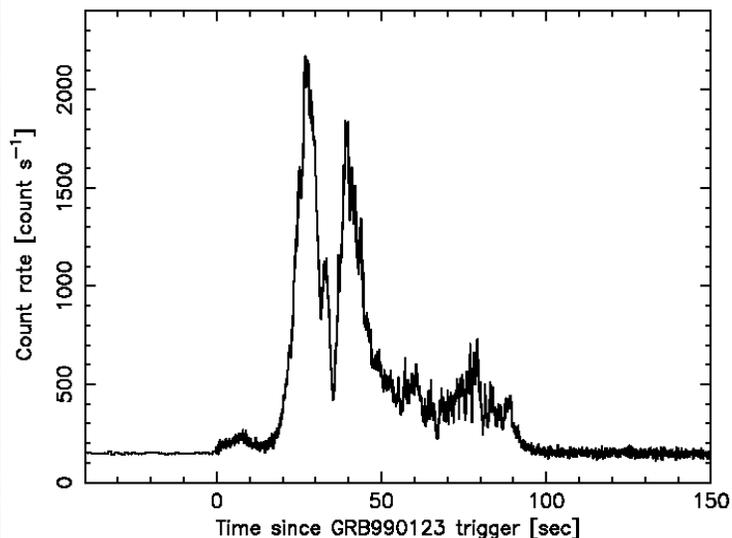
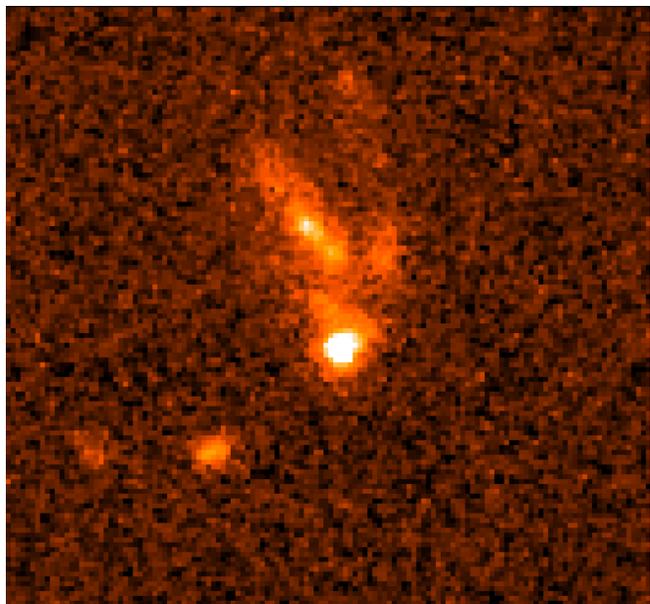


HiZ-GUNDAM衛星の開発の現状

津村耕司 (東京都市大学, ktsumura@tcu.ac.jp)

HiZ-GUNDAM チーム

ガンマ線バースト (GRB)



Long GRBs ($T > 2 \text{ sec}$): 初期宇宙の探査

- 大質量星の爆発 ($M > 40M_{\text{sun}}$)
- $E = 10^{50} - 10^{54} \text{ ergs}$
- 非常に明るいため、遠方宇宙の探査に活用できる

Short GRBs ($T < 2 \text{ sec}$): 極限環境物理の探査

- 中性子星連星の合体
- $E = 10^{48} - 10^{51} \text{ ergs}$
- 重力波との協調観測

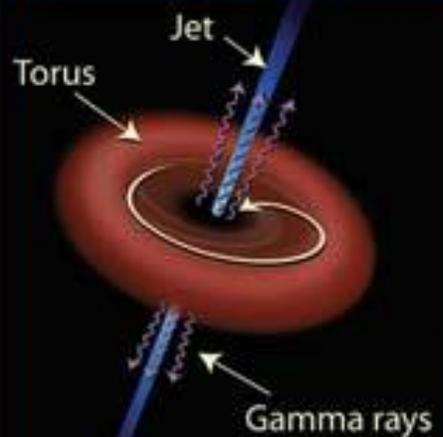
Gamma-Ray Bursts (GRBs): The Long and Short of It

Long gamma-ray burst ($> 2 \text{ seconds' duration}$)

A red-giant star collapses onto its core...



...becoming so dense that it expels its outer layers in a supernova explosion.



Short gamma-ray burst ($< 2 \text{ seconds' duration}$)

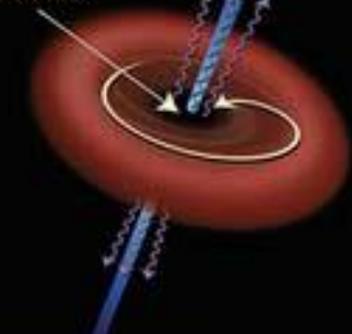
Stars* in a compact binary system begin to spiral inward...



...eventually colliding.



The resulting torus has at its center a powerful black hole.

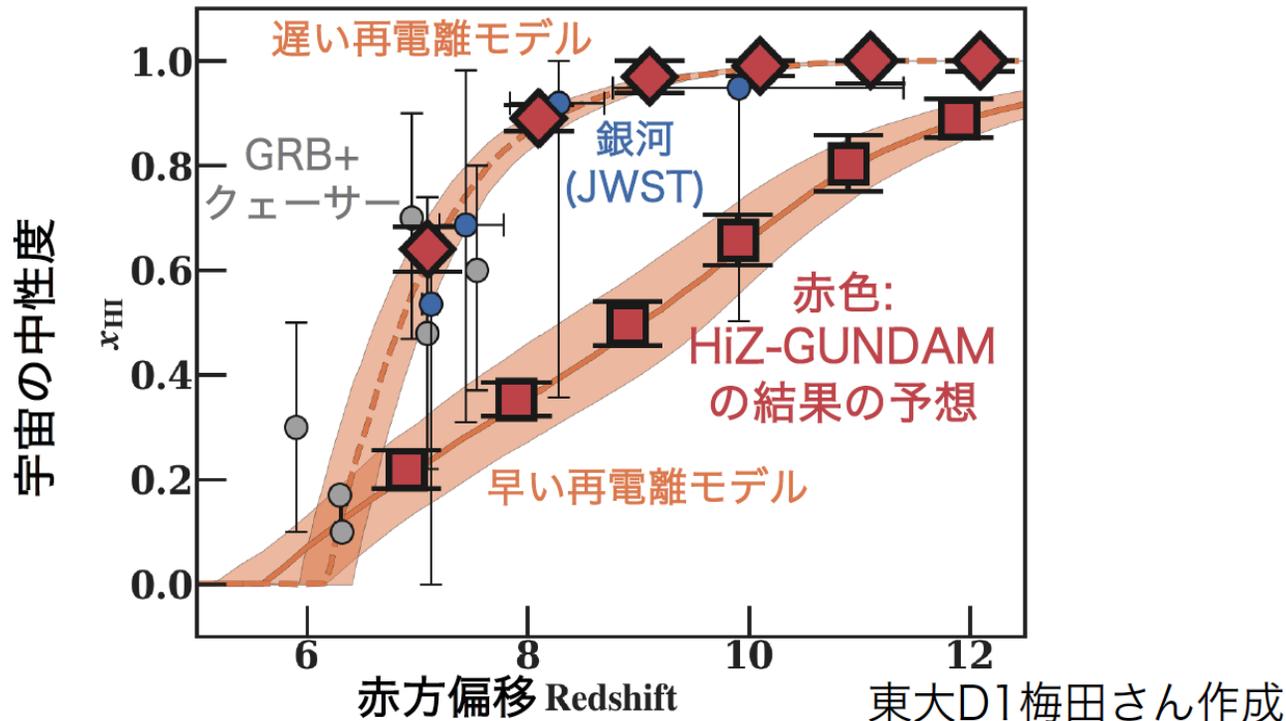


*Possibly neutron stars.

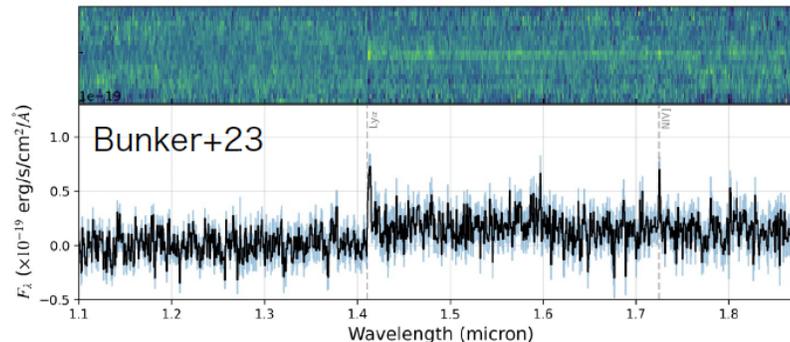
GRBを用いた初期宇宙探査の意義

- 銀河やクェーサーの観測と比較した、GRBでの初期宇宙探査の利点
 1. 銀河と比較して**GRB発生直後の残光は数1000倍以上と圧倒的に明るい**ため、短時間の観測でもS/N比の高いデータを獲得できる
 2. 大規模な銀河は長期間にわたって輝いているため銀河間空間を電離してしまう（観測バイアスが存在する）が、突発天体であるGRBは爆発より前に銀河間空間へ与える影響はほとんど無いことから、初期宇宙の普遍的な状態を計測できる（**無バイアス性の高い計測が可能**である）
 3. 銀河やクェーサーのスペクトル形状は複雑で、かつ個性があるためにライマン α 吸収端の減衰翼形状の測定が困難であるが、GRBは単純なベキ型のスペクトルであることから同形状を測定しやすい（**モデル依存性の少ない計測が可能**である）

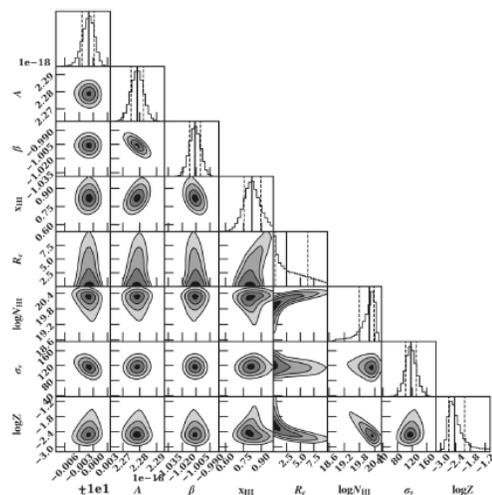
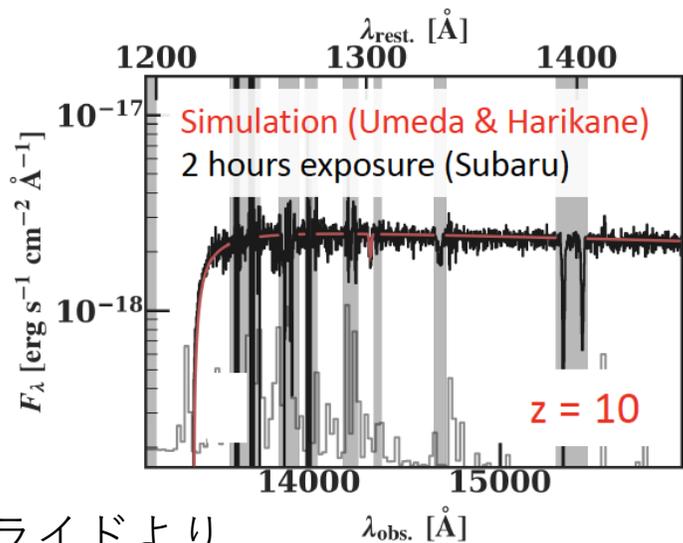
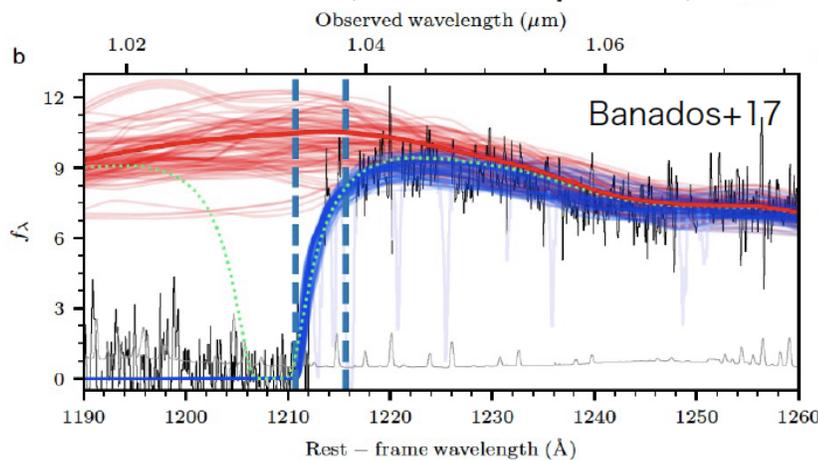
Cosmic Reionization – Future Prospect



Brightest galaxy GN-z11, $z=10.60$
6 hours exposure (JWST)



Quasar $z=7.5$ (8 hours exposure)



High-redshift GRBs are

- Enough bright
- Simple power-law spectrum

redshift, x_{HII} , galactic neutral gas, metallicity, ionization bubble size, etc.

HiZ-GUNDAM (High-z Gamma-ray bursts for Unraveling the Dark Ages Mission)

ミッション目的:

“初期宇宙探査”と“マルチメッセンジャー天文学”への貢献

主要課題1: ガンマ線バースト (GRB) を用いた初期宇宙探査

観測: 高赤方偏移 GRB の検出 ($9 < z < 12$)

科学: 初期宇宙の星形成率の測定と初代星を起源とする GRB の探査
宇宙再電離と元素合成の変遷の理解

主要課題2: マルチメッセンジャー天文学の推進

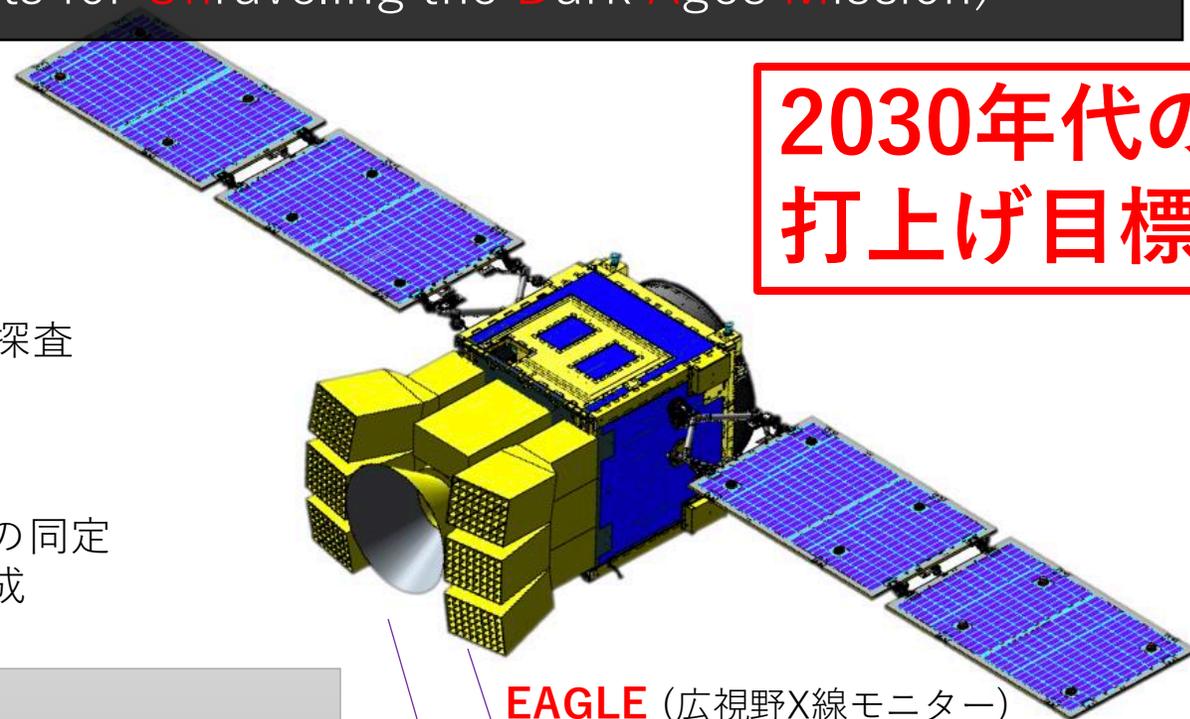
観測: 重力波・高エネルギーニュートリノと同期した突発天体の同定

科学: ブラックホール誕生時のエネルギー変遷、希土類元素生成
重力エネルギーを源泉とした宇宙線加速の理解

観測戦略

- (1) **EAGLE** (広視野X線モニター) による暗い GRB や X 線突発天体の発見
- (2) 自律制御による衛星の姿勢変更 (300秒以内)
- (3) **MONSTER** (可視光・近赤外線望遠鏡) を用いた対応天体の同定 (15分以内)
- (4) 観測情報のアラート送信 (30分以内)
- (5) 大型望遠鏡による高赤方偏移 GRB や重力波天体の分光観測

2030年代の
打上げ目標



EAGLE (広視野X線モニター)

- ・ ロブスターアイ光学系
- ・ pnCCD 撮像検出器

MONSTER (可視光・近赤外線望遠鏡)

- ・ アサーマル光学系
- ・ ケスタープリズムによる5バンド同時測光

EAGLE (広視野X線モニター) の仕様

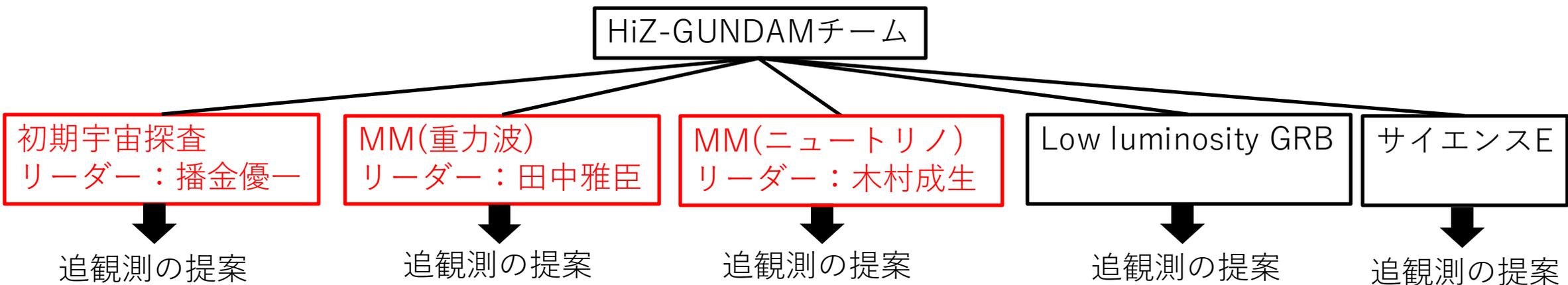
エネルギー帯 (keV)	0.4 - 4 keV
視野	約 0.5 str
検出感度	10^{-10} erg/cm ² /s (100 秒露光時)
時間分解能	< 0.1 秒
方向決定精度	約 3 分角

MONSTER (可視光・近赤外線望遠鏡) の仕様

望遠鏡口径	30 cm				
視野	15 分角 × 15 分角				
露光時間	10 分 (2 分 × 5 フレーム)				
観測バンド (μ m)	0.5 - 0.9	0.9 - 1.3	1.3 - 1.7	1.7 - 2.1	2.1 - 2.5
限界等級 (AB)					
10分露光, S/N=10	21.4	21.3	21.4	20.8	20.7

追観測検討チームの活動

- 発見したGRBに対して自分達で追観測して科学成果を創出する枠組みを検討し、サイエンステーマごとに追観測チームを結成
 - 2大テーマである「初期宇宙」と「マルチメッセンジャー(MM)」で検討を開始
- GRBアラートに対して、すばるなどの大型望遠鏡で即応的(1時間以内)に追観測を実現したい(2030年代)
- Einstein Probeの発見天体等に対する追観測、 JWSTへの観測提案など

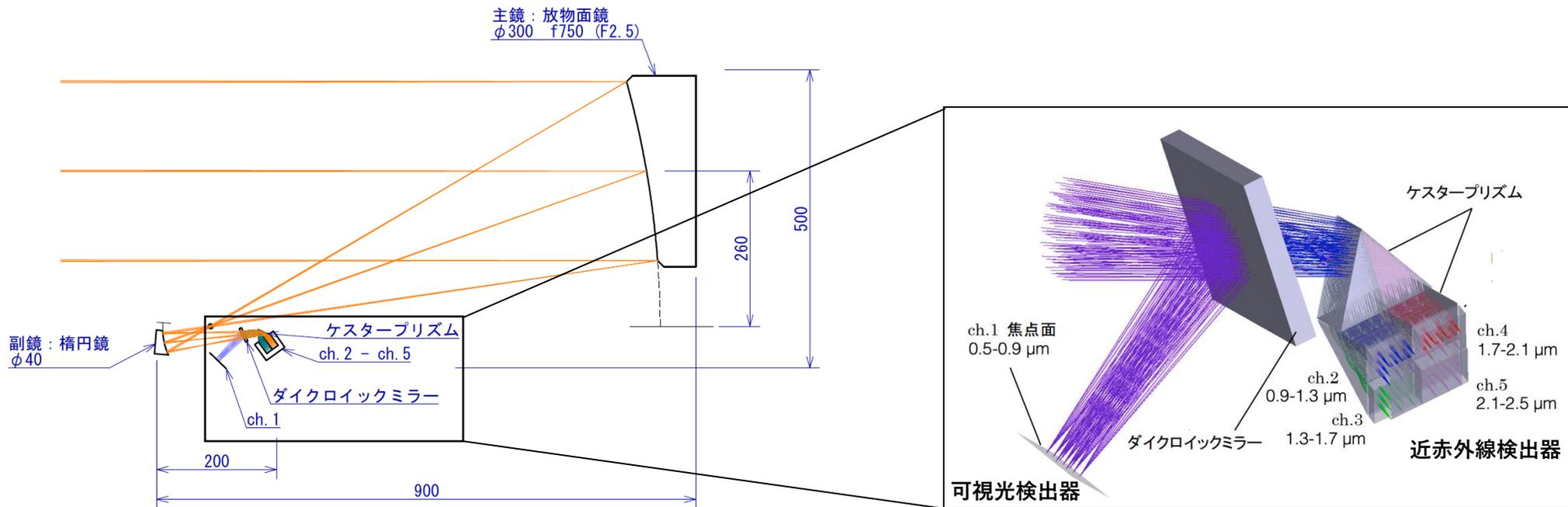


HiZ-GUNDAMが突発天体観測の「司令塔」の役割を担い、
世界の大型望遠鏡の総力をあげて「マルチメッセンジャー天文学」を推進

装置開発の現状 (特に近赤外線望遠鏡)

MONSTER (可視光・近赤外線望遠鏡)

- 口径30cmの反射望遠鏡
- ダイクロイックミラー+ **ケスタープリズム**による5波長同時観(可視光1バンド、近赤外線4バンド)
- 視野15分角、検出器2個(可視光検出器1個、近赤外線検出器1個)
- 望遠鏡は<200K、近赤外線検出器は<120Kまで、放射冷却のみで冷却する
- 望遠鏡はほぼ全てアルミニウム合金で製造することで、冷却による歪みを相似収縮でキャンセル
- 現在はメーカーを交えて概念検討を実施中(光学系、熱構造設計、エレキ系)

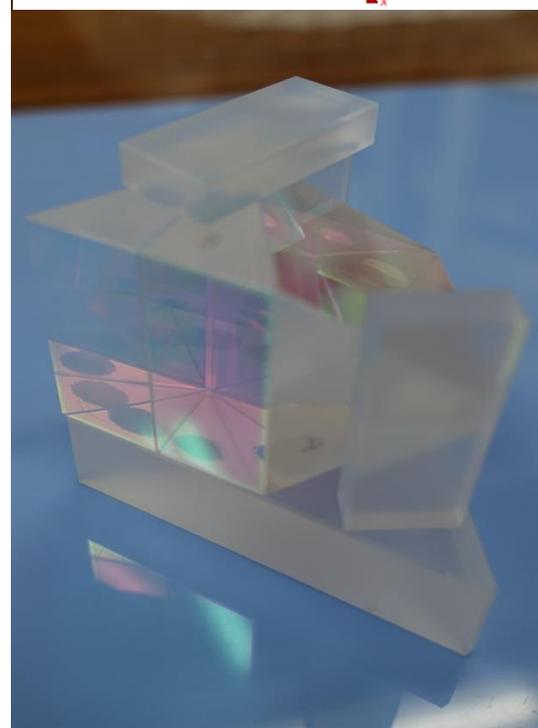
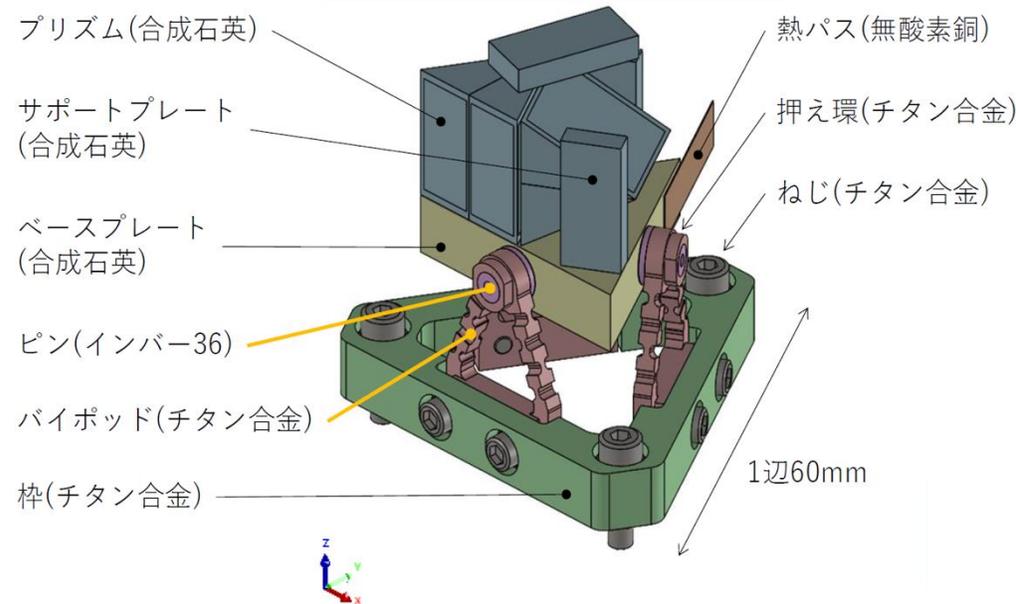


ケスタープリズム

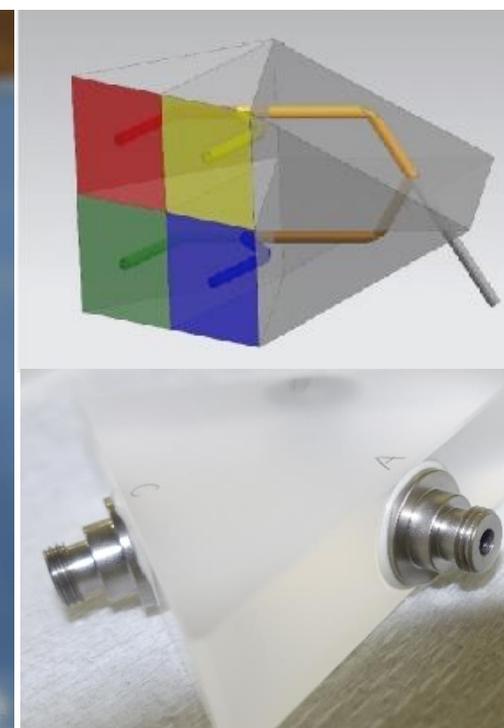
- 入射光を多波長分割する光学素子
 - プリズムの斜辺で全反射させることで、射出光の方向を揃えている
- 2つのプリズムを直行して重ねた**ダブルケスタープリズム**で2×2分割

最近の主な成果と今後の計画

- プリズム本体 + プリズムホルダーのBBMを製造
- ホルダー込みでの各種耐性試験や光学性能試験を実施予定
- 利用する接着剤の放射線試験を実施、合格



ケスタープリズム試作品

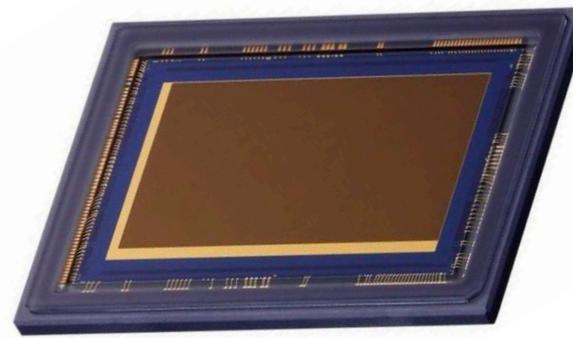


接着サンプル

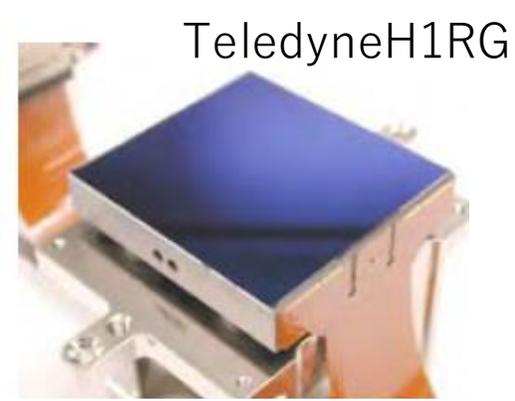
検出器

【可視光検出器】

- Teledyne HyViSI or Canon LI3030SAM
- HyViSIの使用がベースラインだが高価なため、
国産のCMOS検出機の利用可能性について検討中
 - 低温での駆動評価試験 → $>0^{\circ}\text{C}$ での利用を想定
 - 宇宙部品で動作させる際の技術課題の調査
 - 暗電流やノイズなどの温度依存性の評価
 - 軌道上5年を想定した放射線試験



Canon LI3030SAM

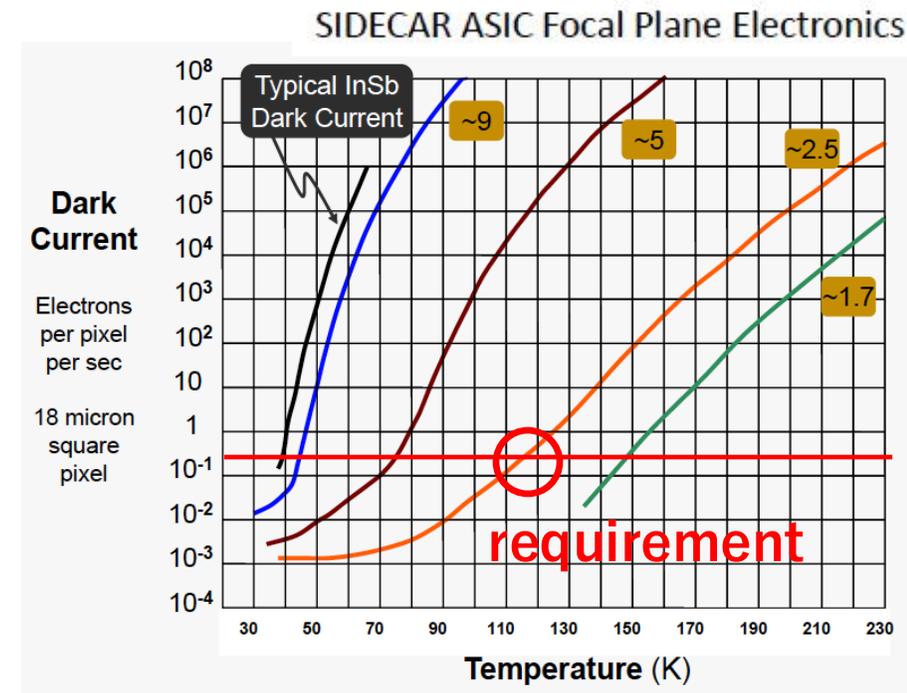


TeledyneH1RG



【近赤外線検出器】

- Teledyne H1RG + SIDCAR ASIC
- 感度要求より暗電流が $<0.3 \text{ e}^-/\text{s}$ となる必要
--> 温度要求: $< 120 \text{ K}$



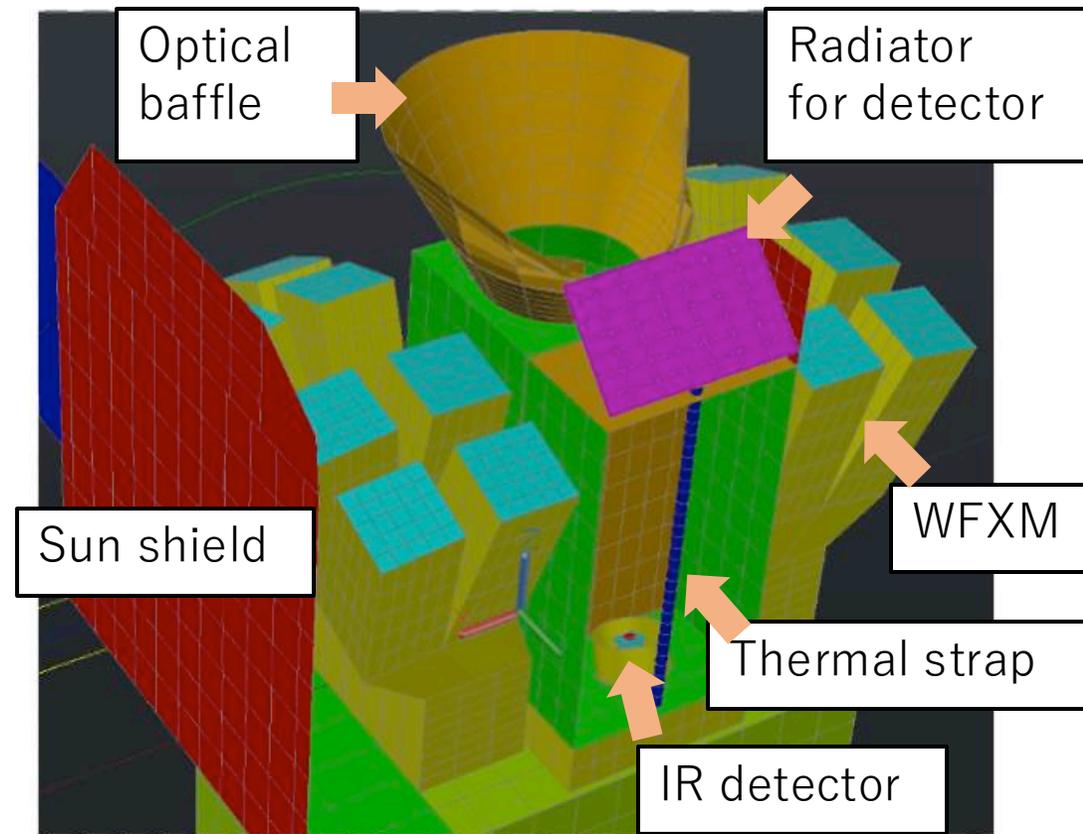
熱モデル

【熱的な要求】

- 望遠鏡 & 筐体 : <200 K
- 近赤外線検出器: <120 K
- 放射冷却 (冷凍機なし)

【熱モデル】

- 科学観測装置(赤外線望遠鏡・広視野X線モニターなど)をモデル化し、Thermal Desktopで熱解析を実施
- 科学観測装置はサンシールドにより太陽光入射から保護.
- 近赤外線検出器の冷却のため、検出器専用の放射板を設置して冷却



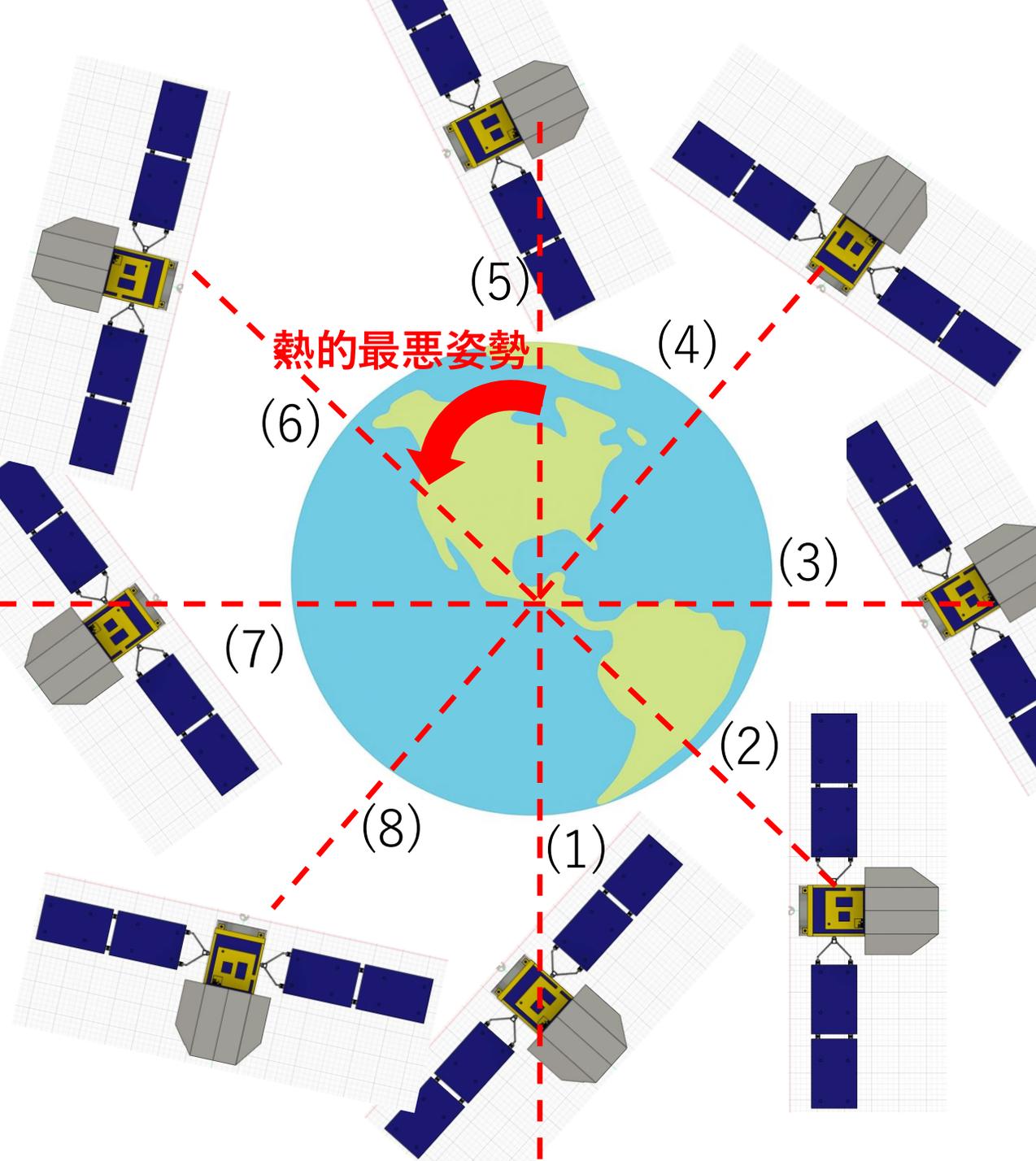
熱解析

【軌道】

- 昼夜境界線上の太陽同期極軌道

【衛星の基本姿勢】

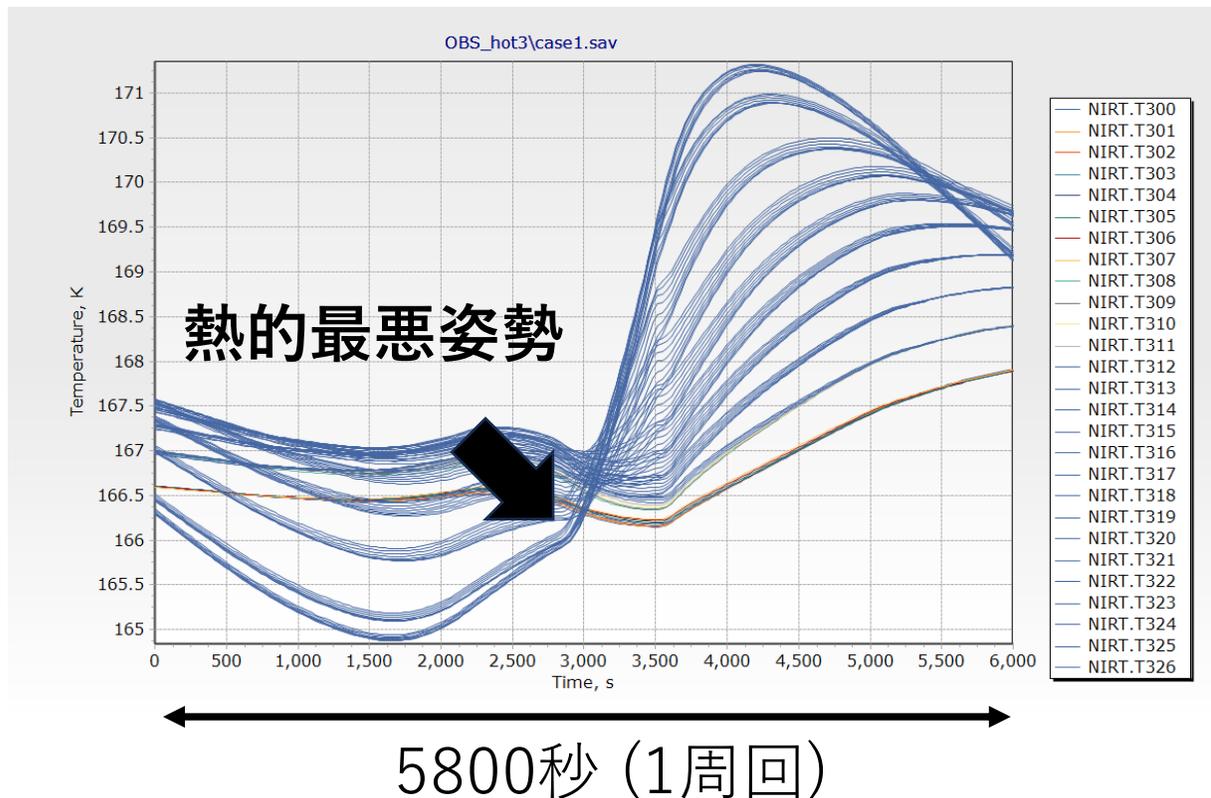
- GRB探査姿勢を1周回中に8回
 - 反太陽方向: 30 deg
 - 進行方向: 50 → 10 deg
 - 慣性空間固定
- GRBを発見したらそちらへ指向
 - この解析では(5)の位置でGRB指向
 - 夏至の北極で熱的最悪姿勢に入る想定
 - 反太陽方向: 60 deg
 - 進行方向: -20 → -60 deg



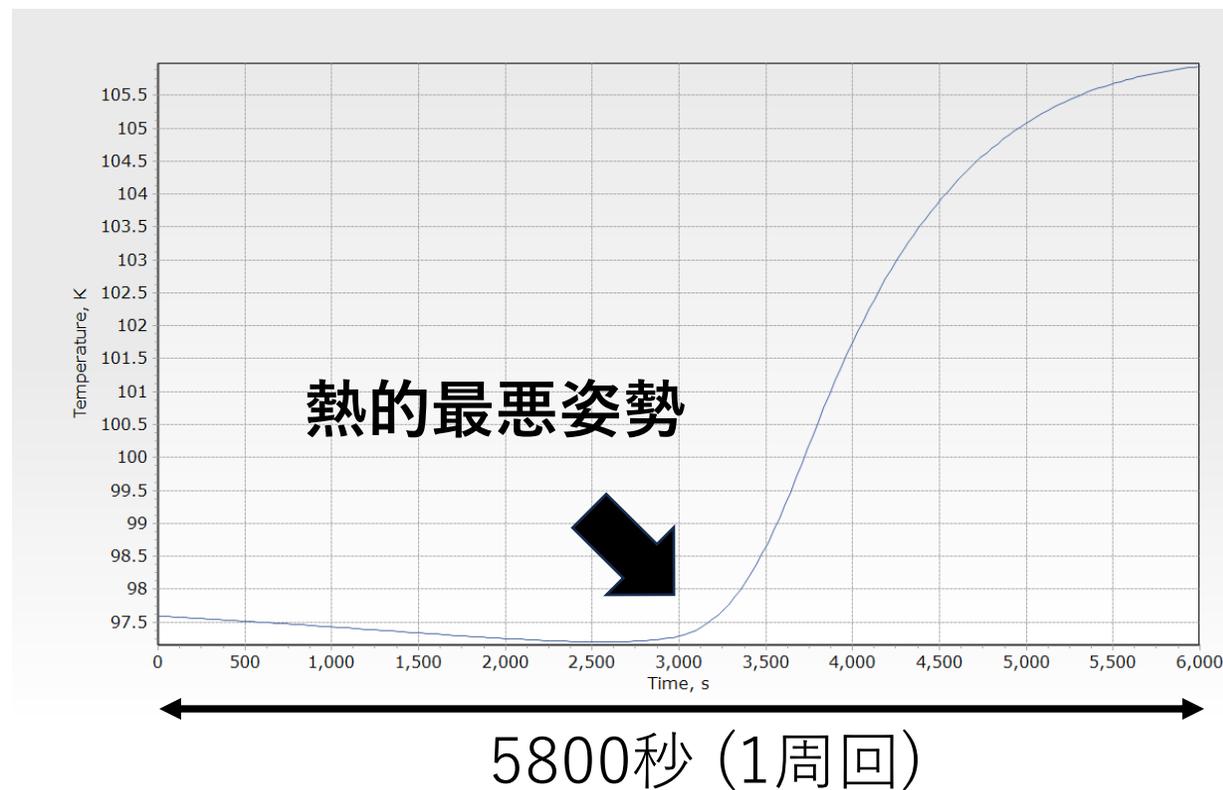
熱解析の結果

- 周回中に熱的最悪姿勢に入っても熱的成立性を確認できた
 - 望遠鏡筐体: <172 K (要求は <200 K)
 - 近赤外線検出器: <106 K (要求は <120 K)

望遠鏡筐体の温度変化

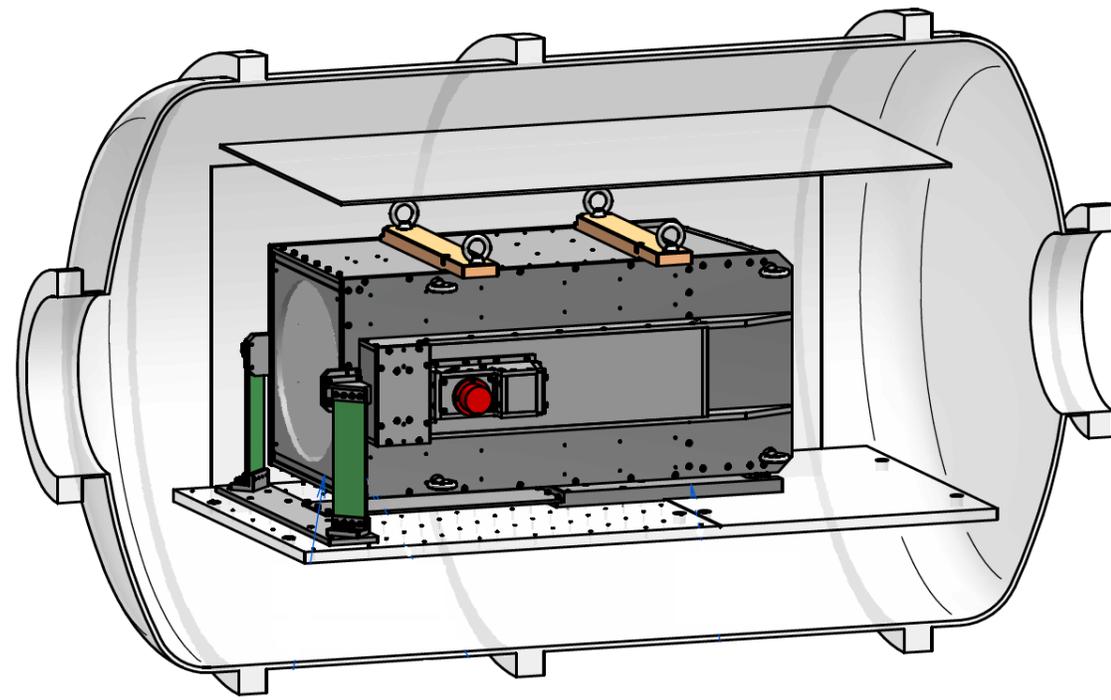


検出器の温度変化



BBMの冷却光学試験

- 望遠鏡のBBMを製造し、冷却して光学性能評価試験を実施する
 - 金沢大学所有のチャンバーを利用
 - 常温で光学調整を行い、それを冷却して光学性能を評価することで、アサーマル設計というコンセプトを実証する
 - 望遠鏡に設定した複数の温度計とヒーターにより、望遠鏡の温度勾配と光学性能劣化の関係を評価する
- 2026年度の試験実施を目指して準備中
 - BBMの製造を開始
 - チャンバーも含む熱的な検討を実施中
 - 光学試験の実施手順の検討中



まとめ

- HiZ-GUNDAMは、ガンマ線バースト (GRB) 観測を通して、初期宇宙探査とマルチメッセンジャー天文学を推進する衛星計画
- 搭載する近赤外線望遠鏡で発見したGRBの即時追観測を行う
 - 口径30cmの反射望遠鏡
 - ケスタープリズムを用いた5バンド同時撮像 (0.5-2.5 μm)
 - アルミニウム鏡を使用したアサーマル光学系
 - 放射冷却による冷却 (望遠鏡 <200 K, 近赤外線検出器 <120 K)
- 望遠鏡の概念検討を進めており、設計解を得られている
 - 2枚鏡による光学設計解の確認
 - 熱的最悪姿勢においても熱的要求を満たす熱的成立解の確認
- 今後の予定
 - 現在は望遠鏡のBBMを製造中
 - 2026年度に望遠鏡BBMを用いた冷却光学試験を実施予定