

100m低温プロトタイプ CLIO

2012/7/7(土) 富山大学五福キャンパス

東大宇宙線研 宮川 治



KAGRAを特徴づける次世代重力波干渉計の技術

1. 低温鏡による熱雑音の低減 -> CLIOで検証
2. 地下という低地面振動環境 -> CLIOで検証
3. RSEという複雑な光学設定
 - デジタル制御 -> CLIOで開発検証
4. ハイパワーレーザー -> 東大新領域で開発検証
5. 低周波防振 -> TAMAで開発検証

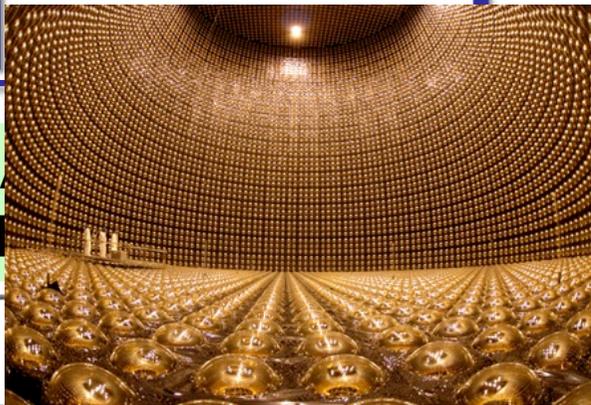
CLIO: KAGRAのためのプロトタイプ干渉計として重要な役割を担ってきた



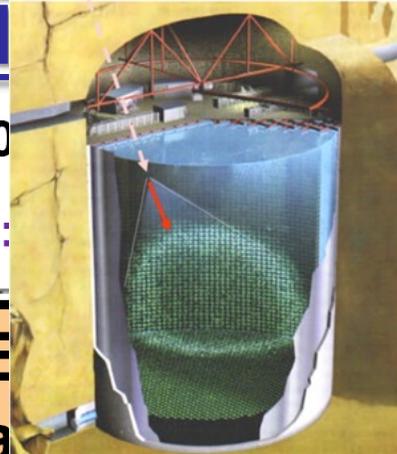
Kar

XMASS
(Mar. 20

CA
(M



Super-Kamiokade

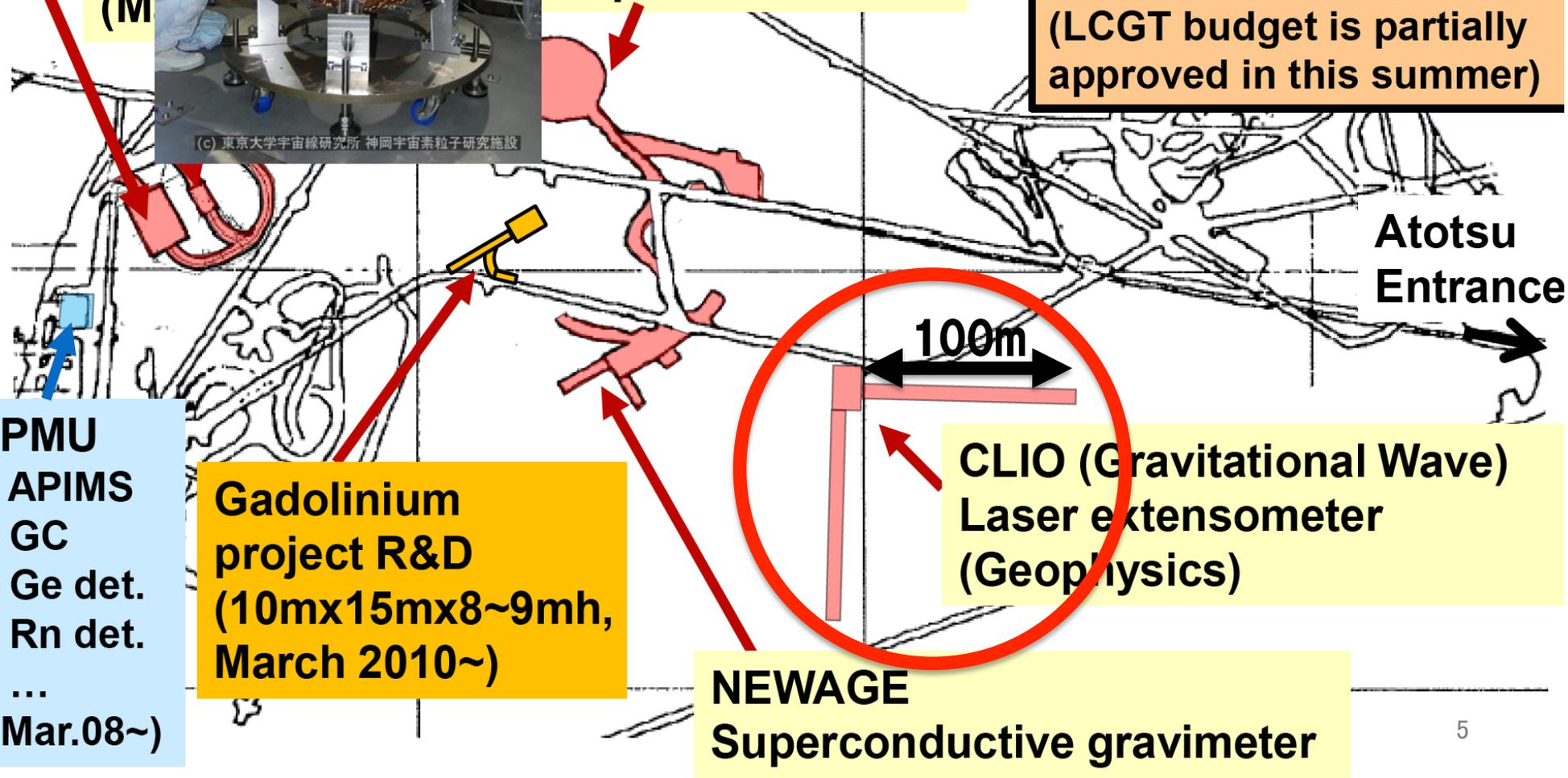


(LCGT budget is partially approved in this summer)



yo.ac.jp/

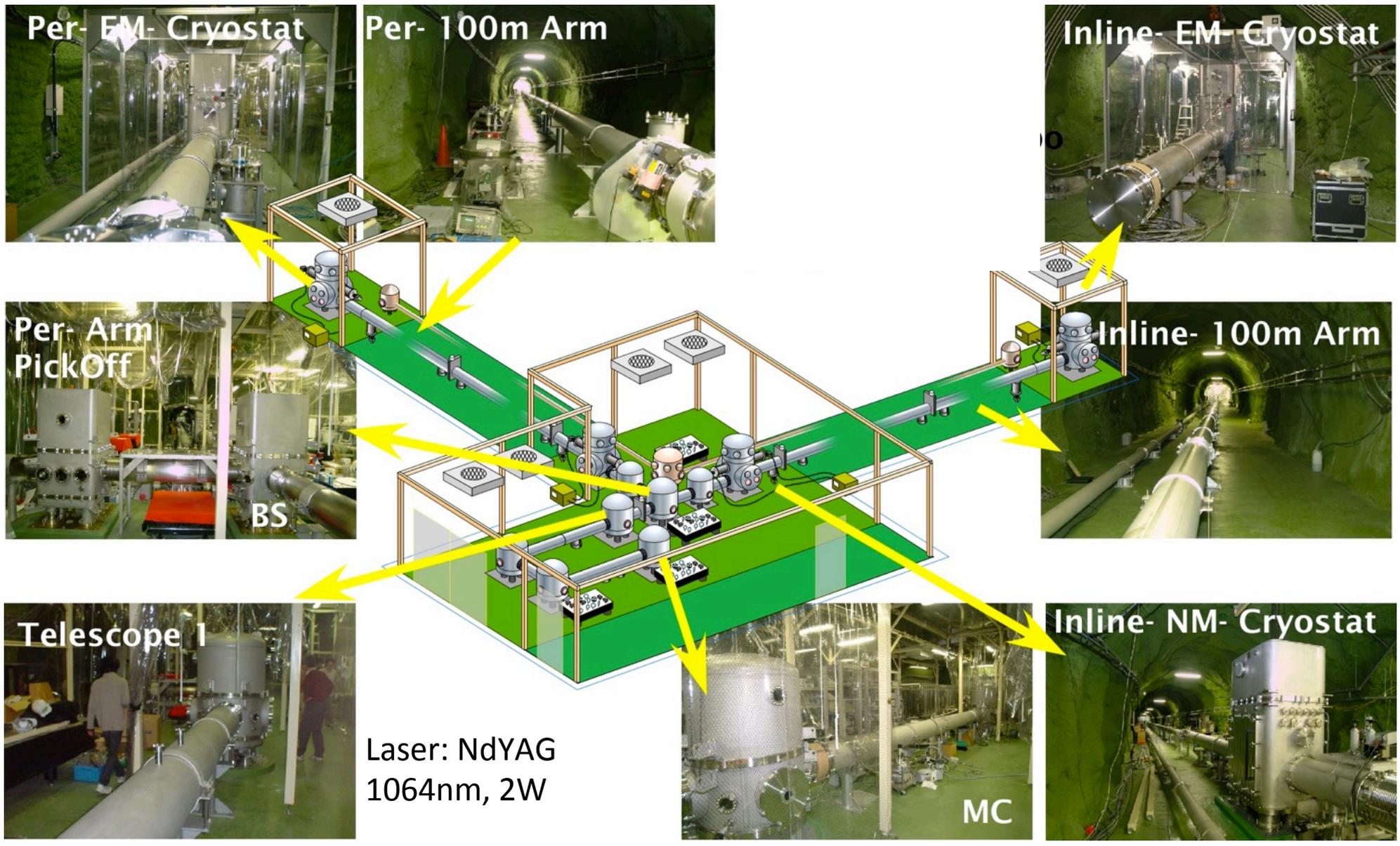
sites



IPMU
APIMS
GC
Ge det.
Rn det.
...
(Mar.08~)

Gadolinium project R&D
(10mx15mx8~9mh,
March 2010~)

NEWAGE
Superconductive gravimeter



New tunnel for CLIO



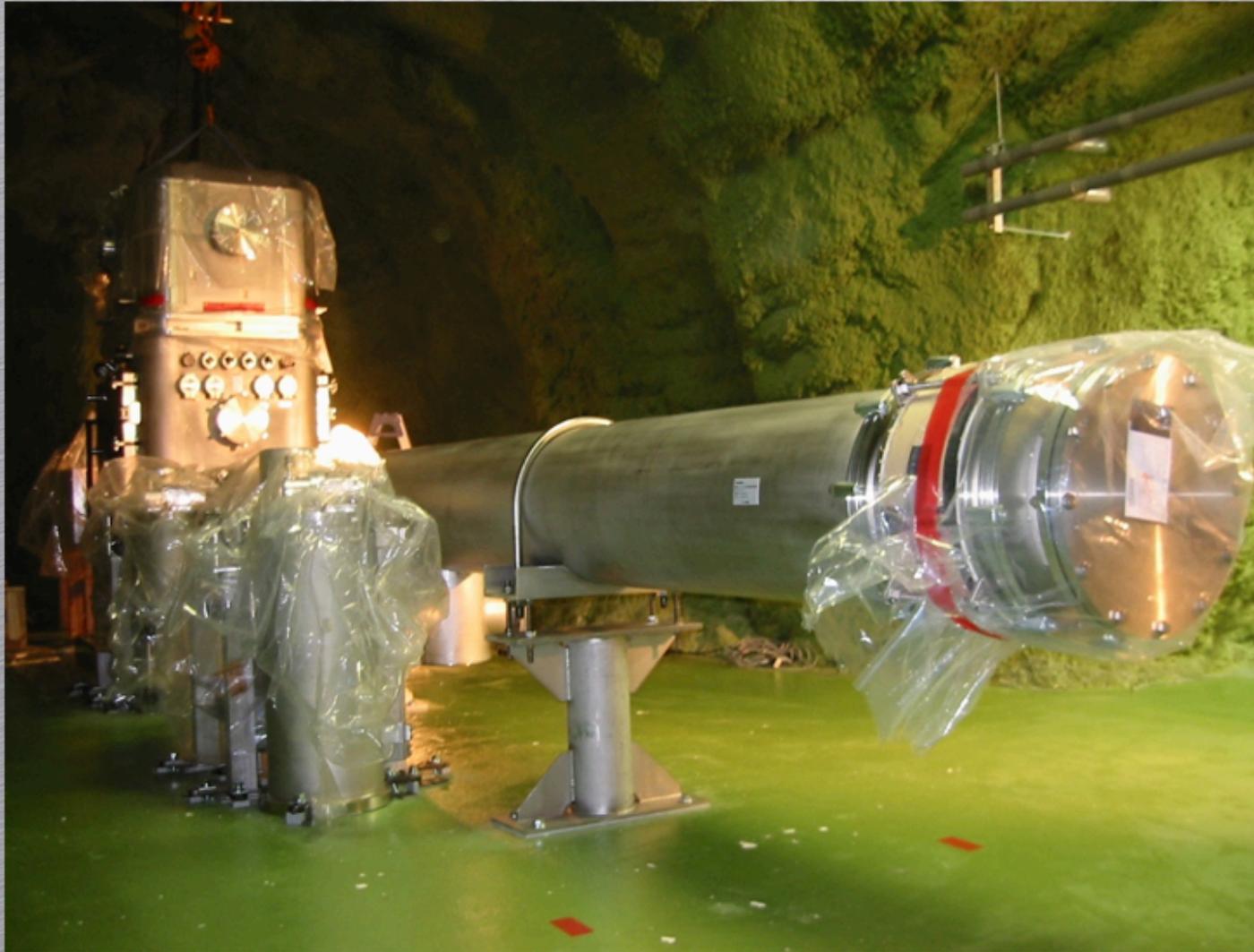
2002/12

Start of CLIO construction



Mode Cleaner install. 2003/12.

The 1st cryostat install



The inline end cryostat has been installed. 2004/09.

One arm has been completed.

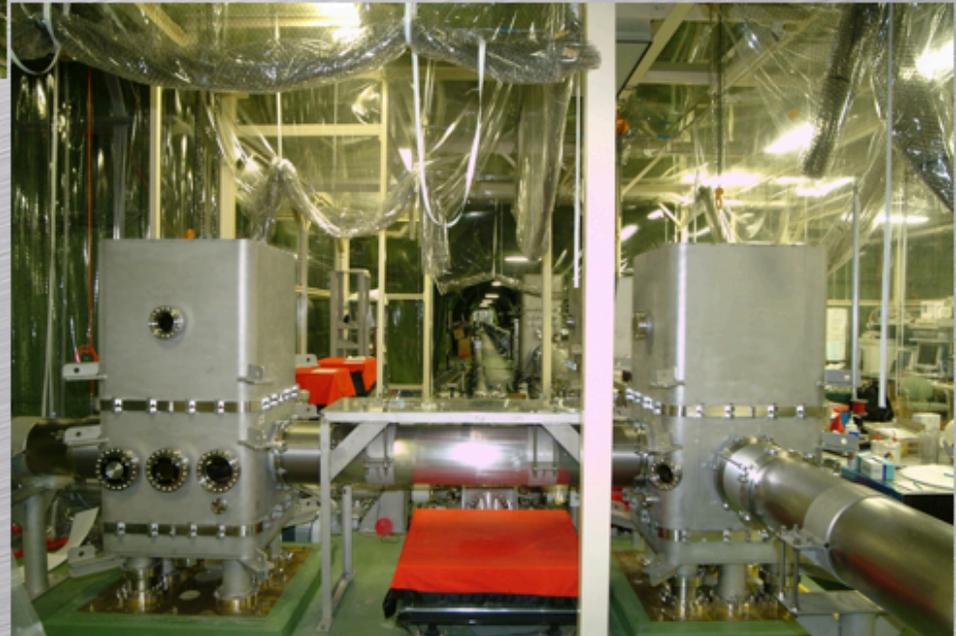


Perpendicular arm has been completed. 2005/02.

Vacuum system completed



2005/06





センターエリア（新跡津）約90m

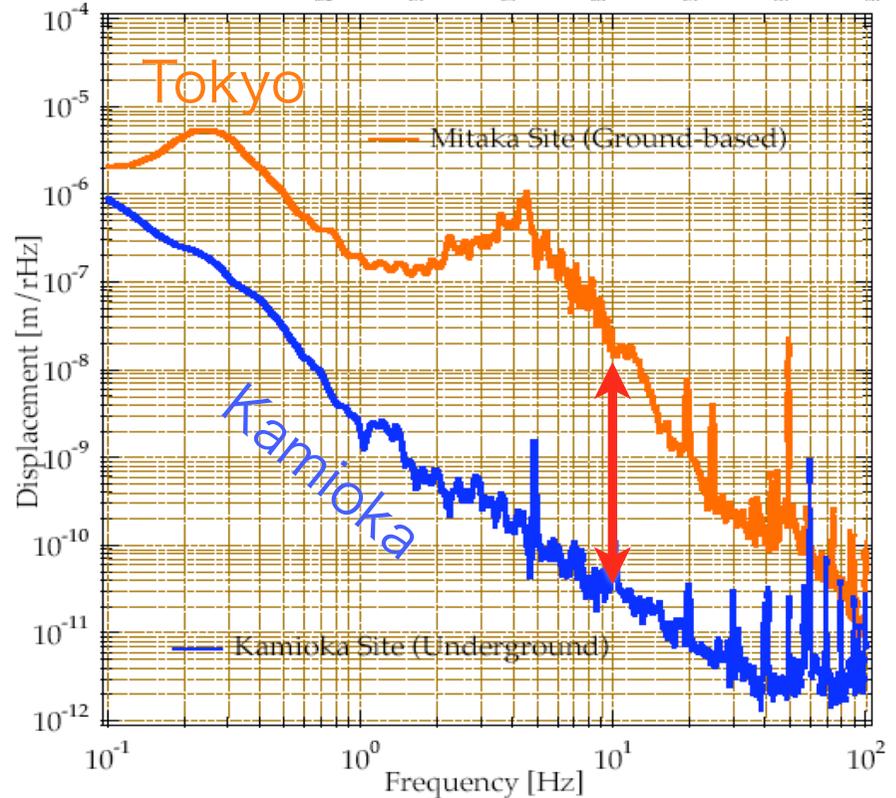
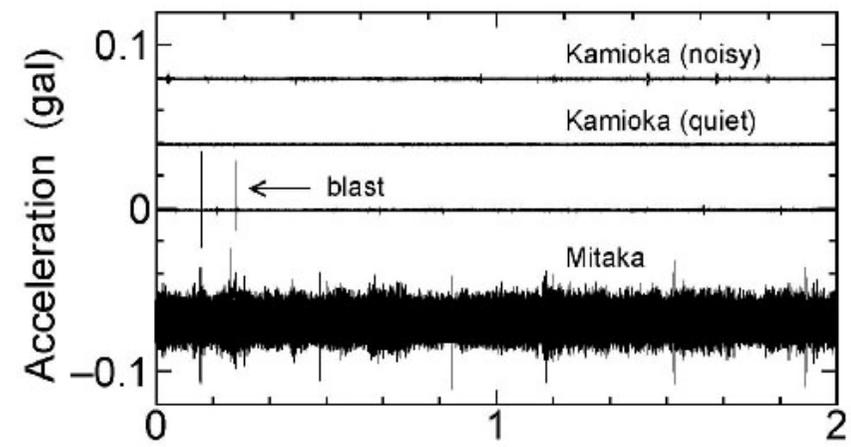
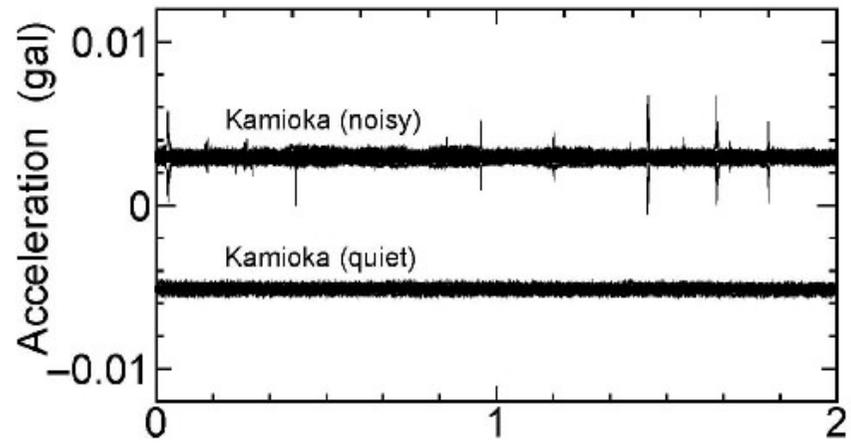
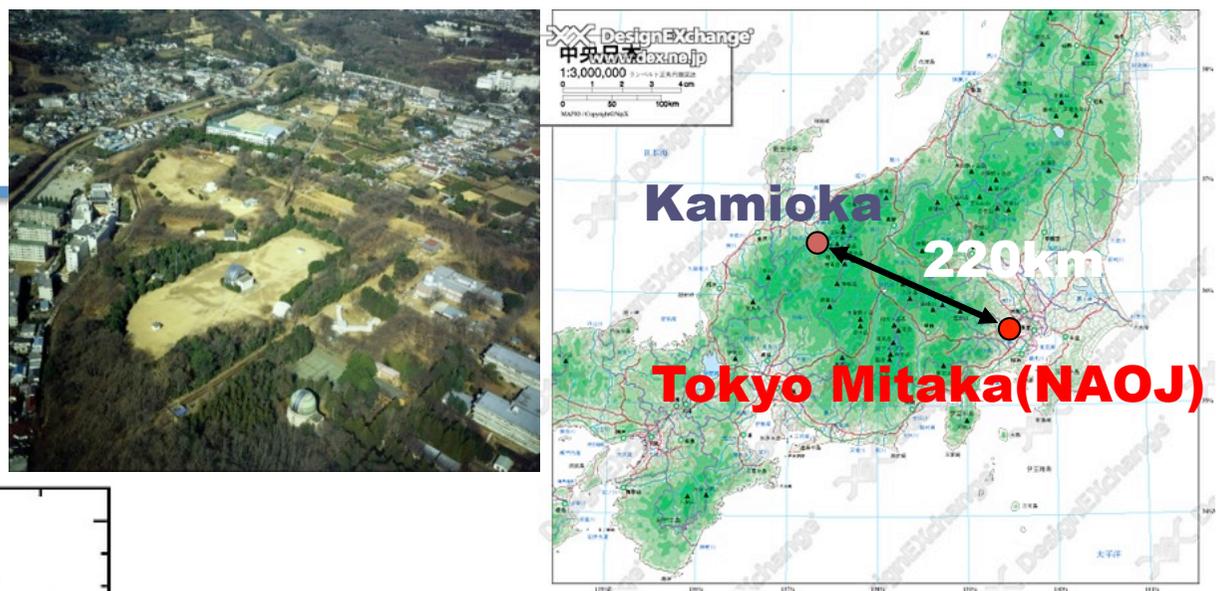
Y end（茂住）約260m

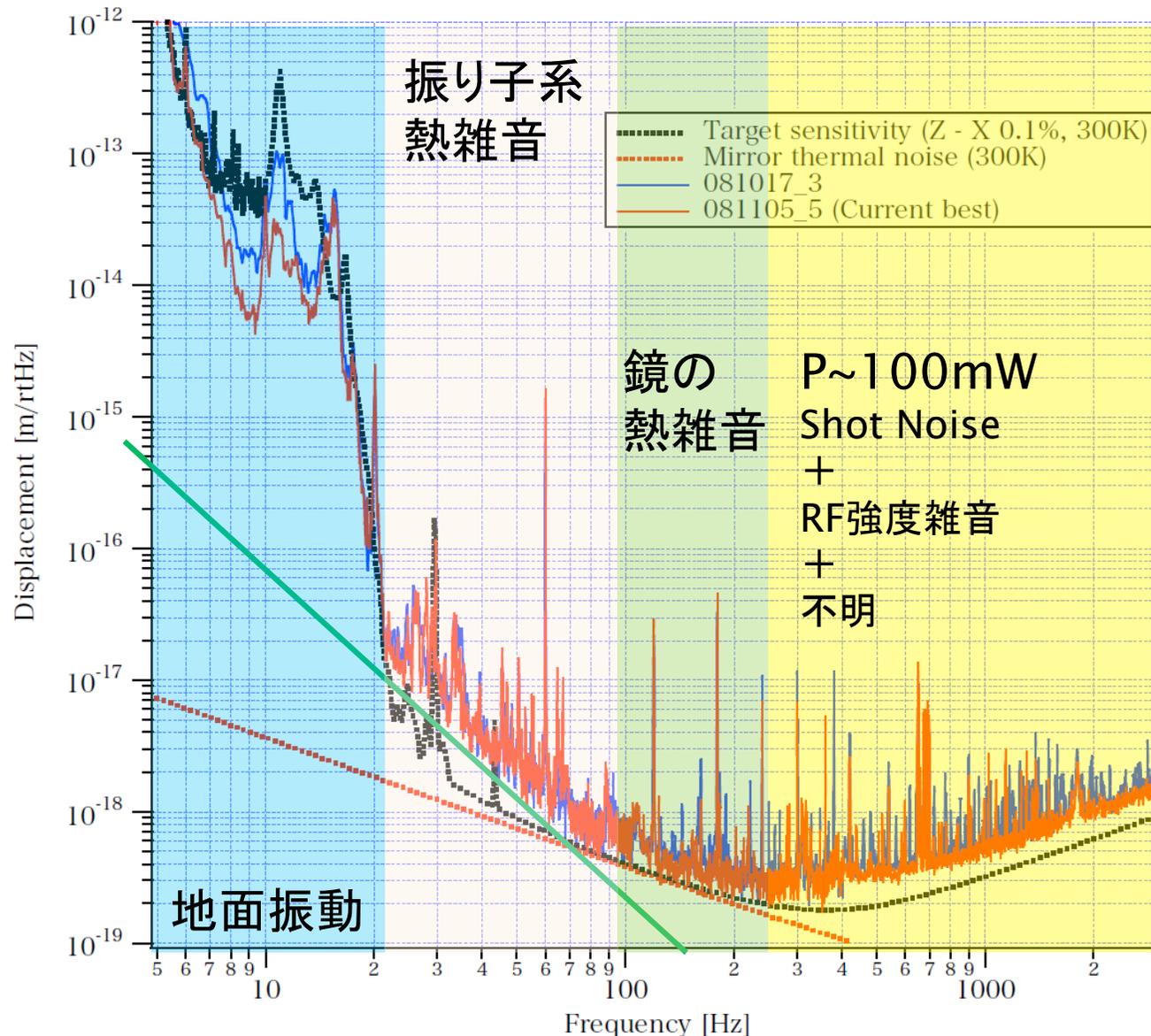
今後2年近くでトンネル完成予定





地下環境のメリット



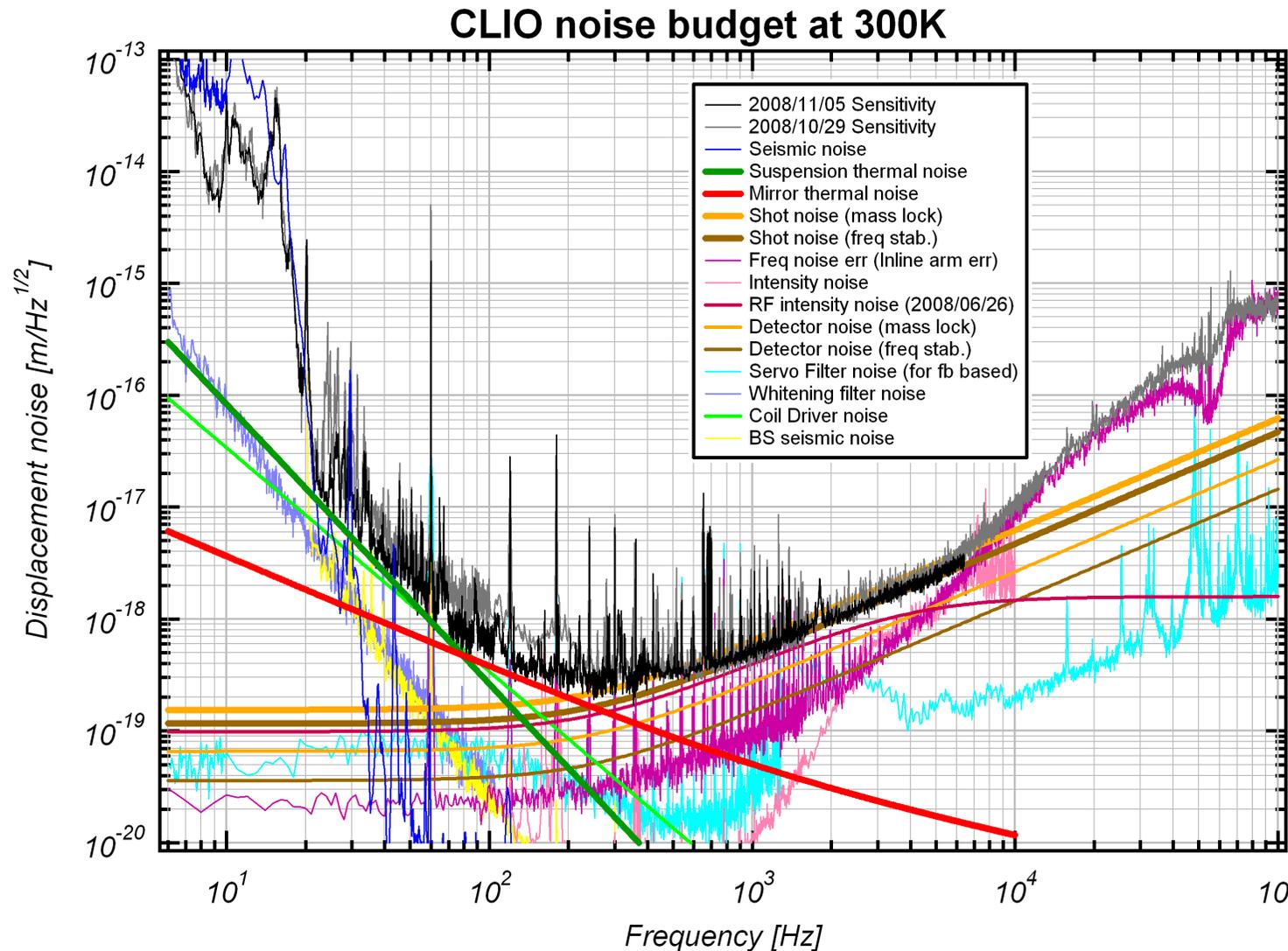


重力波測定は 微小ノイズとの戦い

- 1.低い周波数は地面が揺れることで、鏡が揺らされる
- 2.真ん中の周波数は振り子や鏡が300kの熱を持っていることによる熱振動が見えている
- 3.高い周波数は、光の粒子性に依る物で、光検出器に入る光子数は常に一定というわけではなく、統計的な揺らぎがあり、その揺らぎがノイズになる



様々な雑音を下げている、ようやく重力波が残る



- 地面振動
- 振り子熱雑音
- 鏡熱雑音
- 散射雑音
- レーザー周波数雑音
- レーザー強度雑音
- RF強度雑音
- 検出器雑音
- 制御回路雑音
- フィルター回路雑音
- コイル回路雑音
- その他にも
- 輻射圧雑音
- 鏡角度揺れ雑音
- 発信器位相雑音
- 真空密度揺らぎ
- Etc.



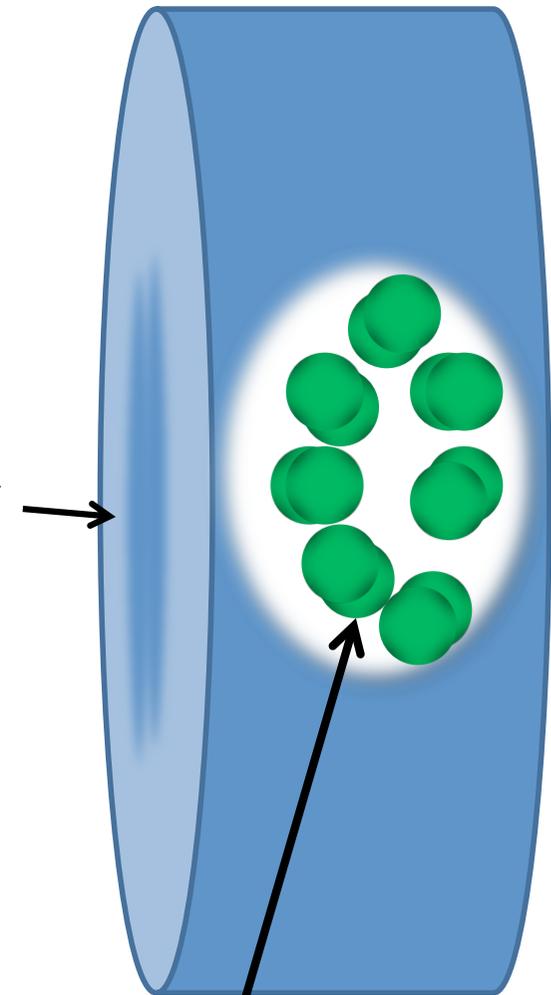
地面振動が大変小さい神岡の地下は重力波観測に最適である。それでも究極には、ミクロのレベルでの鏡の中の分子の熱運動が問題になる。つまり熱運動によってわずかに鏡の表面がゆらぎ、それが空間の揺らぎと区別できなくなる。



鏡をマイナス253度以下（絶対温度で20度以下）に冷やして熱運動を押さえる。非常に困難な技術開発を必要としたが、10年にわたる開発研究で可能となった。

分子運動で鏡の表面がわずかに揺らぐ。

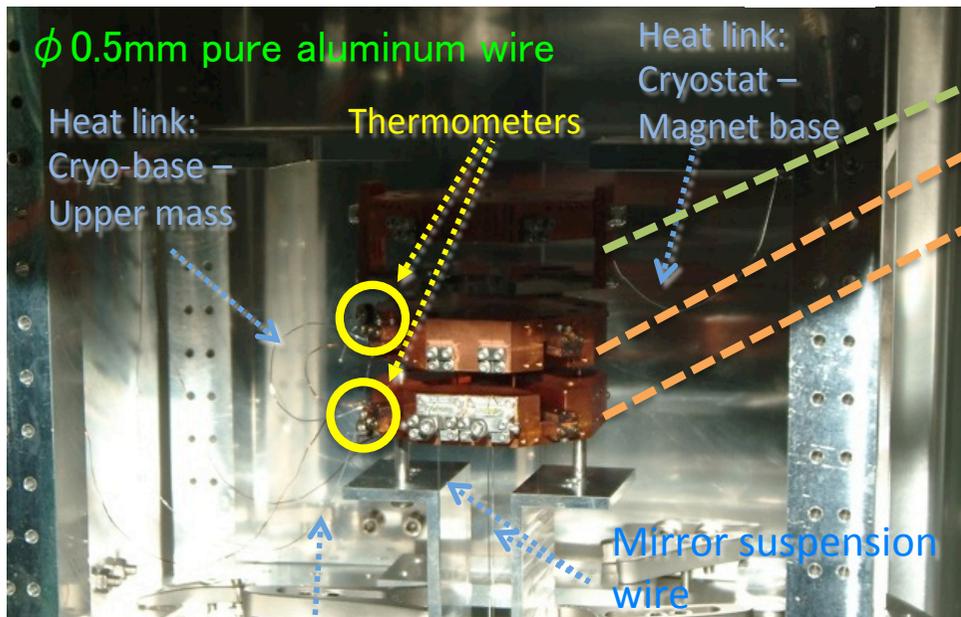
反射鏡



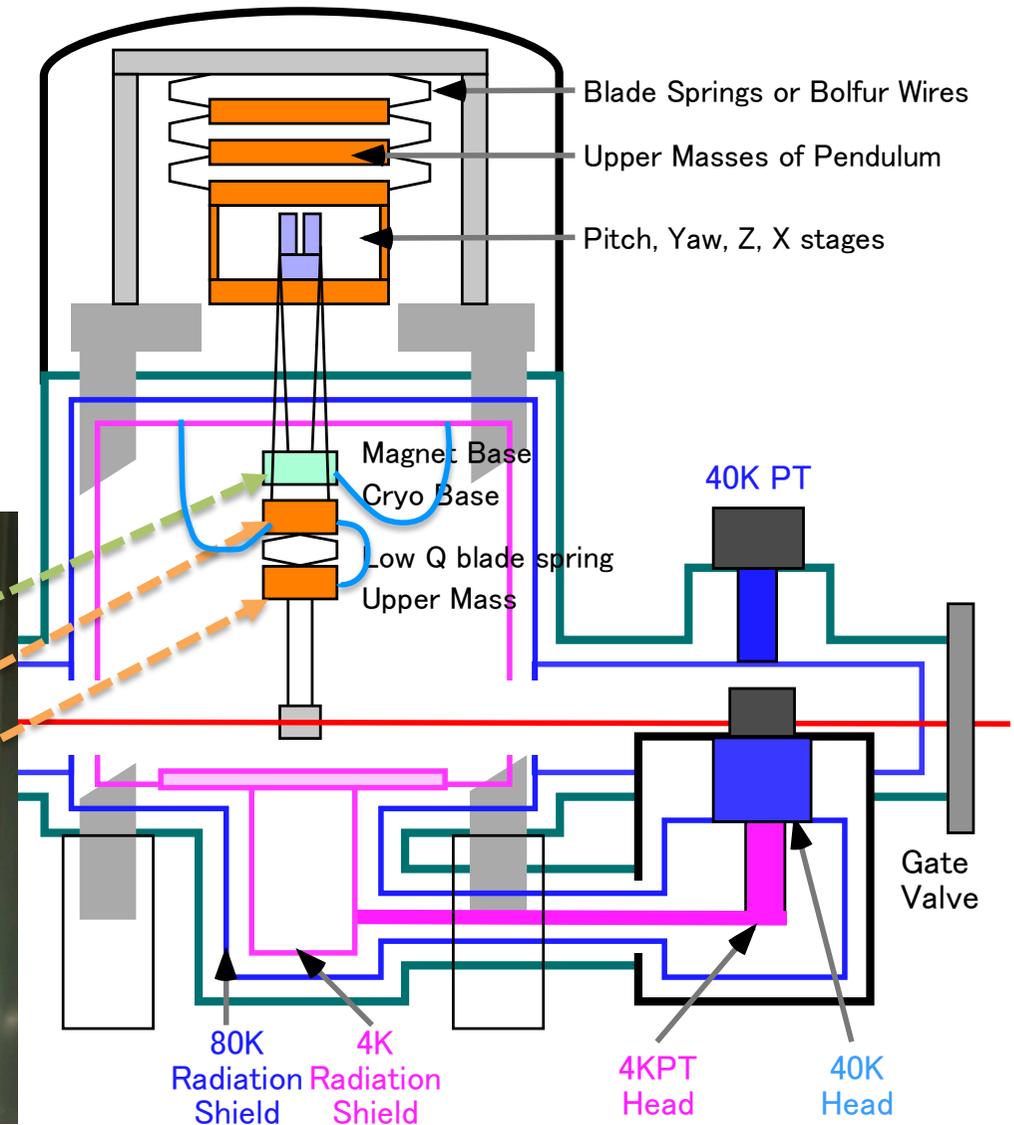
分子

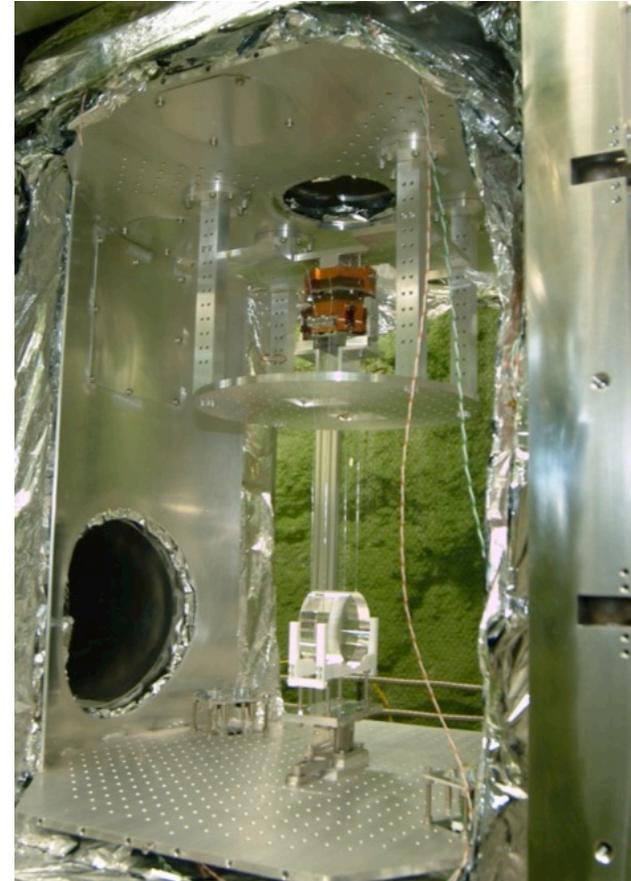


- レーザーが鏡に入射しているため常に暖められている
- 鏡を吊っているワイヤーの熱伝導を通して鏡の熱を吸い上げてる
- 鏡は高真空中(10^{-5} Pa)にあるため対流では冷やすことができない
- 冷却にともない、冷凍機の振動や鏡の汚れが影響



Heat link: Cryostat - Cryo-base





Sapphire mirror
 $\Phi 100 \times 60$

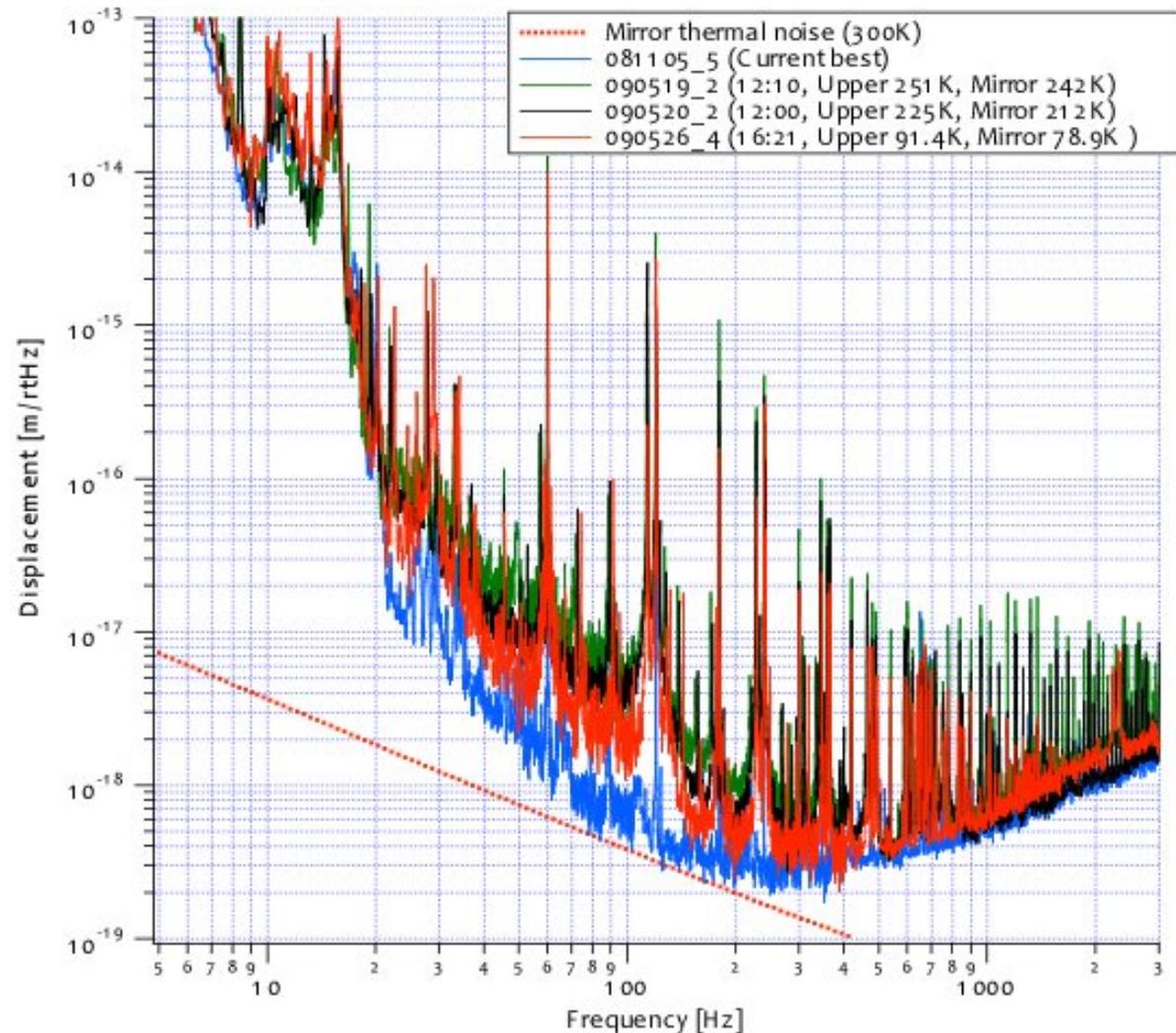


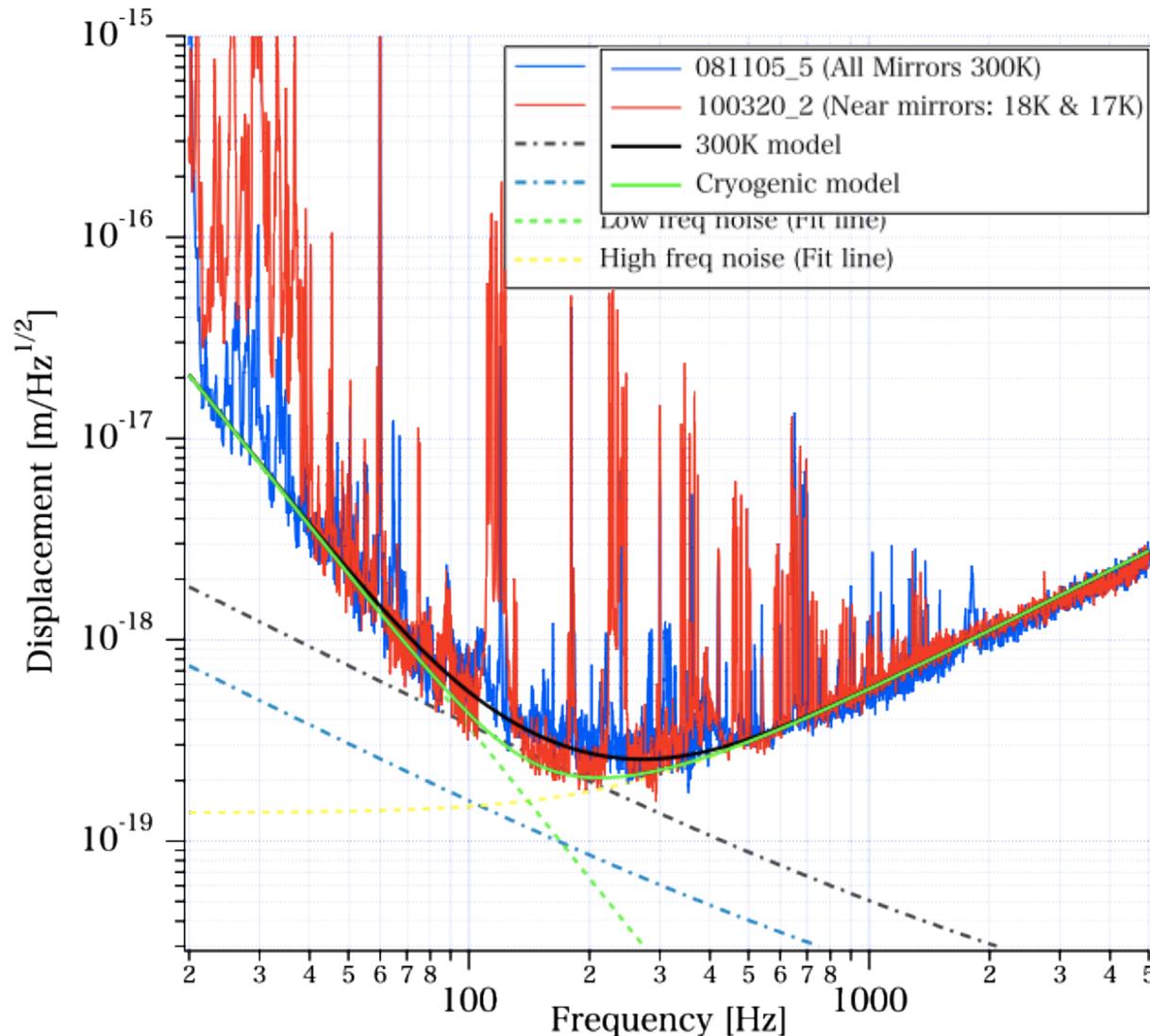
- 常温: thick amorphous fibers
- 低温 99.999%, d=0.5mm
pure aluminum fibers

1. 242K 5/19/2009
2. 212K 5/20/2009
3. 79K 5/26/2009

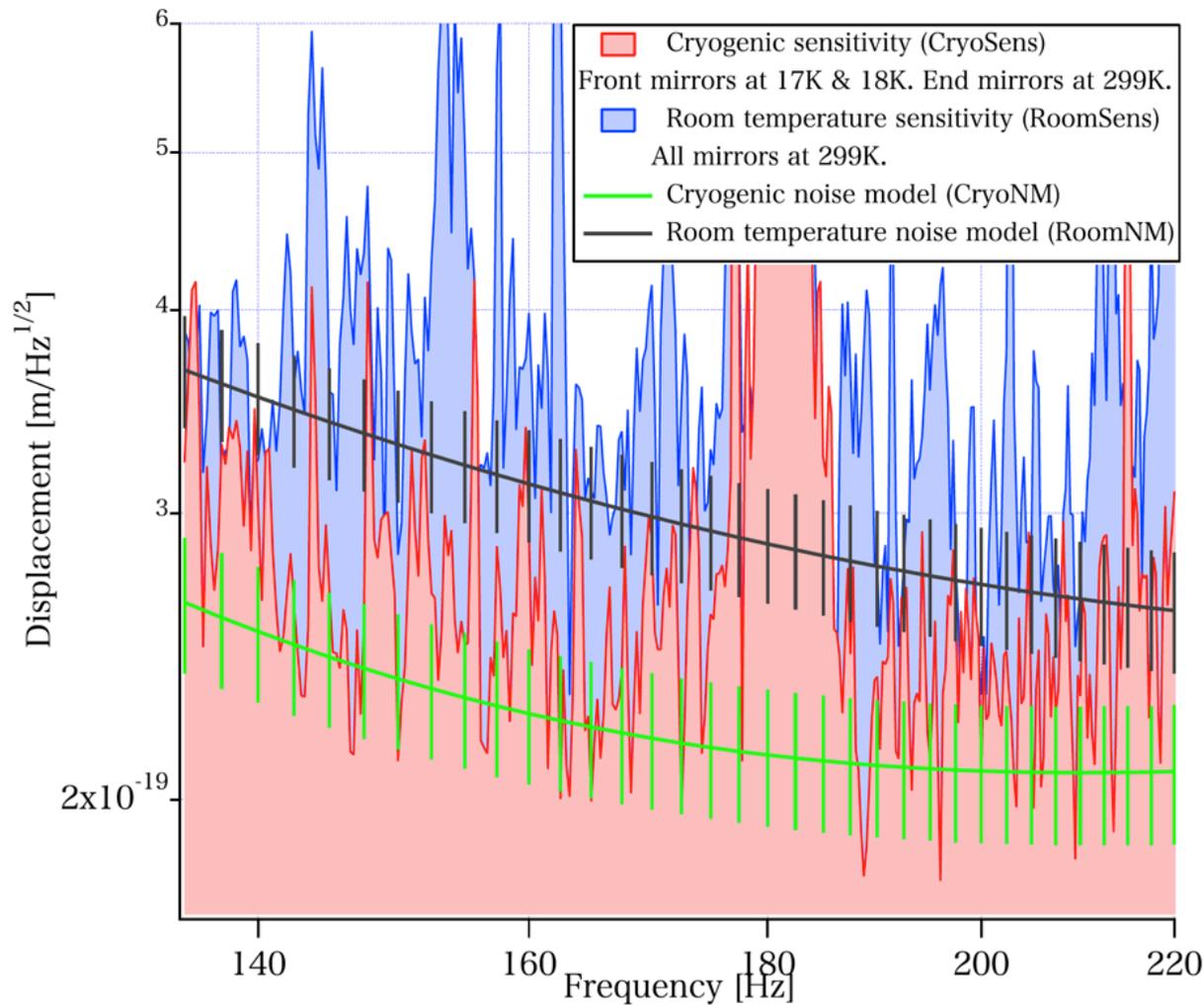
• 鏡の冷却にともないアルミワイヤーも冷やされ、**振り子の熱雑音**も下がったと考えられる。

• 212K から 79K の大きなとびは、冷却にともない構造体の恐らく縮みによる**きしみ**が発生してノイズを測ることができなかった、もしくはロックが持たなかった。このきしみは100kを下回る温度では発生しなくなった。



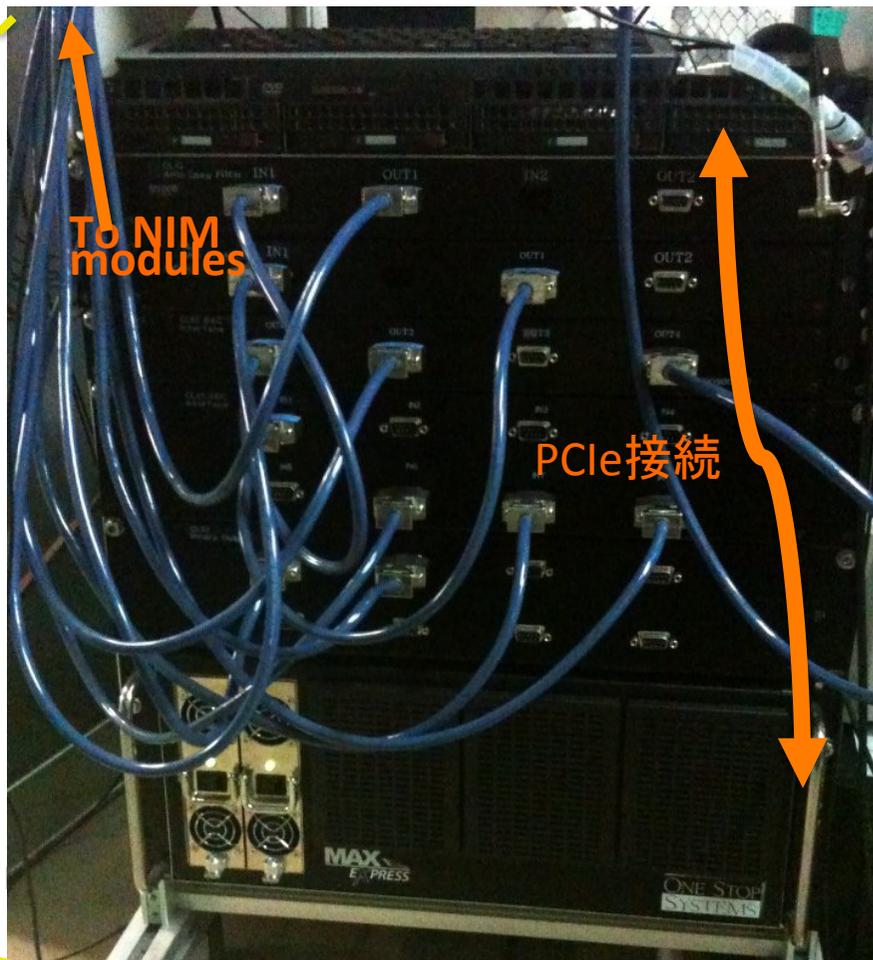
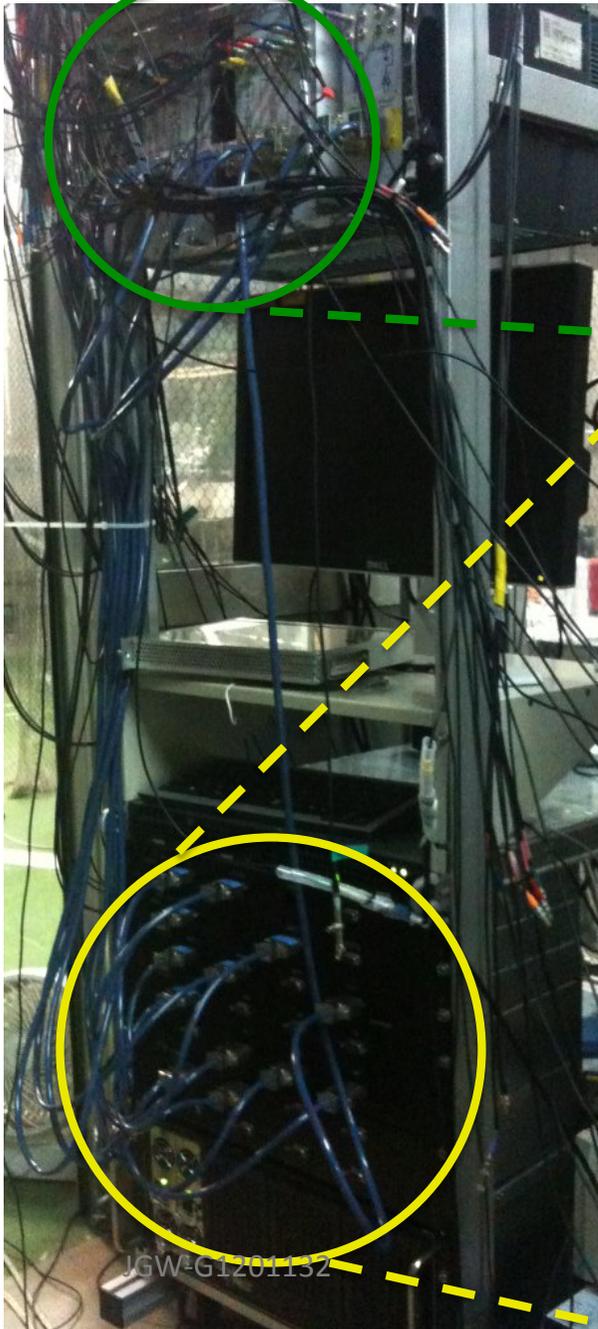


- 冷却に感度改善は鏡の熱雑音の軽減によるものか?
- 3つのノイズフロアが重なっていると考えられる
- **Low freq noise: $f^{-2.5}$**
 - Suspension thermal noise
- **High freq noise: cavity pole 250Hz.**
 - Shot noise
 - (RF intensity)
- **Mirror thermal noise.**
 - all mirrors at 300K
 - only near mirrors at 20K.



鏡を冷却することにより
300Kの熱雑音の熱雑音の
制限を突破したと考えられ
る。

この感度の向上は誤差の
範囲内で低温での鏡の熱
雑音を含むノイズモデル矛
盾しない。



Real time PC
 CentOS 5.2+real time kernel
 4core x 2 Xeon

Anti Imaging filters
Anti Alias filters

DAC adapter

ADC adapter

Binary output adapter

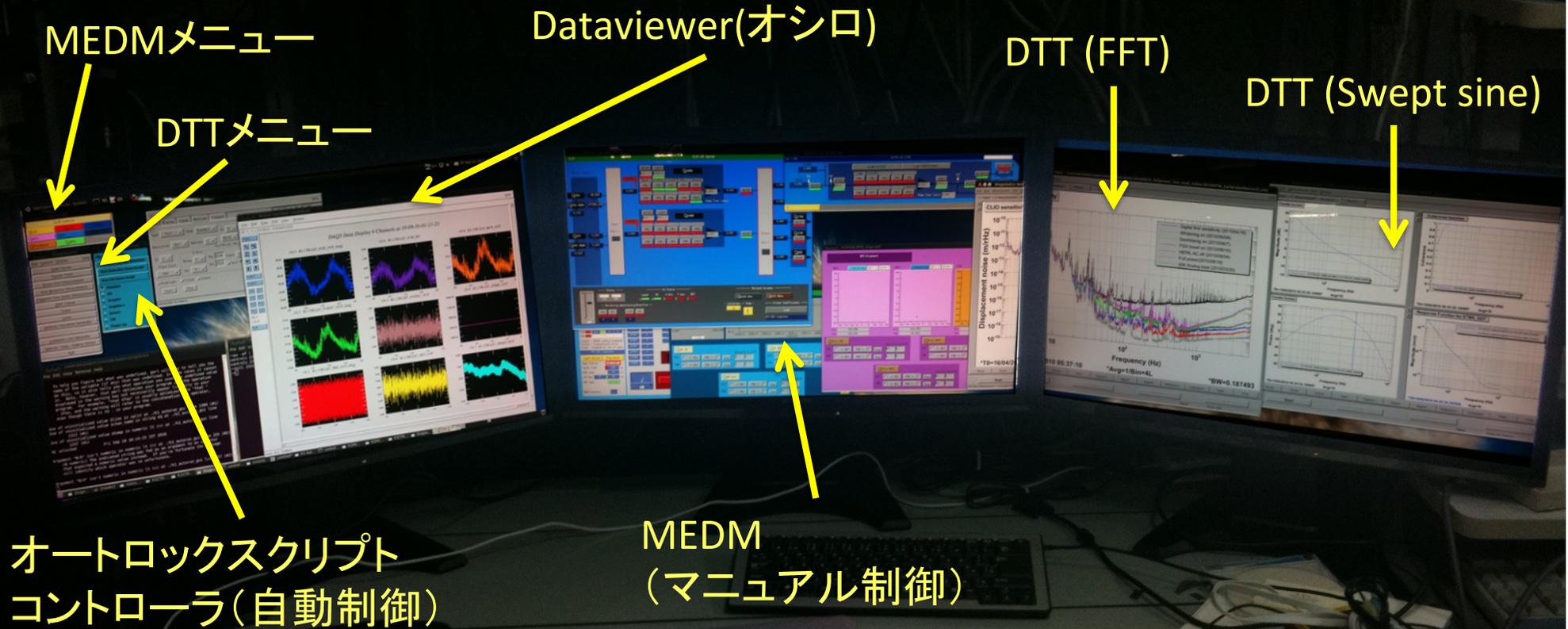
ADC/DAC
In Expansion Chassis

ADC:32ch/枚、\$4K
DAC:16ch/枚、\$3.5K
Binary Output:32ch/枚、\$250

To NIM modules

PCIe接続

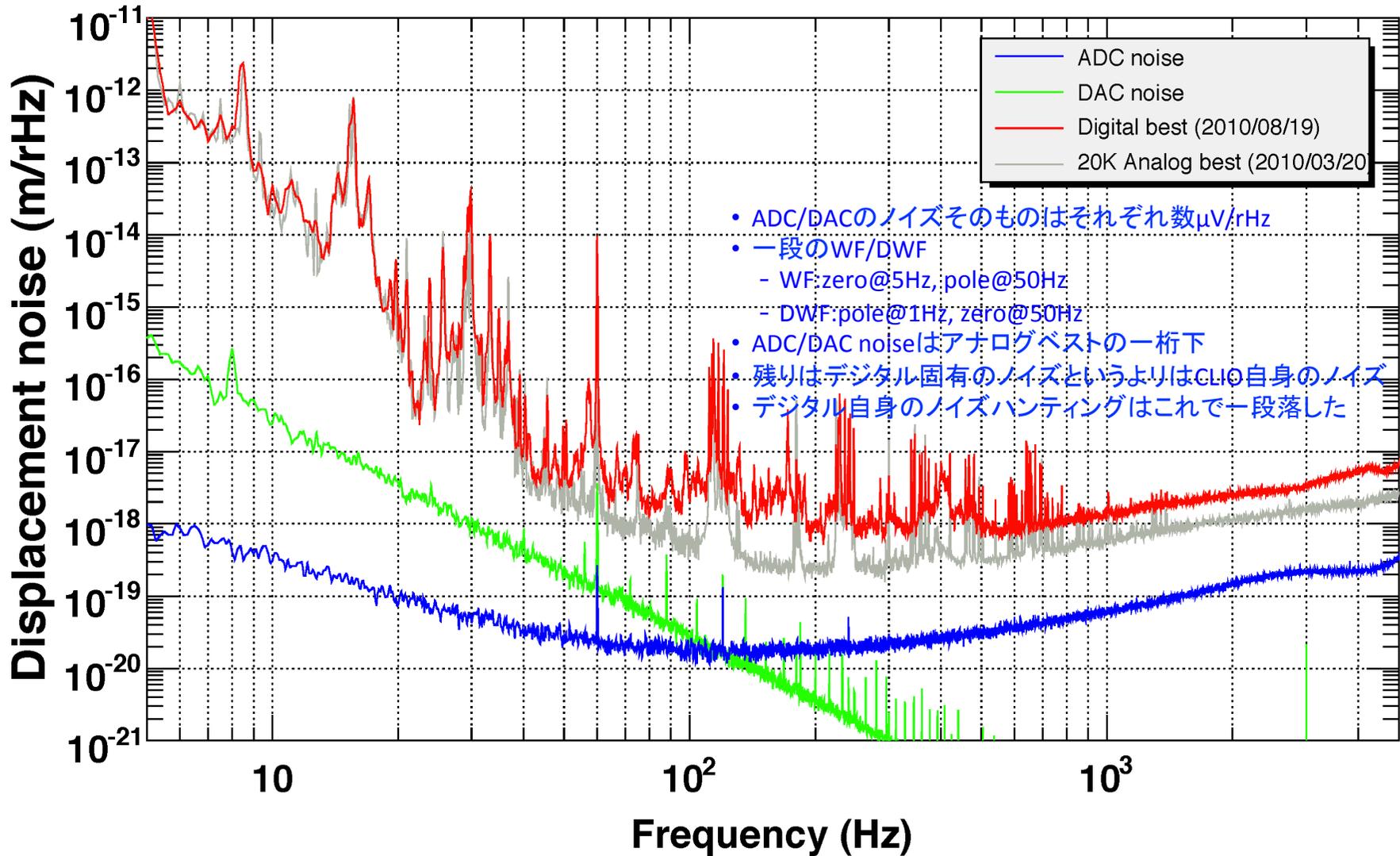
Client system



- スクリプトにより自動でロックし、測定、改善するという体制ができつつある

AD/DAC noise

CLIO sensitivity

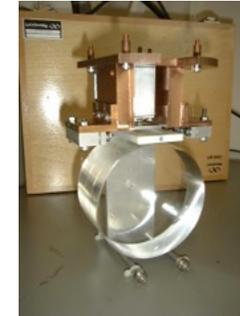


*T0=08/09/2010 01:16:38

*Avg=17/Bin=4L

*BW=0.187493

*1997 Stating of feasibility study at KEK.
Sapphire mirror & fiber suspension.*



10cm

2001 CLIK: Control of cryogenic Fabry-Perot cavity at Kashiwa.



7m

2002~ CLIO: Sensitivity of cryogenic GW detector.



100m

2012: We are here now!!

201? KAGRA: Detection of Gravitational wave.



3000m