

ガラスマイクロレンズアレイ成形用 超硬合金金型の超精密切削加工

発表の流れ

使用された工具及び超硬合金
試験装置と加工条件
前半のデータ
後半のデータ
まとめ

東京電機大学 先端機械学科
理化学研究所

チヨウ イ
森田 晋也
山形 豊

超硬合金について

超硬合金

単一または複数の
高融点金属の炭化
物を硬質相として
(WCなど)



遷移金属を結合
相として
(Co, Niなど)

粉末冶金技術



多相材料



耐熱性が優れてお
り、硬度も高い



ガラスプレスモー
ルド法用の金型として
非常に適している

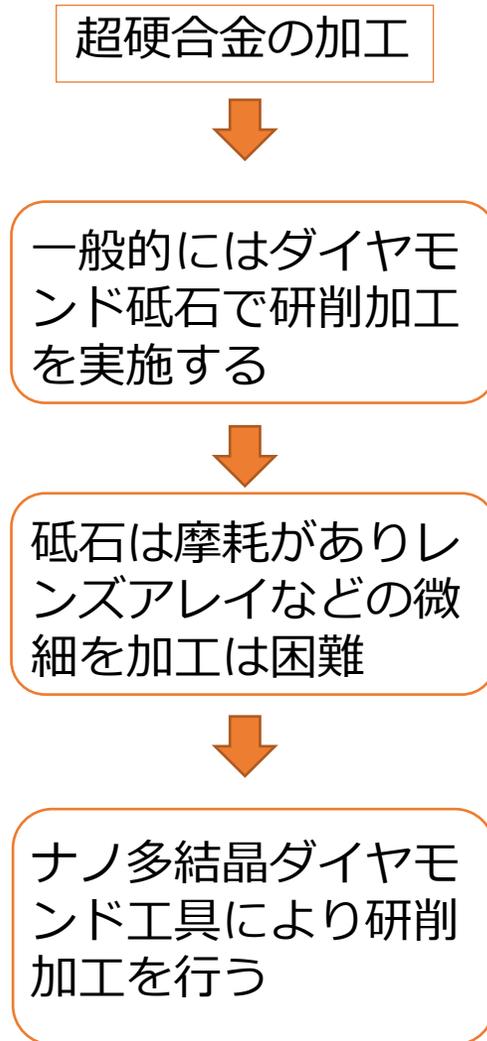


本研究



超微粒WC-Co 系超硬合金
富士ダイス超硬合金F10
WC平均粒度 0.5 μ m
結合相Co量 10%

ナノ多結晶ダイヤモンドについて



ナノ多結晶ダイヤモンド

(Nano-Polycrystalline Diamond: NPD)
高温高圧下で等方性高純度グラファイトの成形体を出発物質として直接変換により得られる、非常に緻密な組織を備えた材料。

ナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) の特徴/従来材との比較

材質名	単結晶 (SCD)	焼結ダイヤ (PCD)	ナノ多結晶ダイヤ (NPD)
硬度	△80-120GPa (方位依存)	△50GPa	○110-130GPa
等方性	×方位依存性大	○等方的	○等方的
耐欠損性	×劈開あり	○	○
耐熱性	○1600℃	×600℃	○1600℃
加工精度	○<50nm	×~0.5μm	○<50nm

実験の流れ

前半（加工条件の検討）

- 粗加工
SDCB2R050-015
- 中仕上げ
NPDBS 1050-020
- 仕上げ
NPDB 1050-020
- 研磨
- 加工結果を測定し後半加工
工具を決める



後半（実際の金型加工）

- 粗加工
SDCB2R050-015
- 中仕上げ
NPDBS 1050-020
- 研磨



● 実験装置

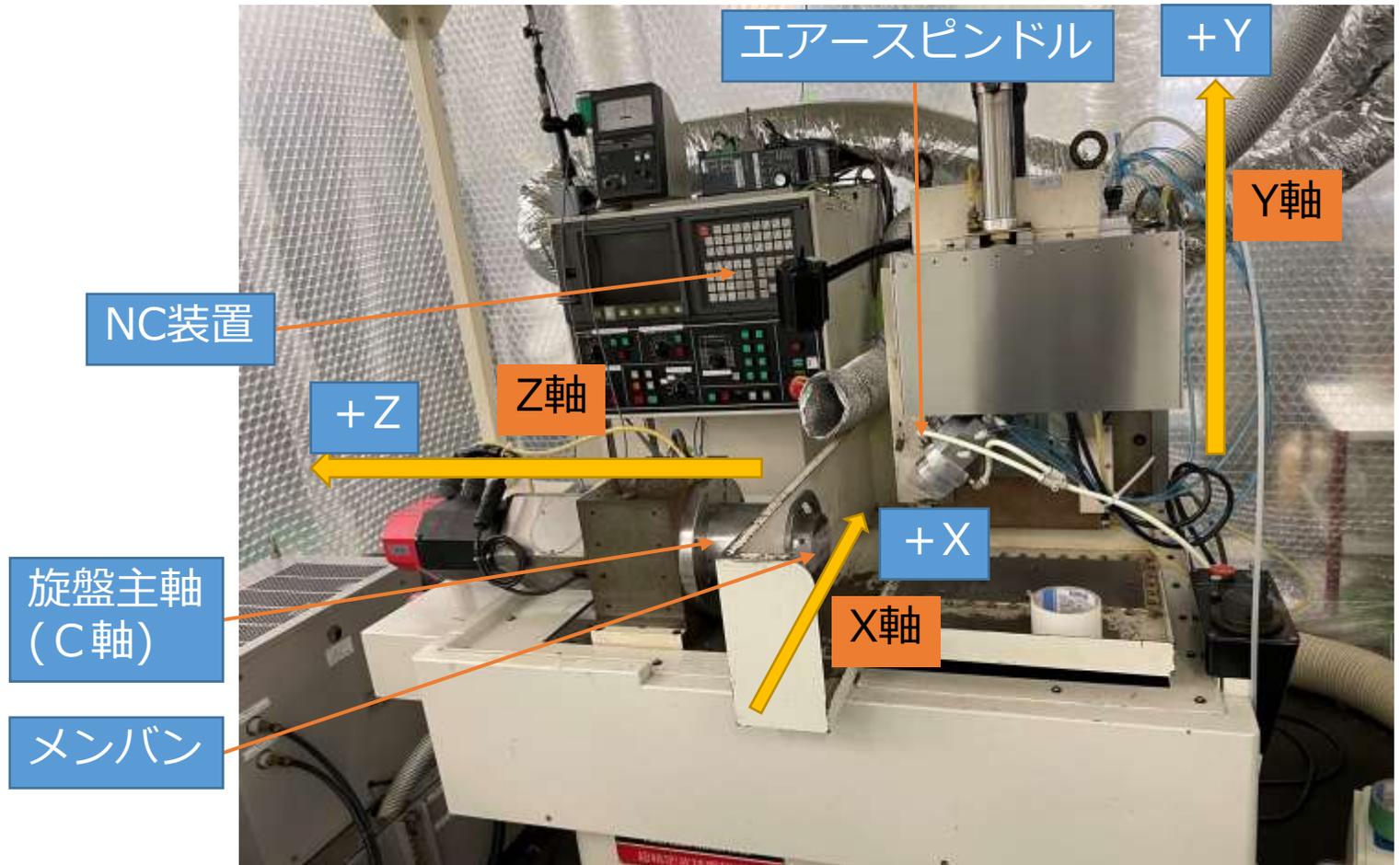
● 芝浦機械ULG-100A

- 4軸制御超精密加工装置
- 分解能10 nm(切り替え)
- 超精密空気静圧軸受主軸

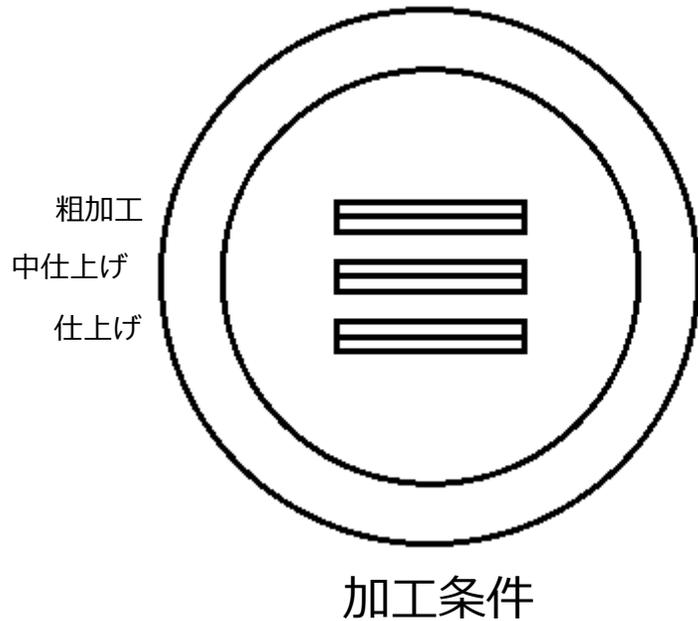
● エアースピンドル (ABC-20M)

- ボールエンドミルなので
45°で装着した
- 回転MAX80000rpm

Linear Axis (Special Roller Guide)
Strokes x:200mm y:150mm z:220mm
Scale Resolution: 1nm
Straightness: 0.1 μ m
Max. Speed: 1000mm/min
C Spindle (Precision Air Bearing)
Rotary Encoder :1/10000
Max Speed: 3000rpm
Rotation Precision: 0.05 μ m
Grinding Spindle(Precision Air Bearing)
Max Speed: 40,000rpm
Rotation Precision: 0.05 μ m
Controllable Axis
Four (X, Y, Z, and C)



• 実験手順と加工条件（前半）



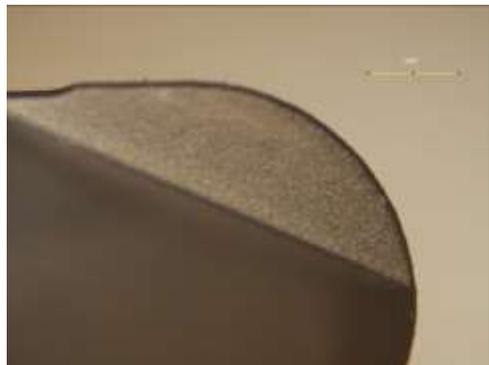
1. 全体で6ラインにSDCB2R050-015を使って順次粗加工を行います
2. 上の2つはそのまま、中間2つはNPDBS 1050-020で中仕上げ加工を行う。切り込み深さは5umで2回実施した。
3. 残り2つはNPDB 1050-020で仕上げ加工を行う。中仕上げ加工後、切り残しがあることが発見したため、仕上げ加工は中間加工よりも1回多く行いました。切り込み深さは5um、3回連続で行った
4. 切削後の表面粗度と形状精度を検討し、後半に使用する工具を決める。

	粗加工	中仕上げ	仕上げ
工具	SDCB2R050-015	NPDBS 1050-020	NPDB 1050-020
回転速度	30000[rpm]	40000[rpm]	40000[rpm]
送り速度	300[mm/min]	400[mm/min]	400[mm/min]
切り込み深さ	0.1[mm]	5[μ m]	5[μ m]
切削液	空気	オイルミスト	オイルミスト

粗加工結果

刃物写真(顕微鏡倍率25X)
SDCB2R050-015

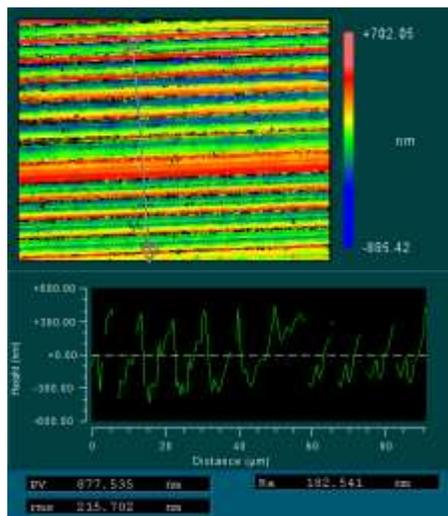
前



後

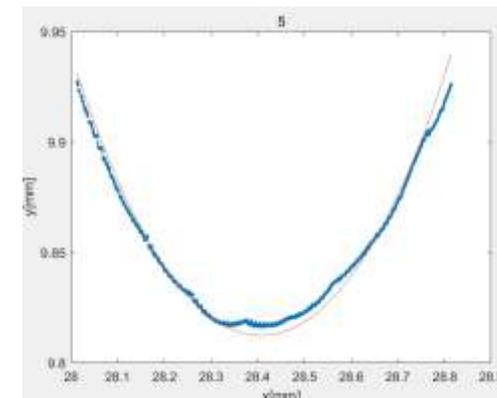


表面粗度 (倍率50x)

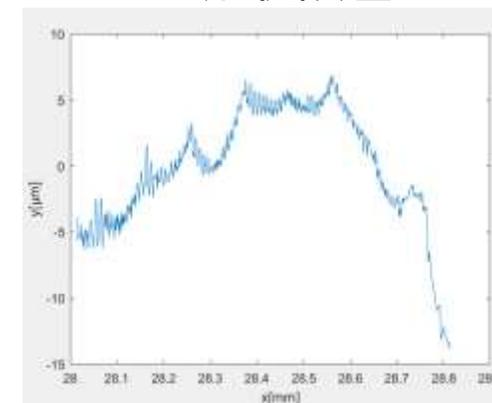


測定回数	1	2	3
Ra[nm]	182.509	177.968	175.826
PV[nm]	1006.183	956.552	1206.983
測定回数	4	5	6
Ra[nm]	184.273	182.541	178.987
PV[nm]	1049.937	877.535	934.156

形状精度



形状誤差

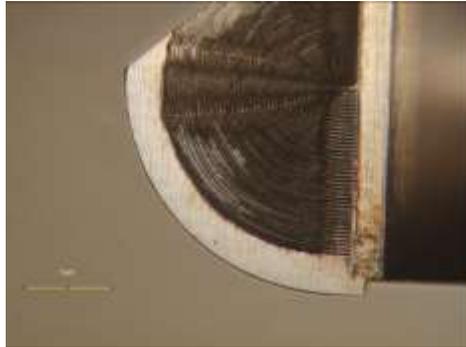


- 刃物表面のコーティングは摩耗していたけど中のタングステンカーバイドは摩耗していなかった
- 表面粗度は悪くて粗加工だけでは、必要な表面を形成できなかった

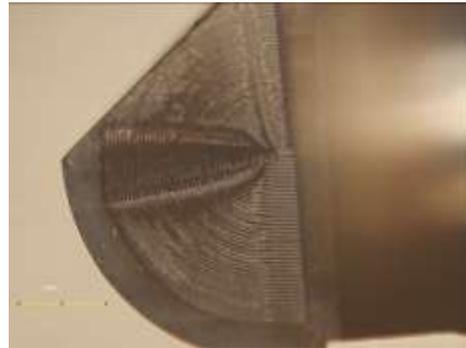
中仕上げ結果

刃物写真(顕微鏡倍率25X)
NPDBS 1050-020

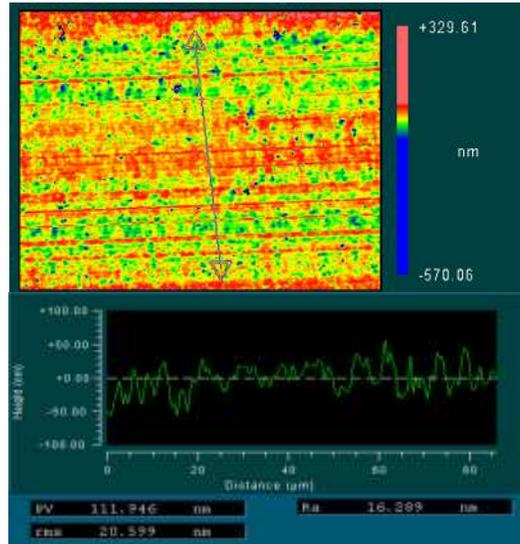
前



後

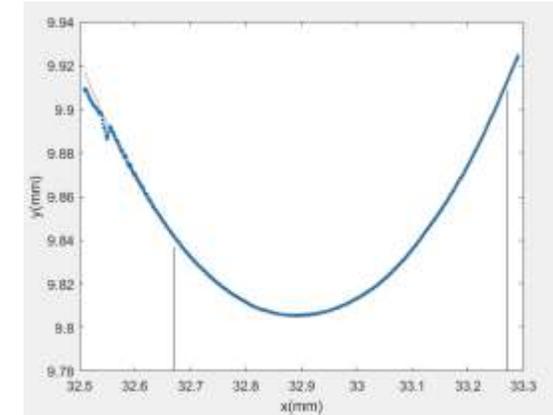


表面粗度 (倍率50x)

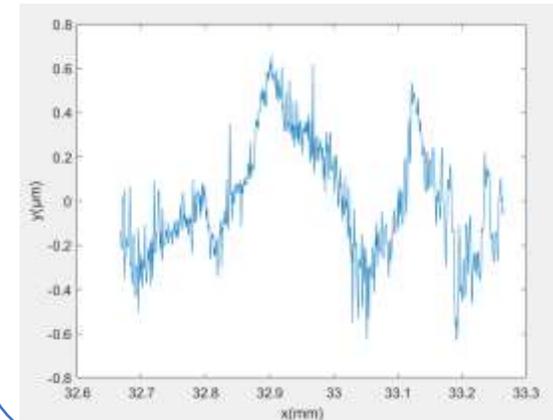


測定回数	1	2	3
Ra[nm]	15.971	13.13	17.362
PV[nm]	388.892	102.552	128.523
測定回数	4	5	6
Ra[nm]	17.876	17.082	16.289
PV[nm]	310.995	152.85	111.946

形状精度



形状誤差

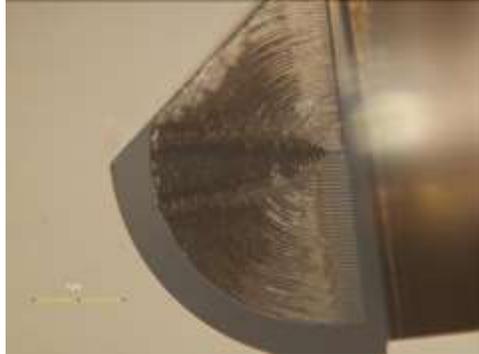


- 刃物は摩耗していなかった
- 表面粗度は良くて研磨後、Ra10nm以下になると推測する
- 形状誤差は± 1 μm以内になっていった。

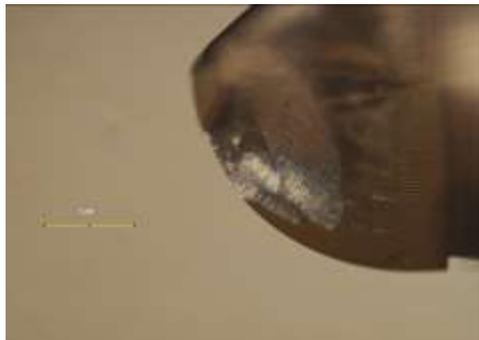
仕上げ結果

刃物写真(顕微鏡倍率25X)
NPDB 1050-020

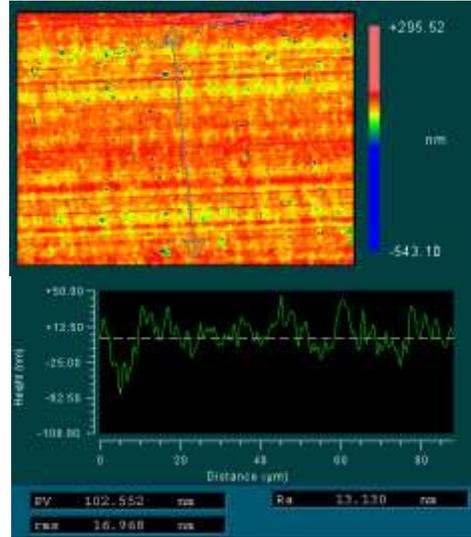
前



後

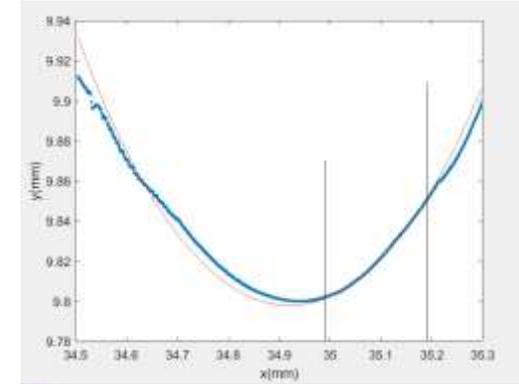


表面粗度 (倍率50x)

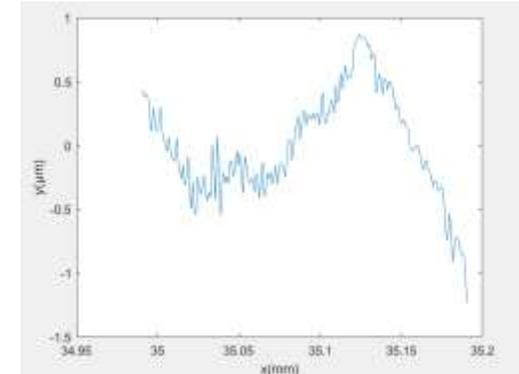


測定回数	1	2	3
Ra[nm]	12.105	12.924	13.13
PV[nm]	91.028	280.538	102.552
測定回数	4	5	6
Ra[nm]	14.332	14.656	13.606
PV[nm]	116.668	126.418	142.03

形状精度



形状誤差



- 自分の操作ミスで刃物が損害しまった。
- 表面粗度は中仕上げより良いけど、そんな大きい幅はなかった。
- 形状誤差は中仕上げと同じ±1 μm以内になっていった。

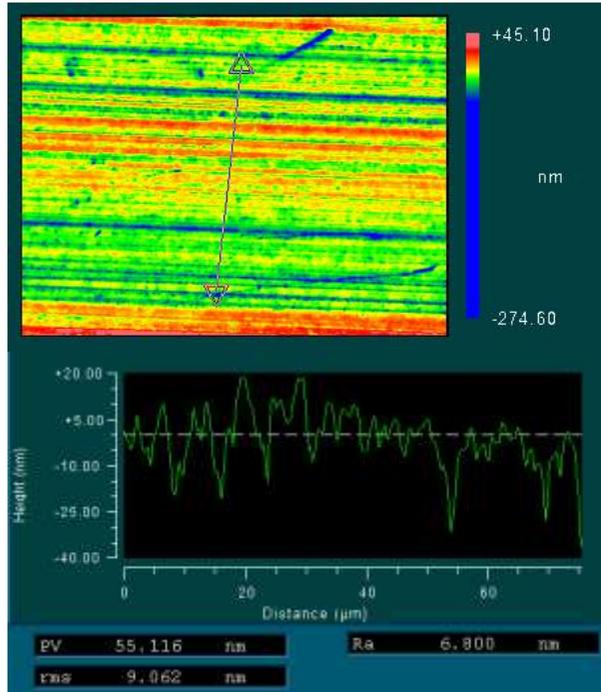
- 中仕上げ（研磨後）

ダイヤモンドエンドペースト

- 研磨剤粒度: 6 μm
- 工具: 爪楊枝
- 研磨時間: 共に10分

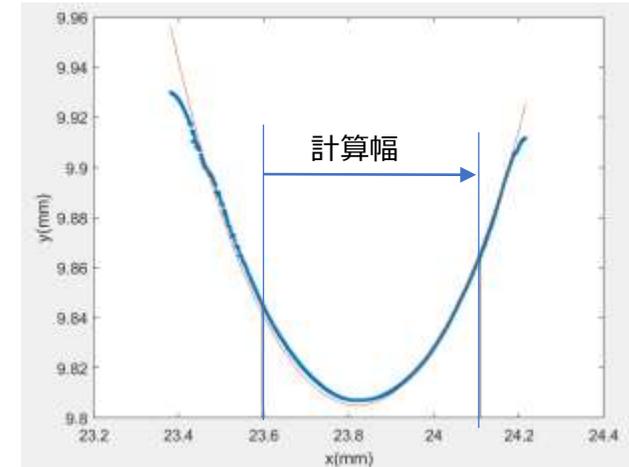
- 研磨後の表面粗さはすでにRa10nm以下
- 形状誤差は $\pm 0.8\mu\text{m}$ 以内
- 前の推測を確認し実験の後半は中仕上げのみ加工します。

表面粗度（倍率50x）

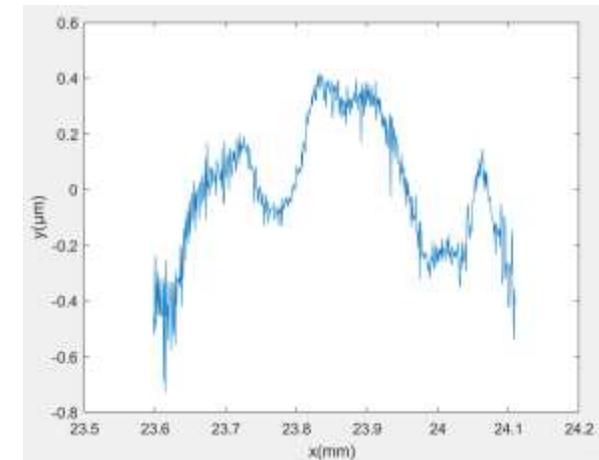


測定回数	1	2	3
Ra[nm]	7.632	8.139	8.374
PV[nm]	46.758	43.696	59.178
測定回数	4	5	6
Ra[nm]	7.089	6.8	8.761
PV[nm]	50.15	55.116	70.224

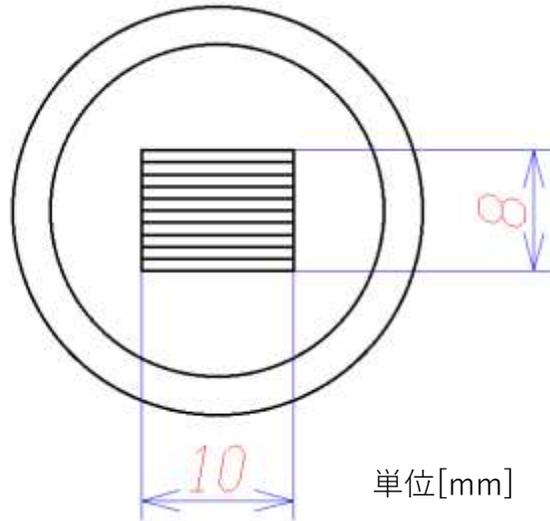
形状精度



形状誤差



- 実験手順と加工条件（後半）



加工条件

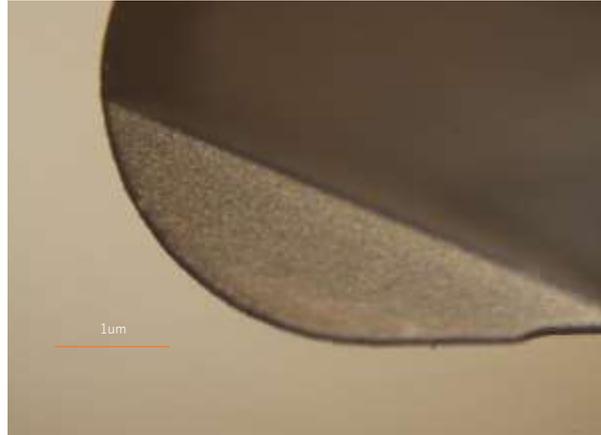
1. 全体 10 ライン一緒にSDCB2R050-015でを粗加工を行う
切り込み深さは0.1mm
2. NPDBS 1050-020を交換後、再度中心点を探して中仕上げする。切り込み深さは5 μ m、3回。（全体的切り込み深さは115 μ m）
3. 研磨する（研磨剤粒度は3 μ m）

	粗加工	中仕上げ
工具	SDCB2R050-015	NPDBS 1050-020
回転速度	30000[rpm]	40000[rpm]
送り速度	300[mm/min]	400[mm/min]
切り込み深さ	0.1[mm]	5[μ m]
切削液	空気	オイルミスト

- 後半加工用刃物摩耗写真(顕微鏡倍率25X)

前

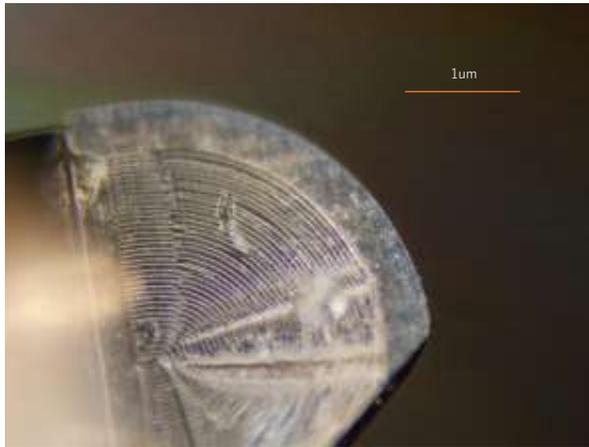
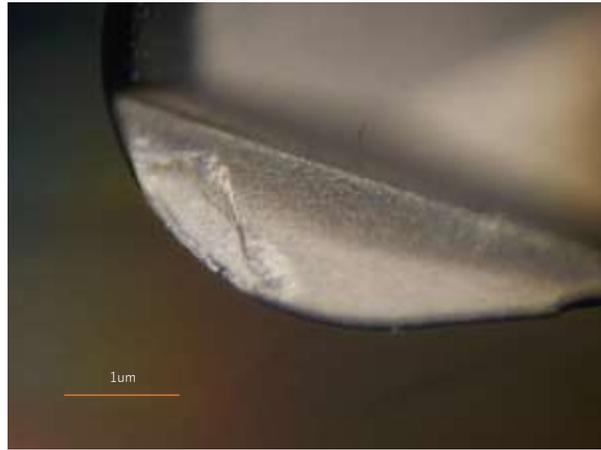
粗加工



中仕上げ



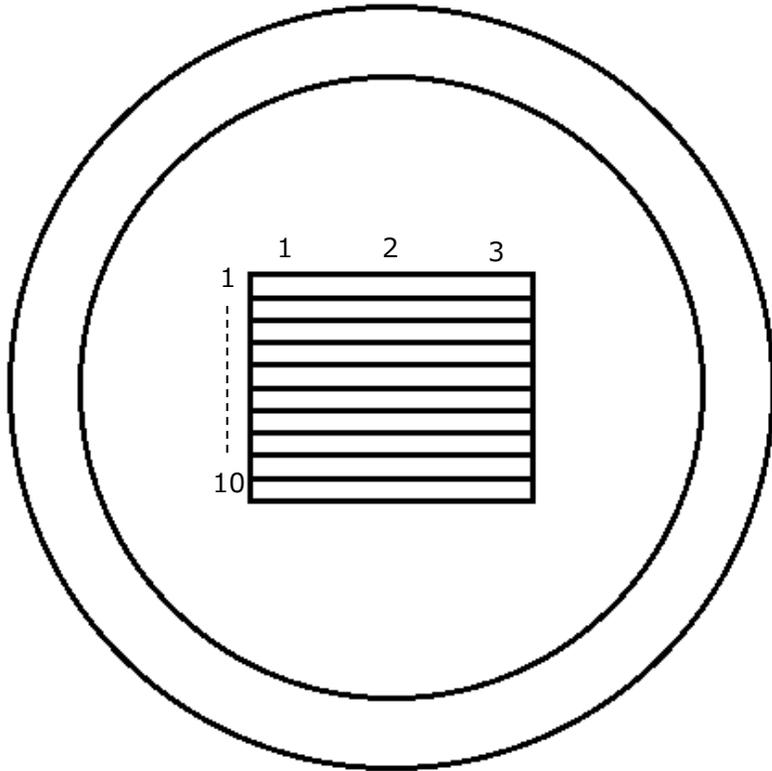
後



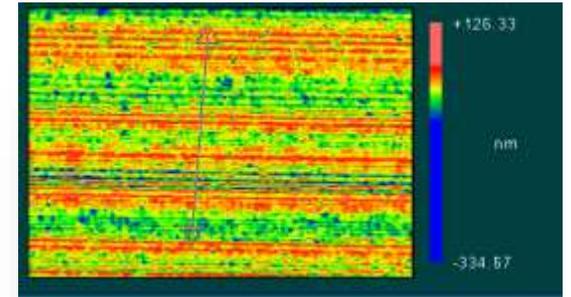
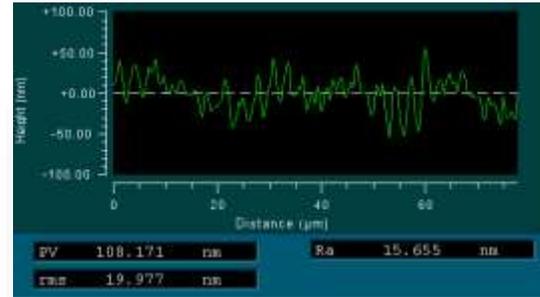
- 粗加工に使用されたSDCB2R050-015は前半と同じなかのタングステンカーバイドは摩耗していなかった
- 中仕上げに使用されたNPDBS 1050-020はこの二つ写真では摩耗していたかどうかは判明できない。

- 表面粗度(研磨前)

測定位置



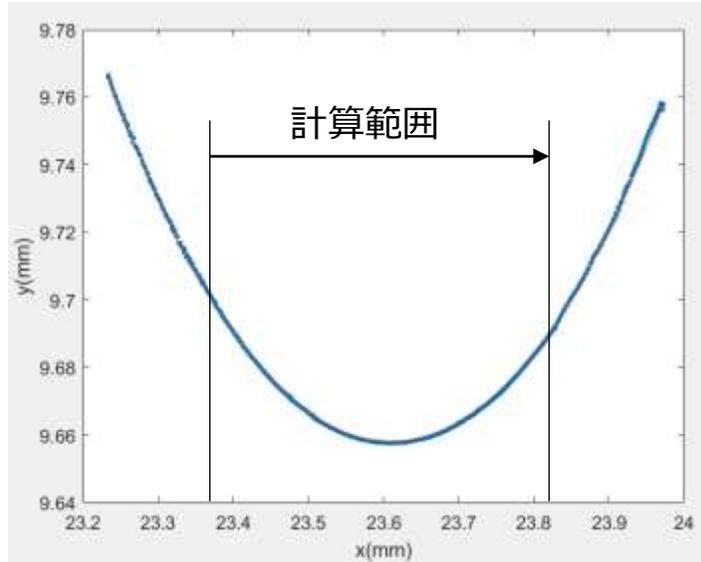
倍率50x



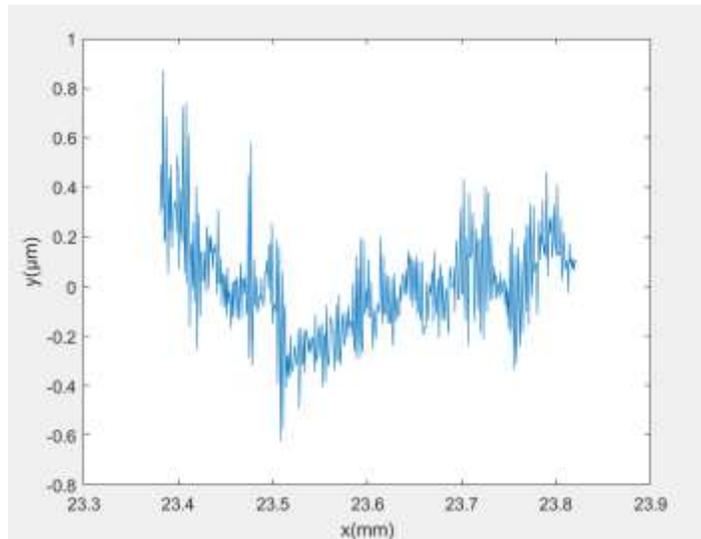
測定位置		PV[nm]	Ra[nm]	測定位置		PV[nm]	Ra[nm]
1	1	141.465	18.847	6	1	128.288	17.765
	2	108.171	15.655		2	129.854	17.232
	3	105.318	17.238		3	135.29	17.099
2	1	112.841	15.705	7	1	120.434	17.067
	2	104.135	16.621		2	129.645	17.473
	3	111.58	16.177		3	124.584	17.521
3	1	104.353	17.536	8	1	152.98	17.003
	2	117.912	16.042		2	125.957	20.537
	3	105.657	16.227		3	232.476	19.112
4	1	100.065	15.847	9	1	141.83	18.901
	2	124.044	17.791		2	152.119	17.833
	3	123.722	15.971		3	118.651	18.142
5	1	103.187	17.084	10	1	126.956	17.537
	2	106.92	16.469		2	131.454	18.829
	3	105.692	16.75		3	131.706	18.566

• 形状精度 (研磨前)

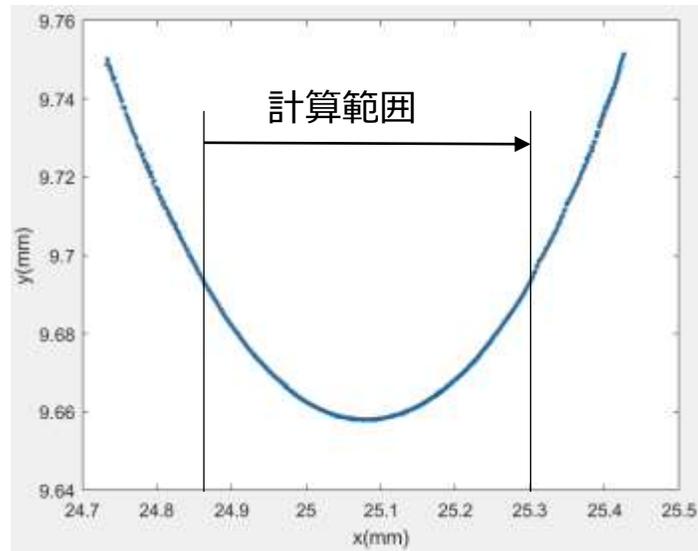
3-1



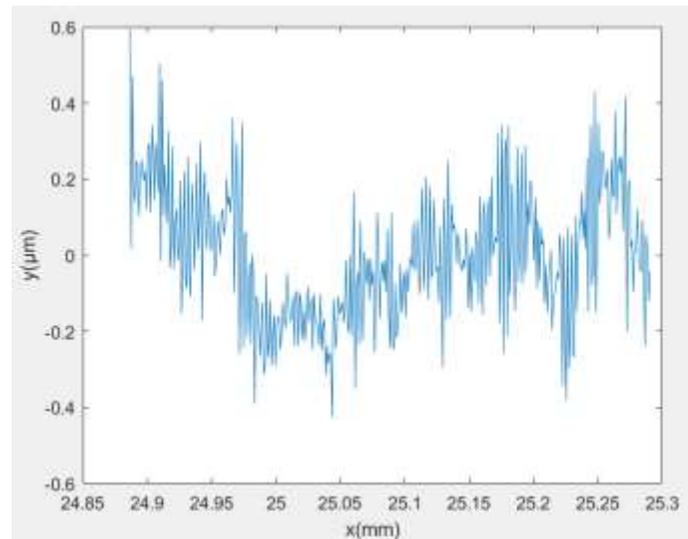
形状誤差



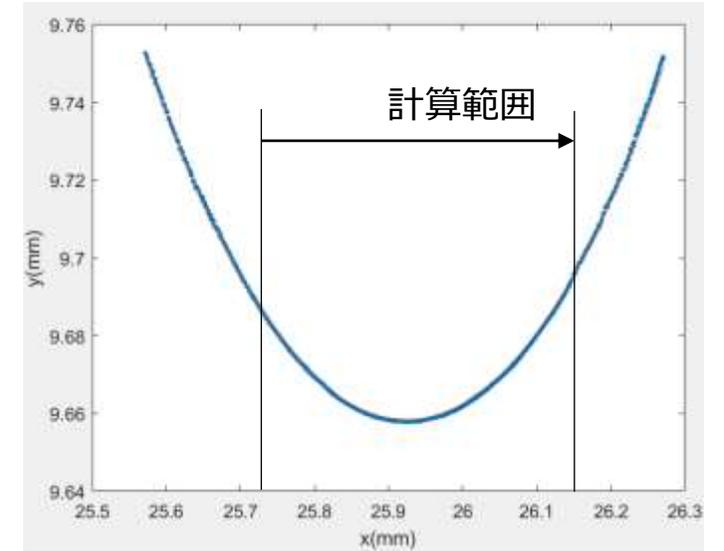
4-2



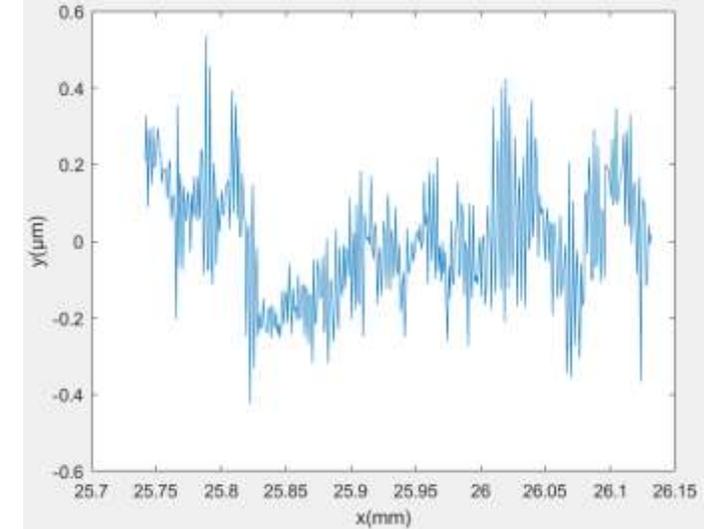
形状誤差



5-3



形状誤差



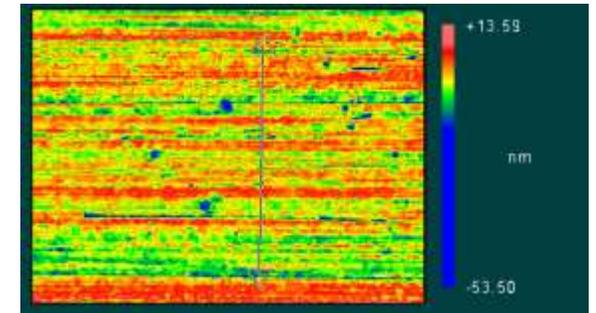
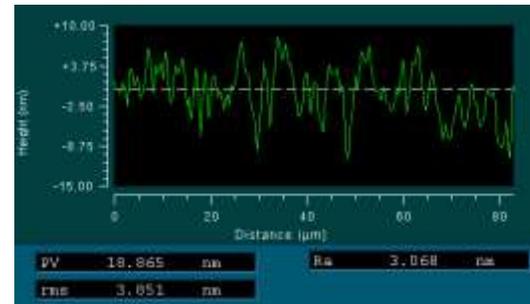
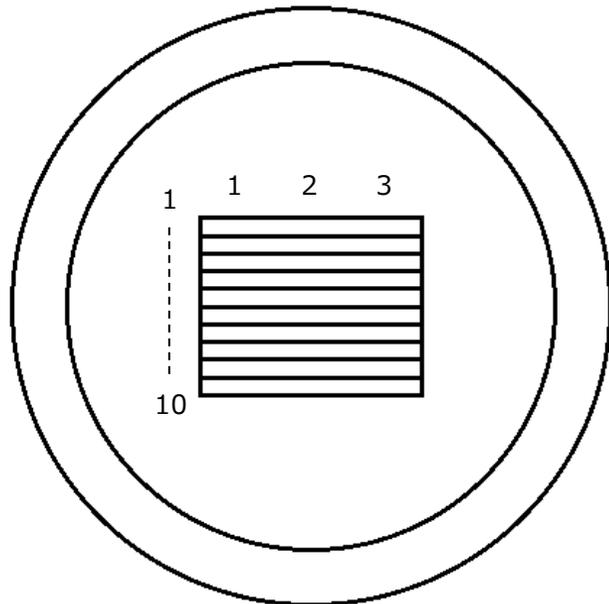
倍率50x

表面粗度(研磨後)

ダイヤモンドエンドペースト

- 研磨剤粒度:3um
- 工具:爪楊枝
- 研磨時間:1ライン5分

測定位置

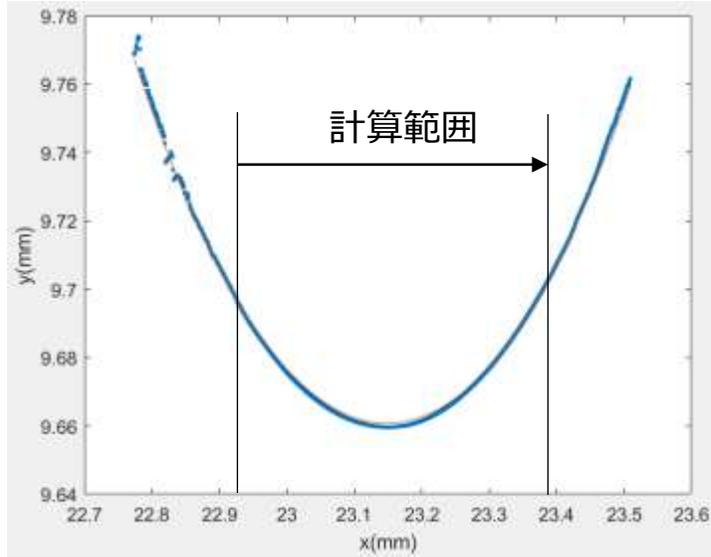


測定位置		PV[nm]	Ra[nm]	測定位置		PV[nm]	Ra[nm]
1	1	32.755	5.526	6	1	21.892	3.164
	2	21.126	3.523		2	35.79	3.258
	3	18.865	3.068		3	48.149	7.921
2	1	23.405	3.333	7	1	28.206	3.475
	2	20.863	3.41		2	23.944	3.971
	3	25.84	3.618		3	43.297	7.38
3	1	26.266	3.982	8	1	22.361	3.954
	2	29.615	4.018		2	24.71	3.332
	3	44.122	7.587		3	40.304	7.218
4	1	20.222	3.487	9	1	28.597	3.939
	2	21.674	3.231		2	23.205	3.688
	3	38.687	7.586		3	20.204	3.383
5	1	33.425	3.749	10	1	35.625	5.714
	2	29.972	5.41		2	31.268	3.509
	3	45.271	8.974		3	27.197	4.029

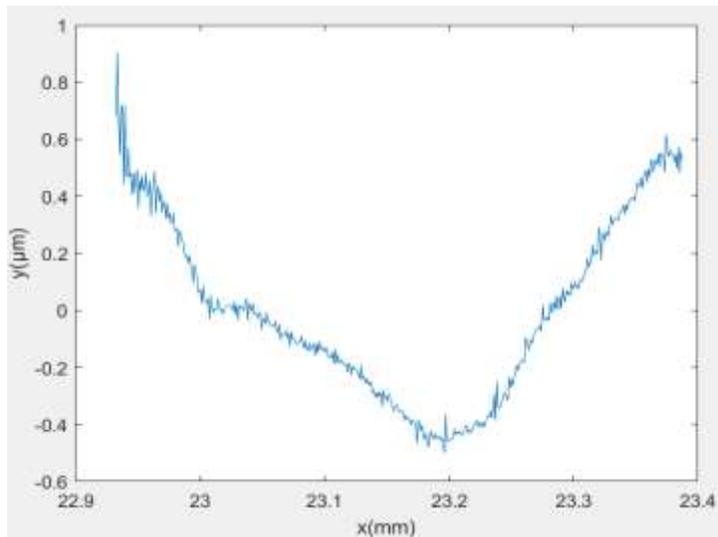
- 表面粗度はほぼ全部Ra10nmいかになっていた。
- 脱粒は発生したが、ガラス表面への影響はほとんどないと思う。

- 形状精度 (研磨後)

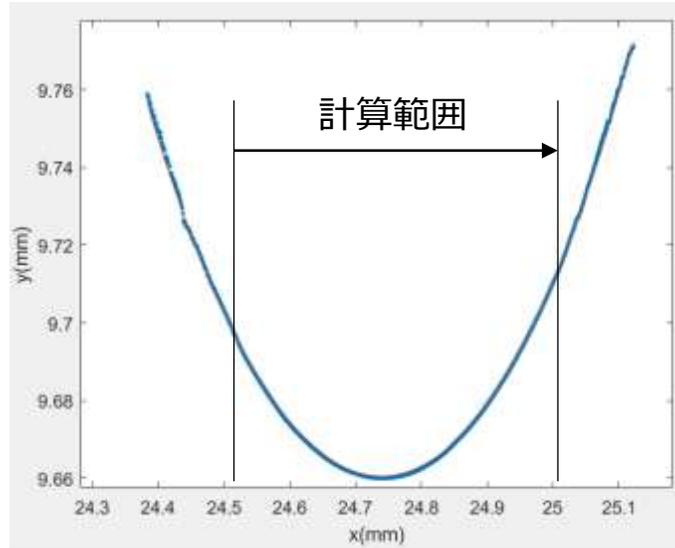
2-1



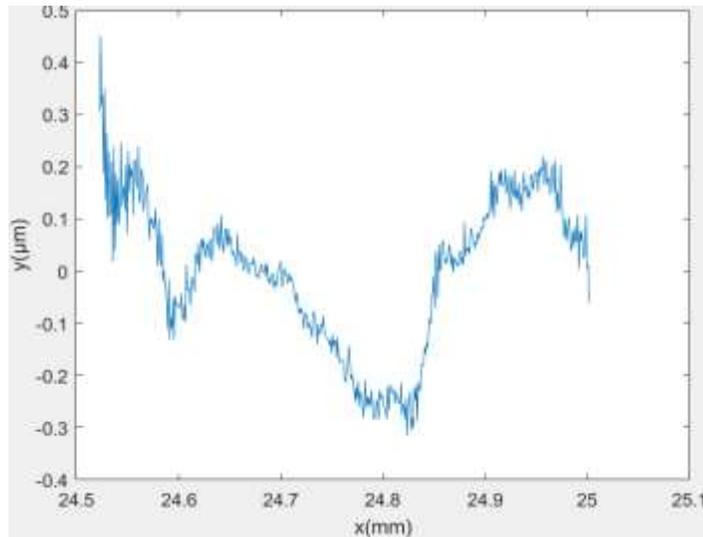
形状誤差



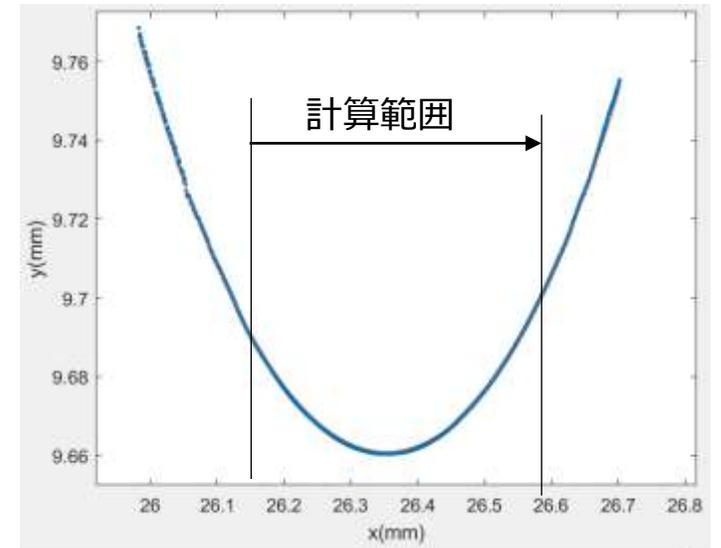
4-2



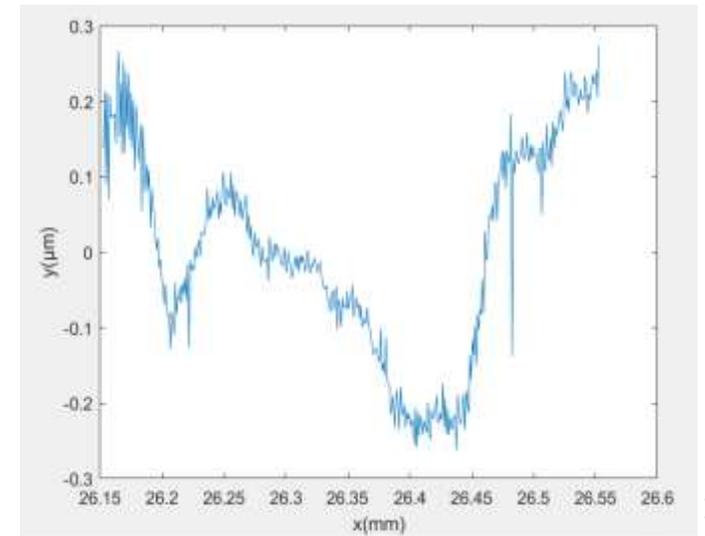
形状誤差



6-3



形状誤差



まとめ

前半

- 粗加工ようエンドミルでは粗さや形状精度は不十分
- 中仕上げ用と仕上げ用ナノダイヤモンドエンドでは粗さ、形状精度に大きな違いはない
- ダイヤモンドエンドペーストによる研磨で平均表面粗さRa 10 nm以下

後半

- 10ライン加工でも粗加工エンドミルは破壊していなかった
- 同じく、中仕上げエンドミルは摩耗していなかった
- 研磨により、Ra < 10nm、形状誤差 ±0.5um が得られる

今後の展望

- DLCコーティングを行い、プレス成形する実験を予定
- 異なる超合金での加工試験も実施する。