

低温レーザー干渉計用 ローカルコントロールの研究

東京大学宇宙線研究所
齋藤陽紀

目次

- CLIOの課題
- 低温干渉計(LCGT)の課題
- 解決方法(Local Control)
- タンデム干渉計とは？
- 動作実験
- 実験結果
- CLIO振り子
- Noise Spectrum
- まとめ

CLIOの課題

CLIOの現状

振り子の並進運動を抑えるため、マグネット
ダンピングを使用

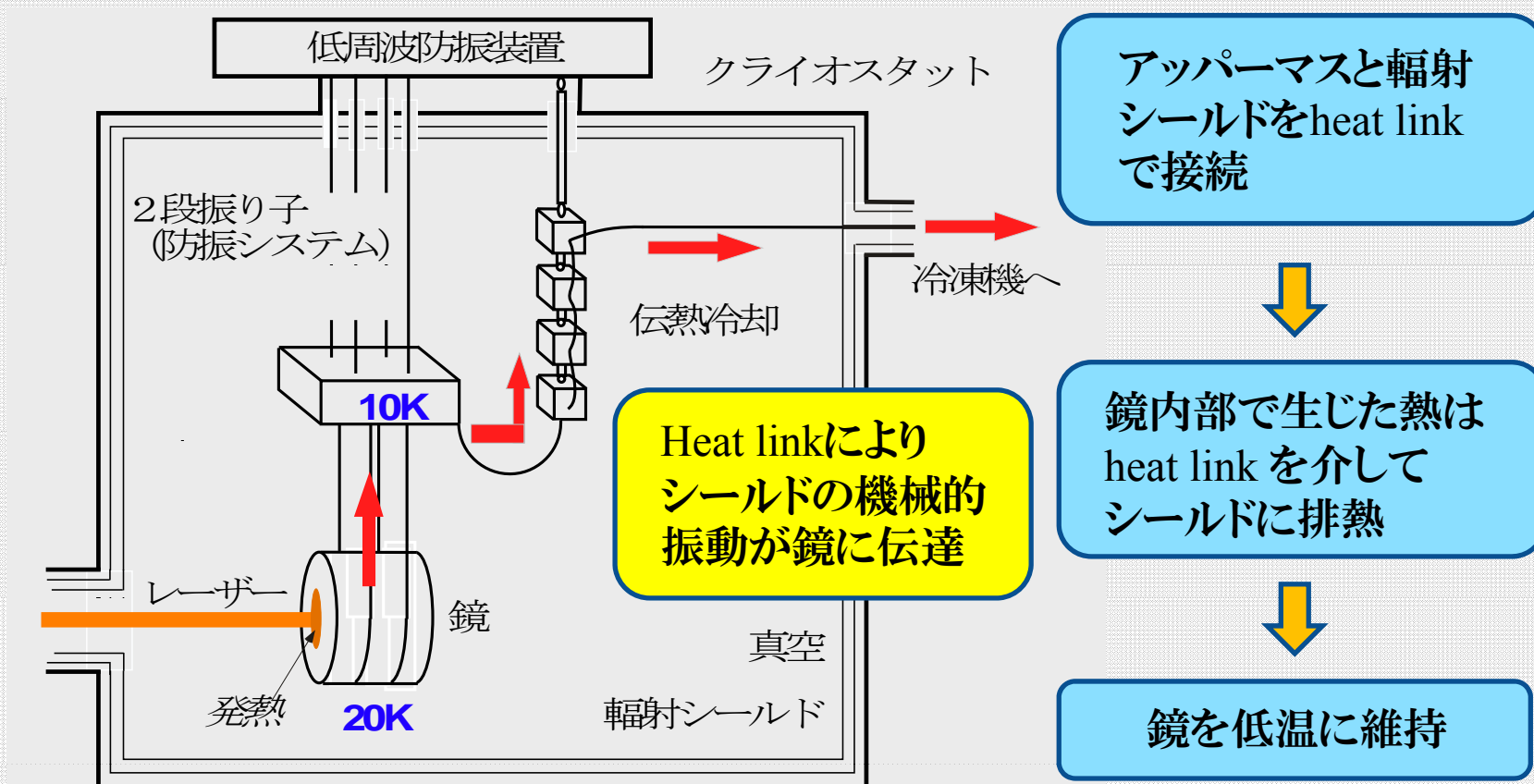
室温：十分なダンピング効果が得られる

低温：ダンピングとしての効果が弱まる

振り子振動が止まらず、
100m cavityの制御が難しい

新たなダンピング法が必要

低温干渉計(LCGT)の課題



解決方法(Local Control)

CLIOでの制御対象

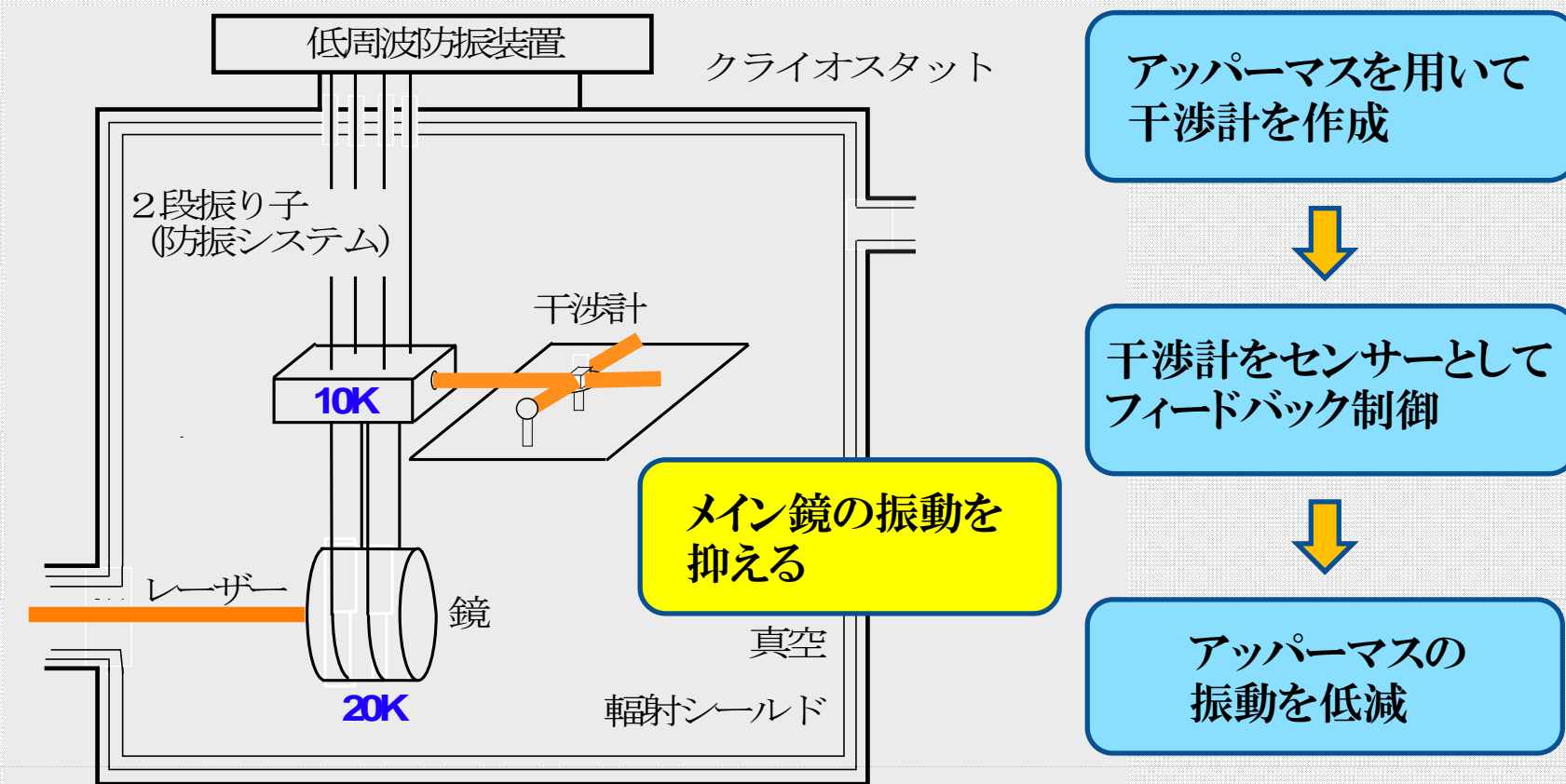
- 0.5Hzの光軸並進運動
- 2HzのYaw運動

↪ 揺れが小さいため、高感度の変位センサーが必要



干渉計を選択

解決方法(Local Control)



解決方法(Local Control)

- CLIOでは鏡を冷却する
- 冷却前と後では、振り子のアライメントや位置は大きく変化する



冷却後に干渉計の調整は必須

- 低温で動くアクチュエーターは選択肢が限られる

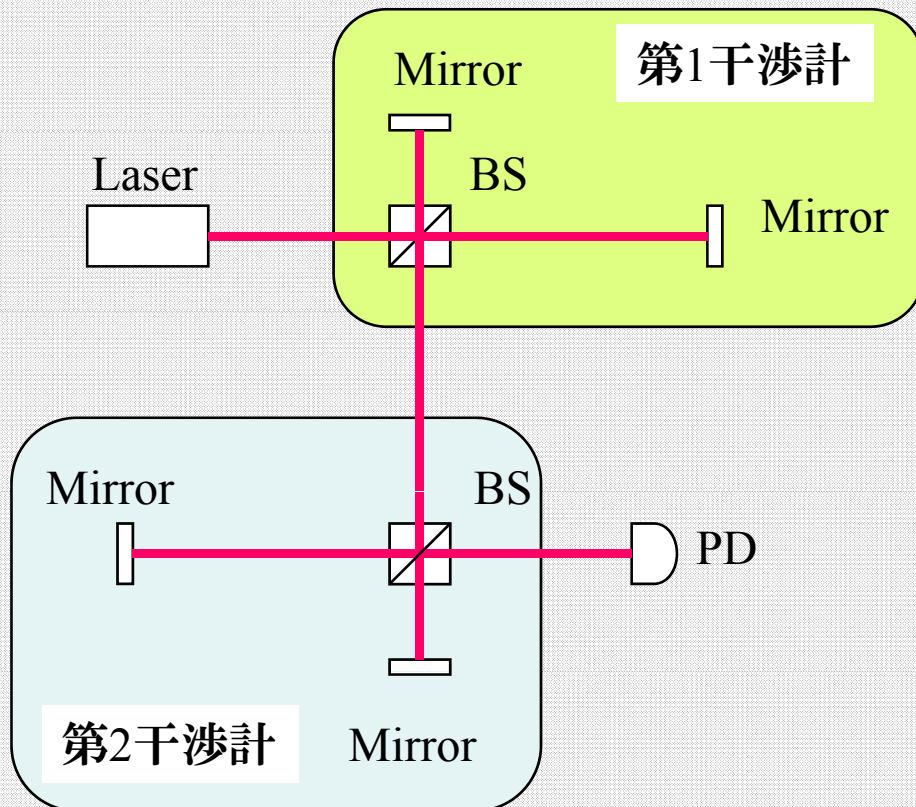


常温部で調整したい

現在のCLIOのタンク等の構造から、現実的な干渉計を考えると・・・

次に示す**タンデム干渉計**

タンデム干渉計とは？



タンデム干渉計

2つの干渉計(第1干渉計と第2干渉計)が直列につながった干渉計

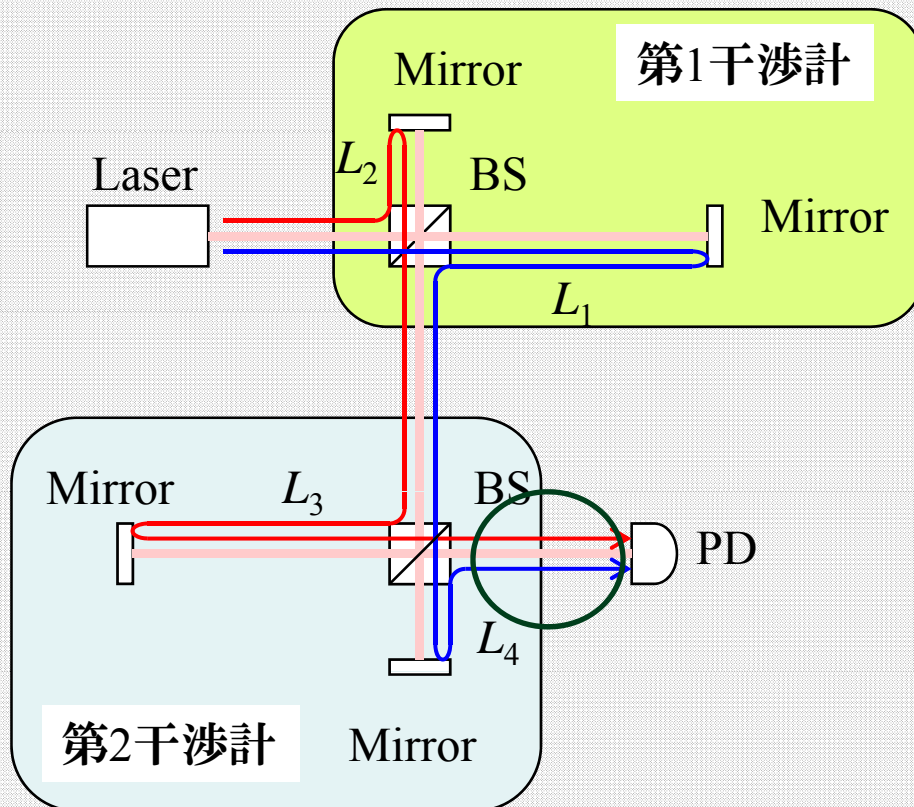
低コヒーレンス光源を使用

干渉計の光路長が等しい時しか干渉しない



第1干渉計、第2干渉計だけで干渉することはない

タンデム干渉計とは？



◆ 2つの干渉計の腕の差が
等しい

$$L_1 - L_2 = L_3 - L_4$$

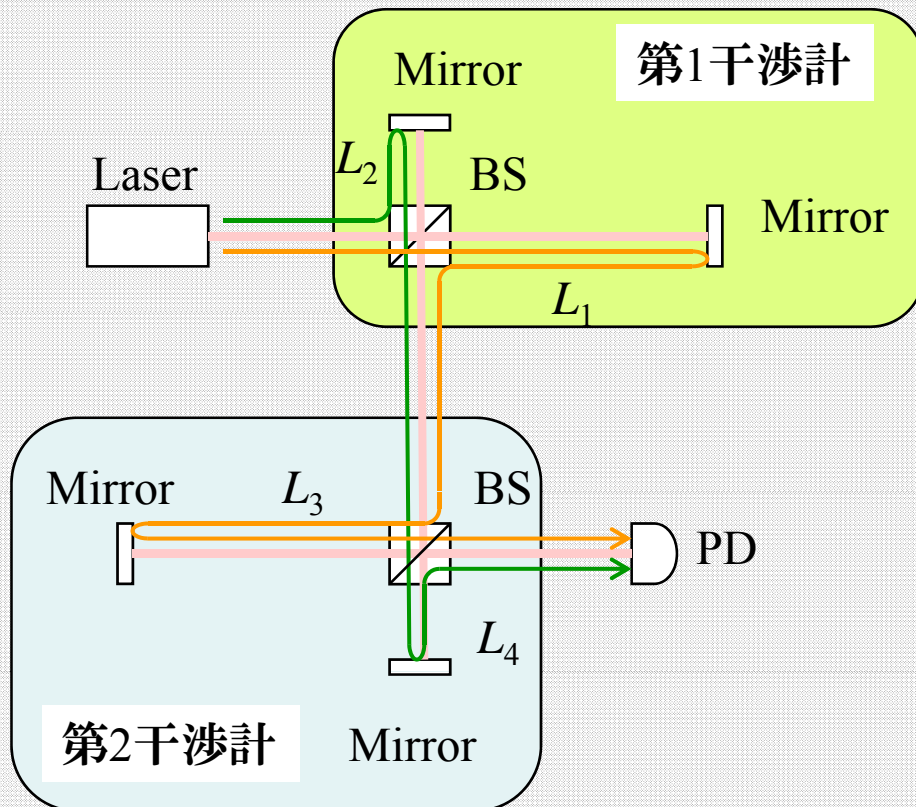


赤い光路($L_2 + L_3$)と青い光路
($L_1 + L_4$)の光路長が等しい



干渉が起こる

タンデム干渉計とは？



◆他の光路の場合

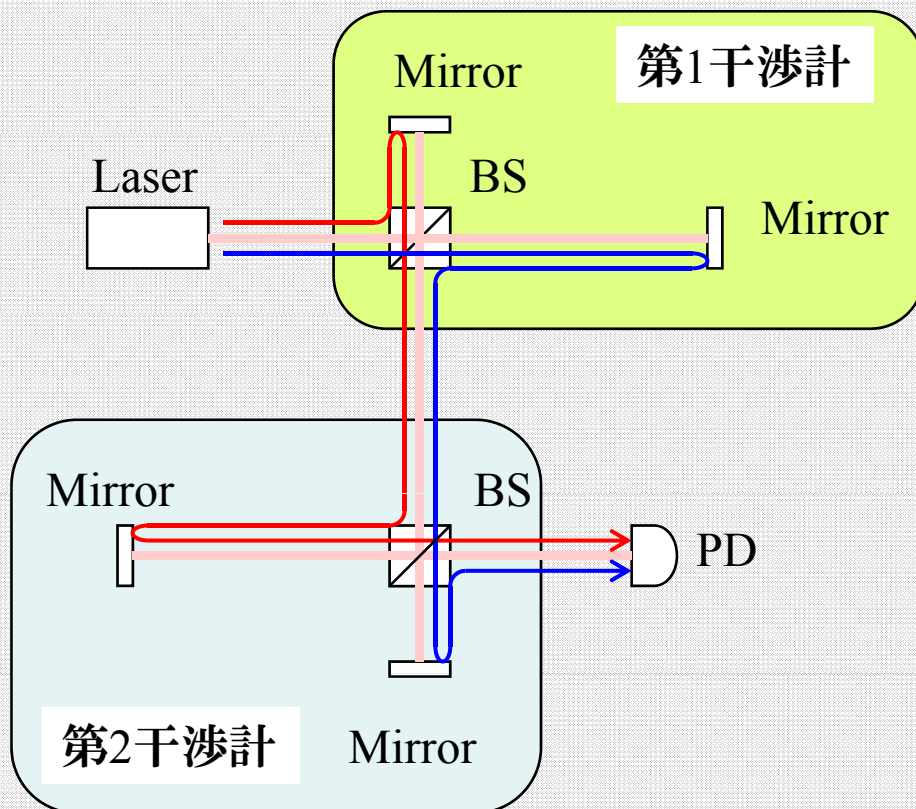
緑の光路(L_2+L_4)とオレンジ色の光路(L_1+L_3)は光路長が等しくない



干渉しない

それ以外の光路も光路長が等しくないので、干渉しない

タンデム干渉計とは？



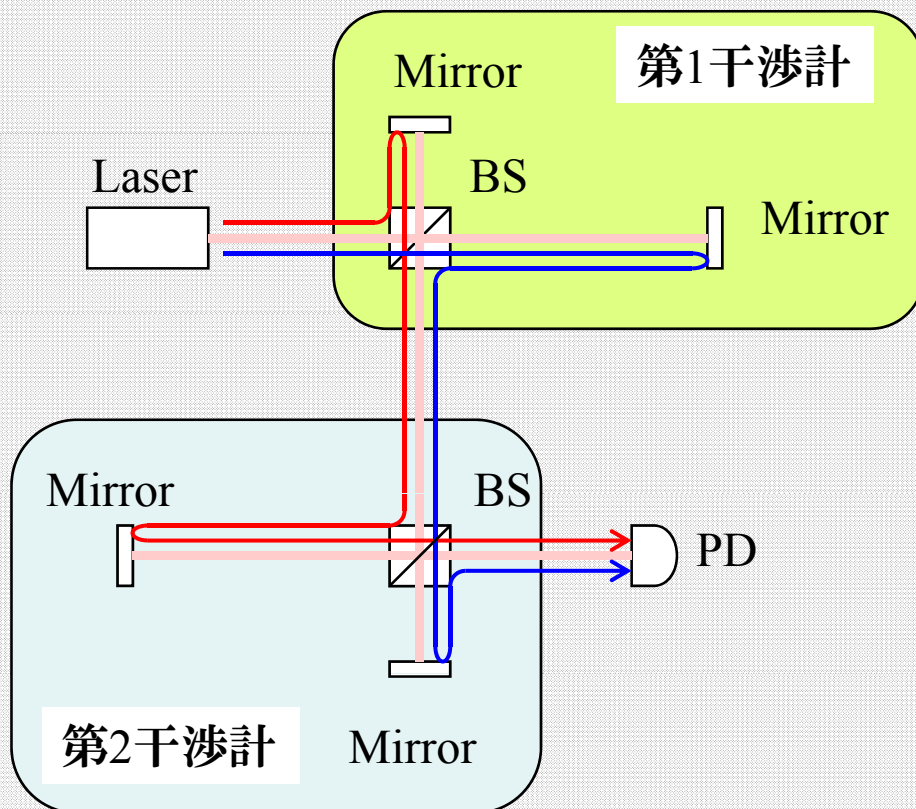
干渉が起こる光路

赤の光路と青の光路を通った光のみ

低コヒーレンス光源を使用することの重要性

コヒーレンス長の長い光源を用いると、第1干渉計だけで干渉してしまうので、タンデム干渉計の光源としては不向き

タンデム干渉計とは？



低コヒーレンス光源

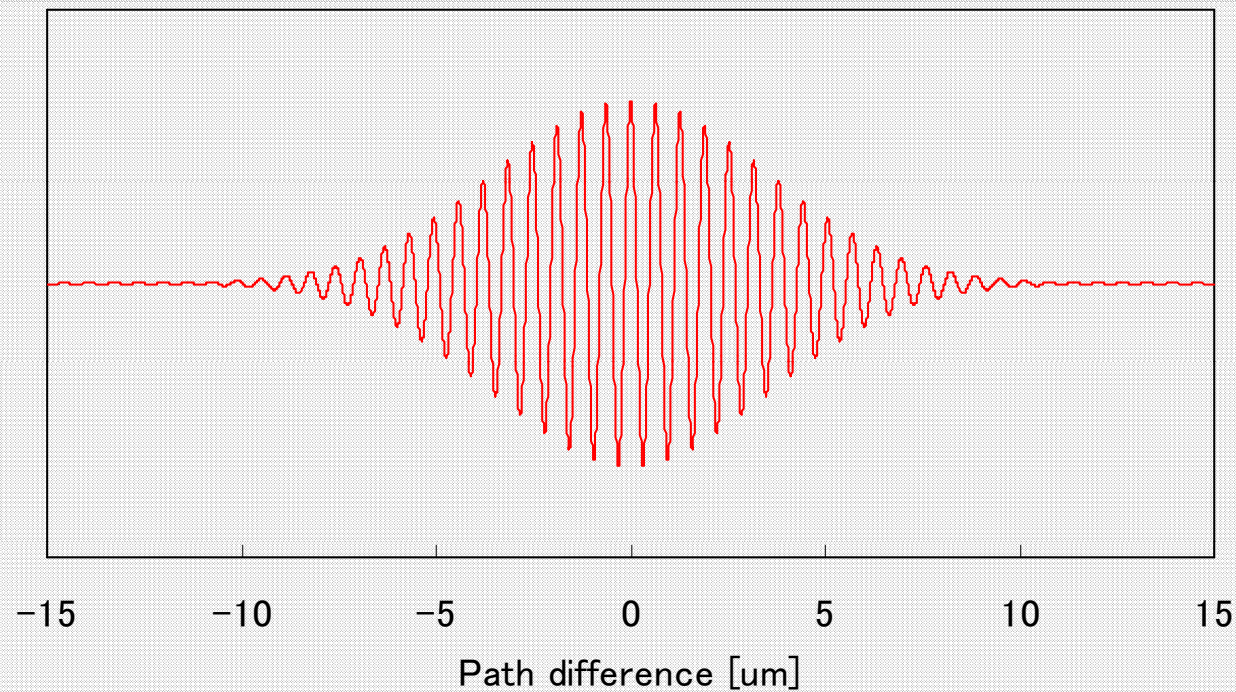
- 白色光源
- ➡ 4 μm 以内の光路差で干渉縞が生じる
- レーザーポインター(赤)
- ➡ 数百 μm くらいの光路差で干渉縞が生じる

メリット

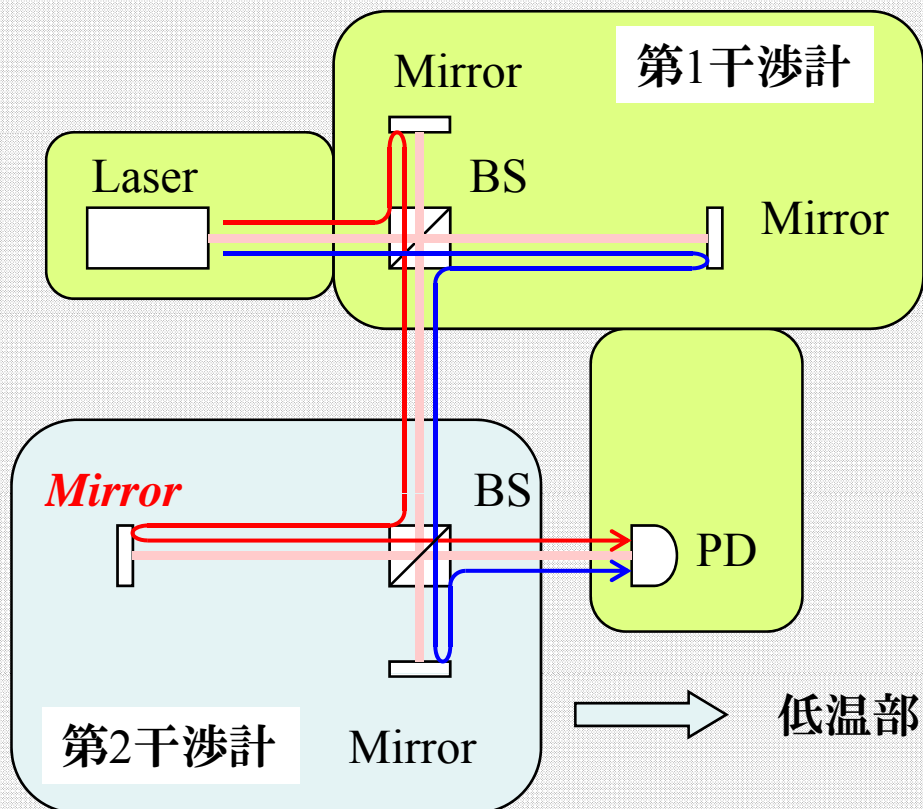
- 光源の波長の変動に鈍感
- 散乱光や迷光の影響を受けない

タンデム干渉計とは？

Fringe of Low-Coherence Interferometer



タンデム干渉計とは？



常温部
CLIOへのインストール

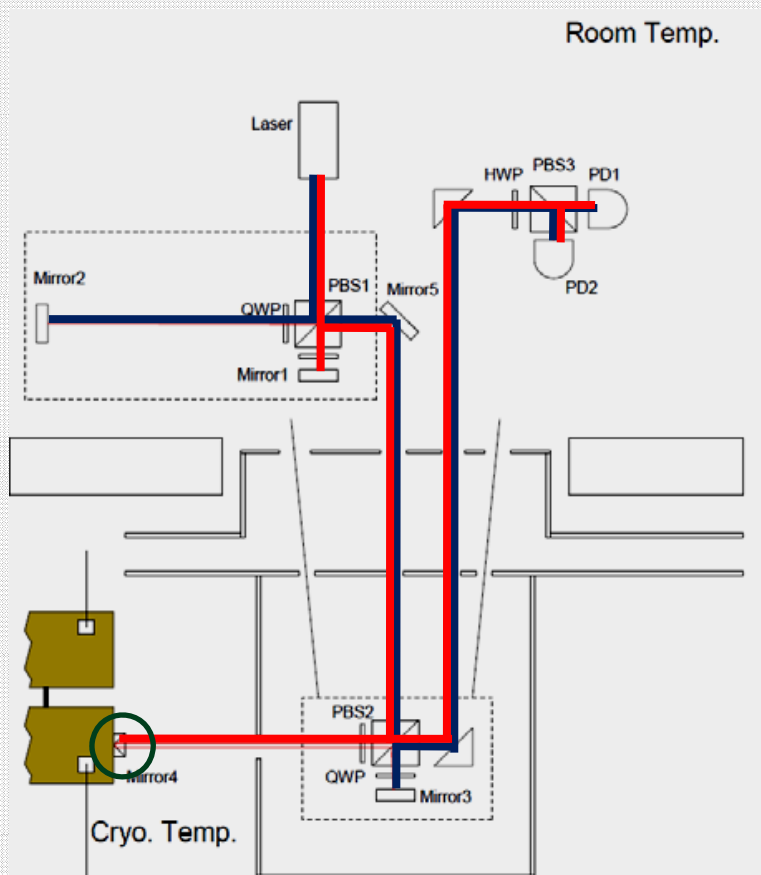
- 常温部
第1干渉計とレーザー、PDを置く
- 低温部
第2干渉計を置く

*Mirror*を中段マスにつけて、その揺れを検出

さらに、光の取り回しがしやすいように、偏光干渉計にして、CLIOに入れる

⇒ 次のスライド

解決方法(Local Control)

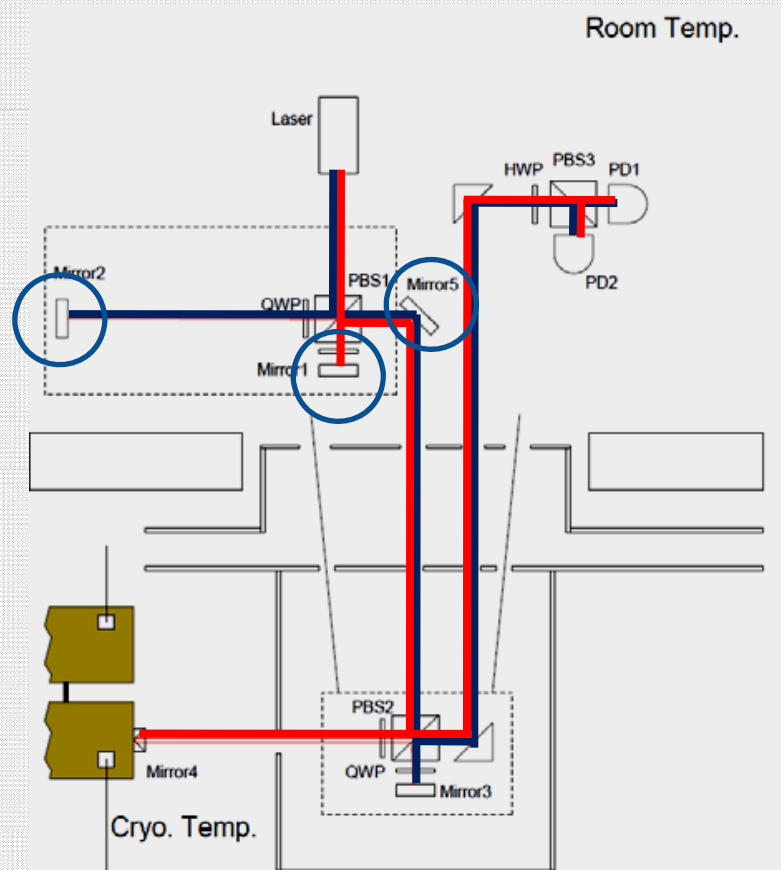


低温部に置かれる光学系

- クライオスタットの振動の影響を受けないように常温部から吊るす
- 振り子振動しないように、ワイヤーは斜めに張って吊るす
- 中段マスに付けるミラーは、中段マスの傾きに鈍感になるように、**コーナーキューブミラー**を用いる

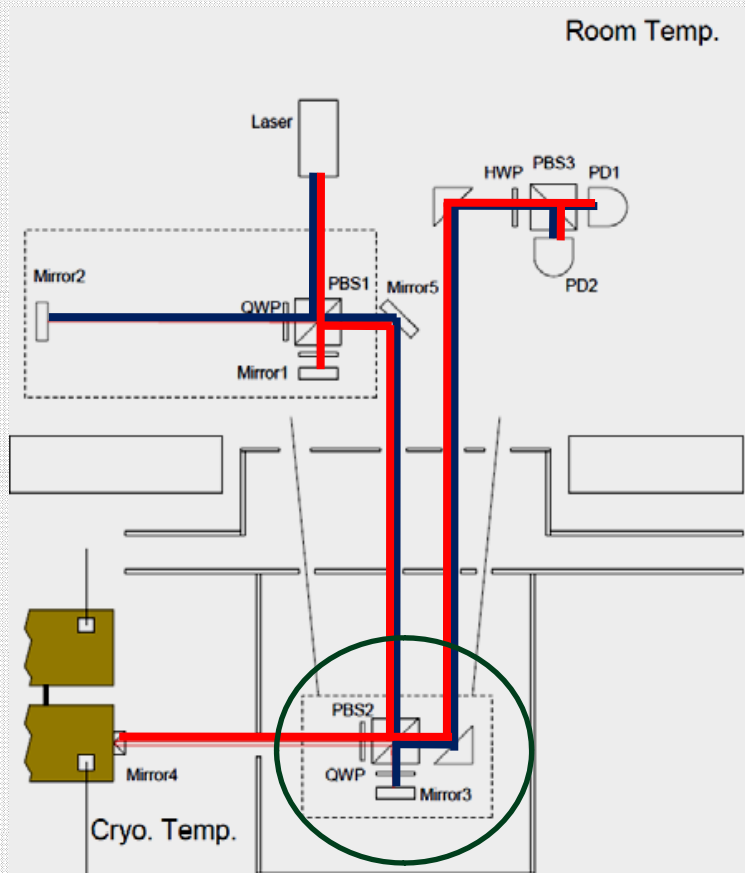
解決方法(Local Control)

干渉計の調整



- 吊るす常温部にステージを置いて、低温部の上下と回転ができるようにして、コーナーキューブミラーにビームが当たるようにする
- 干渉計のアライメントは常温部の3つのミラーで調整する

解決方法(Local Control)



冷却後の干渉計の調整

中段マスとテストマスの間のワイヤーの長さがmm単位で変化する



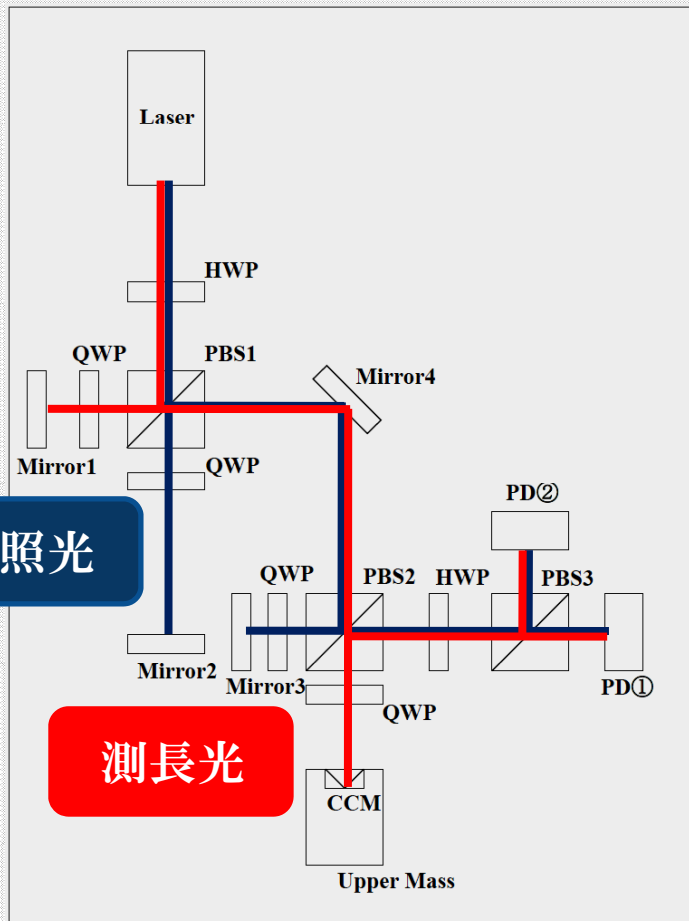
テストマスを良い位置にするために、中段マスの位置を変える



低温部の干渉計の位置を全体で動かす

低温部のミラーやPBSを個々に動かす必要は無い

動作実験



目的

CLIOでの作業をスムーズに行うために、
柏で実機を作ってテストをする

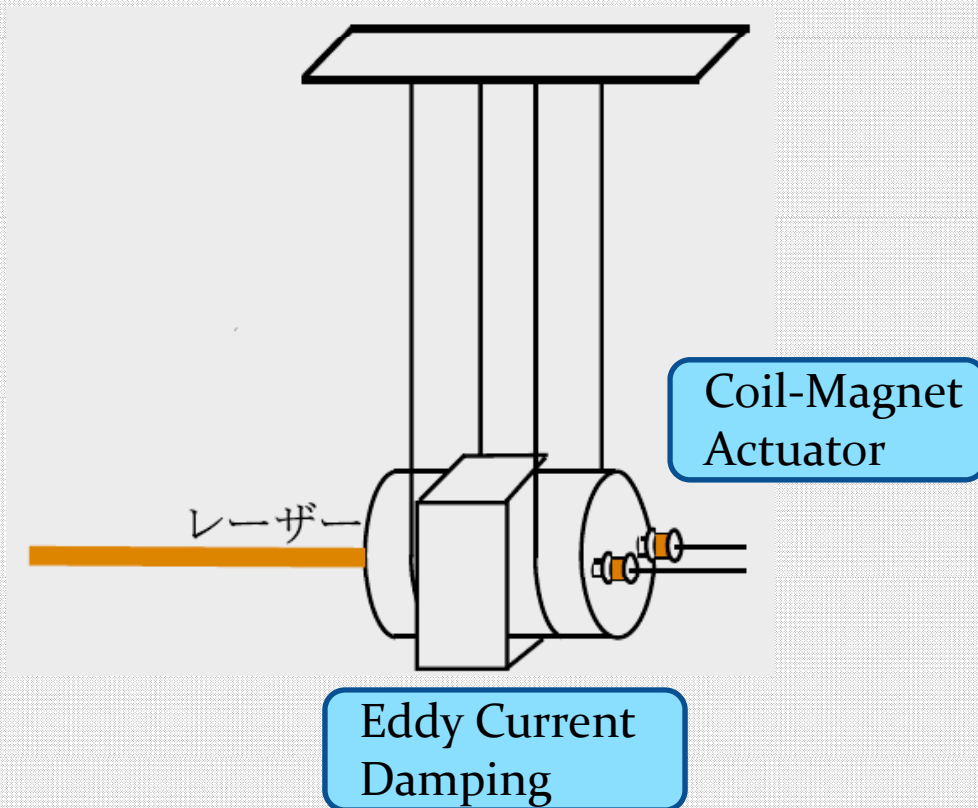
使用した光源

レーザーポインターとして使われている、
波長633nmの半導体レーザーで、5V
電源で光るようなもので、長さ37mm、
直径11mmの小さなもの

動作実験

使用した振り子

- 1段振り子
- マグネットダンピング
 - ↳ ある程度振り子の共振を抑える
- マグネットコイル力
 - ↳ 振り子の位置制御



動作実験

制御

PDの出力からDC成分を除去



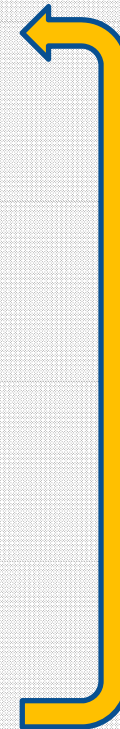
その干渉信号を誤差信号として利用



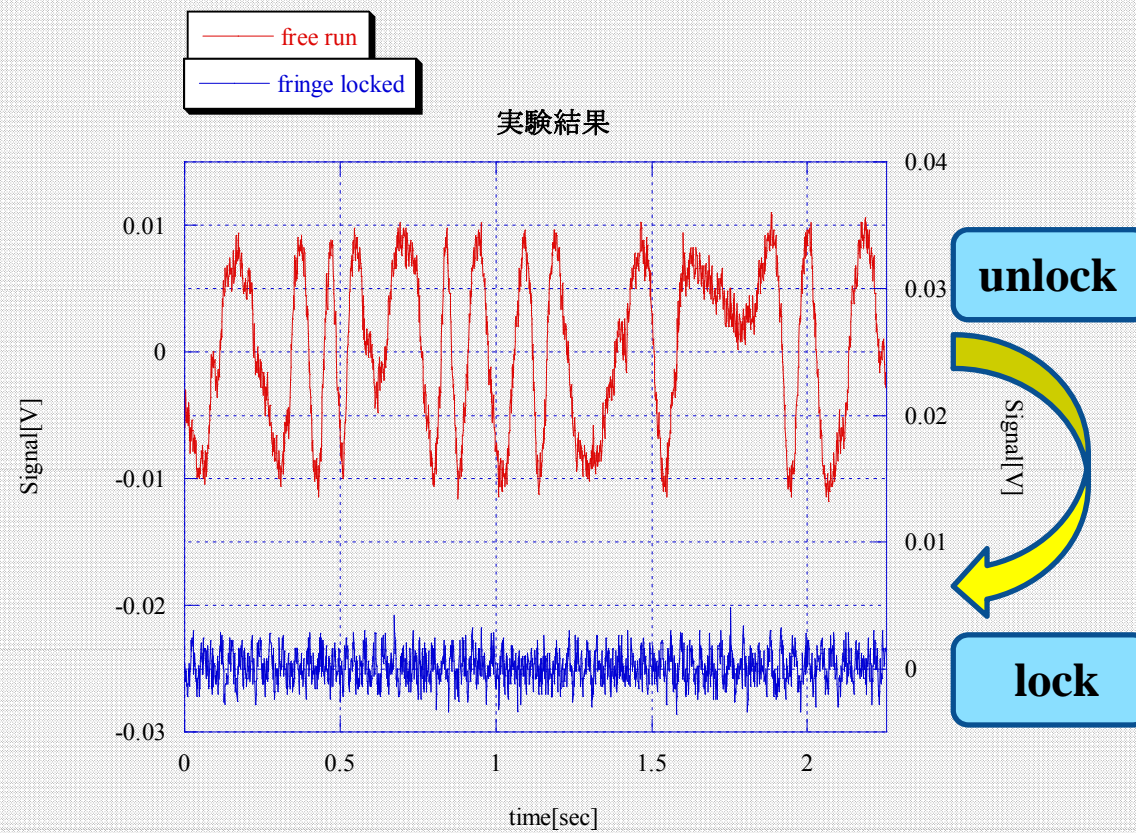
制御回路に通す



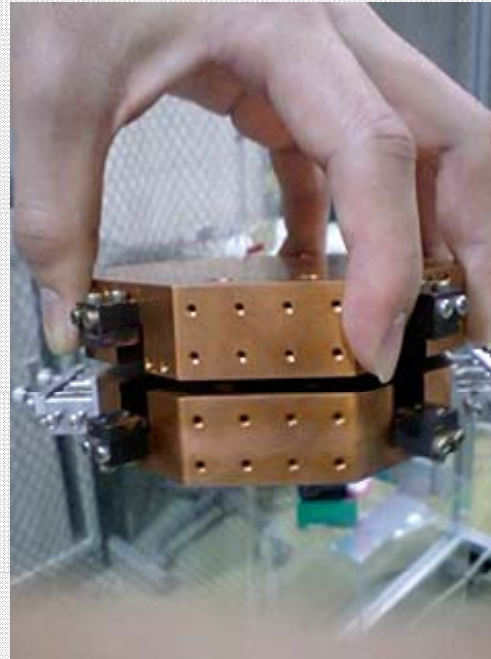
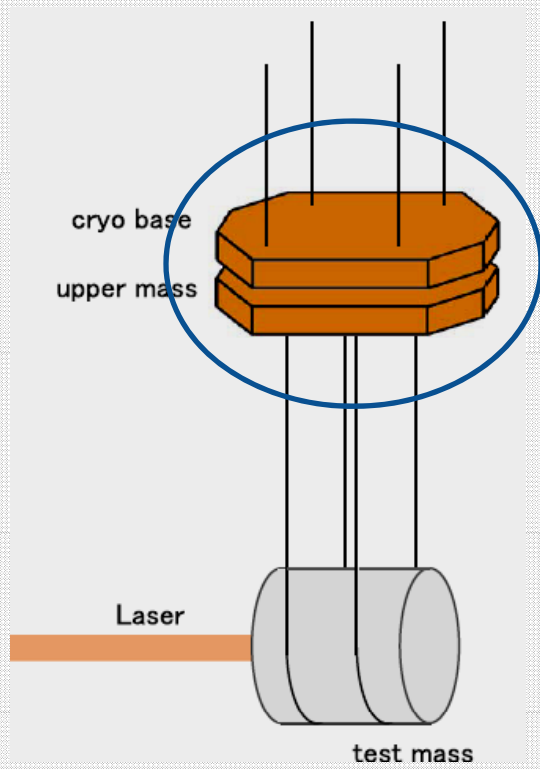
コイルドライバー回路を通じて力を加える



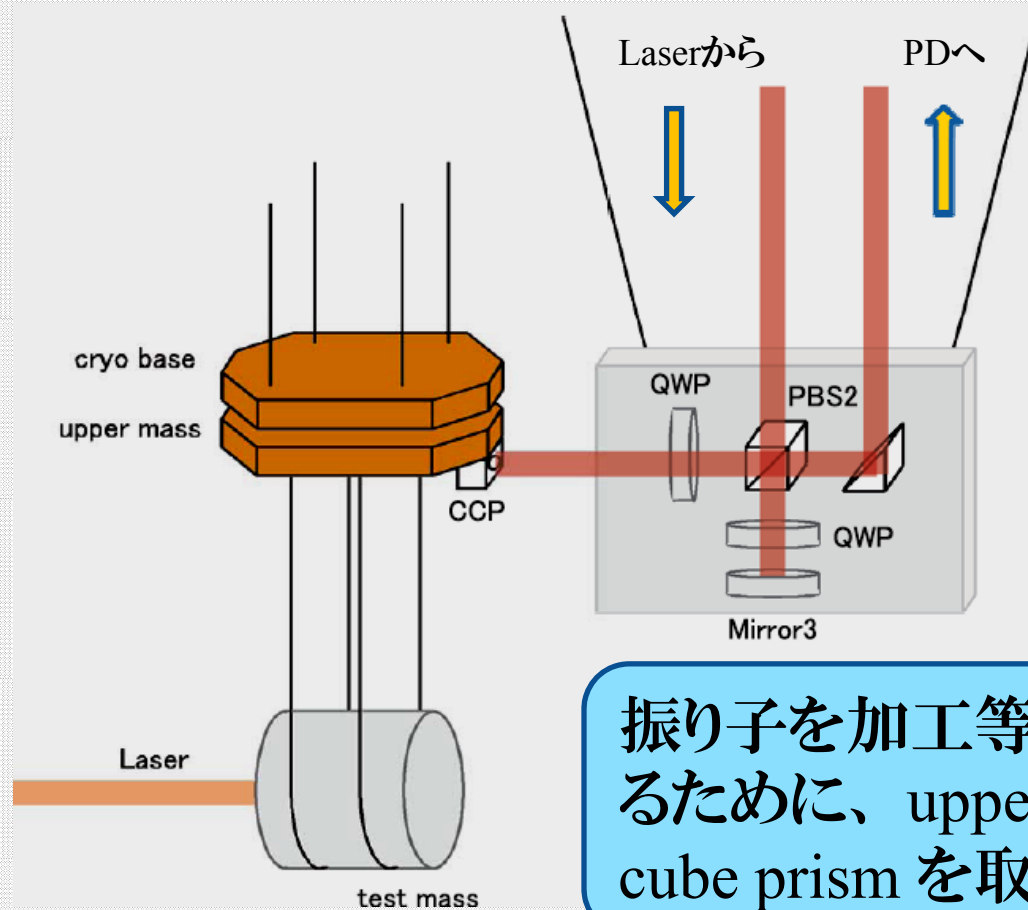
実験結果



CLIO振り子

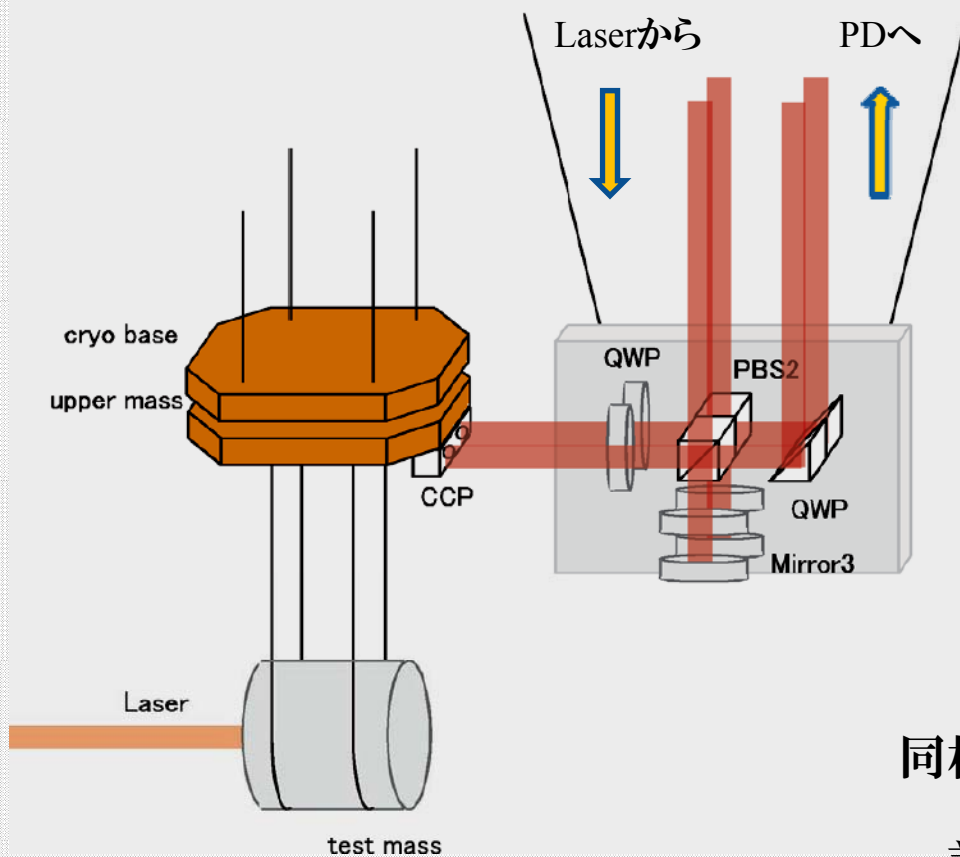


CLIO振り子



振り子を加工等することなく取り付けるために、upper mass の下に corner cube prism を取り付ける予定

CLIO振り子



CLIOでの制御対象

- 0.5Hzの光軸並進運動
- 2HzのYaw運動

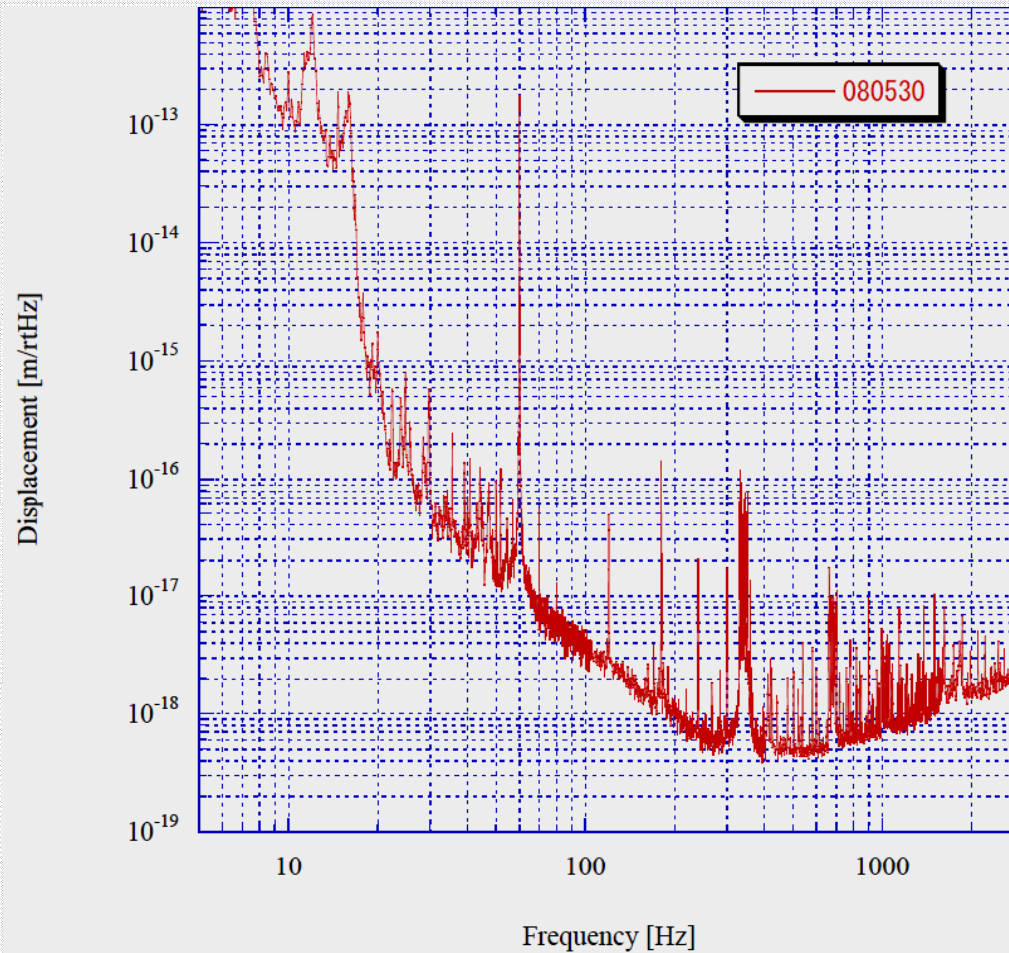
アッパーマスにcorner cube prismを2つ取り付ける(干渉計を2つ作成)

同相成分から光軸並進運動

差動成分からYaw運動

の情報を得る

Noise Spectrum



まとめ

- 現在CLIOでは鏡の揺れを低減させるために、新たなダンピング法が計画されている

干渉計を変位センサーとするローカルコントロール

- 現在のCLIOのタンク等の構造から干渉計を**タンデム干渉計**に選択
- Yaw運動をピックアップするため upper mass に2つの corner cube prism を取り付け、干渉計を2つ作成する
- ローカルコントロールすることで、地面振動による雑音をより抑えられることが期待されている