

TMT/IRISの経験を通じて出てきた課題と、 2030年代に向けた装置開発体制への私見

Gopira

2022/9/20

鈴木竜二(国立天文台)

- ◆ MOIRCS
 - ◇ 学生がメインの装置開発
- ◆ HiCIAO
 - ◇ 技術者と研究者の混在で進めた国際プロジェクト
- ◆ IRIS
 - ◇ 技術者がメインの国際大型プロジェクト

- ◆ これまでとこれから
 - ◇ 装置開発体制
 - ◇ 人材育成
 - ◇ コミュニティの参画

IRISの紹介

高度角ベアリング

観測装置

ナスミス台

方位角ベアリング

副鏡

第三鏡

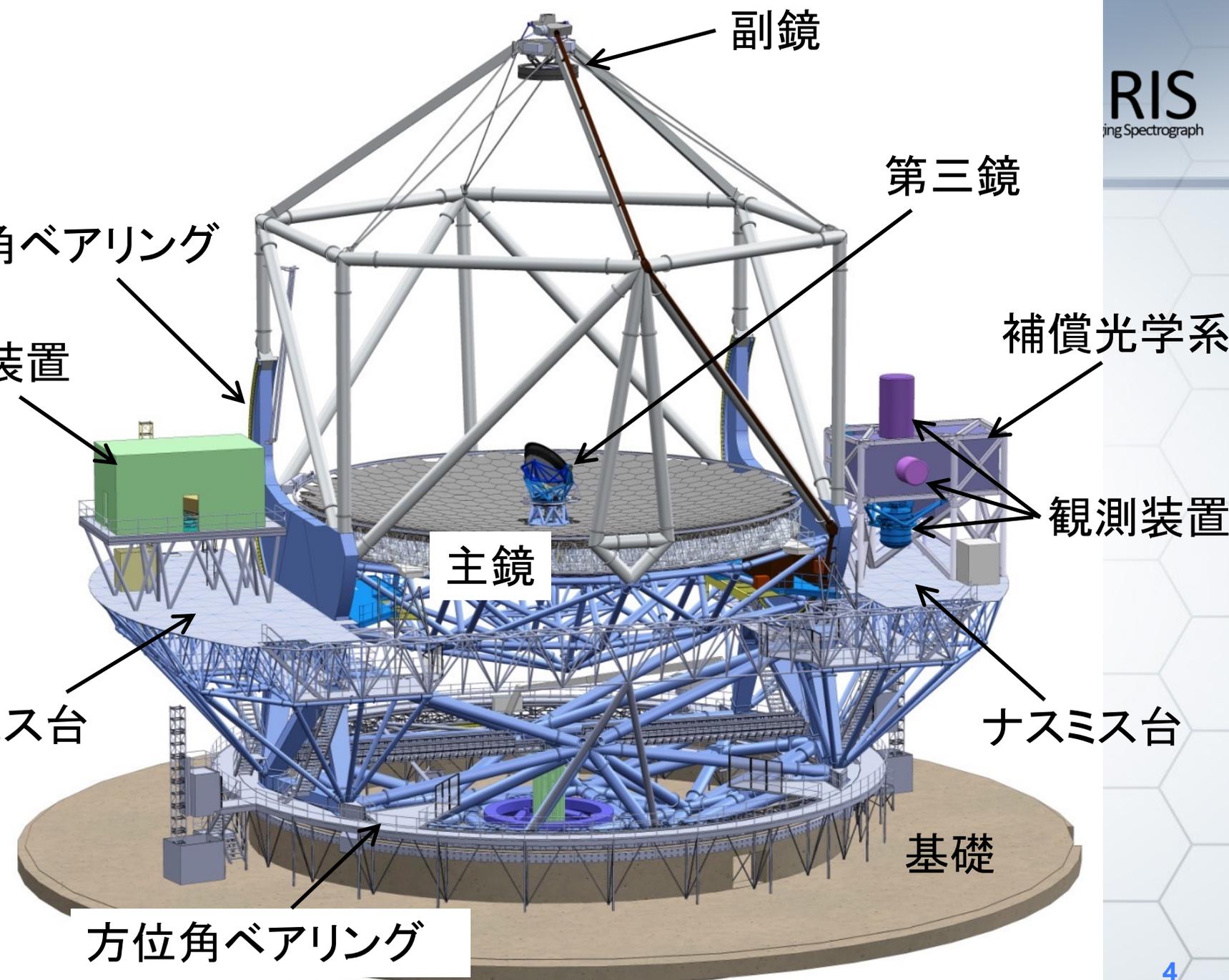
主鏡

補償光学系

観測装置

ナスミス台

基礎



高度角ベアリング

観測装置

ナスミス台

方位角ベアリング

副鏡

第三鏡

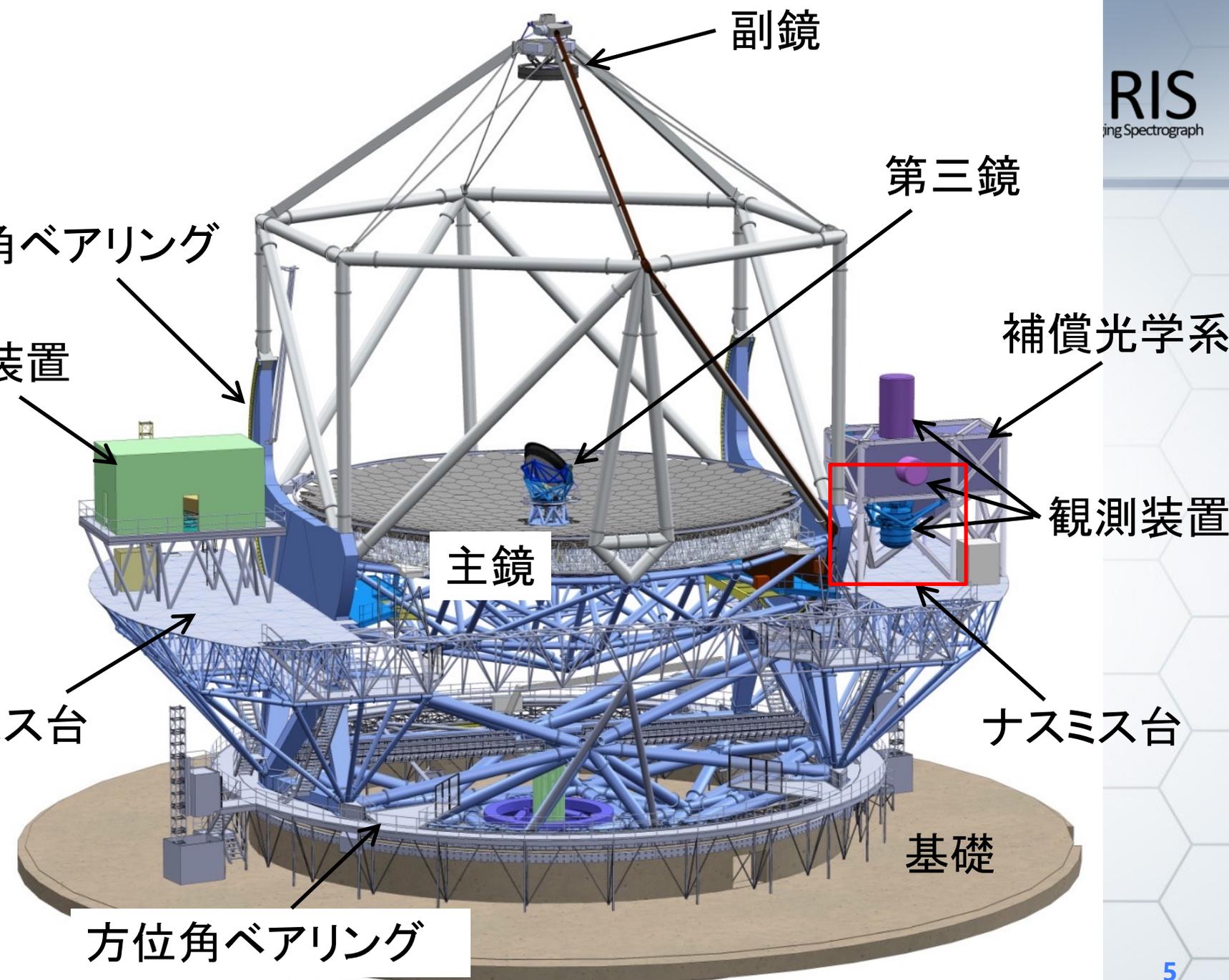
主鏡

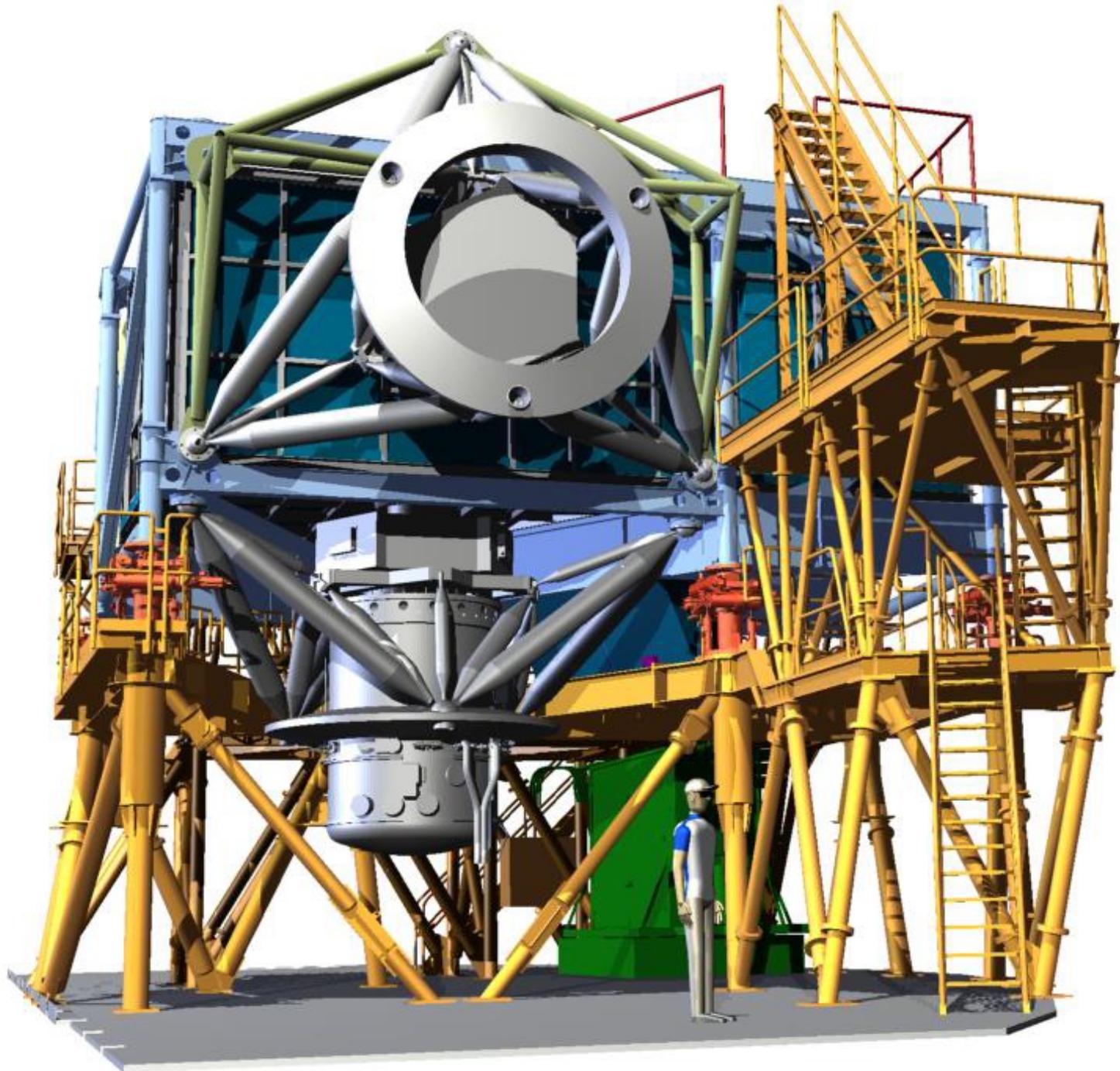
補償光学系

観測装置

ナスミス台

基礎





InfraRed Imaging Spectrometer (IRIS) Quick Facts

- 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
 - ◇ 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: 34 x 34秒角
- 面分光モード
 - ◇ Lenslet IFSとImage slicer IFSを選択可
 - ◇ 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

IRIS Layout

赤外波面センサー

NRC-H,
Canada

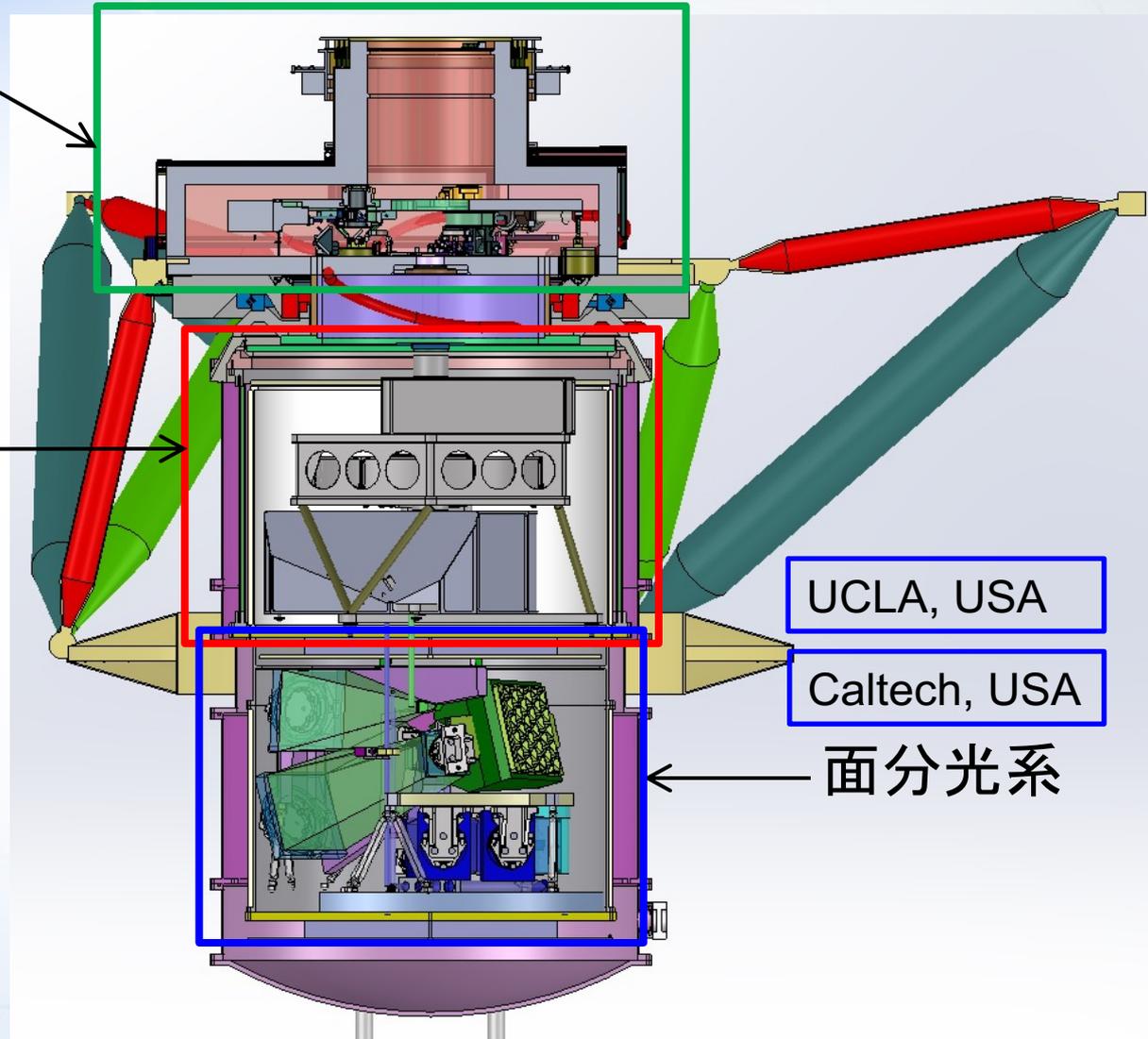
撮像系

NAOJ, Japan

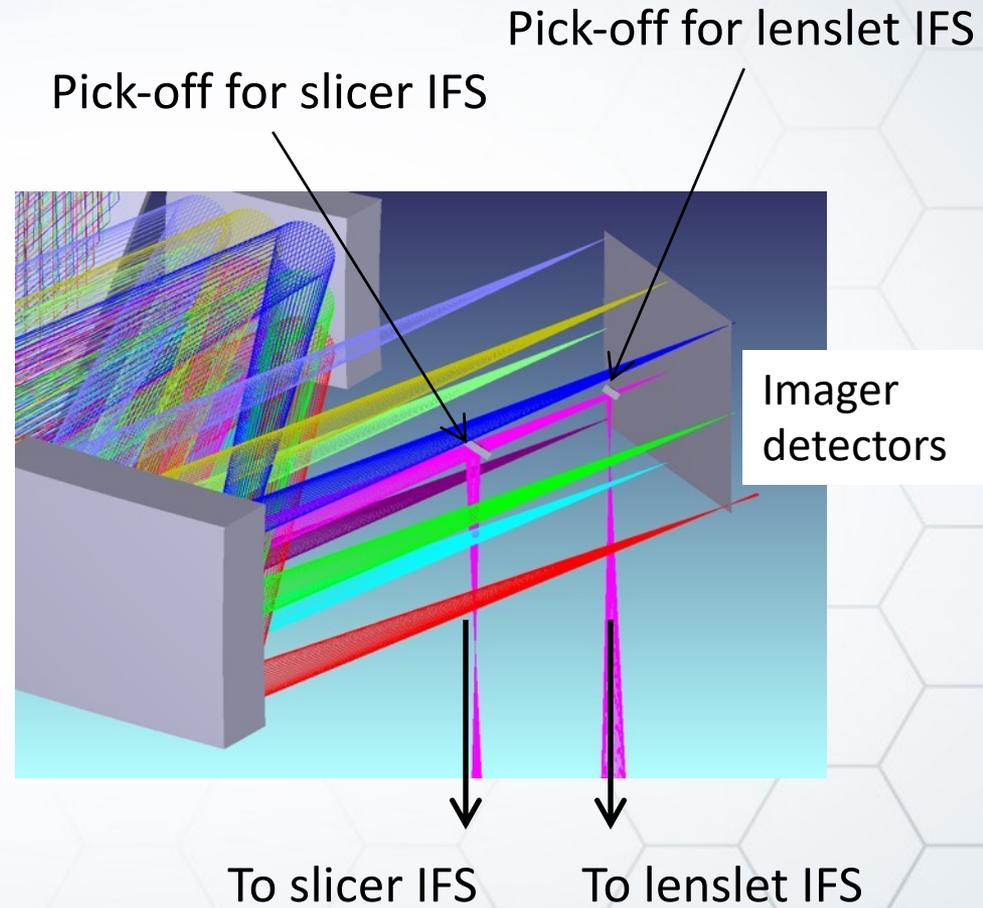
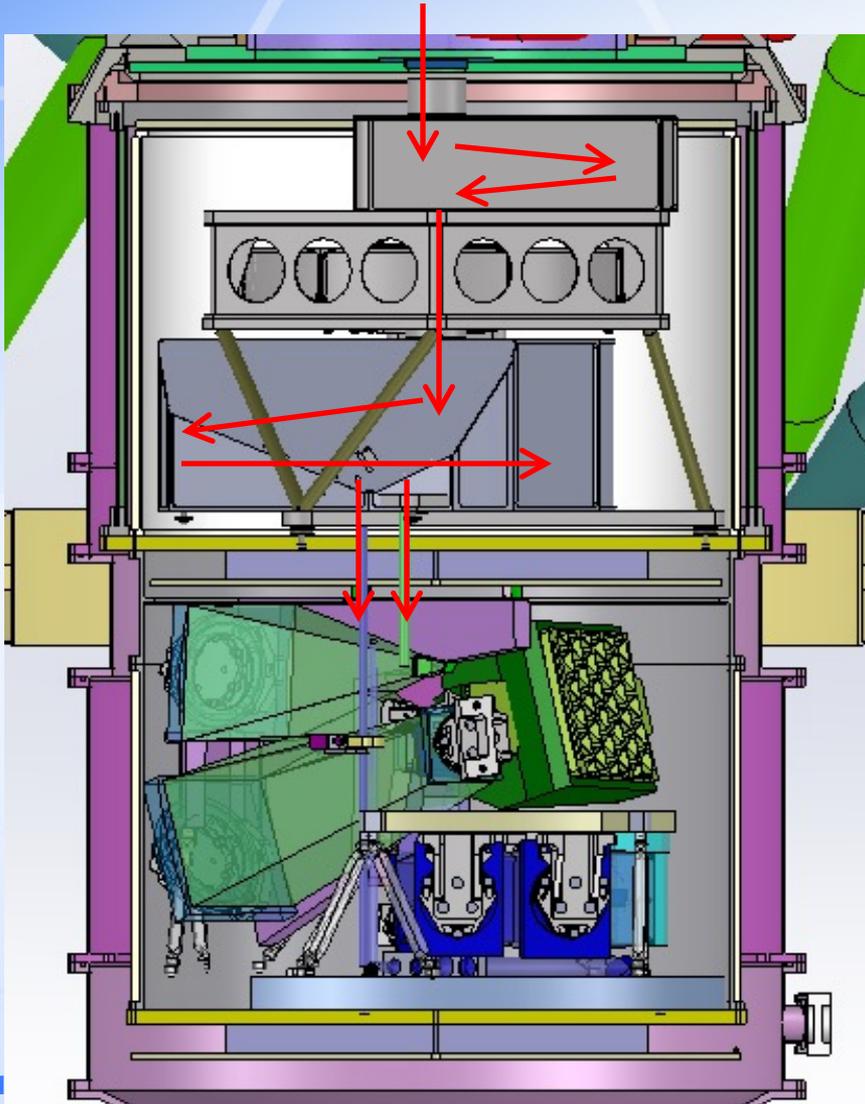
UCLA, USA

Caltech, USA

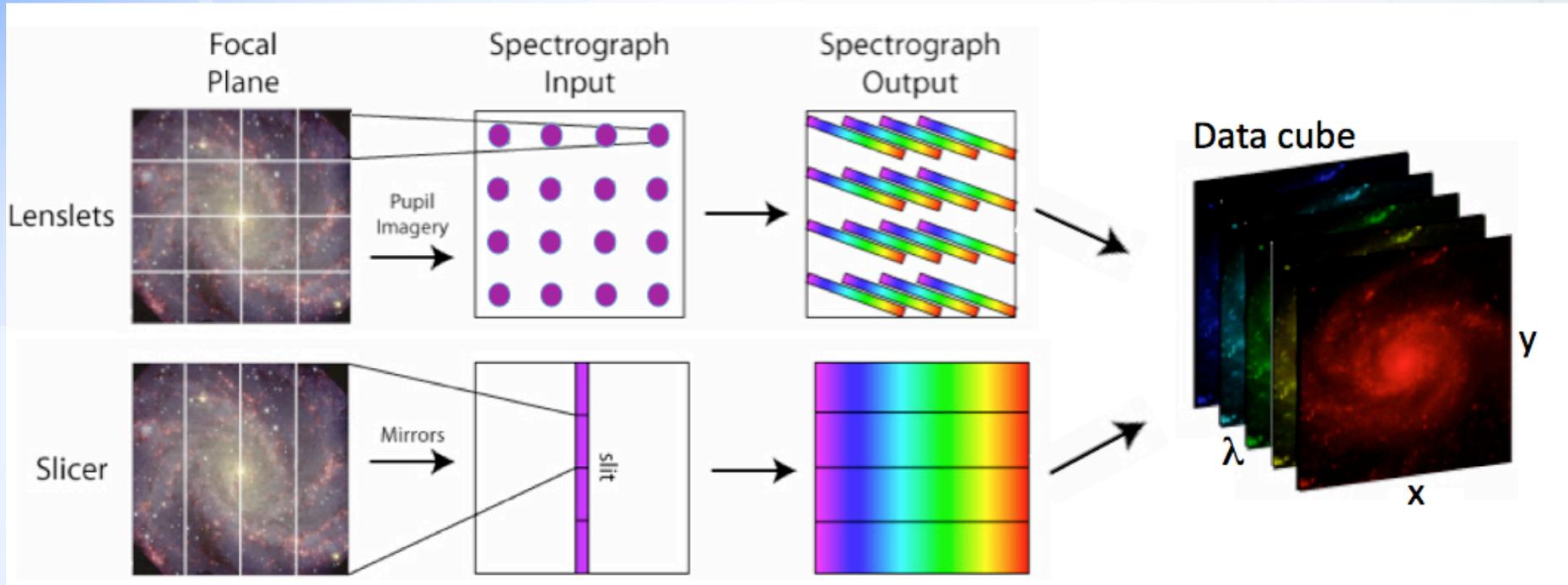
面分光系



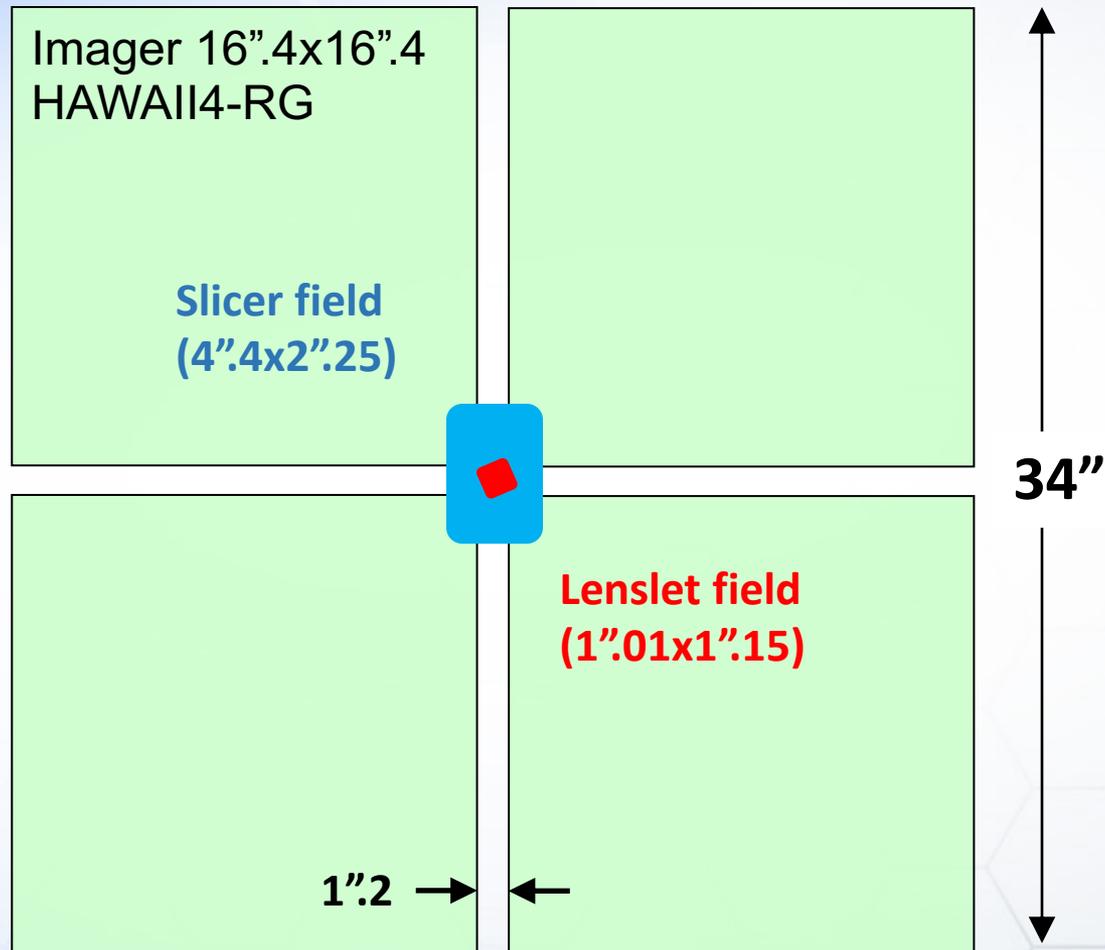
IRIS Layout



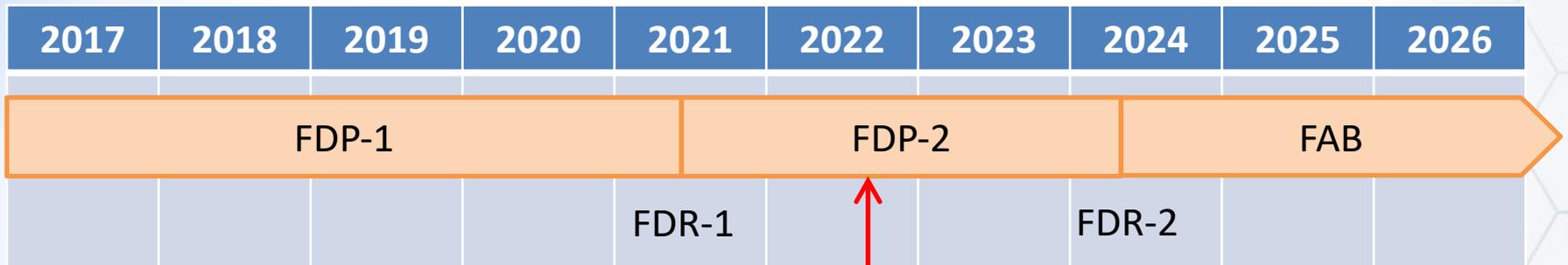
Lenslet versus slicer technique



IRIS Focal Plane



- サブシステムのFinal Design Reviewが2021年に終了。
- システムレベルのFinal Design Reviewが2024年に予定。



IRIS Layout

赤外波面センサー

NRC-H,
Canada

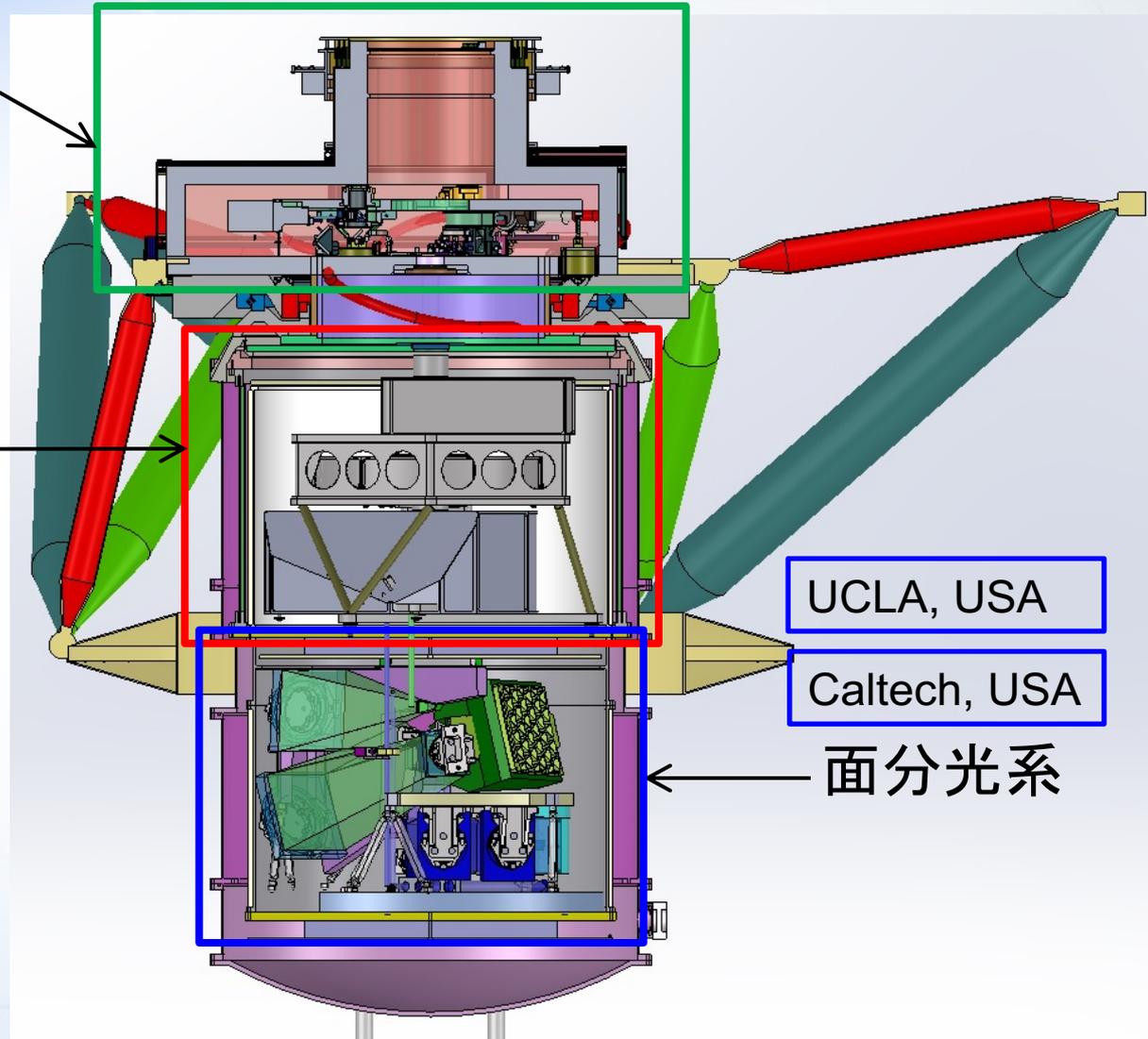
撮像系

NAOJ, Japan

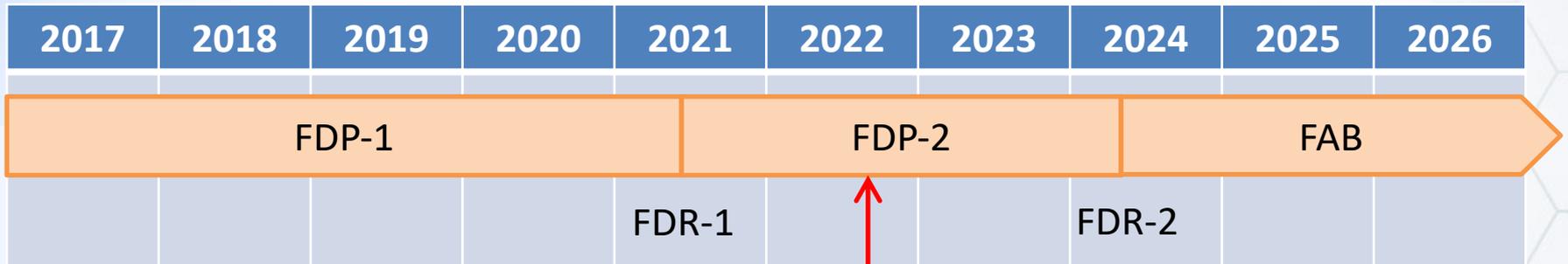
UCLA, USA

Caltech, USA

面分光系



- サブシステムのFinal Design Reviewが2021年に終了。
- システムレベルのFinal Design Reviewが2024年に予定。



これまでの振り返り

プロジェクト規模の比較

	MOIRCS	HiCIAO	IRIS
予算規模	数億円	数億円？	40億円
開発年月	5年	5年？	>26年
参加機関数	2	3	7
参加国	日（米）	日米	日米加中
研究者	2	3	9
技術者	3	5	37
学生／PD	7	5	6

- ◆ 開発期間が~5年
 - ◇ 学生、PDの経験の場として最適
 - ◇ 失敗する場
 - ◇ 成果が早く出る
- ◆ SEの手法を必要としなかった
 - ◇ ユーザ、仕様を作る人、作る人、組み上げる人、評価する人が全て同じ人
 - ◇ 全員が複数の分野をカバーしていた。
- ◆ SEの手法を用いていない
 - ◇ 見落としが多い
 - ◇ 設計／アーキテクチャが最適であったか？
 - ◇ 後付で対応することが多々
 - ◇ 結果的になんとかこなっていたこともある

- IRISではSEが求められていた。
 - ◇ QAの観点から必要。
 - ◇ 技術者は彼らが分かる言語での要求仕様が欲しい。
 - ◇ ユーザは彼らの言葉で性能を記述する。
 - ◇ ユーザはもちろん、「できる限り良い性能がほしい」という。
 - ◇ ユーザと技術者の間に入り、性能と技術の言葉の関係を通訳する。
 - ◇ システムが満たすべき要求仕様を定義する。
- TMTのSEは、Gemini (NRC-H) の手法を踏襲しているが、確立している手法というよりは、手探りで勉強しながら進めている感じだった。
 - ◇ TMTもIRISも最初はSEが全然ダメだった。

- (私見) Systems Engineeringは「失敗をしないための知識体系」
 - ◇ 要求仕様の導出、Traceabilityの確保
 - ◇ インターフェースの定義
 - ◇ スタンドアード文書の作成
 - ◇ コンセプト、アーキテクチャ文書の作成
 - ◇ 開発フェーズの定義
 - ◇ 必要な納入物の定義
 - ◇ 扱っているシステムの技術的な責任者
 - ◇ 複数の分野にまたがる作業の交通整理
 - ◇ 誰もやる人がいない作業。。

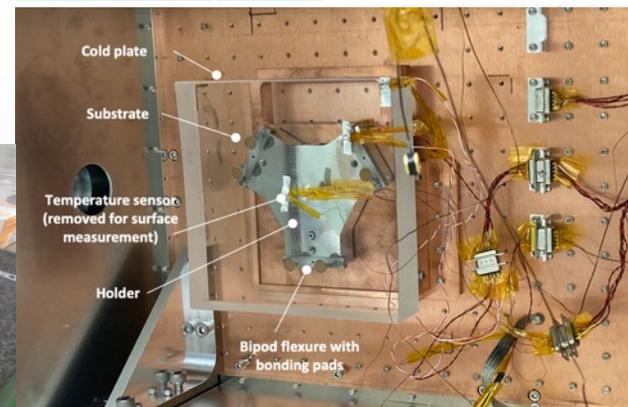
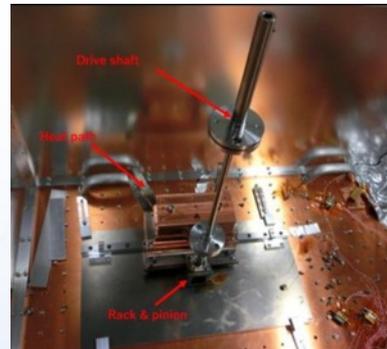
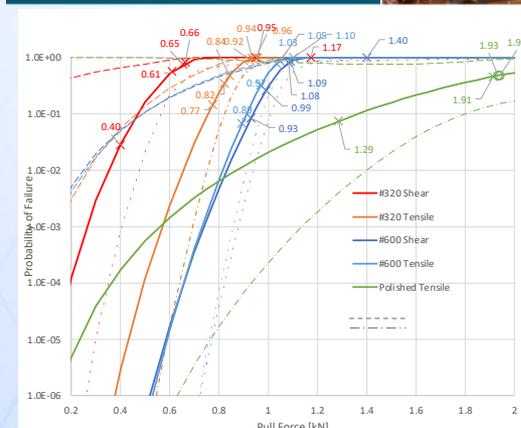
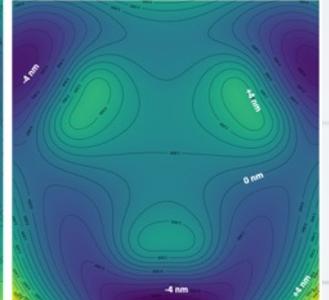
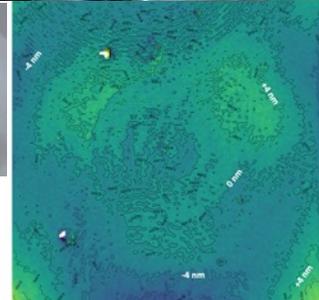
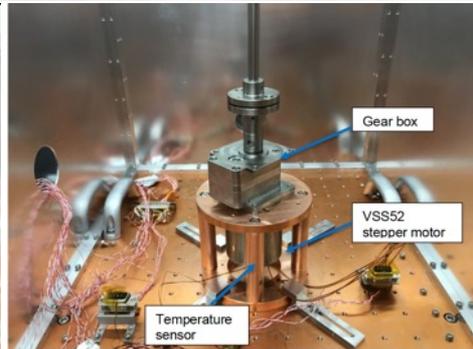
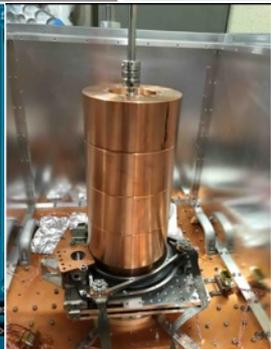
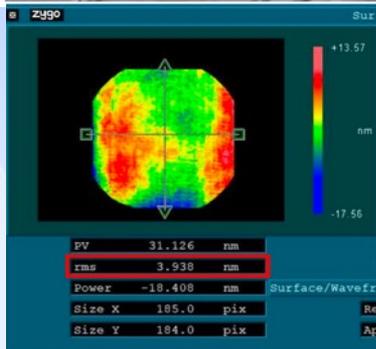
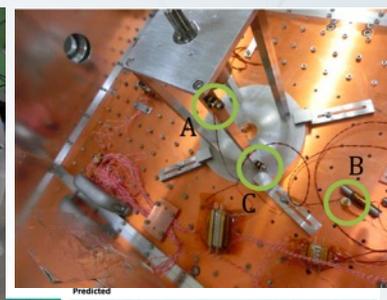
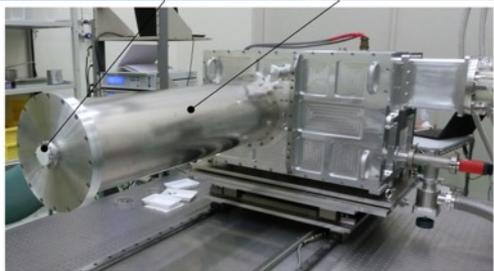
◆ ATCの技術者

- ◇ 2013年にATCでIRIS撮像系チームを立ち上げた時、ATCには冷却駆動系、冷却光学系の技術がなかった。
- ◇ 長い年月をかけ、多くのプロトタイプを通じて技術を獲得。
- ◇ 他のプロジェクトとの技術の共有。

◆ プロジェクト研究員、学生

- ◇ 性能に関わる部分のシミュレーション、仕様作成、プロトタイプ
 - ◆ astrometry, sensitivity

- ベアリング、ギア、リニアガイドの低温使用
- モーターのトルクと発熱測定
- モーターの電流と負荷と位置精度
- ホール素子を用いた位置決め方法
- 冷却下での耐久試験
- ケーブル、熱パスの屈曲試験
- 高精度非球面鏡の製作と形状測定方法の確立
- ボンドパッドを用いた冷却下での支持機構の確立
- ボンドパッドの破壊試験と破壊力学解析
- 冷却下における波面誤差測定方法の確立
- PrototypingとFE modelのcorrelationを通じた冷却光学系のオプトメカ設計方法の確立
- 高反射率コーティング



◆ ATCの技術者

- ◇ 2013年にATCでIRIS撮像系チームを立ち上げた時、ATCには冷却駆動系、冷却光学系の技術がなかった。
- ◇ 長い年月をかけ、多くのプロトタイプを通じて技術を獲得。
- ◇ 他のプロジェクトとの技術の共有。

◆ プロジェクト研究員、学生

- ◇ 性能に関わる部分のシミュレーション、仕様作成、プロトタイプ
 - ◆ astrometry, sensitivity

- ◆ UCSD
 - ◇ データリダクションパイプラインの開発
 - ◇ シミュレータ作成
 - ◇ 仕様の作成
 - ◇ 性能評価
 - ◇ ETCの作成

- ◆ UCLA/CIT
 - ◇ IR Labがある
 - ◇ Heritageがある
 - ◇ サブシステムを担当
 - ◇ 学生／PDの参加はない

- ◆ 東京大学
 - ◇ Astrometryのシミュレーション
 - ◇ 高反射率低波面誤差鏡のプロトタイプ
- ◆ Science team
- ◆ Working group members
 - ◇ Astrometry working group
 - ◇ UCLA GC group

◆ NAOJ

- ◇ 学生、PDのタイムスケールと合わない。
- ◇ 適当なサイズのWork packageを作成
 - ◆ Astrometry検討
 - ◆ Phase diversity検討
 - ◆ Alignment plan作成
 - ◆ 高反射率低波面誤差鏡のプロトタイプ
 - ◆ 検出器の駆動(ODGW)
 - ◆ 検出器の性能評価
 - ◆ 組み上げ／性能評価／性能出し

- ATCのエンジニアの方の能力は素晴らしい。
- IRISの設計／プロトタイプを通じて、近赤外線観測装置の開発に必要な技術を残せた。
- SEの育成／人員拡充が必要
 - ◇ SEの所で作業が止まってしまうことが多い。
 - ◇ 仕様作成、アーキテクチャの設計、設計の評価／判断
- PMの育成が必要
 - ◇ スケジュール／進捗管理が明確でない。
 - ◇ PMは実務能力、人柄、相性、雰囲気
 - ◇ プロジェクトが遅れる原因？

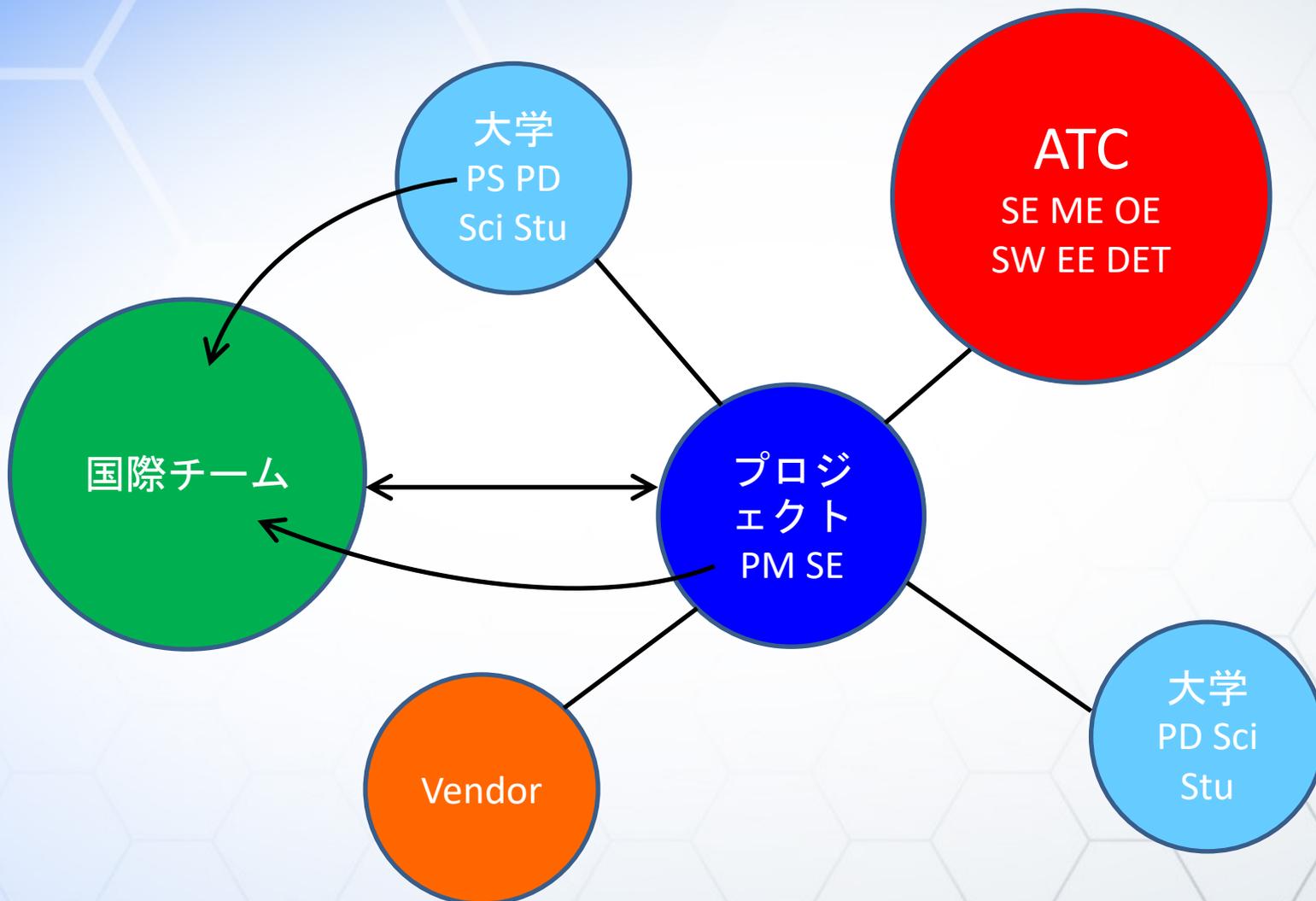
- 声大きい人が勝つ。。が、Scientific/technicalな定量的な成果は万国共通。
- 長期間に渡る開発で、モチベーションを保つのが大変。
 - 何を得たいのかを明確にしないと、無為に時間がすぎる。
 - 得たいものが得られたら（得られないなら）去るのもあり。
 - 小型プロジェクトを並行して進めることの重要性。
- レビューが大変。
- 国際プロジェクトは楽しい。
 - 議論の進め方、仕事の仕方、家族を優先する文化、優秀な人材、多くの出会い、海外生活、、、

これから

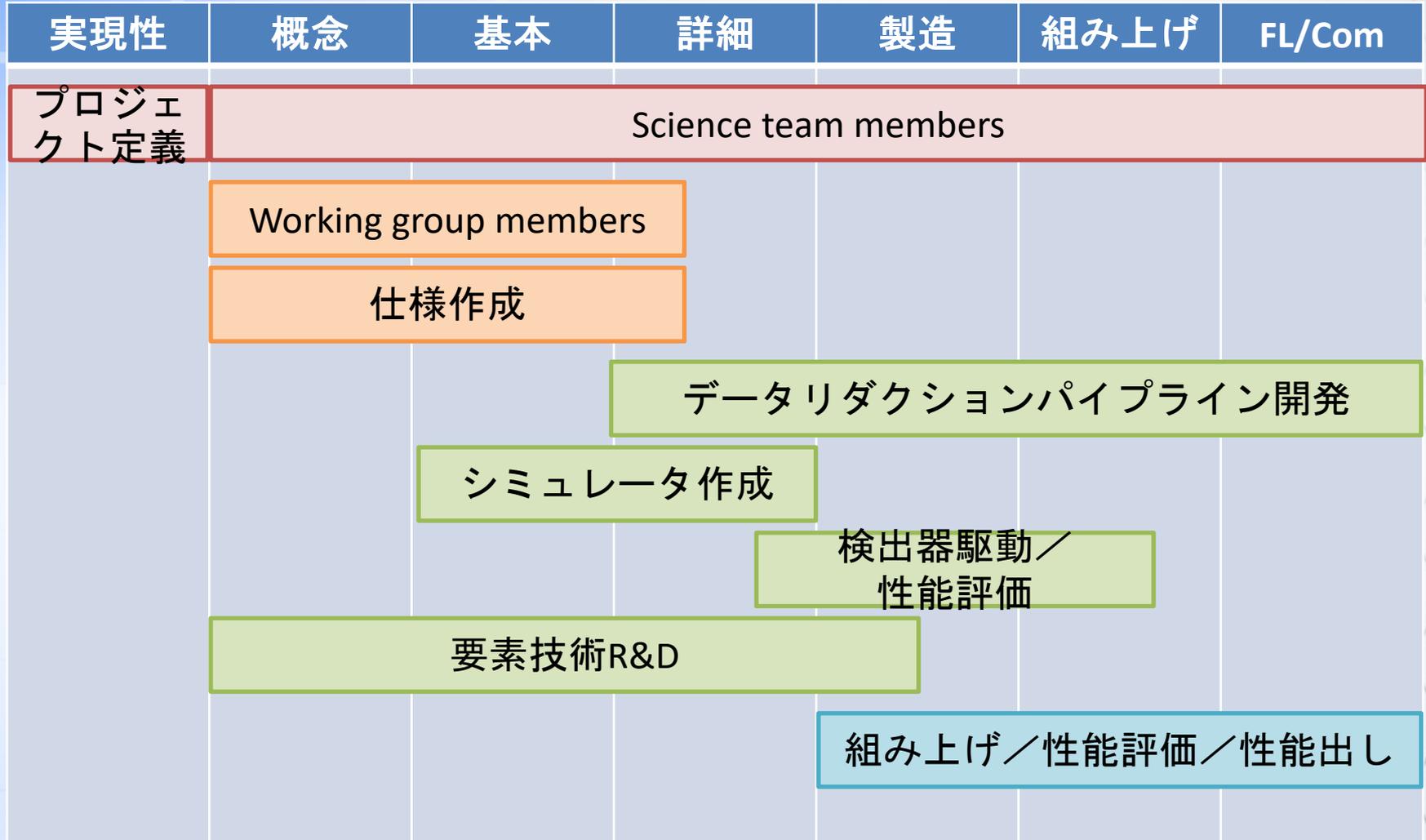
- 装置のサイズ、波長域、予算による
 - ◇ 可視の装置は外注が可能。
 - ◇ 赤外の装置は冷却が必要なため外注が難しい。
 - ◇ 赤外の装置でも、サイズが大きくなると内製は難しいかもしれない。
- 国際大型プロジェクトで内製もしくは内製と外注の組み合わせの場合を考える

- 大型国際プロジェクトでは、QAの観点から、SEの手法を採用し、技術者と研究者と学生の役割を明確にしたほうがいい。
- PMはリソースに余裕があれば研究者である必要はない。
- SEはプロジェクト特有の性能／技術を理解した方と、基幹技術とSEツールを管理できる方の2人体制。

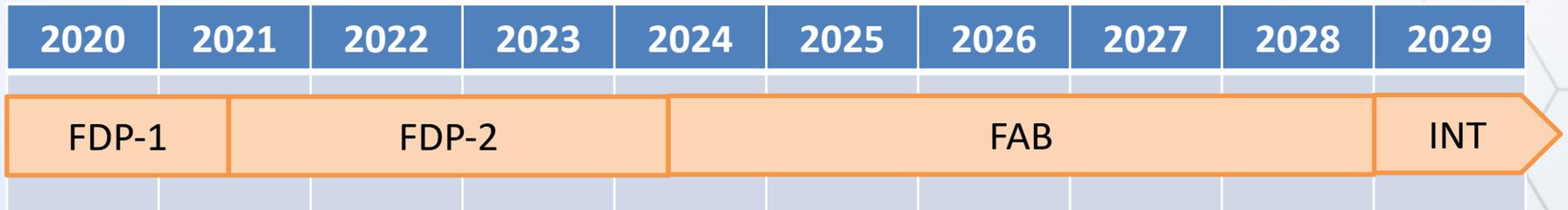
- ATCのリソースは是非活用してください。
- コミュニティからのサポートが不可欠。
 - 要素技術のR&D
 - サイエンスに近い開発要素
 - リダクションパイプライン
 - シミュレータ
 - ETC
 - 組み上げ／性能評価
- プロジェクト
 - PMとSE及び足りないリソースを補充
 - チーム内外のハブの役割



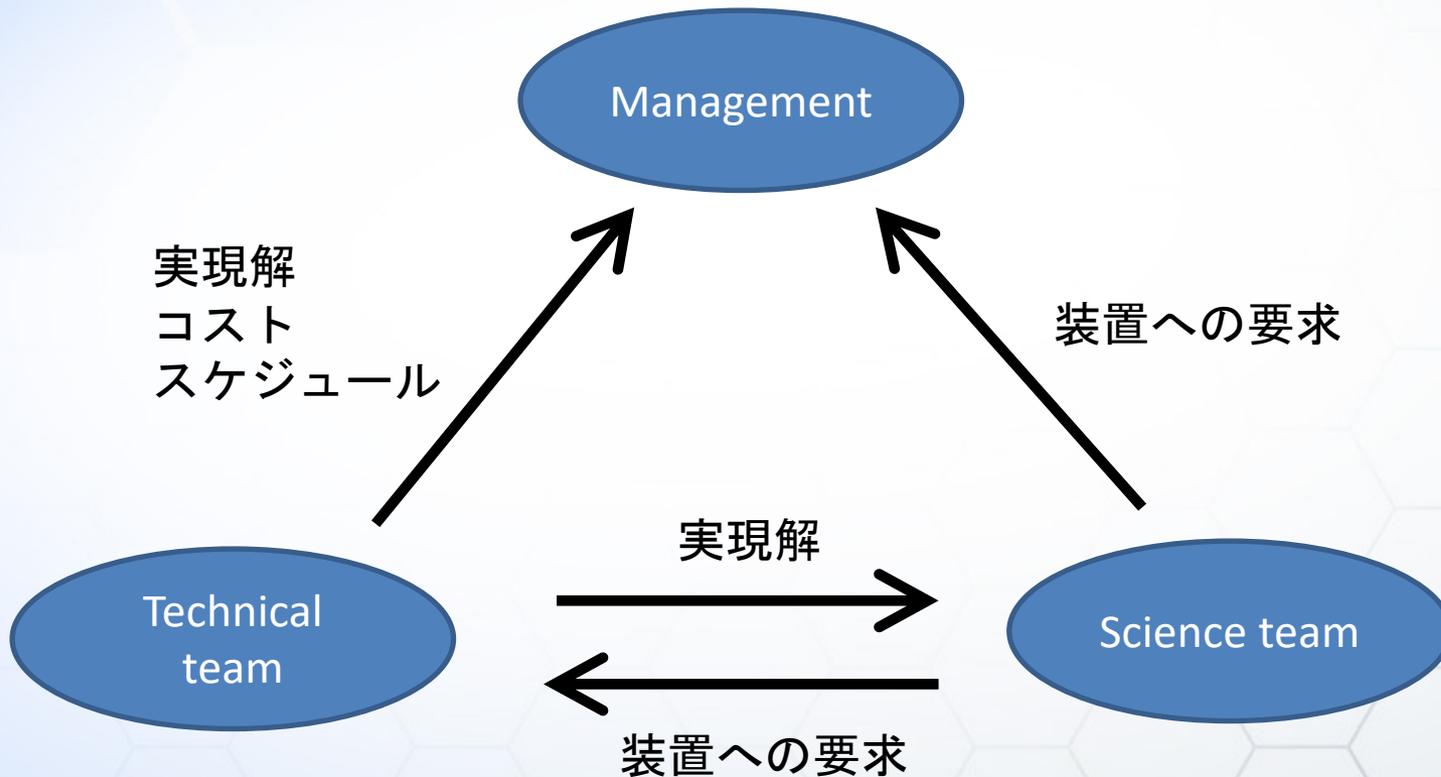
- ◆ NRC-H (Canada)
 - ◇ 電波部門と光赤外部門がある
 - ◇ ALMA, SKA, Gemini, TMT, CFHT等に貢献
 - ◇ ME, OE, EE, SW, DETグループ
 - ◇ 専属のPMとSEを雇用。SEは一時7人在籍。TMT本部にも出向。
 - ◇ SEのバックグラウンドは技術者、研究者。外部からの雇用と内部の育成。



- 撮像系の組み上げ／性能評価が2024年以降に開始。
- CIT、NRC-Hでの試験、観測所でのAIV, FL, commissioning
- 観測装置の仕組みを理解する絶好の機会
- TMTのデータに触れ、性能を出していく貴重な機会
- 興味がある方は鈴木まで。



- TMT観測装置のScience teamへの参加をお願いします。
- 興味がある方は鈴木まで。



Acknowledgments

The TMT Project gratefully acknowledges the support of the TMT collaborating institutions. They are the California Institute of Technology, the University of California, the National Astronomical Observatory of Japan, the National Astronomical Observatories of China and their consortium partners, the Department of Science and Technology of India and their supported institutes, and the National Research Council of Canada. This work was supported as well by the Gordon and Betty Moore Foundation, the Canada Foundation for Innovation, the Ontario Ministry of Research and Innovation, the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, the British Columbia Knowledge Development Fund, the Association of Canadian Universities for Research in Astronomy (ACURA), the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), the U.S. National Science Foundation, the National Institutes of Natural Sciences of Japan, and the Department of Atomic Energy of India.