

The background of the slide features a dark blue space scene with a starry field. A large, bright red laser beam originates from the bottom right, extending towards the left. Two bright red star-like points are positioned along this beam, representing the spacecraft in the LISA mission. The top left corner shows a portion of a blue and white planet, likely Earth.

# LISA

## Laser Interferometer Space Antenna

和泉 究 (宇宙科学研究所)

CRC タウンミーティング (2018/Oct/20)

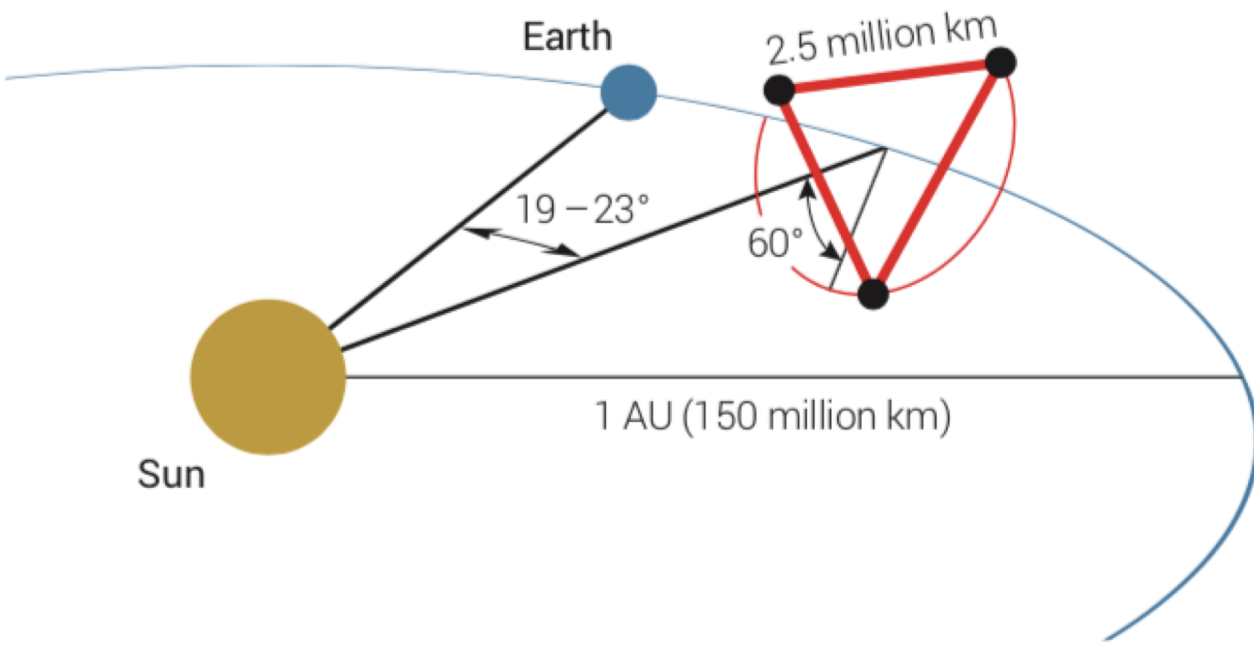
# はじめに

- 本案件は比較的最近に発案されました。  
=> 未決定・成熟な項目が多くある（資金源、支持母体、etc）
- CRCでの議論を通じて：  
概算要求をするにしろ宇宙研内部の予算枠などで賄うにしろ  
まずはCRCにて幅広く意見・コメントを募り、コミュニティでの理解を得たい。

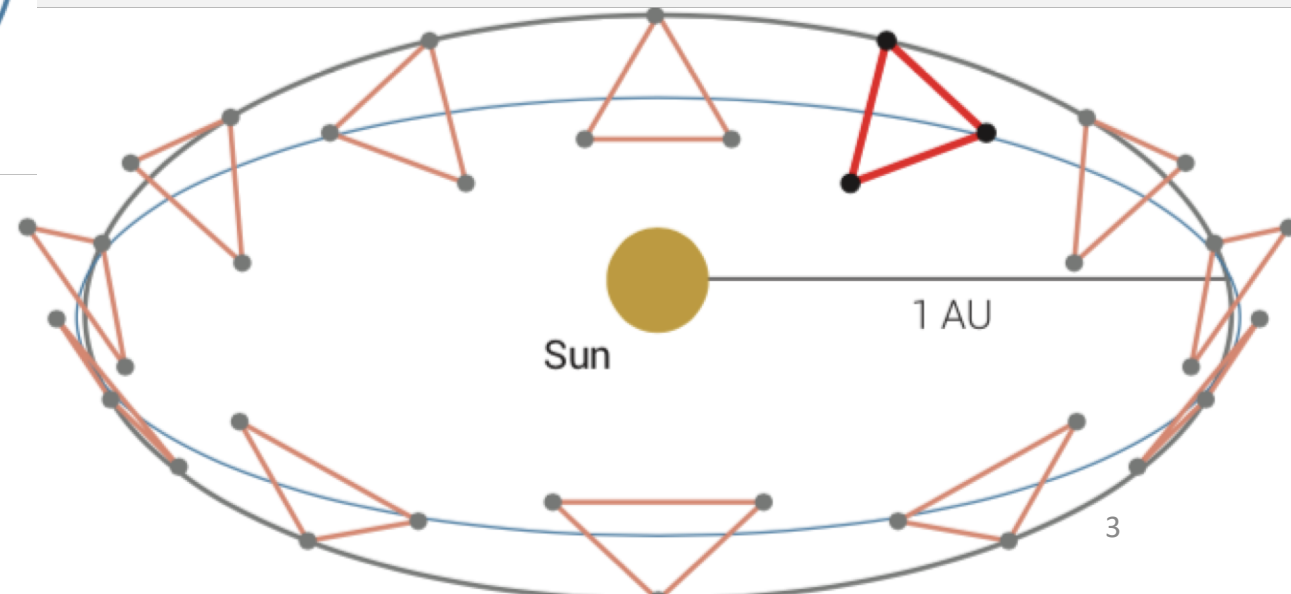
# LISAとは

- LISA: **L**aser **I**nterferometer **S**pace **A**ntenna
- スペース重力波望遠鏡計画
- ESA主導で現在開発が進行中
  - Cosmic vision 大型ミッションL3として採択（2017年）
- 低周波数 1mHz -100mHz帯の重力波をターゲット
- 2034年の打ち上げ予定
- 3台の人工衛星をほぼ正三角形に配置
  - 1辺250万km、6つのレーザーリンクを使ったレーザー干渉計
  - ドラッグフリー制御による微小加速度雑音環境
  - トランスポンダーによる各レーザーリンクの位相同期
- 加速度雑音の検証、その他技術実証が  
LISA path finder（2015年打ち上げ）にて完了

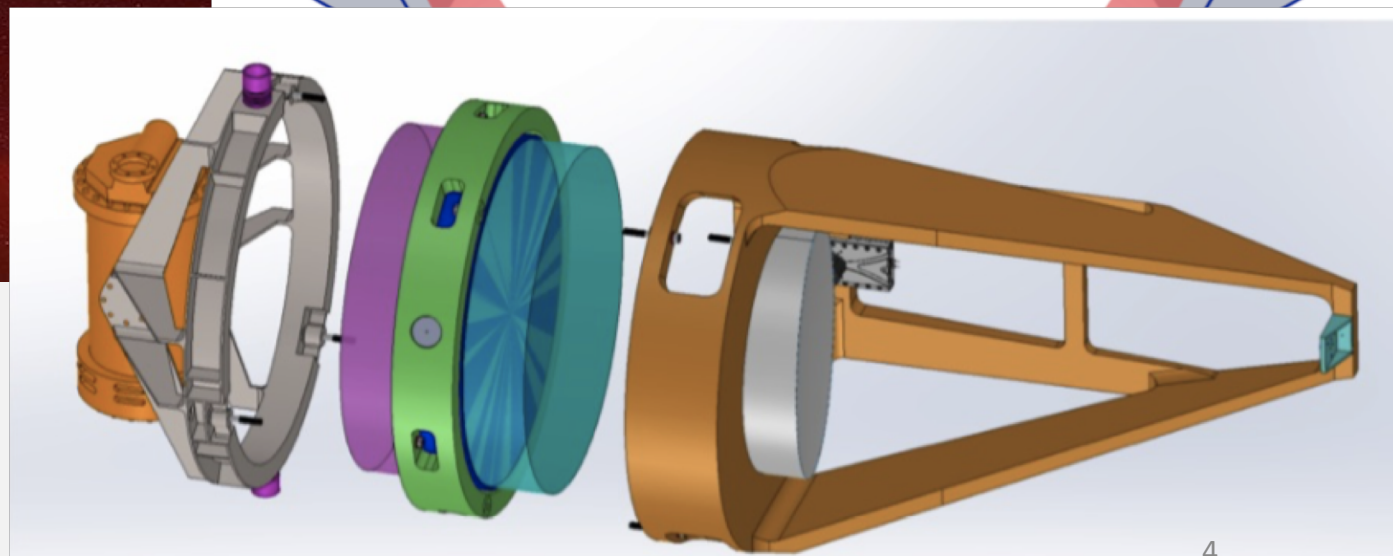
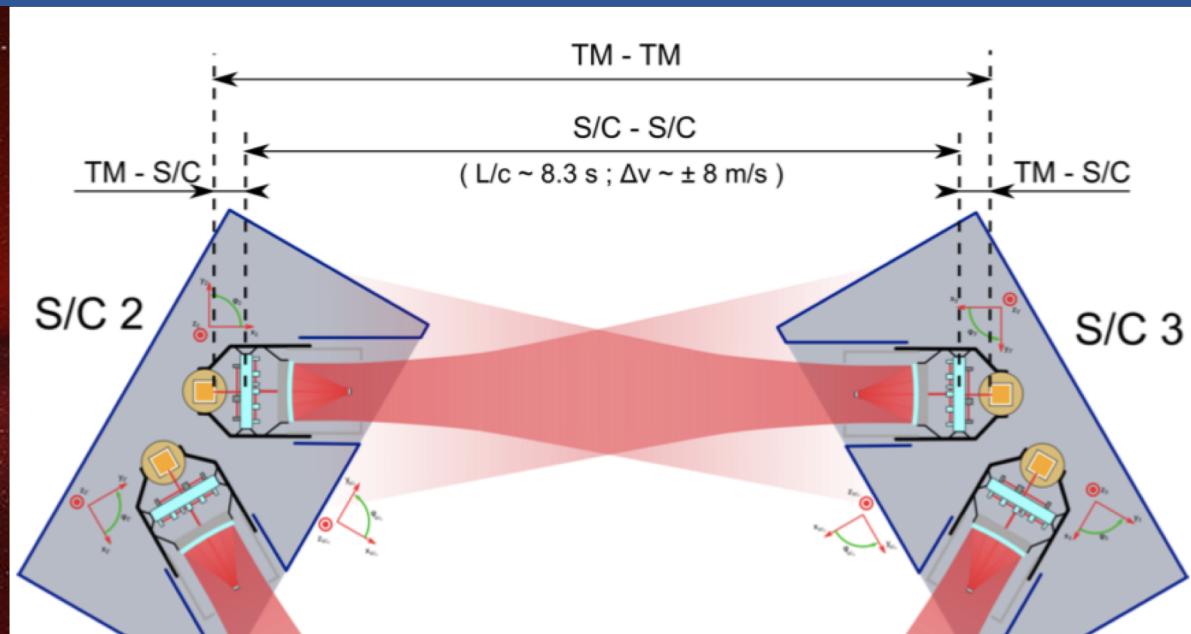
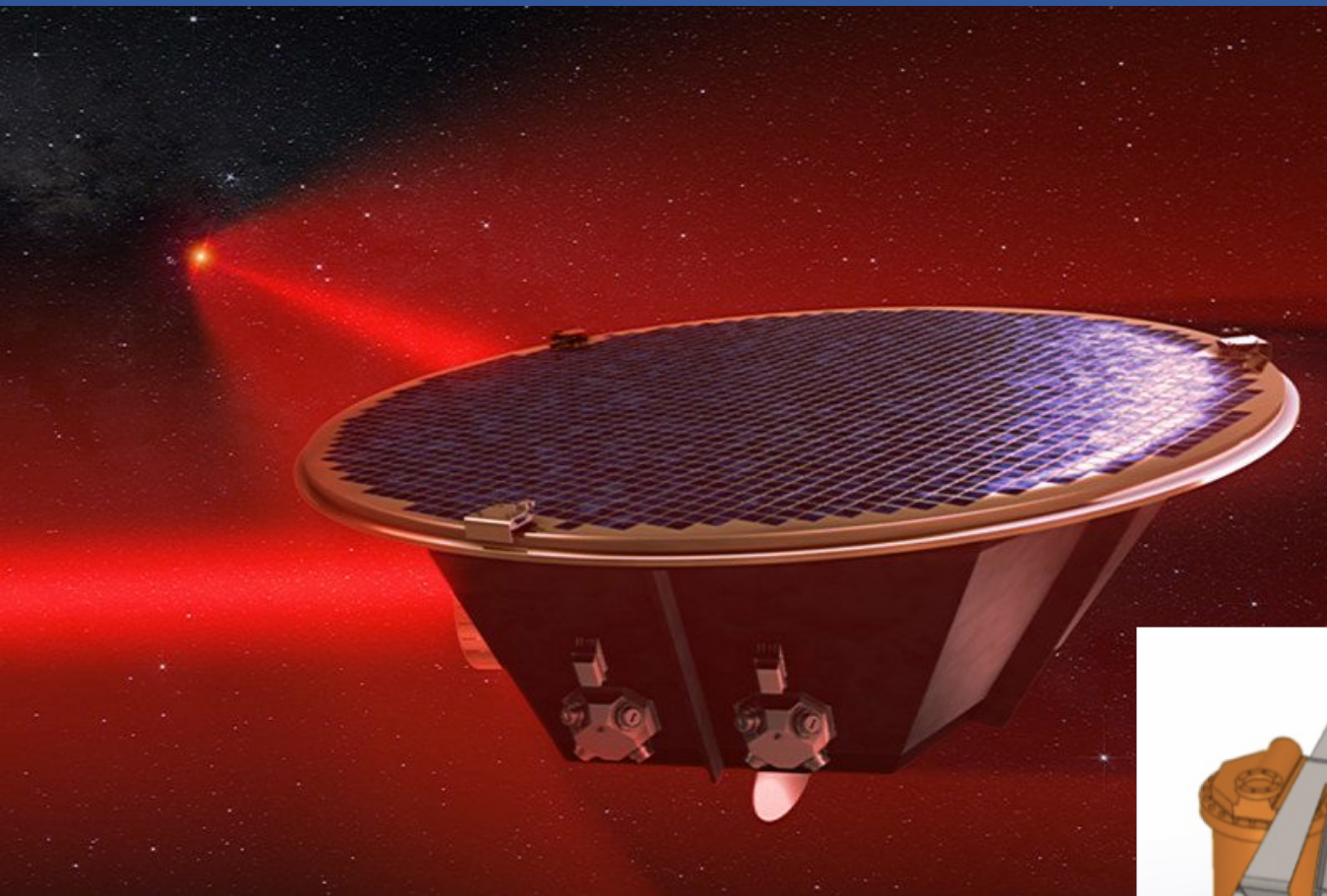
# 人工衛星軌道



- ヘリオセントリック軌道
- 地球から20度程度遅れた位相
- この軌道に滞在できるのは10年が最長（推進剤リミット）
- 太陽光からの温度変化を減少



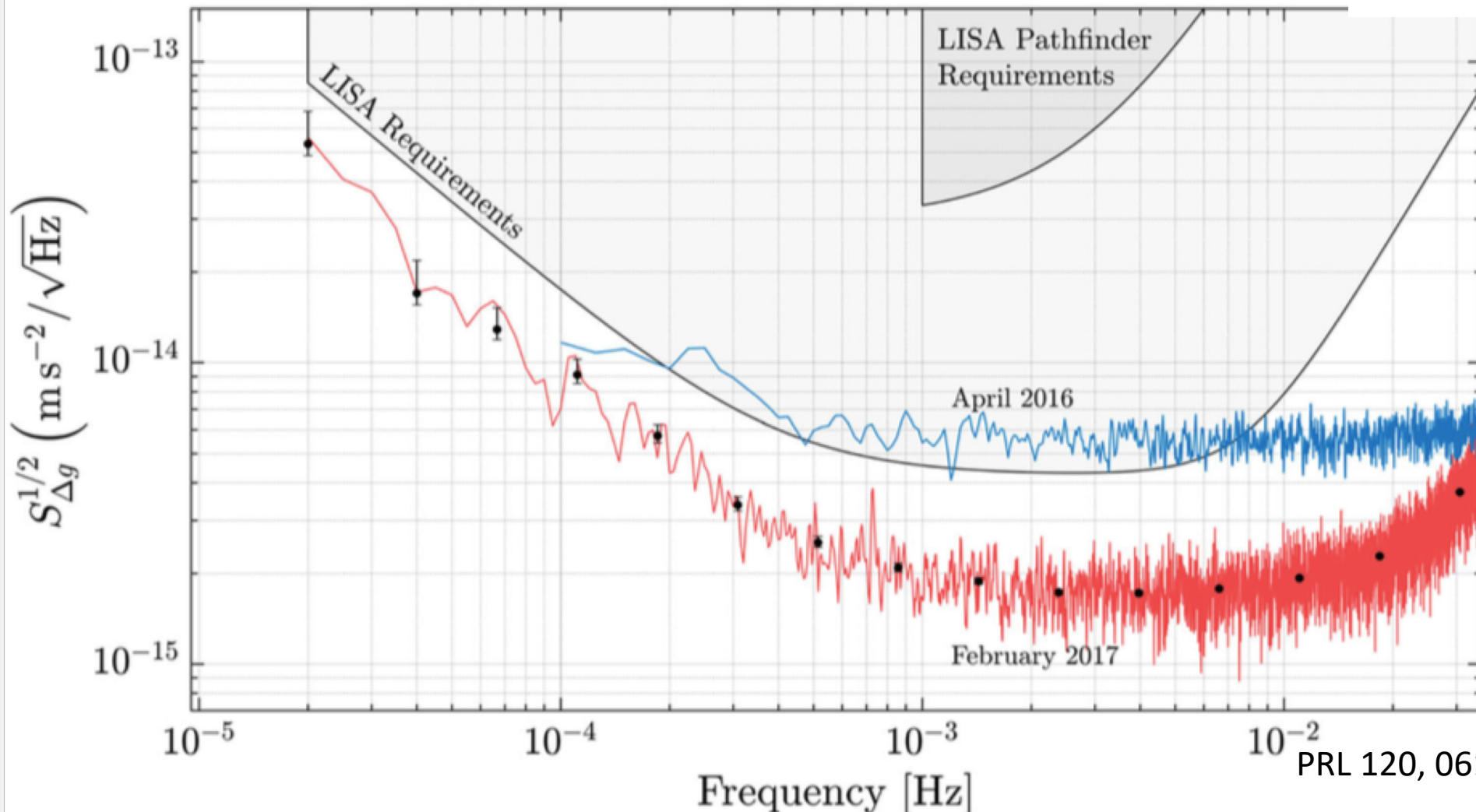
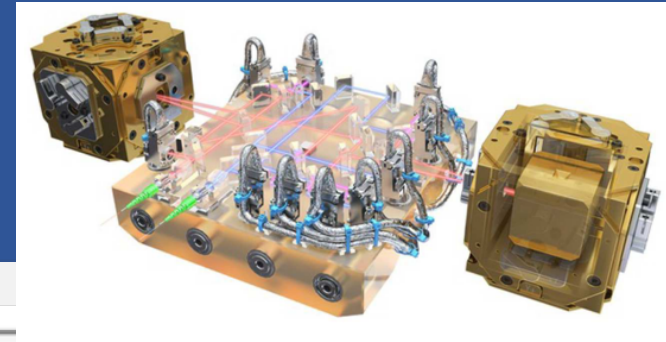
# ハードウェア概観



レーザー波長：1064nm

レーザーパワー：1W（出射時）

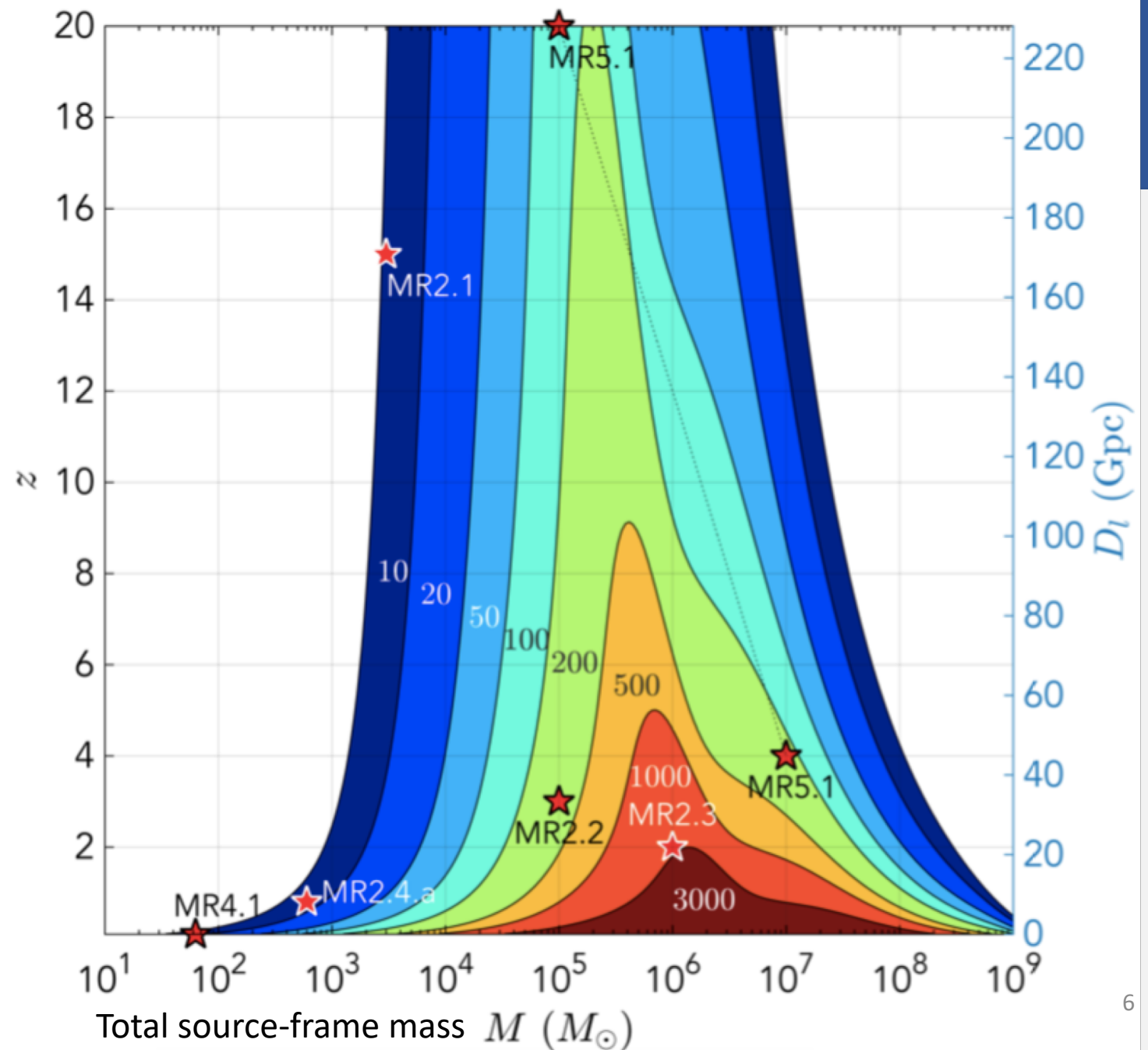
# 前哨衛星LISA path finderによる 要求される加速度雑音の達成



PRL 120, 061101 (2018)

# 重たいものを、 遠くまで

$10^3$ - $10^7$  Msolar のブラックホール連星がSN10以上で  $z > 15$  まで見渡せる。



# 期待されるサイエンス

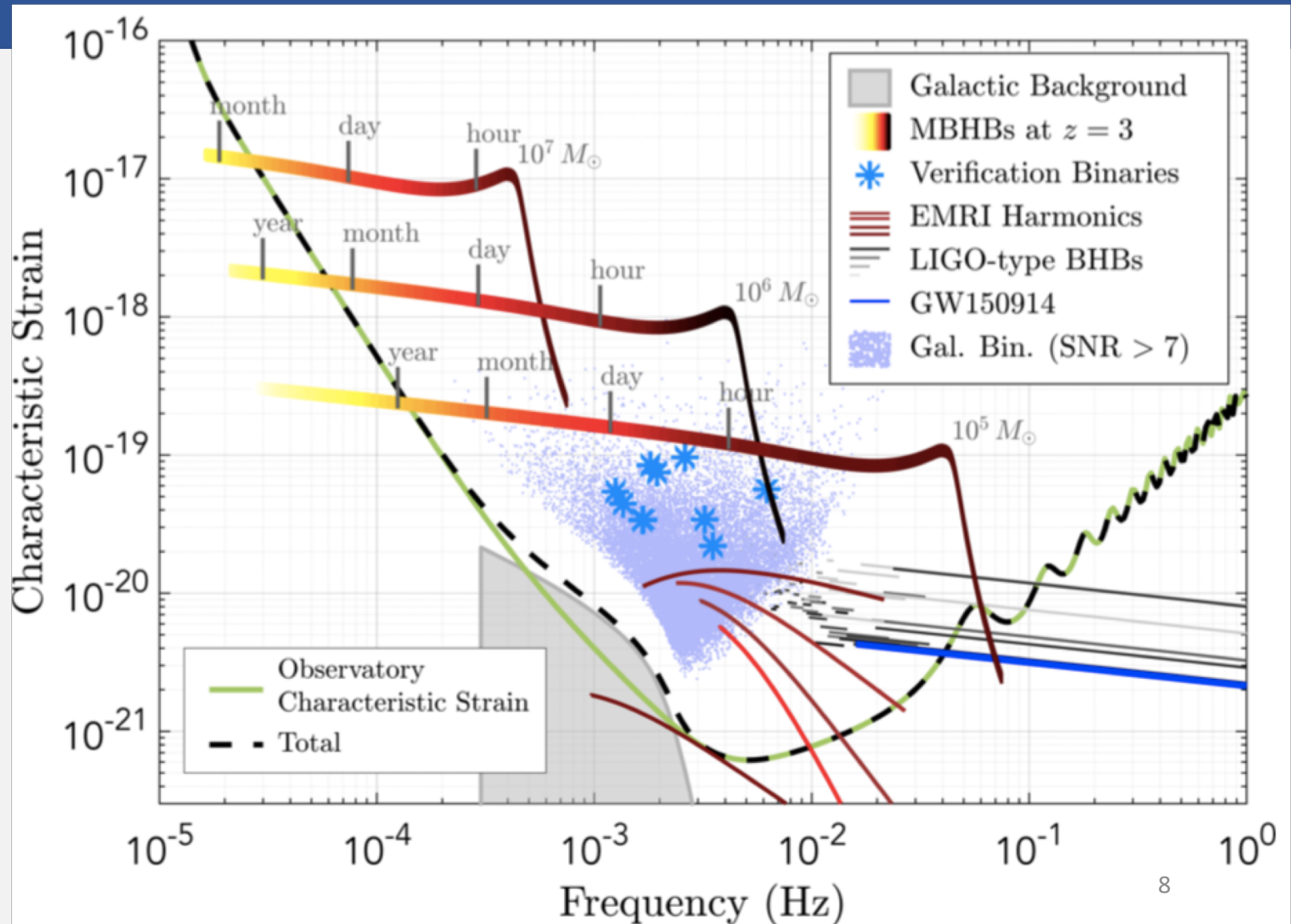
- 地上の重力波望遠鏡（1Hz-1kHz）では観測の難しい連星系が観測対象となる。
  1. 天の川銀河内での連星（WDを含む）形成・進化の研究
  2. SMBHの起源・進化・合体の歴史の研究
  3. EMRI\*を使った銀河核周辺の調査
  4. 恒星質量BHの起源に迫る
  5. BH時空物理の詳細検証
  6. Standard Siren を用いた宇宙論への貢献
  7. 宇宙背景重力波輻射の探査
  8. バースト重力波と予期せぬ重力波源の探査



# 他波長・マルチメッセンジャー観測

LISAの観測から早い段階でアラートを出すことが可能。  
⇒ 地上の重力波検出器  
⇒ その他電磁波観測  
へ場所と合体時刻を予告できる。

B-DECIGOは0.1Hz帯に感度を持つ  
=> 相補的な関係



# スケジュール

Event	From	To	Status
Phase 0 instrument contributions	2017-JUL	2017-NOV	Done
Mission Definition Review (MDR)	2017-NOV-27		Done
Phase A (mission & instruments)	2018-APR	2019-DEC	
Mission Consolidation Review (MCR)	2019-FEB	2019-MAR	
Mission Formulation Review (MFR)	2019-OCT	2019-DEC	
Adoption	<=2024		
Implementation (Phase B2/C/D)	8.5 years		
Launch	2034		
Transfer & Commissioning	2.5 years		
Operations	4 years		
Extension (TBD)	6 years		10 years of total science

# 想定される必要経費

- \* 総額～1200 M€

- \* うちNASA負担～200 M€（推定）

  - 望遠鏡部、スラスタ、レーザーユニット。

- \* 日本の負担分～2M€（2億円程度）を想定していた。

- \* 現在、金額の見積もりの詳細化を進めている

  - => 大幅に日本の必要経費額が増額する可能性あり（総合～10億円）。

- \* 初期3年程度の技術検討は宇宙理学委員会での予算を基に活動したい。

# LISA全体の体制

- ESAが主体
- NASAをメジャーパートナーとしたシステム
- 各国の研究者は LISA consortium というコミュニティに参加することでLISAに貢献。
- Consortium lead: Prof. K. Danzmann (AEI/Max Planck Institute)
- LISA consortium は今年8月の段階で919名  
(アソシエートメンバー＋フルメンバーの総計)
- 約半数がフルメンバー。その内訳は以下
  - LIG (LISA機器開発グループ) : 181名
  - LDPG (LISAデータ処理グループ) : 72名
  - LSG (LISAサイエンス検討グループ) : 207名

# 日本機器開発グループの体制と人員

- 総員11名（total FTE = 約2人）
- 参加機関：宇宙研、国立天文台、東大理、電通大
- グループリード：和泉（宇宙研）
- 新しいグループ（今年発足）
- 11名全員がLISA consortium メンバとして今月（10月）正式に承認された。
- 現在、宇宙研・宇宙理学委員会にLISAへの機器開発貢献を検討するワーキンググループの設立提案を申請中。
- 重力波検出の要となる光検出器や周辺ハードウェア  
開発をLISAへ提案しつつその検討を今年度内に本格化する予定。

# 提案・検討中の貢献項目

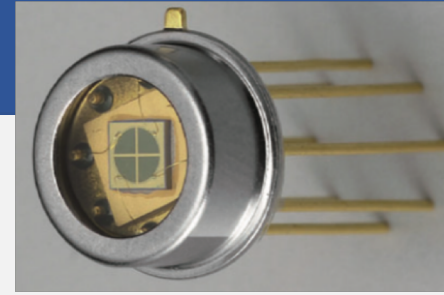
- (A) 四つ分割光検出器の開発
  - 重力波信号抽出およびビームアライメントに使用
  - 広い帯域にわたり超低電流雑音の達成
- (B) 電気信号線ハーネスの開発
  - 重力波信号・制御信号を伝送する信号線バンドル（光ファイバ含む）
  - 低機械振動、非線形な機械応答の低減、定常重力勾配の除去が要求。
- (C) きぼう実験棟搭載のJ-SSODを使用した電子部品・光学部品の軌道上運用試験

これらについて次項で説明します

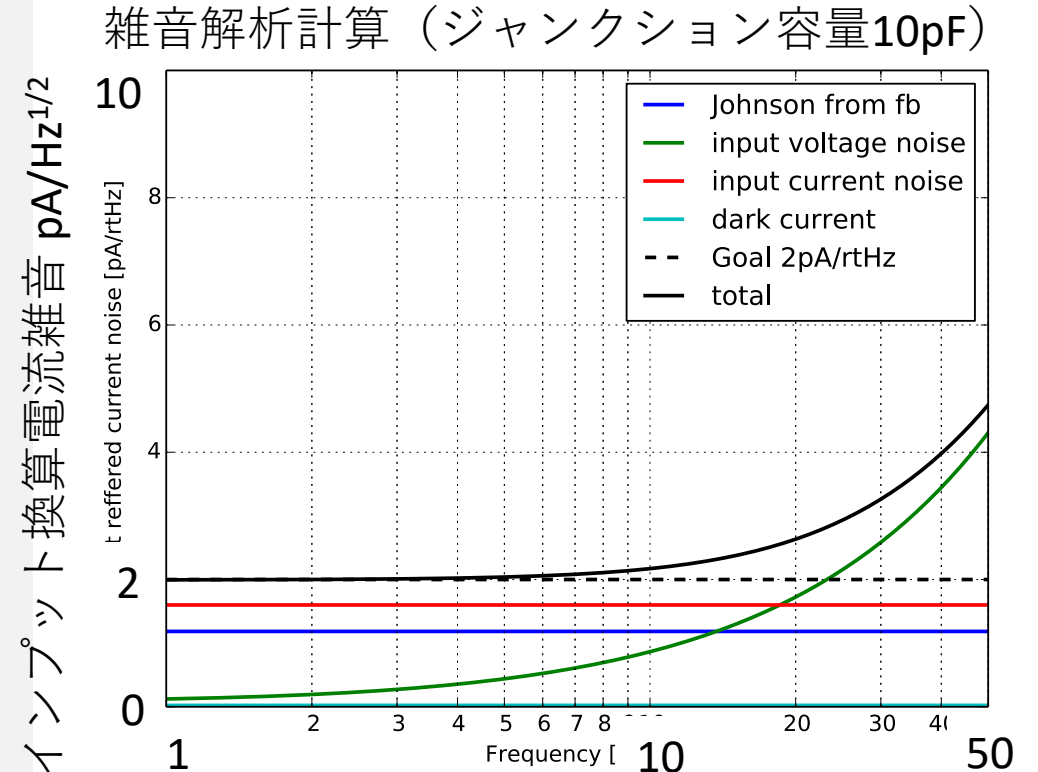
# 貢献項目(A)

## 4つ分割光検出器の開発

- 数10pWのレーザー光から重力波信号を抽出  
=> 低雑音 ( $2 \text{ pA/Hz}^{1/2}$  @ 5-25 MHz)
- 衛星間距離のドリフトによる  
ドップラーシフトを考慮、  
=> 広帯域で感度を持たせる。
- InGaAsフォトダイオード
- 2mm大口径ながら低い10pF程度の  
低いジャンクション容量、低暗電流が必要  
=> 現在、企業と打ち合わせ中
- 低雑音、広帯域、低消費電力  
プリアンプが必要



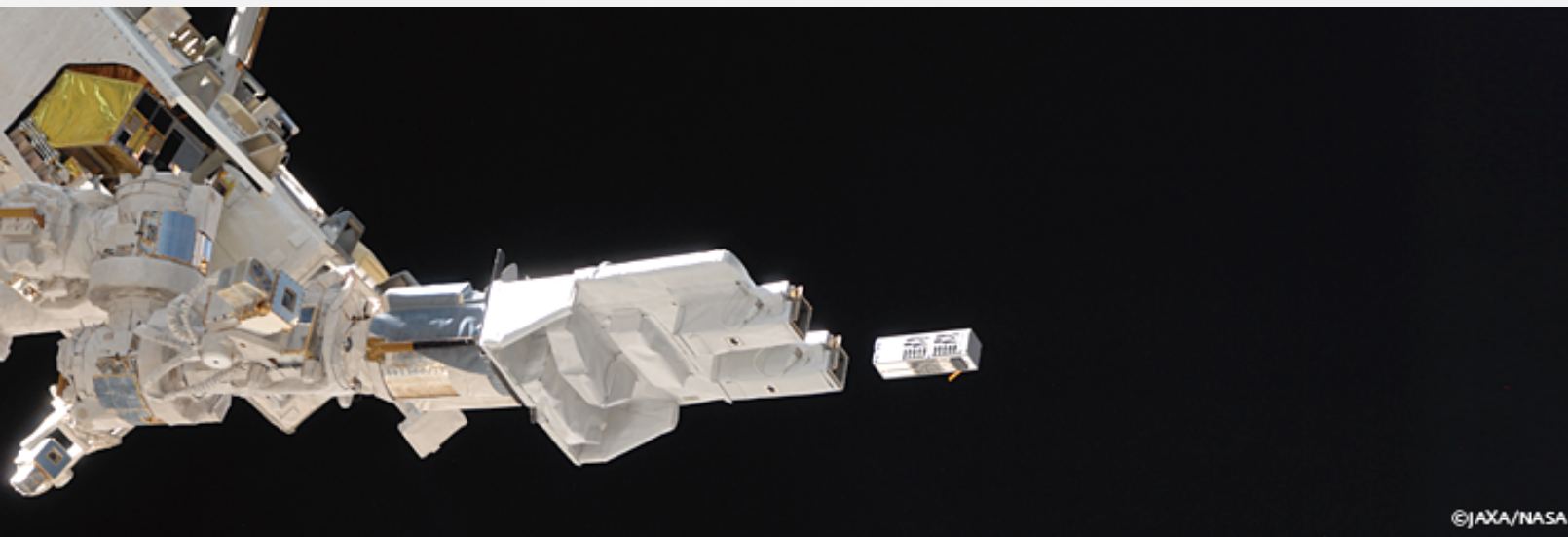
4分割ダイオード例  
©浜松ホトニクス



# 貢献項目(C)

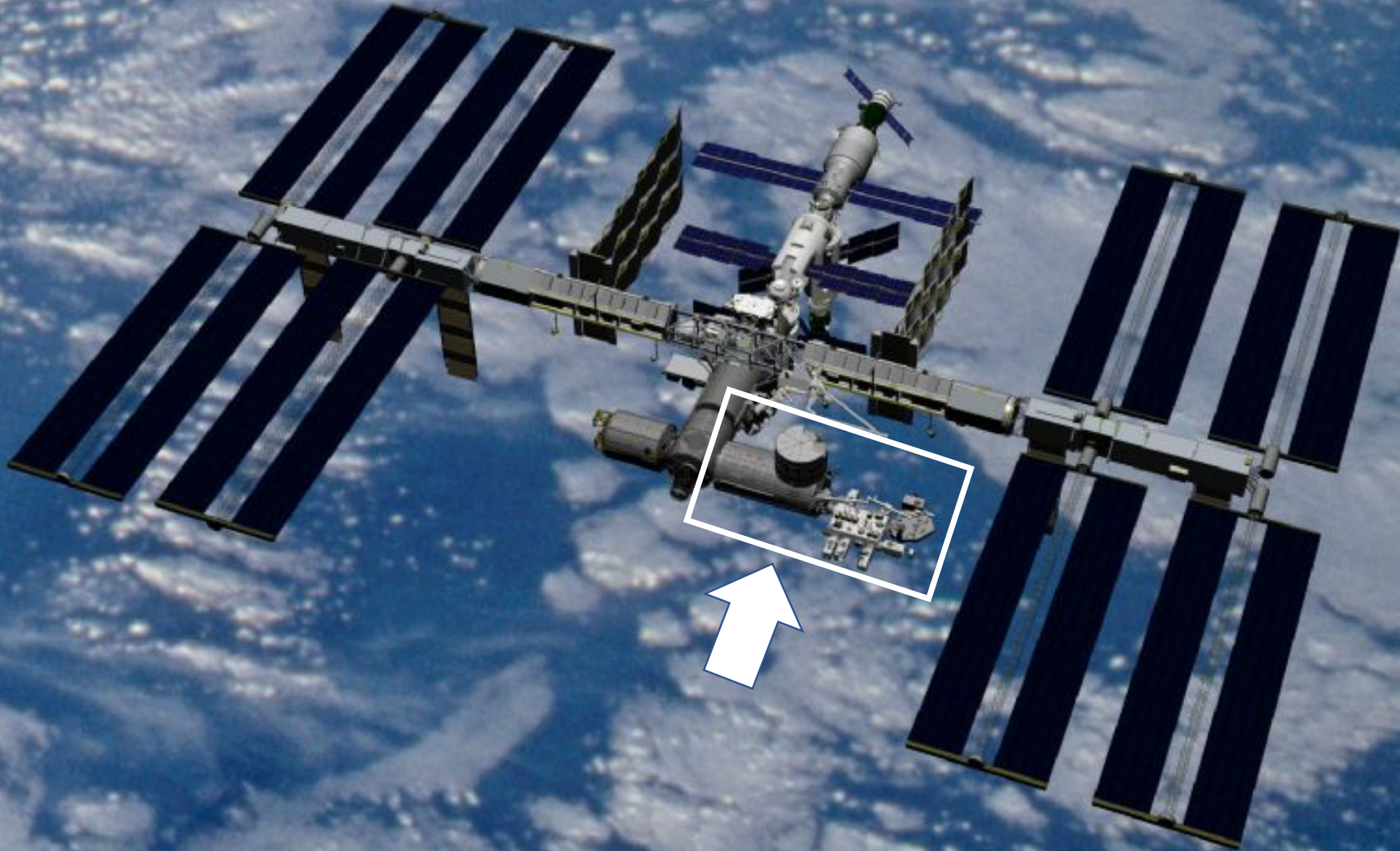
## JSSODを使用した電子・光学部品の軌道上試験

- 国際宇宙ステーション日本実験棟（きぼう）に搭載されたエアロックより小型人工衛星を低軌道上へ投入することが可能。JSSODと呼ぶシステム。
- エアロックを使った軌道投入システムは日本独自。
- NASA GSFCと検討中。LISAレーザー・光検出器などの軌道上運用試験を目指す
- 比較的安価（～1,000万円）、短いリードタイム（1-1.5年）





# Japan Experimental Module (JEM)



# Robotic arm + airlock = interesting

Schematic: <https://www.turbosquid.com/3d-models/c4d-iss-japanese-module-jem/1135806>

## Japanese Experiment Module (Kibo)

### Specifications:

**Launch:** March 12, 2007 - September 24, 2008

**Configuration:** 6 major elements  
PM + ELM-PS + EF + ICS + JEMRMS + ELM-ES

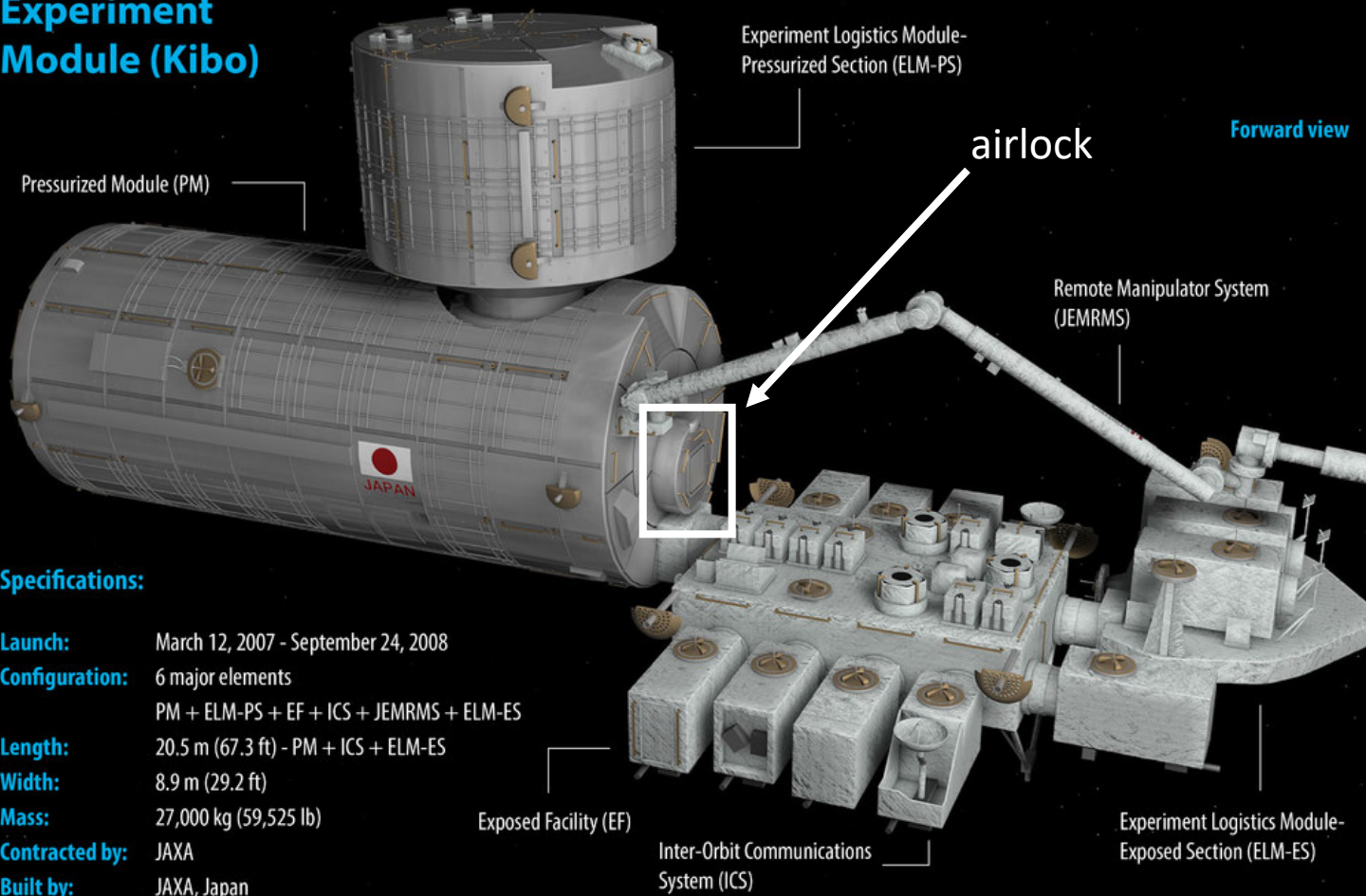
**Length:** 20.5 m (67.3 ft) - PM + ICS + ELM-ES

**Width:** 8.9 m (29.2 ft)

**Mass:** 27,000 kg (59,525 lb)

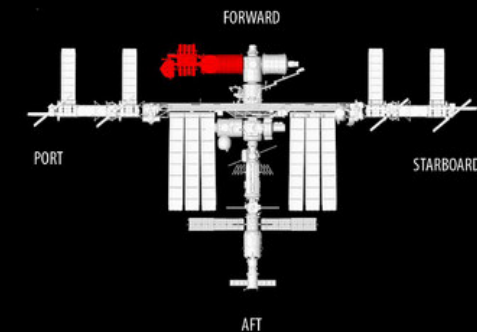
**Contracted by:** JAXA

**Built by:** JAXA, Japan

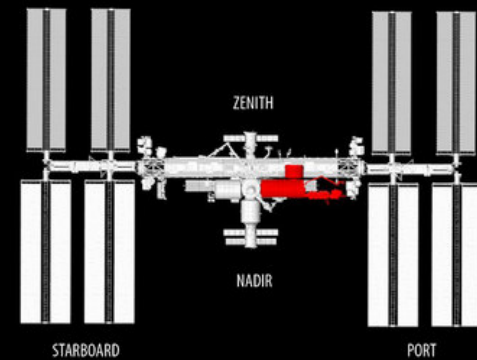


## Location on the ISS configuration

Zenith view



Forward view



# 国内でのLISA活動の立ち位置

## 国内重力波分野には2つの大型計画が存在。

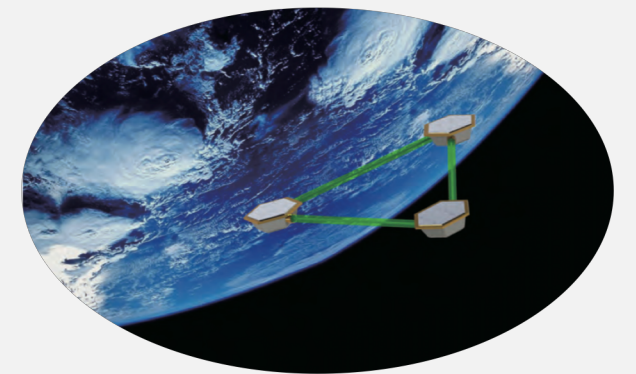
- 地上重力波望遠鏡KAGRAとの関係：  
「KAGRAによる重力波天文学の創成を第一優先とし、その後、宇宙重力波望遠鏡によって重力波天文学を展開する」というJGWC（重力波研究者コミュニティ）での同意。

- 宇宙重力波望遠鏡B-DECIGOとの関係：  
観測周波数帯が異なるため、相補的な関係。

LISAへの小規模貢献は今後の国内宇宙重力波望遠鏡の研究・開発の発展・維持に繋がる。LISA参加を通じて今後の宇宙重力波望遠鏡計画に必要な国際協調の下地を強化する。



KAGRA(credit:NAOJ)



B-DECIOG(J,Phys.:Conf.Ser., 2017)

# まとめ

- 2034年打ち上げを目指して宇宙重力波望遠鏡プロジェクトLISAが現在進行中。
- 日本からLISAへの小規模ながらも重要な機器開発貢献を真剣に検討している。
- 現在、宇宙理学委員会にWG設立申請を提案中。
- 今年度内の活動本格化を目指している。