

# 小型重力波観測衛星DPF



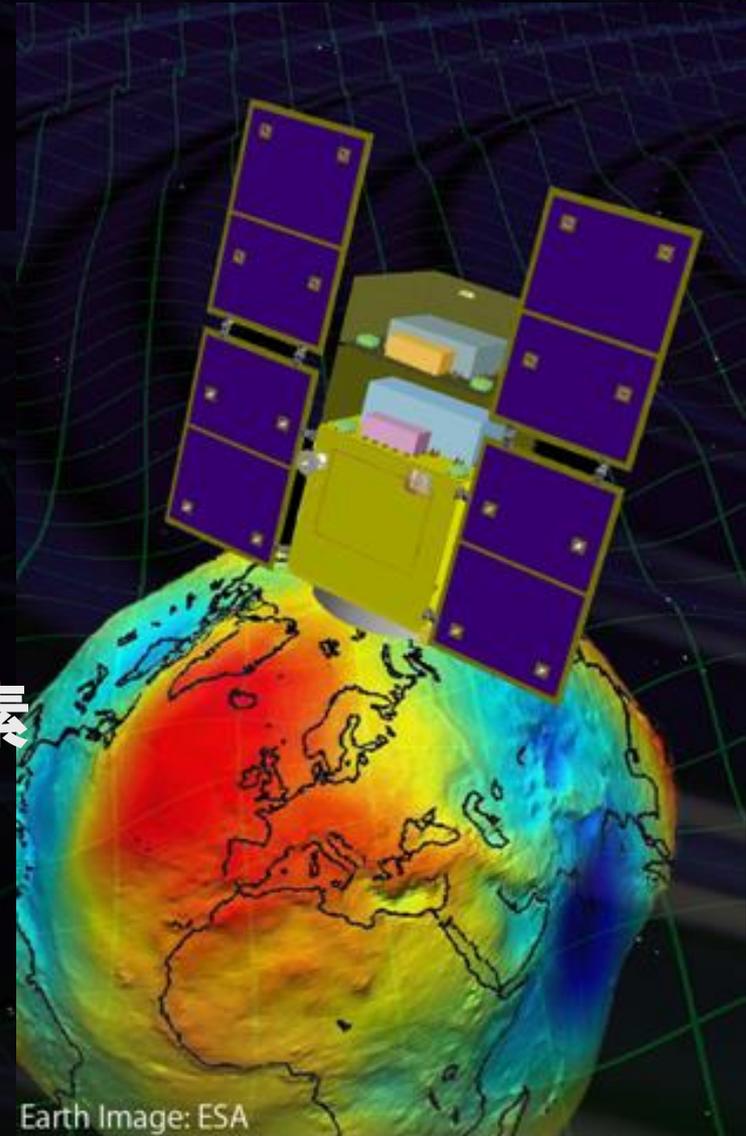
Original  
Picture : Sora

安東 正樹 (東京大学)

DECIGO/DPF collaboration

Earth Image: ESA

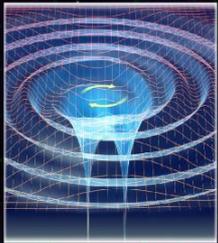
1. 提案するミッションの科学目的
2. コミュニティの中での位置づけ
3. ミッション要求, システム要求
4. 実現にクリティカルな要素
5. 提案までに解決すべき開発要素
6. 本経費での開発内容



# 1. 科学的目的

## 宇宙・地球の観測

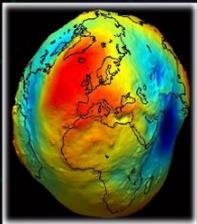
### 重力波観測



銀河中心付近の中間質量ブラックホールの合体现象を観測。

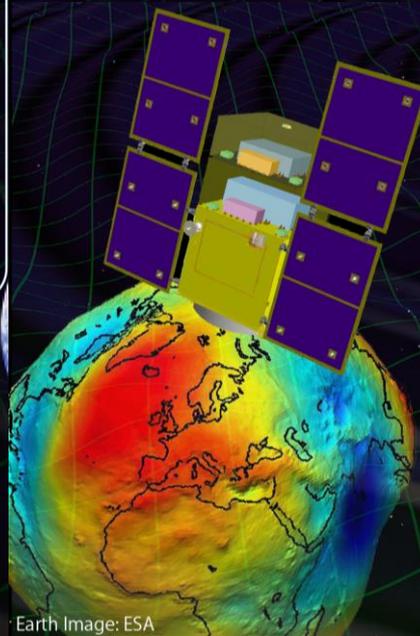
⇒ 銀河形成への知見

### 地球重力場観測



1mm程度のジオイド高分解能での地球重力場観測。

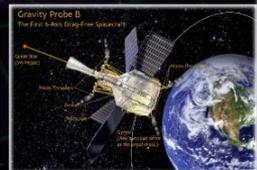
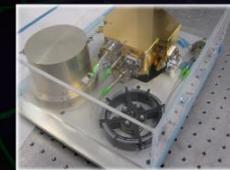
⇒ 地球環境モニタ



## 先端科学技術の確立

### 無重力精密実験プラットフォーム

- ・干渉計による精密変動計測
- ・安定化レーザー光源の実現
- ・ドラッグフリーによる低振動環境



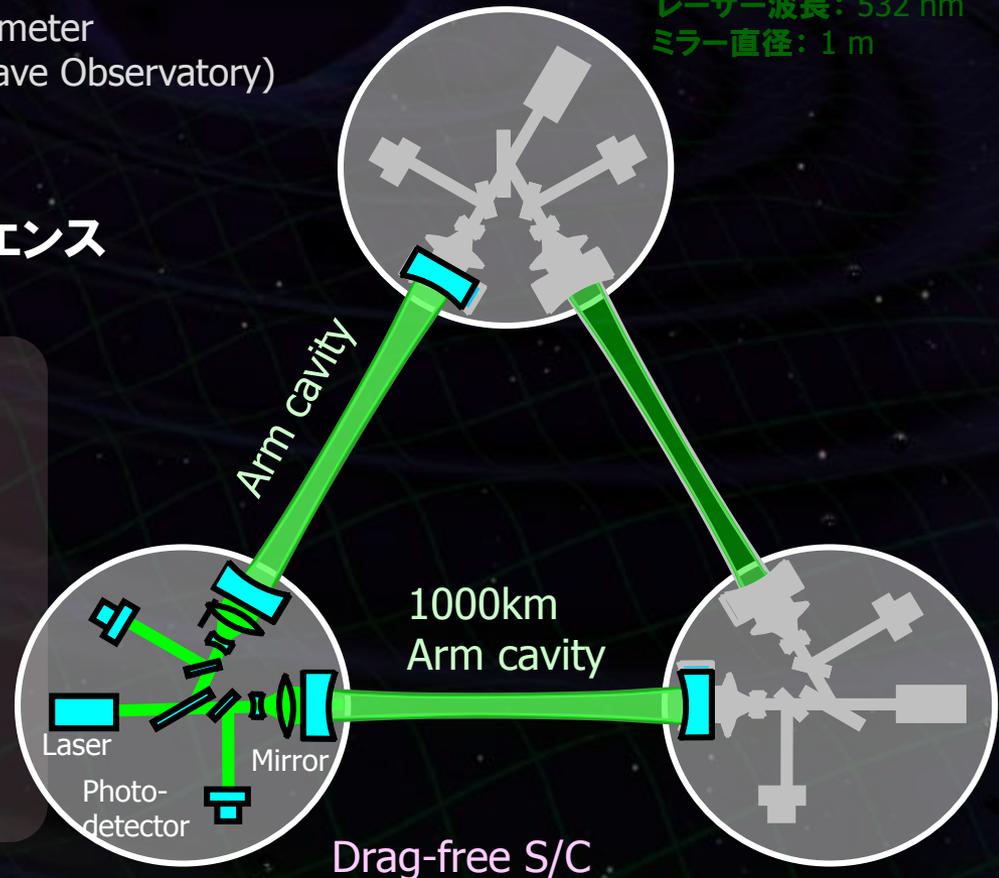
⇒ 宇宙環境利用の新しい可能性

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

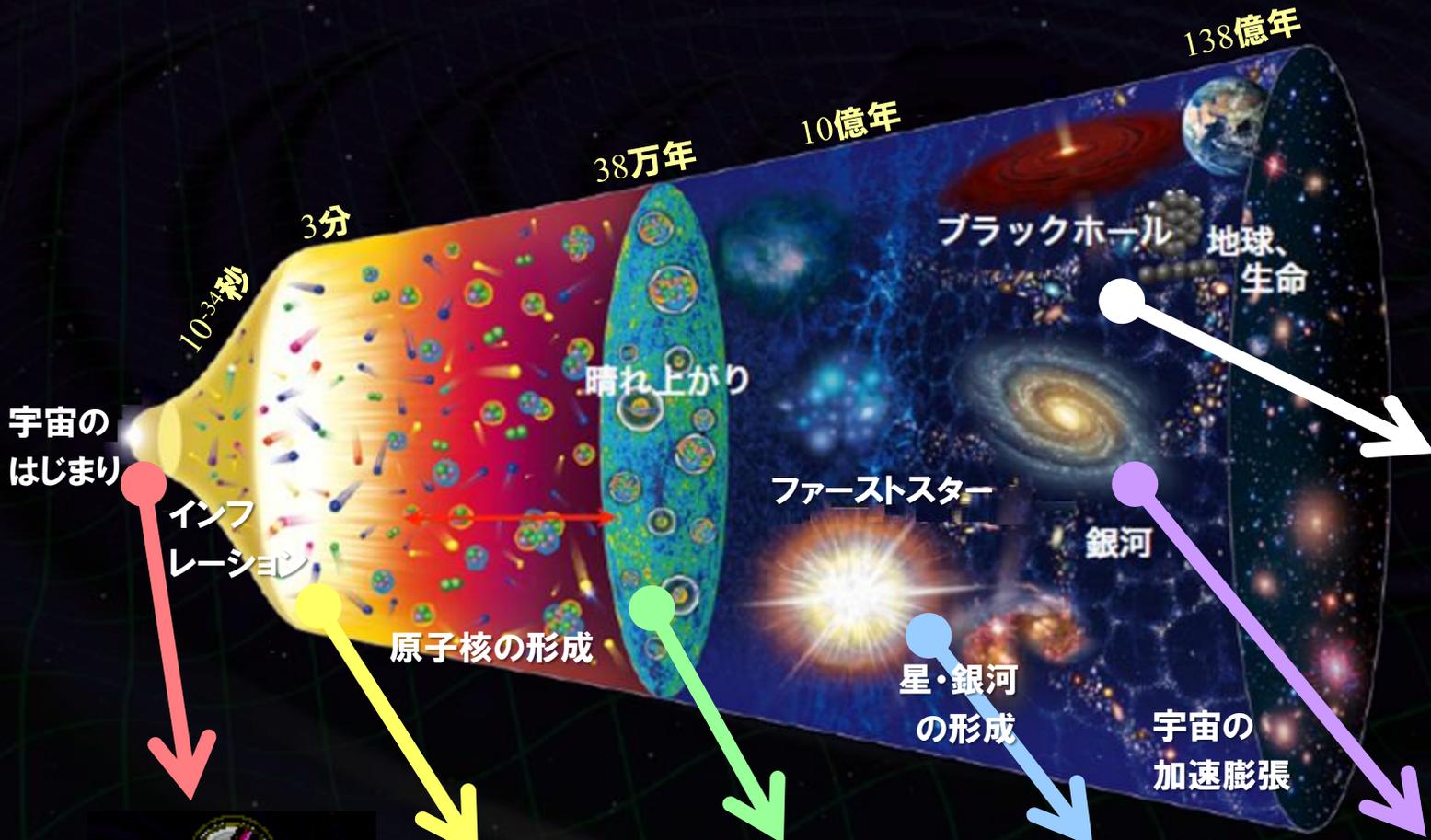


互いに1000km離れた3機のS/C  
非接触保持された鏡間距離を  
レーザー干渉計によって精密測距

太陽公転軌道  
最大4ユニットで相関をとる

# 宇宙の誕生と進化

DECTGO



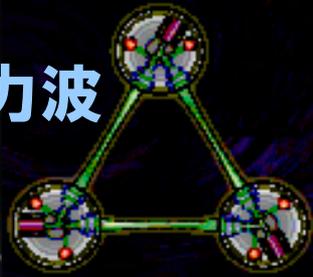
高エネルギー  
宇宙線



X線



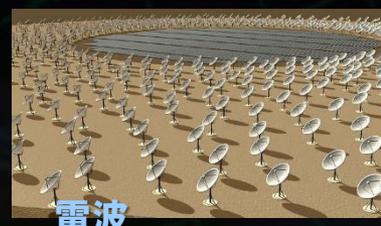
重力波



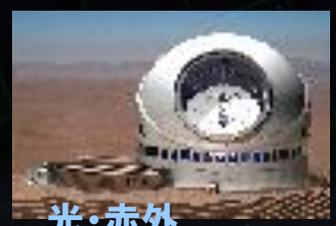
ニュートリノ



マイクロ波



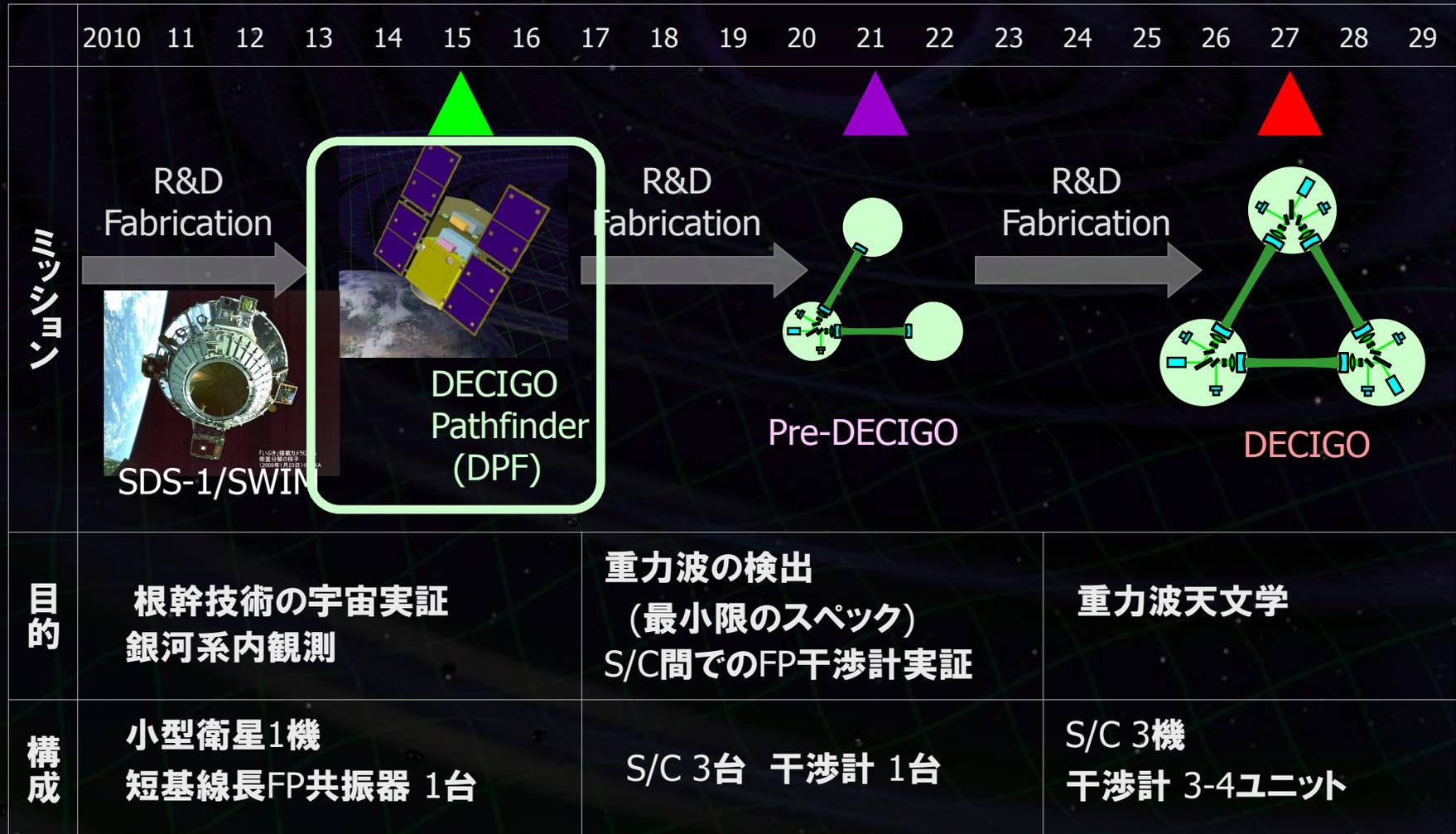
電波



光・赤外

# DECIGOのロードマップ

Figure: S.Kawamura



## DECIGOパスファインダー (DPF)

DECIGOのための最初の前哨衛星

DECIGO : 基線長 1000kmの編隊飛行

→ DPF 1機の衛星 (基線長30cm干渉計)

400kg級 小型衛星

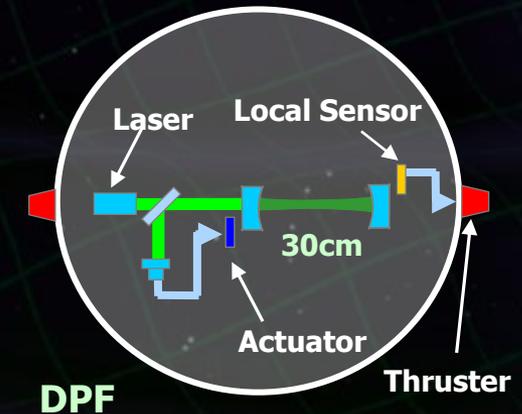
地球周回軌道 (高度 500km)



## DECIGOの主要技術の宇宙実証

レーザー干渉計, 安定化レーザー光源,

ドラッグフリーシステム、データ取得と解析



# DECIGOのための根幹技術実証



## DPFで実証される技術

## DECIGOで必要 とされる主要技術

FP干渉計の  
動作実証



$6 \times 10^{-16} \text{ m/Hz}^{1/2}$   
の変位感度

$10^{-15} \text{ N/Hz}^{1/2}$   
の外力雑音

$4 \times 10^{-18} \text{ m/Hz}^{1/2}$   
の変位感度

$10^{-17} \text{ N/Hz}^{1/2}$   
の外力雑音

基線長1000kmのFP干渉計  
宇宙における干渉計制御  
試験マスに対する外乱抑圧  
大型光学系の製作・制御

安定化レーザー  
光源の動作実証

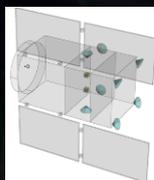


$0.5 \text{ Hz/Hz}^{1/2}$   
の周波数安定度

$0.5 \text{ Hz/Hz}^{1/2}$   
の周波数安定度

安定化レーザー光源による精密計測  
光源の周波数・強度安定化  
長基線長を利用した安定化制御

ドラッグフリー  
制御の実現

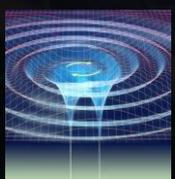


衛星変動安定度  
 $10^{-9} \text{ m/Hz}^{1/2}$

スラスト雑音  
 $10^{-7} \text{ N/Hz}^{1/2}$

フォーメーションフライト  
安定な軌道の実現  
宇宙機間の距離制御  
ドラッグフリー制御  
低雑音スラスト

重力・  
重力波の観測



0.1 Hz以下での連続  
観測とデータ解析

観測運用  
時系列連続データの処理  
データの解析  
理論予測・他の観測との比較

## 重力波により宇宙を見る

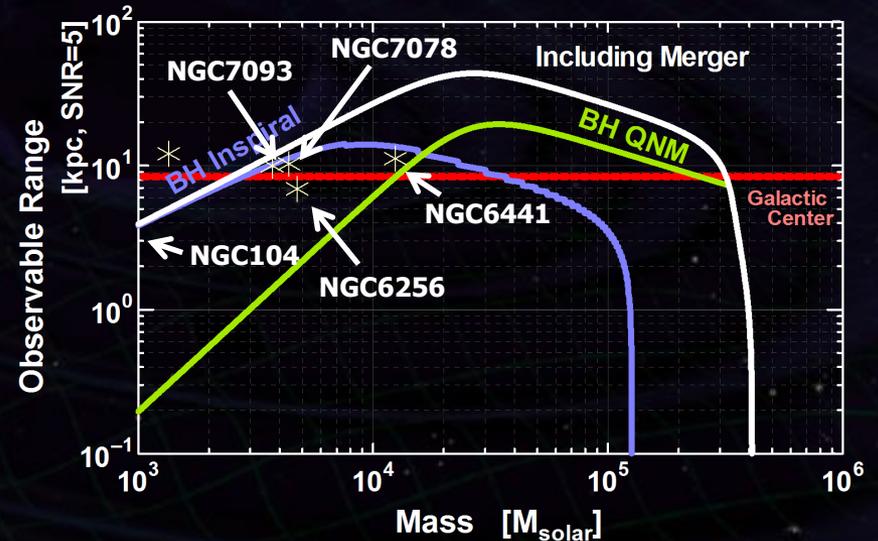
銀河系内のBH連星合体

→ 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

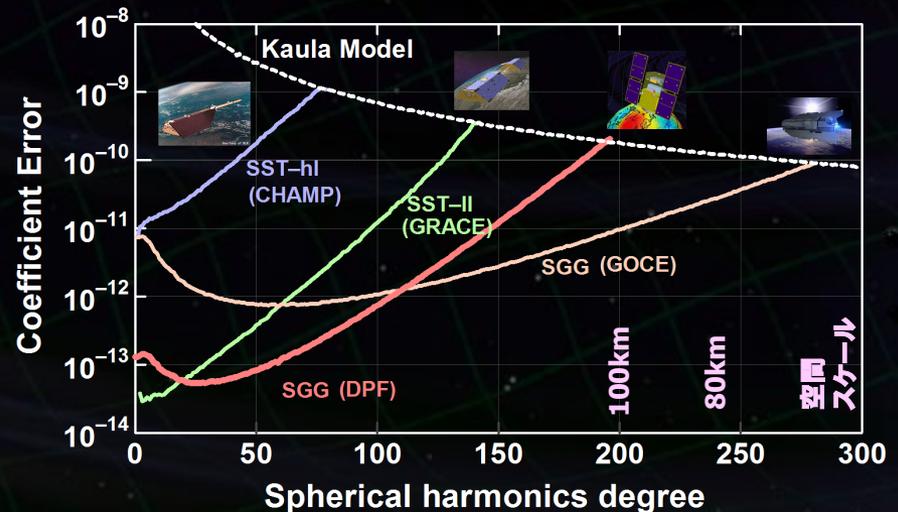
→ 地球形状・地球環境モニタ

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**



## 2. コミュニティの中での位置づけ

# KAGRA と DECIGO



## 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

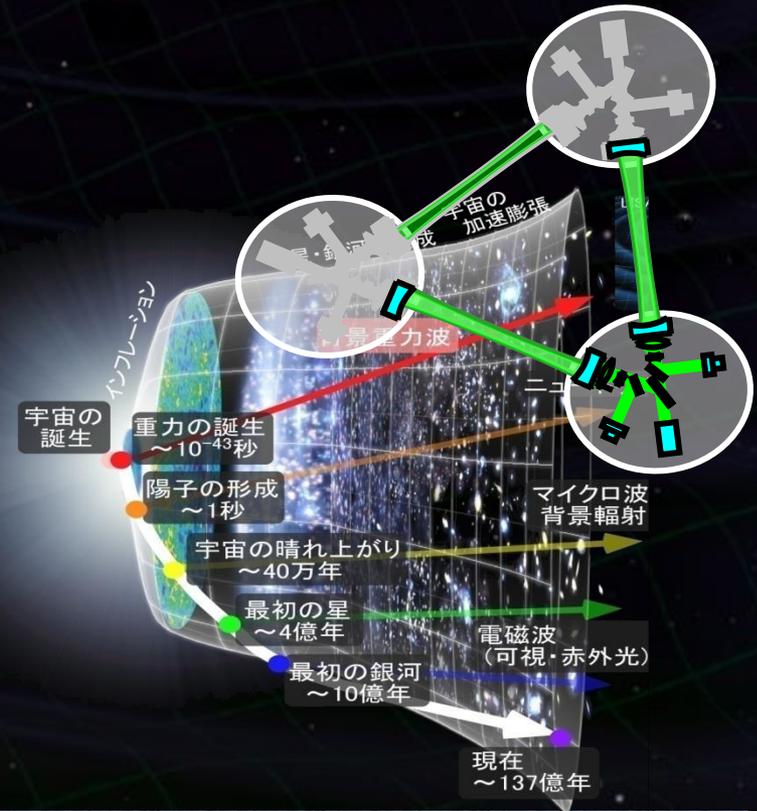


## DECIGO (~2027)

Space observatory

→ 低周波数の重力波

目標: 重力波天文学の展開



- JGWC (Japan Gravitational-Wave Community)での合意:  
「重力波グループとしてはKAGRAを最優先するが、DECIGOは次のプロジェクトとして重要」
- DECIGOとKAGRAとは独立. これは光赤外天文学と電波天文学が組織も違い、将来計画も独立にやっているのに対応.
- 背景重力波観測では、周波数帯が宇宙進化の各時期に対応.  
地上 100Hz, DECIGO 0.1Hz, LISA 1mHz,  
PTA 10nHz, CMB  $10^{-15}$  Hz.  
→ スペクトルを知ることによって宇宙進化の情報が得られる.

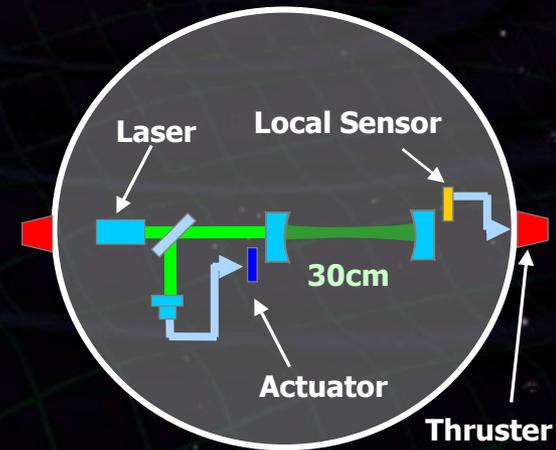
### 3. ミッション要求, システム要求

## ・重力波・地球重力場の観測

→ 歪み感度要求値  $2 \times 10^{-15} \text{ Hz}^{-1/2}$  (0.1 Hz)

### 搭載ミッション機器

- 2つの試験マスからなる,  
基線長30cmレーザー干渉計.
- 安定化レーザー光源.
- ドラッグフリー制御.



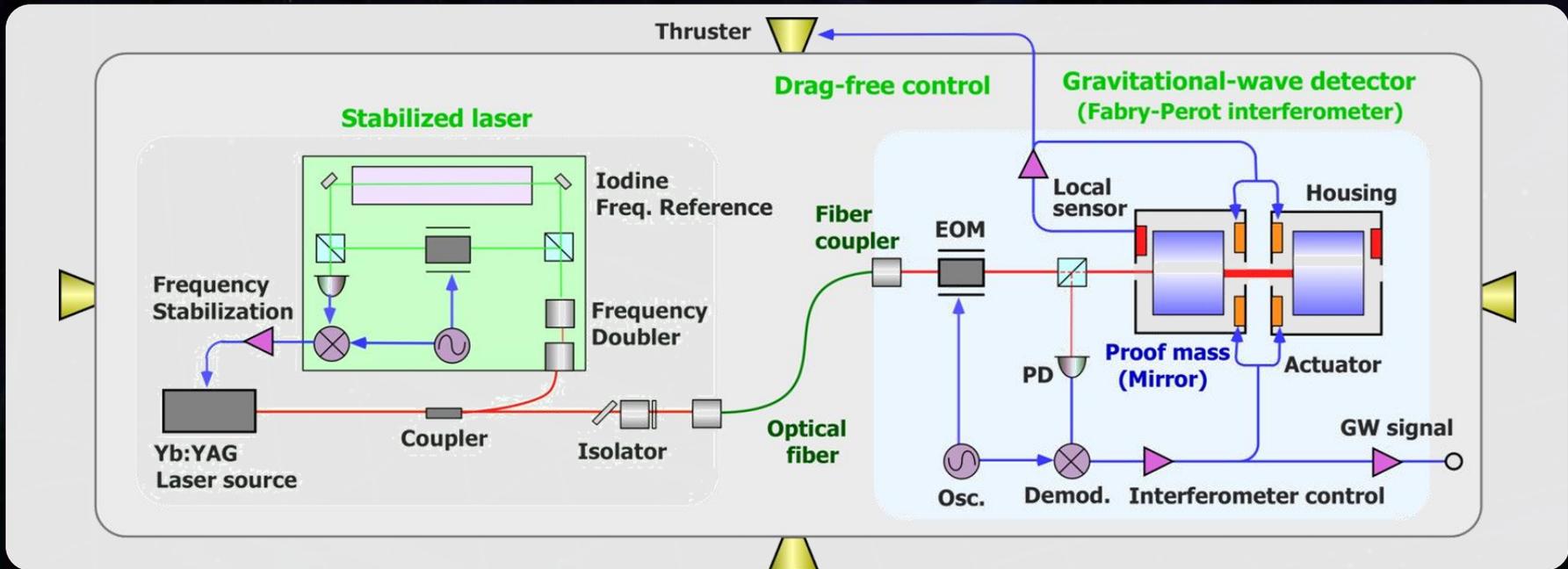
### 重力勾配計：試験マス間の距離変動を精密計測

- 干渉計による測距感度  $6 \times 10^{-16} \text{ m/Hz}^{1/2}$  (0.1 Hz)
- 試験マスに働く外力雑音  $1 \times 10^{-14} \text{ N/Hz}^{1/2}$  (0.1 Hz)

# 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



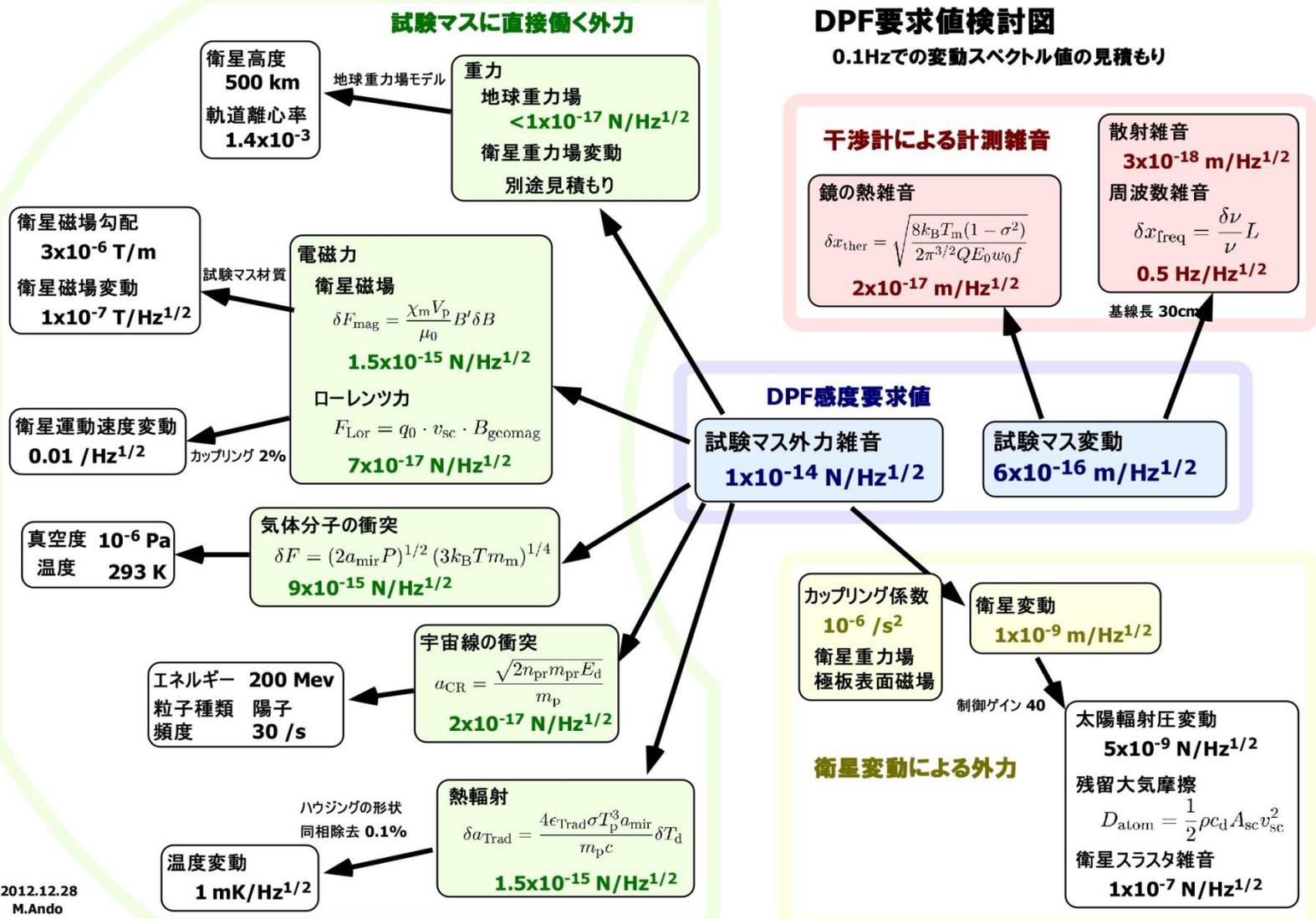
**安定化レーザー光源**  
Yb:YAGレーザー  
出力 25mW  
ヨウ素飽和吸収による  
周波数安定化

**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システム要求値

## DPF要求値検討図

0.1Hzでの変動スペクトル値の見積もり



2012.12.28  
M.Ando

# DPF主要緒元 (1/2)

## 全体構成

質量・寸法	450kg, 950 x 950 x 2000 mm
軌道	高度500 km 太陽同期極軌道 (全日照軌道)
姿勢	太陽同期, 地球指向姿勢

## ミッション部

質量・寸法	220kg, 950 x 950 x 900 mm (フィン構造除く)
消費電力	150 W
レーザー干渉計	基線長30cm, 2-3kg試験マス x2, 変位感度 $6 \times 10^{-16}$ m/Hz <sup>1/2</sup>
レーザー光源	干渉計入力 25 mW, 波長 1060 nm ヨウ素飽和吸収線による安定化 周波数安定度 0.5 Hz/Hz <sup>1/2</sup>
スラスタ	100 $\mu$ N x 2台, 10 $\mu$ N x 8台 推力雑音 0.1 $\mu$ N/Hz <sup>1/2</sup>
ドラッグフリー	全自由度の制御, 変動安定度 $10^{-9}$ m/Hz <sup>1/2</sup>
データレート	800 kbps, 観測データ量 圧縮後 600 MByte/day

## バス部

質量・寸法	230kg, 950 x 950 x 1100 mm
データ処理・通信	SpW準拠信号処理システム 記録容量 2 GByte, ダウンリンクレート 2 Mbps
電源	SAP 片翼 2枚, 発生電力 820W (22度傾斜) バッテリー 50Ah, ミッション供給 150W
姿勢	3軸制御 (初期軌道捕捉, ファイルセーフ時) スラスタ 4本搭載

### ※ 標準バス構成からの差分・要検討事項

- 低擾乱化 (RW非搭載, ジャイロはFOGに変更)
- SAP取り付けの変更 (受動姿勢安定のため)
- GPS受信機搭載 (地球重力場観測のため)
- 主放熱面の変更 (+Y面)
- 重量バランス, SAP等の共振振動 (ドラッグフリー制御系設計)
- 姿勢情報等の伝達 (ドラッグフリー制御の実装)

# 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	単体質量 (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>46.00</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>106.20</b>				
ミッション機体	M-STR	1式	36.57	36.57
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	46.22	46.22
<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

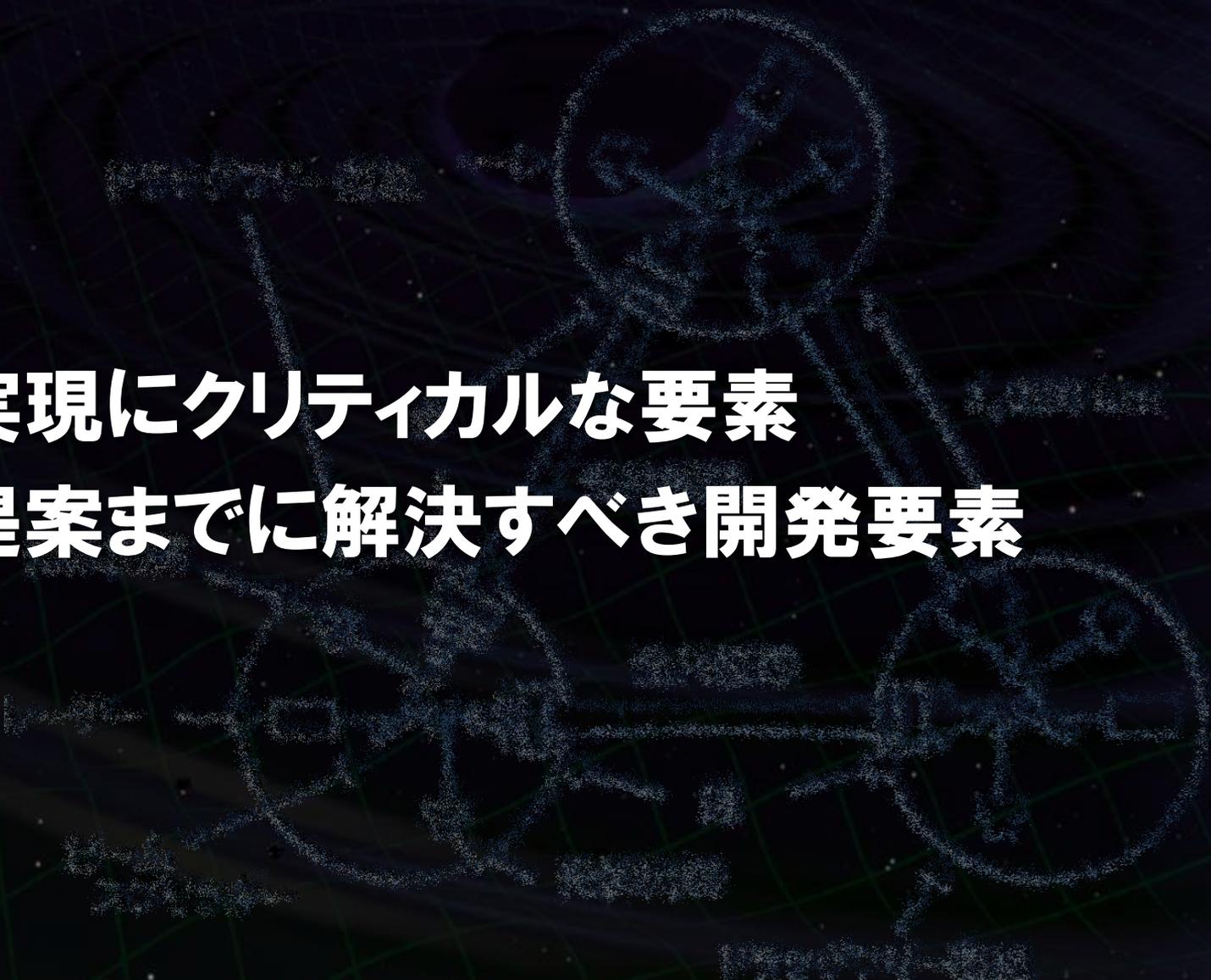
電源系	EPF				46.60
太陽電池パドル	SAP1, SAP2 (各1組)	1式	31.10	31.10	
	(セル部)		↑	↑	—
	(TCM)		↑	↑	—
パドル駆動モータ	SADM1, SADM2	0	0.00	0.00	
電力制御装置	PCU	1	5.00	5.00	
アレイパワーレギュレータ	APR	1	4.00	4.00	
SAPプロセッシングダイオード	SBD1, SBD2	2	0.40	0.80	
バッテリー(50Ah)	BAT (BAT_L)	1	25.70	25.70	
	(BAT_U)	1	↑	↑	—
<b>通信装置制御系</b>					
<b>ACDB</b>					
空振り制御計算機	ACCP-A, ACCP-B	2	2.00	4.00	
リアクティブホールドアセンブリ	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	
傾斜センサ	STT	1	3.28	3.28	
<b>電圧監視装置</b>					
<b>FOG (Rd)</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	
ACCSインタフェースモジュールMTQ2AFM	ACMD2	0	0.00	0.00	
ACCSインタフェースモジュールRWA4Holdsww11	ACSWH	0	0.00	0.00	
ACCSインタフェースモジュールSTTSOCERN	ACSTS	1	1.48	1.48	
ACCSインタフェースモジュールSACDRWITS	ACSDN	0	0.00	0.00	
ACCSインタフェースモジュールAnalogRNTS	ACANA	1	2.13	2.13	
ACCSインタフェースモジュールKUMPC	ACIRJ	1	2.80	2.80	
ACCS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, PFC		↑	↑	
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>測系</b>					
<b>16.00</b>					
測系		1	15.00	15.00	
<b>電気計装</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	26.00	26.00	
<b>制御機系</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>					
<b>223.20</b>					
<b>バス部合計 (DRY)</b>					
<b>215.31</b>					
<b>215.31</b>					
<b>機系</b>					
<b>15.00</b>					
<b>16.00</b>					
<b>バス部合計 (WET)</b>					
<b>230.31</b>					
<b>230.31</b>					
<b>合計 (DRY)</b>					
<b>438.51</b>					
<b>438.51</b>					
<b>合計 (WET)</b>					
<b>453.51</b>					
<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>								
199.0								
干渉計モジュール		1	3.0	3.0	3.0		20.12/01/20付け 伝送先モジュール積算	
干渉計制御モジュール		1	4.0	4.0	4.0		20.12/01/20付け 伝送先モジュール積算	
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 伝送先モジュール積算	
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 伝送先モジュール積算	
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 伝送先モジュール積算	
電圧・励磁制御モジュール		1	10.0	10.0	10.0		20.12/01/20付け 伝送先モジュール積算	
標準処理モジュール		1	12.0	12.0	12.0		20.12/01/20付け 伝送先モジュール積算	
Fラッグアリアー・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 伝送先モジュール積算	
スラスター電力		1	20.0	20.0	20.0		20.12/01/20付け 伝送先モジュール積算	
(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		SPFRNT-Aベース	
データレコーダ	DR	1	13.9	13.9	13.9		SPFRNT-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		SPFRNT-Aベース	
スペースワイヤルター	SWR	1	5.1	5.1	5.1		SPFRNT-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		SPFRNT-Aベース	
<b>電源系</b>								
EPS								
電力制御系	PCU	1	10.0	10.0	10.0		SPFRNT-Aベース	
アレイパワーレギュレータ	APR	1	1.8(日陰時のみ)	1.8	0.0	1.8	0.0	SPFRNT-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		SPFRNT-Aベース	
姿勢制御モジュール	SMR	△					標準) スピードは4台で80W(一定回転時)	
慣性センサ	INT	1	7.2	7.2	7.2		標準) スピードは3台 24Wで80W	
慣性基準装置	IRU	3	2.2	8.8	8.8		*ICAROS搭載品(JAE製) *標準) スピードは20W程度(MPC製TDG)	
AOCSインテグレーションモジュールFWA	AOCFW	△					標準) スピードは14W	
AOCSインテグレーションモジュールAWG	AOCAWG	△					標準) スピードは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		SPFRNT-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		SPFRNT-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		SPFRNT-Aベースで9.5Wに60%程度の二次電源供給機能追加で計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		SPFRNT-Aベース	
ヒータ		1区	30.0	30.0	30.0		システム 動作要求実施のため詳細は不明、未検討では衛星負荷電力の給電変化要因としてのパラメータ概した。	
衛星負荷電力合計(ノミナル)				355.4 W	353.9 W	372.8 W	371.3 W	
衛星負荷電力合計				355.4 W	353.9 W	372.8 W	371.3 W	
衛星への電力伝送ロス				10.2 W	2.9 W	10.9 W	3.2 W	
APR受機ロス(日陰負荷分)				30.9 W	0.0 W	32.4 W	0.0 W	
日陰/日陰減量				396.5 W	356.8 W	418.1 W	374.5 W	

- 
4. 実現にクリティカルな要素
  5. 提案までに解決すべき開発要素

## ・衛星システム

- ドラッグフリーシステム検討.

信号処理: バス部とミッション部の情報伝達部の検討.

衛星構造: 衛星構造と制御則の検討.

- ミッション寿命・運用期間, リソース配分

地球重力場観測には、1年以上の運用期間が重要.

## ・搭載機器

- 干渉計・試験マスモジュール.

外乱抑圧 (残留気体雑音, 磁場雑音, 熱輻射雑音).

- 安定化レーザー光源.

安定度評価, 環境試験 (振動、温度変動、放射線).

- スラスタ

推力雑音評価, リソース配分.

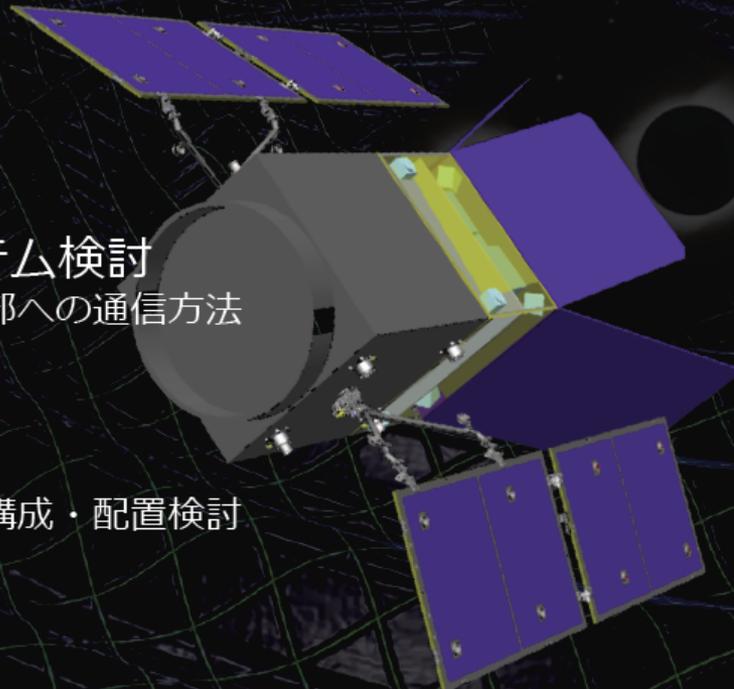
- **コスト評価**：リスク・成果との兼ね合いの再検討.
- **人員体制**：宇宙ミッションに対する経験の豊富な人材。  
JAXA内での位置づけ.
- **試験計画**
  - 衛星のドラッグフリーシステムの地上試験計画.
  - 干渉計・試験マスモジュールの無重力実証試験.
- **運用計画**
  - 運用期間 (搭載寿命, スラスタ推薬, 運用経費).
  - 打ち上げ時期 (他の衛星重力ミッション, 太陽活動).

## 6. 本経費での開発内容

# 本経費での開発内容

- 干渉計・試験マス(720 万円)
  - 干渉計モジュール(BBM) の熱構造設計費用(300 万),
  - 干渉計モジュール(BBM)の環境試験費用(200 万)
  - 試験マス素材開発費用(100 万)
  - ローンチロック機構試験(120 万)
- 安定化レーザー光源(450 万円)
  - 安定度評価用光源(300 万円), BBM 製作(100 万円)
- スラスト・ドラッグフリー制御(200 万円)
  - スラストシステム検討(50 万円)
  - FEED スラスト開発・試験(150 万円)
- 衛星システム検討(700 万円)
  - ミッションシステム検討(450 万円)
  - 微小重力・信号処理系試験(200 万円), その他 (50 万円)

# DPFシステム概念検討（これまで）



## ● 熱設計検討

- 熱的要求条件
- 設計方針
- 排熱検討

## ● SpW信号処理系システム検討

- バス部からミッション部への通信方法

## ● 受動安定姿勢の検討

- 日照時安定姿勢の改善
- ミッションスラスタの構成・配置検討

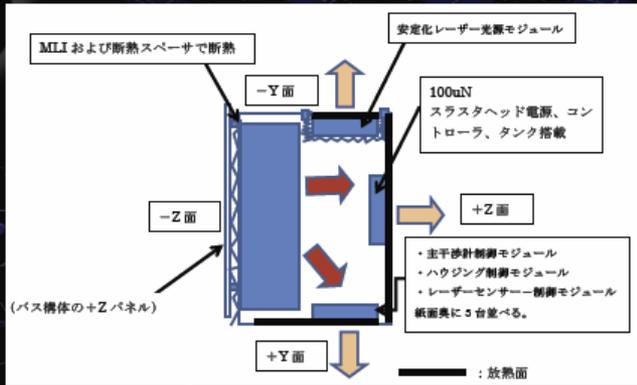
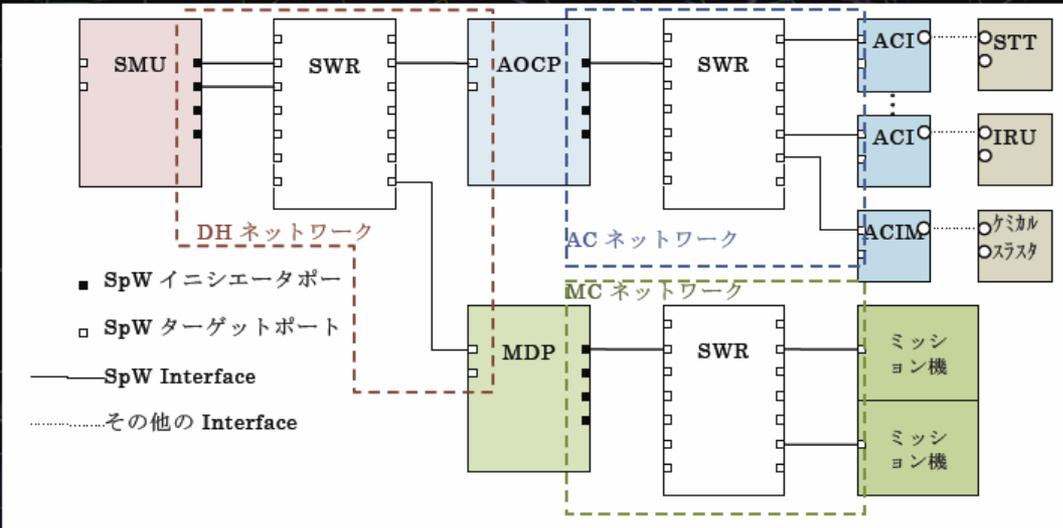


表 2-3 バス機器許容温度および発生熱量

搭載パネル	機器名称	動作時許容温度	発熱(定常観測+伝送)	備考
+X 独立熱制御	BAT-L	20 ~ 30	-	-
	BAT-H	20 ~ 30	-	-
-X	SWR2	-25 ~ 50	10.3	SPRINT-A ODR設計値
	PCU	-30 ~ 60	17.2	SPRINT-A ODR設計値
	ACSDN	-30 ~ 50	3.5	SPRINT-A ODR設計値
	ACIRM	-30 ~ 50	9.5	SPRINT-A ODR設計値
	ACANA	-30 ~ 50	10.5	SPRINT-A ODR設計値
	HCE	-20 ~ 50	9.6	SPRINT-A ODR設計値
	-Xパネル合計			60.6
+Y	APR	-25 ~ 65	68	SPRINT-A ODR設計値
	ACSTS	-30 ~ 50	7	SPRINT-A ODR設計値
	SWR1	-25 ~ 50	10.3	SPRINT-A ODR設計値
	SBD	-30 ~ 60	11	SPRINT-A ODR設計値
	SADM	-30 ~ 60	1.5	SPRINT-A ODR設計値
	+Yパネル合計			97.8
-Y	S-TRP-A	-20 ~ 55	10	SPRINT-A ODR設計値
	S-TRP-B	-20 ~ 55	27.6	SPRINT-A ODR設計値
	AQCP-B	-25 ~ 50	1	SPRINT-A ODR設計値
	AQCP-A	-25 ~ 50	13	SPRINT-A ODR設計値
	SMU	-25 ~ 50	19	SPRINT-A ODR設計値
	TCIM	-30 ~ 50	14	SPRINT-A ODR設計値
	DR	-25 ~ 55	6.5	SPRINT-A ODR設計値
SADM	-30 ~ 60	1.5	SPRINT-A ODR設計値	
SBD	-30 ~ 60	11	SPRINT-A ODR設計値	
-Yパネル合計			103.6	
+Z	FOG	-10 ~ 50	6.9	IKAROS機載品
	S-SW	-20 ~ 50	0.2	SPRINT-A ODR設計値
	S-DIP1	-20 ~ 55	0.1	SPRINT-A ODR設計値
	S-DIP2	-20 ~ 55	0.1	SPRINT-A ODR設計値
	GAS	-30 ~ 60	1.0	SPRINT-A ODR設計値
	S-HYB	-20 ~ 55	1.6	SPRINT-A ODR設計値
ミッション側からの熱入力			20	規定
+Zパネル合計			29.9	
-Z	RCS用ヒータ		5.2	ASNARC実績
-Zパネル合計			5.2	
+Z 独立熱制御	STT	-30 ~ 60	7.2	SPRINT-A ODR設計値
バス合計			304.3	

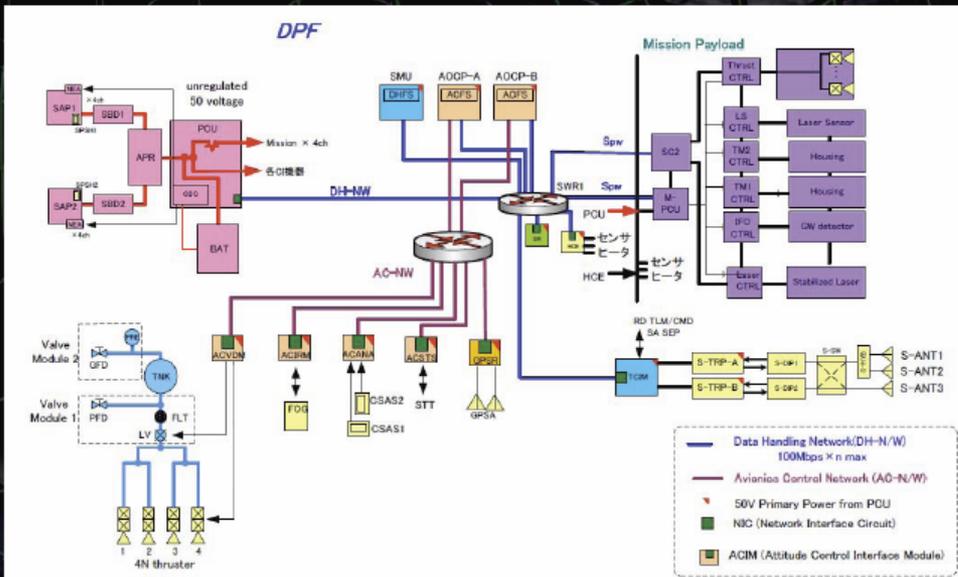
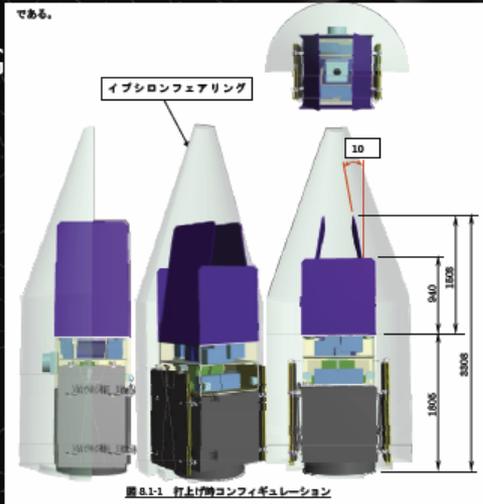


# DPFシステム概念検討（これまで）

- 検討ベースラインの整理
  - ミッション要求とシステム仕様

- 衛星システム諸元の整理
  - 課題の検討 (SANT, CSAS, G)
  - 衛星システムブロック図
  - 質量配分
  - 電力配分、電力解析
  - 衛星コンフィギュレーション

- 課題
  - 熱検討
  - 受動安定姿勢検討
  - システム検討

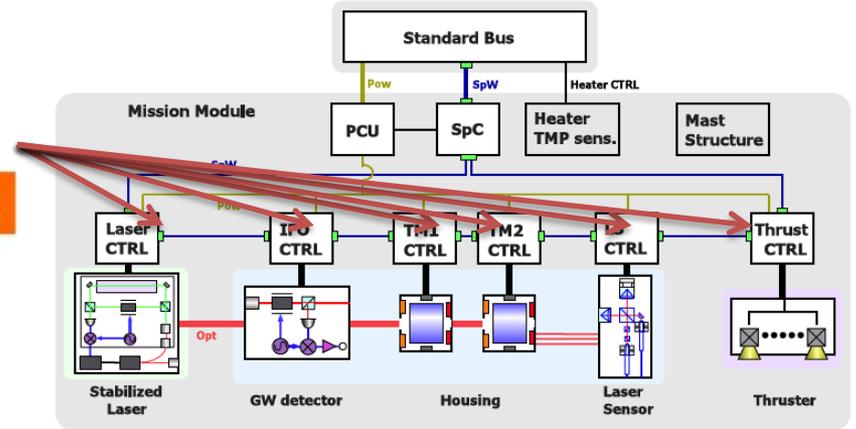
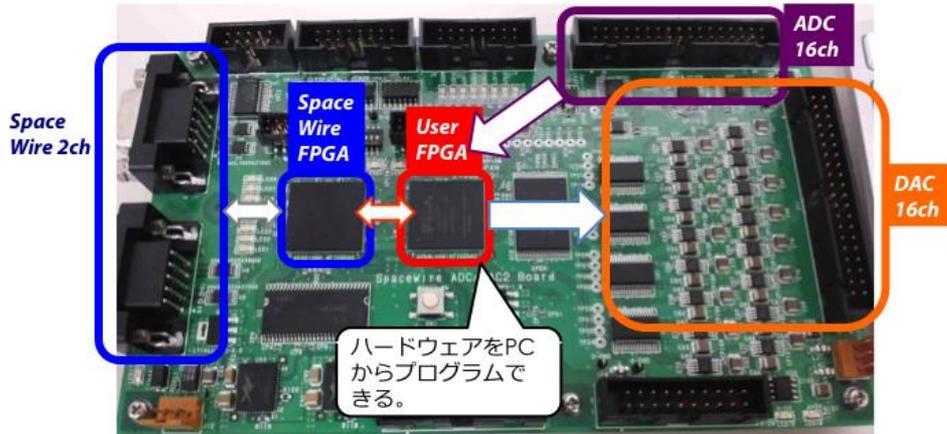


DPF機器構成	記号	台数	質量[kg] (自あたり)	計質量 [kg]	源泉
ミッション					
ミッション機体					
ミッション機体		1	223.17	223.17	
システム管理系	SMS 13.13				
システムマネジメントユニット	SMS	1	2.00	2.00	DPF報告書-4
テレメトリ/コマンドインターフェースモジュール	TCMI	1	2.00	2.00	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
スレーブワイヤード	SRM-SWR	2	1.72	3.47	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
ケーブルコード	SR	1	2.18	2.18	DPF報告書-4
電源	EPS 67.10				
DC/DCコンバータ	DC/DC	2	0.81	1.62	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
DC/DC	DC/DC	2	0.81	1.62	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
DC/DC	DC/DC	1	1.70	1.70	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
RF	RF		8.21	8.21	
衛星アンテナ(主用)	S-ANT1A-S-ANT2	2	0.18	0.36	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
衛星アンテナ(副用)	S-ANT3	1	0.18	0.18	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
衛星アンテナケーブル	S-DPT-A-S-DPT-B	2	0.48	0.96	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
衛星アンテナケーブル	S-SW	1	0.10	0.10	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
衛星アンテナケーブル	S-HYD	1	0.08	0.08	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
衛星アンテナケーブル	S-TRP-A-S-TRP-B	2	2.34	4.68	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
電池系	EPS 67.10				
太陽電池パネル	SAP1-SAP2	2	15.02	30.04	DPF報告書-4
バッテリー	BAT	0	2.04	0.00	DPF報告書-4
電力制御系	EPS 67.10				
電力制御系	PCU	1	0.00	0.00	DPF報告書-4
電力制御系	APU	1	4.00	4.00	DPF報告書-4
電力制御系	SRM-SWR	2	0.00	0.00	DPF報告書-4
電力制御系	BAT	1	23.70	23.70	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS 21.01				
姿勢制御系	AOP-A-AOP-B	2	2.00	4.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	SRM-SWR	2	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	TCMI	1	2.00	2.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	STT	1	3.00	3.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	POS	2	0.18	0.36	DPF報告書-4
姿勢制御系	USAG-LSMAG	2	0.01	0.02	AMBARO投入機体書(AMBA-00)
姿勢制御系	SRM-SWR	2	0.18	0.36	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS1	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS2	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS3	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS4	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS5	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS6	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS7	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS8	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS9	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS10	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS11	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS12	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS13	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS14	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS15	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS16	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS17	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS18	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS19	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS20	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS21	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS22	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS23	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS24	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS25	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS26	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS27	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS28	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS29	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS30	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS31	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS32	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS33	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS34	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS35	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS36	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS37	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS38	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS39	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS40	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS41	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS42	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS43	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS44	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS45	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS46	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS47	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS48	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS49	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS50	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS51	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS52	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS53	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS54	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS55	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS56	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS57	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS58	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS59	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS60	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS61	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS62	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS63	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS64	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS65	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS66	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS67	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS68	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS69	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS70	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS71	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS72	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS73	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS74	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS75	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS76	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS77	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS78	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS79	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS80	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS81	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS82	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS83	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS84	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS85	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS86	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS87	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS88	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS89	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS90	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS91	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS92	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS93	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS94	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS95	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS96	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS97	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS98	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS99	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS100	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS101	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS102	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS103	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS104	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS105	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS106	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS107	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS108	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS109	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS110	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS111	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS112	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS113	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS114	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS115	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS116	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS117	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS118	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS119	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS120	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS121	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS122	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS123	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS124	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS125	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS126	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS127	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS128	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS129	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS130	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS131	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS132	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS133	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS134	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS135	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS136	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS137	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS138	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS139	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS140	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS141	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS142	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS143	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS144	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS145	0	0.00	0.00	DPF報告書-4
姿勢制御系	ACS146	0	0.00	0.00	DPF報告書-4

# DPFシステム検討（今年度予定）

- これまでの検討の詳細化・精緻化
  - ミッション全体の成立性検討
    - 重量配分
    - 熱設計
    - 電力配分
    - バス部とのI/F
    - 機体構造
    - 信号処理トポロジー
  - 製造運用コスト・期間の検討
- 成立性の最終確認検討を行い，ミッション提案書の形にまとめる

# 信号処理部



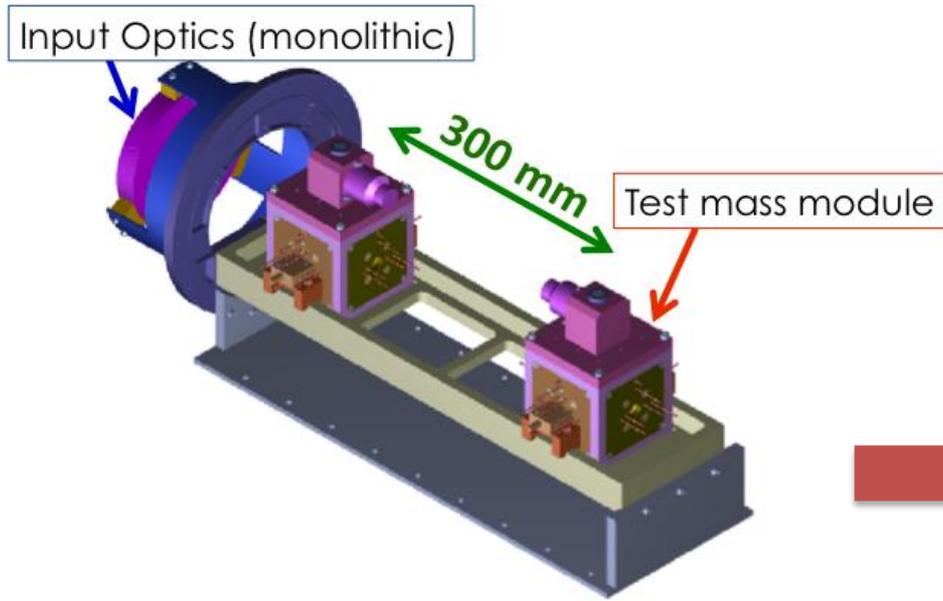
ミッション部を構成する各機器のインターフェース部を開発した。(16bit AD/DA、SpW 2ch)  
SDS-1/SWIM $\mu$ vのものをベースにしている。

ミッション部の信号系統

今後、ミッション部各機器の噛み合わせ試験時に使用

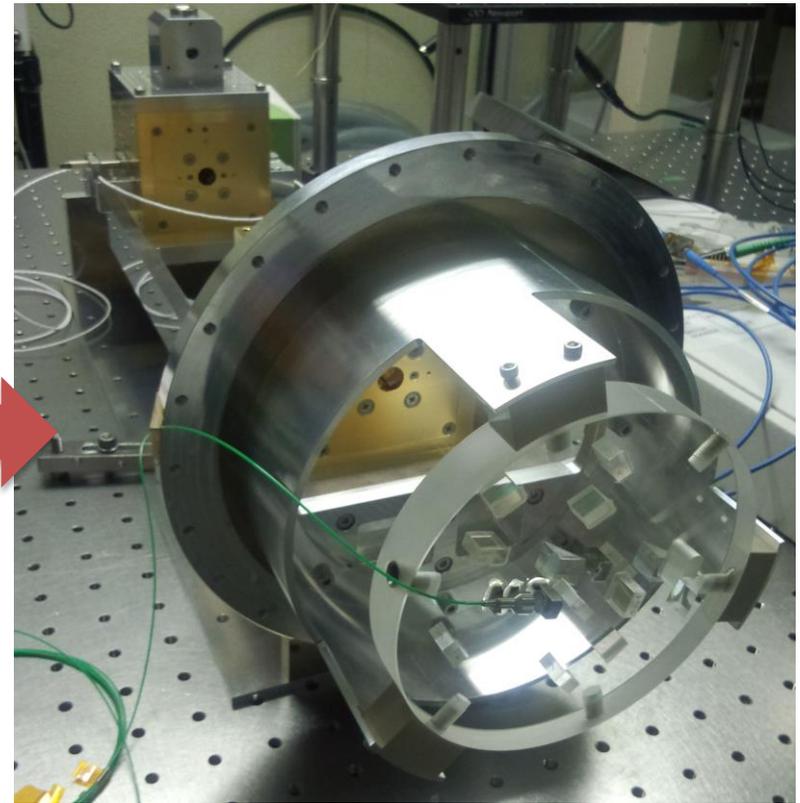
また、ドラッグフリー飛行系の構築のための、ミッション部の信号トポロジーの変更とバス部との噛み合わせを設計していく必要あり。

# 干渉計モジュール



干渉計モジュールBBM2

基線長30cmのファブリ・ペロー光共振器  
DPFのメイン装置。重力波検出器の役割。



構成部品（機構部品、モノリシック光学系など）について、  
・環境試験（衝撃、振動等）を行っていく。  
・それを元に熱構造設計にフィードバックする。

# 光学系部品だけでの動作テスト

この状態でのFabry-Perot光共振器の動作は確認済み。

← 1030 nm laser source + fiber coupler

Fibered EOM

Input optics (BBM2)

Cavity (300mm)

Feedback to the piezo stage at the end mirror and laser source.

The cavity can be operated.

by Kasuga

# 試験マス素材の開発

Data, photo by Sato

## Stringent requirements for the material

Magnetic susceptibility:  $< 10^{-6}$  (in SI unit)

### Exploring the alloys

- Alloy of paramagnet / diamagnet
- Reasonable combination of elements
- Hopefully not “precious” metals



### Al-Cu case

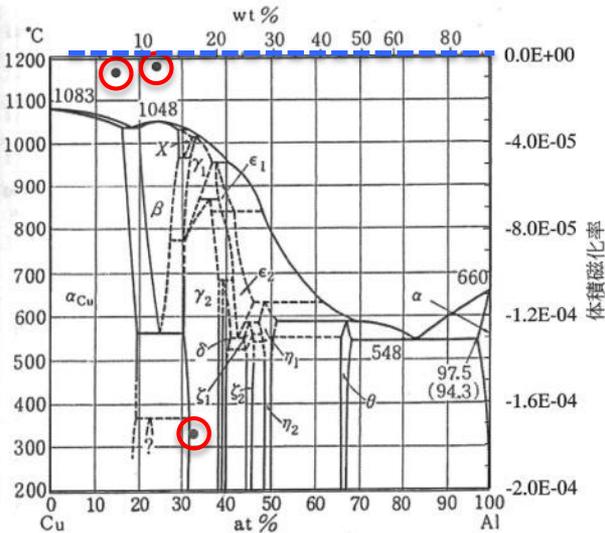


図 3・91 Al-Cu (解説：右段)

### Al-Sn case Typical Be-Cu's magnetic susceptibility is $1e-4 \sim 1e-5$ .

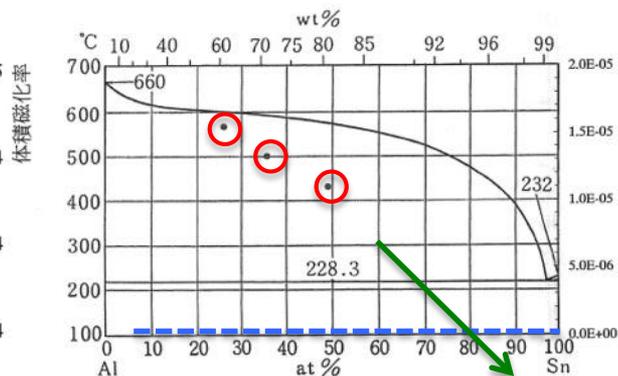


図 3・114 Al-Sn

Example:  $-4 \times 10^{-6}$

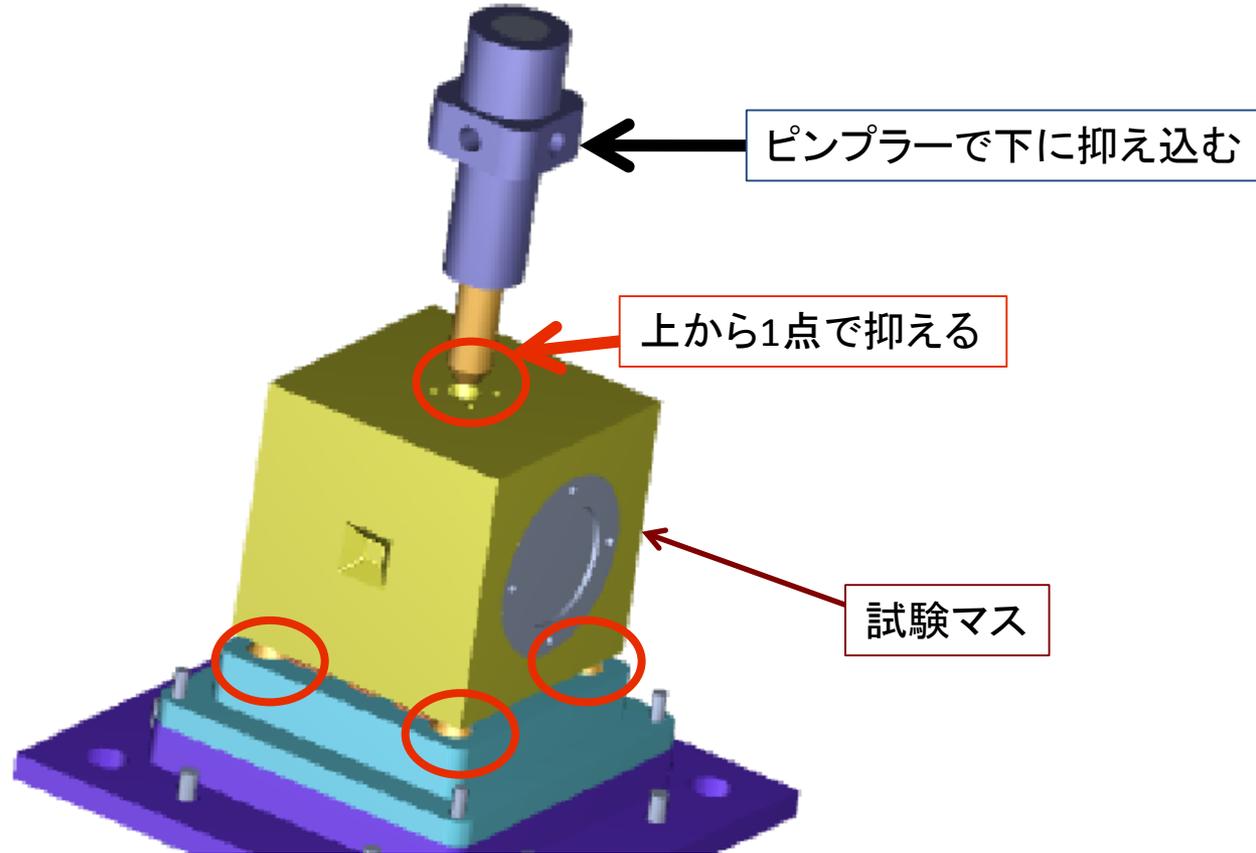
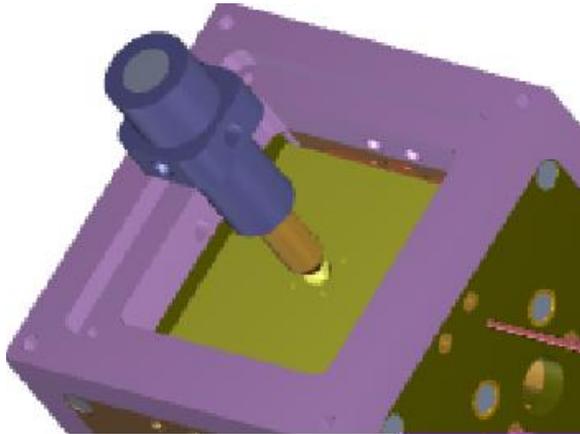
表-3

合番	主な成分	磁化率
1	Be-Cu(ALLOY17410)	$9.94 \times 10^{-5}$
2	Be-Cu(BRUSH60)	$2.26 \times 10^{-5}$
3	7wt%Al-93wt%Cu	$-7.04 \times 10^{-6}$
4	12wt%Al-88wt%Cu	$-4.34 \times 10^{-6}$
5	17wt%Al-83wt%Cu	$-1.74 \times 10^{-4}$
6	19wt%Al-81wt%Sn	$1.10 \times 10^{-5}$
7	29wt%Al-71wt%Sn	$1.33 \times 10^{-5}$
8	39wt%Al-61wt%Sn	$1.55 \times 10^{-5}$

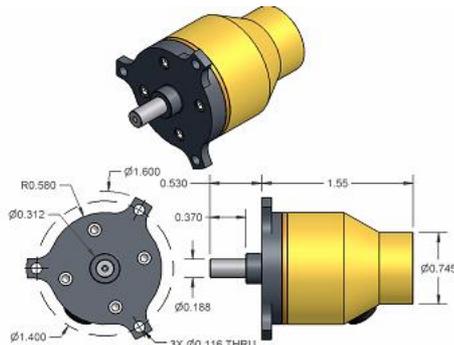
ほぼ目標値に来ているが、今後、より近づける

# ローンチロック機構

ローンチロック機構: 打ち上げ時に試験マスを固定するためのもの。  
基本設計および機構の製造(ピンプラー以外)までは完了。



候補のピンプラー例



試験マスの下4カ所に球状のくぼみがあり、  
そこに下からの支えがはまる

今後、ピンプラーの購入、および動作テストを予定。

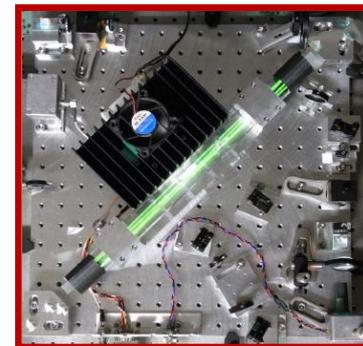
# これまで行った事(光源)-1

## 衛星搭載用周波数安定化光源の開発

(1) 試作1号機(ヨウ素安定化Yb:YAG レーザー)の作成

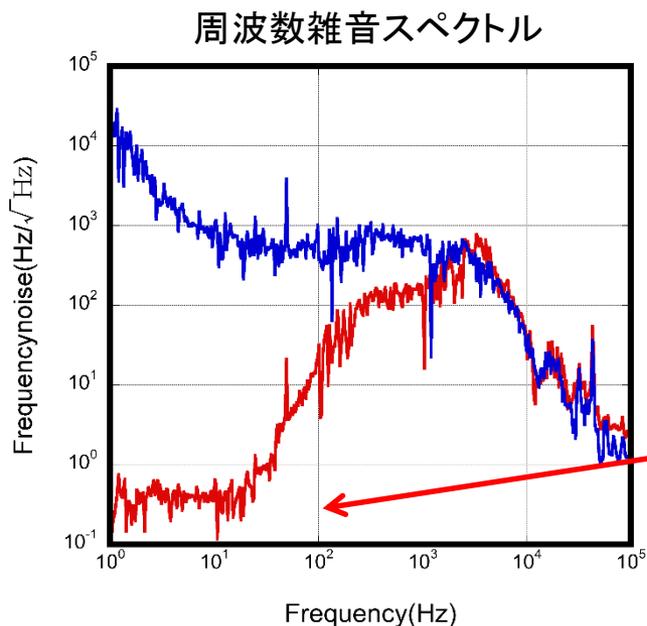
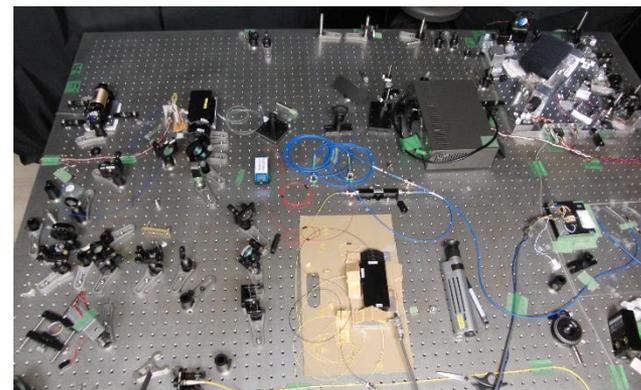
波長1030nmでは初の試み

飽和吸収信号  
取得部



周波数安定化と強度安定化を行い  
間接評価ながら性能を確認

光源全景



間接評価(誤差信号評価)では要求値を満たす

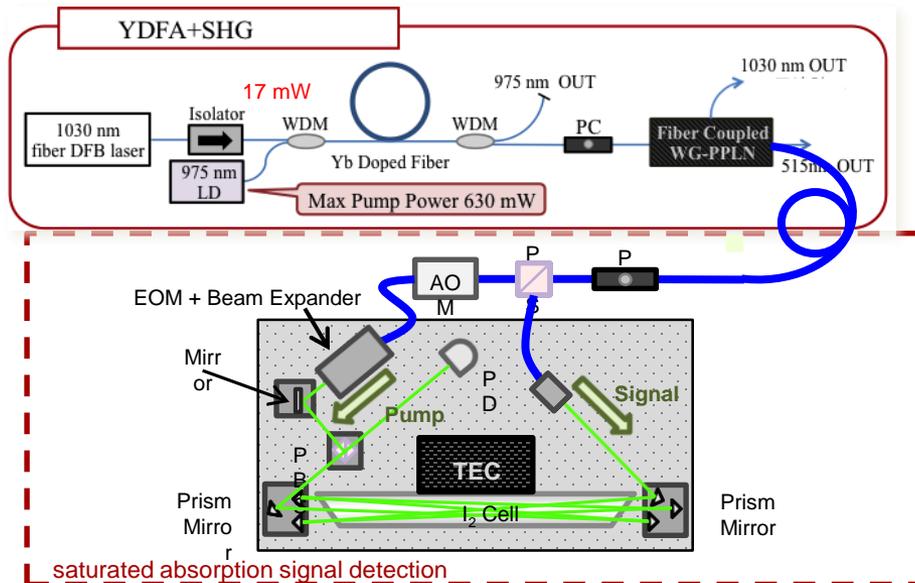
# これまで行った事(光源)-2

## (2) 周波数安定化光源のBBMを作成

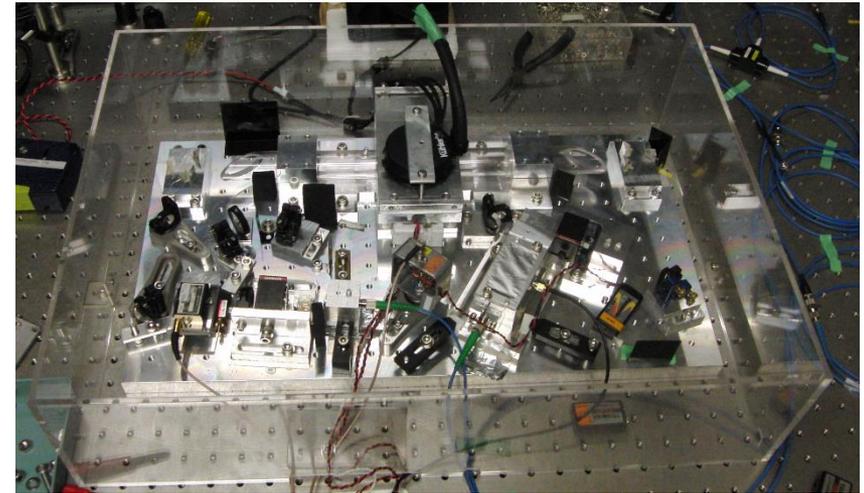
光源を固体レーザーからfiber laser に交換

全ファイバ系にして機械的安定性を向上

信号取得部の小型化、堅牢化を行う



信号取得部



FPGAを用いた自動制御

周波数安定化を行う

長期動作テスト

# 今後の予定(光源)

周波数安定度を厳密に評価するためには、同安定度の光源2台が必要

BBMの2号機(改良版)を作成

基本的な構成は1台目と同じで

改良点

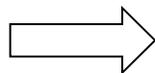
可動部等を減らし、機械的安定性のさらなる向上

効率の向上と電気消費量の削減

光源部の小型化

周波数安定度を評価し、パラメータを最適化することにより周波数安定度の向上

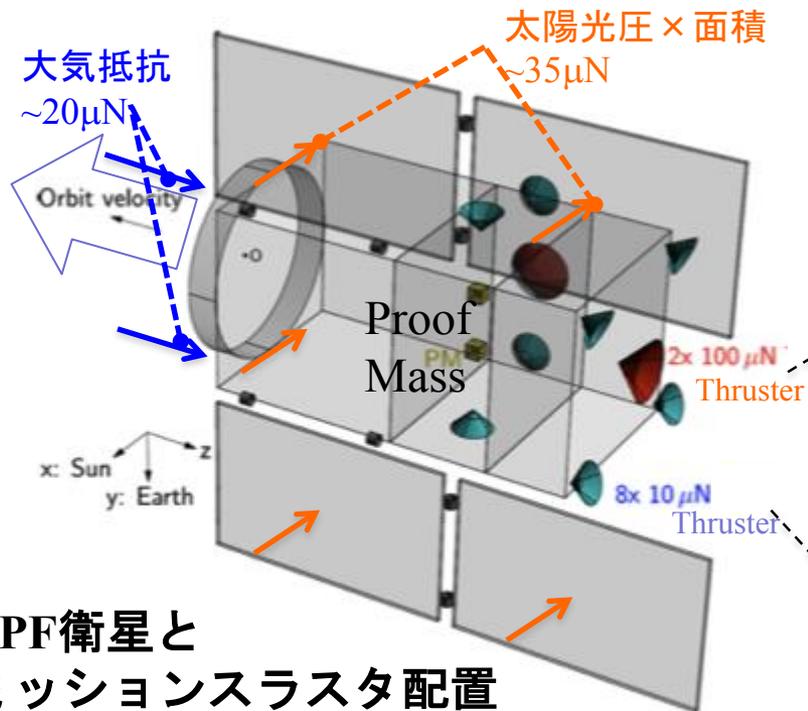
強度安定化システムの組み込み



干渉計部と組み合わせて動作確認

# FY25までの成果：DPFミッションスラスタ

ドラッグフリー用の小推力・可変推力スラスタシステムを設計



小型イオンスラスタ ( $\leq 100 \mu\text{N}@$ )  
(光圧ならびに空気抵抗補償用)

## DPF衛星と ミッションスラスタ配置

### ミッションスラスタの主な仕様

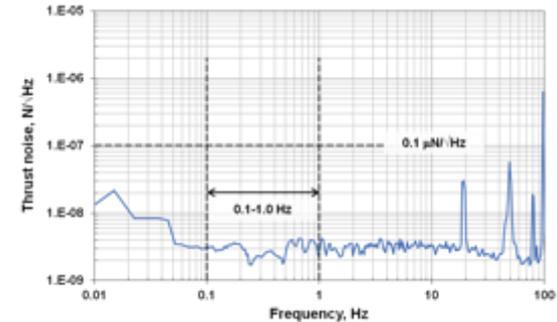
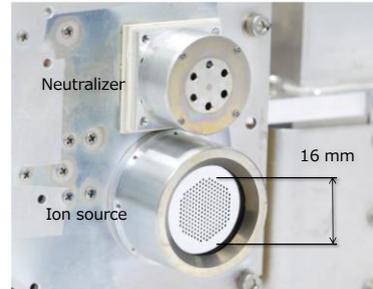
Item	Spec
Thrust	5-100 $\mu\text{N}$ x 2 units 0.5-10 $\mu\text{N}$ x 8 units
Thrust resolution	0.1 $\mu\text{N}$
Thrust noise	0.1 $\mu\text{N}/\sqrt{\text{Hz}}$
Isp	>1,000s
Weight	<40 kg
Power	<58 W
Ope. Time	4,300hrs



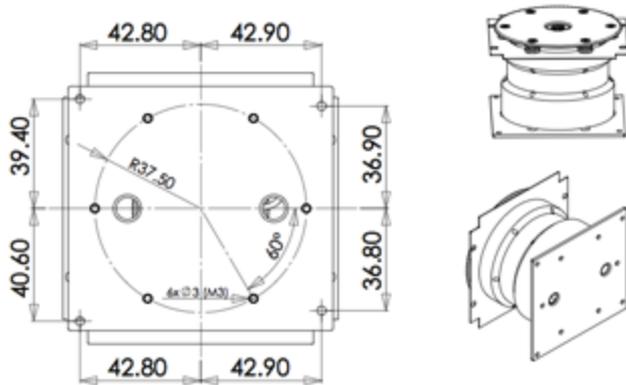
超小型イオンスラスタ ( $\leq 10 \mu\text{N}@$ )  
(FEOP,その他の外乱補償用)

# FY25までの成果：DPFミッションスラスタ(続)

各イオンスラスタと小型中和器(オプション)の開発状況



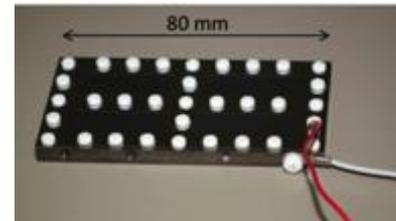
DPF搭載と同一のNASA-MMS\*搭載FEFP



DPF用FEFPの機械インターフェース設計

## 小型イオンスラスタ( $\leq 100\mu\text{N}$ )

- 東大のマイクロサット(HODOYOSHI4号)で2014年に実証予定
- DPF用のサイズダウンと推力ノイズ評価を実施



## 超小型イオンスラスタFEFP( $\leq 10\mu\text{N}$ )

- イオンエミッタとして国内外衛星で搭載実績あり(TRL=8~9)
- スラスタメーカーのAustrian Inst. Technol.と共同で、DPF用の設計・インターフェース設計を実施

## 小型中和器( $\leq 3\text{mA}$ )

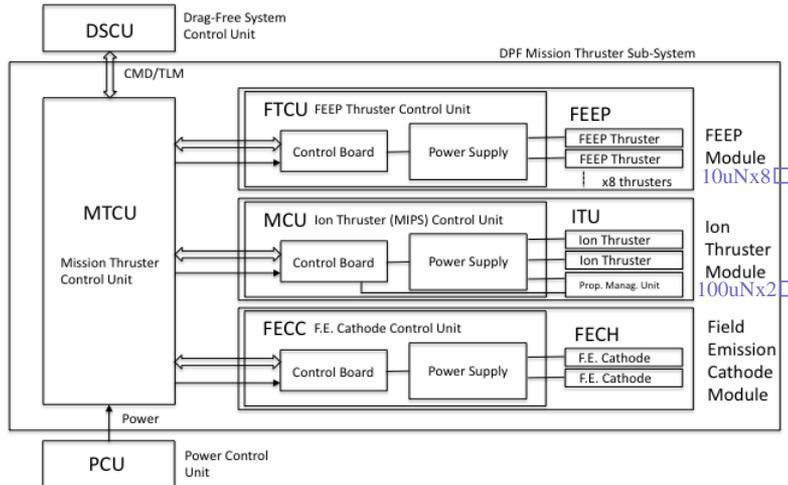
- JAXA研究開発本部でHTV/テザー実験で実証予定のカーボンナノチューブ電子エミッタ
- DPF用の設計・評価
- DPFではオプション機器

# FY26の計画：DPFミッションスラスタ

以下の3項目を実施予定

## 1. ミッションスラスタシステムの設計まとめ

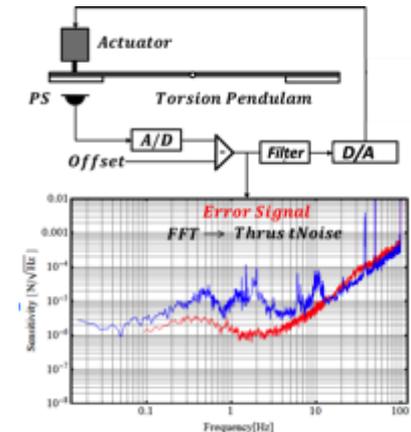
- 2012年度末のミッション提案に向けてドラッグフリーシステムに適合したスラスタシステムの設計をまとめる



ミッションスラスタシステムブロック図

## 2. ミッションスラスタの直接推力評価

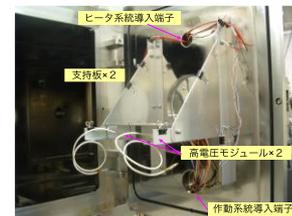
- 従来、イオンスラスタの推力ノイズは、イオンビーム測定にて評価していた。
- 開発中のスラストスタンドの推力ノイズ測定感度を高めて、直接測定技術を獲得する。



推力と制御系、ならびに現状の推力ノイズ感度特性

## 3. ミッションスラスタの低消費電力化研究

- 現状のスラスタ構成よりも更に低電力で動作可能な、スリット型FEEDの研究を継続する。
- バックアップスラスタとしてのコールドガスジェットシステムの設計を行う



スリット型FEEDは表面処理が難しく開発難易度が高い。しかし、もし利用可能であればシステム電力が大幅に低減可能なため、研究を継続。

# まとめ

## • DECIGO

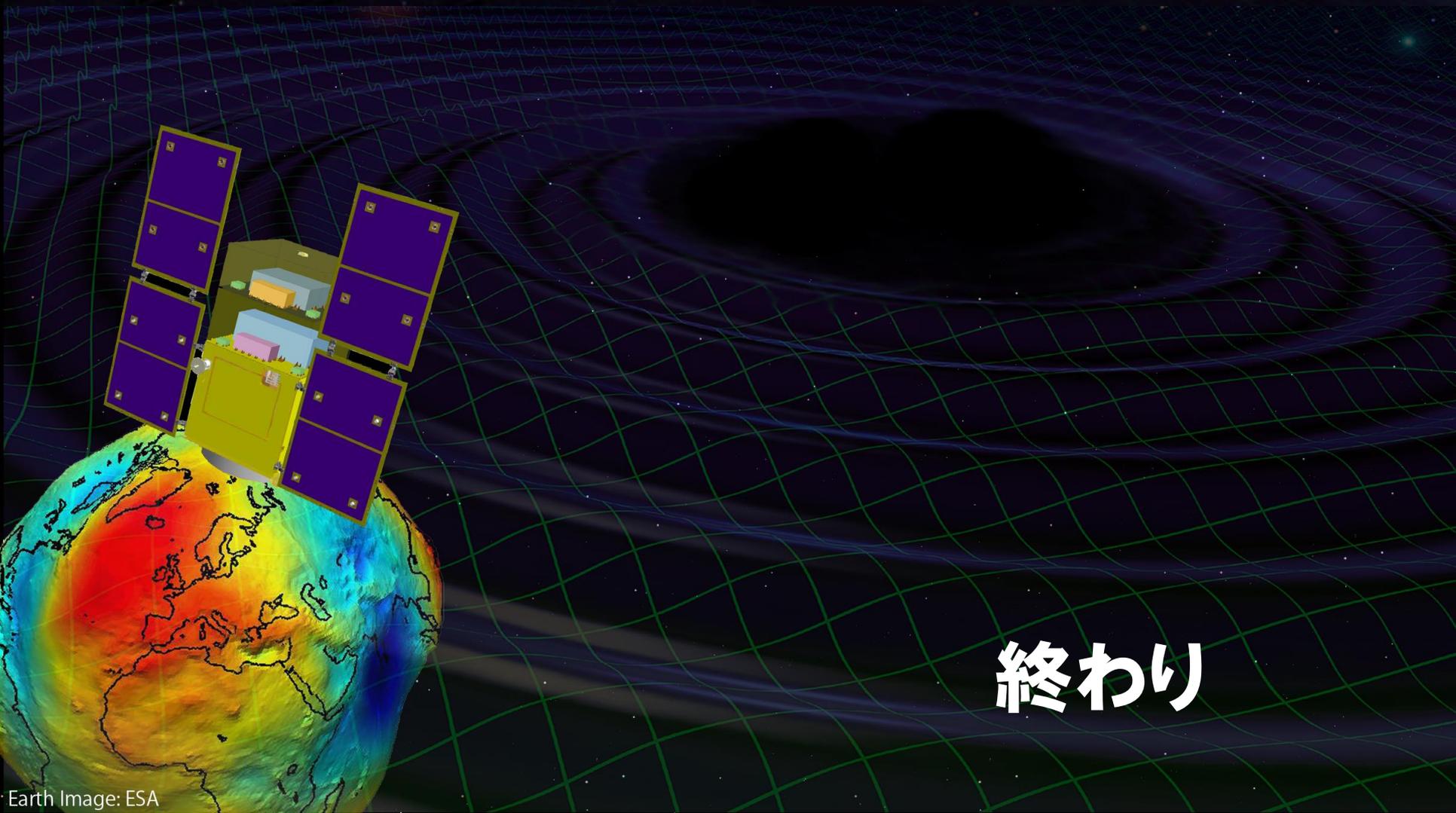
- 初期宇宙観測など、独自の豊富なサイエンス。
- '究極の重力波望遠鏡'として、必ず実現される。

## • DECIGOパズファインダー (DPF)

- DECIGOのための前哨衛星
  - 1機の衛星でできることを技術実証。
- 単体としての科学的成果。
  - \* **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。

JAXA・小型科学衛星 としての実現を目指す。

Earth Image: ESA



終わり

Earth Image: ESA