

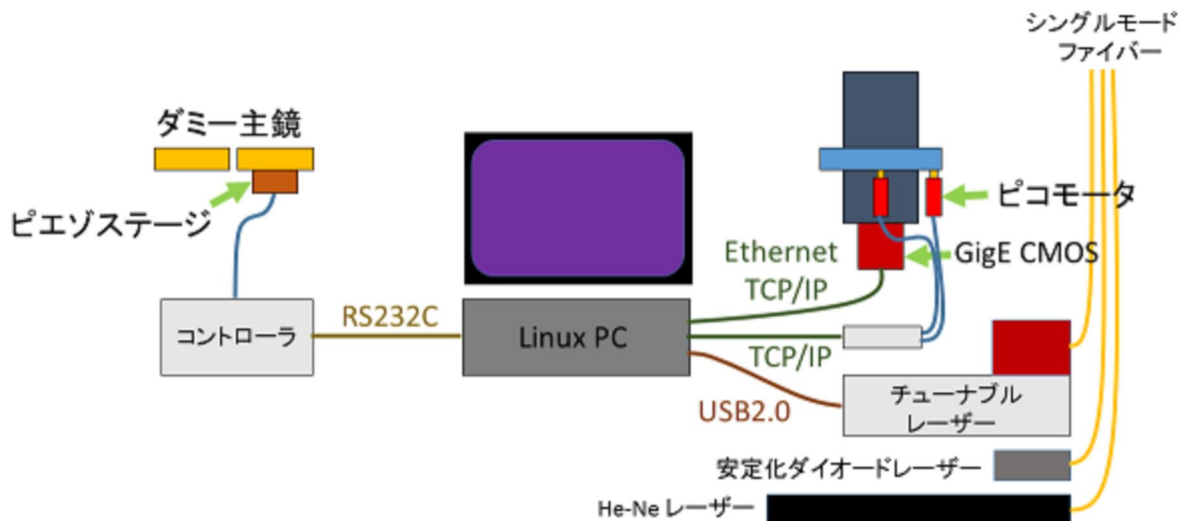
# 位相カメラ製作と試験

http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~iwamuro/Kyoto3m/pcs5.html

岩室 史英 (京大宇物)

## ● 段差計測試験

### ● システム概要



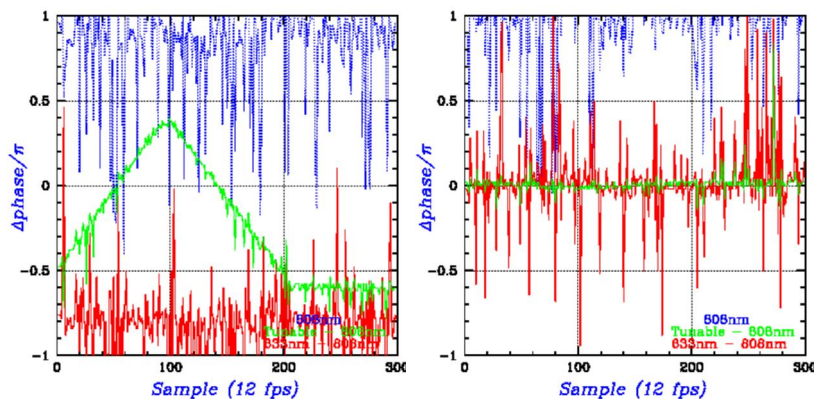
制御対象は、

- 2k x 2k CMOS カメラ (GigE 専用ドライバあり)
- チューナブルレーザー (USB2.0 ドライバなし)
- ピエゾステージ (RS232C)
- ピコモータアクチュエータ (Ethernet TCP/IP)

で、画像を見ながらピコモータアクチュエータで角度を調整し(ほぼ初回のみ)、画像の切り出し部分を決定した後、ピエゾステージで鏡位置を調整、チューナブルレーザーでスキャンを開始すると同時に300フレーム読み出し。12.7fps で約24秒で1回の計測を終了する。GUI のみでは長時間試験が困難であるため、Tcp のサーバ機能を追加して外部からのコマンド入力にも対応させた。

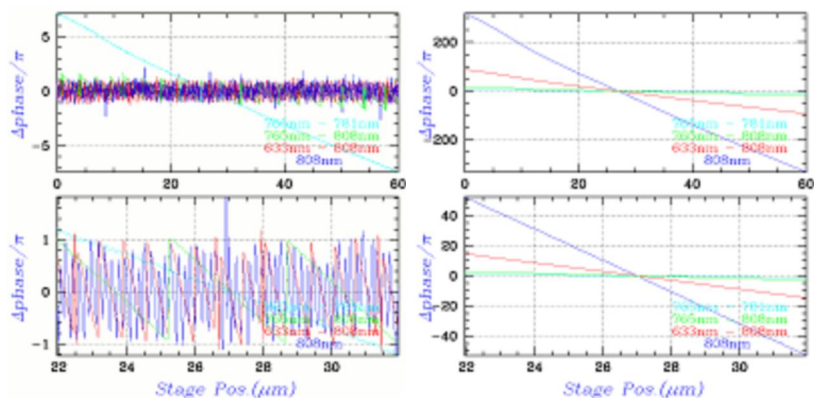
### ● 計測性能試験

計測性能試験は、ピエゾステージのフルストロークの半分程度に相当する  $60\mu\text{m}$  を  $50\text{nm}$  ずつ 1200 ステップで移動させて PCS で計測した。以前の結果(スポット)と比べてかなりノイズが大きい、画素が大きくなった分読み出しレートが  $1/5$  になったことと、恒温槽が常に動いている事が影響していると考えられる。



緑: チューナブル像の位相 (808nm を基準とした相対値)  
赤: He-Ne 633nm 像の位相 (808nm を基準とした相対値)  
青: 安定化 808nm 像の位相

鏡の段差が 0 の場合(上右図の状態)は、808nm 像の位相も 0 になるはずだが、長時間の測定でスポット位置が少し動いて位相判定に影響が出たのではないかと考えられる(要調査)。クリックで前後の変化の様子がわかるが、ピエゾステージの動きも結構不安定であることがわかる。



水: チューナブル波長最大時の像の位相 (波長最小時を基準とした相対値)  
緑: チューナブル波長最小時の像の位相 (808nm を基準とした相対値)  
赤: He-Ne 633nm 像の位相 (808nm を基準とした相対値)  
青: 安定化 808nm 像の位相

左は位相接続前、右は位相接続後。傾きの比は、

緑/水 = 2.543269  
赤/緑 = 4.880419  
青/赤 = 3.600979

ここから、レーザーの波長の比が決まり、He-Ne レーザーの波長を与えると全ての波長が決まる。

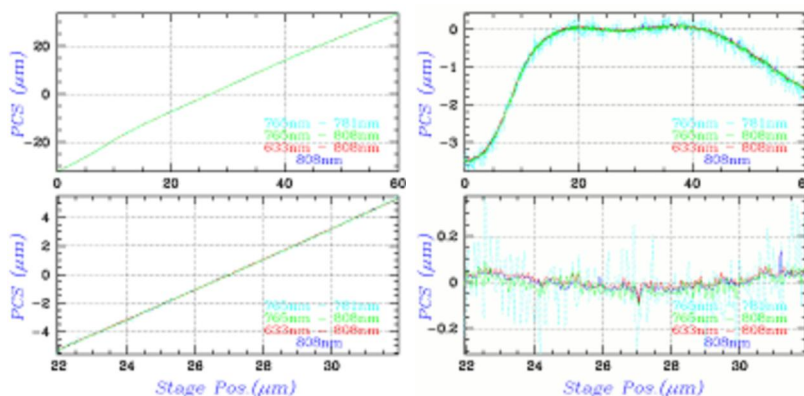
He-Ne レーザー : 632.800 nm  
 チューナブルレーザー(最小時) : 765.000 nm  
 チューナブルレーザー(最大時) : 781.545 nm  
 安定化ダイオードレーザー : 808.530 nm

全て仕様通りの値であることが確認できた。  
この値から位相  $2\pi$  変化あたりの測定値の変化量を求めると

水: 9.03418  $\mu\text{m}$   
緑: 3.55229  $\mu\text{m}$

赤:  $0.72787 \mu\text{m}$   
 青:  $0.20213 \mu\text{m}$

となる。



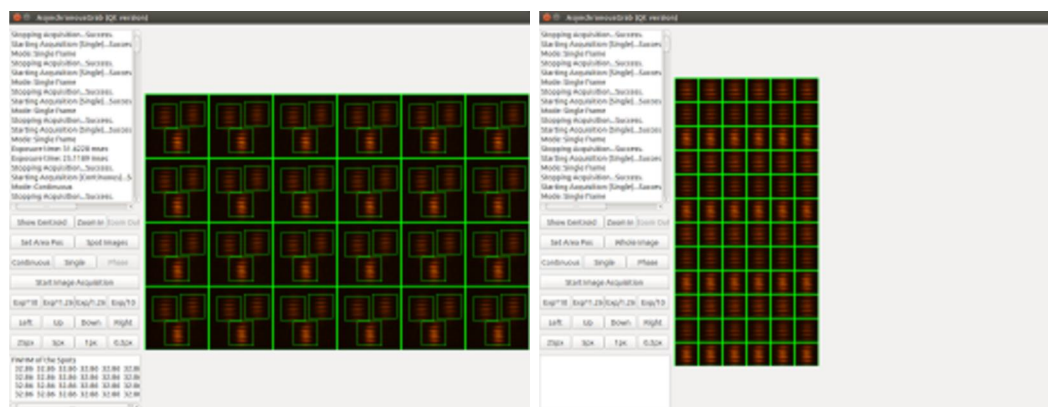
上記波長を用いて、位相情報から位置情報に変換したもの。右は中央付近で直線近似した成分を引いたもの。どの波長でも変化が揃っているところは、実際にステージがうまく動かなかった所と考えられる(中央など)。また、長時間の測定中にスポット中心が数ピクセル移動し、測定位相値が実際の位相から若干ずれたと思われる現象が見られた。相対位相の場合はこの効果はほぼキャンセルするが、808nmの絶対位相値はその影響を受けるため、グラフにプロットする際に808nmの絶対位相値には  $0.8\pi$  (ステージ移動量 80nm に相当) だけ加算した。

● 計測性能試験 その2

ここまでの試験では、全て 15mm 角のアパーチャが 15mm 離れている(中心間隔30mm) ハーフミラーでの試験を行ってきたが、アパーチャ間隔をもう少し広げる必要が出た際に対応できるかどうかを調べるため、ハーフミラーの2つのアパーチャの内側 30mm 部分を隠して 7.5mm x 15mm の長方形アパーチャが 30mm 離れている(中心間隔37.5mm)状態で同様な試験を行った。

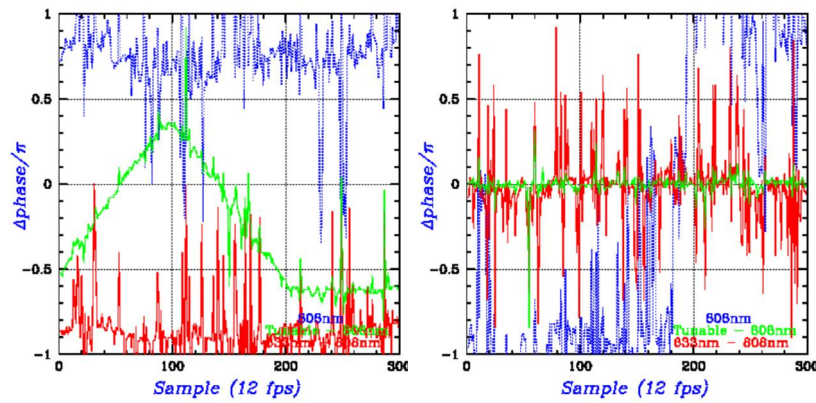


スポットイメージは以下の通り。このままでは像の方向によっては裾野が重なるため、この状態で実際に使う場合は、入射ファイバー間隔をもう少し離す必要がある。光量が半分になるため、露出時間は 1.6倍の 32msec とした。画像転送中に露出を行うため、1回の計測時間は 24秒のまま変わらない。

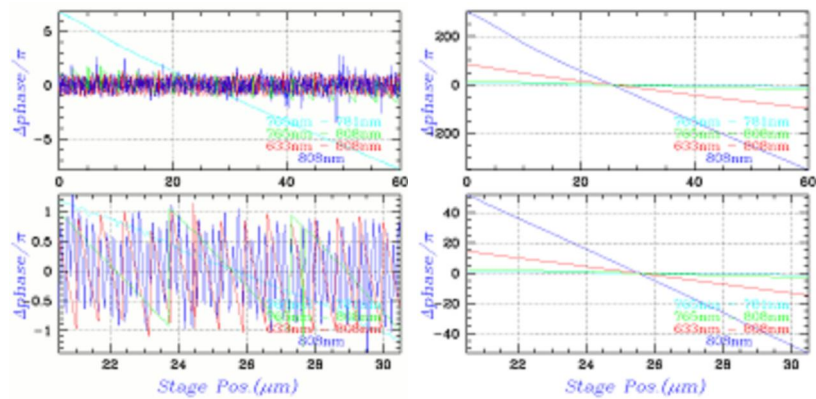


以下、測定結果。露出時間を延ばせば測定精度自体はほぼ変わらない事は確認できた。この実験は夜間に行ったため、露出時間を延ばせば光量の低下に対応できたが、明るい環境での測定性能が急激に落ちる事になるので、ハーフミラーをあと10mm長くて 60mm

x 15mm とするのがいいかと思われる。

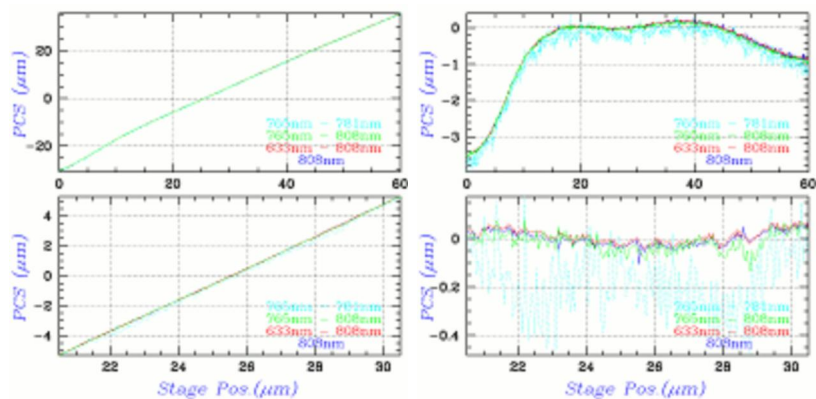


緑: チューナブル像の位相 (808nm を基準とした相対値)  
 赤: He-Ne 633nm 像の位相 (808nm を基準とした相対値)  
 青: 安定化 808nm 像の位相



水: チューナブル波長最大時の像の位相 (波長最小時を基準とした相対値)  
 緑: チューナブル波長最小時の像の位相 (808nm を基準とした相対値)  
 赤: He-Ne 633nm 像の位相 (808nm を基準とした相対値)  
 青: 安定化 808nm 像の位相

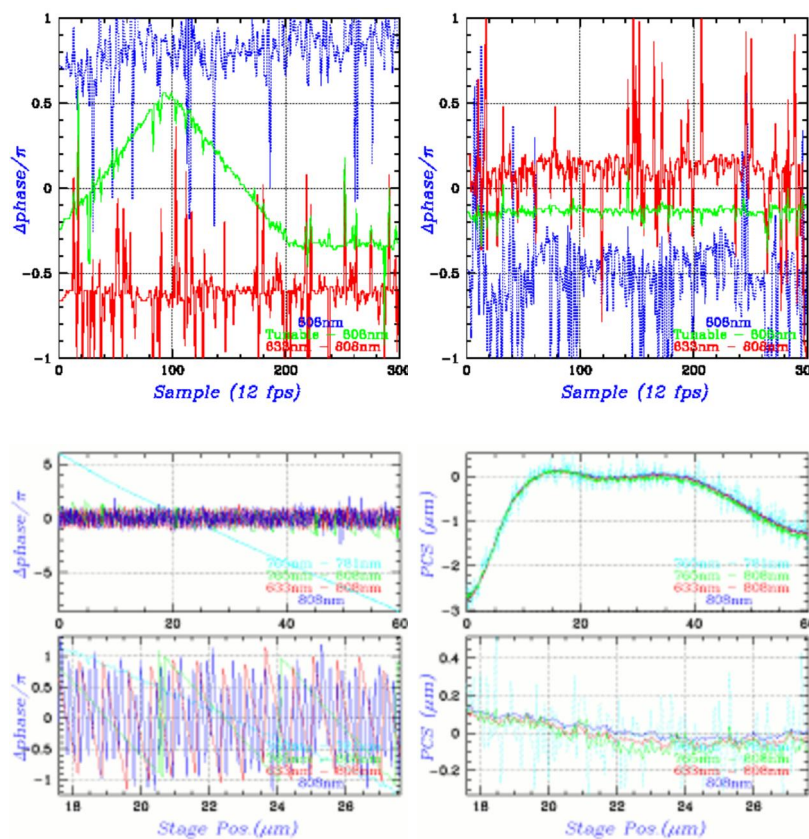
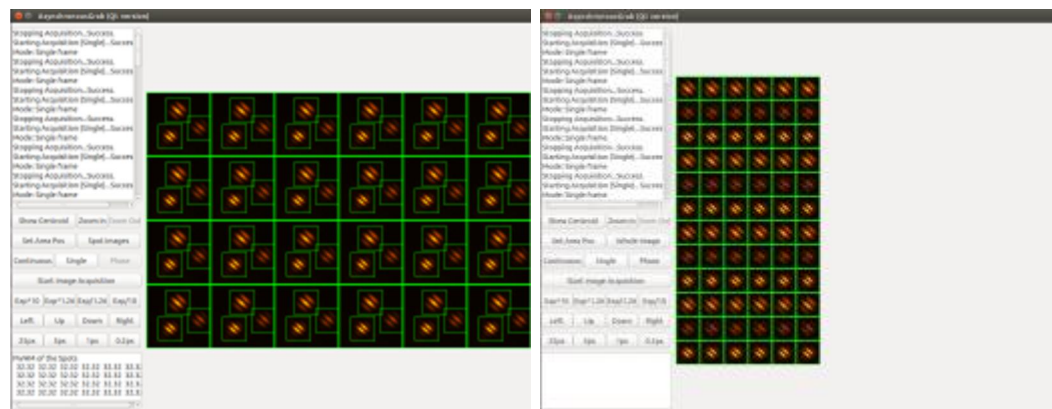
左は位相接続前、右は位相接続後。



ここでも、数ピクセルのスポット移動が原因と思われる位相のずれが見られたため、808nm の絶対位相値には  $\pi$  (ステージ移動量 100nm に相当) の値を加えてプロットした。

- 計測性能試験 その3  
 望遠鏡に取り付けての計測の場合は干渉縞の方向は様々な方向になるが、それにより計測精度が影響を受ける可能性も考えられる。ここでは、上記試験と最も状況が異なる

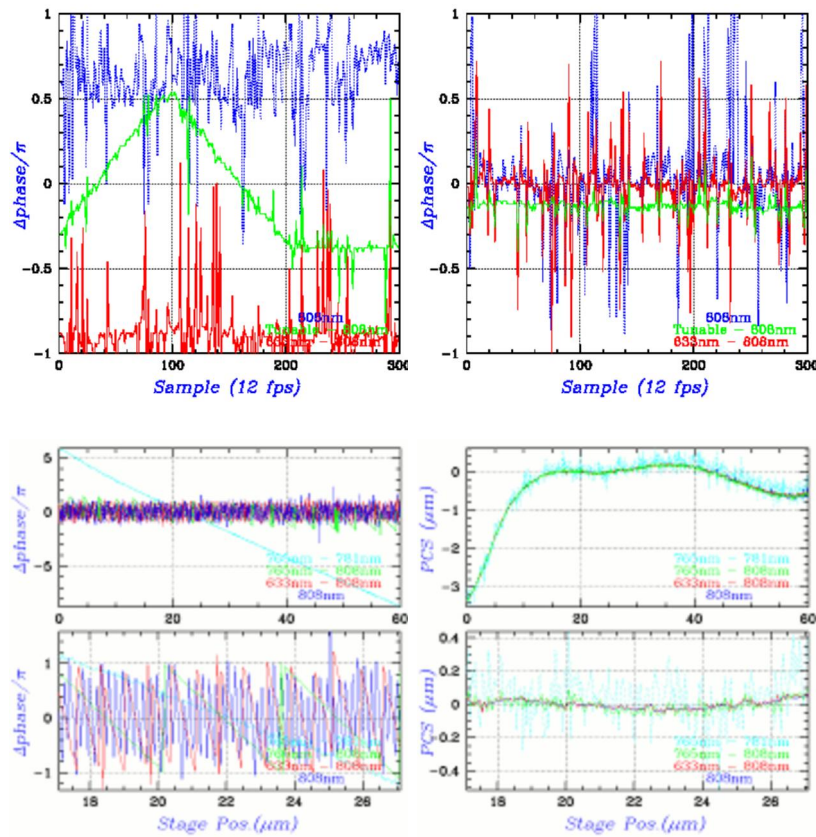
45° の方向に干渉縞が出ている場合の計測性能確認を行った。ほぼ同様な結果となったが、今回はスポットの相対シフトも起こっているようで、位相カメラでの測定位置を算出する際には 633nm-808nm の相対位相から  $0.15\pi$  引き、765nm-808nm の相対位相に  $0.15\pi$  を加算した値を用いた。



● 計測性能試験 その4

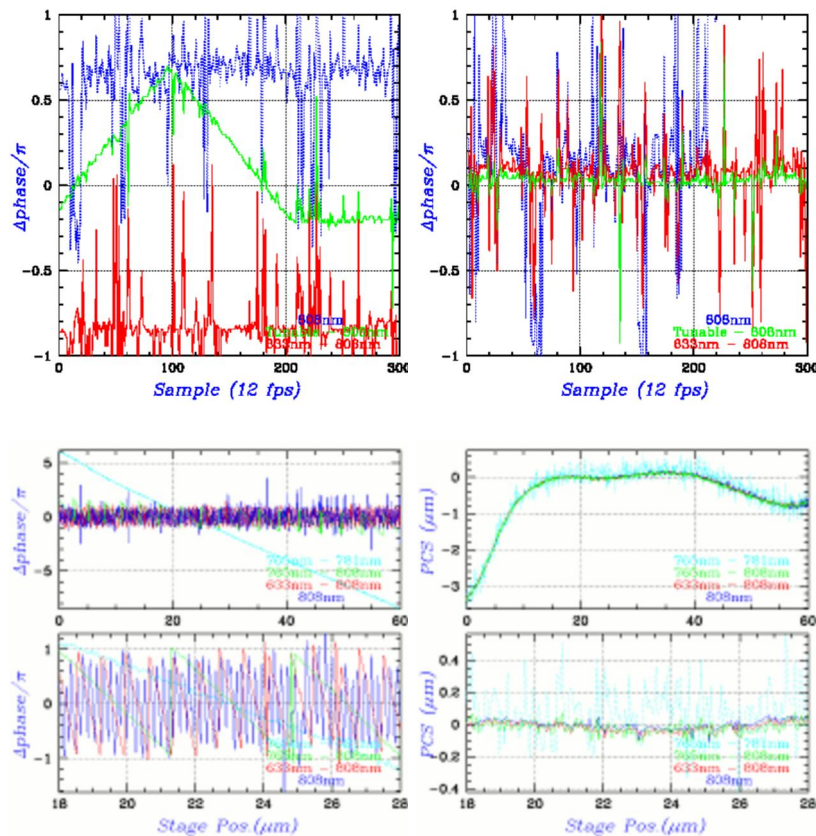
温度変化によるスポット位置の移動が、測定精度にどの程度の影響を与えているかを確認するため、相対位相判定時の原点は切り出し領域の中心としたまま、808nm の絶対位相に限りスポット重心位置を原点とするよう変更してみた。808nm の絶対位相の結果はかなり安定し、これならかなり揺らぎがあっても安定して測定できそう。

今回は、20時に自動測定を開始する直前に、各スポットの重心位置を参照して切り出し領域を決め直すコマンドを入れておいたが、その結果開始直後より、チューナブルレーザーと808nm の相対位相に  $0.15\pi$  のずれがあった。これは、そもそもの切り出し領域が正しい相対スポット位置の関係とはずれている事を示している。切り出し領域を決定する際は、ある程度の枚数の画像を積算して決定する必要があるという事がわかった。(考えてみれば当然だが...)



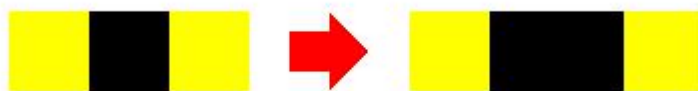
● 計測性能試験 その5

切り出し領域を決定する際に、表示モード切替後の積算情報を用いる事にしたところ、相対位相のずれは見られなくなった。ステージ位置 20-40  $\mu\text{m}$  の部分の PCS の結果を4次で fit して位置決定精度を評価したところ、 $1\sigma=17\text{nm}$  であった。現在の環境でこれを良くするには、808nm の各瞬間のイメージの質を判断して、質の悪い結果は捨てるという操作が必要になる。

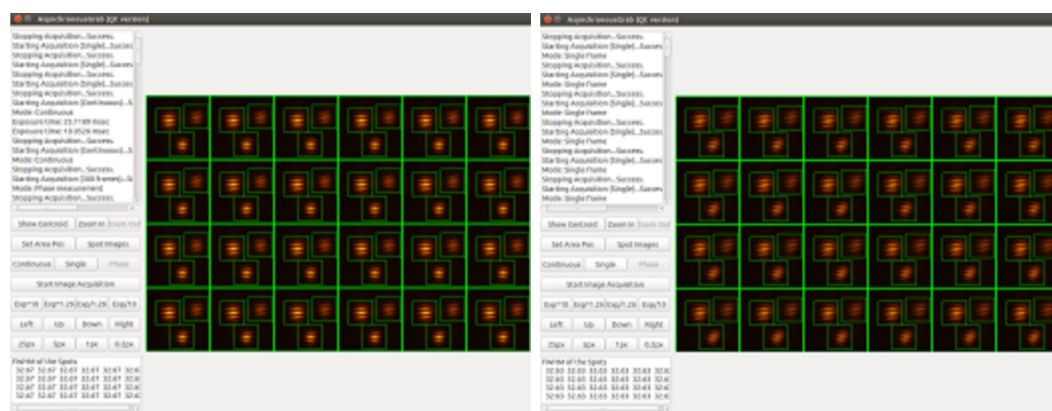


● 計測性能試験 その6

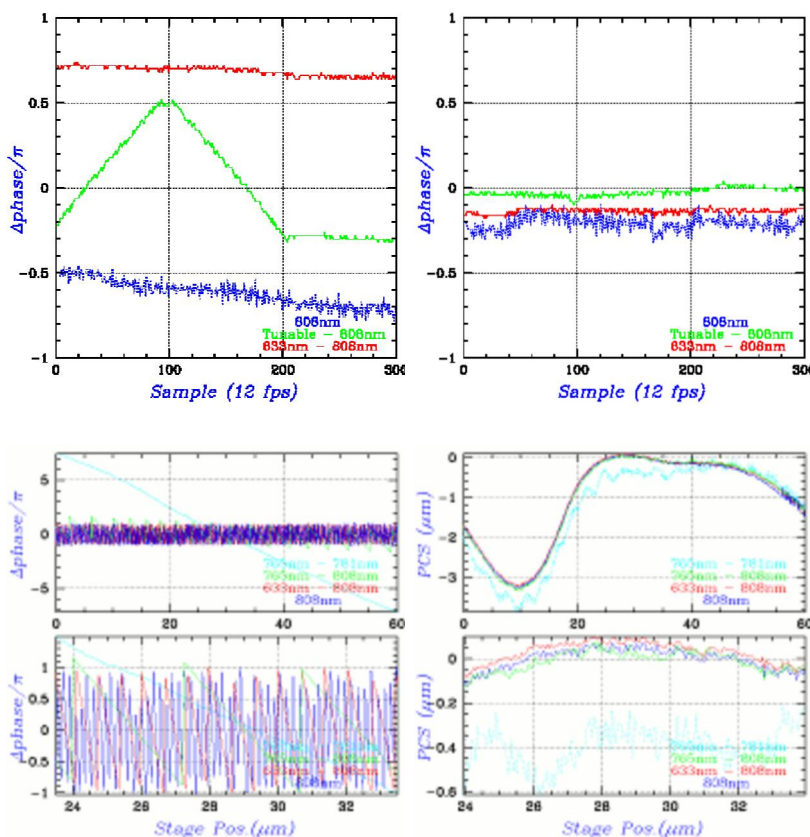
長さ60mmのハーフミラーを1枚購入し、量産前の確認を行った。今回は振動・揺らぎ環境が非常に良かったが、最終的な測定エラーは $1\sigma=14\text{nm}$ であった。しかし、これはPCSの測定エラーというよりも、ピエゾステージの位置エラーを計測している状態になっているものと思われる。また、前回の試験で解決したはずの相対スポット位置のずれに起因する計測結果のずれが再度発生していた。原因としては、前回に比べ相対スポット位置計測時と夜間の測定時の温度差が大きく、その結果スポットの相対間隔がずれたか、もしくはピエゾステージの劣化に伴うスポット重心の相対位置の移動などが考えられる。また、チューナブルレーザーの測定結果に、原因不明のうなりが乗っていたことが今回明らかとなった。



中央部を 10mm 伸ばした。



ピエゾステージ位置  $30\mu\text{m}$  と  $0\mu\text{m}$  でのスポットのずれ。ステージが傾く事がわかる。



---

iwamuro@kusastro.kyoto-u.ac.jp