

低温システム



山元 一広

東京大学 宇宙線研究所

富山大学とKAGRAグループの重力波検出に関する合同ワークショップ
富山大学五福キャンパス
2012/7/7

なぜ冷やすのか？

熱雑音：原理的雑音の一つ

（懸架された鏡の振り子振動および鏡の弾性振動）

冷却することで小さくなる。KAGRAでは20K。

なぜ20Kなのか？

温度が低いほど熱雑音は小さい。

高パワーレーザーを使う。吸収による発熱。

目標感度

どのように冷やすのか？

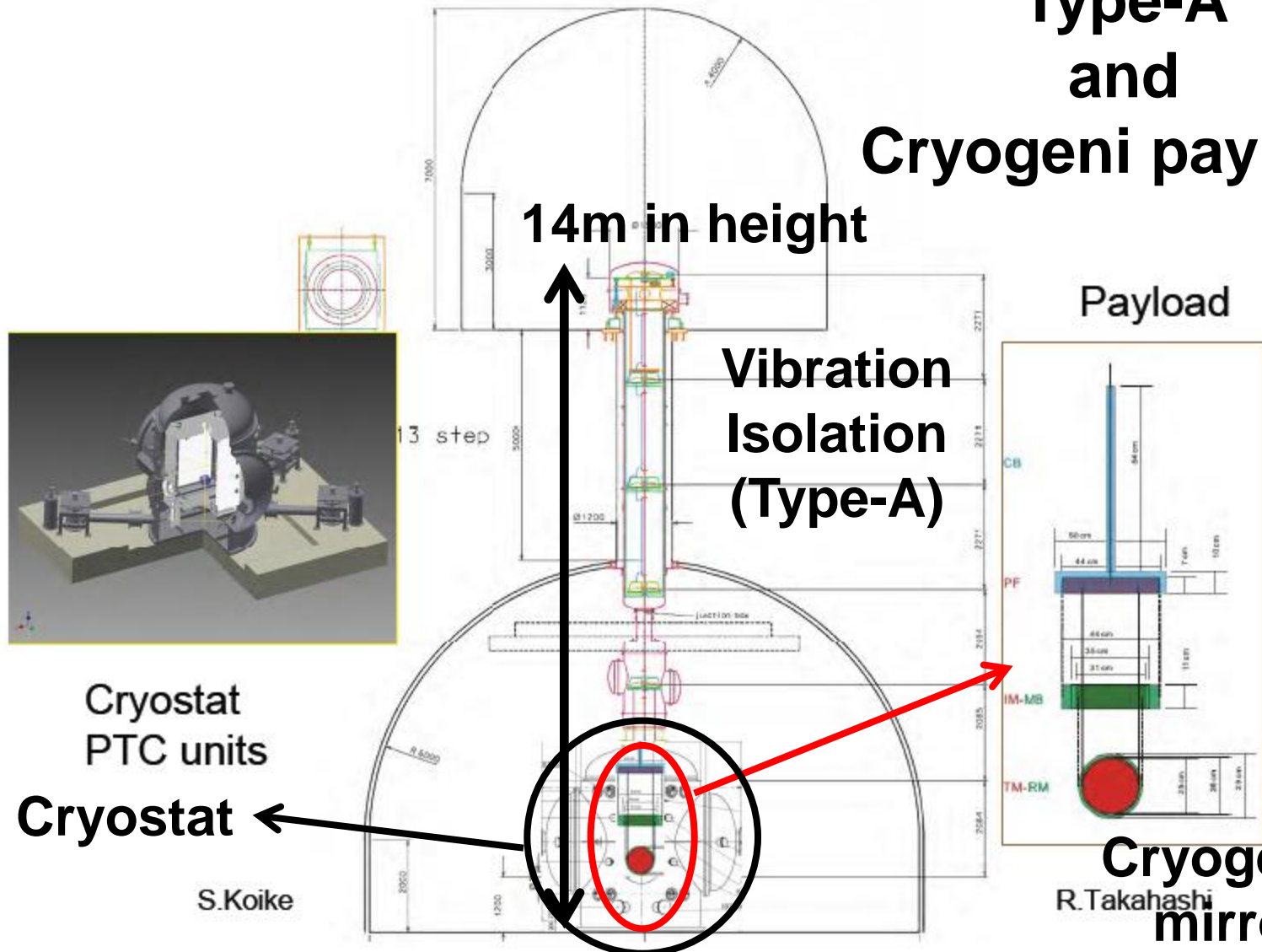
パルス管冷凍機を使用する。

鏡は防振系の下にある低温懸架系で吊るされている。
低温懸架系のみ冷却。このためヒートリンクで接続。

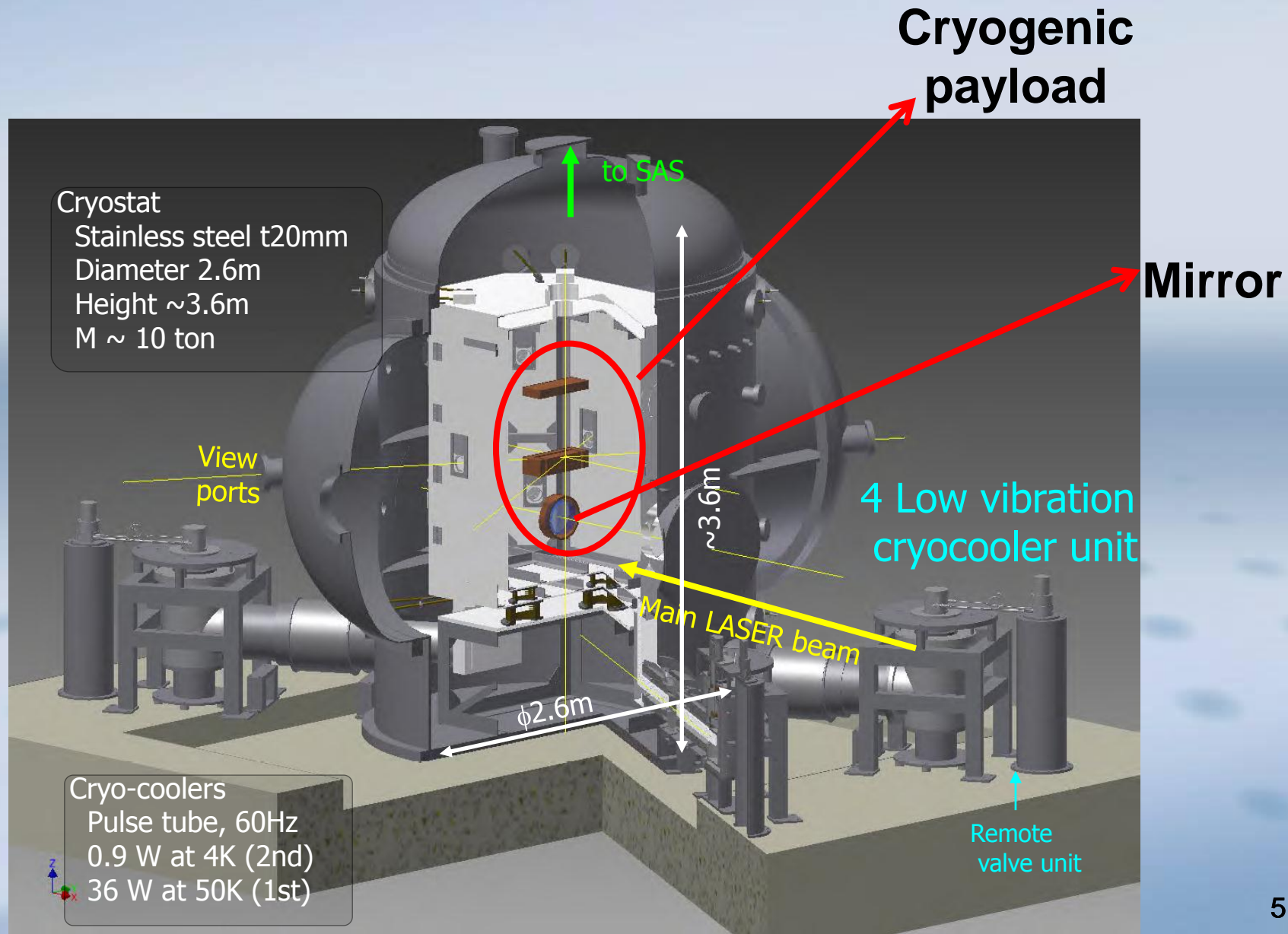
低温懸架系は輻射シールドが囲まれているが
レーザービーム（直径7cm）を通す穴が必要。
ここからの輻射の侵入を抑えるために17mの低温ダクトを
設置（温度は80K程度）。

どのように冷やすのか？

Type-A and Cryogeni payload



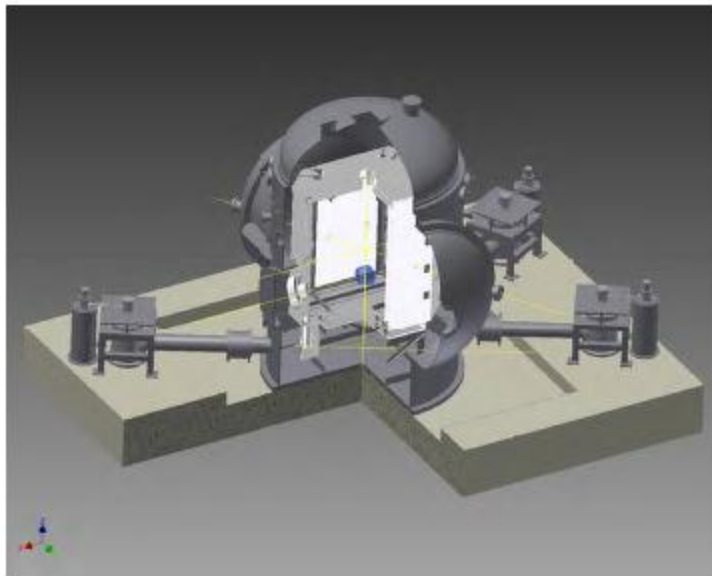
どのように冷やすのか？



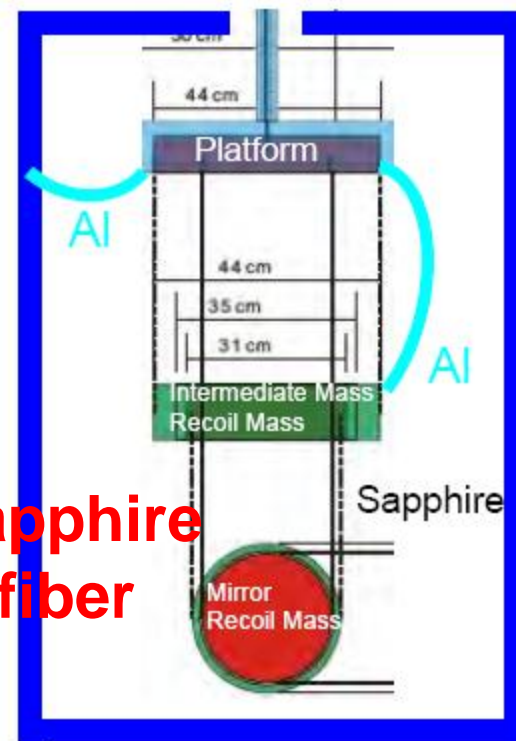
どのように冷やすのか？

Cooling of payload

Cryogenic payload



Double radiation shield
Low vib. PTC units
Pure Al heat path



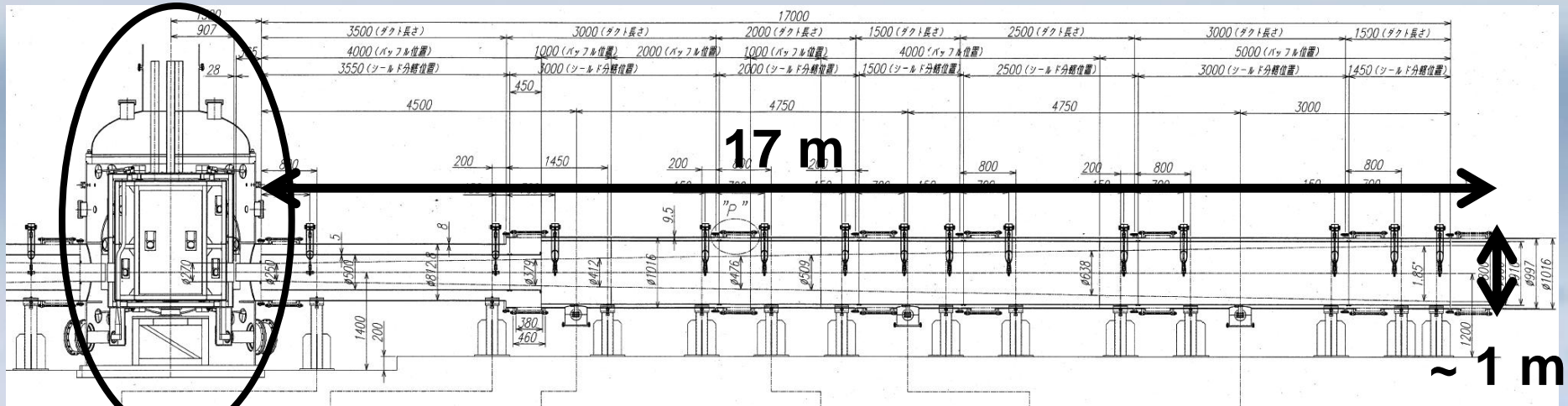
Shield
(8K)

Sapphire
fiber

Sapphire
mirror
(20K)

どのように冷やすのか？

低温ダクト



Cryostat

現状

クライオスタットの製作は順調に進んでいる。



Main body ($\Phi 2.6\text{m}$, H3.6m)



at Toshiba
Keihin Product Operations

今後の課題

クライオスタットの中身(低温懸架系)について

(1) 低温懸架系のプロトタイプ試験(柏)

(2) 様々なR&D

進んでいるものは分担の調節が
必要だけとりあえずここでは触れません。

今後の課題

R&D項目

- (a) **Sapphire fibers** to suspend mirror
- (b) **Vertical spring** in **cryostat**
- (c) **Material** for mass and wire
(except for the mirrors and fibers to suspend mirror)
- (d) Development and test
of **sensors, actuators, motors** in **cryostat**
- (e) **Thermal noise** (Calculation, Q measurement
of wires and coating and so on)
- (f) **External vibration noise**
(seismic motion, vibration of shield,
transfer function of payload and heat link)
- (g) **Initial** cooling time

サファイアファイバー

Sapphire fibers to suspend sapphire mirrors

Class. Quantum Grav. 27 (2010) 084021

M Lorenzini

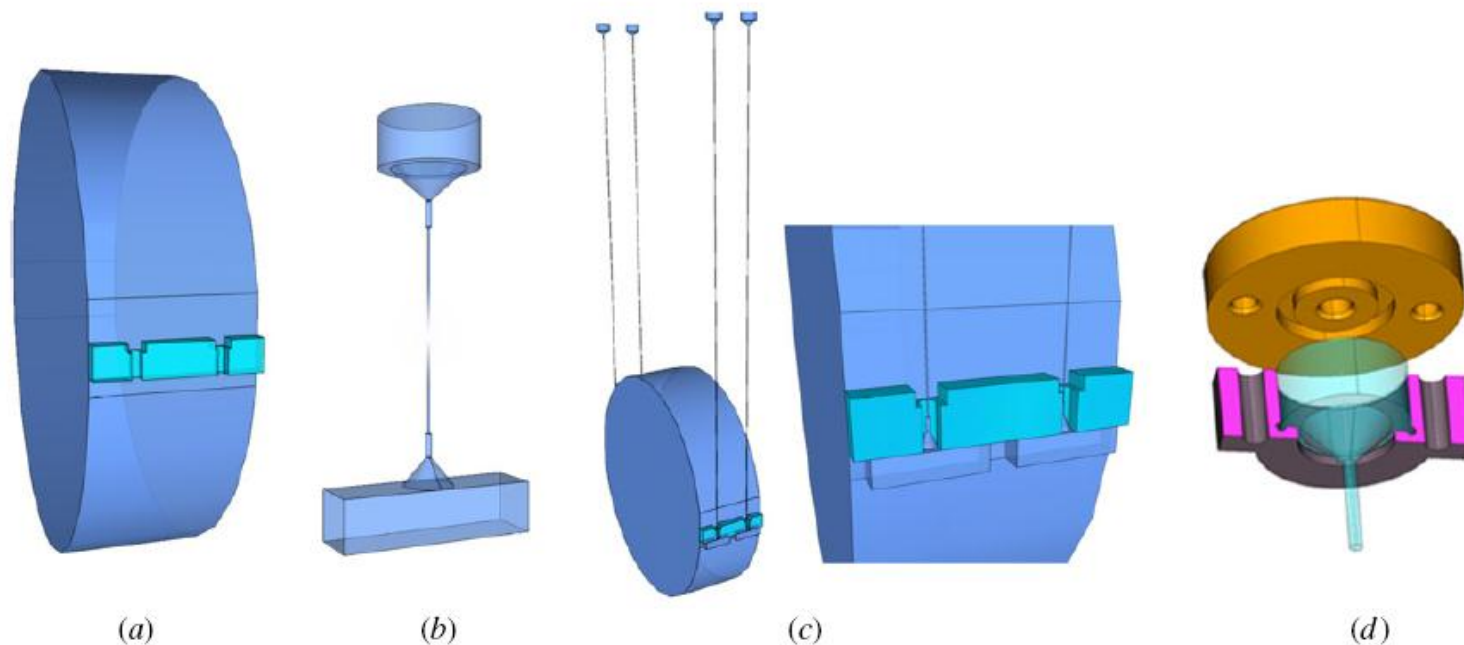


Figure 2. Sketch of the steps followed to realize a monolithic suspension, as detailed in the text.

サファイアファイバー

Sapphire fibers to suspend sapphire mirrors

製作上の課題

- (1)どのように端が太いファイバーをつくるのか？
(Moltech, IMPEXで製作。Quality check必要)
- (2)どのように耳を鏡側面につくるのか？
接合？研削？
- (3)ファイバの上端をどのようにつかむのか？

サファイアファイバー

Sapphire fibers to suspend sapphire mirrors

Quality check

- (1)強度(支えられるか?)
- (2)熱伝導(冷却できるか?)
- (3)機械的散逸(熱雑音は小さいか?)

以上のことはサファイアファイバー**以外の部分**(低温懸架系の他のマスやワイヤ、ヒートリンク、そのクランプ部分、鏡の反射膜など)でもチェックが**必要**。

その他

- (1) **低温用縦バネ**: 縦方向の防振のため必要
- (2) **低温用センサー、アクチュエータ、モータ**: 位置、角度制御のため必要
- (3) **初期冷却時間の短縮**: 干渉計の稼働時間を多くするために必要
- (4) **ヒートリンク**: 伝熱と防振というある意味相反する要求を両立させる必要がある。
- (5) **シミュレーション**: 機械的振動解析、熱的解析を行い、設計の指針とする。

まとめ

- (1) KAGRAの**鏡と懸架系**は**冷却**される。鏡の温度は20K。
- (2) クライオスタットの製作は現在順調に**進行中**。
- (3) 低温懸架系の開発として
 - (a) 懸架系プロトタイプ試験(柏)
 - (b) R&D**
がある。
- (4) R&D項目
 - (a) **サファイアファイバー**、(b) 低温用縦バネ、
 - (c) 低温用センサー、アクチュエータ、モータ、
 - (d) 初期冷却時間の短縮、(e) ヒートリンク、
 - (f) シミュレーション(機械的、熱的解析)

Thank you for your attention !

3. *b-KAGRA*

3.1 Requirement

(a) **Installation in safe and clean**

within the short period

(b) The temperature of the mirror

should be below about **20 K**

(with about **1 W heat load**).

Initial cooling time should be short (**1 month**).

(c) Control (and damping) of the position

and angle of mirrors at **cryogenic temperature**

(d) The sensitivity (10 Hz - 100 Hz) is **not limited**

by the **thermal noise, external vibration noise,**

and **control noise.**

3. *b-KAGRA*

3.2 Preliminary design

What should we do in near future ?

(1) How to **assemble**

Details of construction in clean room

(2) **Control and damping system**

to reduce fluctuation and instability

Actuators (what and where),

resonant mode (frequency and Q)

and so on

(3) Noise : **Thermal noise, external vibration noise, noise of control and damping system...**

(4) How to **suspend baffle** for scattered light

3. *b-KAGRA*

Current status

R&D items in progress

Simulation for initial cooling time (Sakakibara)

Thermal and mechanical simulation (Koike)

Mechanical simulation (including thermal noise)

(Sekiguchi)

Simulation for transfer function of heat link (Aso)

Calculation of thermal noise (Yamamoto)

Sapphire fibers (Shibata, Ushiba, Chen, Suzuki)

Material selection for mass and wire (Tokoku)

Reflectance of DLC (Sakakibara)

Vertical spring in cryostat (Ishizaki, Sekiguchi)