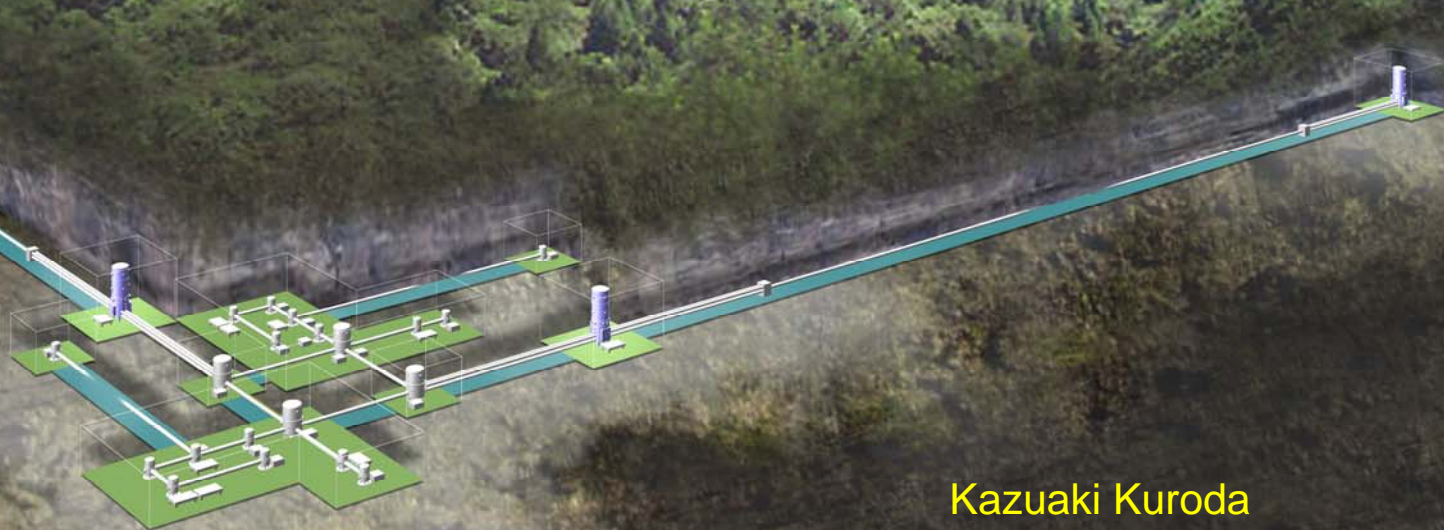


共同利用研究発表会  
2007,16-Dec

# LCGT 計画



Kazuaki Kuroda  
LCGT/CLIO/TAMA Collaboration

# 平成18年度のLCGT関連共同利用研究

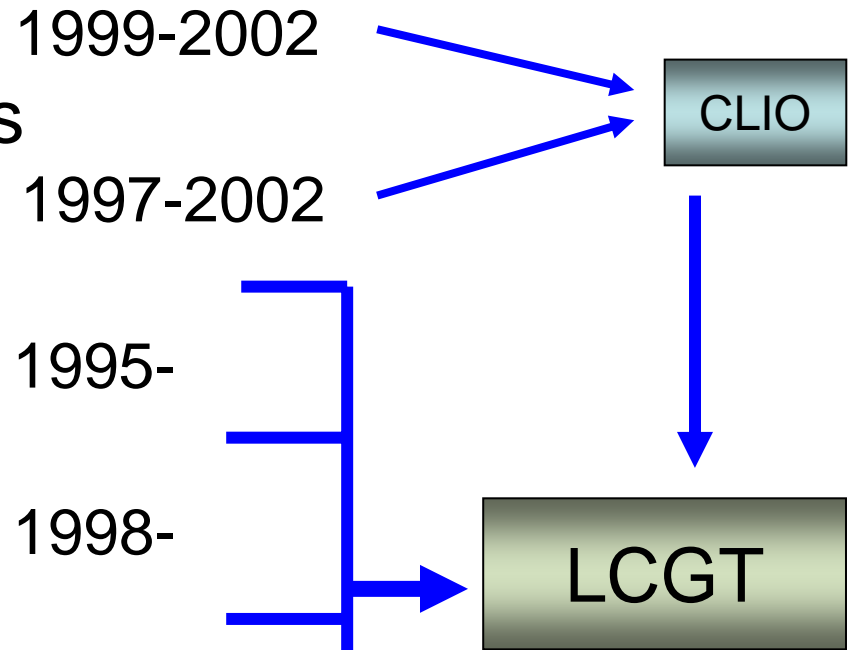
- 大型低温重力波望遠鏡の開発・設計(VIII)
  - 研究代表 黒田和明 研究費 0 千円 旅費 70 千円
- 光スクイーミングによる重力波干渉計感度の向上の研究
  - 研究代表 黒田和明 研究費 300 千円 旅費 0 千円
- 大型低温重力波望遠鏡のための単結晶サファイヤ鏡懸架系の開発(II)
  - 研究代表 鈴木敏一(KEK) 研究費 1680 千円 旅費 50 千円
- LCGT鏡基材サファイヤの品質測定に関する研究
  - 研究代表 黒田和明 研究費 600 千円 旅費 0 千円
- 大型低温重力波望遠鏡(LCGT)のためのヒートリンクの高性能化に関する研究
  - 研究代表 都丸隆行(KEK) 研究費 1100 千円 旅費 50 千円

# LCGT計画の目的

- 波形の知れた連星中性子星合体の際の重力波を1年に数回の頻度で検出する。
- 高感度レーザー干渉計の技術開発を完成させ、干渉計の維持運転技術を確立することにより信頼性の高い観測を行う。

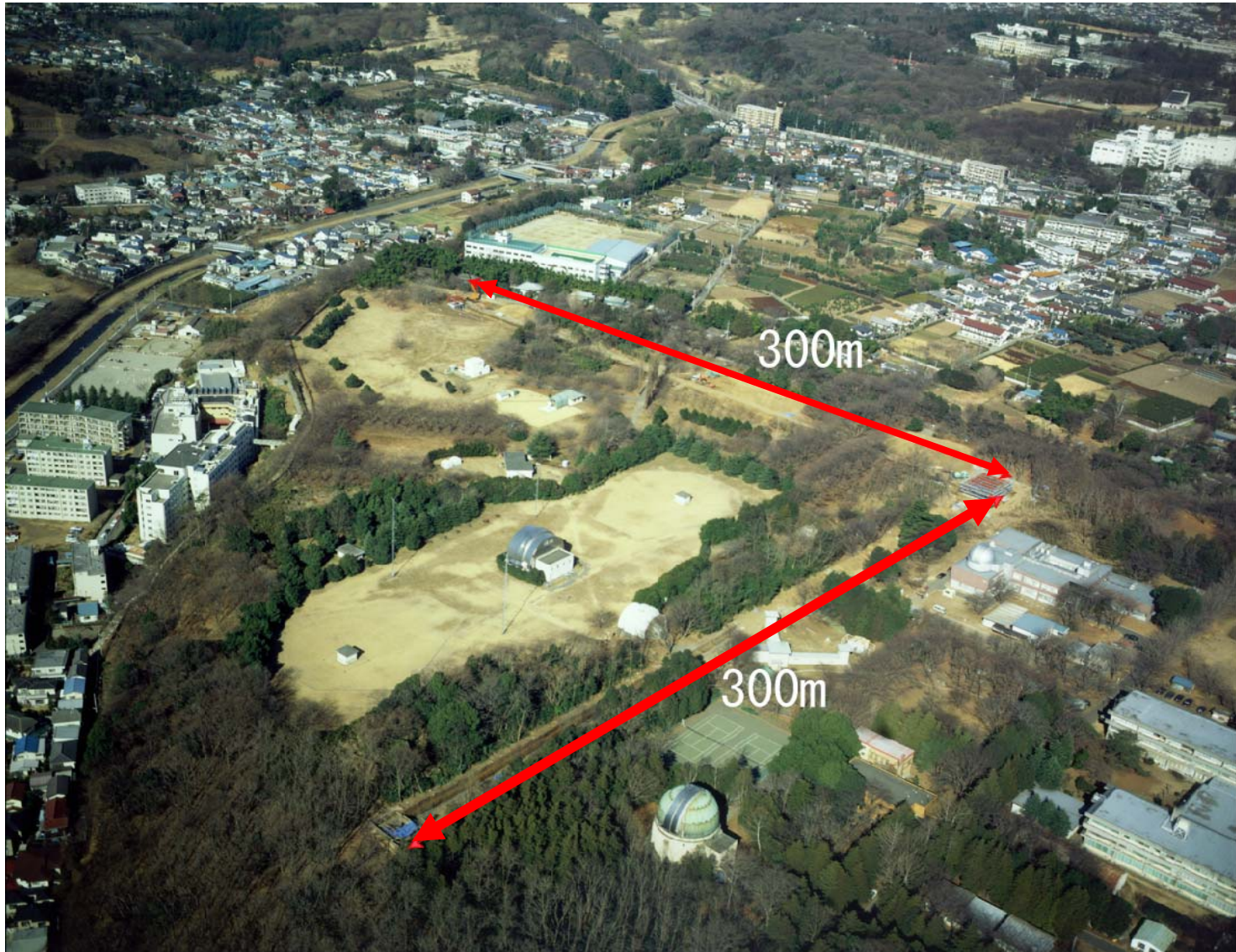
# Technical foundation of LCGT is established by a prototype and an intermediate size interferometer with challenging techniques

- 20m interferometer
  - Kamioka mine 1999-2002
- Cryogenic experiments
  - KEK-ICRR 1997-2002
- TAMA advancement
  - NAO 1995-
- RSE adoption
  - NAO 1998-
- SPI installation
  - Phys. Dept. UT 1999-
- SAS
  - Phys. Dept. & NAO 1998-
  - (CALTECH)





TAMA interferometer with baseline of 300m is placed at Mitaka campus, NAOJ, in a suburb of Tokyo.



# Observations by TAMA

TAMA data-taking runs including long-term observations

Run	Term	Year	Live Time (Hour)
DT1	6-Aug → 7-Aug	1999	7
DT2	17-Sept → 20-Sept	1999	31
DT3	20-Apr → 23-Apr	2000	13
DT4	21-Aug → 4-Sept	2000	161
DT5	2-Mar → 8-Mar	2001	111
DT6	15-Aug → 20-Sept	2001	1038
DT7	31-Aug → 2-Sept	2002	25
DT8	14-Feb → 14-Apr	2003	1158
DT9	28-Nov → 10-Jan	2004	558

In 1999, TAMA started to make observations

The world best sensitivity

Continuous observation more than 1000 hr with the highest sensitivity.

Power recycling

LIGO S1

**Total 3102 hours data was accumulated.**

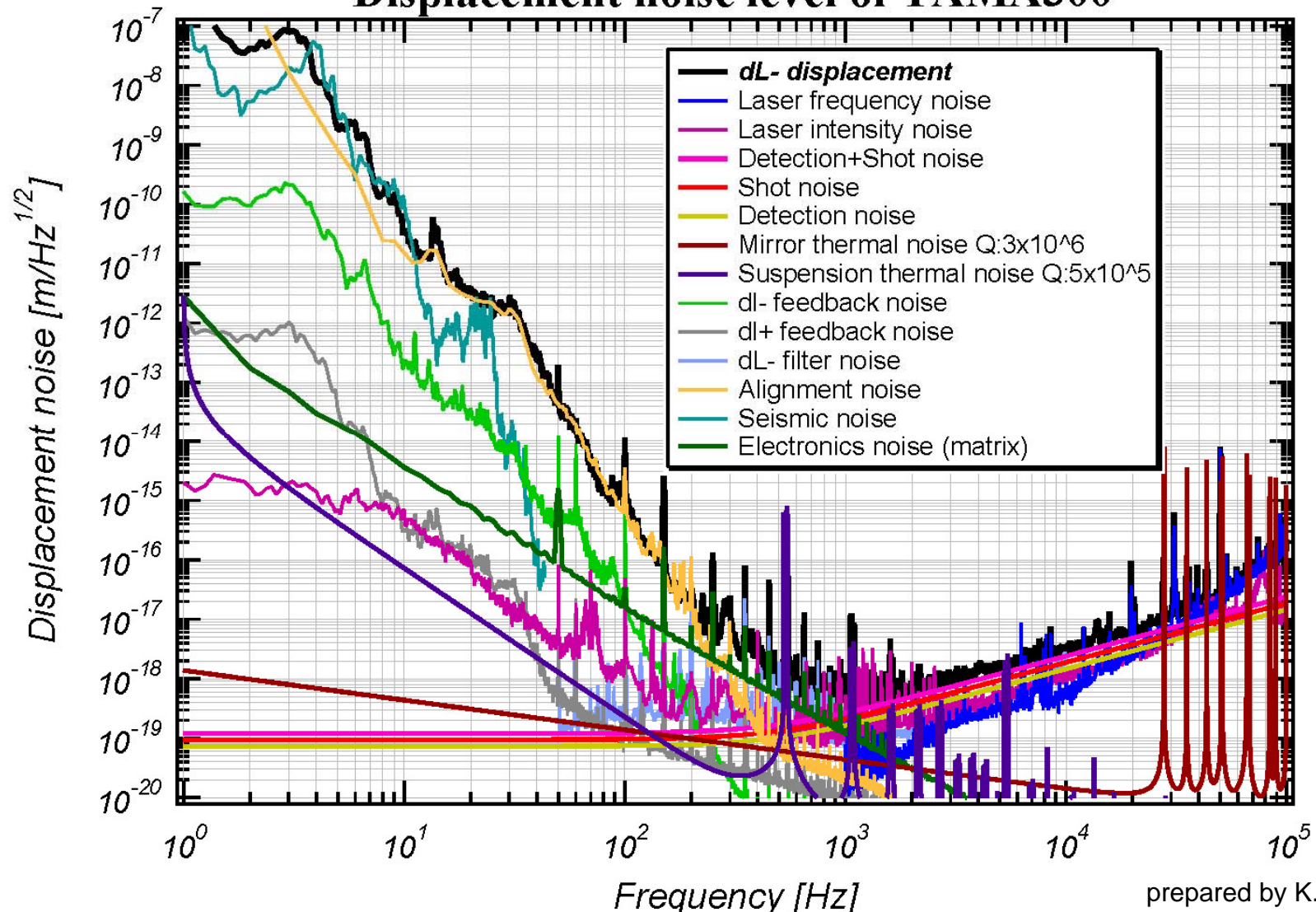
Some parts of DT7-9 are overlapped with the science runs of LIGO (GEO) and cooperative two papers have been published to limit the event rates of both coalescence and supernova in our Galaxy.



# Current sensitivity of TAMA

---all noise sources are identified within an error of factor 2---

## Displacement noise level of TAMA300



# TAMA Achievement

1. We opened the new era of gravitational wave astronomy with operating TAMA detector.
2. Nine observation runs accumulated data exceeding 3000 hours. → **Nine papers were published**

## Current status

Because TAMA is placed at suburb of Tokyo, large seismic disturbances are serious problem.

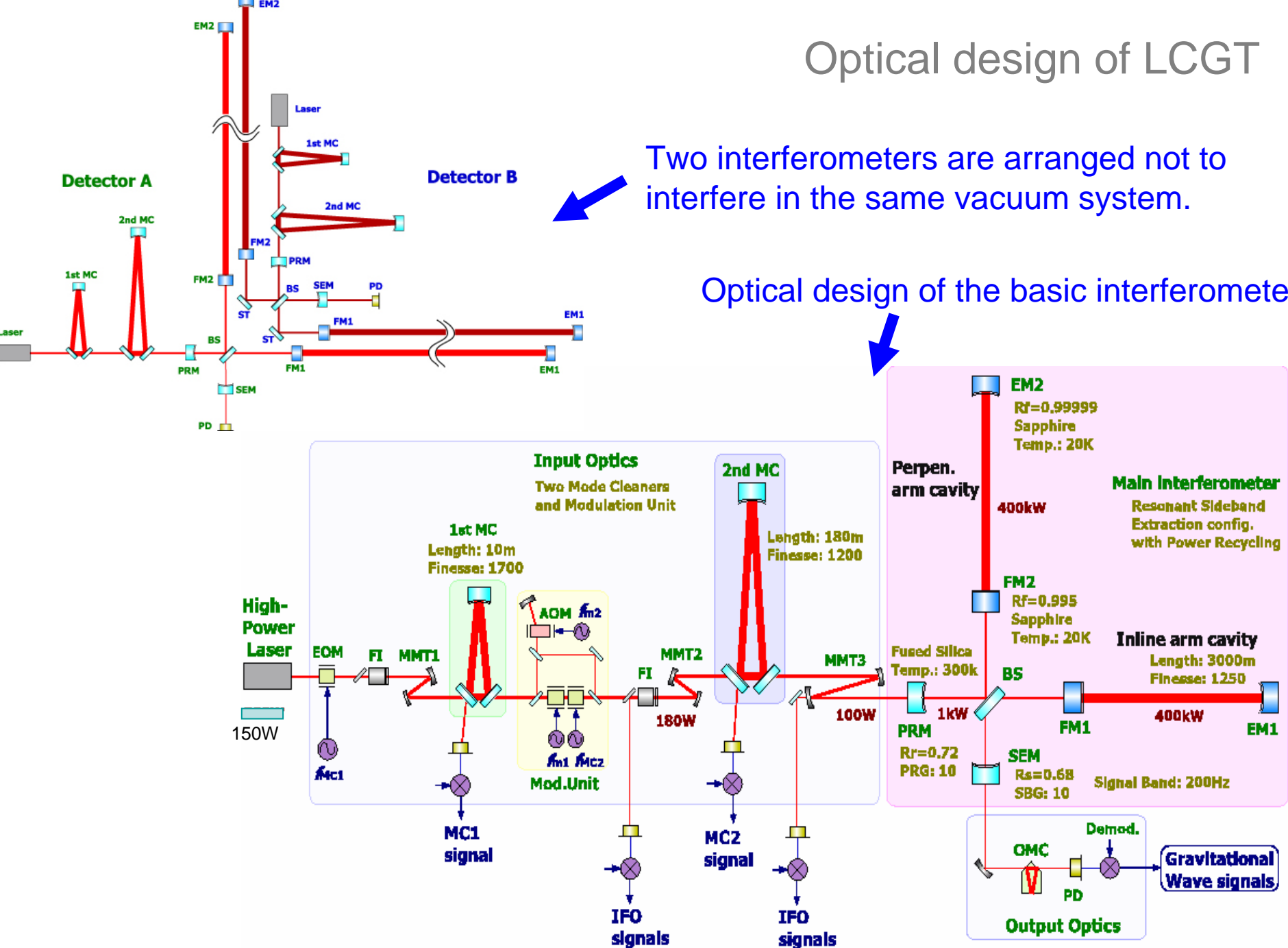
Installation of a **low frequency anti-vibration system (SAS)** is ongoing.



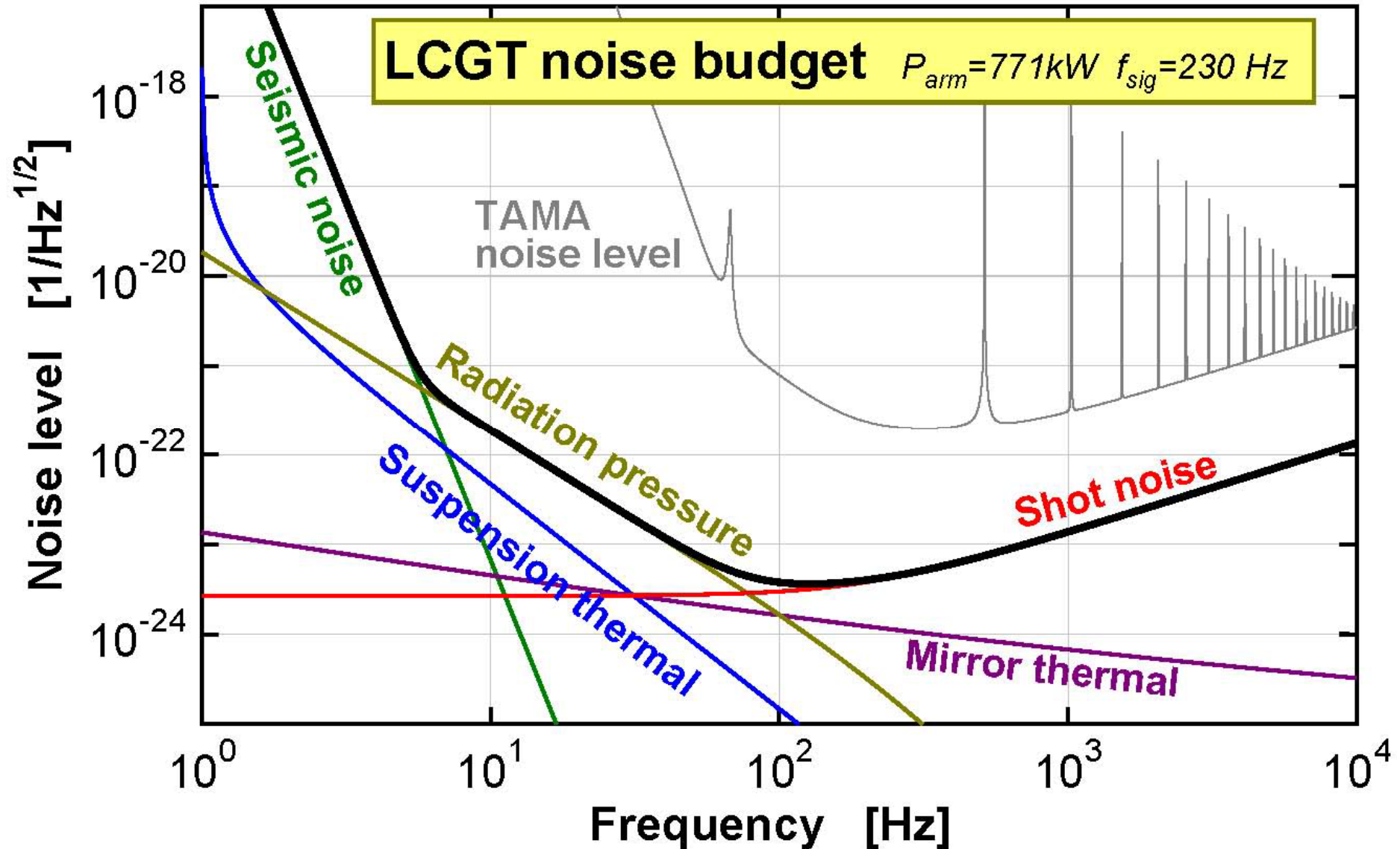
# Optical design of LCGT

Two interferometers are arranged not to interfere in the same vacuum system.

Optical design of the basic interferometer



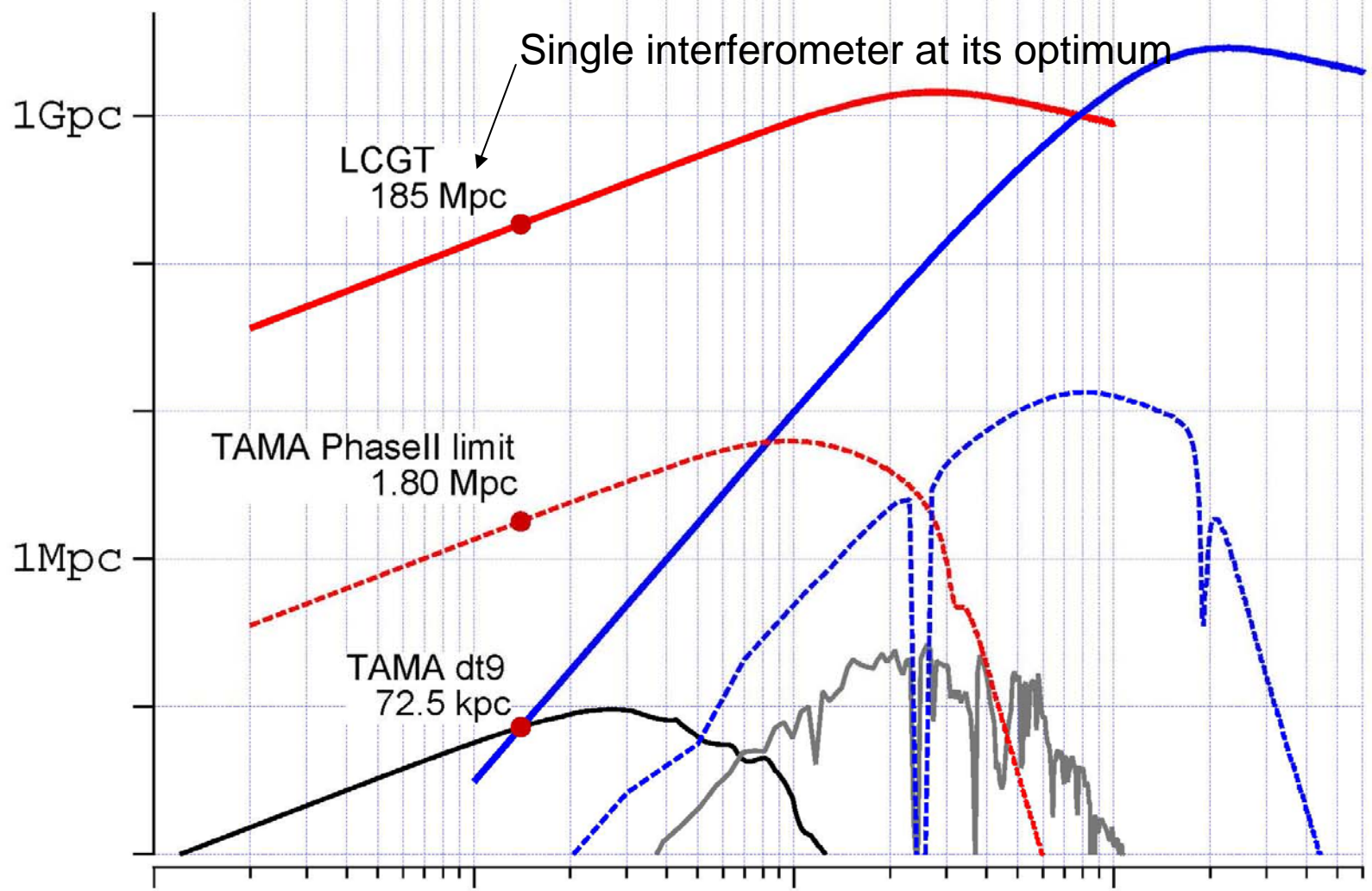
Sensitivity is limited only by quantum noises around at observational frequency band.



Range for Single Detector with SNR=10

Inspirational GW from binary coalescence  
— LCGT  
- - - TAMA PhaseII limit  
— TAMA-dt9

BH ringdown  
— LCGT  
- - - TAMA PhaseII limit  
— TAMA-dt9



mass of accompany star [Msolar]

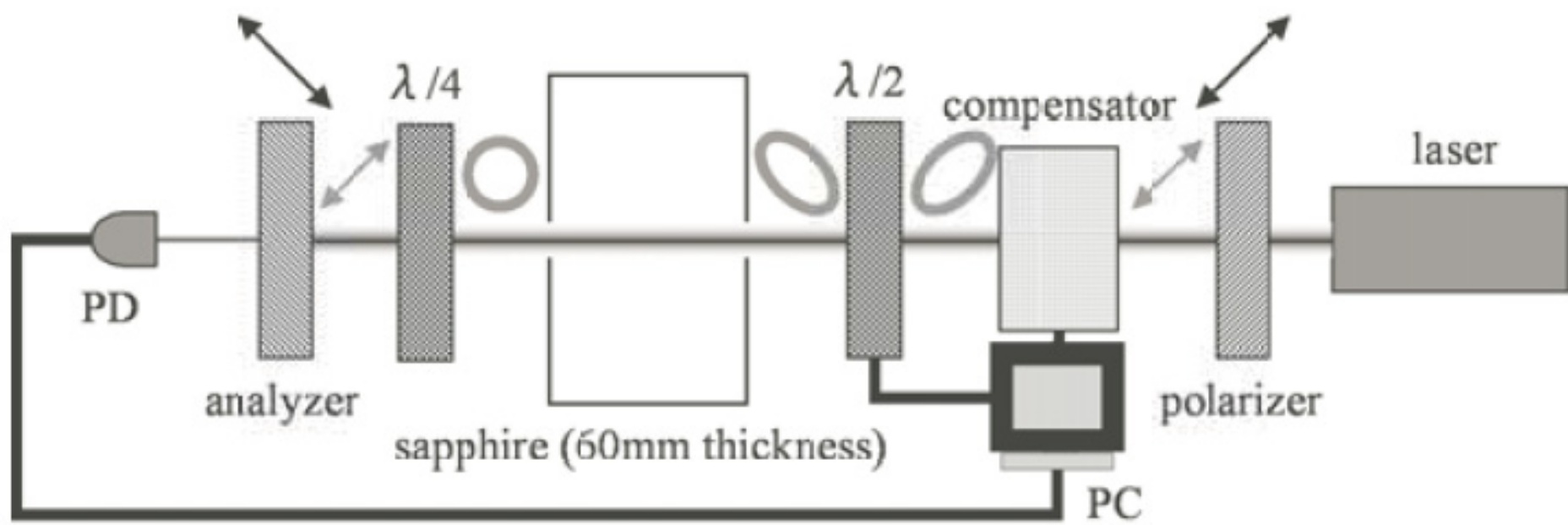
# Large heat production is avoided by RSE

- Broad band RSE (Resonant Side band Extraction method) is applied.
- Power recycling gain is set 11.
- Finesse of the cavity is 1550, which means that observational band becomes to be lower than required.
- RSE keeps the observation frequency band unchanged.

光損失に関連する研究がサファイヤの品質測定(博士論文のテーマ)



# サファイヤ品質の測定



複屈折率、光散乱、光吸収の各分布の相関の程度を示す。  
結晶の性質としてどれかを精密に測定できれば、品質検査が可能。

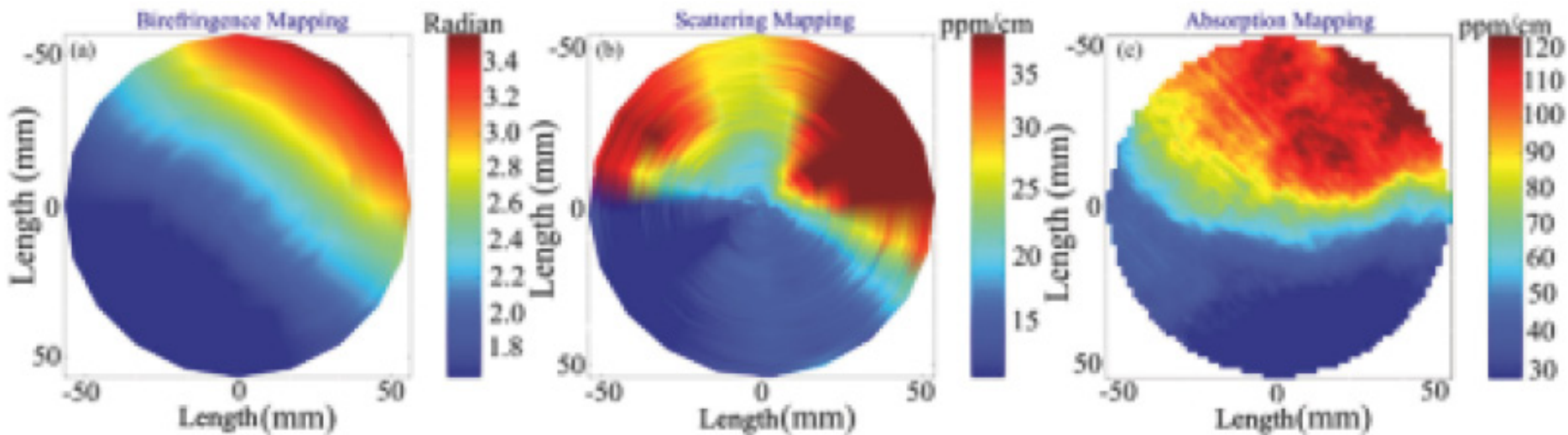


Figure is taken from Yan et al. Appl. Opt. 45, 1 (2006)

## 米国Crystal Systems 社製のサファイヤ計測結果 大きさはTAMAの主鏡サイズ

	$\bar{R}$ rad	$\bar{\theta}$ rad	$\sigma(\phi)$ rad	$\sigma(R)$ rad	$\sigma(n_o - n_e')$	$\sigma(\theta)$ rad
A(Hemlite)	$19.5 \times 10^{-2}$	$8.8 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-1}$	$4.2 \times 10^{-2}$	$11.8 \times 10^{-8}$	$9.6 \times 10^{-4}$
B(Hemlite)	$4.9 \times 10^{-2}$	$4.2 \times 10^{-3}$	$4.5 \times 10^{-1}$	$2.7 \times 10^{-2}$	$7.7 \times 10^{-8}$	$1.4 \times 10^{-3}$
C(Hemlite)	$46.9 \times 10^{-2}$	$13.7 \times 10^{-3}$	$0.6 \times 10^{-1}$	$6.3 \times 10^{-2}$	$17.7 \times 10^{-8}$	$9.3 \times 10^{-4}$
D(Hemlite)	$30.4 \times 10^{-2}$	$11.0 \times 10^{-3}$	$0.9 \times 10^{-1}$	$5.1 \times 10^{-2}$	$14.5 \times 10^{-8}$	$9.5 \times 10^{-4}$
E(Hemex)	$2 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-3}$	-	$1 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-8}$	-

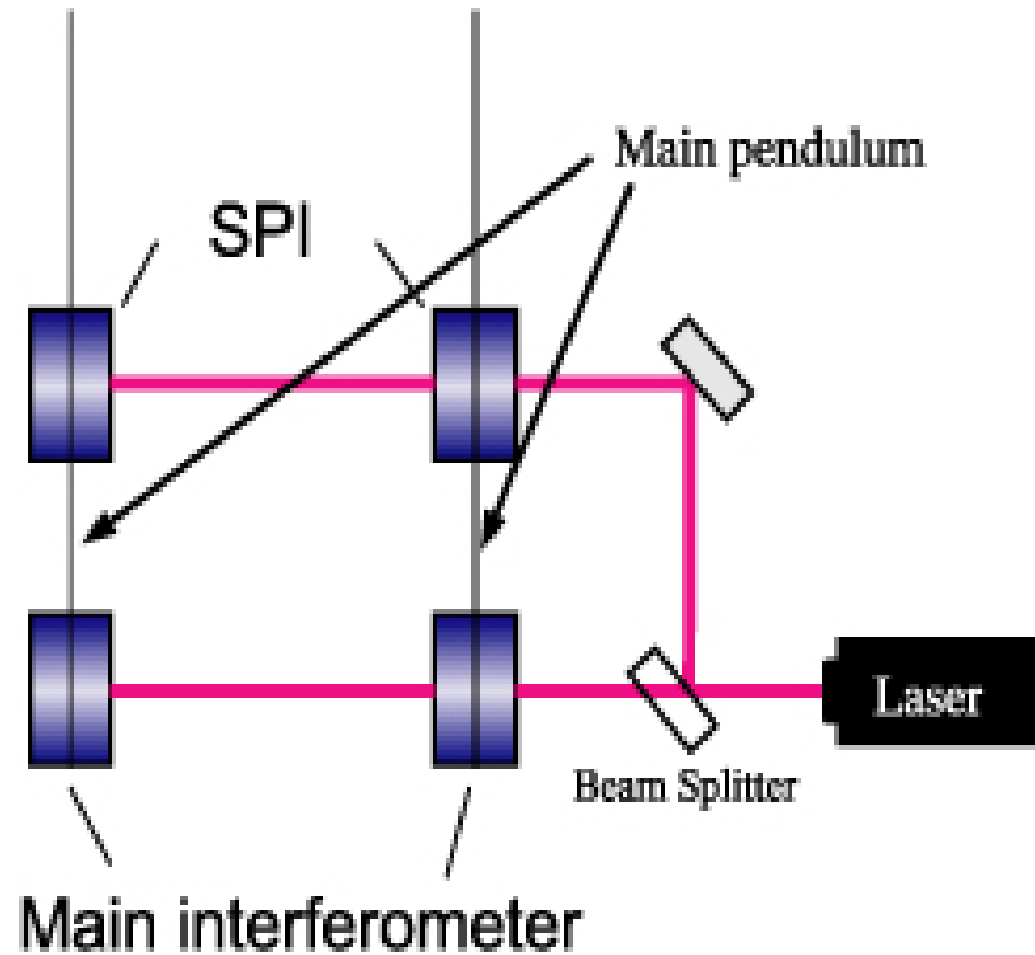
これまでの測定結果から、複屈折の揺らぎは0.1 ppmのレベルで  
要求は1 ppm以下で満足されている。

光損失への要求値は30 ppm/cm以下。計測サンプルの平均は  
50 ppm/cm → 低損失サファイヤの開発でLIGOと共同研究



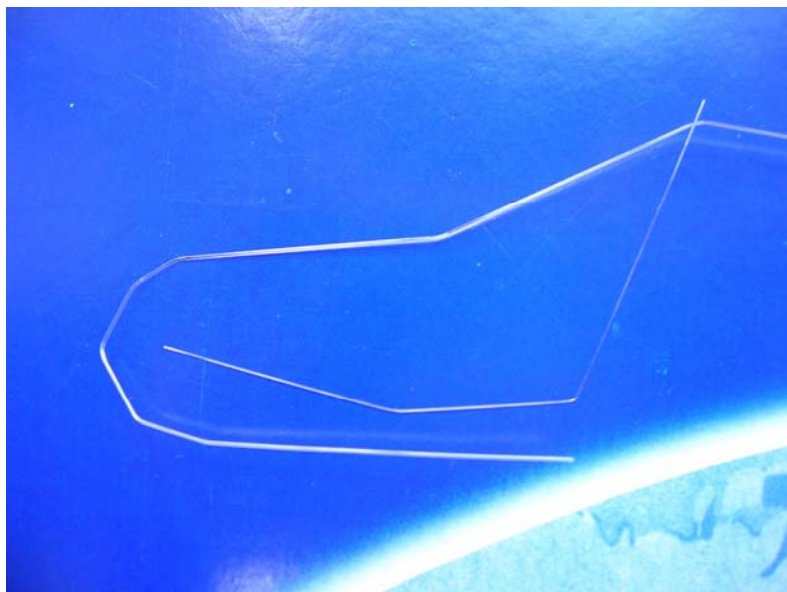
# Refrigerator noise is avoided by SPI

Test mass of LCGT is connected to a cooling system by a heat link that possibly introduces mechanical noise. A **suspension point interferometer (SPI)** is introduced to maintain high attenuation of seismic and mechanical noise without degrading high heat conductivity.



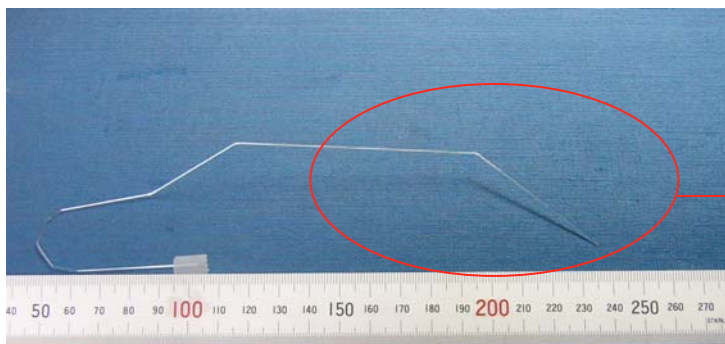
# 懸架系の要素技術開発

浙江工業大学激光加工中心、浙江大学と協力  
( Prepared by T. Suzuki)



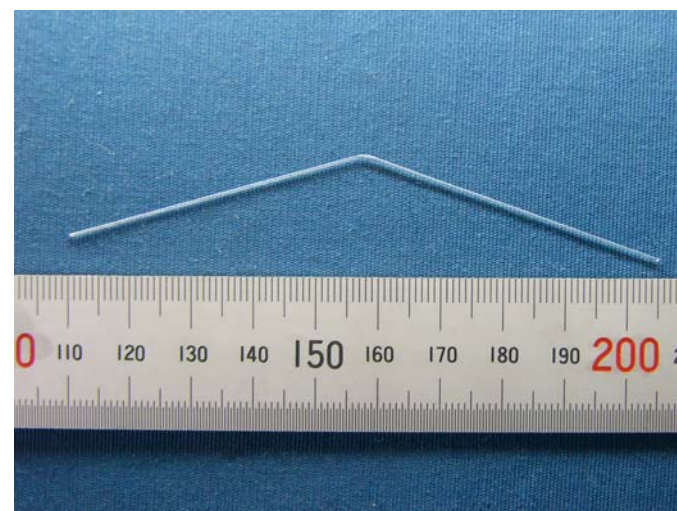
Saphicon  $\phi 0.425$ ,  $\phi 0.2$   
Single crystal fibre

CO2 LASER CW 50W  
Processing time: 30~60 sec  
Applied force: 0.1~1 N



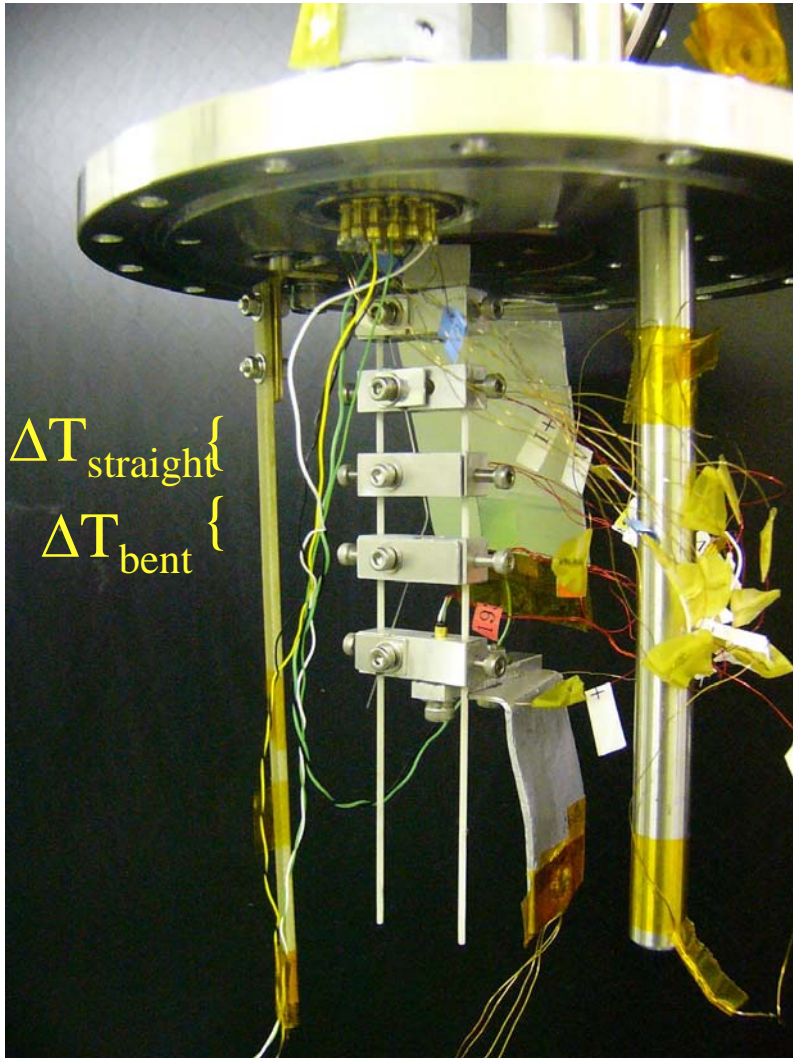
Thermal  
Conductance  
Measurement

$\phi 0.425$   
 $\theta \sim 34^\circ$



# Thermal Conductance of Bent Fibre

(prepared by T.Suzuki)



Carbon Glass Temperature Sensors

Stationary heat current :  $Q$  [W]

Temperature difference :  $\Delta T$  [K]

Thermal conductance :  $C_{th} = Q/\Delta T$

Preliminary

$C_{th}(\text{Bent}) / C_{th}(\text{Straight}) \sim 0.6$   
at  $T \sim 20$  [K]

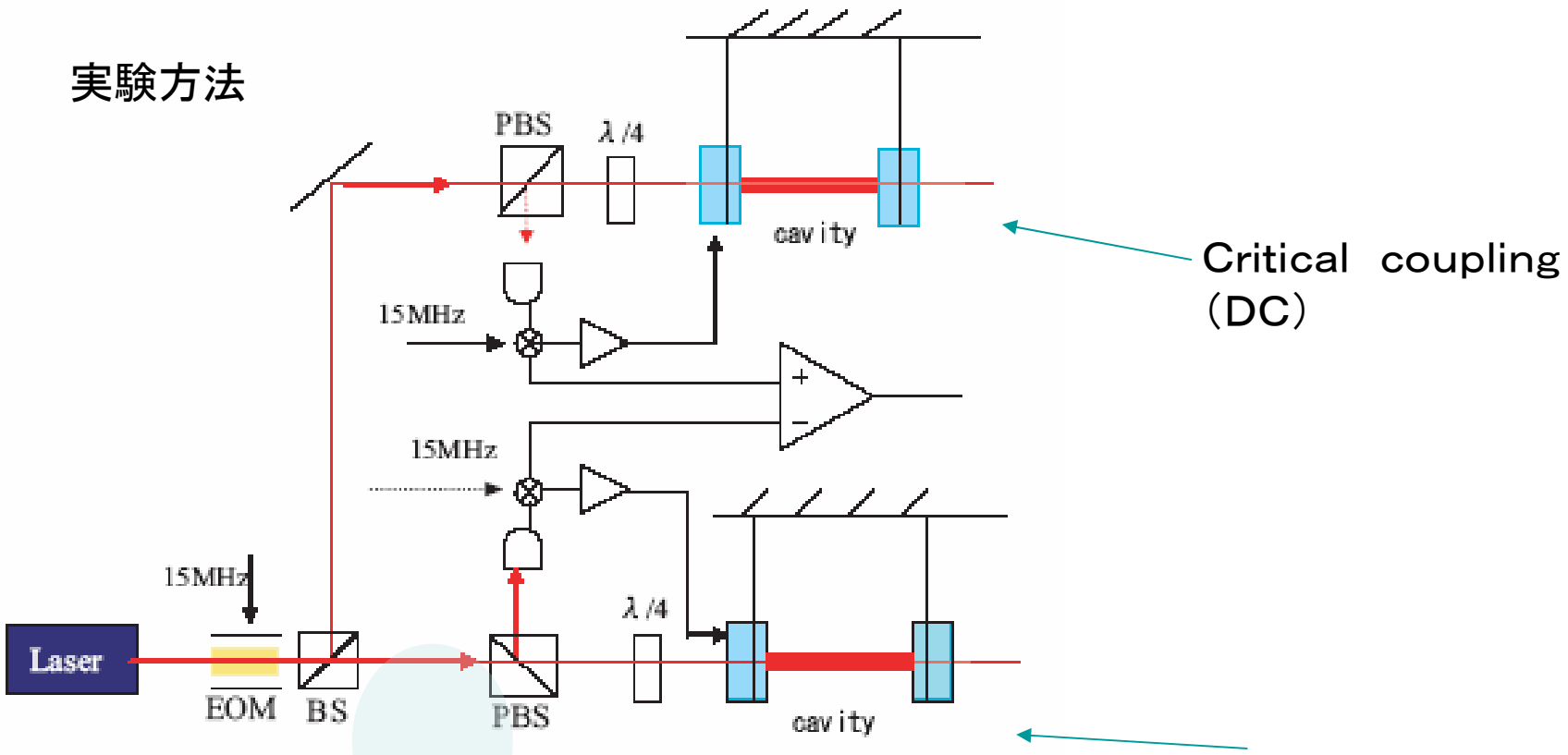


# LCGTは量子雑音干渉計

- 次の感度向上のステップは、光スクイーミングによる感度向上を目指す。
- スクイーミング光の導入による感度向上。
- 光学バネ効果によるスクイーミング光の発生。
- そのためには光の輻射圧雑音を測定する技術レベルが必要。
  - 光スクイーミングの研究(博士論文のテーマ)

# 光スクイージング実験

# 実験方法

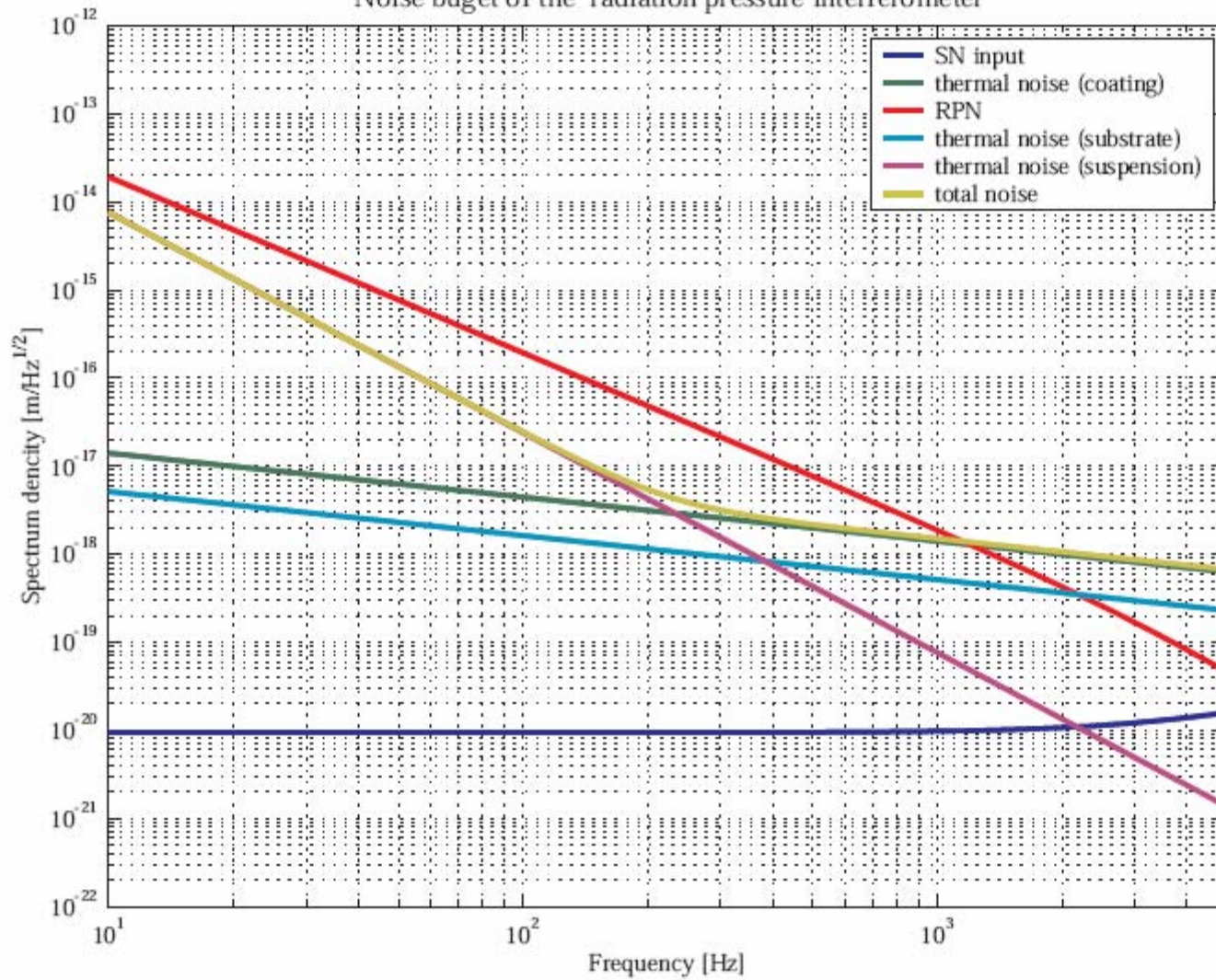


Critical coupling  
(DC)

リコンバインしない。

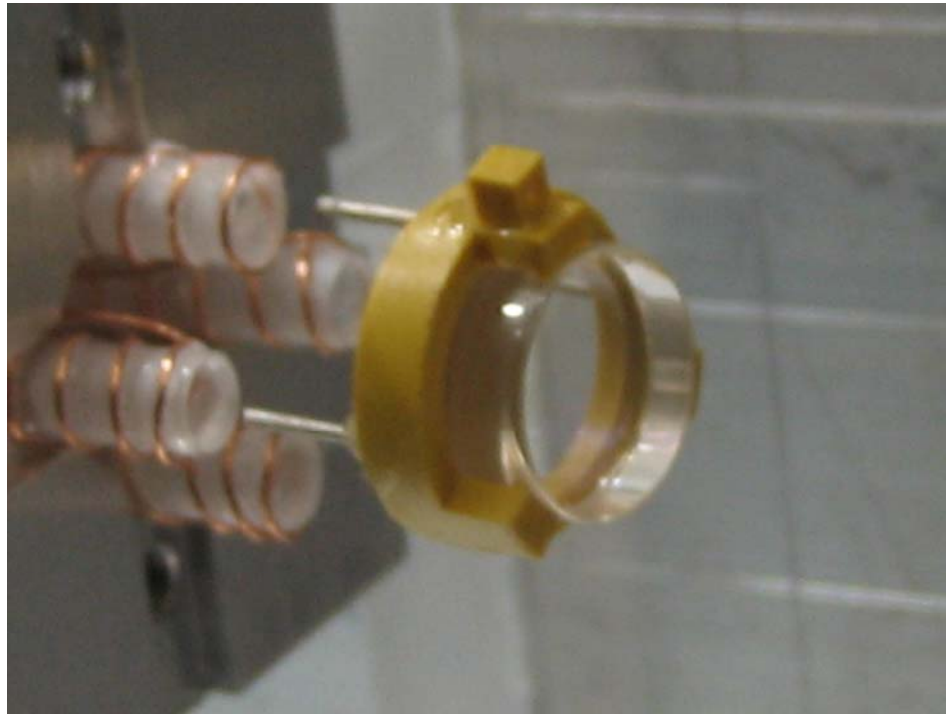
prepared by A. Okutomi

Noise budget of the radiation pressure interferometer



prepared by A. Okutomi

# ミラー



prepared by A. Okutomi



# 設計と経費の見直し

- 真空ダクト
- 低温部（クライオスタット、冷凍機、懸架系）
- 光学系（入射系、モードクリーナー、出射系、主干涉計、テスト干涉計）
- レーザー光源（主副、予備）
- 施設建設（トンネル、坑外実験準備棟）

# Schedule in the budget request for FY2008

110 JpnYen=1 US\$

Item	Financial Year								Cost (thousand yen)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	After 2015	
Tunnel construction	████████████████████								3586000
Building construction				████████					210000
Making Vacuum Parts		████████████████████							3308000
Vacuum system Install				████████████████					2205000
Optical System		████████████████████							902716
Optics Install					████████				98784
Laser source		████████████████████							793210
Laser Install					████				9040
Cryogenic Suspension			████████████████████						2615720
Suspension Install					████				17430
SAS Isolator			████████████████████						229400
SAS Installation					████				12600
Main mirror	████████████████████				████████				312900
Mirror Installation					████				2100
Data-taking system					████████				315000
Data Analysis				████████████████					21000
PD Salary	████████████████████								200000
Commissioning						██████████			
Observation							██████	████████████████	
<b>Total</b>	<b>413500</b>	<b>3407320</b>	<b>4147240</b>	<b>4078080</b>	<b>3772760</b>				<b>14838900</b>

US\$ 135M

It does not include salaries & maintenances of facilities.

# 組織・協力体制

- 3所長覚え書きの延長
- 各機関の組織確認
- 各機関でのR&D経費の獲得
- 海外プロジェクトとの協力(LIGO, GEO...)
- 海外研究者からの支援体制構築
- 国内隣接分野からの支援体制

# 結論

- TAMAによる基礎技術開発と組織の統一
- LISMによる地下の優位性実証
- CLIOによる低温干渉計の実証
- LCGTは、地上における重力波観測の最終検出器として位置づけられる。実現に全力を尽くす。