

TMT (Thirty Meter Telescope) / IRIS (InfraRed Imaging Spectrograph) の開発

○早野裕、IRIS Japan Team
(国立天文台)

概要

次世代超巨大 30m 望遠鏡 TMT の第 1 期観測装置 IRIS の開発について紹介する。IRIS とは TMT の補償光学系に取り付けられる近赤外線撮像分光装置である。IRIS はアメリカ、カナダ、日本共同で開発が進められている。日本は IRIS 撮像系を担当している。IRIS の概要、現在把握している IRIS 撮像系開発の課題、今後の予定について簡単に述べる。

1. IRIS の概要

8-10m クラス望遠鏡の次の世代の超巨大望遠鏡の一つに TMT (Thirty Meter Telescope) 計画がある。これはアメリカ合衆国のカリフォルニア大学及びカリフォルニア工科大学、カナダ、日本、インド、中国の 5 カ国の共同プロジェクトとして進められており、2027 年ファーストライトを目指している。ファーストライトに合わせて製作される第 1 期観測装置の一つが IRIS (InfraRed Imaging Spectrograph) である。TMT の観測装置はすべてナスミスベンチの上に配備される。IRIS は波長 0.84 ~ 2.4 ミクロンにおいて、撮像モードと面分光モードを切り替えて、もしくは併用できる装置である。TMT のレーザーガイド星を複数用いた多層共役補償光学系 (Multi-conjugate Adaptive Optics) である NFIRAOS (Narrow Field InfraRed Adaptive Optics System) の後段に配置され、30m 望遠鏡の回折限界の空間分解能を達成できることが特徴である。IRIS 撮像系は 4 台の近赤外線検出器である Hawaii-4RG-10 (Teledyne 社製) を焦点面に配し、34 秒角の視野を確保している。その時のピクセルスケールは 4 ミリ秒角である。一方、面分光モードではマイクロレンズアレイによって 4 ミリ秒と 9 ミリ秒のスパクセル、25 ミリ秒と 50 ミリ秒のスライサーモードを切り替え、最大 14000 箇所のスペクトルを同時に取得できる。波長分解能は 4000、8000 となっている。撮像系及び面分光系は真空容器に格納され、液体窒素温度で運用される。この真空容器全体 (IRIS Science Cryostat) を回転させて望遠鏡の視野回転を追尾する構成となっている。撮像系及び面分光系の真空容器の上流には近赤外線の波面センサーが搭載され、2 分角の視野範囲内で最大 3 つのガイド星を選択し tip-tilt 及び focus 情報を測定する。この部分は On Instrument Wavefront Sensor (OIWFS) と呼ばれ NFIRAOS を同じ -30℃ に冷却される。IRIS は撮像系、面分光系及び波面センサーの 3 つのサブシステムから構成される。図 1 に NFIRAOS の下面に吊り下げられた状態の IRIS の配置を示している。IRIS 全体は約 4.5m 程度、重量は 6.5t 以内という仕様となっている。IRIS の電気系や制御系の大部分は図 1 のプラットフォームの下部のスペースに設置される予定である。図 2 には IRIS の 3 つのサブシステムを示している。

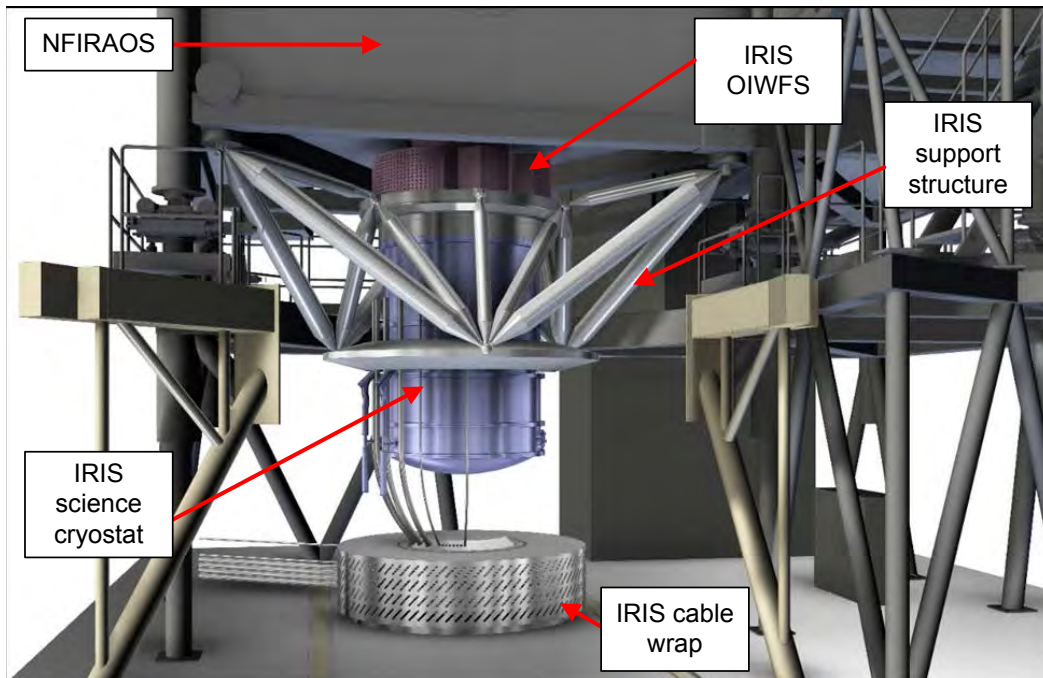


図 1. TMT の補償光学系 NFIRAOS の下部に取り付けられた IRIS

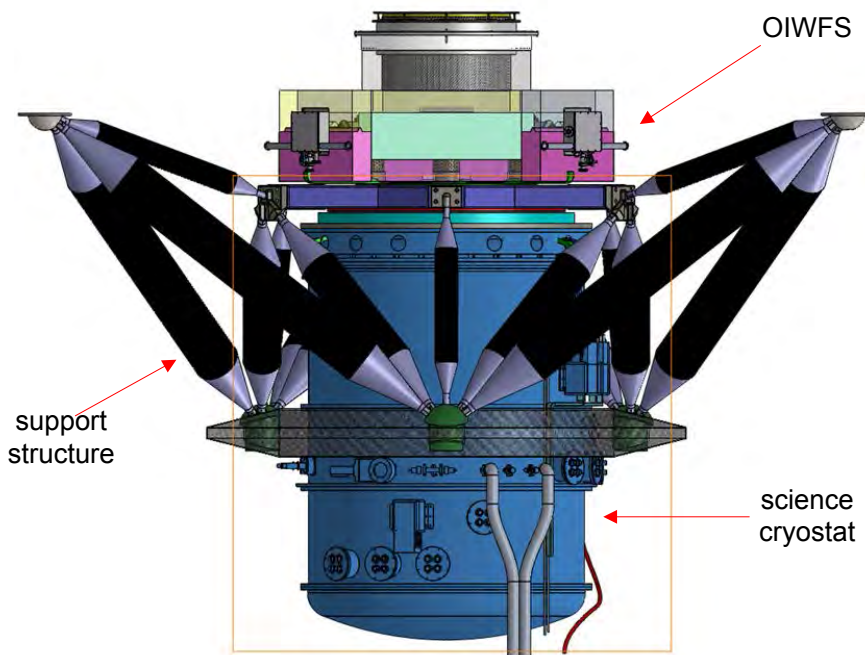


図 2. IRIS の 3 つのサブシステム構成

IRIS の撮像系と面分光系は光学系としては直列に接続されている。つまり、TMT の補償光学系 NFIRAOS から供給された焦点面はまず撮像系に導かれる。そして、撮像系の光路の一部を面分光系に供給する。図 3 に波面センサー、撮像系、面分光系の光路及び光学系配置を示す。波面センサーは IRIS 撮像系及び面分光系の視野の外でガイド星をピックアップする。また撮像系の検出器直前にピックアップ鏡を置いて、面分光系に光を分配している。図 3 の右上に撮像系に用いられる 4 つの検出器面とレンズアレイ面分光系のピックアップ鏡（赤色）及びスライサー分光系のピックアップ鏡（青色）の位置関係が示されている。レンズアレイ面分光のピックアップは撮像系の 4 つの検出器の中心のギャップに合わせて常

設されている一方、スライサー分光系のピックアップ鏡は出し入れができるようになっている。

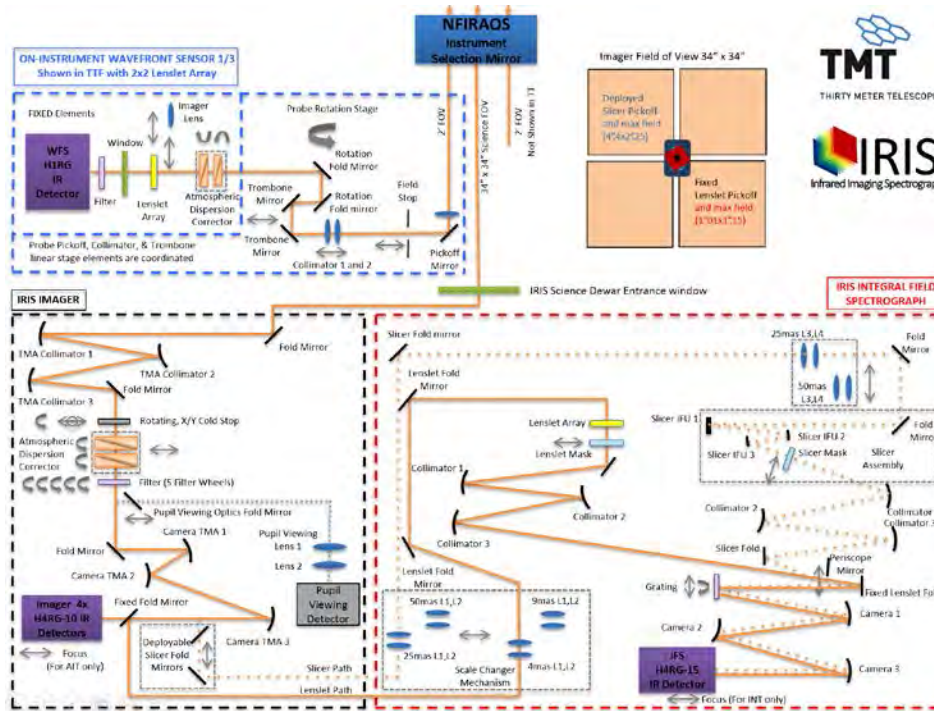


図 3. IRIS の光路図と 3 つのサブシステムの構成

IRIS の撮像系はコリメーター光学系(非球面鏡 3 枚構成)、コールドストップ、大気分散補正光学系、フィルターホイール、カメラ光学系(非球面鏡 3 枚構成)、検出器という順で光学系が配置されている。コールドストップ、大気分散補正光学系、フィルターホイールは面分光系でも利用される。特にフィルターホイールは60個ほどのスロットを用意して、撮像系及び面分光系に必要なフィルターを格納する。図 4 は IRIS 撮像系のパッケージを考慮した光学機械系の配置である。

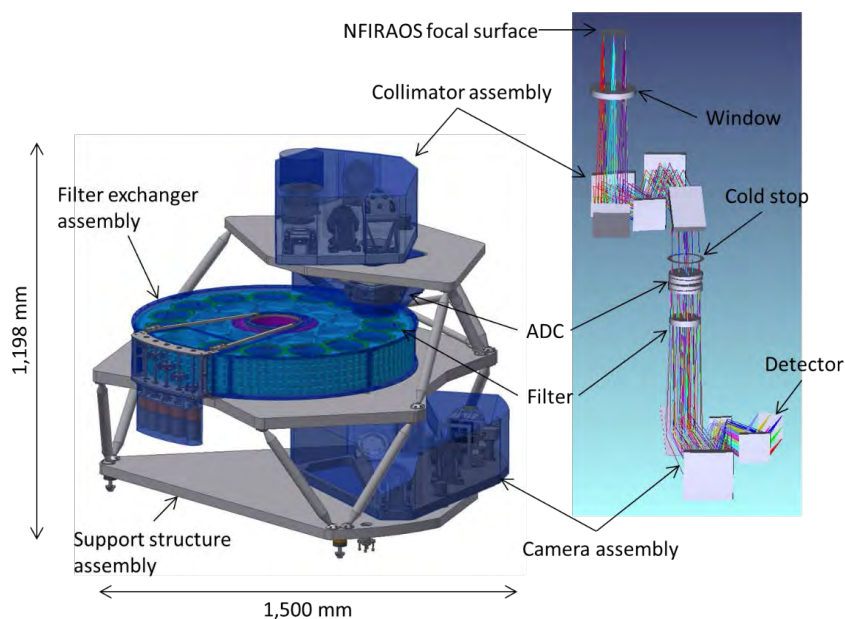


図 4. IRIS 光学機械系のパッケージ

撮像系は3つのプラットフォームから構成され、上段はコリメータ光学系部、中段は主としてフィルターホイール部、下段はカメラ光学系部及び検出器である。

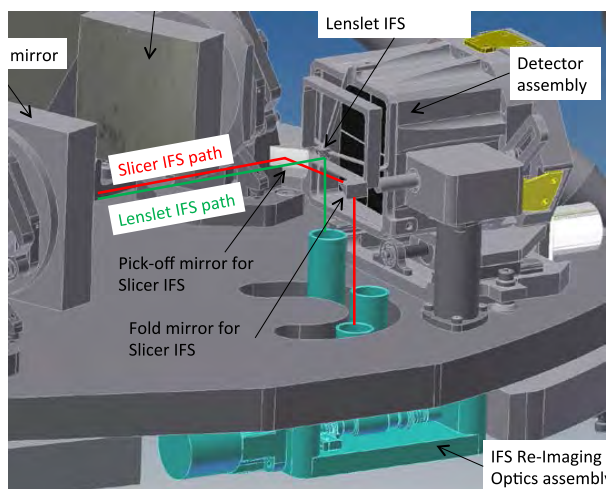


図 4. 面分光系へのピックオフ鏡部付近のクローズアップ

図 4 には面分光系に光路を分けるピックオフ鏡の部分の拡大である。緑色の光路がレンズアレイ面分光の光路である。レンズアレイ面分光系のピックオフ鏡は検出器ユニットにマウントされ固定される。一方、スライサー分光系のピックオフ鏡は回転モーターによって出し入れができるようになっている。

2. IRIS 撮像系開発の技術的な課題

IRIS 撮像系はピクセルスケールが TMT の回折限界空間分解能を十分にサンプリングできるような 4 ミリ秒角である。補償光学系でもたらされた高い精度の光学性能を劣化させないように、IRIS 撮像系に分配された波面誤差の使用は 40nm rms であり、従来の観測装置のどれよりも数段厳しい仕様となっている。この高い精度を活用し、30 マイクロ秒角の相対アストロメトリ精度を目指している。この 2 つの従来にない厳しい仕様をどのように達成するかが IRIS 撮像系の最大の課題である。現在、波面誤差の詳細分配を検討しており、非球面鏡それぞれには 6nm rms、平面鏡には 3nm rms とすれば、仕様を満たすことが判明し、このような高精度の鏡を製造、測定、検証できるかどうかを検討しているところである。このような高精度な光学系を組み合わせた時にどの程度のアストロメトリの精度が達成できるかという検討も進められている。

2. IRIS の開発スケジュール

IRIS は現在、基本設計段階 (Preliminary Design Phase) のレビューを通過し、約 3 年の詳細設計段階に入った。詳細設計によって製造直前まで準備を整え、そのレビューを通過した後、撮像系、分光系、波面センサーそれぞれのサブシステムの製造、組立、調整の段階に移行する。2~3 年を要すると想定している。次にそれぞれのサブシステムを組み上げる段階を経て望遠鏡に取り付け、2027 年の TMT のファーストライトに合わせてコミッショニングを開始する予定である。