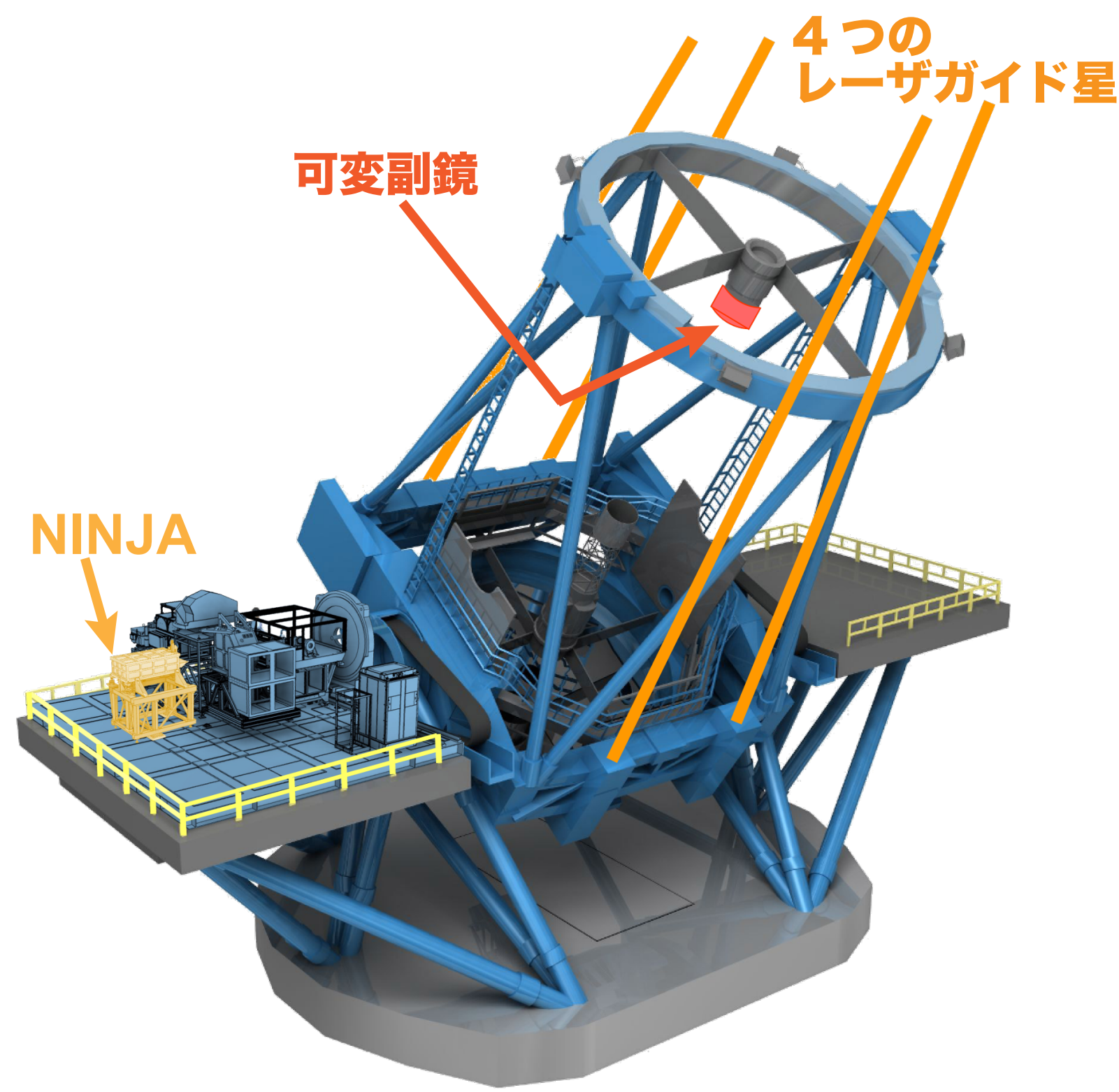




すばる望遠鏡 広帯域分光装置 NINJA 開発報告

Near-**I**nfrared and optical **J**oint spectrograph with **A**daptive optics for Subaru Telescope

吉田道利 (PI), 守屋堯 (PS), 東谷千比呂 (PM), 本原顕太郎, 尾崎忍夫, 柳澤顕史, 大野良人, 美濃和陽典, 寺尾航暉, 早野裕, 小山佑世, 富永望, 大内正己, 田中賢幸 (国立天文台), 田中雅臣, 秋山正幸 (東北大学), 長尾透, 松岡良樹 (愛媛大学), 櫛引洸佑, 安田彩乃, 幸野友哉 (東京大学)

NINJA はすばる望遠鏡の次世代補償光学であるレーザートモグラフィ補償光学 (LTAO) に最適化して設計し、可視光と近赤外線を同時に分光する、すばる望遠鏡赤外ナスミス焦点装置として提案予定の観測装置です。設計・製造は日本で行い、観測装置としての総合的な組み上げと分光器としての性能試験を国立天文台先端技術センター (ATC) で行ったあと、ハワイのすばる望遠鏡へ輸送し、観測を行う予定です。近赤外線分光器を先行して開発し、続いて可視分光器を作る予定です。近赤外線分光器のサイエンス観測開始目標は2026年度です。サイエンス・開発・観測に興味のある方はぜひお近くのメンバーに声をおかけください。

科学目標

NINJA の主な科学目標は宇宙における鉄より重い重元素の起源を解明することです。2つの中性子星合体による重力波 (GW170817) とその電磁波対応天体 (キロノバ) の観測により、中性子星合体で多くの重元素が合成されていることが確かめられましたが、観測例はまだ1例に限られています。2027年から開始予定の重力波望遠鏡第5期観測 (O5) ではこれまでよりさらに遠い 200 Mpc までの中性子星合体による重力波が、全天で年間15個ほど観測されると見込まれています。遠方のキロノバは合体直後でも暗く、これを1週間以上時系列で分光追観測可能な国内の望遠鏡はすばる望遠鏡だけであると予想されます。NINJA はレーザートモグラフィ補償光学 (LTAO) と組み合わせた高感度な分光観測を行うことで、様々な合体質量を持つ中性子星合体を観測し、元素合成の多様性を明らかにします。また高赤方偏移の銀河やクエーサー候補の分光を通して高赤方偏移銀河とクエーサーを同定するとともに、これらの金属量やブラックホール質量を決めることで、初期銀河や超巨大ブラックホールの形成史を明らかにします。

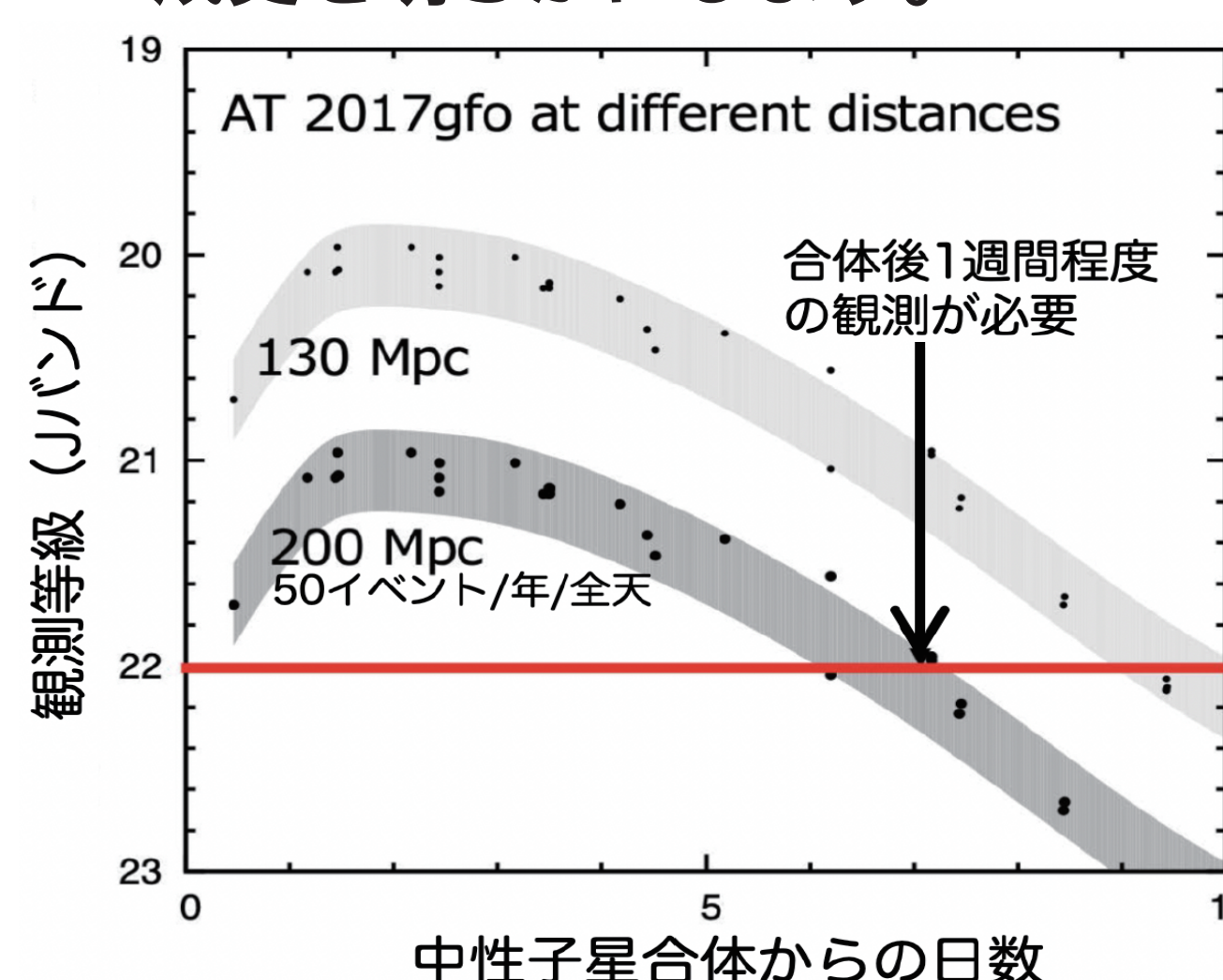


図1: O4までの感度 (130Mpc) と O5での感度 (200 Mpc) に現れる中性子星合体電磁波対応天体の近赤外線 (Jバンド) での光度発展予想。

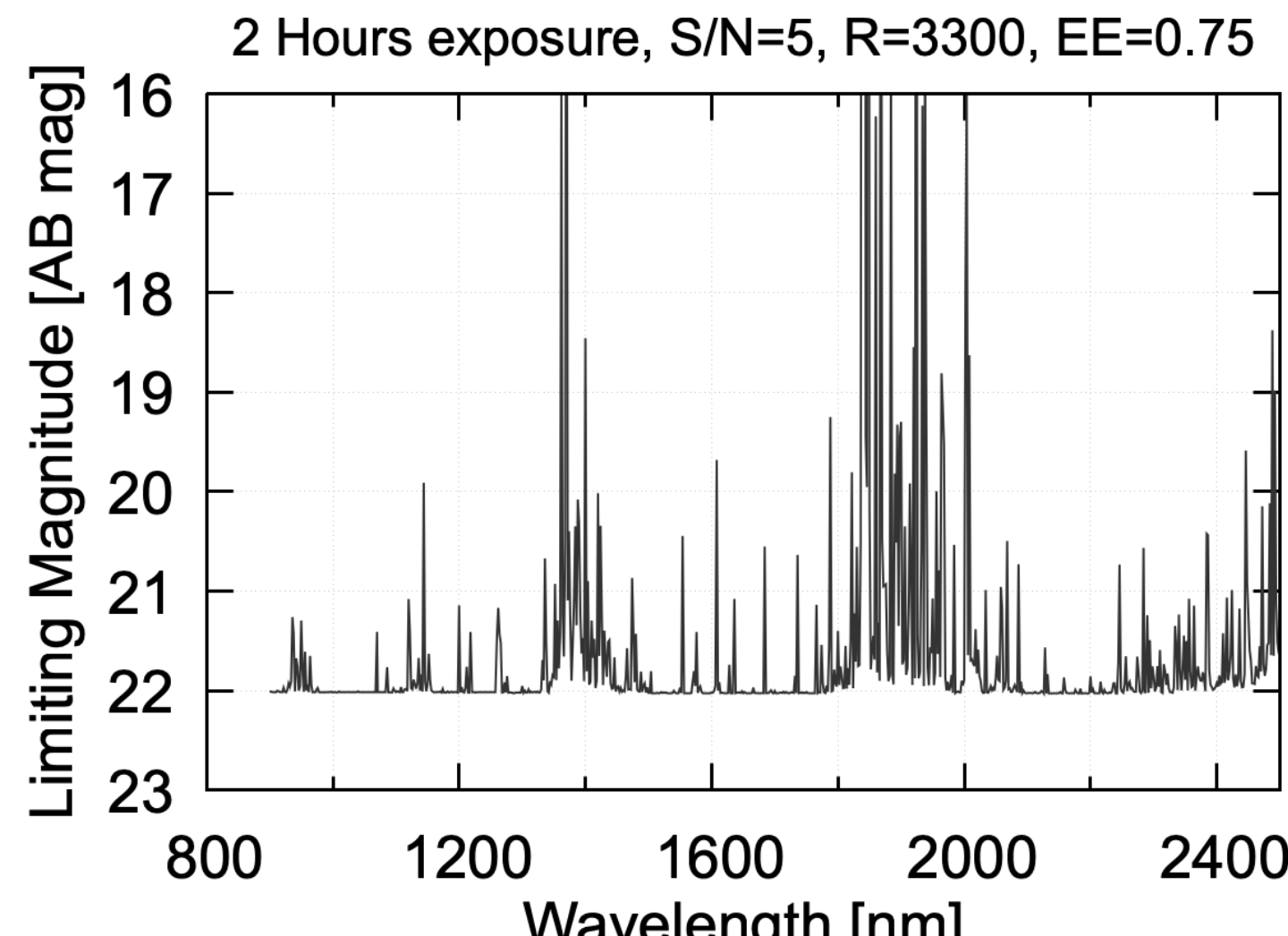


図2: LTAO+NINJAの予想感度。ここでは熱輻射の影響を考慮に入っていない。

次世代補償光学

すばる2では広視野高解像赤外線観測装置 ULTIMATE-Subaru 計画を推進しており、可変副鏡を軸とした新たな補償光学システムの開発が進行中です。広視野地表層補償光学 (GLAO) に加えて、複数のレーザーガイド星とトモグラフィ技術を利用して大気ゆらぎを高さ方向に分解して推定しターゲット方向に対して最適な波面補償を行うレーザートモグラフィ補償光学 (LTAO) モードの開発も進んでいます。このモードでは、視野は限られますが、近赤外線域では回折限界かつ可視域でも大幅に空間分解能を改善する観測モードの実現を目指しています。この極限まで改善された星像を分光することで、高感度な広帯域近赤外線分光を実現します。

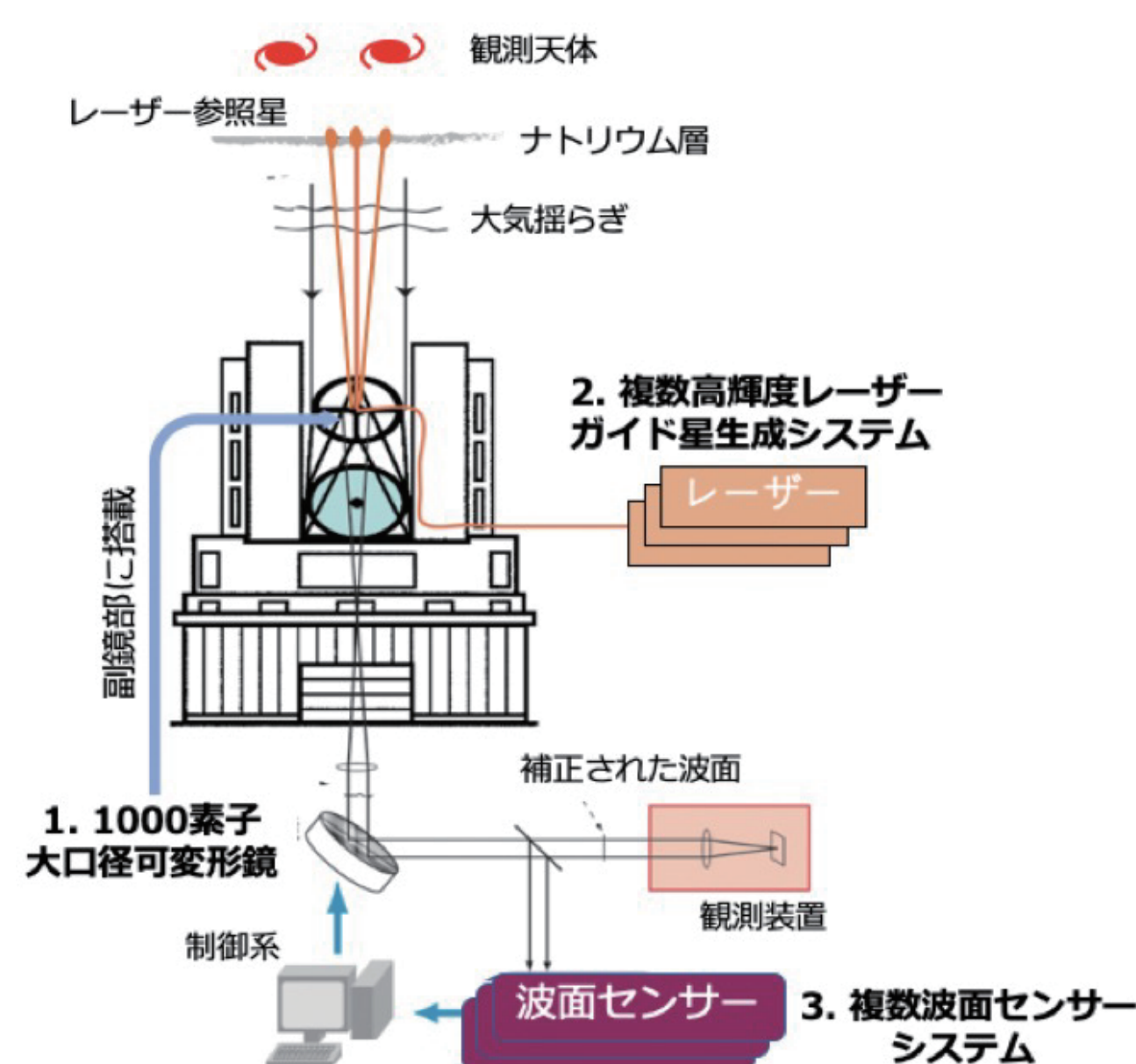


図3: 次世代補償光学のシステム構成の概念図。複数のレーザーガイド星を用いて、大気ゆらぎを高さ方向に分解して推定を行い、観測天体に対して最適な波面補償を行います。

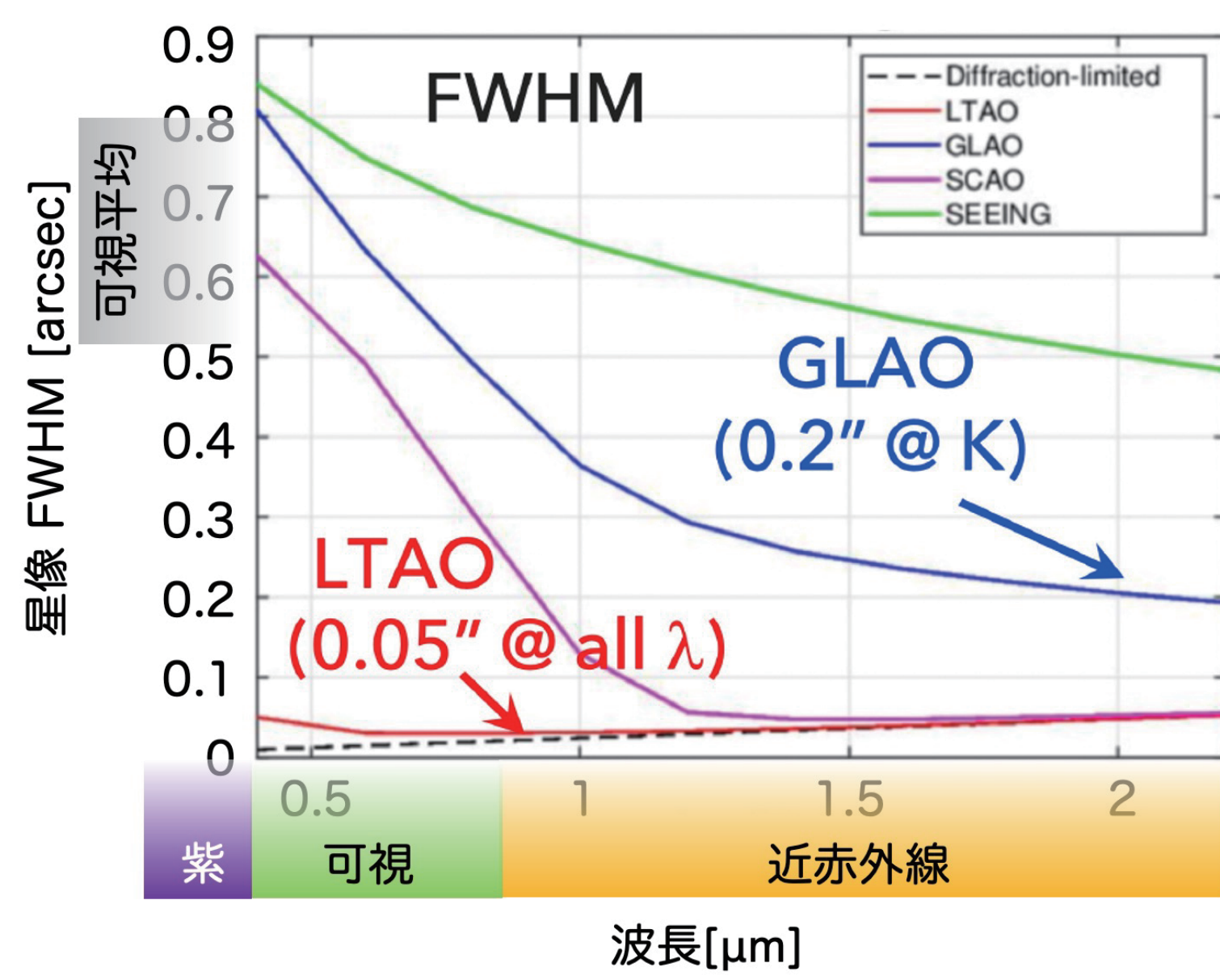


図4: 補償光学の性能予想。波長に対する星像のサイズで予測性能を表しています。補償光学を使わない観測 (緑線) や現在使われている補償光学 (ピンク線) と比べて、LTAO (赤線) では可視光から近赤外線の広い波長域にわたって、回折限界 (黒点線) に近い非常にシャープな星像による高感度な観測が期待されます。

近赤外線分光器

開発中の近赤外線分光器は、回折格子と2個のプリズムによるクロスディスパーザーによって、近赤外線スペクトルをエシェルフォーマットで検出器上に結像させます。近赤外線波長域 (0.8-2.5 μm) では通常の温度のものが光源となるため、望遠鏡からの光以外の周辺の物を全て冷やして赤外線検出器に写らないようにします。このため、光学素子をはじめ観測装置の内部は全て約 100K 以下 (173°C以下) に冷却されます。スリット交換などモータによる駆動制御が必要なものは、低温環境下で動くように設計されます。

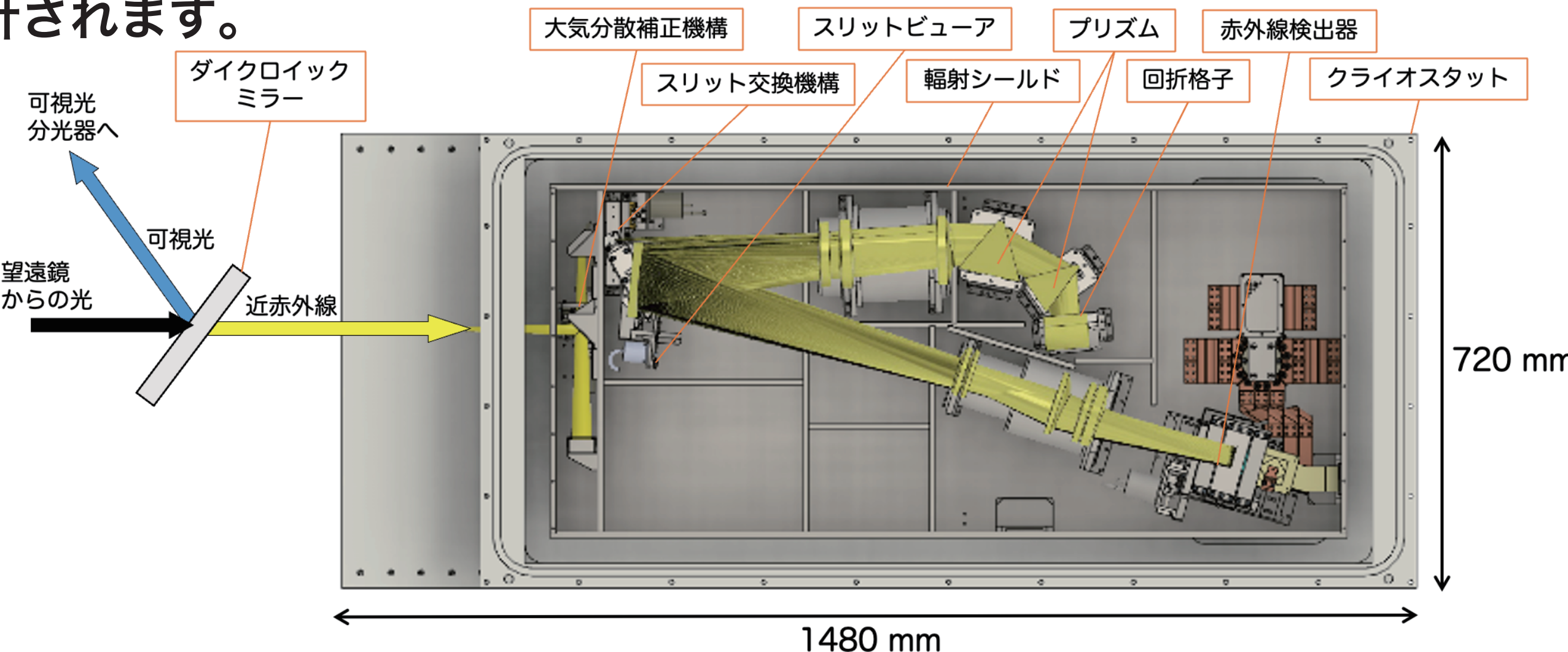


図5: 近赤外線分光器を上から見た概念図。望遠鏡の光は図の左手から入り、右下の赤外線検出器で結像する。クライオスタットの容器内は真空かつ 100K 以下の低温環境。

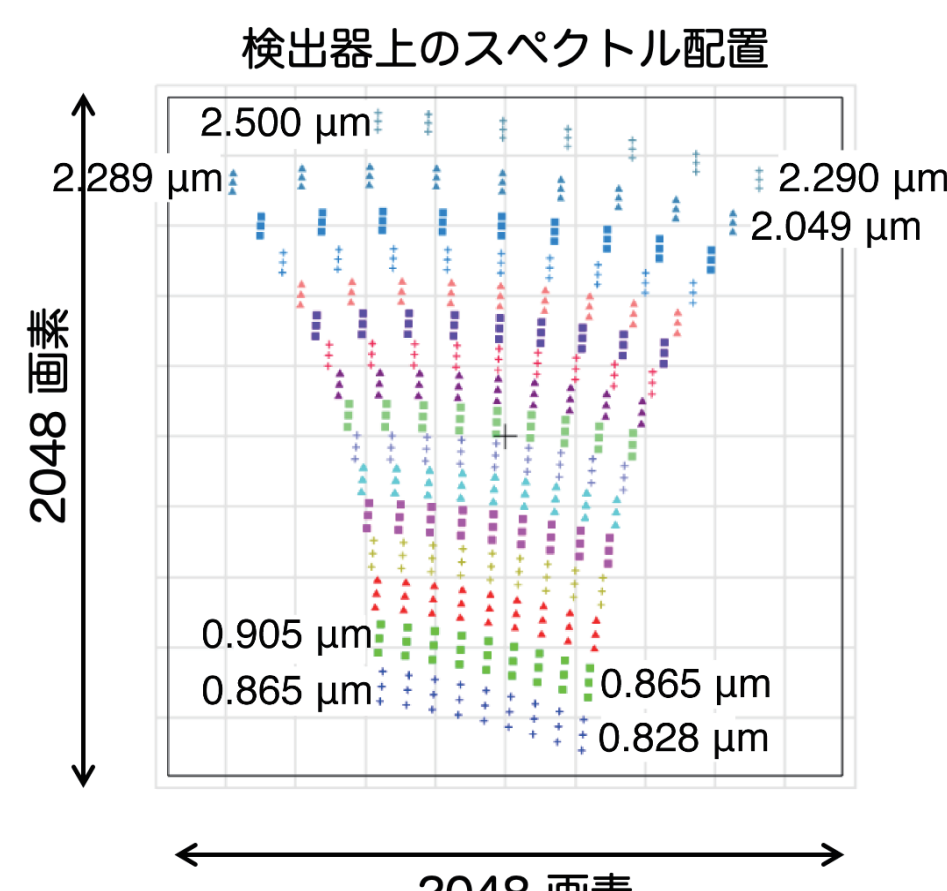


図6: 検出器上のスペクトル配置。近赤外線波長域を1つの検出器でカバーします。

波長範囲	0.83 - 2.5 μm
F比	13.9
スリット幅	0.35" (0.19 mm) (TBD)
スリット長	5" (2.7 mm)
コリメータ焦点距離	597.7 mm
瞳径	43.0 mm
グレーティング溝密度	56 lines/mm
グレーティングブレイズ角	33 degrees
検出器	HAWAII-2RG 1枚
検出器画素数	2048 x 2048 pix
検出器画素サイズ	18 μm/pix
サンプリング(0.35"スリット)	3.3 pix
波長分解能	R-3300

図7: NINJA 近赤外線分光器諸元

開発計画

NINJA 近赤外線分光器は、2023 年中にすばる望遠鏡への持ち込み観測装置としてのプロポーザルを提出する予定で、その後段階的なレビューを経て試験観測を行い、2026 年度までにサイエンス観測を開始することを目指して開発をすすめています。2023 年度は製造を開始し、2024 年度には総合組み上げと性能評価試験を国立天文台三鷹の先端技術センター (ATC) で実施する予定です。

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
光学系	概念設計	詳細設計	製造			
冷却系・機械系		概念設計	詳細設計	製造		
検出器系		設計	製造	試験		
制御系		概念設計	実装・試験@実験室		調整・試験@山頂	
組み上げ・試験			組み上げ・試験		試験@山頂	
ハワイ輸送				輸送		

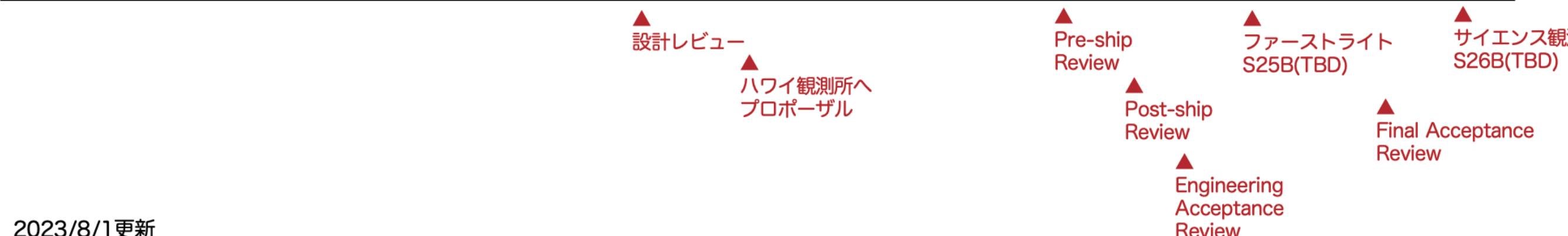


図8: NINJA 近赤外線分光器の開発計画表とレビューのマイルストーン。