



# SPICAプロジェクトの現状： 再定義結果

2016年1月5日

芝井広(阪大), 小川博之(ISAS), 尾中敬(東大), 金田英宏(名大),  
河野孝太郎(東大), 中川貴雄, 松原英雄, 山田亨(ISAS),  
SPICA チーム



# SPICA関連ポスター

- P- 078: SPICA が目指すサイエンス、尾中 敬 (東大) ほか
- P- 079: SPICAシステム検討、中川 貴雄 (JAXA) ほか
- P- 080: SPICAペイロードモジュール (PLM)システムの概念検討状況、小川 博之 (JAXA) ほか
- P- 081: SPICA搭載 中間赤外線観測装置 (SMI)、金田 英宏 (名大) ほか
- P-082: SPICA: far-IR spectrometer SAFARI、土井 靖生 (東大) ほか



# SPICA現状

- 日本: ミッション再定義
  - サイエンス検討の進展を受けて、観測装置の最適化を行った。
  - 望遠鏡口径2.5m、温度8K以下に冷却する「横置き」(Planck型)
  - 構造の技術検討の結果、一定の結論が得られた。
  - 総合的な観測性能は、従来のプランより向上。
  - 太陽系外惑星分光機能はオプション。
  - これらの成果について、以下の評価と審査を受けた。
    - 国際科学評価(パリ、7/15)
    - 宇宙理学委・ミッション定義審査(9/19)、終了(11/6)
    - 所内計画審査(12/3)→宇宙研プリプロジェクトへ
- 欧州: Cosmic Vision M5への応募準備
  - 日欧の研究者チーム会合(9/30-10/1, Bordeaux)で方針決定。
  - 個別のサイエンス検討チームを再組織し、プロポーザル執筆中。
- 国際科学アドバイザリーボード
  - 国際科学評価の委員をベースに、常設のアドバイザリーボードを宇宙研所長の諮問機関として設置予定。



# SPICAミッション再定義

## ● ミッション目的

- SPICAは、宇宙が重元素(\*)と星間塵により多様で豊かになり、生命居住可能な惑星世界をもたらした過程の解明を行うミッションである。
  - (\*) 水素・ヘリウム以外の元素(天文用語)、特に炭素・酸素・窒素等が主要元素。

## ● プロジェクトの枠組み

- SPICAは日欧協力を軸とする国際ミッションである。
- JAXAにおいては、宇宙科学の戦略的中型ミッションとして計画が再検討され、ミッション定義審査に2015年11月に合格した。
- 欧州においては、ESA Cosmic Vision のM-classミッションの一つ (CV/M5) として提案が行われる。そのために日欧の研究者が中心となり、プロポーザルを準備中。

## ● SPICA仕様ベースライン

- 望遠鏡 : 有効口径2.5 m, JAXA冷凍機で8 K以下に冷却
- コア波長範囲 : 17–230  $\mu\text{m}$   
(+ 12–18  $\mu\text{m}$ における高分散分光機能)
- 軌道 : 太陽-地球系  $L_2$  ハロー軌道
- 打上 : JAXA H3 ロケット
- 打上年 : 2027–2028



# SPICAミッション定義審査(MDR)

- 概要： 宇宙科学研究所長の諮問により宇宙理学委員会が実施
- 審査の観点
  - 大きな「科学的目的」から、ミッションが目指す科学目的が適切に絞りこまれ、それを実現するための「ミッション要求」が過不足なく設定されているか。
  - 計画が妥当であり、概念検討により計画の実現性(総資金等のリソースを含む)がMDRの段階として妥当なレベルで示されているか。
- 審査員
  - 満田和久(宇宙研、委員長)、井口聖(天文台)、河合誠之(東工大)、田村元秀(東大)、中本泰史(東工大)、原弘久(天文台)、藤本正樹(宇宙研)
- 審査経緯
  - 審査会: 2015年9月19日
  - 要処置事項: 10月7日(説明会)に加え、個別説明およびメール審議
- 審査結果(抜粋)
  - ミッション定義審査合格との報告書が、11月6日付けで、審査委員会より提出された。
    - SPICAによる銀河における星形成過程の観測的研究は、宇宙の進化の理解において、確実にすすめるべき研究である。
    - SPICAによる惑星系形成研究は、星・惑星系の形成過程を解明するために、確実に進めるべき研究である。
    - SPICAの持つこの波長での分光観測能力はこれまでの観測装置を凌駕するものであり、キーサイエンス以外にも公募による観測より、多くの論文成果が得られると期待される。
    - 概念検討によって、システム要求(案)を満たすミッション系を含むシステム成立解の提示について、十分とは言えないが、MDRを受けるフェーズとしては適切なレベルにはいつている。



P-078参照

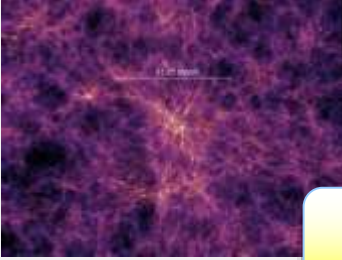
# SPICA科学目的

**大目的: 宇宙が重元素と星間塵により多様で豊かな世界になり、  
生命居住可能な惑星世界をもたらした過程の解明**

目的1: 銀河進化を通しての重元素と星間塵による宇宙の豊穡化

目的2: 生命居住可能な世界に至る惑星系形成

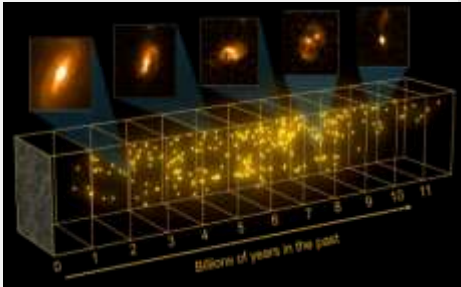
星や銀河の誕生と宇宙最初の鉱物・有機物



目標1: 遠方銀河における星形成活動度

目標2. 塵に覆われた活動的銀河核と物質放出過程

宇宙の星形成最盛期を含む銀河進化・成長史



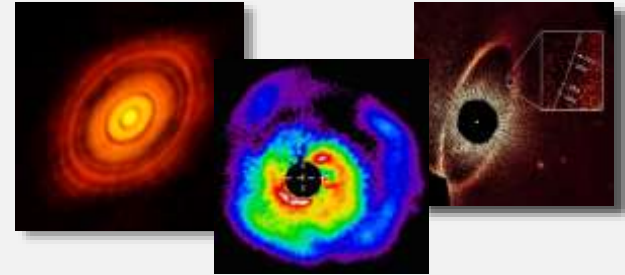
目標3. 近傍の銀河の星形成活動

宇宙初期と類似した銀河や遺物銀河の詳細研究



目標4. 惑星形成円盤におけるガスの散逸過程

原始惑星系円盤におけるガス散逸過程



目標5. 惑星形成円盤における塵成長・変成及び太陽系誕生との関係

残骸円盤における鉱物や氷の変成





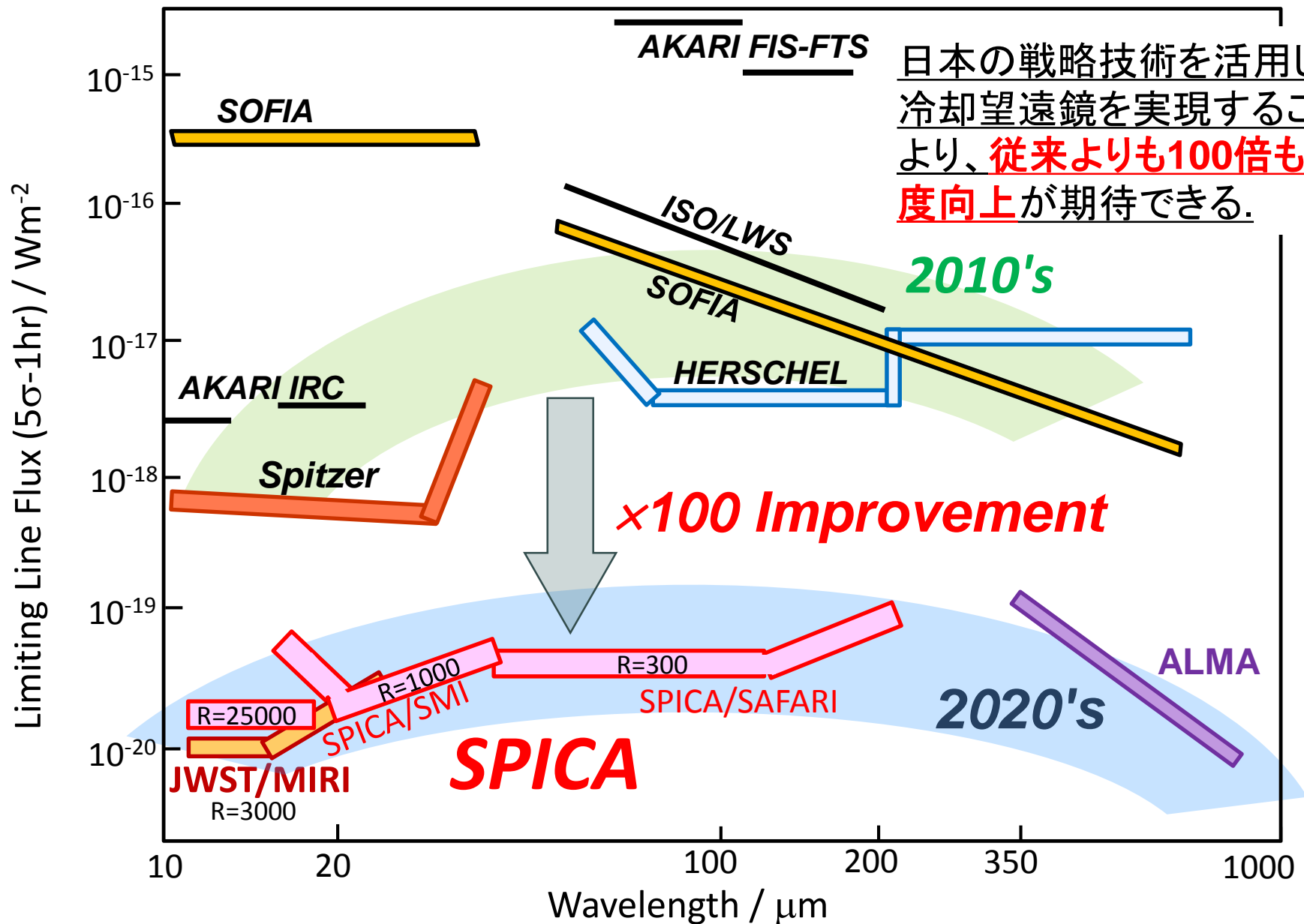
# SPICA科学目的

P-078参照

- トップレベルの目的
  - SPICAの目的は、**宇宙が重元素と星間塵により多様で豊かな世界になり、生命居住可能な惑星世界をもたらした過程を解明すること**である。
    - ビッグバンで誕生した宇宙は水素とヘリウムのみのものであったが、星や銀河の誕生と共に、多様で豊かな現象に満ち、生命までを育む現在の宇宙に変貌を遂げた。SPICAの目的は、この過程を解明することである。
- 具体的な研究目的
  - 上記のトップレベルの目的達成のため、以下の2つの研究目的を設定している。
  - 目的1: **銀河進化を通しての重元素と星間塵による宇宙の豊穡化の過程の解明**
  - 目的2: **生命居住可能な世界に至る惑星系形成の過程の解明**
- SPICAの実現によって何が変わるか？
  - 宇宙多様化の過程は重元素や星間塵の形成と進化と深く関わっており、赤外線観測はそれらの解明に最も強力な手段である。
  - 宇宙多様化に関する最も重要な情報は星間塵に隠されている。現在は、高感度の赤外線観測が実現できていないため、宇宙多様化の証拠がほとんど得られていない。
  - SPICAによる高感度の赤外線観測によって初めて、星間塵に隠された宇宙多様化の物理過程を解明できる。「重元素と星間塵による物質進化」を鍵にして、銀河進化と惑星系形成という異分野を統合的に説明できるようになる。これにより、世界中の科学者がSPICAの成果をベースに、宇宙の物質進化史の共通認識を持つようになる。



# 他の赤外線—サブミリ波プロジェクトとの比較



日本の戦略技術を活用して冷却望遠鏡を実現することにより、**従来よりも100倍もの感度向上**が期待できる。

$\times 100$  Improvement

**SPICA**



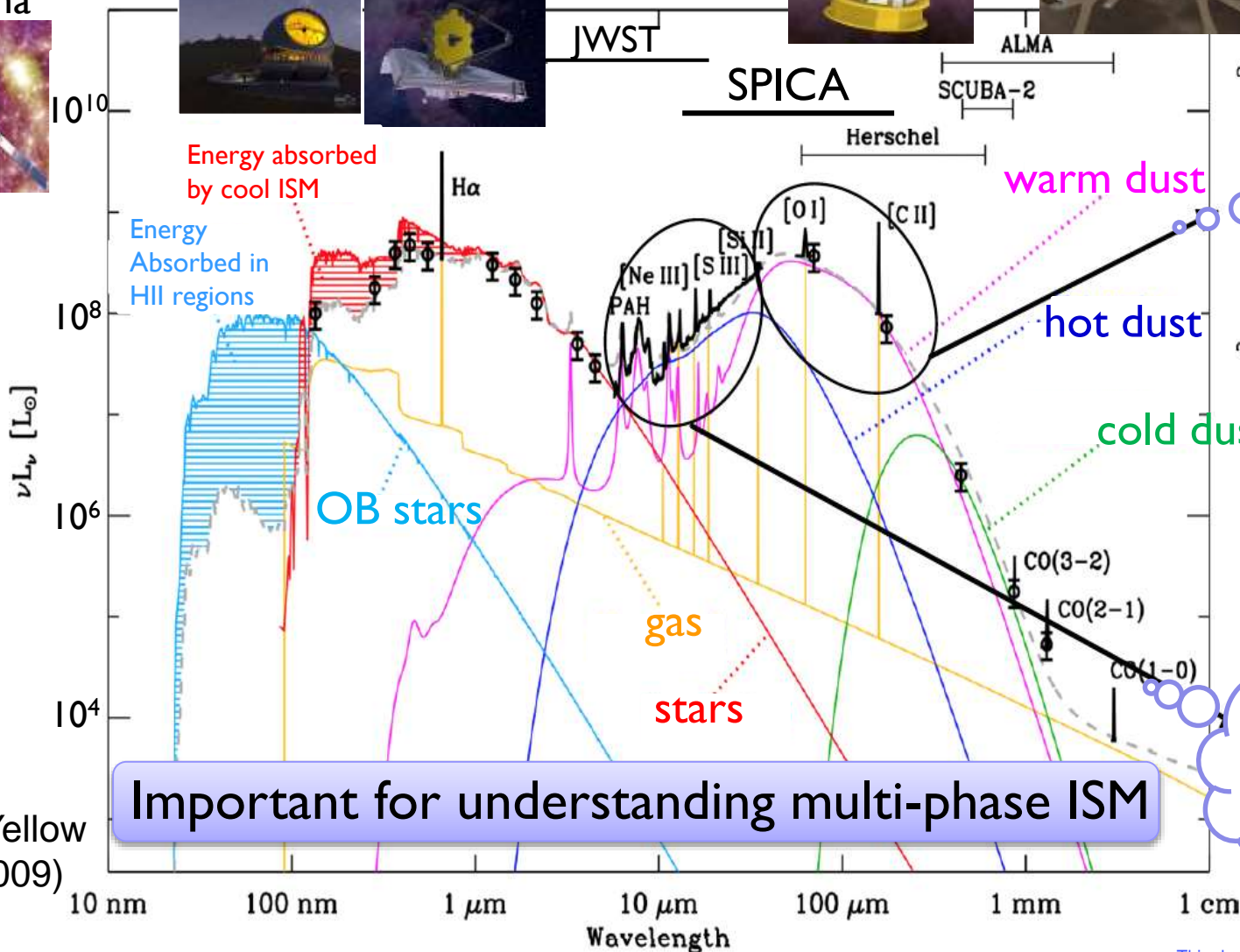
# SPICAと他の大型天文観測装置との比較



ATHENA:  
AGN central engine,  
hot plasma

JWST (TMT):  
primarily stellar components

ALMA:  
cold gas  
components



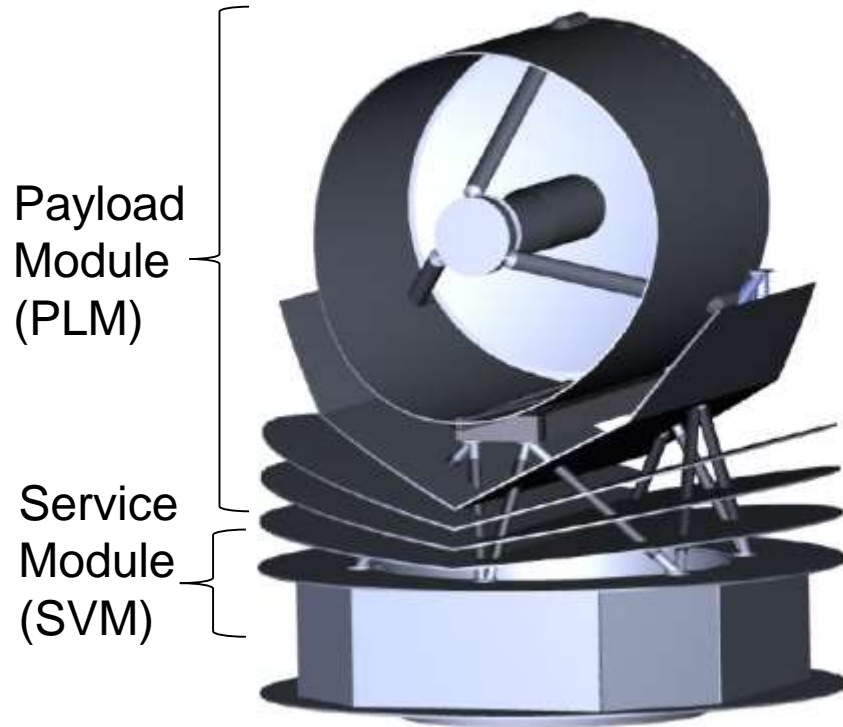
SPICA Yellow Book (2009)

Important for understanding multi-phase ISM



P-079参照

# 主要仕様



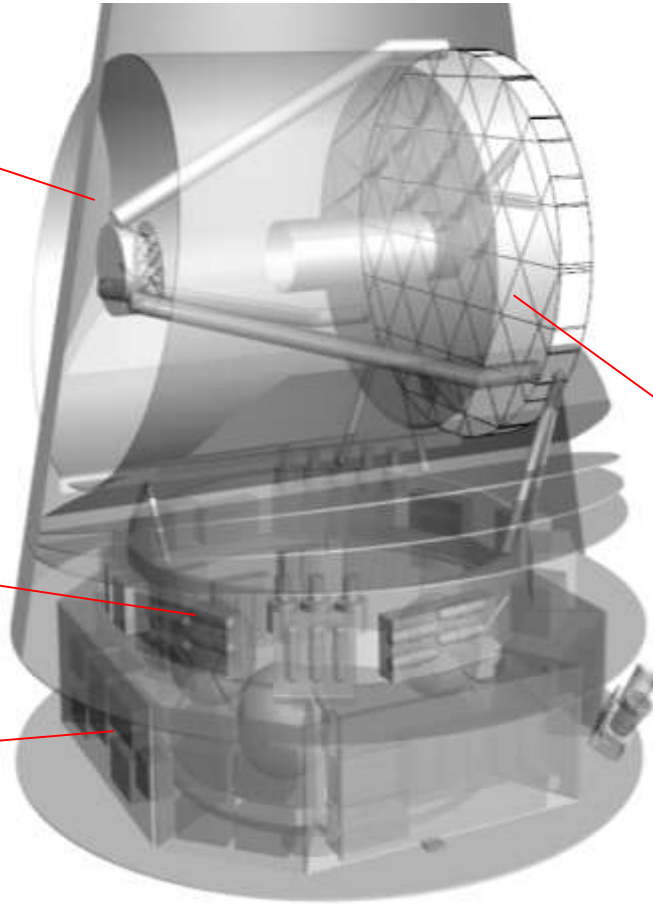
- 外寸:
  - $\Phi 4500$  mm x 5285 mm
  - H3ロケット・フェアリングに収納可能
- 質量:
  - 2614 kg (dry, nominal),
  - 3450 kg (wet, with margin)
  - H3ロケットの能力(  $L_2$ 遷移軌道に3700 kg )で打上可能

V-grooves  
(放射冷却  
& 断熱)

Parameter	Description
Telescope	2.5 m aperture, cooled below 8 K
Core Wavelength	17 – 230 $\mu\text{m}$
Orbit	Halo around S-E $L_2$
Launcher	JAXA H3
Launch Year	2027-2028



# 日欧役割分担(案)



 望遠鏡

 ペイロード冷却系

 冷凍機



 バス部


 打ち上げ(H3)

地上局・データセンター  
   
 (NAOJ)

 焦点面姿勢センサー

## 焦点面観測装置

遠赤外線分光装置 (SAFARI)  
  
  
 NL + European countries + Canada & US

中間赤外線分光装置 (SMI)  


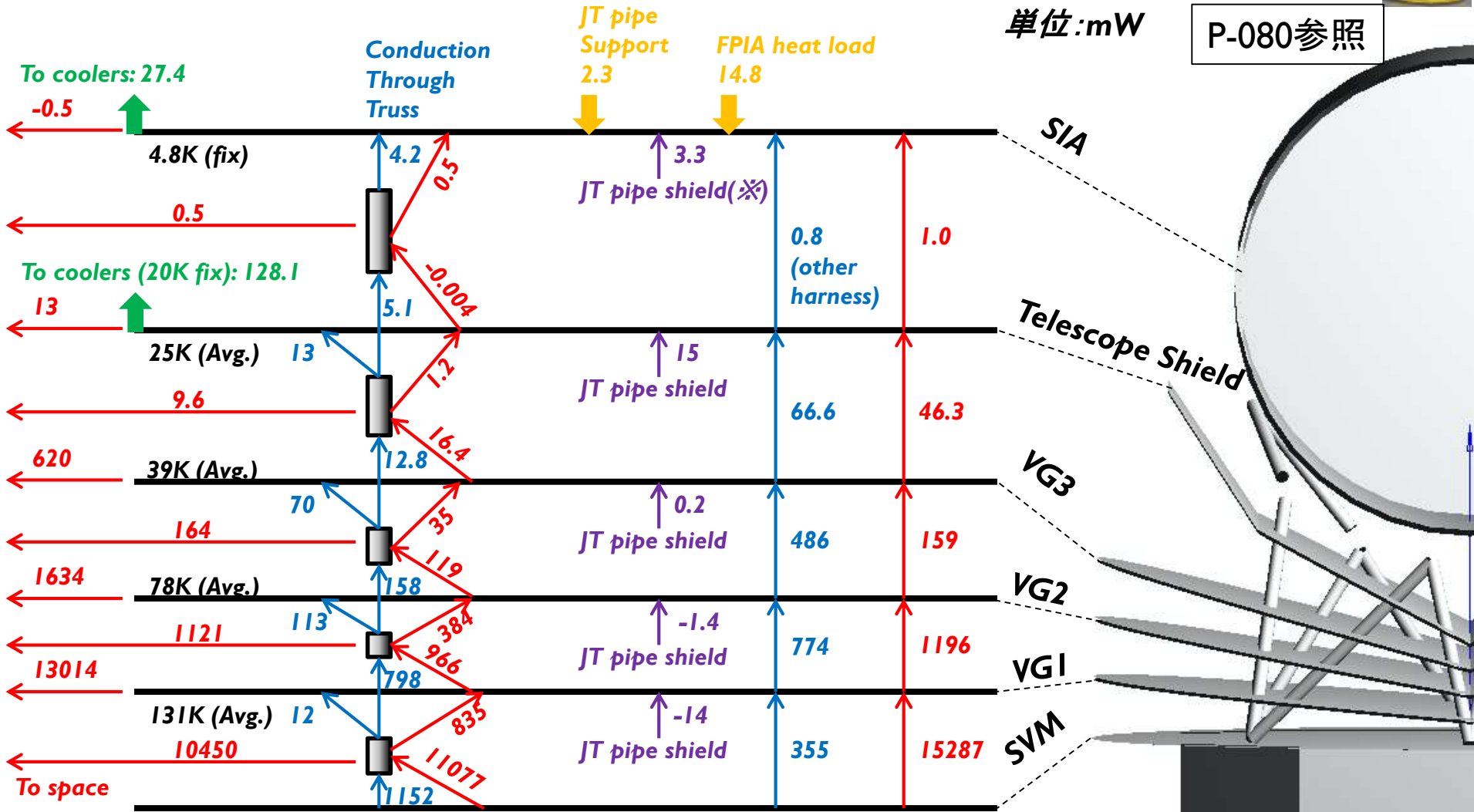
科学者コミュニティー  
 日、欧、米、韓、台、、、



# 熱設計結果 (Heat Flow 図)

単位: mW

P-080参照



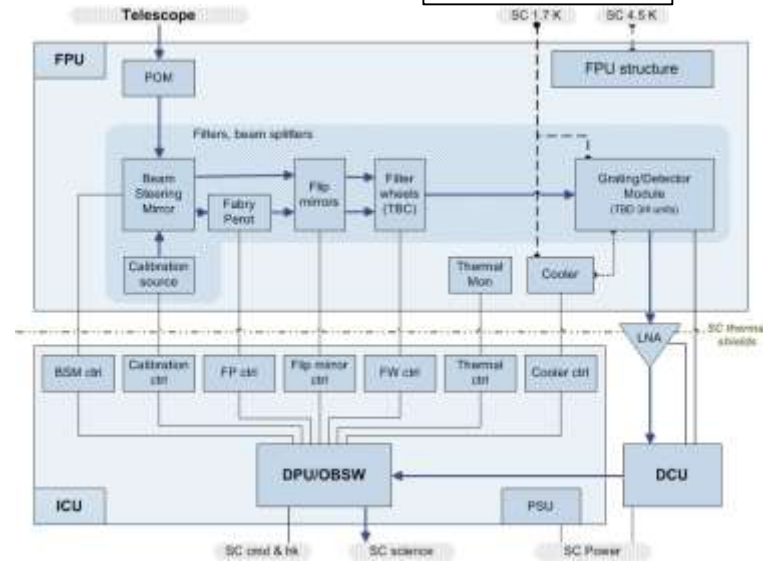
(※) JT pipe shield の熱入力は、本図では最低温部に加えられているが、Telescope shieldまでなので本来はSIAへの熱入力は不要。以前の版との比較のために残した



# 焦点面観測装置: SAFARI (SPICA FIR Instrument)

P-082参照

- **要求**
  - 高感度遠赤外線分光(R=数百&数千)
  - 要求感度  $2 \times 10^{-20} \text{ W m}^{-2} (5\sigma)$
  - 波長範囲 34-230 $\mu\text{m}$
- **設計解**
  - Grating分光器+TES検出器(R~300)
  - +Fabry-Perot (R~3000)
- **要検討項目: EMI 対策**
- **技術レベル**
  - TES検出素子:
    - 単素子/小規模アレー技術実証済み
    - 2018年時点でTRL=6を達成予定
- **要求へのcompliance**
  - 分光感度  $2 \times 10^{-20} \text{ W m}^{-2} (5\sigma, 10\text{hours})$ を以下の条件下で達成
    - 主鏡 $\phi 2.5\text{m}$
    - 現実的な光学系効率・検出器NEP



SAFARI検出器構成・予測感度(5 $\sigma$ , 1hour)

検出器バンド	SW	MW	LW	
波長[ $\mu\text{m}$ ]	34-60	60-110	110-230	
空間分解能 [FWHM]	4.7"	8.6"	16"	
分光感度 (R $\simeq$ 300)	5.3	4.5	6.5	$\times 10^{-20} [\text{Wm}^{-2}]$
分光感度 (R $\simeq$ 3000)	25	24	29	$\times 10^{-20} [\text{Wm}^{-2}]$



# 焦点面観測装置: SMI (SPICA MIR Instrument)

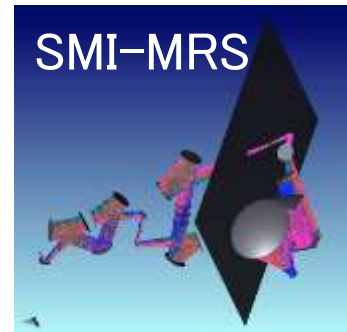
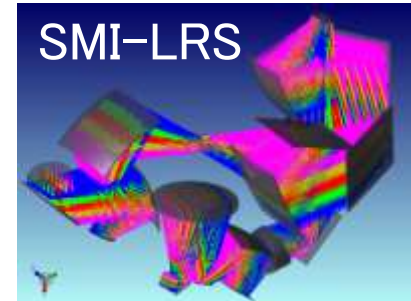
P-081参照

## ● 要求

- SR-2-1: 波長12-18 $\mu\text{m}$ 、感度 $2 \times 10^{-20} \text{ W/m}^2$  (波長分解能 $R > 20000$ )/0.25mJy ( $R > 3000$ )
- SR-2-2: 波長17-36 $\mu\text{m}$ 、感度 $40 \mu\text{Jy}$ 、 $R > 50$ 、分解能3"、サーベイ10平方度
- SR-2-3: 波長18-36 $\mu\text{m}$ 、感度 $2 \times 10^{-20} \text{ W/m}^2$ 、 $R > 1000$ 、分解能2"

## ● 設計解

- 構成 3分光チャンネル (LRS: multi-long-slit prism + Si:Sb、  
MRS: grating + Si:Sb、HRS: immersion grating + Si:As)
- 仕様  
HRS: 12-17 $\mu\text{m}$ 、 $(1.5-3) \times 10^{-20} \text{ W/m}^2$  / 2-4 mJy (1hr 5 $\sigma$ )、 $R=25000$   
LRS: 17-36 $\mu\text{m}$ 、20-100 $\mu\text{Jy}$ (1hr 5 $\sigma$ )、 $R = 50-120$ 、FWHM3"  
MRS: 18-36 $\mu\text{m}$ 、 $(3-10) \times 10^{-20} \text{ W/m}^2$  (1hr 5 $\sigma$ )、 $R=1300-2300$ 、FWHM2"



## ● 要検討項目 Si:As調達 (国際協力を想定)

## ● 技術レベル detectors: TRL4, LRS prism, MRS/HRS grating: TRL5, cryogenic mirror optics: TRL5, optical filters: TRL5

- 要開発項目 Si:Sb検出器の大フォーマット化(1Mpixel)

## ● 要求への compliance

- 口径2.5 m望遠鏡との組み合わせで感度要求を満たす



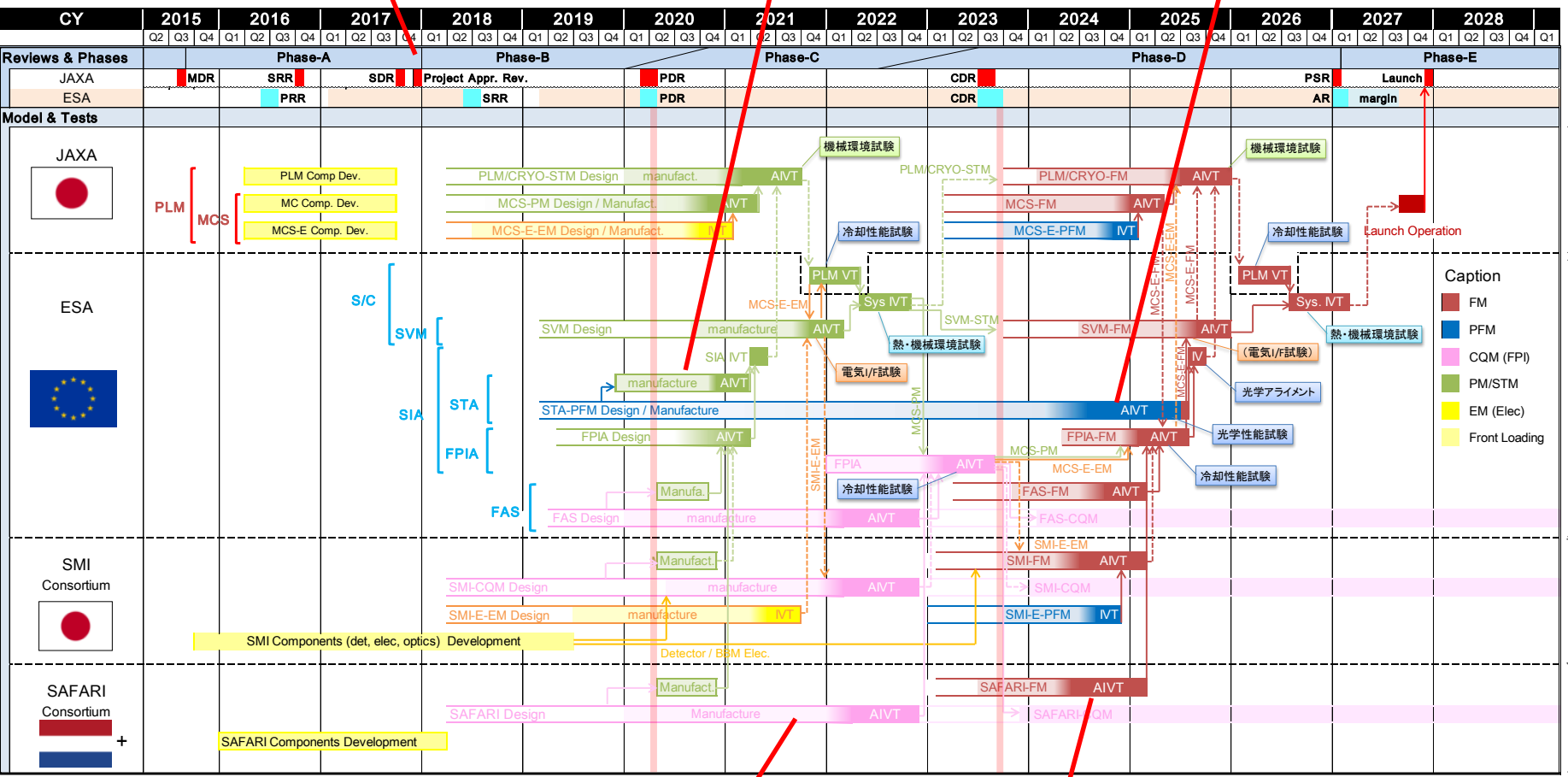


# 開発スケジュール(案)

日欧のプロジェクト化決定プロセス

STA-STMのデリバリー

STA-FMのデリバリー



SAFARI-CQMのデリバリー

SAFARI-FMのデリバリー

プロジェクト開始2018年度、  
 打上げ2027年度を想定  
 (ESA CV M5の決定プロセスを考慮)