

---

# DECIGOパスファインダー1

---

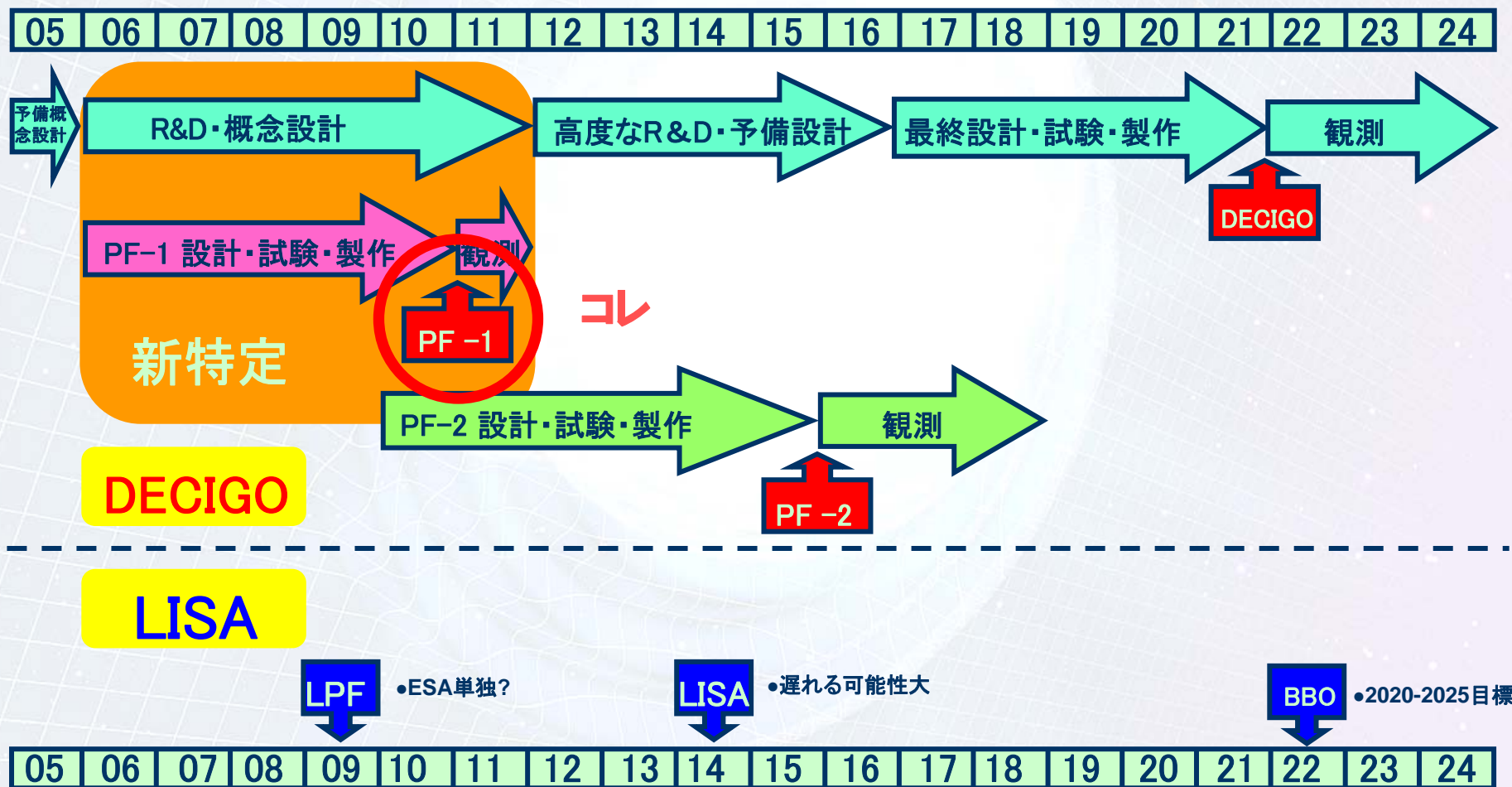
**安東 正樹**

**(東京大学 理学系研究科 物理学教室)**

**DECIGO-WG**

# DECIGO-PF1 (1)

## ● DECIGO-PF



# DECIGO-PF1 (2)

## ● DECIGO-PF1

DECIGO実現のためには、各要素技術の地上での入念な試験は不可欠  
その一方で、実際に**宇宙空間でなければ試験できない項目もある**

### 小型実験衛星 (DECIGO-PF1) で試験

**衛星のサイズ** : 30cm立方, 10kg, 1機

**開発期間** : 5年

**搭載機器** :

#### 基本装置

電源装置, レーザー光源とその周波数・強度安定化システム,  
温度安定化システム, 計測・通信システム, 衛星の姿勢制御システム等

#### 重力波観測のための装置

Fabry-Perot干渉計, 安定化光源, シールド部のドラッグフリー制御

宇宙空間における基礎技術の**総合的な試験と動作検証**

宇宙空間の安定な環境・レーザー干渉計

を利用した**重力波観測実験**

# 小型重力波検出器 (1)

## ● DECIGO-PF1方針

開発・実験コンセプト：

DECIGOのための基礎となること

技術開発：レーザーを用いた精密計測，精密制御

天文・物理的意味のある成果：計測実験・観測実験



大きさ10cm程度の振れ型検出器による重力波観測  
地上での観測が困難な 0.1-10Hzの重力波を観測  
実際に検出されない場合  
→ これまでに無い周波数帯で，上限値を与える  
ドラッグ・フリーの組み込み

必要とされる要素技術

レーザー光源の開発・実証試験

安定動作するレーザー光源，周波数安定化

打ち上げ時の衝撃に対するアラインメントの耐性

干渉計を用いた計測システムの開発・実証試験

2点間の距離の精密計測 (ドラッグ・フリー実験)，光学素子の精密制御

S/C 姿勢制御

# 小型重力波検出器 (2)

## ● 重力波検出器の構成

磁気支持された振れ型検出器

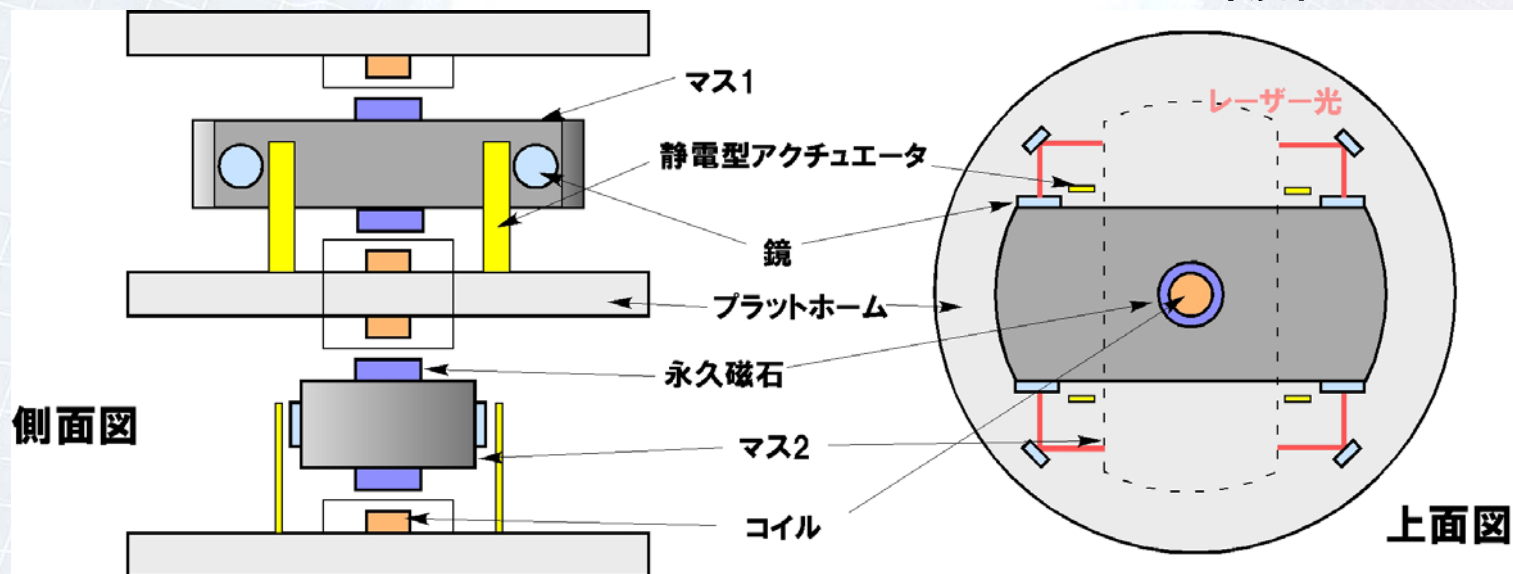
2つの棒状マスを磁気によって非接触支持

→ 回転方向には摩擦や復元力がほとんど働かない

重力波による潮汐力 → 2つのマスの差動回転

ファブリー・ペロー共振器で変動検出

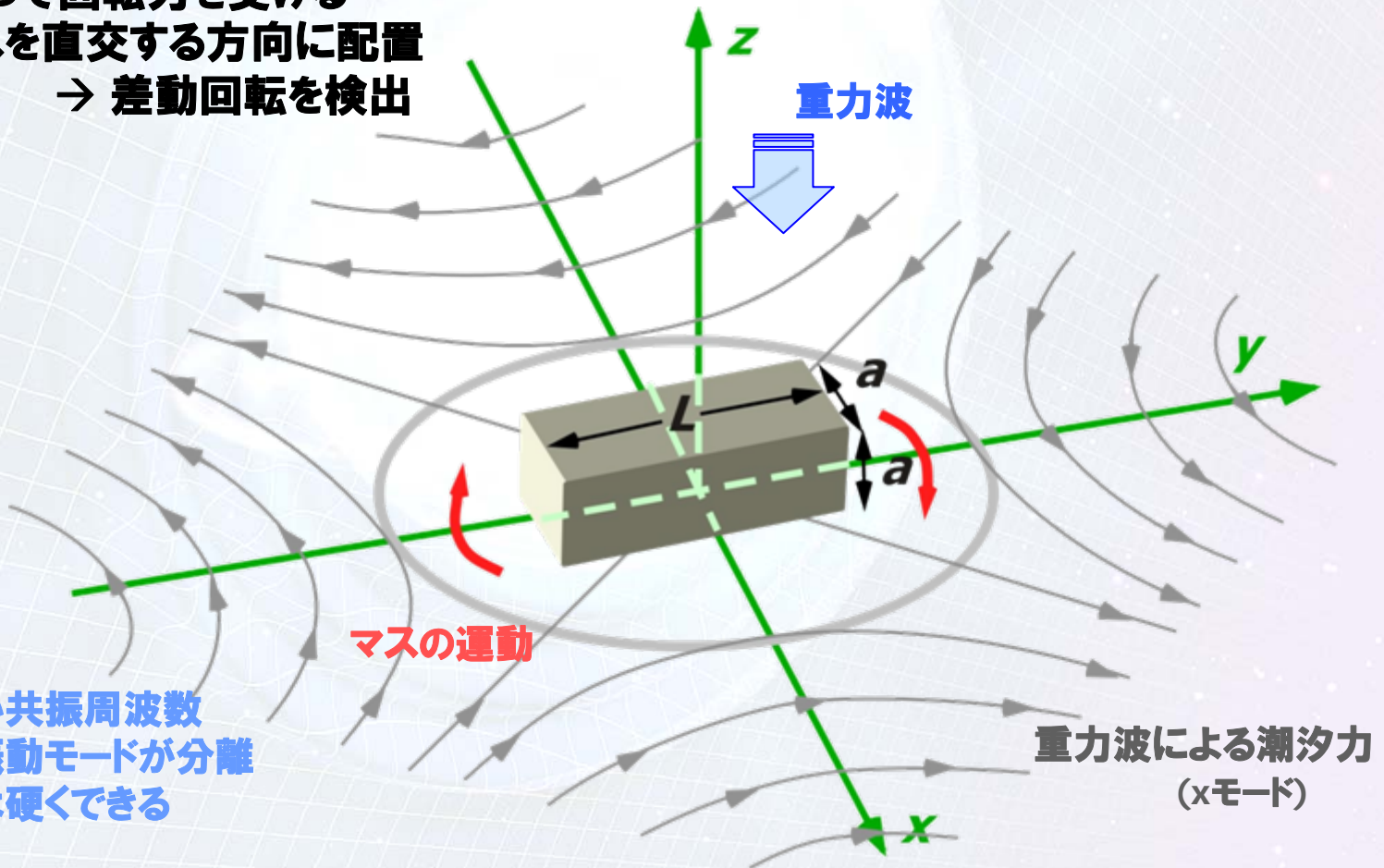
アクチュエータ：  
静電型アクチュエータ  
干渉計プラットフォームから制御



# 小型重力波検出器 (3)

## ●ねじれ型アンテナ

重力波による潮汐力  
によって回転力を受ける  
2つのマスを直交する方向に配置  
→ 差動回転を検出



特徴:

比較的低い共振周波数  
観測用の振動モードが分離  
他自由度は硬くできる

# 小型重力波検出器 (4)

## ● 干渉計の構成

テストマス : アルミテストマス, 質量 1kg

レーザー光源 : 倍波Nd:YAGレーザー, 出力 100mW

周波数安定化 : 外部共振器を基準

振れ型検出器の

ファブリー・ペロー共振器に入射  
パウンド・ドレーバー法  
により信号取得・制御

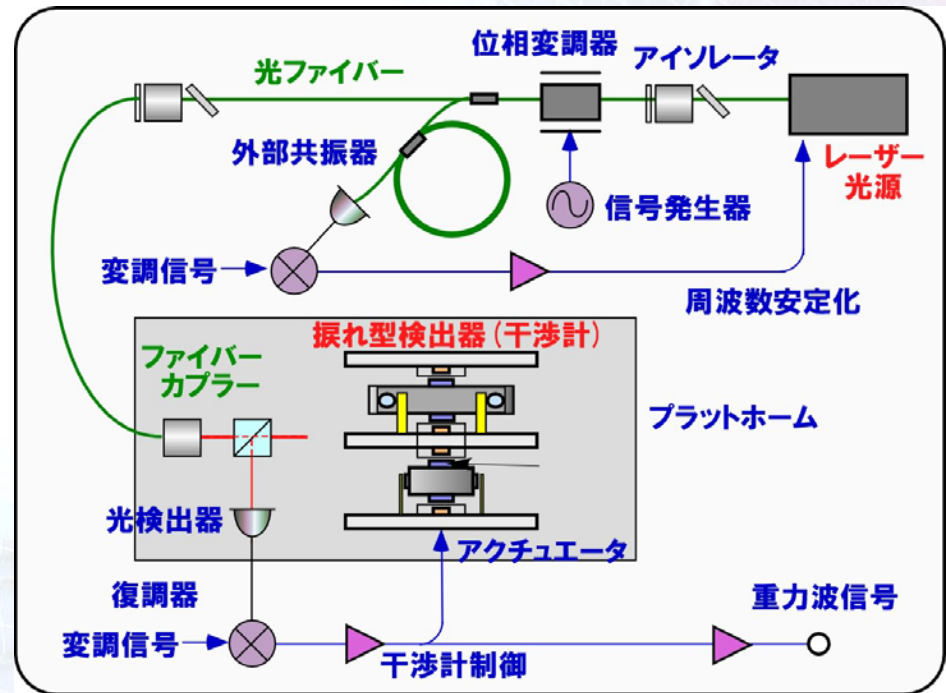
共振器フィネス : 100

共振器長 : 10cm程度

特徴 :

出来るだけシンプルな光学構成  
光学系

→ 打ち上げ時の衝撃・ミスアラ  
インメントの影響を受けにくいもの



# 小型重力波検出器 (5)

## ● 機械系の構成

主干渉計：

干渉計プラットフォームから制御される  
シールドに覆われる (磁気, 脱ガス, 宇宙線の遮蔽)

磁気シールド部：

S/C 内に保たれるようにドラッグフリー制御  
(衛星用スラスタ, シールド部へのアクチュエータを併用)

温度安定化：磁気シールド部, 基準共振器,  
レーザー光源 の各部分で必要

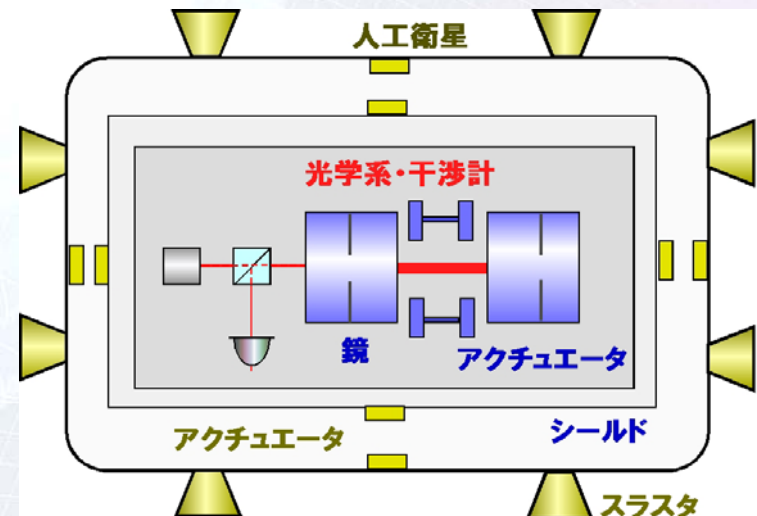
特徴：

衛星の機械的外乱：

ドラッグフリー制御により低減

電磁気的外乱: シールドにより低減

温度変化: シールド (+ 能動制御)

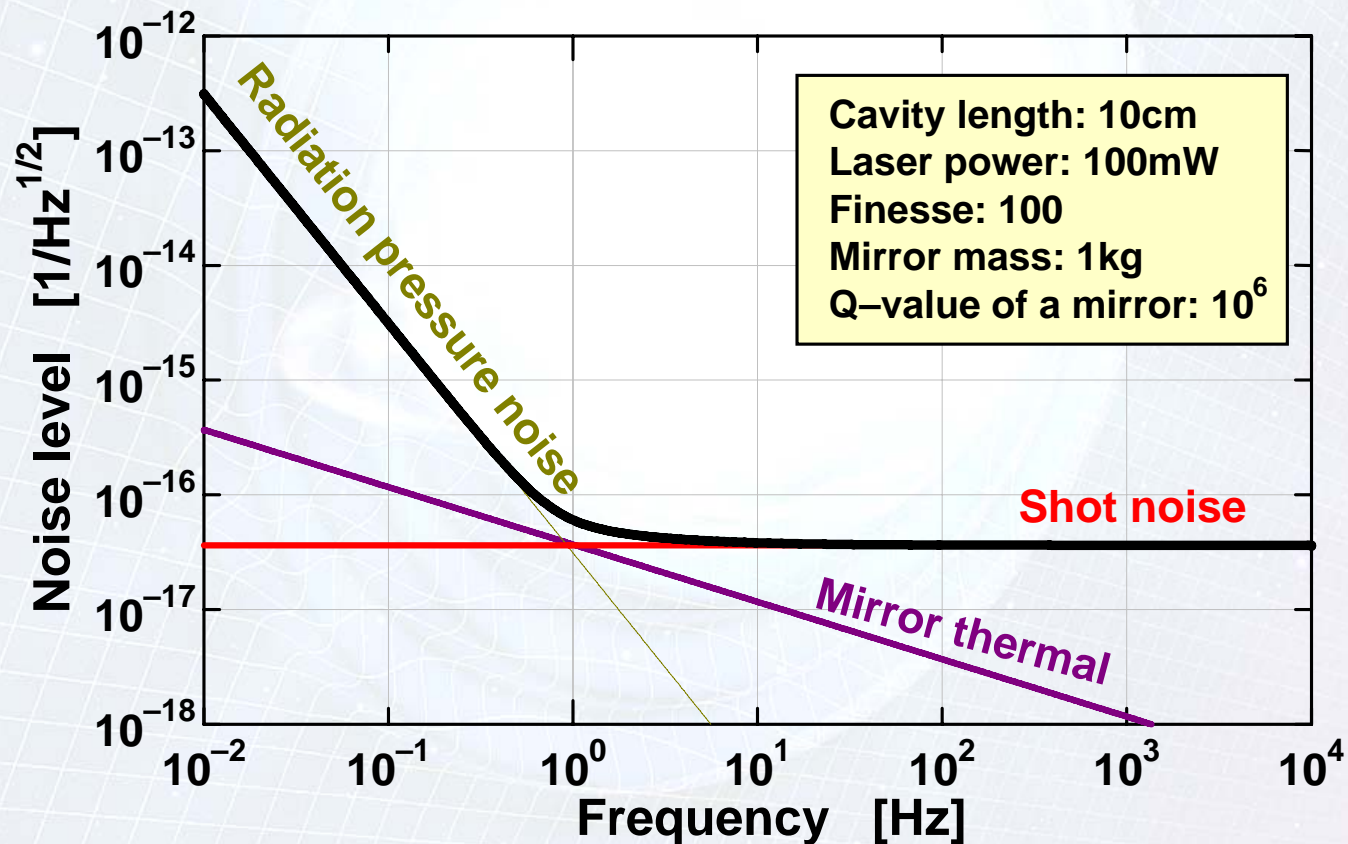




# 小型重力波検出器 (6)

## ● 重力波に対する感度

光源パワー : 100mW, フィネス : 100, 鏡質量 : 1kg  
鏡Q値 :  $10^6$ , 温度 : 300K



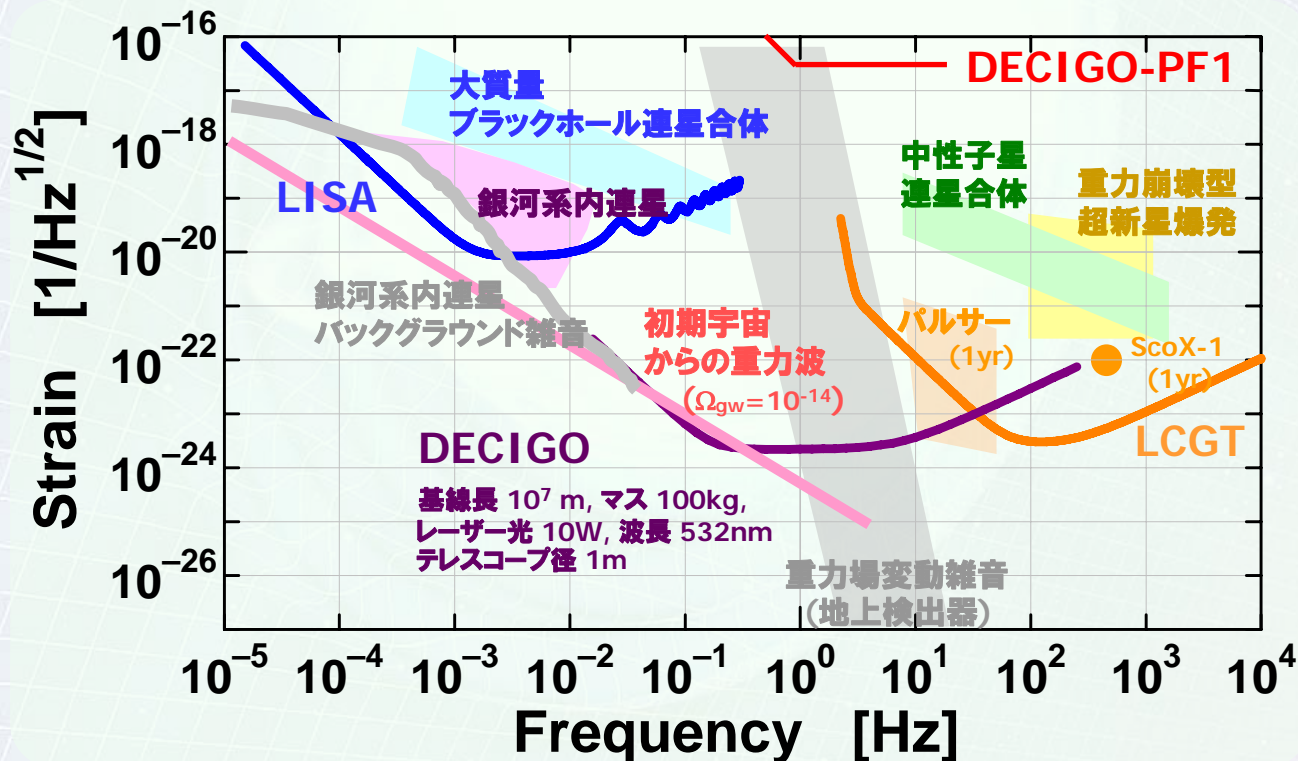
# 感度と重力波源 (1)

## ●他の重力波検出器との比較

本格的な将来計画と比較すると見劣りするが、過去のものよりはやや良い

ドップラートラッキング  $h \sim 10^{-15}$  ( $10^{-4}$ - $10^{-2}$  Hz)

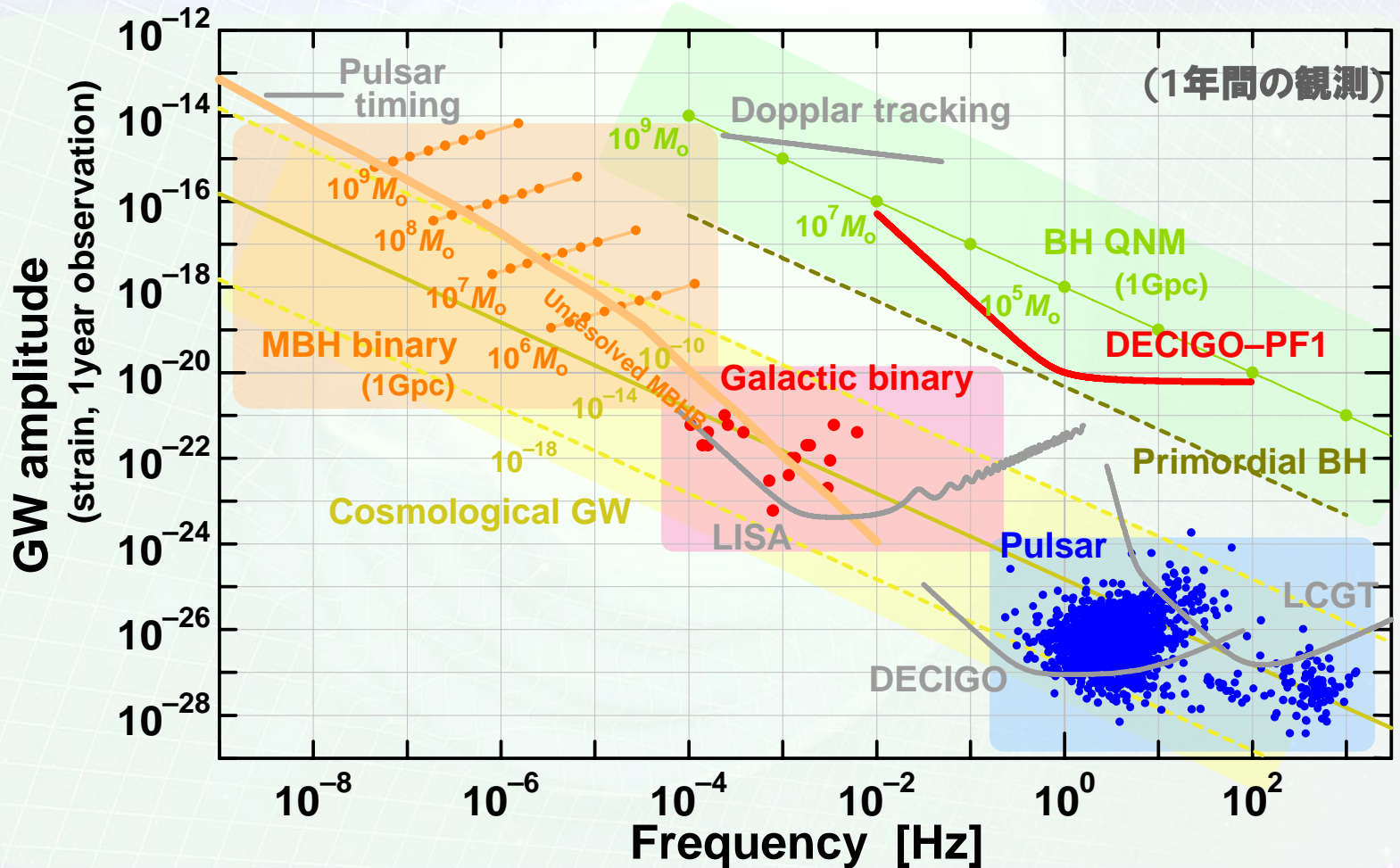
パルサータイミング  $h \sim 10^{-14}$  ( $10^{-8}$  Hz)



# 感度と重力波源 (2)

## ● 重力波源

連続重力波, バックグラウンド重力波 (1年間の観測, 2台での観測を仮定)



# 感度と重力波源 (3)

## ●バースト的重力波

### BH準固有振動からの重力波

$$h_s \sim 10^{-15} \left( \frac{m}{10^8 M_\odot} \right) \left( \frac{1 \text{ Gpc}}{r} \right)$$
$$f \sim 10^{-3} \left( \frac{10^8 M_\odot}{m} \right) \text{ [Hz]}$$

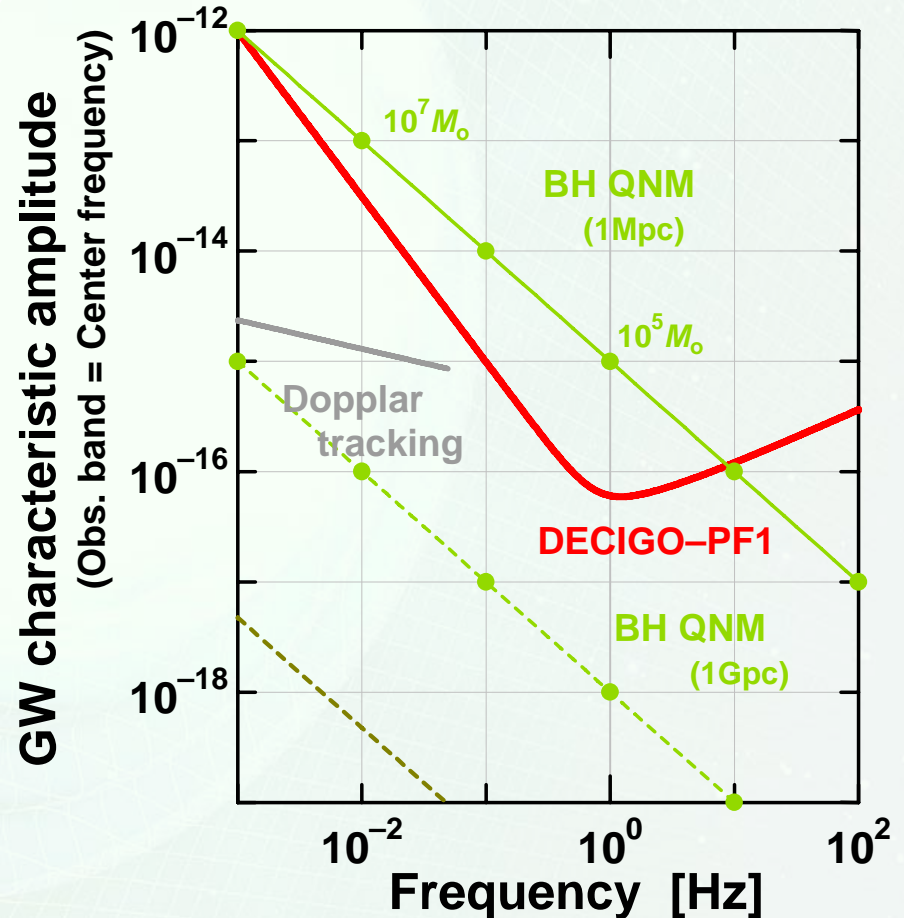
$m = 10^5 M_{\text{sun}}$  のとき

$h \sim 10^{-18}$

$f \sim 1 \text{ Hz}$



1Mpc程度の観測可能距離



# 研究計画

## ● 研究計画

### 1年目： 概念設計およびブレッドボードモデルの開発

ブレッドボードモデルを作製し、その動作を行なう。衛星本体とインターフェース部の基本設計を取りまとめ、それら結果を元に、DECIGOパスファインダーの基本設計を固める。

### 2年目： ブレッドボードモデルの性能評価とエンジニアリングモデルの設計

ブレッドボードモデルの性能の評価と感度の向上実験を行い、雑音に関して所定の要求値を満たすよう改良を行う (歪み感度で $10^{-16}/\text{Hz}^{1/2}$ )。また、それらを元にエンジニアリングモデルの設計に取り掛かる。

### 3年目： エンジニアリングモデルの製作

他の開発要素 (ドラッグフリー制御技術、Nd:YAGレーザー光源、外部共振器による周波数安定化) の開発成果の供与を受けて、重力波観測装置部のエンジニアリングモデルを製作し、各種試験を行う。それらの結果を踏まえて、実際に打ち上げる衛星全体の詳細設計を完成させる。

### 4年目： フライトモデルの開発

これ実際に打ち上げる衛星(フライトモデル)の製作に取り掛かる。

### 5年目： 実機の最終試験

フライトモデルの振動試験・宇宙環境試験を行なう。

### 6年目： 打ち上げと動作

打ち上げと重力波観測を行なう。

# 議論

## ● 検討課題

### 衛星のサイズ

これだけの観測装置を10kgの重量に収めるのは厳しい

JAXAでの'小型衛星'は、50-100kgクラス

→ 70cm立方, 50kg 程度のサイズが妥当か?

### ドラッグフリーシステムの構成

検出器を収めたフレームごと、ドラッグフリー制御する構成で、  
検出器への電力供給をどうするか?

→ ドラッグフリー部と検出器部の構成を再検討する余地がある  
検出器はねじれ型でよいか? FPタイプではどうなるか?

### 要素技術開発

精密制御用スラスタ, レーザー光源, 光源の安定化システム  
ドラッグフリー制御法, など

# まとめ

**小型衛星 (DECIGO-PF1) によって、**  
**宇宙空間における基礎技術の総合的な試験と動作検証**  
ドラッグフリー技術の検証  
干渉計を用いた計測システムの宇宙での検証

**宇宙空間の安定な環境・レーザー干渉計**  
**を利用した重力波観測実験** を行なう  
銀河中心のBH準固有振動イベントがあれば観測可能

おわり

終



# 観測戦略

## ● 観測とデータ取得

観測方法：**衛星の軌道に依存する**  
地球重力場(潮汐力)による雑音  
(軌道高度, 検出器の設置方向)  
**検出器のスピン回転による**  
重力波信号のアップコンバージョン

現段階では、  
**0.1-1Hz 付近の重力波**をメインターゲットとする  
周波数帯の切り分けによって、  
信号成分と雑音成分を区別する

### データの取得

主なデータの取得：

20Hz, 16bit, 8チャンネル

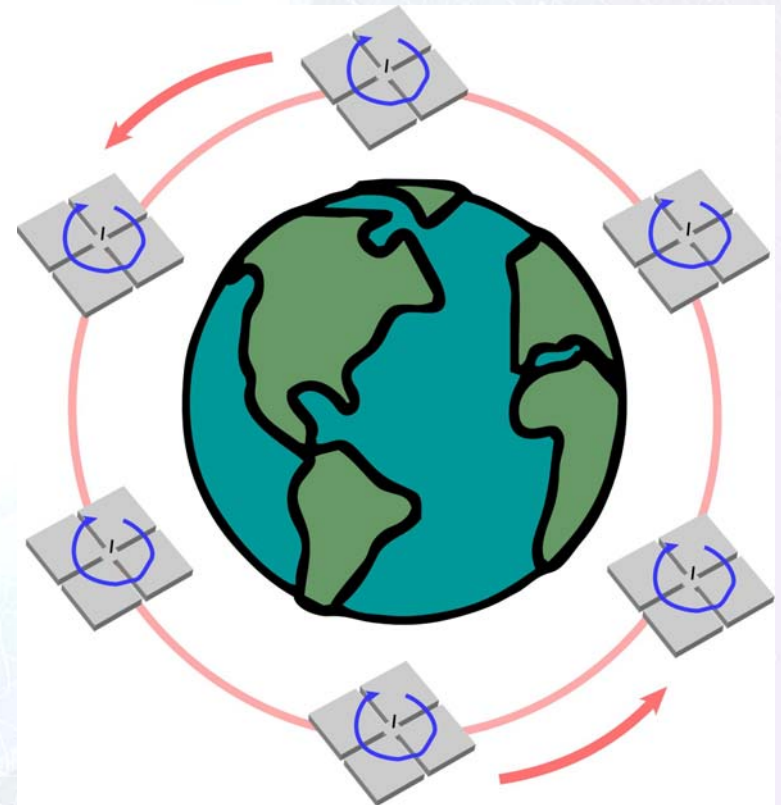
**データレート --- 2560bps**

(27.6MByte/day, 830MByte/month)

モニタデータの取得：

1Hz, 16bit, 64チャンネル

データレート --- 1024bps



太陽指向スピン軌道