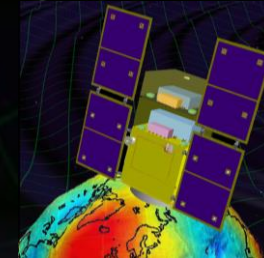
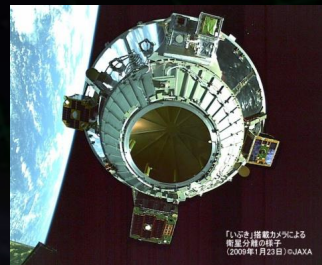
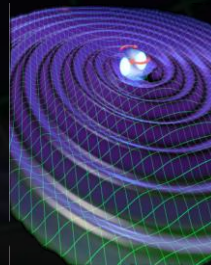
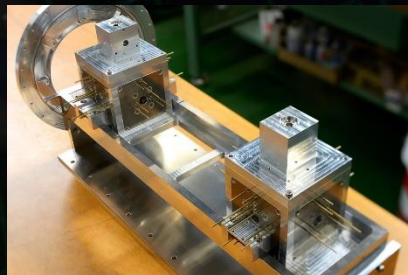
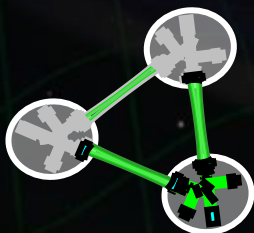


日本物理学会 2014年秋季大会

# スペース重力波アンテナDECIGO計画(55): DECIGO/DPFの概要

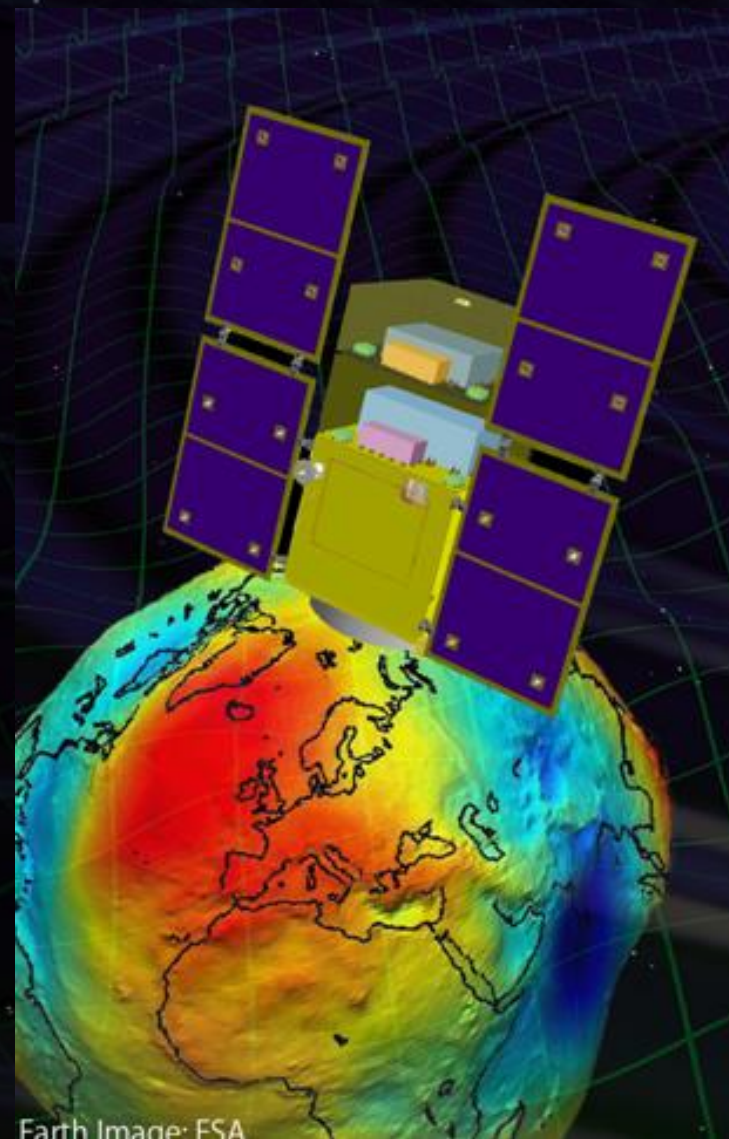
安東 正樹 (東京大学 / 国立天文台) + DECIGO WG



# DECIGO WG Members

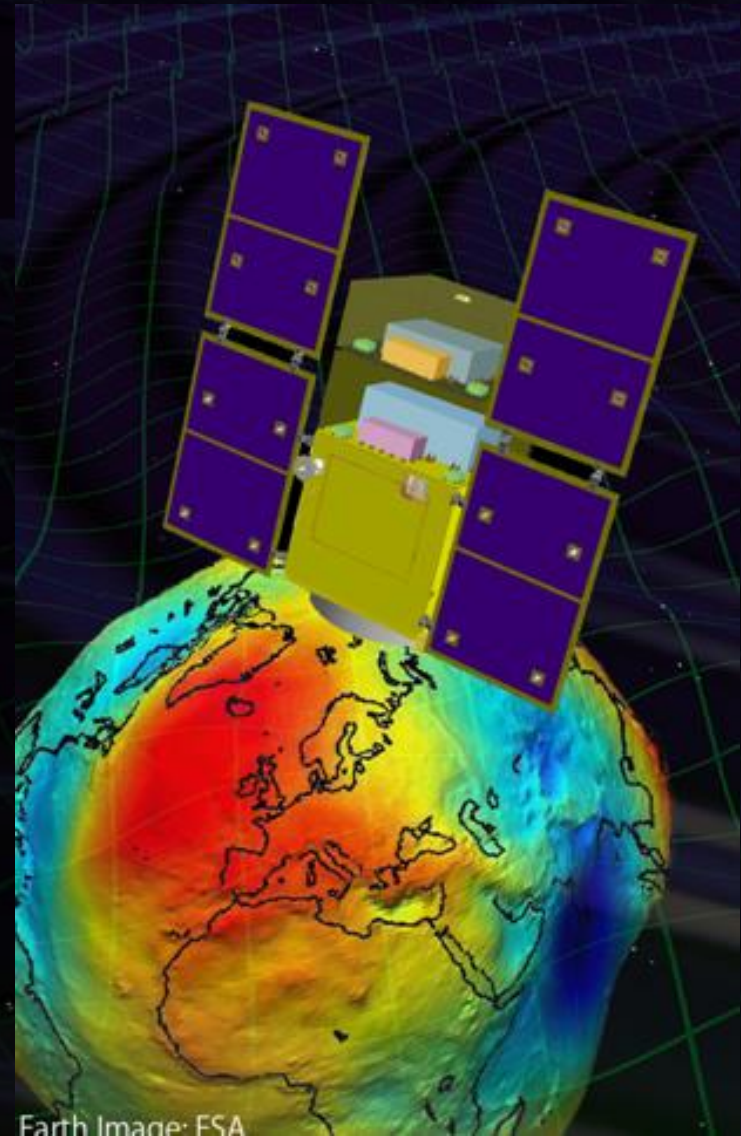


安東正樹, 川村静児, 瀬戸直樹, 中村卓史, 坪野公夫, 佐藤修一, 田中貴浩, 船木一幸, 沼田健司, 神田展行, 井岡邦仁, 高島健, 横山順一, 阿久津智忠, 武者満, 上田暁俊, 麻生洋一, 新谷昌人, 坂井真一郎, 青柳巧介, 我妻一博, 浅田秀樹, 新井宏二, 池上健, 石川毅彦, 石崎秀晴, 石原秀樹, 和泉究, 市來淨與, 伊東宏之, 伊藤洋介, 井上開輝, 植田憲一, 牛場崇文, 歌島昌由, 江口智士, 江尻悠美子, 榎基宏, 戎崎俊一, 江里口良治, 大石奈緒子, 大河正志, 大橋正健, 大原謙一, 大淵喜之, 岡田健志, 岡田則夫, 奥富弘基, 河島信樹, 川添史子, 河野功, 木内建太, 岸本直子, 國中均, 國森裕生, 黒田和明, 黒柳幸子, 小泉宏之, 洪鋒雷, 郡和範, 穀山涉, 苔山圭以子, 古在由秀, 小鳶康史, 固武慶, 小林史歩, 権藤里奈, 西條統之, 齊藤遼, 阪上雅昭, 阪田紫帆里, 佐合紀親, 佐々木節, 佐藤孝, 柴田大, 柴田和憲, 正田亜八香, 真貝寿明, 末正有, 杉山直, 鈴木理恵子, 諏訪雄大, 宗宮健太郎, 祖谷元, 高野忠, 高橋走, 高橋慶太郎, 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, 田中伸幸, 谷口敬介, 樽家篤史, 千葉剛, 陳たん, 辻川信二, 常定芳基, 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, 中山宜典, 西澤篤志, 西田恵里奈, 西山和孝, 丹羽佳人, 能見大河, 橋本樹明, 端山和大, 原田知広, 疋田涉, 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, 細川瑞彦, 堀澤秀之, 前田恵一, 松原英雄, 松本伸之, 道村唯太, 宮川治, 宮本雲平, 三代木伸二, 向山信治, 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, 吉田至順, 吉野泰造, 柳哲文, 若林野花



Earth Image: ESA

4. **スペース重力波アンテナDECIGO計画 (55) :**  
**DECIGO/DPFの概要**  
**安東 正樹 (東京大), 他**
5. **スペース重力波アンテナDECIGO計画 (56) :**  
**干渉計・信号処理**  
**阿久津 智忠 (国立天文台), 他**
6. **スペース重力波アンテナDECIGO計画 (57) :**  
**試験マスモジュール**  
**奥富 弘基 (総研大), 他**
7. **スペース重力波アンテナDECIGO計画 (58) :**  
**ドラッグフリー制御**  
**佐藤 修一 (法政大理工), 他**



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 (~2030)  
→ 他では得られない豊富なサイエンス

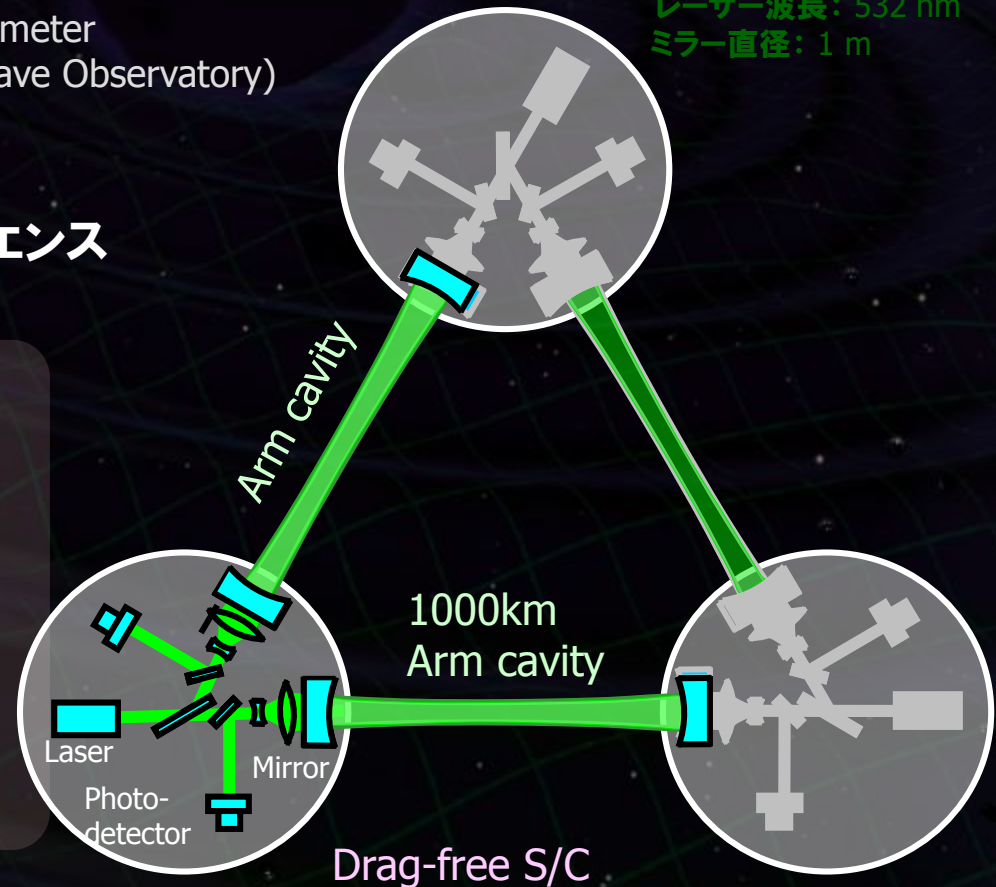
### 宇宙の成り立ちに関する知見

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

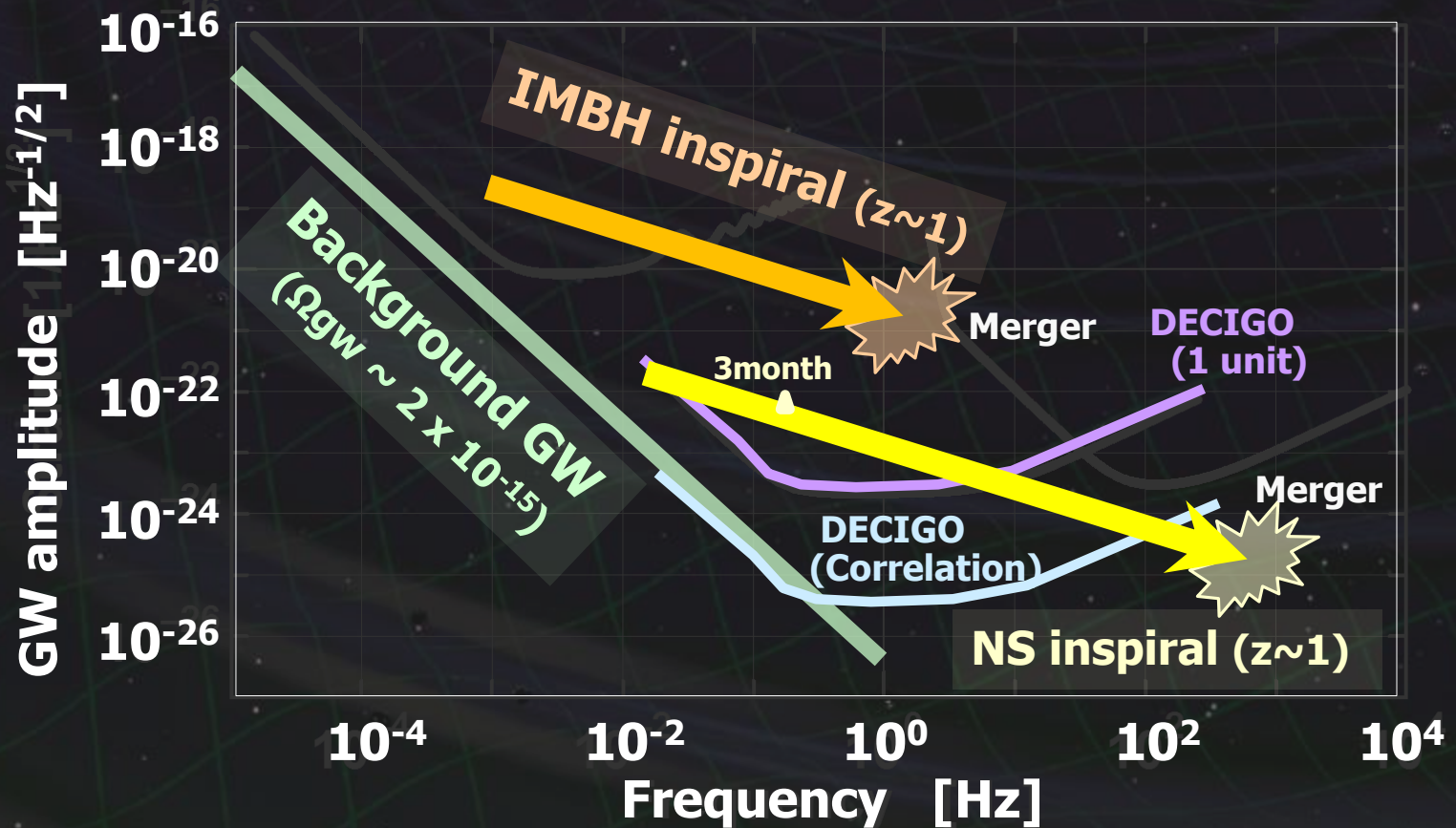
太陽公転軌道  
最大4ユニットで相関をとる

# DECIGOの観測対象

中間質量BH 連星の合体  
中性子星 連星の合体  
宇宙背景重力波



宇宙の成り立ちと進化  
銀河・超巨大BHの形成



# 初期宇宙の観測



Background:  
original figure by  
NASA/WMAP Science Team

BICEP2, (POLARBEAR,...)

マイクロ波望遠鏡を用いた  
宇宙背景放射 B-mode偏光  
成分の観測.

DECIGO, (KAGRA, aLIGO,...)

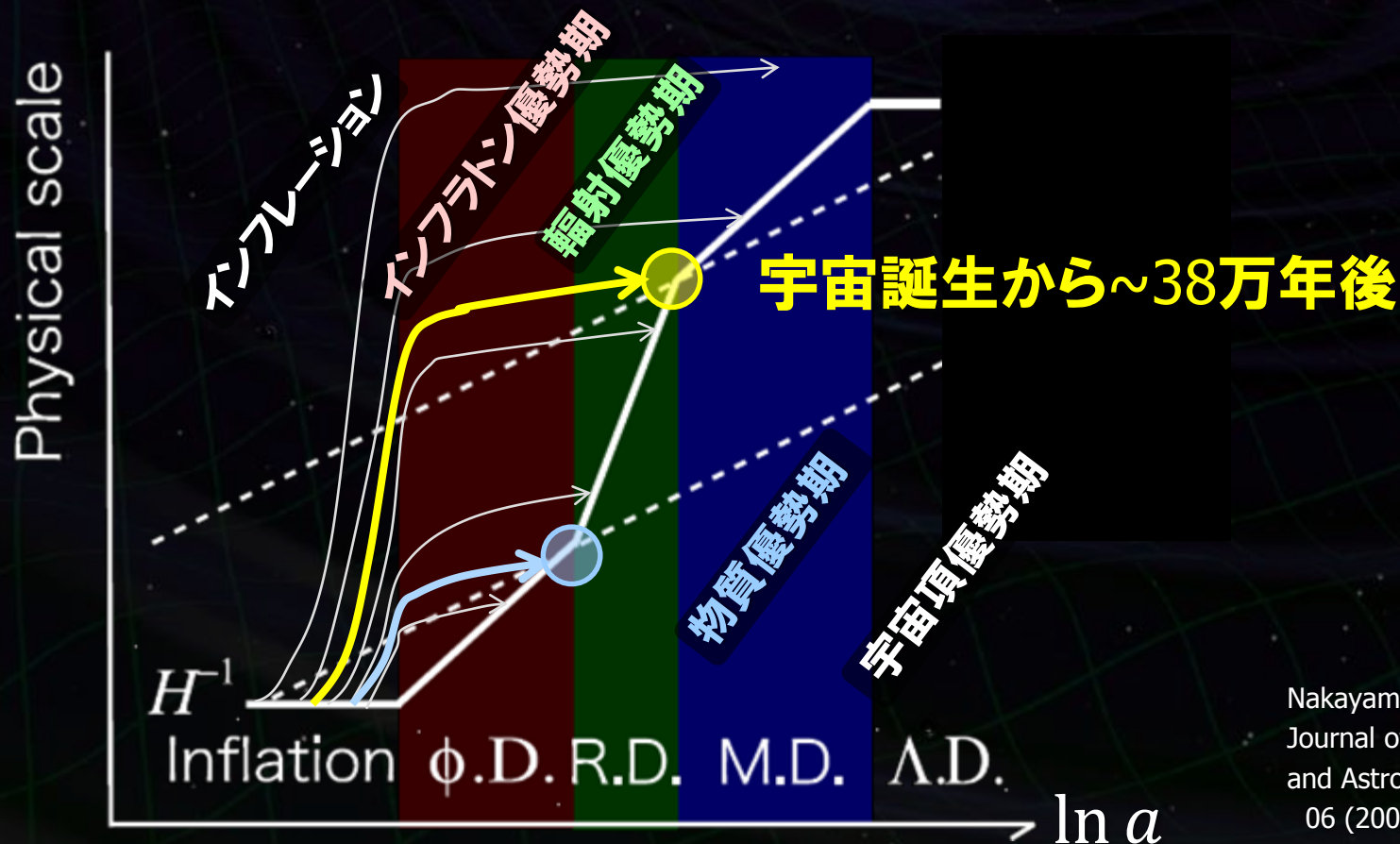
レーザー干渉計重力波望  
遠鏡を用いた宇宙背景  
重力波の観測.



図: 田島氏談話会資料より (2011 京都大学)

# インフレーションからの重力波

計量の量子揺らぎとして生成 → 初期に生成された重力波ほど、長くインフレーションで引き延ばされ、最近に宇宙の地平線内へ。



Nakayama+,  
Journal of Cosmology  
and Astroparticle Physics  
06 (2008) 020.



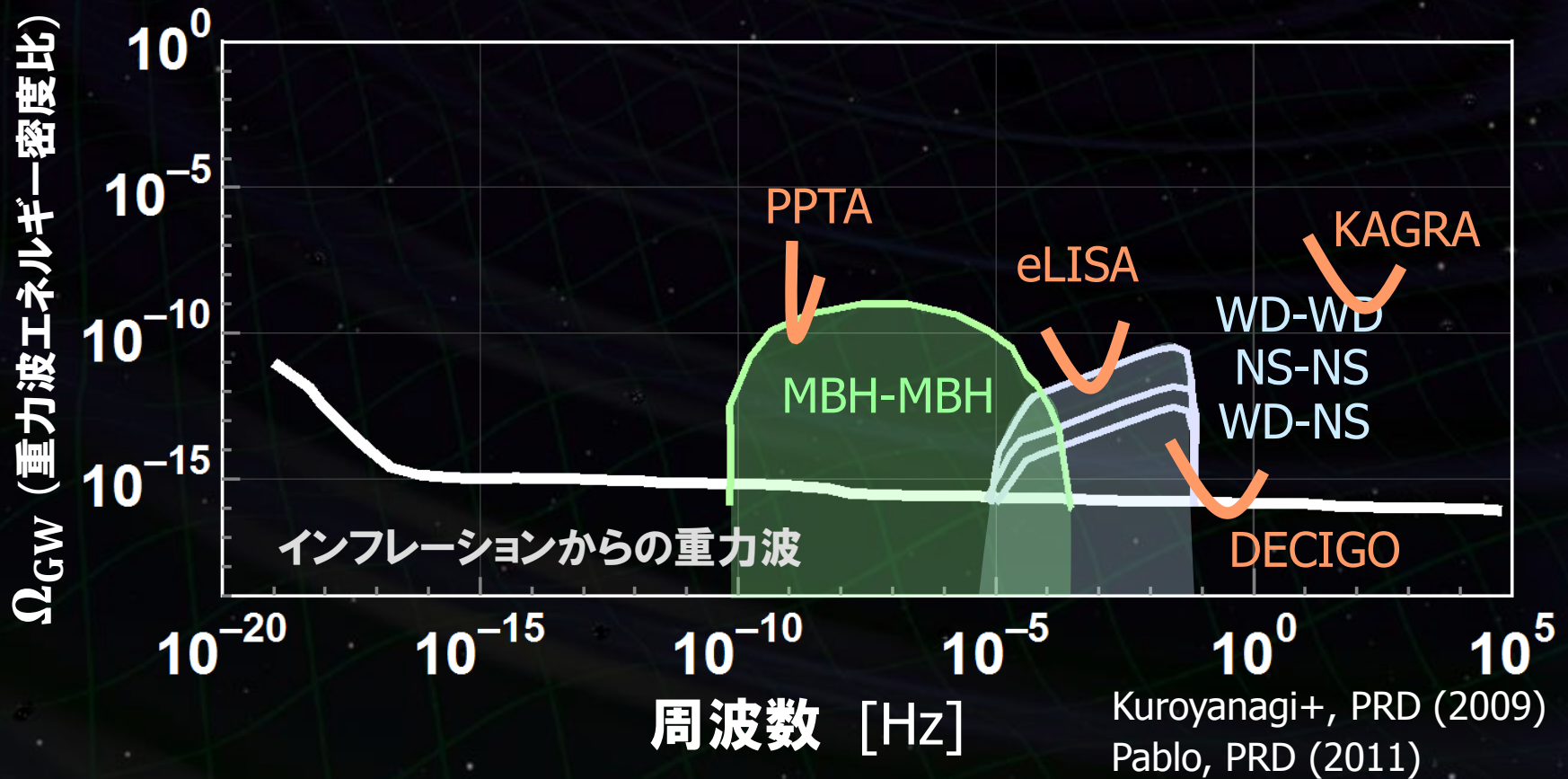
初期に地平線内入ってきた重力波ほど高周波.



多くの連星系からの重力波 → 分離できない.

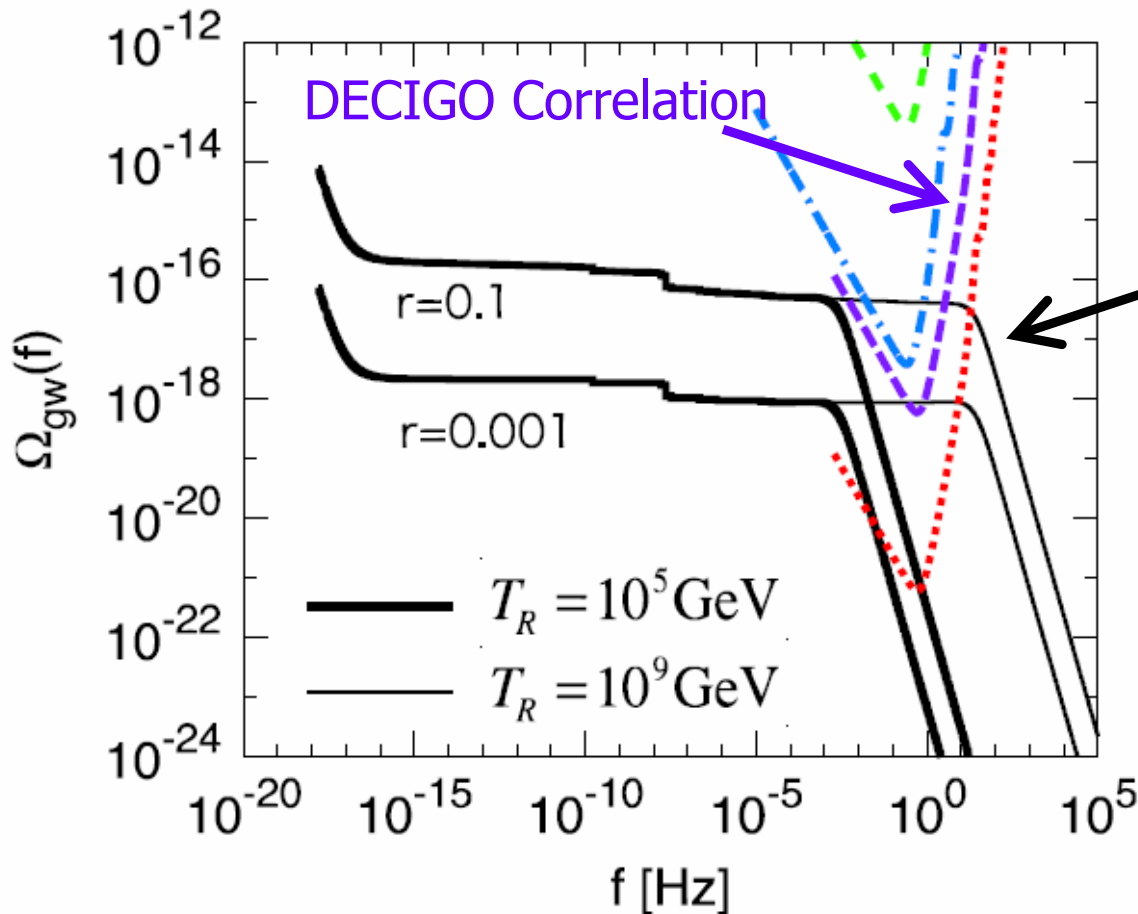
⇒  $10^{-10} - 0.1$  Hzの周波数帯で,

原始重力波観測に対する **Foreground雑音** となる.



Energy density  $\propto$  Tensor-Scalar Ratio ( $r$ ).

Power spectrum : Evolution history of the Universe.



- Spectrum Power.
- Energy scale of inflation
- Cut-off freq.
- Energy scale of Reheating

Nakayama+,  
Journal of Cosmology  
and Astroparticle Physics  
06 (2008) 020.

# 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DECIGO のための前哨衛星

1機の衛星で可能な宇宙実証をおこなう

→ DECIGOのみならず、宇宙・無重力環境  
利用のための先端宇宙技術の確立。



小型衛星 1 機 (重量 400kg)

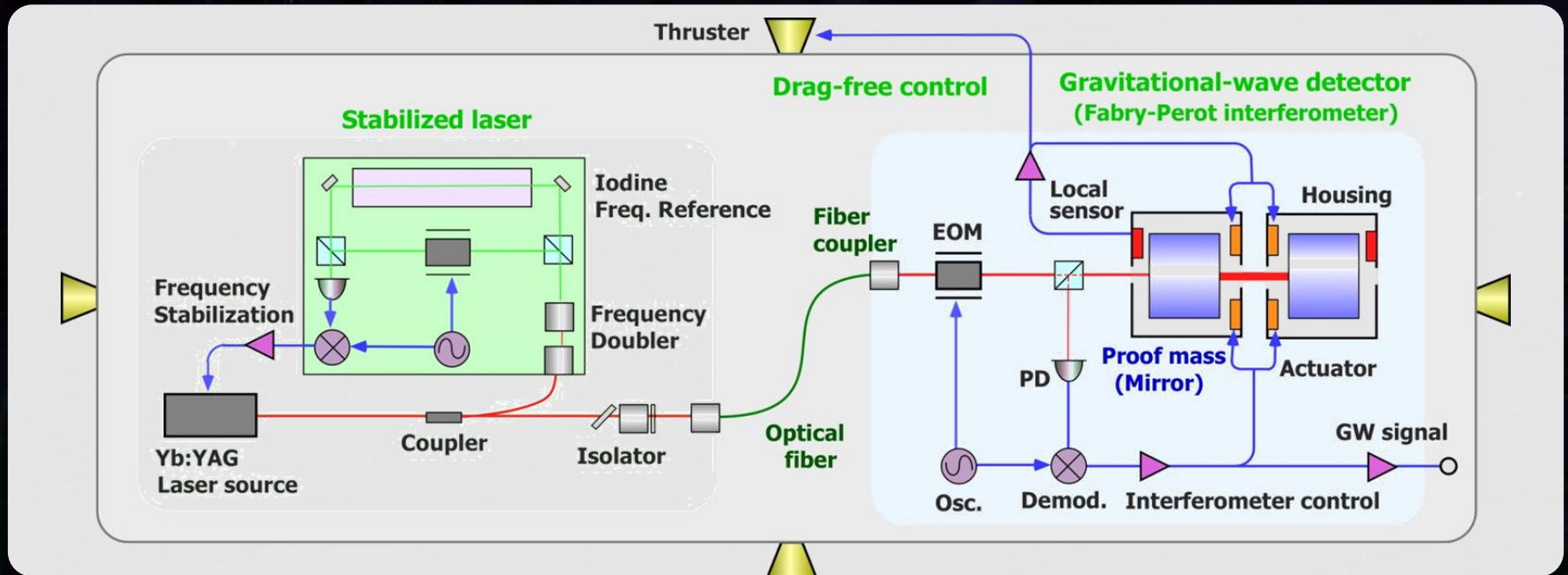
地球周回軌道 (高度 500km)

Earth Image: ESA

# 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 Payload

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

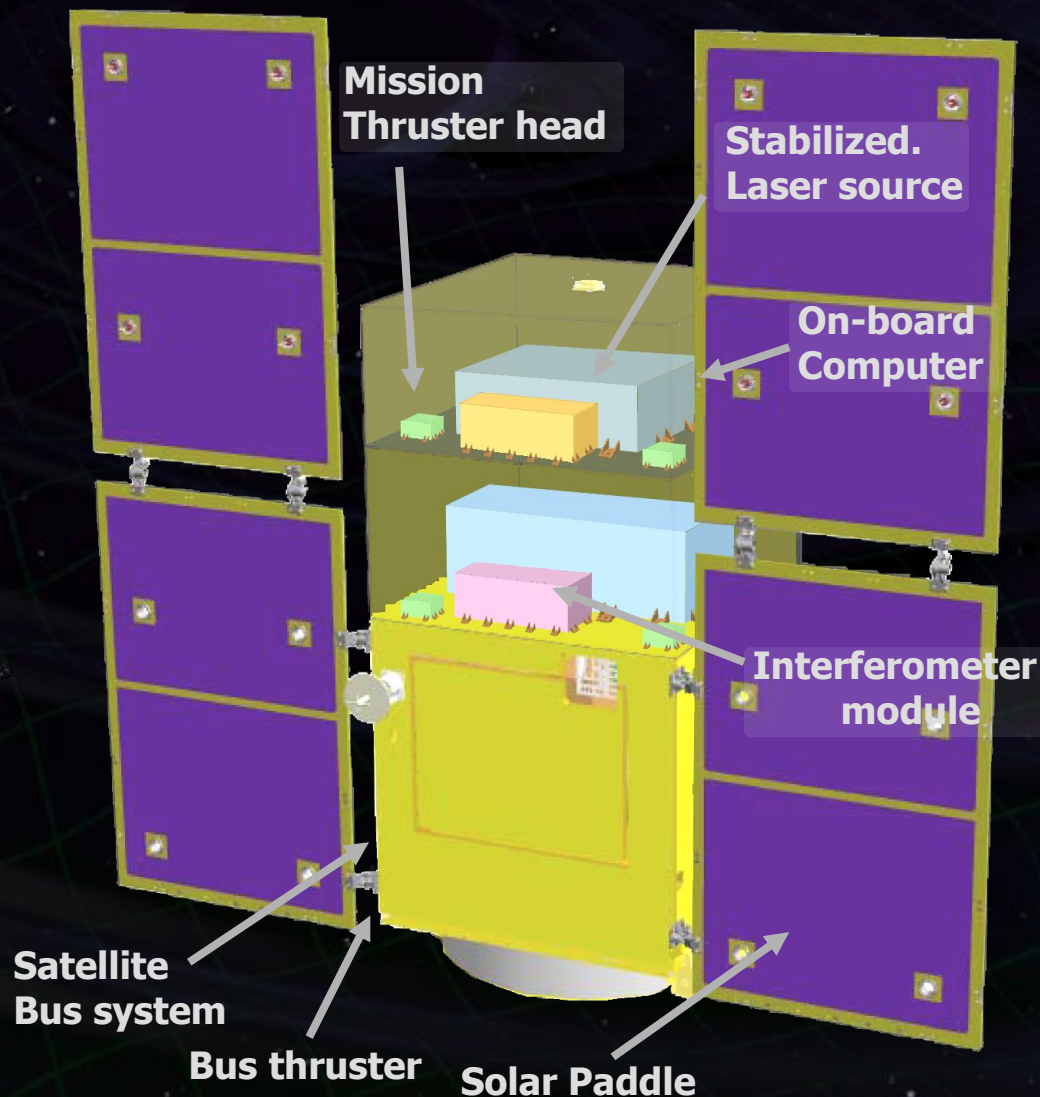
Power Supply  
SpW Comm.



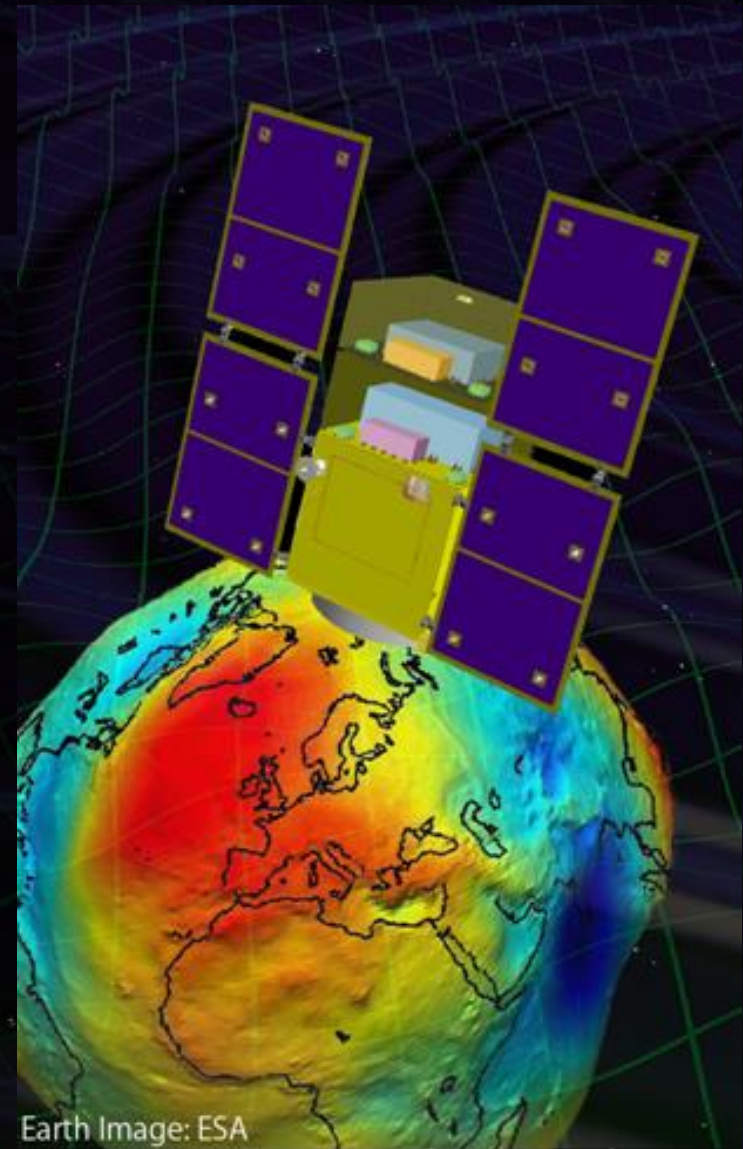
## Satellite Bus

(‘Standard bus’ system)

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



4. **スペース重力波アンテナDECIGO計画 (55) :**  
**DECIGO/DPFの概要**  
**安東 正樹 (東京大), 他**
5. **スペース重力波アンテナDECIGO計画 (56) :**  
**干渉計・信号処理**  
**阿久津 智忠 (国立天文台), 他**
6. **スペース重力波アンテナDECIGO計画 (57) :**  
**試験マスモジュール**  
**奥富 弘基 (総研大), 他**
7. **スペース重力波アンテナDECIGO計画 (58) :**  
**ドラッグフリー制御**  
**佐藤 修一 (法政大理工), 他**





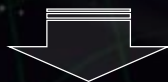
## JAXAのイプシロン搭載小型衛星

1号機 ひさき (SPRINT-A) (2013年)

UV望遠鏡による惑星観測

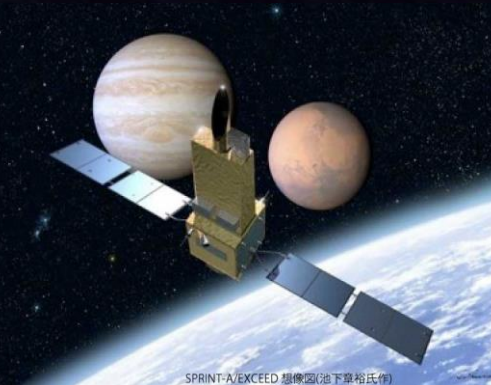
2号機 ERG (SPRINT-B) (~2015/16年)

地球周辺の磁気圏観測



DPF: 小型科学衛星3号機 を目指し,  
2014年のAOにミッション提案.

落選.



小型科学衛星1号機 SPRINT-A/EXCEED



Epsilon Rocket Booster  
Photo by JAXA

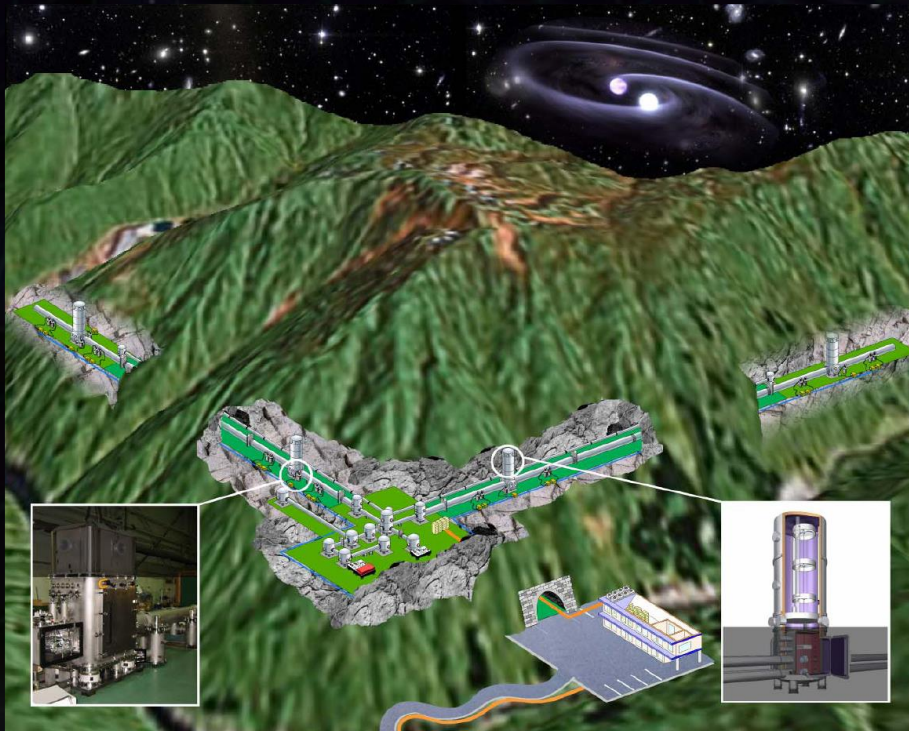
- ミッション提案の結果として、2014年のイプシロン搭載小型ミッションの選考において、DPFのミッション提案は採択されなかった。
- 重要な要因
  - DPFは2007年よりWG活動を続けてきた。2010年にKAGRAが採択 → 重力波コミュニティの最優先プロジェクト。最優先ではないDPFの実現性に懸念が示されるのは避けがたい。
  - 宇宙科学におけるイプシロン搭載ミッションの位置づけが、時間とともに変化していた。DPFの構成も状況に応じて変化させてきたが、目的と手段の最適化には至らなかった。

## KAGRA (~2017)

Ground-based Detector

→ 高周波数の重力波イベント

目標: 重力波の検出, 天文学

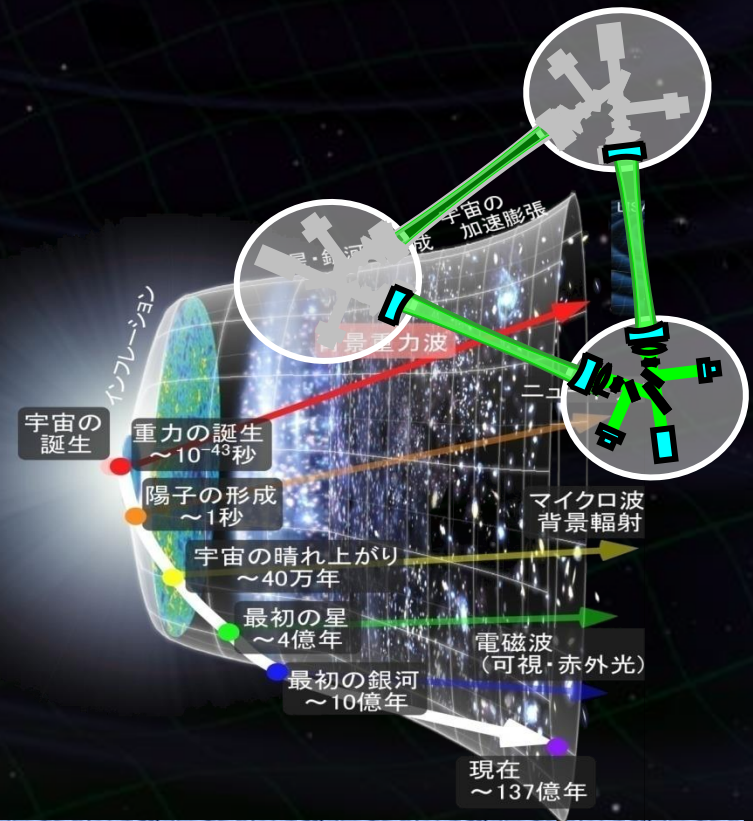


## DECIGO (~2030)

Space observatory

→ 低周波数の重力波

目標: 宇宙論的な知見など

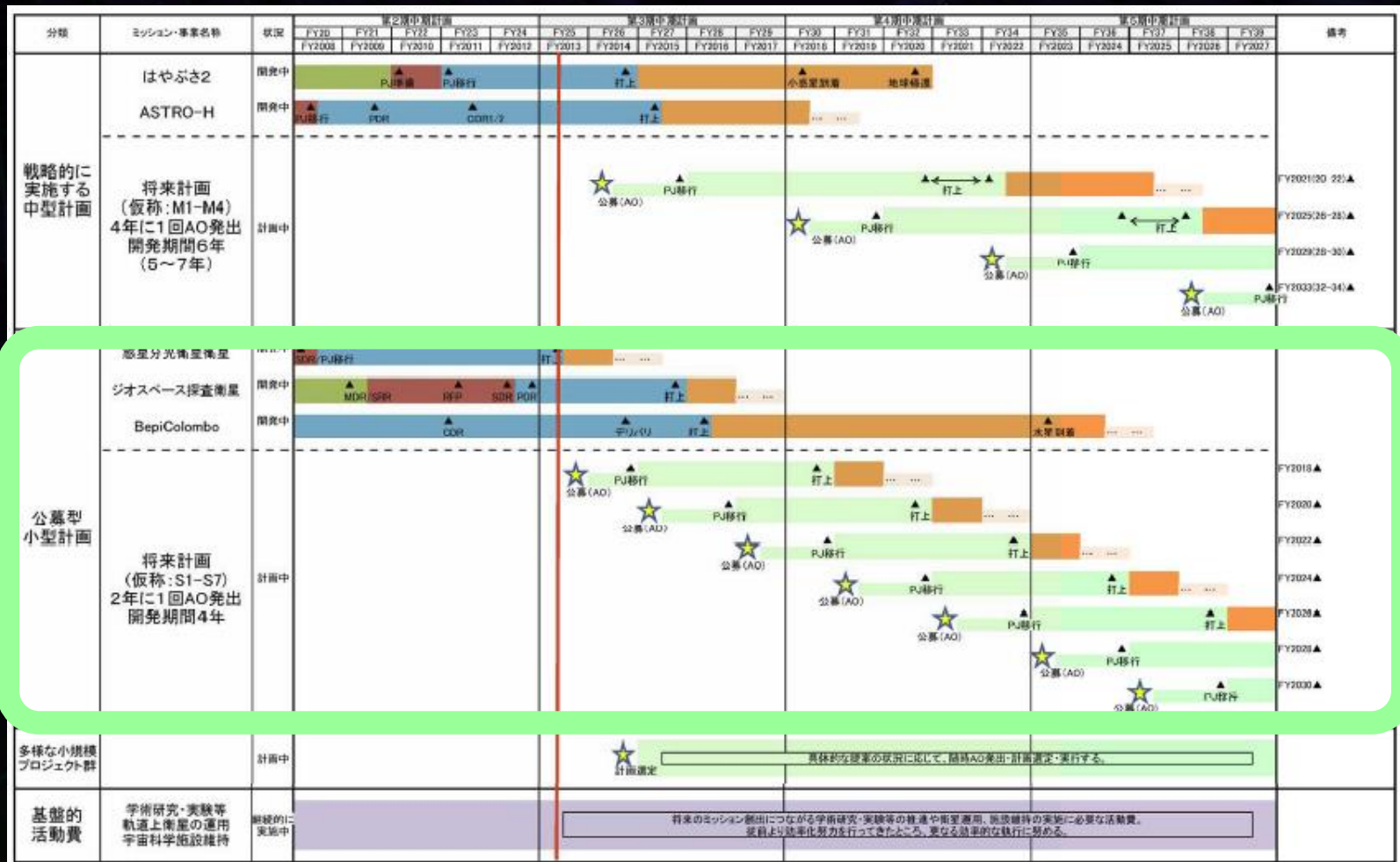


# JAXAのミッション計画



From file submitted to the government by ISAS/JAXA

(内閣府・宇宙政策委員会・宇宙科学・探査部会 2013年9月19日)



## • 今後の見通し

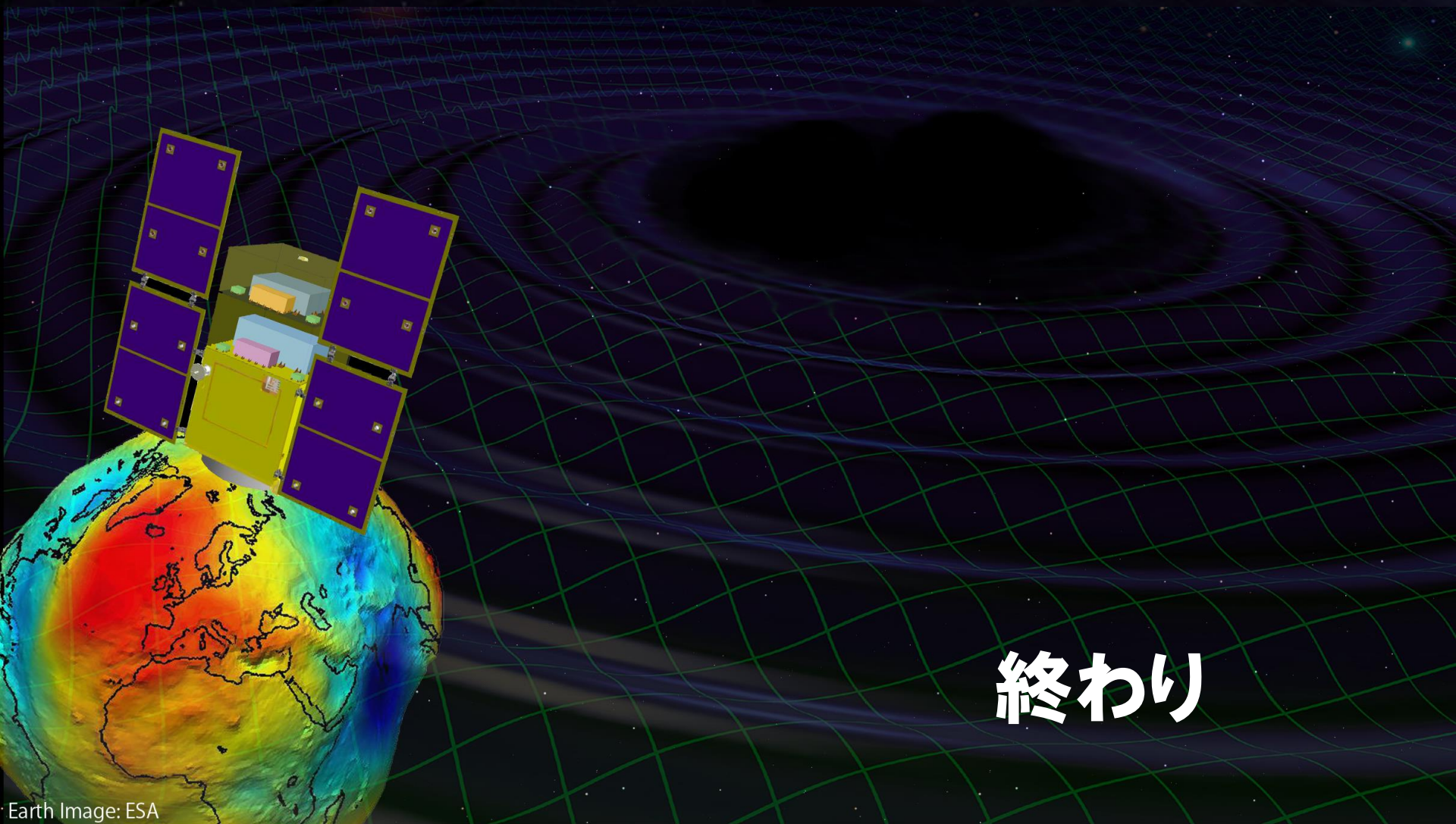
- 少なくとも今後3年間程度は, KAGRAを最優先とする状況が変化することはない. → 今回の落選理由を考慮すると, **次機イプシロンミッションに採択される可能性は低い.**
- DPFの構成は, 長年の一連のミッション検討における歴史的経緯を引きずっている部分もあり, 必ずしも洗練されていない.

⇒ DECIGOに向けた戦略の**見直しが必要.**



# まとめ

- DECIGOは、他では得られない大きな科学的意義をもつ。  
**必ずいつかは実現されるはずである。**
  - 2014年に募集のあった、イプシロン搭載小型ミッションの  
選考において、前哨衛星DPFの提案は採択されなかった。
  - 搭載機器の開発を継続するとともに、現在、戦略の再検討  
を進めている。
- ⇒ より良いミッションにするための良い機会と捕える。



終わり

Earth Image: ESA



## •ESA

- LISA Pathfinderは 2015年7月に打ち上げ予定.
- NASAが手を引いたのち, ESA単独ミッションとして eLISAが提案されていた. 腕の数, 基線長などdescopeでコスト削減.
- L3 (2034年) として重力波ミッションが選定されている.  
eLISA方式が有力ではあるが、必ずしもその方式に限らない.
- eLISAグループは、L3より早期の実現と、構成を元に戻すことを目指し、国際協力の可能性を模索.  
~200億円規模と言っている → NASA, 中国, 日本.

## • NASA

- NASA主導ミッションとしての重力波ミッションの可能性を模索。  
→ 妥当な解は見つかっていない。
- eLISAへの部分参加と、主導ミッションの両方の可能性を検討。

## • 中国

- ウーハンの重力研究所を中心に急激に立ち上がりつつある。
- eLISAへの参加, GRACE的なミッションの実現など, 多くの可能性を模索している。

## • 日本

- DPF落選後の戦略検討中。DECIGOの最短での実現を目指す。  
現時点では、国際協力に対しては立場を明確にしていない。

## ・地上重力波望遠鏡

- 米国 aLIGO : 2014.5 リビングストンの干渉計の全体動作を実現. → 2015年に初期観測を行う. 2018年頃までに重力波の初検出が実現される可能性は十分にある.
- 欧州 VIRGO : インストール進行中.  
入射光学系の動作が実現されている.
- 日本 KAGRA : 施設整備が完了しつつある.  
2014年10月から本格的なインストール開始.  
2015年12月に初期観測運転.

# DPF質量検討

衛星質量 450kg (WET) (ミッション部バランスウエイト 46kgを含む)

DPF 機器構成	略号	台数	単件質量 (7桁) [kg]	合計質量 (7桁) [kg]
<b>ミッション部</b>				
<b>ミッション系 (1階層)</b>				
<b>48.00</b>				
干渉計モジュール		1	30.00	30.00
干渉計制御モジュール		1	5.00	5.00
ハウジング制御モジュール		1	5.00	5.00
レーザセンサー制御モジュール		1	5.00	5.00
<b>ミッション系 (2階層)</b>				
<b>70.00</b>				
安定化レーザ光源モジュール		1	15.00	15.00
電源・制御モジュール		1	5.00	5.00
信号処理モジュール		1	5.00	5.00
ドラッグフリー・スラスター制御モジュール		1	5.00	5.00
スラスターヘッド・制御モジュール (大2,小4)		1式	40.00	40.00
<b>ミッション機体系</b>				
<b>108.20</b>				
ミッション機体	M-STR	1式	38.57	38.57
ミッション部熱計装	M-TINT	1式	5.00	5.00
ミッション部電熱計装	M-EINT	1式	3.00	3.00
ミッション部陰熱計装	M-MINT	1式	0.00	0.00
ミッション部フィン	M-FIN±X	2	3.27	6.54
ミッション部フィン	M-FIN±Y	2	4.43	8.87
バランスウエイト		1式	48.22	48.22
<b>バスシステム</b>				
<b>衛星マネジメント系</b>				
<b>SMU</b>				
システムマネジメントユニット	SMU	1	2.00	2.00
テレメトリコマンドインタフェースモジュール	TCIM	1	2.14	2.14
スバースワイヤルータ	SWR1, SWR2	2	1.72	3.44
アーダレコーダ	DR	1	2.05	2.05
<b>測位系</b>				
<b>RF</b>				
Sバンドアンテナ(±X方向)	S-ANT1, S-ANT2	2	0.18	0.35
Sバンドアンテナ(±Z方向)	S-ANT3	1	0.18	0.18
Sバンドアイブレイクサ	S-DIP1, S-DIP2	2	0.41	0.82
Sバンドスイッチ	S-SW	1	0.10	0.10
Sバンドハイブリッド	S-HYB	1	0.05	0.05
Sバンドトランスポンダ	S-TRP-A, S-TRP-B	2	3.35	6.70

電源系	EPF				48.60
太陽電池パドル	SAP1, SAP2 (セル部)	1式	31.10	31.10	
	(セル部)		↑	↑	—
	(TCM)		↑	↑	—
パドル駆動モータ	SADM1, SADM2	0	0.00	0.00	
電力制御装置	PCU	1	5.00	5.00	
アレイパワーレギュレータ	APR	1	4.00	4.00	
SAPプロセッシングダイオード	SBD1, SBD2	2	0.40	0.80	
バッテリー(50Ah)	BAT (BAT_L)	1	25.70	25.70	
	(BAT_U)	1	↑	↑	—
<b>通信制御系</b>					
<b>ACDB</b>					
姿勢制御用計算機	ACCP-A, ACCP-B	2	2.00	4.00	
リアクションホイールアセンブリ	RWA1, RWA2, RWA3, RWA4	0	0.00	0.00	
燃気トルク	MTQ-X, MTQ-Y, MTQ-Z	0	0.00	0.00	
慣性センサ	ITT	1	3.28	3.28	
<b>電圧調整装置</b>					
<b>FOG (Rg)</b>					
相対湿度センサ	CSAS1, CSAS2	2	0.04	0.08	
サンプリゼンセンサ	SPSH1, SPSH2	0	—	—	
地磁気センサ	MAS	0	0.00	0.00	
AOCSインタフェースモジュールMTQ2AHM	ACMD2	0	0.00	0.00	
AOCSインタフェースモジュールRWA4Hdmsw11	ACSWH	0	0.00	0.00	
AOCSインタフェースモジュールSTTSOCERN	ACSTS	1	1.48	1.48	
AOCSインタフェースモジュールSACDWRITS	ACSDN	0	0.00	0.00	
AOCSインタフェースモジュールAnalogRNTS	ACANA	1	2.13	2.13	
AOCSインタフェースモジュールKUMPC	ACIRJ	1	2.80	2.80	
AOCSインタフェースモジュールVDRG/1A	ACMD1	1	2.50	2.50	
<b>推進系</b>					
<b>RCS</b>					
推進系	RCS	1式	14.2	14.20	
注排弁モジュール	RFV, QFD		↑	↑	
バルブモジュール	LAU, FLT, PBC		↑	↑	
推進タンク	TKM		↑	↑	
配管	PIPE		↑	↑	
配管ブラケット	—		↑	↑	
インキフェースコネクタブラケット	—		↑	↑	
4Nスラスターモジュール	4N-TRN	4	↑	↑	
<b>推進系</b>					
<b>16.00</b>					
推進		1	15.00	15.00	
<b>電気計測</b>					
<b>E-INT</b>					
<b>28.60</b>					
ハーネスおよび中継コネクタブラケット	HN	1式	28.00	28.00	
<b>観測機系</b>					
<b>TGS</b>					
<b>14.50</b>					
ヒータ制御装置	HCE	1	4.50	4.50	
熱計装	T-INT	1式	10.00	10.00	
<b>機体系</b>					
<b>STR</b>					
<b>60.80</b>					
機体	STR	1式	50.11	50.11	
機体計装(バランスウエイト含まず)	H-INT	1式	1.58	1.58	
機体計装(バランスウエイト)		1式	0.00	0.00	
<b>ミッション部合計</b>					
1 223.20 <b>223.20</b>					
<b>バス部合計 (DRY)</b>					
1 215.31 <b>215.31</b>					
<b>積算</b>					
1 15.00 <b>15.00</b>					
<b>バス部合計 (WET)</b>					
1 230.31 <b>230.31</b>					
<b>合計 (DRY)</b>					
1 438.51 <b>438.51</b>					
<b>合計 (WET)</b>					
1 453.51 <b>453.51</b>					

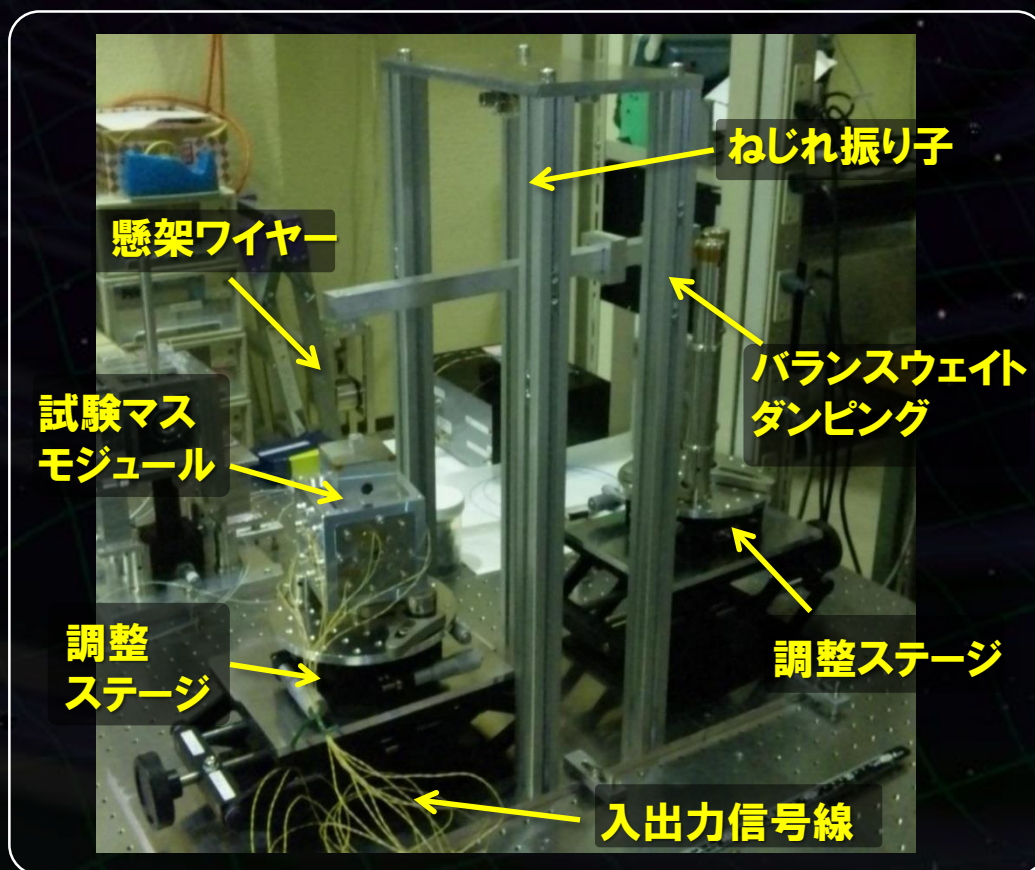
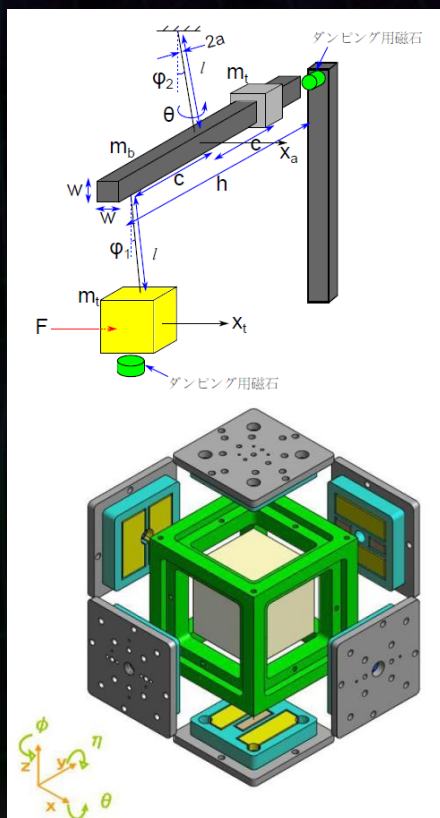
# DPF電力検討



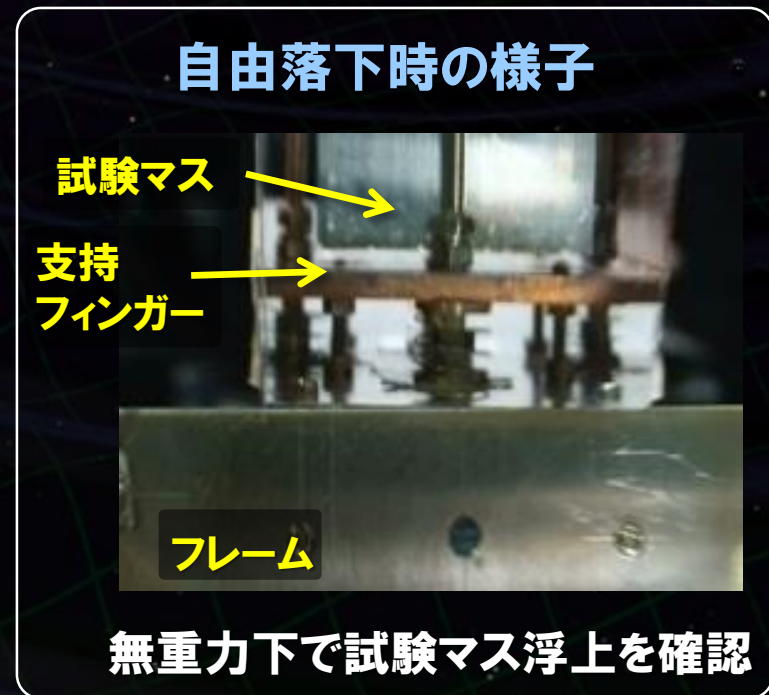
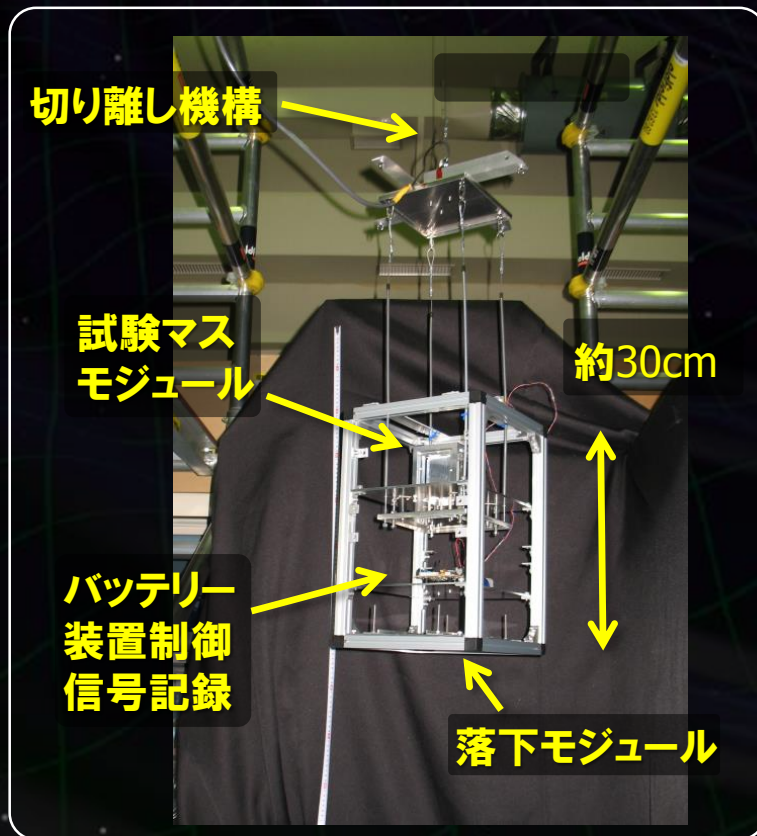
観測+地上伝送時 415W (ミッション部予備・ヒータ電力 50W)

DPF衛星 (2012.03.23)	略号	台数	消費電力[W]	モード別消費電力[W]				備考
				観測		観測+伝送(地上)		
				日照	日陰	日照	日陰	
<b>ミッション機器</b>								
100.0								
干渉計モジュール		1	3.0	3.0	3.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
干渉計制御モジュール		1	4.0	4.0	4.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
パワングレイン制御モジュール		1	10.0	10.0	10.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
レーザセンサ制御モジュール		1	3.0	3.0	3.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
安定化レーザ光源モジュール		1	23.0	23.0	23.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
電圧・励磁制御モジュール		1	10.0	10.0	10.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
標準処理モジュール		1	12.0	12.0	12.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
Fラッグアリア・スラスター制御モジュール		1	3.0	3.0	3.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
スラスター電力		1	20.0	20.0	20.0		20.12/01/20付け 伝送系モジュール消費	
(予備)		1	33.0	33.0	33.0		ミッション合計が150Wとなるように調整	
<b>システム</b>								
衛星システムソフトウェア								
システムマネジメントユニット	SMU	1	12.8	12.8	12.8		SPPRNT-Aベース	
データレコーダ	DR	1	13.9	13.9	13.9		SPPRNT-Aベース	
テレメトリコマンド・インタフェースモジュール	TCIM	1	14.0	14.0	14.0		SPPRNT-Aベース	
スペースワイヤルター	SWR	1	5.1	5.1	5.1		SPPRNT-Aベース	
<b>通信系</b>								
Sバンドトランスポンダ	S-TRP	1	13.0(待機)/30.4	13.0	30.4		SPPRNT-Aベース	
<b>電源系</b>								
EPS								
電力制御系	PCU	1	10.0	10.0	10.0		SPPRNT-Aベース	
アレイワイヤルレーザ	AWR	1	1.8(日陰時のみ)	1.8	0.0	1.8	0.0	SPPRNT-Aベース
<b>姿勢制御系</b>								
AOCS								
姿勢軌道計算機	AOCP	1	12.8	12.8	12.8		SPPRNT-Aベース	
姿勢制御コンピュータ	AOCC	△					消費/スズは24台で80W(一定回転時)	
慣性センサ	INS	△					消費/スズは24台で20W	
慣性センサ	SIT	1	7.2	7.2	7.2		SPPRNT-Aベース	
復元基準装置	IRU	3	2.2	8.8	8.8		*ICAROS搭載品(JAE製) *消費/スズは20W程度(MPC製TDG)	
AOCSインテグレーションモジュールFWA	AOCFW	△					消費/スズは14W	
AOCSインテグレーションモジュールAWG	AOCAWG	△					消費/スズは15W程度	
AOCSインテグレーションモジュールRCS	AOCDI	1	11.0	11.0	11.0		AGHARDベース(BTBYモード)	
AOCSインテグレーションモジュールSTT	AOCSST	1	7.0	7.0	7.0		SPPRNT-Aベース	
AOCSインテグレーションモジュールAnalog	AOCANL	1	10.0	10.0	10.0		SPPRNT-Aベース	
AOCSインテグレーションモジュールFRU	AOCFRU	1	20.0	20.0	20.0		SPPRNT-Aベースで9.5Wに60%程度の二次電源供給機能追加で約20Wと想定	
<b>熱制御系</b>								
TCS								
ヒータ制御装置	HCE	1	10.5	10.5	10.5		SPPRNT-Aベース	
ヒータ		1台	50.0	50.0	50.0		システム 動作要求実施のため詳細は不明、 未検討では衛星負電力の給電変化要因としての パラメータ扱いとした。	
衛星負電力合計(ノミナル)				355.4W	353.9W	372.8W	371.3W	
衛星負電力合計				355.4W	353.9W	372.8W	371.3W	
地上への電力伝送ロス				10.2W	2.9W	10.9W	3.2W	
APR受機ロス(日陰負荷分)				30.9W	0.0W	32.4W	0.0W	
日陰/日陰減損				396.5W	356.8W	418.1W	374.5W	

- 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)

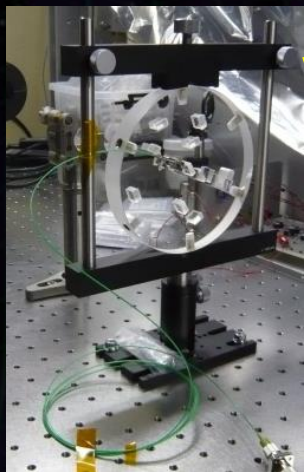


今後, 静電S/Aによる制御をめざす.

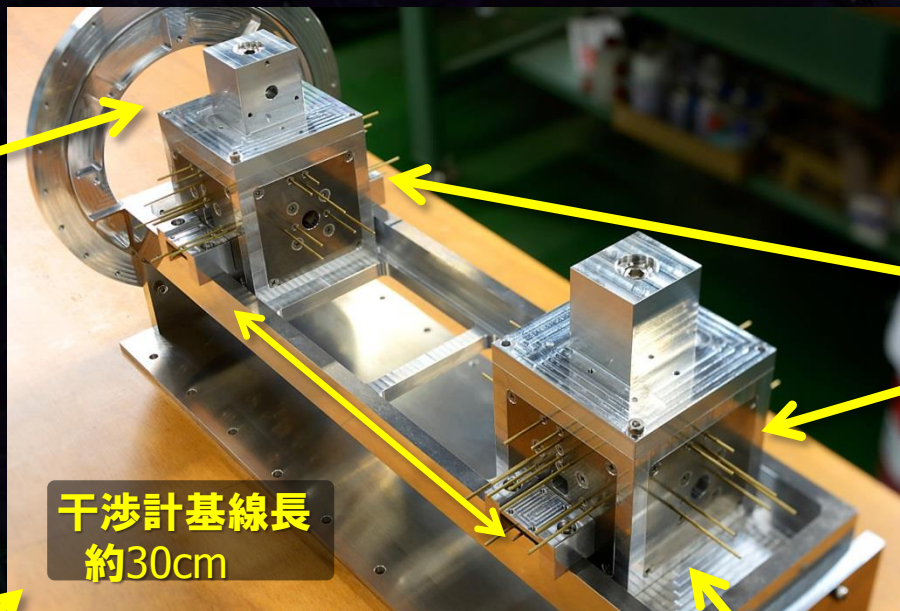
# 干渉計モジュールEM

## 入出射光学系

シリケートボンディングにより一体化



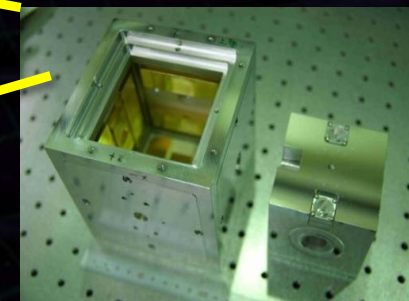
## 干渉計モジュール



干渉計基線長  
約30cm

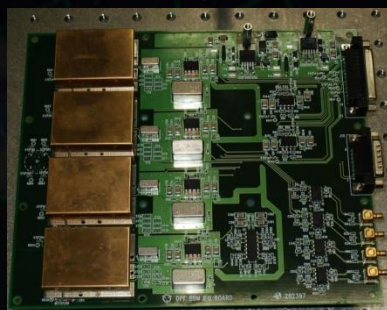
## 試験マスモジュール

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





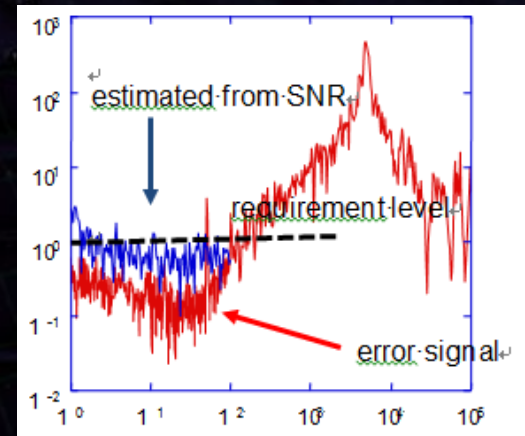
# 周波数安定化モジュール

## ・周波数安定化モジュールBBM1 (電通大)

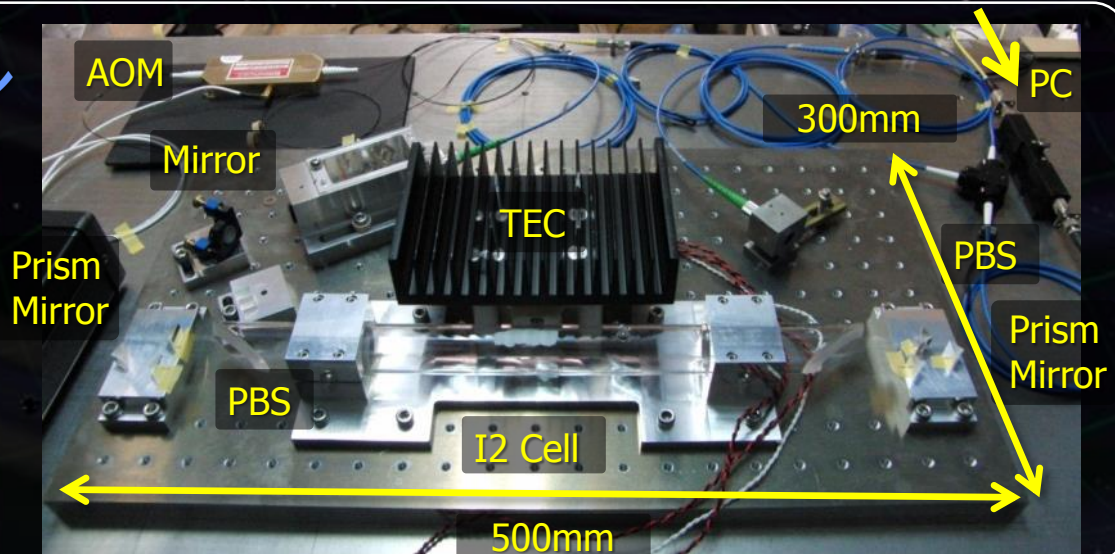
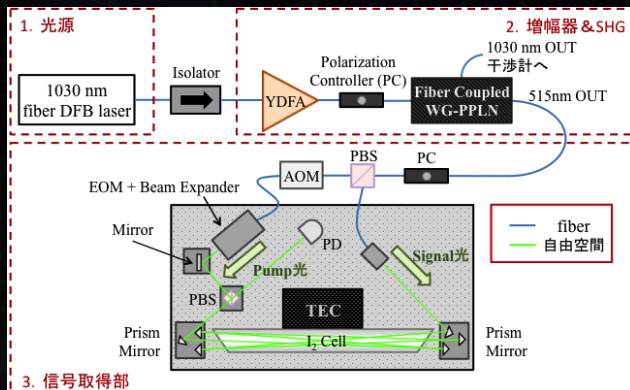
- ヨウ素セルを用いた周波数安定化.
- 安定度要求 ( $0.5 \text{ Hz}/\text{Hz}^{1/2}$ )を満たす.

## ・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

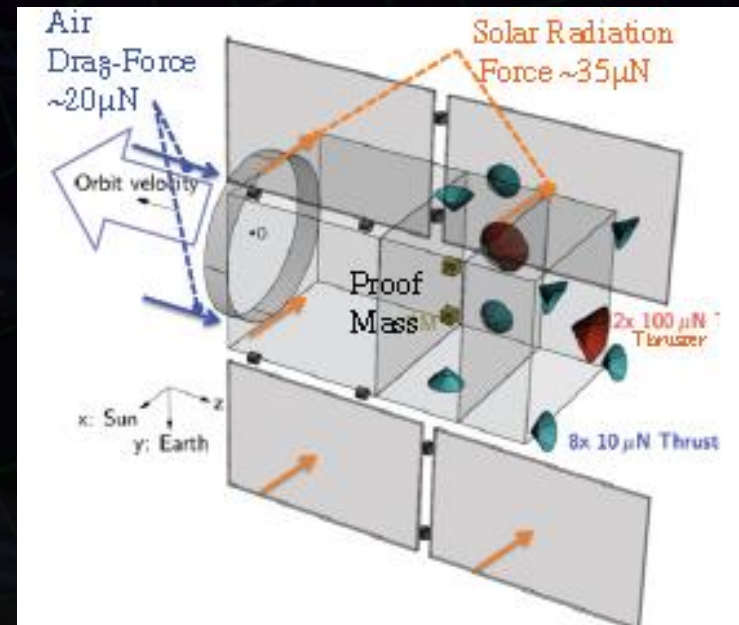


## ・ミッションスラスト構成

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

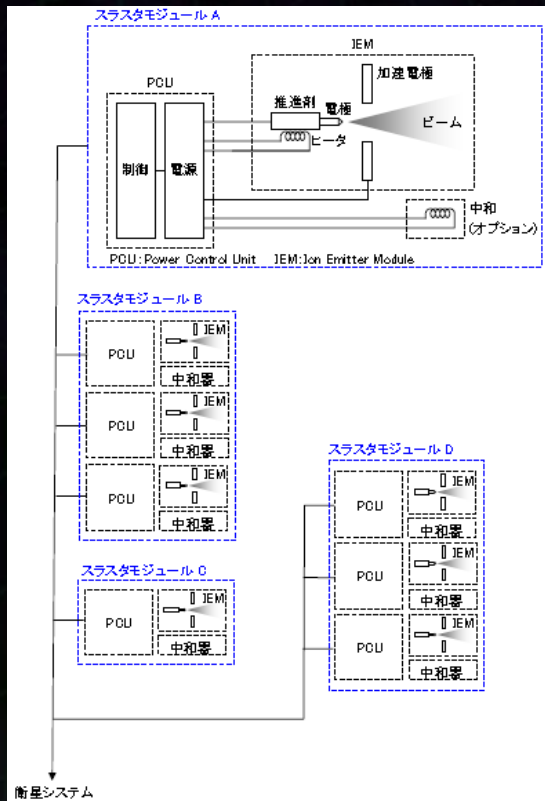
### ミッションスラスト仕様

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

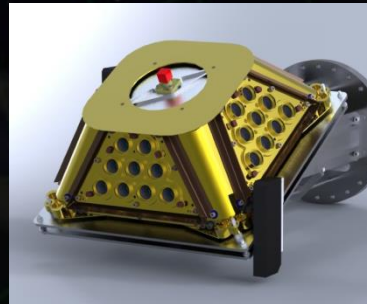


### AIT FEED (10 $\mu\text{N}$ )



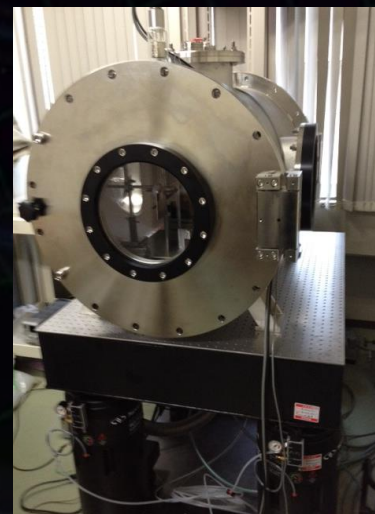
※ Flight Proven

### Cluster Type FEED (100 $\mu\text{N}$ )



### スラスタスタンド

微小推力雑音の測定装置。  
0.1 $\mu\text{N}$ の測定分解能を実現。



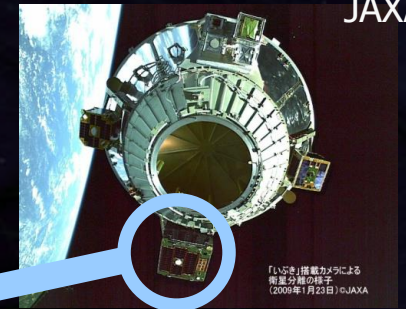
# SWIMによる宇宙実証

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

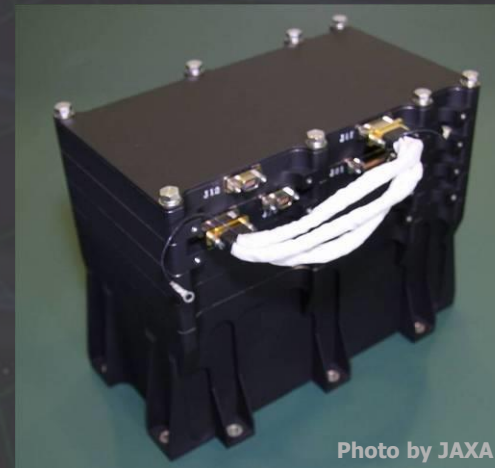


Photo by JAXA

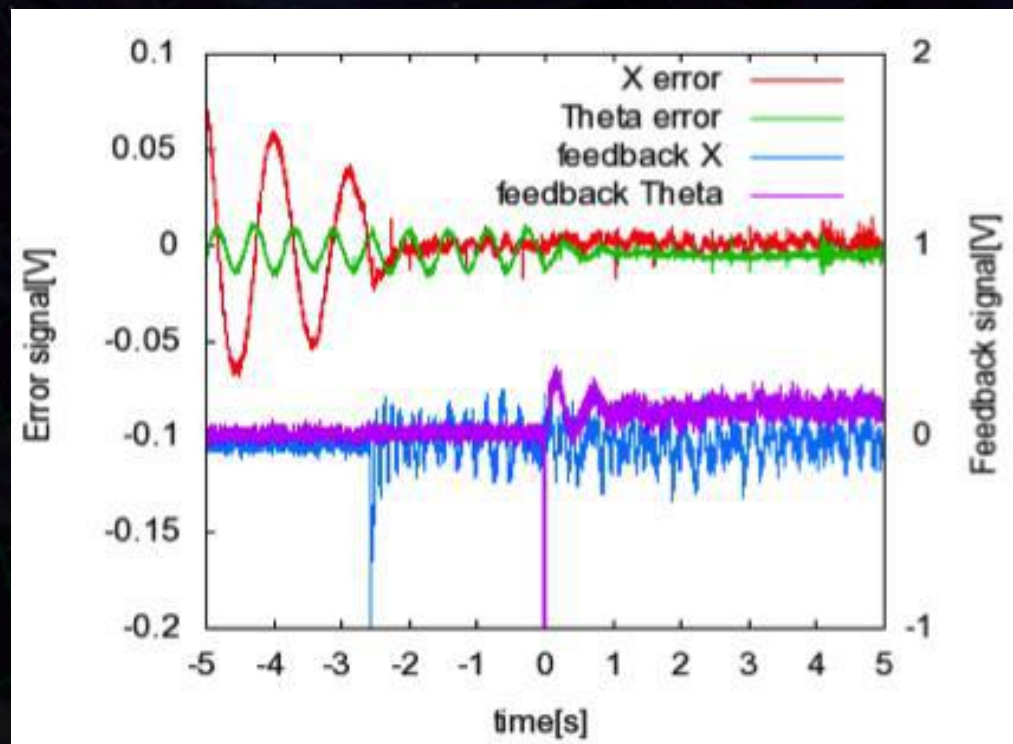
SDS-1  
Bus System

Power +28V  
RS422 for CMD/TLM  
GPS signal

Power ±15V, +5V  
SpW x2 for CMD/TLM

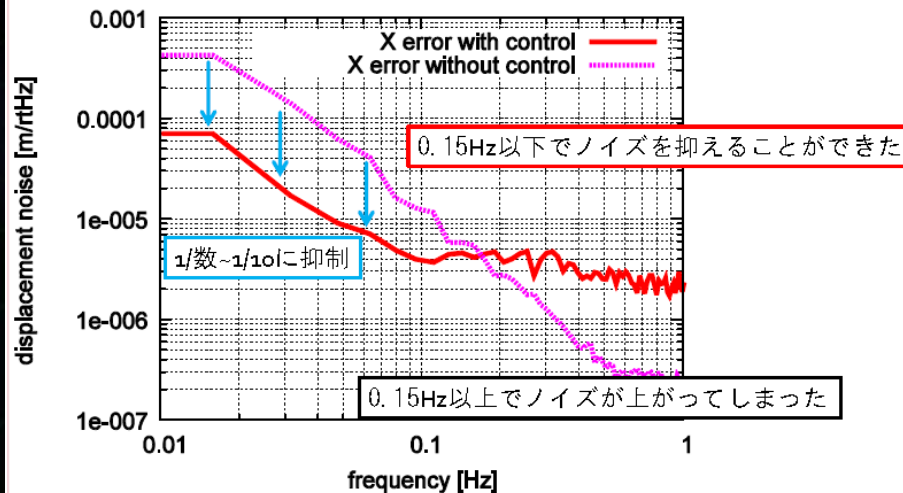
## ・試験マスモジュール2自由度制御実験

- 試験マスの並進・回転の2自由度制御を実現.
- 0.1Hzでの残留変動  
並進  $3 \times 10^{-5} \text{ m/Hz}^{1/2}$ ,  
回転  $10^{-4} \text{ rad/Hz}^{1/2}$ .

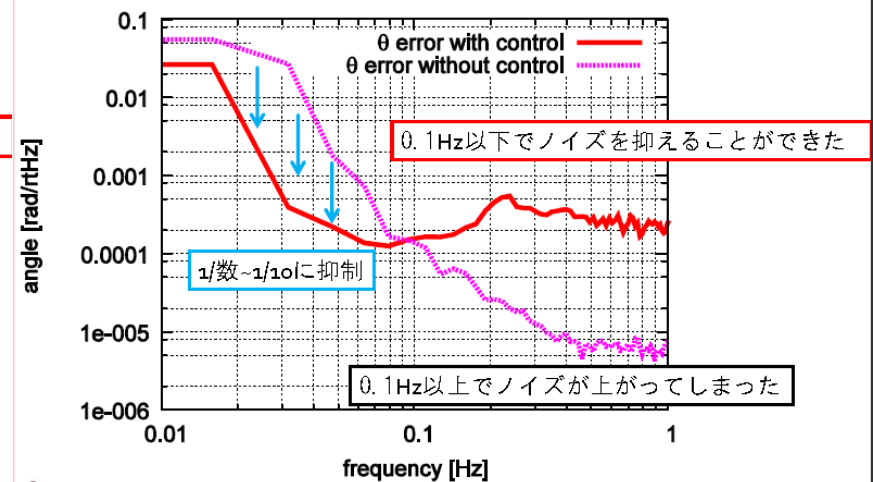


## ・試験マスモジュール2自由度制御実験 (~2012, NAOJ)

### 制御結果(並進)



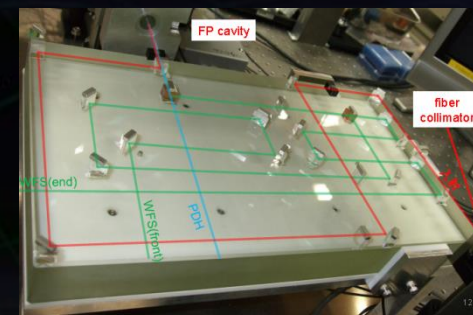
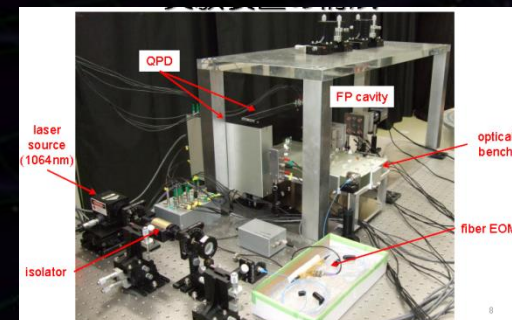
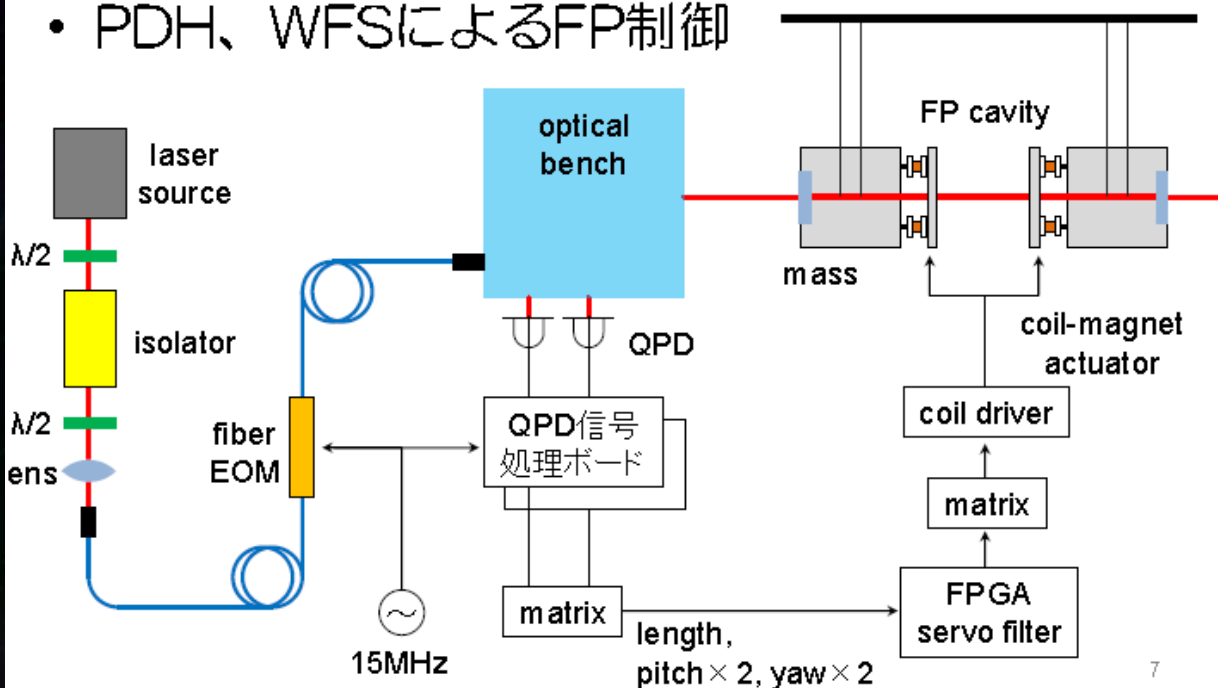
### 制御結果(回転)



## 干渉計BBM 制御実験 (～2011, 東京大学)

- 試験マスをワイヤーで懸架, アクチュエータは簡略化.
- 入出射用のモノリシック光学系BBM.
- QPD BBM + デジタルボードBBM による制御.

### • PDH、WFSによるFP制御



## 干渉計基線長, 角度変動の安定制御を実証

