

TMT計画 進捗報告

臼田知史

青木和光, 伊王野大介, 倉崎高明, 嘉数悠子, 山下卓也, 杉本正宏, 鈴木竜二,
藤縄俊之, 能丸淳一, 関口和寛, 吉田道利, 常田佐久 他 (国立天文台),
Henry Yang, Luc Simard, Eswar Reddy, Tom Soifer, Suijian Xue,
Robert Kirshner, Fengchuan Liu 他 (TMT国際天文台)

Outline

- ◆ 建設サイト：ハワイの現状
- ◆ 米国NSF参加に向けた進展
- ◆ 国内の活動

30m光学赤外線望遠鏡(TMT)計画の概要

日本、米国、カナダ、インド、中国の国際共同科学事業として、ハワイ島マウナケア山頂に口径30m光学赤外線望遠鏡TMTを建設する。 **2033年度*の完成を目指し、日本は望遠鏡本体や主鏡の製作などを担当する。** 従来の地上大型望遠鏡に対し、**10倍以上の集光力、3倍以上の解像度、星のような点光源に対しては100倍以上の感度向上**を達成する。

*) TMT国際天文台が現在検討している完成年度。フロンティア事業の計画上は2027年度。

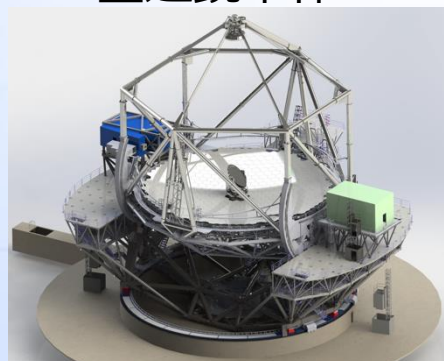
主要科学目標

- 1) 地球型系外惑星の直接検出と生命の兆候探査
- 2) 宇宙最初の日体の解明
- 3) ダークエネルギーの性質の解明
- 4) マルチメッセンジャー天文学の発展

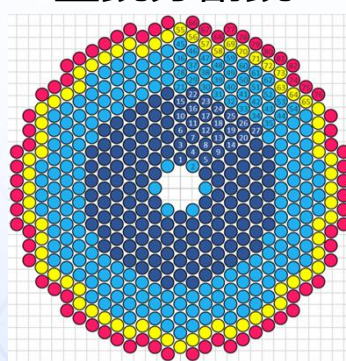
- ◆ メンバー国・機関：自然科学研究機構(日本)、カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、中国国家天文台、インド科学技術庁、カナダ国立研究機構、(NSF(米国国立科学財団)の参加プロセス進行中)
- ◆ 日本の分担：望遠鏡本体構造、主鏡、観測装置
- ◆ 日本の建設費：375億円+国内経費40億円

日本が製作を担当する部位

望遠鏡本体



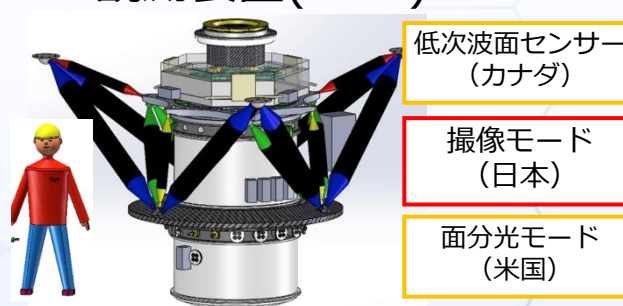
主鏡分割鏡



研磨加工分担



観測装置(IRIS)



低次波面センサー
(カナダ)

撮像モード
(日本)

面分光モード
(米国)





ハワイの現状

TMTを取り巻く状況の大幅改善

ハワイでのTMT国際天文台(TIO)の直接対話や教育支援により地元との信頼関係が醸成されている。

ハワイ州によるマウナケア新管理組織設立、NSFの予算化プロセス開始により、**現地建設再開に向けた動きが加速。**

2021年6月～

ハワイにおけるTIOの直接対話

- TMTプロジェクトのリーダーがハワイに異動し、傾聴と尊重に基づく直接対話と地元住民のニーズに沿った教育支援を軸に、先住民との信頼関係を醸成 ➡ **先住民の草の根の声に明らかな変化**
- (例) TMT反対の先住民長老(2019年に道路封鎖で逮捕された5人)とは談笑し、TMTの姿勢を支持する関係にまで改善。

2022年7月～

マウナケア管理に先住民参加

- 今までないがしろにされてきた先住民も参加する新たなマウナケア管理組織を設立するハワイ州法が成立(2022年7月)。先住民にも利益(土地賃貸料・観測時間)を公平に共有する道筋が開かれる ➡ **TMT問題をより大きなマウナケアの管理と先住民文化との融和の問題に昇華して扱う方向が確立**

2021年11月

Astro2020での最高評価

- 米国Astro2020(米国科学アカデミーによる評価)において、地上望遠鏡計画として、TMTとGMTを合わせたUS-ELT(米国超大型望遠鏡)プログラムが最優先計画として位置づけられた

2022年7月～

NSFの予算化プロセス開始

- ハワイでの環境影響評価、国家歴史遺産保存法のプロセス(2022年7月～)
- TMT計画の基本設計審査(PDR)(2022年11月～2023年2月)

**ハワイ
現地建設
再開**

**連邦政府
予算化**

米国天文学会の全体会でマウナケア新管理組織 (MKSOA)メンバーと討論 (2023年1月25日)

シアトルで開催された241回米国天文学会 (AAS) のPlenary Sessionでは、Ka`iu Kimura (イミロア天文センター所長) の司会のもと、MKSOAメンバー3名 (John Komeiji、Noe Noe Wong-Wilson、Rich Matsuda) とタウンホールディスカッションがおこなわれた。ballroomがほぼ満席になるほど (700名程度) 多くの参加者が集まった。信頼関係を築き、お互いの立場を理解するようになったというパネリストの説明に、会場はスタンディングオベーションで答えた。(2023年1月9日)



セッション後に行われたScience誌によるMKSOAメンバーへのインタビュー記事 (Science 2023年1月12日) より。ともにNoe Noe Wong-Wilson 氏の発言

- ハワイのコミュニティからの反応について：「コミュニティの多くは、希望を持ちつつ、何が起こるかを待っています。皆、これがいかに大きな、巨大な事業であるかを理解しています。この法案が可決され知事が署名することはないと反対する人たちもいましたが、実際新組織が立ち上がりました。私たちは、私たちが正しい道を歩んでいるという確信を彼らに与えることになります。プロセスは、結果と同じくらい重要です。」
- 天文学者との友好的な共存について：「私たちは皆、変化し、調整しなければなりません。共存するのではなく、目的を統一しなければならないのです。私たち全員がマウナと向き合い、手を取り合って、この特別な場所を大切にすることが最も重要であると合意すれば、解決策を見出すことができるのです。」

NSF環境影響評価等のハワイでのプロセスが進展

プロセス
開始



公聴会・
コメント
募集実施



2023年
の見通し

2024年
の見通し

2022年7月19日、NSFがTMTについて①**環境影響評価**と②**国家歴史遺産保存法** (National Historic Preservation Act) **第106条のプロセス**を開始する意向表明書を発表した。あわせて、③ハワイのコミュニティと関心をもつ人々が効果的かつ意義ある形で本プロセスに参加する方法を示す**コミュニティ参加計画案** (Community Engagement Plan)も発表された。

2022年8月9~12日に**公聴会**がハワイ島（ヒロ、ナアレフ、コナ、カムエラ）で開催され、9月19日までコメントが募集された。7000件以上のコメント※が寄せられ、内容により国家歴史遺産保存法のプロセスに反映するとともに、環境影響評価書案の作成準備を行う

※連邦環境保護庁（EPA）からも文書でコメントが寄せられた。主な内容は以下のとおり。

- 予定されている建設地以外の候補地についても評価し、比較すること
 - マウナケア新管理組織（MKSOA）との協力について記載すること
 - 先住民にもたらされる負の影響と回避策をはじめ、環境正義に関する分析を行うこと
 - TMT計画だけでなく、これまでの望遠鏡を含めたマウナケア周辺の生態系や地域住民、文化資源への累積的影響を記載すること
- TIOは、EPAのハワイ担当局（Regional 9 Leadership Team）と会合を持ち、TIOのハワイでの新しい体制による地元根ざした取り組みを説明するなど、情報交換を行っている。

- マウナケア新管理組織(MKSOA)のメンバーが上院で正式承認
- NSFの提案の説明とNHPA106条のプロセスについての**ワークショップ**開催と関係者協議
- **環境影響評価案**が提示される。

- NHPA106条にもとづく**関係者協議での合意・結論**
- 夏までに**環境影響評価最終版**完成
- **決定記録**をもって**工事再開**を決定

課題だったマウナケアの既存望遠鏡の削減

ハワイ先住民をはじめとする地元住民の意見が十分に反映されることなく、望遠鏡が建設されてきたことに対して懸念や不満が一部住民の間にあり、また老朽化した望遠鏡の撤去は長年の課題でもあったことから、マウナケアの望遠鏡の削減に向け、撤去作業が具体化された。

- カリフォルニア工科大学のサブミリ波望遠鏡(CSO)の撤去作業がハワイ州によって承認され、撤去作業が進んでいる。
- ハワイ大学ヒロ校 (UHH)の教育用望遠鏡 (ホクケア) についても撤去に向けた準備が進められおり、2023年に撤去作業を実施予定。
- 2015年に州知事は望遠鏡台数を4分の1 (3台) 削減する方針を示し、ハワイ大学が作成したマスタープラン案は2033年までにTMTを含めて9台とする (5台削減) 計画を示した。



Caltech Submillimeter Observatory (CSO) : カリフォルニア工科大学が1987年から運用してきた口径10.4m電波望遠鏡。2015年に運用終了。

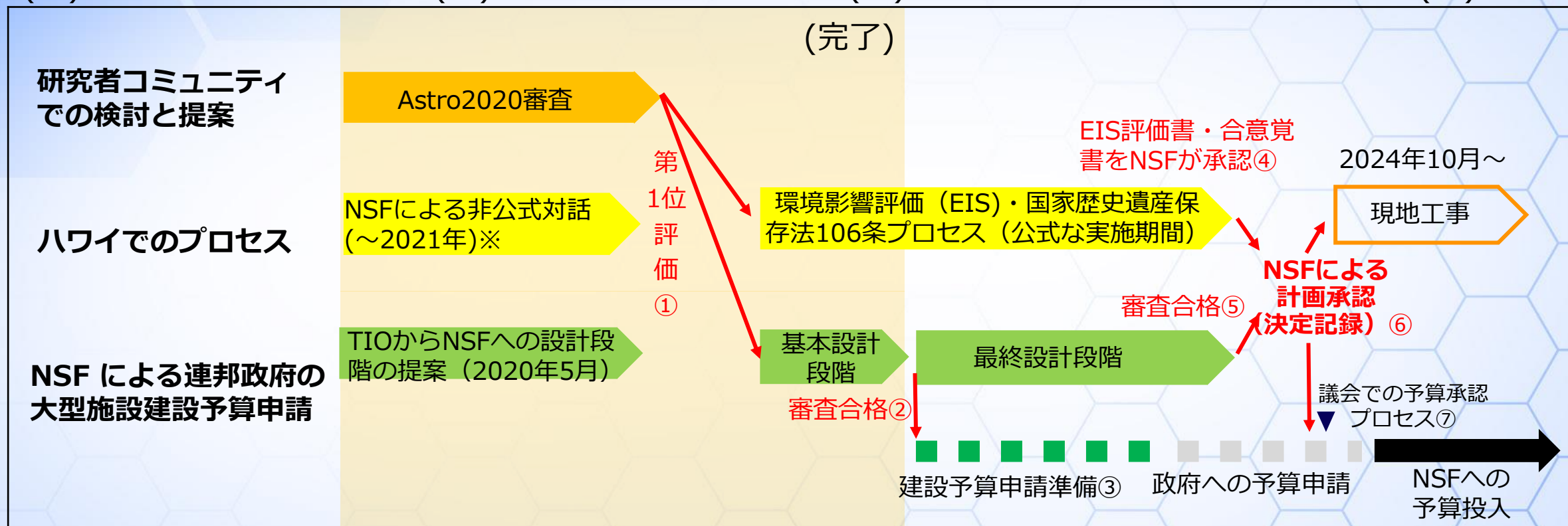


マウナケア山頂域の望遠鏡群

NSFによる米国連邦予算投入 に向けたプロセスの進展

NSF TMT予算措置に向けたプロセス

- Astro2020での評価を受けて、NSFはハワイでのプロセス（環境影響評価(EIS) および国家歴史遺産保存法106条プロセス）と基本設計審査のためのプロセスを開始した(①)。
- 基本設計審査に合格すると(②)、**議会への予算申請の準備(③)**が開始され、NSFがEIS評価書・合意覚書を承認(④)し、最終設計審査に合格(⑤)すると、TMT計画の承認(⑥)を行い、議会での予算承認プロセス(⑦)に進む。



※公式なプロセスに先立ち、法律・公共政策の専門家2名と天文学者1名からなるNSFのハワイ担当チームが、マウイ島での太陽望遠鏡DKIST建設の経験にもとづき、TMT建設に批判的な人を含む100名以上のハワイ現地の関係者との非公式会合を90回以上実施し、信頼関係の醸成が進んだ。9

NSF 基本設計審査(PDR)

- 2022年11月からの基本設計審査（PDR）は、NSFが建設プロジェクトの長期予算を確立するための重要な判断材料となるものであり、NSFが米国大統領府行政管理予算局（OMB）および米国議会に要求する「シーリング」予算案はPDRで決定される。
- これまでNSFのPDRに合格したプロジェクトは、ALMA、DKIST、ルービン天文台をはじめ、すべて実現している。
- 2022年12月14～16日（PDR1）：技術、アウトリーチ等に関する審査会。審査委員長は、日本が担当する望遠鏡等を含む技術、新しいTIOによるハワイでのアウトリーチ活動を非常に高く評価した。
- 2023年1月30～31日（PDR2）：マネジメント、コスト、スケジュールリスクに関する審査会。
- **2023年2月3日：PDR2審査結果のまとめ報告会。** 審査委員長は**TMTは十分最終設計段階に進む計画であることを明言した（PDR合格を示唆した）。**

2023年の今後の予定

- **5, 8, 11月の米国科学委員会（National Science Board）において、(1) NSF最終設計審査プロセスの承認、(2) MREFC予算とは別の設計段階の開発予算の承認、(3) TMT計画へのMREFCを米国2025年度予算案に含めることの承認、という重要な動きがある。**



NSF PDR1 (2022/12/14~15 技術・アウトリーチ等に関する審査会) の主な評価結果



Overview – Technical Session 1

- We would like to recognize, appreciate and encourage the excellent Hawaiian outreach work TIO has begun in the last 2 years.

Technical Review Charge: Q3.1.1

Question: Is the technical baseline at the system level sufficiently developed for NSF to consider advancing the project into the Final Design Phase?

Response: Yes. At an overall level the technical baseline is sufficiently developed.

Technical Review Charge: Q3.1.2

Question: What technical risks, if any, impacting the science requirements and the KPPs require revisions to the technical baseline prior to further consideration for advancement?

Response: The current design seems capable of achieving the science requirements and KPPs. Technical baseline revisions are not required at this time based on technical risks.

Technical Review: Telescope (PEP Section 1.3)

Response: Telescope structure, facility, telescope control systems and M1 designs are very mature.

概要 – 技術セッション 1

- TIOが過去2年間に始めた**ハワイでの優れたアウトリーチ活動を認め、これに感謝し奨励**したい。

PDRの技術審査のポイント：質問3.1.1

NSFから審査委員会への質問：TMTの技術的ベースラインは、NSFが最終設計段階への移行を検討するのに十分なものとなっているか？

PDR審査委員会の評価結果：全体的に、**技術的ベースラインは（NSFが最終設計段階への移行を検討するのに）十分なレベルに達している。**

PDRの技術審査のポイント：質問3.1.2

NSFから審査委員会への質問：科学的要求や重要な性能要素（KPP）に影響を与える技術リスクがある場合、最終設計段階に進む前に技術的ベースラインを修正する必要があるか？

PDR審査委員会の評価結果：現在の設計は、**科学的要求とKPPを達成できる。技術的ベースラインの修正は必要ない。**

PDRの技術審査：望遠鏡（総括説明書1.3章）

PDR審査委員会の評価結果：**望遠鏡本体構造、山頂施設、制御系、主鏡は技術成熟度が高い。**

NSF PDR2 (2023/1/30~31 コスト・スケ ジュール等に関する審査会) の主な評価結果(1)

Overview – Project Management (PM) Session 2

- The Panel highlights the importance of moving ahead with the Project and urges NSF to facilitate a timely decision.

PM Review Charge Session 2: Q3.2.1

Question: Is the PEP sufficiently developed to a PDR level of maturity for NSF to consider advancing the project to the Final Design Phase? Are there any plans missing from the PEP?

Response: Yes, the Panel considers that the project is ready for the Final Design Phase. The PEP is complete and the plans are well developed.

PM Review Charge Session 2: Q3.2.2

Question: Is the panel convinced that the project management team can manage the project through the Design and Construction Stages with proper oversight from NSF? Are there any specific roles or groups that appear understaffed or overstaffed on the project team?

Response: Yes. An appropriately sized, experienced team was demonstrated. The teamwork that has allowed the project to progress to this point is evident and gives a strong positive signal about the future of the project. Positive engagement with NSF is a stated goal that is already being demonstrated.

概要 – マネジメントセッション2

- **TMTを進めることの重要性を強調し、NSFに対してタイムリーに決定するように強く要請する。**

PDRのマネジメント審査のポイント：質問3.2.1

NSFから審査委員会への質問：提案書(PEP)は、NSFがTMTを最終設計段階に進めることを検討するのに十分なレベルの成熟度になっているか？ 提案書に足りない計画はあるか？

PDR審査委員会の評価結果：**TMTは最終設計段階の準備ができていると判断する。提案書は完成しており、計画は十分に策定されている。**

PDRのマネジメント審査のポイント：質問3.2.2

NSFから審査委員会への質問：TIOはNSFからの適切な監督の下で、プロジェクトの設計・建設段階全体を管理できるか？ TIOに人員不足又は過剰となっている役割やグループはあるか？

PDR審査委員会の評価結果：**経験豊富なチームが適切な規模で構成されている。**TMTをここまで前進させたチームワークは明らかで、将来へ向けて強く前向きなシグナルも見られる。NSFとの積極的な連携は明示されている目標で、既にそれが行われていることが実証されている。

NSF PDR2 (2023/1/30~31 コスト・スケジュール等に関する審査会) の主な評価結果(2)

PM Review Charge Session 2: Q3.2.3

Question: What additional refinements to the PEP, if any, does the panel recommend be incorporated during the Final Design Phase?

Response: The Panel finds the PEP to be complete with some areas ideas that should be improved during the Final Design Phase to reduce the overall project risk..

PM Review Charge Session 2: Q3.3.2

Question: Are the risk-adjusted cost and schedule sufficiently defined and stable to provide a level of confidence between 70% and 90% (the higher the better) that the risk adjusted, NSF-requested, TPC presented will result in the successful completion of the entire project (not just NSF scope)?

Response: The baseline cost is well estimated for a project at PDR and can proceed to FDR. The driving risks on cost and scheduled are identified and understood. Undertaking the FOP level design will strengthen the confidence in the cost and schedule projections. The quantitative evaluation of the risks still has to be undertaken (a quantitative risk analysis was provided for each work package independently). Until this is done, the confidence level is formally unclear.

PDRのマネジメント審査のポイント：質問3.2.3

NSFから審査委員会への質問：提案書(PEP)に最終設計段階で組み込む改良点は何か？

PDR審査委員会の評価結果：**全体リスクを軽減するために、最終設計段階で改善すべき点が、いくつかの分野で確認された。**

PDRのマネジメント審査のポイント：質問3.2.2

NSFから審査委員会への質問：（NSFのスコープ以外も含む）TMTのコストとスケジュールは、70%から90%の信頼レベルで十分に完了する精度で定義され、安定しているか？

PDR審査委員会の評価結果：**PDR段階でのベースラインコストは十分に見積もられており、FDR段階に進むことができる。コストとスケジュールに関係するリスクは特定され、理解されている。**最終設計段階レベルの設計を行うことで、コストとスケジュールの予測に対する信頼性が上がる。リスクの定量的評価は、さらに実施する必要がある（定量的リスク分析は、各作業項目に対して個別に提供されている）。これが完了するまで、信頼性の水準は正式には明らかとはいえない。



日本担当部分の取り組み状況 (1/2)



日本が分担する各部位は、全体スケジュールに遅れを生じさせないように、最小限の活動を進めてきた。
現在は2025年度の製造再開に向け、スケジュール上のリスクを軽減する技術検討を進めている。

望遠鏡本体構造

望遠鏡本体構造・制御系の詳細設計は完了
主要構造部の製造図面作成・製造前審査中

TMT国際天文台(TIO)主催
の10回の国際審査会を完了

PDR: Preliminary Design Review (基本設計審査)

FDR: Final Design Review (詳細設計審査)

詳細設計審査・製造前審査にむけ、10,000枚に上る製造図面の作成や免震機構、ケーブル巻取装置、主鏡分割鏡交換システム等のプロトタイプ試験を実施してきた。

2013年11月	望遠鏡本体構造PDR	合格
2014年4月	望遠鏡制御系PDR	合格
2014年11月	SHS（主鏡分割鏡交換システム）PDR	合格
2015年2月	望遠鏡本体構造FDR-P1	完了
2015年7月	望遠鏡制御系FDR-P2	完了
2015年10月	長納期品の材料調達開始にむけた審査（LPR）	合格
2016年2月	FDR-P2の残り課題の審査（Delta FDR-P2）	完了
2016年12月	SHS等FDR（FDR-P3）	完了
2019年11月	FDR課題確認審査（FDRC）	合格
2020年3月	第1回製造前審査（Az部、EL部の一部）	合格
2023年2月	第2回製造前審査(構造部)	合格
2024年度	製造前審査(SHSなど)	

SHS（主鏡分割鏡交換システム）



EL（高度軸）部



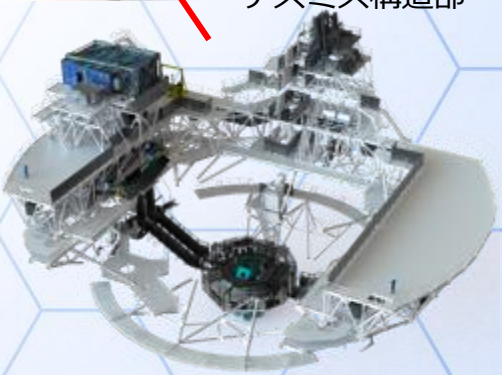
制御系
付帯設備



Az（方位軸）部

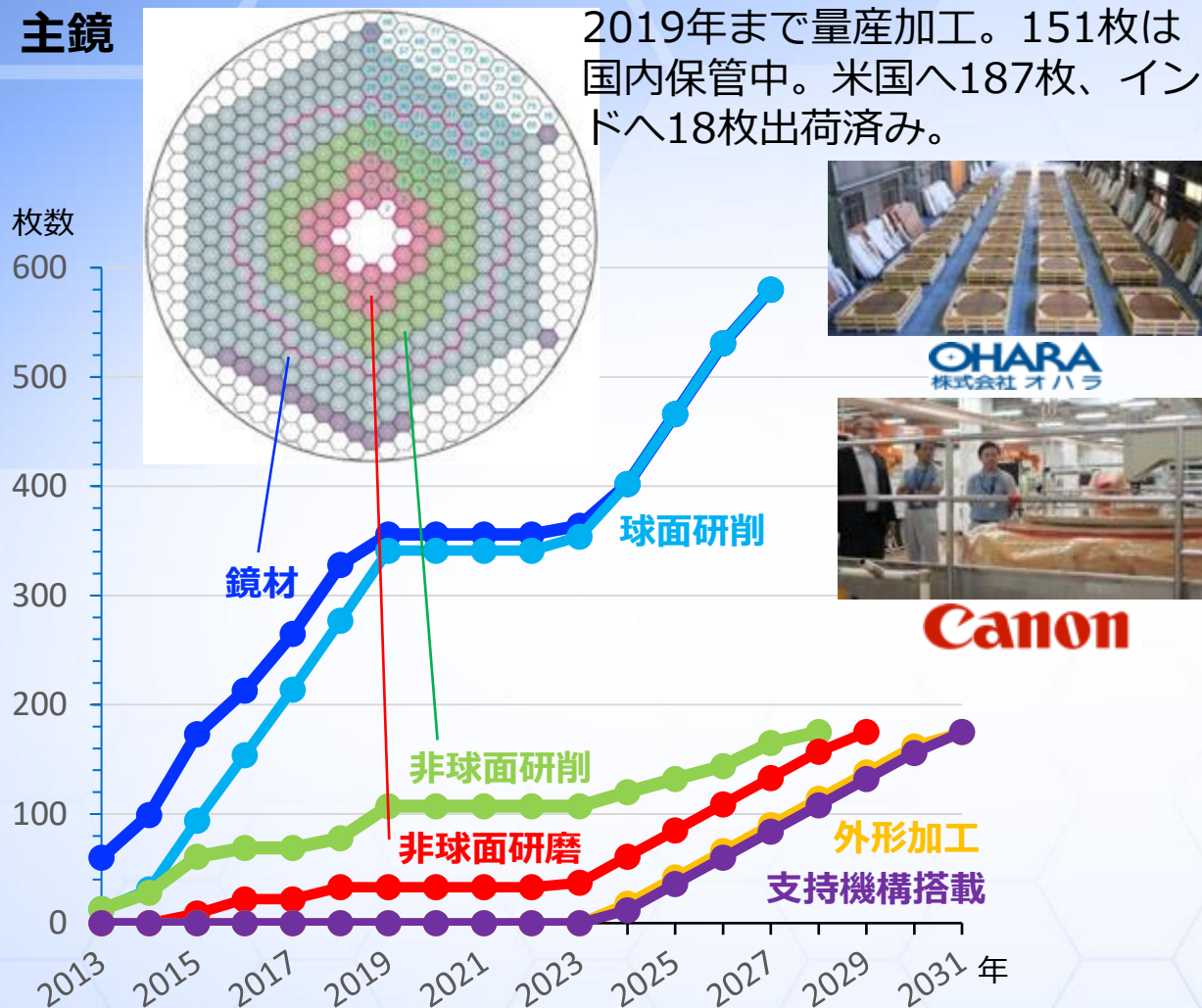


ナスミス構造部



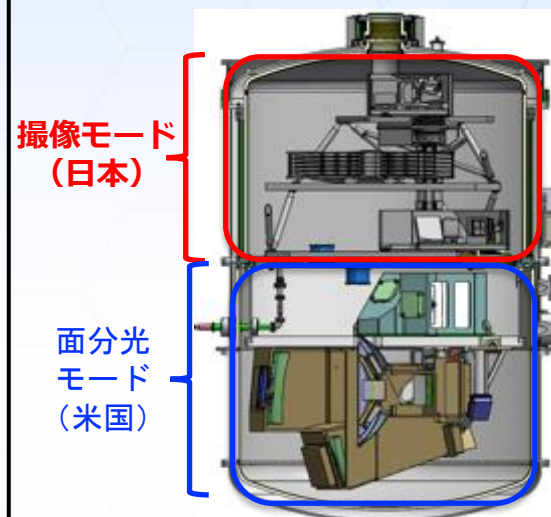
日本担当部分の取り組み状況 (2/2)

主鏡



第一期観測装置

● 近赤外線撮像分光装置IRIS



日本は撮像モード部を担当。詳細設計やプロトタイプ試験等を進めている。2021年には、光学・機械部分についてTIOによる詳細設計審査を完了した。



● 可視広視野多天体分光装置WFOS および 多目的近赤外線高分散分光器MODHIS

概念設計・基本設計に対し、国立天文台先端技術センターおよびアストロバイオロジーセンター等による人的貢献を実施。MODHISのプロジェクトマネージャーは寺田准教授

2023年のTMTサイエンス検討 ぜひ積極的なご参加を！

NSF最終設計段階に入ることもあり、TMTのサイエンス検討が2023年には活発になる。国内でも研究会や情報交換会など、活発に行っていきたい。
国内外の活動への積極的な参加を期待します。

◆ TIO・国際パートナーの活動

- ◇ 国際的な研究者コミュニティ向けのウェビナーを開催・今後も実施予定
- ◇ TMT科学検討チーム(ISDTs):新メンバーを迎え活動活性化
- ◇ 詳細な科学研究検討書 (DSC) を改訂
- ◇ TMT等の超大型望遠鏡とJWSTによる科学検討ワークショップを計画
- ◇ 次回TMT Science Forum をカナダで開催予定

◆ 国内における活動計画：科学諮問委員会で検討中

- ◇ TMT Science Forum に向け、サイエンスに特化した国内研究会の開催
研究会テーマ例：「すばる/JWSTの最新成果とTMTへの発展」
- ◇ 科学諮問委員会を大学で開催し、合わせて学生を含め誰でも参加できるTMT/Subaru情報交換会を開催する

まとめ

- 国立天文台はTIOと共に、ハワイ現地での先住民族の方々との対話やハワイ郡と協力しての教育支援に取り組んできた。これらの活動により、ハワイの状況は大きく改善しつつある。関係者と協力して、これらの活動を着実に継続していく。
- NSFは、環境影響評価・国家歴史遺産保存法106条のプロセス、PDR等を、おおむね公約通りに進めている。2024年には、NSFはTMT計画参加のための諸手続きを行う予定である。
- 日本が担当する望遠鏡構造は設計をほぼ完了しており、製造に着手できる状態にある。
- これらの多様多岐に渡る活動を、国立天文台はTIOと協力して着実に実施し、TMTの現地工事再開を確実なものとしていく。コミュニティの皆さんには、TMTを用いた科学研究の検討などを継続して欲しい。皆さんのご理解・ご協力をお願いしたい。