

# LCGT design review

--- 干渉計 ---

June 22, 2001 Masaki Ando

干渉計方式

Power-recycled Fabry-Perot-Michelsonと  
Resonant-sideband extractionの比較検討

- ・干渉計方式と量子雑音  
(**散**射雑音と**輻**射圧雑音)
- ・光ロスと**ゲ**イン配分
- ・ロスによる**発**熱

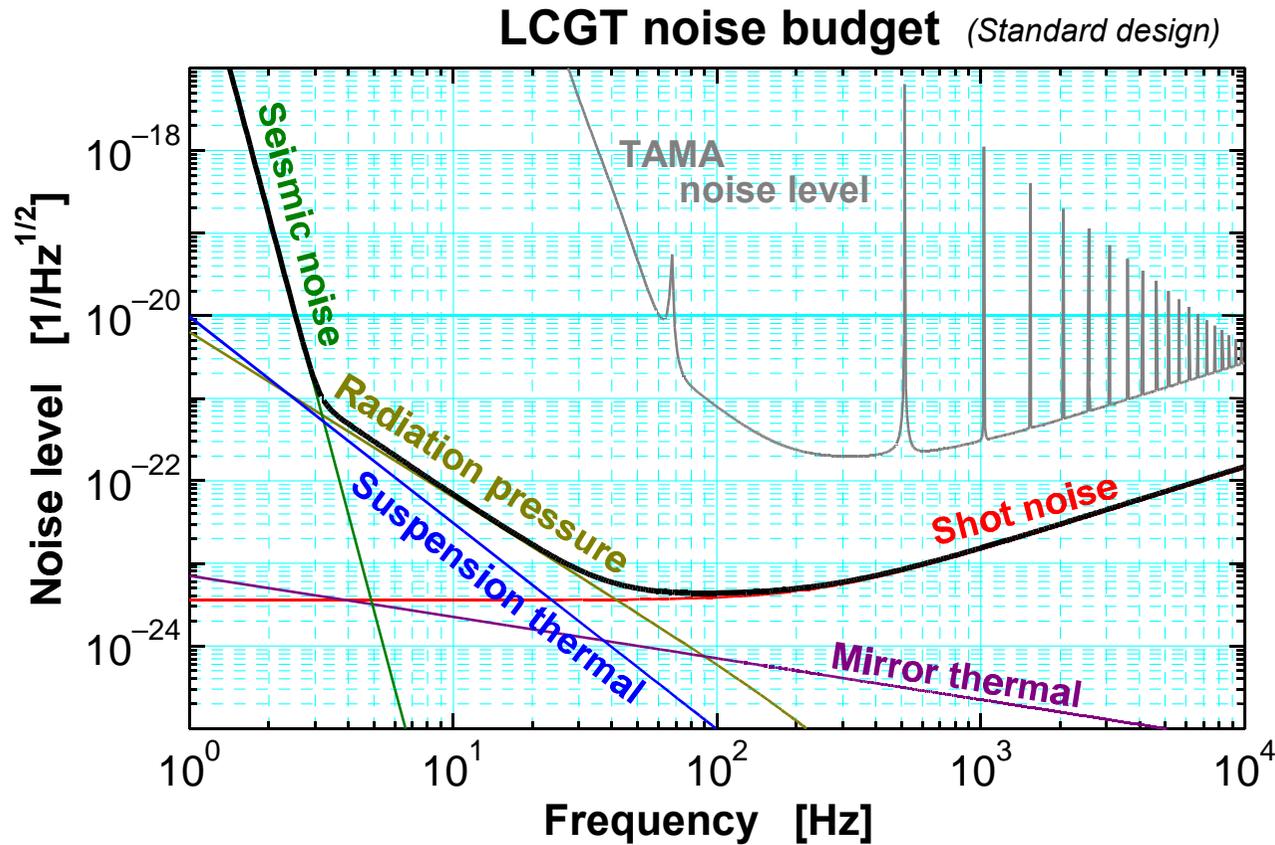
BSの雑音

BSに関する**主**な雑音

制御系の雑音

- ・**ア**クチュエータのレンジと雑音
- ・**制**御による雑音

# LCGT感度

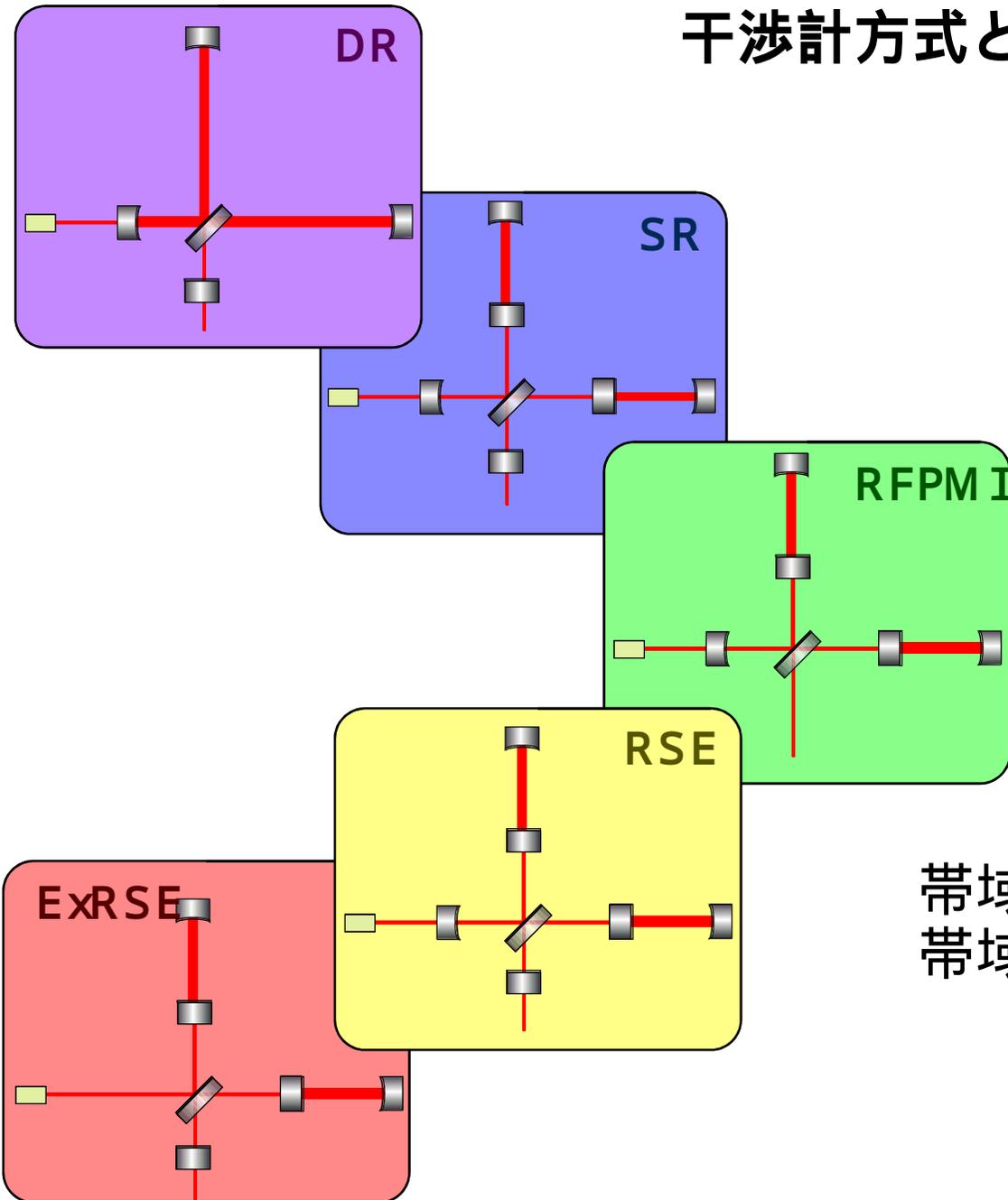


山元 & 宮川計算による

基線長 3km  
レーザー光源 100W  
リサイクリングゲイン 50  
フィネス 100 ( $f_{\text{cav}}=250\text{Hz}$ )  
サファイアミラー  
50kg,  $Q=10^8$ , 30K  
懸架振り子  
1Hz,  $Q=2 \times 10^8$ , 10K  
SASによる防振系

主な感度は量子雑音で決まる  
散射雑音、輻射圧雑音

# 干渉計方式と量子雑音



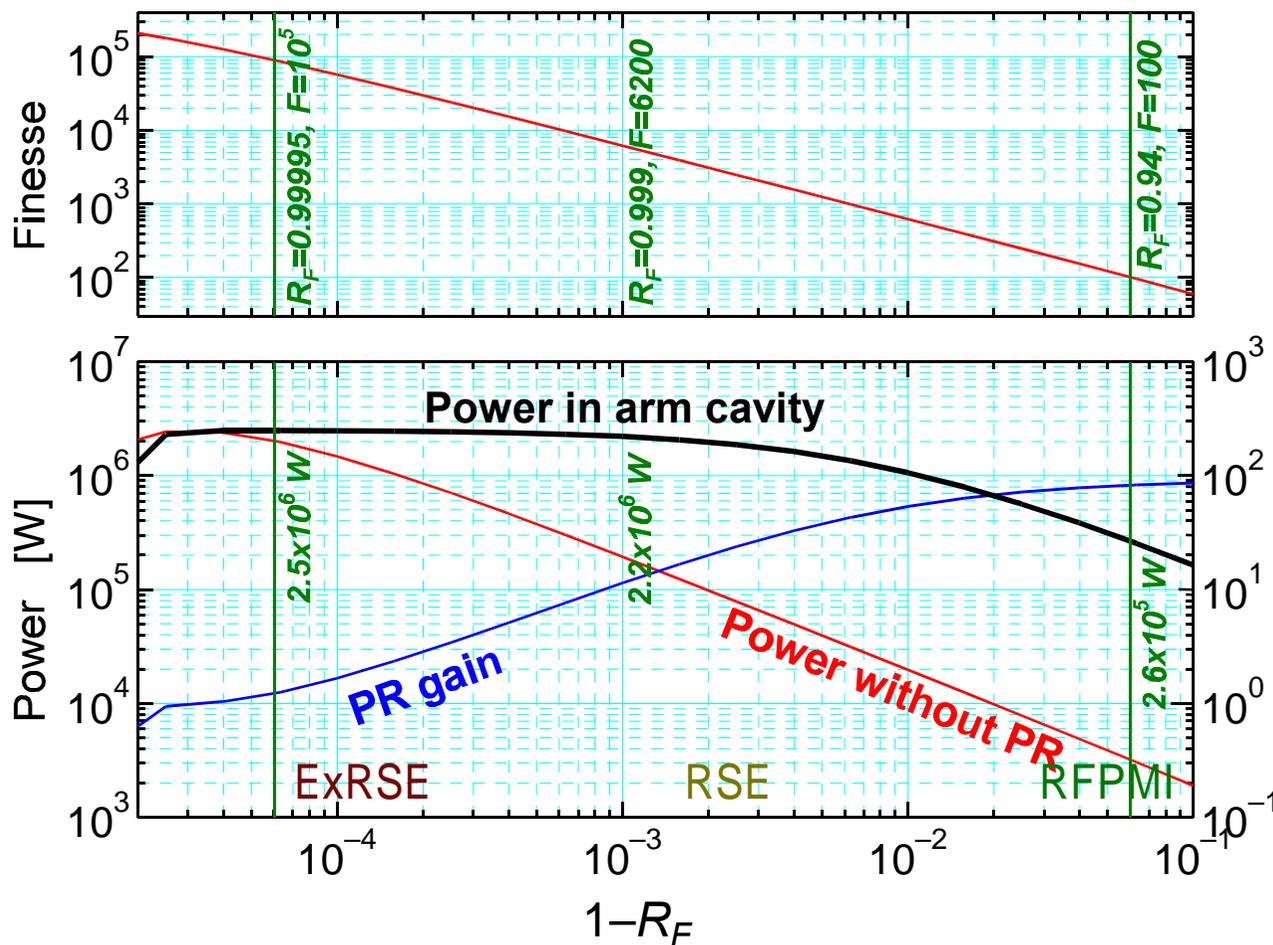
## 量子雑音

(**散射雑音**、**輻射圧雑音**) は、  
 ・**腕パワー**と**信号帯域幅**で決まる  
 ・**干渉計方式には拠らない**

↑  
 水野の推論、Buonannoの計算  
 (ここではdetuningは考えない)

	散射雑音	輻射圧雑音
帯域以下	$f \text{ BW} / P$	$P / f \text{ BW}$
帯域以上	$1 / P$	$P$

# 干渉計方式とゲインの配分



腕内光パワー ---

腕共振器ゲイン(フィネス)と  
リサイクリングゲインの積

$$R_E = 0.99999$$

$$R_R = R_{FPM} \text{ (optimal)}$$

$$R_{AR} = 0.1\%$$

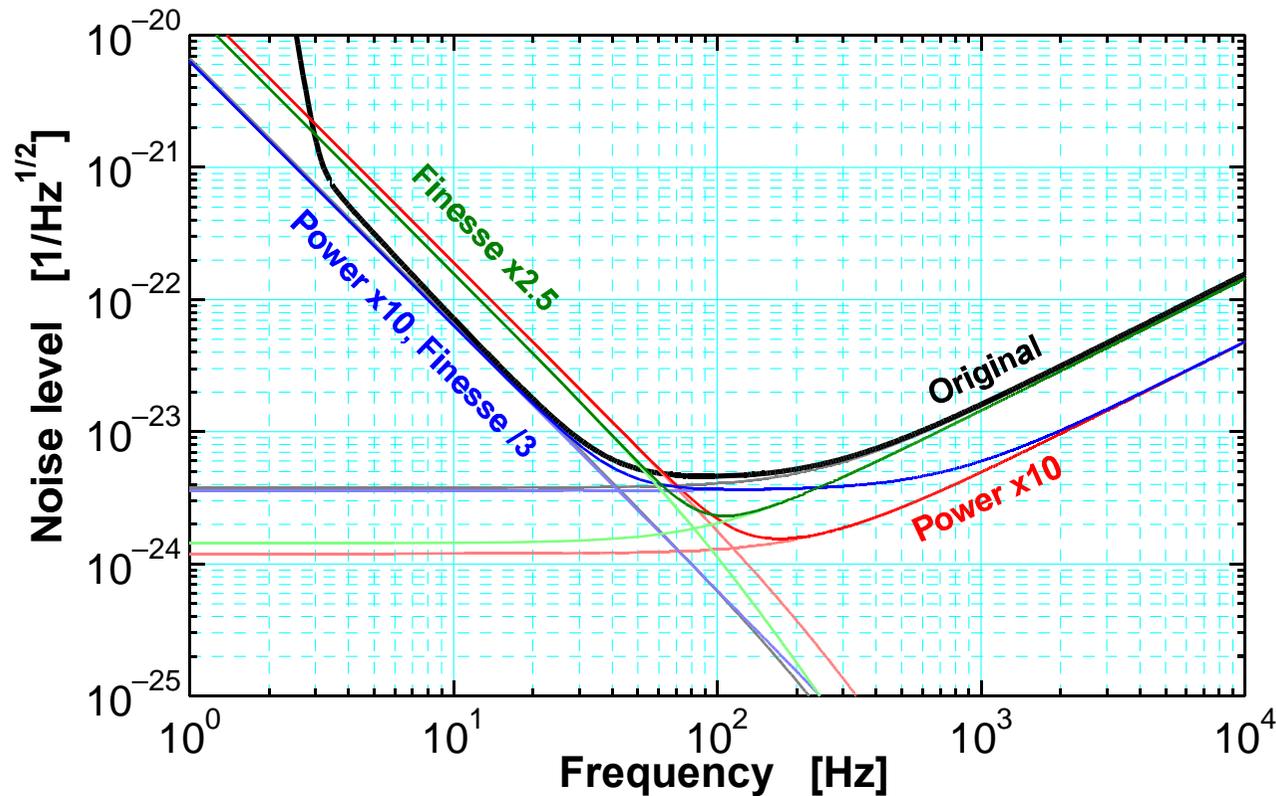
Loss = 100ppm (基材)  
1ppm (鏡面)

Contrast = 99.5%

• RSEでは、約10倍

腕内光パワー  
が大きくなる

## 感度の、腕内光パワーと信号帯域幅依存性



腕内光パワーが10倍あると、

- 光源パワー1/10でもとと同じ感度
- フィネス1/3で、観測帯域が広がる

## ロスによる発熱

基材内でのロス

--- 光源パワーとリサイクリングゲインで決まる

1Wの発熱、光源パワー100Wのときの最大許容ゲイン

100ppm ---  $G = 200$

200ppm ---  $G = 100$

400ppm ---  $G = 50$

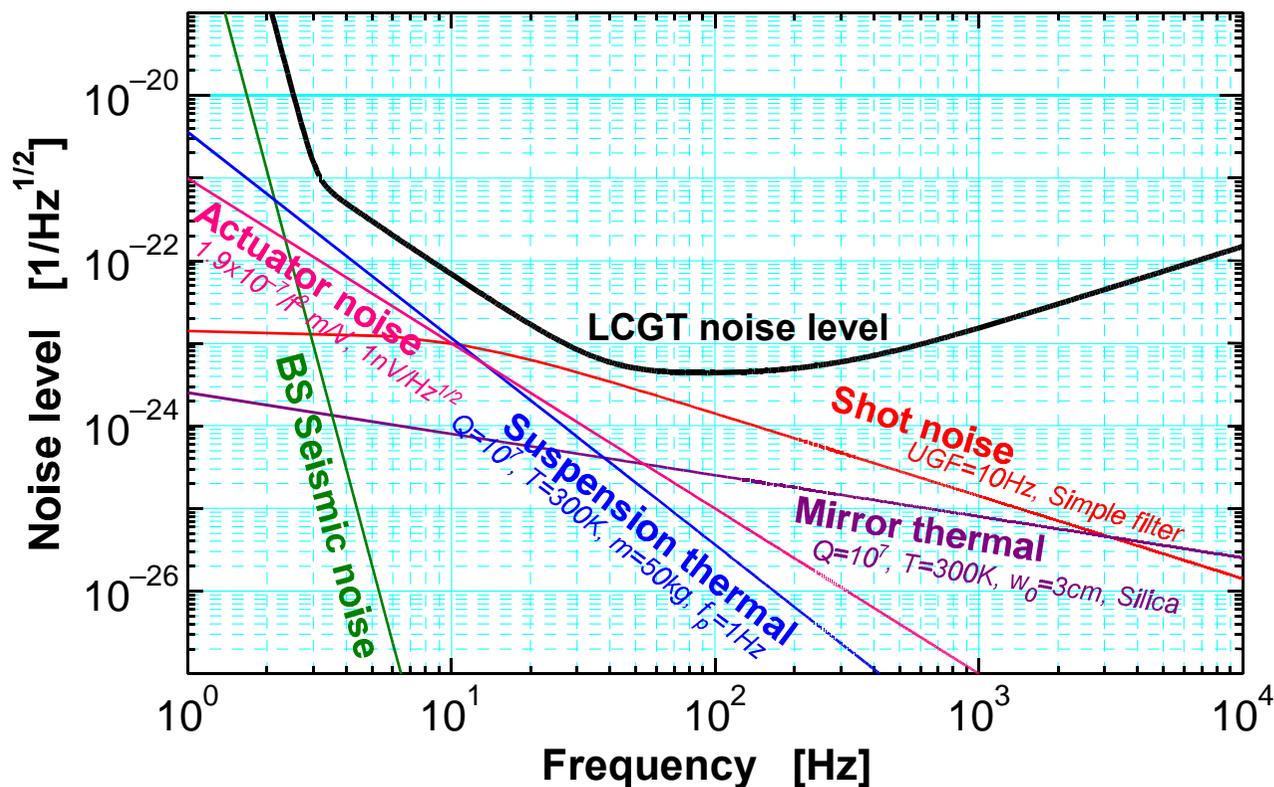
1000ppm ---  $G = 20$

コーティングでのロス

--- 腕内光パワーで決まる

1Wの発熱、0.1ppmの熱変換とすると、  
腕内パワー上限値は、10MW

# Beam Splitterでの雑音



## • 散乱雑音

制御帯域10Hz、  
簡単なフィルター

## • 熱雑音

Q値  $10^7$ 、300K

## • 地面振動

腕鏡と同じ防振系

## • アクチュエータ雑音

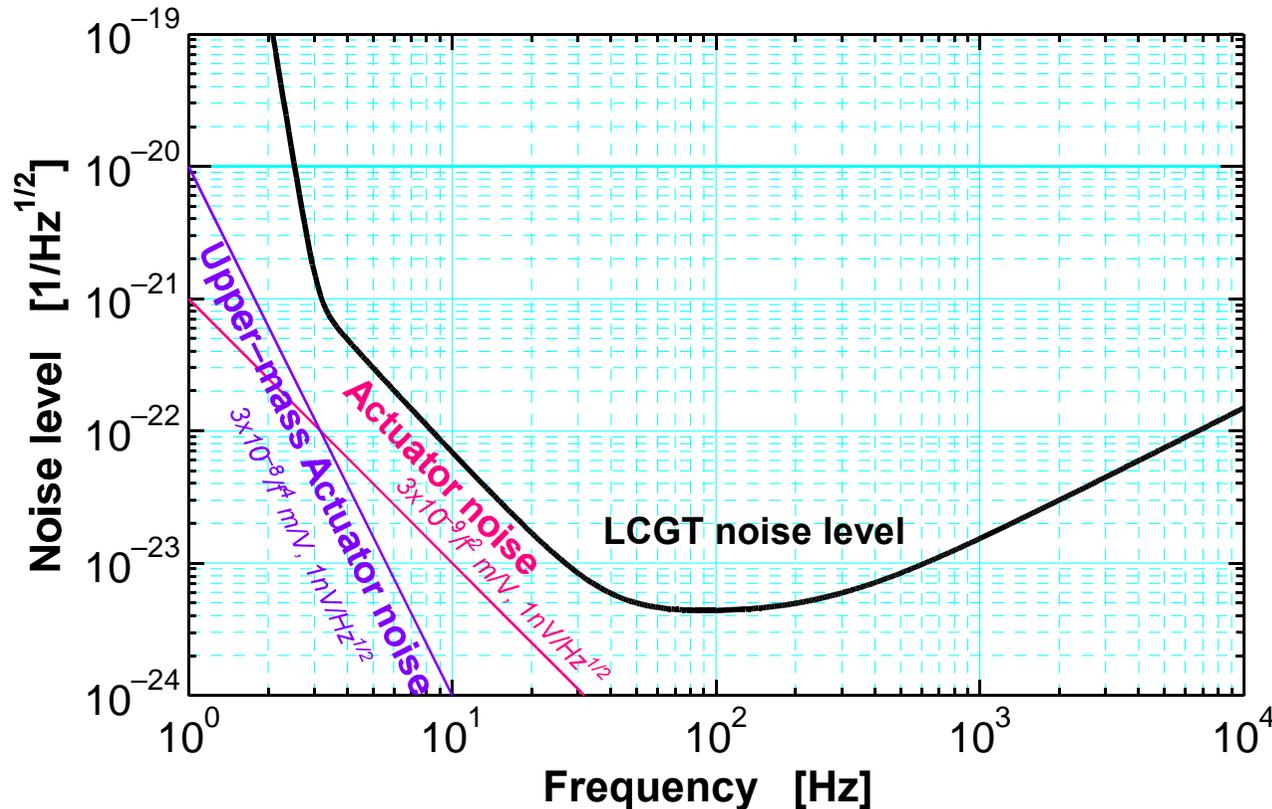
レンジ  $2 \mu\text{m}$  (10V信号)

BSは冷やさなくて大丈夫

強度雑音

無制御時変動  $3\text{nm}$ 以下  
が必要

# 光路長制御の雑音



鏡アクチュエータ雑音

1nV/ Hzの雑音と

10Vのレンジを持ったドライバ

$3 \times 10^{-8} \text{m}$ の可動範囲

上段マスをアクチュエート

$3 \times 10^{-7} \text{m}$ の可動範囲

相当厳しい

- 高電圧の使用

- 周波数特性を持たせる

- 振り子を長くする

周波数アクチュエータ雑音

$1.2 \times 10^2 \text{Hz}$ の可動範囲

制御帯域10kHz, SF 10

入射光周波数雑音  $0.1 \text{Hz/ Hz}$

## 角度制御の雑音

### 鏡アクチュエータ雑音

・光路長制御と同じアクチュエータ、同じ共振周波数

効率  $5 \times 10^{-8} \text{rad/V}$

・ミスセンタリング 1mmとしたときの雑音を考慮

効率  $3 \times 10^{-5} \text{rad/V}$  以下

### アライメント制御の雑音

・TAMAのパラメータ、15mWの光

散射雑音  $10^{-13} \text{rad/Hz}$

$3 \times 10^{-20}$  / Hz に対応

2Hzにフィルターのcut-off、帯域0.2Hz程度しかとれない

## まとめ

### 干渉計方式

- 原理的には、どの方式でも同じ感度になる
- 光ロスを考慮すると
  - パワーを効率的に使えるRSEが有利
- ロスによる発熱を考慮すると
  - RFPMIで冷却を行うのは、厳しい

### ビームスプリッター

- BSは冷やさなくてよい
- 強度雑音とのカップリング
  - 3nm 以下のRMS変動が要求される

### 制御による雑音

- アクチュエータのレンジは非常に小さい (10V, 1Hzで、30nm)
- 低残留RMS変動と、低共振周波数