

TMT第一期観測装置IRISの進捗

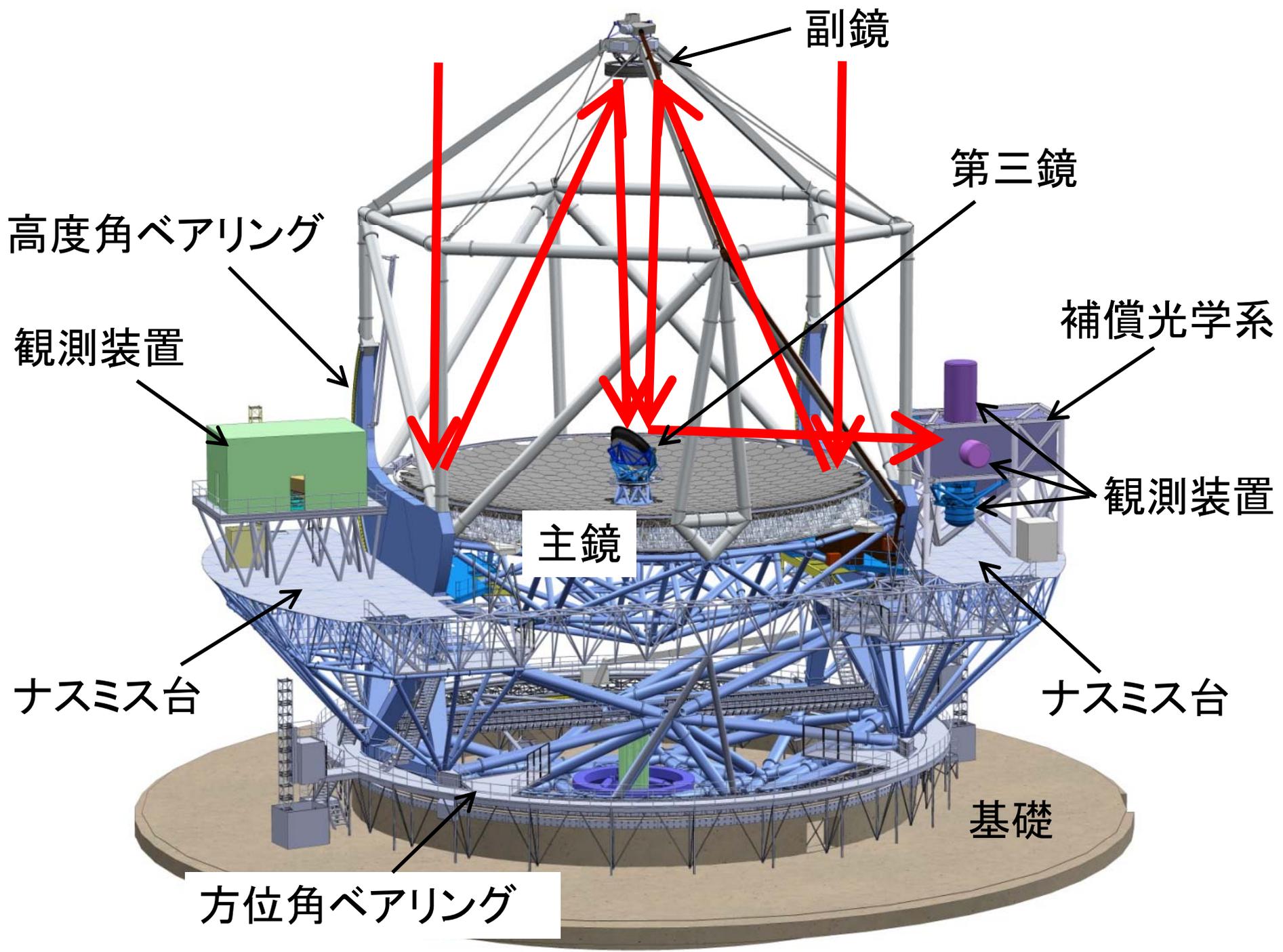
鈴木 竜二（国立天文台）

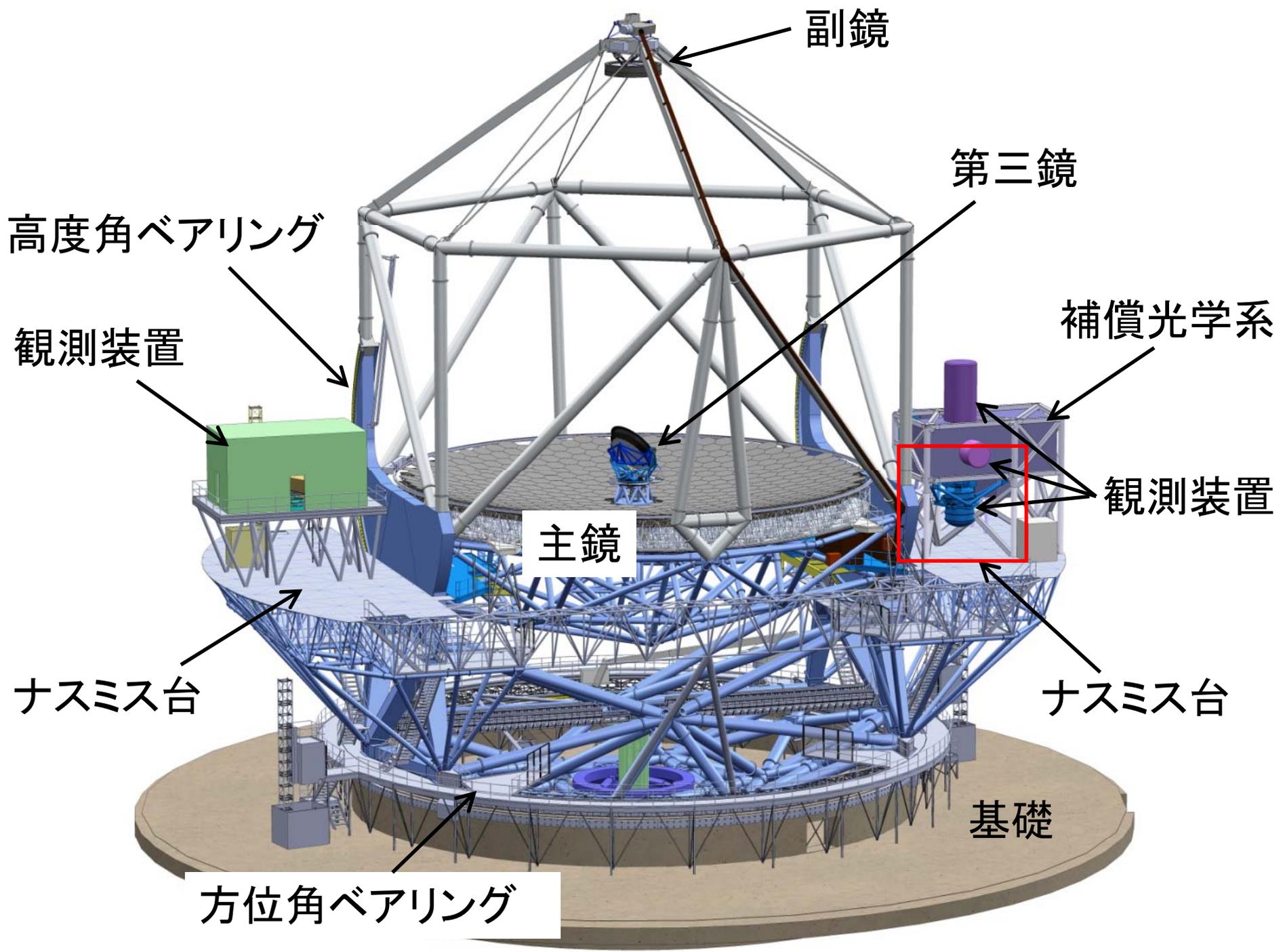
- IRISの概要
- 光学系、機械系の検討状況
- プロトタイプによる性能検証
- 課題

IRISの概要

TMT on Mauna Kea



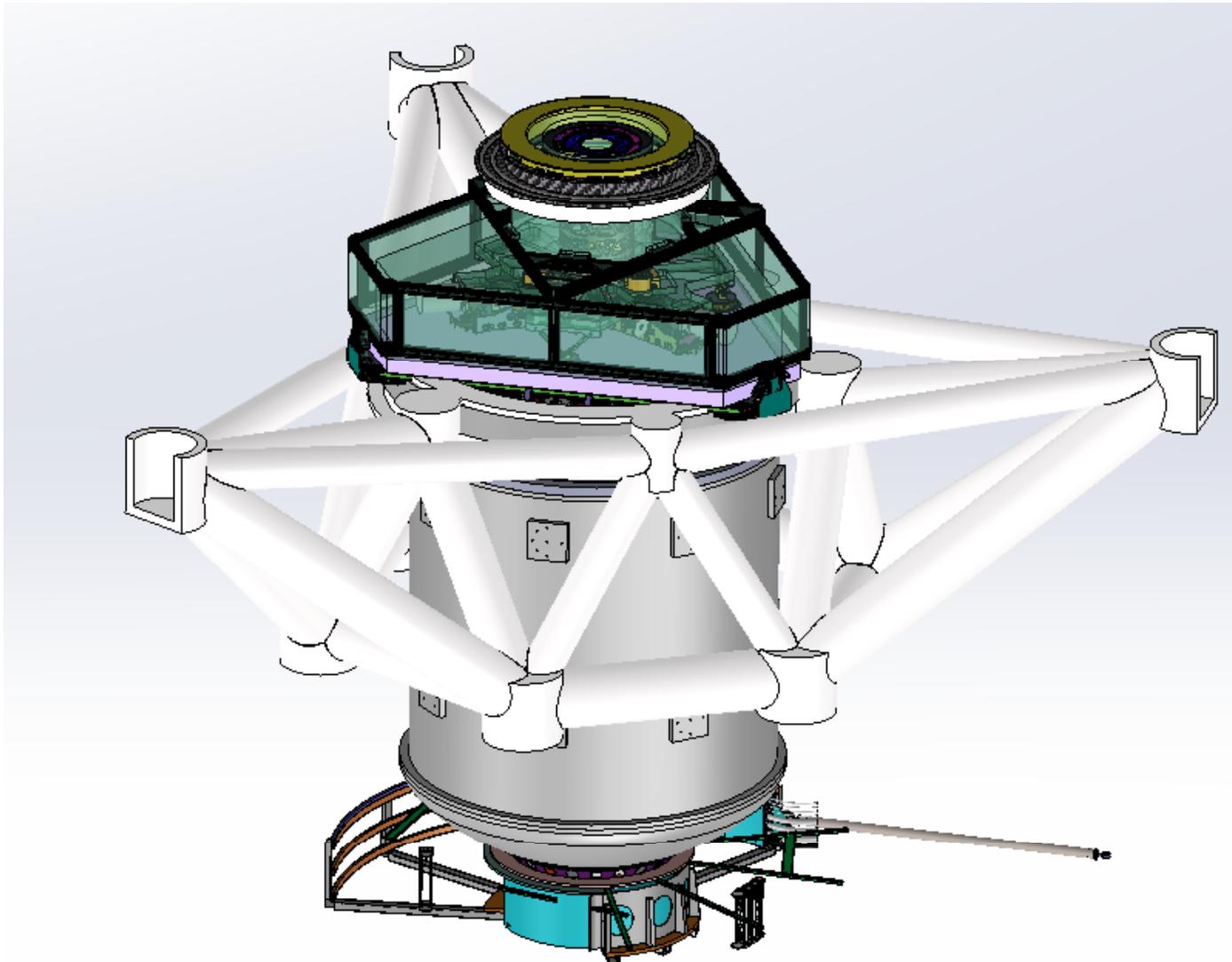




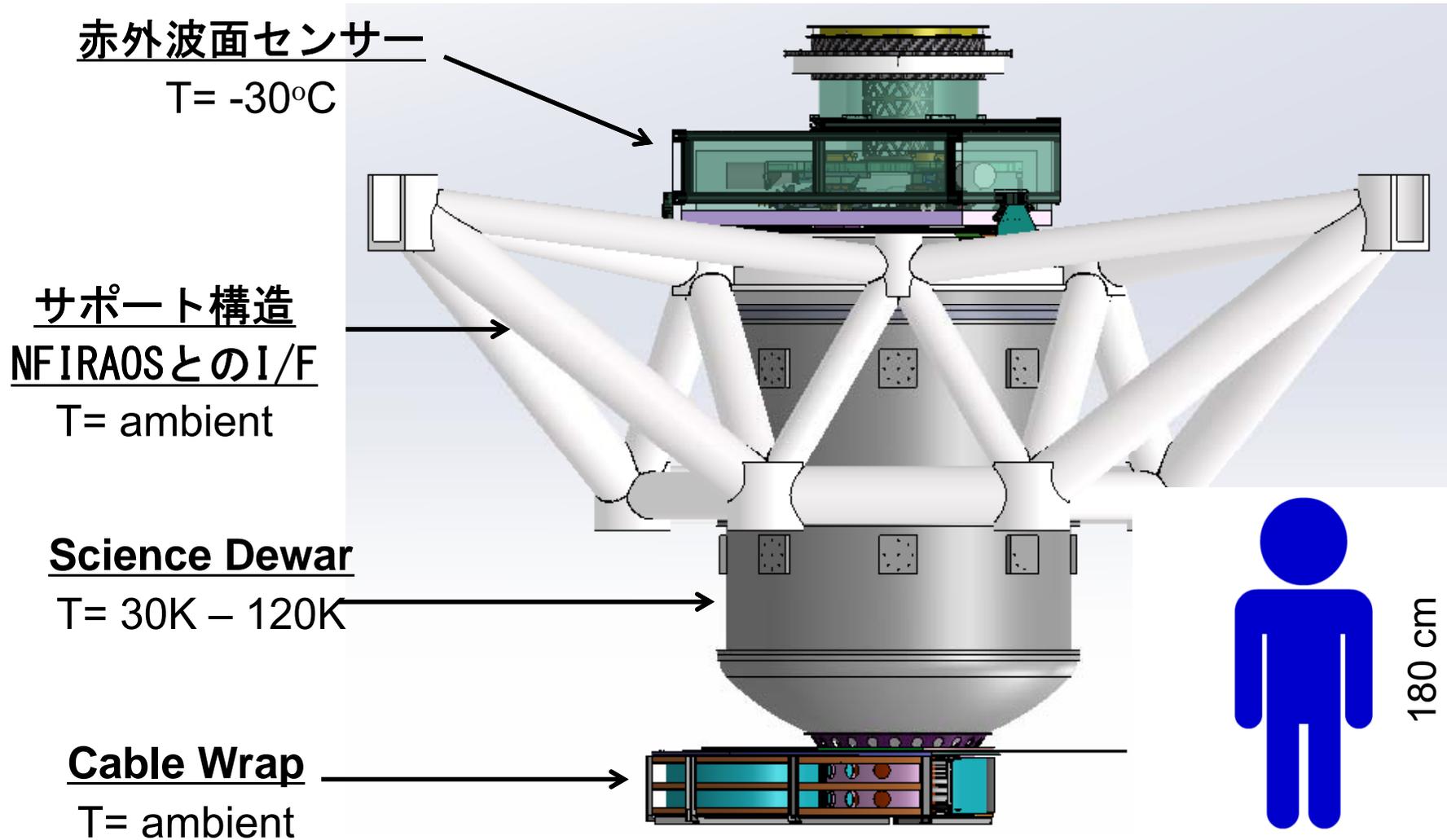
- TMT第一期観測装置の一つ (IRIS, WFOS, IRMS)
- AOを用いた近赤外域での撮像と面分光
 - NFIRAOSの後段に配置
 - 波長域 : 0.83 – 2.40ミクロン
 - ストレール比 : 0.41(J), 0.60(H), 0.75(K)
- 撮像モード
 - ピクセルスケール : 4ミリ秒/ピクセル
 - **視野 : 16.4秒角 → 34秒角**
- 面分光モード
 - 波長分解能 : 4,000 – 10,000
 - ピクセルスケール : 4, 9, 25, 50ミリ秒/スパクセル

- 唯一30mの回折限界性能を利用できる観測装置
 - 空間分解能：10 – 25ミリ秒
 - 点源への感度（限界等級） $\propto D^4$ ：すばる望遠鏡の200倍
- 高精度のアstrometry
 - 30マイクロ秒の相対アstrometry
 - 2ミリ秒の絶対アstrometry
 - TMT/NFIRAOS/IRISでしか達成できないユニークな性能

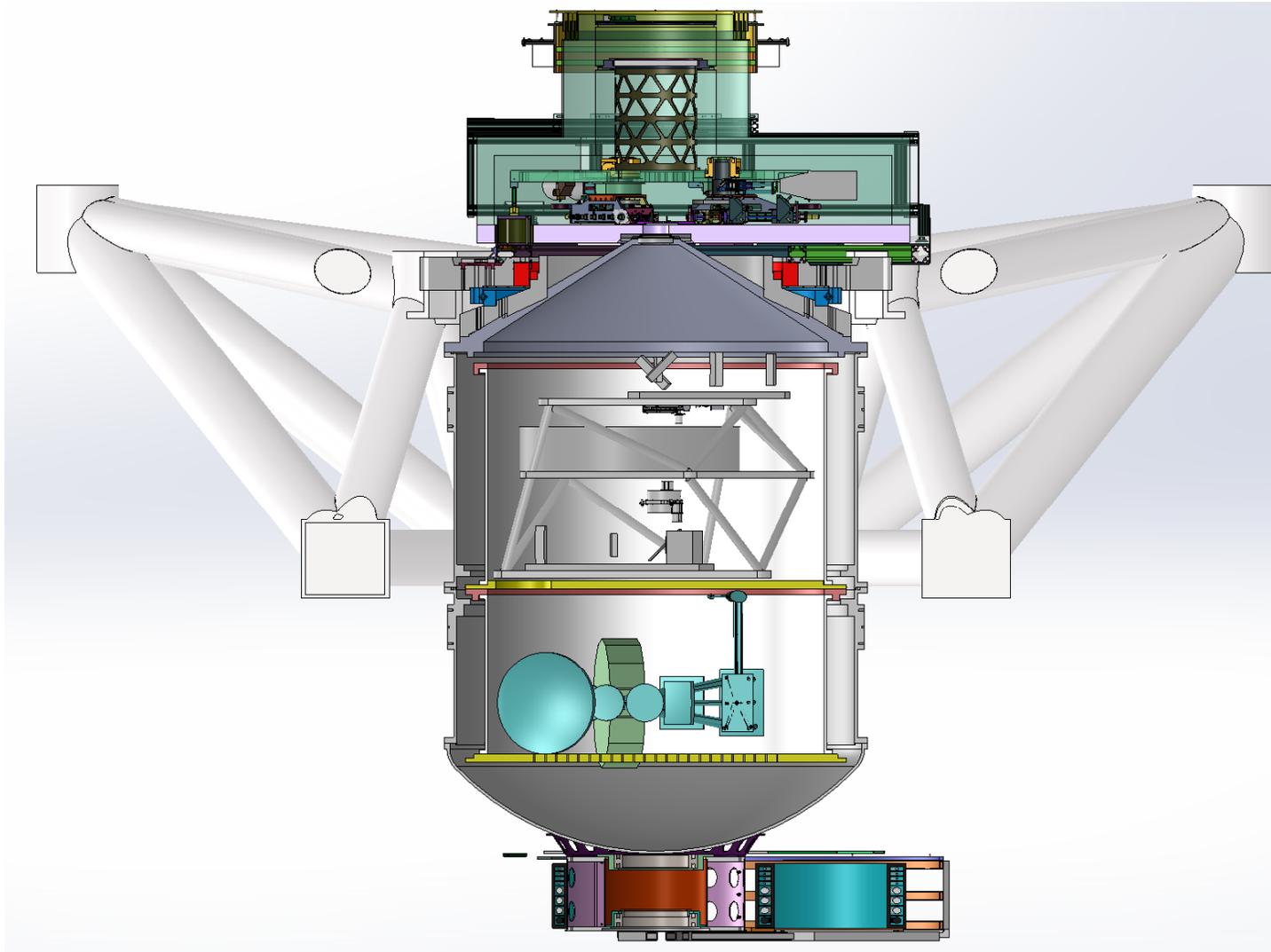
IRIS Layout



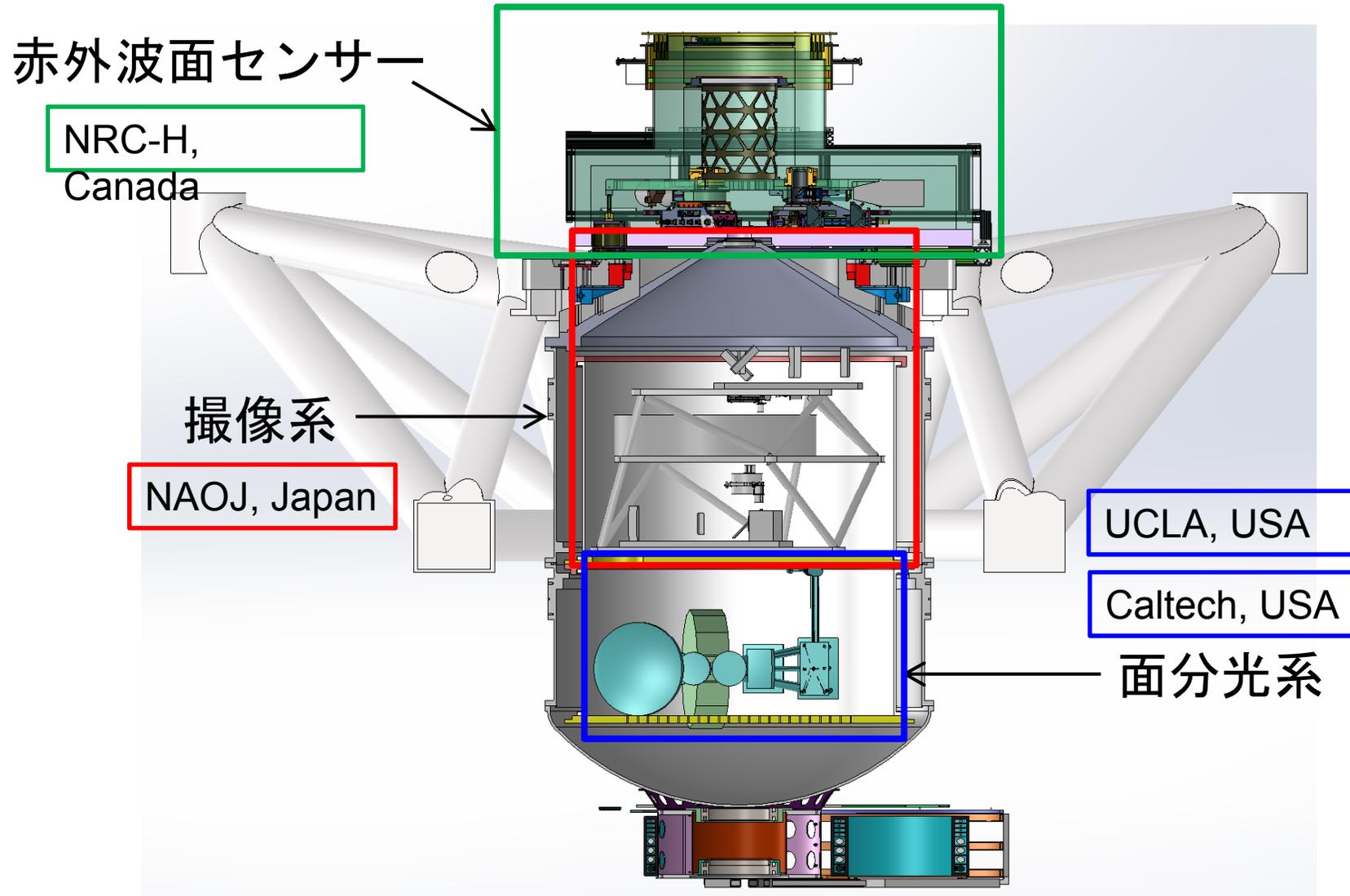
IRIS Layout



IRIS Layout



IRIS Layout



- 非常に小さい波面誤差（40nm）を達成する光学系
 - 光学設計、製作
 - 冷却下でのアライメント
 - 非常に長い光学系
 - 40nmの検証方法
- 30マイクロ秒の相対アストロメトリ
 - これまでに達成されたことのない精度
 - 10マイクロ秒 = 1/400ピクセル = 38nmの精度で天体の位置を決定
 - 天体、大気、望遠鏡、AO、装置をキャリブレーション、補正
- 非常に安定したシステム
 - 高精度のアストロメトリを達成するために、5-10年間は装置を開けない
 - 高い機械的精度を長期間に渡って保持

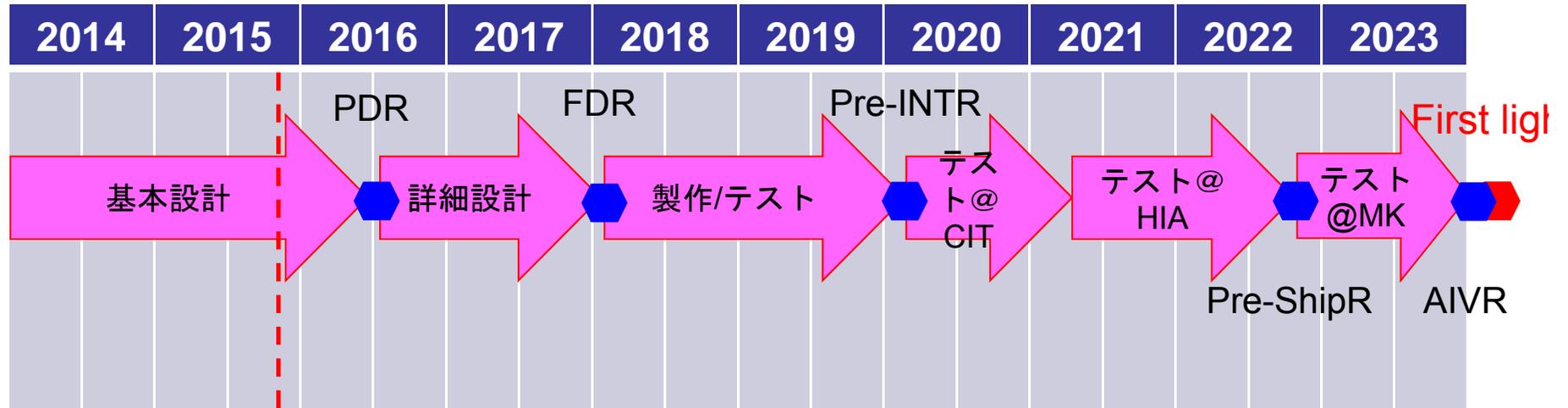
装置開発の大体の流れ (一般的な場合)

- 実現性検討段階
 - 「こんな事をやりたいです」という提案を作る。
- 概念設計段階 (> 1年)
 - 幾つかの設計を検討して、ベストな概念を選ぶ。
- 基本設計段階 (> 1年)
 - これを作れば実現できますという設計を練る。
- 詳細設計段階 (> 1年)
 - 製作 (発注) できますという状態にする。
- 製作、組上げ (> 2年)
 - 製作 (発注) する。出来たものを組上げて評価する。
- 試験観測 (> 1年)
 - サイエンス観測ができる状態に仕上げる。

装置開発の大体の流れ (IRISの場合)

- 実現性検討段階 (2005年開始)
 - 「こんな事をやりたいです」という提案を作る。
- 概念設計段階 (5年間)
 - 幾つかの設計を検討して、ベストな概念を選ぶ。
- 基本設計段階 (4年目) ←今ここにいる。
 - これを作れば実現できますという設計を練る。
- 詳細設計段階
 - 製作 (発注) できますという状態にする。
- 製作、組上げ
 - 製作 (発注) する。出来たものを組上げて評価する。
- 試験観測
 - サイエンス観測ができる状態に仕上げる。

IRISのスケジュール

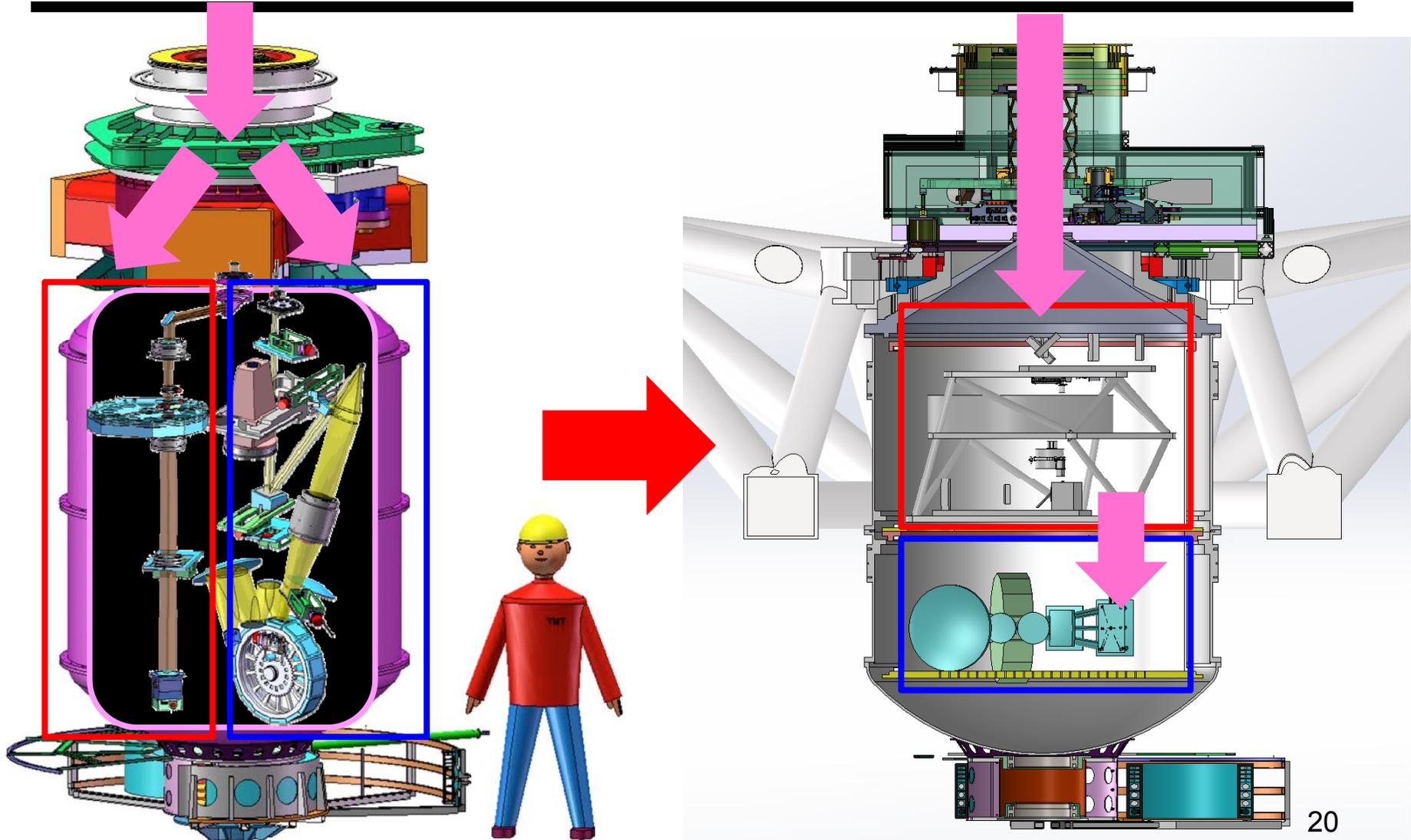




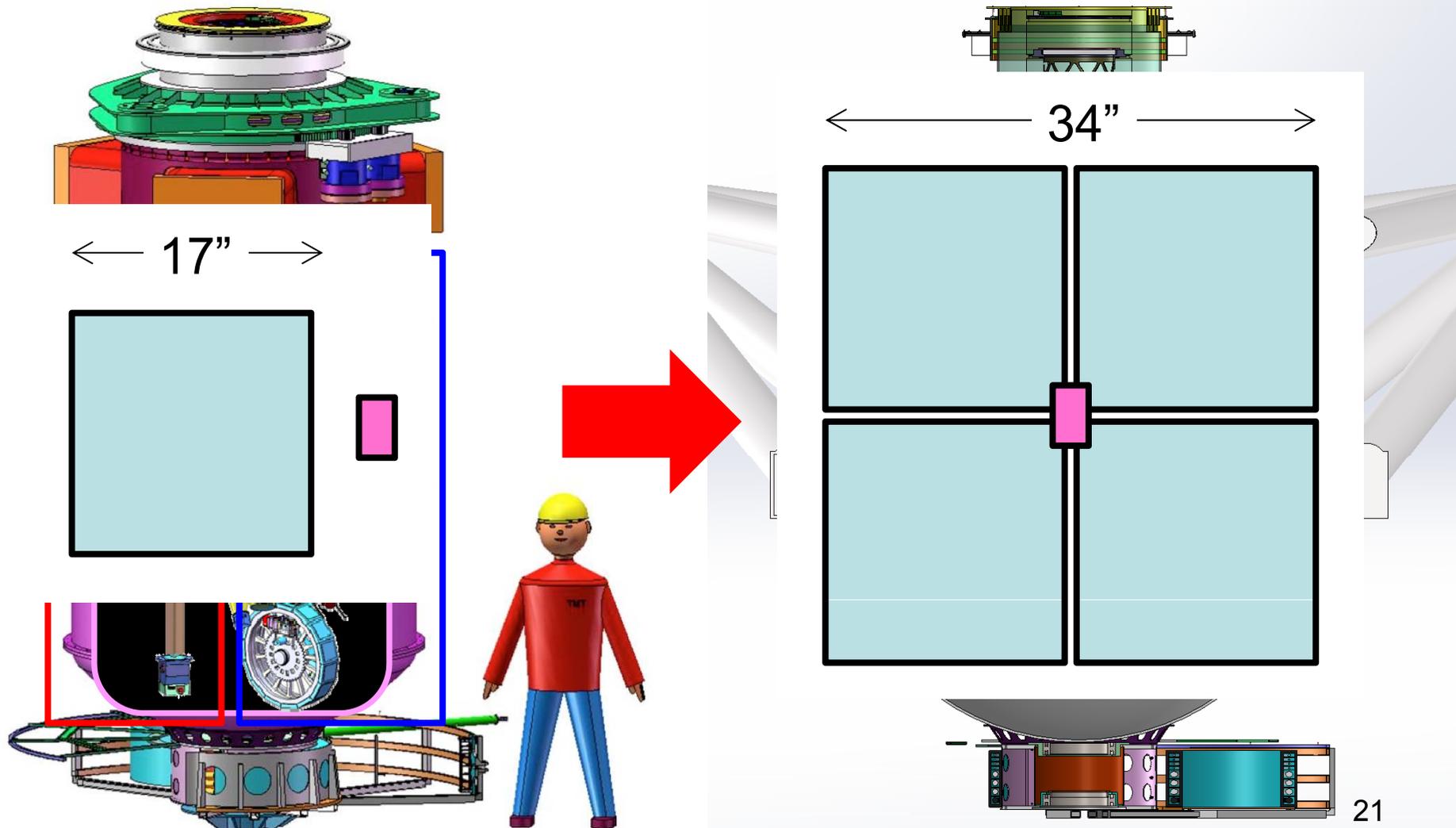
- TMT第一期観測装置の一つ (IRIS, WFOS, IRMS)
- AOを用いた近赤外域での撮像と面分光
 - NFIRAOSの後段に配置
 - 波長域 : 0.84 – 2.40ミクロン
 - ストレール比 : 0.41(J), 0.60(H), 0.75(K)
- 撮像モード
 - ピクセルスケール : 4ミリ秒/ピクセル
 - **視野 : 16.4秒角 → 34秒角**
- 面分光モード
 - 波長分解能 : 4,000 – 10,000
 - ピクセルスケール : 4, 9, 25, 50ミリ秒/スパクセル

- 2011年12月 概念設計段階終了
- コミュニティからの要望
 - 広視野化（30” x 30”以上）の要望
 - 高コントラスト機能の要望
- 概念設計の抱える問題
 - 面分光モードのADC問題
 - AOをoff axisに最適化した時のストレーラ比低下問題
- 2014年4月から広視野化の検討を開始
- 34秒角の光学設計を日本が提案
 - 第一期観測装置候補のWIRCを実現
- 2014年10月のTMT SAC、TMT Boardで承認
 - お金にシビアなTMTでコスト増の提案が通るのは稀！

IRIS広視野化



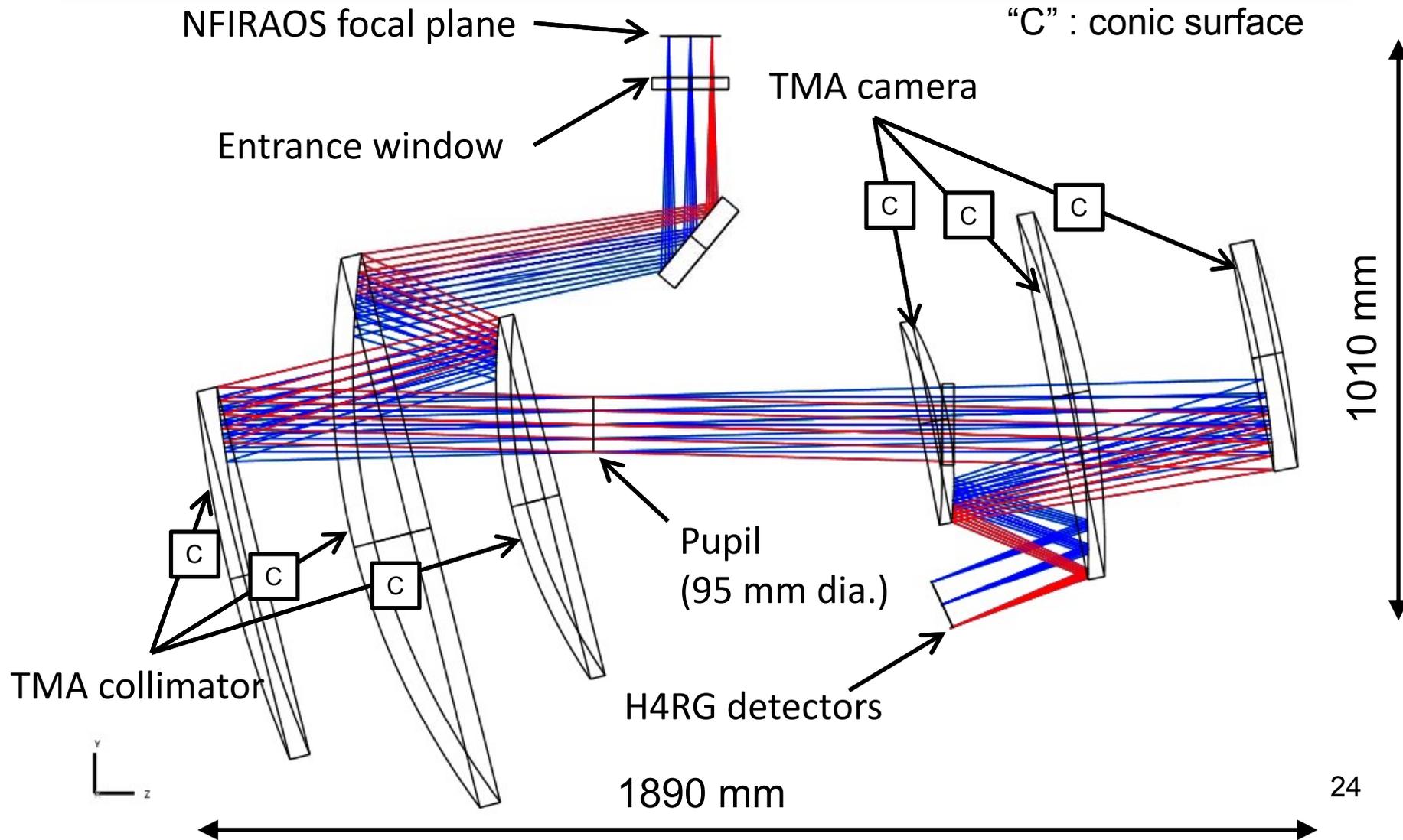
IRIS広視野化



光学系、機械系の検討状況

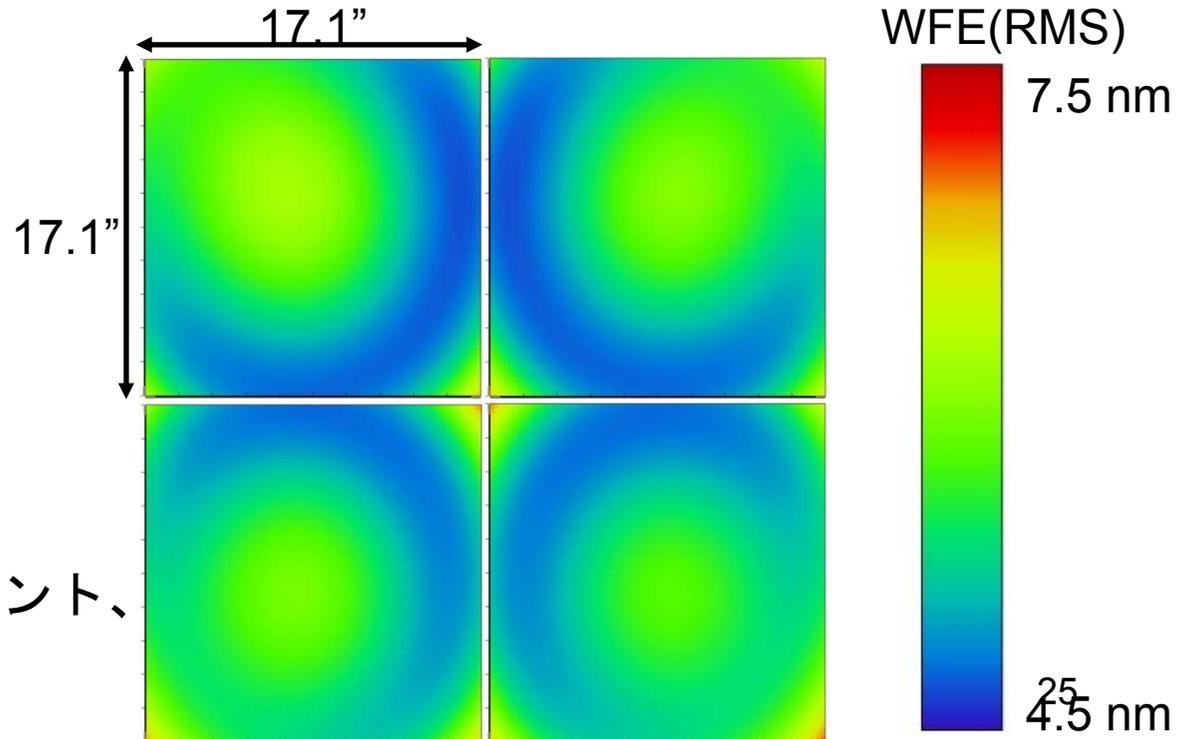
- 各段階の初めにTMTと契約を結ぶ (Work Package)
 - Statement of work
 - 納入物
- 基本設計段階の納入物
 - 主要な仕様を満たす光学設計
 - 波面誤差 (=結像性能)
 - Throughput
 - 主要な仕様を満たす機械設計
 - 重量
 - サイズ (パッケージング)
 - 固有振動数
 - 地震に対する耐久性

光学設計 (Double TMA)

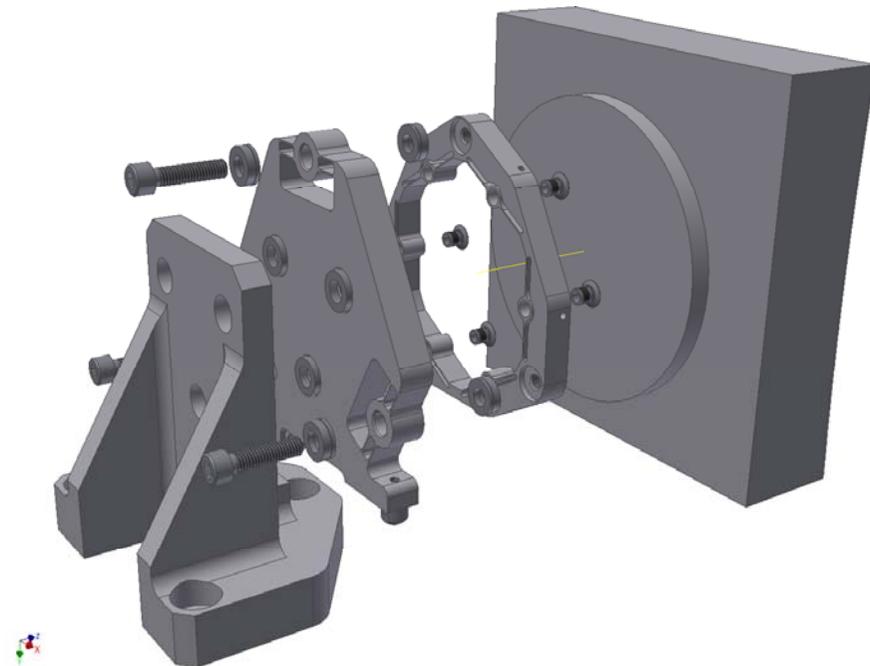
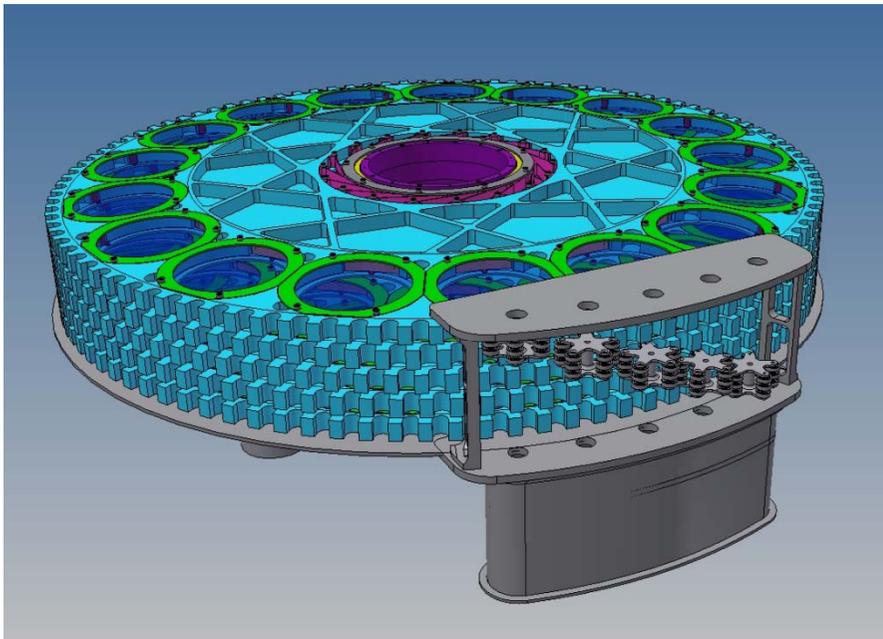


光学設計 (Double TMA)

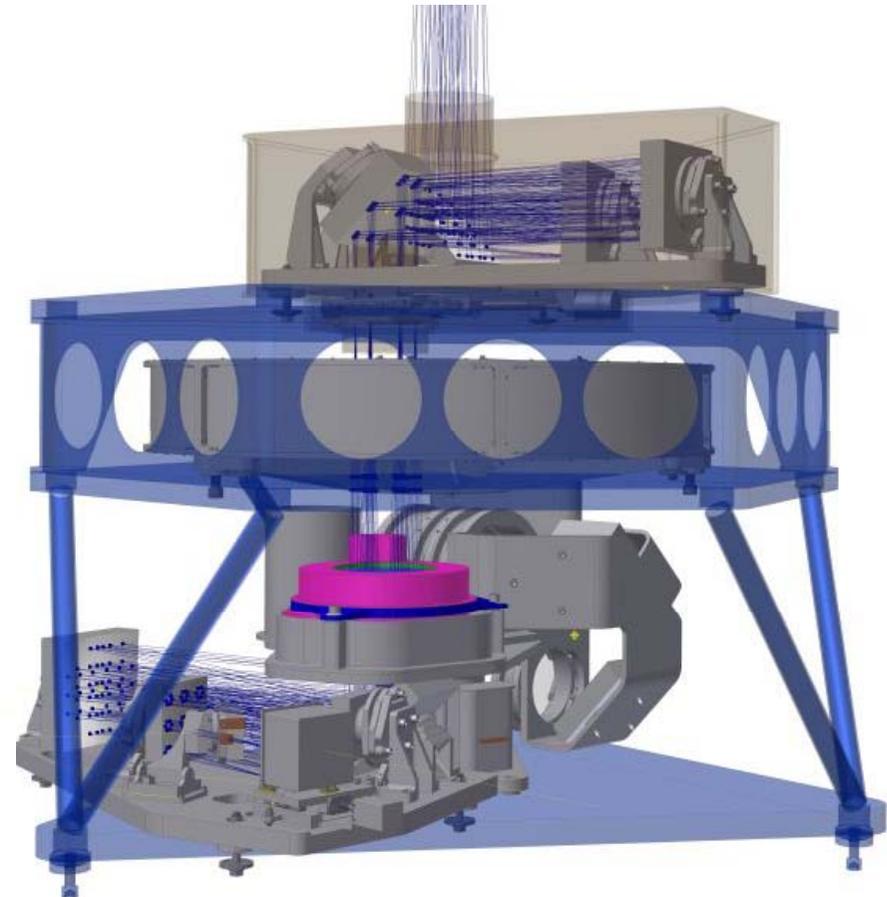
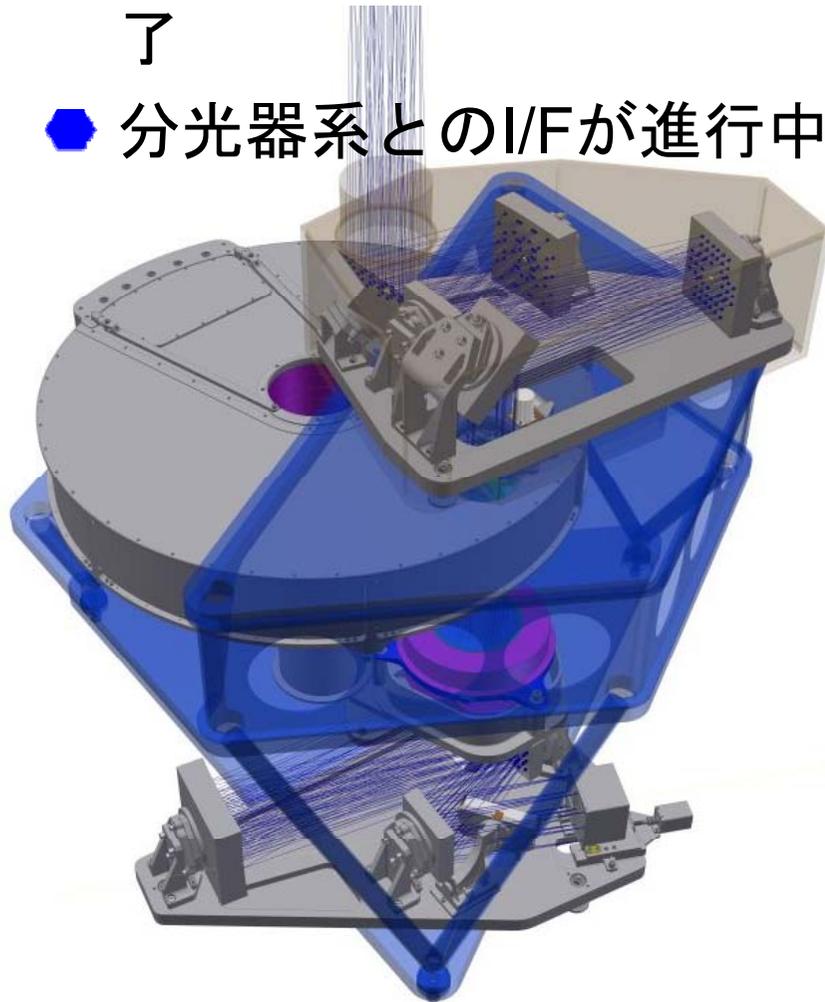
- 非球面（コニック面） 6枚の全反射系
 - Double Three Mirror Assemblies
 - Collimator TMA + Camera TMA
- 最も高いthroughputを実現する解
- 波面誤差：6 nm
- 公差解析終了
 - 0.1 mm (1σ)
 - 1 arcmin (1σ)
- 製作実現性検討中
 - 業者さんと議論
 - 組上げ、アラインメント、性能検証プラン作成



- 冷却駆動機構、光学素子支持機構の基本設計完了
 - 構造解析
 - 熱解析（冷却速度、冷却による変形）

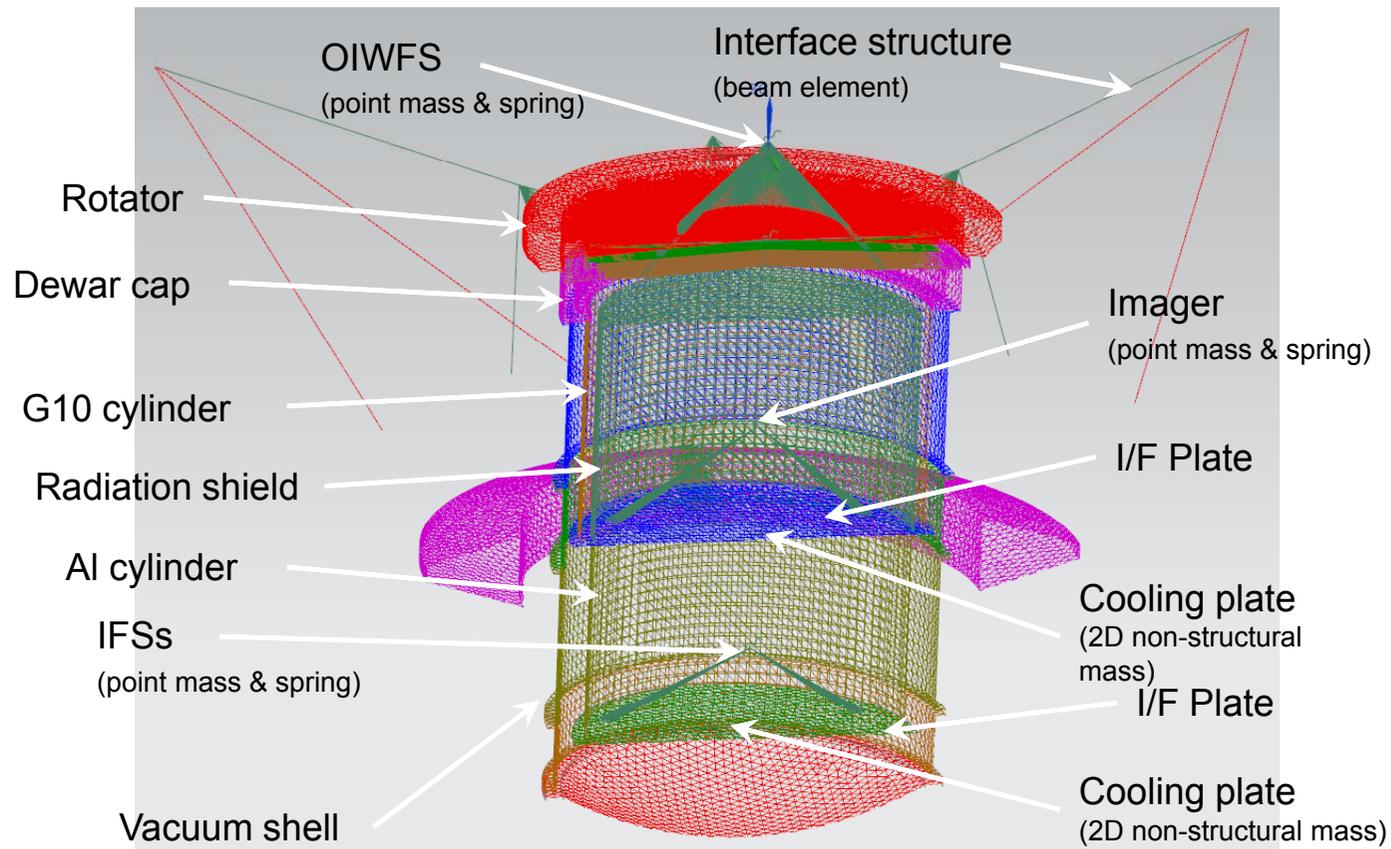


- パッケージング（エンベロープI/F）の基本設計がほぼ完了
- 分光器系とのI/Fが進行中

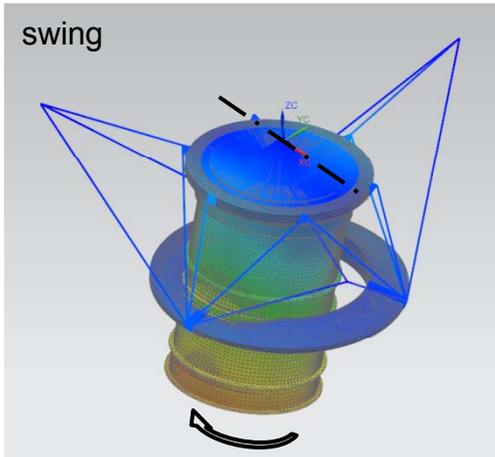


● IRIS全体の振動解析が進行中

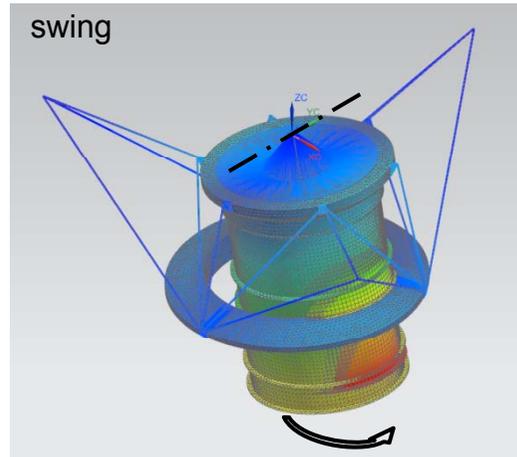
- 1000年に一度の地震に耐える (~4gの加速度)
- 振動による光学性能の劣化を防ぐ



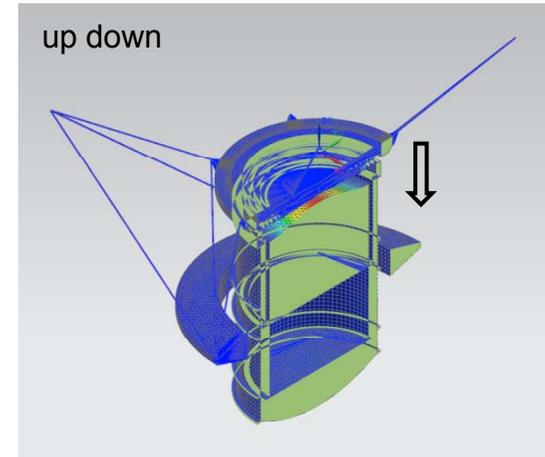
1st mode 16.7Hz



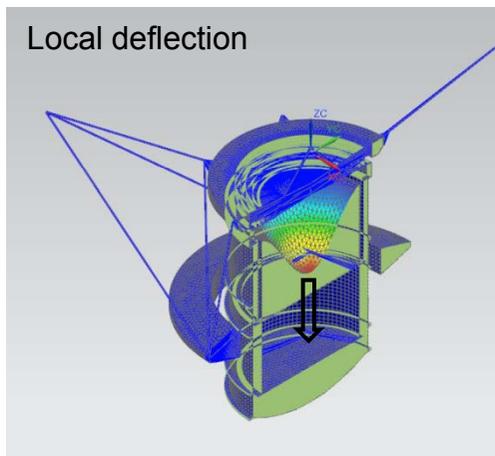
2nd mode 19.7Hz



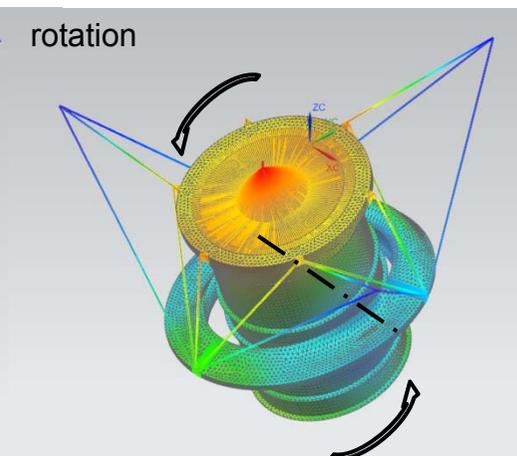
3rd mode 23.8Hz



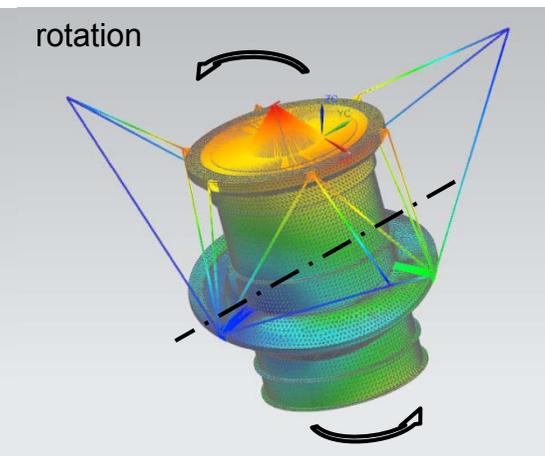
4th mode 25.4Hz



5th mode 27.3Hz



6th mode 27.8Hz



プロトタイプによる性能検証

● 冷却駆動機構

- 基礎データ構築
 - ベアリング、モーター、潤滑剤、センサーの選定、評価
- システムとしての性能評価
 - XYステージ、回転ステージ、Geneva drive機構
- 耐久試験

● 光学系

- 冷却光学系支持機構
 - 接着剤の選定、冷却時のアライメント評価
- 高精度軸外し非球面鏡の試作
- コーティングの試作
- 冷却時の鏡の変形評価
- 高反射率低波面誤差鏡の製作

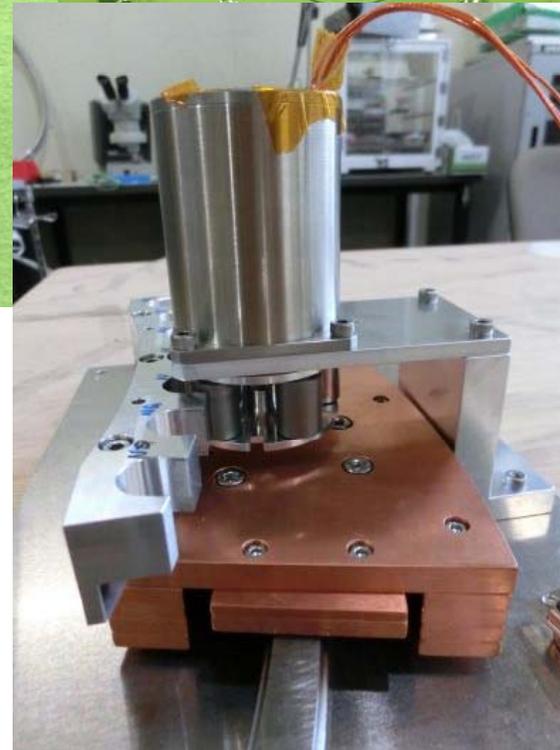
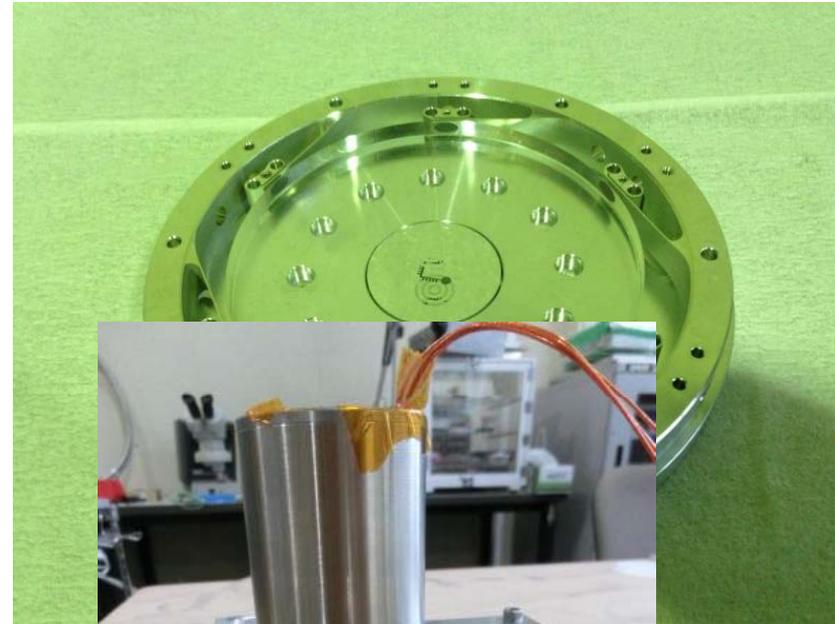
● 冷却駆動機構

- 基礎データ構築
 - ベアリング、モーター、潤滑剤、センサーの選定、評価
- システムとしての性能評価
 - XYステージ、回転ステージ、Geneva drive機構
- 耐久試験

● 光学系

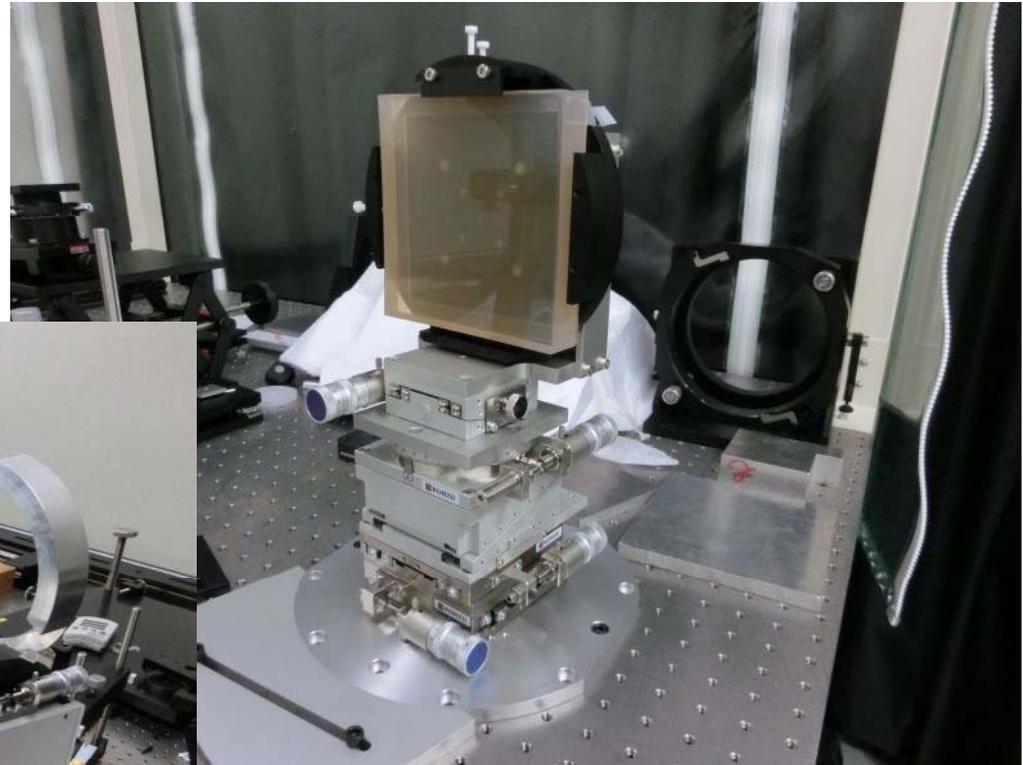
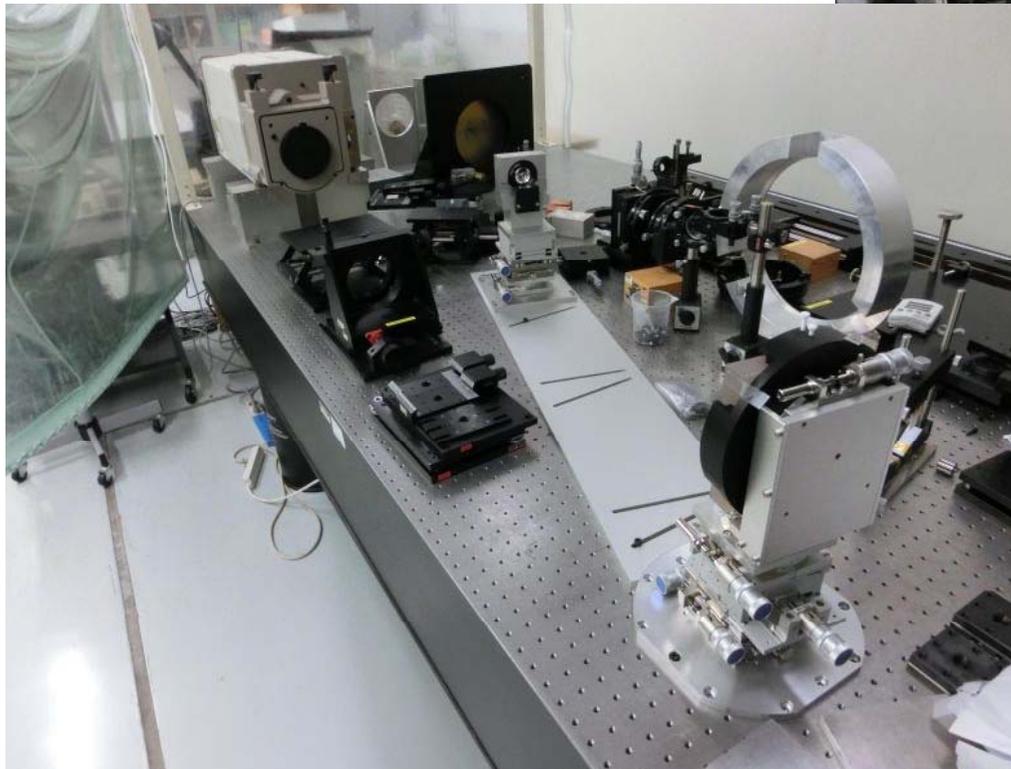
- 冷却光学系支持機構
 - 接着剤の選定、冷却時のアライメント評価
- 高精度軸外し非球面鏡の試作
- コーティングの試作
- 冷却時の鏡の変形評価
- 高反射率低波面誤差鏡の製作

冷却駆動機構、 冷却光学系支持機構の試作

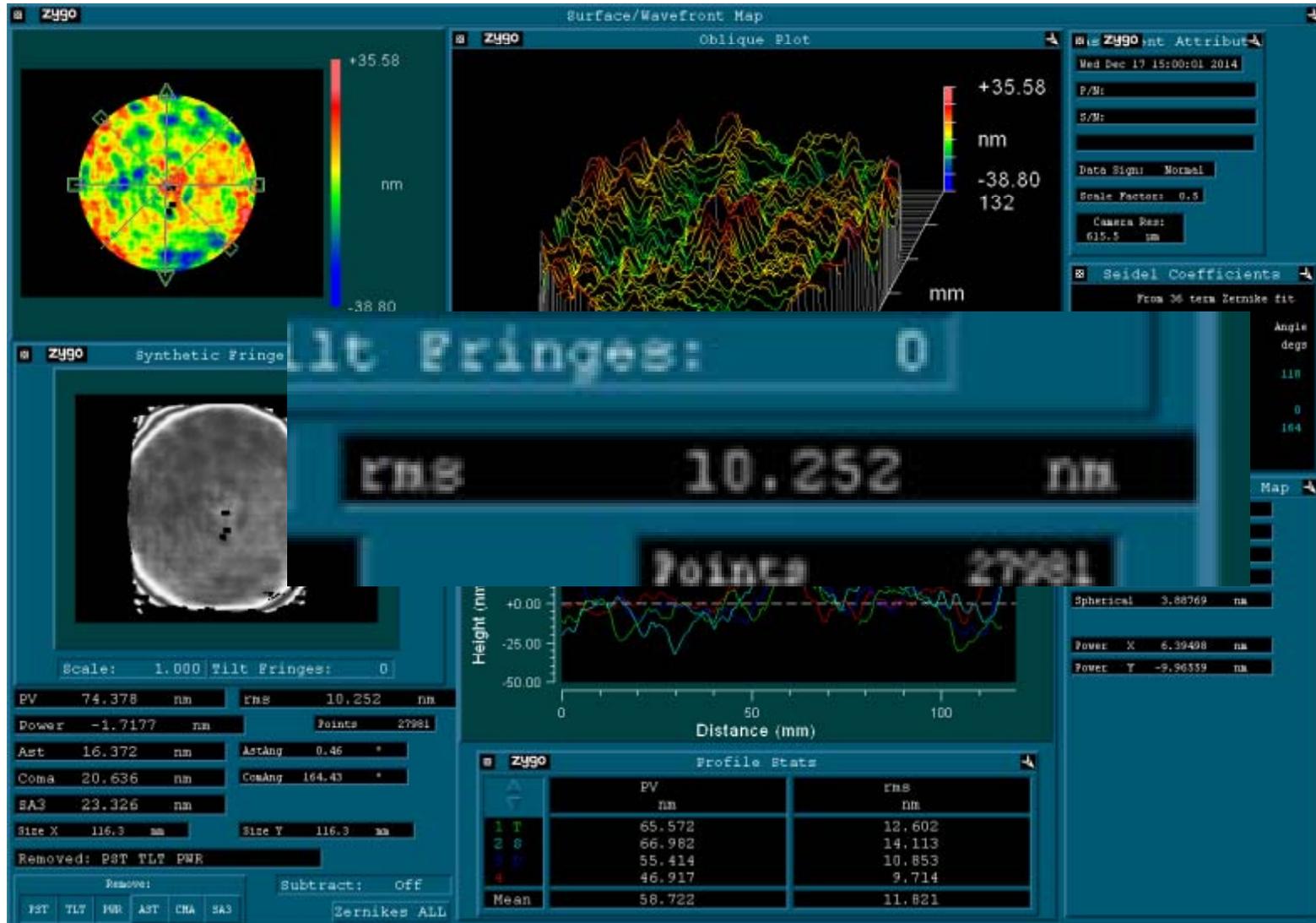


- 高精度軸外し非球面の製作 (Precision Asphere)
 - 軸外し量: 405 mm
 - コニック定数: -0.278
 - 曲率半径 : 1400 mm (凹面)
 - 基板サイズ: 140 x 140 mm (CA: 116 x 116 mm)
 - 基板材: Zerodure
 - 面精度仕様: 6 nm (rms)
 - 面粗さ仕様: 0.5 nm (rms)
 - 価格 : 40,000 USD
- 高精度軸外し非球面の製作 (パール光学)
 - 面精度 (測定結果) : 4.7 nm (rms) → WFE of 9.4 nm (rms)

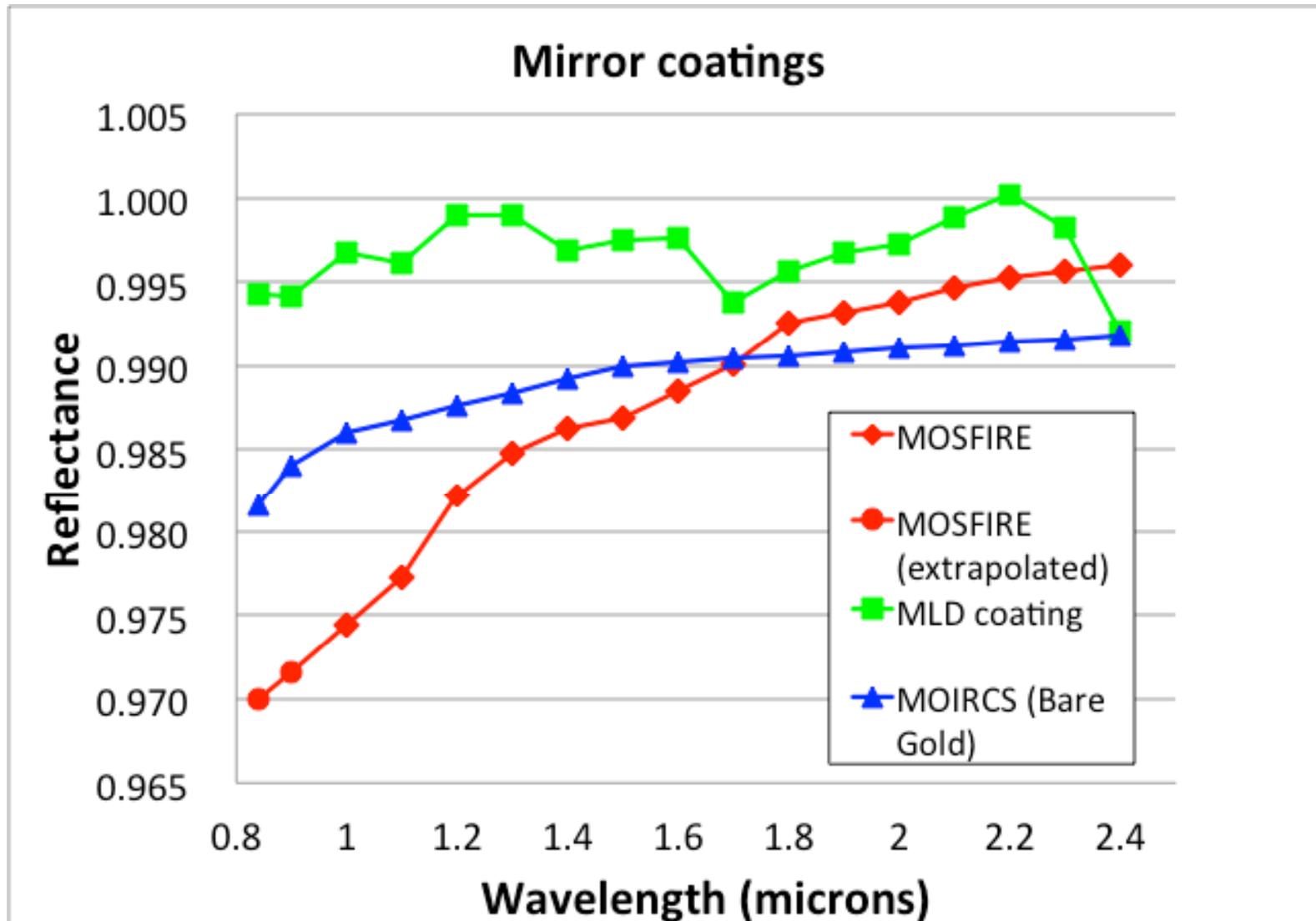
高精度軸外し非球面の 製作／測定

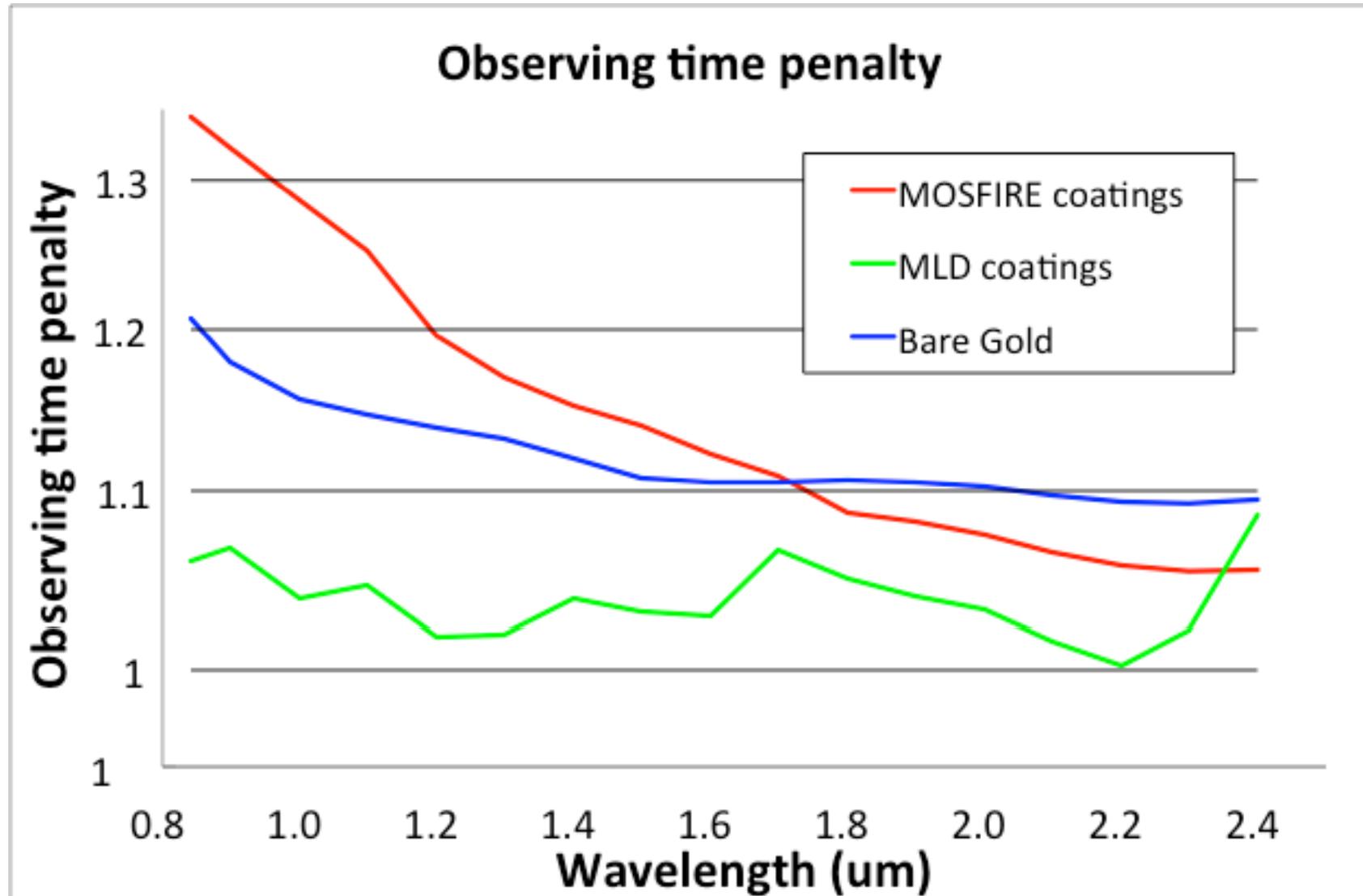


高精度軸外し非球面の 製作／測定



- TMTの観測は4千万円／一晩 → 1,000円／秒
- 1%/面のFresnel lossが10面あったら~10%のロス → 4百万円／一晩
- コーティングにお金をかけても十分payする。





多層膜反射コーティング試作 (昭和オプトロニクス)

- 基板：合成石英
- 平均反射率（測定結果）：
99.7% over 0.84 – 2.40 μm



多層膜ARコーティング試作 (昭和オプトロニクス)

- 基板：合成石英
- 平均透過率（測定結果）：**0.4%/**
面 over 0.84 – 2.4 μm



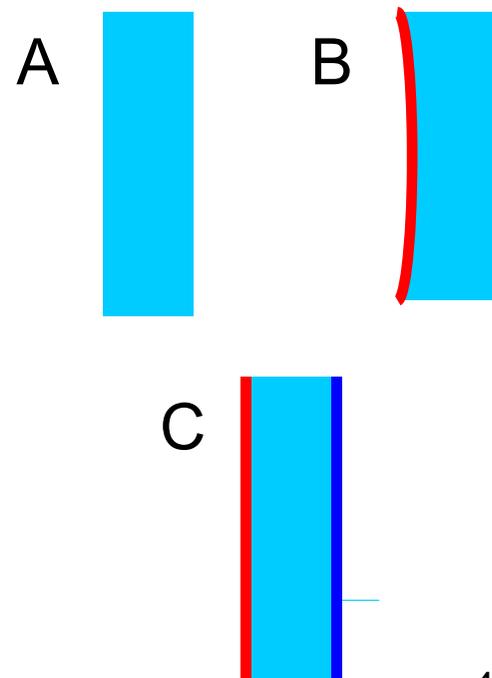
Kバンドフィルター試作 (日本真空光学)

- 平均透過率（測定結果）：
98% over 0.84 – 2.4 μm



高反射率低波面誤差鏡 実現のための試作

- 多層膜コーティングはある程度までは層数を詰めれば性能が良くなる。
- 基板と膜材との熱膨張率の違いによって基板がゆがんでしまう。
- IRIS撮像系は波面誤差の仕様が厳しいので基板を歪めたくない。
- 基板の歪みを直す方法
 - 基板を厚くする。
 - 裏面に補正コーティングをする。
 - アニーリングする
- 高反射率低波面誤差鏡を実現するプロセスを確立したい。



課題

- Double TMA光学系の組上げ、アライメント、評価手法の定量的な検討
 - 鏡単体の調整、評価
 - Collimator, Camera単体の調整、評価
 - 常温での調整、評価
 - 低温での調整、評価

- 振動解析
 - 鏡が動くと星像がボケる
 - ~100nm, ~0.1 arcsecの振動