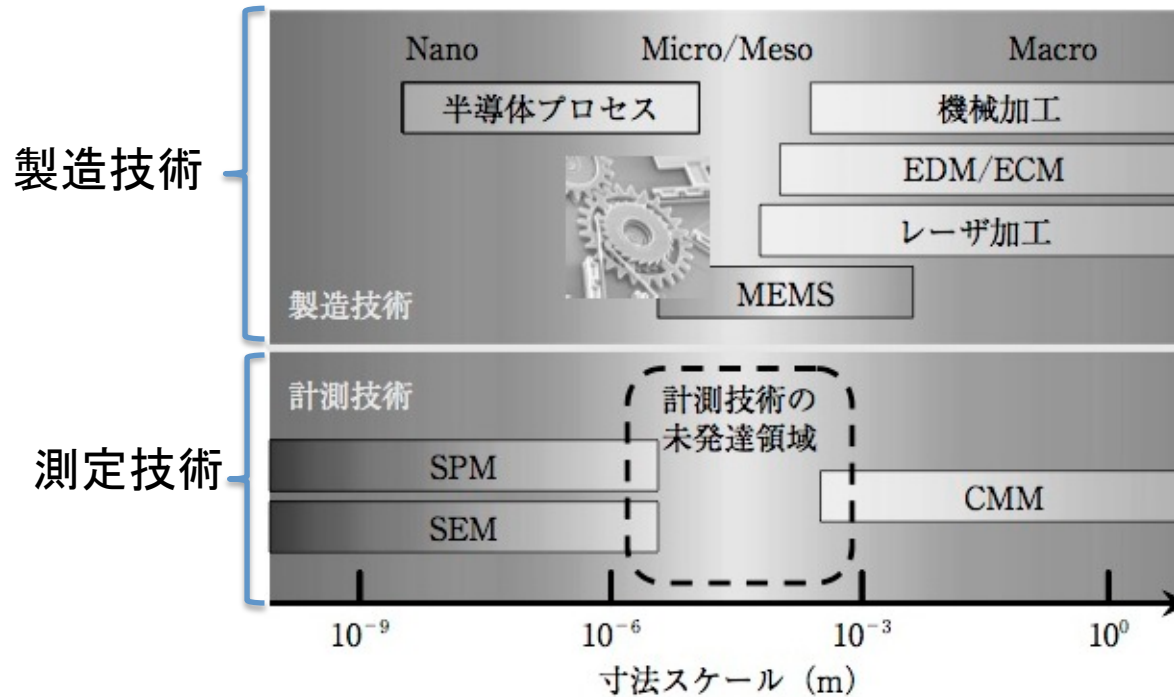


非線形誤差のない
空間分離型ヘテロダイン干渉変位計の紹介

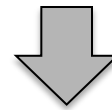
日本マイクロ光器
横山修子

背景

種々の製造・測定技術のカバーする寸法領域



Micro/Meso 領域 (範囲10mm,精度10nm)に於ける測定技術のギャップ

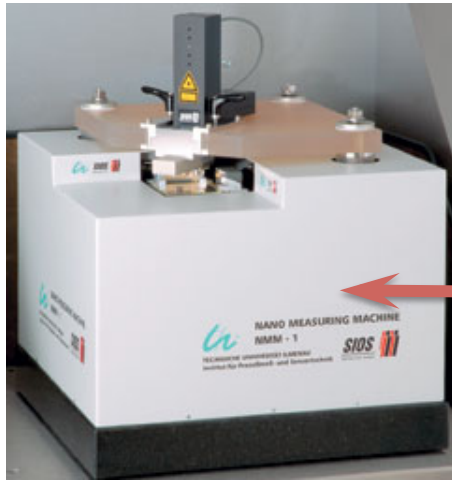


10mm³以上の測定範囲をnm以下の精度で計測出来る
形状測定装置が必要

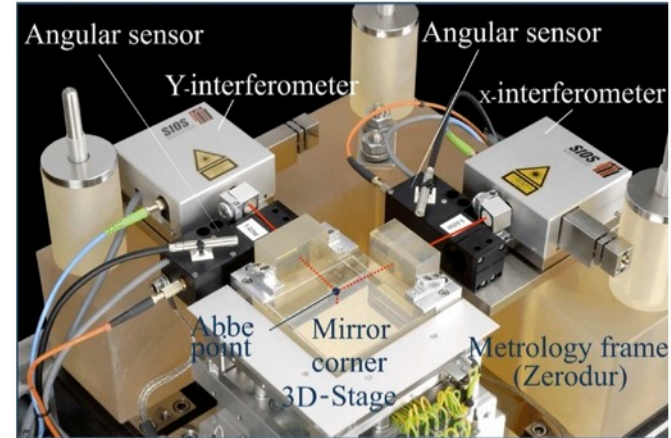
**ミリオオーダー以上の大きさを
サブナノメートルの精度で正確に測りたい！**

なぜ干渉変位計？

NanoMeasuring Machine(NMM) (SIOS, Ilmenau Univ)



mmレンジをnm精度で測る
プループ固定でステージの移動距離を測定



ホモダイナミック干渉計

Michelson型

分解能 : 0.1nm

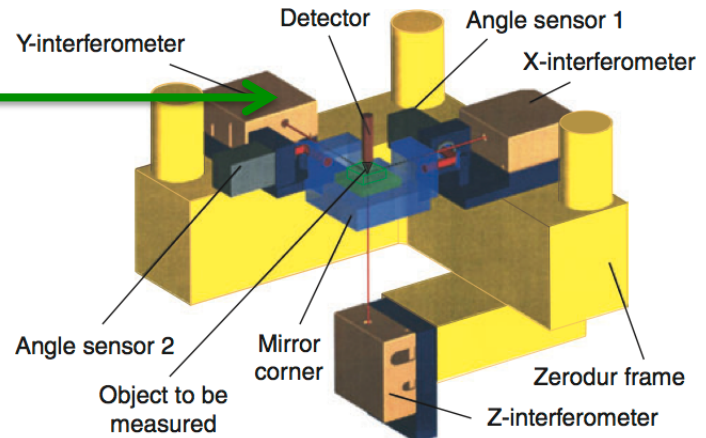
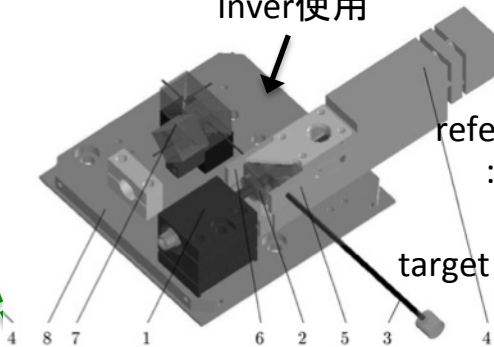
非線形性 : $\pm 0.088\text{nm}$ (補正有り)

温度ドリフト : $70\text{nm}/^\circ\text{C}$

Inver使用

reference arm
: target armと等距離に

target arm



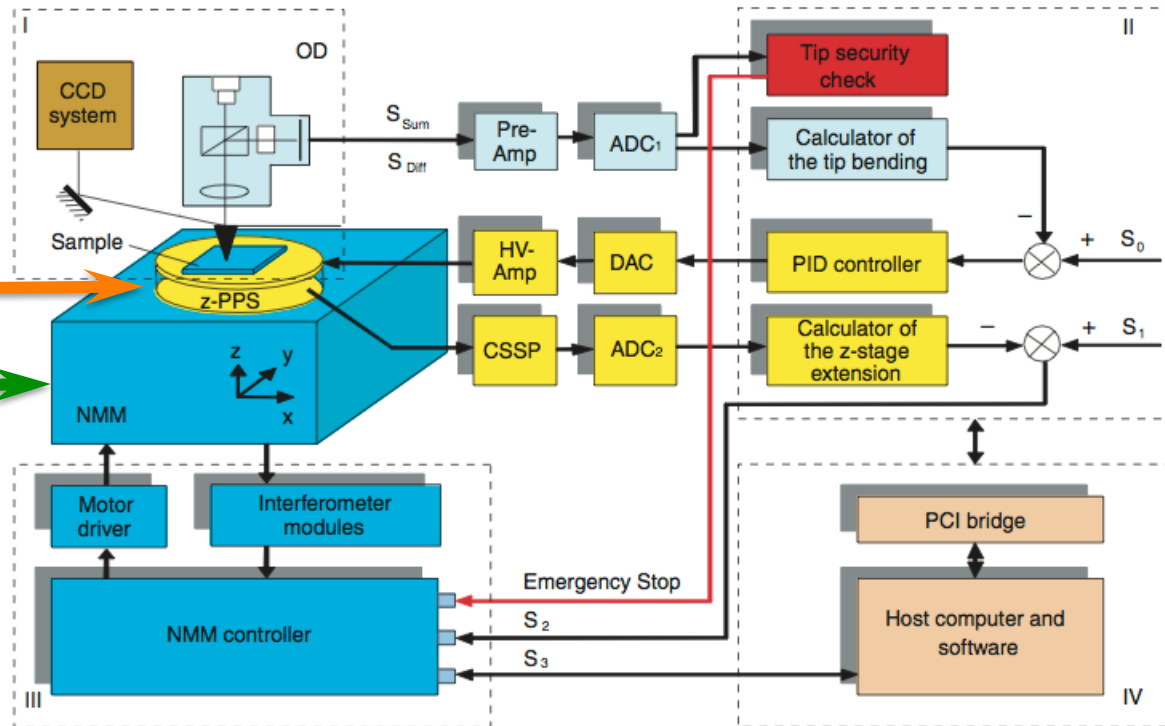
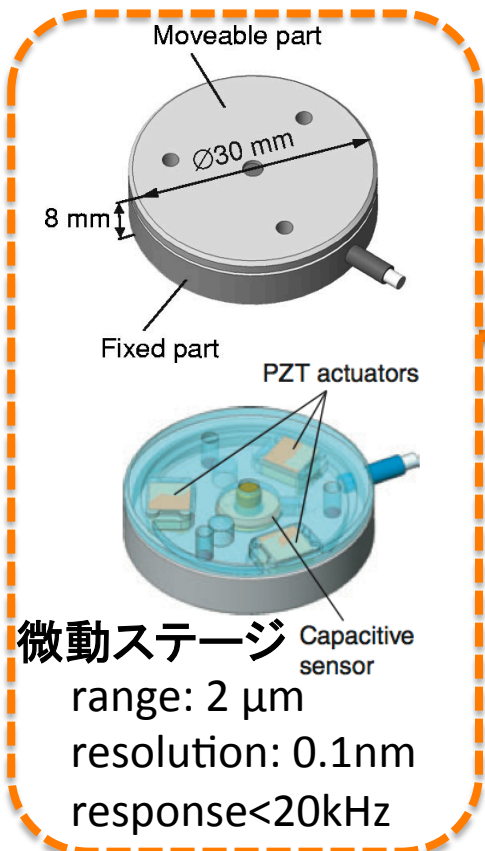
3軸ステージ

range: 25mm*25mm*5mm

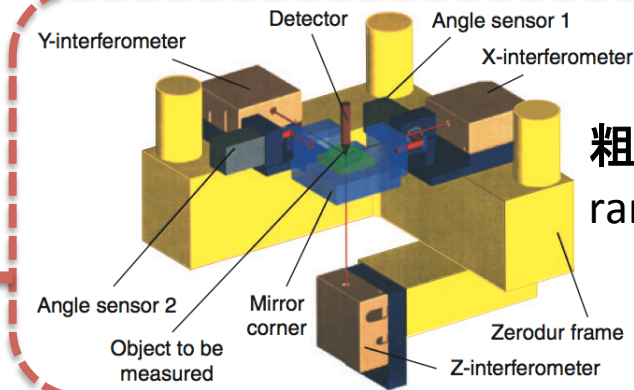
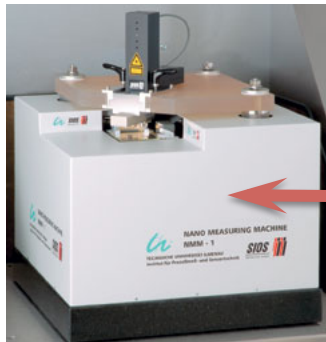
Ball bearing, electrodynamic motor

Metrological large range SPM (PTB, SIOS)

ステージをハイブリッド化し、ステージ移動精度向上



NMM



Coarse motion stage (粗動ステージ) specifications:

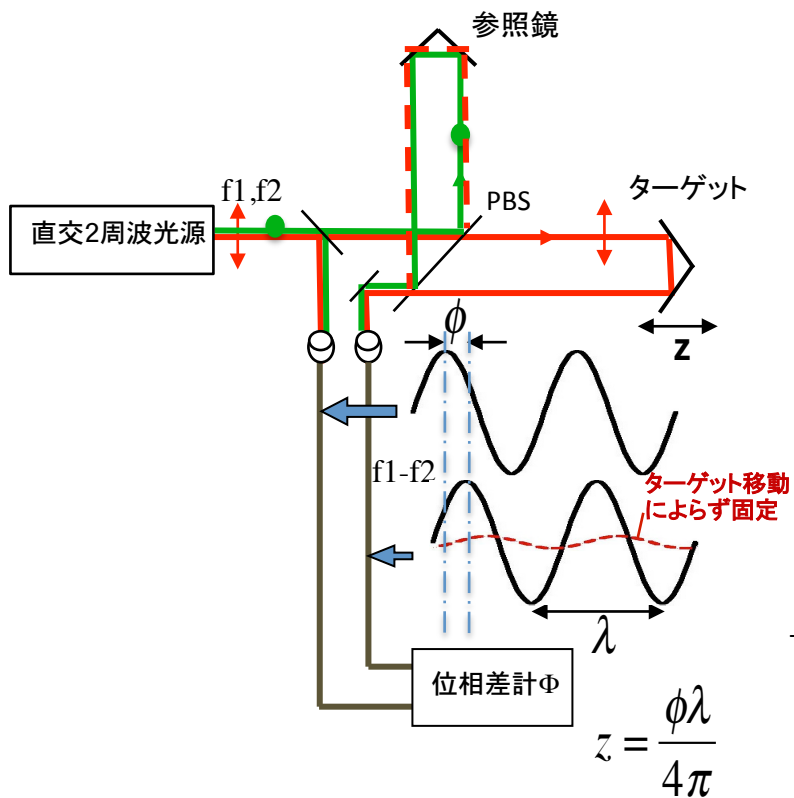
- range: 25mm*25mm*5mm

ホモダインとヘテロダイン干渉変位計の違い

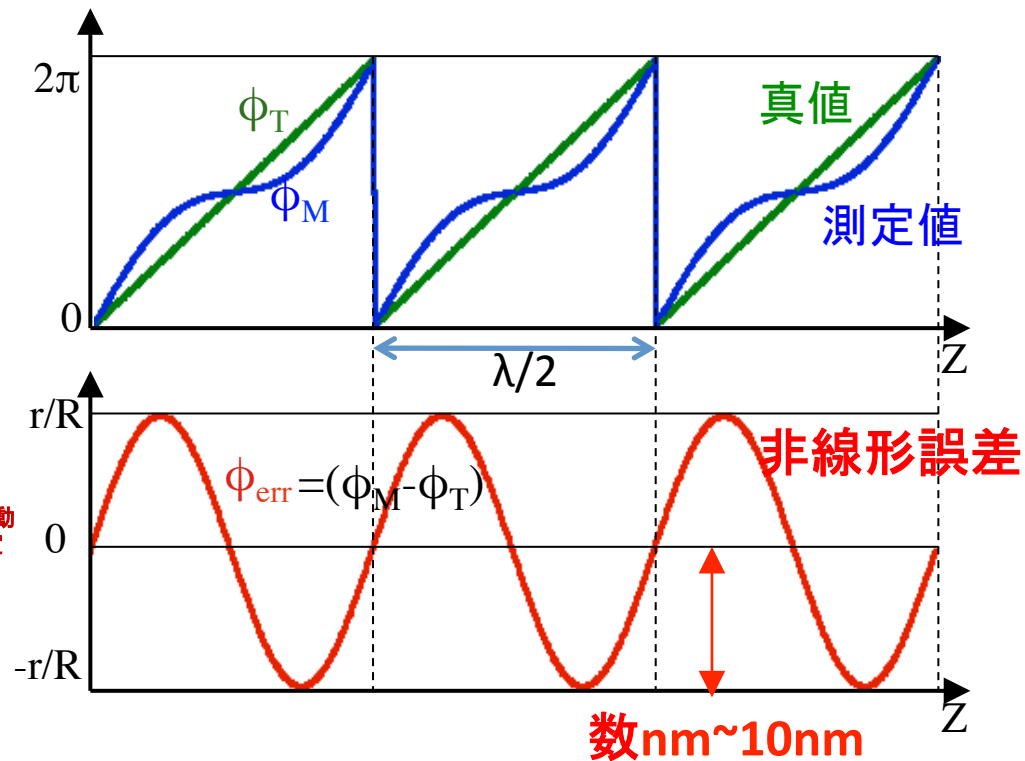
	光源	測定信号	S/N	非線形誤差	
ホモダイン	1周波	強度 (DC信号)	悪い	小さい	
ヘテロダイン	直交2周波	位相 (AC信号)	良い	大きい	

ヘテロダイン干渉計の非線形誤差

ヘテロダイン干渉変位計



非線形誤差

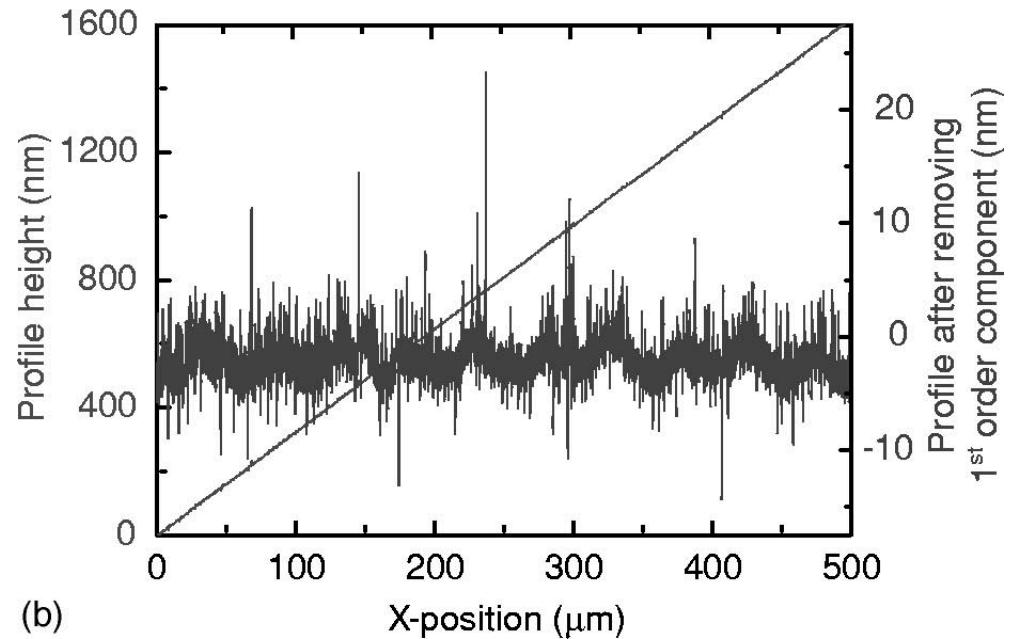
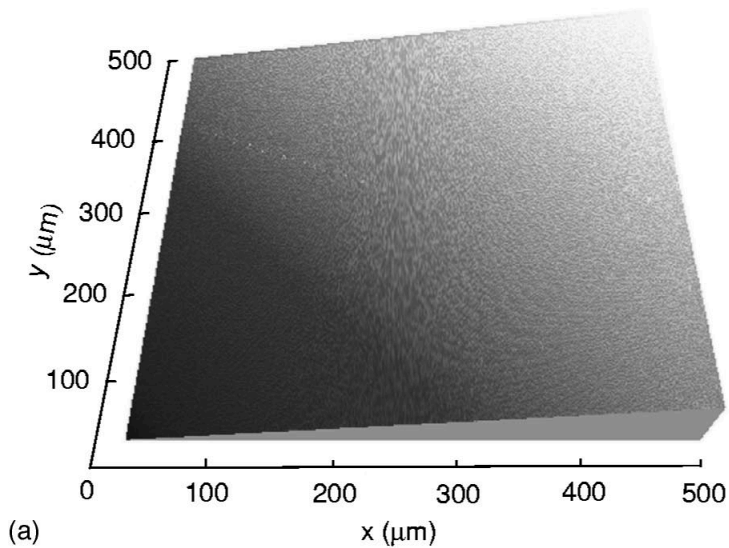


高精度計測の障害

Metrological large range SPM (PTB)

ホモサイン干渉計による測定

Glass flatness standard (500 μm *500 μm)



$\pm 2\text{nm}$ の干渉計非線形誤差が出ている

ホモダインとヘテロダイン干渉変位計の違い

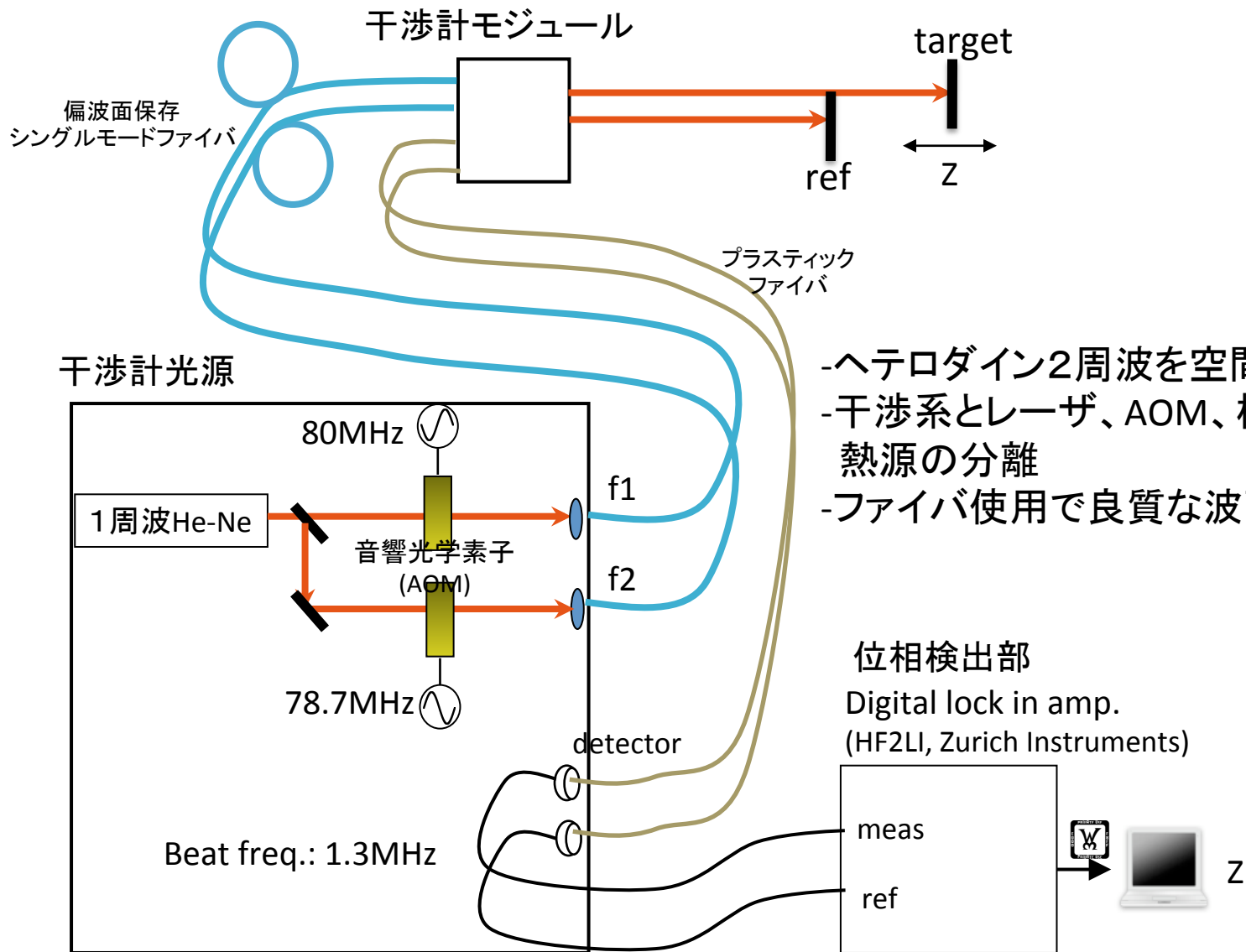
	光源	測定信号	S/N	非線形誤差	
ホモダイン	1周波	強度 (DC信号)	悪い	小さい	
ヘテロダイン	直交2周波	位相 (AC信号)	良い	大きい	

空間分離型ヘテロダイン干渉変位計

< 特徴 >

1. ヘテロダイン2周波を空間的に分離する光学構成
→ 非線形誤差が無い
2. Differential型、シンメトリーでDead pathが無い光学構成
干渉光学系のガラス一体化
→ 外乱(温度変化・機械的振動等)の影響を低減
3. 干渉計のモジュール化
→ 干渉系とレーザ・AOM・検出器等の熱源の分離

ヘテロダイン干渉変位計システム構成



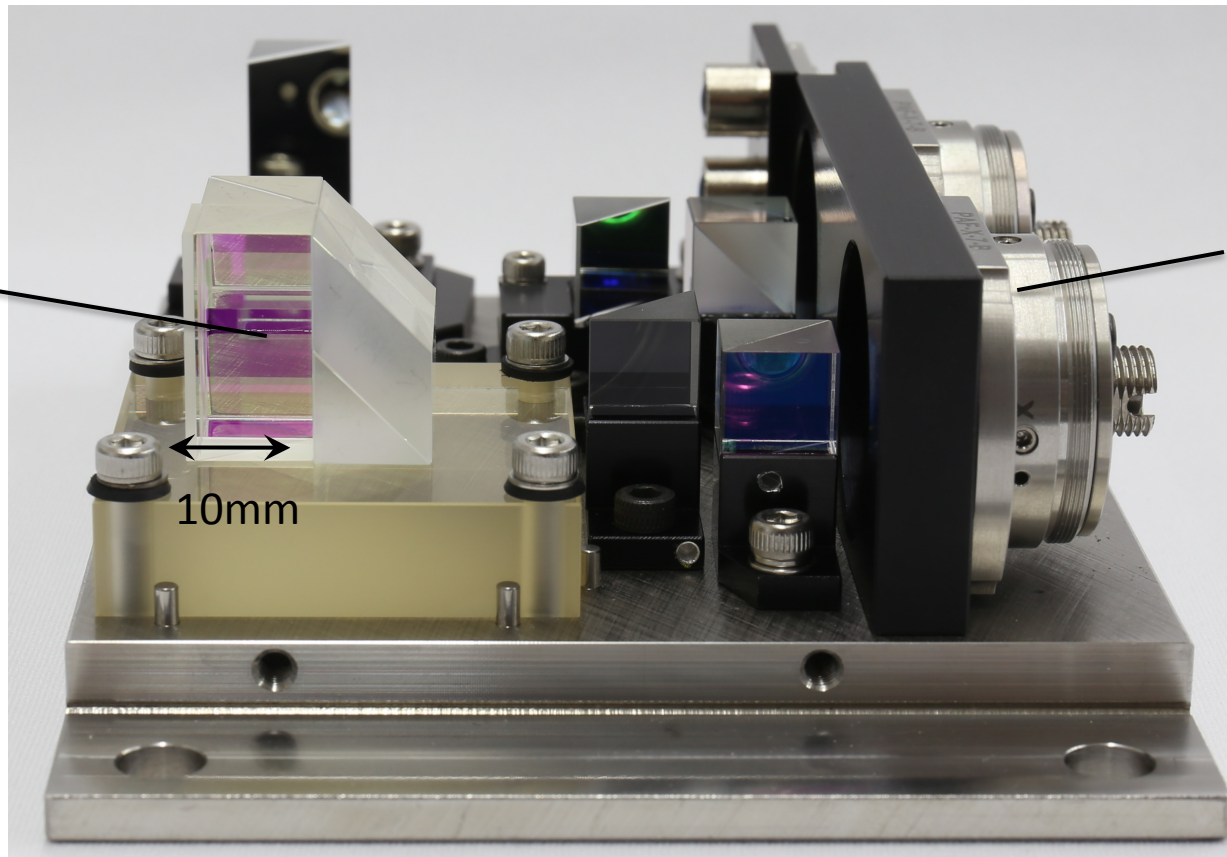
干渉計モジュール

シングルパス

Target/Ref光 10mm間隔上下
(Target;35mm, Ref;25mm)

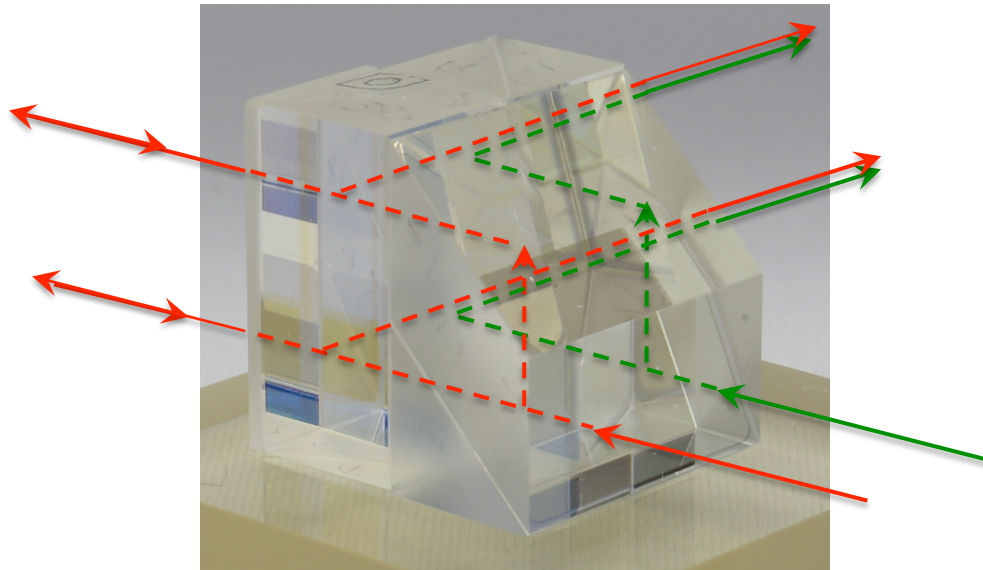
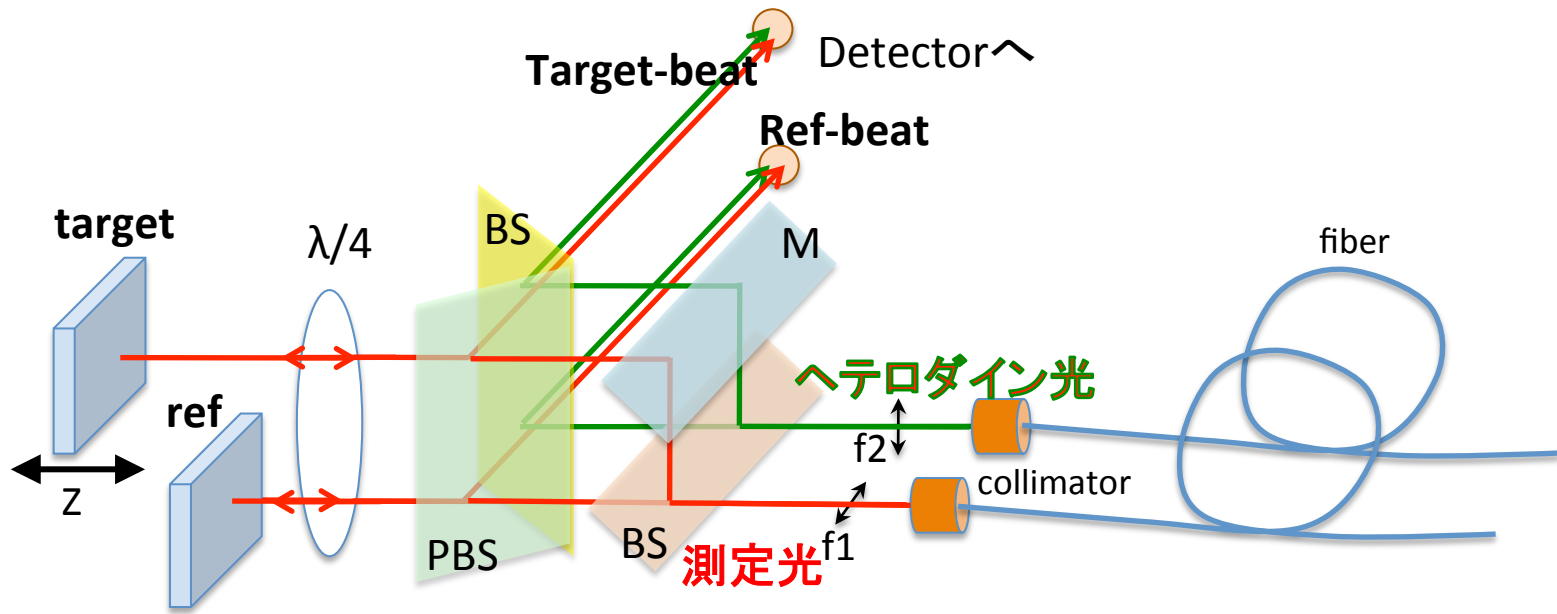
ビーム径:1.4Φ

干渉計ユニット



ファイバー
コリメータ

干渉計ユニット光路図

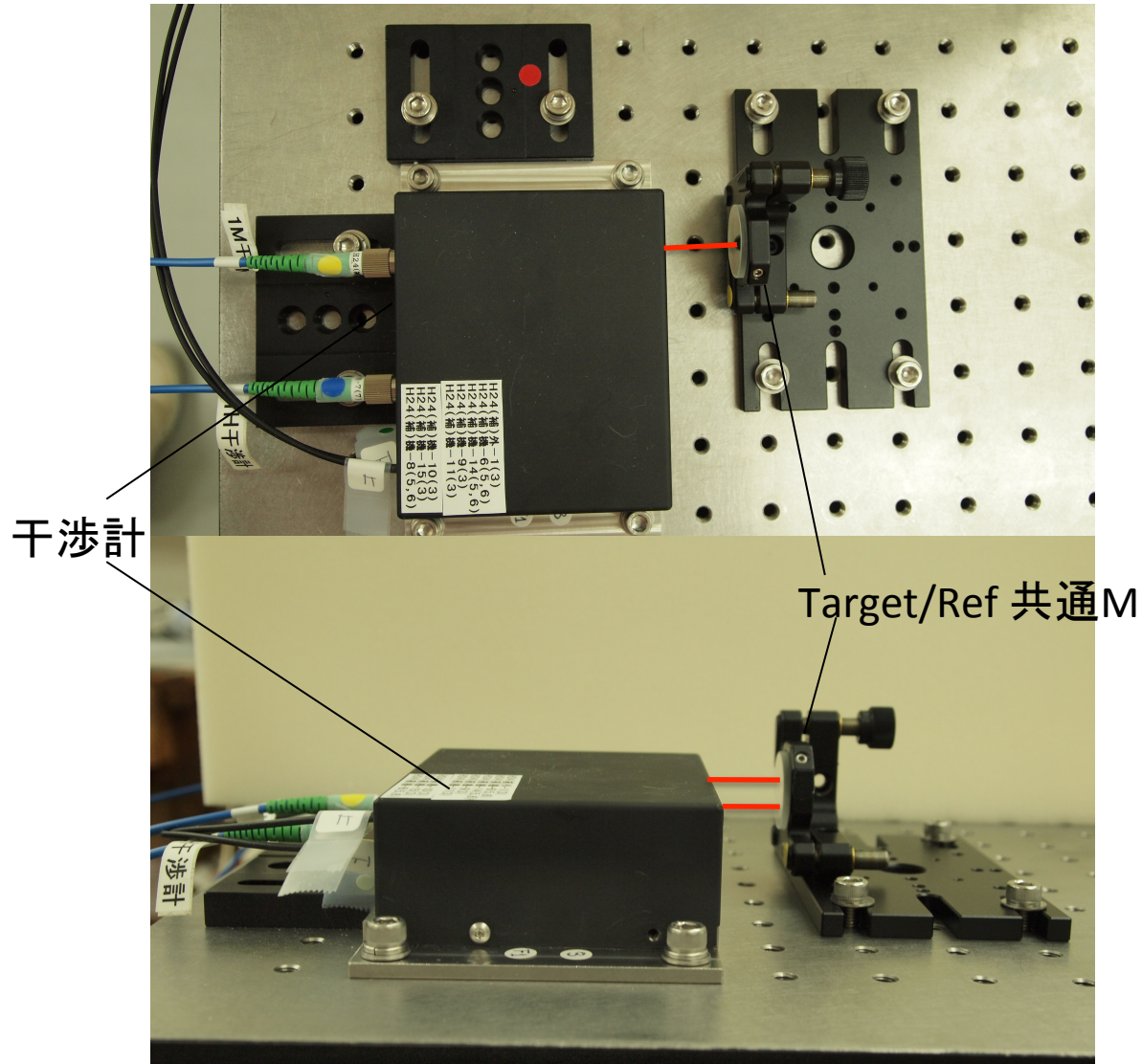


1. 空間分離型
→ 非線形誤差が生じない。
2. Differential型、zero Dead-path、
測定・参照光路を準共通光路
3. 干渉光学系のガラス一体化
→ 温度ドリフト、振動ノイズの低減

干渉計評価実験

1. 短期安定性評価
2. 非線形性評価
3. 温度ドリフト評価

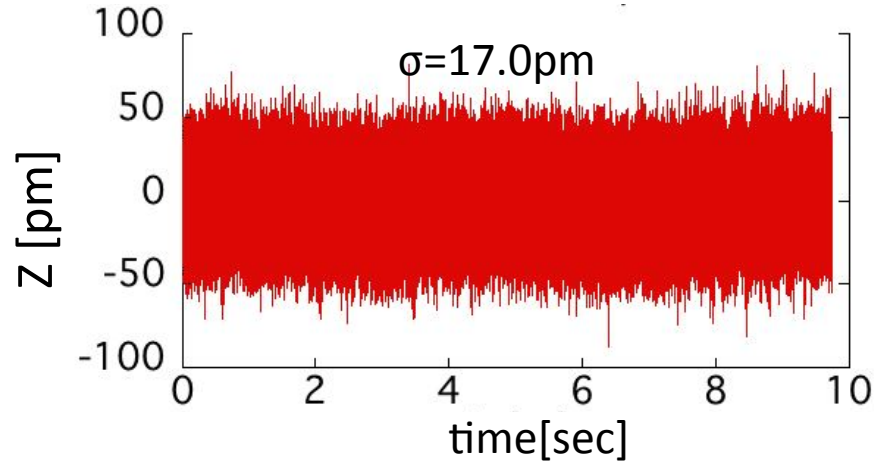
1. 短期安定性評価 実験系



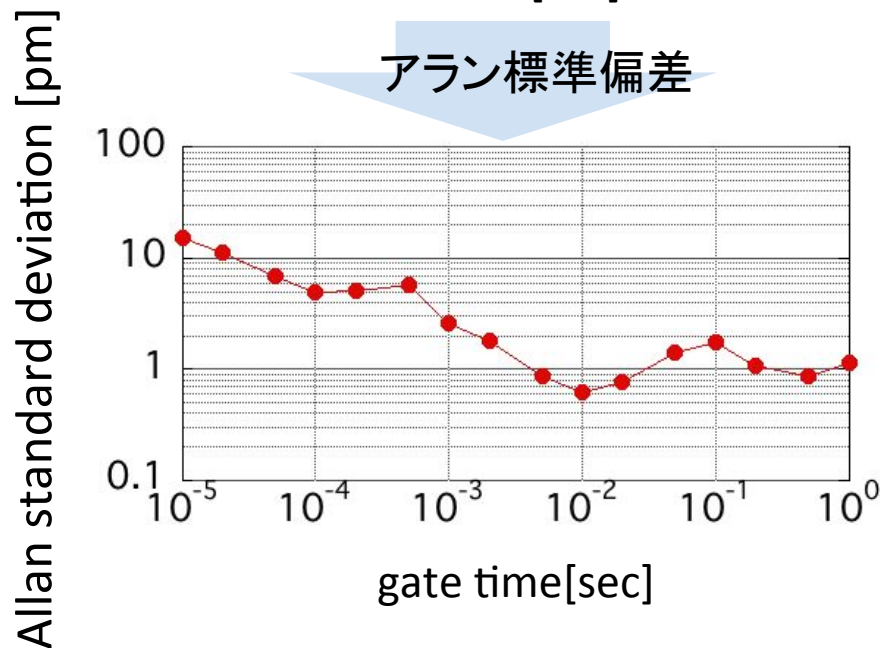
短期安定性評価結果

実験系: Target/Ref 共通M
測定: 100kS/sec

LPF $\tau=2.3\mu\text{sec}$ の時間波形とアラン標準偏差



30回測定
 $\sigma=17.3\pm 0.27\text{pm}$

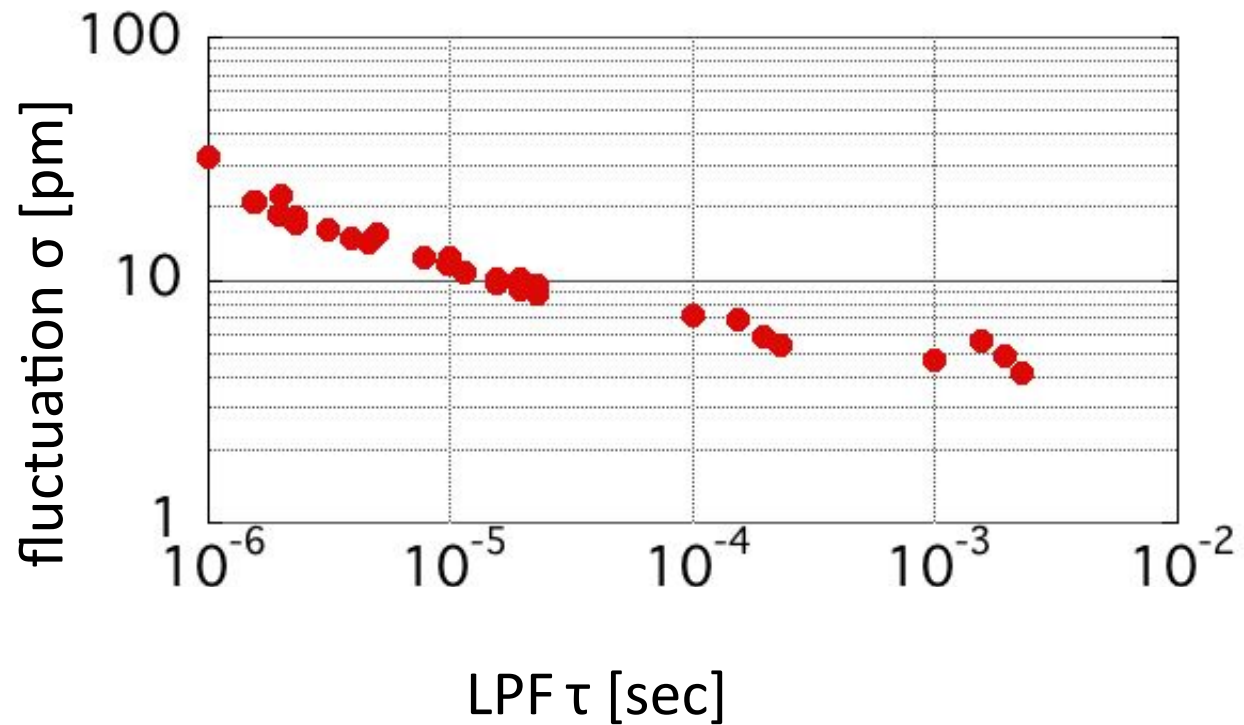


短期安定性評価結果

実験系: Target/Ref 共通M

測定: 100kS/sec

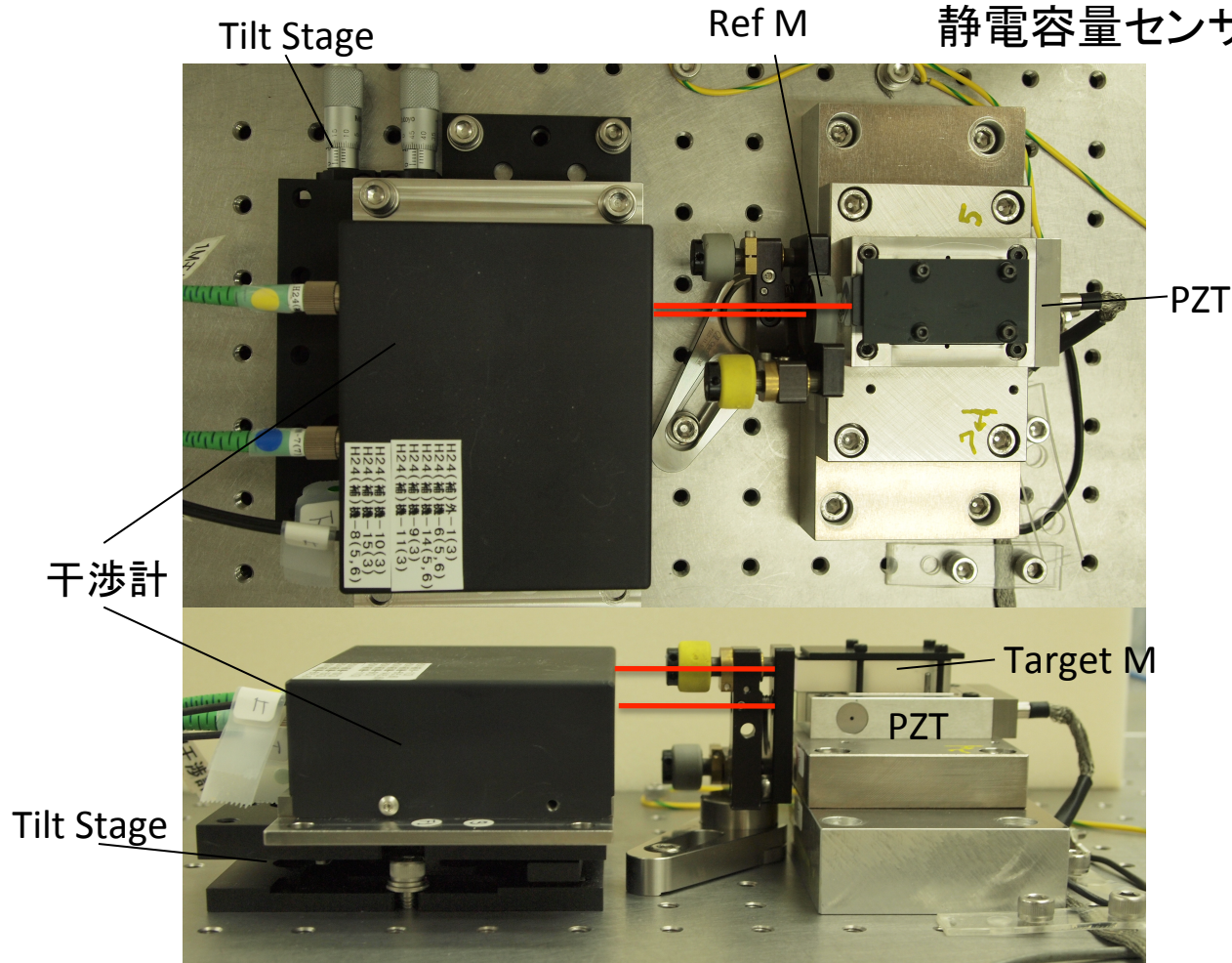
位相差計LPF時定数と安定性



2. 非線形性評価

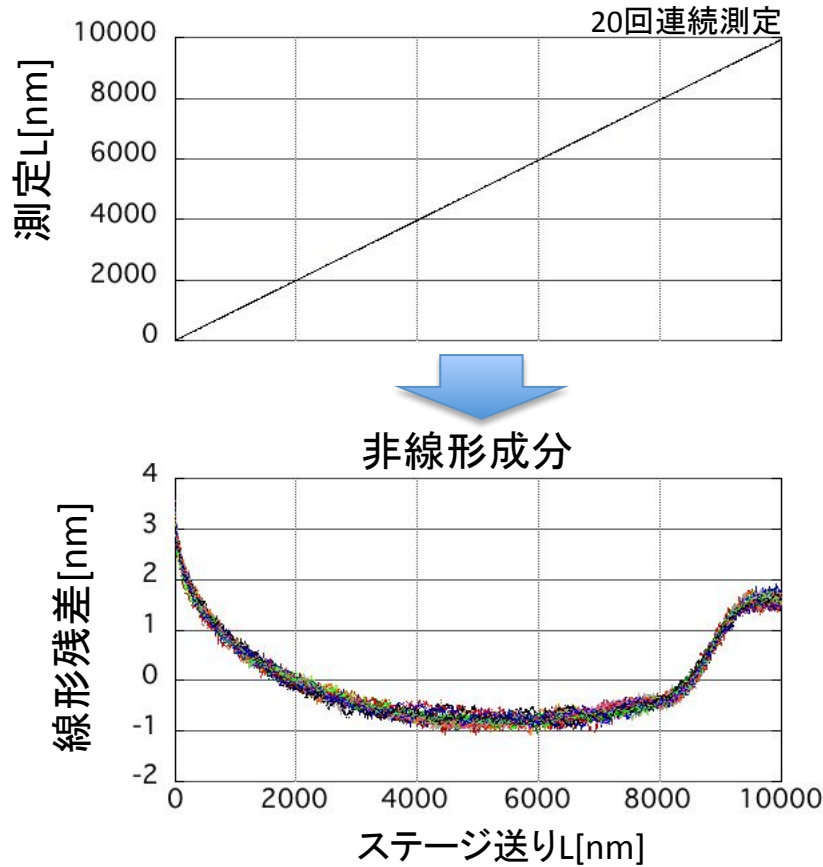
PZTステージ測定実験系

PZTステージ: P-752.11c, PI
コントローラ: E-665.CR
静電容量センサ(CAPS)制御

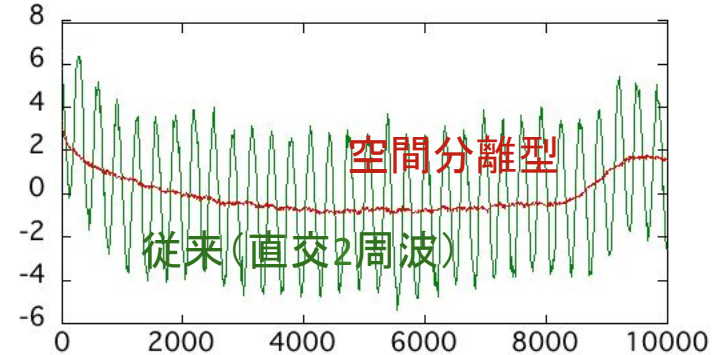


非線形性評価結果

CAPS制御PZTステージ測定 span :10 μ m



従来型干渉計との比較

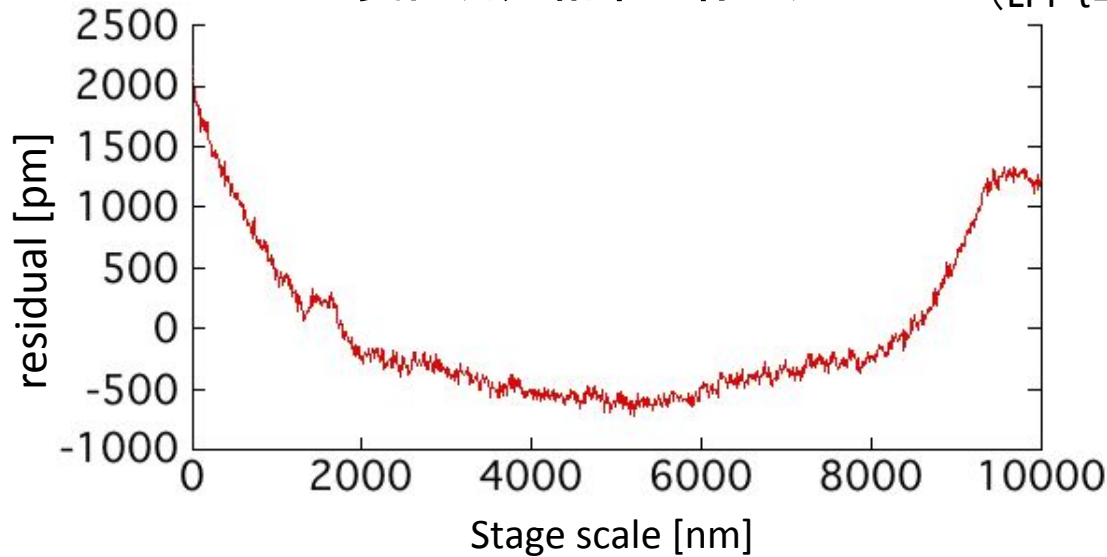


CAPS制御PZTステージの非線形成分

非線形評価結果

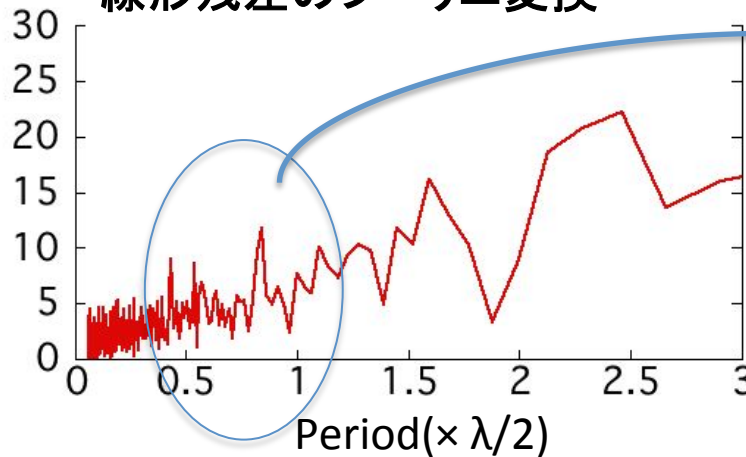
PZT移動: 10nm × 1011 step
各step毎に0.2sec停止
測定条件: 200data平均/step
(LPF $\tau=230\mu\text{sec}$, 1kS/sec)

10 μm 変位測定結果の線形残差



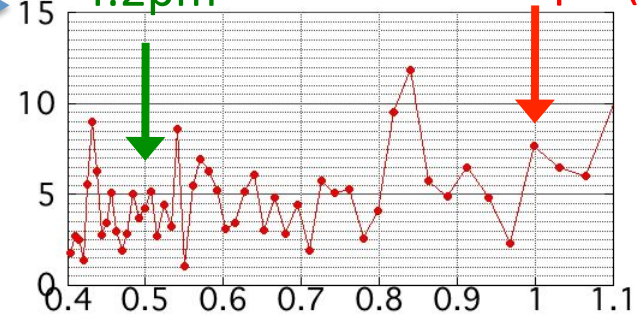
Periodic error (rms) [pm]

線形残差のフーリエ変換



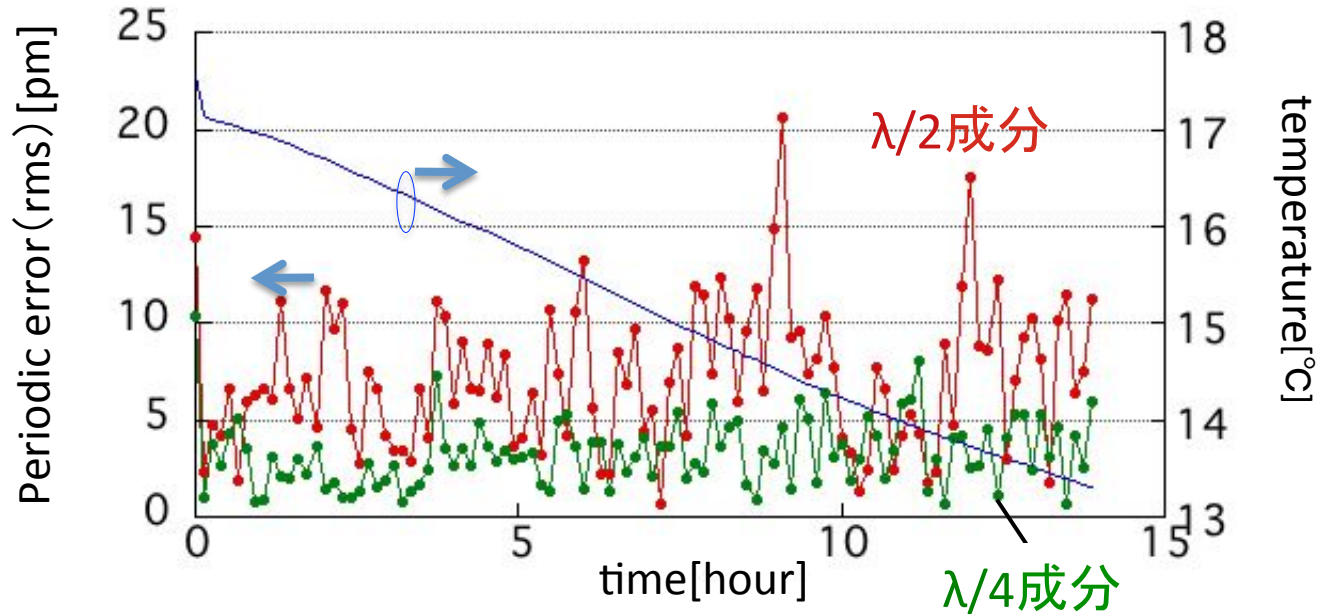
$\lambda/4$ 成分
4.2pm

$\lambda/2$ 成分
7.7pm(rms)



非線形性の安定性

104回連続測定時の非線形誤差



$7.2 \pm 3.6 \text{ pm (rms) @ } \lambda/2$

$3.3 \pm 1.7 \text{ pm (rms) @ } \lambda/4$

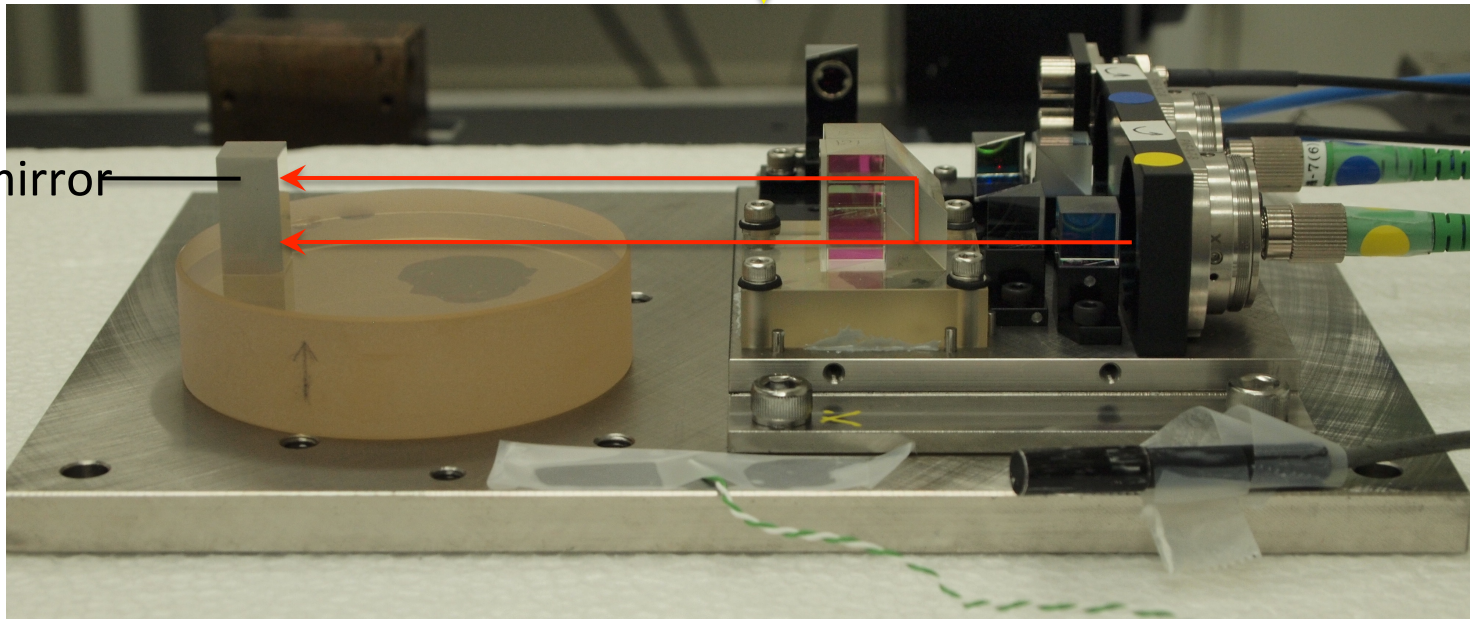
3. 温度ドリフト評価

実験系



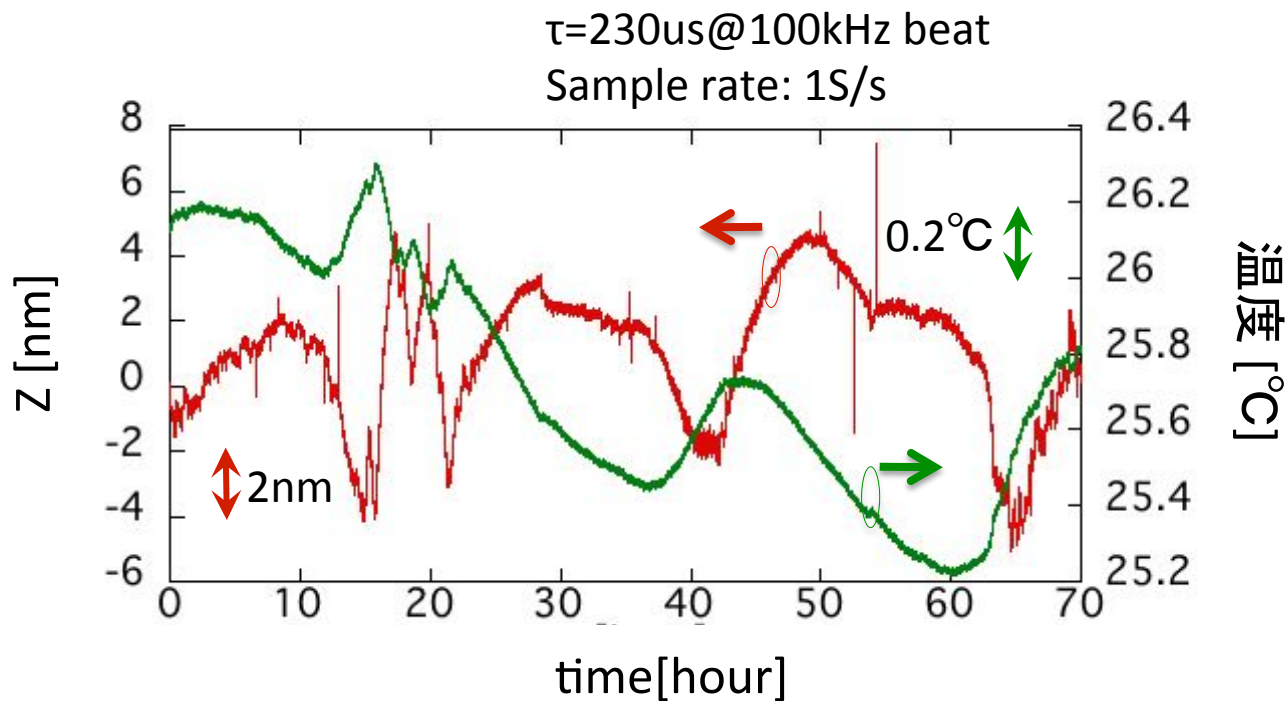
Target/Ref 共通ミラー

Block mirror



ドリフト測定(長期安定性)評価

Target・Ref : 共通ブロックミラー



温度ドリフト特性 : 約10nm/°C

性能評価結果

1. 短期安定性(分解能)

$\sigma=17.3\pm0.27\text{pm}$ (LPF $\tau=2.3\text{usec}$)

2. 非線形性

誤差: $7.2\pm3.6\text{pm(rms)}@\lambda/2$

$3.3\pm1.7\text{pm(rms)}@\lambda/4$

3. 温度ドリフト特性

約 $10\text{nm}/^\circ\text{C}$

空間分離型ヘテロダイン干渉変位計

- 非線形誤差が無い事が確認された。
- 外乱(温度変化・機械的振動等)の影響を低減された。

**「ミリオオーダー以上の範囲をサブナノメートルの精度で正確に測る」
事の実現可能性が見えた。**