

ATCのもつ技術 (機械工作について)

先端技術センターMEシヨップ

岡田則夫

内容

1.メカニカルエンジニアリングショップの紹介

2.アルミ鏡の金メッキについて

ATC施設利用・共同開発研究申請のご案内

- ・先端技術センターでは、共同開発研究および施設利用の募集を年2回（2月と8月）行っています。
- ・施設利用申請
→ ATCの設備，実験室を利用する場合
- ・共同開発研究申請
→ ATCの職員と協力して研究開発を進める場合
- ・募集対象は研究機関および大学。
- ・申請書（フォーマット用紙）で申し込み
- ・前期の利用期間は4月1日より最長1年です。
後期の利用期間は10月1日より年度をまたいで最長1年間です。

先端技術センター 組織図

2012年10月 現在

センター長

センター長補佐

開発支援グループ

共同利用受付

事務支援

情報技術支援

設備管理

スペース
シヨップ
チャンパー

シヨップ
オプティカル

シヨップ
スペース
オプティカル

メカニカル
エンジニアリング
シヨップ

加工チーム

測定チーム

設計チーム

特殊蒸着・超微細加工
ユニット

光赤外検出器
グループ

重点領域・先端技術開発

重点領域開発

ATC-ALMA
バンド4
バンド8
バンド10
SIS
ATC- 電カ波
KAGRA
ATC- TMT
IRIS

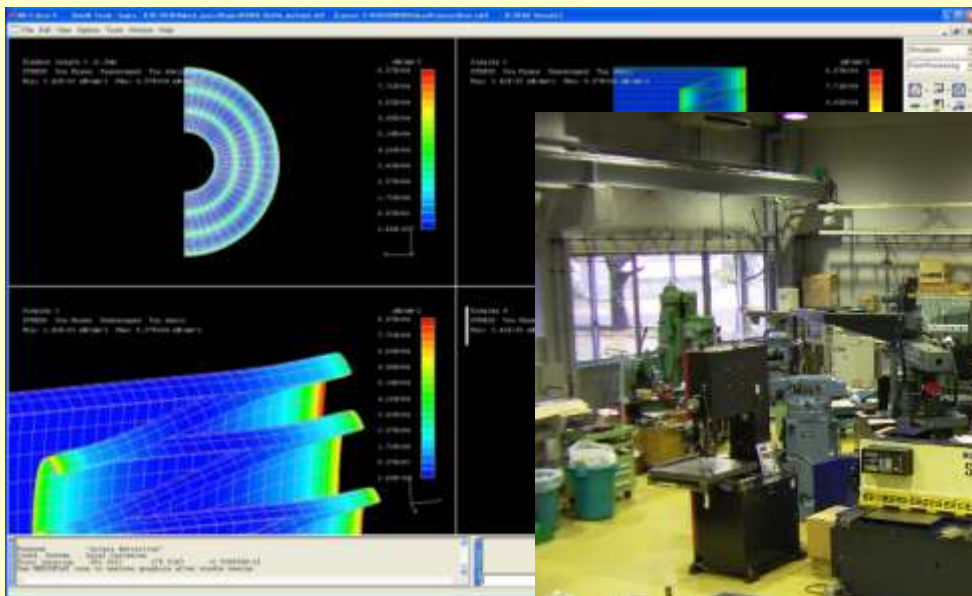
先端技術開発
電波カメラ

ATC- Subaru
Hyper Supreme CAM

台内グループ

台外グループ

メカニカルエンジニアリング (ME) ショップ



設計

スタッフの
年齢構成

30代	4
40代	2
50代	2
60代	2



加工

主力工作機械

- ・マシンニングセンター 1台
- ・NC操作フライス盤 4台
- ・NC旋盤 2台
- ・ワイヤー放電加工機 2台

など

計測



MEショップ

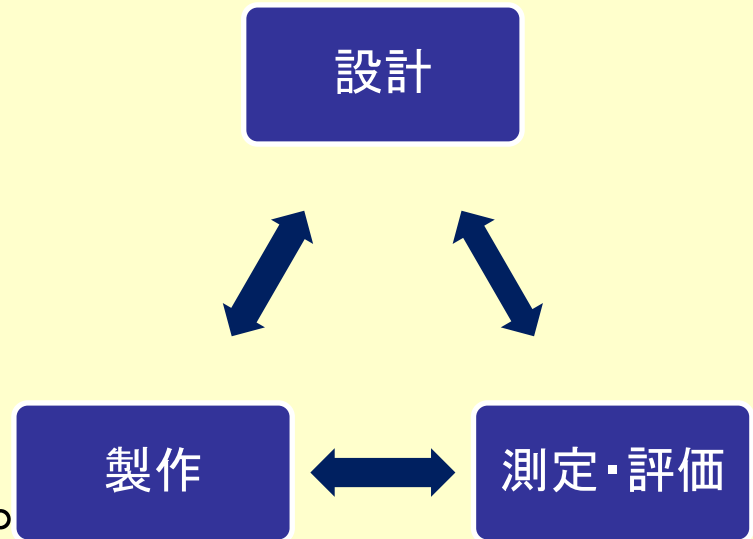
観測機器・観測装置の開発を

(1)設計

(2)製作

(3)測定・評価

3本柱による体制で支援する
総勢 10名 のショップである。



MEショップのスタッフ

受付

相談・外注対応 岡田、福嶋

設計

大淵

池ノ上

斉藤

増員(1)

HSC 浦口 1月に異動予定

加工

ALMA 量産 福田

ALMA量産 西野

福嶋

岩下

三ツ井

測定

三ツ井 兼任 オプト

Band 10で活躍中 金子

加工でのATC重点
の負荷率

・ALMA:45%

※一般依頼加工
は55%で対応中

この1年間の仕事内容(1)

- ATC重点領域 & 先端技術開発を支援
 - ALMA Band4、Band8受信機主要部品の量産
 - 順調に遂行中で**完納目前**
 - KAGRA → 補助光学系の機械設計を開始
 - TMT / IRIS → 光学系の機械設計を開始
 - HSC開発 → すばるへの搭載作業・設計図書作成
 - 電波カメラ開発 → 700素子レンズアレイ
(超精密加工)の試作開始
 - 共同開発、施設利用(製作依頼など)も盛況
 - 今年度はこれまでに66件の業務依頼を受付

この1年間の仕事内容(2)

・外部機関との技術連携

- 分子研、名大全学技術センター: 脆性材(MgF₂)レンズなど超精密加工技術での共同開発を実施中
- KEK機械工学センター: Xバンド加速管ディスクの鏡面切削に関する共同開発研究を開始(超精密加工)

2. チーム紹介

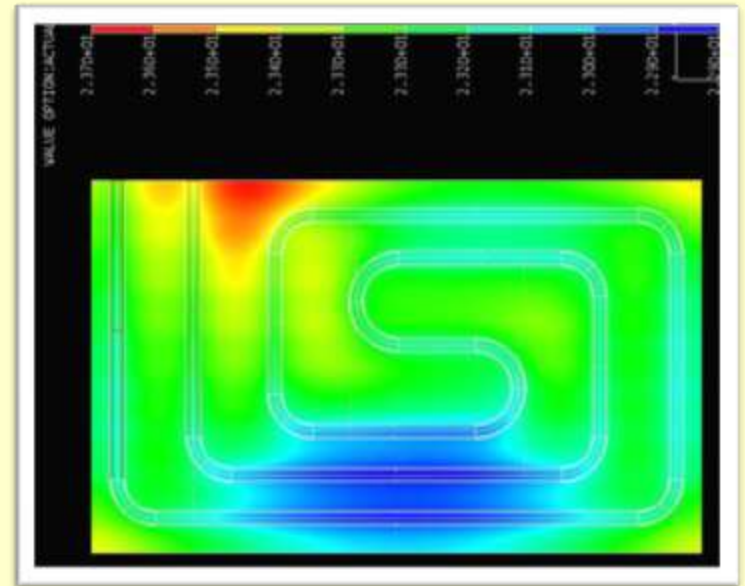
2-1 設計チーム

◇概念設計から出図まで

- 構造設計
- 熱設計

◇設備(CAD/CAM/CAE)

- NX I-deas
- Autodesk Inventor



HSC開発での構造設計と主要部品の製作

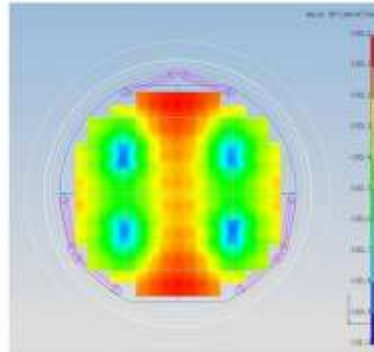
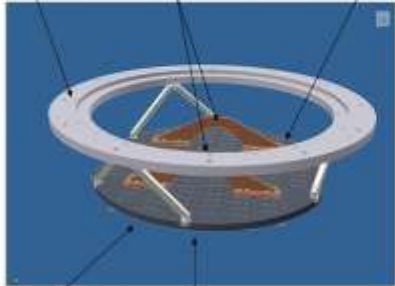
解析

Thermal Design

Thermal Analysis (Simulation)

- CCD Temperature

Fixed temperature 283K
Heat Exhaust xx.x W
Cold Plate surface $\epsilon=0.06$



CCD heat generation xx.x W

CCD surface ($\epsilon=0.5$) faces to the window ($\epsilon=1$) which is cooled by radiation (ultimate window temperature is ~267K)

	Temperature [C]
CCD at low	-xx.x
CCD at high	-xx.x

製作

CCD冷却用熱パス



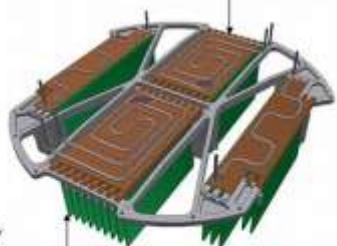
Thermal Design

Thermal Analysis (Simulation)

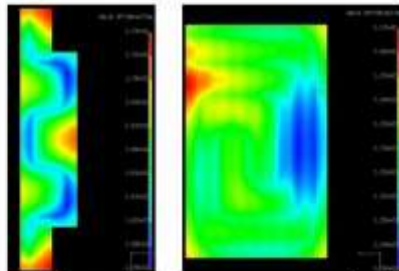
- Temperature of FEE assembly

- requirement from FEE ($T < xx.x$ #As cool as possible).

WaterJacket



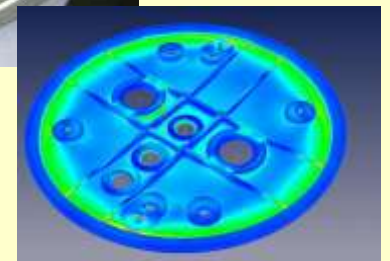
Heat input from FEE: xx.x W (xx.x W/CCD)



Maximum Temperature [C]

xx x°C

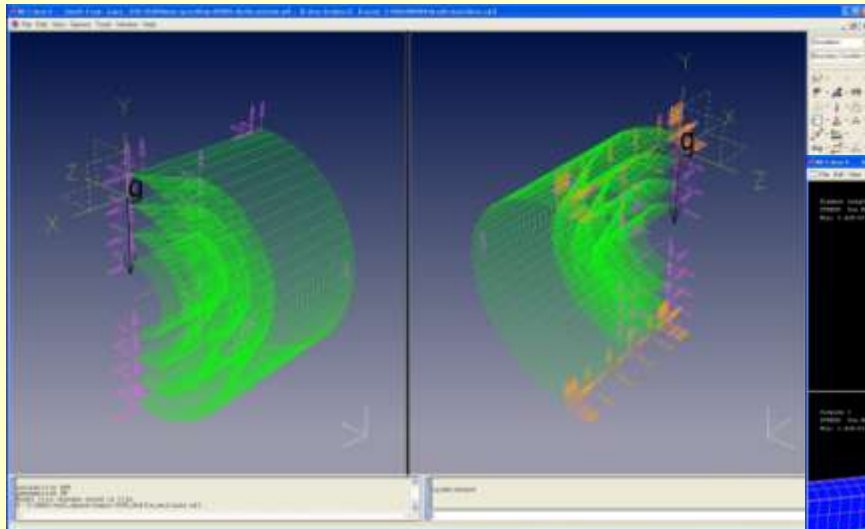
真空槽隔壁



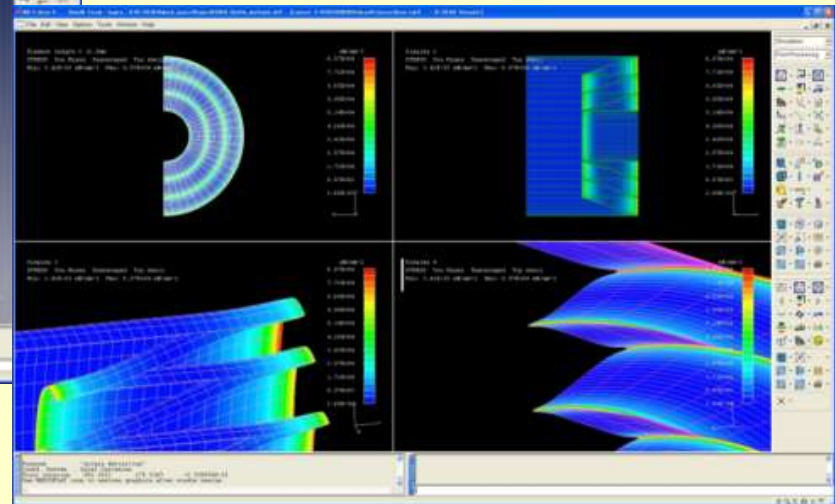
※本年は構造解析に加え製作図面約100枚を作成

KAGRA補助光学系の機械設計

ME 設計チーム



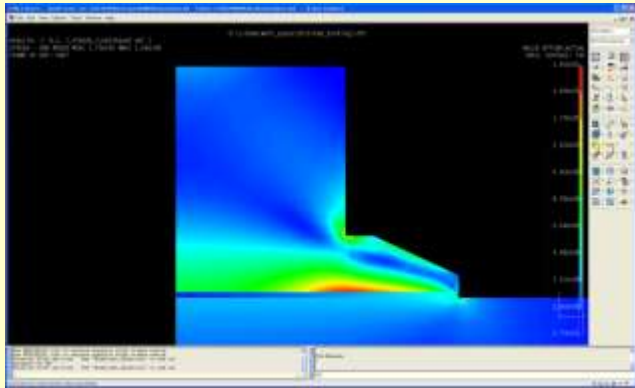
熱膨張を利用した部品結合
の変形・応力解析



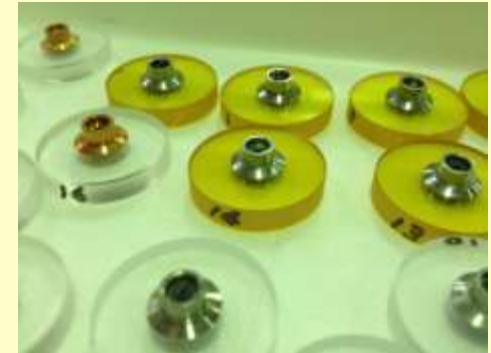
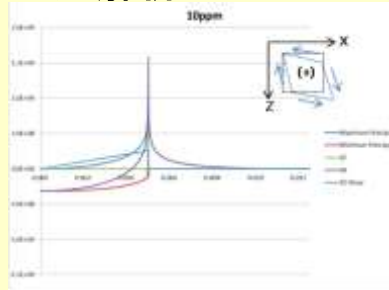
ATCで製作されたバッフル試作品
フランジ外径 $\Phi 400$

- 24年度は主に狭角散乱用バッフルの構造設計および製作・評価方法の検討を行っている。
- 25年度は広角散乱用バッフル(20K)と透過光モニター用テレスコープの構造設計を行う予定。

TMT/IRIS 光学系の機械設計



レンズ-金属パッド接着部の応力解析



レンズ-金属パッド接着部の強度試験片



ピンホールグリッド寸法測定用クライオスタットの設計・製作.

24年度は

- ・キネマティックレンズマウントの設計および試作・試験
- ・ピンホールグリッド寸法測定用クライオスタットの設計・製作
- ・低温駆動機構および精密位置決め機構の設計などを行っている.

2-2 加工チーム



13mx13m

高精度加工への取り組み

加工チーム

超精密高速スピンドルの設置



ABC-20M
コアレス同期モーター
80000(min-1)
特徴:
加工精度に影響を及ぼす回転ムラが少ない
駆動方式

超精密ミーリングマシンとしても機能

新型ワイヤー放電加工機の設置



NA2400P (三菱電機)

※大型且つ高精度な部品加工が可能
クラストップの高精度加工機(精度保証±2μm)

従来機比較(mm)

X軸ストローク 350 → 600

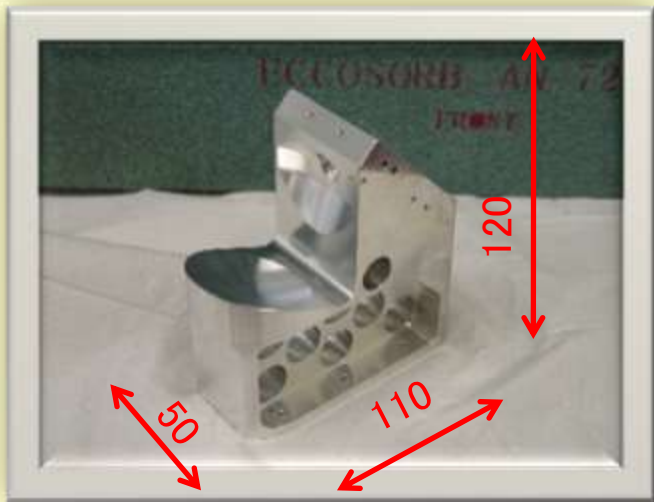
Y軸ストローク 250 → 400

Z軸ストローク 220 → 310

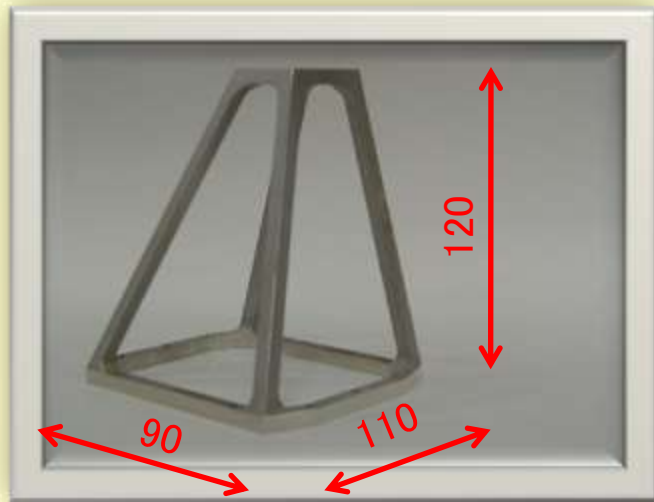
最小電極線径 0.07 → 0.05

ALMA受信機カートリッジの主要部品の量産
(各73台)

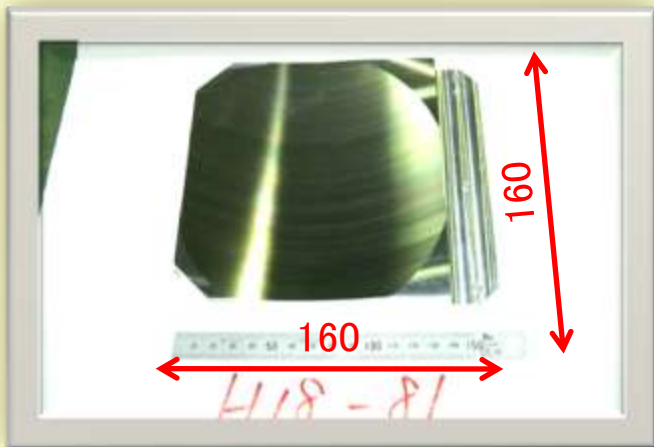
加工チーム



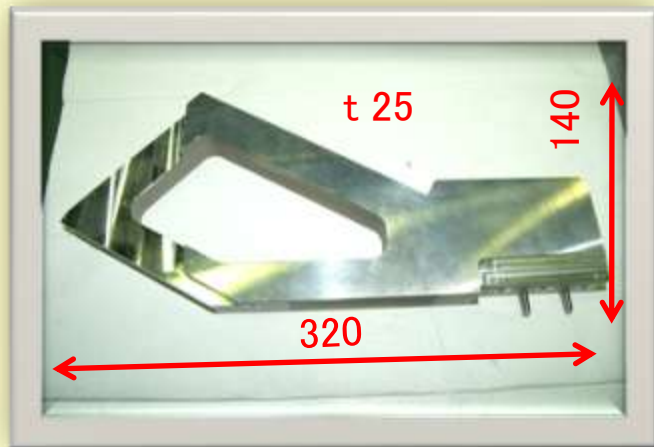
Band 8 冷却光学系



Band 4 サポートストラクチャー



Band 4 常温光学系楕円ミラー



Band 4 常温光学系フレーム

加工チーム

Band 4 サポートストラクチャー



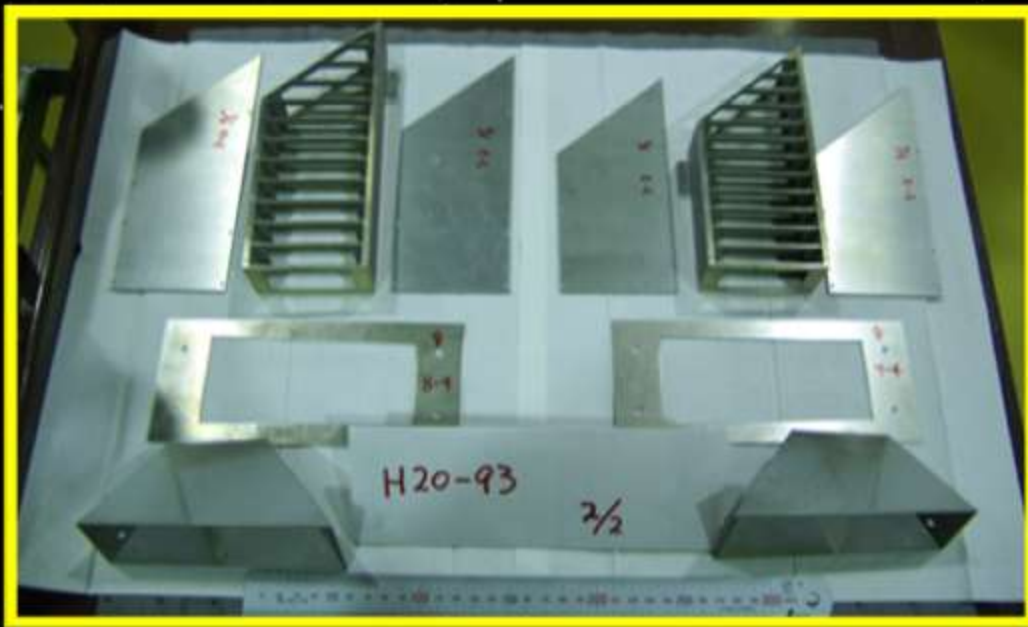
Band 4 常温光学系フレーム



加工チーム

KAGRA 焼きバメ試験部品





Nano-JASMINE

Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration
Intelligent Space Systems Laboratory / National Astronomical Observatory of Japan
<http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/nanojasmime/Index.htm>

ME 加工チーム

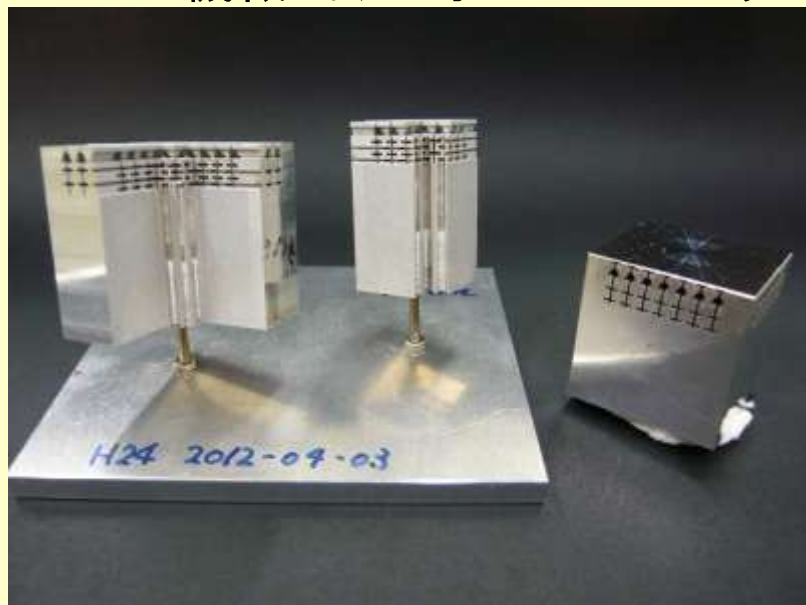
HSC CCDピンベース加工



高精度加工への取り組み

ME 加工チーム

SPICA機械式デフォーマブルミラー（JAXA/ISAS）



イメージスライサー瞳ミラーホルダー（ATC）



ワイヤー放電加工機の活躍



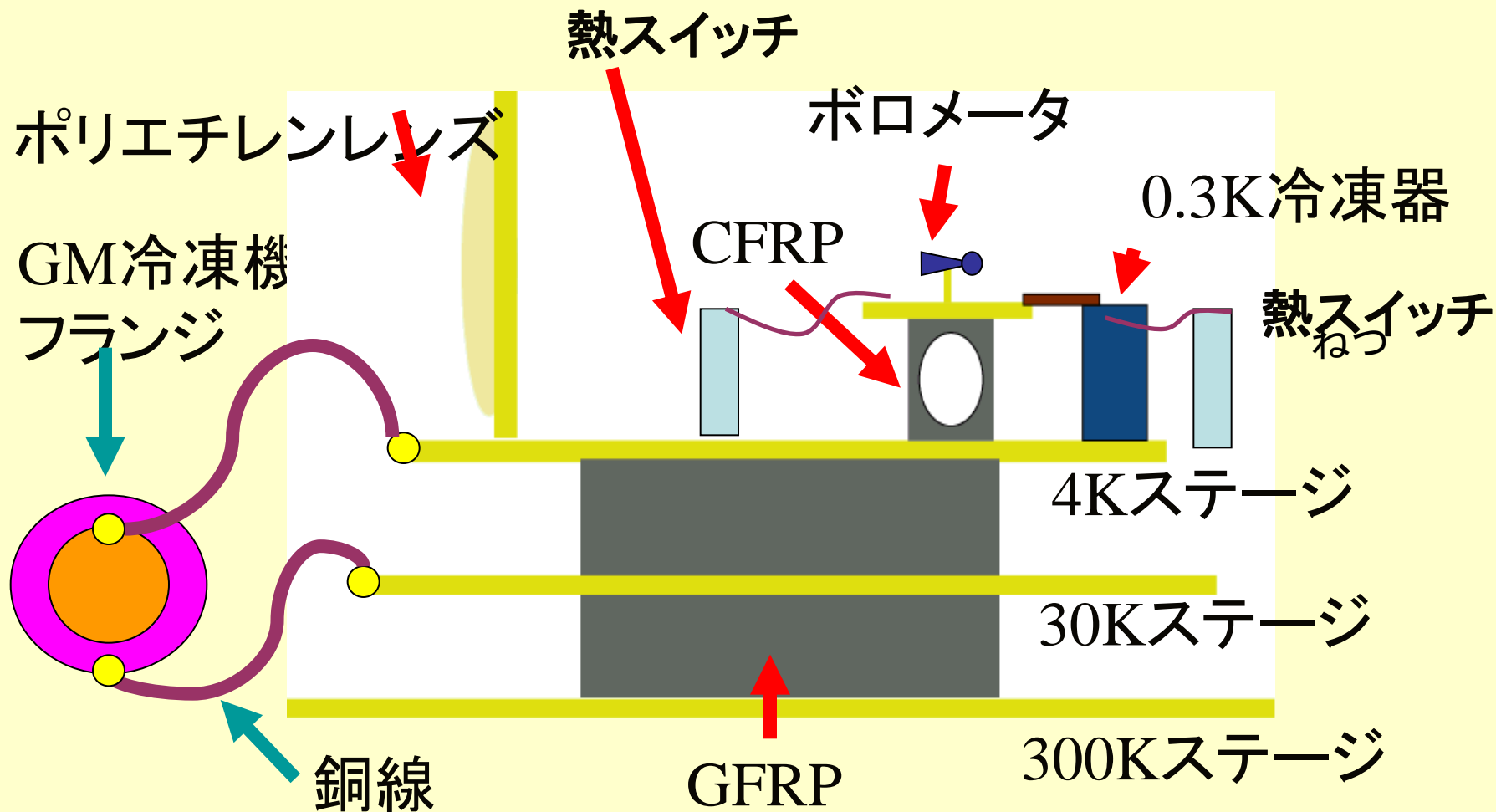
NA2400P（三菱電機）

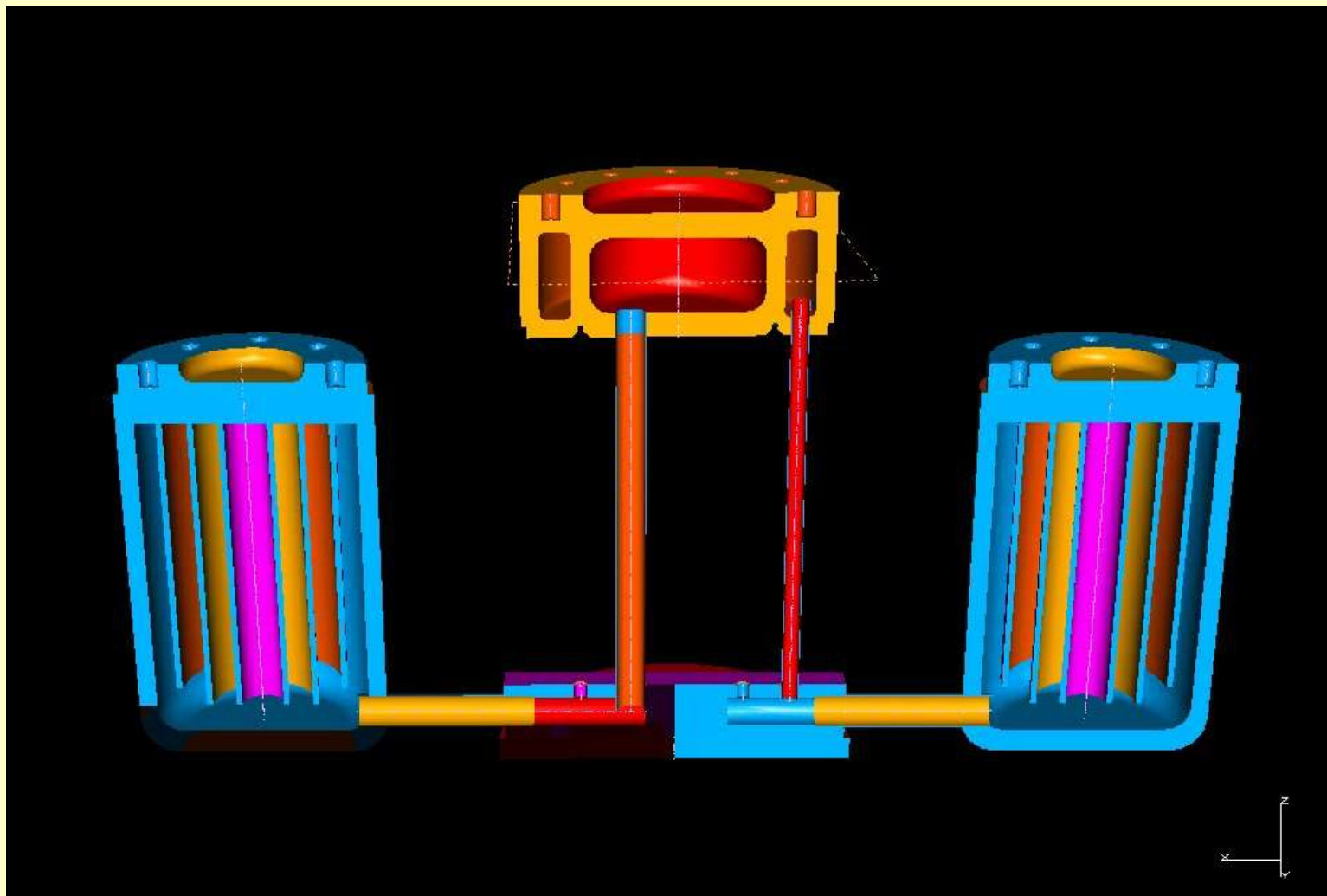
クラストップの高精度加工機（精度保証 $\pm 2\mu\text{m}$ ）

サブミリ波望遠鏡搭載用
0.3Kクライオスタット



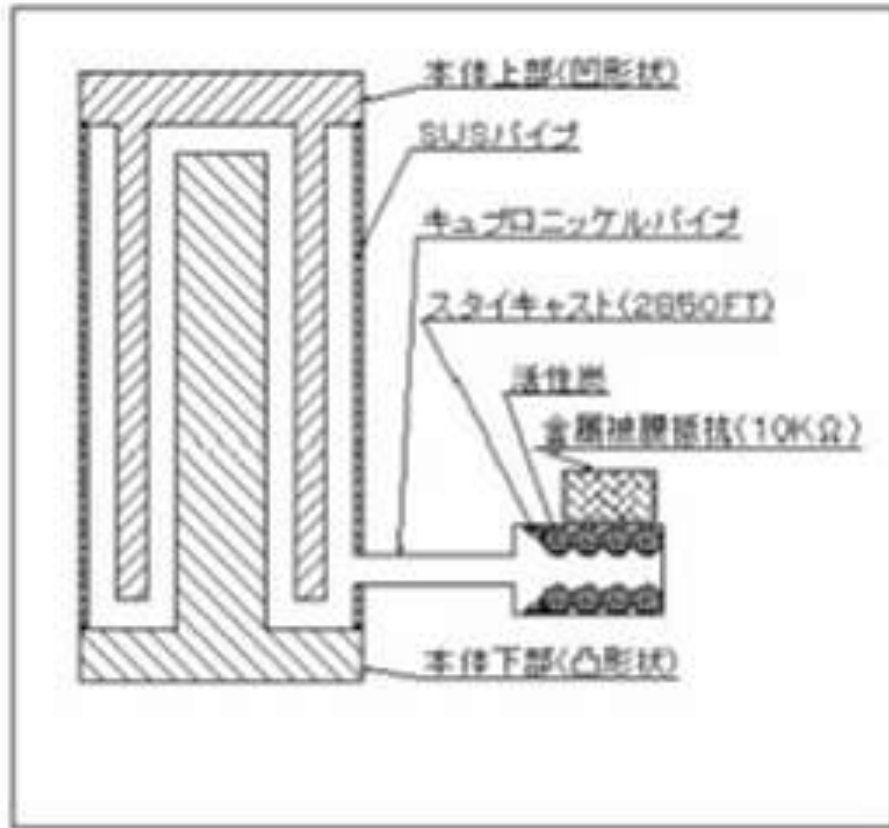
クライオスタット概略図

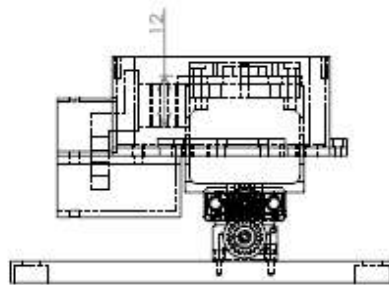
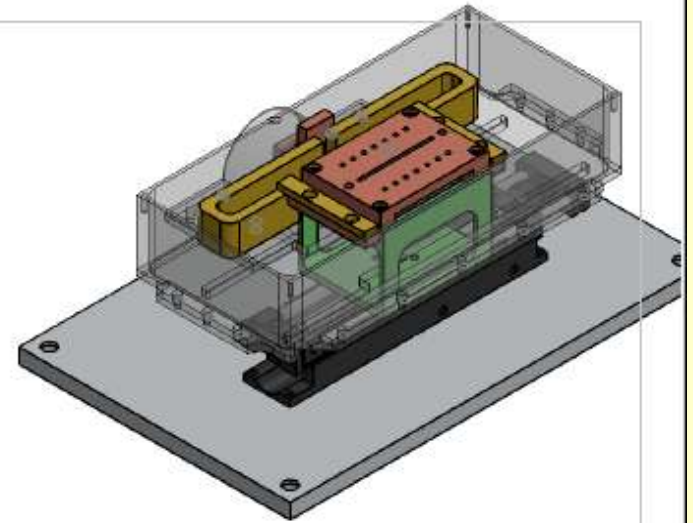
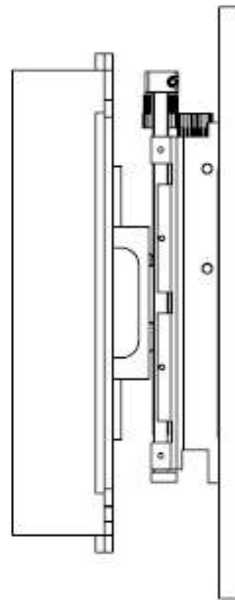
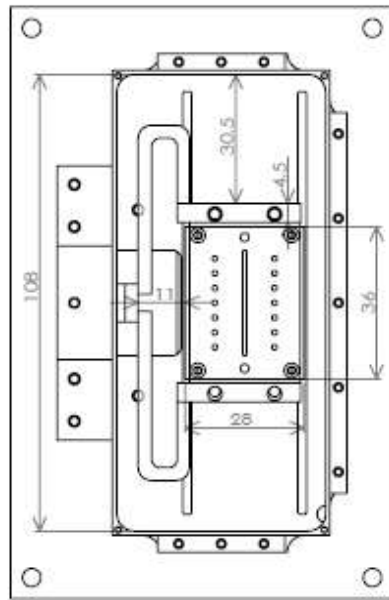
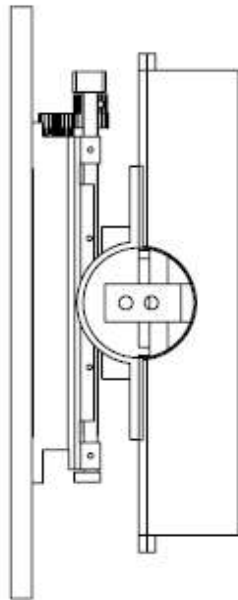




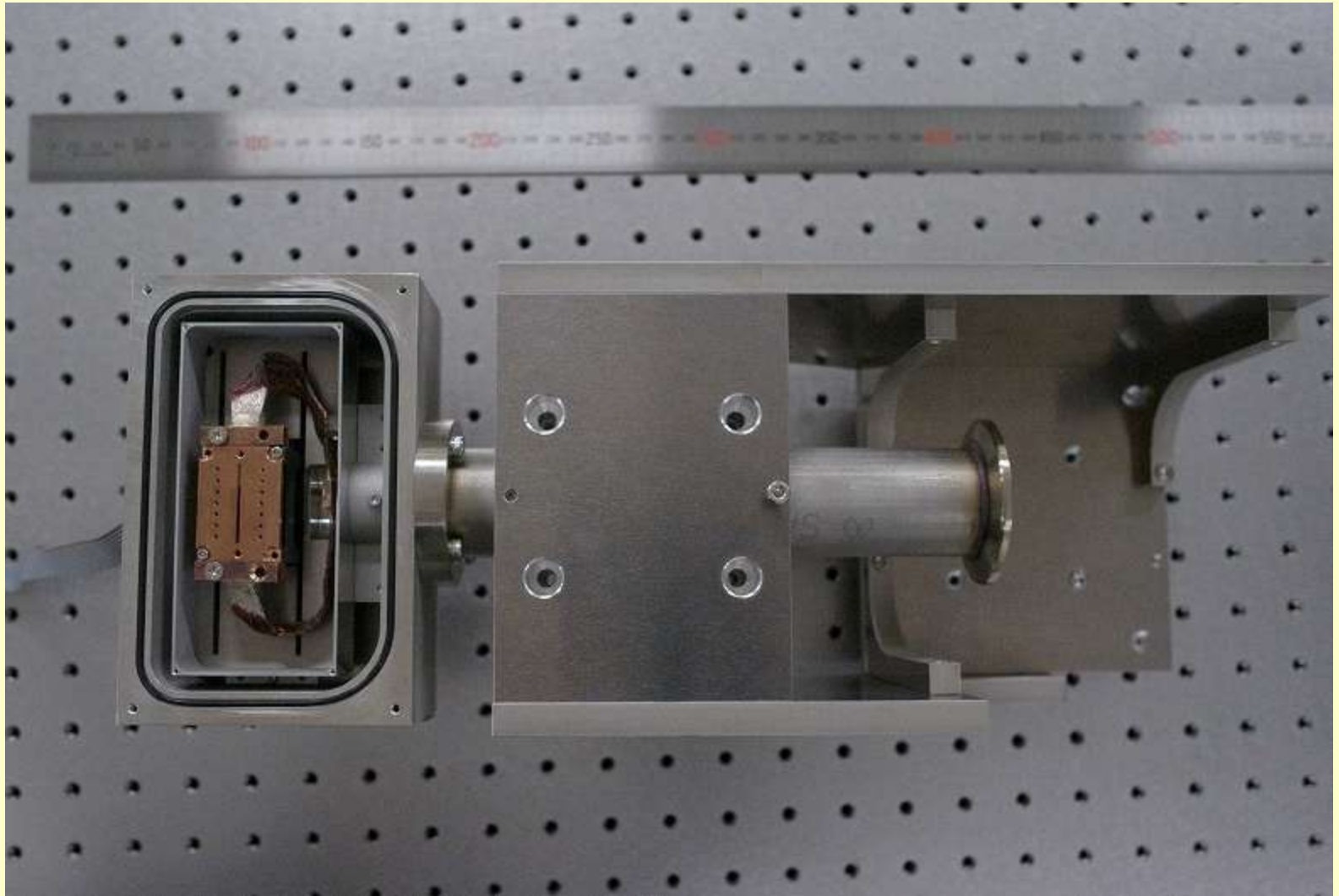
0. 3K冷凍器断面図

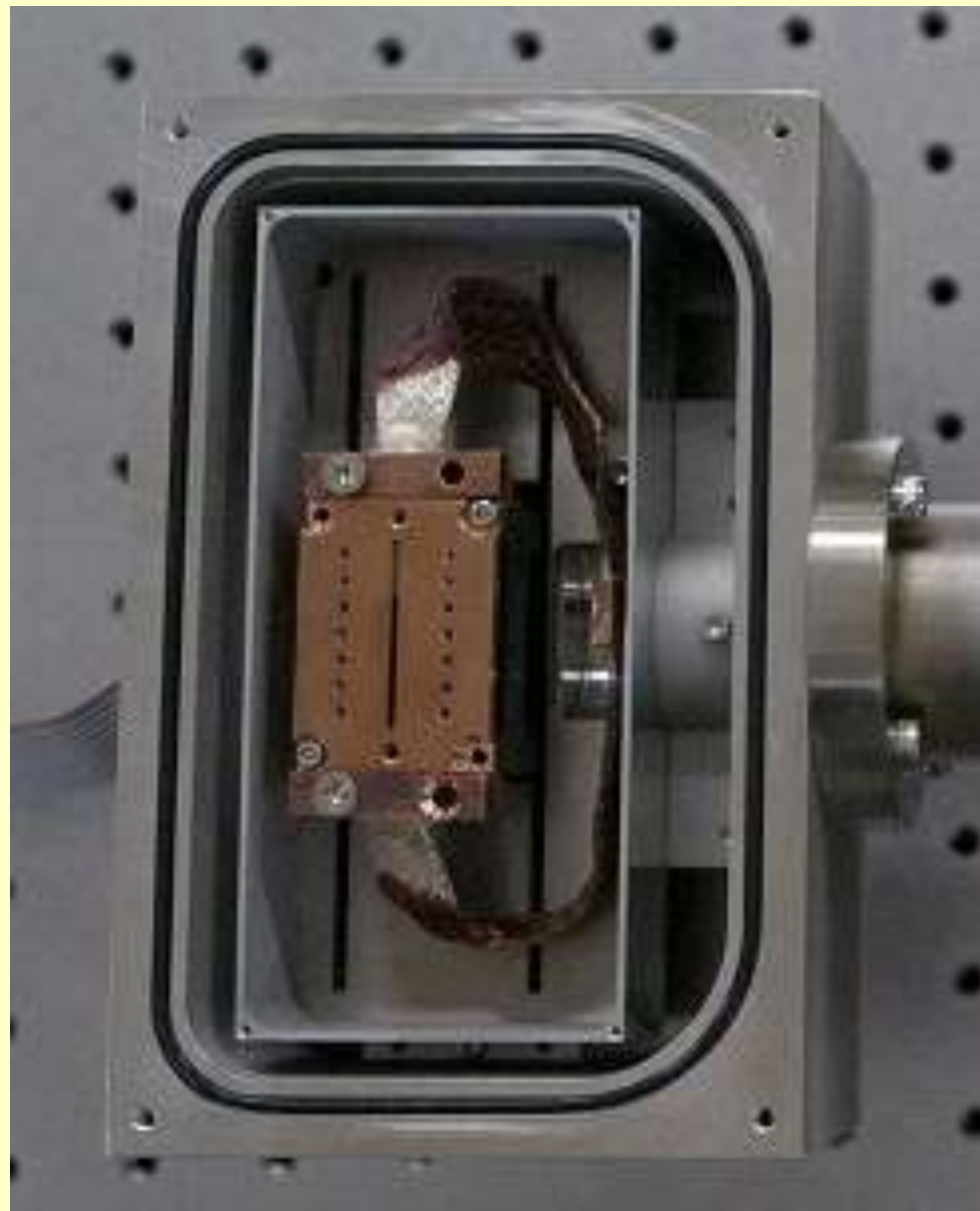
熱スイッチ

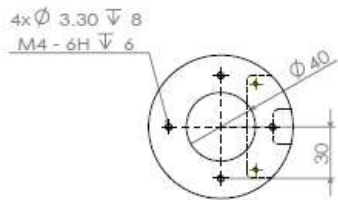




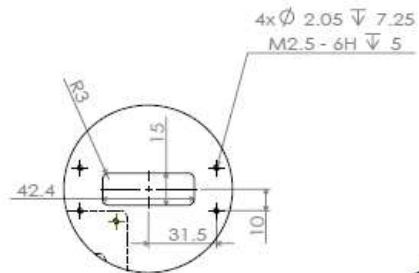
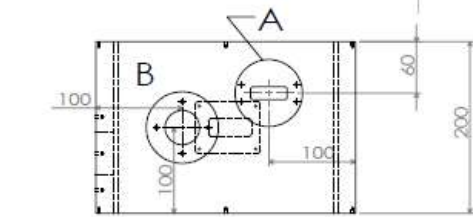
id:	Ass2Partial	scale:	1:2	material:	Al
design:	suto, 3538, 3159	paper:	A3	qty.:	1
date:	2012/04/10	sheet#:	3-11 / 1	weight:	



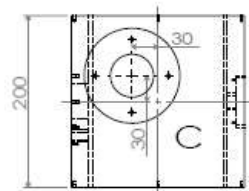
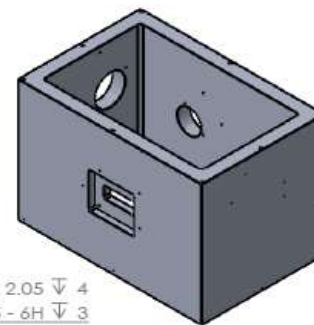




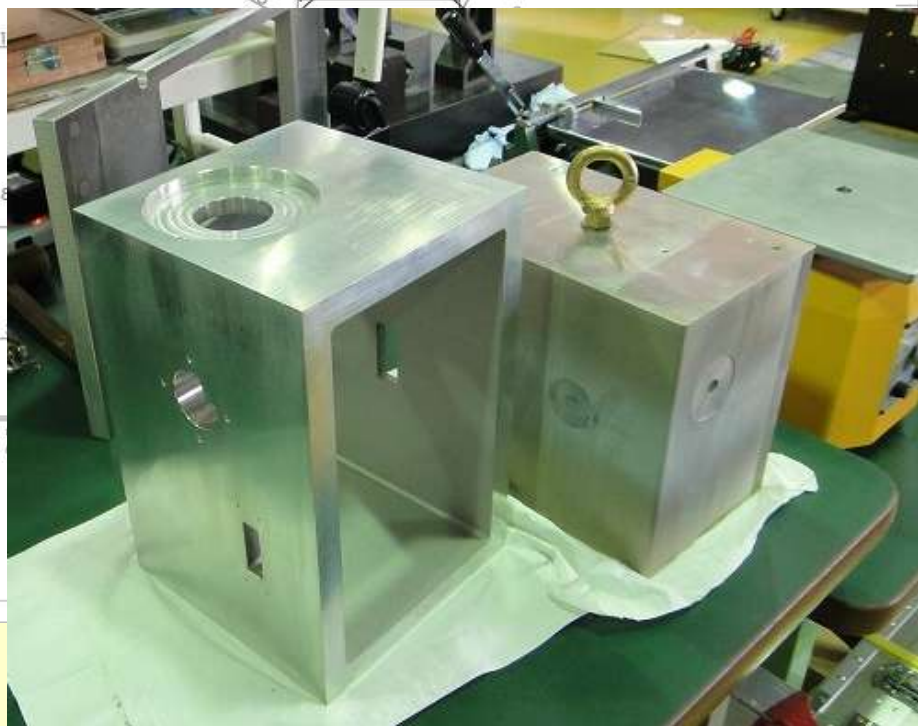
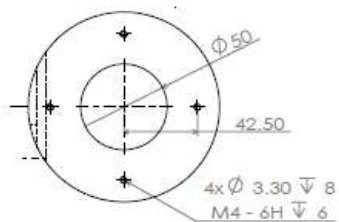
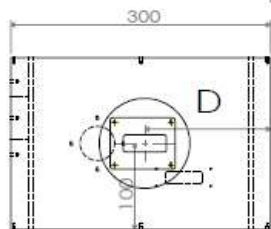
詳細図 B
スケール 2 : 5



詳細図 A
スケール 1 : 2



詳細図 C
スケール 2 : 5



15色カメラ ダイクロイックミラーホルダー (チタン合金製)



チタン合金切削中の火花



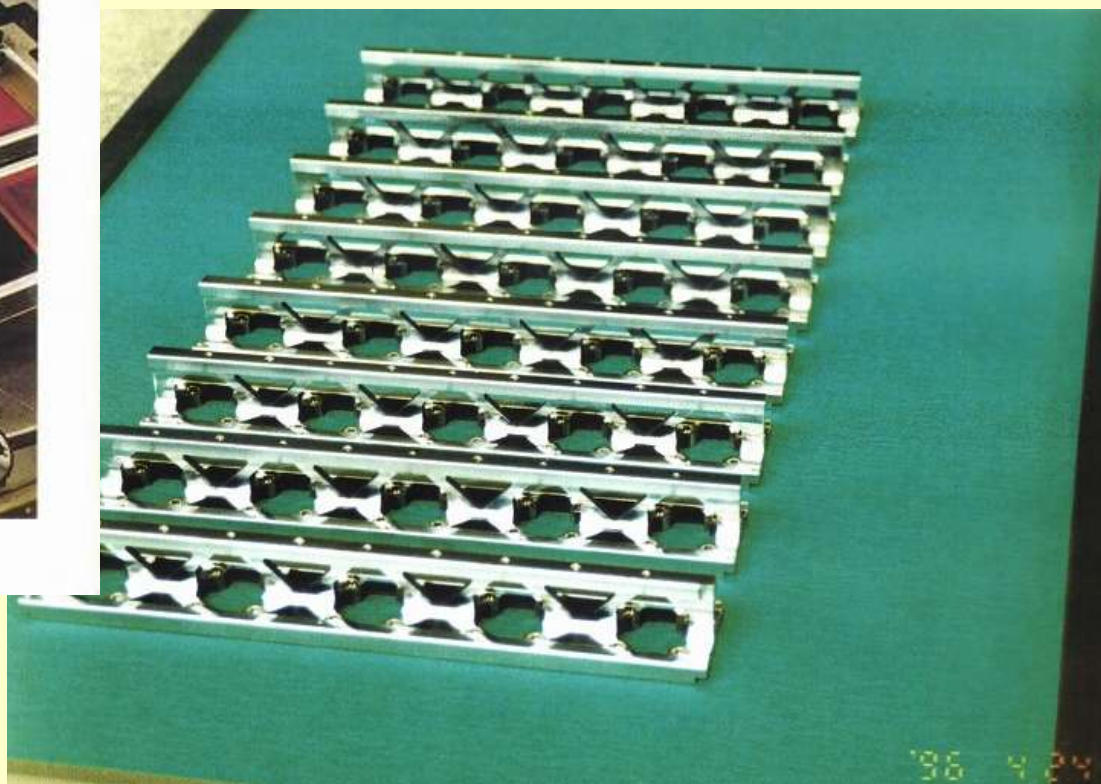
PHYSICS TODAY

FEBRUARY 1998



A CELESTIAL SURVEYOR

スーパーインバーの加工

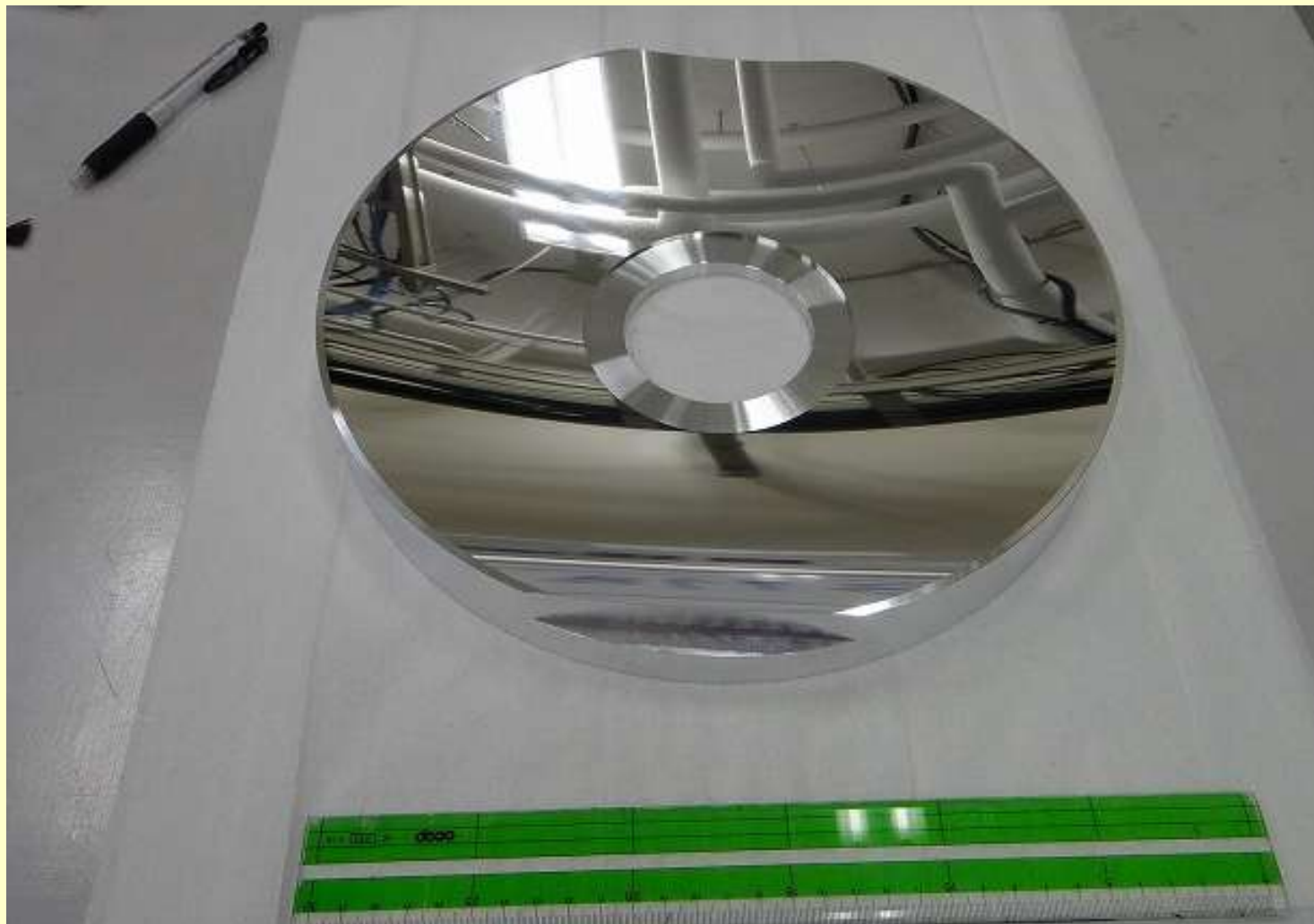


超精密加工設備

- ・CNC超精密非球面加工機(ULG300)
- ☆光学素子(ミラー、レンズ)の開発/製作/試作



ME 超精密加工



ME 超精密加工



Nano-JASMINE 球面鏡

曲率半径: 50mm
有効径: 40mm

目標精度: RMS 40nm
達成精度: RMS 31nm

(評価径50mm)

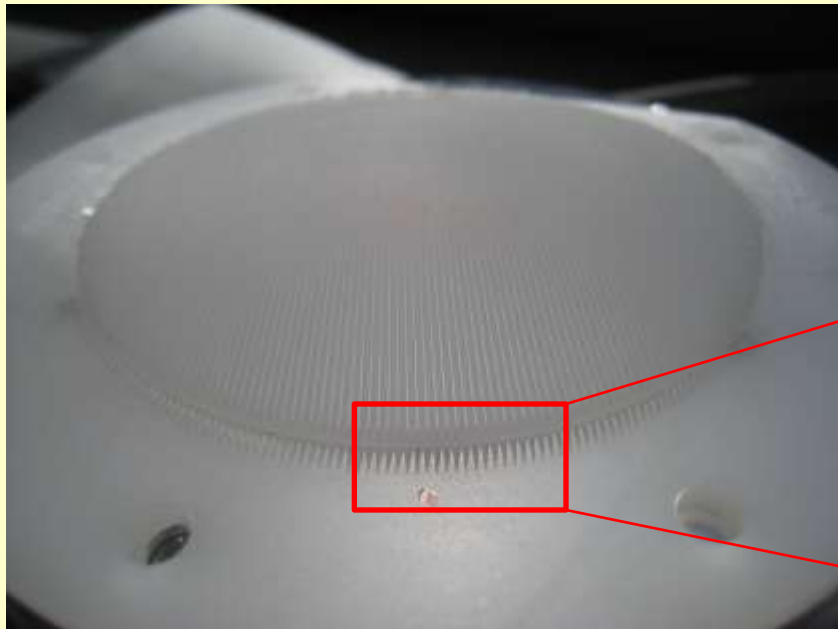


瞳鏡

中心位置と曲率半径がそれぞれ違う球面鏡が五つ並んでいます。

分割された光をそれぞれの球面鏡で受けて、それぞれまた別々の場所に再結像させます。

目標精度: RMS 40nm
達成精度: RMS 20nm

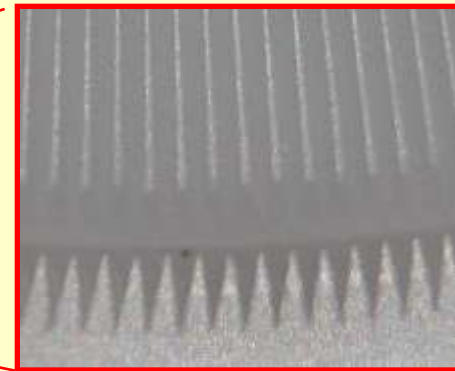


ALMA Band6

電波透過用の窓のテスト加工品

材質: 高密度ポリエチレン

形状: 頂角 20° 深さ1.843mm 溝本数107本

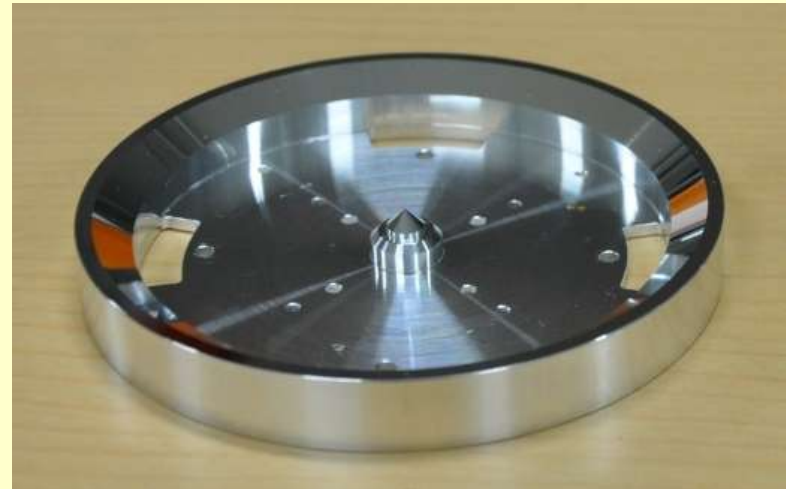


共同開発研究&製作依頼

ME 超精密加工



MgF2レンズ(分子研)



Concentric Cone Mirror(東大生産研)



球面ミラー(KEK)



Pellicle Holder(すばる AO)

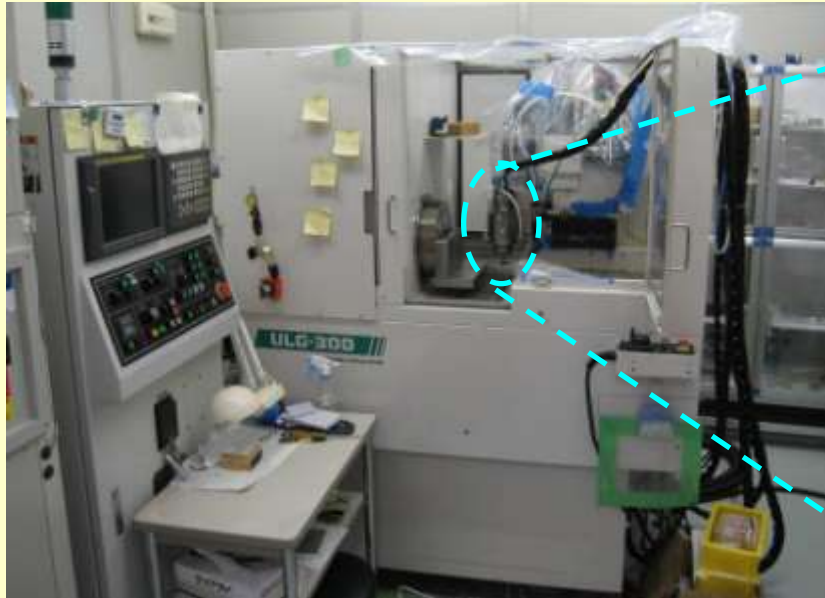


スライスミラー(東大)
(ミラー幅174 μ m)

お客様



高純度多結晶シリコンを用いたレンズアレイの製作



超精密加工機ULG-300



高速スピンドル
ABC-20M



使用工具
超硬合金+TiAlNコーティング

- 加工には、既存の超精密加工機ULG-300と高速スピンドルを使用した。
- 高速スピンドルは同期型モーターで最高回転数は毎分80000回転。
- 仕上げ加工に使用した工具は超硬合金+TiAlNコーティングのボールエンドミル

9素子Siレンズアレイ



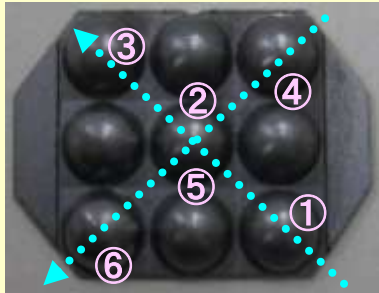
9素子版Siレンズアレイ
(三個目で完成)

仕上げ加工条件

回転数[rpm]	40000
送り速度[mm/min]	100
切り込み[μm]	20~100

- 3つのサンプルで試作を行い、三度目に成功した。
- 二度目の試作で誤差量を見積もり、その補正値を反映させた。

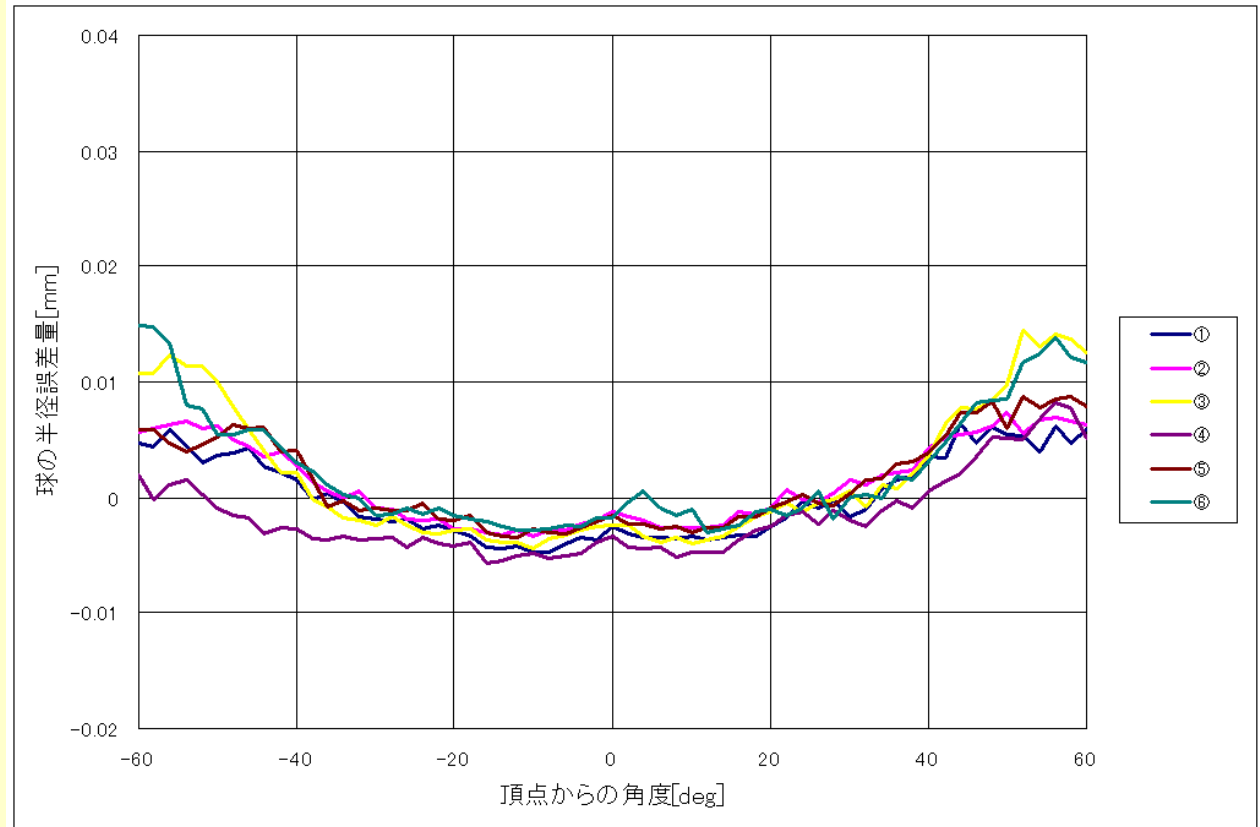
9素子版Siレンズアレイ



測定位置



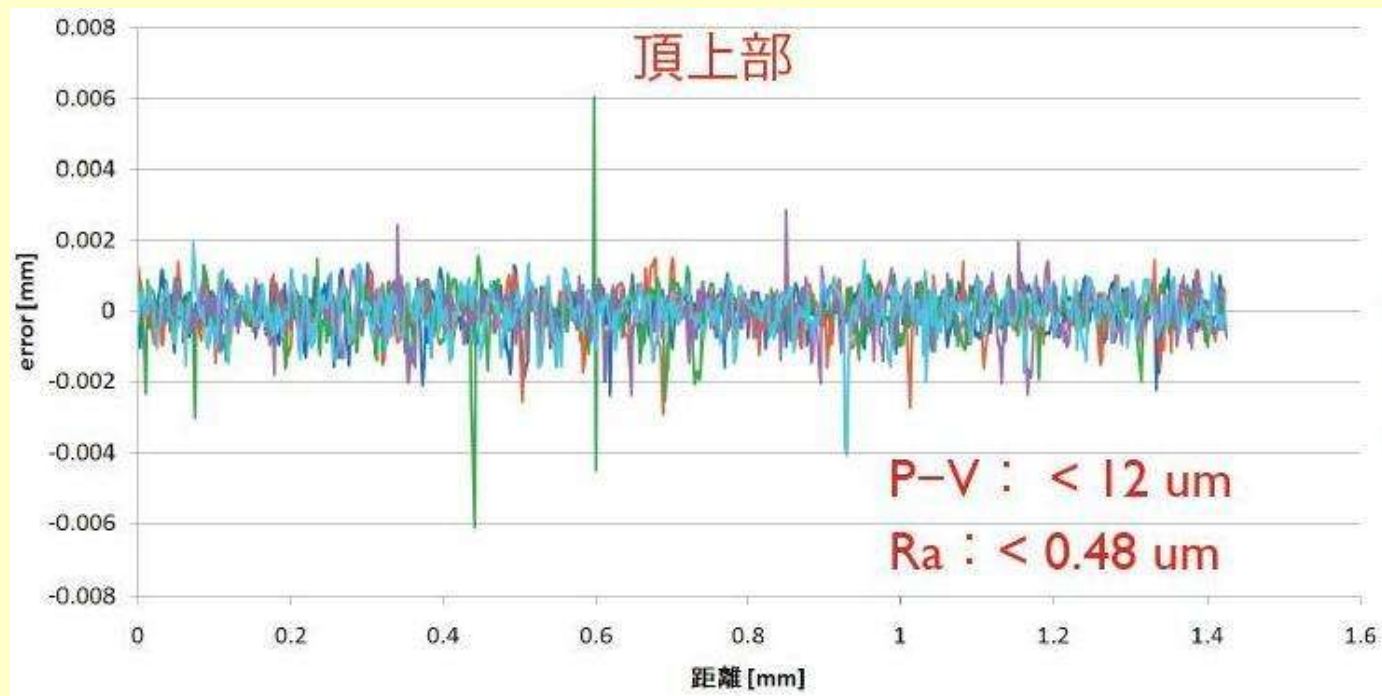
測定機械 (LEGEX910)



- 断面形状測定の結果、形状誤差約 $20\mu\text{m}$ であった。
- 測定にはミットヨLEGEX910を使用した。

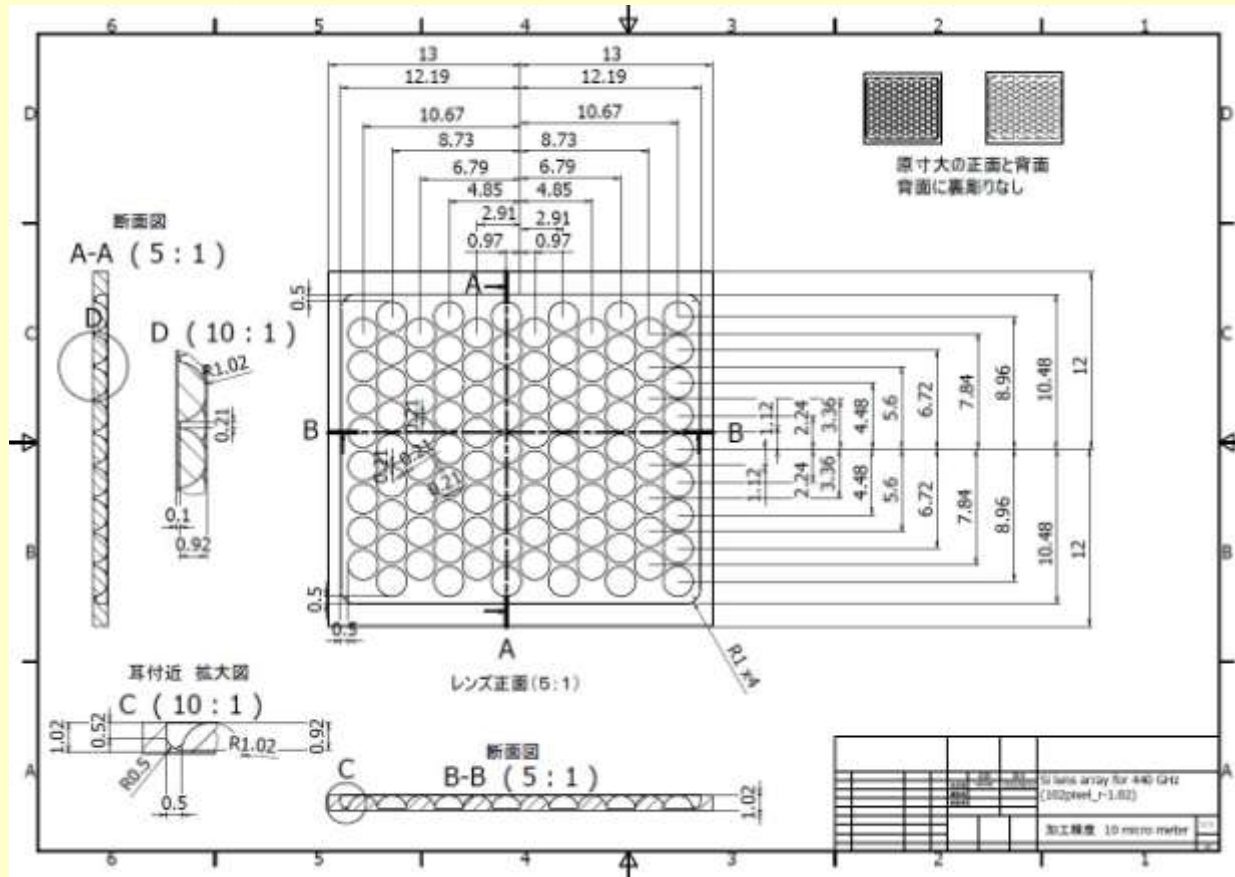
表面粗さ測定

- 表面粗さ測定には三鷹光機の非接触三次元測定器NH-3を使用した。
- 頂上部では $Ra0.48\mu\text{m}$ 、側面部では $Ra1.27\mu\text{m}$ であった。



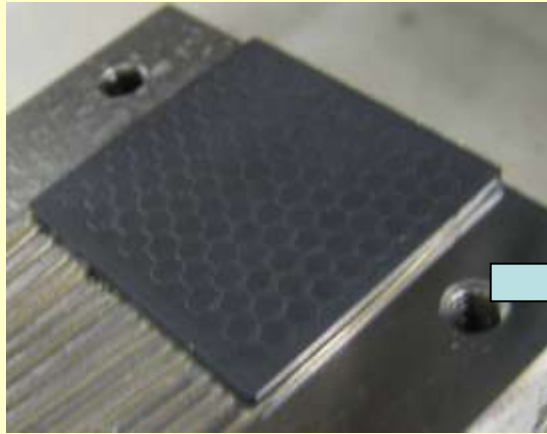
三鷹光機NH-3

102素子版Siレンズアレイ(図面)

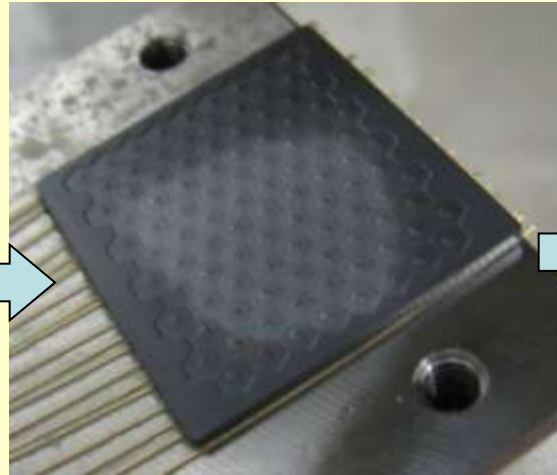


- 電波カメラで必要としているレンズの数は1000素子なのでこれに成功すれば、完成に向けて大きな前進となる。

加工の様子



1. 蜂の巣状の溝を切る



2. ある高さでの所定のサイズの円筒形に加工する。

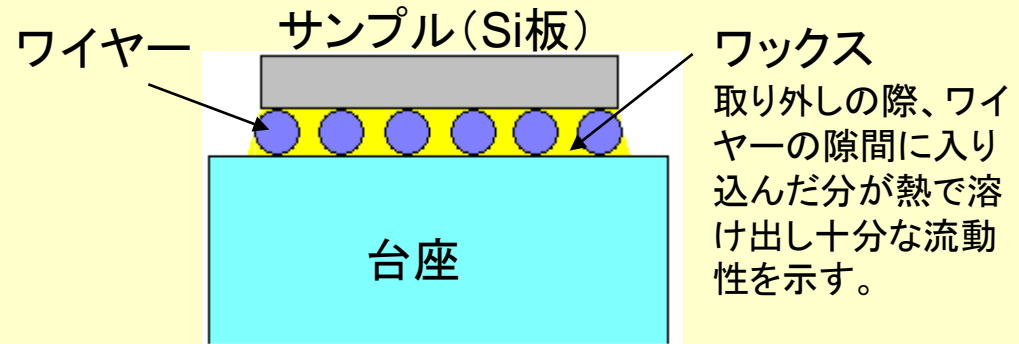
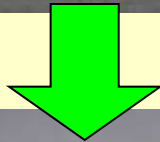


3. これを繰り返し多段の円筒にする



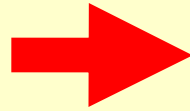
4. 半球を加工しレンズにする

固定方法の工夫



- 試作No3では台座とサンプルの間に十数本のワイヤーを挟んでワックスで固定した。
- これにより取り外し時にワックスの層の厚みが十分確保され、より小さな抵抗で取り外しが可能となる。
- ワイヤーの太さが一定のため台座に平行にサンプルを固定できる。

シリコンレンズアレイ試作



102素子レンズアレイ(現行品)

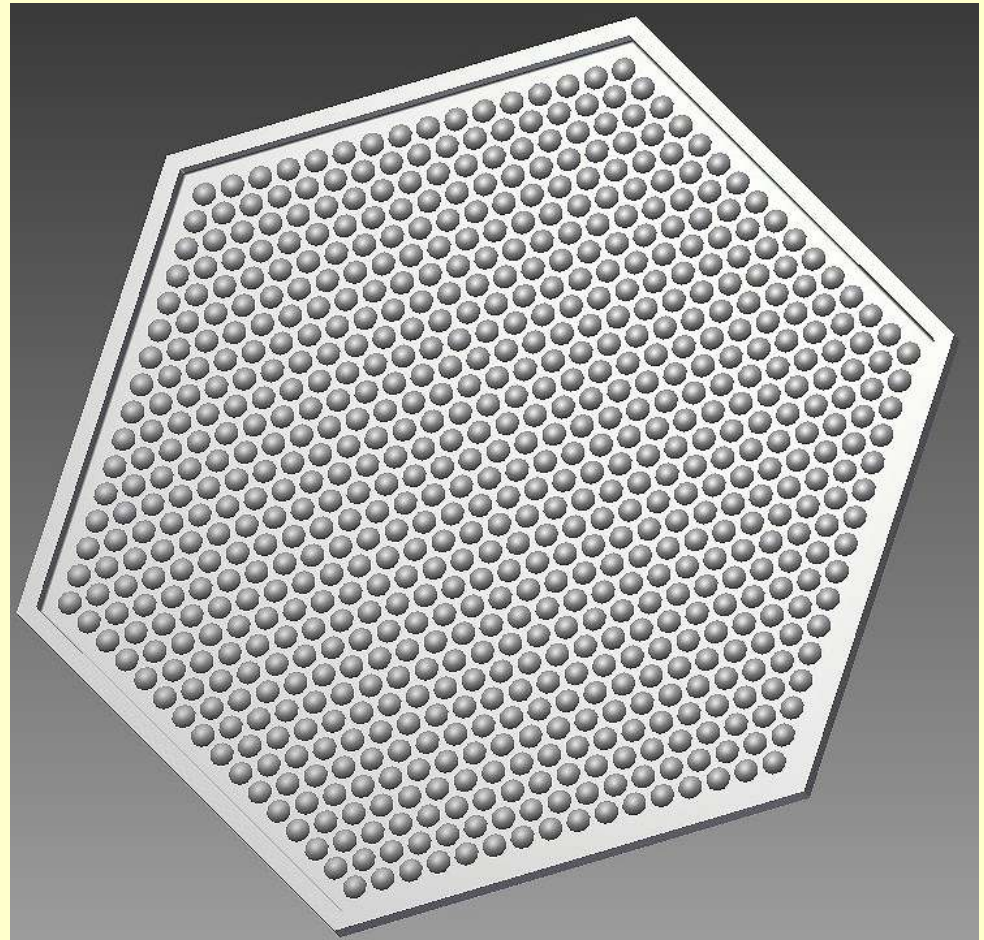
26 × 24mm



形状誤差: P-V25 μ m程度

表面粗さ: Ra2.0 μ m以下

半径1.02mm

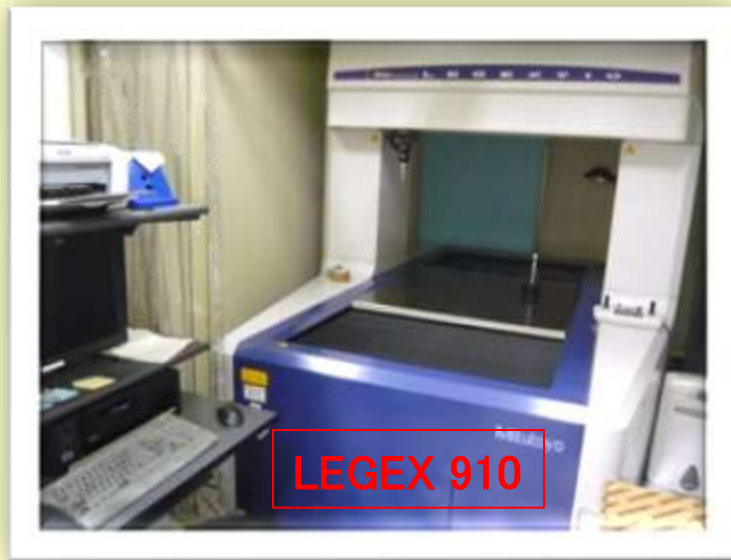


700素子レンズアレイを試作開始

対角54.9mm

半径1.39mm

2-3 測定チーム



MEショップの今後

- 高い設計能力を持つ

 - 設計チームの更なる増強

- ALMA量産の終了で通常加工能力45%増

 - 通常の加工に加え、開発的な仕事も対応可能に

- 高精度化への追求

 - 高精度加工機導入にむけての取り組み開始

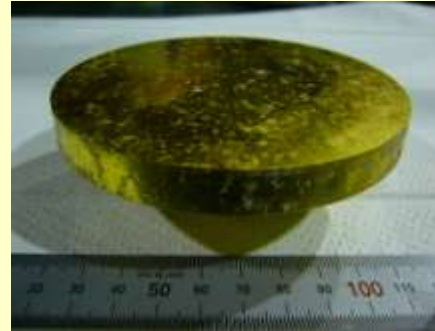
2.アルミ鏡の金メッキについて

金メッキの腐食事例

赤外線モニター 外見



副鏡の劣化の様子



材質 : A5056

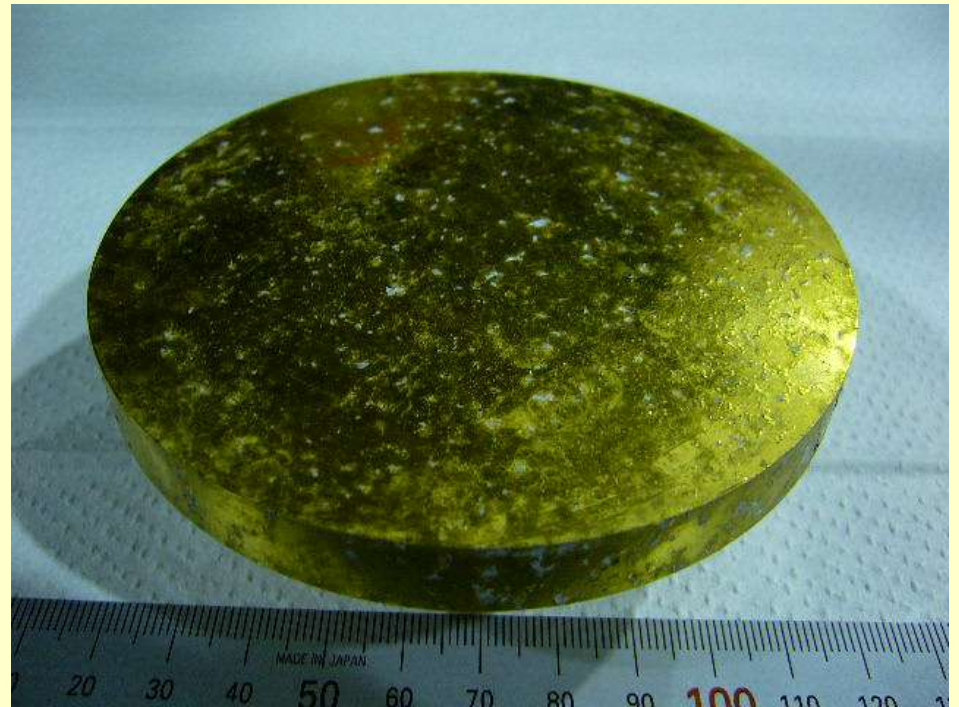
被膜 : カニゼンメッキ + 金メッキ

状況: 約3ヶ月～半年で腐食

原因 : ・ピンホール(カニゼンメッキ)
・電解腐食

対策 :

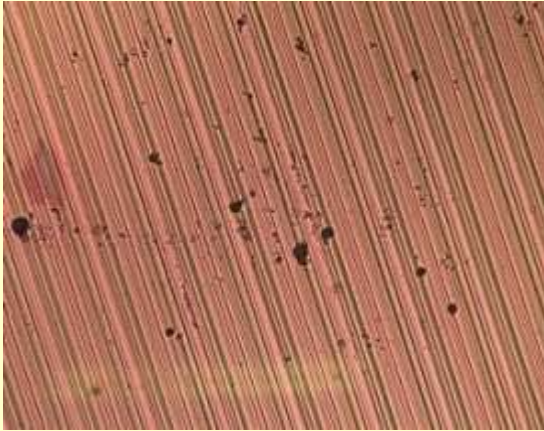
地金を金メッキと相性に優れる真鍮に変更して後続機を製作することで対応



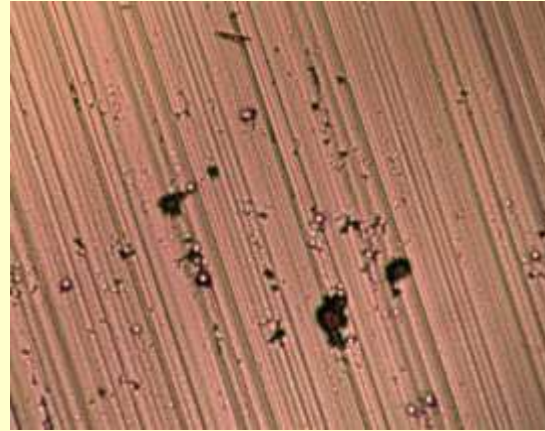


【通常の切削加工面に金メッキを施した例】

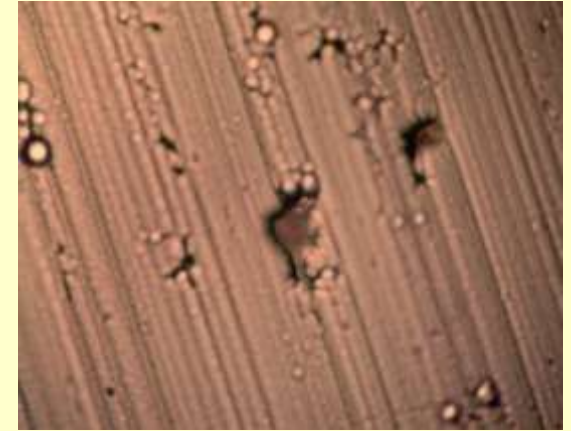
測定結果からピンホールの底はアルミ地金まで達している可能性あり → 腐食が発生する危険性がある



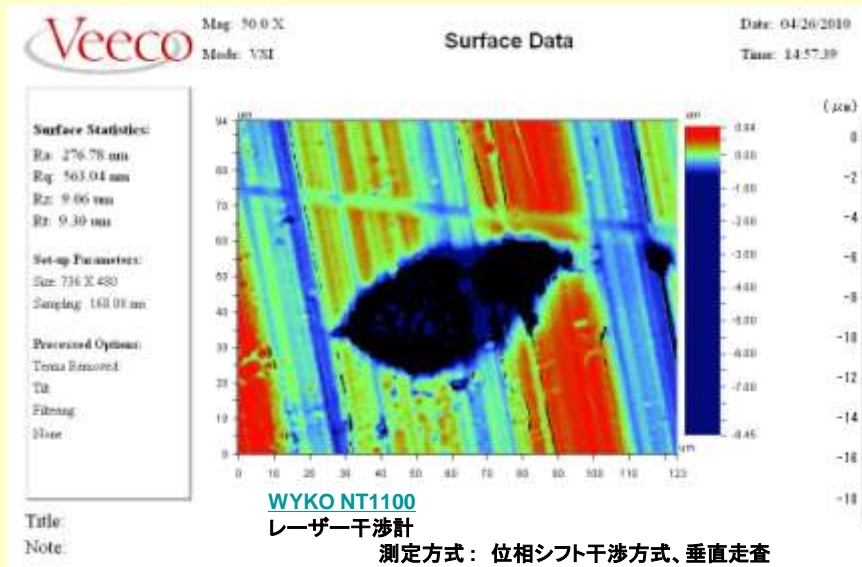
顕微鏡200倍



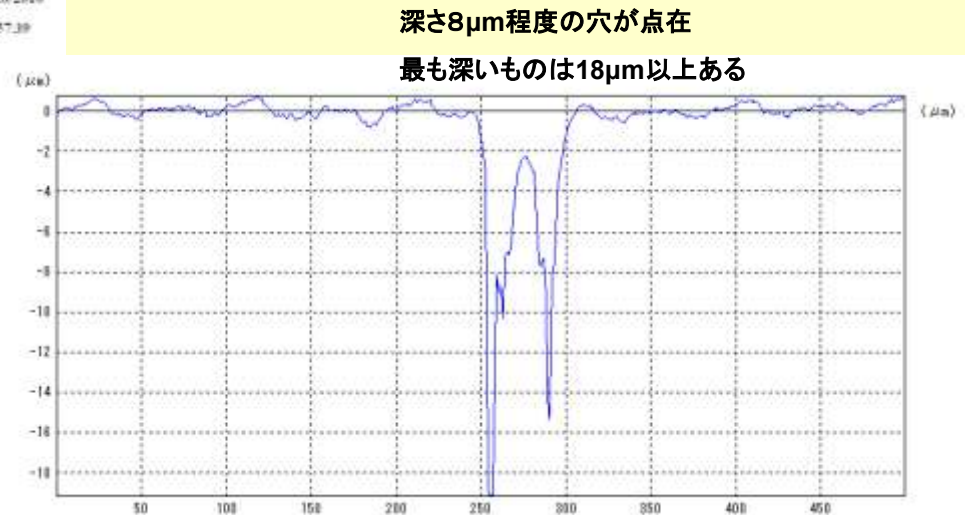
顕微鏡500倍



顕微鏡1000倍



測定方式: 位相シフト干渉方式、垂直走査型干渉方式
測定能力: 視野 非接触式3次元表面形状粗さ測定



測定装置



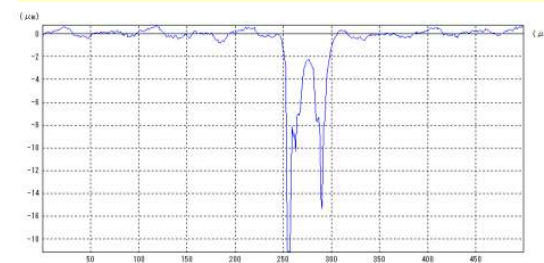
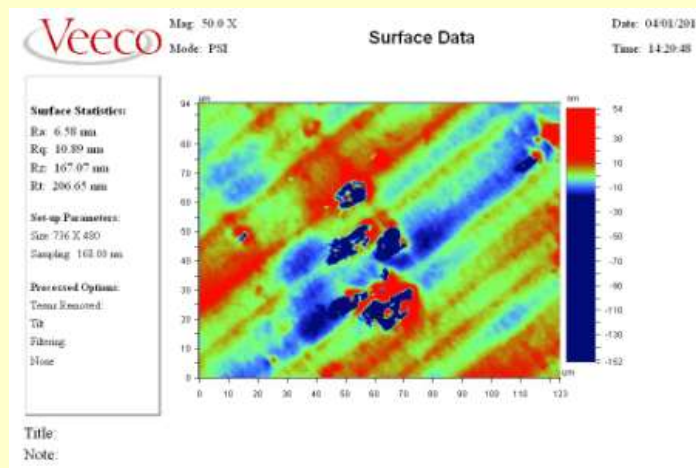
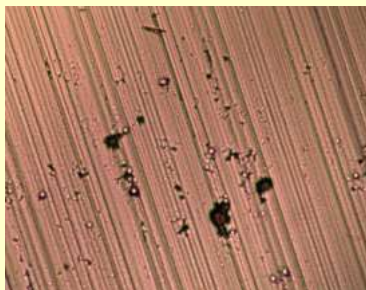
Nikon顕微鏡MM-40



WYKO NT1100
レーザー干渉計



三鷹光器 NH3-SP
非接触3次元座標測定器



加工方法の違いによる孔の発生の比較

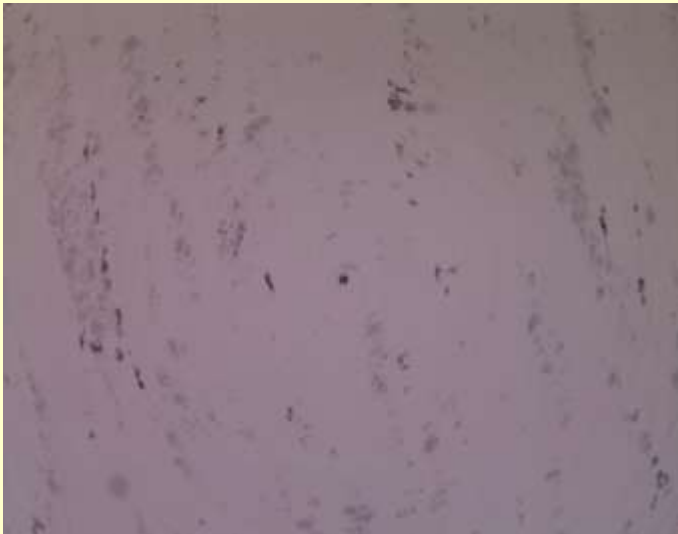
顕微鏡200倍での比較



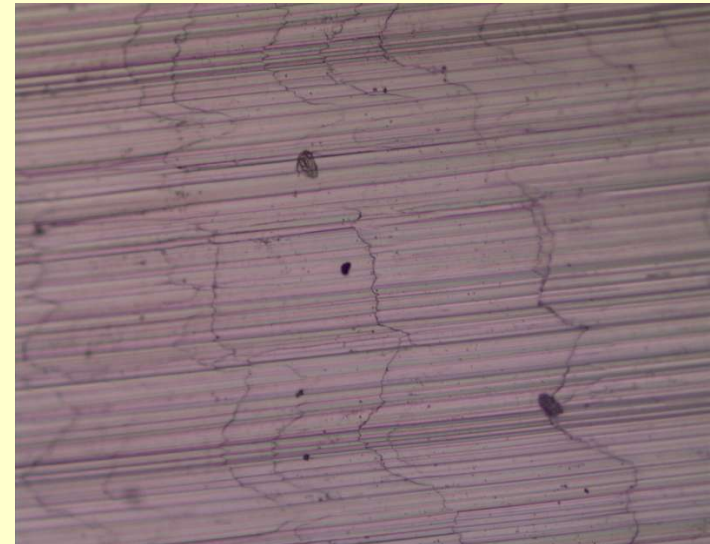
超精密ダイヤモンド旋削 回転中心付近 A6061



通常エンドミル切削 A5083 楕円鏡-1

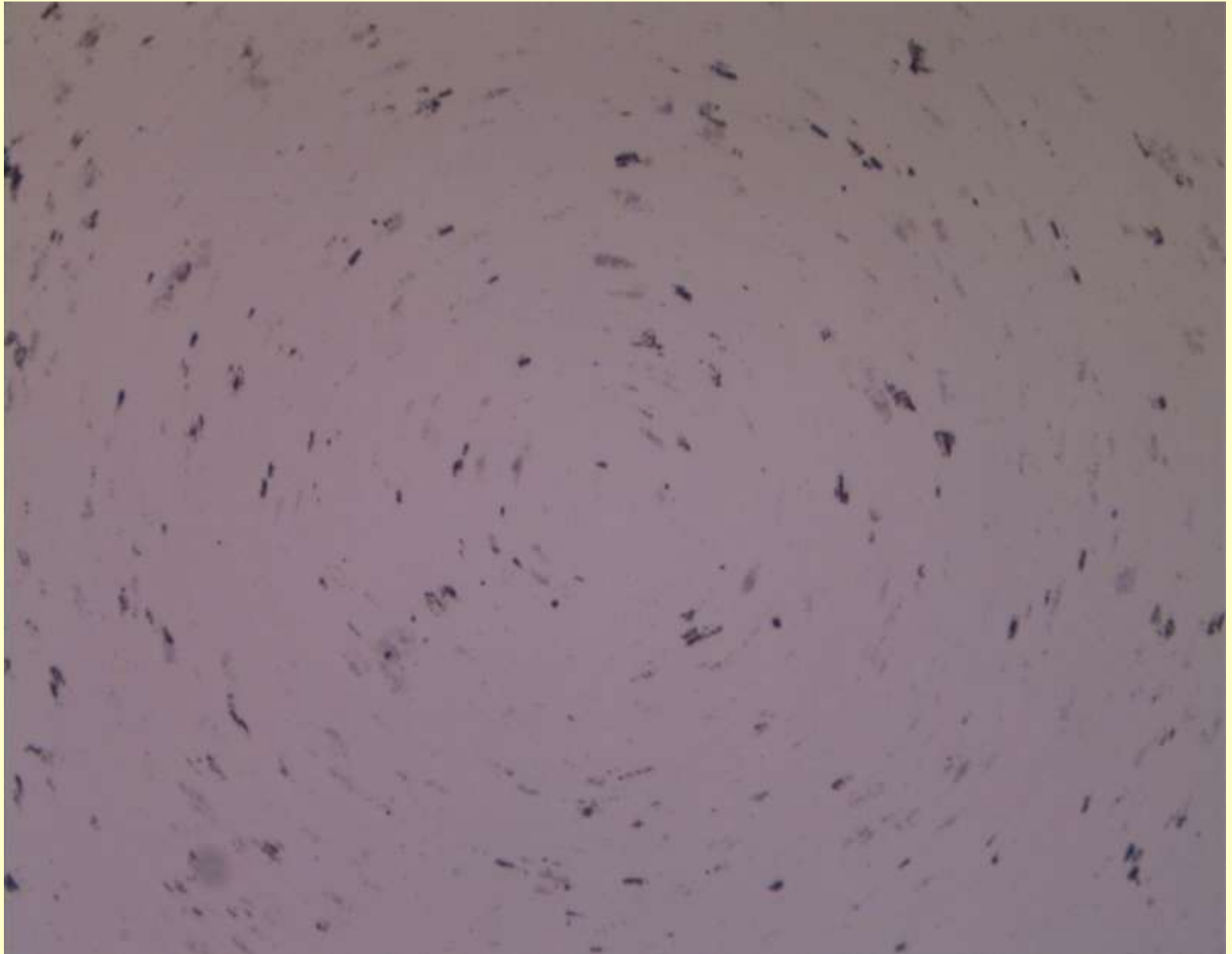


超精密ダイヤモンド旋削 回転中心付近 A5083



通常エンドミル切削 A5083 楕円鏡-2

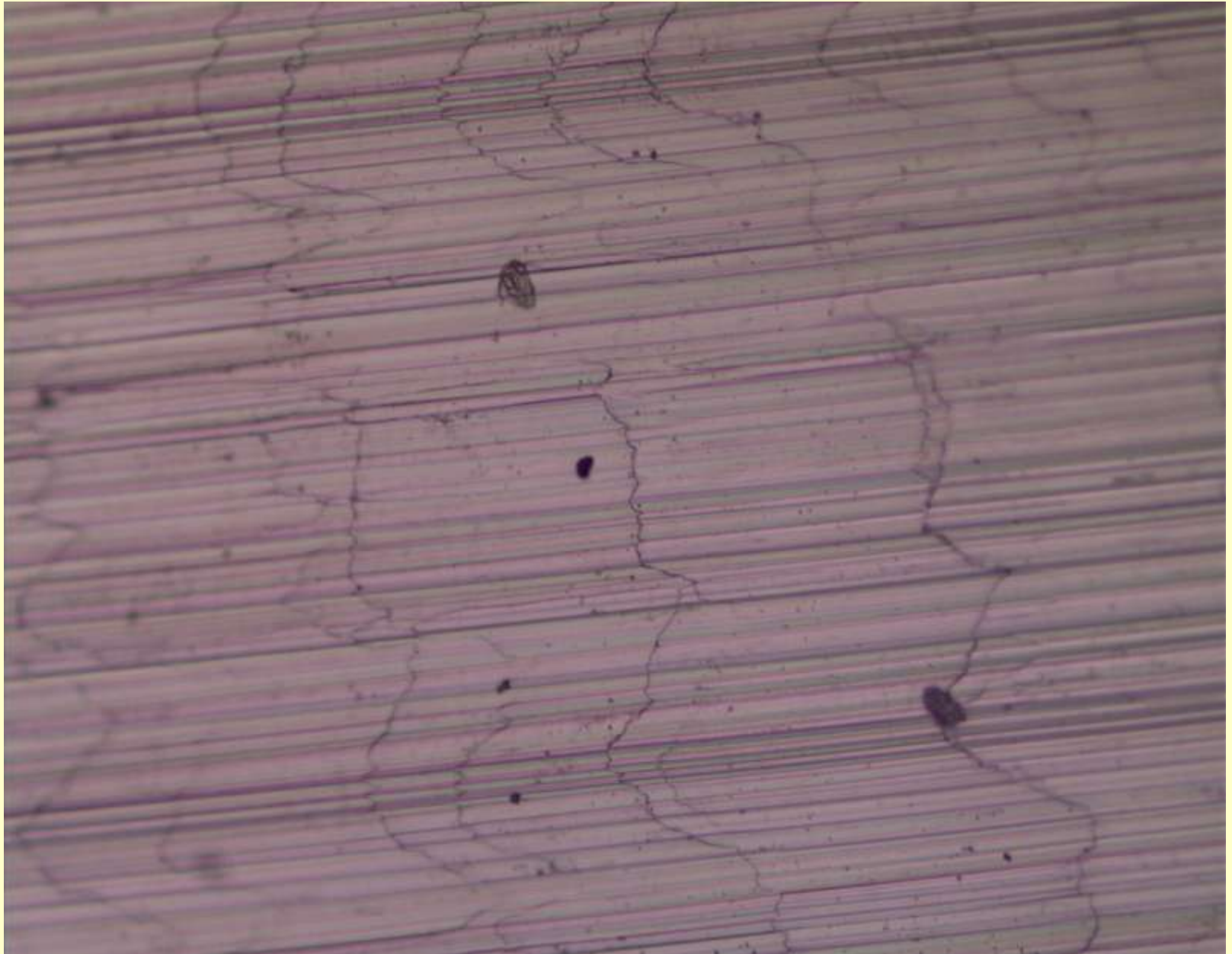
超精密ダイヤモンド旋削 回転中心付近 A6061



通常エンドミル切削 A5083 楕円鏡-1



通常エンドミル切削 A5083 楕円鏡-2



素材の孔の確認-1 【超精密ダイヤモンドでの加工面】

(幅:数 μm 深さ: 1 μm ほどの孔が発生している)



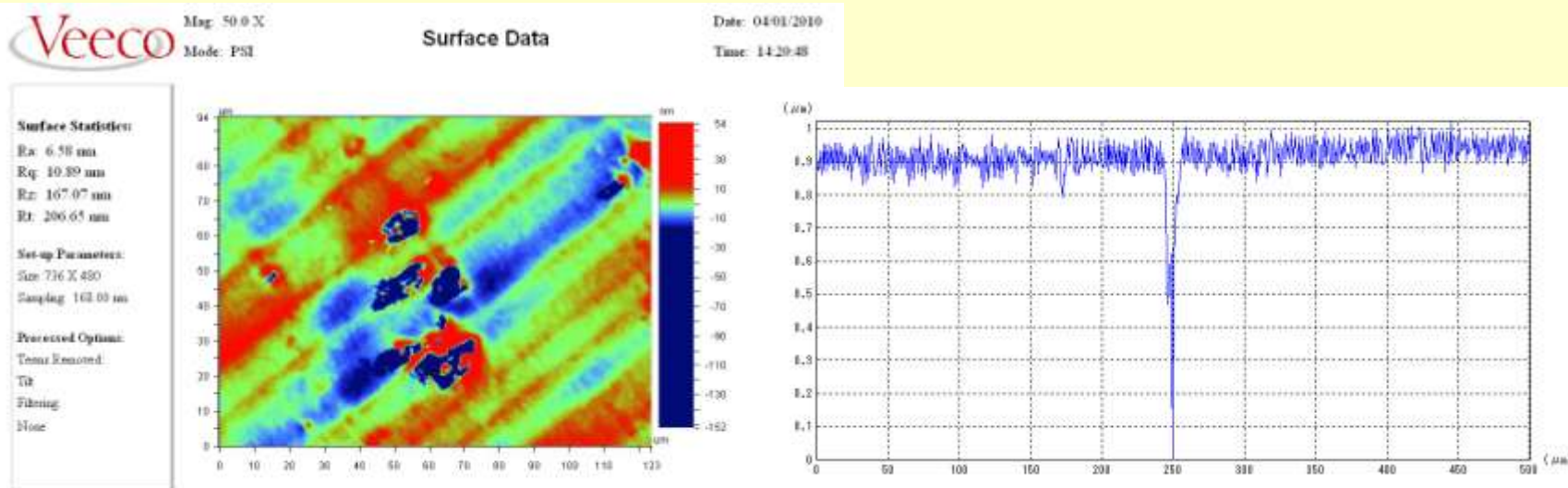
テストピース



顕微鏡200倍



顕微鏡1000倍



(幅:数 μm 深さ: 1 μm ほどの孔が発生している)

素材の確認-2

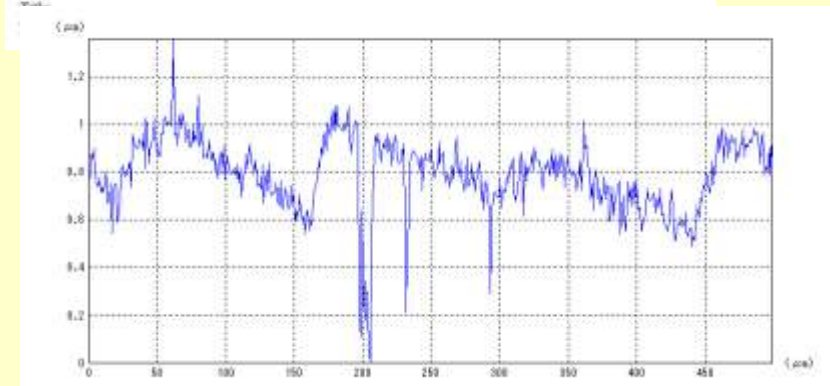
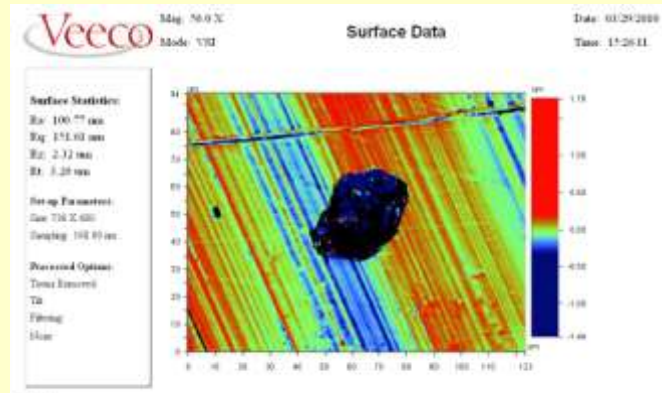
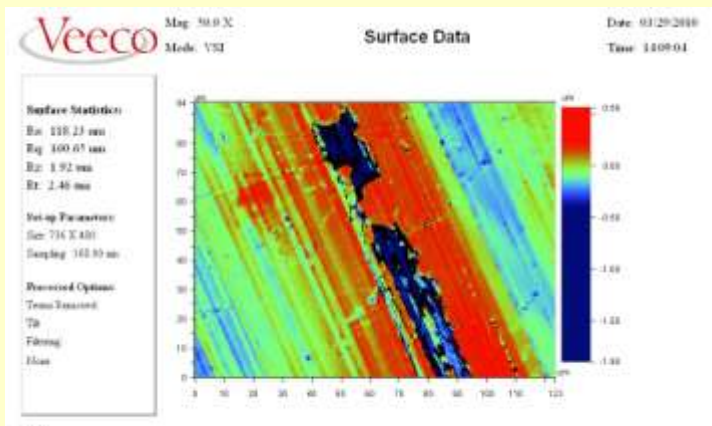
【通常エンドミルでの加工面】

(幅:10 μ m 深さ:1 μ mほどの溝)(構成刃先?)

(幅:30 μ m 深さ:2.5 μ mほどの孔)(化合物の欠落痕跡?)



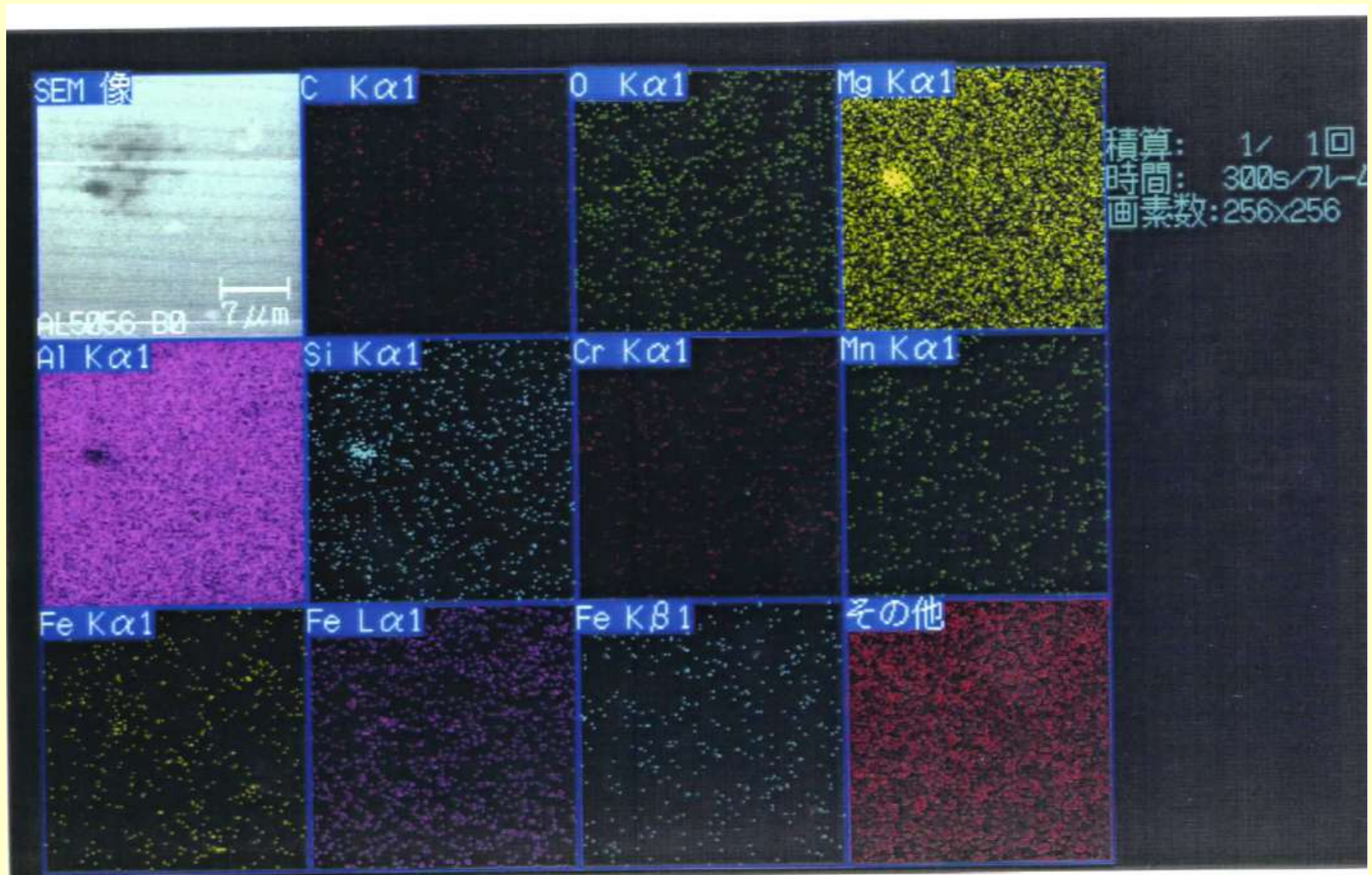
顕微鏡200倍



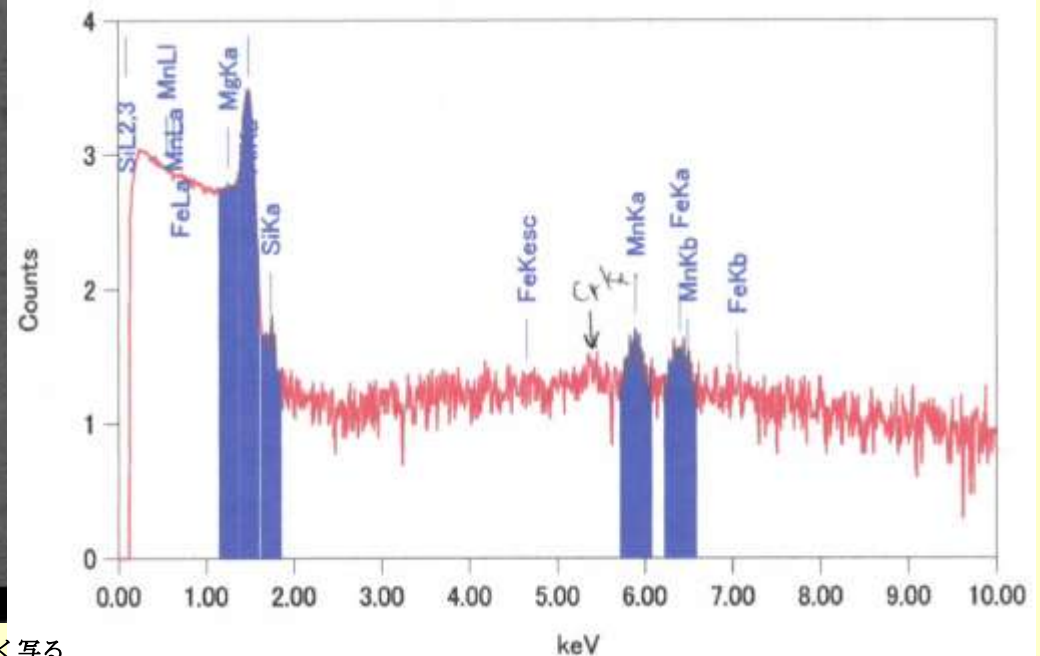
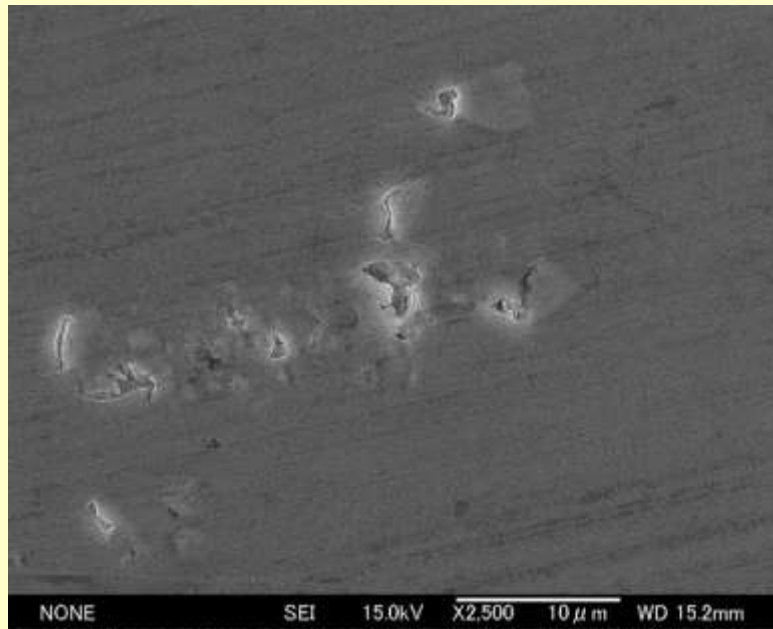
走査型電子顕微鏡(SEM-EDX)による成分分析 サンプル:A5052 (分子研 青山正樹氏作成)

(エネルギー デスパーシブ エックスレイ スペクトロメトリー)

電子線を照射し二次電子により表面形状を観察しつつ同時に発生する特性X線を検出して元素分析、元素分布観察をおこなう



塊の正体は、マグネシウムとシリコンの化合物のようである



SEM-EDS (JEOL JSM-6700F) 鉄成分がチャージにより白く写る

JIS規格化学成分【%】(A5083)								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	AL
0.40	0.40	0.10	0.4~1.0	4.0~4.9	0.05~0.25	0.25	0.15	残部

孔の開いた部分を電子顕微鏡で元素分析 (SEM-EDS) を行ったところ、孔近辺に鉄およびマンガンが検出され、これらが孔の発生になんらかの関与をしていることがうかがえる結果を得た (図.3参照)。素材のA5083はマグネシウム系アルミ合金と呼ばれ、アルミニウムとマグネシウムが成分の大半を占めているが他にもシリコン、銅、鉄、亜鉛、チタンなどの成分も微量に含まれている。孔の発生のメカニズムはまだ仮定の域であるが、アルミ合金内に鉄やマンガンがミクロンサイズの固形物となって存在していて、切削が進むとぽろぽろと塊が抜け落ちた状態になり、その脱落痕が孔となって残るように思われる。

金メッキの工程（アルミ合金の場合）

溶剤洗浄（浸漬洗浄 トリエタン 石油系溶剤）



アルカリ脱脂（油脂などの汚れを除去 界面活性剤）



エッチング（表面状態の均一化 アルカリ）



デスマット（エッチングで発生したスマットの除去 硝酸+フッ酸の混合液）



亜鉛置換（ジンケート）

孔が大きくなる



亜鉛置換剥離（緻密な亜鉛被膜を形成させるため一度亜鉛をはく離する 硝酸）



亜鉛置換



無電解ニッケル（5 μ m～10 μ m）



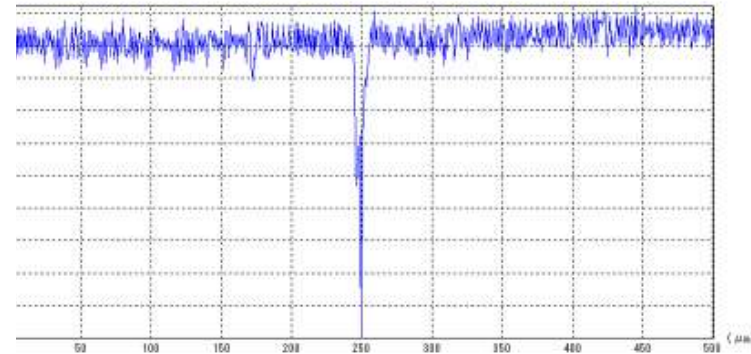
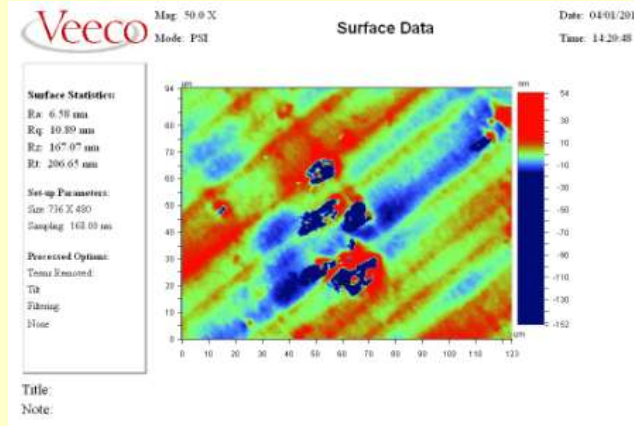
金めっき（1.5 μ m）

メッキの工程の進行に伴う孔の拡大

【超精密素材】



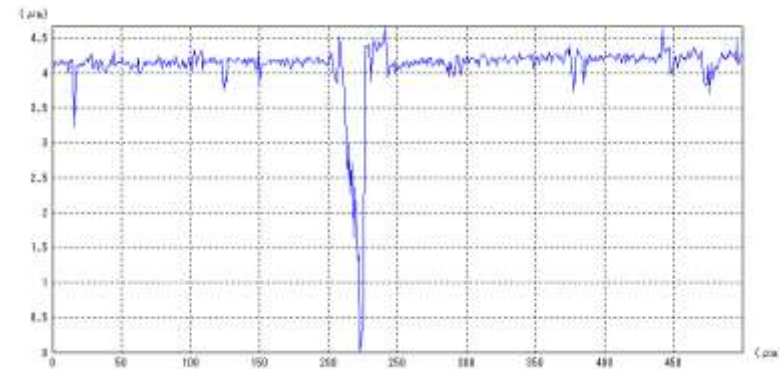
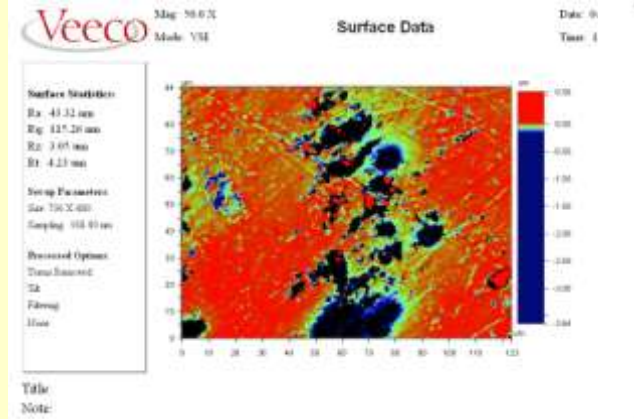
顕微鏡200倍



【エッチング】



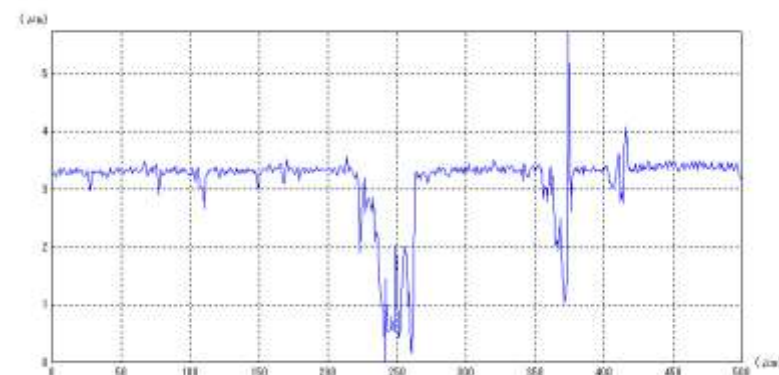
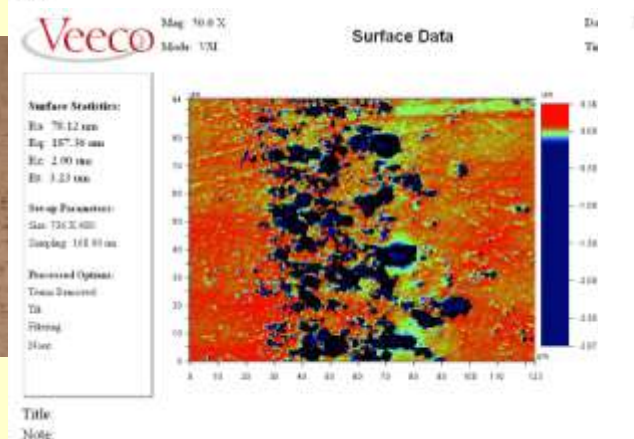
顕微鏡200倍



【エッチング+硝酸】



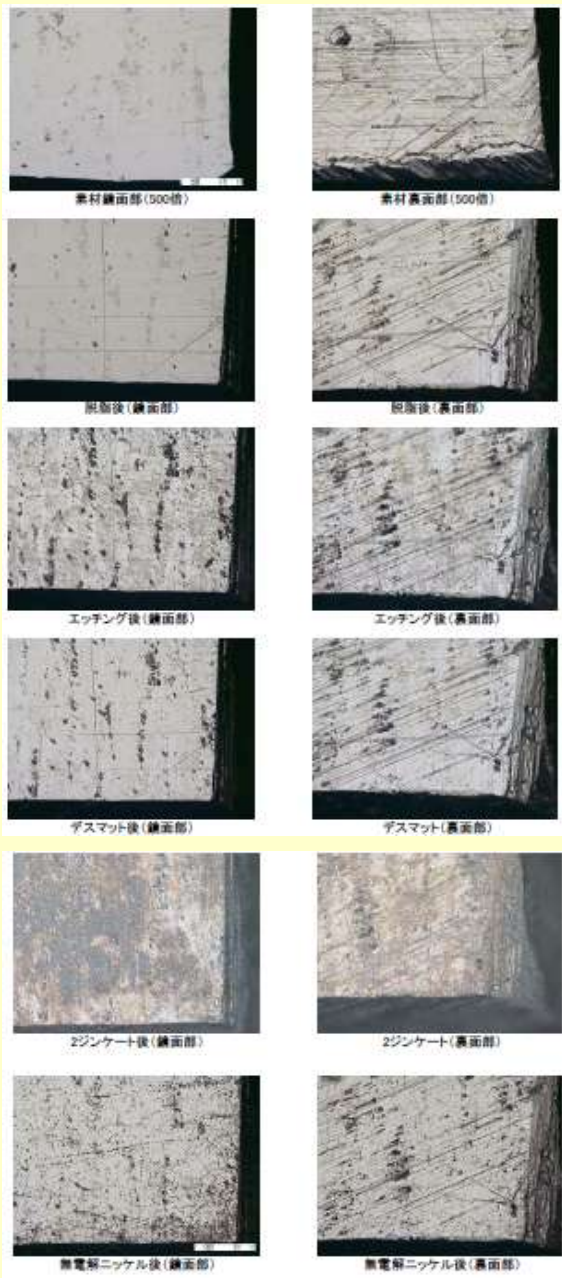
顕微鏡200倍



孔の成長を抑えるための処理条件を変化させた場合の影響

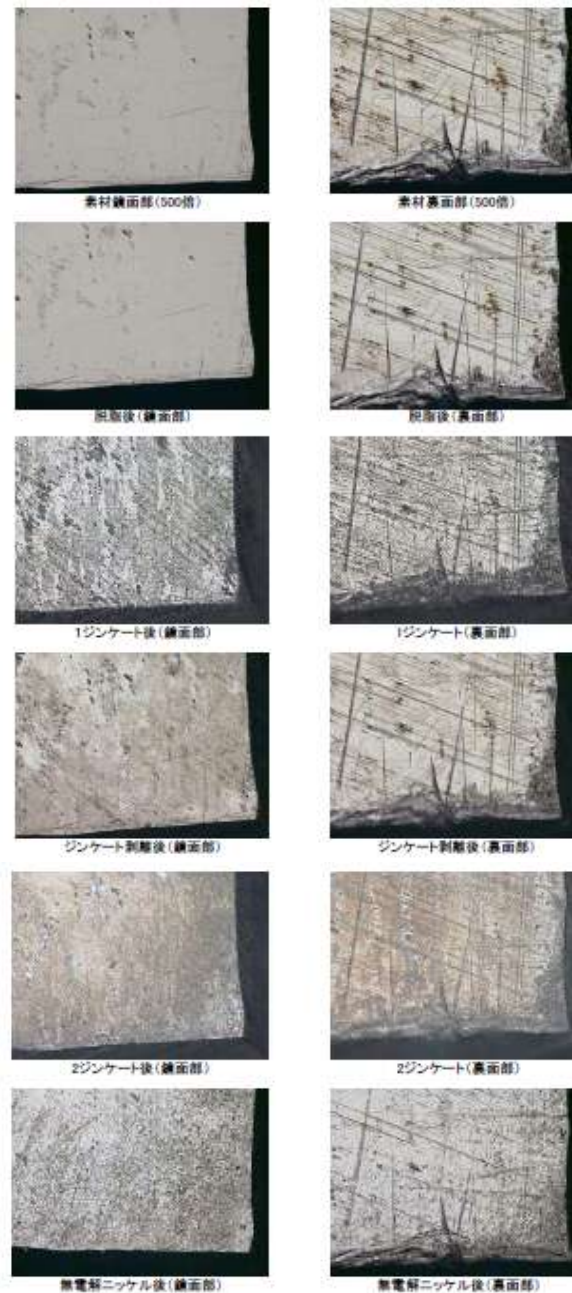
(条件1)

エッチング、ジンケートで孔が拡大



(条件2)

エッチングなしでもジンケートで孔が拡大



	条件1	条件2
脱脂	5分	5分
エッチング	30秒	-
デスマット	10秒	-
ジンケート①	500ml/L 30秒	500ml/L 30秒
ジンケート剥離	500ml/L 30秒	500ml/L 30秒
ジンケート②	500ml/L 30秒	500ml/L 30秒
無電解ニッケル	5μ m	5μ m
析出	○	○
結果と考察	<p>画像撮影のため処理を中断しているため、外観自体はあまり綺麗ではないが、析出自体は問題ない。ただし、エッチング、ジンケートなど素材を溶解させる工程があり、その工程により穴の拡大がある。</p> <p>エッチングを省き処理を行った結果、密着性等に問題はないが、ジンケート(置換反応)により素材が溶解してしまい、その際に穴の拡大がおきていると考えられる。</p>	

メッキ層の追加の効果

(条件5) (銅メッキを追加)



素材(400倍)



無電解ニッケル後(400倍)



銅メッキ後(400倍)

(条件6) (電解ニッケルメッキを追加)



素材(400倍)



無電解ニッケル後(400倍)

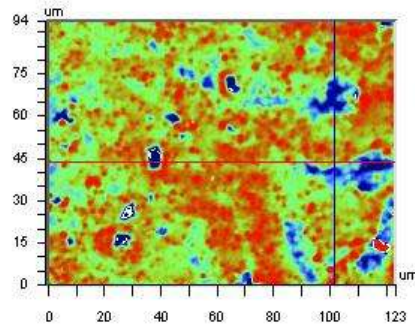


電気ニッケルメッキ後(400倍)

	条件5	条件6
脱脂	5分	5分
エッチング	30秒	30秒
デスマット	10秒	10秒
ジンケート①	30秒	30秒
ジンケート剥離	30秒	30秒
ジンケート②	30秒	30秒
無電解ニッケル	5μ m	5μ m
銅メッキ	2.5A/dm 20分 (10μ m)	-
電解ニッケル(EPN)	-	5A/dm 20分 (10μ m)
析出	○	○
結果と考察	銅メッキを施す事で、穴は減少しているように見受けられる。	電解ニッケルメッキを施す事で、穴は減少しているように見受けられる。

(条件6) 電解ニッケルメッキ(10 μm)を追加した場合の表面状況

Veeco



X	102.14	-	-	um
Y	43.71	-	-	um
Ht	3.58	-	-	nm
Dist		-	-	um
Angle		-	-	°

Title:

Note:

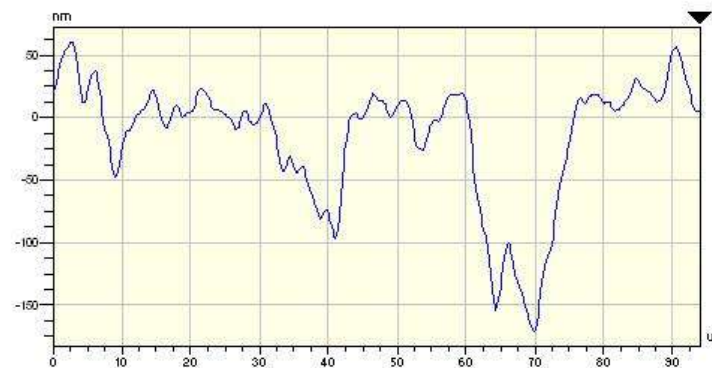
X Profile



Rq	50.28 nm
Ra	34.06 nm
Rt	303.03 nm
Rp	61.42 nm
Rv	-241.61 nm

Angle	-856.65 urad
Curve	-29.83 mm
Terms	None
Avg Ht	-13.12 nm
Area	-1.62 um ²

Y Profile



Rq	50.36 nm
Ra	38.56 nm
Rt	232.63 nm
Rp	60.92 nm
Rv	-171.70 nm

Angle	-170.04 urad
Curve	15.14 mm
Terms	None
Avg Ht	-14.99 nm
Area	-1.41 um ²

孔はあるものの深さは0.3 μm ぐらいとなった

現時点で良いと思われる金メッキの条件 (A5083の場合)

溶剤洗浄



アルカリ脱脂



ソフトエッチング



デスマット(フッ硝酸)



亜鉛置換



亜鉛置換剥離



亜鉛置換



無電解ニッケル(50 μ m)

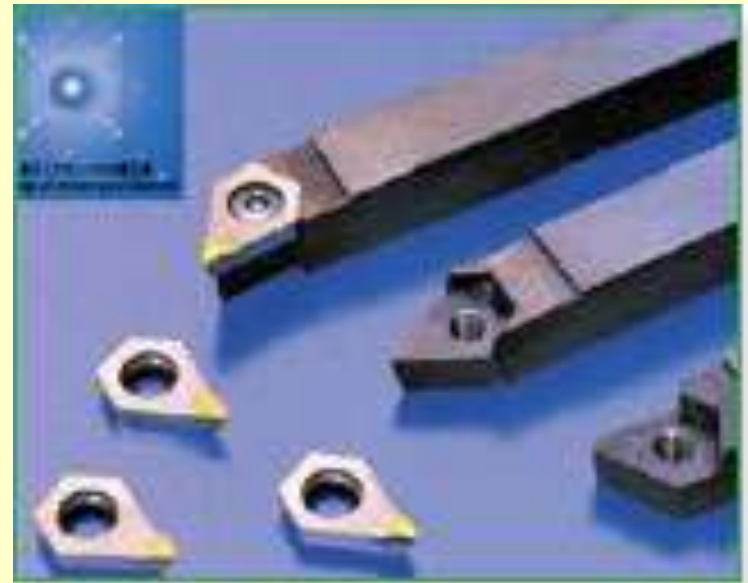


電解ニッケル(5 μ m)

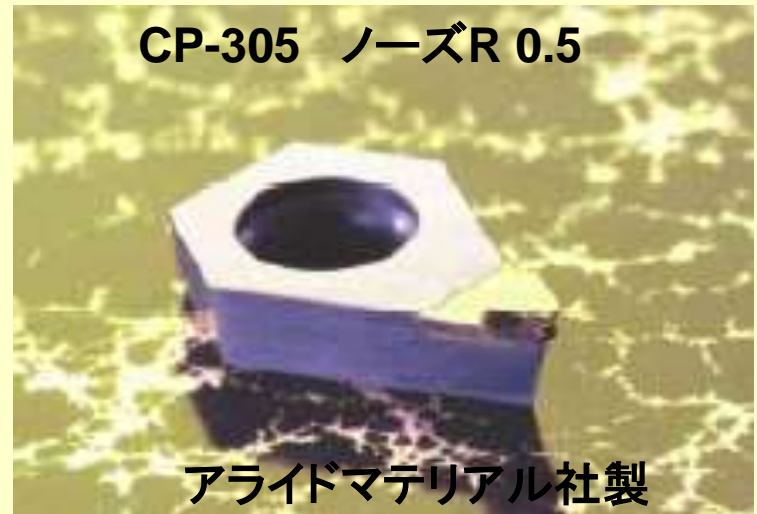


金めっき(1.5 μ m)

超精密旋盤 UPL-1 (名大)によるパンorama鏡の仕上げ加工



ダイヤモンドバイト



CP-305 ノーズR 0.5

アライドマテリアル社製