

TMT計画 概要

臼田知史

(国立天文台TMTプロジェクト)

本日 この後

TMT計画、特に建設地について、すばる望遠鏡の今後の運用との関係も含め、コミュニティの皆さんに状況をご説明し、ご質問、ご意見を承る機会を設けます。



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。
 日本は望遠鏡本体や主鏡、観測装置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。



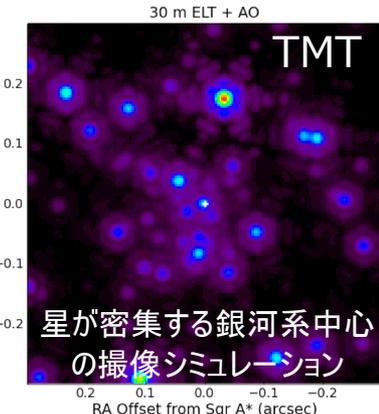
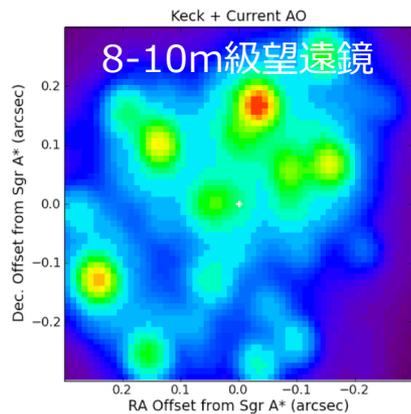
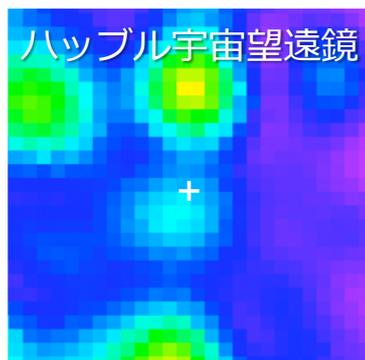
- 計画期間：2014年度～2029年度
- 建設費総額：約2000億円 (20億ドル)
 (日本の建設費 418億円+国内経費 40億円)

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) 宇宙最初の天体の解明
- 3) ダークエネルギーの性質の解明

日本が製作を担当する部位

望遠鏡本体	主鏡分割鏡	観測装置
	<p>研磨加工分担</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本 (Blue) インド (Yellow) 中国 (Magenta) 米国 (Cyan) 	<ul style="list-style-type: none"> 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)



- 従来の地上大型望遠鏡 (口径8-10m)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

1. 第二の地球探査と生命の確認

直接撮像による地球型太陽系外惑星の発見と分光観測による生命の兆候探査

2. ダークエネルギーの性質の解明

遠方天体の後退速度の時間変化を精密測定し、宇宙の加速膨張を直接測定

3. 宇宙で最初に誕生した星の検出

ビッグバン後の宇宙に最初に誕生した星と銀河の形成の解明

役割分担の明確化

他の8-10m望遠鏡にない広視野を持つすばる望遠鏡で天体を探査し、TMTの高解像度・高感度観測で天体を解明。

すばる望遠鏡：TMTの
約100倍の広視野観測



TMTの視野



解像度を比較する
シミュレーション

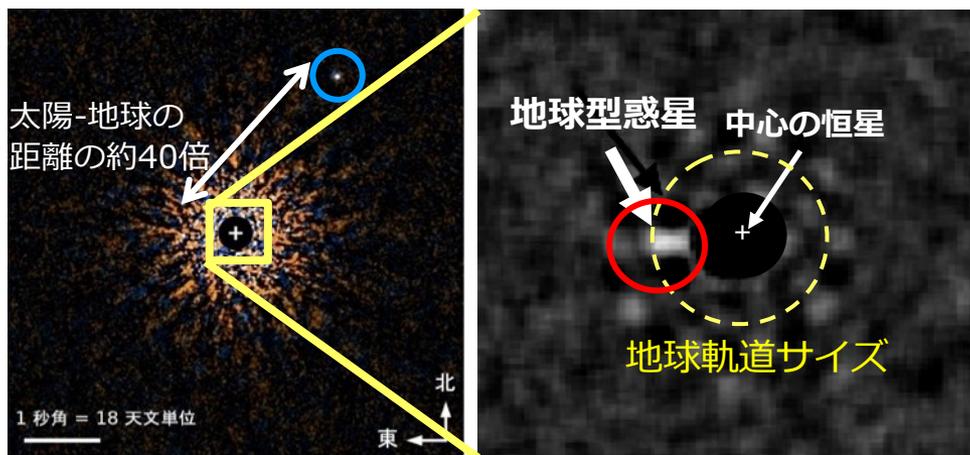
TMT：すばる望遠鏡の3倍以上の
解像力、100倍以上の感度で特定
の天体を詳細に観測

広視野のすばると高感度のTMTの連携は日本の
ユニークな強みであり、一体運用により、
連携観測を日本の研究者に提供する。

① 地球型系外惑星の 直接検出と生命の兆候探査

太陽系外の地球型惑星を直接観測し、生命の兆候を探る

- すばる望遠鏡では、恒星から離れた巨大ガス惑星の直接撮影に成功している。
- 恒星近くにある地球型系外惑星は、これまでは間接的にしか検出されていない。
- TMTでは高解像度撮像観測によって、**地球型系外惑星を直接検出**する。
- **系外惑星大気**を高感度・精密分光し、酸素分子や水、メタンなどを発見して、生命存在の可能性を探る。



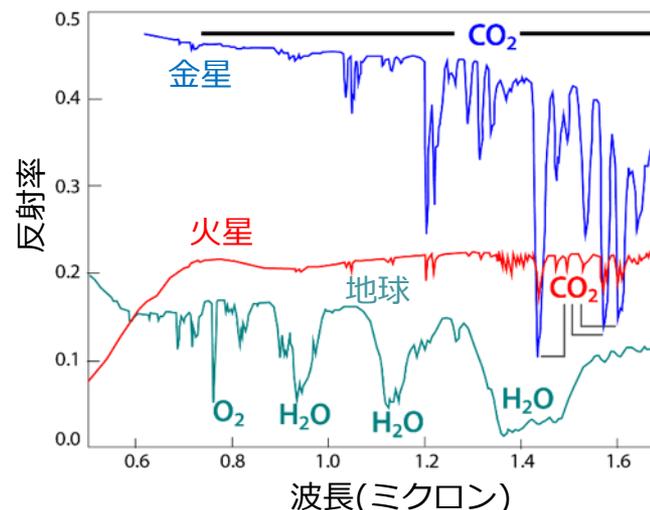
すばる望遠鏡で捉えた、地球から約60光年離れた恒星の周りのガス惑星 (青丸)。

葛原他 2013, *Astrophys. J.*

TMTによる、約12光年の距離にある太陽に似た恒星の観測シミュレーション。地球型惑星 (赤丸) を直接検出できる。

C. Marois (NRC)

系外惑星大気分光

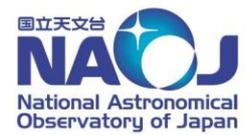


惑星大気のシミュレーション。CO₂が卓越する金星・火星に対し、地球では水および酸素の存在が分かる。系外惑星大気分光により地球に似た大気組成をもつ惑星を探査する。

Meadows, 2006

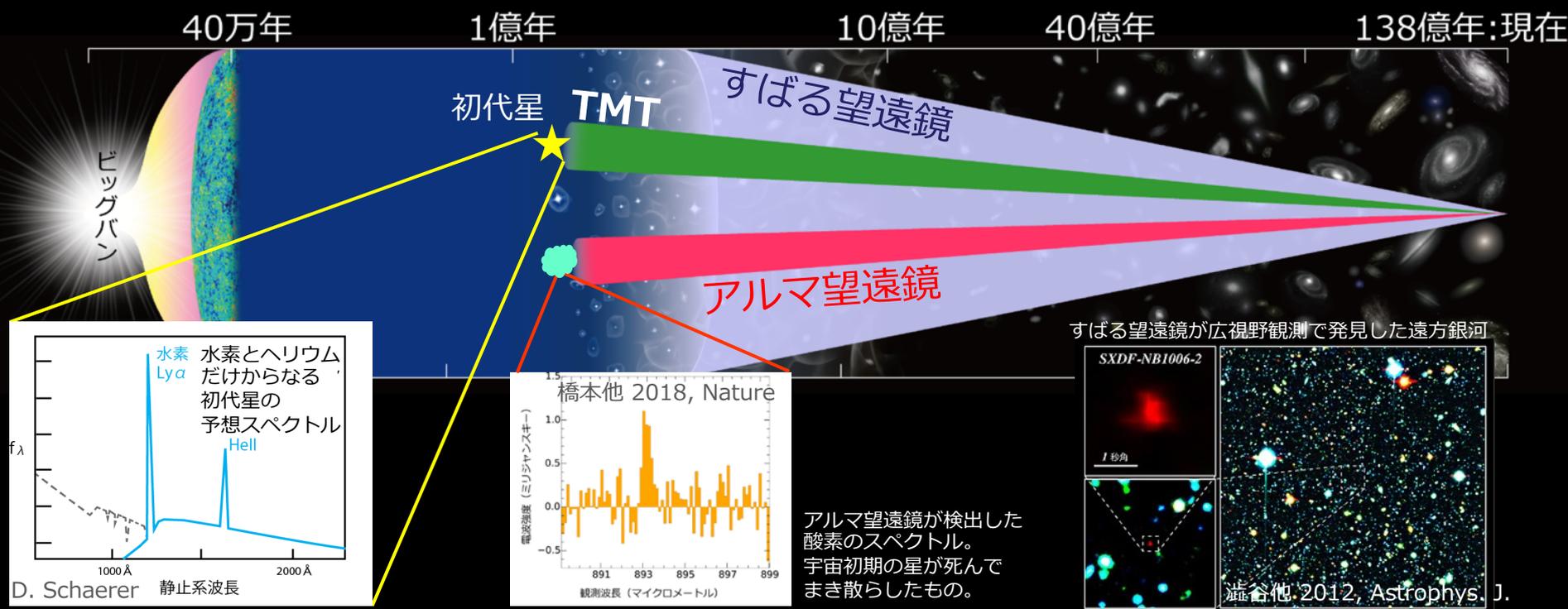


② 宇宙で最初に誕生した星の検出



ビッグバン後に最初に生まれた天体（初代星）を特定する

- 初代星はビッグバンでつくられた水素とヘリウムのみからなり、他の元素を全く含まない。TMTは初代星が放つ特有の光（ヘリウム輝線）を高感度分光観測でとらえることで**初代星を特定し、その性質と宇宙全体の進化に及ぼす影響**を明らかにする。
- すばる望遠鏡は最遠方天体の記録を何度も塗り替えてきたが、初代星観測には感度不足。
- アルマ望遠鏡は初期の星が死んでまき散らした酸素を検出したが、初代星そのものは観測できない。





THIRTY METER TELESCOPE

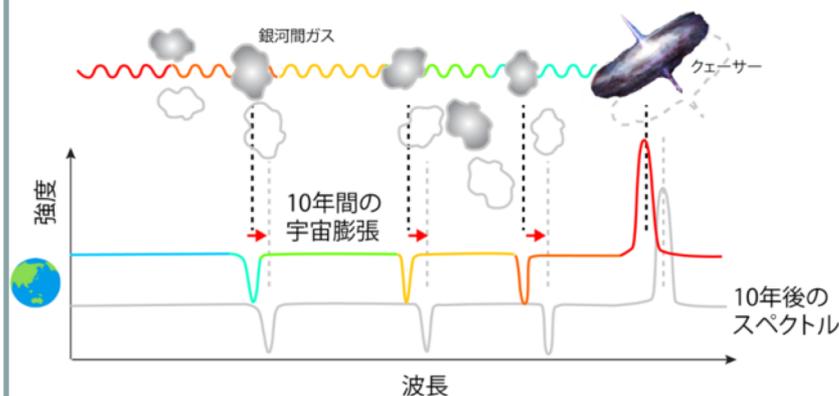
③ ダークエネルギーの性質の解明



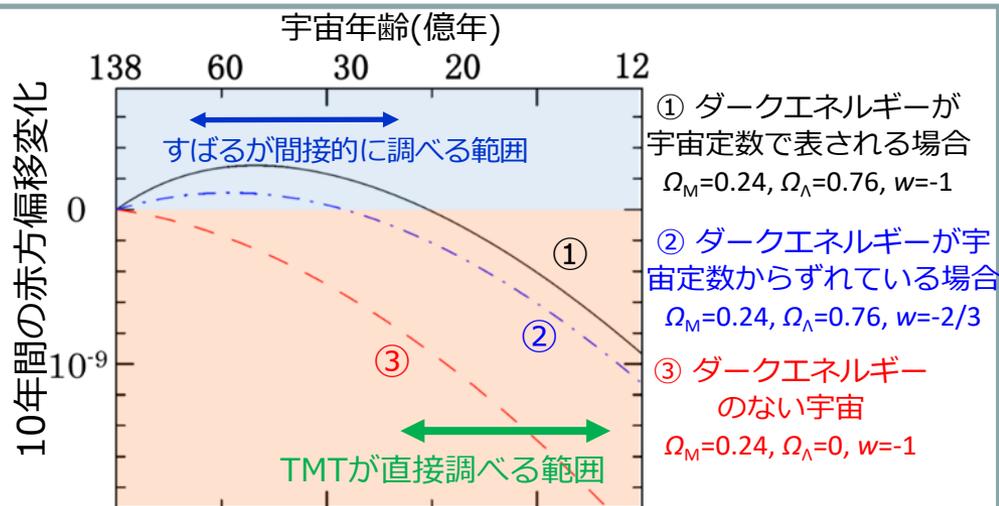
直接測定による宇宙加速膨張の検証

- ダークエネルギーの正体に迫るには、**宇宙の膨張がどのように変化してきたのか**を測定することが鍵となる。
- TMTは宇宙膨張の速さの変化を、宇宙論モデルによらない、**最も直接的な方法**で測定することに挑む。

【TMTによる宇宙膨張の直接測定】



- 10年程度の期間において遠方のレーザーを精密分光観測し、様々な距離にある銀河間ガスの赤方偏移のわずかな変化を検出することで、ダークエネルギーによる宇宙膨張の速さの変化を直接測定する。
- 極めて高い分光測定精度が必要であり、現在の8-10m級望遠鏡では集光力不足で不可能。



宇宙年齢ごとの変化を調べ、正しい宇宙論モデルを判別する。

- すばる望遠鏡は多数の銀河の距離測定で統計的・間接的にダークエネルギーの影響を調べるのに対し、TMTは宇宙論モデルに依存せず宇宙膨張を直接測定できる。
- すばる望遠鏡とTMTで、異なる時代の宇宙膨張を調査し、宇宙史全体での膨張の様子を明らかにすることができる。

ハワイの状況

- ◆ 2019年7月17日にTMTの工事車両が建設地に向かおうとしたが、TMT建設に反対する人々が道路を封鎖。警察は34名を逮捕した後、逮捕を続行せず、車両は通行できなかった。その後も**道路は違法に封鎖された状態**。



マウナケアへの道路入り口
付近の様子 (2019年7月)

ハワイの状況

- ◆ すばる望遠鏡を含むマウナケア天文台群は7月16日に安全のため全ての職員を退避し、観測が停止。ハワイ大学等がTMT建設に反対する人々と話し合い、封鎖地点を迂回する形で通行できることになり、すばる望遠鏡は実施できていなかった**メインシャッター工事を8月13日から再開**。現状は安全上の懸念が大きいいため、安全で定常的なアクセスを確保する交渉を続けている。
- ◆ **イゲ知事とキム郡長は、TMT計画への全面的な支持を表明しており、先住民族系団体のリーダーらと会合を重ね、事態の打開に努めている。**
- ◆ 8月1-3日にオンラインメディアが行ったハワイ州全体での調査によると、マウナケアでのTMT建設について、「**支持**」が64%、「**反対**」は**31%**で、7月以前と変わらずTMTを支持する市民の方が多い。



July 10 Governor D. Ige (center), DLNR chair S. Case (left), TIO Board chair H. Yang (right)



TMTを支持する人々のヒロでのアピール



Hawaii county mayor
H. Kim



THIRTY METER TELESCOPE

ハワイでの問題解決に向けた努力



TMT国際天文台の対応

- ハワイでのTMT建設にむけた問題の早期解決のため、TMT国際天文台はハワイ州・ハワイ郡と協議を重ねてきた。
- 2014年に科学・技術教育を支援する奨学基金（THINK Fund）を設立し、継続的な支援を行っている。



奨学金を受けた学生たち



2018 Pualu Community Education Award 授賞式

THIRTY METER TELESCOPE

ASTRONOMY'S NEXT GENERATION

ABOUT TMT NEWS CENTER OBSERVATORY

NEWS CENTER

Press Release

Press Releases
Feature Stories
In the News
Hā'ilono
TMT Segments Newsletter
Podcasts

TMT Launches The Hawaii Island New Knowledge (THINK) Fund - \$1 Million Annually to Benefit Hawaii Island Students Pursuing STEM Disciplines

11.13.2014

The Thirty Meter Telescope (TMT) has launched THINK (The Hawaii Island New Knowledge) Fund to better prepare Hawaii Island students to master STEM (Science, Technology, Engineering and Math) and to become the workforce for higher paying science and technology jobs in Hawaii's 21st century economy. TMT's founding gift of \$1 million marks the beginning of the construction phase of astronomy's next-generation telescope on Mauna Kea, Hawaii.

TMT's THINK Fund initiative benefits Hawaii Island students pursuing STEM endeavors with an annual contribution of \$1 million over its existing 19-year Mauna Kea sublease with the

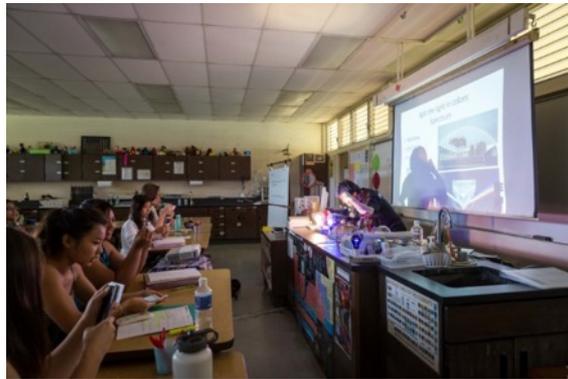
ハワイでの教育への貢献

地域社会との信頼関係を構築する取り組みとして、建設地ハワイでの教育と、天文学への理解を得る活動を継続的に実施している。

- ハワイ島での天文学・科学の出前授業・イベントへの講師派遣などを継続して実施 (すばる望遠鏡に協力、5年間に357回)



Maunakea Sky talk
@ Imiloa Astronomy Center



マウナケアの望遠鏡群が行う出前授業Journey through the universe
に参加 (すばる望遠鏡、TIOも参加)



ハワイ文化への理解

ハワイ文化と天文学の違いの理解を深める取り組みを進めている。

- 国立天文台はイミロア天文学センターの展示や上映への協力を10年以上にわたって継続している。

イミロア天文学センター

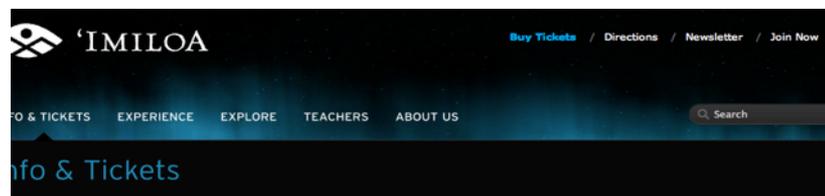
`Imiloa Astronomy Center of Hawaii



"Let us proceed forward, working together through open communication and, where necessary, compromise to allow for continued scientific exploration and discovery... [and] education that bridges astronomy and culture in a way that will inspire Hawaii's children to seek a career in science. I look forward to working with you."

— The late U.S. Senator Daniel K. Inouye, October 1, 2001

1990年代に、マウナケア山頂の天文台群とハワイ文化を保護しようとする人たちとの対立が表面化した。これに心を痛めた故ダニエル・イノウエ上院議員が、互いをよく理解することで対立を緩和し、ハワイの将来を担う子どもたちのためにと、連邦政府から2800万ドルの予算を得て、2006年にイミロア天文学センターの設立に至った。



ハワイ文化への理解

ハワイ文化への理解を深め、地元の方と対話する取り組みを進めている。

- 国立天文台ハワイ観測所では、ハワイ文化を学び、ネイティブハワイアンの意見を聞くセミナーを実施。
- マウナケアの自然や文化を説明するパンフレット（ハワイ大学マウナケア管理事務局発行）の日本語版を国立天文台が制作し、配布している。



代替建設地 ラパルマ

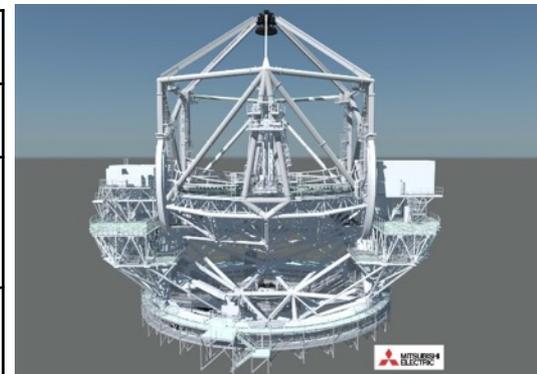
- 2016年から代替建設地の検討。日本国内でもタウンミーティング等で議論し、2016年TMT推進小委員会（現科学諮問委員会）で複数候補地の中からラパルマを代替建設地として推すことを承認。
- TMT国際天文台(TIO)はラパルマでの建設可能性の調査を続けており、2019年10月上旬に建設許可が得られる見込み。
- 環境保護団体による反対運動、訴訟のリスクがある。



Observatorio del Roque de los Muchachos
Instituto de Astrofísica de Canarias

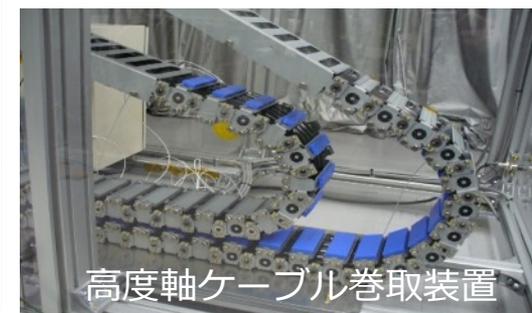


2013	11/12-14	基本設計審査会 (PDR)	合格
2014	4/15-16	望遠鏡制御系のPDR	合格
	11/18-28	主鏡セグメント鏡交換機構のPDR	合格
2015	2/17-20	望遠鏡本体の最終設計審査会 (FDR-P1)	完了
	7/27-29	望遠鏡制御系のFDR-P2 主要な課題を解決してFDR phaseを完了させる必要あり	完了
	10/8-9	長納期品の材料調達開始にむけた審査 (LPR)	合格
2016	2/24~25	Delta FDR-P2	完了
	12/7-9	FDR-P3 (主鏡セグメント交換機構等)	完了
2017		製造準備を開始	
2018		製造を開始 (製造図面作成等)	



プロトタイプ試験

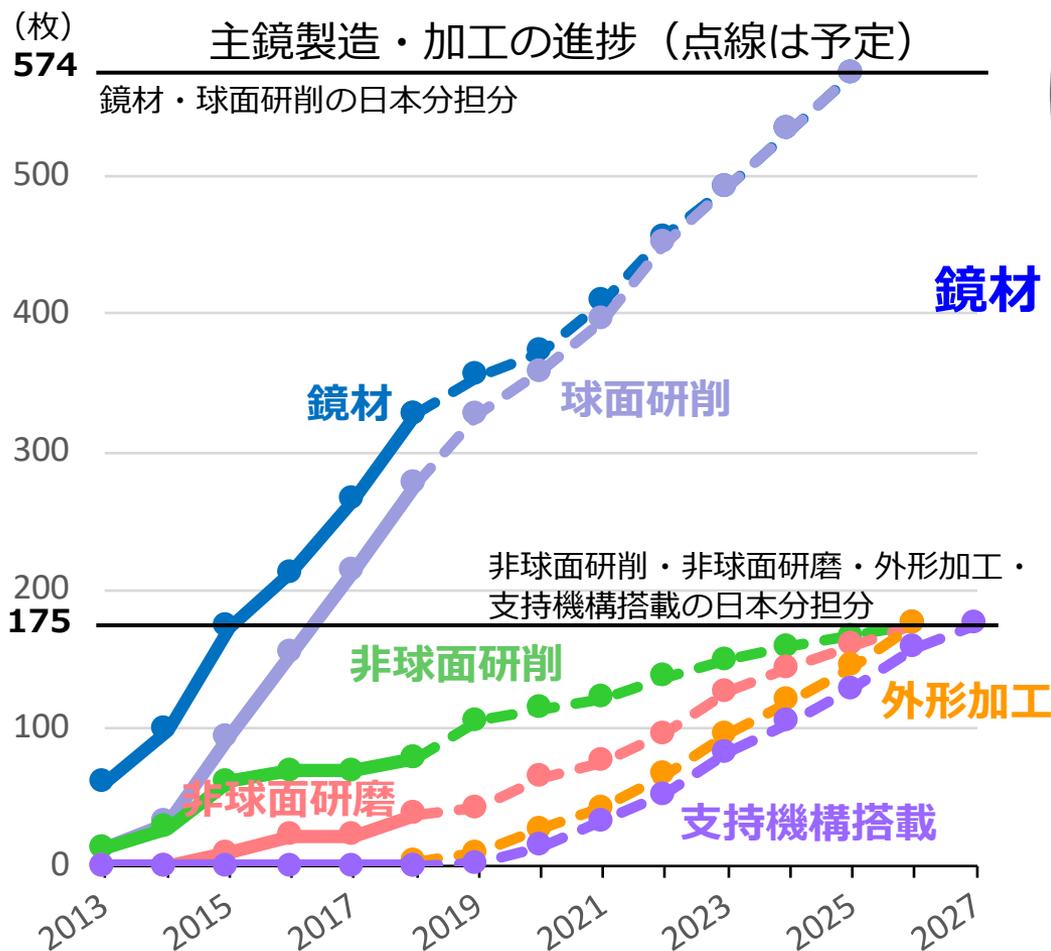
免震装置



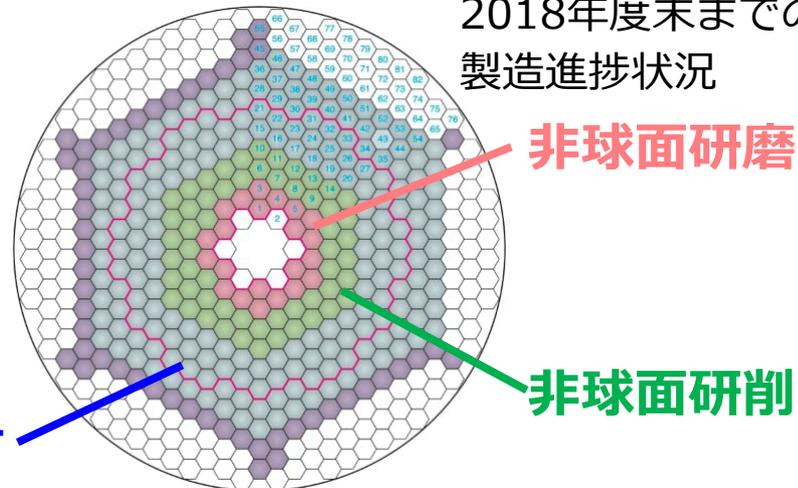
高度軸ケーブル巻取装置

主鏡分割鏡の製作

日本が分担する鏡材の製造と加工は、
順調に進捗している。



2018年度末までの
製造進捗状況



300枚以上の鏡材製造を完了

OHARA
株式会社 オハラ
OKAMOTO
optics

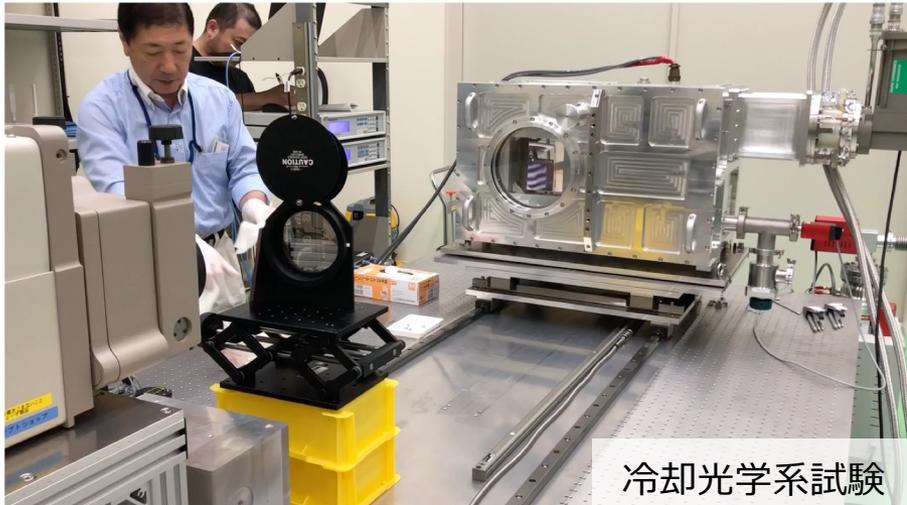
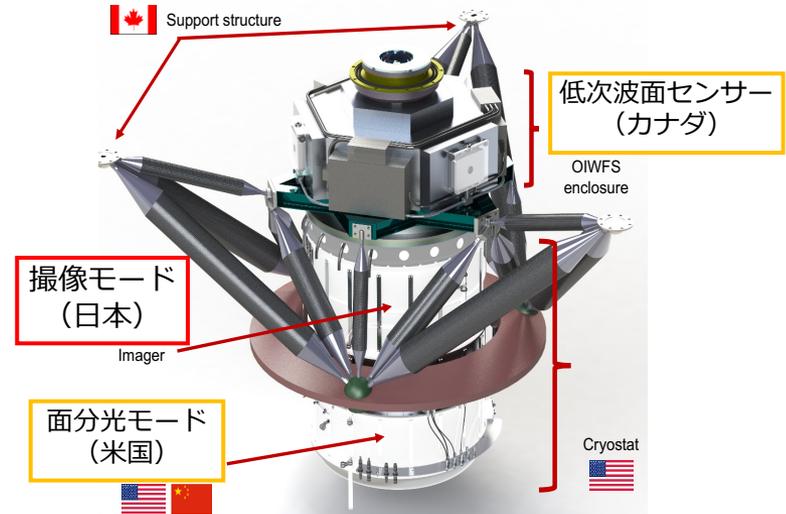


250枚以上の球面研削を完了

Canon

第一期観測装置の製作 IRIS

近赤外撮像分光装置 IRISは、回折限界に達した天体像を観測するように設計された近赤外線 (0.84-2.4ミクロン)の撮像および面分光観測装置である。日本が撮像部分を担当。2017年度に基本設計審査に合格。詳細設計を進めつつ、プロトタイプ製作・試験を行っている。



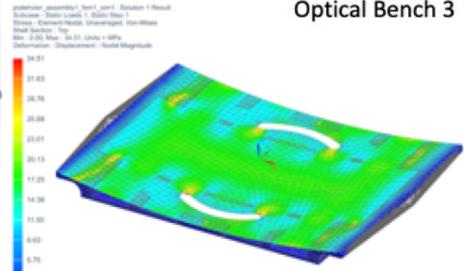
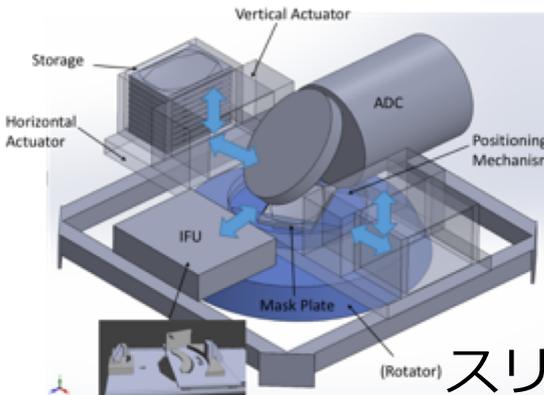
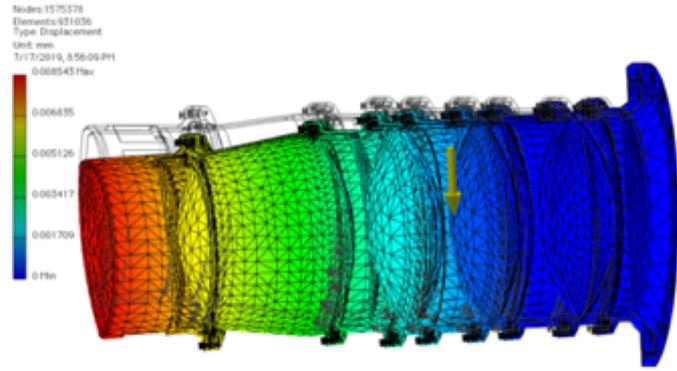
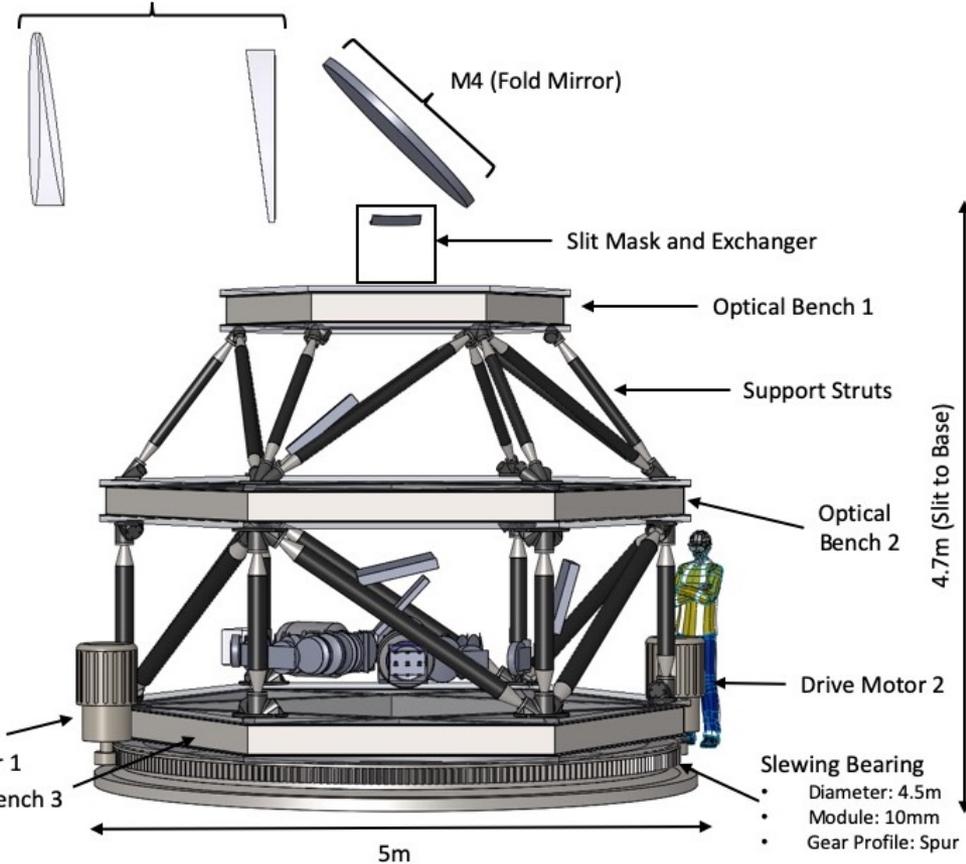
工程

総合試験

第一期観測装置の製作 WFOS

可視広視野多天体分光装置WFOSは波長域(0.31-1.0ミクロン)で撮像・分光機能を提供する観測装置。スリットマスクを用いたデザインを採用で、概念設計進行中。日本(NAOJ ATC)も現物貢献で検討に参加。

Atmospheric Dispersion Corrector



スリットマスク交換機

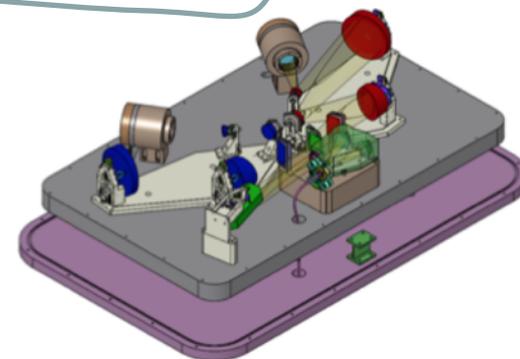
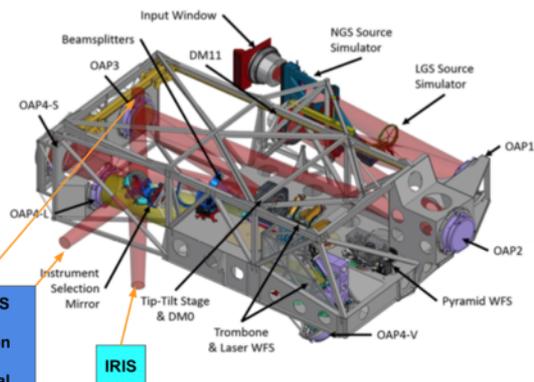
第一期観測装置の製作

MODHIS

NFIRAOS
Strehl=0.3, 0.4, 0.5, 0.75
(Y,J,H,K)

Fiber Injection Unit
5x5 multi object

Spectrometer
0.95-2.5 μ m, R=100,000



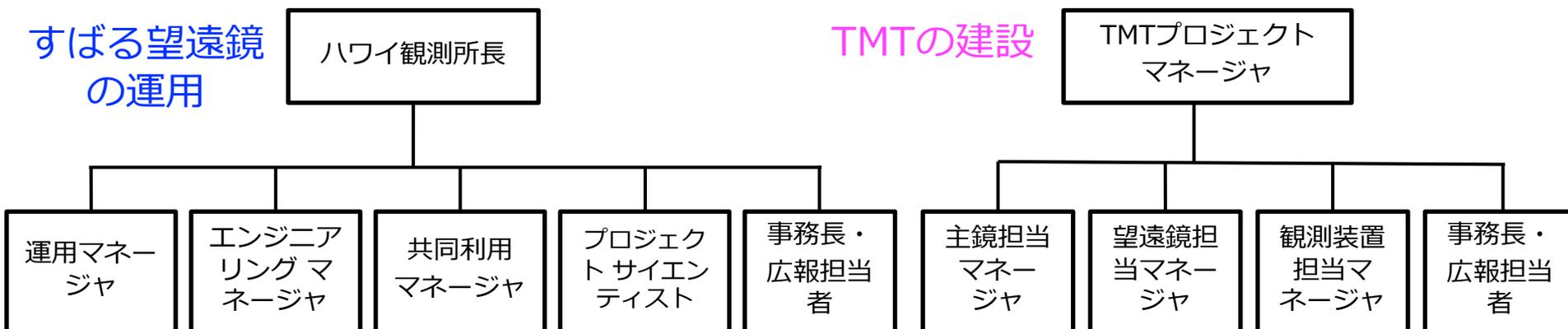
- Caltech、UCなどの研究者が中心となって、提案中。日本も検討に参加
- 0.97-2.5 μ m、波長分解能10万、mini IFU(5x5)の近赤外線ファイバー分光器
- AO(NFIRAOS)と組み合わせたの使用が前提。将来はPSIとの接続も
- シングルモードファイバー使用により、近赤外高分散分光器としては非常にコンパクト (40x80x30cm程度)
- 高精度視線速度測定による地球型惑星検出(10cm/s)、地球型惑星大気分光による分子検出、惑星表面マッピングなど

すばる望遠鏡とTMTの一体運用

一体化前の組織構成

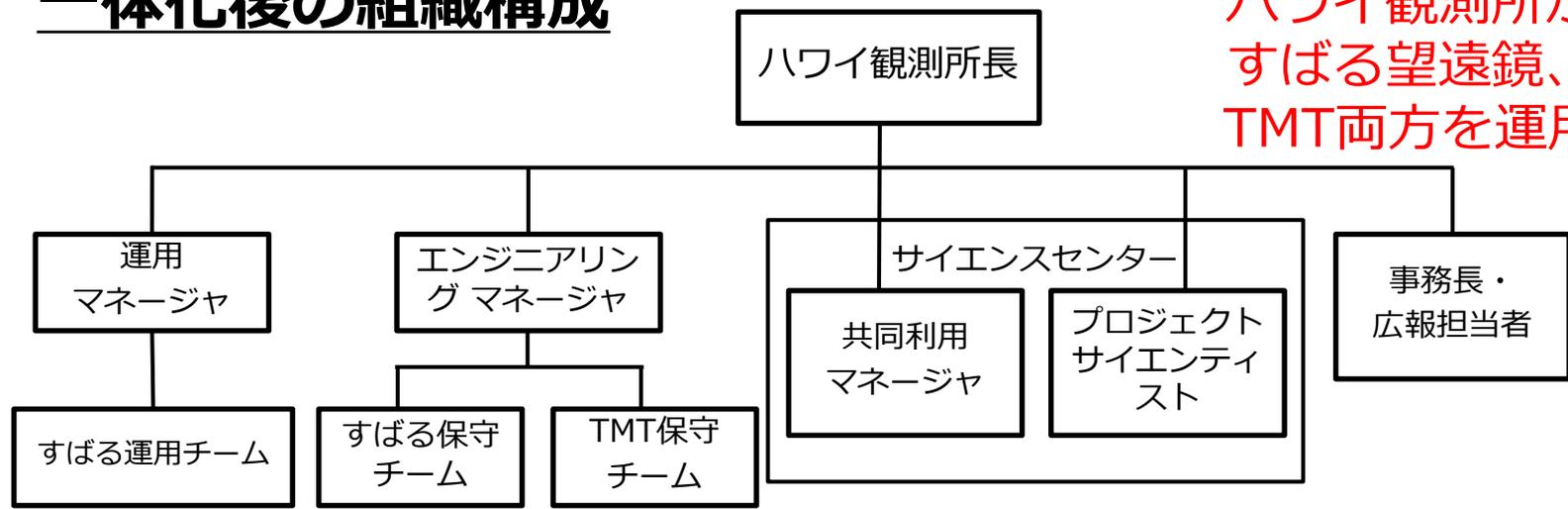
すばる望遠鏡
の運用

TMTの建設

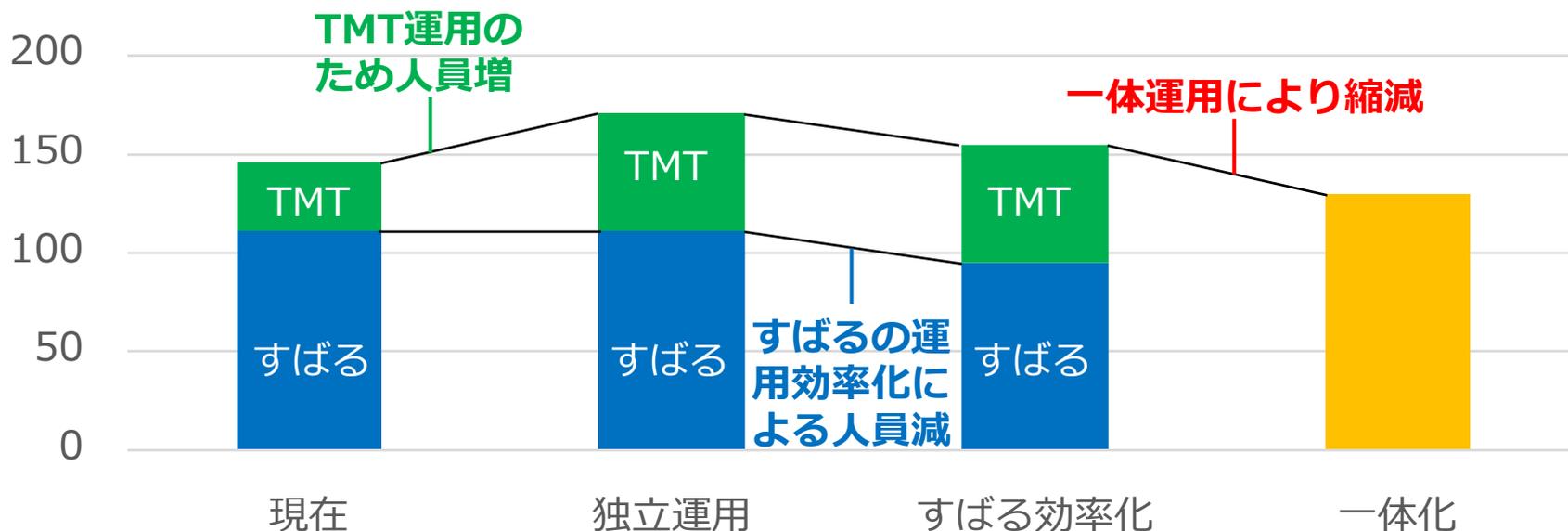


一体化後の組織構成

ハワイ観測所が
すばる望遠鏡、
TMT両方を運用



すばる望遠鏡とTMTの一体運用



- 現在 すばる望遠鏡は111名の職員で運用しており、TMTは35名の職員で建設を推進している。
- すばるとTMTを独立に運用する場合、合計約170名が必要となる。
- 観測装置ラインナップの簡素化などすばる望遠鏡自体の運用の効率化により、約95名の職員でのすばる望遠鏡の運用(約15名の縮減)を見込む。
- さらに、すばるとTMTの一体運用により、約25名の縮減を見込む。
- これらにより合計130名の職員で二つの望遠鏡を運用する計画である。

まとめ

- ハワイ現地での工事は7月より中断している状態。
ハワイ当局と協力して山頂への安全なアクセスを確保、関係機関等と協議し、早期の工事再開と安全・確実な工事進行を目指している。
- 日本国内では、
 - 主鏡分割鏡の鏡材については既に半数以上の320枚を製造し、国外への供給を開始
 - 主鏡分割鏡の研磨作業も進行中
 - 望遠鏡本体構造の製造に向けた準備を進めている
 - 観測装置の設計作業を進めている
 - 全国各地で講演会や展示会などを引き続き開催中
- TMTとすばるを一体的に運用するための検討を開始