

TMT IRIS ピンホールグリッド の測定

池之上文吾、大淵喜之、齊藤栄 (NAOJ、先端技術センター
メカニカルエンジニアリングショップ 設計チーム)
鈴木竜二 (NAOJ、TMT)

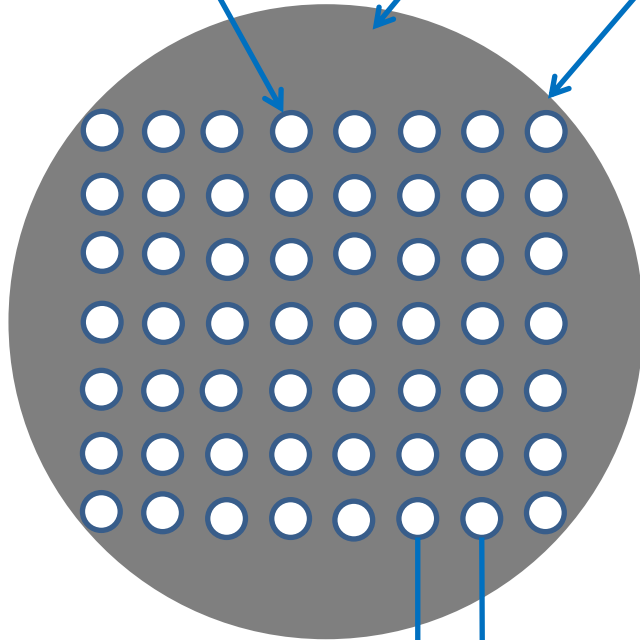
試作ピンホールグリッド

ピンホール

- $\Phi 10$ ミクロン(TBD)
- 13 x 13個

金をフォトマスクで蒸着

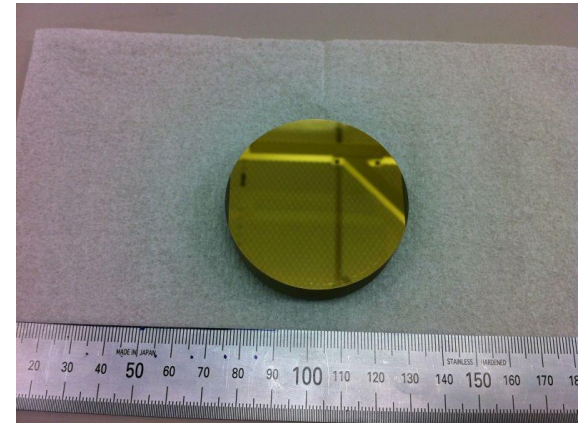
$\Phi 55$ mm



2.74 mm間隔

基板: 低熱膨張素材 3E-8[1/K]
クリアセラムZ

16 mm



必要とされる測定精度

* ピンホールに求められる相対位置精度は
200~300nm

* 広いダイナミックレンジ

IRISの視野は17x17秒角 = $\Phi 51\text{mm}$

60mmのものを200~300nmの精度で測定しなければならない。

* ピンホールグリッドを搭載する装置は -30°C の環境に置かれる。

-30°C に冷やす必要がある

測定の目的

- * 冷えた状態でピンホール^oの位置を測定する方法を確立する。
- * 測定精度と再現性を見積もる
- * 冷却サイクル後の安定性を調べる

測定可能な測定器さがし

* $\Phi 60\text{mm}$ のものを測定する→光学顕微鏡

光学機器によりZ方向を正確に測れるが
X-Yの精度はステージの精度で決まる。

(特別なことをしない限り60mmのストロークで $1\mu\text{m}$ 程度)

* 数十nmを測定する→SEM(走査型電子顕微鏡)

5000~10000倍の拡大が必要となり

視野がおおよそ $200 \times 200\mu\text{m}$ と狭い。

X-Yの精度はステージの精度で決まる。

* -30°C に冷却する

冷却装置を搭載するため大きな作業エリアが必要。

測定可能な測定器

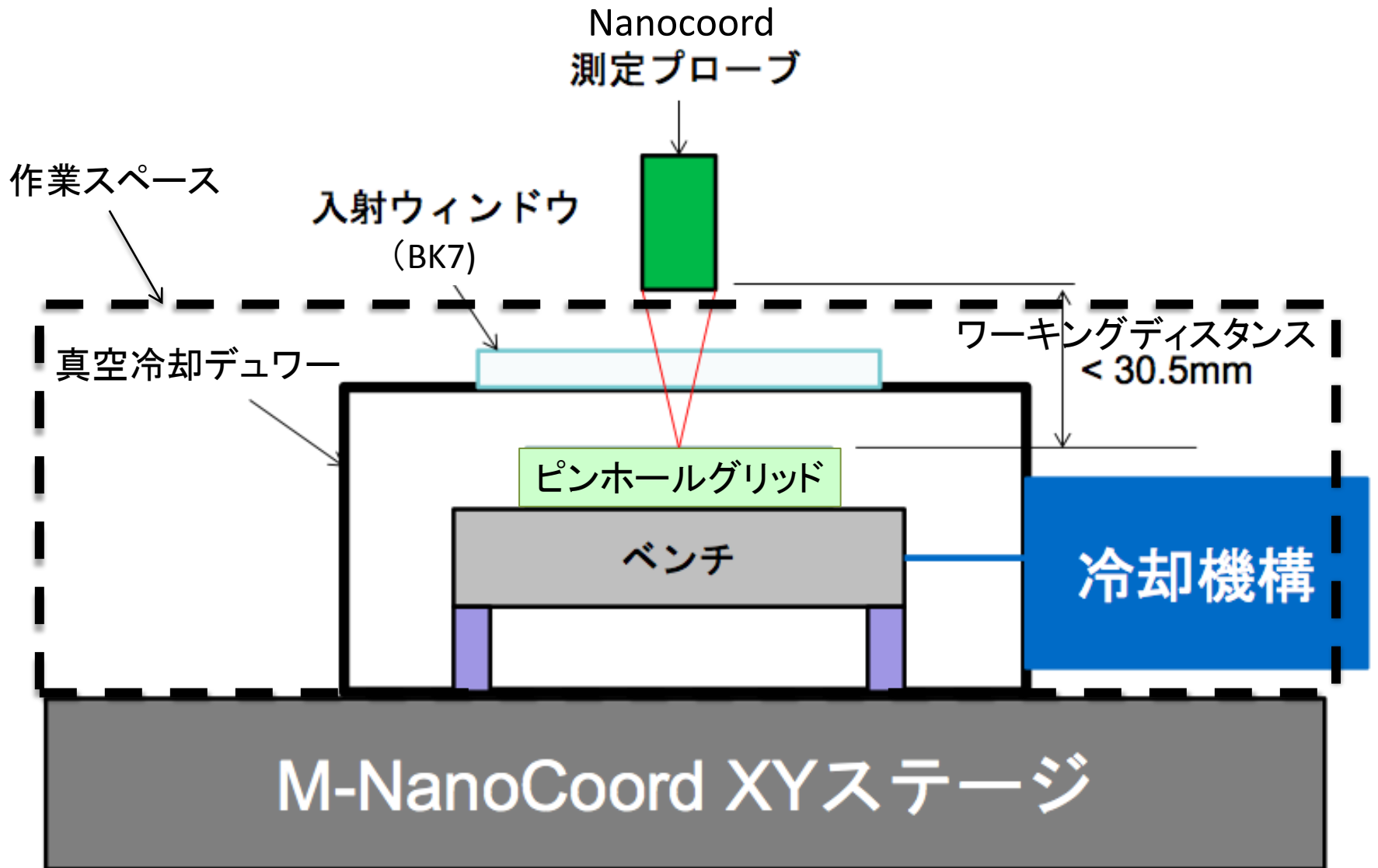
Mitutoyo M-Nanocoord-LNP

- * 高精度で校正された光学顕微鏡
- * 高精度X-Yステージ
精度： $\pm(0.2+L/2000)$ μm
→L=55mmの場合、255nmの精度
- * 測定範囲
X x Y x Z = 250 x 200 x 100mm
- * 作業スペース
W x L x H = 340 x 200 x 100mm
- * ウィンドウ越しに測定可能



要求を満たす非常に特殊な測定器

測定概念図



真空冷却デューワー設計検討

真空度： $\leq 5E-3$ torr

温度安定性： $-30 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$

持続時間：50分以上

測定より

* 200~300nmの精度で測定するので振動を抑える。

* 温度環境、室内 $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、装置内 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、
を乱さない冷却機構

* Nanocoordの作業スペースに入る大きさ

測定機から

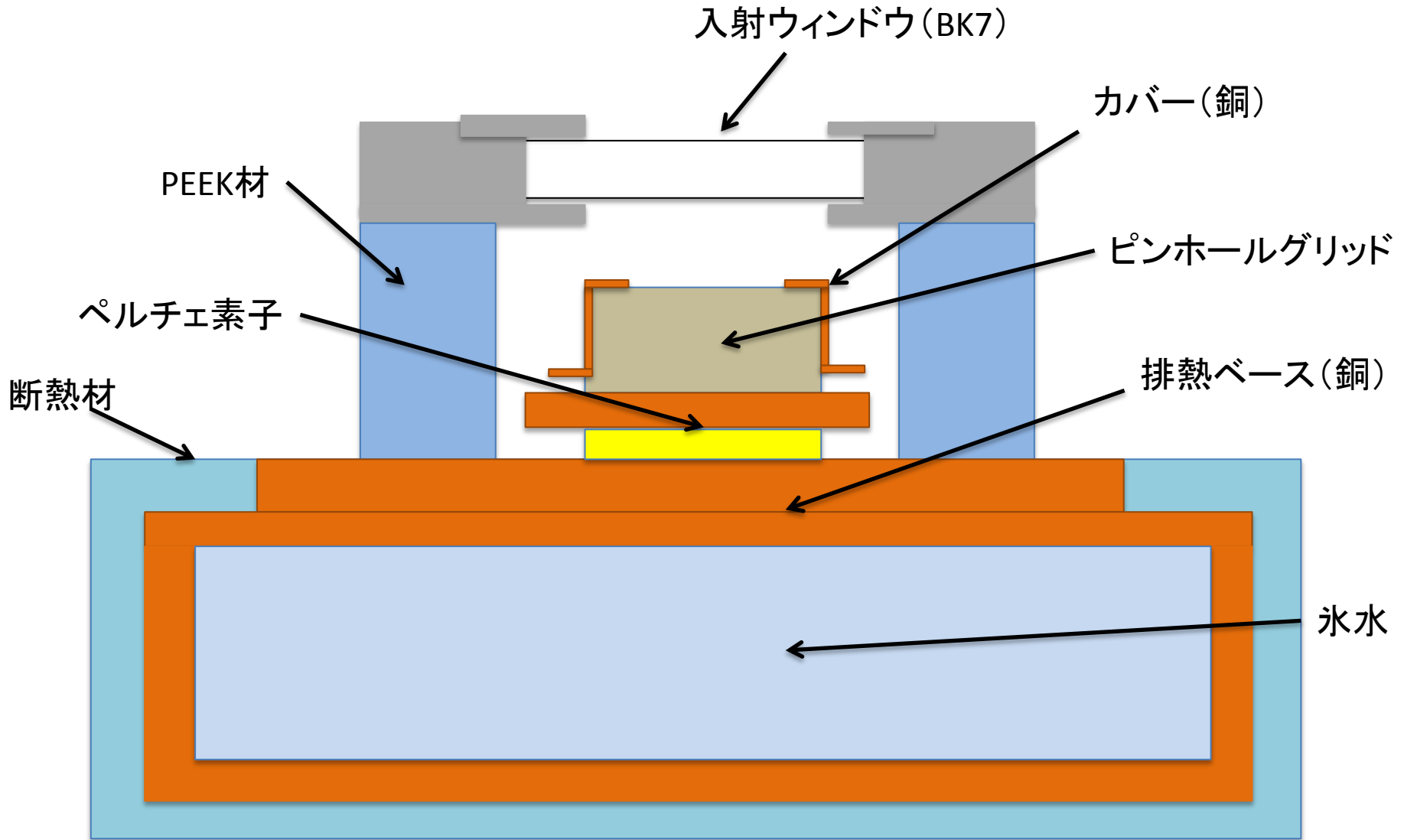
* 振動が伝わる冷却手段、たとえば寒剤や
ポンプで冷媒循環、は使用不可。

* デューワーは断熱する必要あり

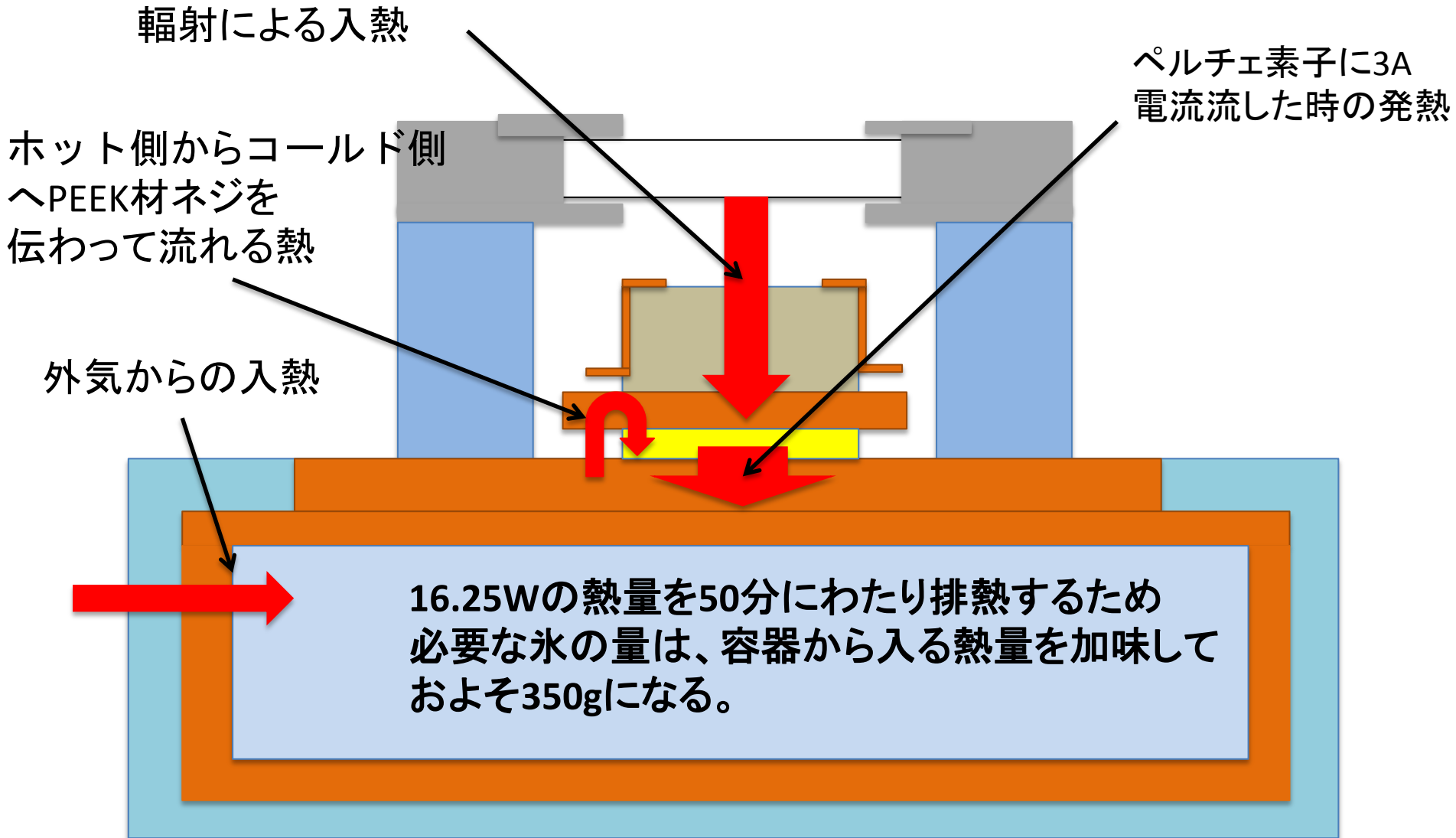
* 冷却は振動の無いペルチェ素子を用いる

* ペルチェの排熱は氷の融解熱を利用する

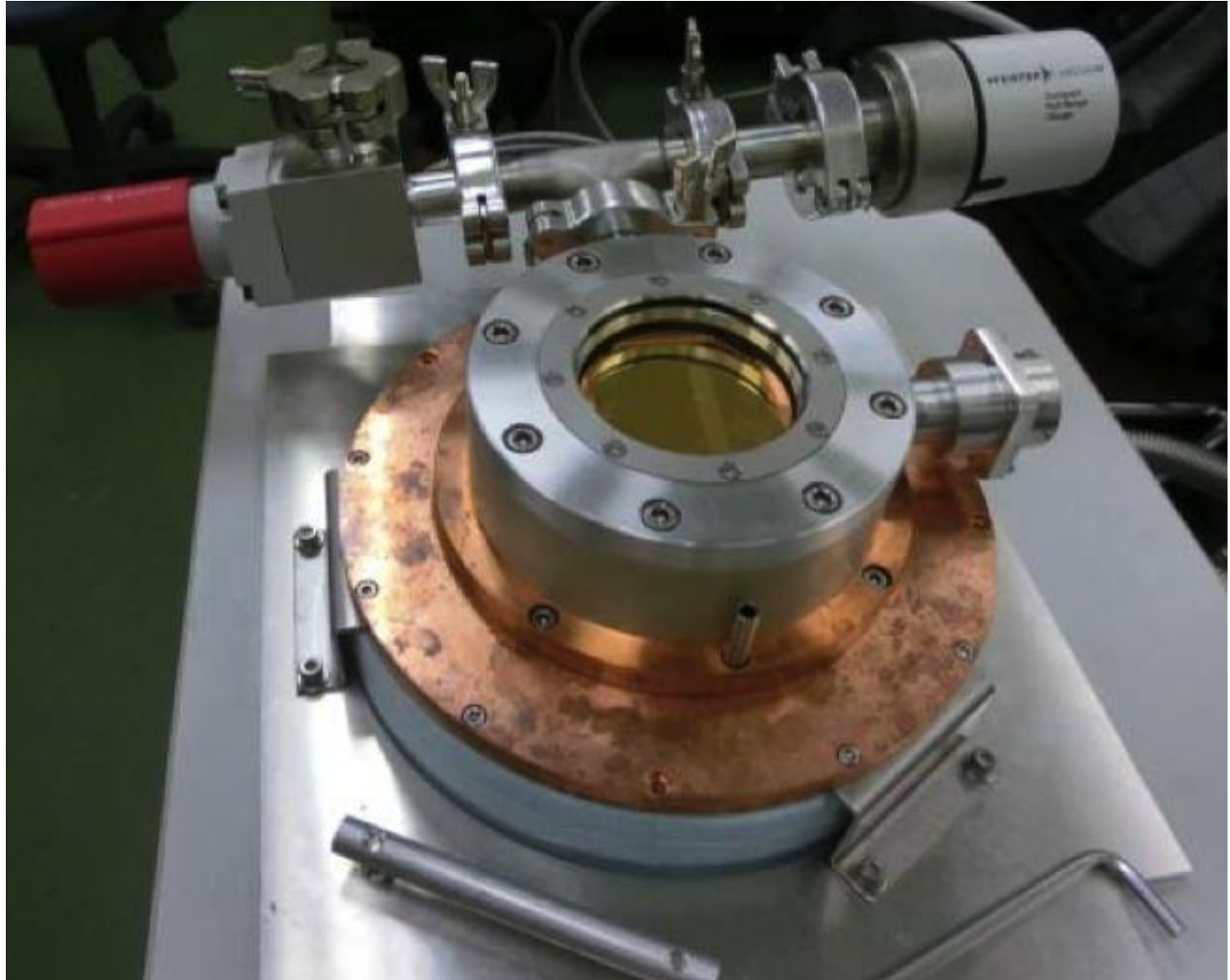
真空冷却デューワー設計



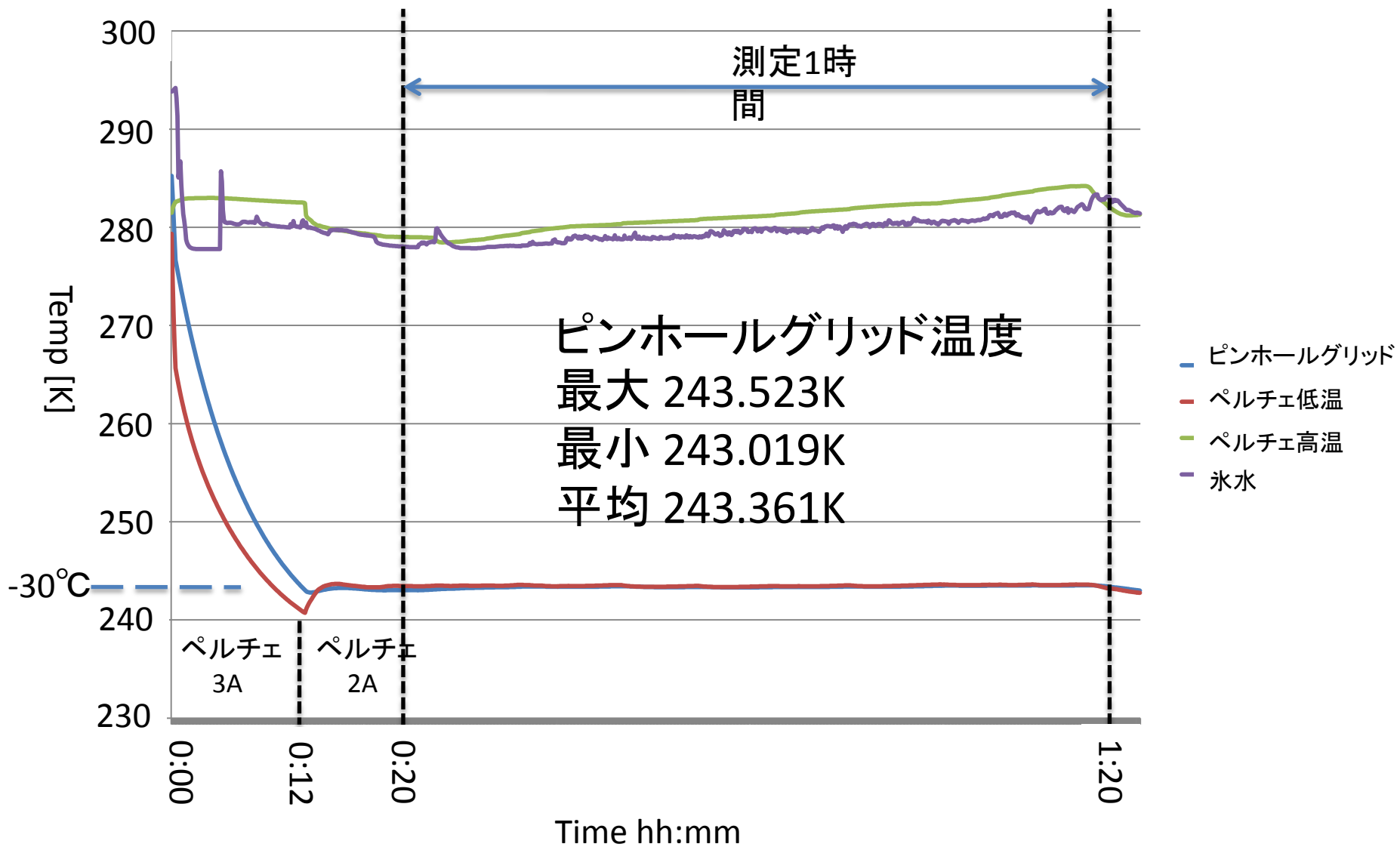
真空冷却デューワー熱計算



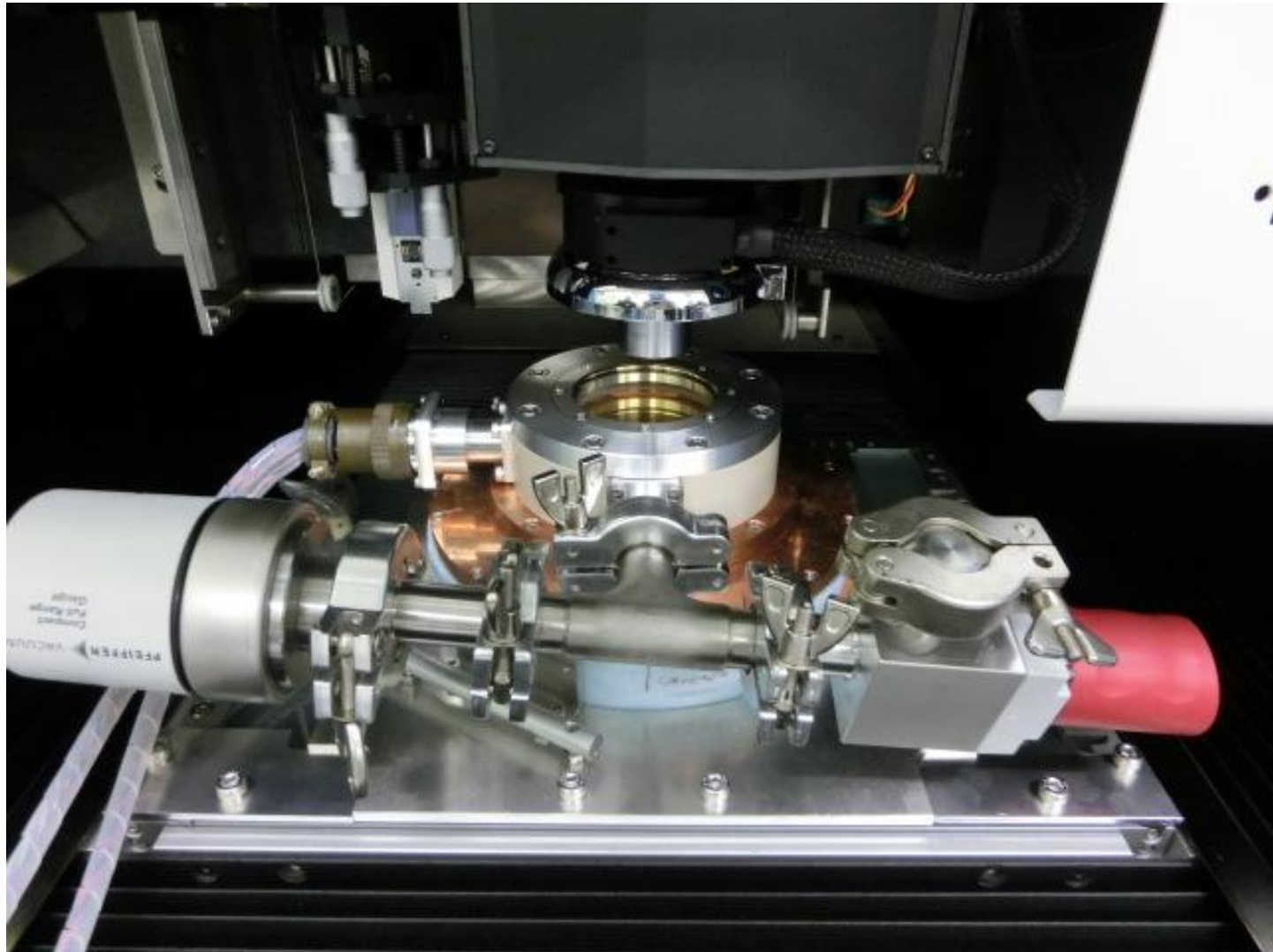
真空冷却デューワー写真



真空冷却デューワー冷却性能

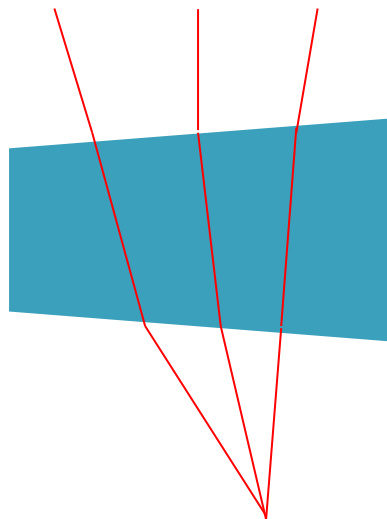


ピンホールグリッド測定中の写真

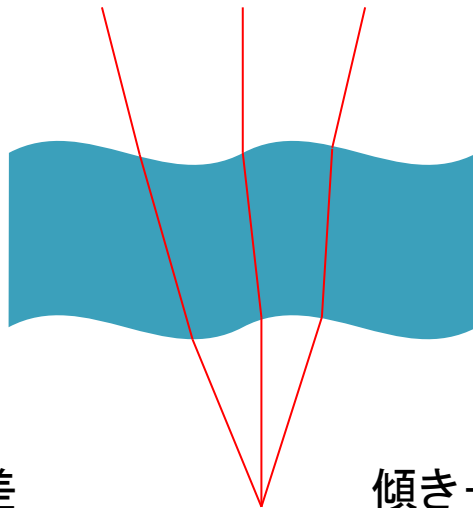


入射ウィンドウの影響

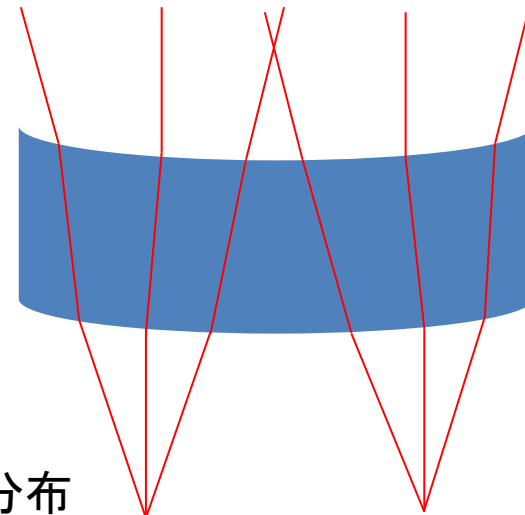
ウェッジ



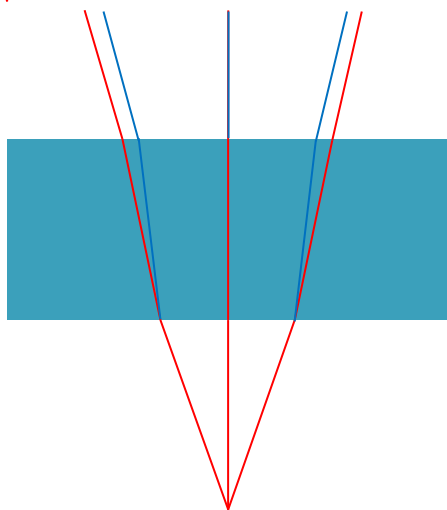
表面精度



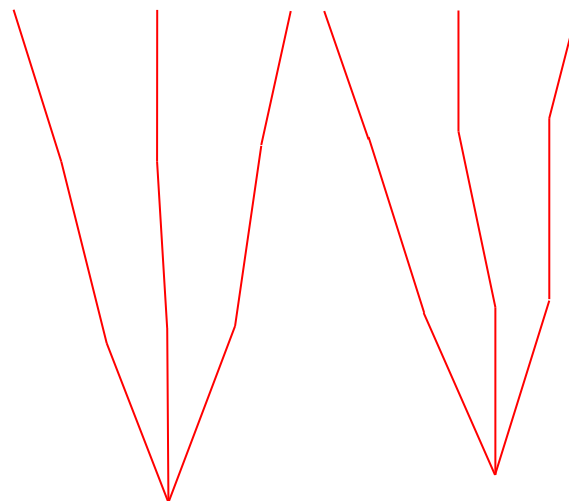
撓み



色収差



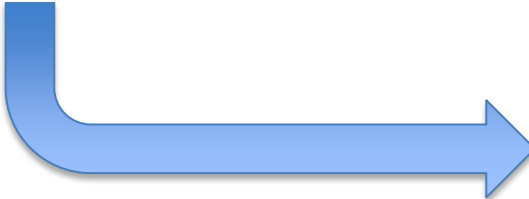
傾き+屈折率分布



測定内容と目的

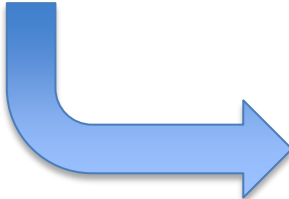
測定1. 常温、

測定2. 常温、ウィンドウ有り、真空



比較することでウィンドウの影響が分かる

測定3. 冷却、ウィンドウ有り、真空

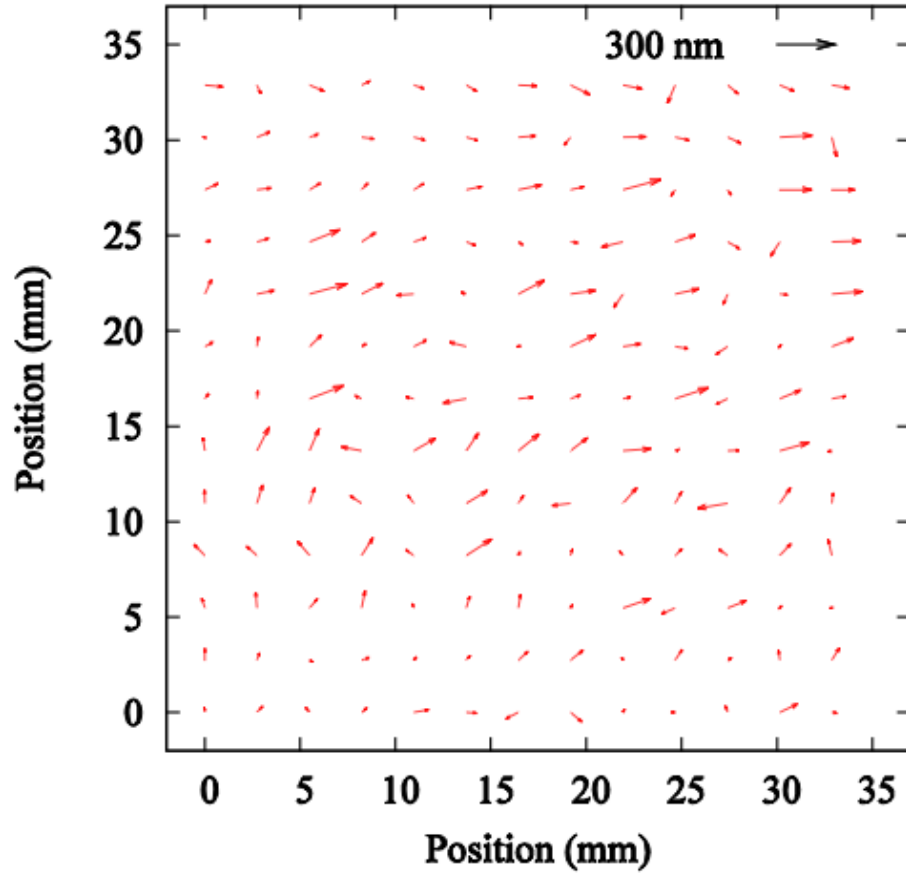


ウィンドウの影響除去し冷却状態が分かる。



測定を数回行うことで再現性を得る

測定結果：再現性の確認



冷却時の測定、
測定座標の直接比較

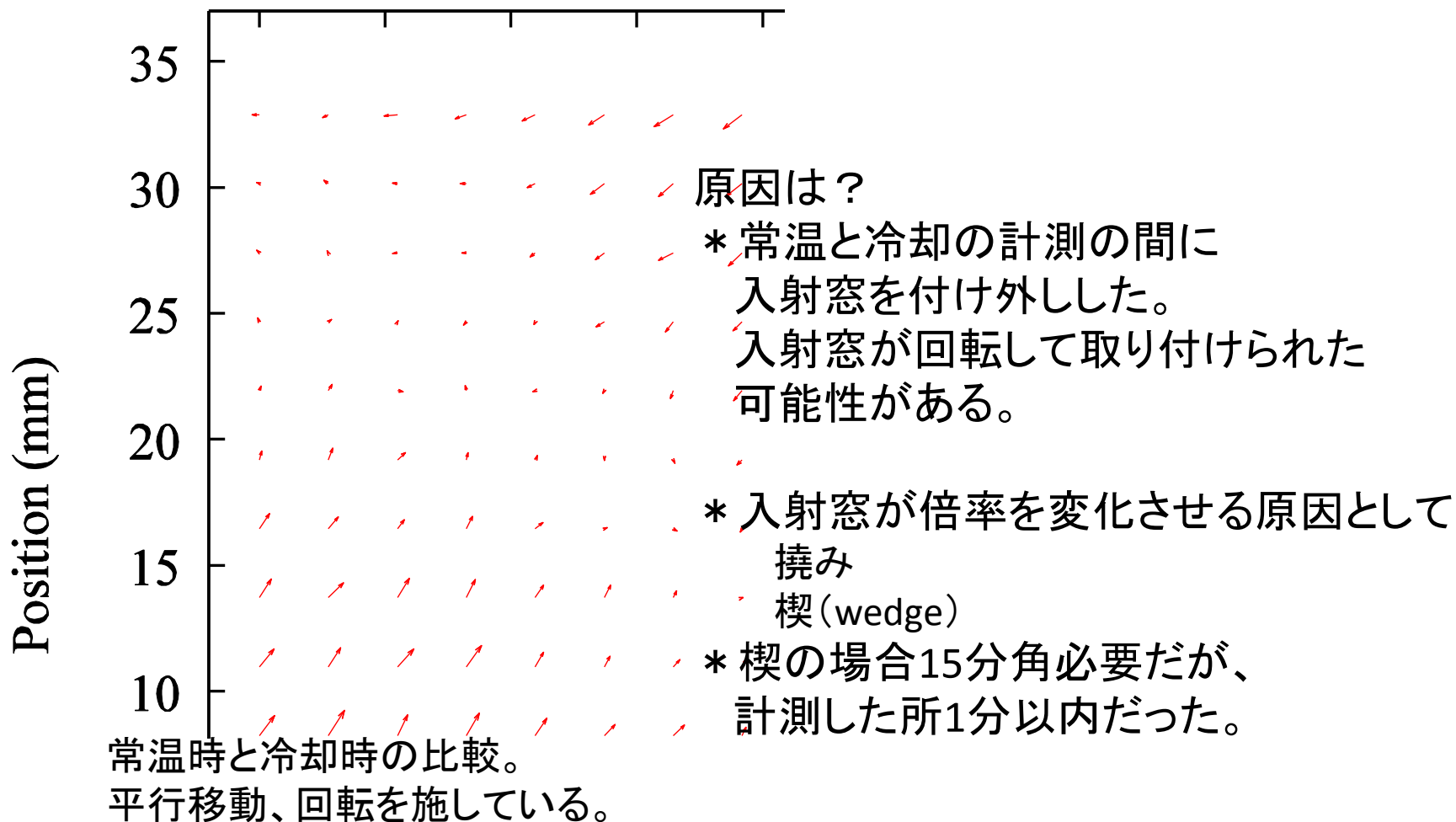
$\sigma_x=40\text{nm}$, $\sigma_y=40\text{nm}$

系統的なパターンは見られない

測定座標の直接比較の結果

測定結果：常温真空時と冷却真空時の比較

Cool - Glass * 直交する2軸で1.00003程度の倍率差が見られた。1.5 μ mの移動

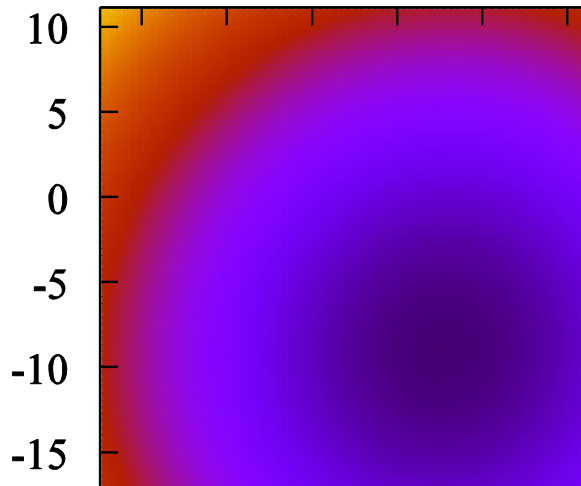


入射ウィンドウ撓みの影響

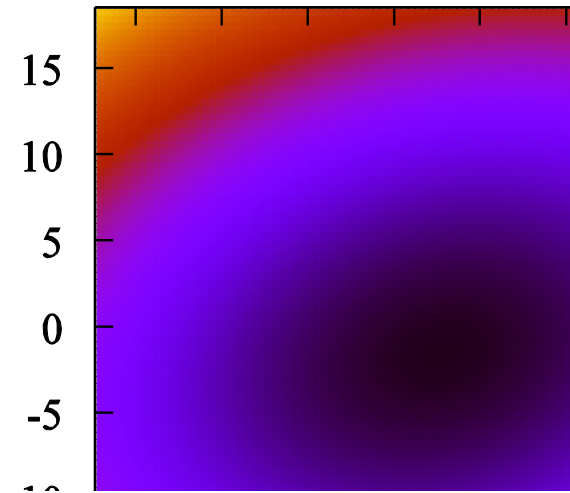
入射ウィンドウを回転させてつけた場合の影響を見るために、入射窓の撓みを3次元測定器で計測した。

ウィンドウを回転させると撓みに有意な違いが見られた。

ウィンドウ取り付け板のネジの締め具合
ウィンドウ取り付け板の歪み
が考えられる。



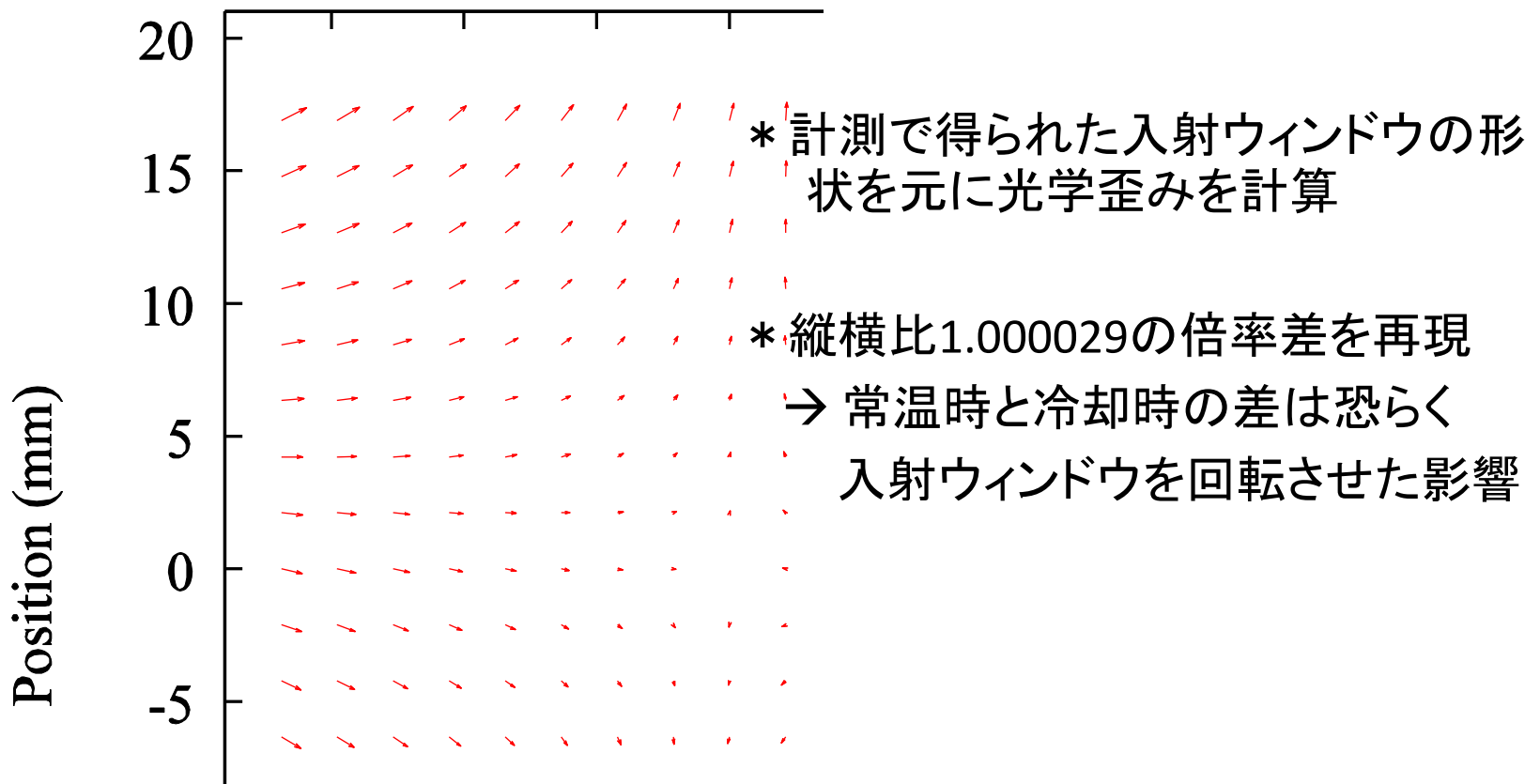
ウィンドウの位置が0[deg]の時の撓みmap
R1=46995[mm], R2=50867[mm]



ウィンドウの位置が90[deg]の時の撓みmap
R1=74709[mm], R2=35129[mm]

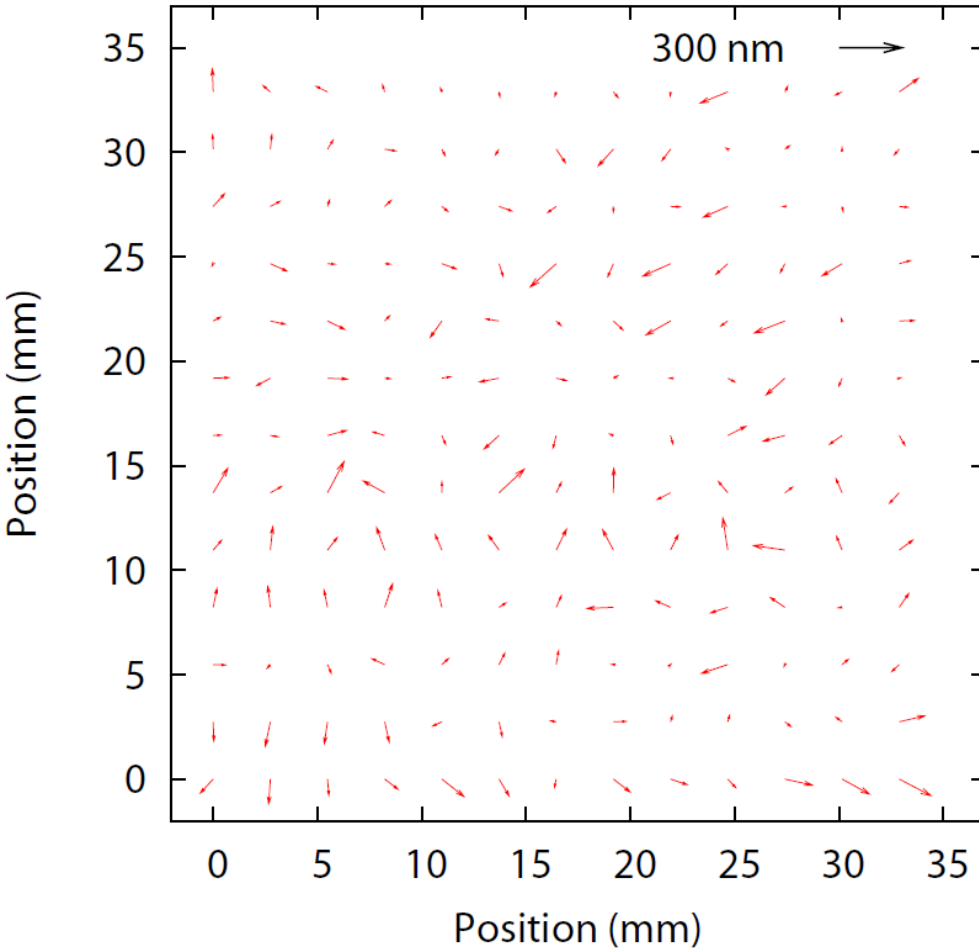
入射ウィンドウ撓みの 測定結果を用いて計算

Distortion by rotating c



入射ウィンドウの撓みを元に計算した光学歪み

測定結果：冷却前後の ピンホール位置

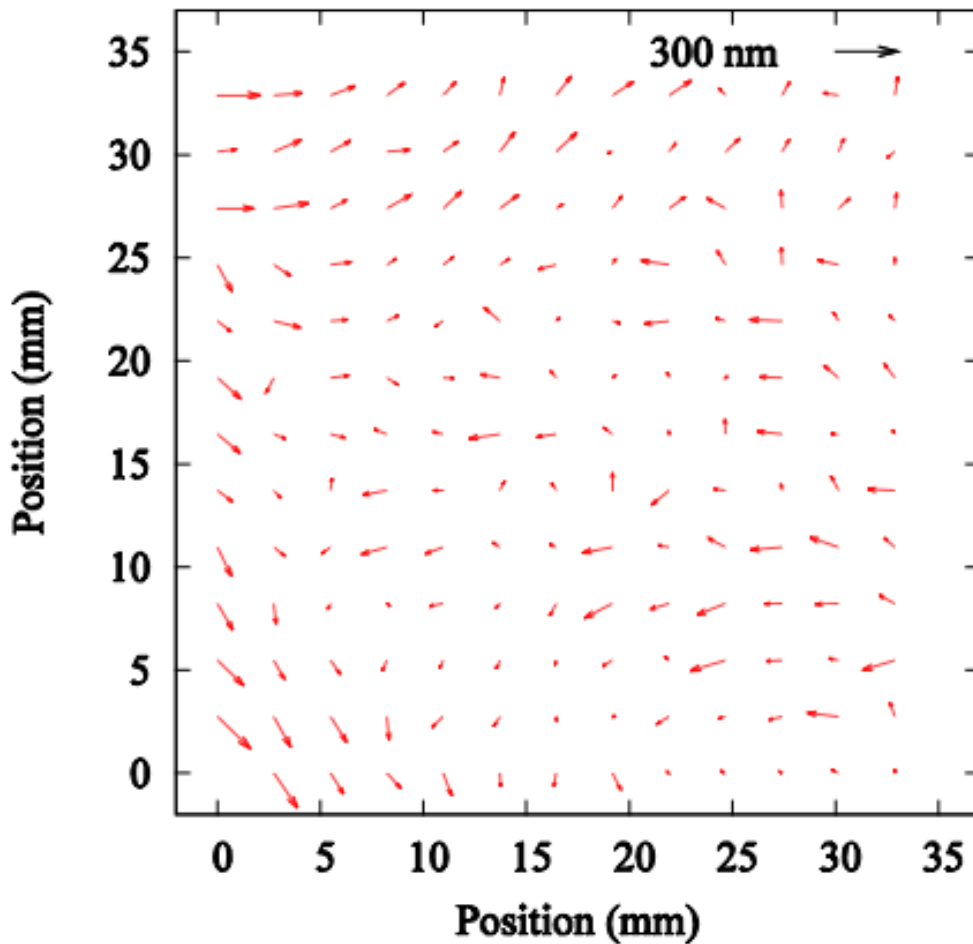


入射ウィンドウ撓みの
影響を除去した

~200[nm]程度の非一様な
歪みを計測した。
 $\sigma_x=60$ [nm], $\sigma_y=60$ [nm]

光学歪みを除去した冷却時と常温時の比較。
平行移動、回転を施している。

測定結果：熱サイクル後の ピンホール位置の変化



* 20°C ⇔ -30°C の熱サイクルを
5回行った後のピンホール位置の
安定性を測定。
 $\sigma_x=80[\text{nm}]$, $\sigma_y=60[\text{nm}]$

~200[nm]程度の系統的な
パターンが見られる。

熱サイクルを5回行った前後の常温時データの比較
平行移動、回転を施している。

まとめ

- * 冷えた状態のピンホール的位置測定方法を確立できた
- * 測定再現性 40nmであった。
- * 冷却サイクルを繰り返すと~200[nm]程度の非一様な変形を起こす可能性が有ることが分かった。

今後の課題

- * 冷却サイクル後の変形の検証。
- * 測定精度の検証