

第10回「宇宙における時空・物質・構造の進化」

「高知パレスホテル」高知市 , Aug. 29, 2010

# 重力波プロジェクト報告

---

坪野 公夫

東京大学大学院理学系研究科

- **LCGTの現状**

- **DECIGO計画**

  - **小型衛星SWIM**

  - **DPF (DECIGO Pathfinder)**

# LCGTの現状

## LCGT計画の最近の動き

- 今年3月に日本学術会議の天文学・宇宙物理学分野において、推進すべき主要計画の一つとして大型重力波検出器**LCGT**があげられた。
- その後6月に、文科省「最先端研究基盤事業」の一つとして**LCGT**が採択された。2.5年で98億円。残り57億円(掘削その他)は概算要求中。
- プロジェクトリーダー (PI): 梶田隆章  
プロジェクトマネージャー: 中谷一郎

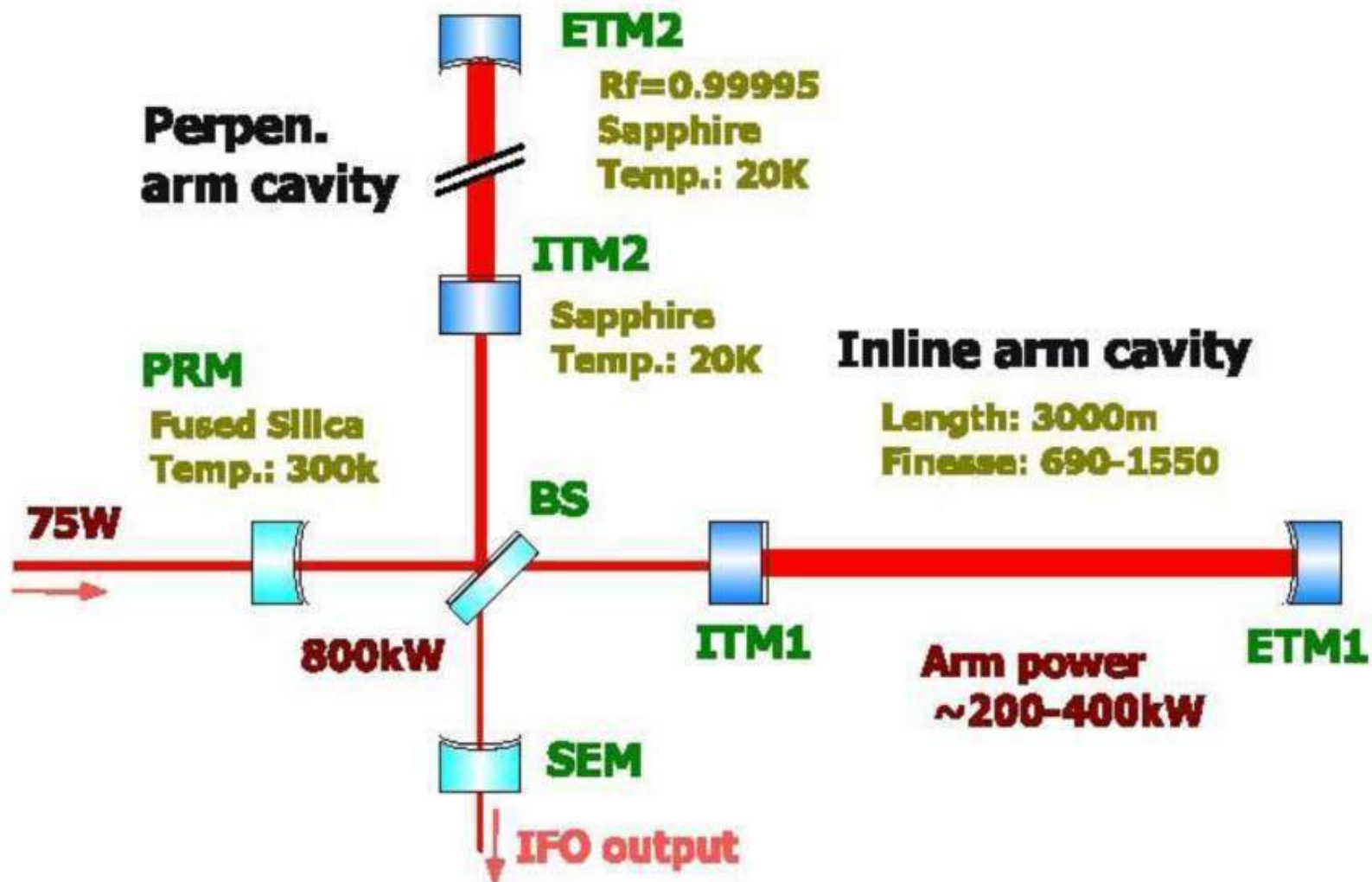


# *LCGT*

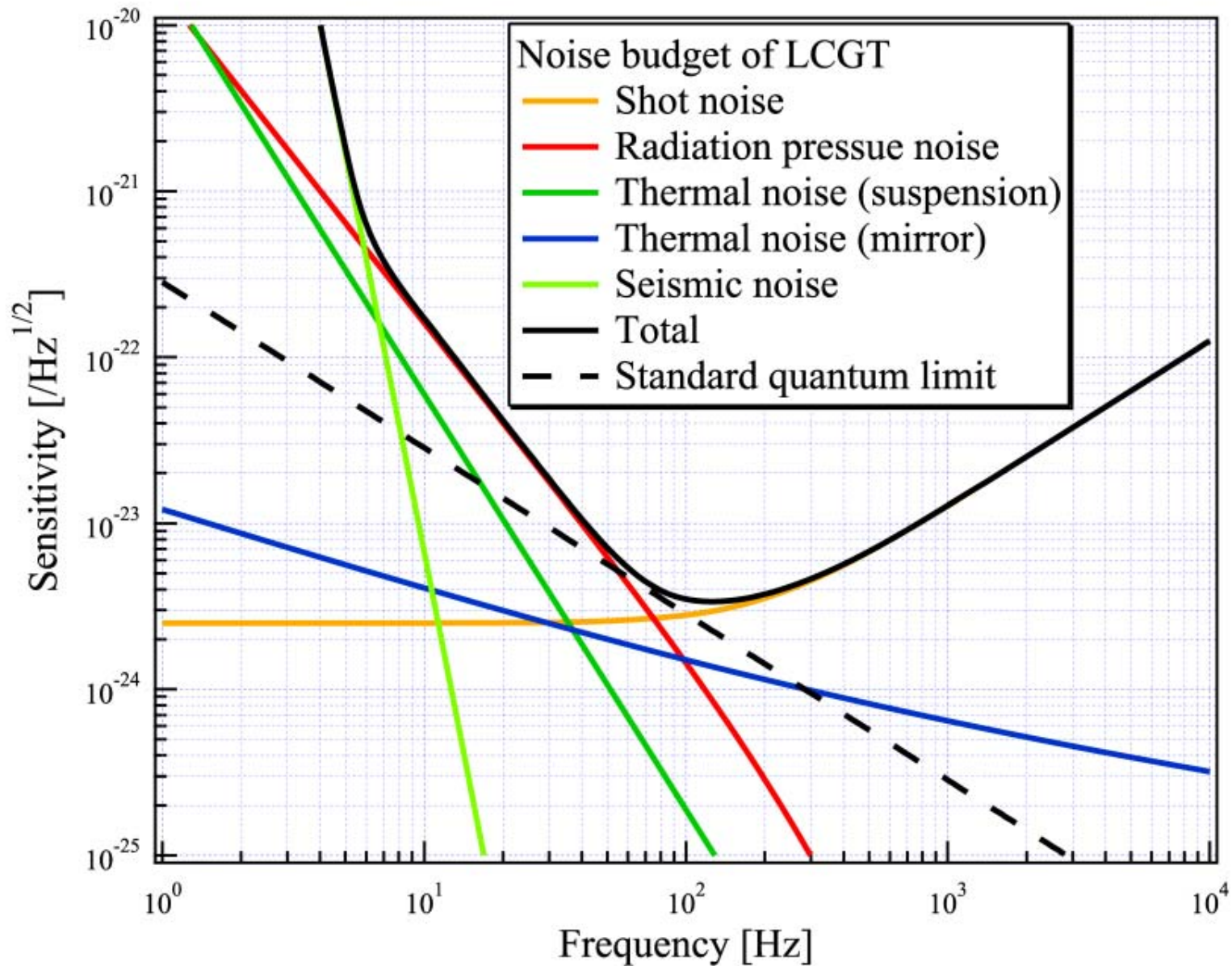
## 3km(神岡)



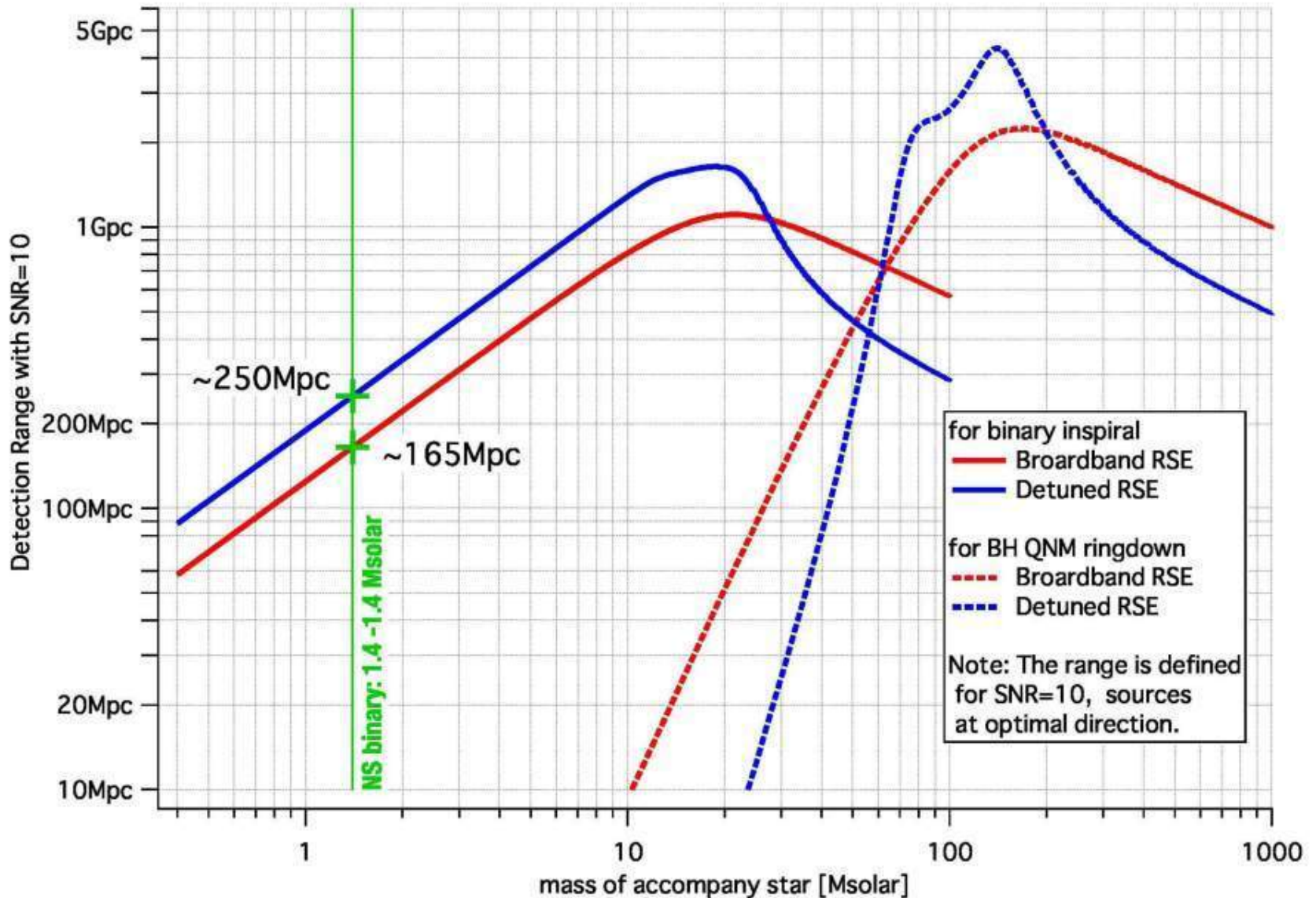
# 3km レーザー干渉計の基本設計



# Noise budget of LCGT

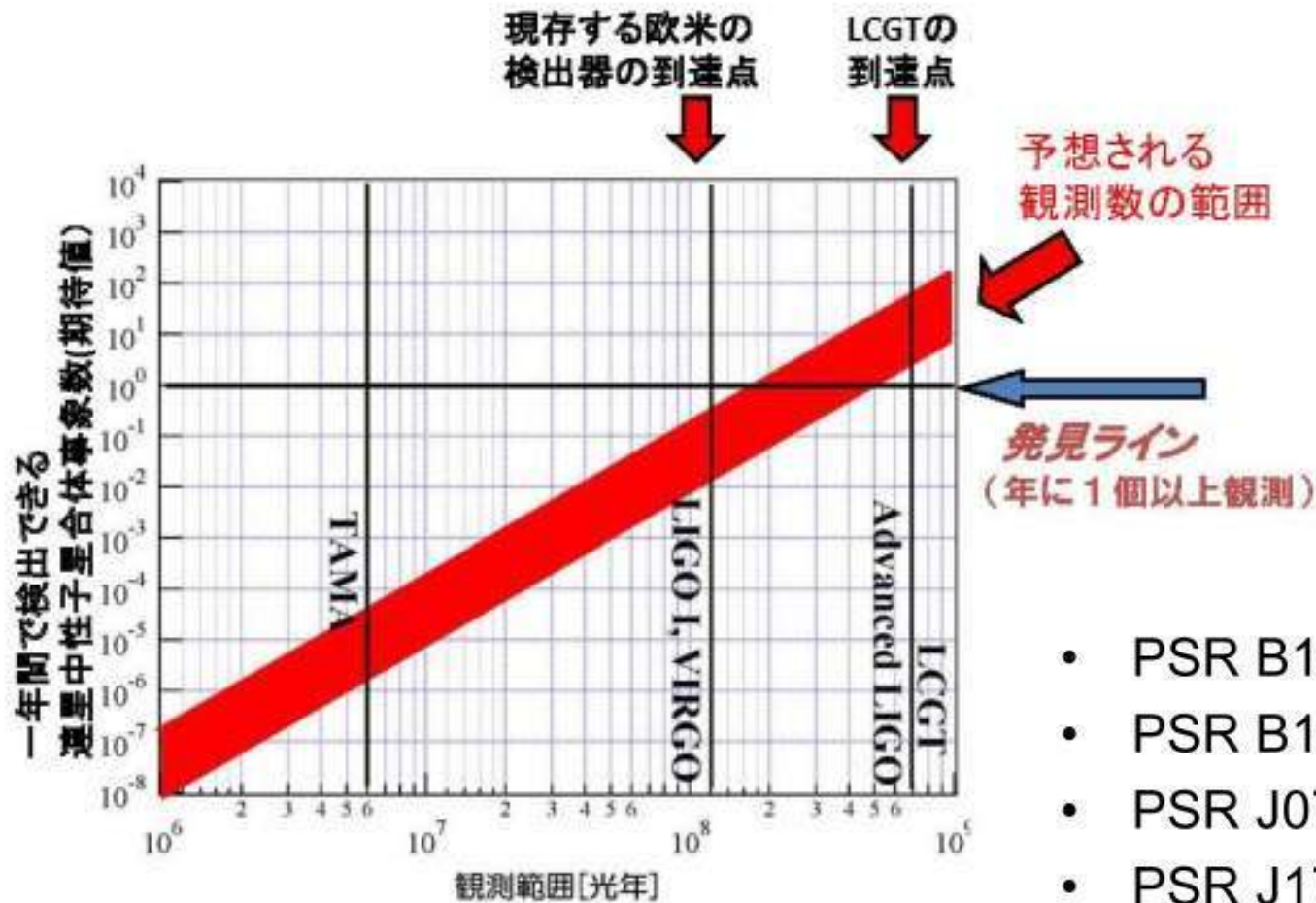


# LCGTの検出感度の到達距離





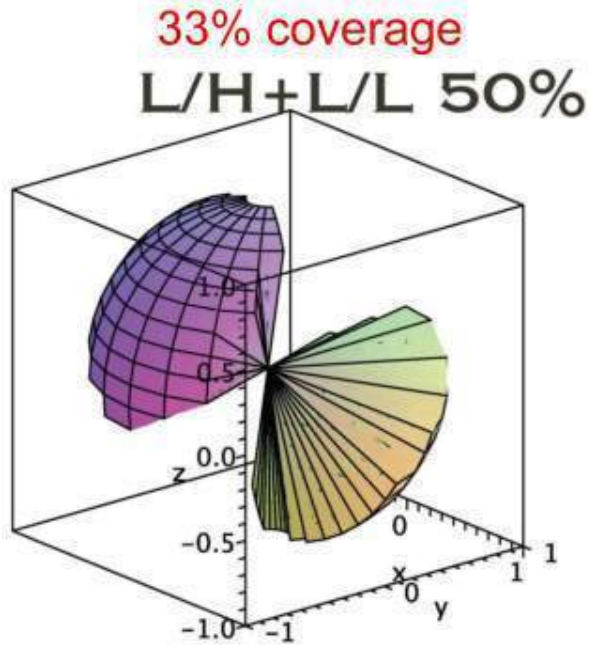
# LCGTがめざす検出頻度(中性子連星合体)



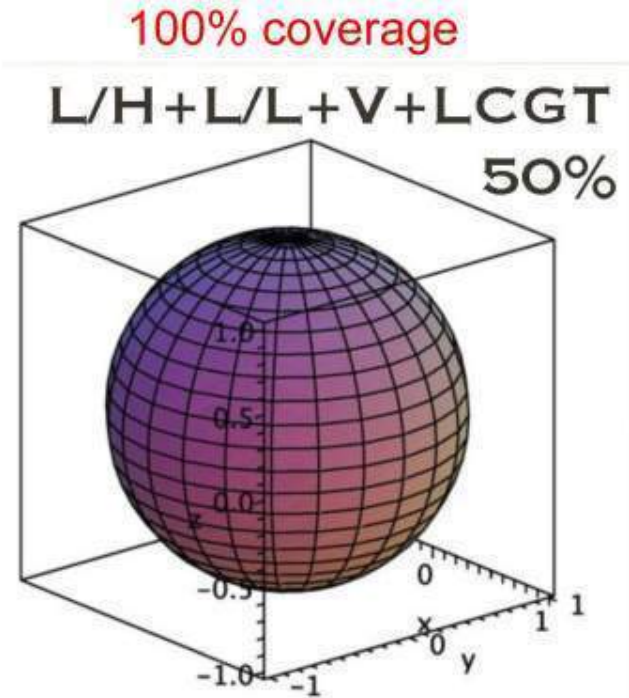
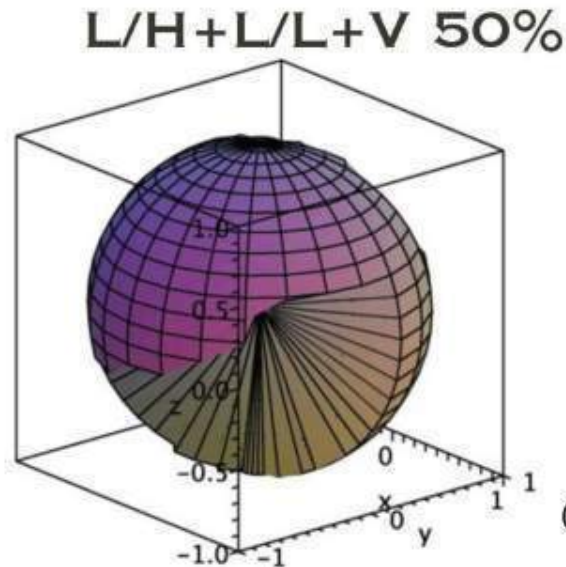
- PSR B1913+16
- PSR B1534+12
- PSR J0737-3039
- PSR J1756-2251
- PSR J1906+0746\*)

\*)伴星が白色矮星の可能性あり

# sky coverage of antenna pattern

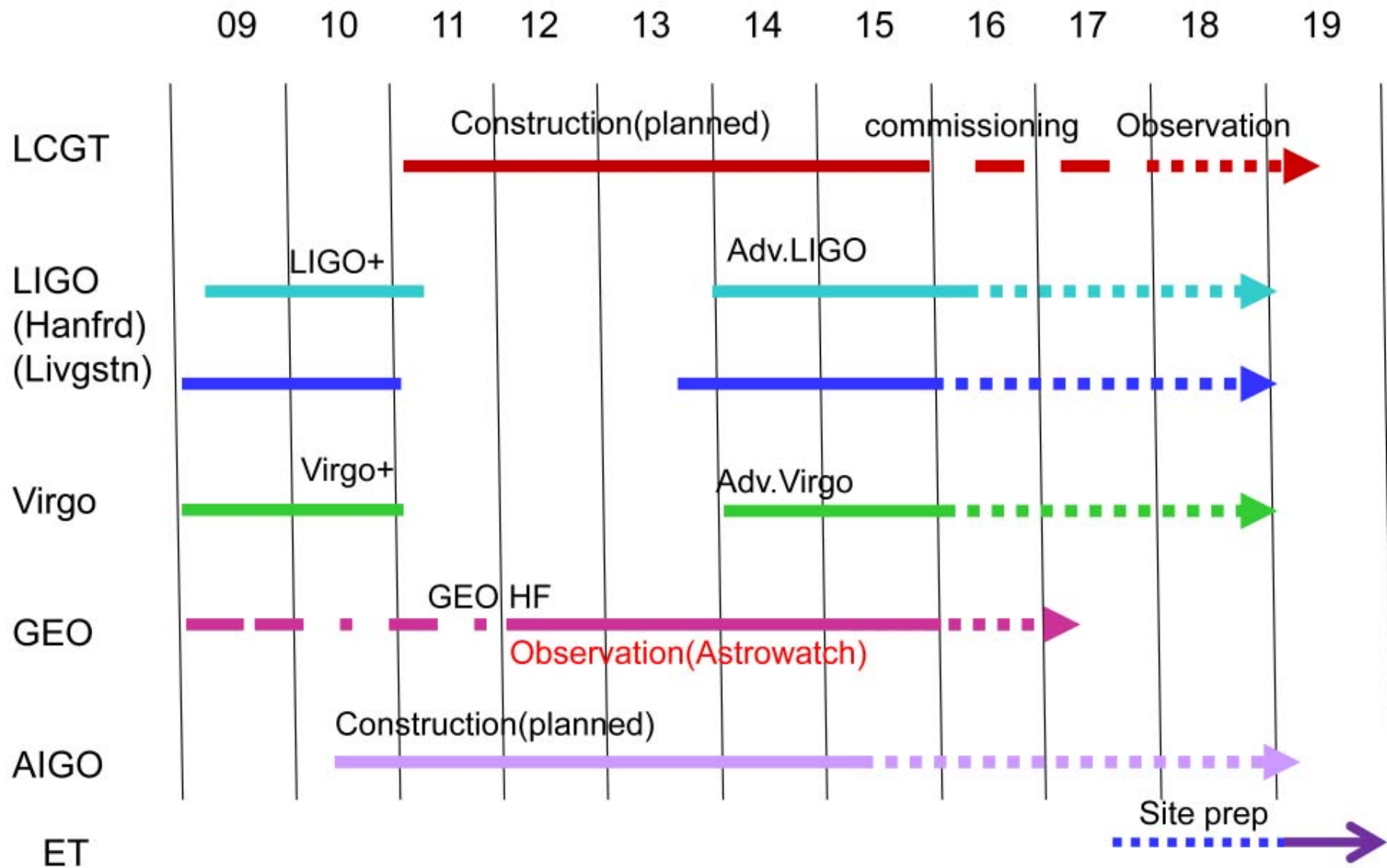


By global network



@B. Schutz(Fujihara seminar, May 2009)

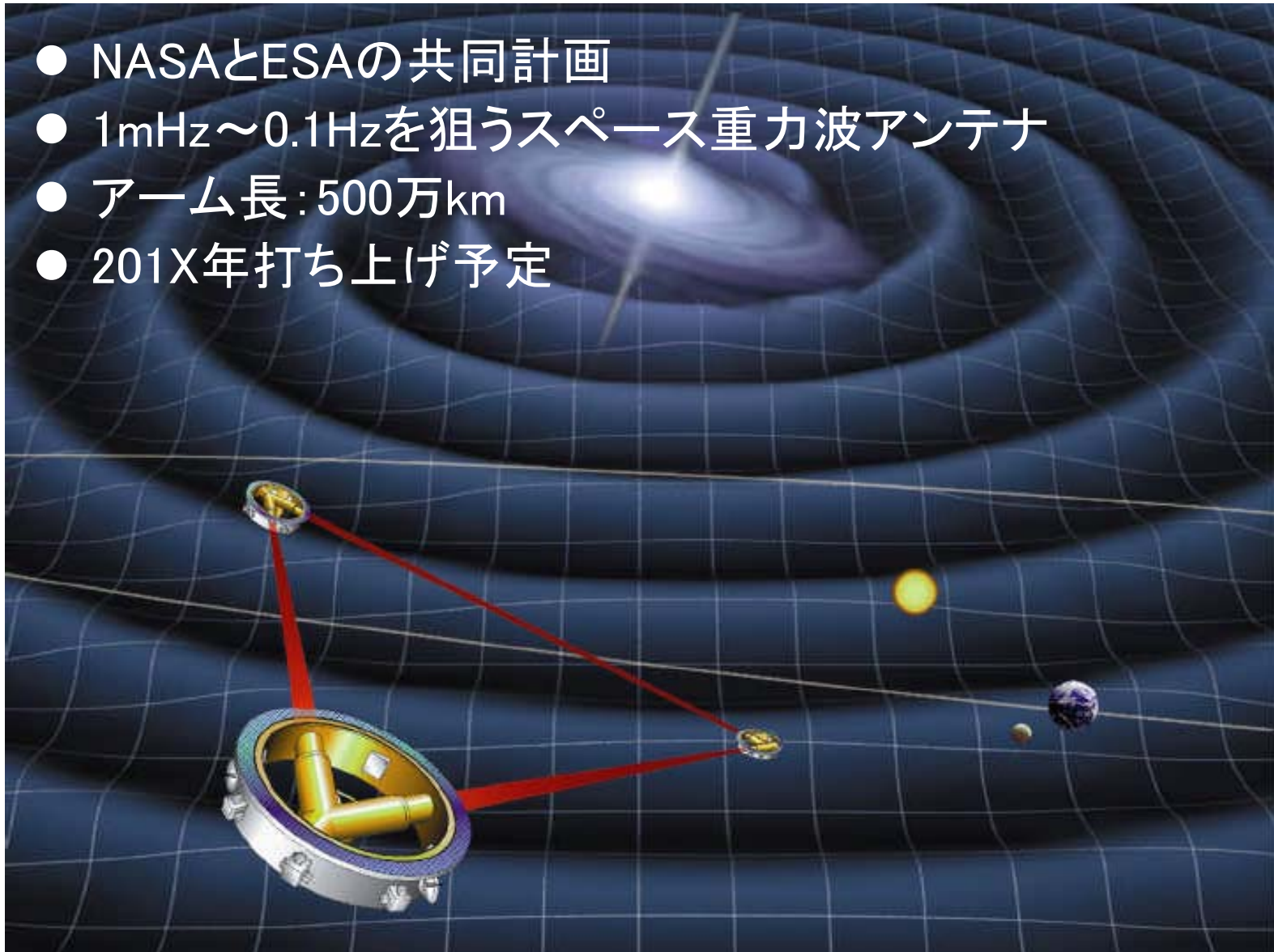
# 地上の重力波検出器の建設スケジュール



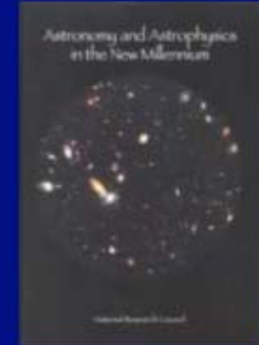
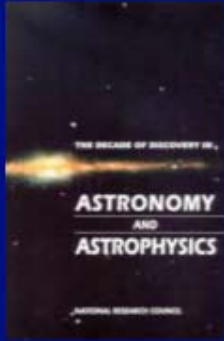
# 宇宙重力波アンテナDECIGO

# LISA (Laser Interferometer Space Antenna)

- NASAとESAの共同計画
- 1mHz～0.1Hzを狙うスペース重力波アンテナ
- アーム長: 500万km
- 201X年打ち上げ予定



# U.S. Decadal Surveys



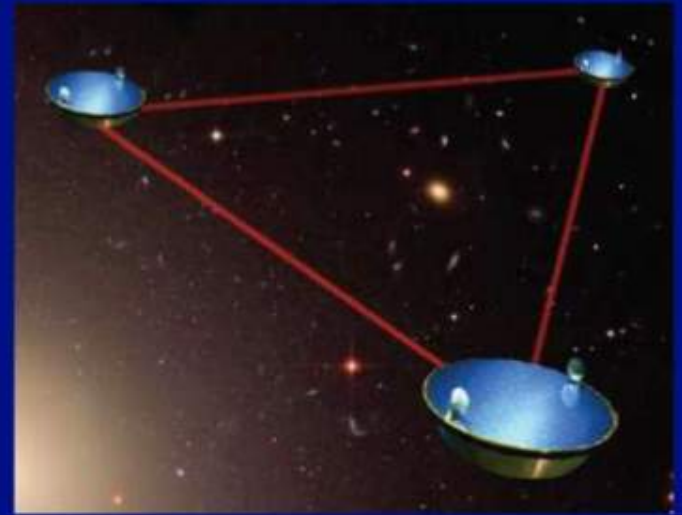
- 1964: Ground-based Astronomy: A Ten Year Program (Whitford)
- 1972: Astronomy and Astrophysics for the 1970s (Greenstein)
- 1982: Astronomy and Astrophysics for the 1980s (Field)
- 1991: The Decade of Discovery in Astronomy and Astrophysics (Bahcall)
- 2001: Astronomy and Astrophysics in the New Millennium (McKee-Taylor)
- **2010: New Worlds, New Horizons in Astronomy and Astrophysics**

USのアストロのコミュニティは、10年毎に大型プロジェクトのサーベイを行い、優先順位を決める

# Large Scale Space Program - **Prioritized**

1. Wide Field InfraRed Survey Telescope (**WFIRST**)
2. **Explorer** Program Augmentation
3. Laser Interferometer Space Antenna (**LISA**)
4. International X-ray Observatory (**IXO**)

# LISA - Science



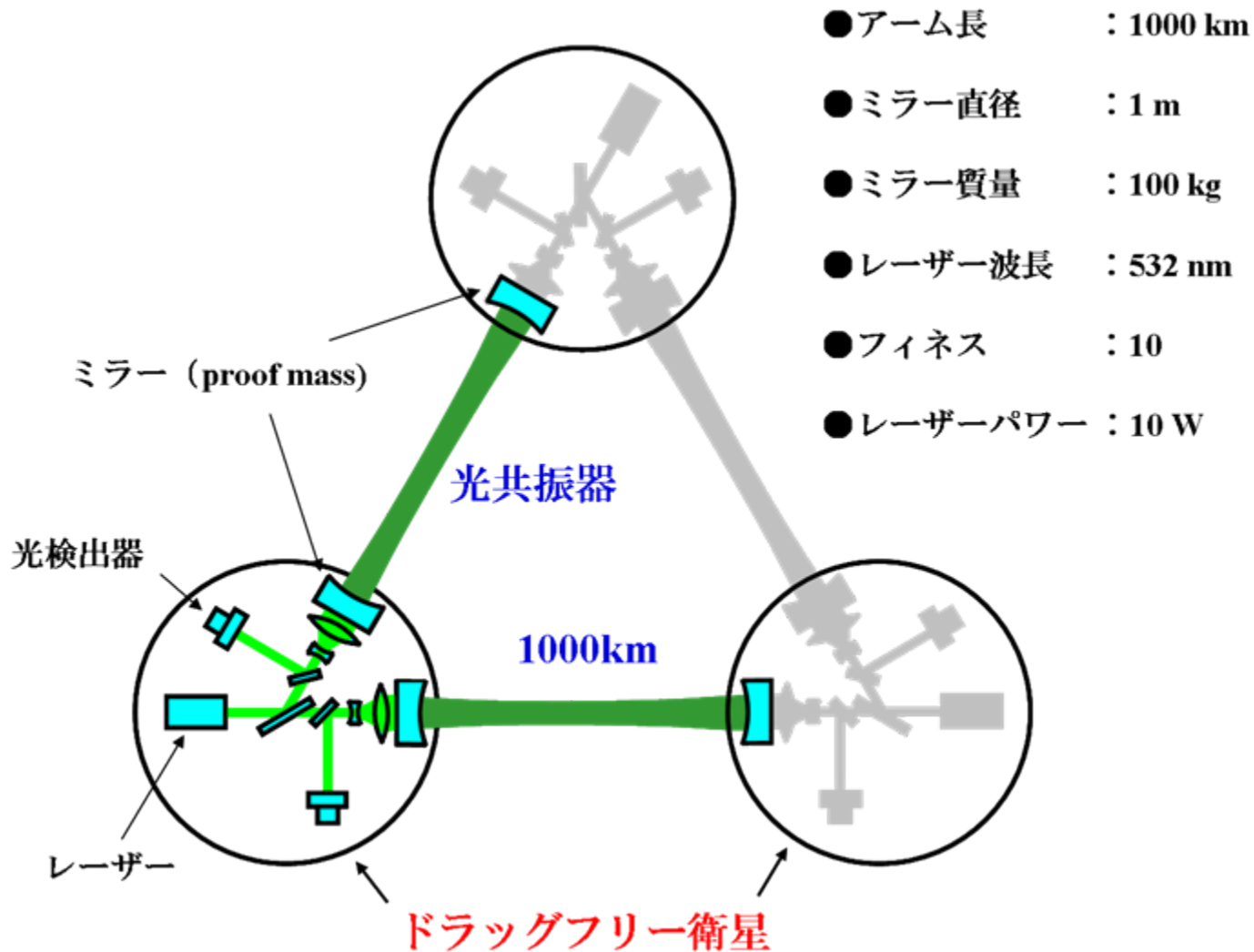
- Exploiting a new field of astronomy using long wavelength gravitational radiation – ripples in spacetime – to observe:
  - Inspirals and mergers of binary black holes to cosmological distances, back to Cosmic Dawn; measure black hole masses, spins
  - Large numbers of ultra-compact binary stars in our galaxy
- Precision tests of general relativity
- Possible detection of spacetime ripples from the very early universe
- The unexpected



# LISA – Program Details

- Three spacecraft 5 million km apart in Earth-trailing orbit
- ESA-NASA partnership:
  - Candidate for ESA L-class launch (with IXO, Laplace)
  - LISA Pathfinder mission scheduled for 2012
- Recommendation conditional on success of Pathfinder and selection by ESA as first L-class mission, in which case risk is Medium
- **RECOMMEND U.S. share of 50%**
- Total appraised mission cost \$2.4B
- Projected 2016 start and ~2025 launch

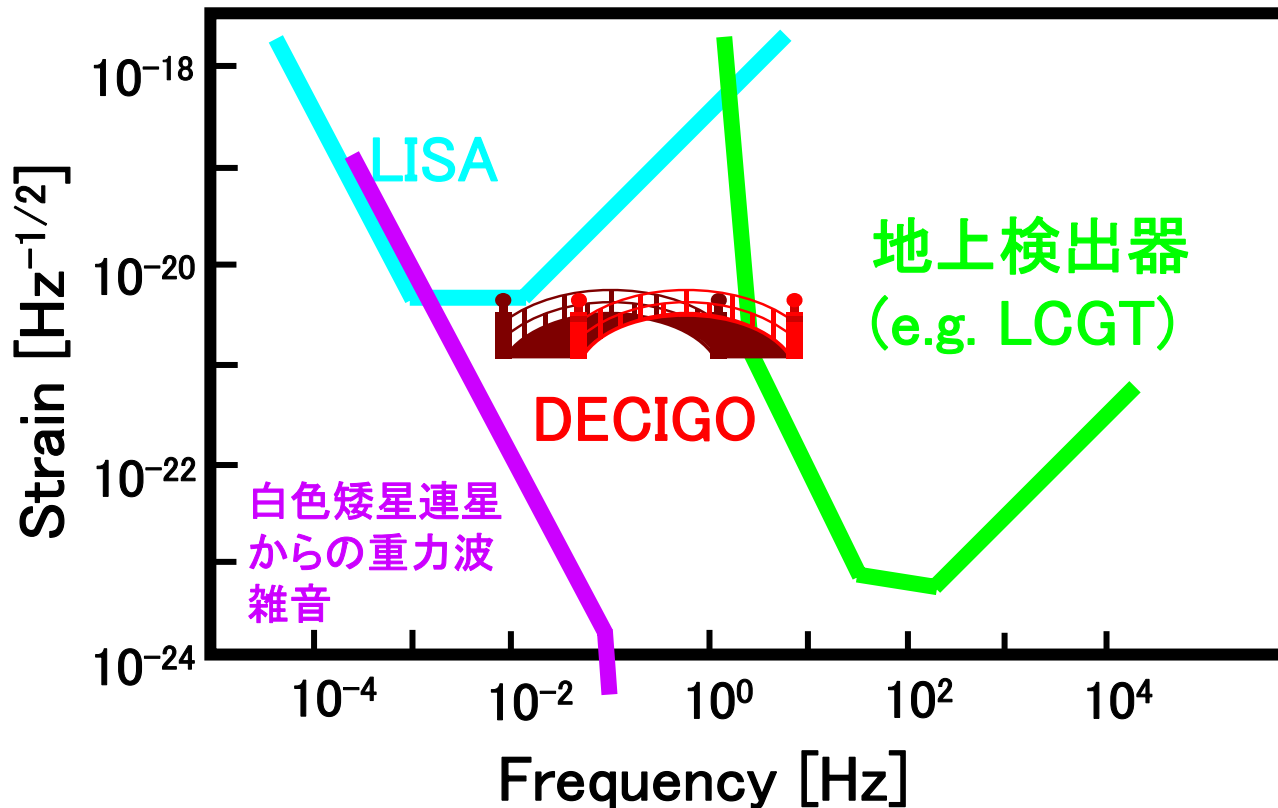
# 日本のスペース重力波アンテナ計画DECIGO



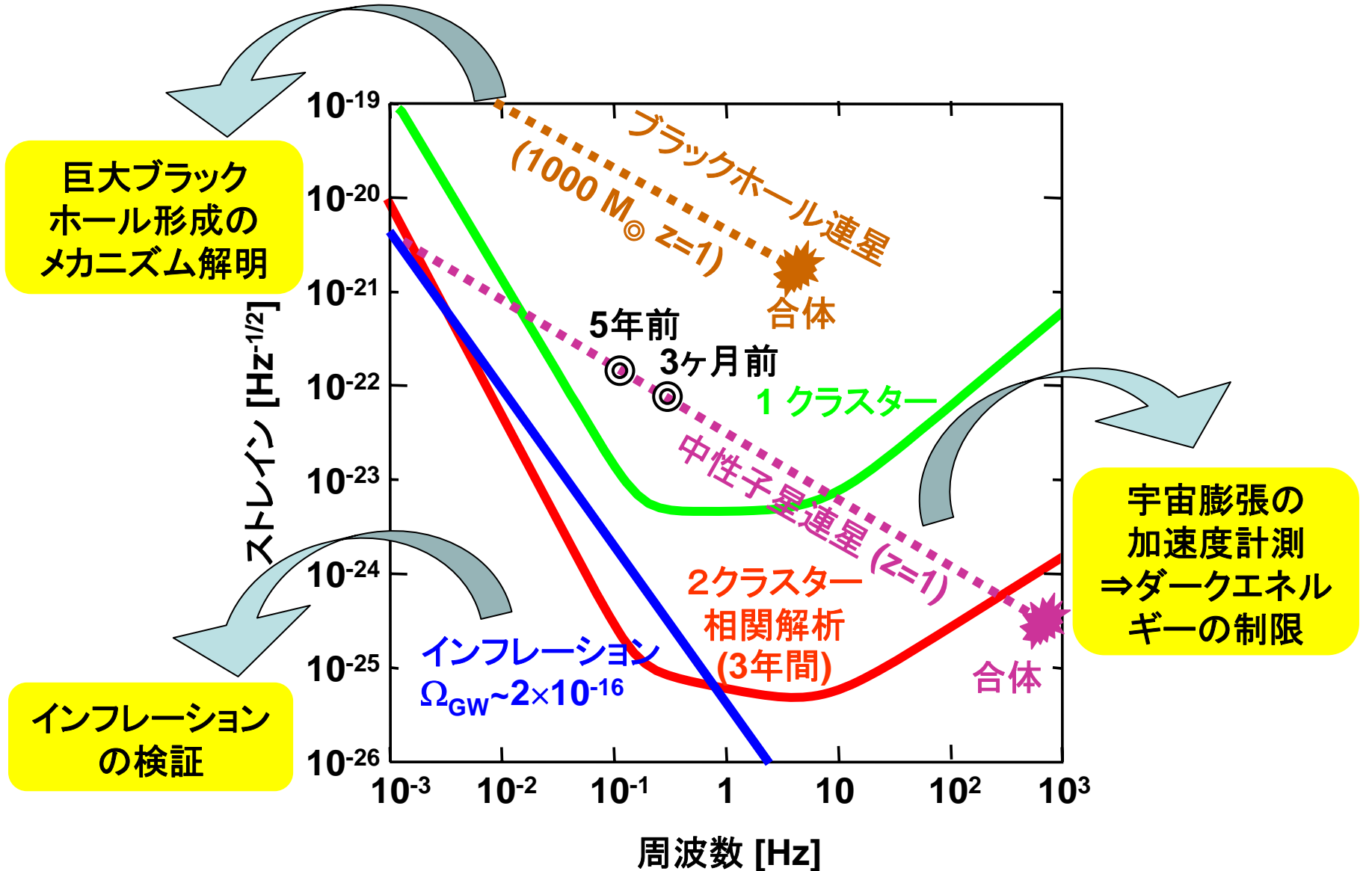
# DECIGOとは？

*Deci-hertz Interferometer Gravitational Wave Observatory*

- LISAと地上検出器の帯域のギャップを狙う
- 超高感度の実現が可能！



# DECIGOの目標感度と得られるサイエンス



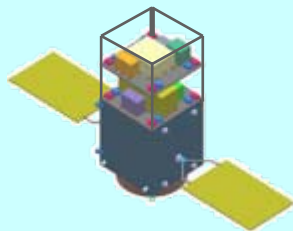
# 衛星搭載用超小型検出器 $SWIM_{\mu v}$

## DECIGOに至るロードマップ



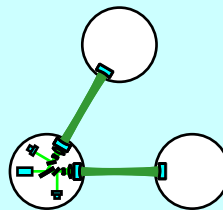
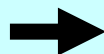
$SWIM_{\mu v}$ (2009)

最初のステップ



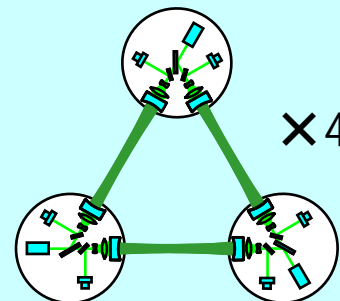
DECIGO Pathfinder  
(~2013)

重要技術の実証



Pre-DECIGO  
(~2018)

確実な重力波検出



DECIGO  
(~2024)

重力波望遠鏡

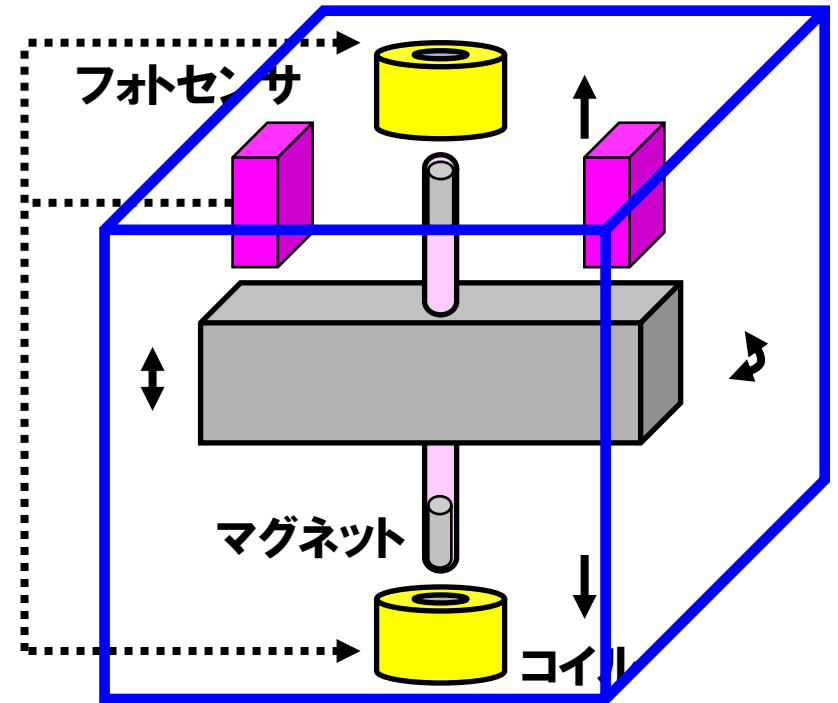
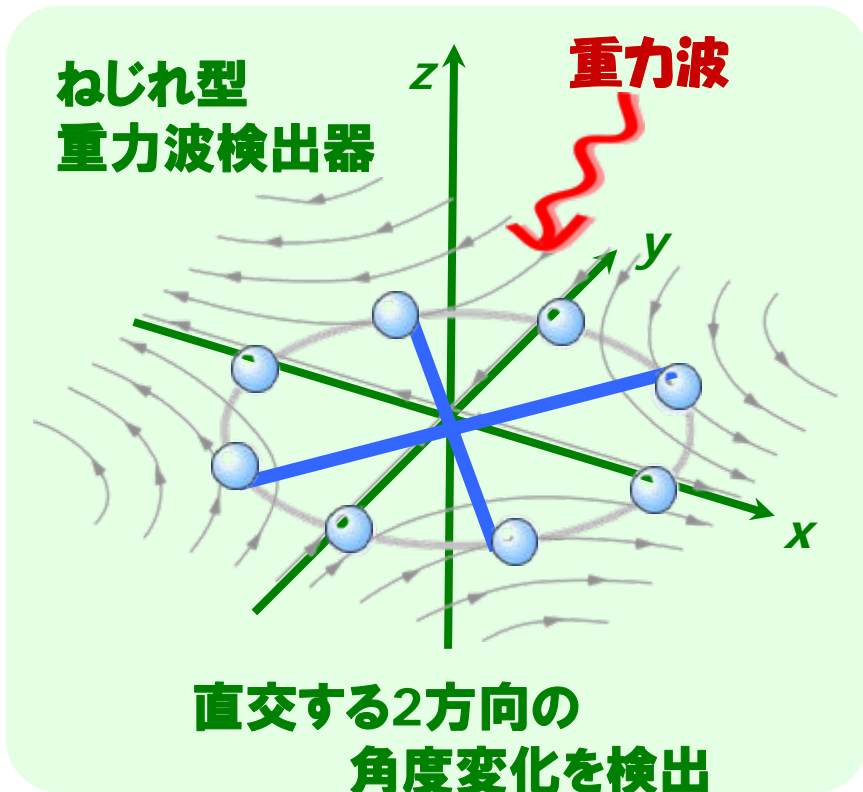
$SWIM_{\mu v}$ の目的：衛星搭載機器の開発運用ノウハウを得る・軌道上環境の基礎データの取得

$SWIM_{\mu v}$ の開発はJAXA、牧島・中澤研の協力の下におこなわれた

# 衛星搭載用ねじれ型重力波検出SWIM $\mu$ v

- ねじれ型重力波検出器

棒状の物体2つを十字型に組み合わせる



浮上マス  
慣性モーメント $\sim 10^{-5}$  kg m<sup>2</sup>



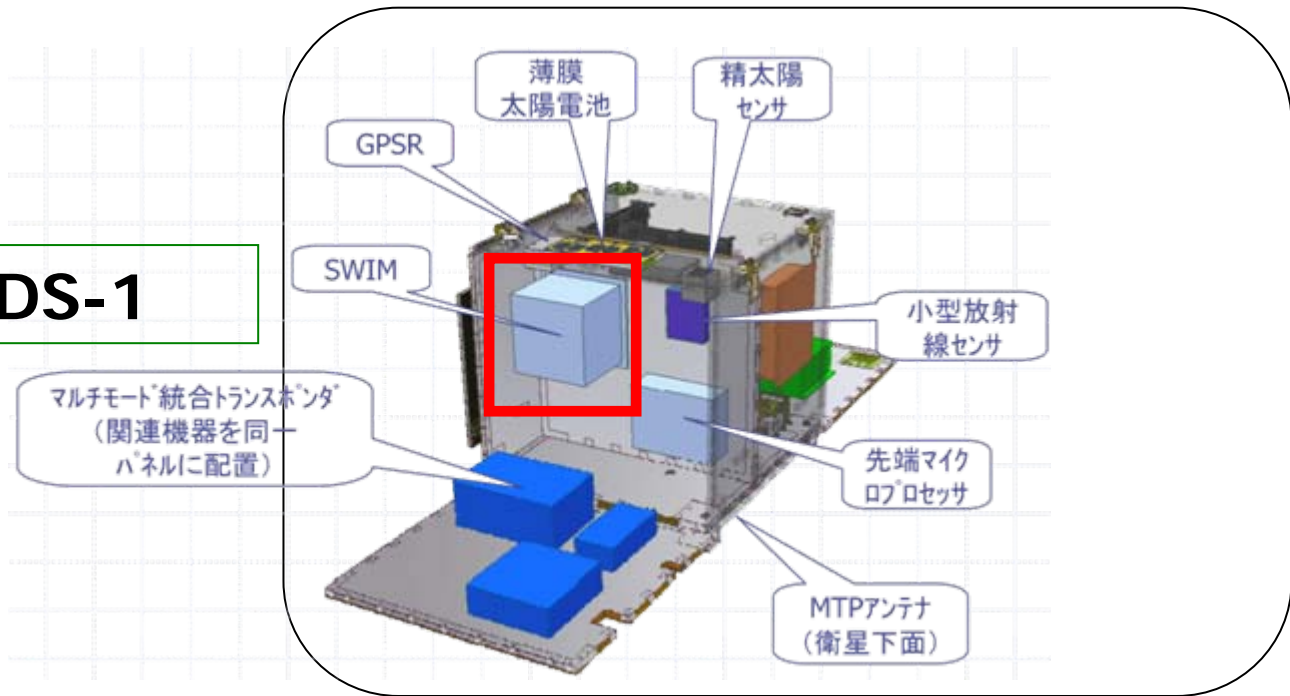
コイル



フォトセンサ

# ねじれ型重力波検出器SWIM $\mu$ vを収納する小型衛星SDS-1

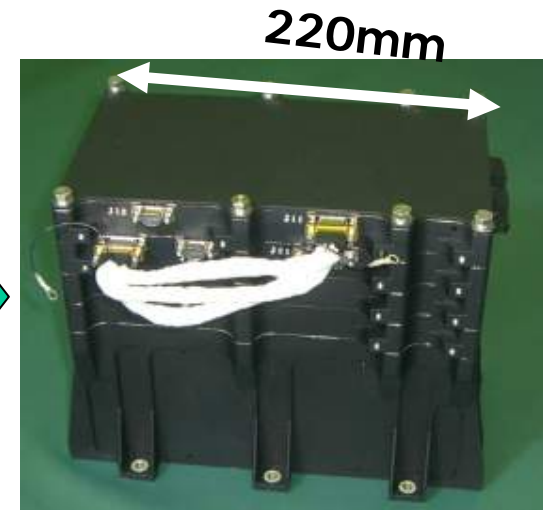
## 小型衛星 SDS-1



SpaceCube II (宇宙用計算機) と **SWIM $\mu$ v** (ユーザーモジュール)



ねじれ型検出器



# 2009年1月23日 H-IIAロケット15号機により打ち上げ 軌道投入に成功！



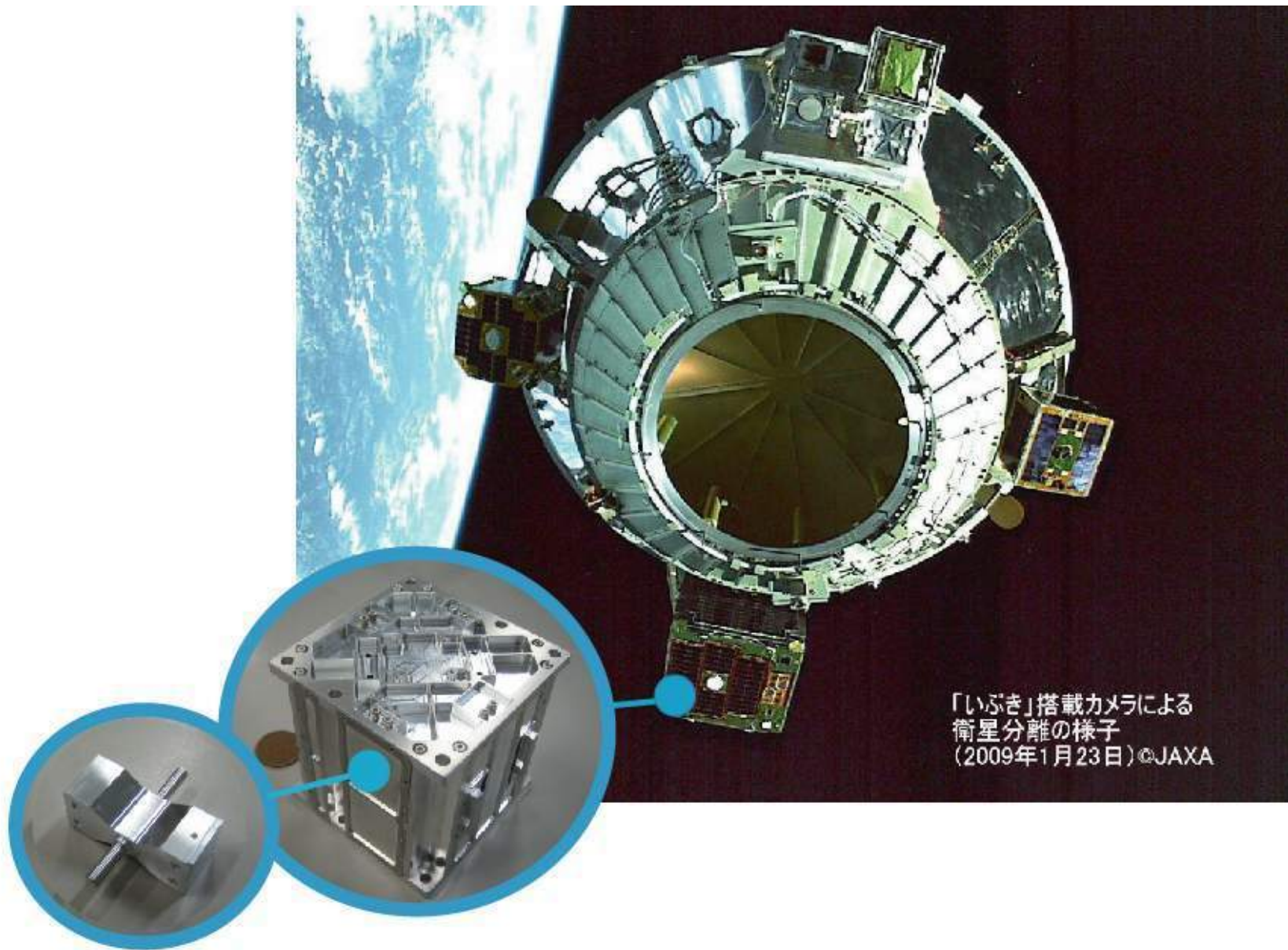
小型実証衛星 SDS-1



GOSAT のピギーバック  
高度670km 太陽同期軌道  
サイズ: 70×70×60 cm  
重量: 約100kg



# 宇宙に飛び出した超小型重力波検出器SWIM



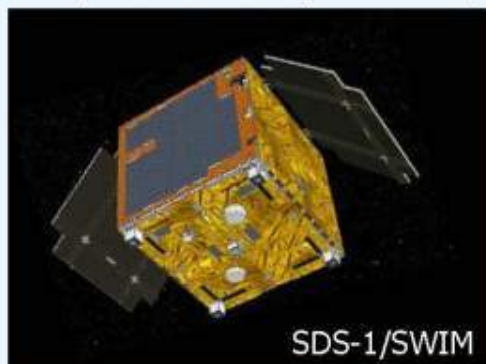
「いぶき」搭載カメラによる  
衛星分離の様子  
(2009年1月23日) ©JAXA

# 地上検出器との同時観測

- ◆ 重力波観測においては、複数台同時運転が重要。
  - 重力波信号と検出器雑音の区別、擾乱の除去。
  - 波源の方向、偏波の情報。

## ねじれ型重力波検出器A

(地球周回軌道, 2009年-)



SDS-1/SWIM

**質量** 50g, **長さ** 5cm  
無重力浮上 + 制御  
反射型フォトセンサ  
スピン + 軌道運動

## ねじれ型重力波検出器B

(東京大学, 2008年-)



**質量** 150g, **長さ** 20cm  
超電導磁気浮上 + 制御  
レーザー干渉計  
地上静置観測

## ねじれ型重力波検出器C

(京都大学, 2010年-)



**質量** 340g, **長さ** 25cm  
超電導磁気浮上 + 制御  
レーザー干渉計  
地上静置観測

試験マス

変動検出

位置・姿勢



# 観測運用実施状況

## ◆ SDS-1/SWIMによる観測運用

- ストアドコマンドによる観測運用.
- 衛星姿勢・軌道を考慮して日時を設定.  
(スピン軸: 銀河中心方向, 軌道: SAAの影響を回避)

## ◆ 第1回目観測

(2010年 6月17日 18:00~20:00 JST)

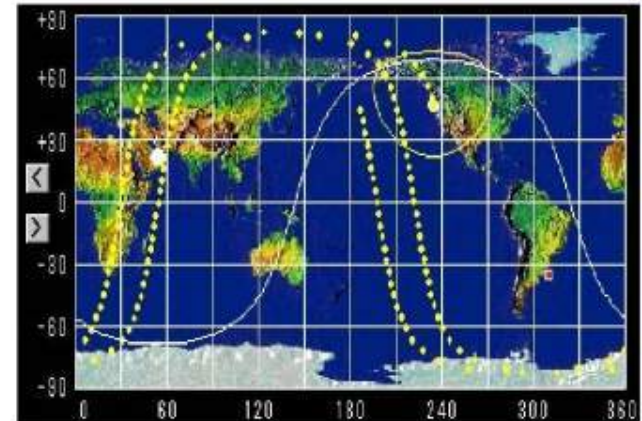
- 地球1周回分の連続観測.
- 地上検出器(東京大学)との、2台同時観測.
- データDL完了, 正常動作を確認.

第2回目観測時の  
SDS-1軌道

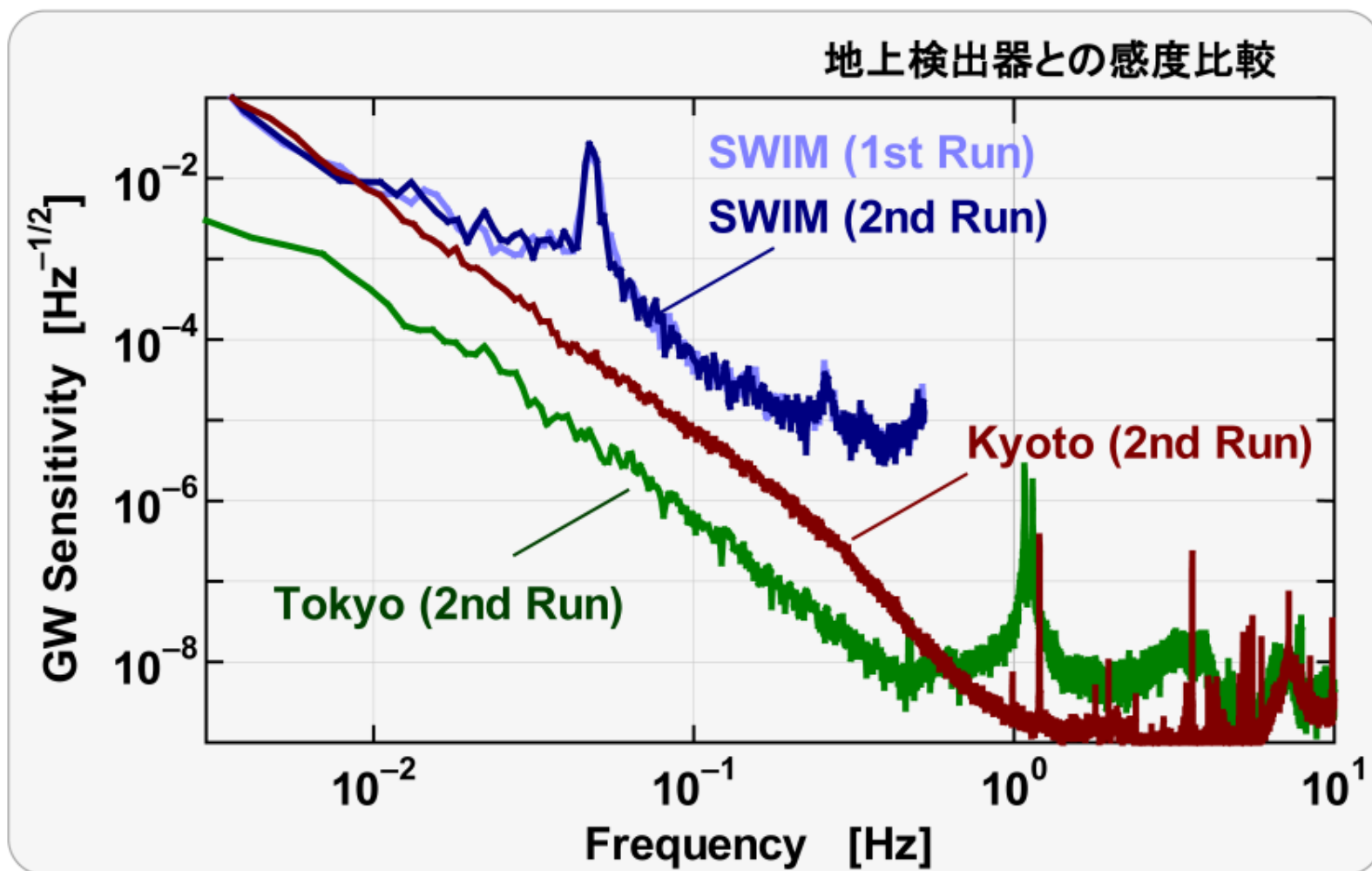
## ◆ 第2回目観測

(2010年 7月15日 17:30~21:30 JST)

- 地球2周回分の連続観測.
- 地上検出器(東京大学・京都大学)  
との、3台同時観測.
- データDL中, 正常動作を確認.



◆ 重力波への感度スペクトル.



- ◆ **宇宙-地上同時の重力波観測運転が達成された。**
  - 世界初の成果.
  - 初期解析 → 必要なデータは全て得られたことを確認。  
(期待通りの感度・安定度, 衛星軌道・姿勢情報, 時刻同期など)



- ◆ **SDS-1/SWIMを用いた実験として, 可能なことは全て達成。**
  - 計画開始時の超過成功基準  
「地球1周回程度の重力波の観測運転を行う」を達成.
  - 加えて, 地上検出器との同時観測も実現.
  - 必要なデータ・情報は全て取得済。  
→ 今後, 地上検出器データとの相関解析を進める。  
オフライン解析により解析手法の確立と科学的成果を目指す.
  - 観測・解析手法は、今後の衛星計画に生かされる.



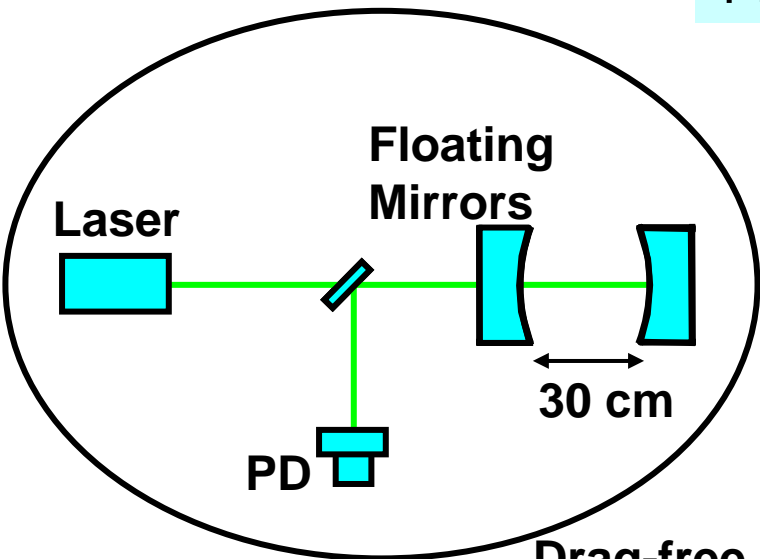
- ◆ **SDS-1衛星を停波することは問題ない。**

➡ 8月一杯で運用を停止することになった

# 次のステップ: DECIGO パスファインダー(DPF)

## DPF

目的: DECIGOキーテクノロジーの実証

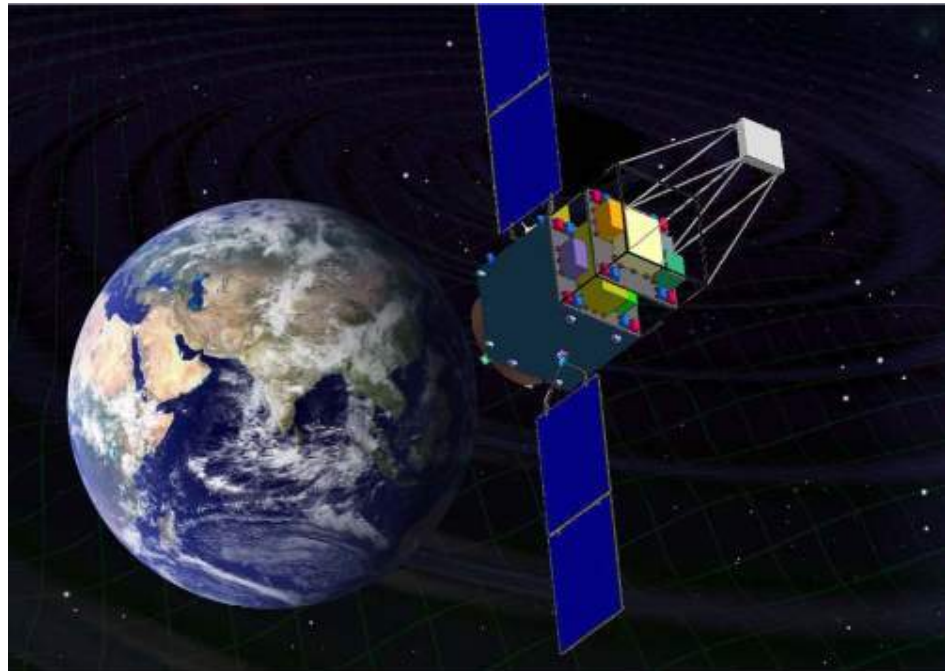


Drag-free 衛星

寸法: 1m × 1m × 2m、質量: 350kg

JAXA/ISASの小型科学衛星シリーズの候補の一つ

- フリーマスを用いたファブリー・ペロー干渉計の動作
- 安定化レーザー光源の実現
- ドラッグフリー制御の実現



# DECIGO暫定組織

代表: 川村 (国立天文台)  
副代表: 安東 (京大理)

## 運営委員会

川村 (国立天文台), 安東 (京大理), 瀬戸 (京大理), 中村 (京大理), 坪野 (東大理), 佐藤 (法政大工), 田中 (京大基研), 船木 (JAXA/ISAS), 沼田 (Maryland), 神田 (阪市大理), 井岡 (KEK), 高島 (JAXA/ISAS), 横山 (東大理)

## Pre-DECIGO

佐藤 (法政大工)

## 検出器

阿久津 (国立天文台)  
沼田 (Maryland)

## サイエンス・データ

田中 (京大基研)  
瀬戸 (京大理)  
神田 (阪市大理)

## 衛星

船木 (JAXA/ISAS)

## デザインフェーズ

## DECIGO パスファインダー

リーダー: 安東 (京大理)

## ミッションフェーズ

### 干渉計

佐藤 (法政大工)  
上田 (国立天文台)  
麻生 (東大理)

### レーザー

武者 (電通大)  
植田 (電通大)

### ドラッグフリー

森脇 (東大新領域)  
坂井 (JAXA/ISAS)

### スラスター

船木 (JAXA/ISAS)

### 信号処理

阿久津 (国立天文台)

### バス

高島 (JAXA/ISAS)

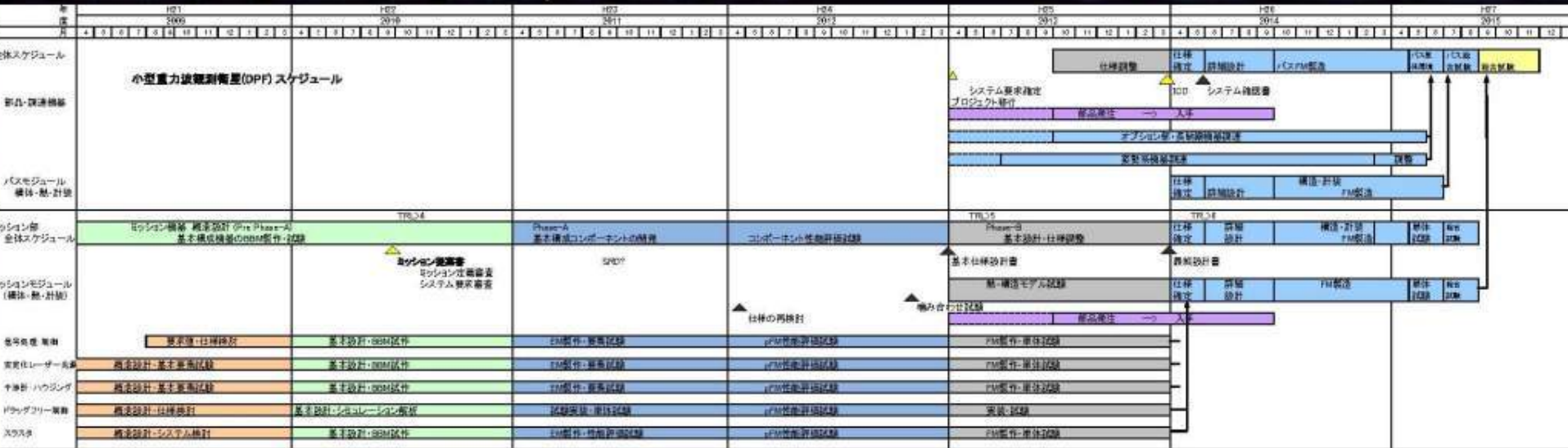
### データ解析

神田 (阪市大理)

# DPF スケジュール



2009                      2010                      2011                      2012                      2013                      2014                      2015



概念設計

BBM

EM / pFM

FM

衛星FM

総合試験

ミッション提案

TRL 4以上が必要

基本技術要素が同時に動作し、  
実証モデルとして性能を発揮していること'

コンポーネントFM完成

仕様を満たす

各種環境試験に合格



# 本郷におけるDPF開発研究

## 干渉計モジュールBBM実験

- DPFの干渉計パラメータでサスペンドされた干渉計を動作させる
- モノリシック入射光学系のテスト
- BBM QPD回路のテスト
- FPGAによる制御テスト

## ガスダンピング実験

- 超電導磁気浮上ねじれ振り子を使って、ガスダンピングの実測
- モンテカルロの結果をVerify
- 電極形状の最適化

## 干渉計モジュールの構造設計

- 振動、熱、真空等の要求値を満たす干渉計モジュール構造をデザインする
- 境界条件をこちらで設定した上で、企業に外注することを検討中
- MRJと9/2に打ち合わせ予定

# DPF BBM FP実験 現状

- 進展

モノリシック入射光学系の導入

ファイバー入射(ファイバーEOMの使用)

QPDによる共振器長制御に一応成功

