



# TMT プロジェクト進捗報告と 第二期観測装置計画

うすだ ともり  
臼田知史

国立天文台 TMT推進室室長

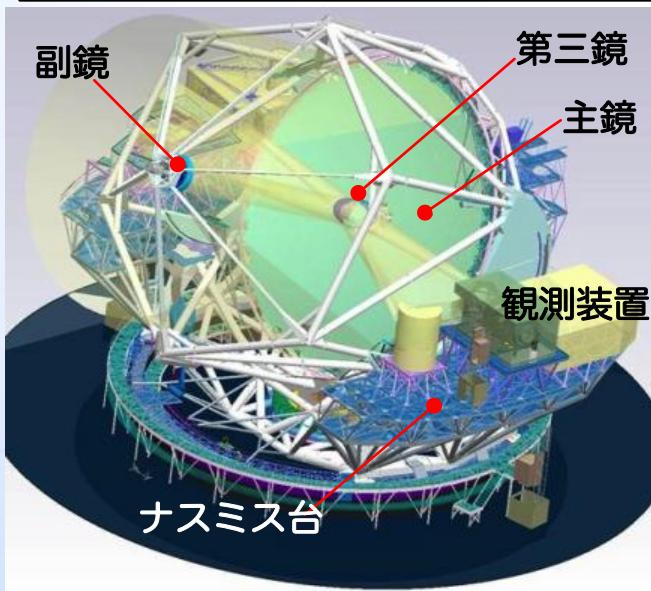


# 超大型望遠鏡TMT計画



## 【概要】

地球型系外惑星探査、初期宇宙史の解明、  
ダークエネルギーの解明などを期し、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。望遠鏡本体や主鏡の製作などを担当し、  
2020年代の観測天文学をリードする。



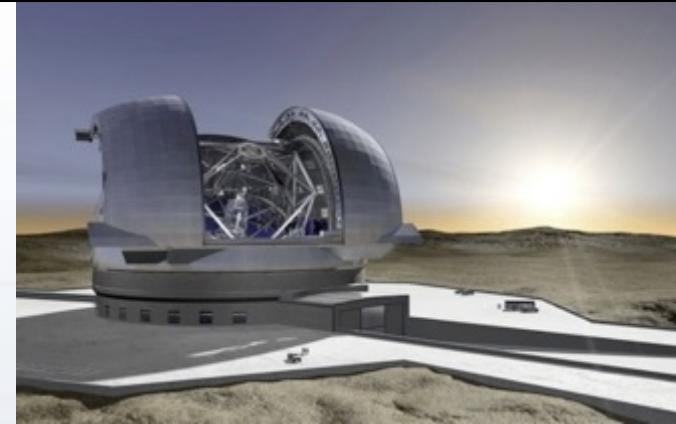
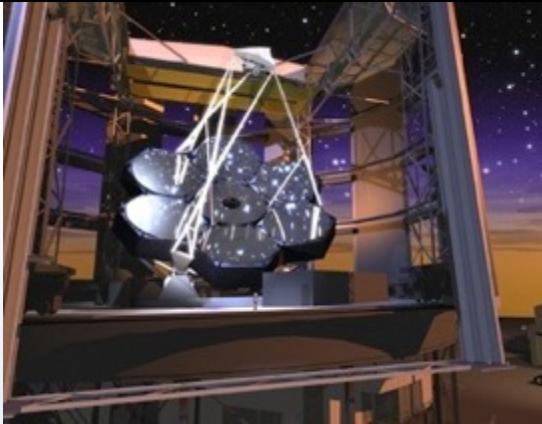
- メンバー国・機関：**自然科学研究機構(日本)、カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、中国国家天文台、インド科学技術庁、カナダ国立研究会議、米国天文学大学連合／NSF(米国国立科学財団)**
- **日本の分担：望遠鏡本体構造、主鏡、観測装置**
- **建設費：約1800億円（約18億米ドル）**



# 世界の次世代超大型望遠鏡計画



計画名	TMT	GMT	E-ELT
口径	30m	22m (8.4m × 7)	39m
建設地 (標高)	ハワイ：マウナケア (4,012m) 北の宇宙	チリ：ラスカンパナス (2,550m) 南の宇宙	チリ：セロアルマソネス (3,060m) 南の宇宙
予算規模	約1,800億円	1,100億円 (推定額)	2,000億円 (推定額)
完成予定	2027年	~2021年に4枚で初期運用 (7枚全体の運用は未定)	~2025年
メンバー	日本、米国、カナダ、 中国、インド	米国 (カーネギー天文台 他)、韓国、オーストラリア、 ブラジルサンパウロ州	欧洲南天天文台 (欧洲15ヶ国+ブラジル)





# ハワイ現地建設をめぐる動き



- ◆ 2014年10月：起工式  
抗議活動により一時中断
- ◆ 2015年4月：反対運動の活発化に伴い、  
山頂工事を中断
- ◆ 2015年5月：ハワイ州知事がTMT支持と  
マウナケア管理方針を発表
- ◆ 2015年6月：工事再開を予定したが、反  
対派の道路閉鎖などにより中断
- ◆ 2015年11月：ハワイ州警察の協力のもと  
工事再開を予定したが、ハワイ州最高裁  
から工事一時停止命令
- ◆ 2015年12月：ハワイ州最高裁が承認手続  
の瑕疵を理由に保護地区利用許可(CDUP)  
を無効とし、審査を差し戻す判決
- ◆ 2016年2月：ハワイ州土地・天然資源委  
員会(BLNR)に審査が差し戻され、委員会  
がCDUP再認可の手続きを開始



# マウナケア保護地区利用許可 承認に向けた取り組み状況

## 2016年2月以降の動き

- ◆ 2016年2月、公聴会を実施し、意見を聴取する審査官 (Hearing Officer) の選考が始まる。4月1日、土地・天然資源局 (DLNR) が R. Amano氏の選出を発表。
- ◆ 4月15日、審査官選出について反対派が反対意見の申し立てを提出。
- ◆ 5月6日、ハワイ州土地・天然資源委員会(BLNR)が審査官を決定。
- ◆ 5月16日、第1回プレヒアリングが開催され、提出資料や日程などについて審議
- ◆ 2011年のCDUP審議とほぼ同じ工程で進んでいる。
- ◆ 6月17日、第2回プレヒアリングで審理の当事者認定申請のあった TIOおよびTMT反対者、TMT支持者等から当事者が認定され、その後の審議日程が決定される予定
- ◆ 2017年春にCDUP認可が目標。6ヶ月の準備期間（予備6ヶ月）を経て、2018年4月からの山頂工事開始が目標。



# ハワイ州世論は 引き続きTMT建設支持



- 2015年12月28日～2016年1月9日 (最高裁判決後)

Honolulu Star-Advertiser紙世論調査

Ward Research Inc. が実施、回答数 619 ※

**「マウナケアでのTMT建設を進めるべきか？」**

賛成 67%

反対 27%

(ネイティブ・ハワイアンに限定すると賛成39%、反対59%)

- 2016年5月15日 (プレヒアリング直前)

Honolulu Star-Advertiser紙読者へのアンケート調査

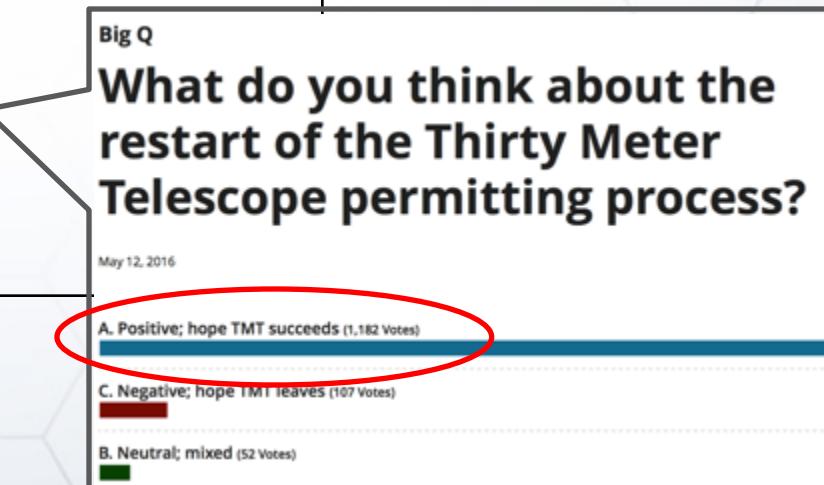
回答数 1341 ※

**「TMTのCDUP再取得についてどう思うか？」**

賛成 88% (1182)

反対 8% ( 107)

※誤差は4%程度





# 建設スケジュールの延伸



年度

当初予定

延伸後

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
国際協力枠組形成	建設																	運用
マイルストーン	<p>▼2014.5 TMT国際天文台設立</p> <p>▼2014.10 起工式、現地建設開始</p> <p>▼2016.2 CDUP認可手続き開始</p> <p>▼2016.9 公聴会</p> <p>▼2017.4 CDUP再認可</p> <p>▼2018.4 現地建設開始</p> <p>▼2022.8 ドーム外装完成</p> <p>▼2025.4 主鏡搭載開始</p>																	
日本：望遠鏡本体	<p>詳細設計、製造、輸送、据付・調整</p> <p>詳細設計、製造、輸送、据付・調整</p>																	
日本：主鏡	<p>鏡材製造、主鏡研磨・外形加工・支持機構搭載</p> <p>鏡材製造、主鏡研磨・外形加工・支持機構搭載</p>																	
日本：観測装置	<p>設計、製造、輸送、据付・調整</p> <p>設計、製造、輸送、据付・調整</p>																	

- 土地利用許可（CDUP）の再審査に伴い、ハワイ現地の建設は2018(平成30)年度に開始となるため、カナダのドーム建設工程にあわせ、日本の望遠鏡本体の製造開始時期を見直し。
- 全体工程の後年への移行に伴い、完成年度が2027(平成39)年度に延伸。
- 米国・中国・インドについても、関連する部品の輸送・据付が2027(平成39)年度まで延伸。

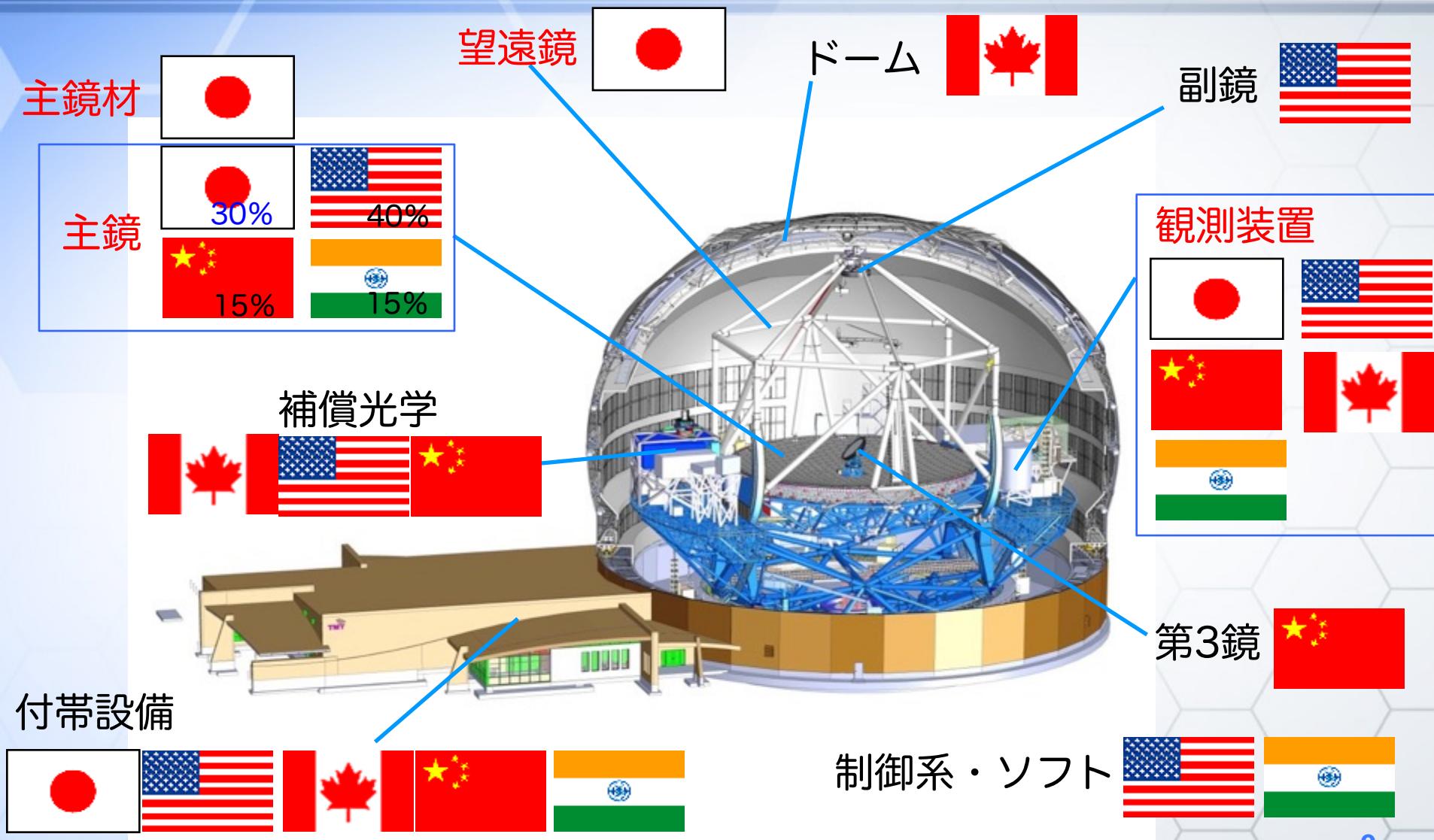
# 万が一に備えたハワイ以外の建設適地調査(プランB)

- ◆ 調査・検討している5つのサイトは、スペインのカナリア諸島（標高2,250m）、メキシコのSan Pedro Martir（標高2,800m）、チリのHonar（標高5,350m）とMackenna（標高3,100m）の2箇所、中国のAli（標高5,100m）、インドのHanle（標高4,500m）。
- ← 北半球でマウナケアより良いサイトは無い
- ◆ TMT科学諮問委員会（SAC：柏川、秋山、松尾、本田充、臼田）で、科学的優先度について議論を開始。5月27日に京都でSAC会議が開催。
- ◆ 建設コストや建設許可申請の工程などについて、情報を整理して評議員会に報告される予定。
- ◆ カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、カナダ、インドは、年内にプランBの中から一つを選択し、ハワイ堅持か次善のサイトへの移行かを早急に決断したい。しかし、日本は、マウナケアの許可（CDUP）の結果が出る（2017年4月）までハワイ優先堅持を主張。中国もハワイ堅持を希望。
- ◆ 日本としては、**プランBの優先順位について天文学コミュニティとの議論を早々に開始**する予定。



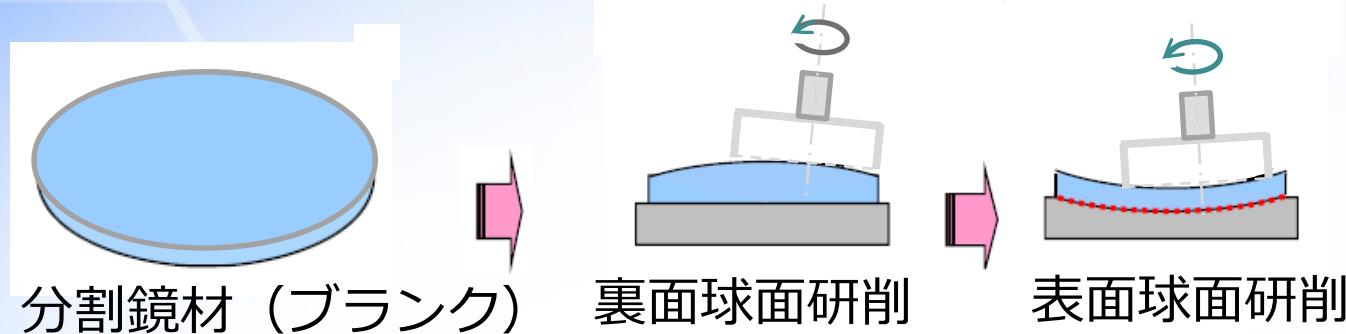
# TMTパートナーと役割分担

NAOJ  
National Astronomical Observatory of Japan



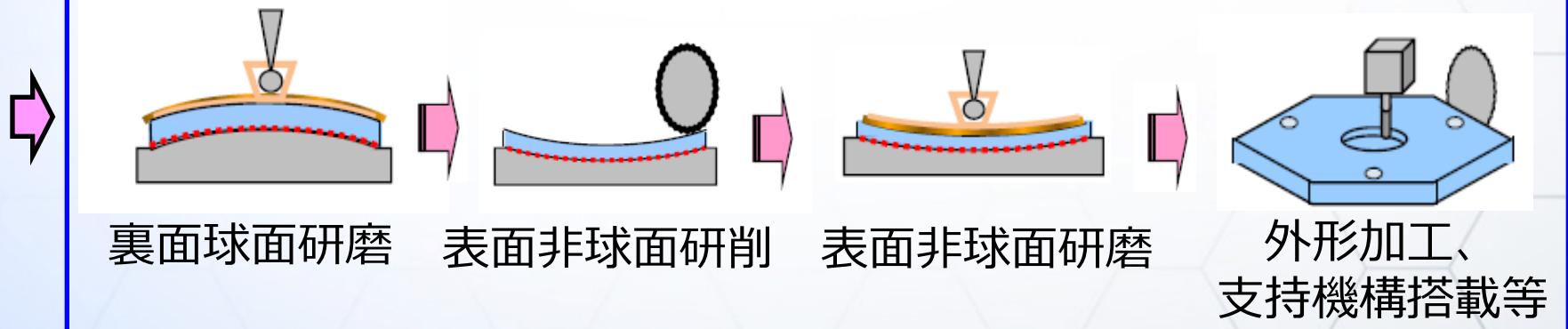
# 国内活動状況 日本の主鏡量産工程

分割鏡材の製造と球面研削加工（日本が574枚全てを担当）



約7割は海外  
(米国、中国、  
インド) に供給

国内外で行われる非球面研削・研磨、外形加工（日本は約3割担当）



# 国内活動状況

## 日本の主鏡量産工程

	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	計
鏡材	60(29)	35(0)	74(31)	40(21)	209(81)
球面研削	12(0)	19(0)	63(29)	60(52)	154(81)
非球面研削	12	16	33	8	69
非球面研磨	単位：枚数 ()内は海外用		6	16	22
外形加工等			0	0	0





# 国内活動状況 望遠鏡本体

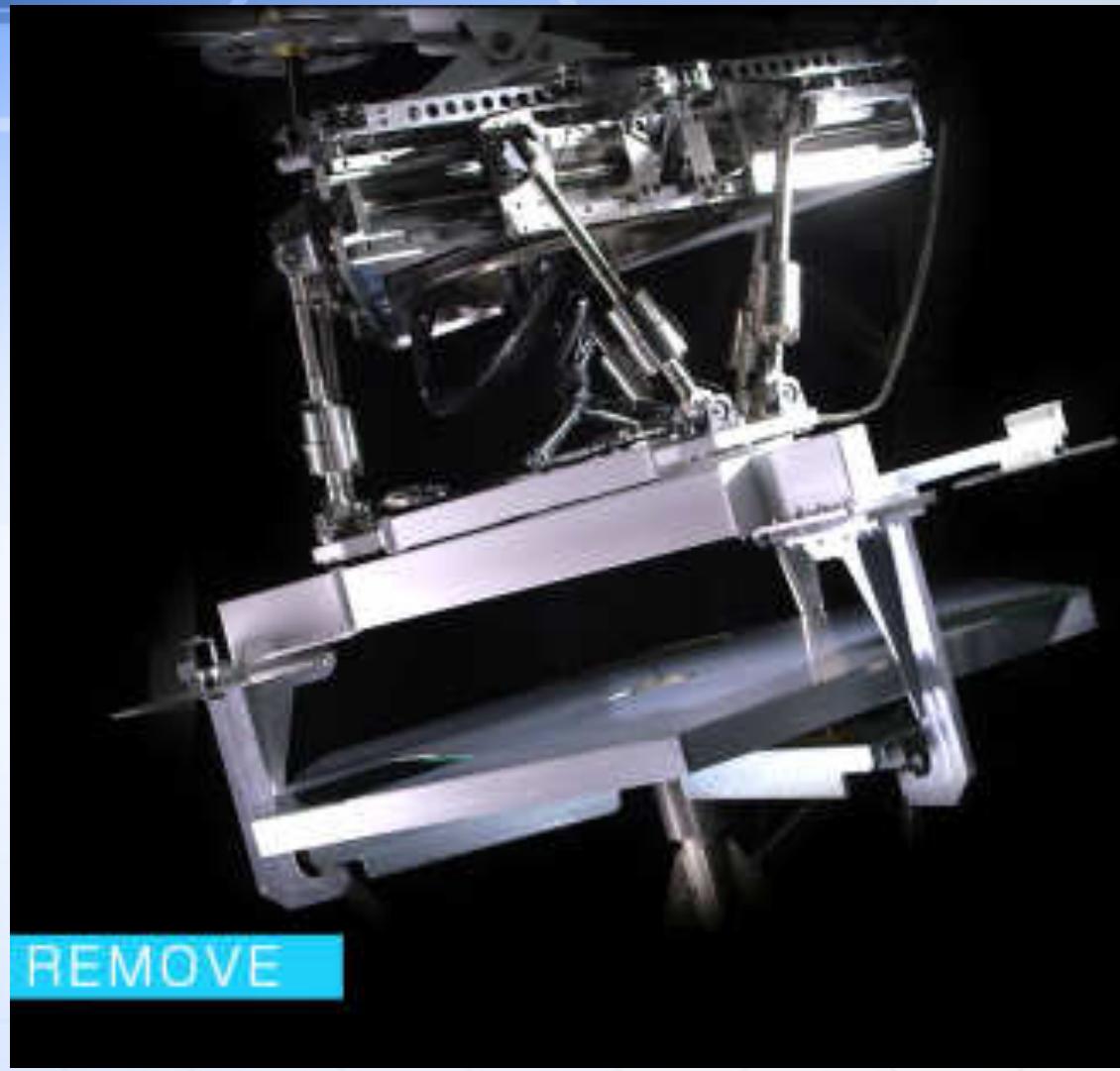


- ◆ 2013年11月12~14日：基本設計審査会 (PDR) **合格**
- ◆ 2014年4月15~16日：望遠鏡制御系のPDR **合格**
- ◆ 2014年11月18~28日：主鏡セグメント鏡交換機構(SHS)のPDR **合格**
- ◆ 2015年2月17~20日：望遠鏡本体の最終設計審査会(FDR-P1)
- ◆ 2015年7月27~29日：望遠鏡制御系のFDR-P2
- ◆ “*FDR design of telescope software and control system is progressing well in many areas, but has not yet reached FDR level*”
- ◆ 主要な課題(後述)を解決してFDR phaseを完了させる必要あり
- ◆ 2015年10月8~9日：Long-lead Procurement Review (LPR)  
長納期品の材料調達開始 (EL-Journal, Lower-tube, Pintle) **合格**
- ◆ 2016年2月24~25日：Delta FDR-P2 **合格**
- ◆ 2016年12月7~9日：FDR-P3 (Segment Handling System等)
- ◆ 2017年~2018年度：FDR-C & PRR1





# 国内活動状況 SHSプロトタイプ (動画120sec)

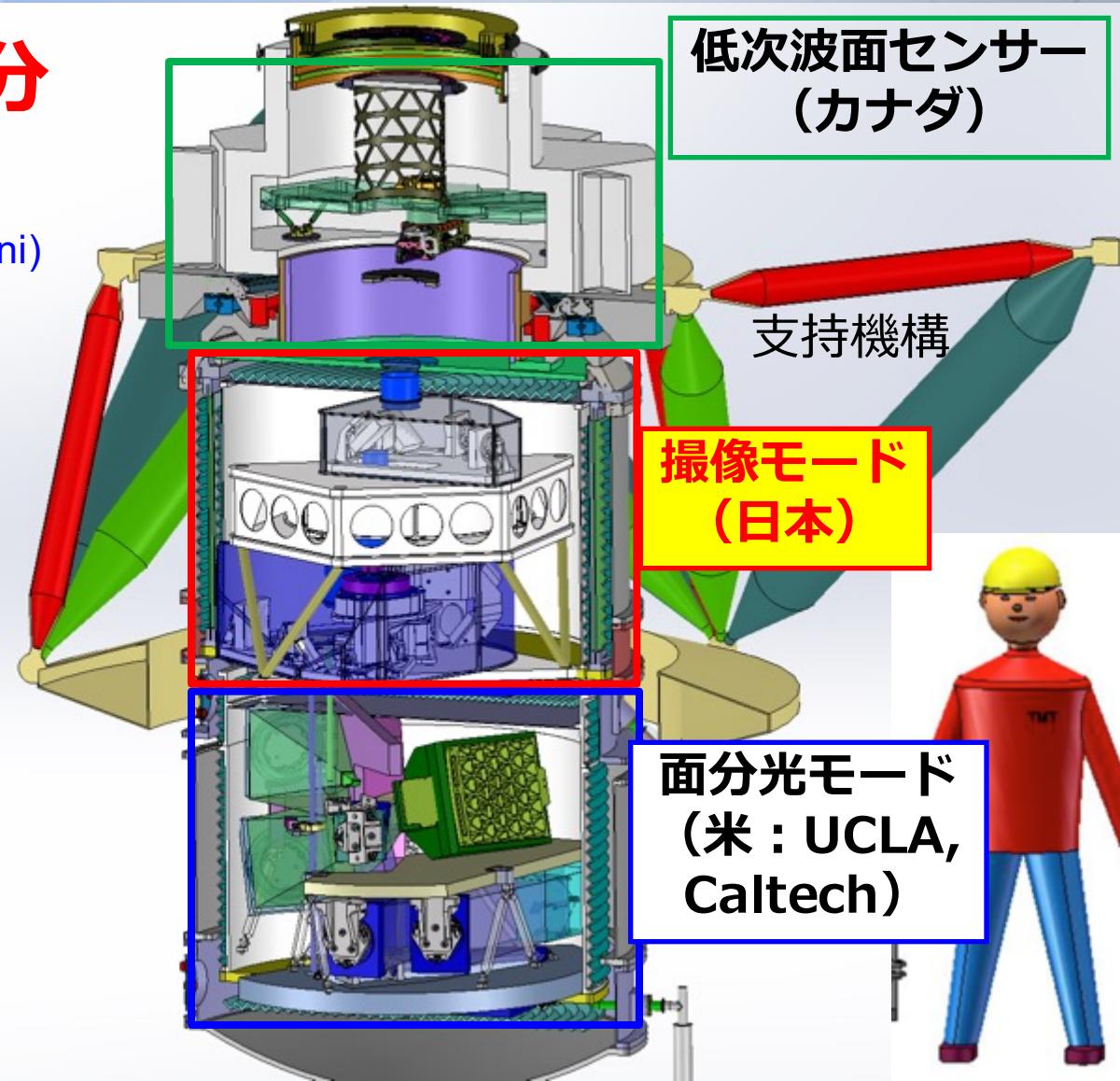


# 国内活動状況 第一期観測装置IRIS

## 近赤外線撮像面分光装置 (IRIS)

参考: OSIRIS (Keck), NIFS (Gemini)

- ◆ 日本: 撮像部分の設計
  - ・製作・試験
- ◆ 米国: 分光部分の設計
  - ・製作・試験
- ◆ カナダ: 低次波面センサー部分およびAO装置とのインターフェースの設計・製作・試験
- ◆ 中国: 光学部品の製作
  - ・試験
- ◆ インド: ソフトウェアの開発・試験

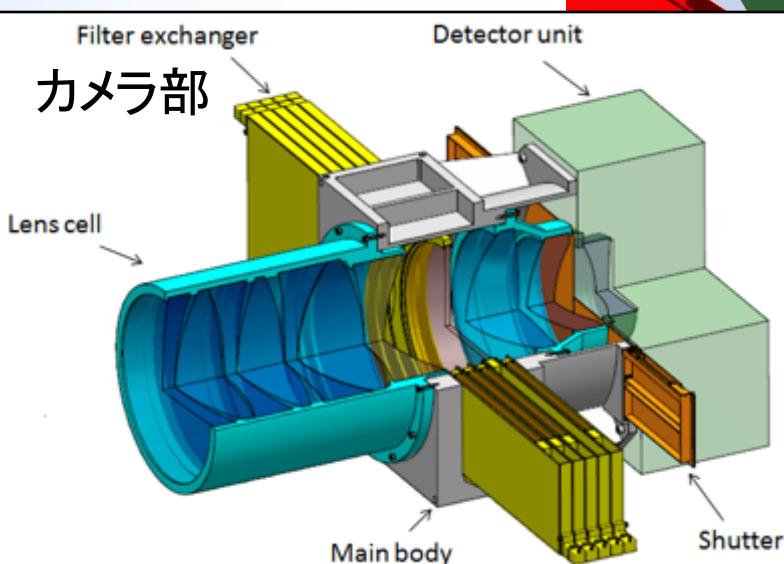
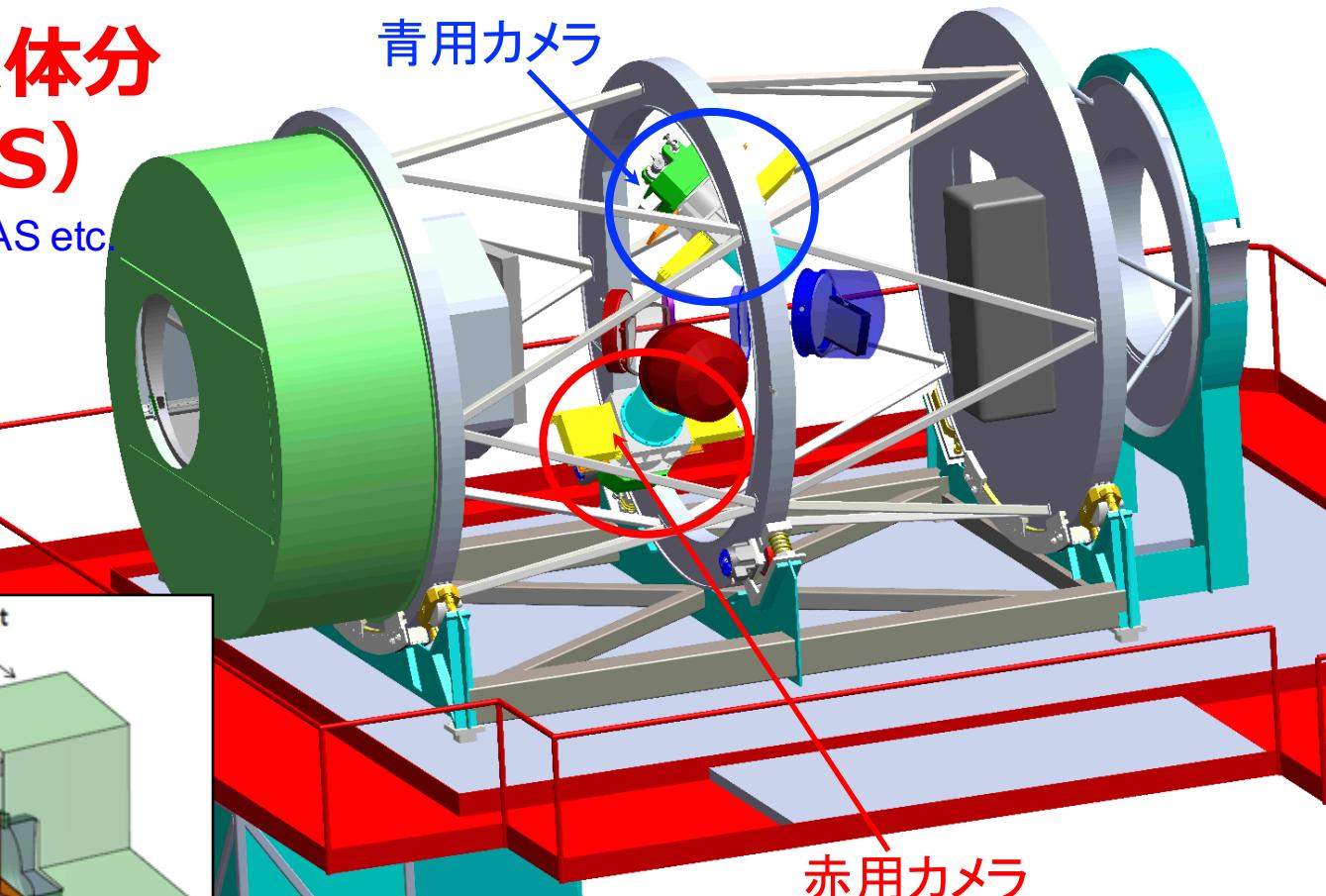


# 国内活動状況 第一期観測装置WFOS

## 広視野可視多天体分光装置 (WFOS)

参考 : DEIMOS (Keck), FOCAS etc.

日本はWFOSの青用と赤用のカメラ部（光学系、シャッター・フィルター交換機構等）の設計・製作・試験を担当



- ◆ 米国：全体設計、検出器、総合組立・試験
- ◆ 中国：光学部品の製造・試験
- ◆ インド：ソフトウェアの開発・試験
- ◆ カナダ：なし

# TMT第二期観測装置

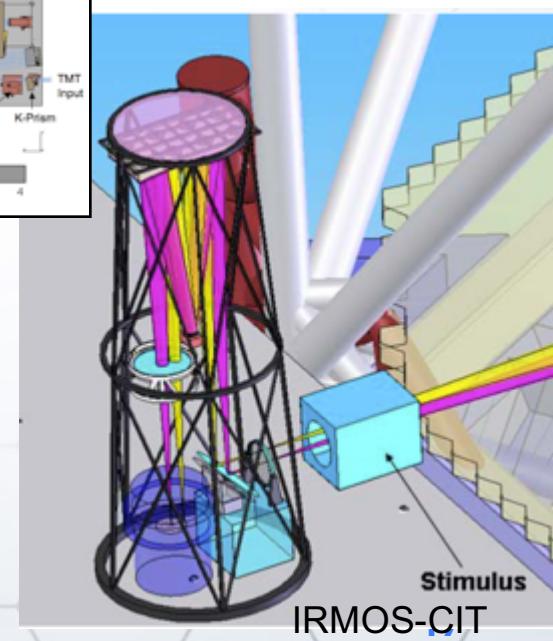
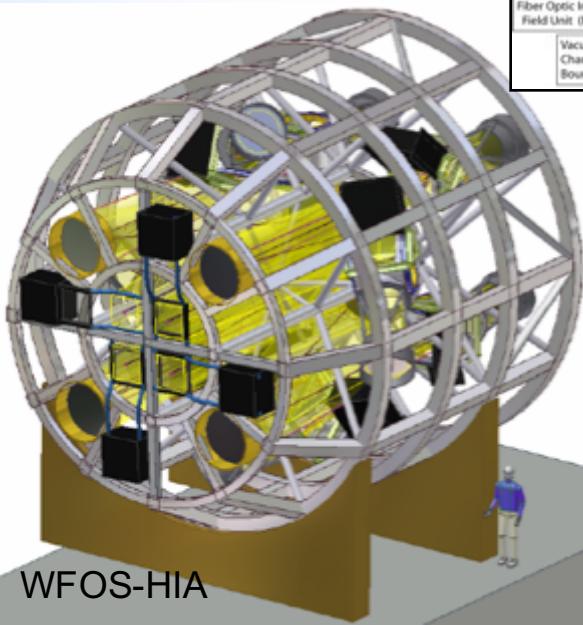
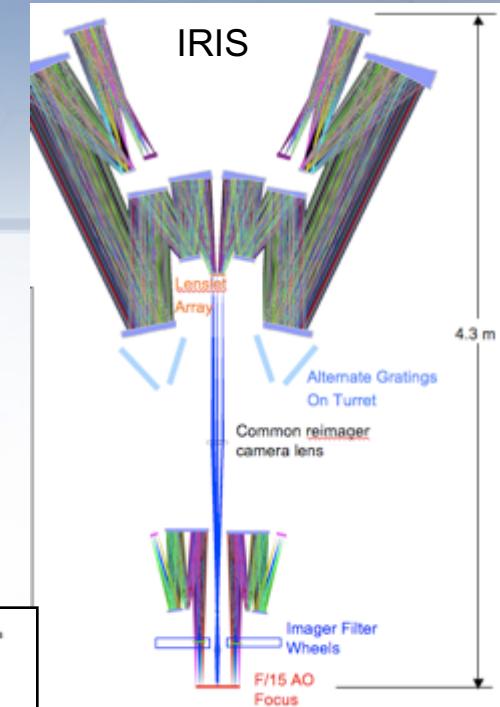
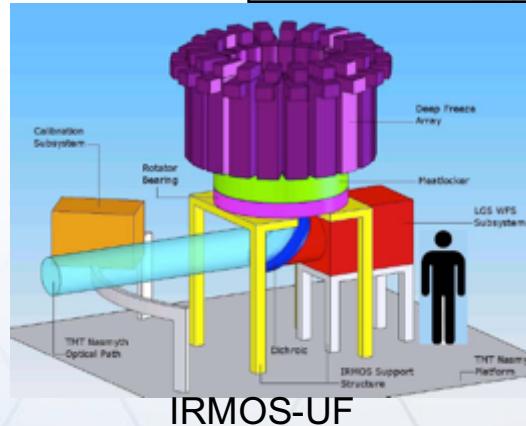
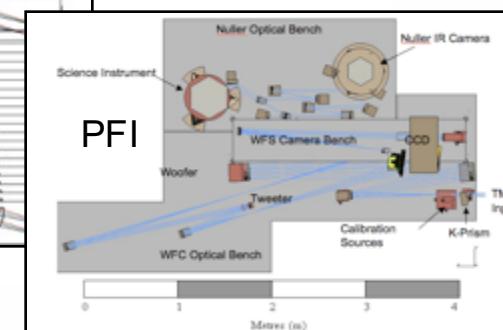
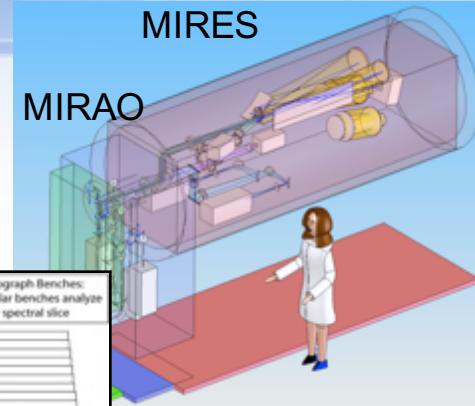
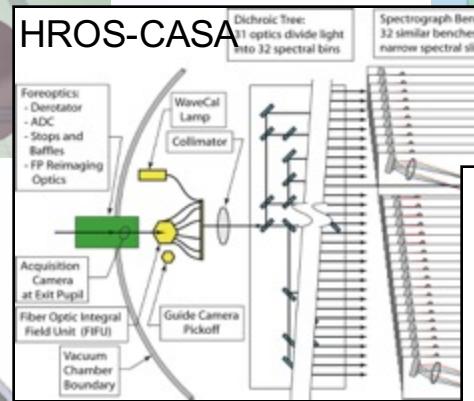
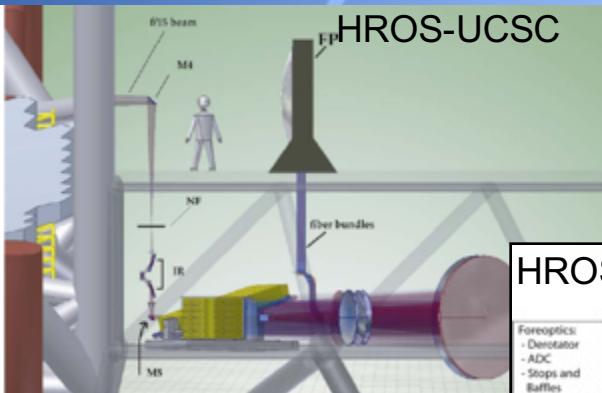
2005/6年と2011年にTMT SACが第一期装置3つを選択

Instrument	Field of view / slit length	Spectral resolution	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Comments
InfraRed Imager and Spectrometer (IRIS)	< 4."4 x 2".25 (IFU) 16".4 x 16".4" (imaging)	4000-8000 5-100 (imaging)	0.8 – 2.4	MCAO with NFIRAOS
Wide-field Optical spectrometer (WFOS)	40.3' squared (FoV) 576" (Total slit length)	1000-8000	0.31-1.1	Seeing-Limited (SL)
InfraRed Multislit Spectrometer (IRMS)	2' field w/ 46 deployable slits	$R = 4660$ @ 0.16" slit	0.95-2.45	MCAO with NFIRAOS
Multi-IFU imaging spectrometer (IRMOS)	3" IFUs over >5' diameter field	2000-10000	0.8-2.5	MOAO
Mid-IR AO-fed Echelle Spectrometer (MIRES)	3" slit length 10" imaging	5000-100000	8-18 4.5-28(goal)	MIRAO
Planet Formation Instrument (PFI)	1" outer working angle, 0.05" inner working angle	$R \leq 100$	1-2.5 1-5 (goal)	$10^8$ contrast $10^9$ goal
Near-IR AO-fed Echelle Spectrometer (NIRES)	2" slit length	20000-100000	1-5	MCAO with NFIRAOS
High-Resolution Optical Spectrometer (HROS)	5" slit length	50000	0.31-1.0 0.31-1.3(goal)	SL
"Wide"-field AO imager (WIRC)	30" imaging field	5-100	0.8-5.0 0.6-5.0(goal)	MCAO with NFIRAOS



# TMT観測装置

## 2005~6年の実現可能性検討





# TMT第二期観測装置



NFIRAOSの  
下 : IRIS  
横 : NIRES-B

IRMS

NFIRAOS

PFI

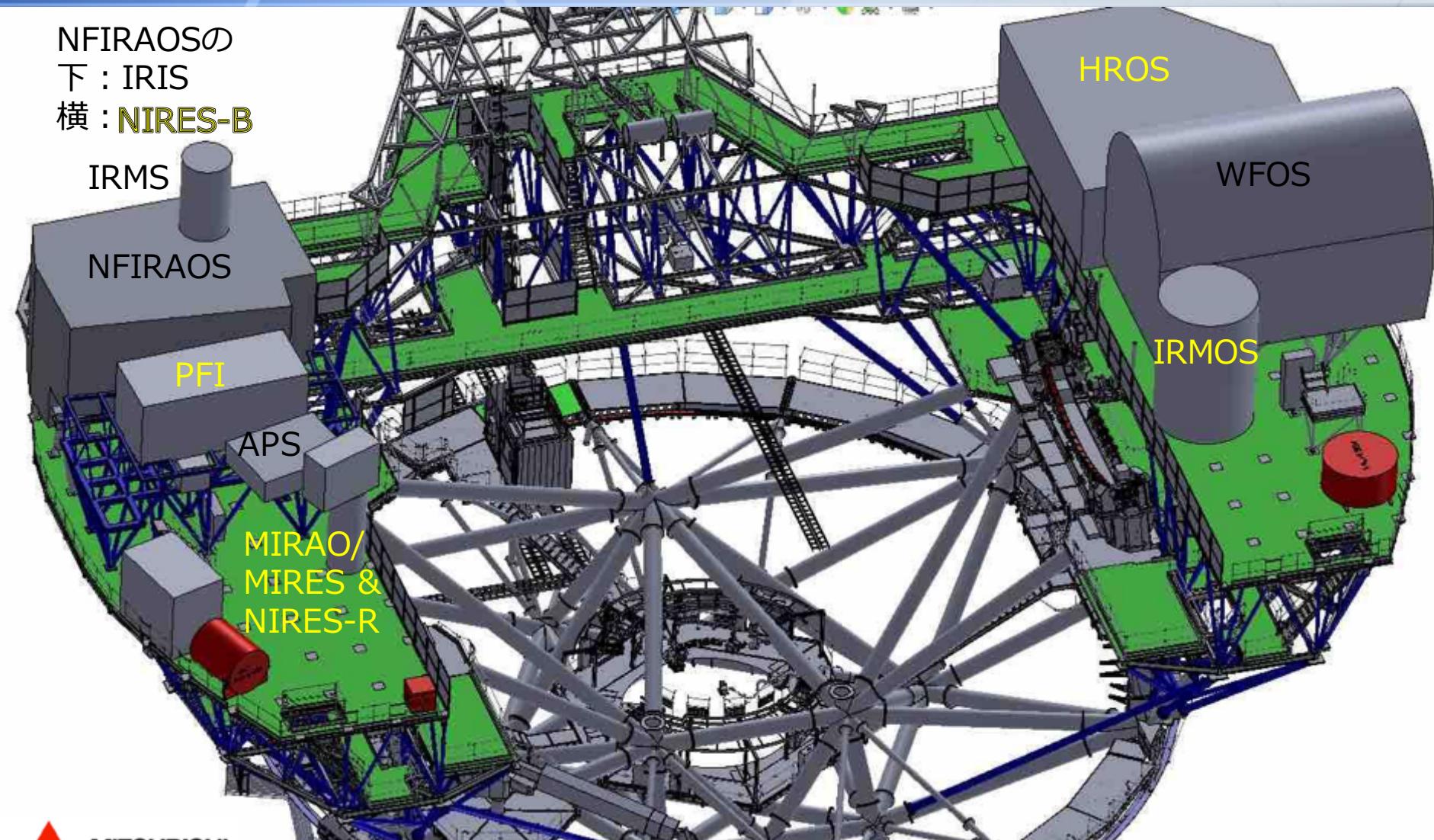
APS

MIRAO/  
MIRES &  
NIRES-R

HROS

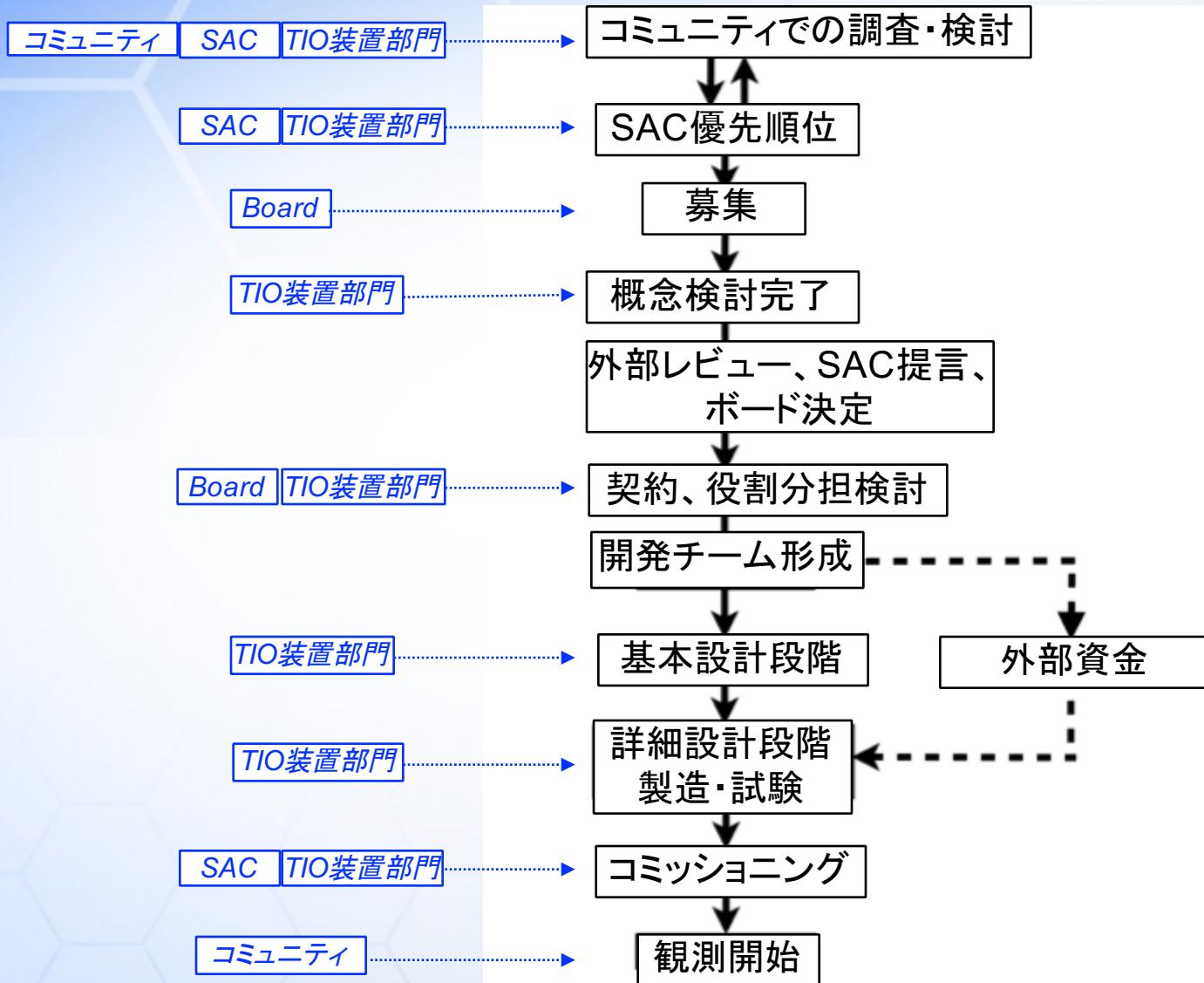
WFOS

IRMOS





# TMT第二期観測装置 選択の手順





TMT

Thirty Meter Telescope

# TMT第二期観測装置 選択の手順



## 1. コミュニティでの調査・検討

- ◆ まず、SACが製作すべき装置の基本的な構造を定義する。Readiness & Risks, Rough Cost, & Schedule
- ◆ ワークショップを開催、White Paperの作成
- ◆ Mini-Study (~1年、<\$100k) を実施
- ◆ 装置開発グループが外部資金獲得を望む場合は、





# TMT第二期観測装置 選択の手順



## 1. コミュニティでの調査・検討

- ◆ まず、SACが製作すべき装置の基本的な科学的要求 (Science, Technical Readiness & Risks, Rough Cost, & Schedule) をまとめること。
- ◆ ワークショップを開催、White Paperのまとめ
- ◆ Mini-Study (~1年、<\$100k) を実施
- ◆ 装置開発グループが外部資金獲得を望む場合、TIOはサポートする

## 2. SAC 優先順位

- ◆ 基本的にScience Drivenだが、科学的 requirement や AOとのバランスを考慮して優先順位を付ける
- ◆ この優先付けの方法は、2006年と同様



# TMT第二期観測装置 選択の手順



## 2011年 SACでの議論の結果

- ◆ Eight instrument capabilities (not “set in stone”):
  1. High-Resolution, Optical Spectroscopy (HROS-UC-2)
  2. High-Resolution, Near-IR Spectroscopy (NIRES-B)
  3. Multi-IFU, Near-IR Spectroscopy (IRMOS-N + AO upgrades)
  4. Adaptive Secondary Mirror (AM2)
  5. Mid-Infrared, High-Resolution Spectroscopy (MIRES)
  6. High-contrast imaging (PFI)
  7. Multi-IFU, Near-Optical Spectroscopy (VMOS + AO upgrades)
  8. High-Resolution, 5-18μm Spectroscopy (NIRES-R)
- ◆ One new capability every 2.5 years on average
- ◆ Starts in 2018 and ends in 2040
- ◆ Total cost of \$405M at a rate of \$21M/yr after first light



# TMT第二期観測装置 日本での基礎開発・検討



- ◆ TMT計画参加当初より、日本は第二期観測装置の開発に興味があることを表明してきた。2010年キックオフ会議@San Diego、2011年観測装置WS@Victoria等でも紹介。
- ◆ 2011年時点に5つの観測装置の検討を紹介
  - ◆ **MICHI (Mid-IR Camera, High-disperser, and IFU) (Y.Okamoto+):**  
Modified MIRES ← COMICS, MIMIZUKU
  - ◆ **NIR High Dispersion Spectrograph (N.Kobayashi+):** NIRES-b and NIRES-r ← IRCS, WINERED & IRD (Immersion Gr., Astro-Comb, fiber)
  - ◆ **NIR Multi IFU spectrograph with MOAO (M.Akiyama+):** IRMOS → **TMT-AGE** ← RAVEN, FMOS, MOIRCS-upgrade, SWIMS
  - ◆ **Optical High Dispersion Spectrograph (W.Aoki+):** HROS ← HDS, HIDES (I2 cell, image slicer, fiber)
  - ◆ **Exoplanet Direct Imager (T.Matsuo+):** SEIT ← HiCIAO, SCExAO, CHARIS



# TMT第二期観測装置 日本での基礎開発・検討



Instrument	Field of view / slit length	Spectral resolution	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Comments
InfraRed Imager and Spectrometer (IRIS)	< 4.".4 x 2".25 (IFU) 16".4 x 16".4" (imaging)	4000-8000 5-100 (imaging)	0.8 – 2.4	MCAO with NFIRAOS
Wide-field Optical spectrometer (WFOS)	40.3' squared (FoV) 576" (Total slit length)	1000-8000	0.31-1.1	Seeing-Limited (SL)
InfraRed Multislit Spectrometer (IRMS)	日本は5つ全ての装置について検討			
Multi-IFU imaging spectrometer (IRMOS)	3" IFUs over >5' diameter field	2000-10000	0.8-2.5	秋山 MOAO
Mid-IR AO-fed Echelle Spectrometer (MIRES)	3" slit length 10" imaging	5000-100000	8-18 4.5-28(goal)	市川 MIRAO
Planet Formation Instrument (PFI)	1" outer working angle, 0.05" inner working angle	R≤100	1-2.5 1-5 (goal)	$10^8$ contrast $10^9$ goal
Near-IR AO-fed Echelle Spectrometer (NIRES)	2" slit length	20000-100000	1-5	MCAO with NFIRAOS
High-Resolution Optical Spectrometer (HROS)	5" slit length	50000	0.31-1.0 0.31-1.3(goal)	三澤 SL

10年前の提案→新しい提案も重要 (可視光面分光→川口講演)



# TMT第二期観測装置 選択の手順



## 1. コミュニティでの調査・検討

- ◆ まず、SACが製作すべき装置の基本的な科学的・技術的要求 (Science, Technical Readiness & Risks, Rough Cost, & Schedule) をまとめること。
- ◆ ワークショップを開催、White Paperのまとめ
- ◆ Mini-Study (~1年、<\$100k) を実施
- ◆ 装置開発グループが外部資金獲得を望む場合、TIOはサポートする

## 2. SAC 優先順位

- ◆ 基本的に Science Driven だが、科学的・技術的要求や AOとのバランスを考慮して優先順位を付ける
- ◆ この優先付けの方法は、2006年と同様
- ◆ ISDTs (International Science Development Teams) や各パートナーのコミュニティからの科学的・技術的要求が重要



# TMT 第 選

## 1. コミュニティでの調査・検討

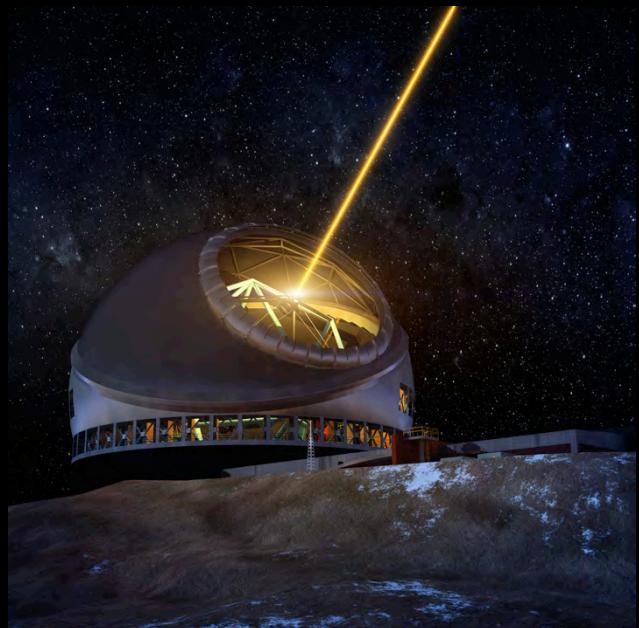
- ◆ まず、SACが製作すべき装置の Readiness & Risks, Rough Cost Estimate
- ◆ ワークショップを開催、White Papers
- ◆ Mini-Study (~1年、<\$100k)
- ◆ 装置開発グループが外部資金を募る

## 2. SAC 優先順位

- ◆ 基本的にScience Drivenだが、して優先順位を付ける
- ◆ この優先付けの方法は、2006年 ISDTs (International Science Development Teams) によるコミュニティからの科学的評議会

# Thirty Meter Telescope Detailed Science Case: 2015

International Science Development Teams  
& TMT Science Advisory Committee





# TMT第二期観測装置 選択の手順



## 3. Competitive Conceptual Design Study

- ◆ 1つの要求に対して複数の設計案が提案されることが望ましい
- ◆ 1.5年の間、年間\$1MUSDの予算をかけて3~4つの実現可能性検討
  - ◆ 予算として、現状は各パートナーの内部努力に期待（例：日本の戦略的基礎開発経費）
- ◆ 設計審査は外部の専門委員と一緒に実施。審査項目はConcept、Science、Managementなど11項目

## スケジュール：想定案

- ◆ 2017年Q1：観測装置の概念設計の募集（Call for Proposals）
- ◆ 2017年Q4：役割分担（SoW）の確定
- ◆ 2018年Q2：概念設計開始
- ◆ 2029年：ファーストライト（第一期観測装置のファーストライトより2年後）



# TMT第二期観測装置 戦略的基礎開発経費



- ◆ TMT（ひいては日本の光赤外全般）に関する装置開発能力を育てるための基礎。ボトムアップによる概念検討、基礎開発は、大学研究者などの参加を期待。2012年より開始。
- ◆ 2015年度：5件2,130万円を配分
  - ◆ TMT-AGE: TMT-Analyzer for Galaxies in the Early universe (東北大) → 秋山さんの講演
  - ◆ Second-Earth Imager for TMT (SEIT)計画の実現に向けた
  - ◆ 高コントラス観測システムの開発 (京大、北大)
  - ◆ 高効率Ge イマージョングレーティングの性能評価 (東大)
  - ◆ 高効率高分散回折格子の開発 (理研)
  - ◆ MICHI (Mid-Infrared Camera, High-disperser, and IFU) の要素技術開発 (神奈川大、東大、茨城大)
- ◆ TMT推進小委員会が募集、審査、評価
- ◆ 以下のサイトで報告書とともに公開  
[http://tmt.mtk.nao.ac.jp/inst\\_budget-j.html](http://tmt.mtk.nao.ac.jp/inst_budget-j.html)



# まとめ



## ◆ 建設サイト

- ◆ マウナケアに建設するための土地利用許可認可の手続き中。2017年春にCDUP認可、2018年4月からの山頂工事開始を目標。その場合、ファーストライトは2027年。
- ◆ 万が一に備え、ハワイ以外の建設適地を調査中（プランB）

## ◆ 国内活動状況

- ◆ 建設予算は厳しい中、主鏡の製作、望遠鏡本体の設計、第一期観測装置の設計は進行中（一部先送り）。

## ◆ 第二期観測装置

- ◆ これまでに日本は5つの観測装置についての興味を提案
- ◆ 2012年より戦略的基礎開発経費で、第二期観測装置のR&Dをサポート
- ◆ 2017年Q1に出る可能性が高い、観測装置の募集に合わせて、国内で第二期観測装置の科学的要求を検討・まとめる必要がある。
- ◆ 観測装置を開発するにあたり、リーダーシップも必要