

# ワシントン大学帰朝報告



東京大学大学院 坪野研究室 岡田健志

重力波研究交流会 2011年7月20日

## 渡航の背景

地上での低周波重力波探査を目的としてねじれ振り子型重力波検出器が提案されている

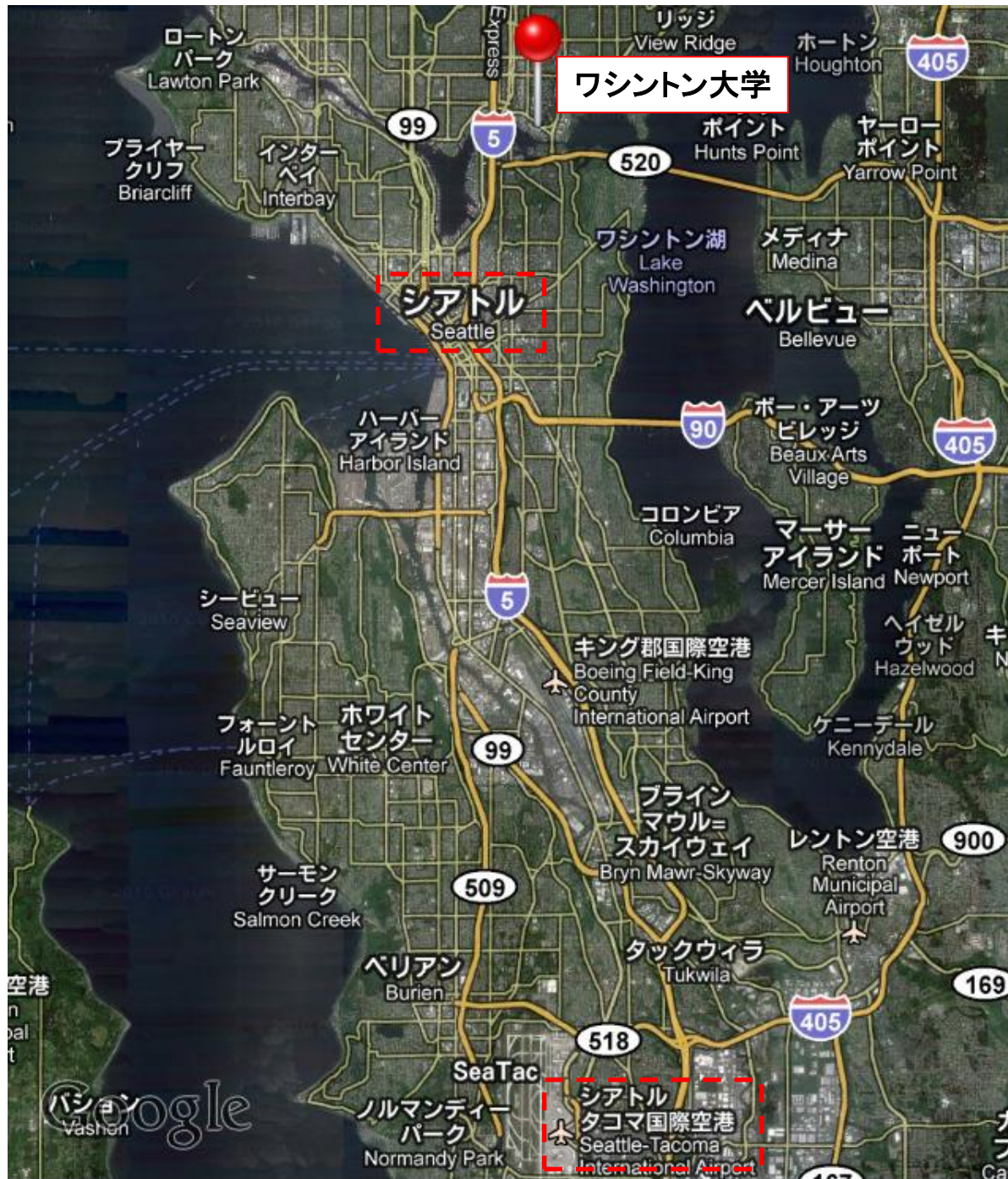
⇒ 十分な感度を得るためには低温にして熱雑音を下げることが重要

最近ワシントン大学の実験グループが低温のねじれ振り子実験を開始

⇒ この実験に参加

## 渡航の概要

- 渡航先: ワシントン大学
- 期間: 2011年6月7日~2011年7月6日
- 目的: 低温のねじれ振り子実験の技術を学ぶ
- 費用負担先: 東京大学物理学専攻 組織的な若手研究者海外派遣プログラム



# 場所

## 行き方

飛行機：

成田 → シアトルタコマ空港

電車：

空港 → シアトル繁華街

バス：

シアトル → ワシントン大学

## 気候

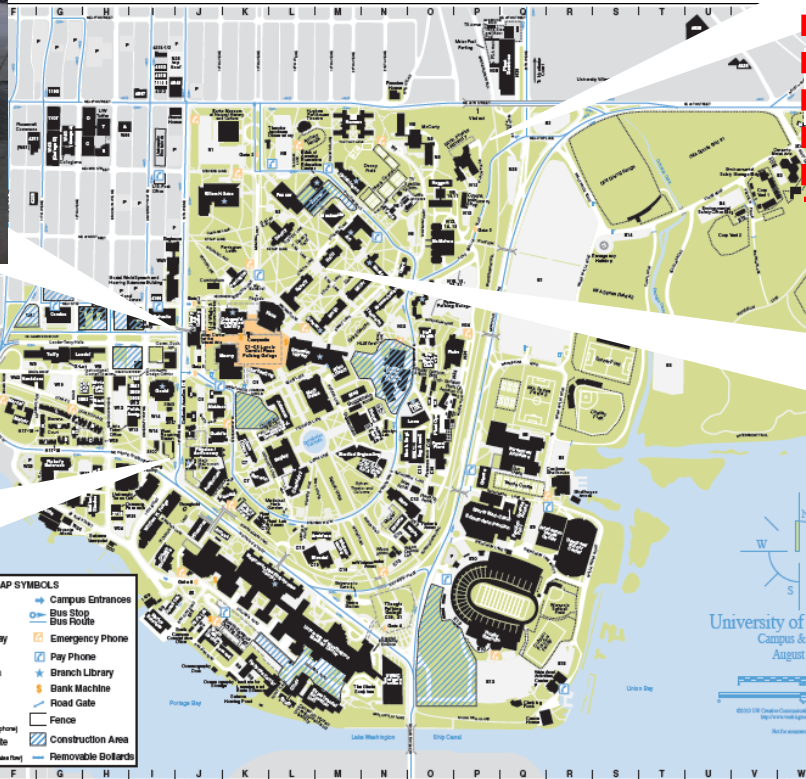
夏： 暑すぎずカラッとしている

冬： 寒すぎないが雨が多い

# University of Washington Campus Map



University Way



College inn



North Physics Laboratory  
→ CENPA



Quad

KEY TO MAP SYMBOLS

Building	Campus Entrances
Building (underground)	Bus Stop
Path/Sidewalk/Walkway	Bus Route
Bridge/Overpass	Emergency Phone
Campus Parking Area	Pay Phone
Public Parking Area	Branch Library
Parking (underground)	Bank Machine
Garage (with emergency phone)	Road Gate
Automatic Parking Gate	Fence
One Way Road (see blue arrow)	Construction Area
	Removable Bollards

# CENPA

(Center for Experimental Nuclear Physics and Astrophysics)

---

- Fundamental Symmetries and Weak Interactions

→ torsion balance experiments

(Eöt-Wash Group)

- Accelerator based physics
- Neutrino Research
- Axion Research
- Muon Physics



# お世話になった人々

---



- **Eric Adelberger**, Emeritus Professor



- **Frank Fleischer**, Research Associate

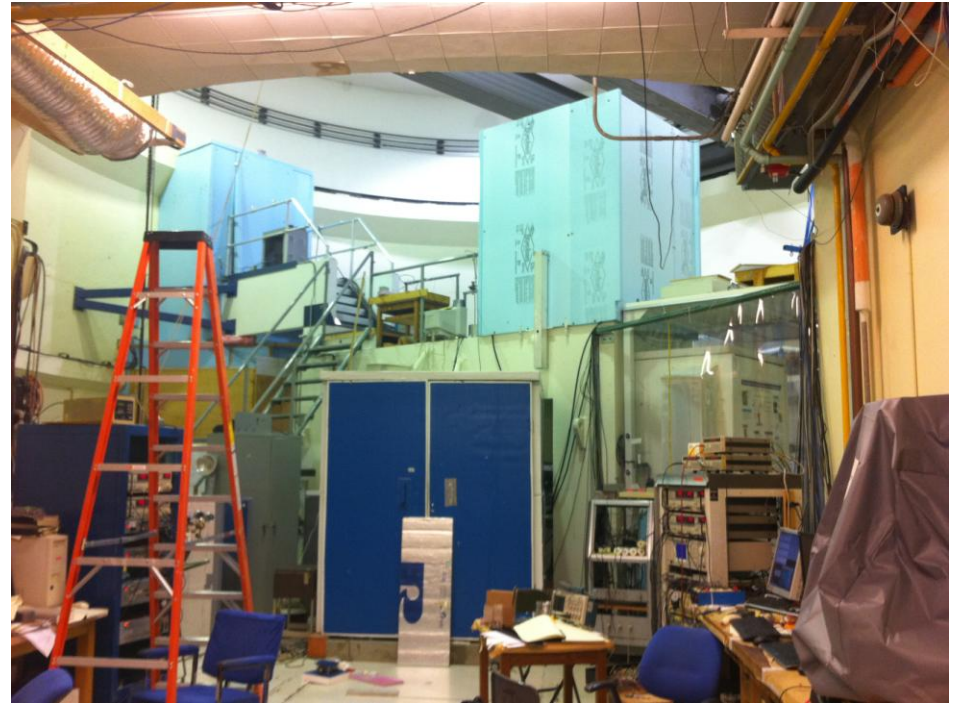
- **Diana Parno**, Postdoc

- **Sanshiro Enomoto**,  
Research Assistant Professor

# Eöt-Wash Groupの実験室



今回の実験装置周辺(正面)

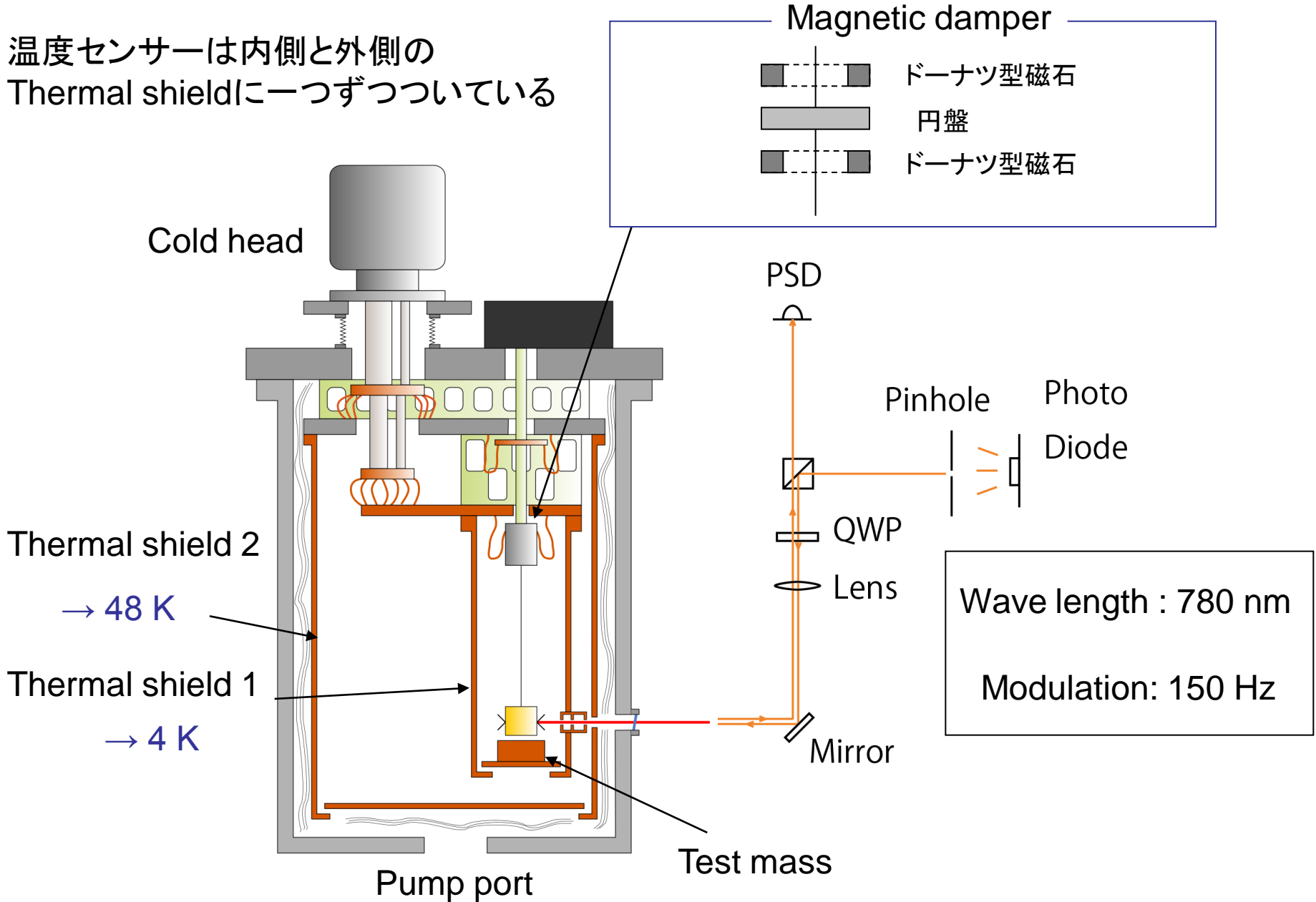


他の実験装置(右側)

- ・ 以前はサイクロトロンがあった部屋
- ・ 実験装置の多くは壁に固定され地面振動を低減している

# 低温のねじれ振り子の実験

温度センサーは内側と外側の  
Thermal shieldに一つずつついている

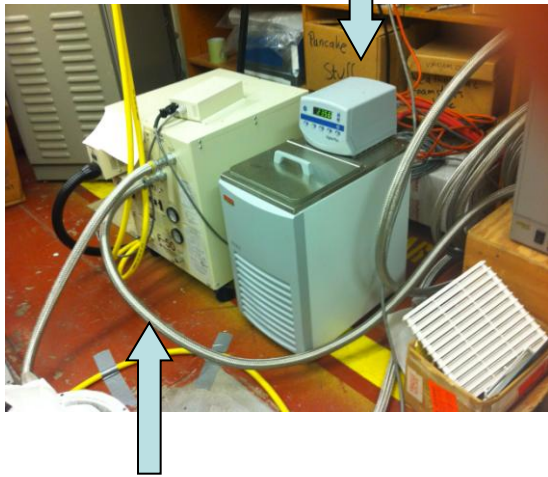




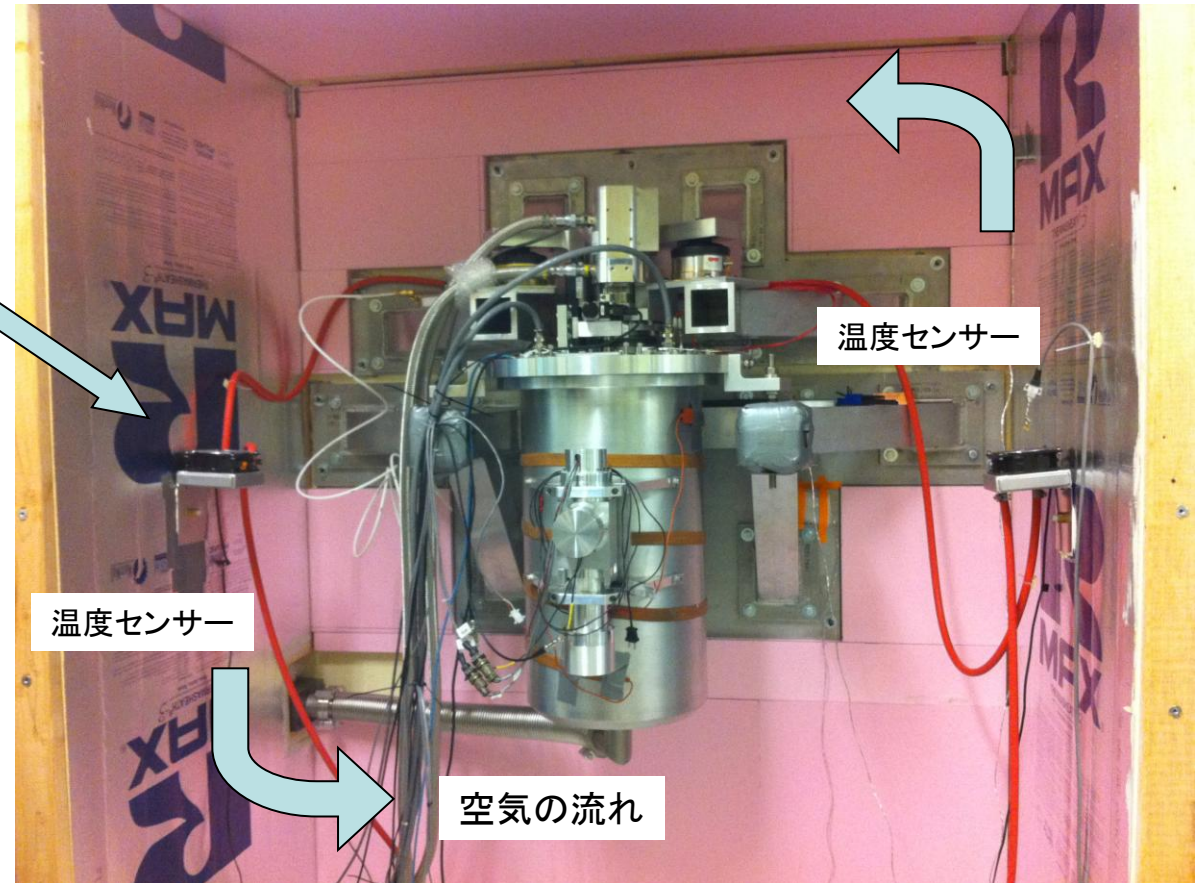
# 装置の全体の様子

温度制御

精度: 10 mK



Helium compressor  
(10 kW with water cooler)



- ・ 赤いホースで水を送っている
- ・ ファンの部分で水が細い管を通っており、空気の温度を水の温度で制御

Cold head

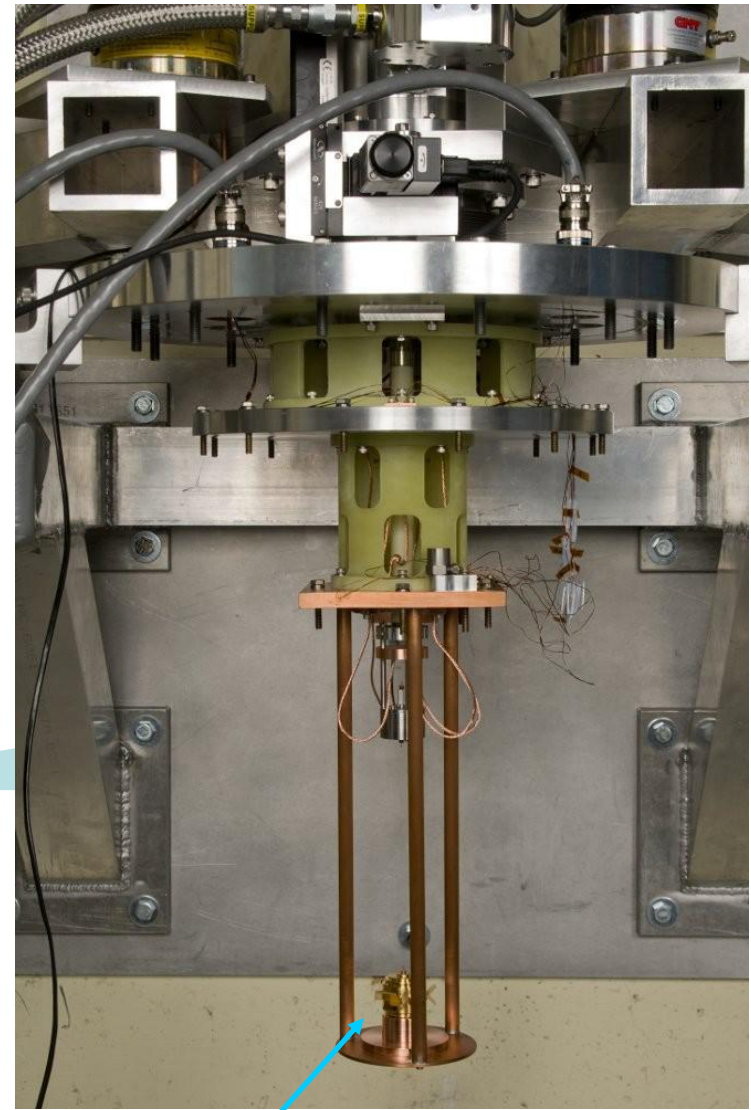
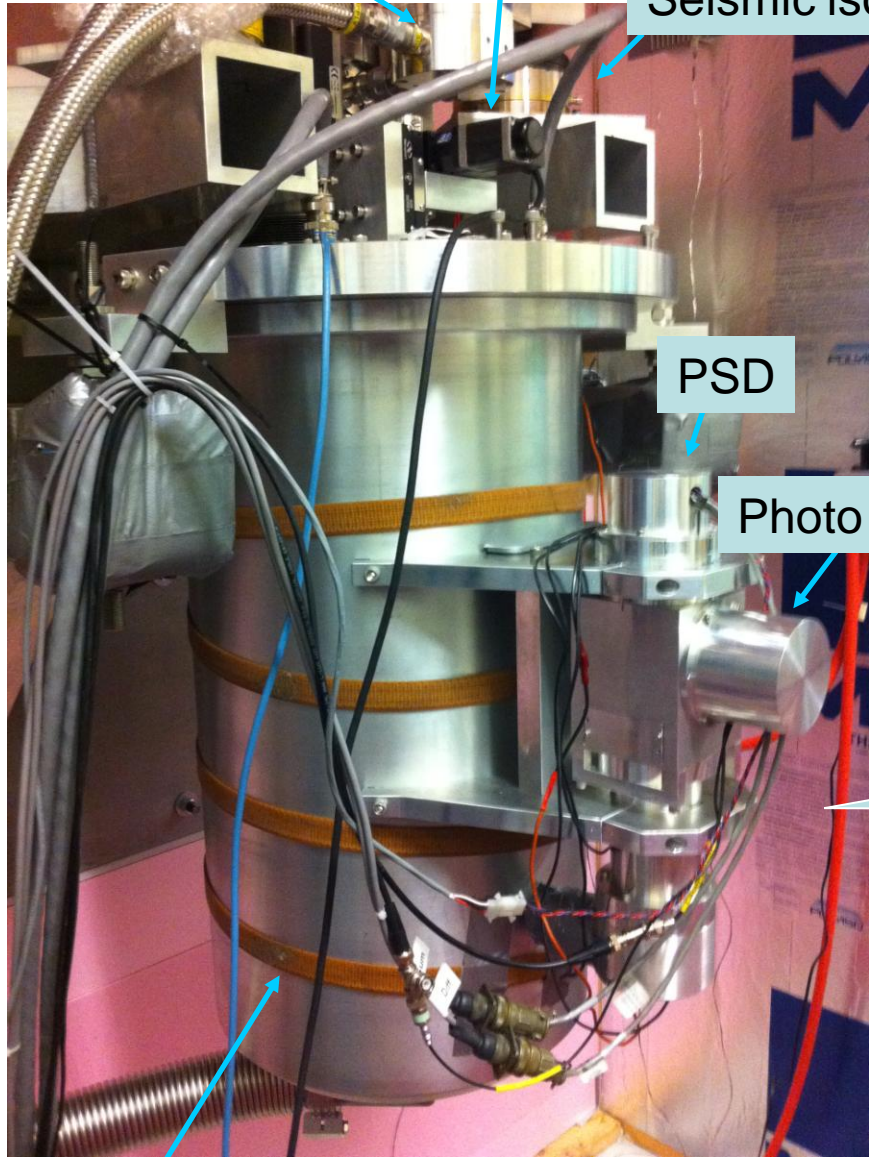
Rotator of pendulum

Seismic isolation

PSD

Photo diode

Heater



Test mass

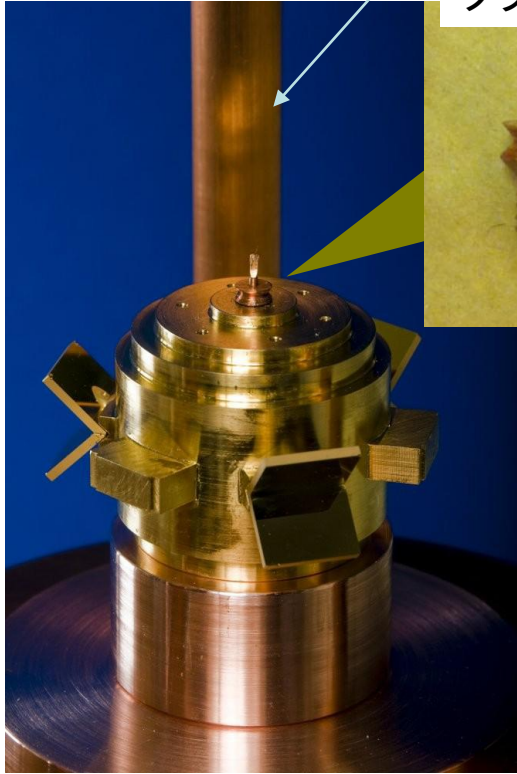
# テストマス

以前のテストマス

タングステンワイヤー  
 $\phi 20\mu\text{m}$

クランプ部

←ここをしぼって固定



ミラーとアルミの収縮率の違いで  
低温でミラーがはずれる

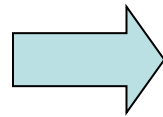
新しいテストマス



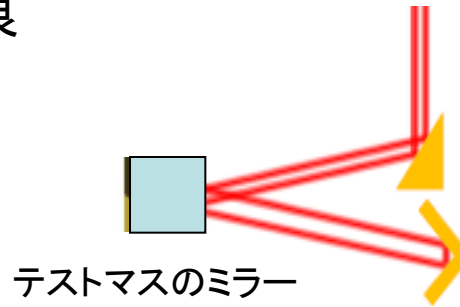
鏡はばねで固定



重さ: 77g  
大きさ: ~3 cm



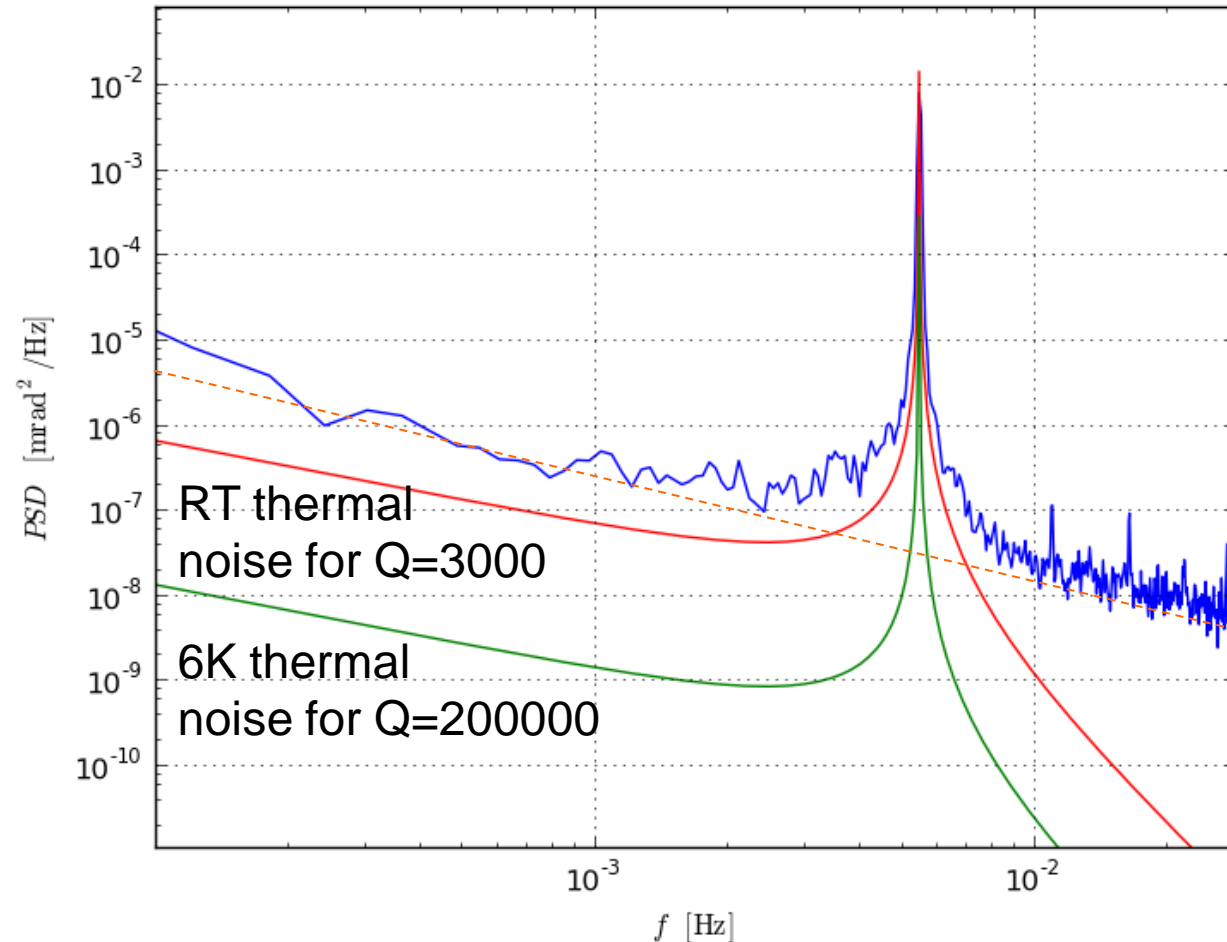
改良



テストマスのミラー

L字ミラーを使うことで  
並進方向の揺れが  
効かなくなる

# 回転の雑音スペクトル



熱雑音：

$$\phi = \frac{1/\kappa}{(1-f^2/f_0^2)+i/Q} \tau(f)$$

揺動散逸定理より

$$S_{\tau}(f) = \frac{4k_B T \kappa}{2\pi Q f}$$

光学系のノイズ

課題

1. 光学系のノイズのせいで熱雑音があがっても直接測定できない
2. 低温に冷やした後少しずつQ値が悪化  
Q : 9000 → 3800 (数週間で)

# COMSOLによる温度シミュレーション

室温のテストマスが熱放射とワイヤーの熱伝導により冷却される

COMSOL Multiphysics 4.1

温度が高いときは熱放射が、低いときはワイヤーからの熱伝導がdominantになる

## シミュレーションの設定

- ・ 初期設定

Initial value : Temperature 293.15 [K]

- ・ 熱放射

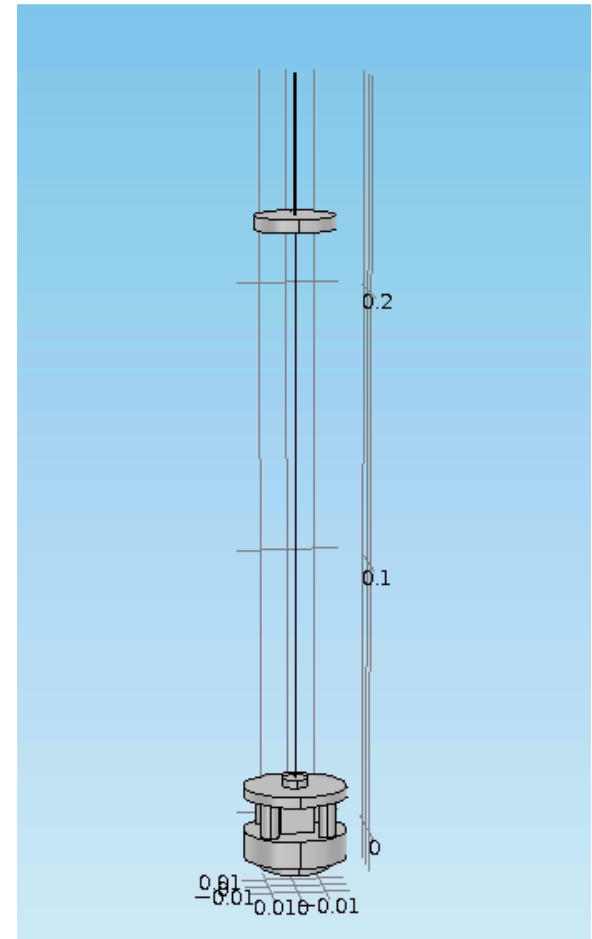
Radiation : ambient temperature 4 [K]

- ・ ワイヤーの熱伝導

Temperature : 4 [K] (Top of the wire)

- ・ レーザーによる熱流入

Heat flux :  $10 \mu\text{W} \times 4\%$  (暫定)

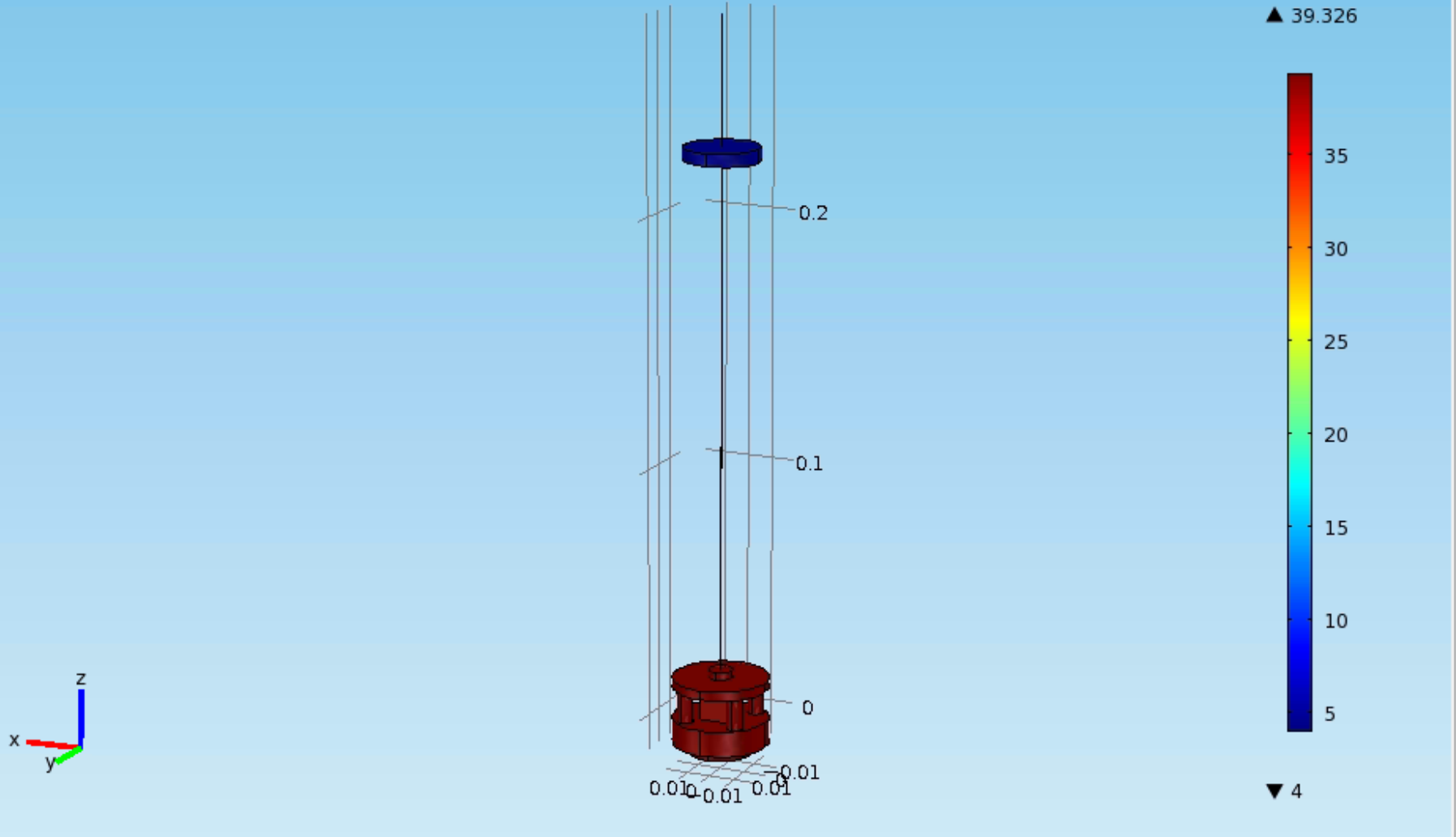


# 100時間後のテストマスの温度

Time=3.60001e5 Surface: Temperature (K)

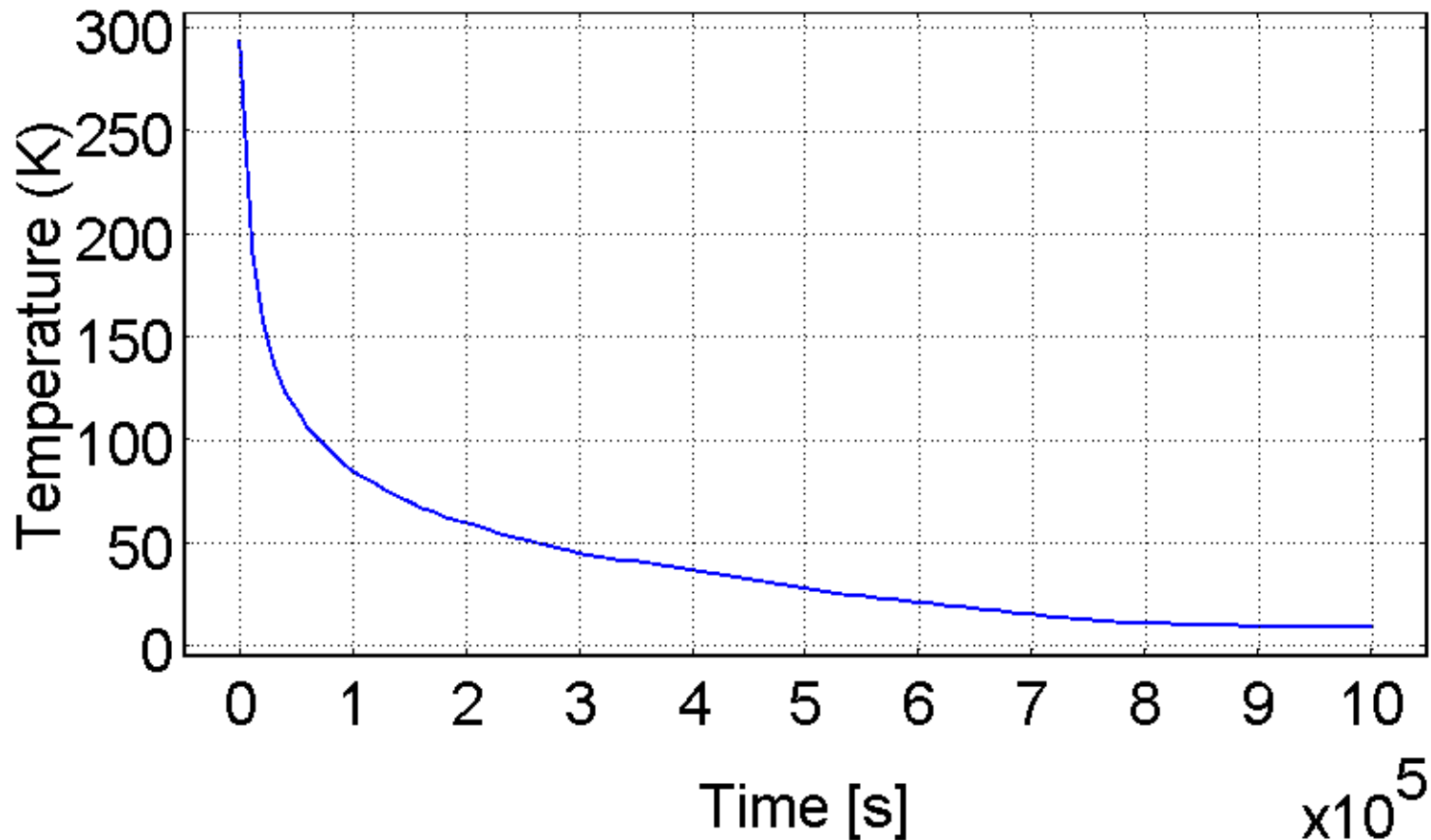
COMSOL MULTIPHYSICS

▲ 39.326



→100時間後で40 K程度

# テストマスの中心付近での温度変化



- ・ 熱平衡に達するには200時間程度かかるという結果に
- ・ 最終的な温度はレーザーによるHeat flux で決まる (100 $\mu$ W  $\times$  4%で9K)
- ・ 実際にはクランプ部の熱伝導率がわかっていないためさらに時間がかかる可能性あり

# 実験進行状況

注：ここでの温度は内側のThermal shieldの温度

## 到着前

- ・ 5月ごろ:  
室温でも5 KでもQが3000程度  
地球磁場の数倍程度の磁場をかけるとQが1100  
→磁気シールドを導入(真空チャンバーと外側のThermal shieldの間)
- ・ 5/31: Q: 3900
- ・ 6/2 : 冷却開始

## 到着(6/7)後

- ・ 6/7: Q 9000
- ・ 6/8 : レーザーパワーを1/10程度に Q: 5500
- ・ 6/13: ヒーターで少し温度を上げる (23 K) Q: 3450
- ・ 6/14: 再び5K Q: 4400
- ・ 6/17: 一度100Kまで温度を上げ再び5Kに Q: 3800
- ・ 6/24頃: 真空計の表示する圧力が悪化していることに気づく ( $10^{-3}$ mbar)
- ・ 6/29: 真空チャンバーを開け中を見る
- ・ 6/30: 別の真空計に交換すると $10^{-6}$ mbarに
- ・ 7/5: 室温 Q: 3900

## 帰国(7/6)後

- ・ 7/10頃: 5K Q: 2600

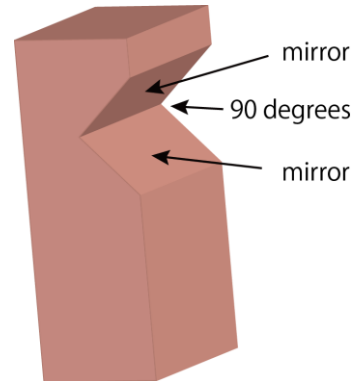


# 真空チャンバーを開けたときの様子



- ・ L字ミラーのGold coat がはがれていた

→ 実際はL字ミラーを使わず直接反射していた



今後は左図のようなミラーを作る予定  
(素材はberyllium Copperが候補)

- ・ テストマスの中の受け皿がずれていた

→ おそらく真空引き時の空気力で動いた

# まとめと今後の課題

---

目的： ねじれ振り子を低温に冷やして熱雑音を下げる

現状： 低温に冷やしてもQ値が理論値ほど良ならず、  
なぜか悪化していった

今回の渡航で自分が主に行ったこと：

COMSOLを用いた温度シミュレーションを行い、テストマスが冷える  
のにかかる時間が想定より長くなるという結果を示した

しかし他の何かの原因でQ値が悪化しているよう

今後： Q値の悪化の解明

光学系の雑音の低減

Eöt-Wash Groupの他の実験の紹介

微小距離の重力測定による余剰次元探査実験

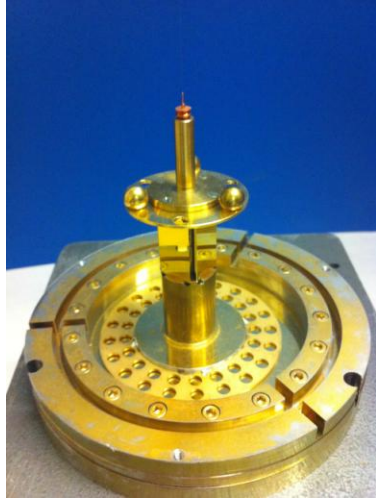
# Short Range Test of Newton's Gravitational Inverse Square Law

補正項を含めた重力ポテンシャル

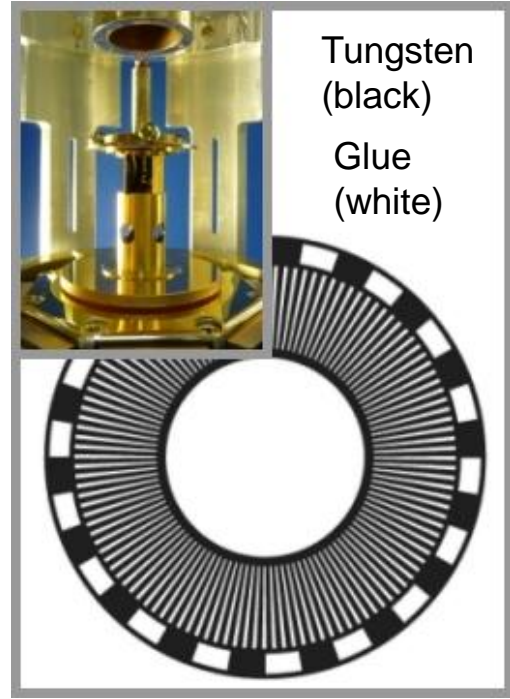
$$V = -\frac{GMm}{r} (1 + \alpha e^{-r/\lambda})$$

余剰次元が存在すればこのような重力の逆二乗則からのずれが生じる

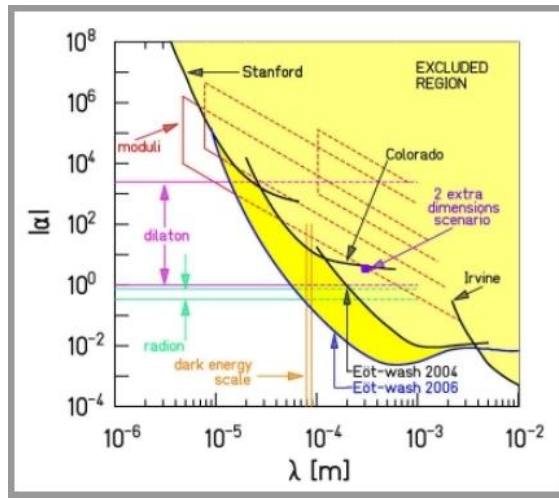
以前のテストマス



新しいテストマス

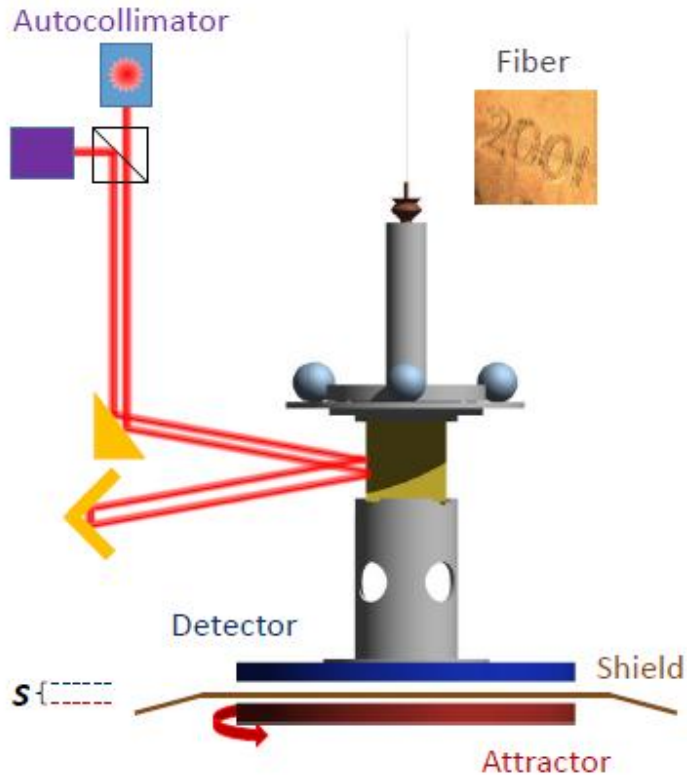


重力の逆二乗則からの破れが見つからなかった領域(右図)

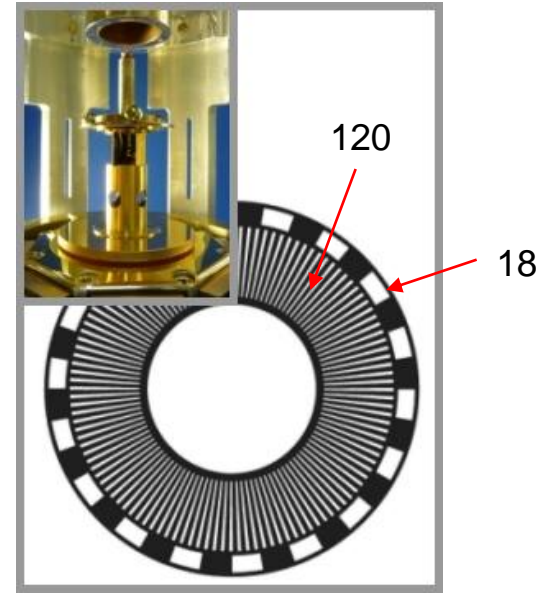


テストマスの穴の形状を変えさらに上限値を更新する見込み

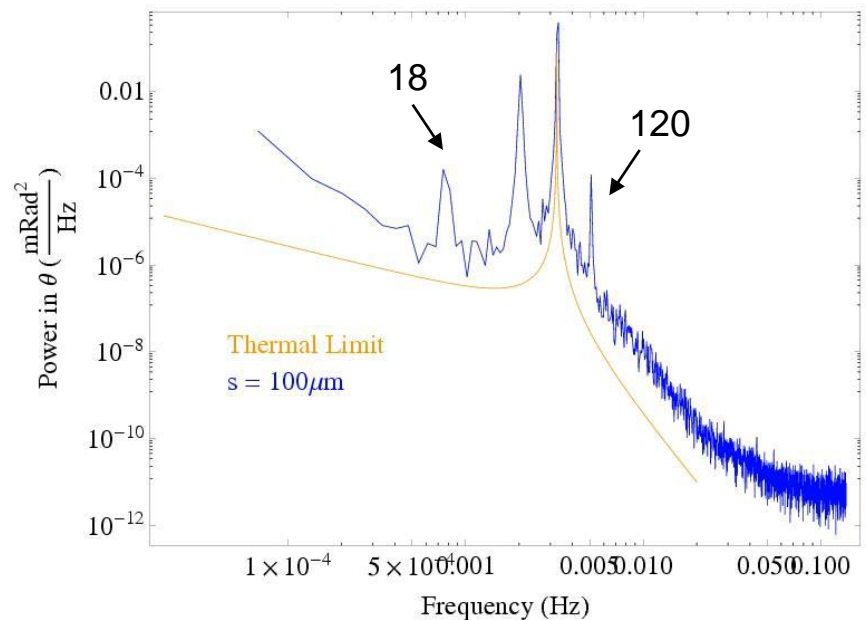
# 実験の原理



アトラクターが回転しアトラクターとテストマスの穴によるプラスの重力によりテストマスにトルクが働く



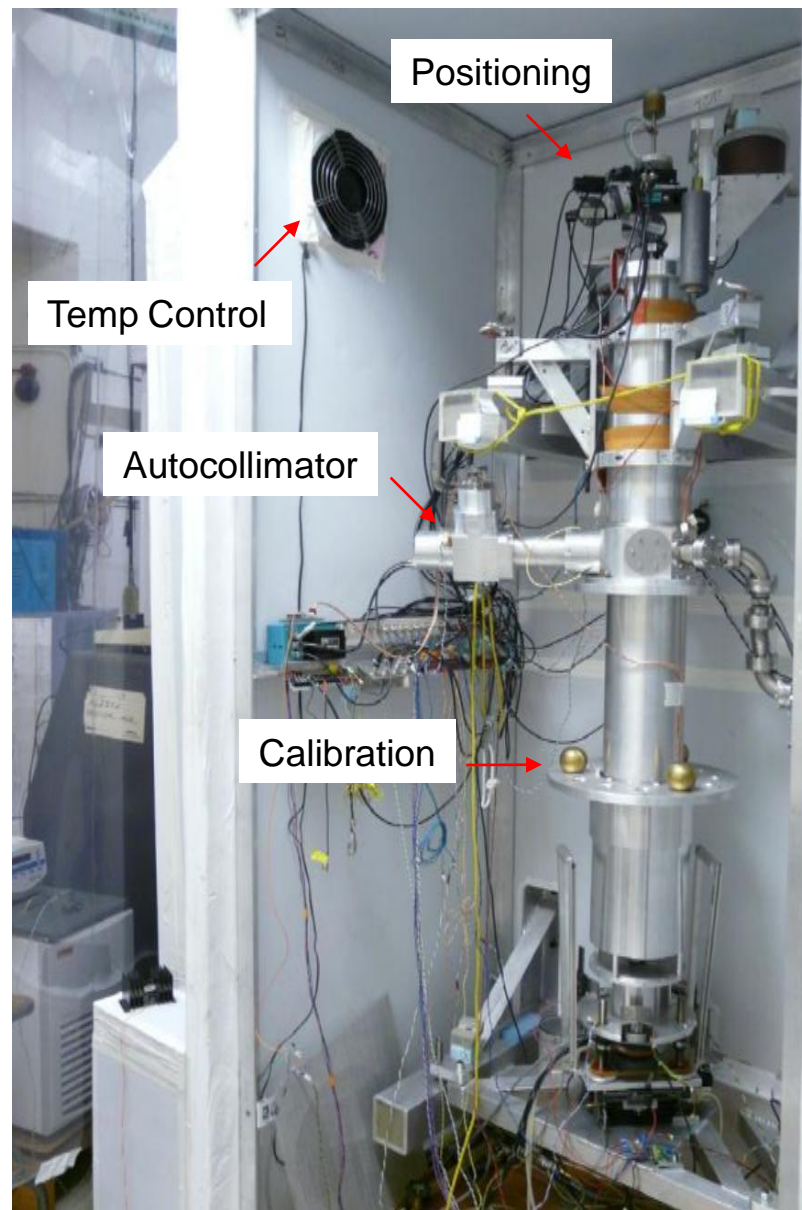
Fourier Transform of Pendulum Twist



# 装置の様子

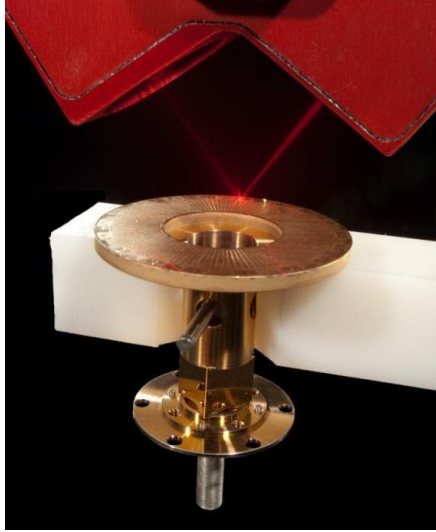


温度制御用  
ウォータークーラー



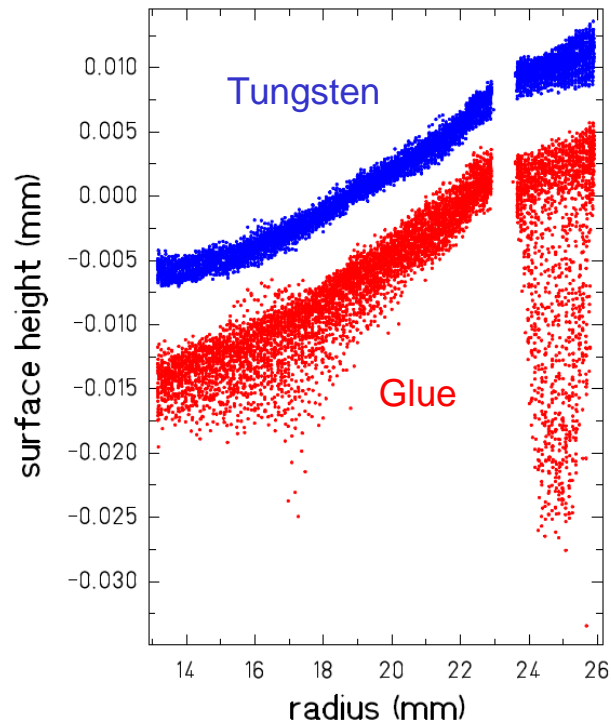
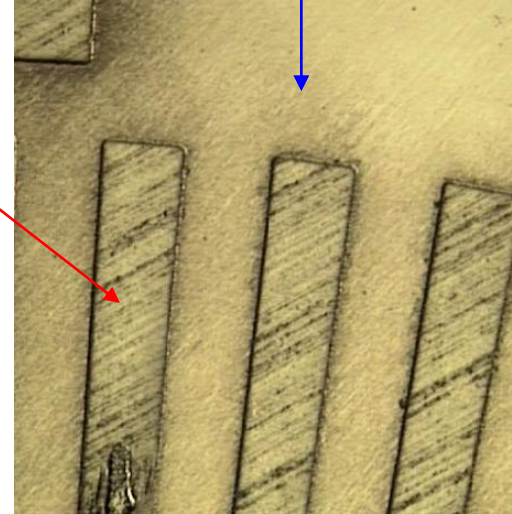
# レーザーสแกนによるテストマス表面の形状の測定

レーザー  
スキャン  
の様子



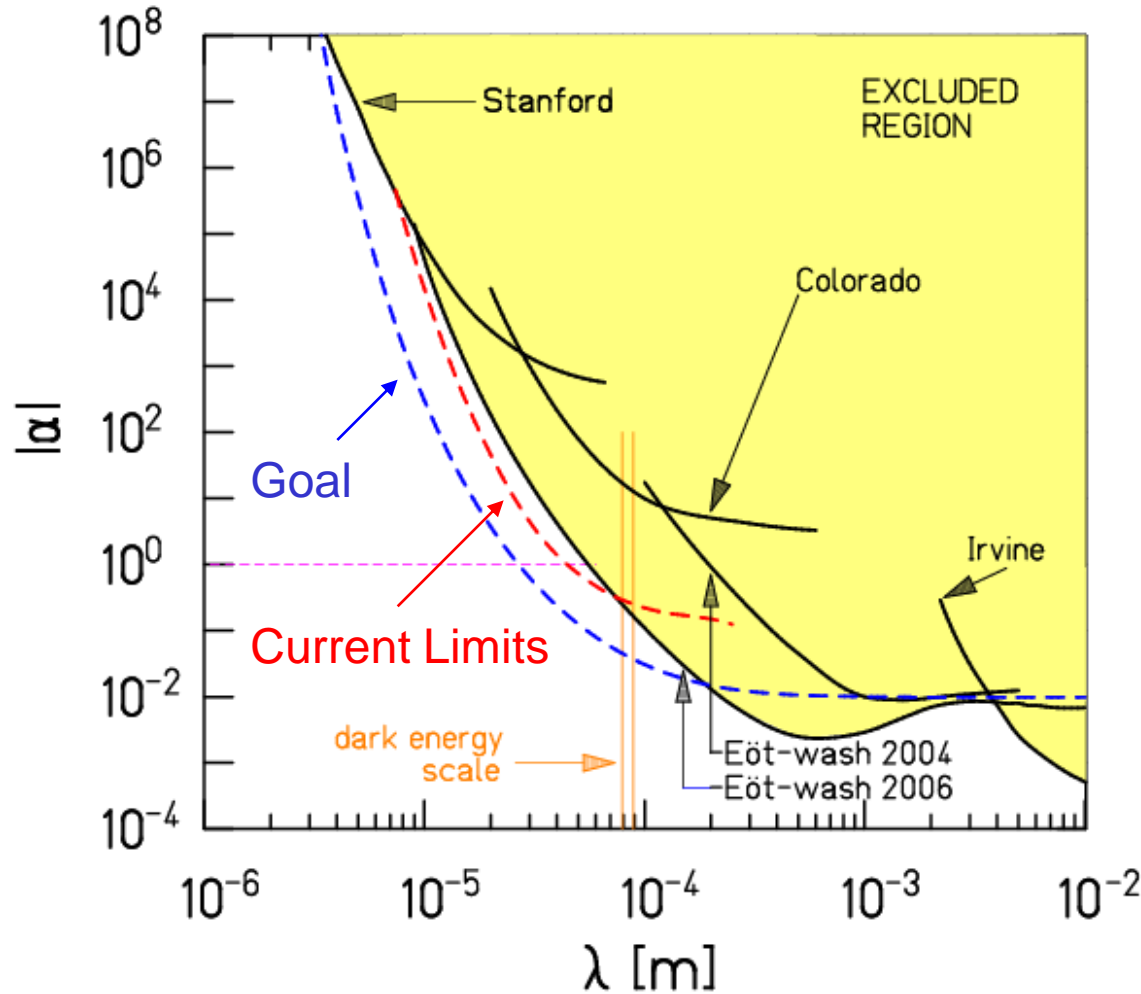
Tungsten

Glue



- Glueのところがややへこんでいる
- 外側の方が垂れ下がっている

# 今後の展望



現時点では上下方向の振動が  
リミットしているそうだが、  
青線のところまでは到達可能と  
考えられている

テストマスを低温に冷やすと  
さらなる感度が期待できそう



**End**