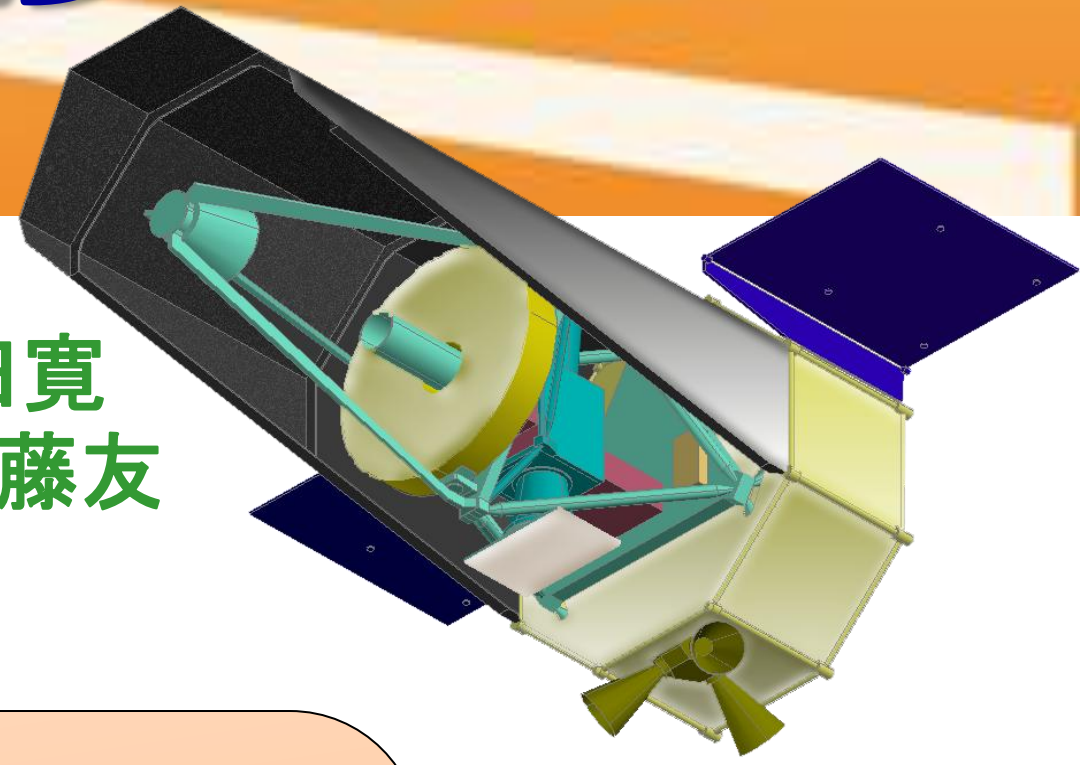


超広視野初期宇宙探査衛星 WISH計画の進捗



山田亨、東谷千比呂(東北大)、岩田生、常田佐久、諸隈智貴、児玉忠恭、小宮山裕(国立天文台)、松原英雄、和田武彦、大藪進喜、杉田寛之、佐藤洋一(JAXA)、太田耕司、矢部清人、筒井亮(京都大)、河合誠之(東工大)、土居守、安田直樹(東京大)、米徳大輔(金沢大)、後藤友嗣(ハワイ大)、井上昭雄(大阪産業大)、池田優二(フォトコーディング)、岩村哲(エム・アール・ジェイ)、ほかWISH Working Group

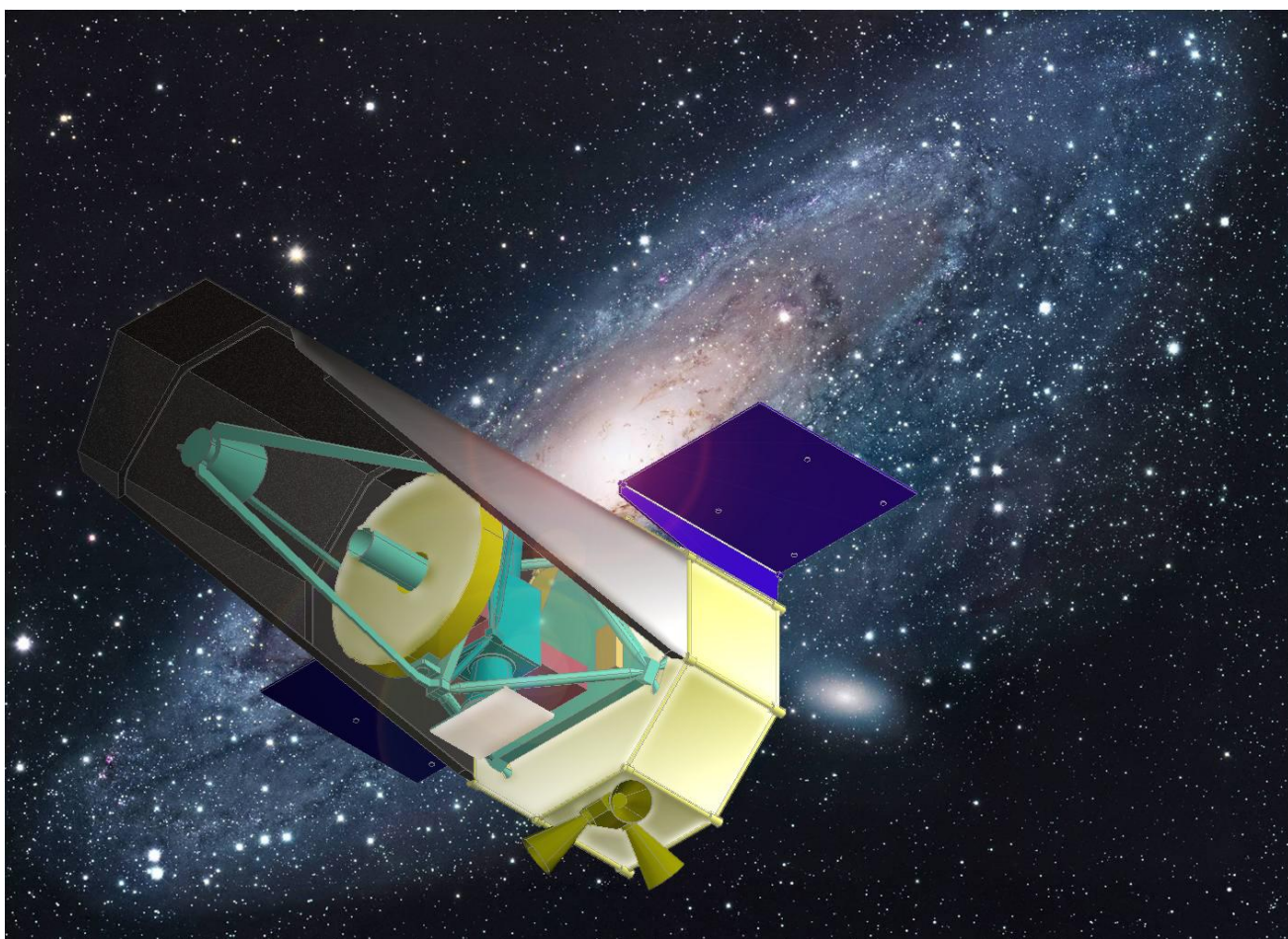
WISH 計画は、口径1.5m主鏡と視野約1000平方分角の近赤外線カメラを搭載した宇宙望遠鏡衛星を2010年代中盤に打ち上げ、従来の地上からの観測で達成不可能であった深さで非常に広い天域のサーベイ(捜天)観測を行い、中心課題として「初期宇宙における第1世代銀河の探索」を目指すとともに、遠方 Ia 方超新星の観測による暗黒エネルギーの研究などをはじめとする、斬新なデータによる幅広い天文学研究の推進を目指すものである。2008年9月に JAXA ISAS 理学委員会において、WISH ワーキンググループ設立が認められ、ミッション提案に向けて、WISH が目指す科学目的の検討と概念設計および技術開発研究をすすめており、本講演では、このような WISH 計画進捗の全体を報告する。関連講演 W10b, W11b (以上飛翔体観測機器)、および B20b (企画セッション:TMT)も参照されたい。

WISH: Wide-field Imaging Surveyor for High-redshift

- 近赤外線(波長 1-5 μm)における、これまでにない超広視野・深宇宙探査計画
- 再電離期の宇宙を探索し、第1世代と呼べる初期の天体形成をとらえる
 - ➔ 銀河宇宙史の究極のフロンティア
- 主鏡口径 1.5m、広視野(~1000平方分角) シンプルな光学系を持つ、単機能専用望遠鏡
- TMT、JWST、SPICA、すばる [HSCなど] とも相補的な機能

すばる、ひので、あかりからの発展

主鏡口径	1.5m
観測波長	1 μm ~ 5 μm
視野	約1000平方分角
観測深度	約25 σ 、背景雑音 10K、検出限界
広視野カメラ	広視野カメラ(1.5m口径)を2台、検出限界にモザイク状に配置
検出器	Si-CCD (1.5 μm)
冷却システム	Si-CCD (1.5 μm) (最大深さによる)
冷却システム	Si-CCD (1.5 μm) (最大深さによる)
冷却システム	Si-CCD (1.5 μm) (最大深さによる)

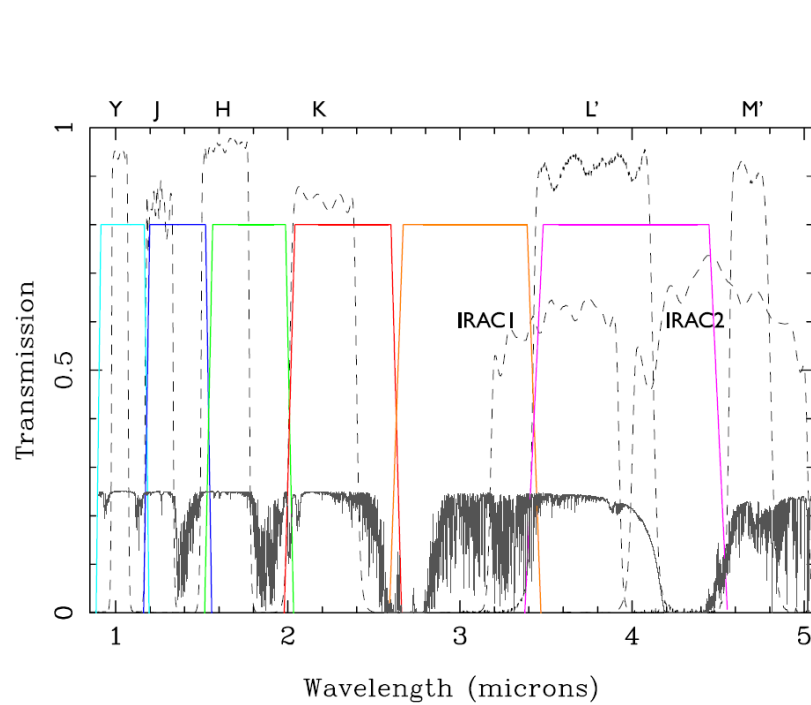


WISH 基本仕様案と現在のスケジュール

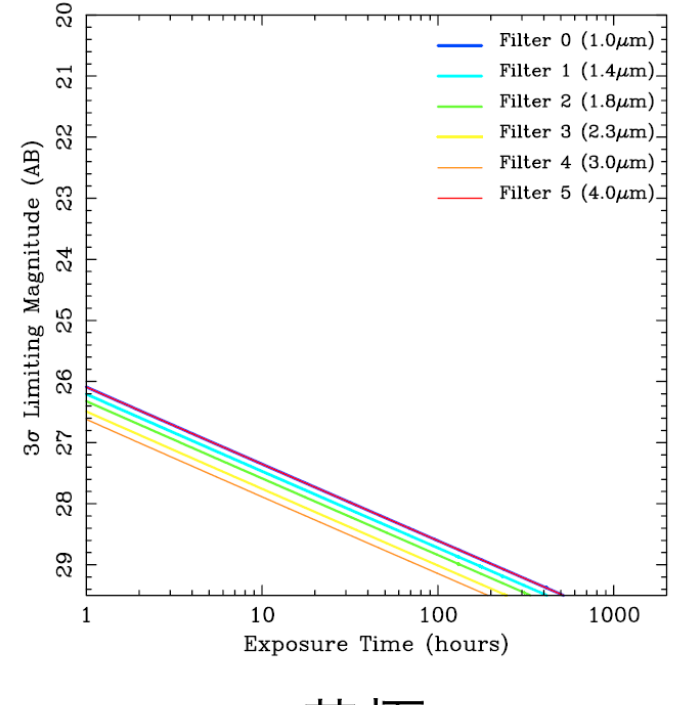
WISH Science Goals 関連する講演 W10, B20

WISH が目指すサイエンスに最適化した望遠鏡・衛星の概念設計、サーベイおよび運用計画を構築するため、WISH に期待される感度と、とくに第1世代と呼べる最遠方銀河の検出見込みについて、詳細な検討を行った。具体的には、赤方偏移 $z=8$ から $z=17$ までの銀河をとらえる撮像用広帯域フィルタ・セットの最適化、主鏡を含む望遠鏡、広視野カメラの温度と感度の検討、銀河形成モデルを用いた検出銀河数の評価、正味のミッション・ライフタイムにおける最適なサーベイ計画などを検討した。その結果、WISH が達成すべき感度・視野などについて、約28等級(約25 nJy)の感度で100 平方度の探査を目指す Ultra-Deep Survey を中心とする戦略を明確にした。より詳しい検討は、関連講演の B20 (岩田、他) および W10 (矢部、他) を参照されたい。

下の図は、検討している撮像用広帯域フィルタセットの基本案のひとつ、およびこれを用いた観測を行った場合の高赤方偏移銀河の同定のための2色図の一例、WISH 基本仕様に基づいた感度計算、そしてこれを用いた探査で、1 平方度あたりの観測から期待される銀河の個数である。

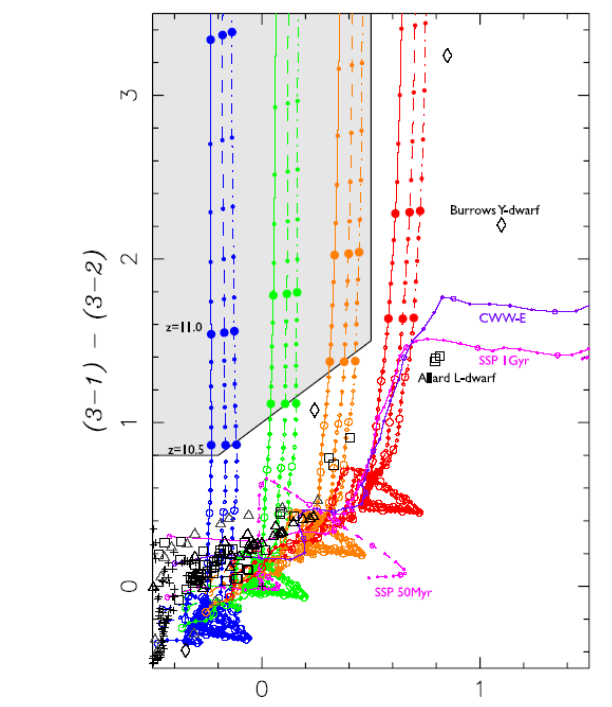


WISH 撮像フィルタ・波長バンドパス基本案



黄極x3

期待される感度(3 σ)と積分時間



遠方銀河検出のための2色図の例

		検出期待数(Num/deg ²) (m<28.0)		
	redshift	無進化	Empirical Evolution	DMH Evolution
Set 3: 0-drop	8-9	4,000	1,690	852.3
Set 3: 1-drop	11-12	2,393	104.2	4,116
Set 3: 2-drop	14-17	1,249	0.723	0.003

期待される1平方度あたりの銀河検出数
Empirical Evolution は既知の $z=6-8$ の光度関数
び進化を外挿したもの。SAM は小林氏(京都大)
による準解析的銀河形成モデルによる評価

WISH による成果が期待される
様々な分野での研究課題
(WISH サイエンスワークショップより)

- 第1世代銀河と宇宙再電離
- 系統誤差が少ない近赤外 Ia 型超新星による宇宙膨張史、暗黒エネルギーの研究
- 遠方クエーサー探査
- 変光天体 (AGN、超新星) 探査
- 銀河形成・進化
- 高精度アストロメトリによる銀河系渦状腕構造の研究
- 太陽系小天体
- 近傍矮小銀河の星種族
- トランジット系外惑星探査

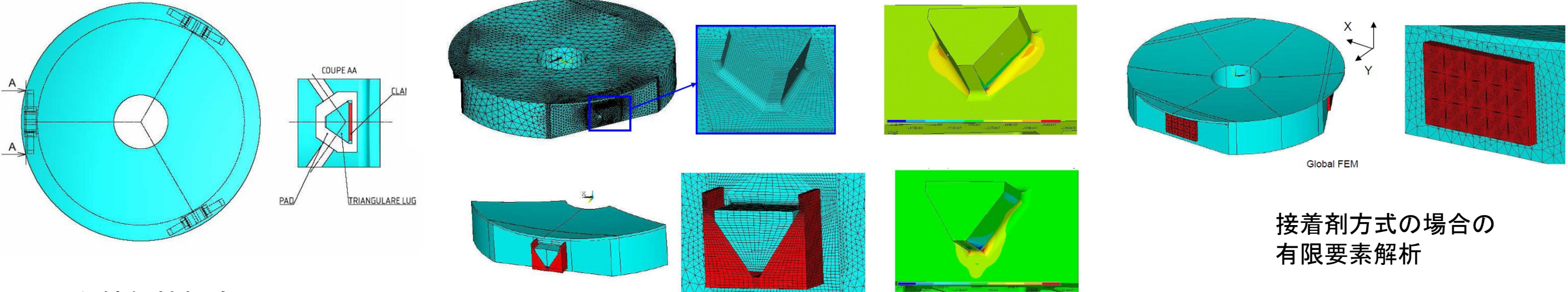
主要な研究課題についてより深く検討を進めるとともに、WISH の汎用性を活かした様々なサイエンス課題を検討し、またコミュニティにおける WISH への理解と賛同を広めるため、「WISH サイエンスワークショップ」(2009 年 4 月)、および「WISH サイエンス検討会」(2010 年 3 月)を行った。

主鏡保持機構の検討

WISH 衛星では、望遠鏡の基本的な製作性は高いとの見通しを得ているが、軌道上に於いて、約100K までの冷却を行うため、打ち上げ時に十分な強度を持ち、かつ冷却により光学性能の劣化を生じない主鏡保持機構の検討が必要である。主鏡保持のための方式として、主鏡側面、または側面下部を削りこんだ面を、3点で保持する方式を考え、主鏡の鏡材と固定パッドについて、とくに [1] 接着剤を用いて接合する場合、[2] 機械式クランプを用いて接合する場合について検討した。

接着剤については、約15種類のリストアップを行い、最も潜在的な性能が良いEP21TCHT-1を想定して有限要素解析により、常温における打ち上げ荷重に対する耐性と、冷却時における耐性を評価した。その結果、超低膨張ガラス素材の主鏡に対して、接合パッドとして INVAR 素材を用いる場合には、室温から90Kまでの冷却による収縮に伴うストレスが、期待される耐性強度を数倍以上回り、問題があることが明確になった。一方、接着剤自身は、最大20G の打ち上げ時荷重、および、室温から90Kまでの冷却によるストレスに対して、マージナルに耐えうる強度を持つという評価が得られた。

機械式クランプ方式についても、接合パッドの形状などについて複数の案を検討し、さらにその中から、主鏡側面にその一部を削ってつくる突起にクランプ機構をはめ込み1方向から力を加えて固定する、実現可能で最もシンプルな場合について、詳しく検討した。有限要素解析を行い、打ち上げ時荷重に対する強度、冷却時のストレスに対する強度があるか、また、冷却時のストレスにより鏡面精度にどのような影響が及ぶのかを検討した。今回検討したクランプ機構においては、約1.6倍の安全係数を見込んだ場合、冷却による熱収縮に伴うストレスに対しては、ほぼ必要な強度を満たすことがわかった。一方、打ち上げ時荷重に対しては、必要な強度を若干下回る結果となった。主鏡構造の強化や、クランプ機構の最適化を図ることで、これらの問題は解決可能である見通しで、今後、さらに詳細な解析を行って、適合する解を明確にしたい。

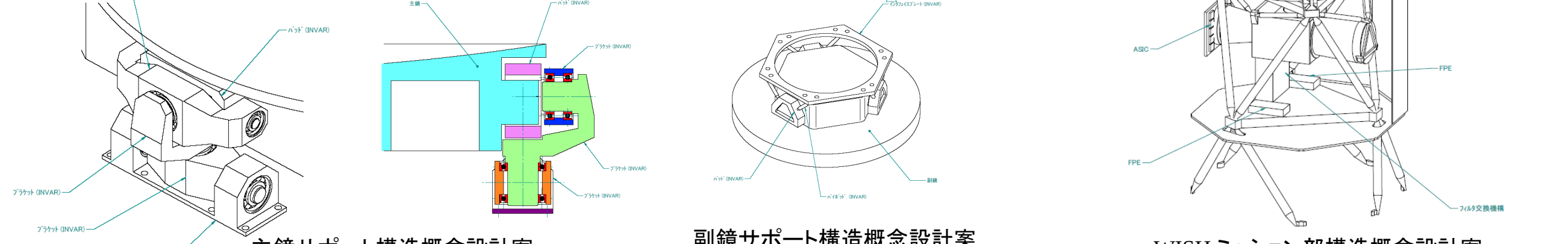


主鏡保持概念図

主鏡保持 機械式クランプ方式 全体(上)および局所的(下)有限要素解析
全体モデルでは打ち上げ荷重に対する耐性を、局所モデルでは常温から 100K までの冷却による熱荷重に対する耐性を評価した

望遠鏡構造

光学系レイアウト基本案に基づき、望遠鏡構造の基礎的な概念設計を行った。また、主鏡支持部については、主鏡セルを支持し、CFRP 製トラス構造からなる望遠鏡構造と接続する機構の基礎的な概念設計を行った。本検討では、Solar-B (ひので) などにおいて高い実績を持つリンク機構をベースに考え、軸部にボールベアリングを採用することによって高い性能を持つキネマティックマウントを実現し、弾性干渉による荷重をほぼ完全に防止するデザインの概念設計を行った。副鏡については、パイポッドの弾性ヒンジによる弾性支持マウント方式を検討した。



主鏡サポート構造概念設計案

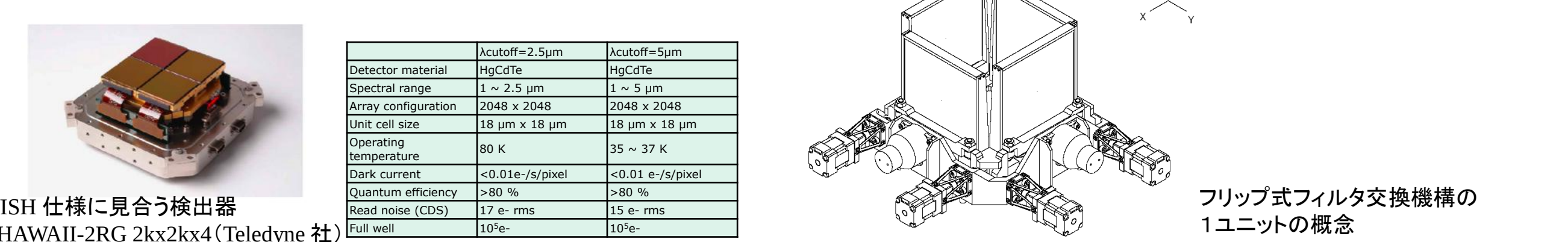
副鏡サポート構造概念設計案

WISH ミッション部構造概念設計案

広視野カメラ 関連する講演 W10, W11

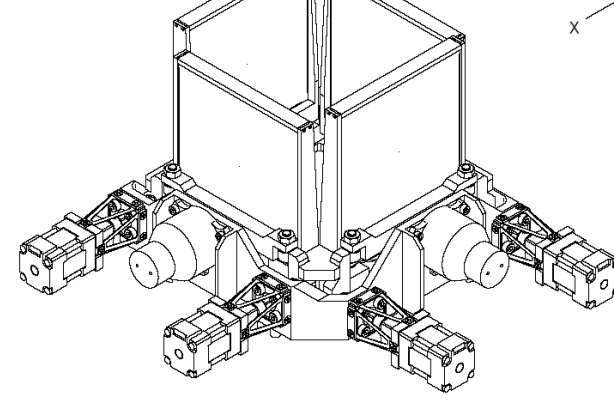
WISH 広視野カメラの重要な開発要素のひとつが、広視野フィルタ交換機構である。WISH WG では、多色観測が実現可能であり、また、一定の冗長性を持つ案として、フリップ式の交換機構について、検討を進めている。詳細は、関連ポスターを W11 参照されたい。大型フィルタそのものの試作・試験についても、別途ポスター W10 を参照されたい。

検出器についても検討を進めている。WISH で想定する 2k x 2k の波長 1~5 μm ミクロンに対応する宇宙仕様の赤外線検出器について、JWST NIRCam 用検出器を提供しているメーカーと議論を行い、これまでに得られている仕様・特性を検討するとともに、数年間で WISH 実現に必要な宇宙仕様の赤外線アレイおよび基本駆動回路が調達可能である見通しを得ているが、今後、さらに、段階的な評価と最適化の検討を実施してゆきたい。



WISH 仕様に見合う検出器
HHAWAII-2RG 2kx2kx4 (Teledyne 社)

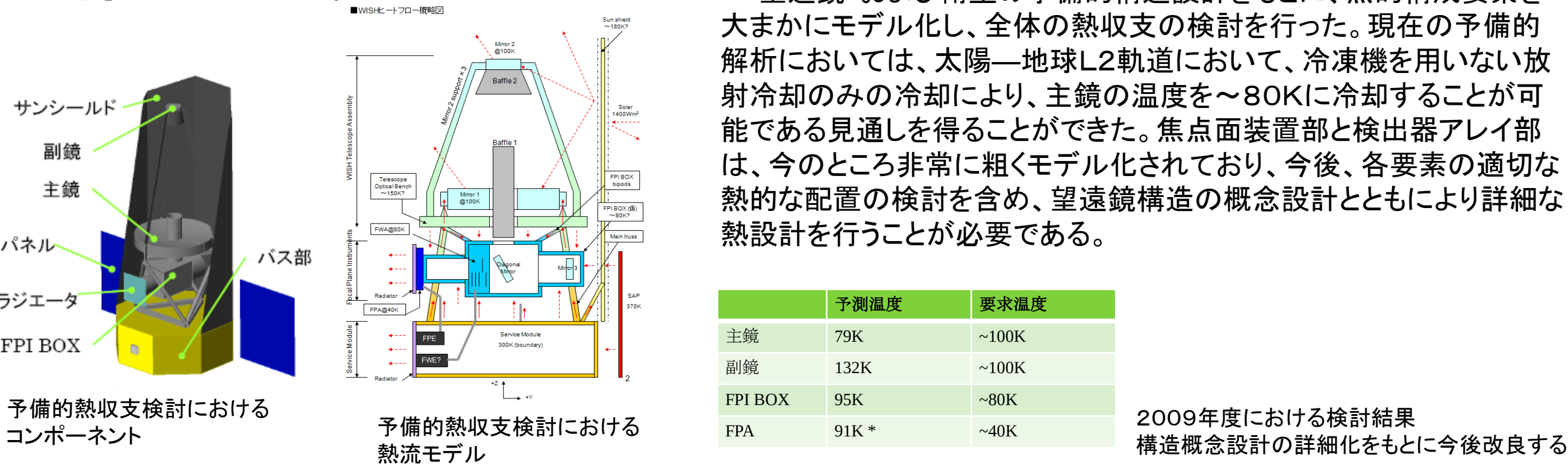
	Acadoff-2.5 μm	Acadoff-5 μm
Detector material	HgCdTe	HgCdTe
Spectral range	1 ~ 2.5 μm	1 ~ 5 μm
Array configuration	2048 x 2048	2048 x 2048
Unit cell size	18 μm x 18 μm	18 μm x 18 μm
Operating temperature	80 K	35 ~ 37 K
Dark current	<0.01 e-/s/pixel	<0.01 e-/s/pixel
Quantum efficiency	>90 %	>90 %
Read noise (RMS)	17 e- rms	15 e- rms
Full well	10 ⁶ e-	10 ⁶ e-



フリップ式フィルタ交換機構の1ユニットの概念

予備的熱設計検討

望遠鏡・および衛星の予備的構造設計をもとに、熱的構成要素を大まかにモデル化し、全体の熱収支の検討を行った。現在の予備的解析においては、太陽—地球—L2軌道において、冷凍機を用いない放射冷却のみの冷却により、主鏡の温度を~80Kに冷却することが可能である見通しを得ることができた。焦点面装置部と検出器アレイ部は、今のところ非常に粗くモデル化されており、今後、各要素の適切な熱的な配置の検討を含め、望遠鏡構造の概念設計とともにより詳細な熱設計を行うことが必要である。



予備的熱収支検討におけるコンポーネント

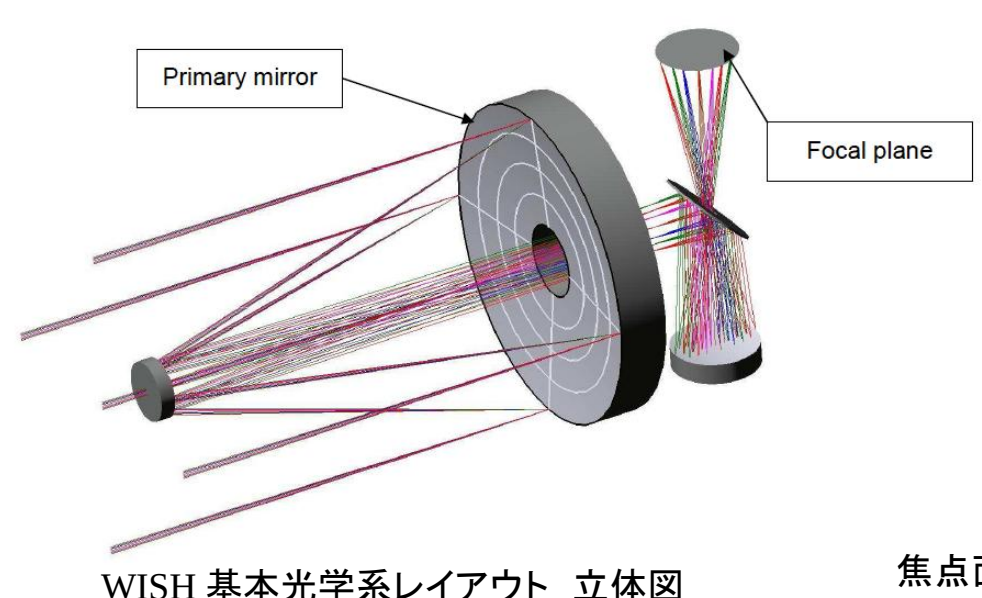
予備的熱収支検討における熱流モデル

	予備温度	要求温度
主鏡	79K	~100K
副鏡	132K	~100K
FPI BOX	95K	~80K
FPA	91K *	~40K

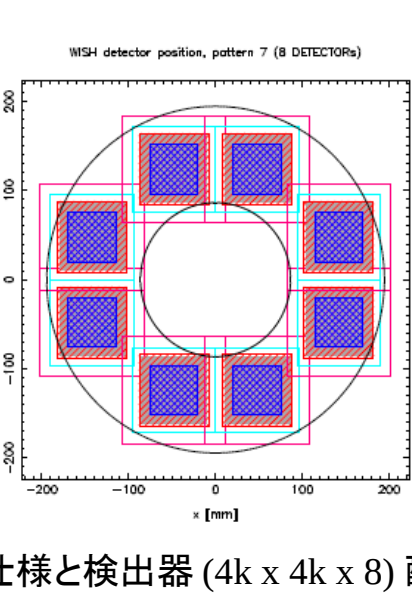
2009 年度における検討結果
構造概念設計の詳細化をもとに今後改良する

光学系レイアウト基本案

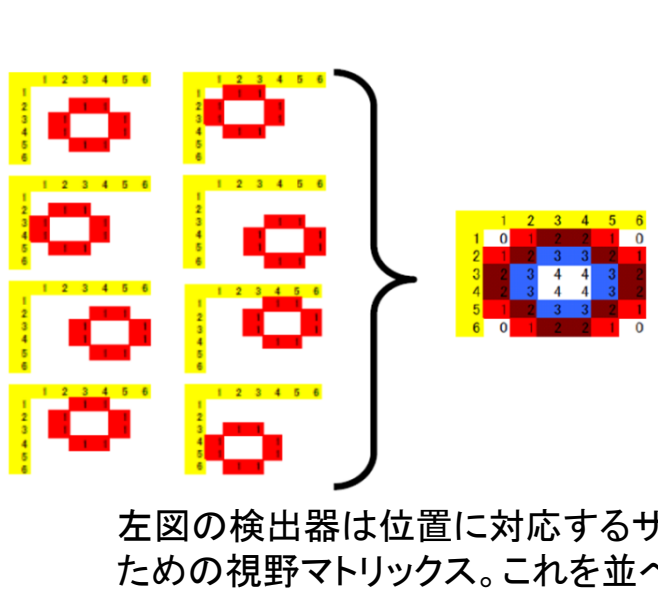
WISH 光学系レイアウトの基本設計の見直し、最適化を得る改良を行った。これまで副鏡位置に設置していた光学的瞳位置を主鏡位置に変更して(有効口径を変えず)物理的主鏡径の縮小化をはかるとともに、光学性能を維持するように鏡面パラメータの最適化を行った。焦点面では、ドーナツ型の平坦性に優れた視野となるが、視野内径の 0.2 度角から、外径に相当する0.7 度角まで、1-5 ミクロンで、ほぼ回折限界の結像性能を得ることができる。



WISH 基本光学系レイアウト 立体図



焦点面基本仕様と検出器 (4k x 4k x 8) 配置案



左図の検出器は位置に対応するサーベイのための視野マッピング、これを並べることによって一様な感度を得ることができる。

姿勢安定性

WISH は、基本案として、0.15秒角のピクセルを採用しており、中心波長となる 1.5 μm における回折限界は、約 0.22 秒角、最も短い波長 ~1 μm での回折限界は、約 0.15秒角である。したがって、典型的な露出時間と評価される数百秒間に姿勢安定性が ~1/2 pixel となる 0.07 秒角以下であることが求められる。冷凍機などへの外的擾乱源は無く、また、SE-L2 という比較的、熱的安定性が高い軌道を想定しているが、この姿勢安定性要求が達成できるかどうかは、本質的かつ重要な課題である。これまでの JAXA の衛星では、「ひので」衛星に於いて60秒間での r.m.s. ~0.15秒角(z軸のみ)が達成されている。