

大型自由曲面の表面計測のための 小型フィゾー干渉計

京都大学M1 今西萌仁加

内容

- ・ 卒業研究のテーマであった小型干渉計の設計と製作
- ・ 実験結果と改善点
- ・ ロボットアームへの取り付けを見据えた実験と考察
- ・ まとめ

問題点

望遠鏡の大型化・非球面化



①検査面と参照面はほぼ同じ形

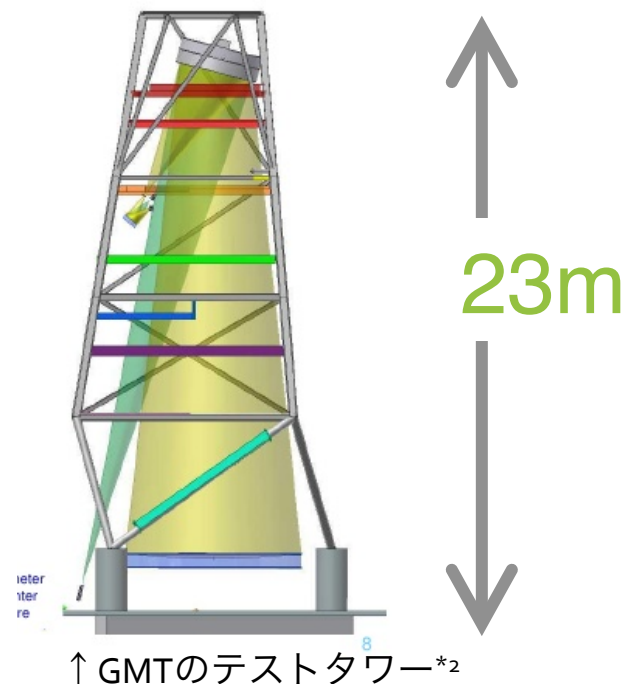
→製作に多大な時間とコスト

②観測できるのは焦点付近

→環境構築に多大な時間とコスト・空気ゆらぎ

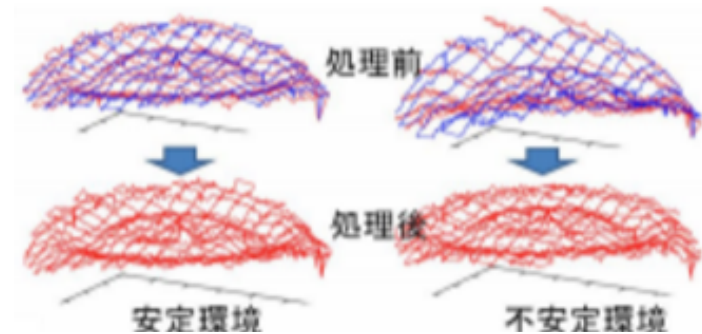
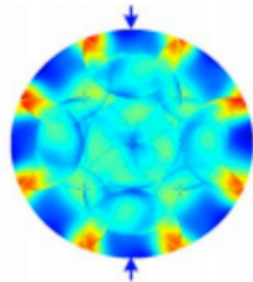
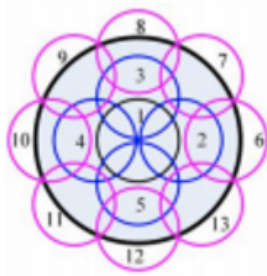
③位相シフト法で位相接続

→精密な位置調整に多大な時間



時間とコストの削減のために

小型干渉計で検査面を分割計測



サブアパーチャ法



データステッチング

利点：

- ①参照面は簡単なもので近似できる
- ②光路が大幅に短縮より空気ゆらぎ小
- ③コンパクト化より調整が易化

3位相シフト法

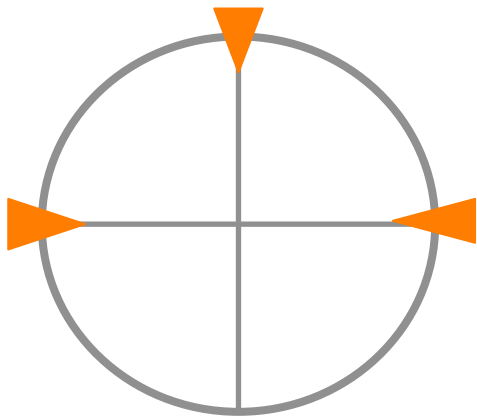
$$I_1 = I' + I'' \cos(\phi_t - \phi_r - \alpha)$$

$$I_2 = I' + I'' \cos(\phi_t - \phi_r)$$

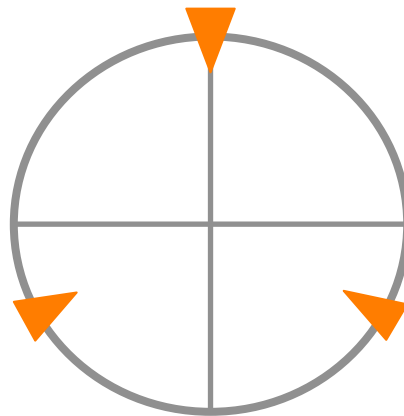
$$I_3 = I' + I'' \cos(\phi_t - \phi_r + \alpha)$$

2面の位相差

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ \left[\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \right] \frac{I_1 - I_3}{2I_2 - I_1 - I_3} \right\}$$



$$\alpha = \pi/4$$

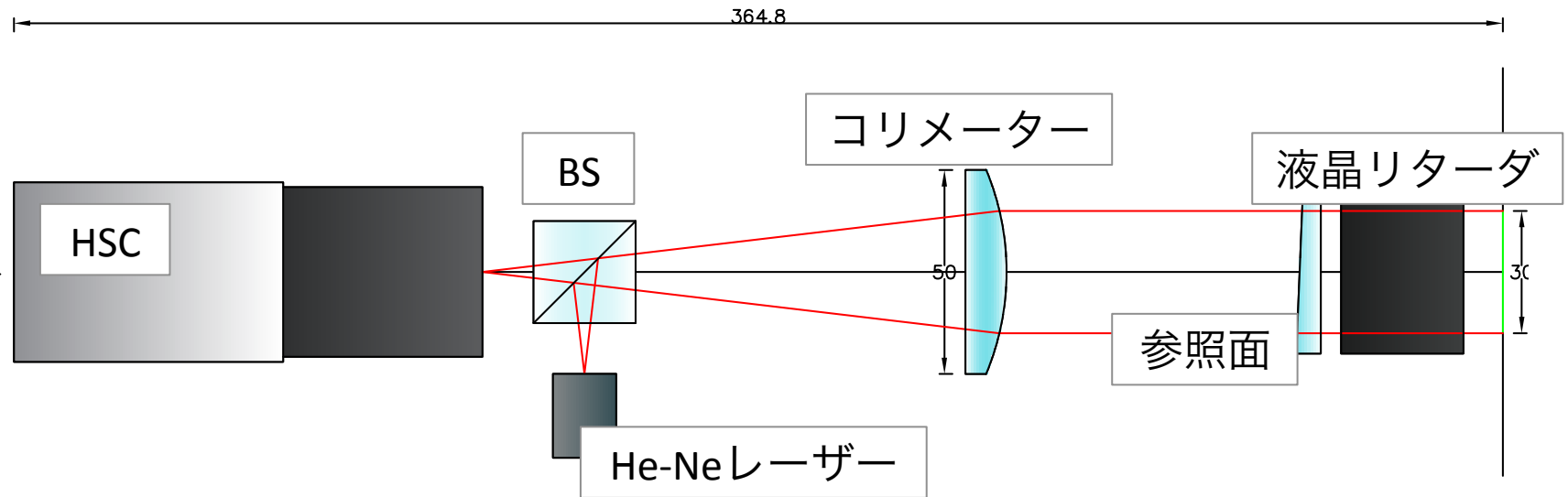


$$\alpha = 2\pi/3$$

3位相によく用いられる α は2種類

よりコントラスト高い方が
解析精度があがる

小型干渉計の設計(1)



- 全長 300mm程度
- 視野 $\phi 30\text{mm}$
- 光源 He-Neレーザー 632.4nm
- フレームレート 1500fps
- pixサイズ 240×320
- 横解像度 0.15mm

- 参照面精度 $\lambda/20$
- 被検面精度 $\lambda/10$

小型干渉計の設計(2)

- ロボットアームの振動軽減のために
 - ハイスピードカメラ
 - 液晶リターダ**(5 msで位相シフト)

小型干渉計の設計製作

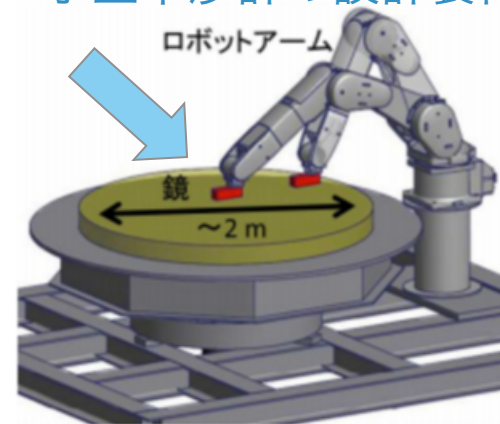
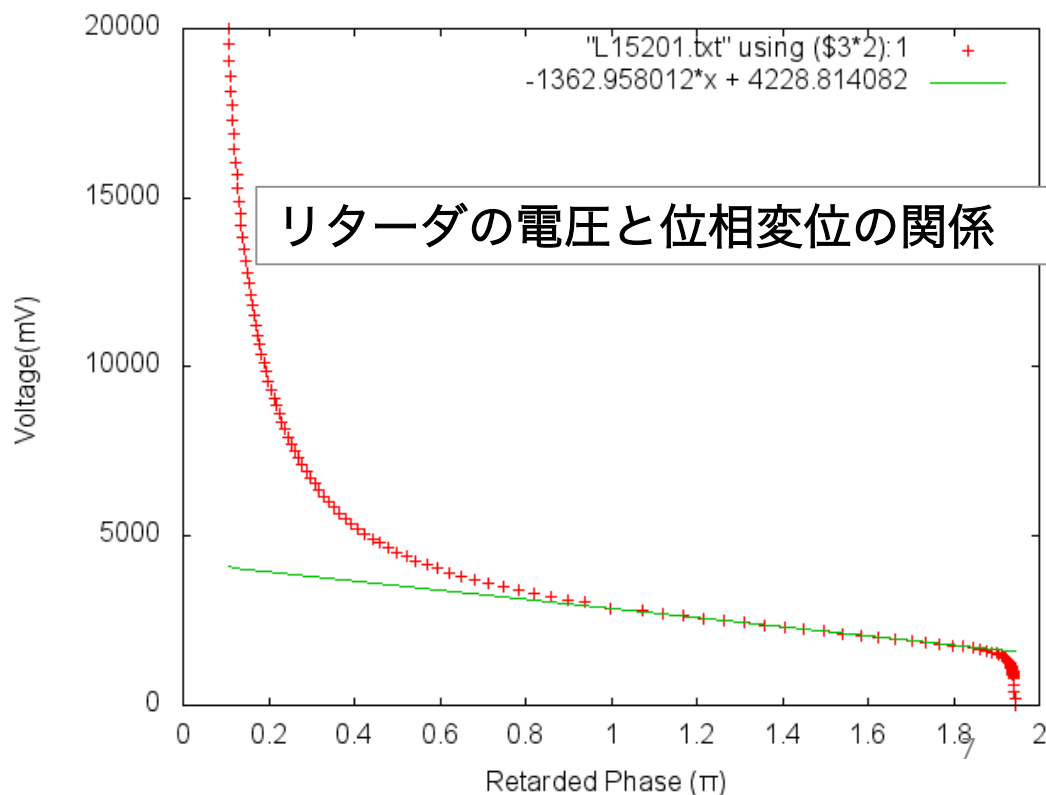


図7：ロボットアームによる計測
赤い部分が干渉計。



Meadowlark社の可変波長版

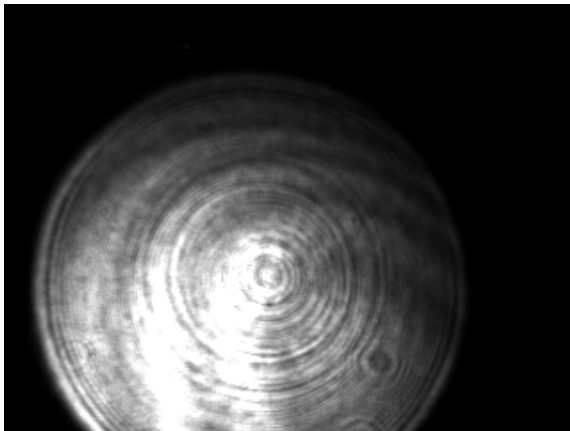




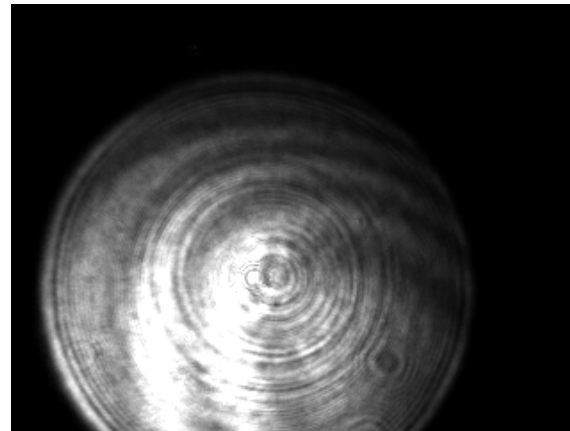
様々な機材の振動を除去、計測時にはカバーをして乱流も除去

実験結果(1)

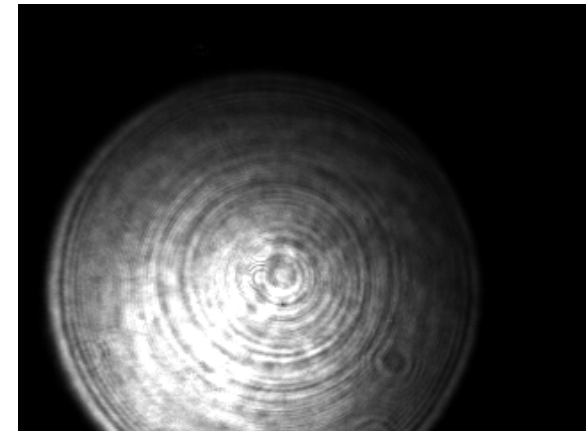
$I_1(1.12\pi)$



$I_2(1.46\pi)$



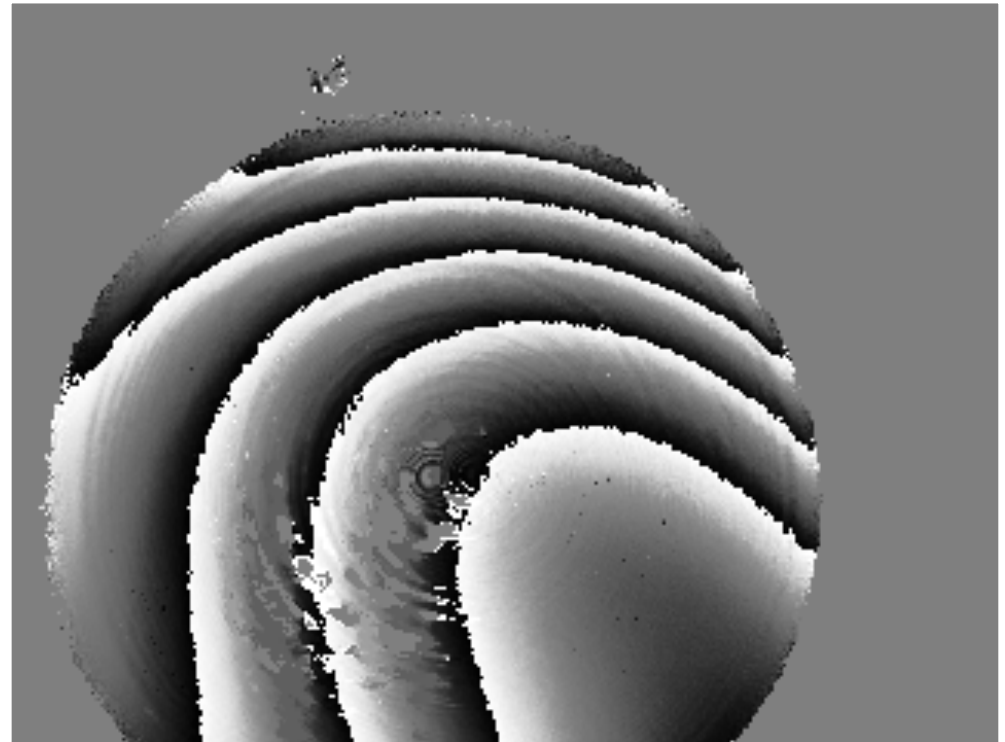
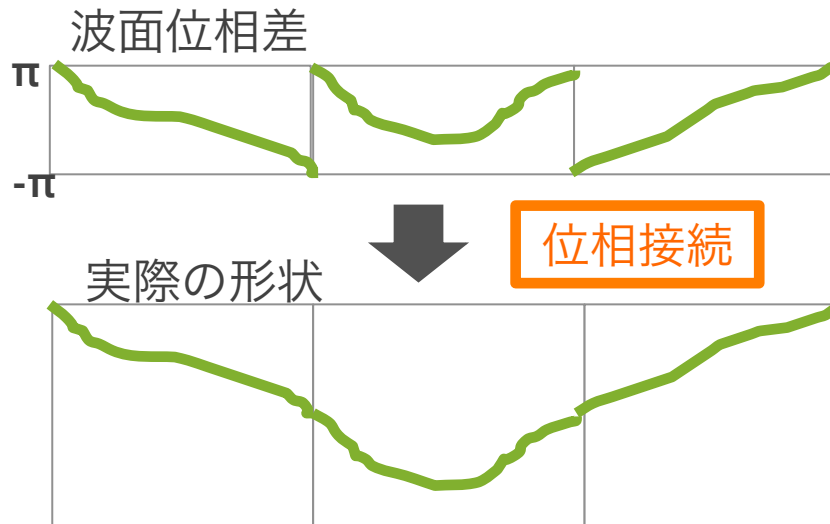
$I_3(1.79\pi)$



- ・位相変位は手動なので変位前後は数十秒の間隔
- ・それぞれ20枚ずつ撮影し、ピクセルごとにメジアン処理
→突発的なノイズを除去

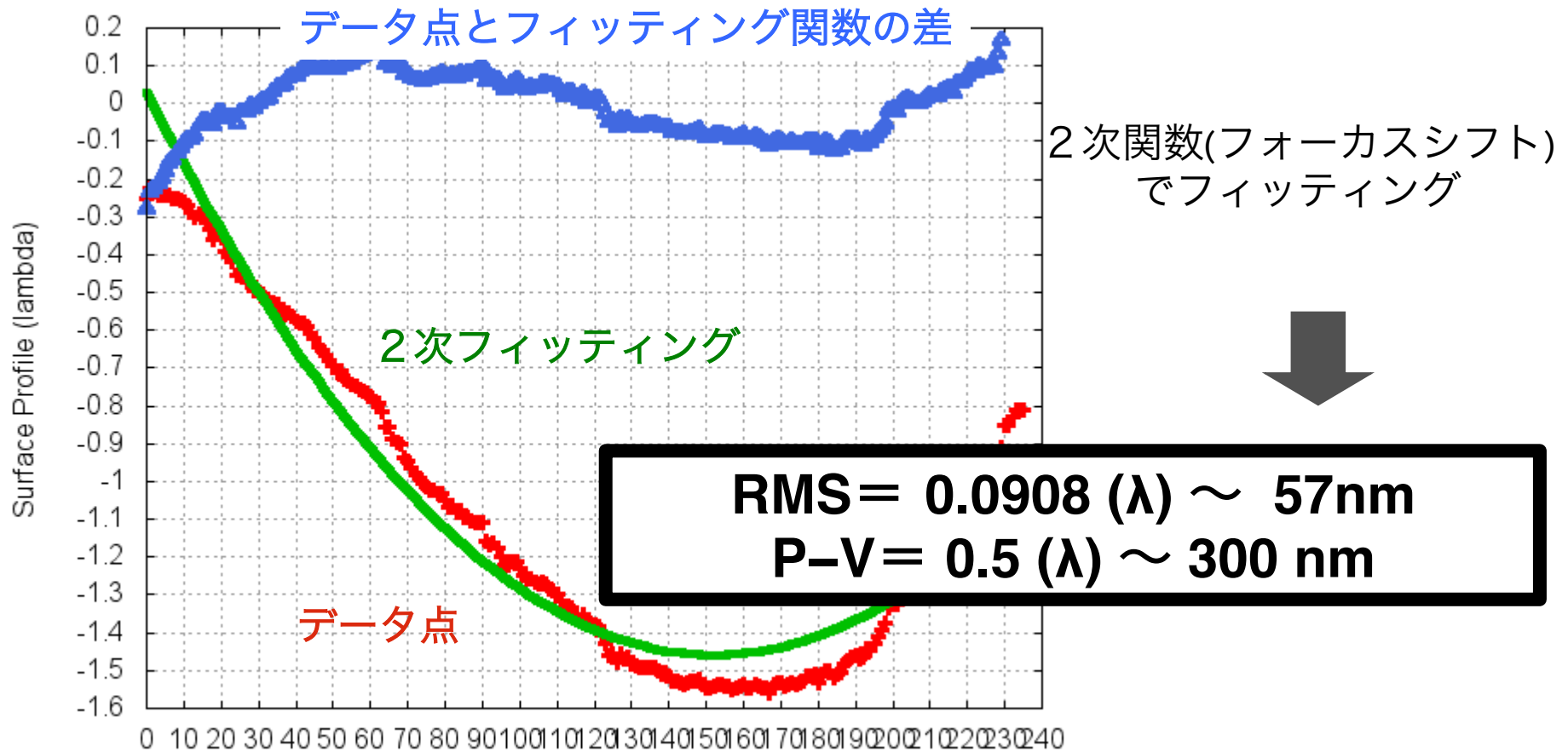
実験結果(2)

位相差 ϕ を計算した結果→



arctanして 2π の落差のある部分を位相接続してやると表面形状が求められる

実験結果(3)



!デフォーカス成分が除去できてない!

改善点

- ・ デフォーカス成分の除去
→ 光学レールへの移設で設置精度を高める
- ・ 計測データ内のサチレーションの除去
- ・ 液晶リターダとハイスピードカメラの同期動作のためのプログラム開発

ロボットアームへの取り付けに向けて

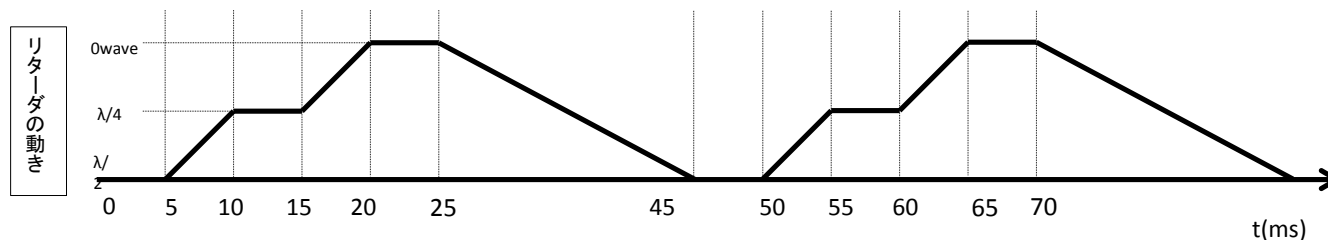
問題点

アームのサーボや動作による振動がどの程度干渉計に影響を及ぼすのか

液晶リターダによる位相取得周期

1位相 ~ 10ms

3位相 ~ 45ms

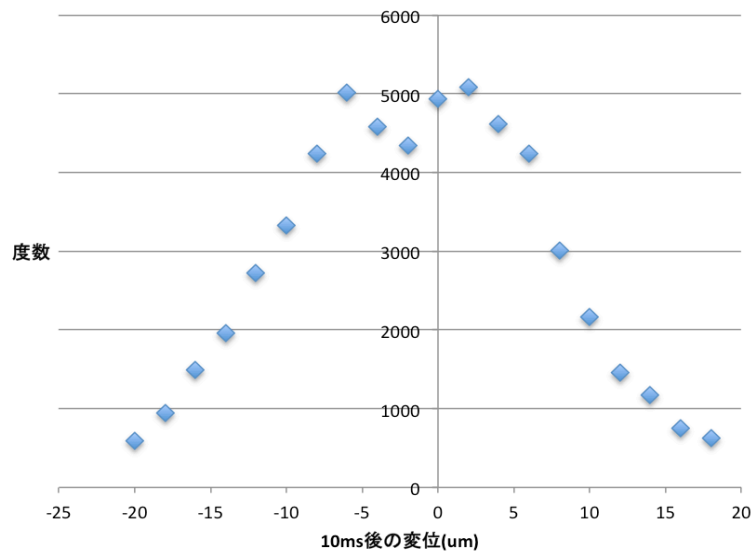


ロボットアームの振動調査

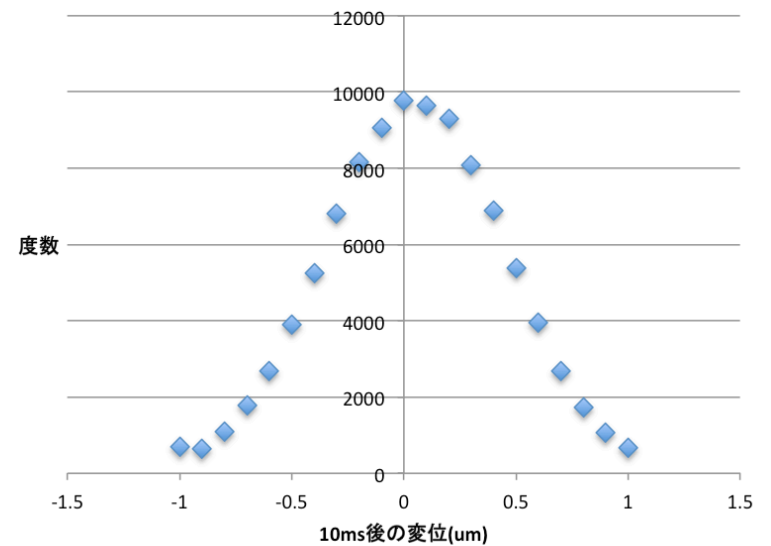
2016.4.27

岐阜県アストロエアロスペースの研磨工場にて
 ロボットアームの振動による干渉計への要請を検証

ゲル無・アーム水平移動

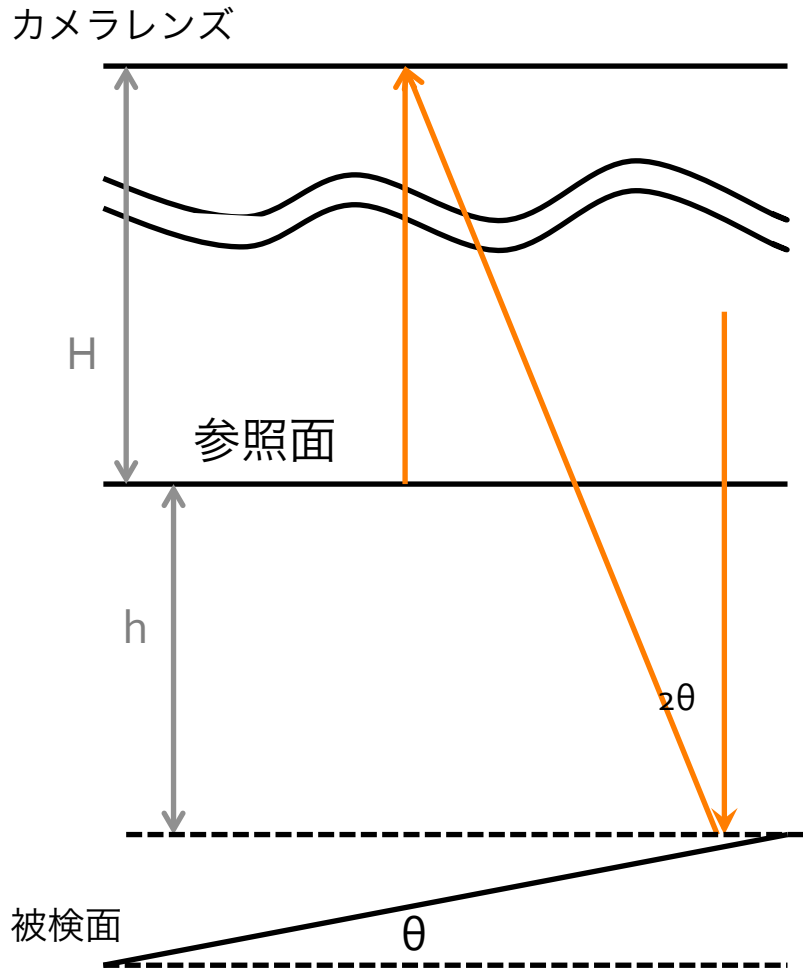


ゲル有・サーボON停止



1位相計測する間に数百nm以上変位してしまう

干渉計の傾きによる誤差の考察(1)



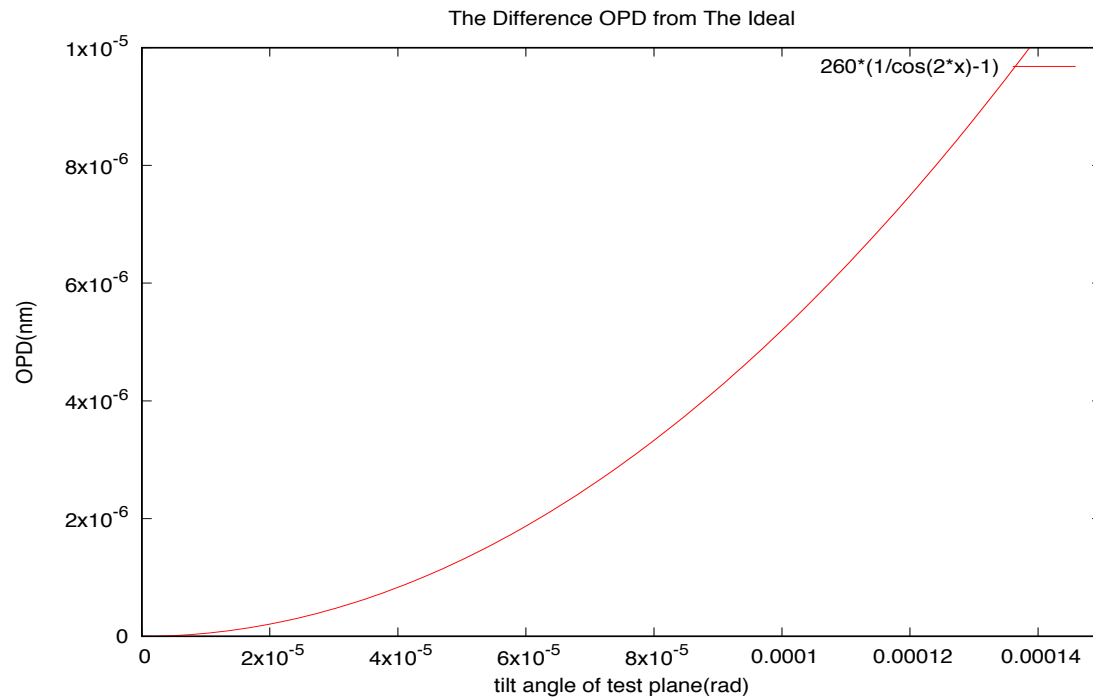
実際の光路差

$$= (H + h) \left(1 + \frac{1}{\cos(2\theta)} \right) - 2H$$

$$= 2h + \left(\frac{1}{\cos(2\theta)} - 1 \right) (H + h)$$

干渉計の傾きによる誤差の考察(2)

被検面からカメラレンズまでの距離を260mmにした結果



実際0.0001radのティルトでは、縞は20本ほどなので容易に精度満たせる

今後の課題、まとめ

小型干渉計

1. コリメート精度を上げる(光学レール、アライメント)
2. リターダとカメラの同期プログラムを開発
3. サチレーションとノイズの除去

ロボットアーム

1. 横方向に動かないようなメカ→栗田さん
2. 取り付けが困難なときのB案の考察

ご清聴ありがとうございました。

引用

*1: 伊藤昇 「すばる望遠鏡～実現のかぎ：主鏡支持システムの開発～」
(通信ソサイエティマガジン No.19)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/bplus/5/3/5_3_232/pdf

*2: Jim.H.Burge from the university of Arisona “Design and analysis for interferometric measurements of the GMT primary mirror segments” SPIE(2006)

*3: LZOS “Fablication of blanks, figureing, polishing, and testing of solid and segmented astronomical mirrors”

http://lzos.ru/en/index.php?option=com_content&task=view&id=132