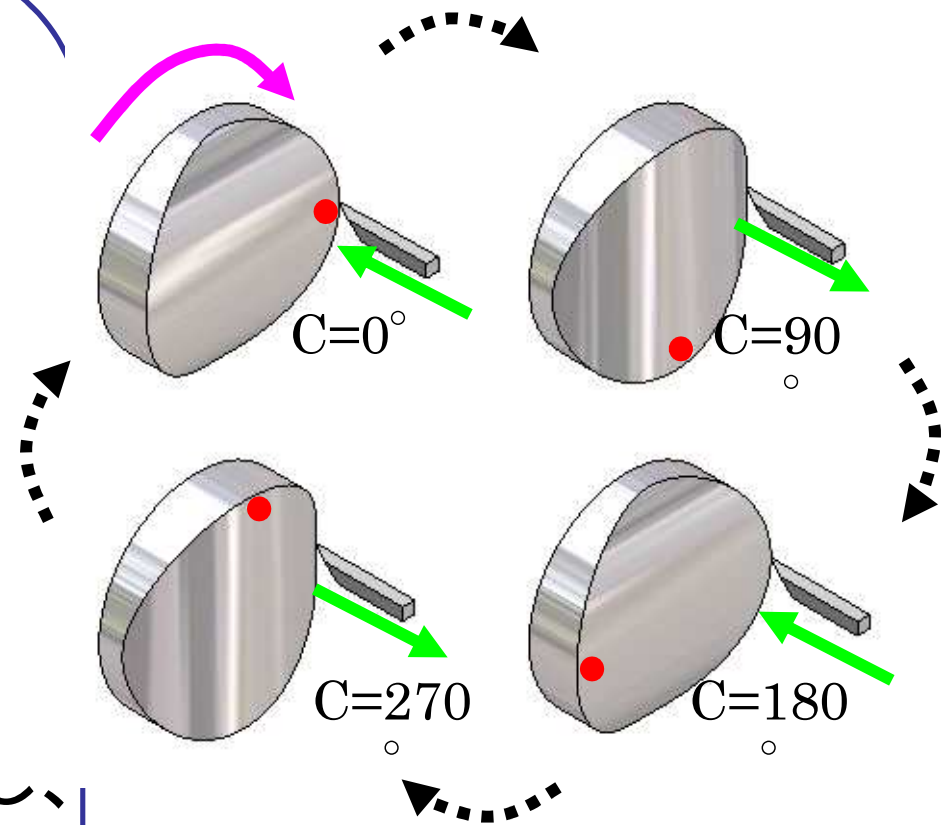
(STS: Slow Tool Servo)

工具の動き(X軸Z軸)と

ワークの回転(C軸)が同期し、

回転非対称な面を生成する

ことができる加工



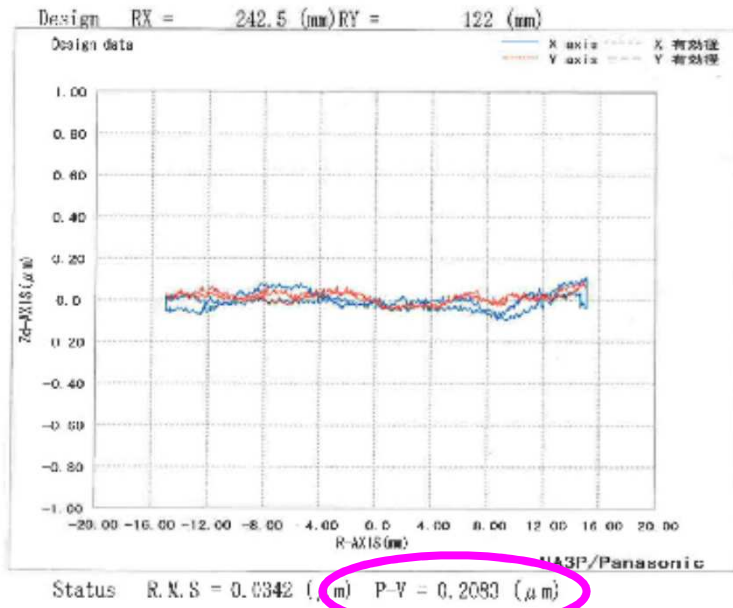


トロイダルミラー加工結果

形状精度

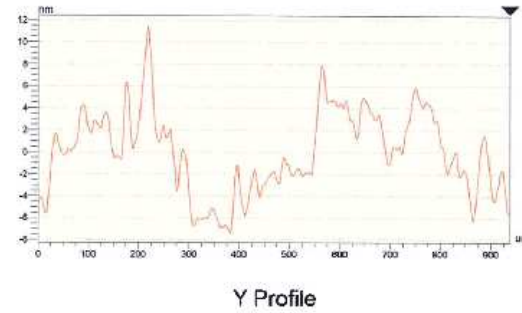
PV 208nm

— X axis
— Y axis

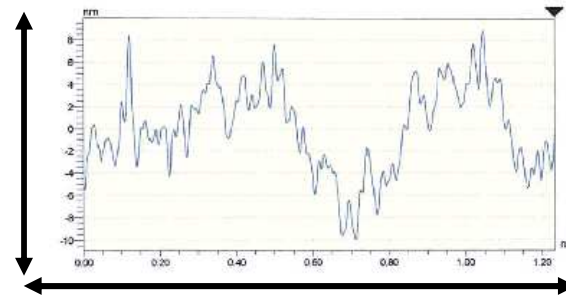


表面粗さ

3.0 nm Ra
19 nm Rt (PV)



Rq	3.73 nm
Ra	3.06 nm
Rt	18.82 nm
Rp	11.46 nm
Rv	-7.36 nm
Angle	-1.19 urad
Curve	-136.28 km
Terms	None
Avg Ht	-0.00 nm
Area	-0.00 um2



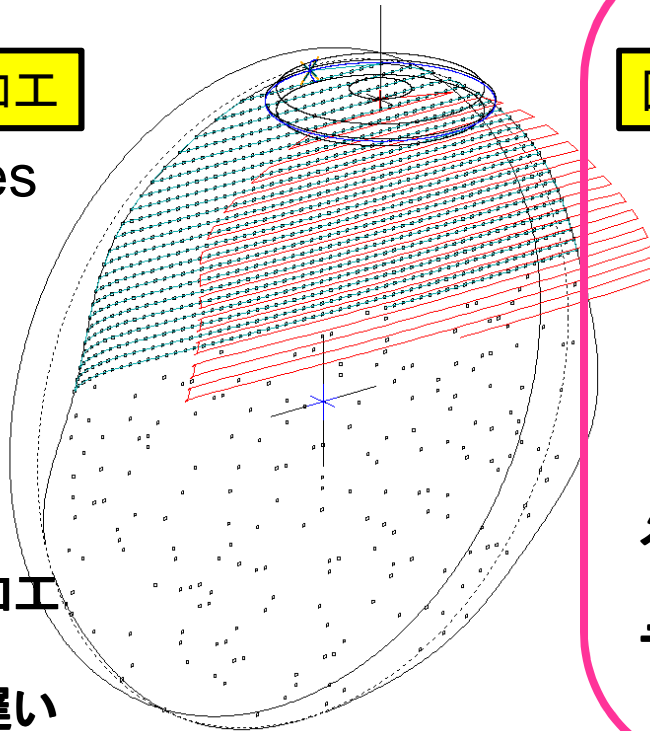
Rq	3.88 nm
Ra	3.21 nm
Rt	18.97 nm
Rp	6.98 nm
Rv	-9.98 nm
Angle	4.38 urad
Curve	-475.11 km
Terms	None
Avg Ht	-0.00 nm
Area	0.00 um2



まとめ 『回転工具vs回転同期』

回転工具加工

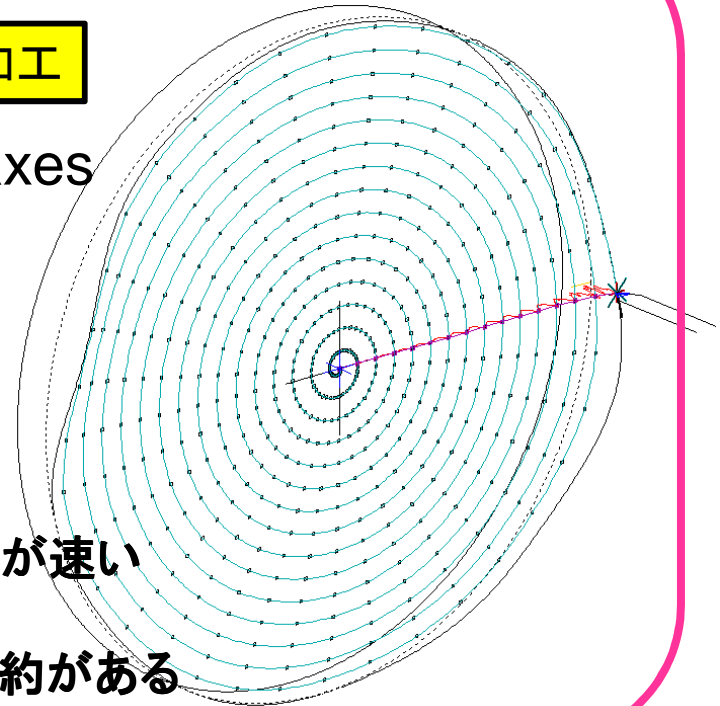
XYZ axes



メリット
複雑形状の加工
デメリット
加工速度が遅い

回転同期加工

CXZ axes



メリット
加工速度が速い
デメリット
形状に制約がある

回せるものは極力回す

今後は大型化と超高精度化(形状精度PV < 500nm)が目標



■ 本日の内容

- ☑ 会社紹介
- ☑ 自由曲面の新たな加工方法
- ☑ **最新トピックス(高精度化に向けて)**

超大型化／軽量化／超高精度化／超平滑化



加工装置／加工手法／形状補正／ポリッシング／材料



超大型化⇒最新加工機の導入



本方式の加工で
世界最大サイズ

600x200mm
20kg



入力最少単位

⇒ 100pm

スケールフィード
バック

⇒ 34pm

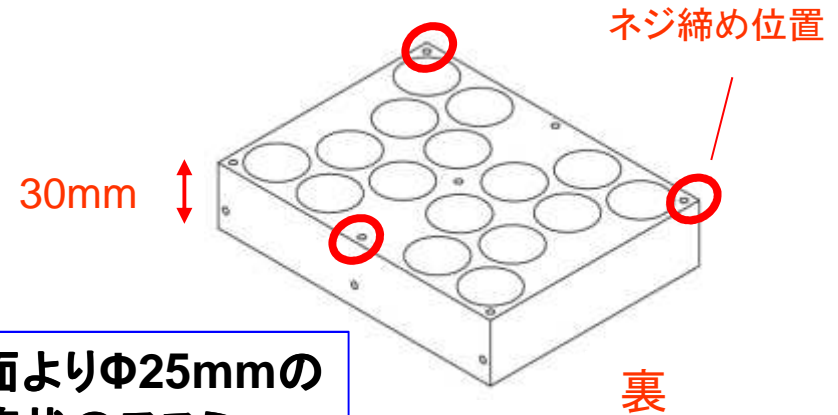
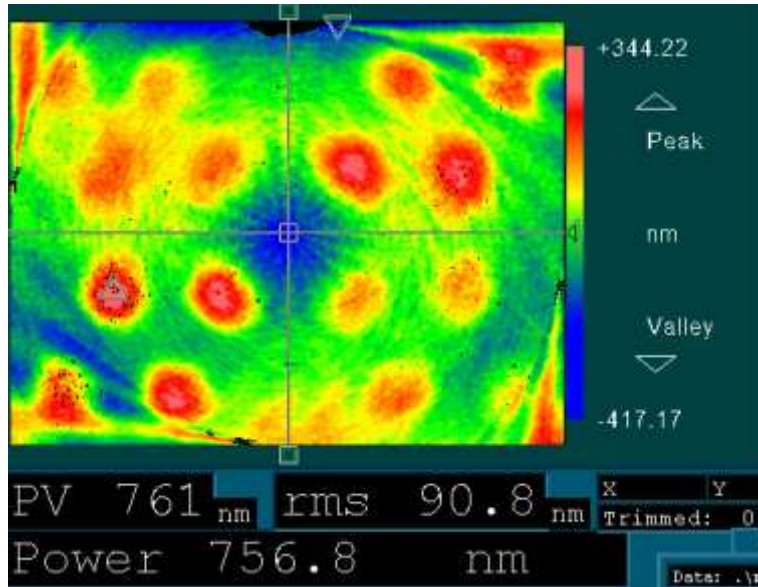
回転同期加工
時の軸振動

⇒ 50nm以下

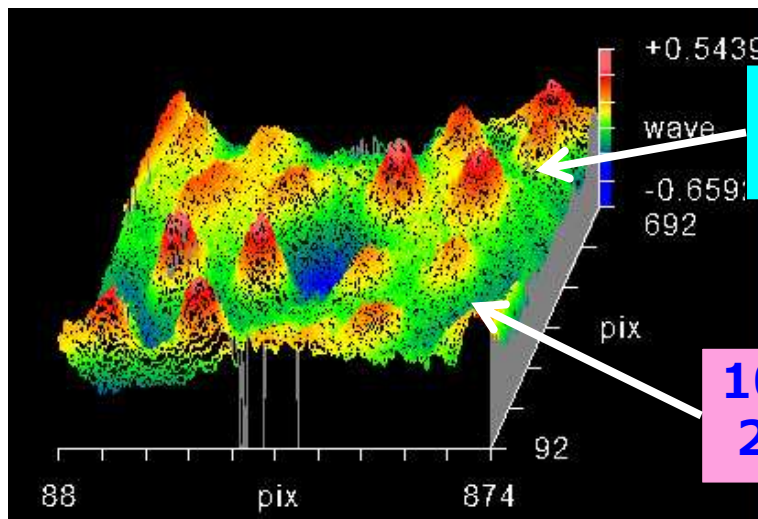


軽量化⇒ミラー形状(裏面)の最適化

切削条件ごとのデータ収集
およびシミュレーションとの相関

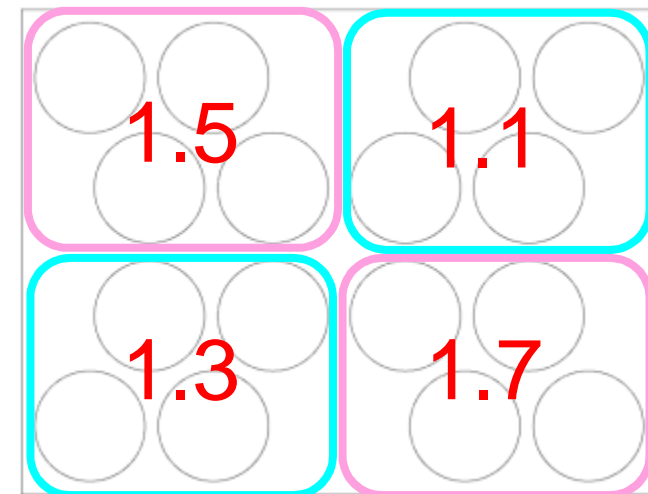


裏面よりΦ25mmの
円筒状のヌスミ



300~
400nm

100~
200nm



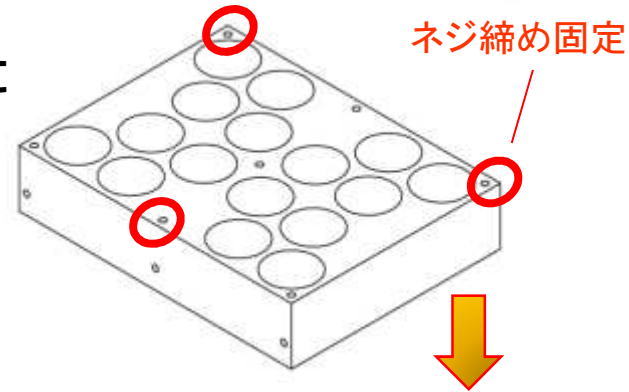
ザグリ部の残り肉厚[mm]



高精度化⇒ワーク固定方法の検討

平面へのネジ締結での取付再現性を確認

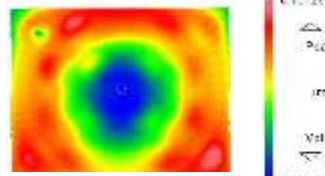
⇒低トルクでの再現性は良いが、実際の加工に必要な高トルクでは再現性が悪化した



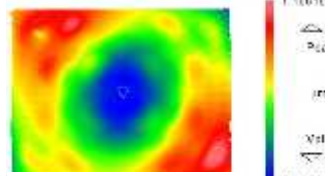
締め付けトルク(低)

締め付けトルク(高)

1回目

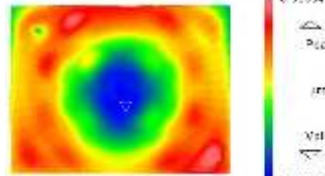


PV 0.495

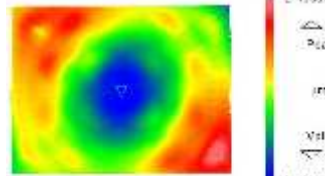


PV 0.595

2回目

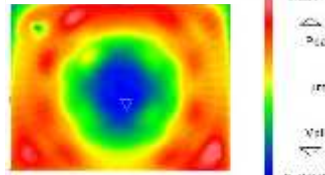


PV 0.498

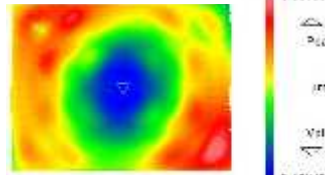


PV 0.627

3回目

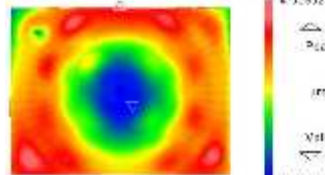


PV 0.492

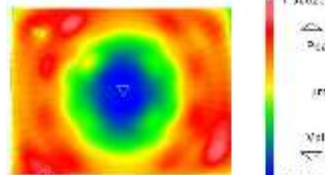


PV 0.587

4回目



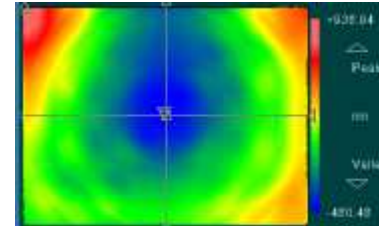
PV 0.496



PV 0.525

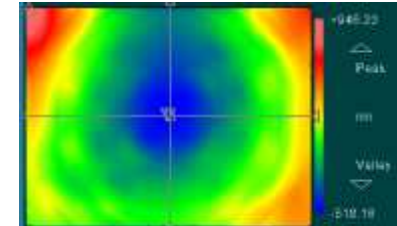
構造を鋭意検討し、取付再現性が良く、高精度面が得られる新たな治具を開発済み

1回目

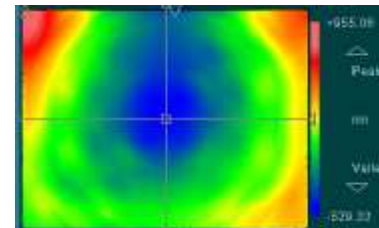


2回目 PV 1.439 μ m

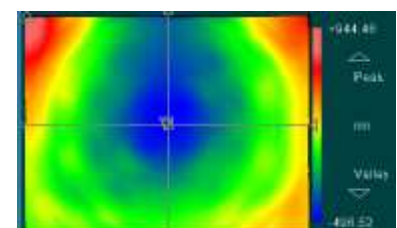
3回目



4回目 PV 1.464 μ m



PV 1.484 μ m

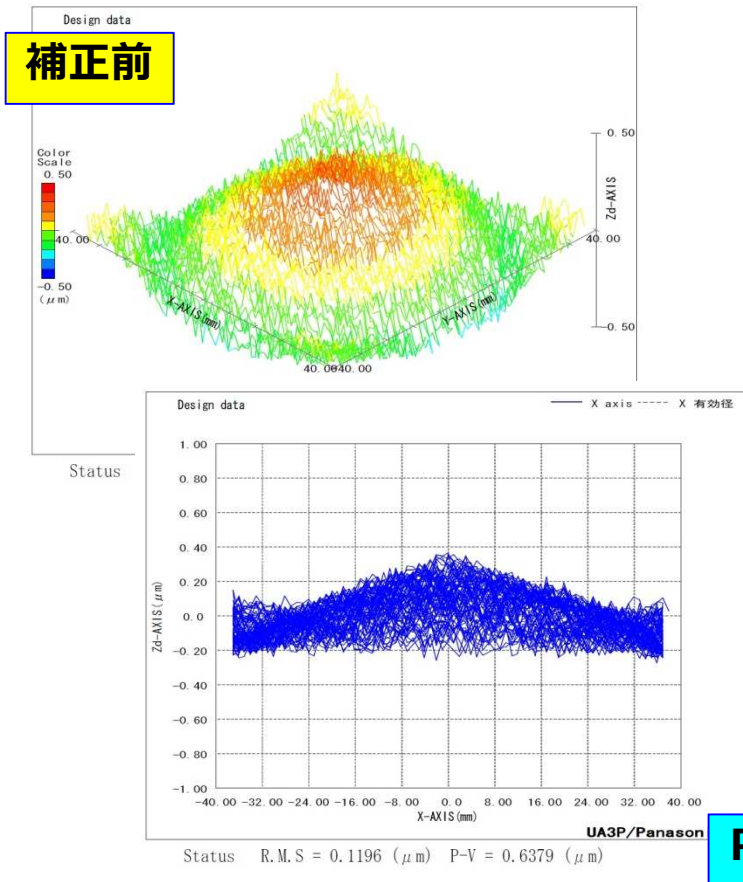


PV 1.441 μ m

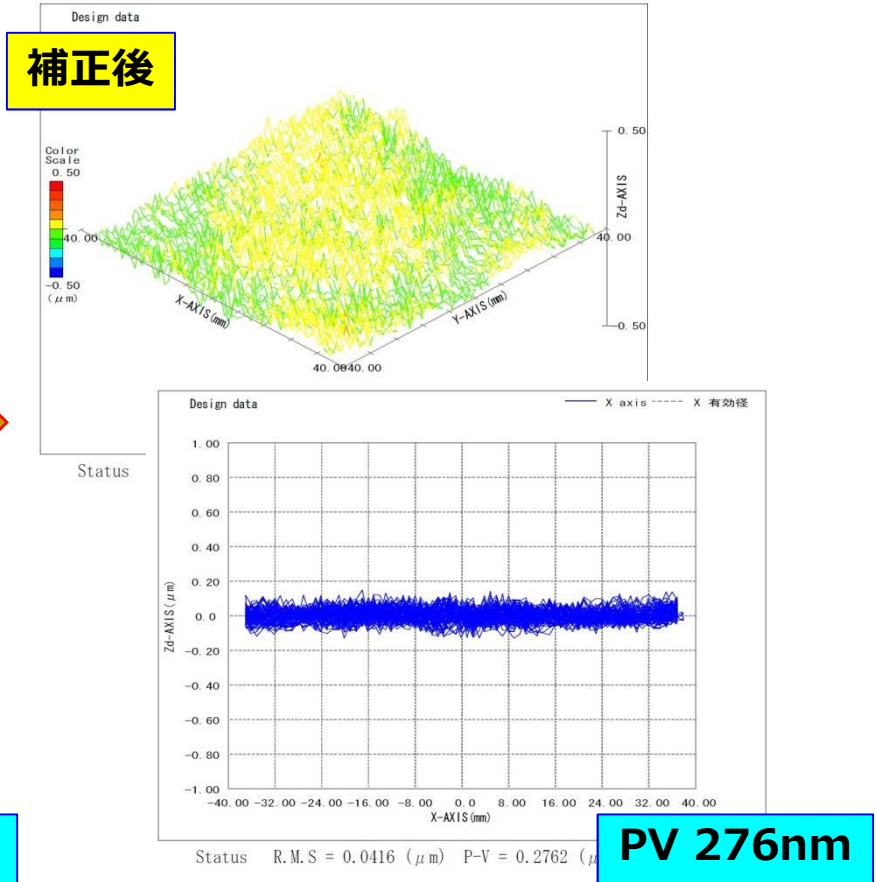
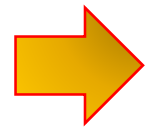




高精度化⇒PGMによる形状補正



PV 638nm



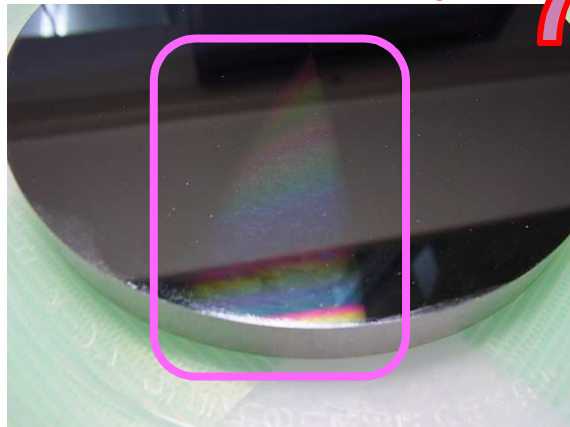
PV 276nm

100mm角のワークを回転同期加工のPGMで平面加工
 ⇒UA3Pで形状測定後、三次元の補正加工PGMで再加工
 ※ 裏面ヌスミや固定方法による変形も測定できれば補正が可能



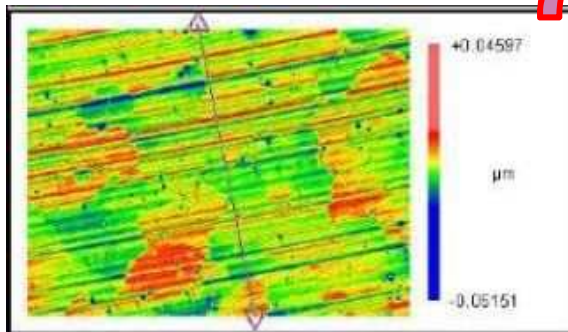
超平滑化⇒直接研磨での虹目除去

AL5000~6000系



切削痕による回折現象である虹目が問題となる
 この場合直接研磨での虹目除去も可能である。
 ただし、強い光の照射下では表面が白濁する

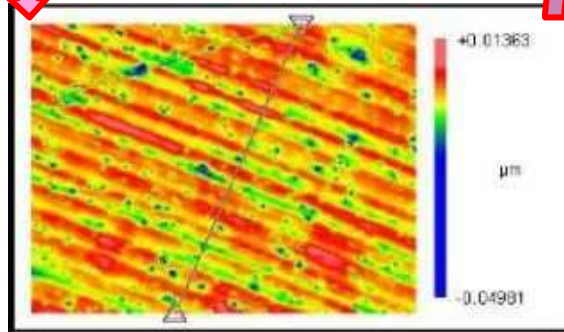
超精密切削後



PV	97.473 nm	Rsk	-0.090
rms	5.598 nm	Rku	4.308
Ra	4.334 nm	4th Order	
Size X	0.70 mm		
Size Y	0.52 mm		

4.3nm Ra

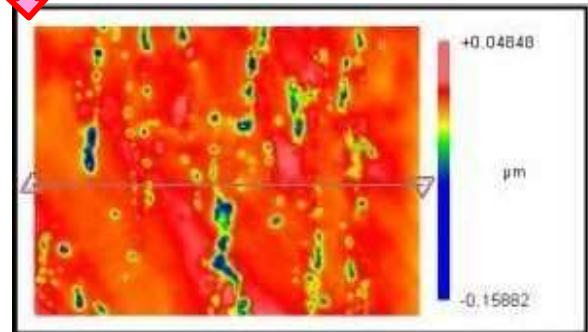
精密研磨後



PV	63.440 nm	Rsk	-1.266
rms	3.663 nm	Rku	9.408
Ra	2.743 nm	4th Order	
Size X	0.70 mm		
Size Y	0.52 mm		

2.7nm Ra

さらに精密研磨後



PV	207.296 nm	Rsk	-3.060
rms	12.379 nm	Rku	16.161
Ra	7.303 nm	Trimmed: 0	
Size X	0.70 mm		
Size Y	0.52 mm		

7.3nm Ra

エッチピット発生により表面粗さが悪化する(白濁)

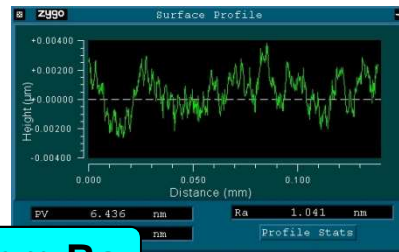
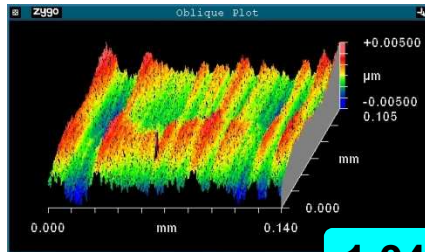
超平滑化⇒Ni-Pやガラスの研磨

無電解Ni-Pめっき面はダイヤモンド工具での切削性が最も良く、研磨での超平滑化も比較的容易に行える。
 弊社においても円筒面(自由曲面相当)の**0.43nmRa**の超平滑化が達成されている。
 ガラスの場合は超平滑化はより行いやすい。弊社での円筒面の実績値⇒**0.18nmRa**



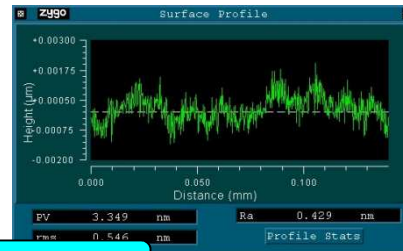
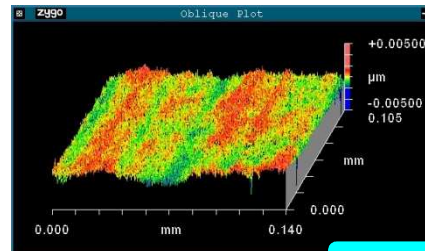
Mandrel of X-ray mirror

Before finishing(超精密切削後)



1.04 nm Ra

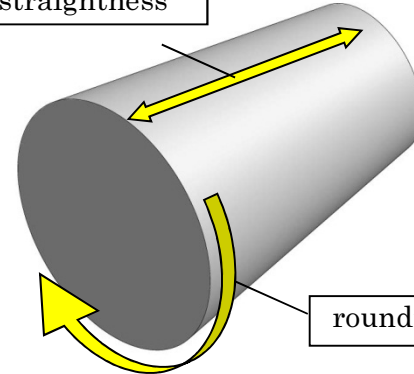
After finishing



0.43 nm Ra

Zygo (x50)
[140 x 100μm]

straightness



roundness



ご清聴ありがとうございました。

