

# 干渉計・試験マスモジュール 概要

阿久津智忠（国立天文台）

# Basic concept of DPF

## DECIGO Pathfinder (DPF)

First milestone mission for DECIGO

Shrink arm cavity

DECIGO 1000km → DPF 30cm

**Single satellite**

(Payload  $\sim 1\text{m}^3$ , 350kg)

**Low-earth orbit**

(Altitude 500km, sun synchronous)

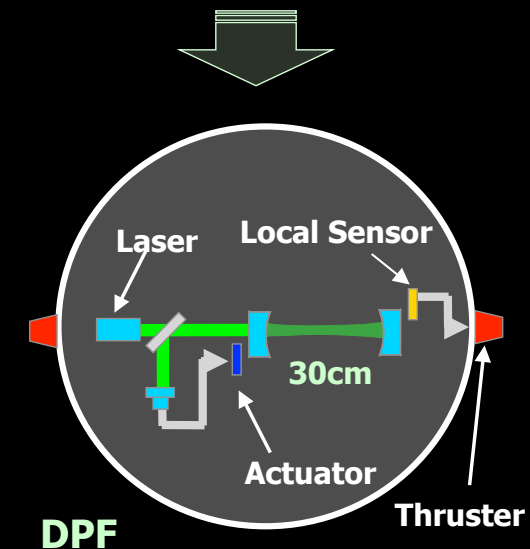
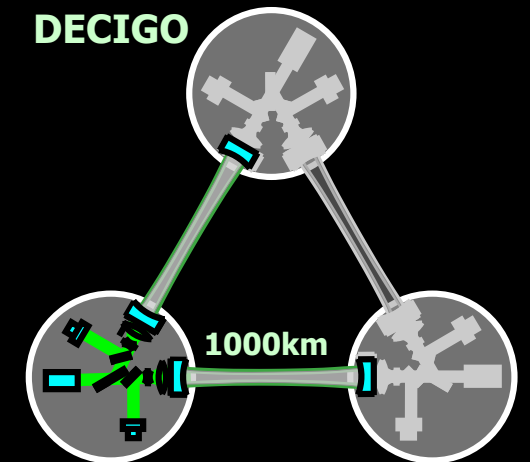
30cm FP cavity with 2 test masses

Stabilized laser source

Drag-free control

will be performed.

Slide by Ando, modified





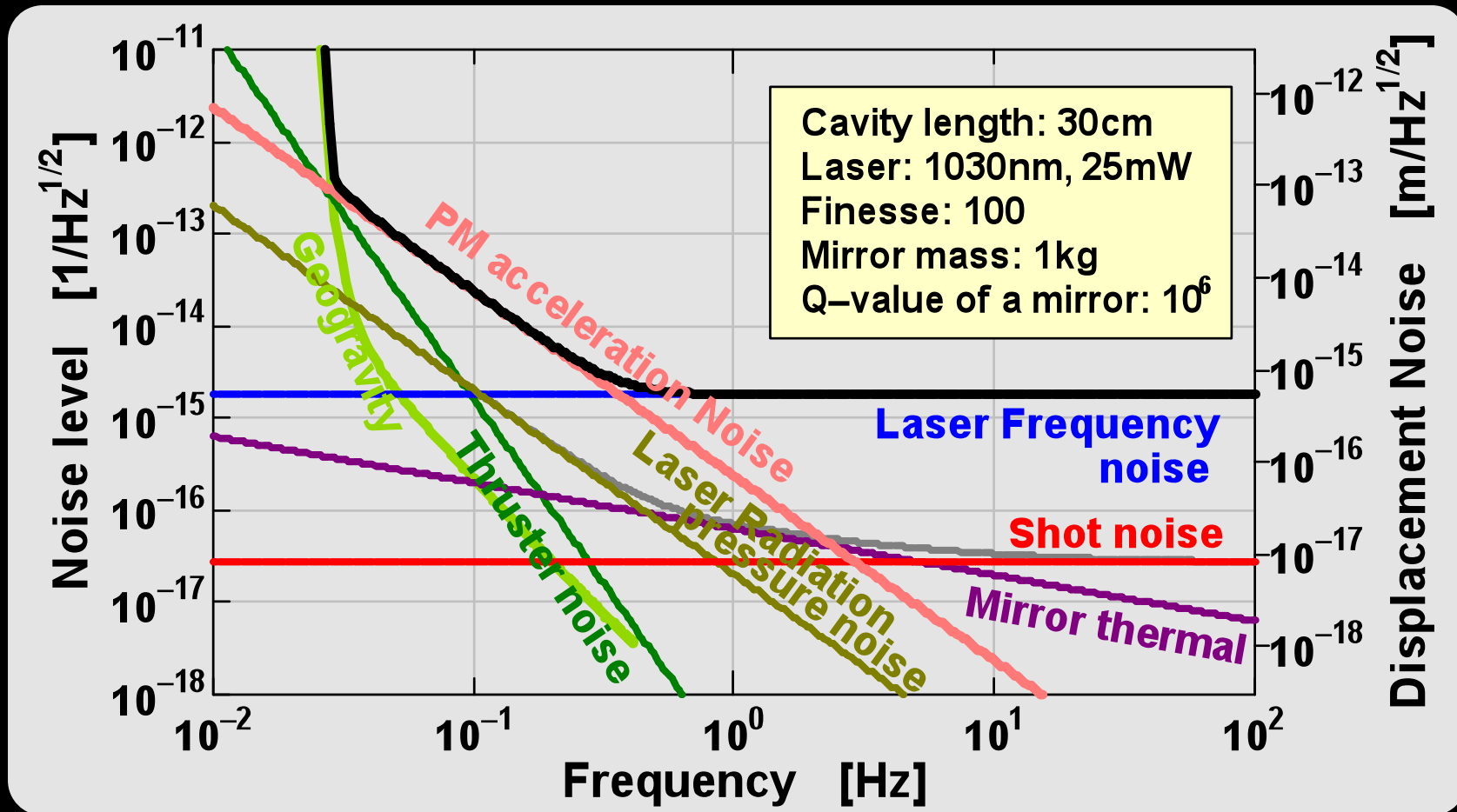
# Conceptual design and sensitivity

Slide by Ando

Laser source : 1030nm, 25mW  
 IFO length : 30cm  
 Finesse : 100, Mirror mass : 1kg  
 Q-factor :  $10^5$ , Substrate: TBD  
 Temperature : 293K

Satellite mass : 350kg, Area:  $2\text{m}^2$   
 Altitude: 500km  
 Thruster noise:  $0.1\mu\text{N}/\text{Hz}^{1/2}$

(Preliminary parameters)



# DECIGO Pathfinder (DPF)

Slide by Ando

## DPF Payload

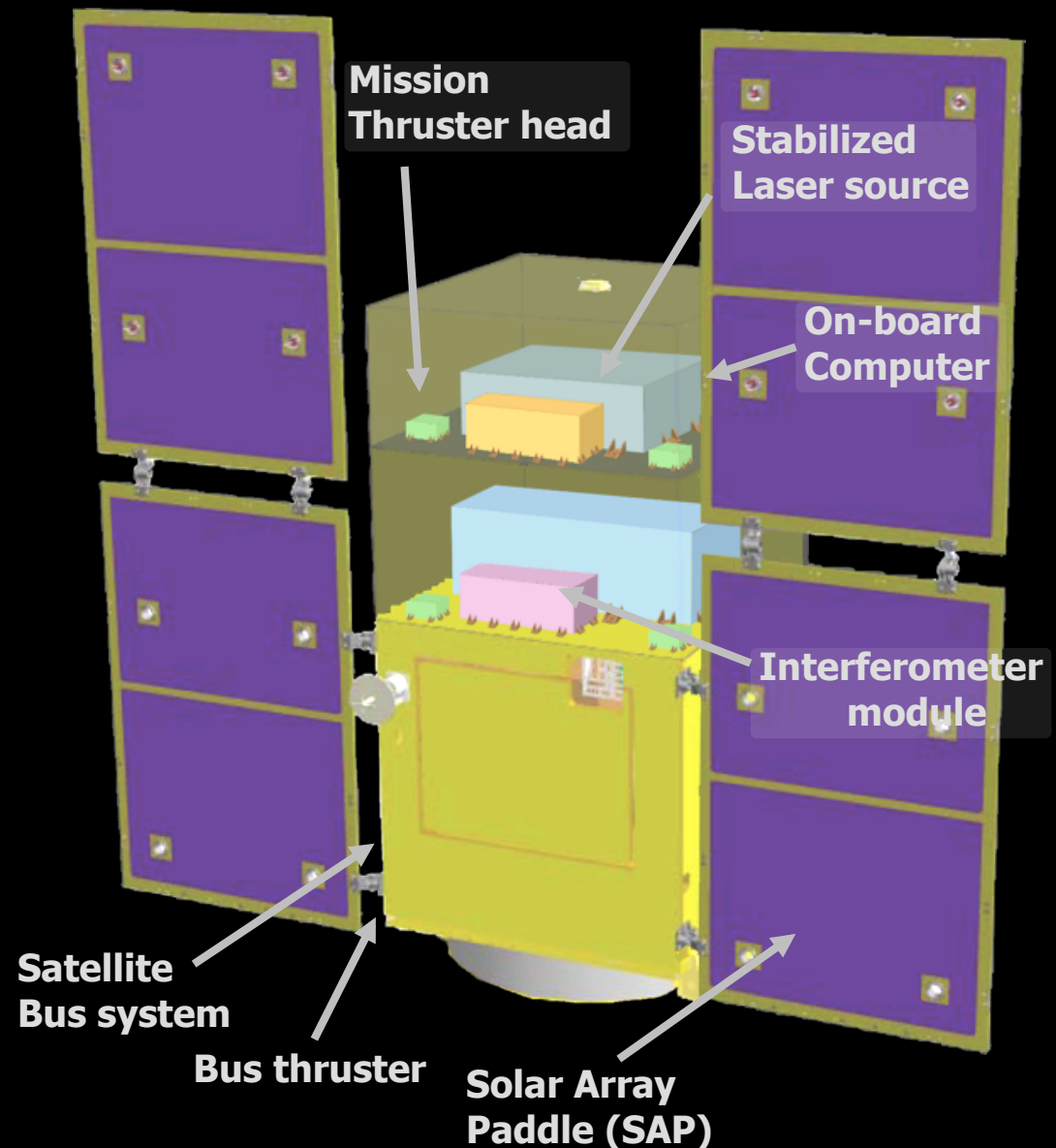
Size : 950mm cube  
Weight : 150kg  
Power : 130W  
Data Rate: 800kbps  
Mission thruster x8

Power Supply  
SpW Comm.

## Satellite Bus

('Standard bus' system)

Size :  
950x950x1100mm  
Weight : 200kg  
SAP : 960W  
Battery: 50AH  
Downlink : 2Mbps  
DR: 1GByte  
3N Thrusters x 4

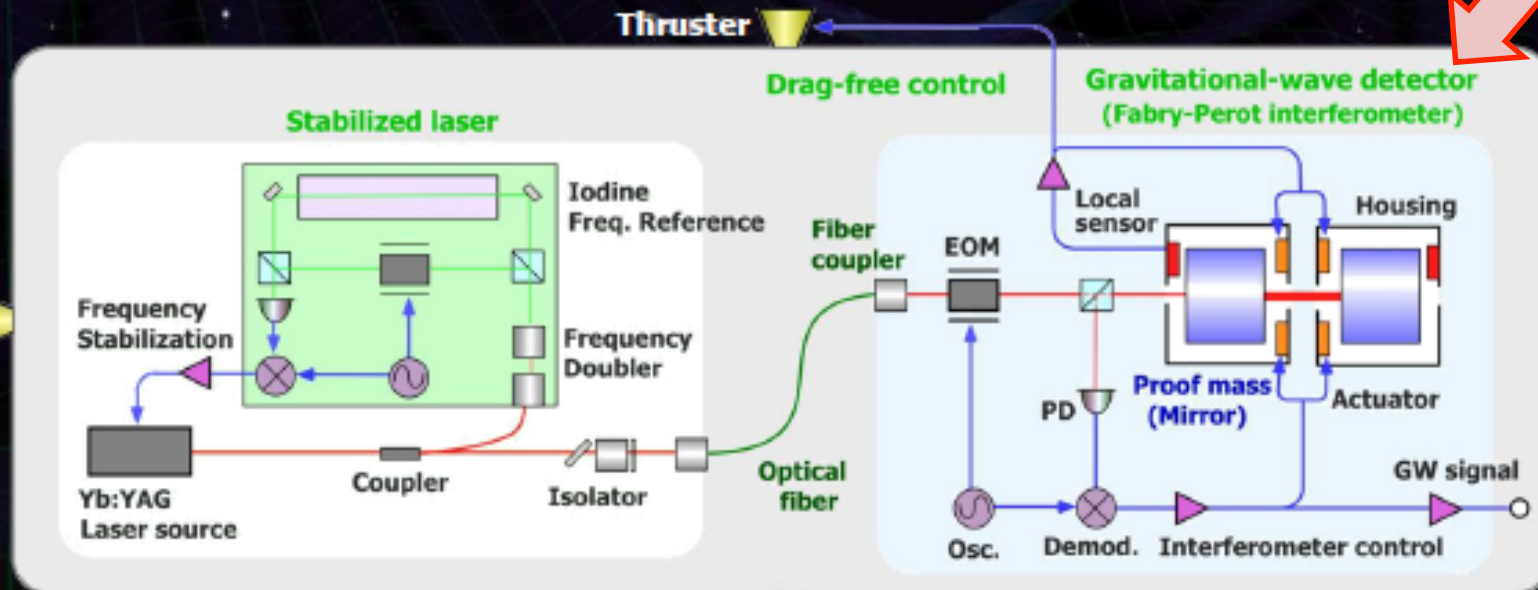
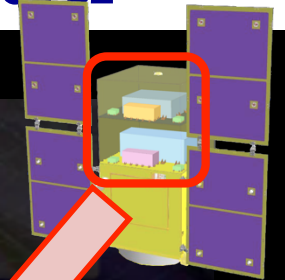


# Schematic diagram of DPF payload

Mission weight : ~150kg  
Mission space : ~95 x 95 x 90 cm

## Drag-free control

Local sensor signal  
→ Feedback to thrusters



## Laser source

Yb:YAG laser (1030nm)  
Power : 25mW  
Freq. stab. by Iodine abs. line

## Fabry-Perot interferometer

Finesse : 100  
Length : 30cm  
Test mass : ~a few kg  
Signal extraction by PDH

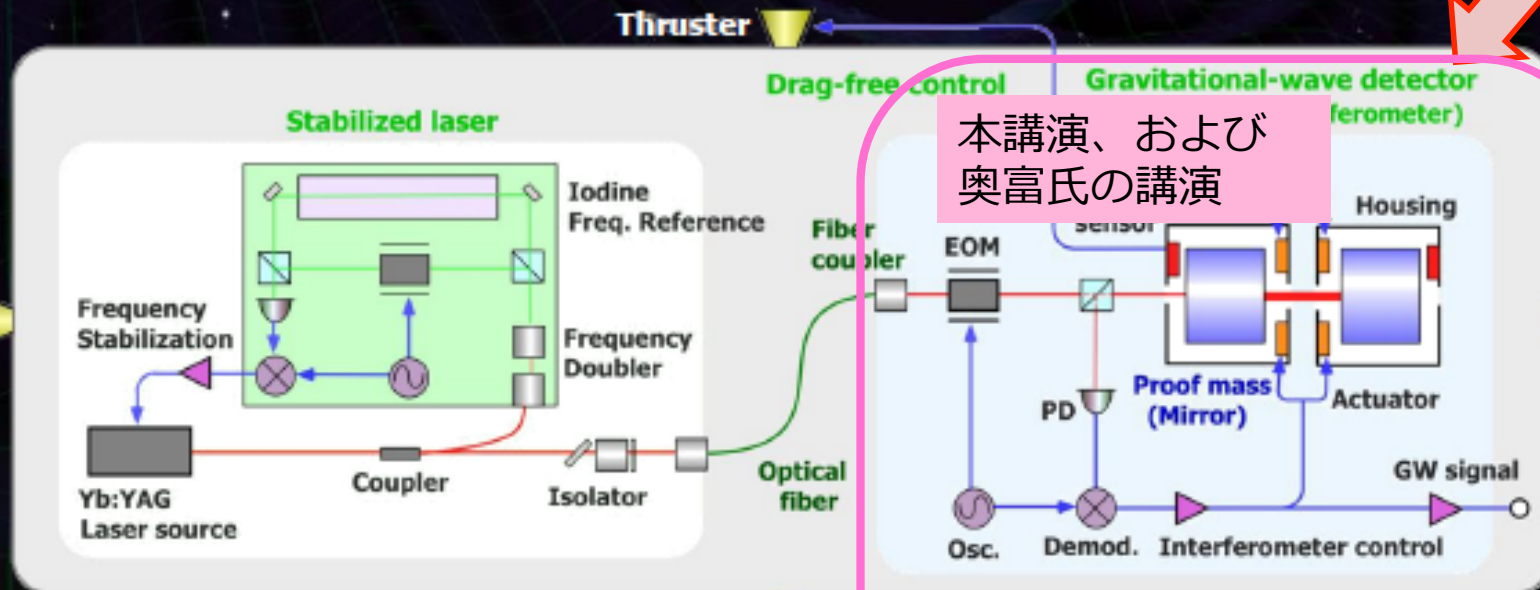
Slide by Ando

# Schematic diagram of DPF payload

Mission weight : ~150kg  
Mission space : ~95 x 95 x 90 cm

## Drag-free control

Local sensor signal  
→ Feedback to thrusters



## Laser source

Yb:YAG laser (1030nm)  
Power : 25mW  
Freq. stab. by Iodine abs. line

## Fabry-Perot interferometer

Finesse : 100  
Length : 30cm  
Test mass : ~a few kg  
Signal extraction by PDH

Slide by Ando



# 干渉計モジュール

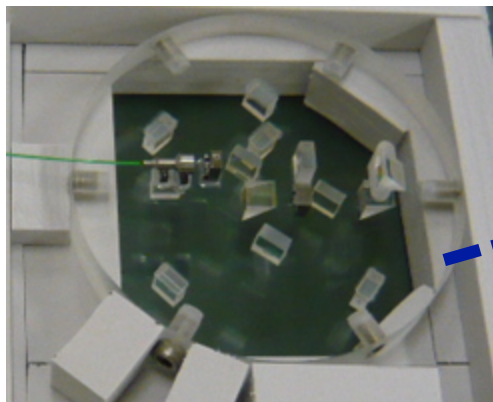
## 干渉計モジュールの構成

- 2つの試験マスモジュール
- 入射光学系（モノリシック）
- Evacuation system  $N_2$  will be purged after it launched
- 試験マスのローンチロック系
- 試験マスのメカニカル・アクチュエータ

## Characteristics

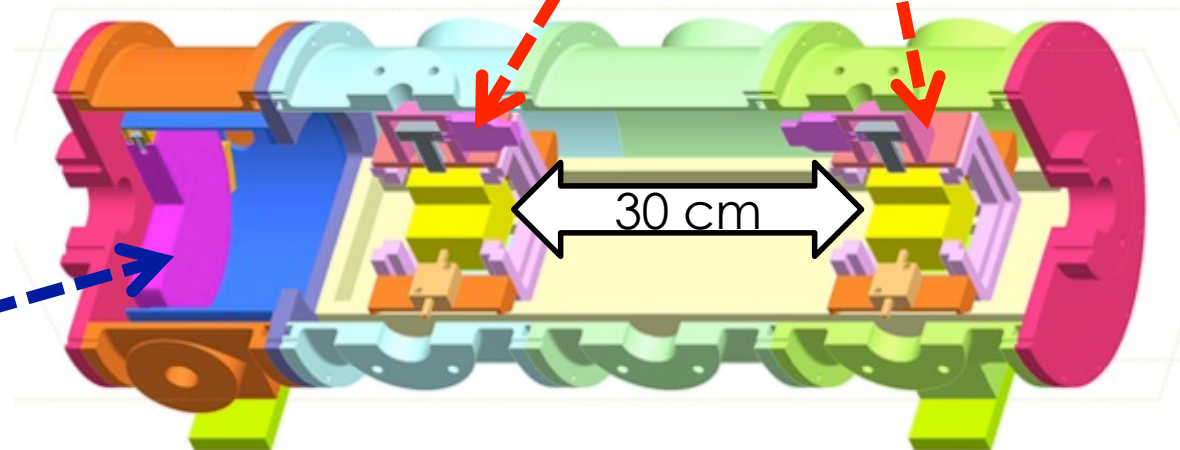
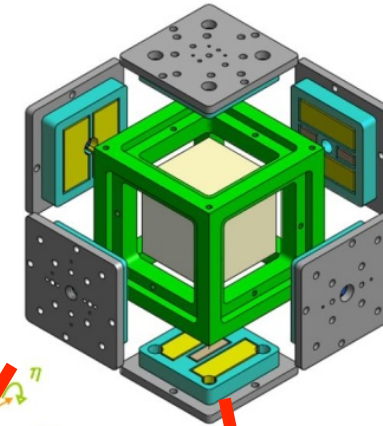
- Rigid structure
- Vacuum:  $10^{-6}$  Pa
- 30cm cavity arm length

Input optics (BBM2)



Developed by A. Ueda

試験マスモジュール



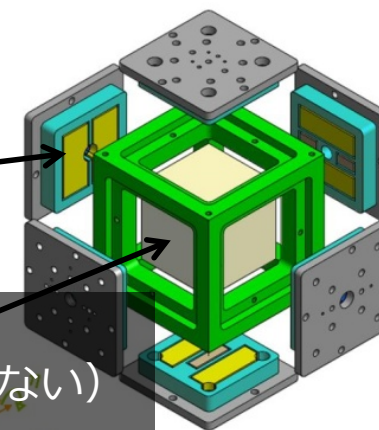
# 試験マスモジュール

## Requirements (@ 0.1Hz)

Sensor noise: < 0.1 nm/rtHz  
 Actuator range: > 10  $\mu$ N  
 Actuator noise: <  $10^{-15}$  N/rtHz  
 Stiffness: <  $10^{-6}$  s<sup>-2</sup>

静電センサ &  
アクチュエータ

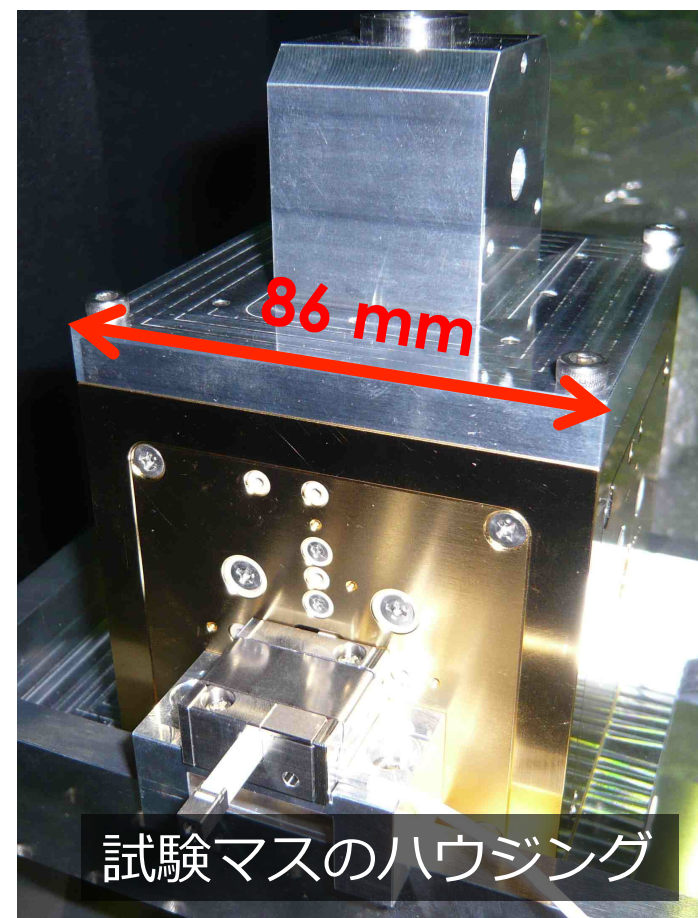
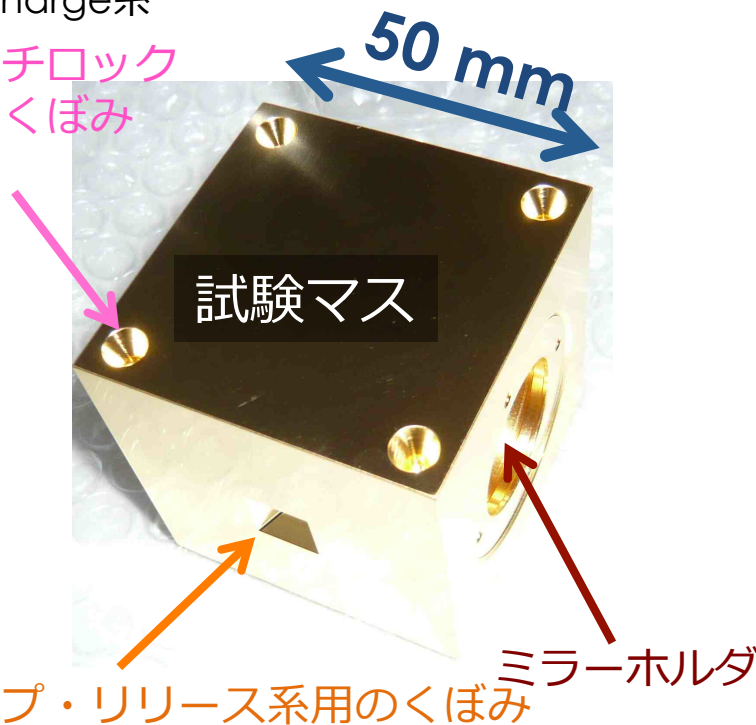
試験マス  
(宇宙ではどこにも触れない)  
→慣性系の基準となる。



### その他補助機構

- ローンチロック系
- クランプ・リリース系
- Discharge系

ローンチロック  
系用のくぼみ



# 試験マス・ハウジング

- 主たる機能：試験マスの保持
  - ◆ ローカルセンサー
  - ◆ ローカルアクチュエータ
  - ◆ Discharge
  - ◆ ローンチロック、クランプリリース
- 制約（1個あたり）
  - ◆ サイズ（小さく）
  - ◆ 質量（5kg程）
  - ◆ 消費電力（1W程）

# 試験マス・ハウジングの設計

## ■ ローカルセンサー

現状→

◆ 静電容量方式

◆ 干渉計測方式

◆ シャドーセンサー...

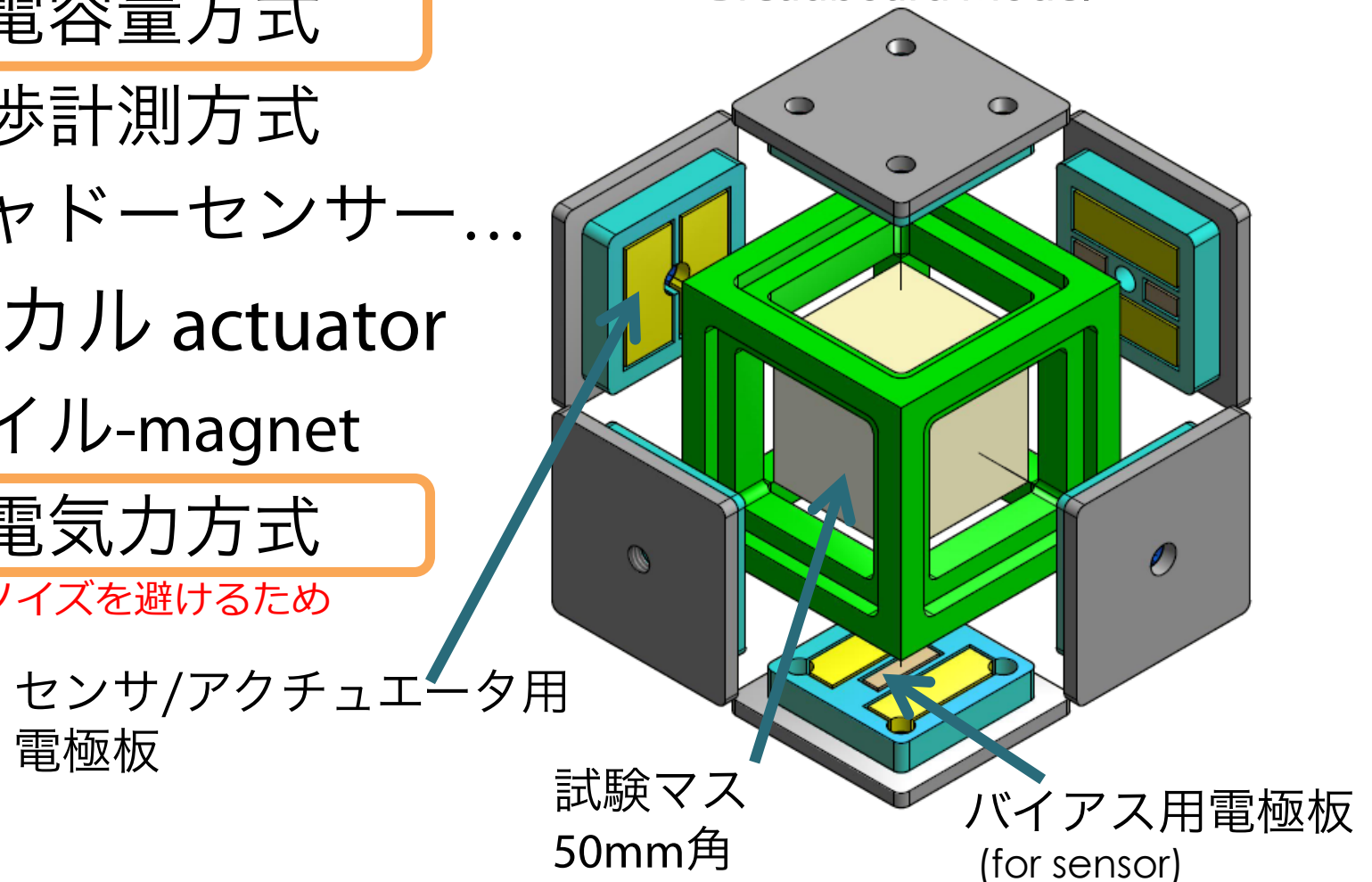
## ■ ローカル actuator

◆ コイル-magnet

◆ 静電気力方式

※磁場ノイズを避けるため

試験マスハウジングの  
Breadboard Model





# 試験マス・ハウジングの設計（続き）

## 静電センサーのデメリット

- ・ 試験マスにACバイアスをかけるための補助電極が必要。
- ・ 静電アクチュエータと電極板を共有しており、インターフェース回路が複雑。  
(※静電センサ・静電アクチュエータの組み合わせ自体は通常の加速度計でよく使われている。)



## 他の方法

(要求したい性能: 測定レンジ 数mm、ノイズ 0.1nm/rtHz @ 0.1Hz)

- ・ フォトセンサ (modulated) 方式 → 開発中
- ・ レーザー干渉計測方法

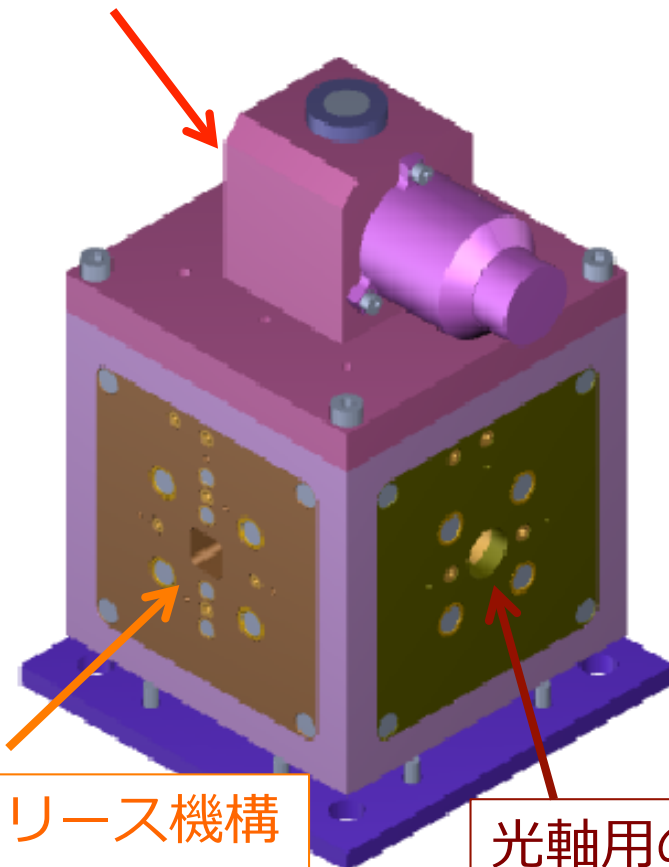
コマーシャル例: attocube社 FPSensor



- ・ Fiber-based Fabry-Perot Interferometerを使った距離センサ。
- ・ KAGRAの冷却懸架系でも使用予定 (?)
- ・ 測定レンジ > 数cm!
- ・ 小型。

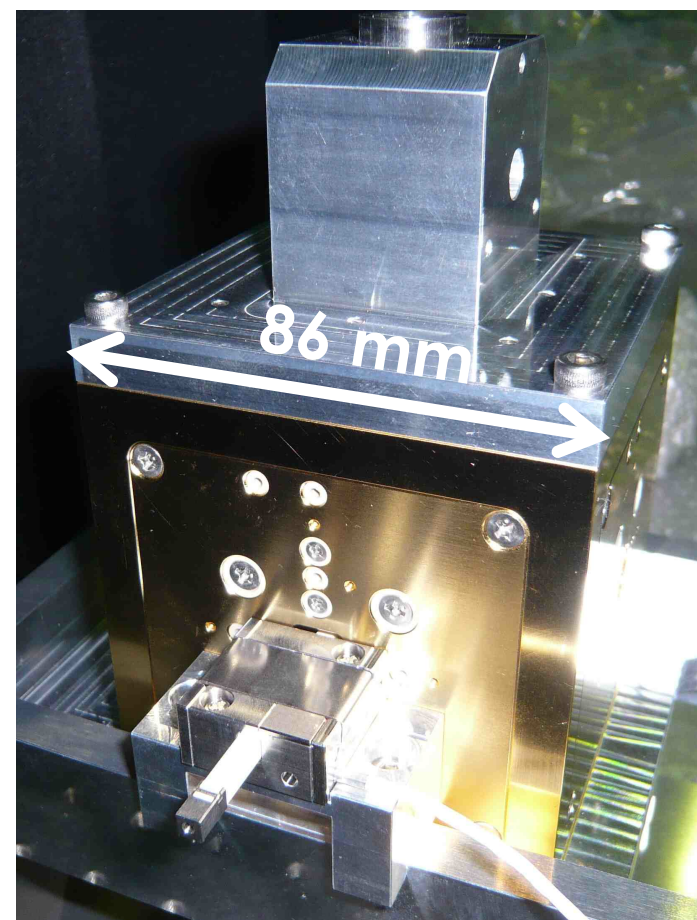
# 試験マス・ハウジング

ローンチロック機構

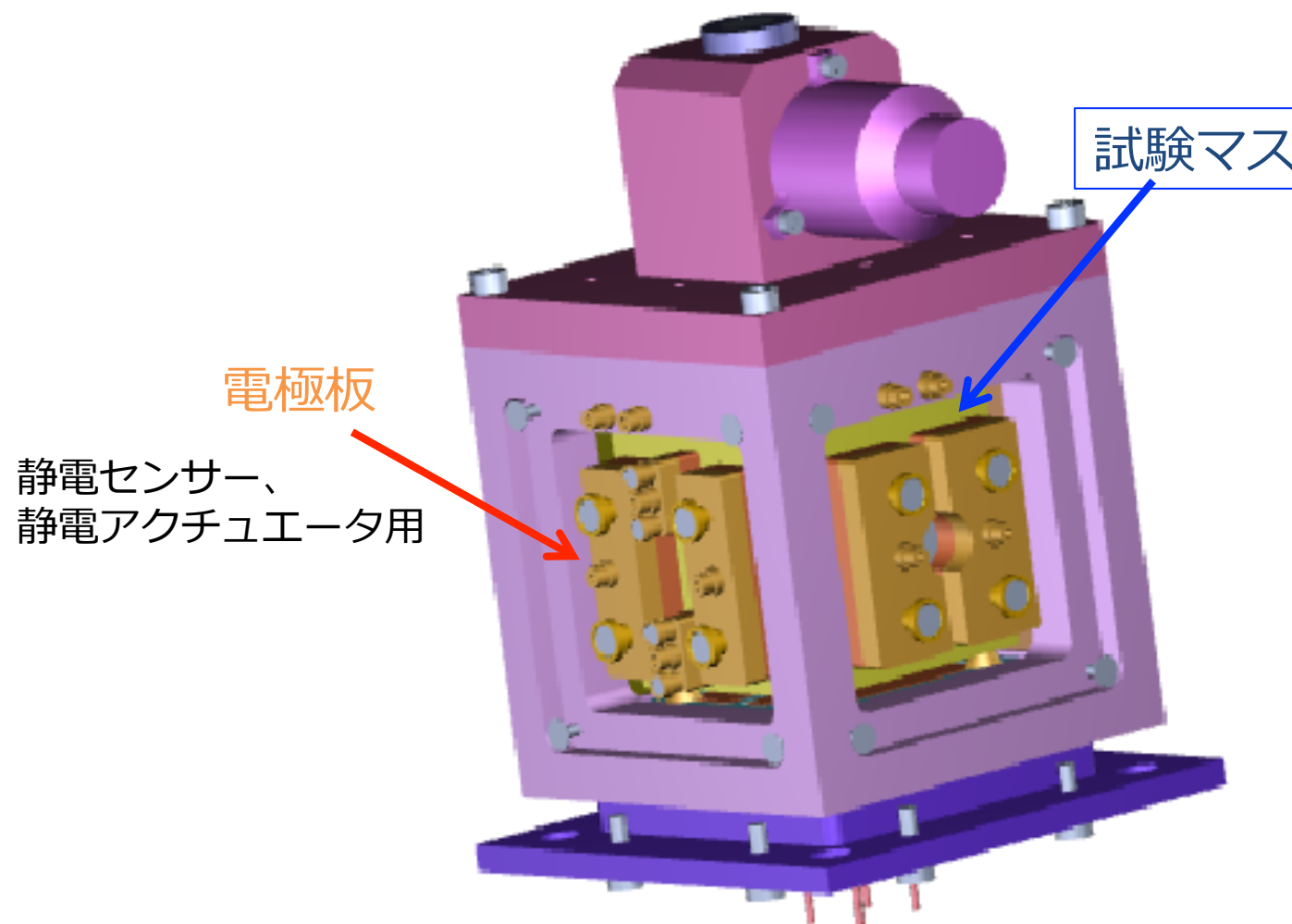


クランプリリース機構  
用の穴

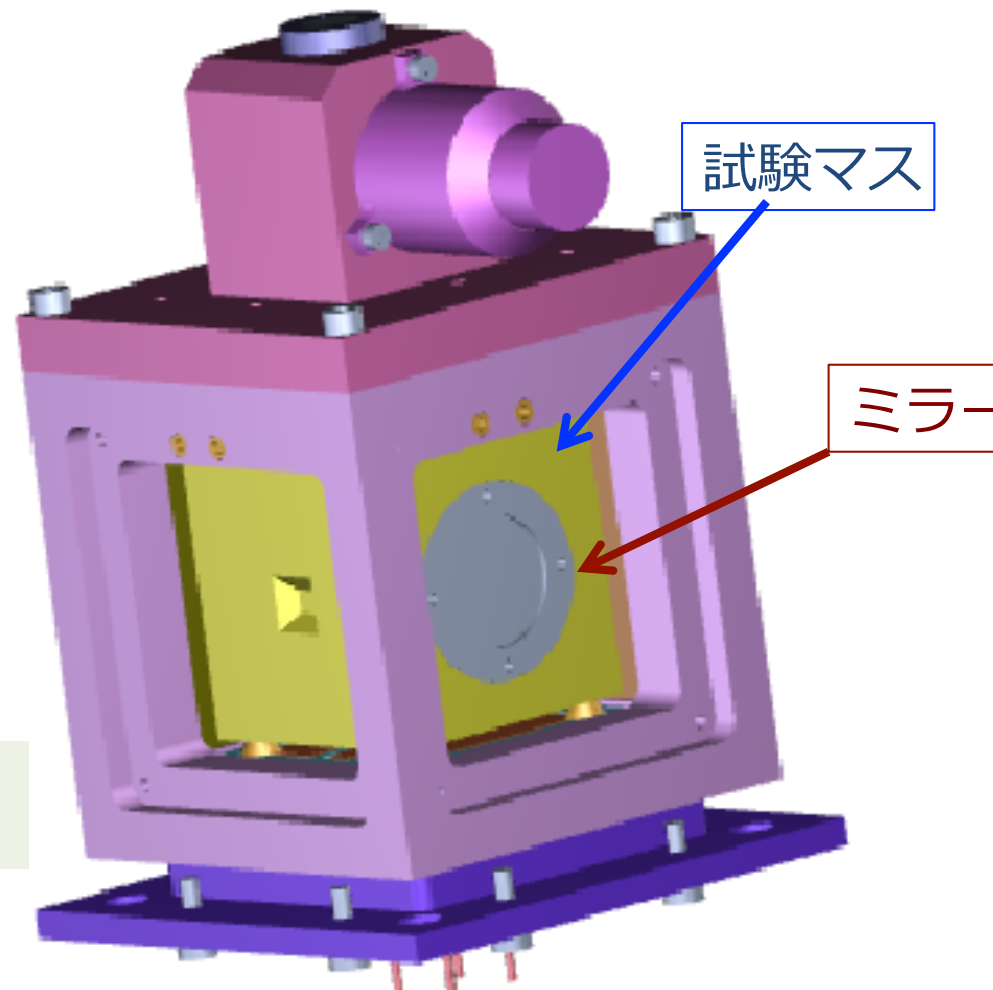
光軸用の穴



# 試験マス・ハウジング



# 試験マス・ハウジング

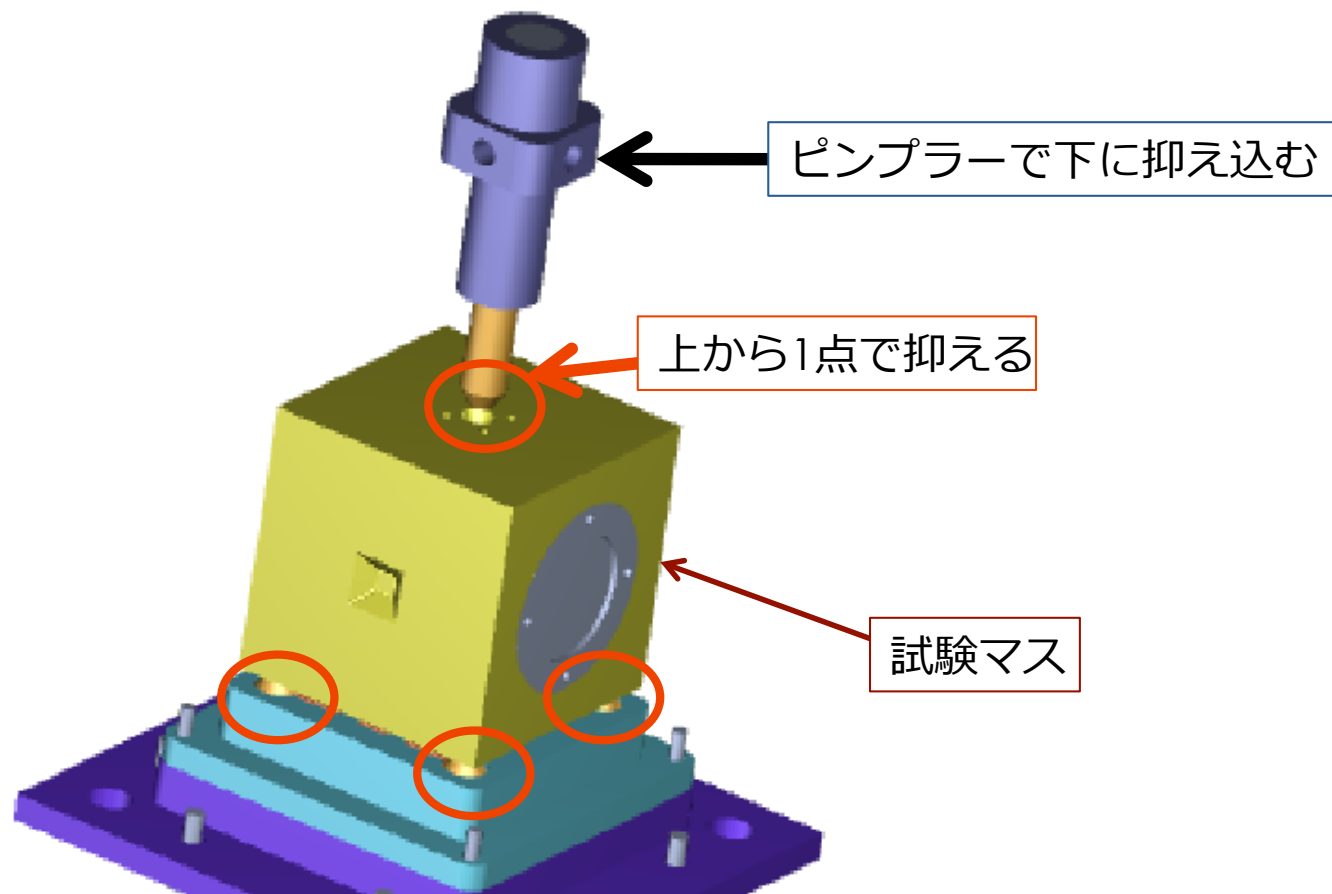


課題：ミラーの試験マスへの  
取り付け方。

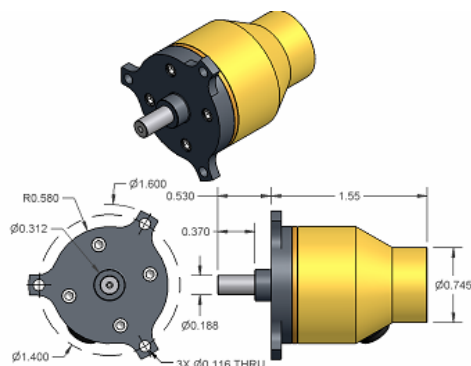
# ローンチロック機構

試験マスモジュールの補助機能の一例。

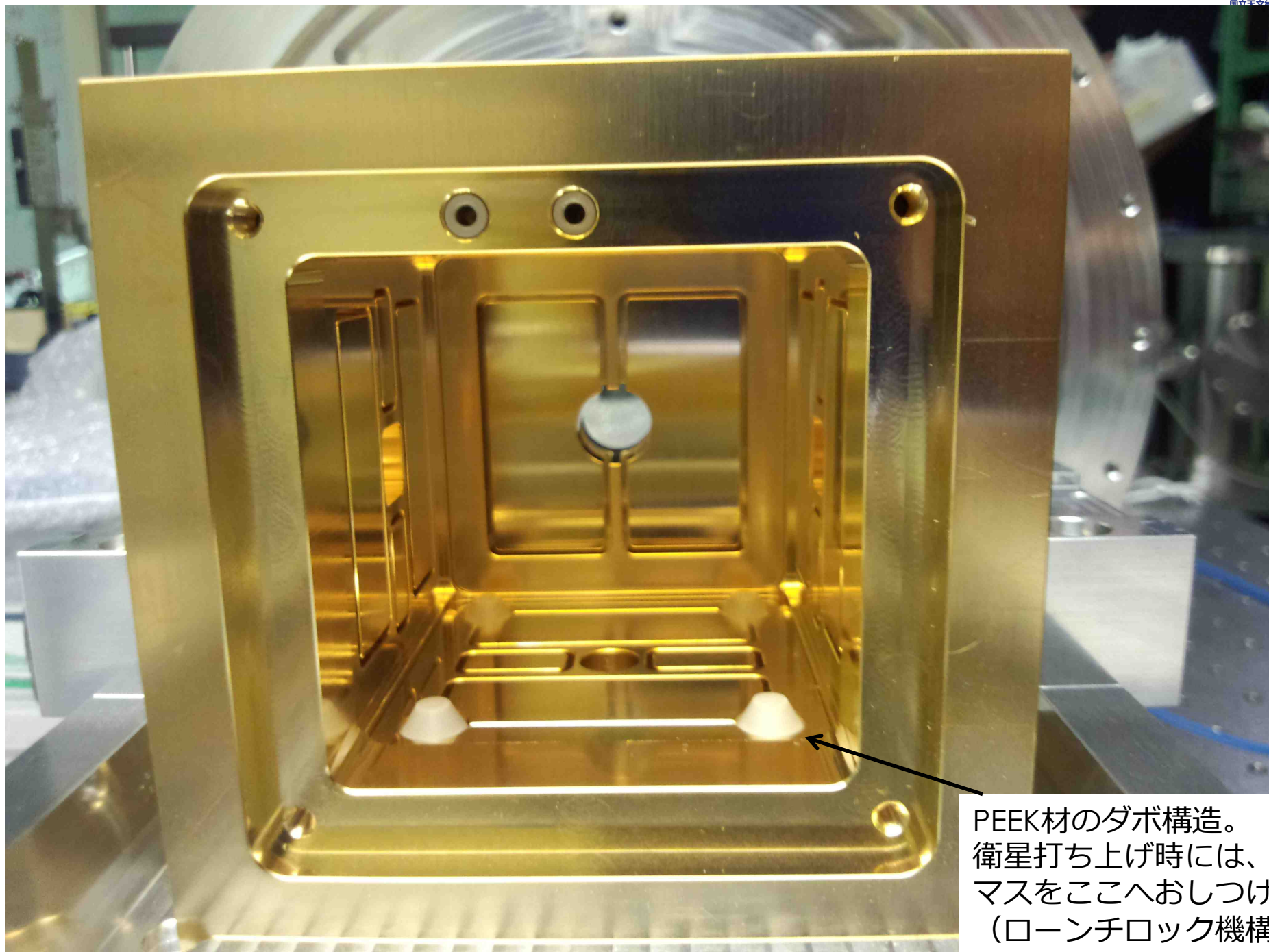
試験マスモジュールは宇宙では非接触になる→打ち上げ時の衝撃から守る必要がある。



候補のピンプラー例



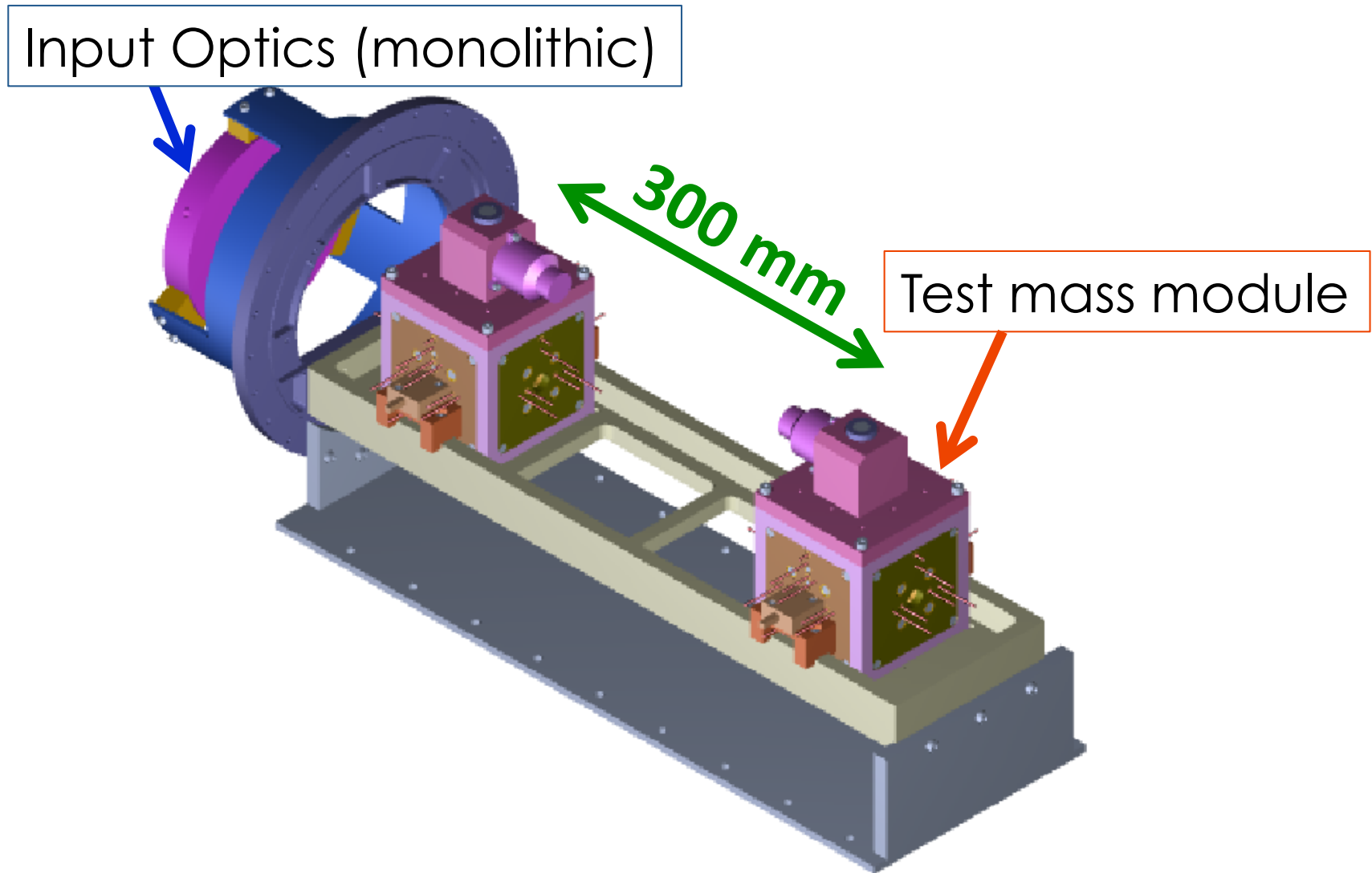
試験マスの下4カ所に球状のくぼみがあり、そこに下からの支えがはまる



PEEK材のダボ構造。  
衛星打ち上げ時には、試験  
マスをここへおしつける。  
(ローンチロック機構)

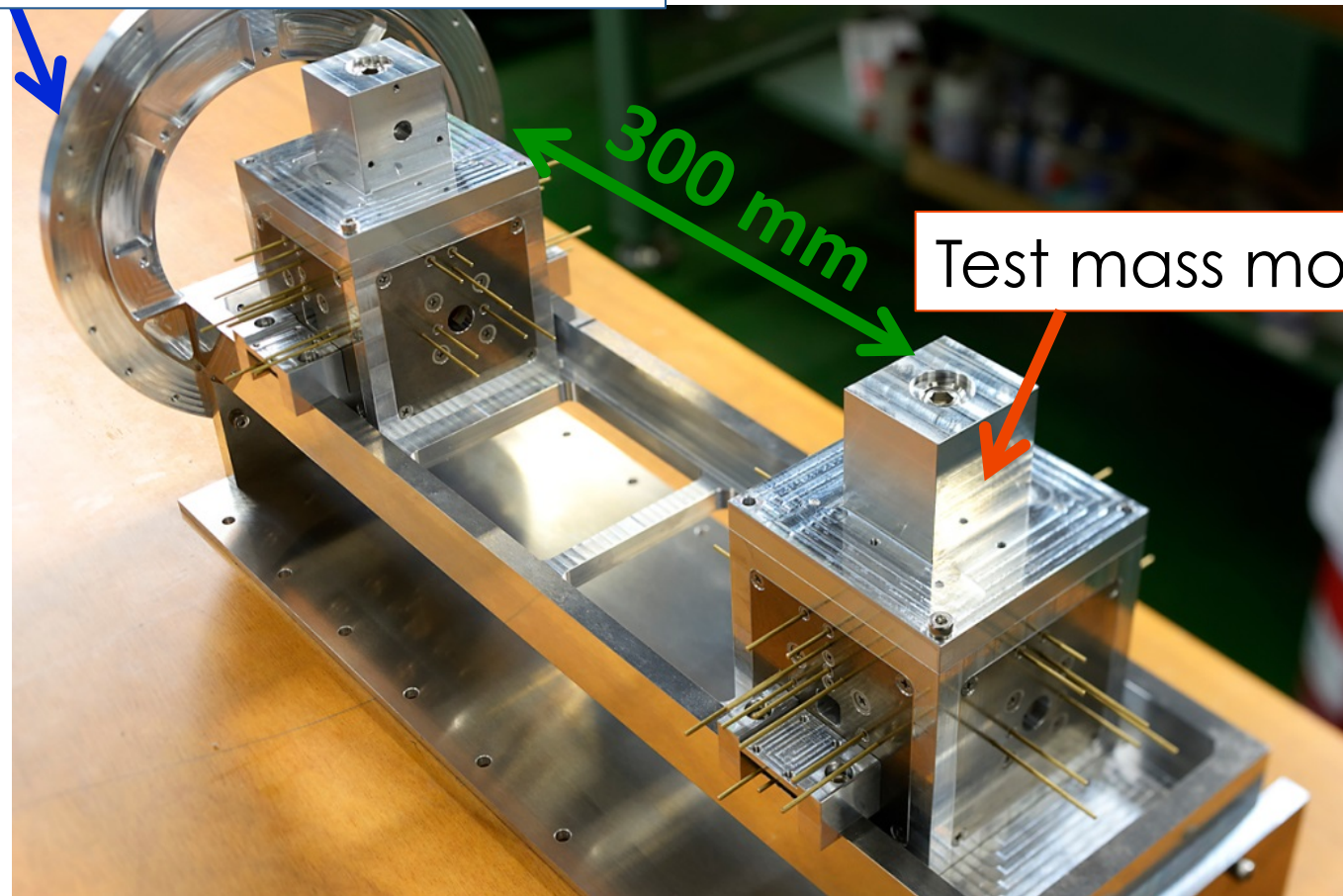


# Interferometer module (BBM2)



# Interferometer module (BBM2)

Input Optics (monolithic)



Test mass module



# 干渉計部の要素試験

## 光学系部品だけを用いての30cm 光共振器の動作テスト

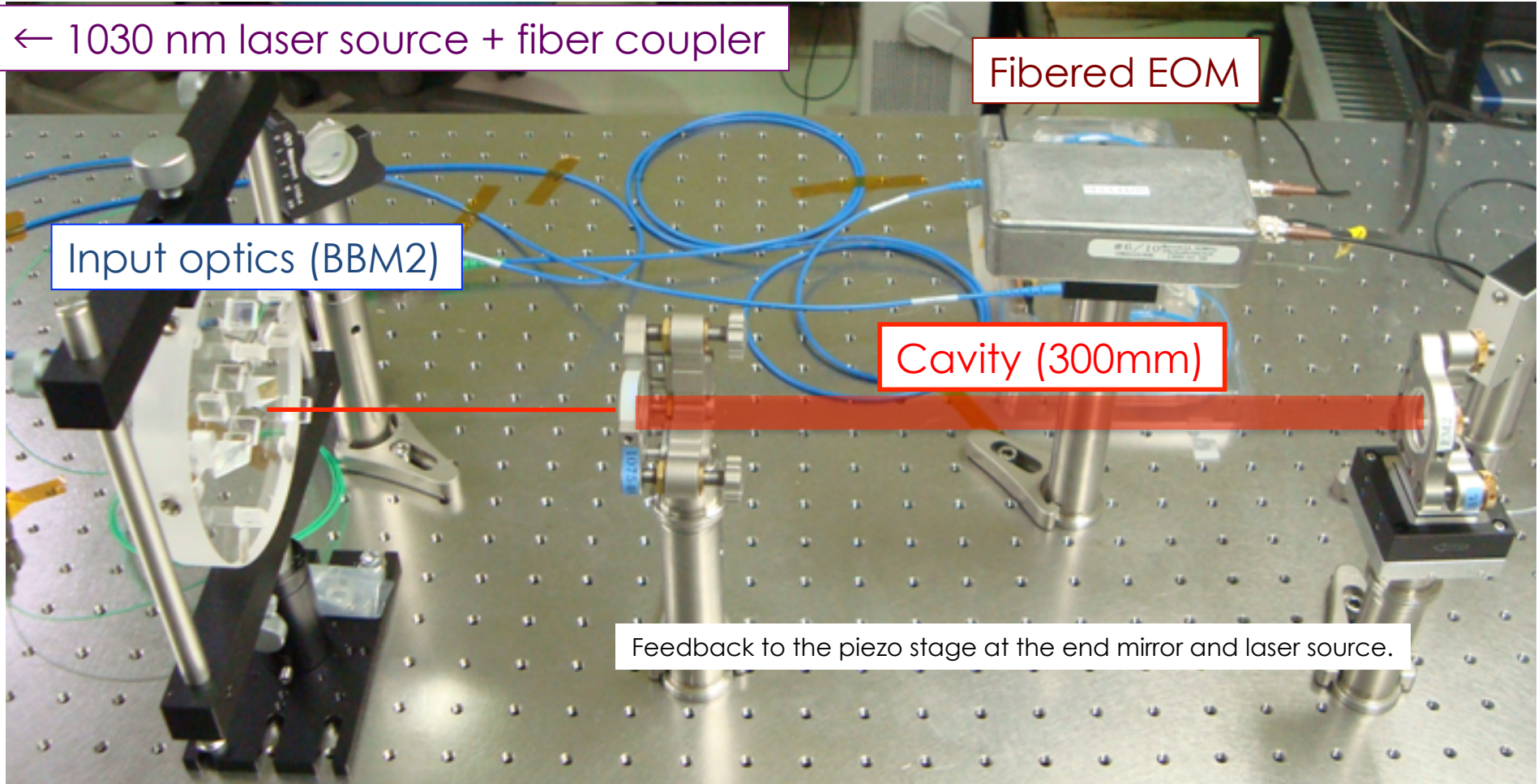
← 1030 nm laser source + fiber coupler

Fibered EOM

Input optics (BBM2)

Cavity (300mm)

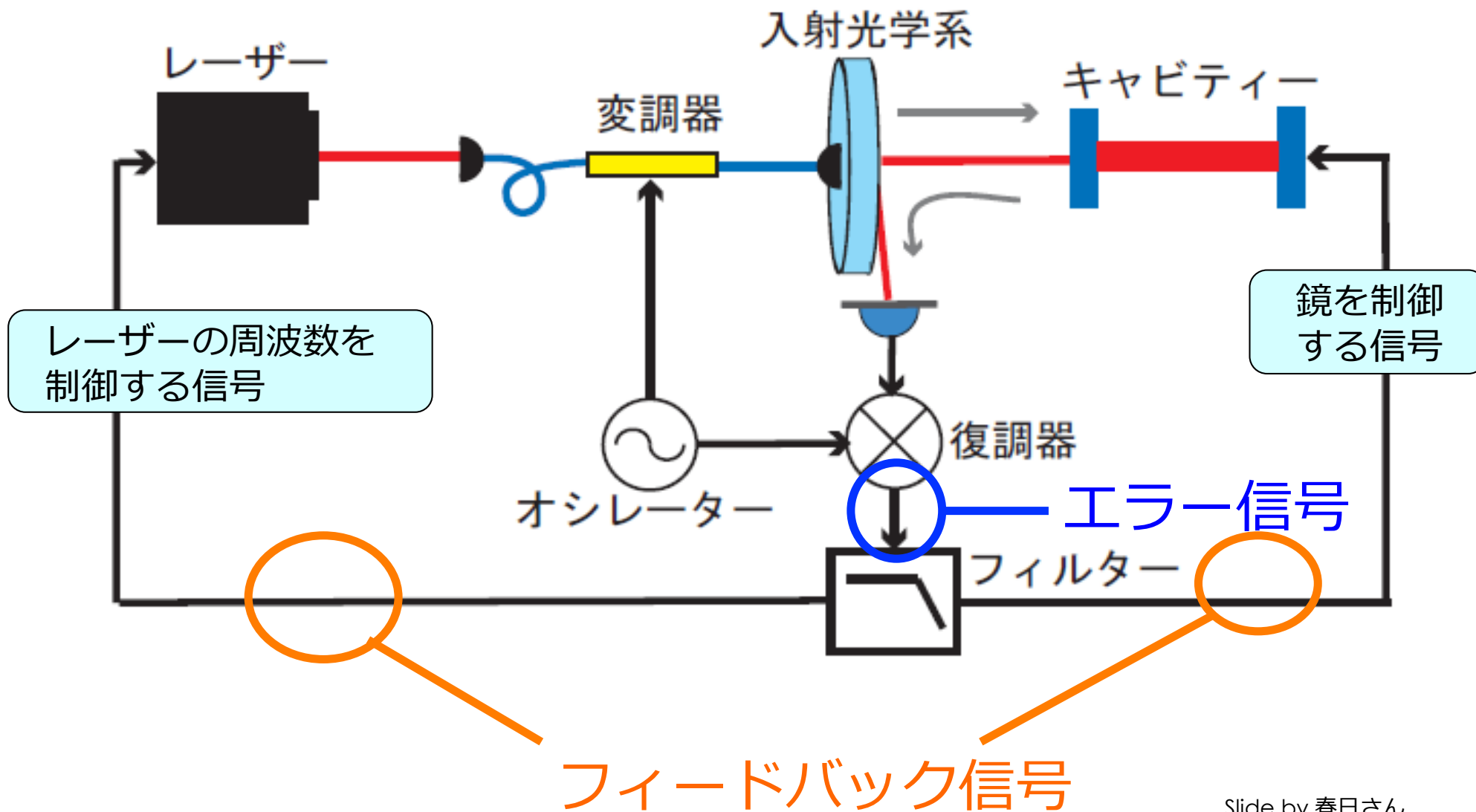
Feedback to the piezo stage at the end mirror and laser source.



The cavity can be operated.

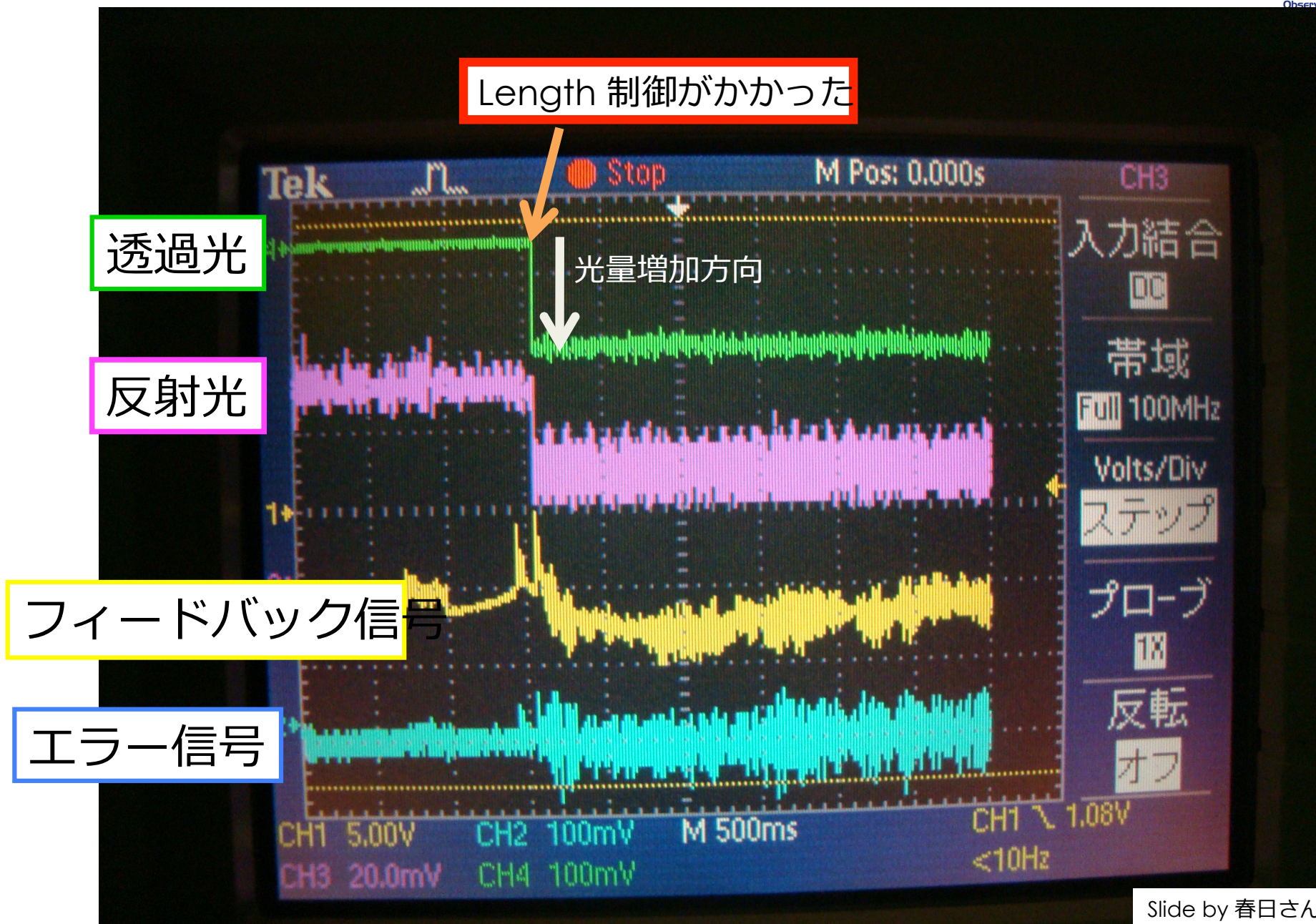
by Kasuga

# Cavity 制御実験



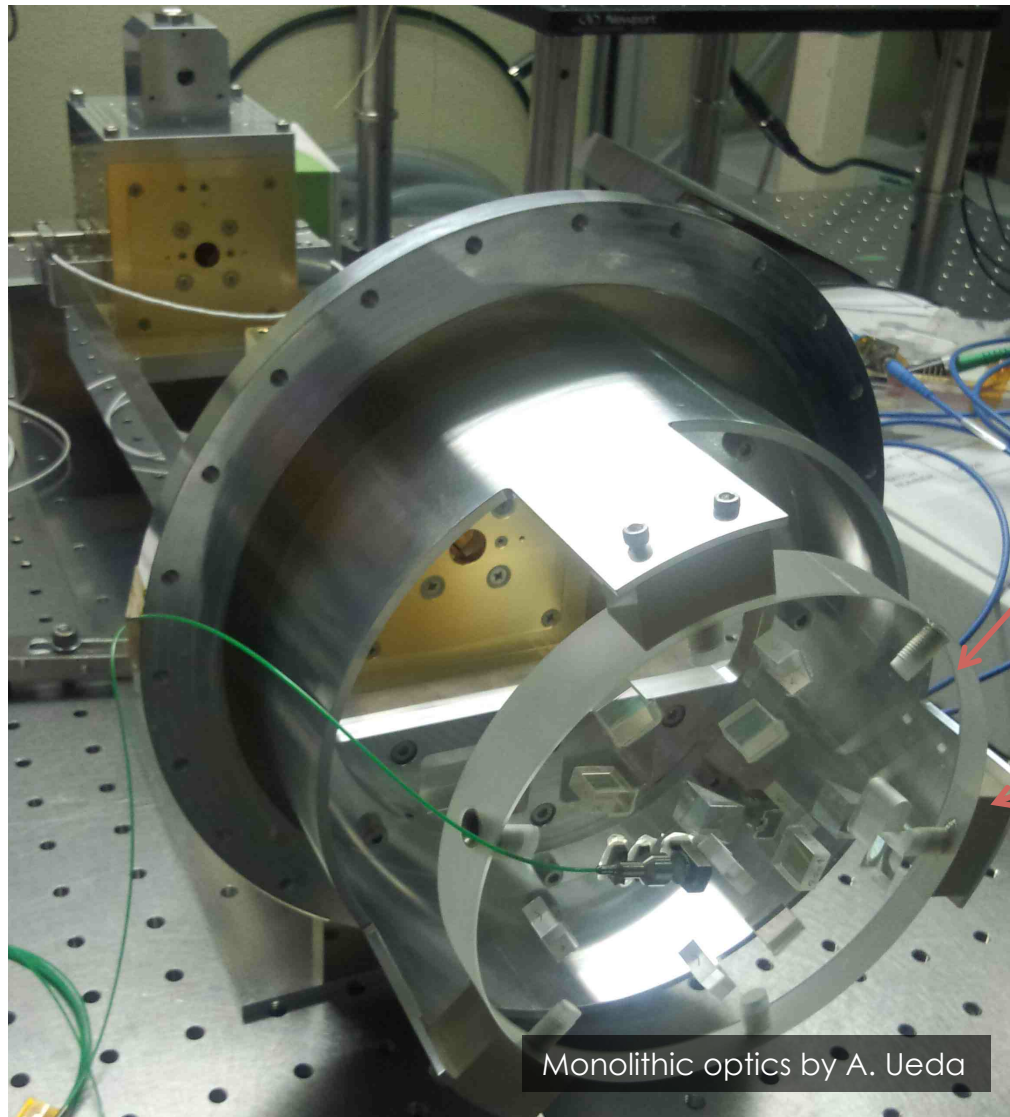
Slide by 春日さん





Slide by 春日さん

# 干渉計モジュールへの組み入れ



Monolithic optics by A. Ueda

入射光学ベンチ

PEEK材attachment

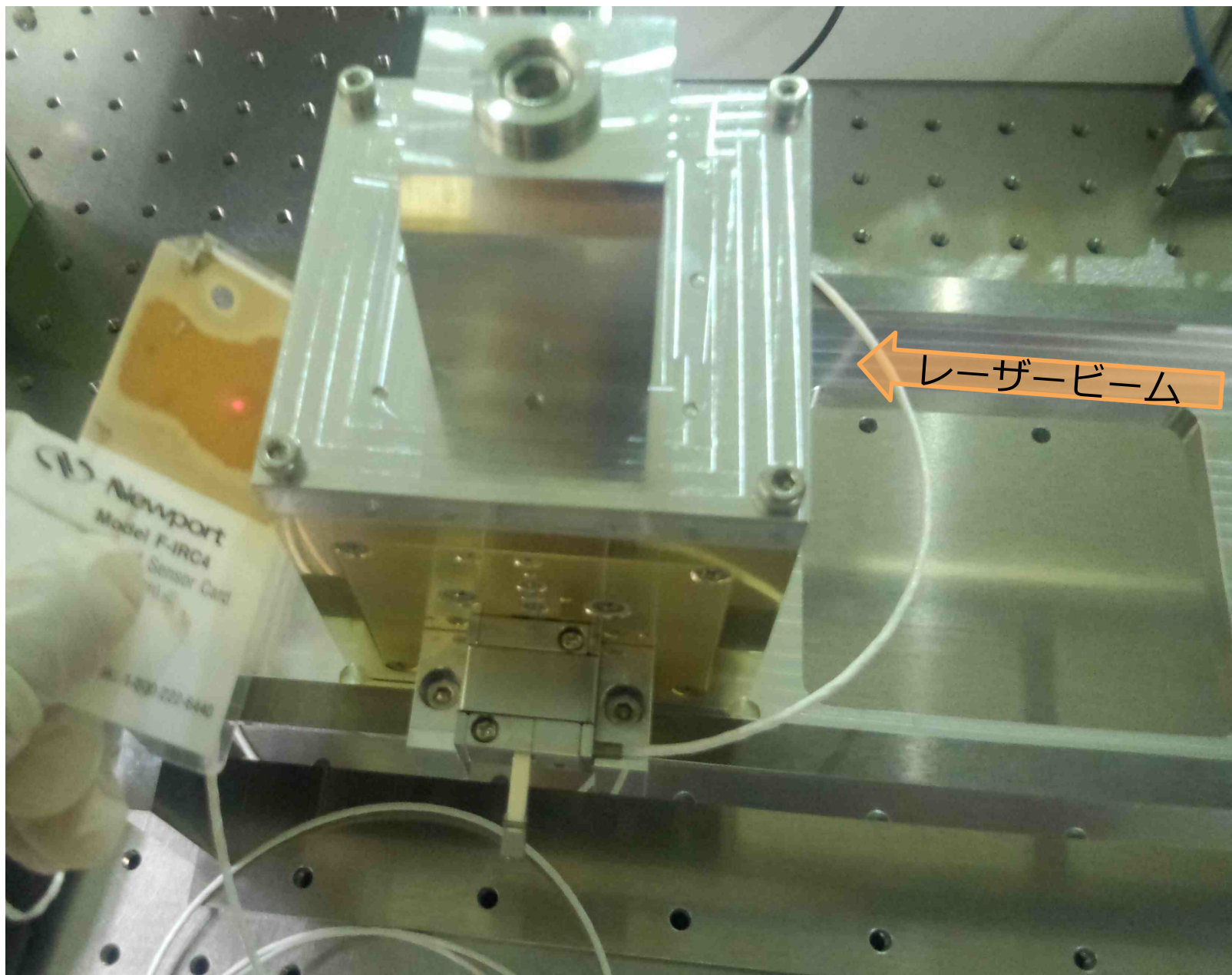
## 要試験項目

- ・ 振動・衝撃試験
- ・ 熱

(でもまだ壊したくない)



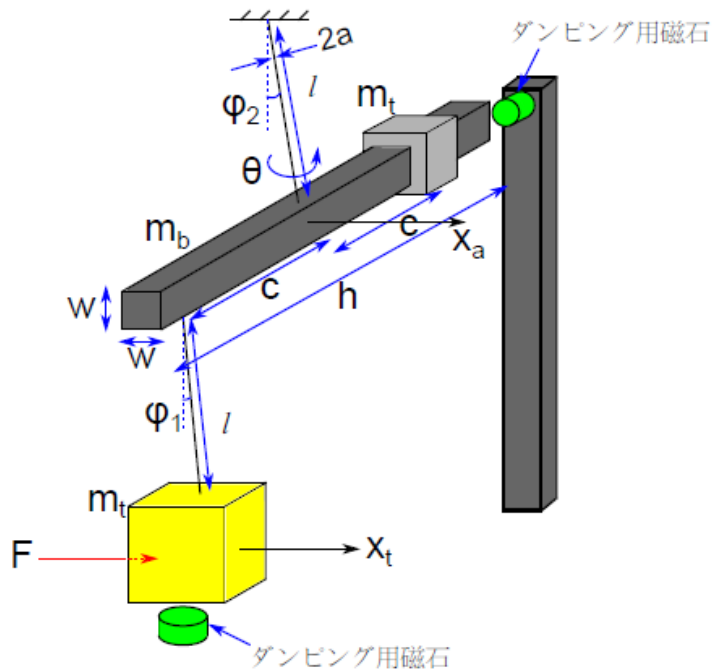




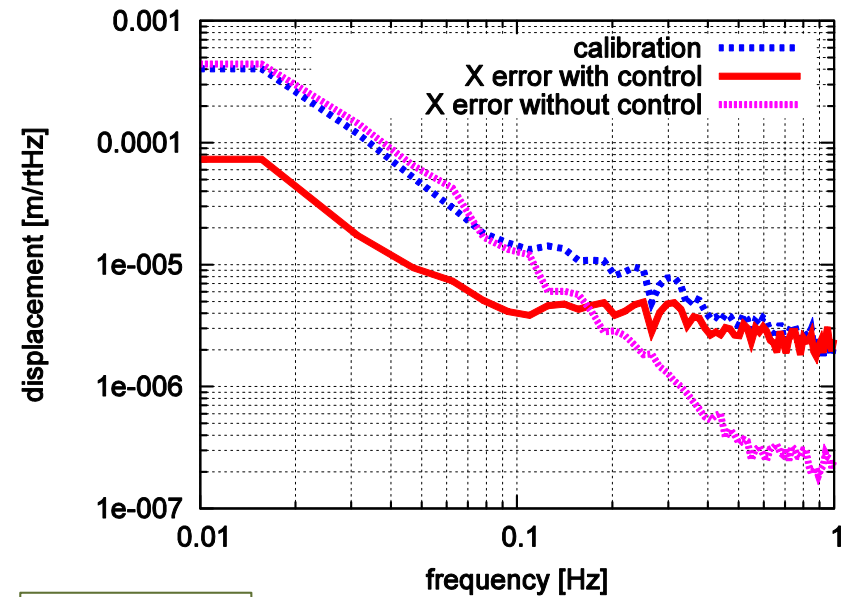
# 試験マスモジュールの試験機

## Ground-based test setup

- Double torsion pendulum
- 2DoFs "microgravity" environment

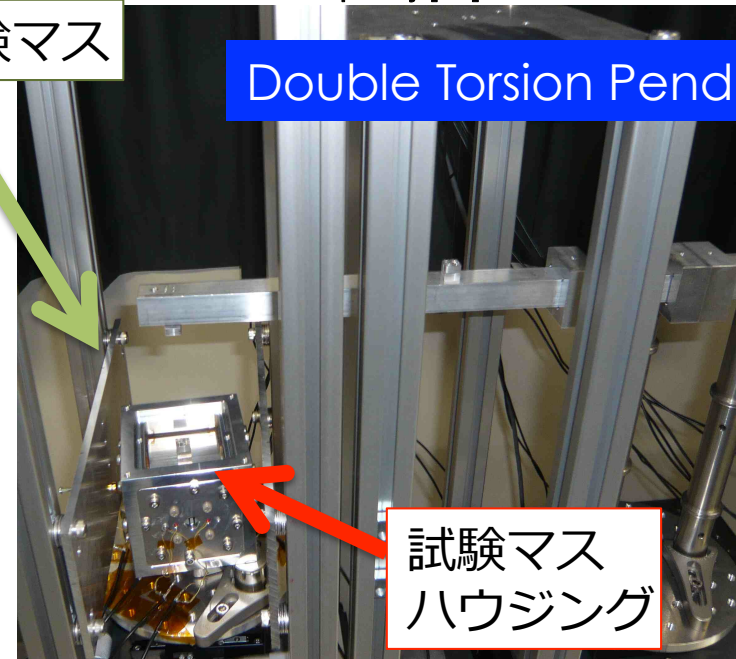


By 陳聃くん



試験マス

Double Torsion Pendulum



試験マス  
ハウジング

# 干渉計モジュールの地上試験機（案）

FM品の試験にまで発展させられるような方法を今から準備していく必要がある。

## 地上試験機への要求概要

- ・ 0.1 Hzにて試験マスはフリー（共振周波数0.03Hz以下程度？）
- ・ 静電アクチュエータでも鏡（試験マス）を制御してFPをロックできること（初期アラインメントと動作中のWFSも）

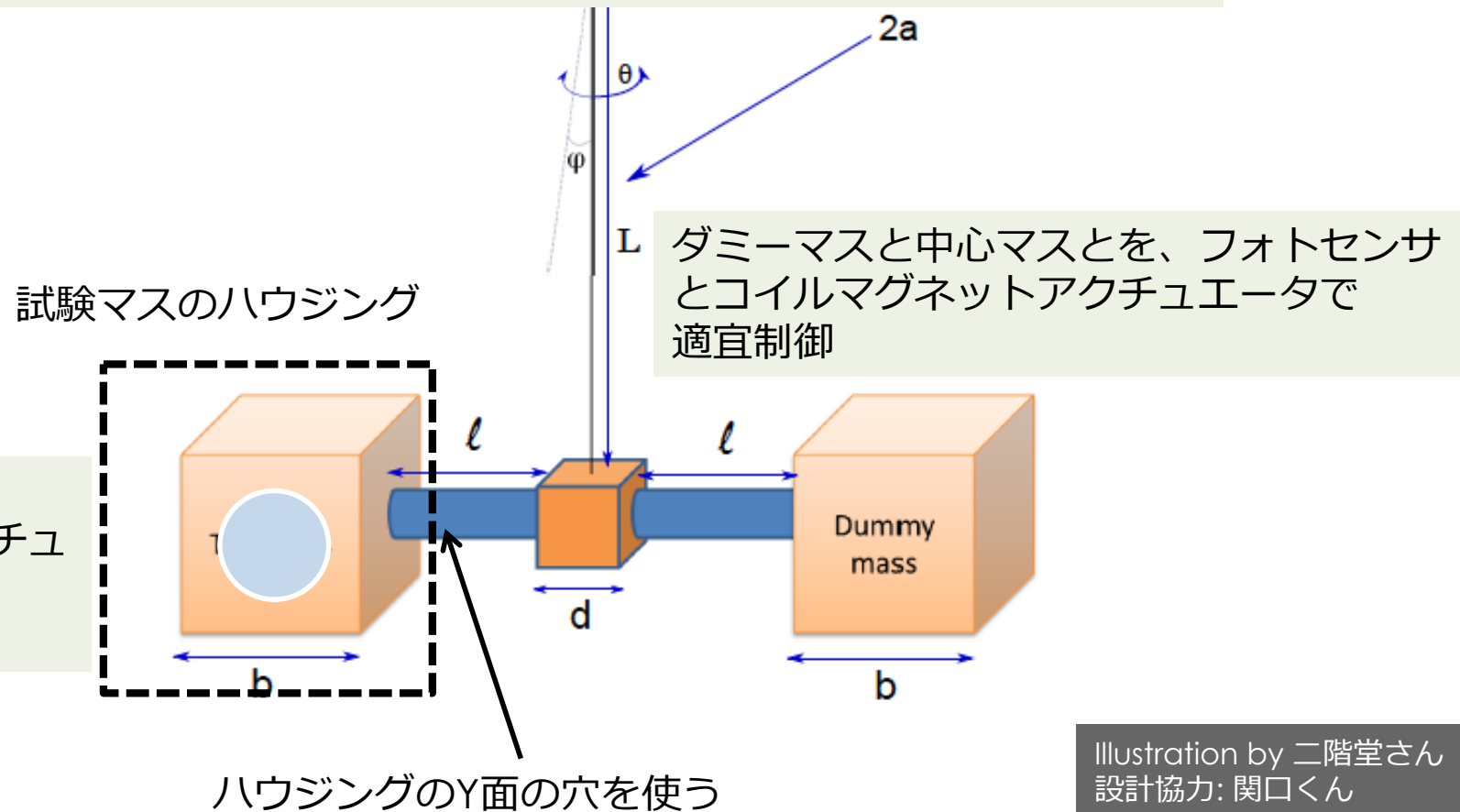


Illustration by 二階堂さん  
設計協力: 関口くん

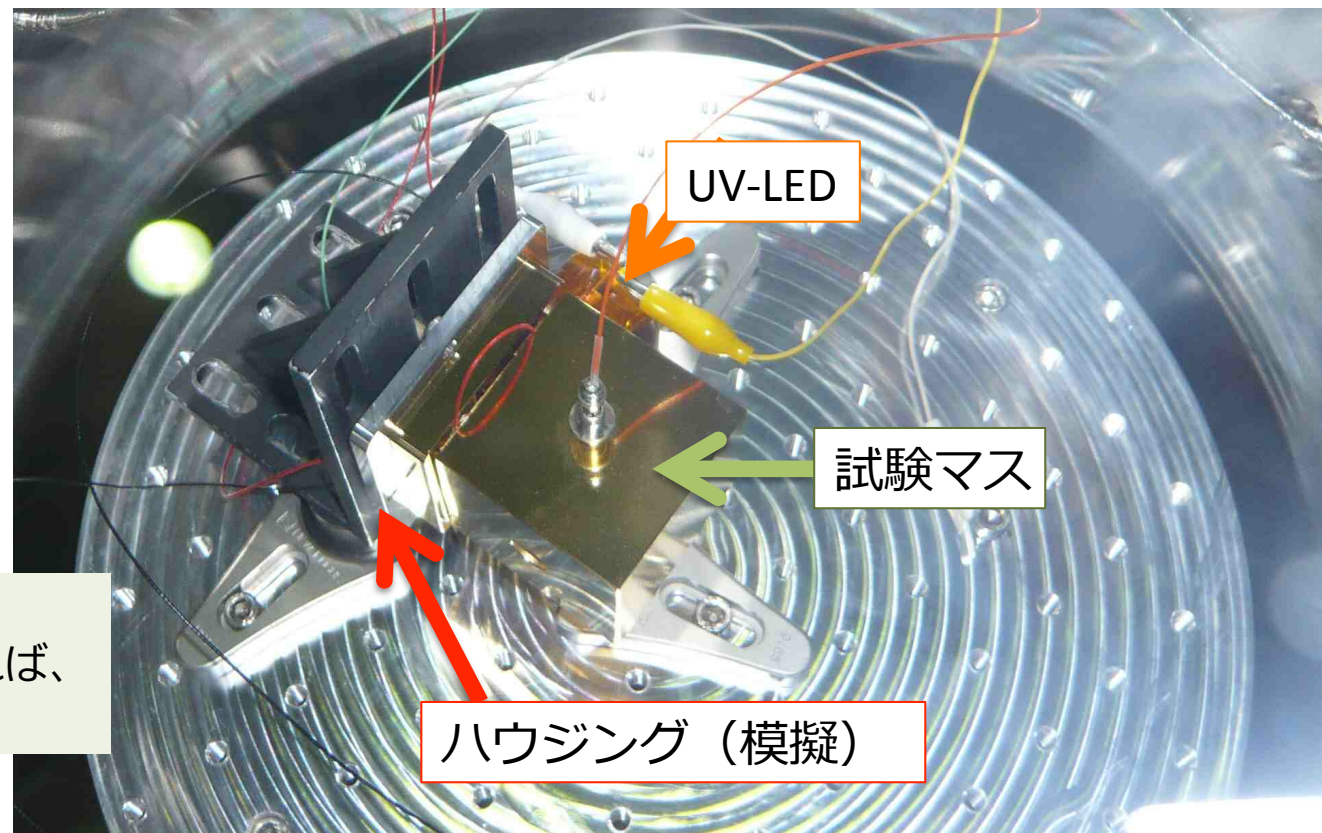


# Discharge機構の確認

試験マスは衛星の中で電氣的に浮いている→宇宙線によるチャージアップのおそれアリ。  
光電効果で除電しようという機構

光源 UV-LED 0.1mW @ 250nm

試験マスの表面を変えてためしているところ (Au, Alなど)



※とはいえ、  
静電センサーを使わなければ、  
問題にはならないかも。

# Material of a test mass

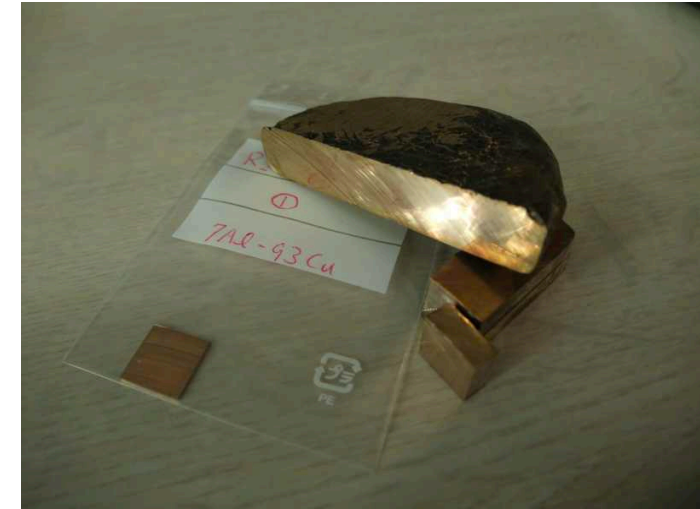
## Stringent requirements for the material

Magnetic susceptibility:  $< 10^{-6}$  (in SI unit)

### Exploring the alloys

- Alloy of paramagnet / diamagnet
- Reasonable combination of elements
- Hopefully not “precious” metals

Data, photo by Sato



### Al-Cu case

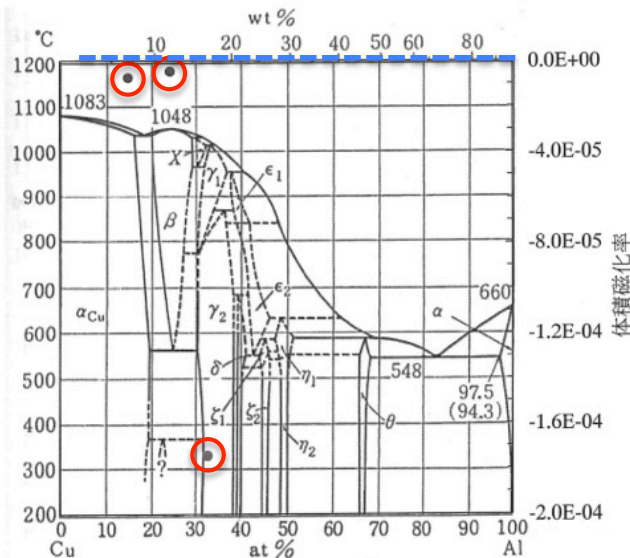


図 3・91 Al-Cu (解説:右段)

### Al-Sn case Typical Be-Cu's magnetic susceptibility is $1e-4 \sim 1e-5$ .

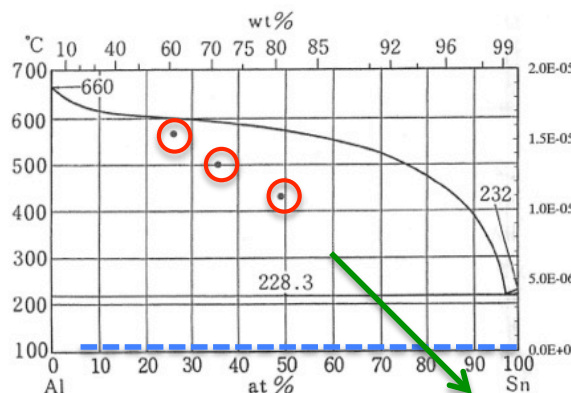


図 3・114 Al-Sn

Example:  $-4 \times 10^{-6}$

表-3

合番	主な成分	磁化率
1	Be-Cu(ALLOY17410)	$9.94 \times 10^{-5}$
2	Be-Cu(BRUSH60)	$2.26 \times 10^{-5}$
3	7wt%Al-93wt%Cu	$-7.04 \times 10^{-6}$
4	12wt%Al-88wt%Cu	$-4.34 \times 10^{-6}$
5	17wt%Al-83wt%Cu	$-1.74 \times 10^{-4}$
6	19wt%Al-81wt%Sn	$1.10 \times 10^{-5}$
7	29wt%Al-71wt%Sn	$1.33 \times 10^{-5}$
8	39wt%Al-61wt%Sn	$1.55 \times 10^{-5}$

# まとめ

- 干渉計部
  - ◆ 重力波センサーとなる部分
  - ◆ BBM2開発中
- 地上試験機
  - ◆ FM品での使用を見越したもののまで必要
  - ◆ まずは静電センサ/アクチュエータでのFP共振器ロックをこころみる。