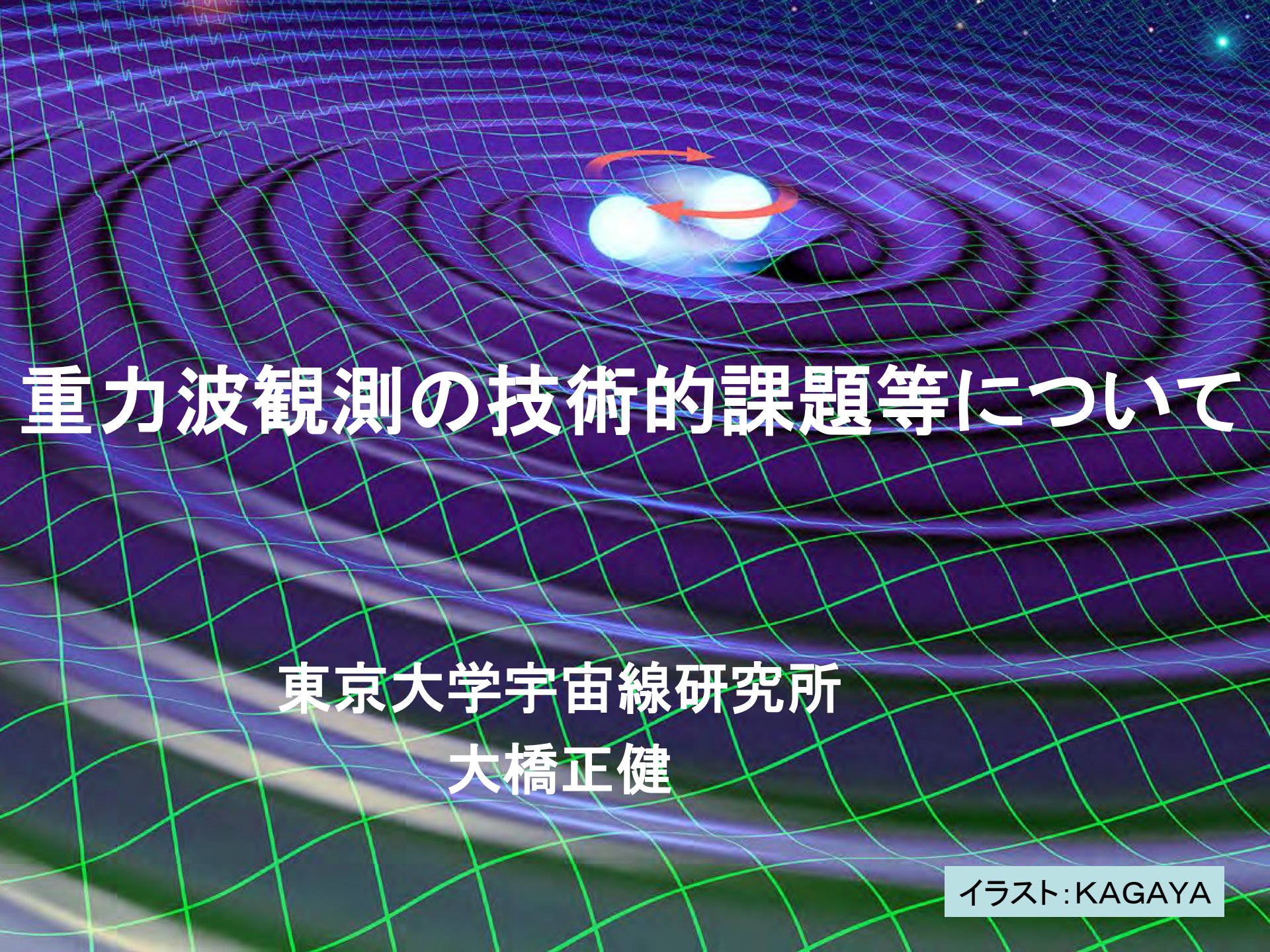


The background of the slide is a 3D visualization of spacetime curvature. A green grid represents the fabric of spacetime, which is warped into concentric, elliptical ripples emanating from a central point. At the center, two bright, glowing blue-white spheres are shown in the process of merging. Two red curved arrows around these spheres indicate their orbital motion. The overall color palette is dominated by deep blues and purples, with the green grid lines providing a sharp contrast.

重力波観測の技術的課題等について

東京大学宇宙線研究所
大橋正健

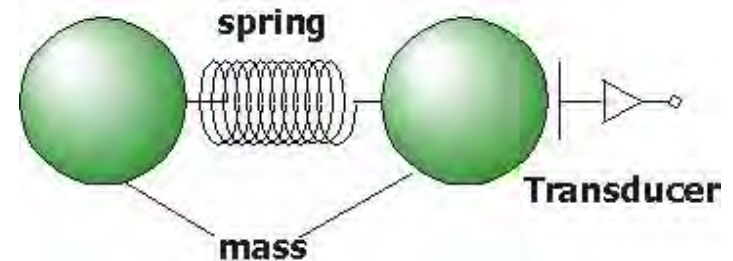
イラスト:KAGAYA

- 重力波の検出 -

- 共振型重力波検出器

- 弾性体に働く潮汐力を検出

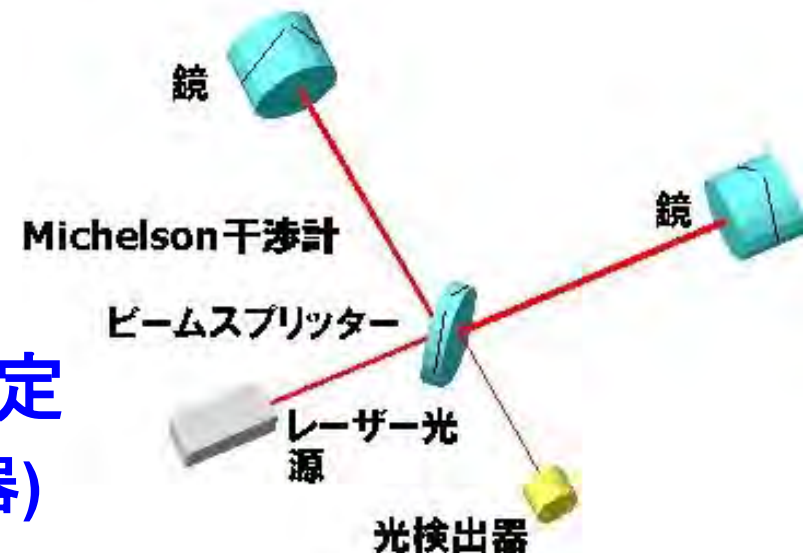
- 大きな弾性体
(Al5056, 重さ 2ton, 長さ3m)
 - 低雑音トランスデューサ
 - 低温 $\rightarrow 0.1\text{ K}$
 - 共振周波数 1kHz付近



- 自由質点型検出器

- 自由質点間の距離を測定
(レーザー干渉計型検出器)

- 長基線長レーザー干渉計
(数km)



Weber型重力波アンテナ



Weberは2台のアンテナで
重力波を検出したと発表した
が、
現在ではそれは否定されている。

- 世界の重力波検出器 -

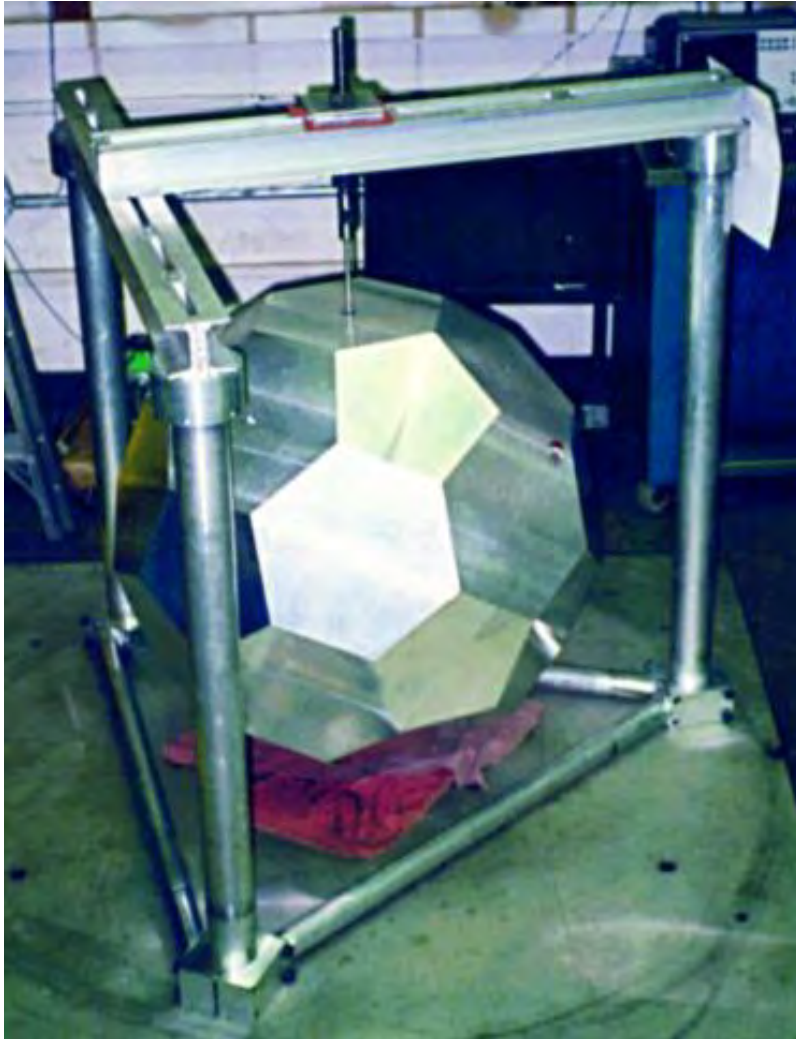
• 世界の共振型重力波アンテナ



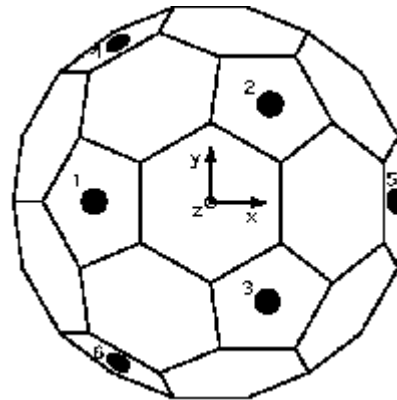
CERNなどで本格的な重力波アンテナが開発された

Nb製アンテナ

新しいタイプの共振型重力波アンテナ



球形アンテナ (TIGA計画)
全指向性
大質量

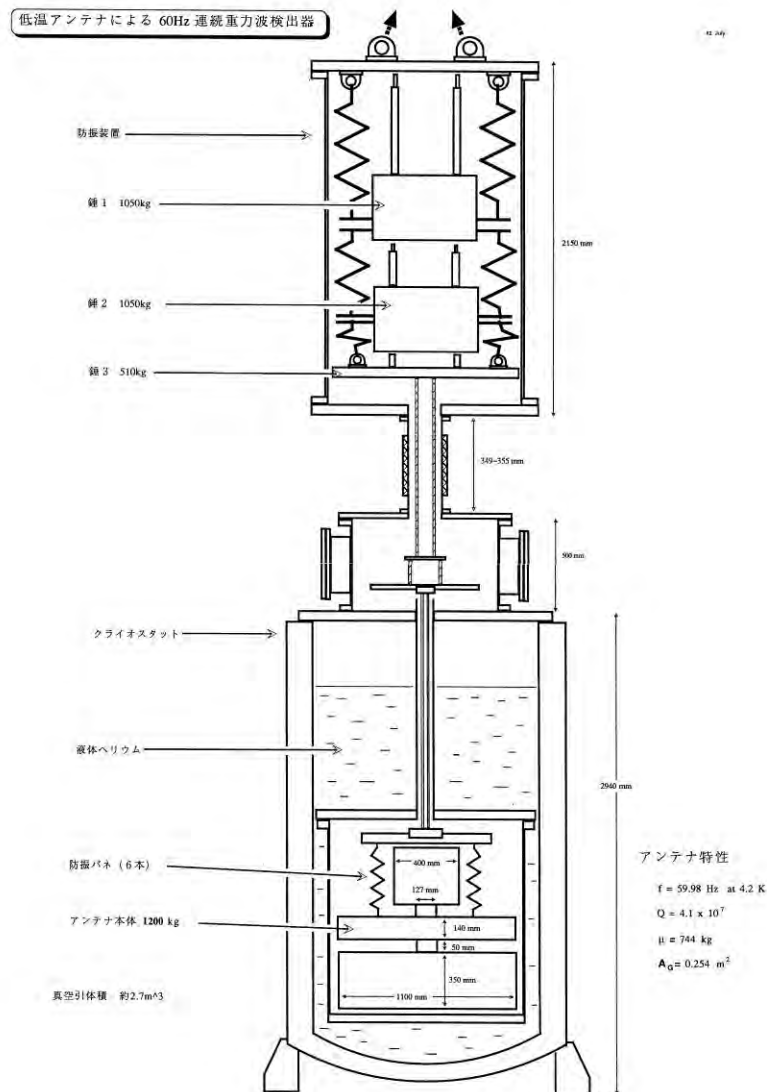
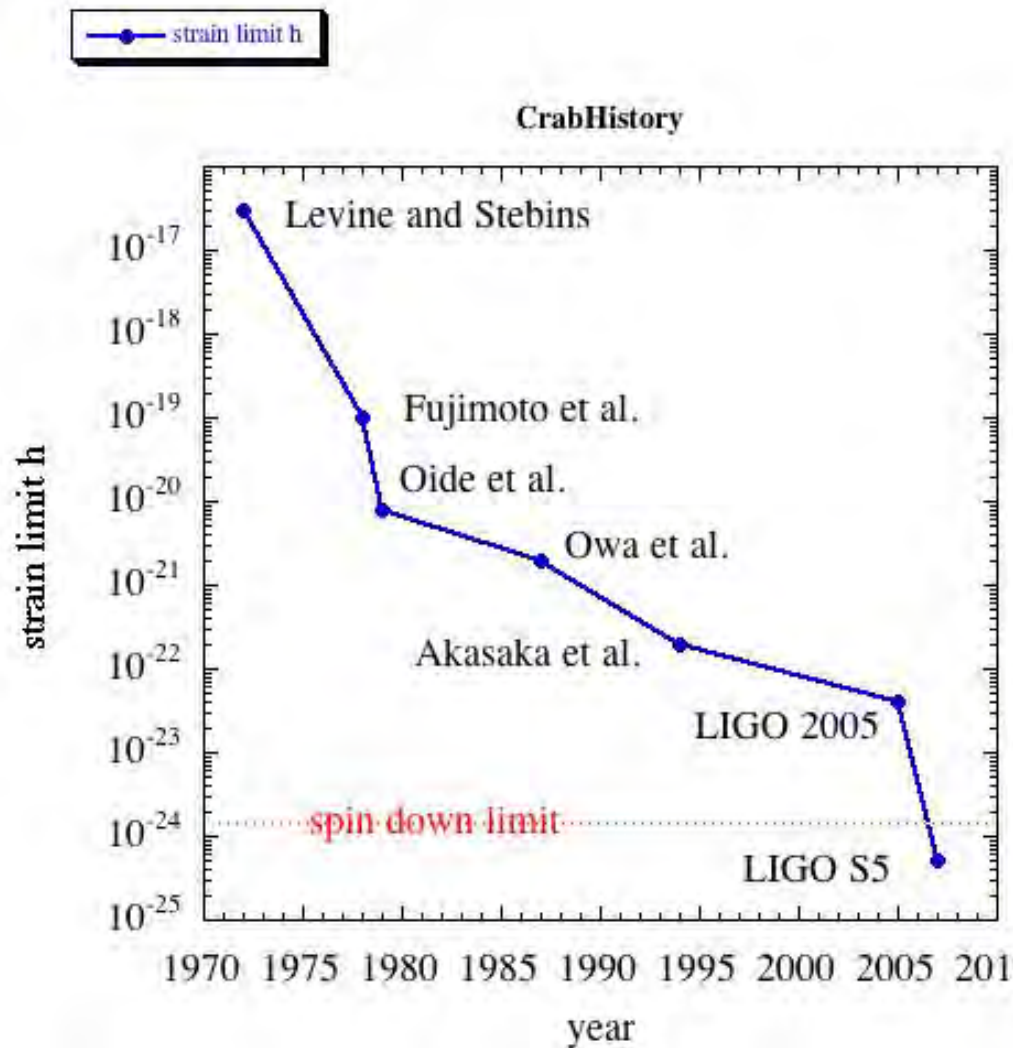


日本独自の重力波アンテナ

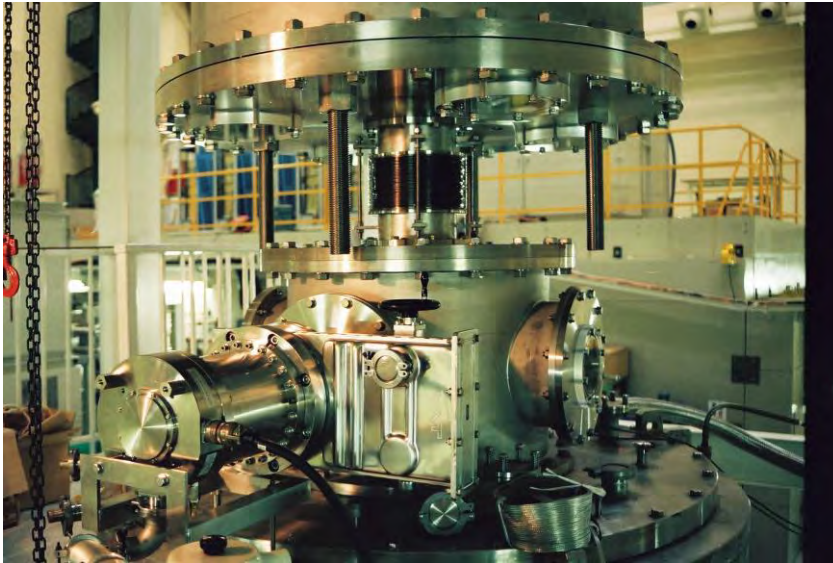


CRAB計画（かにパルサーからの連続重力波検出）

カニパルサー連続重力波探索の歴史



CRAB4 防振装置



これらの低温技術がKAGRA発案の原点でした



レーザー干渉計による重力波検出

真空パイプとその覆い

Precast concrete enclosure: *bulletproof*

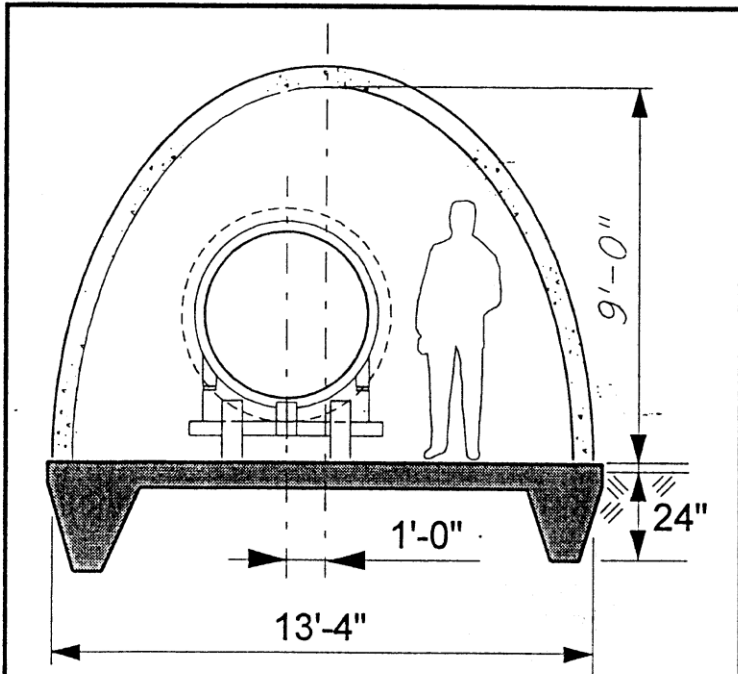


Figure 2.1-1 -- Cross Section of Design Baseline at Hanford



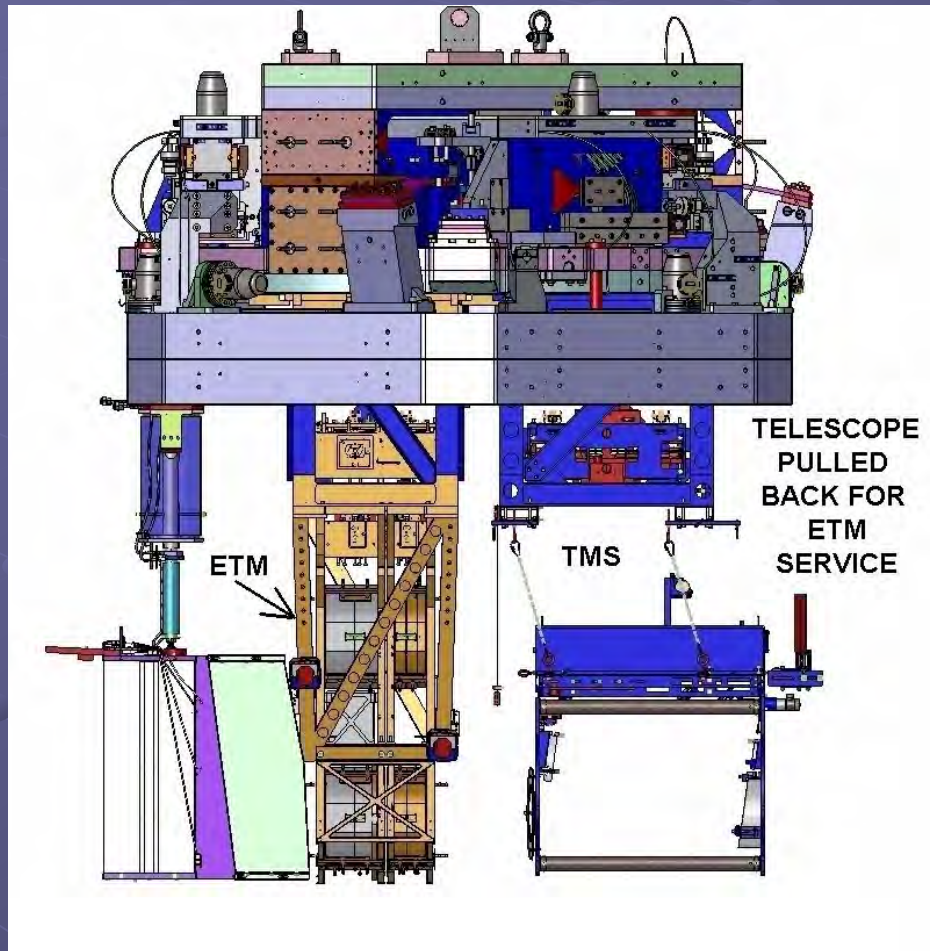
Beam Tube

- 1.2m diam; 3 mm stainless
- special low-hydrogen steel process
- 65 ft spiral weld sections
- 50 km of weld (NO LEAKS!)
- 20,000 m³ @ 10⁻⁸ torr; earth's largest high vacuum system

ミラー懸架



最新のミラー懸架装置(LIGO)



KAGRAについて

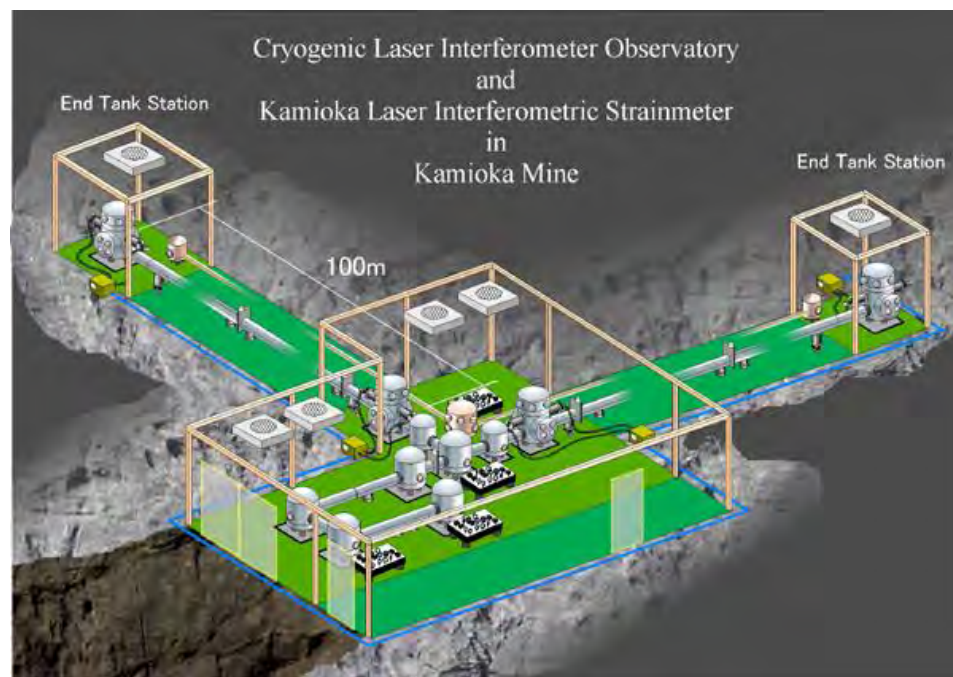
- **KAGRAの実現に向けて**
(2001-2005年度 特定領域研究)



地球物理との連携

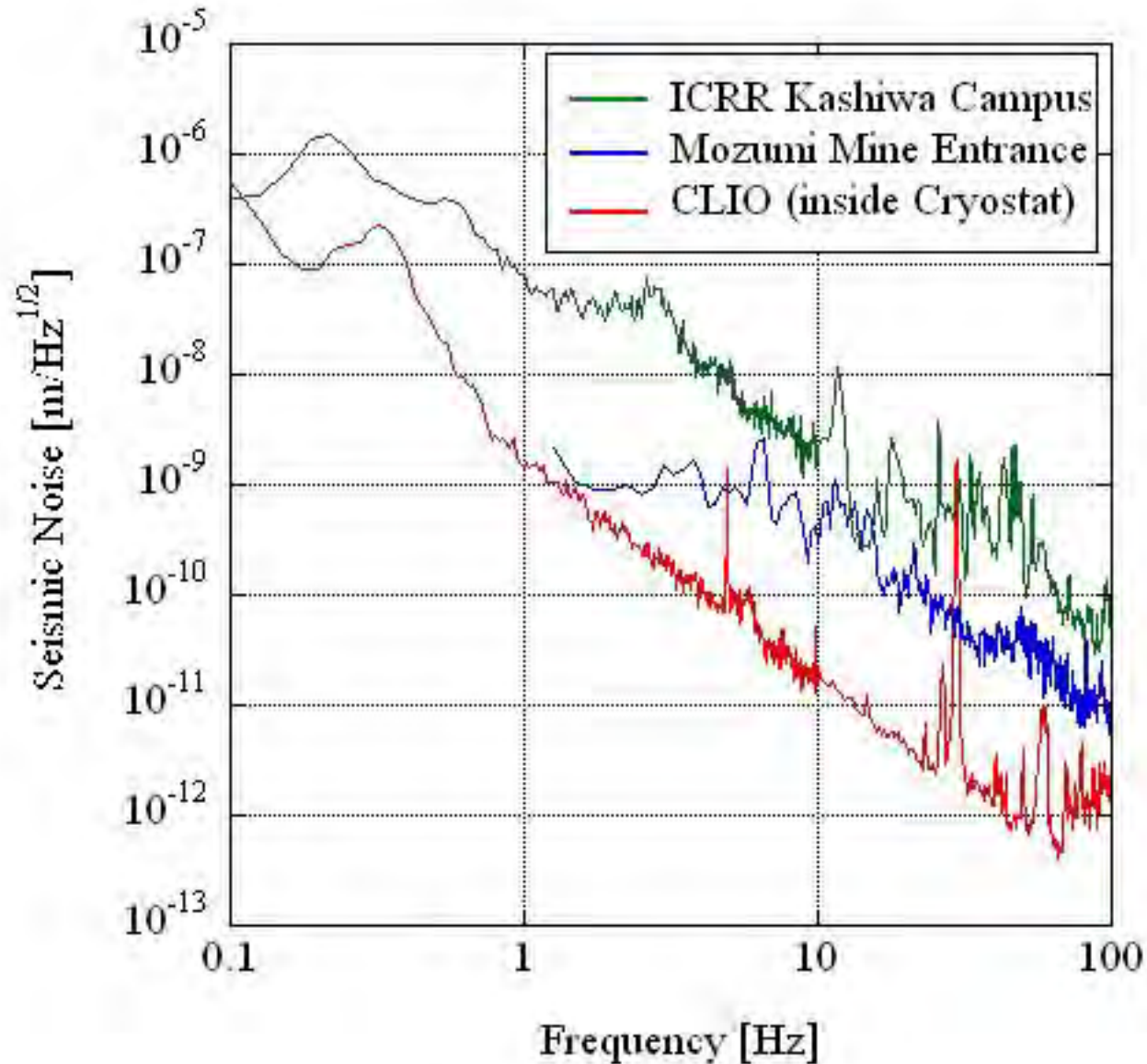
低温干渉計(CLIO)建設

基線長100m
低温技術の確立
神岡鉱山内に設置
地球物理との連携

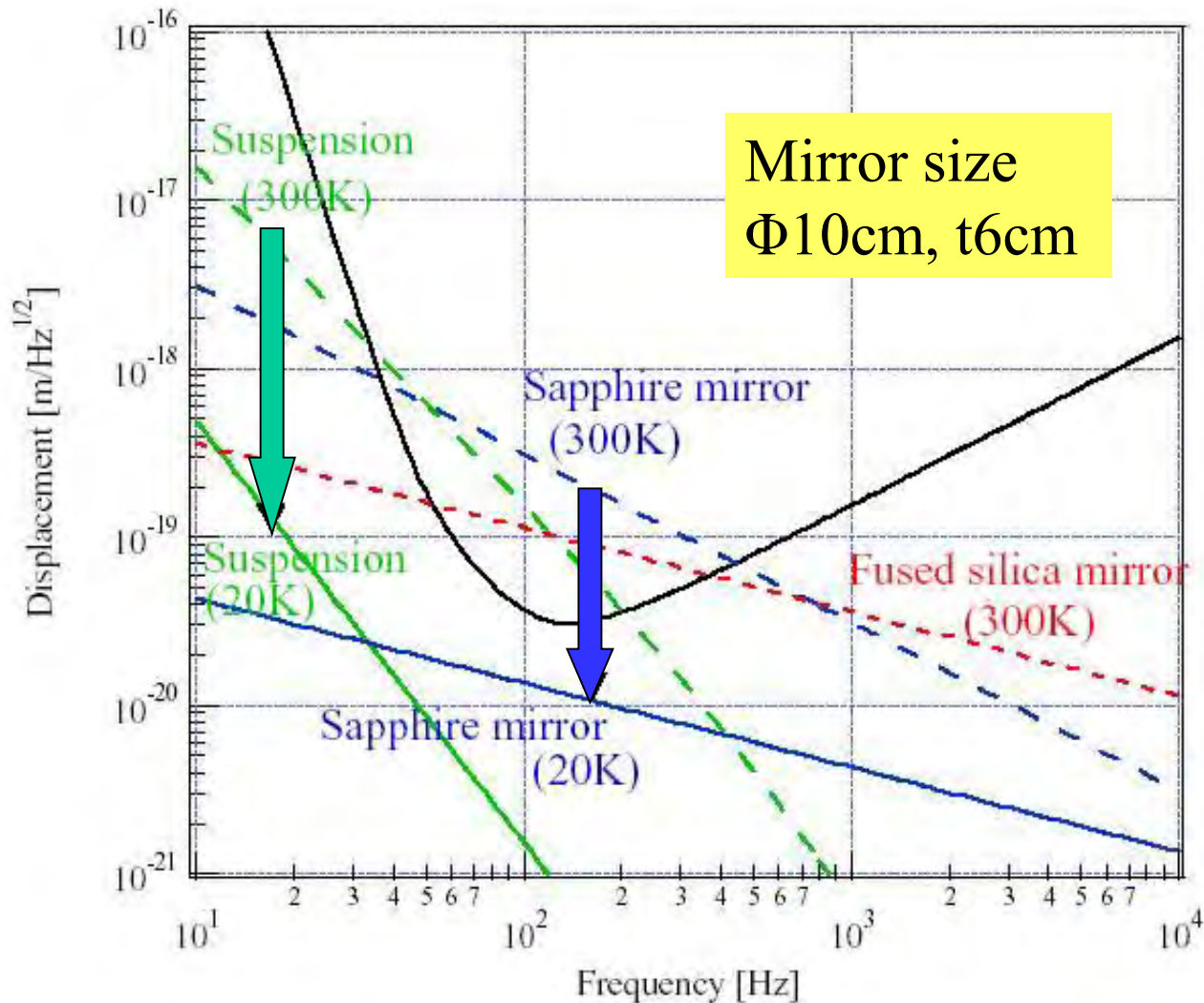


低温干渉計 (CLIO) 概念図

地下のメリット(地面振動が小さい)



CLIOで期待される熱雑音の低減 (300K – 20K)



低振動冷凍機の開発 2000年~2003年頃

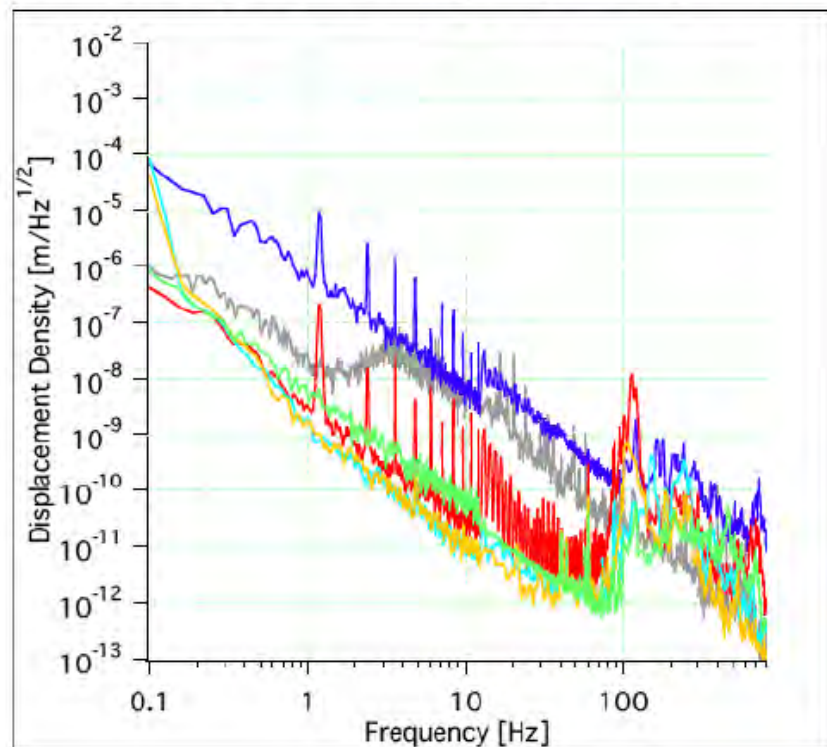


神岡CLIOサイトでの振動測定



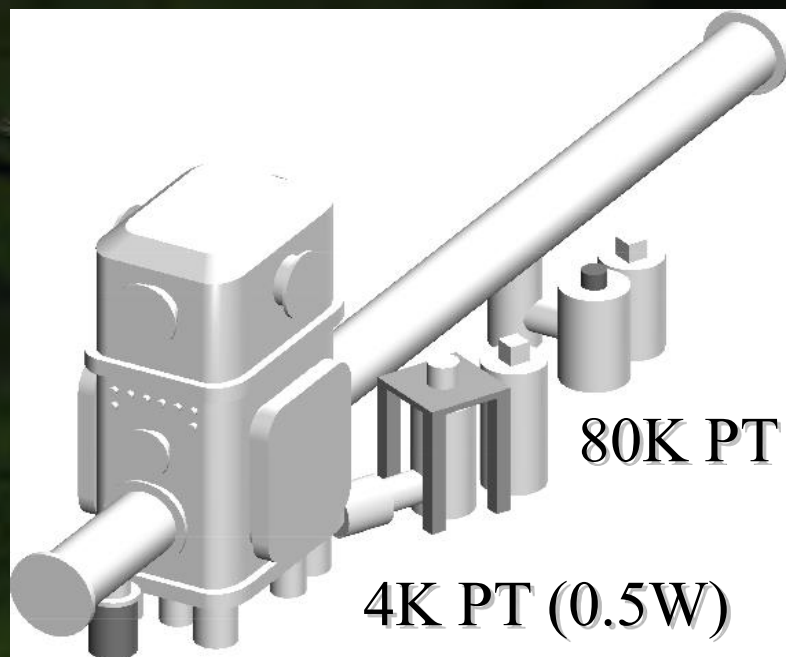
LCGTの低温技術実証用プロトタイプCLIOのために、パルス管ベースの低振動冷凍機システムを住重と共同開発した。実効コールドヘッドでの振動を、ベースとなったパルス管冷凍機の約1/1000に低減した

Vibration Spectra of Cryocooler System (Z)

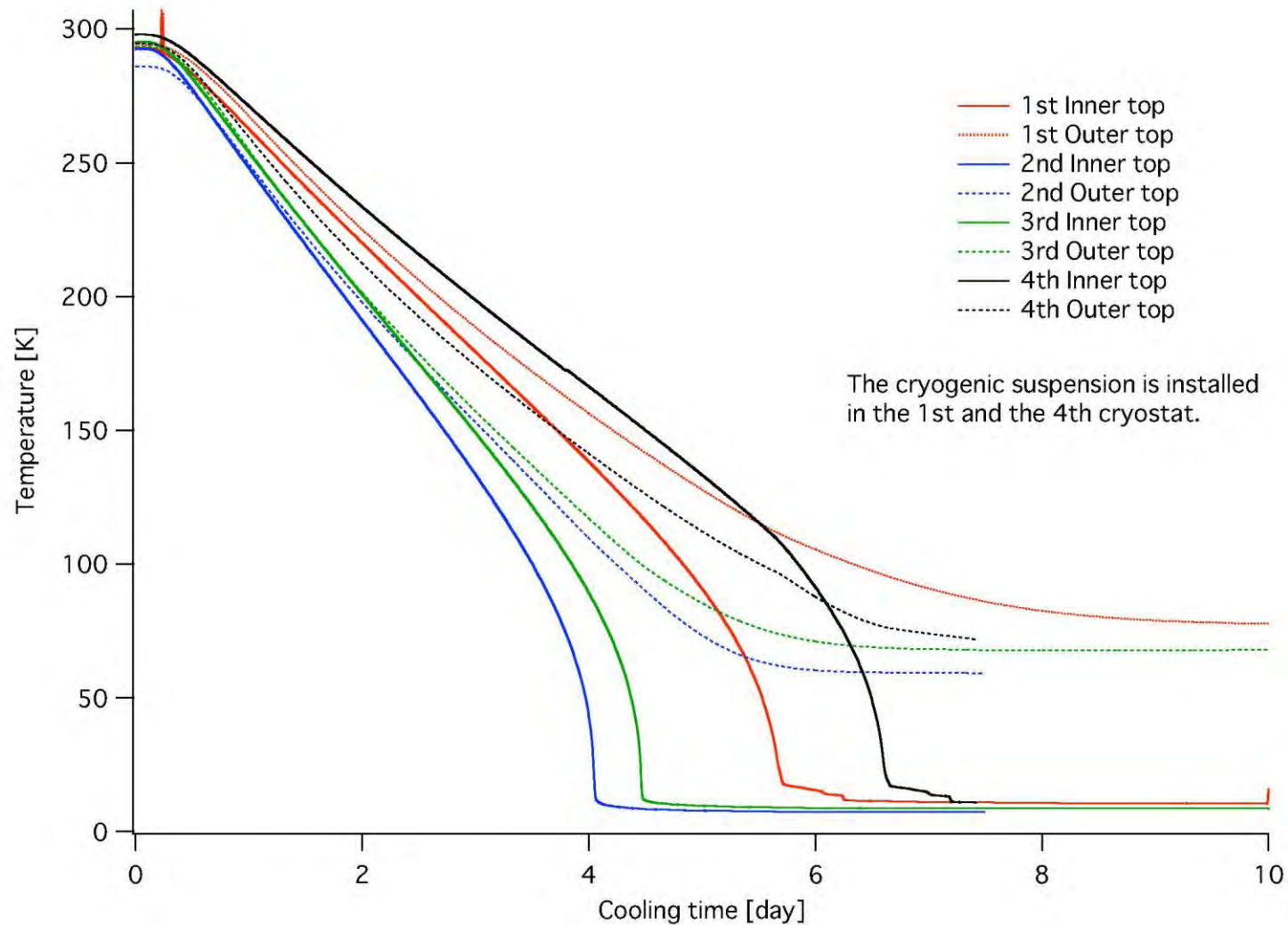


- KEK seismic (KEKseisZ)
- Upper Flange (VRS_U_z)
- Lower Flange (VRS_L_z)
- Background of Upper Flange (back_u_z)
- Background of Lower Flange (back_L_z)
- Ground (Cryocooler ON) (icrrRION_z)

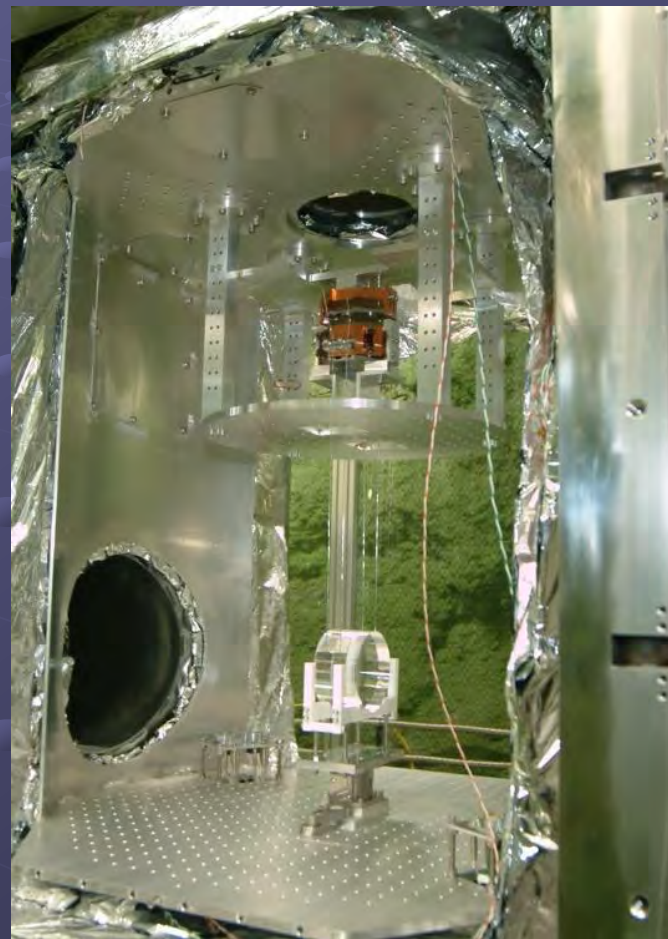
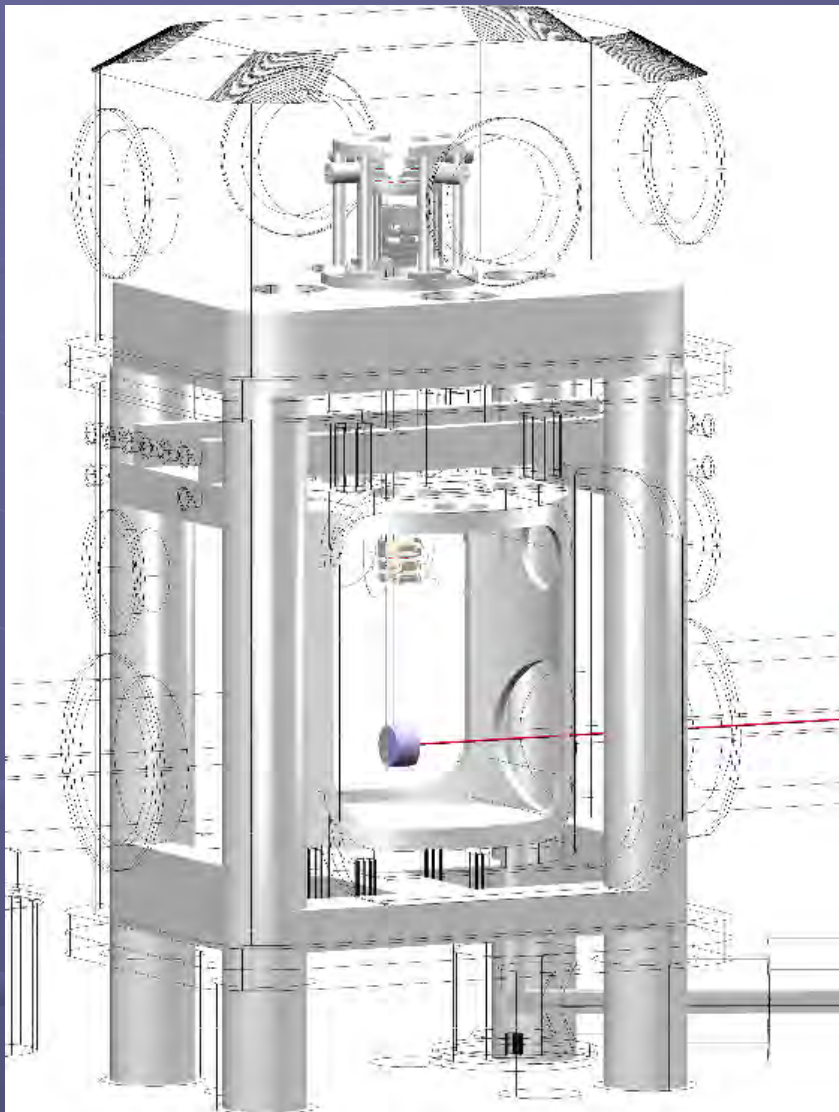
クライオスタット & 冷凍機



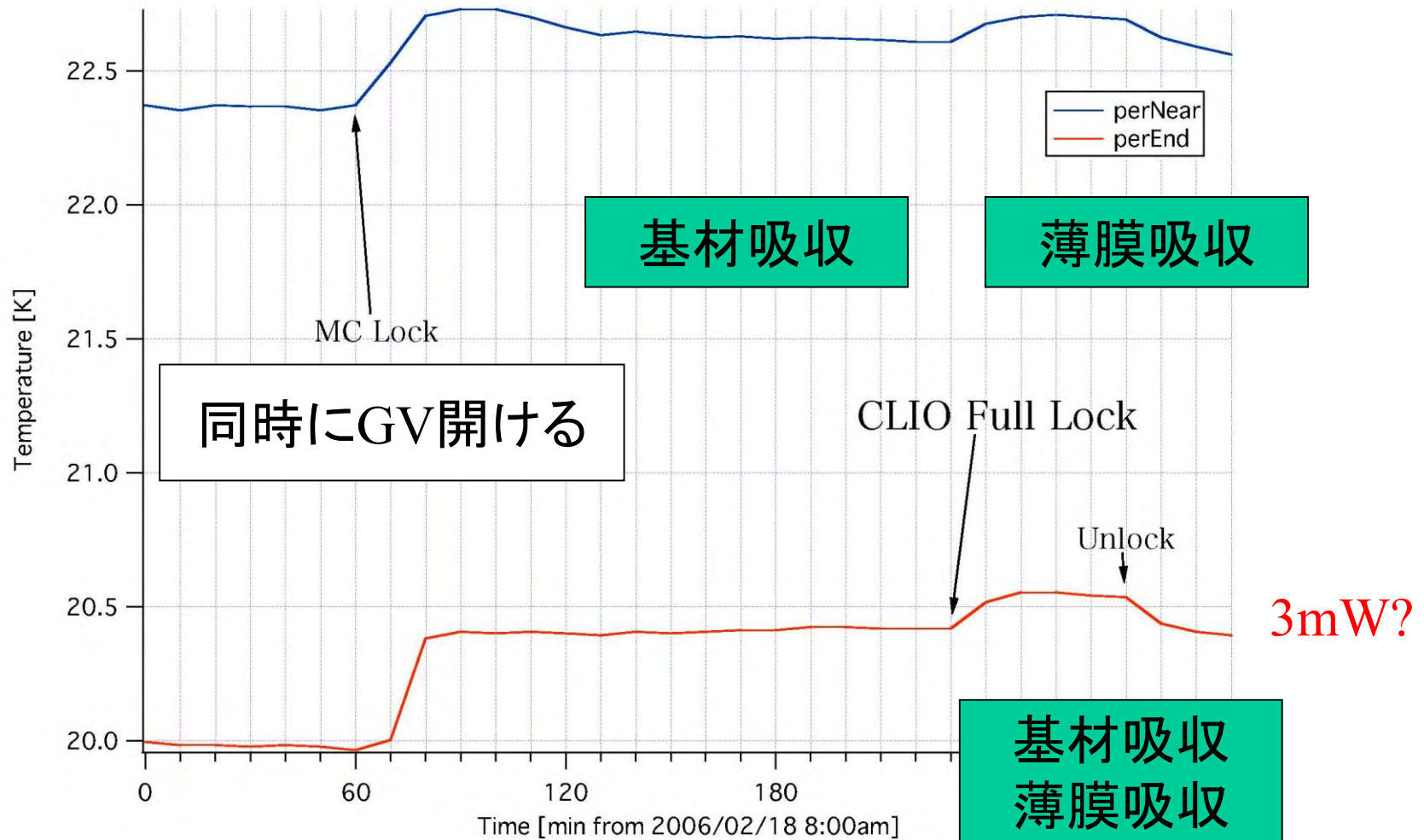
クライオスタットの冷却性能



CLIOのミラー懸架装置



FPロック前後のミラー温度変化



サファイアミラー

- 何故サファイアを使うか？

高い機械的Q値(熱雑音小)、熱伝導良、レーリー散乱小

- 直径30cm、重さ40kgが可能

Crystal systems(米)

Heat Exchange Method(HEM)

- 光学性能

一様性 $< 10\text{nm rms}$

吸収 $< 10\text{ppm/cm}$

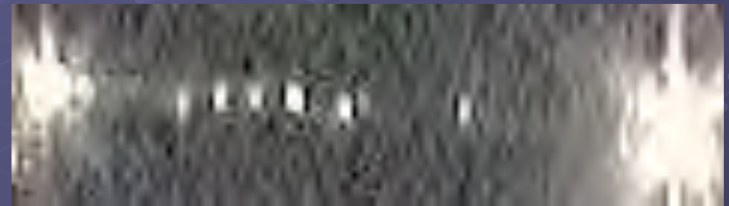


サファイア基材の散乱と吸収

● 内部散乱:

- リサイクリングゲイン低下
- 干渉計出力へ混入

“Bad” sapphire

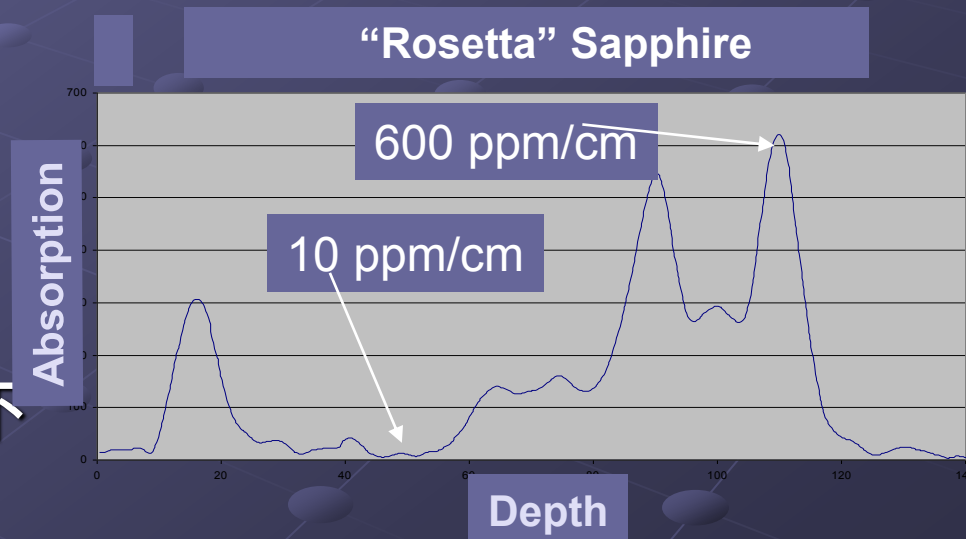


● 吸収:

- 熱レンズ効果

---> 変調光量の低下

“Rosetta” Sapphire



大型コーティング装置の例 (VIRGO)

- Dimension: $2 \times 2.2 \times 2.2 \text{ m}^3$

- Vacuum: $2 \cdot 10^{-8} \text{ mBar}$

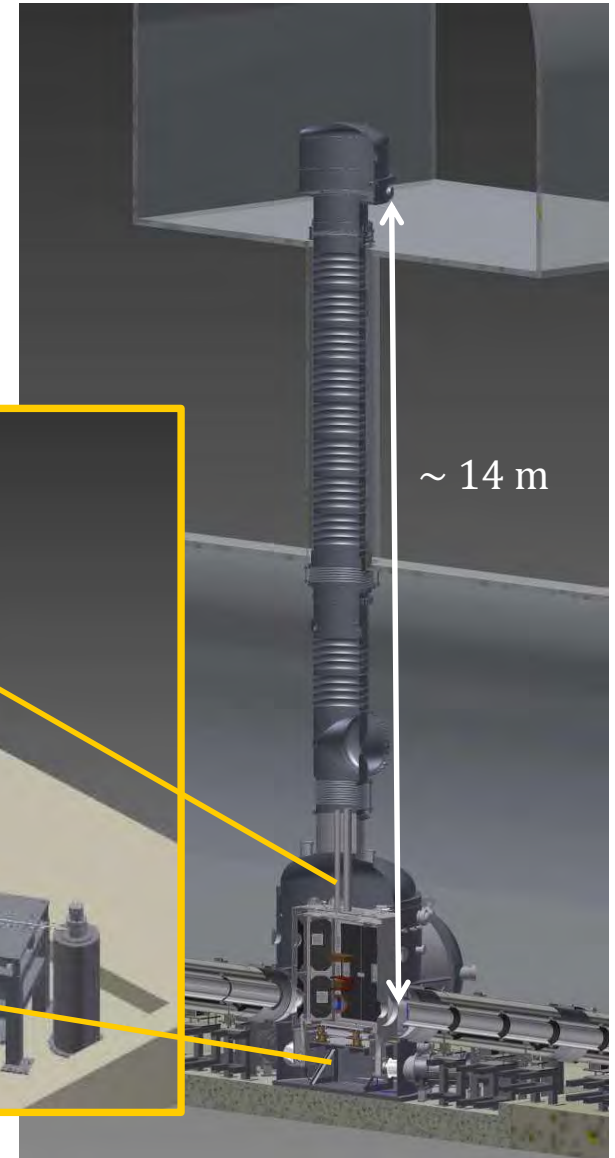
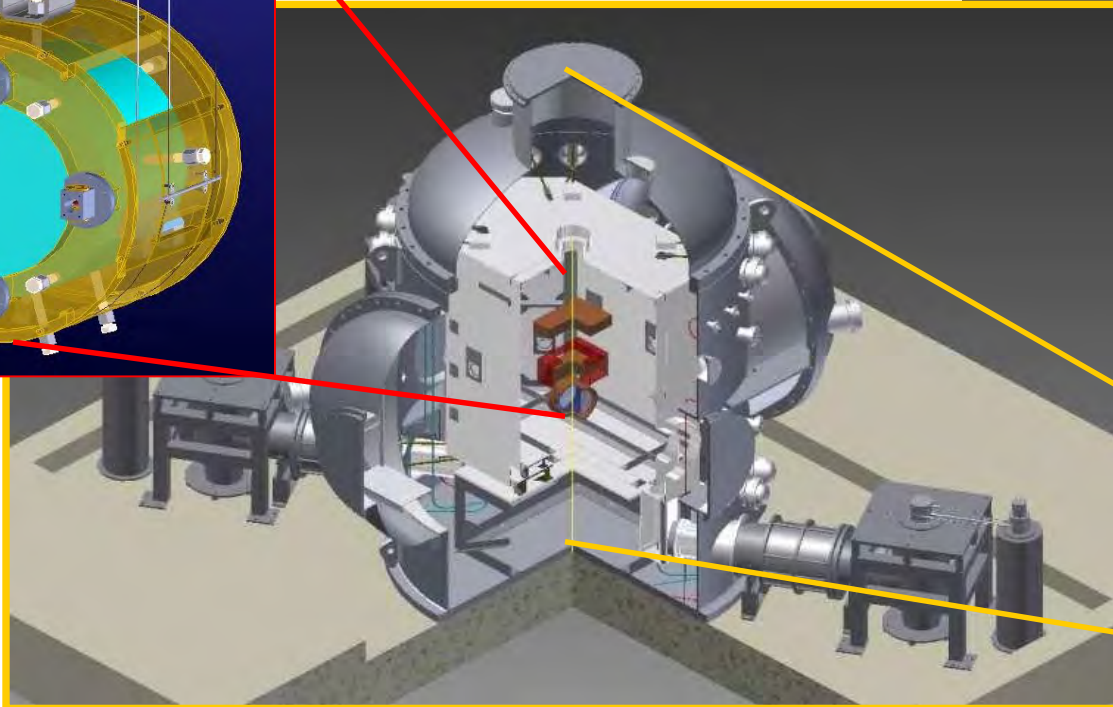
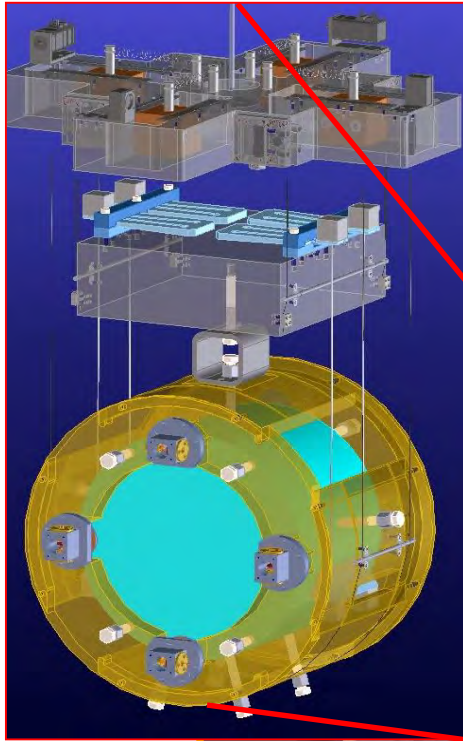
- DIBS technology

- Environment: Class 1



本格観測に向けて

極低温鏡の懸架システム
(設計図)



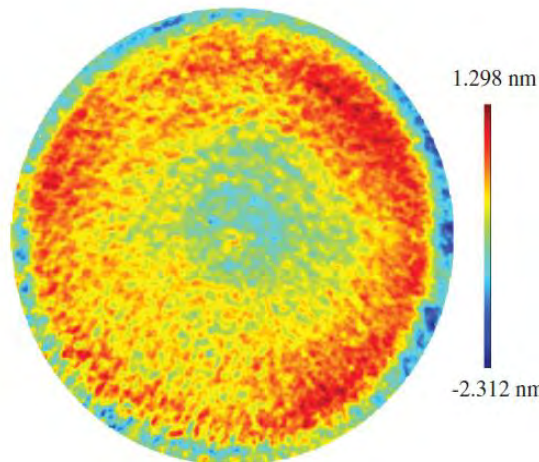
本格観測に向けて



低温懸架装置試作
(KEK, 2016年)



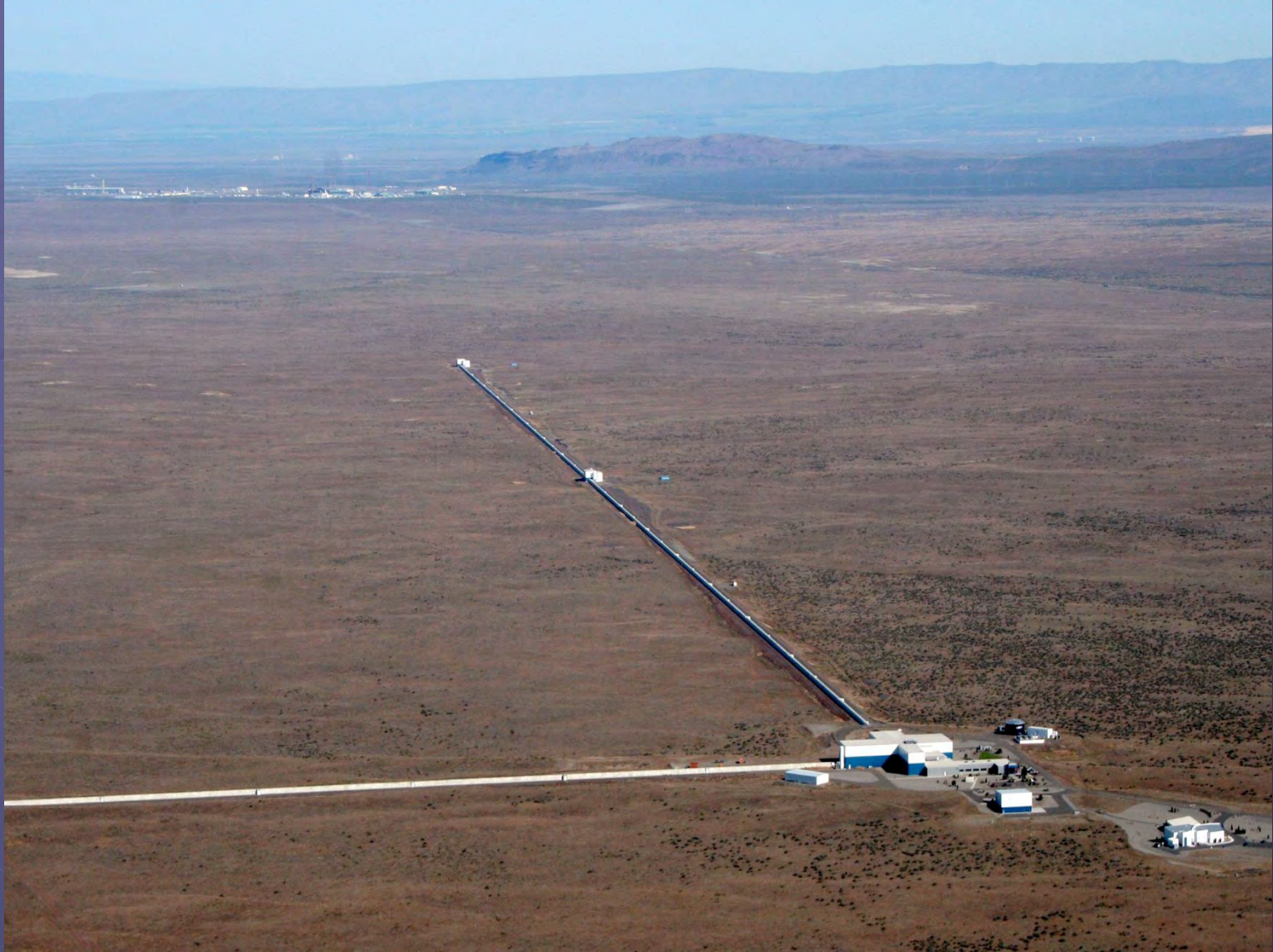
サファイア鏡基材
(直径22cm, 厚さ15cm,
重さ23kg)



研磨試験結果
0.24nm (14cmの範囲)
0.48nm (180cmの範囲)
(OK!、現在研磨中)

将来計画について

LIGOは大きい(大きい方が良い)



N39°35.31' W118°48.15'



Carson Sink, Nevada (Alkali flat)



もっと大きなレーザー干渉計の将来計画

LIGOも低温干渉計に？

