

# スペース重力波アンテナDECIGO計画



Original  
Picture : Sora

安東 正樹 (国立天文台)

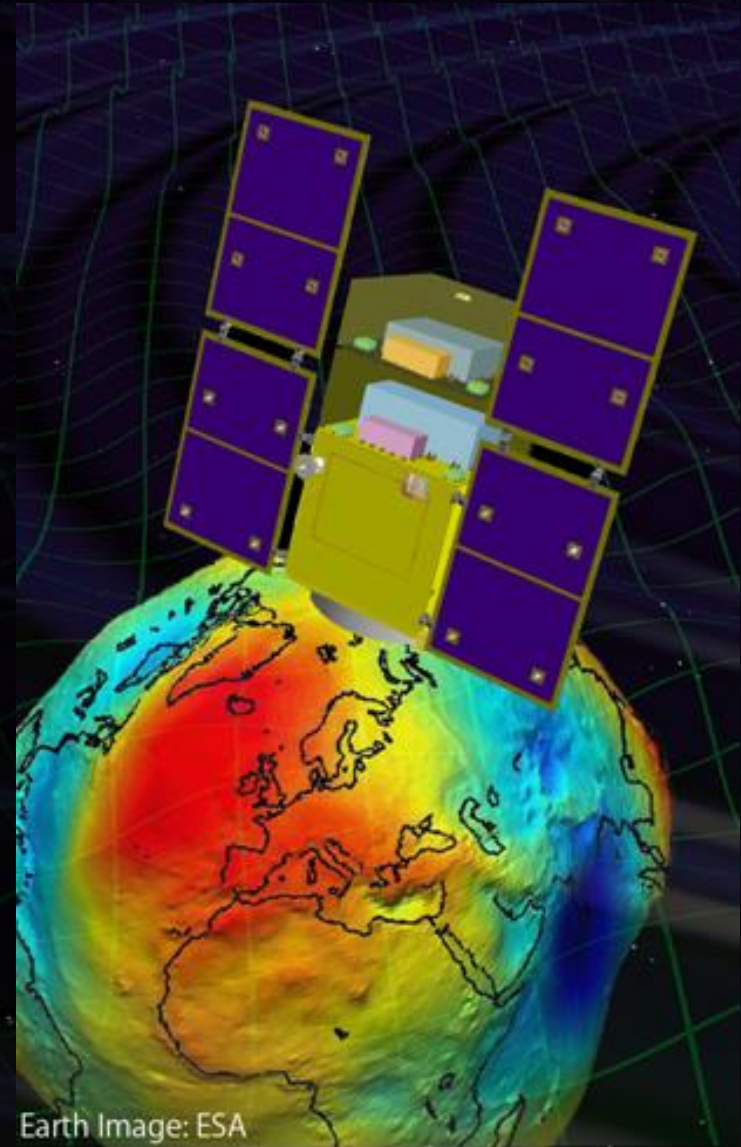
DECIGO/DPF collaboration

Earth Image: ESA

# DPF WG members



青柳巧介, 我妻一博, 浅田秀樹, 麻生洋一, 新井宏二, 新谷昌人, 安東正樹, 井岡邦仁, 池上健, 石川毅彦, 石崎秀晴, 石徹白晃治, 石原秀樹, 和泉究, 市來淨與, 伊東宏之, 伊藤洋介, 井上開輝, 上田暁俊, 植田憲一, 歌島昌由, 江尻悠美子, 榎基宏, 戎崎俊一, 江里口良治, 大石奈緒子, 大河正志, 大橋正健, 大原謙一, 大淵喜之, 岡田健志, 岡田則夫, 河島信樹, 川添史子, 河野功, 川村静兒, 神田展行, 木内建太, 岸本直子, 國中均, 國森裕生, 黒田和明, 小泉宏之, 洪鋒雷, 郡和範, 穀山涉, 苔山圭以子, 古在由秀, 小薫康史, 固武慶, 小林史歩, 西條統之, 齊藤遼, 坂井真一郎, 阪上雅昭, 阪田紫帆里, 佐合紀親, 佐々木節, 佐藤修一, 佐藤孝, 柴田大, 真貝寿明, 杉山直, 鈴木理恵子, 諏訪雄大, 瀬戸直樹, 宗宮健太郎, 祖谷元, 高島健, 高野忠, 高橋走, 高橋慶太郎, 高橋忠幸, 高橋弘毅, 高橋史宜, 高橋龍一, 高橋竜太郎, 高森昭光, 田越秀行, 田代寛之, 田中貴浩, 谷口敬介, 樽家篤史, 千葉剛, 辻川信二, 常定芳基, 坪野公夫, 豊嶋守生, 鳥居泰男, 中尾憲一, 中澤知洋, 中須賀真一, 中野寛之, 長野重夫, 中村康二, 中村卓史, 中山宜典, 西澤篤志, 西田恵里奈, 西山和孝, 丹羽佳人, 沼田健司, 能見大河, 橋本樹明, 端山和大, 原田知広, 正田涉, 姫本宣朗, 平林久, 平松尚志, 福嶋美津広, 藤田龍一, 藤本真克, 二間瀬敏史, 船木一幸, 細川瑞彦, 堀澤秀之, 前田恵一, 松原英雄, 宮川治, 宮本雲平, 三代木伸二, 向山信治, 武者満, 森澤理之, 森本睦子, 森脇成典, 八木絢外, 山川宏, 山崎利孝, 山元一広, 柳哲文, 横山順一, 吉田至順, 吉野泰造, 若林野花, 阿久津智忠, 松本伸之, 正田亜八香, 道村唯太, 田中伸幸, 黒柳幸子, 陳たん, 江口智士, 権藤里奈



光共振型マイケルソン干渉計  
アーム長: 1000 km  
レーザーパワー: 10 W  
レーザー波長: 532 nm  
ミラー直径: 1 m

## DECIGO (DECI-hertz interferometer Gravitational wave Observatory)

宇宙重力波望遠鏡 (~2027)

→ 他では得られない豊富なサイエンス

宇宙の成り立ちに関する知見

インフレーションの直接観測

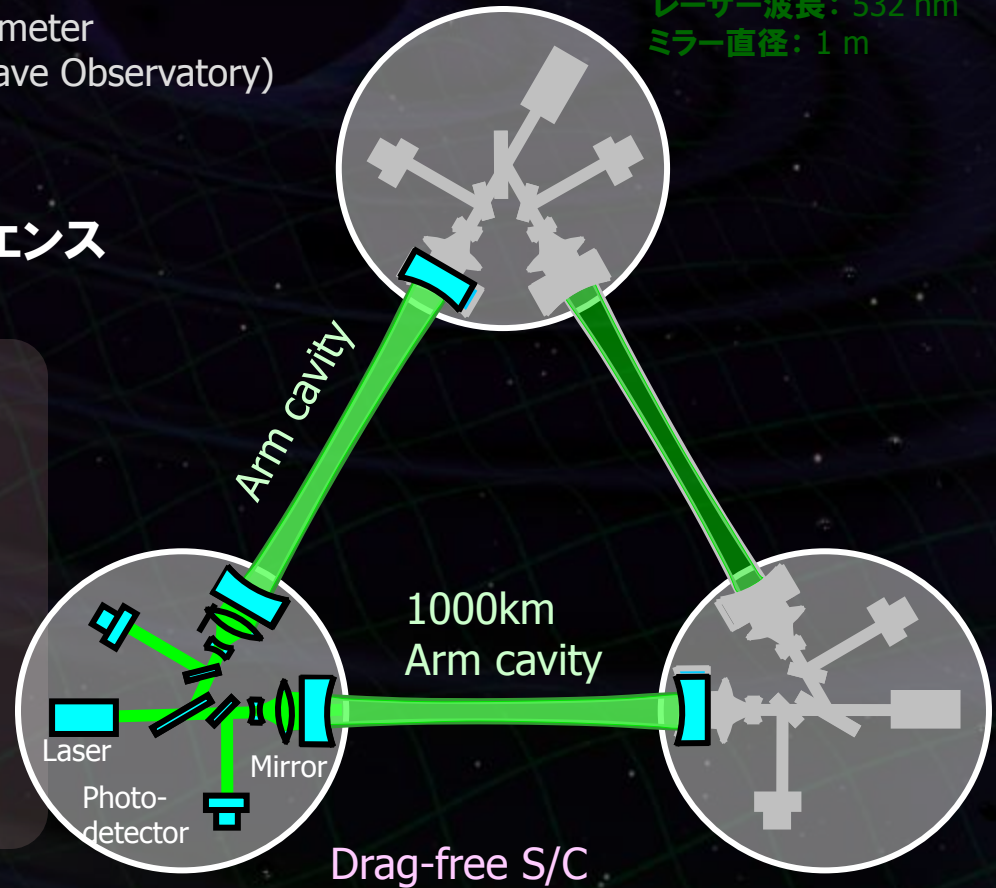
ダークエネルギーの性質

ダークマターの探査

銀河形成に関する知見

ブラックホール連星の観測

宇宙の基本法則に関する知見



互いに1000km離れた3機のS/C  
非接触保持された鏡間距離を  
レーザー干渉計によって精密測距

太陽公転軌道

最大4ユニットで相関をとる

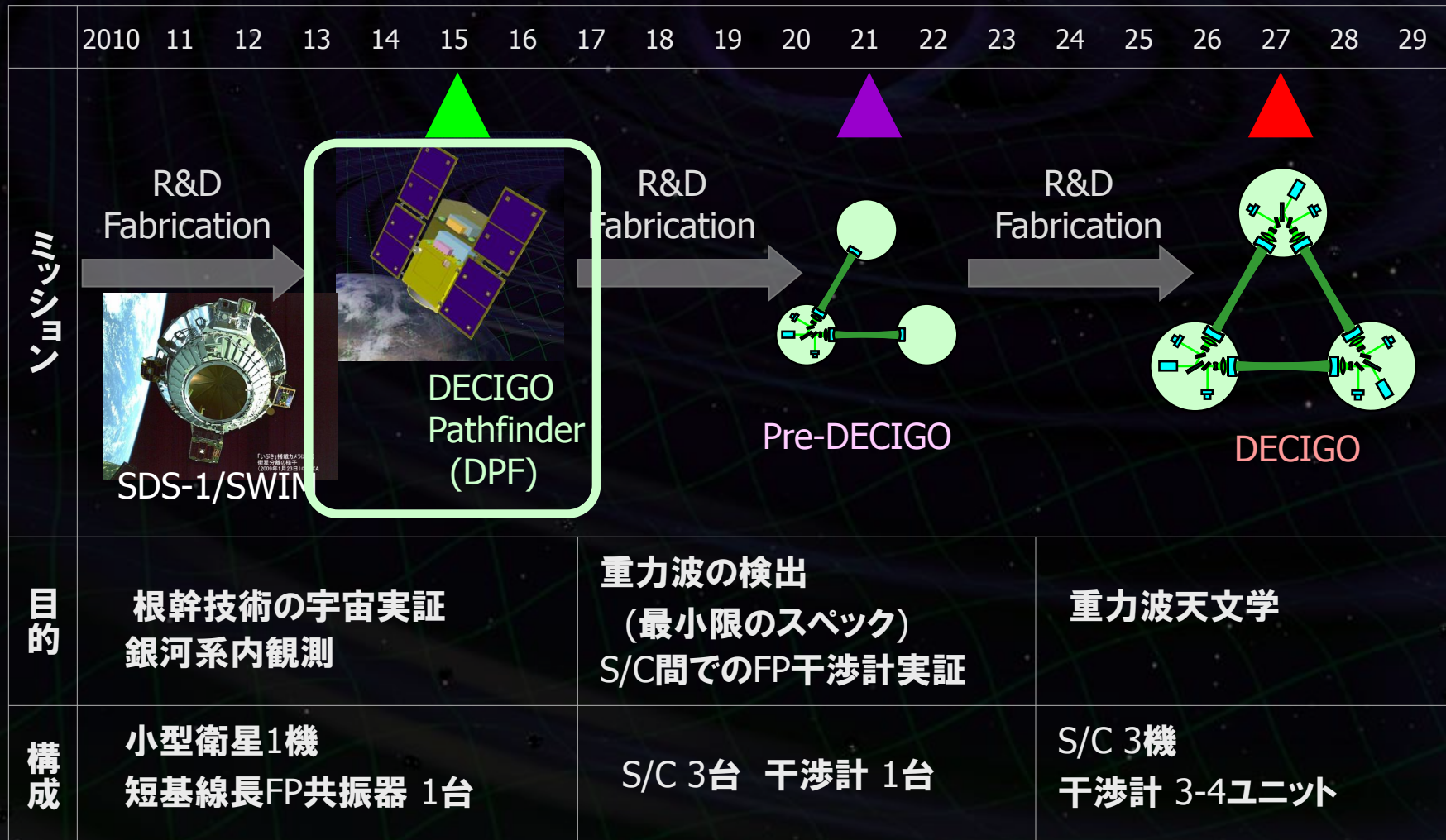
# 初期宇宙の観測



Background:  
original figure by  
NASA/WMAP Science Team

# DECIGOのロードマップ

Figure: S.Kawamura



## DECIGOパスファインダー (DPF)

将来の宇宙重力波望遠鏡のための前哨衛星

小型衛星 1 機 (重量 400kg)

地球周回軌道 (高度 500km)

非接触保持された試験マスの変動を  
レーザー干渉計を用いて精密計測



宇宙・地球の観測

→ 銀河の成り立ち, 地球環境モニタ

先端科学技術の確立

→ 宇宙・無重力環境利用の新しい可能性

JAXA・小型科学衛星3号機 としての実現を目指す

Earth Image: ESA

## 重力波により宇宙を見る

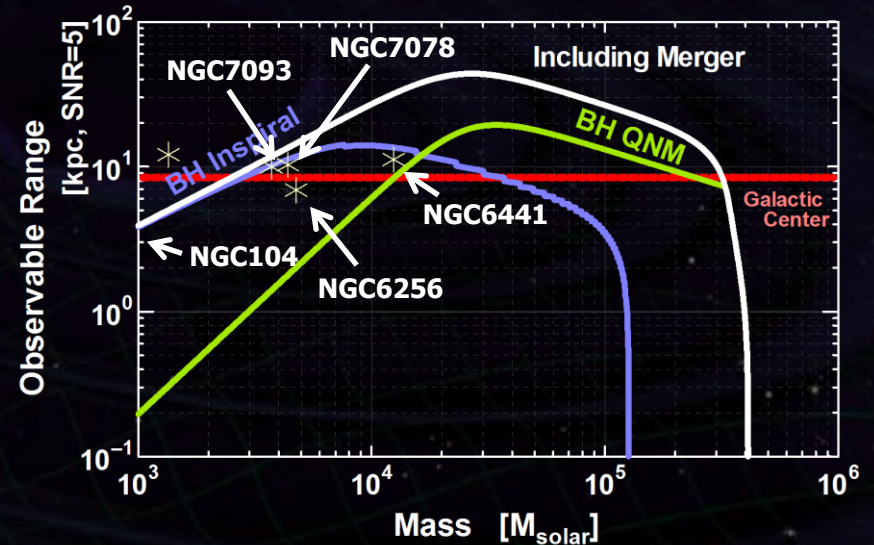
銀河系内のBH連星合体

→ 巨大BH形成への知見.

DPFの感度では

~30個の球状星団を観測可能

独自・野心的なサイエンス



## 重力で地球を見る

地球重力場の観測

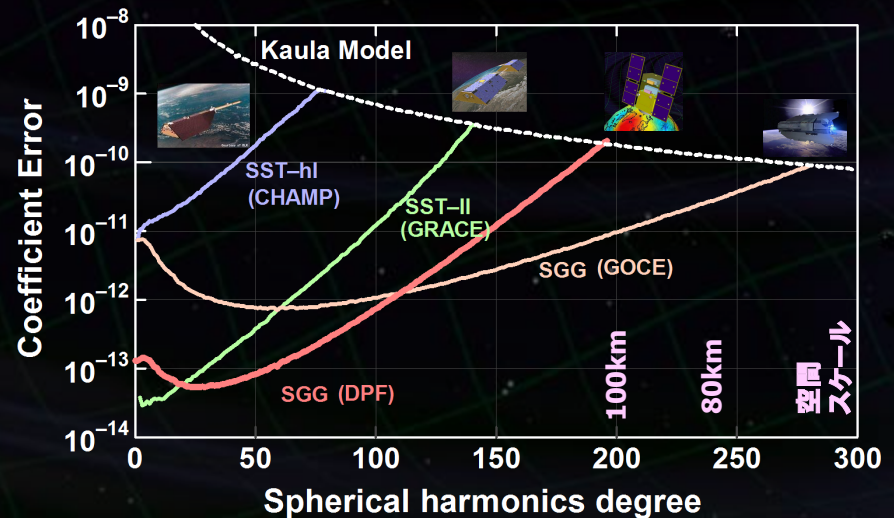
→ 地球形状・地球環境モニタ

他の海外ミッションに匹敵する感度

国際観測網への貢献, 独自の観測

(2012-2016に国際観測網にギャップ)

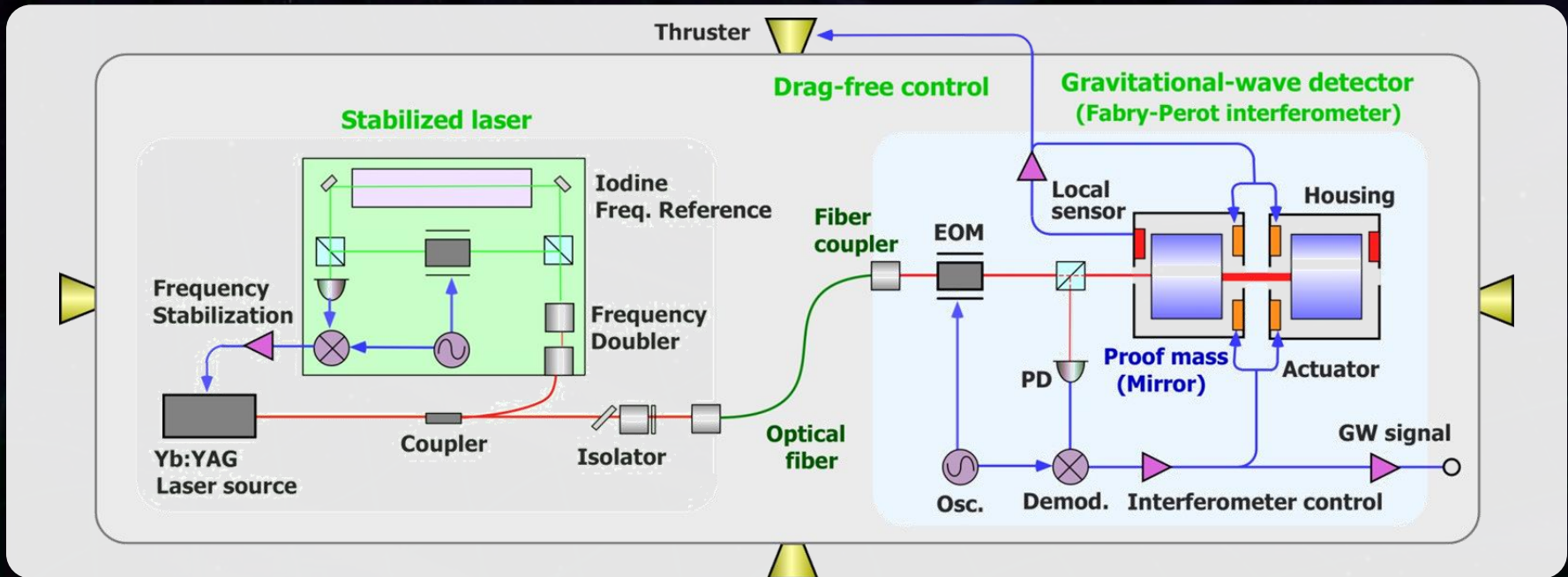
確実なサイエンス・国際貢献



# DPFミッション機器構成

ミッション機器重量 : ~200kg  
ミッション機器空間 : 95 cm立方

ドラッグフリー  
ローカルセンサで相対変動検出  
→ スラスタにフィードバック



**安定化レーザー光源**  
Yb:YAGレーザー  
出力 25mW  
ヨウ素飽和吸収による  
周波数安定化

**ファブリー・ペロー共振器**  
フィネス : 100  
基線長 : 30cm  
試験マス : 質量 数kg  
PDH法により信号取得・制御



# DPFシステム概要

## DPF Payload

Size : 950mm cube  
Weight : 220kg  
Power : 150W  
Data Rate: 800kbps  
Mission thruster x10

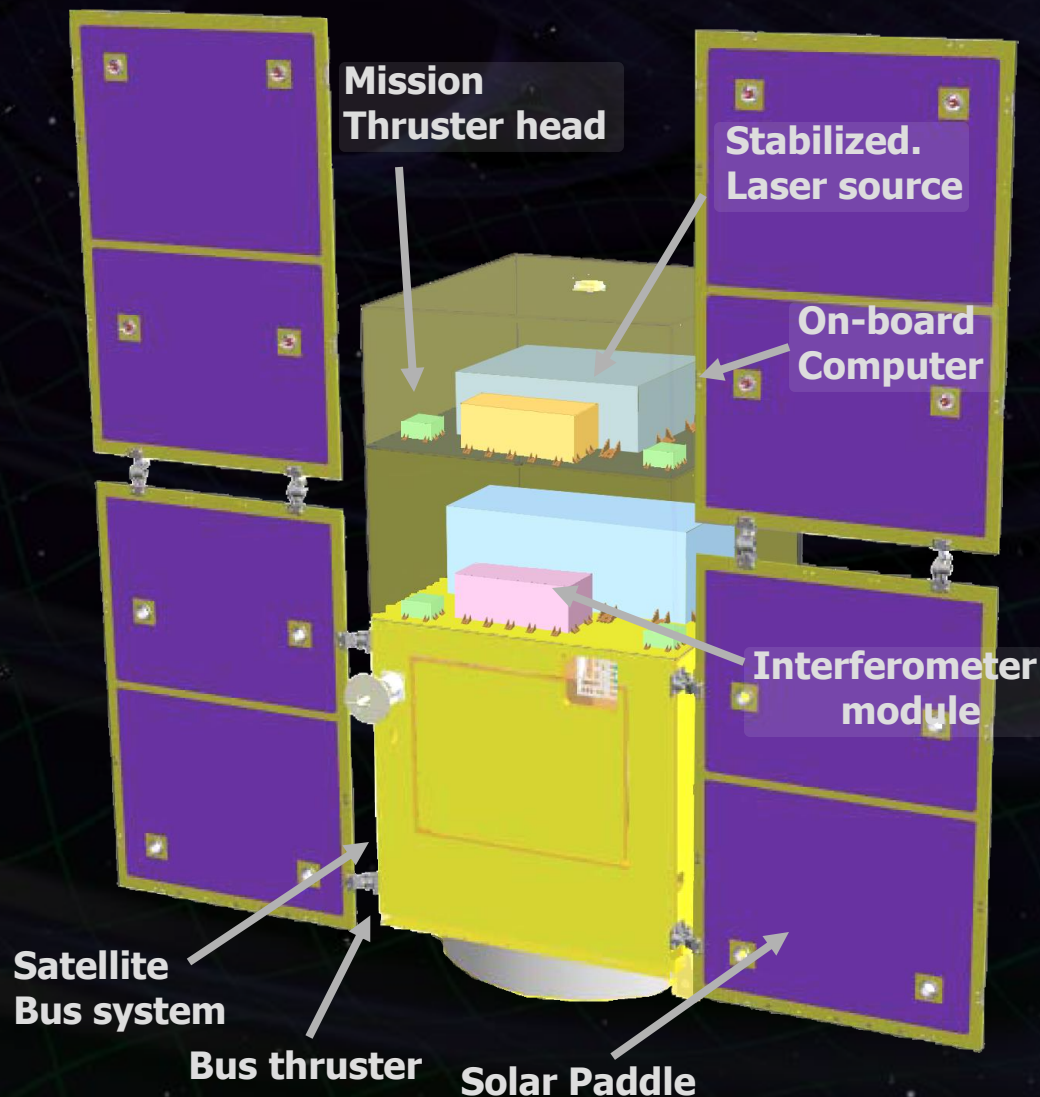
Power Supply  
SpW Comm.



## Satellite Bus

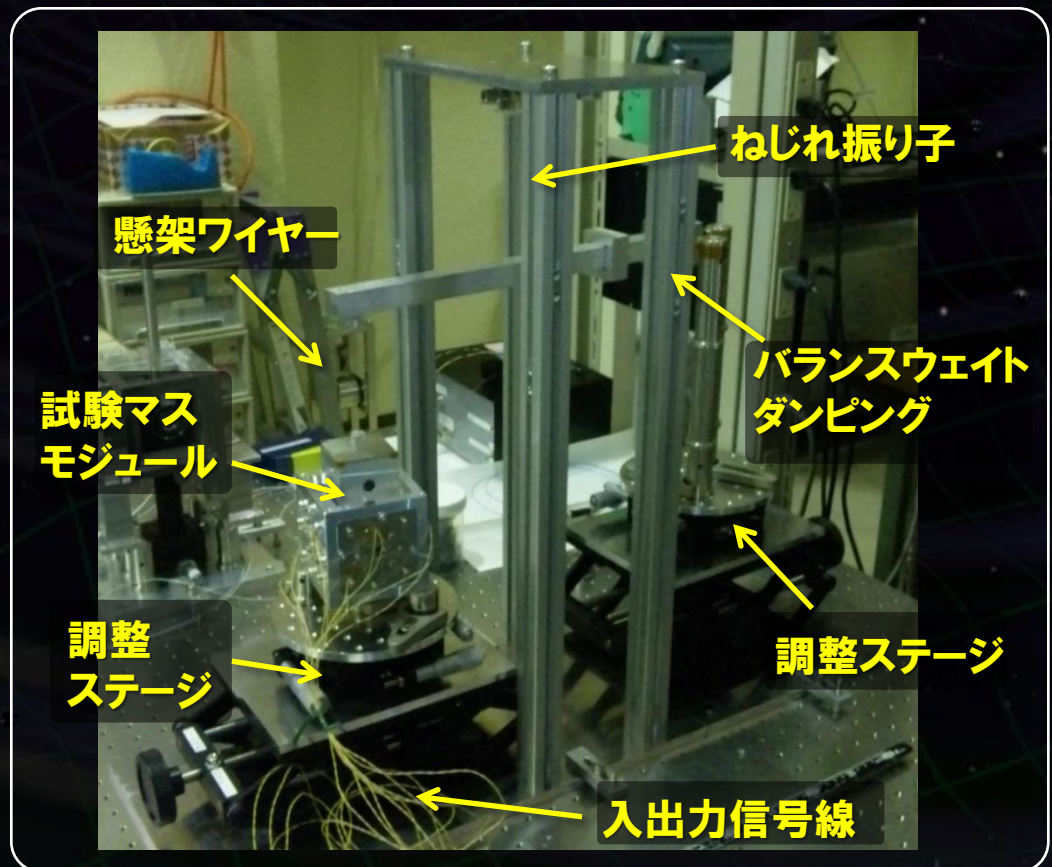
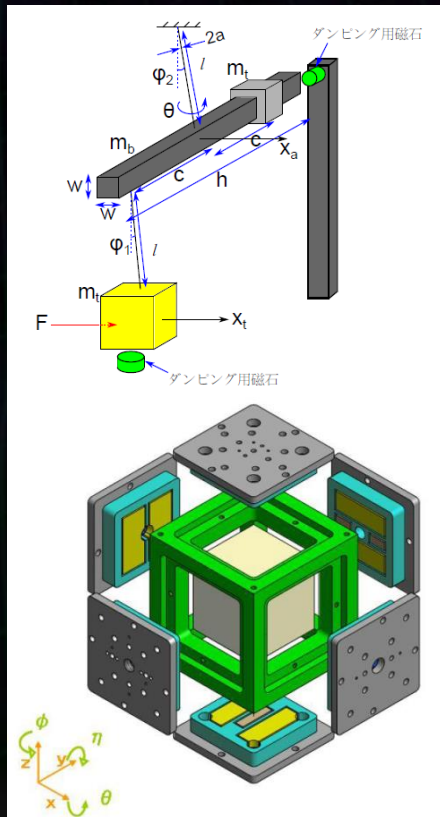
(‘Standard bus’ system)

Size :  
950x950x1100mm  
Weight : 230kg  
SAP : 960W  
Battery: 50AH  
Downlink : 2Mbps  
DR: 1GByte  
1N Thrusters x 4

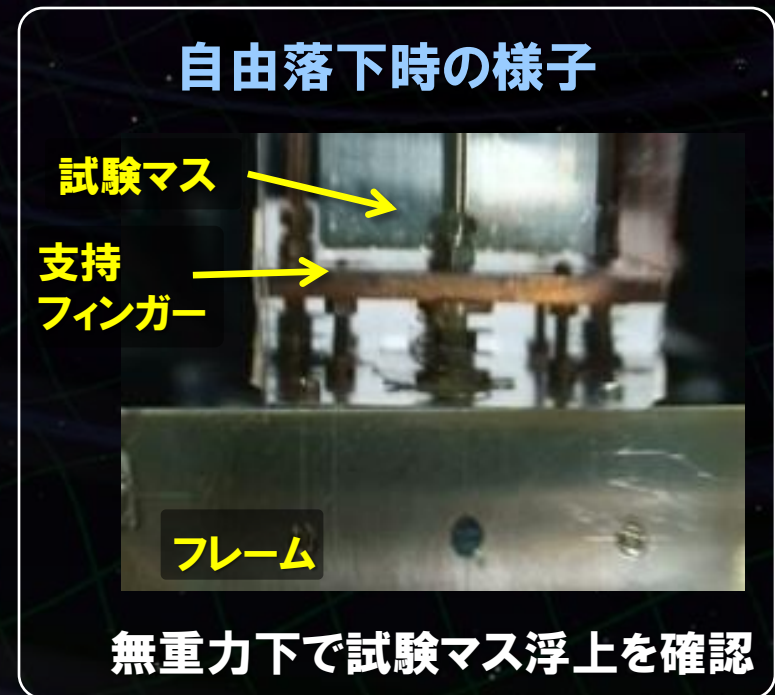
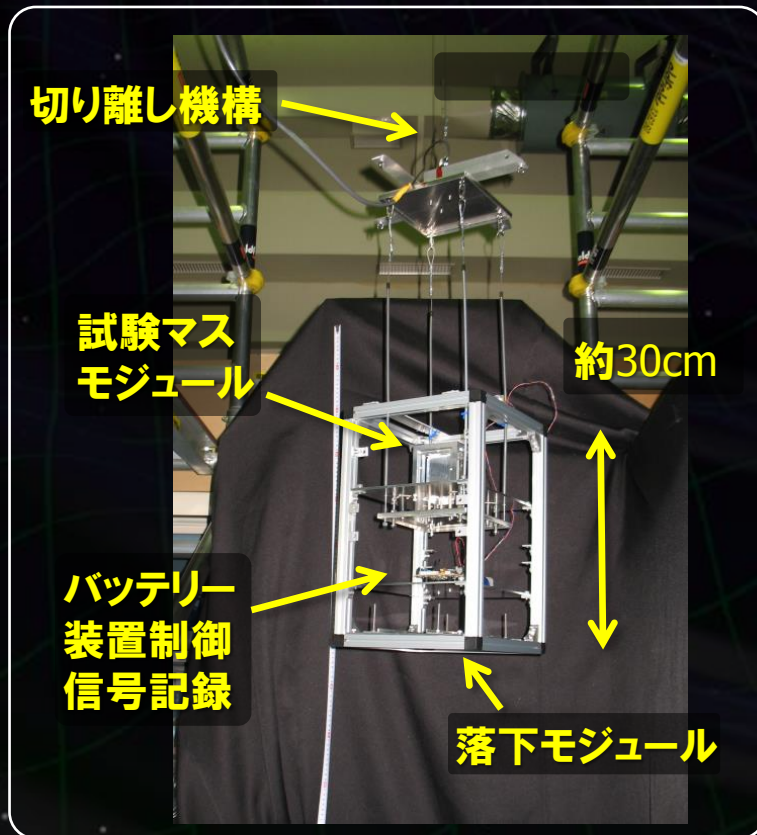


# 搭載機器開発 衛星システム検討

- 試験マスモジュール2自由度制御実験 (国立天文台)
  - 試験マスをねじれ振り子で懸架
  - 静電センサ・アクチュエータを用い, 回転・位置を制御



- 無重力下での試験マス制御デモンストレーション (国立天文台)
  - 落下モジュール (構造, 電源, センサ, ロガーなど)
  - ~3m落下設備 (足場, 切り離し機構, クッションなど)

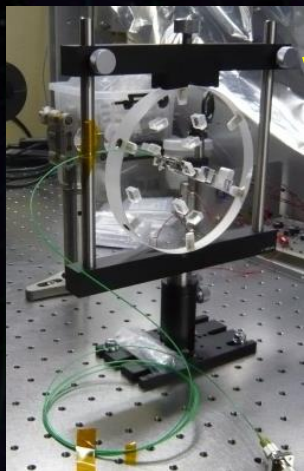


今後, 静電S/Aによる制御をめざす.

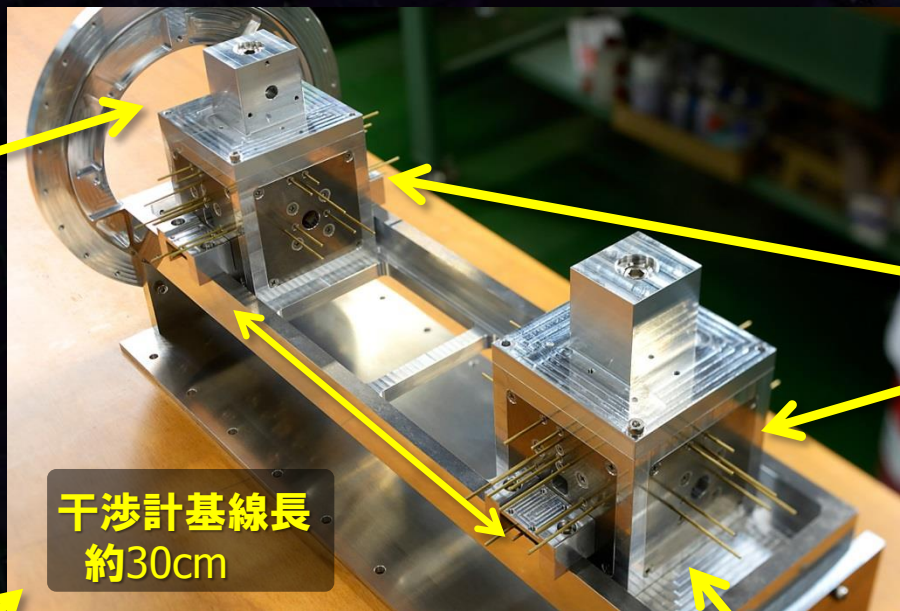
# 干渉計モジュールEM

## 入出射光学系

シリケートボンディングにより一体化



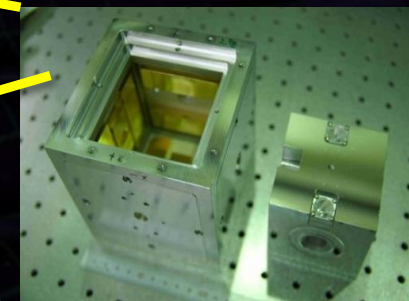
## 干渉計モジュール



干渉計基線長  
約30cm

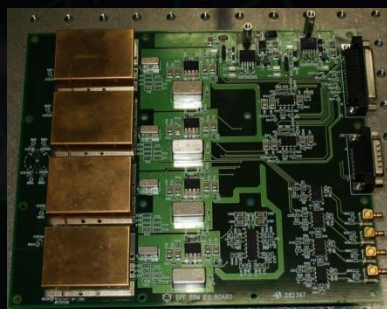
## 試験マスモジュール

試験マス、静電センサ・アクチュエータ、ローンチロック



## 4分割RF フォトディテクタ

4分割PD + 復調回路  
干渉計基線長・角度の変動を取得



## SpW信号処理・ 制御ボード

SpW FPGA +  
16bit AD/DA  
干渉計の制御



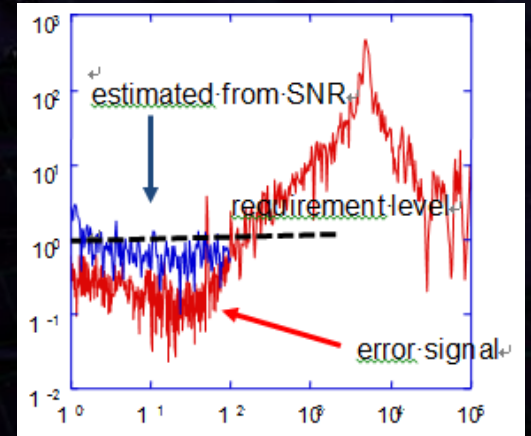
# 周波数安定化モジュール

## ・周波数安定化モジュールBBM1 (電通大)

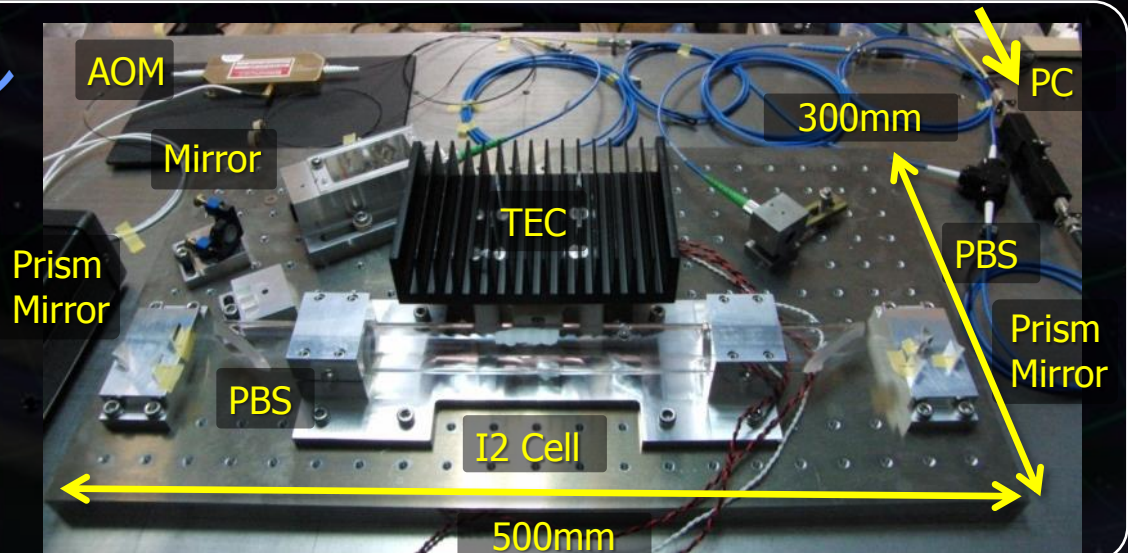
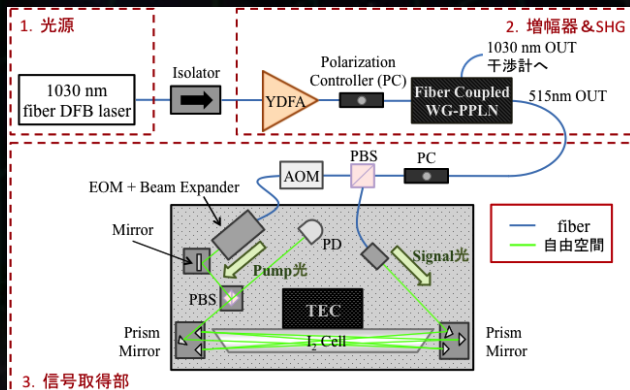
- ヨウ素セルを用いた周波数安定化.
- 安定度要求 ( $0.5 \text{ Hz}/\text{Hz}^{1/2}$ )を満たす.

## ・周波数安定化モジュールBBM2 (電通大)

- ファイバ素子を用い,小型・軽量・堅牢化.
- SpWデジタル制御ボードによる動作.



## レーザー周波数安定化モジュール

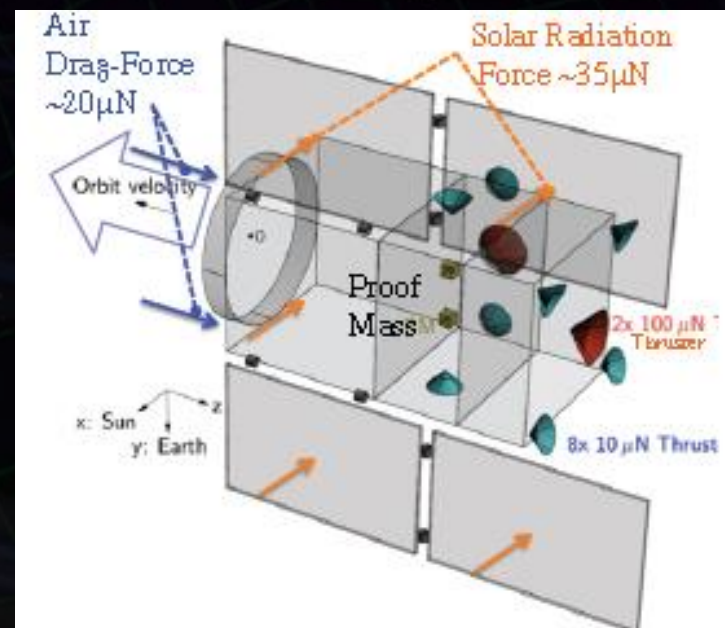


## ・ミッションスラスタ構成

- 準定常成分 **100  $\mu\text{N}$ スラスタ 2台**  
大気ドラッグ, 太陽輻射圧
- 変動成分 **10  $\mu\text{N}$ スラスタ 8台**  
大気圧変動, 太陽輻射変動

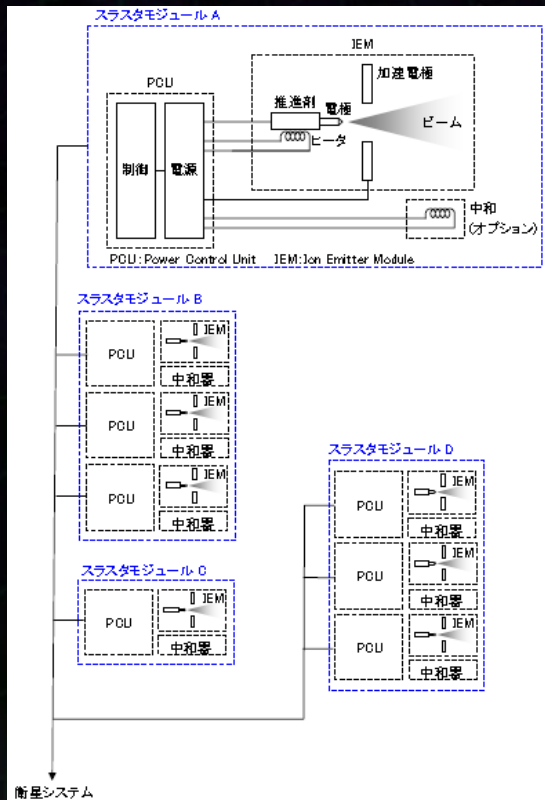
### ミッションスラスタ仕様

推力	0.5-100 $\mu\text{N}$ x2 (可変) 0.5-10 $\mu\text{N}$ x 8 (可変)
分解能	0.1 $\mu\text{N}$
推力雑音	0.1 $\mu\text{N}/\text{Hz}^{1/2}$
制御応答	>10Hz
Isp	TBD
電力・質量	<40W, <40kg
運用寿命	4,300 時間



## ・ミッションスラスタ検討・開発 (ISAS/JAXA) 既存技術を利用 → FEEDスラスタ

### スラスタシステム構成

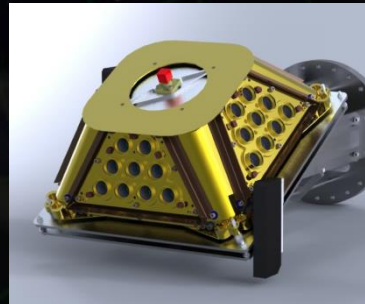


### AIT FEED (10 $\mu$ N)



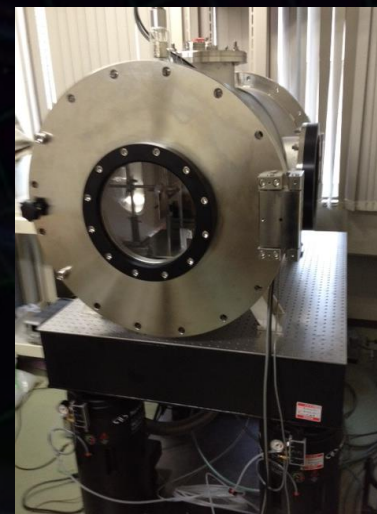
※ Flight Proven

### Cluster Type FEED (100 $\mu$ N)



### スラスタスタンド

微小推力雑音の測定装置。  
0.1 $\mu$ Nの測定分解能を実現。



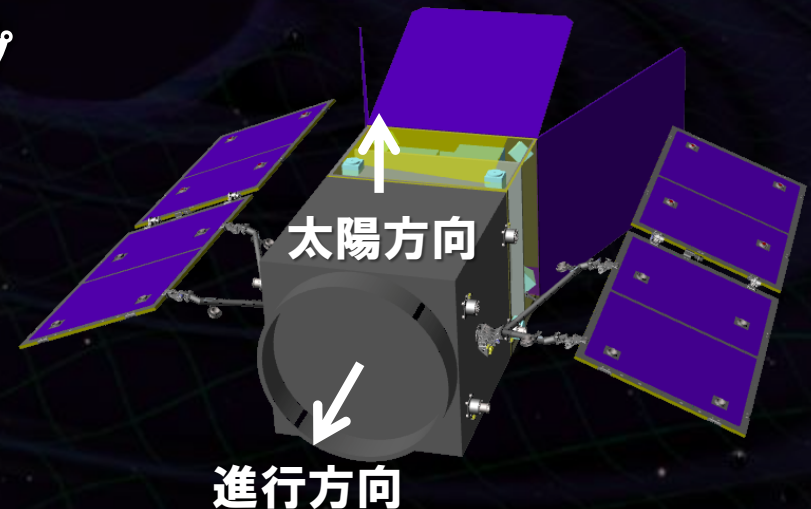


## ・衛星構造・姿勢検討

- ドラッグフリー制御のバックアップ
- ミッションスラスタの運用寿命

⇒ 受動安定となる衛星構造.

SAP傾斜, フィン構造.



## ・初期姿勢捕捉・セーフホールド

- バス部に RCS 搭載  
コールドガスジェットスラスタ (窒素, 1N)
- 計10回の姿勢捕捉, 日陰時姿勢保持 → 推薬量 3.3 kg
- 残留レート < 0.01 deg/s

# SWIMによる宇宙実証

DECTGO

Photo:  
JAXA

## SDS-1搭載のSWIM (Space wire demonstration module)

2009年1月打ち上げ, 2010年9月運用停止

⇒ 世界で最初の 宇宙重力波検出器



「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

### SpaceCube2: Space-qualified Computer

CPU: HR5000  
(64bit, 33MHz)

System Memory:  
2MB Flash Memory  
4MB Burst SRAM  
4MB Asynch. SRAM  
Data Recorder:  
1GB SDRAM  
1GB Flash Memory  
SpW: 3ch

Size: 71 x 221 x 171  
Weight: 1.9 kg  
Power: 7W



Photo by JAXA

### SWIM<sub>μv</sub> : User Module

Processor test board  
GW+Acc. sensor  
FPGA board  
DAC 16bit x 8 ch  
ADC 16bit x 4 ch  
→ 32 ch by MPX  
Torsion Antenna x2  
~47g test mass

Data Rate : 380kbps  
Size: 124 x 224 x 174  
Weight: 3.5 kg  
Power: ~7W

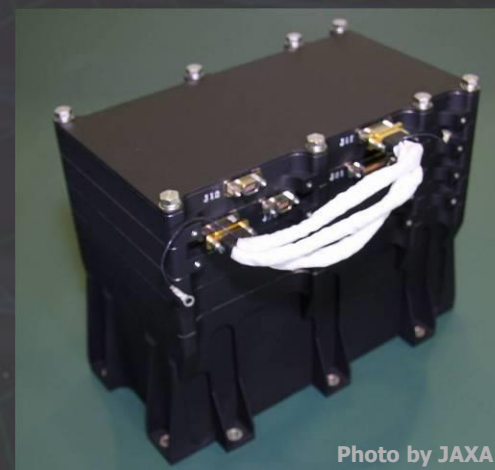


Photo by JAXA

SDS-1  
Bus System

Power +28V  
RS422 for CMD/TLM  
GPS signal

Power ±15V, +5V  
SpW x2 for CMD/TLM



# まとめ

- DECIGO
  - 基線長1000kmの宇宙重力波望遠鏡.
  - 初期宇宙の直接観測など究極のサイエンス
- DECIGOパスファインダー (DPF)

宇宙・地球の観測

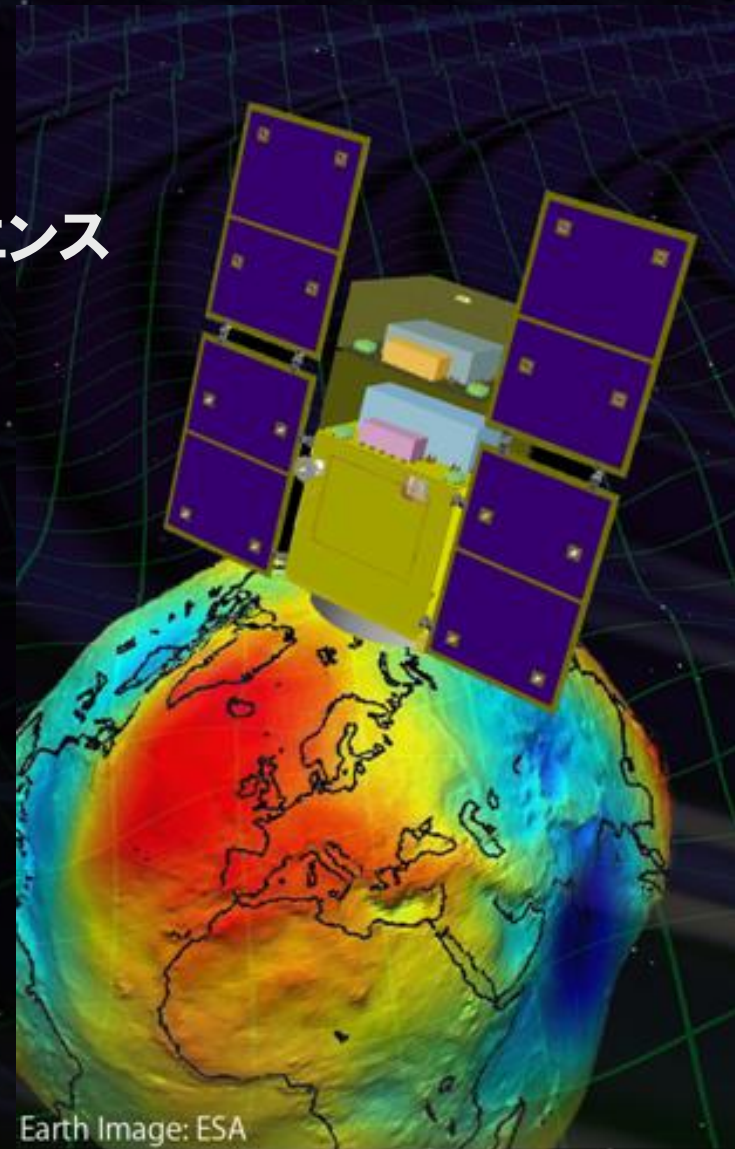
→ 銀河の成り立ち, 地球環境モニタ

先端科学技術の確立

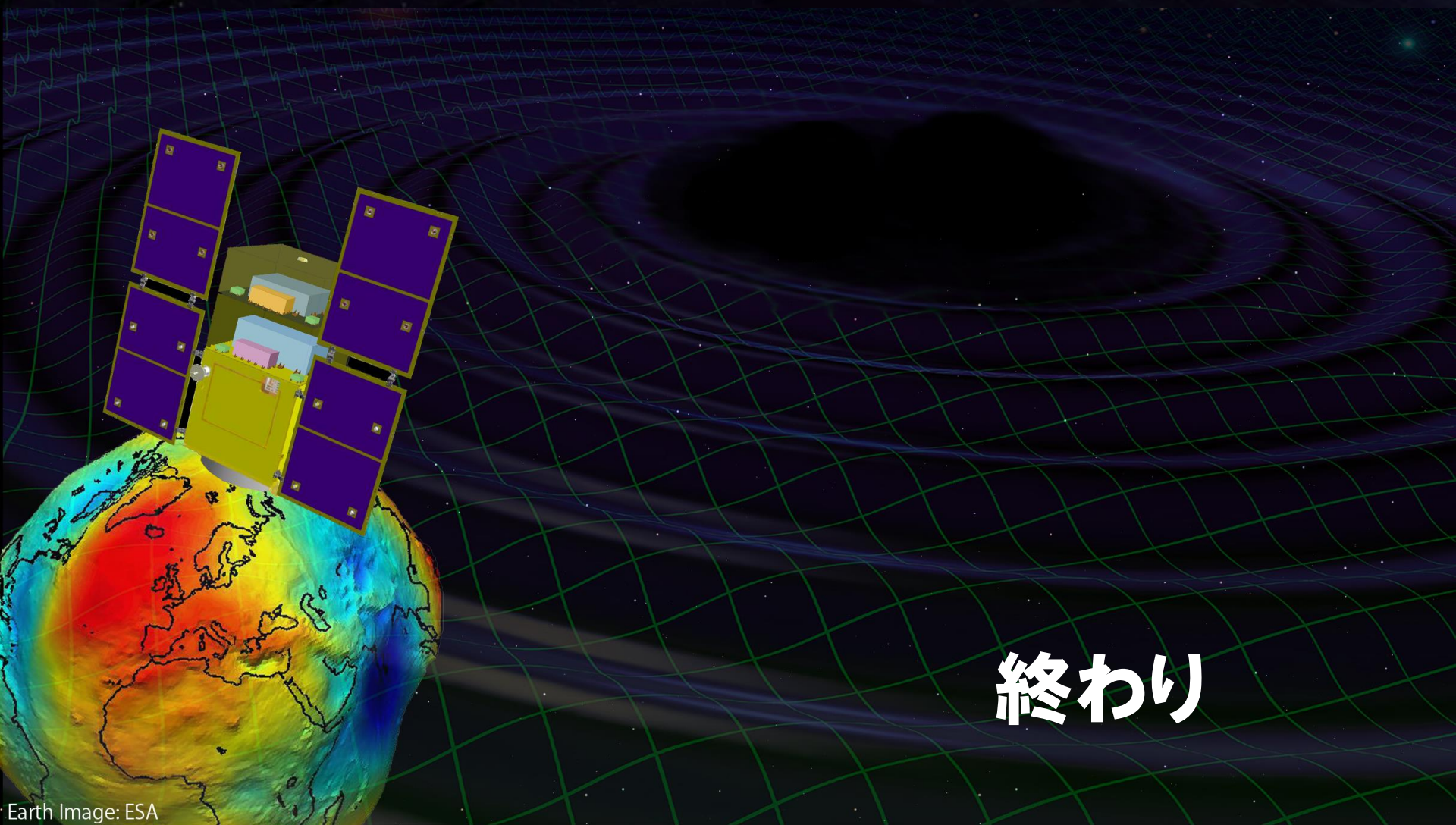
→ 無重力環境利用の新しい可能性

BBM試作・試験が進行中

SDS-1/SWIMによる宇宙実証



Earth Image: ESA



Earth Image: ESA

終わり