

TMTの技術概観

自然科学研究機構 国立天文台
総合研究大学院大学

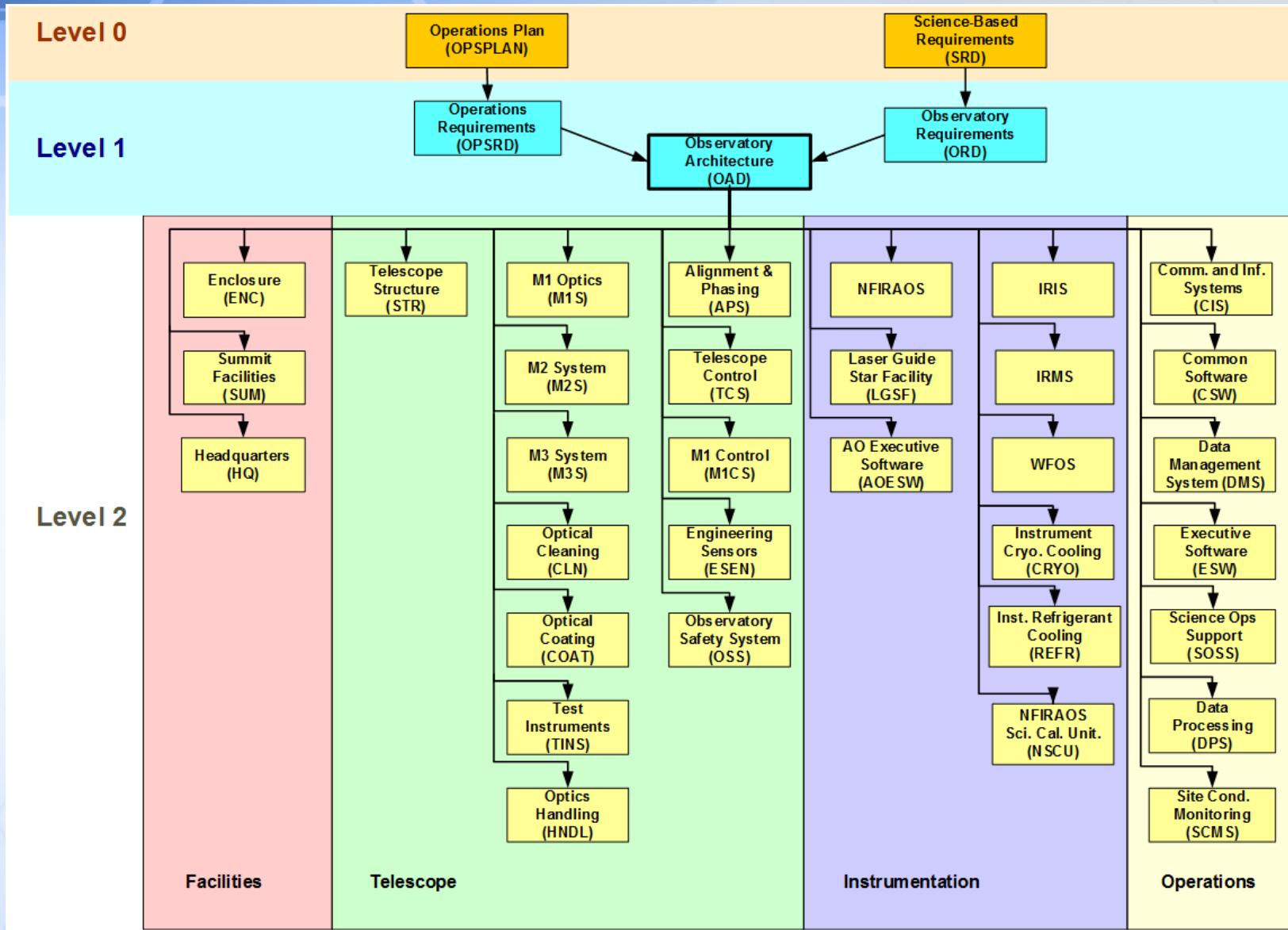
早野 裕

山下卓也、TMT主鏡チーム、齋藤正雄、TMT-STRチーム、IRISチーム

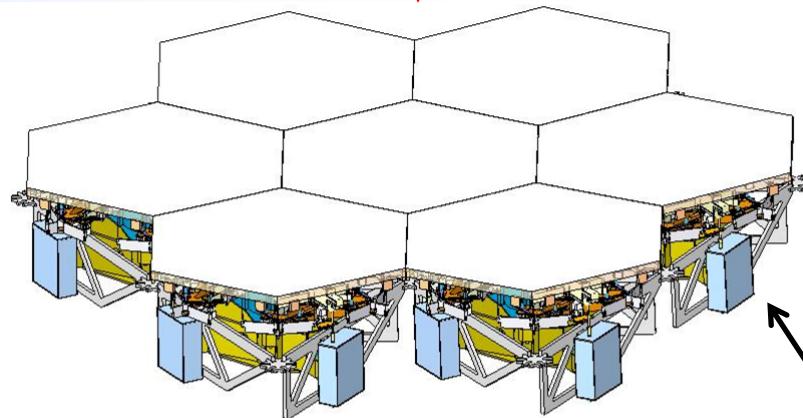
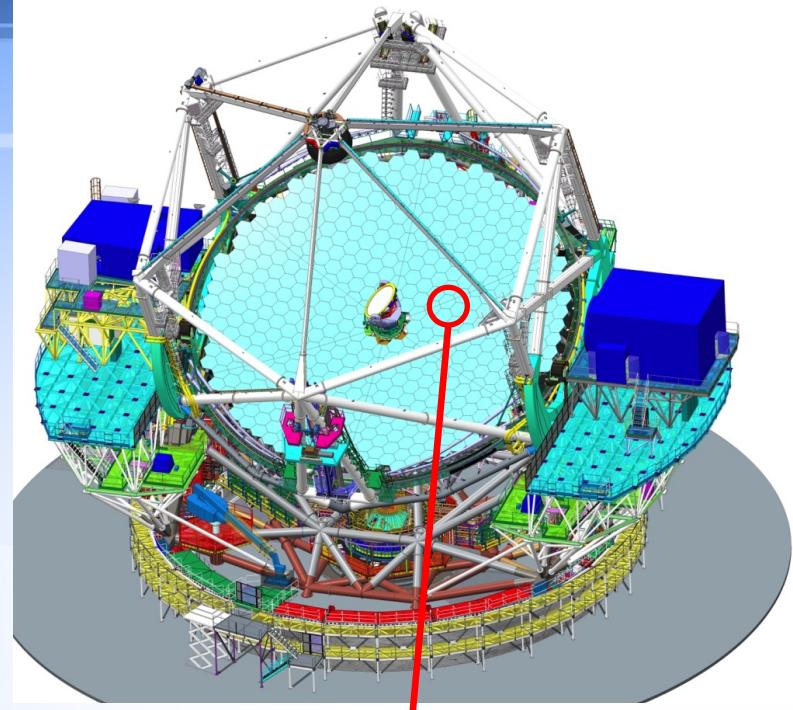
内容

- はじめに
- 主鏡 [山下]
- 望遠鏡構造 [齋藤]
- 観測装置
 - 第1期観測装置: IRIS(早野)
 - 第1期観測装置: WFOS(尾崎)、MODHIS(小谷)
- まとめ

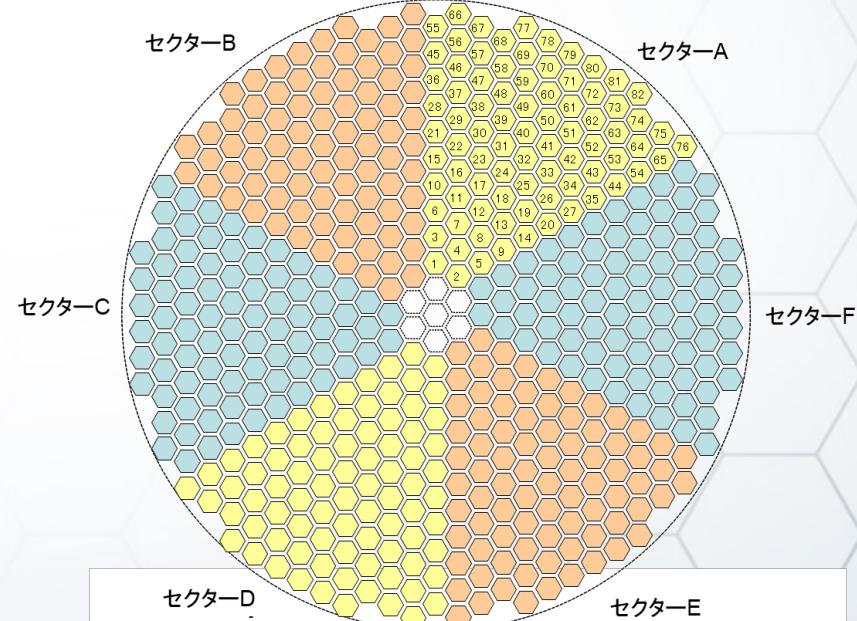
TMT system diagram



TMTの主鏡セグメント(分割鏡)



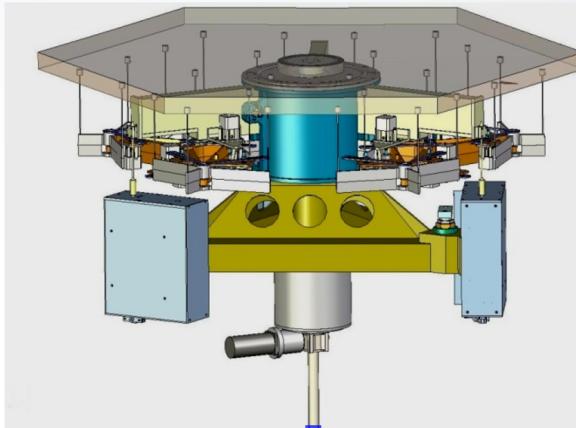
- 492セグメント(+蒸着交換用82枚)
 - 82種類 × (6 (+1)枚)



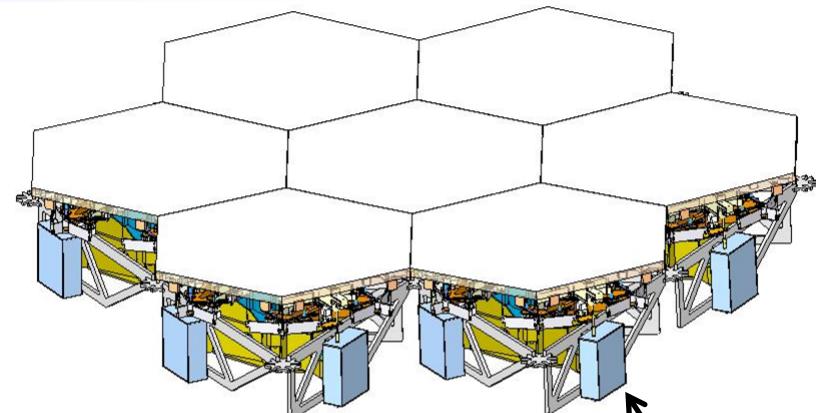
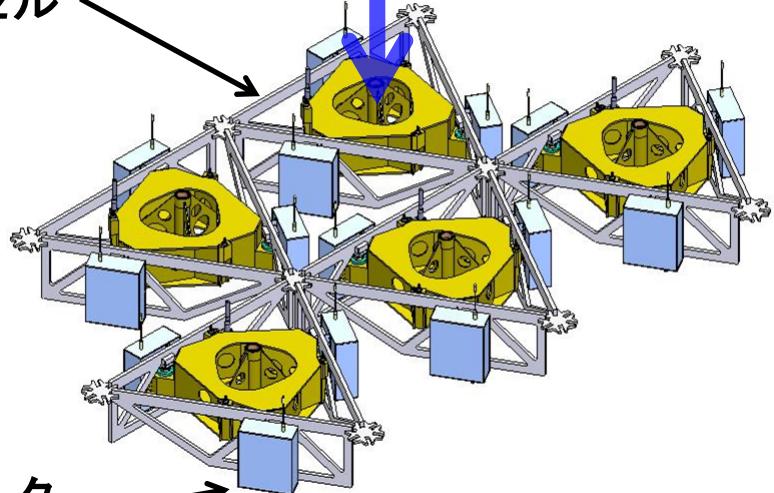
TMTの主鏡セグメント(分割鏡)

- ◆ 単体のセグメント鏡
 - 対角長: 1.45m、**厚さ 45mm**
 - 仕上げ面精度:
 - ◆ 30nm程度

セグメント鏡 + 支持機構



主鏡セル



アクチュエーター

セグメント鏡の特有の問題点

- 全体で1枚の鏡である
- “ふち”問題
 - “ふち”が“ふち”でない
 - “ふち”まで完全に研磨
 - 研磨後、6角形に切断
 - 切断による変形 → 修正研磨
 - 6角形に切断後、研磨
 - “ふち”まで正確な研磨：“やとい”
- 曲率の一致問題
 - すべてのセグメント鏡の形状が連続的でなければならぬ。
 - 3次元計測器(非干渉計法)
 - 正確な曲率測定は得意

セグメント鏡加工工程

分割鏡材の製造と球面加工（日本が574枚すべてを担当）



分割鏡材（平板）



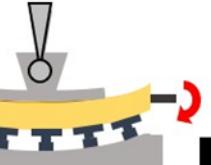
球面研削

約7割は海外
(米国、中国、
インド) に供給

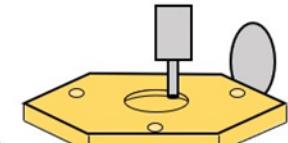
国内外で行われる非球面加工等（日本は約3割を担当）



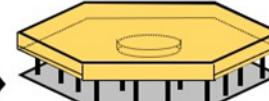
非球面研削
(曲げ研削)



非球面研磨
(曲げ研磨)



六角形カット
および 裏面加工



支持機構
への搭載

米国へ移送

セグメント鏡の製造プロセス (1/2)

鏡材製作

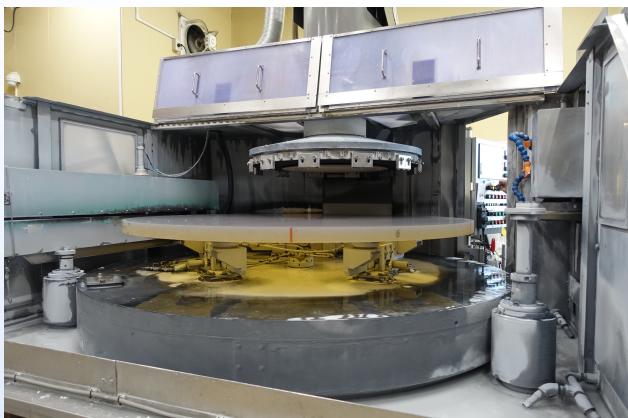


鏡材の製作工程

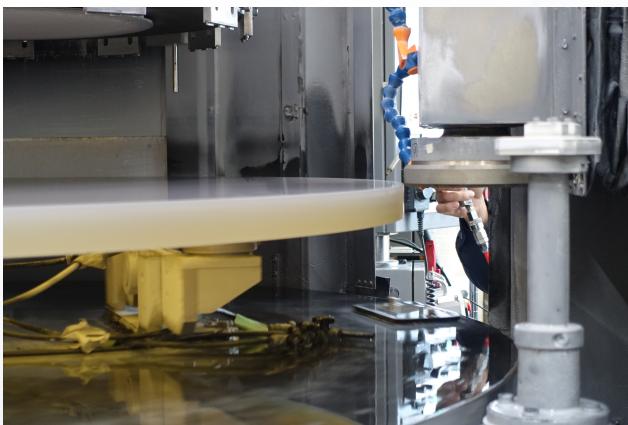


量産された鏡材

球面研削



球面研削機上の鏡材

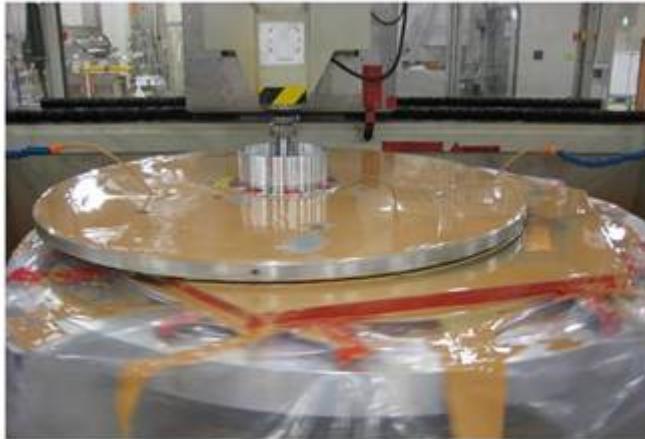


面取り工程

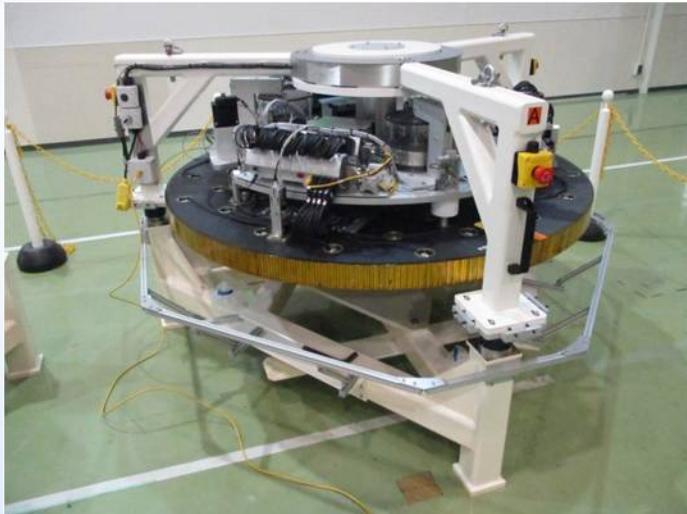
研磨工程



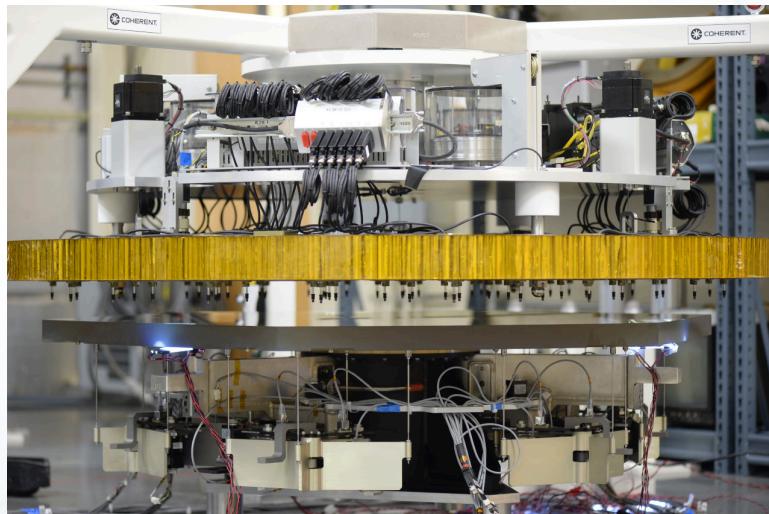
非球面研削加工



非球面研磨加工

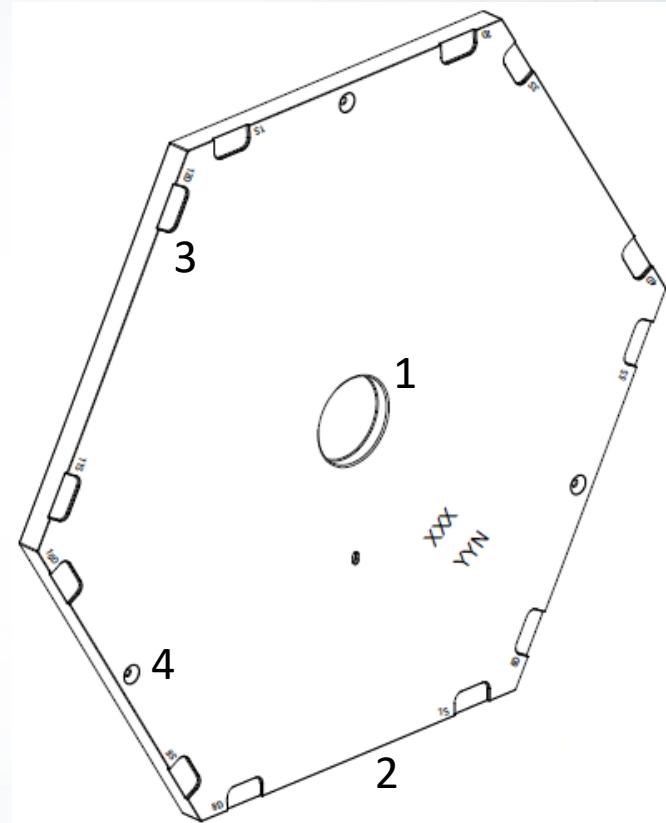


2Dプロファイロメーターによる鏡面測定

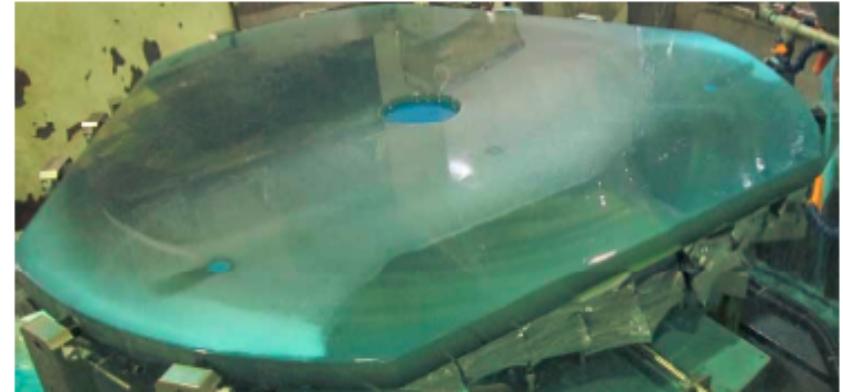
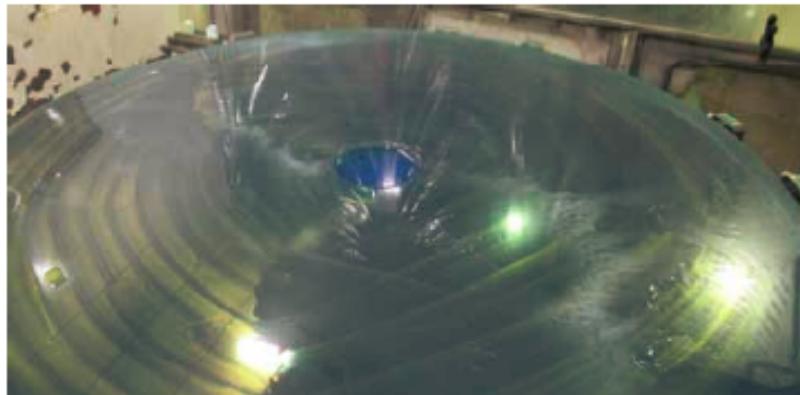


◆ 外形加工等

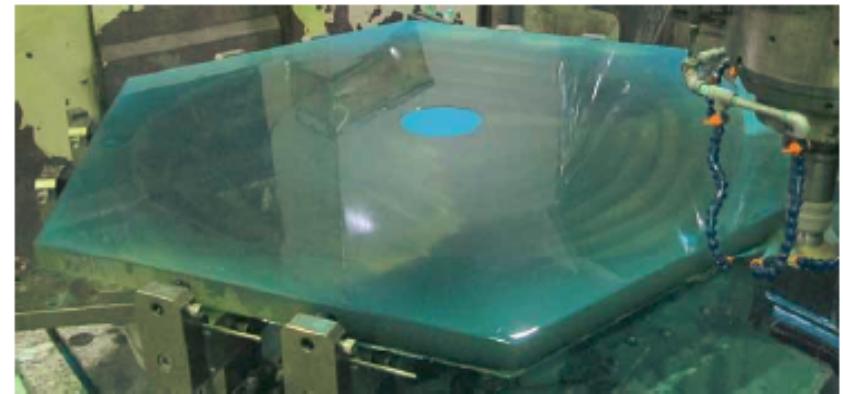
1. 中央のダイヤフラム穴(裏面)
2. 6角形に切断
3. センサー poccket の加工(裏面)
 - 鏡面に鉛直に: 12ヶ所
4. 位置決め形状(裏面)
 - 3つの円錐穴と1つの長円スロット
5. マーキング(裏面)
6. 各所にエッチング
 - ダイヤフラム穴、センサー poccket、パック接着面



外形加工試作

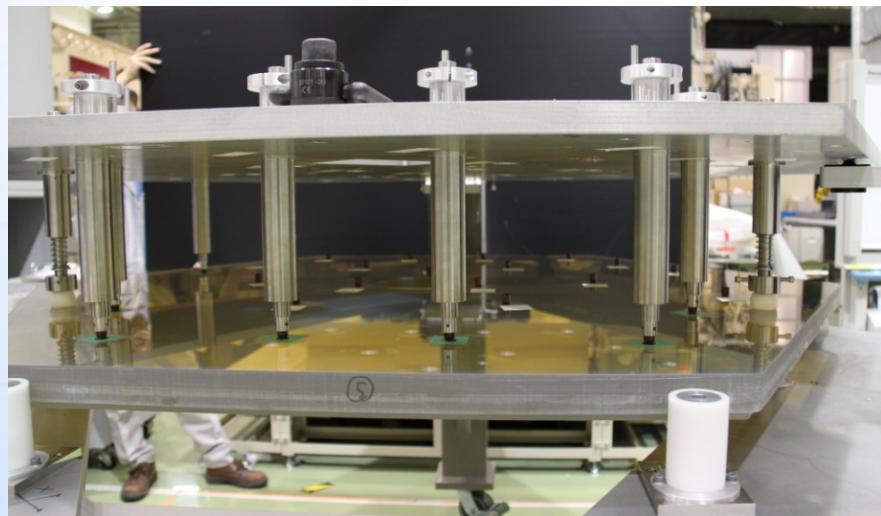
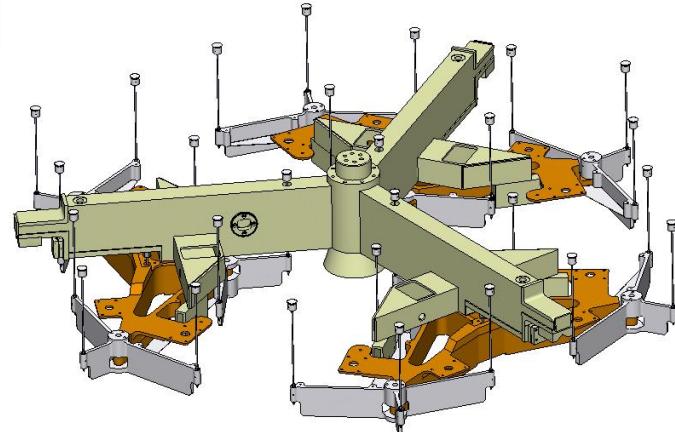


Hex cut加工

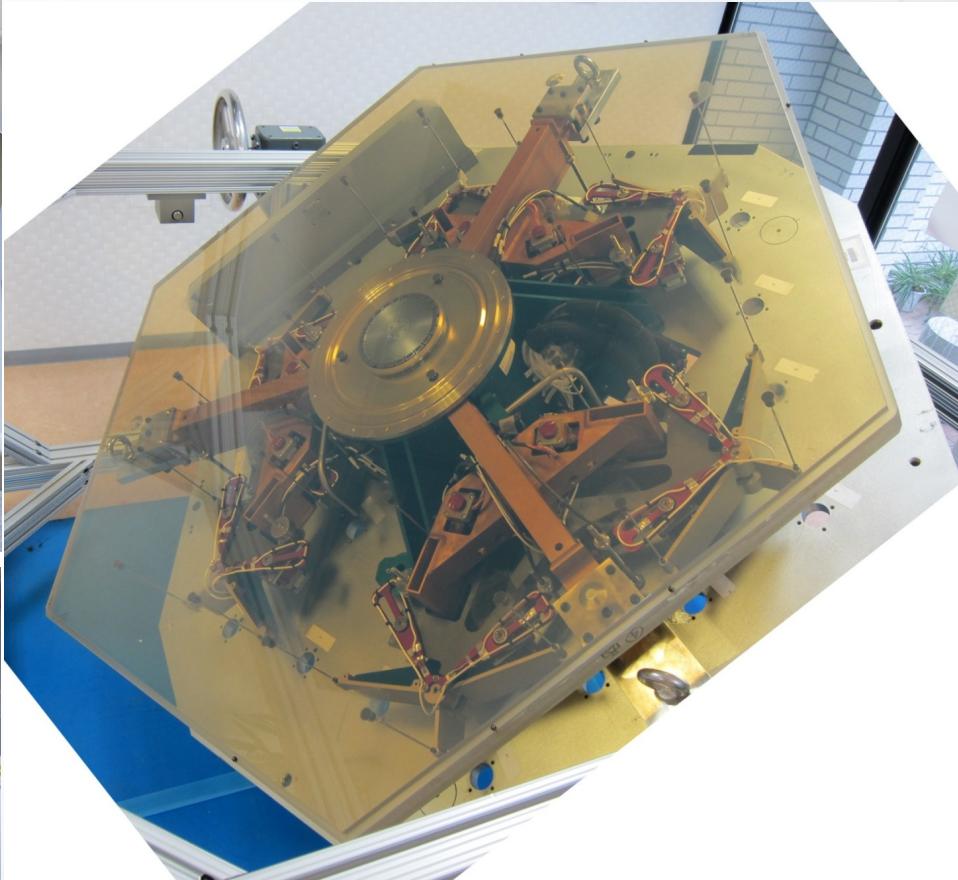
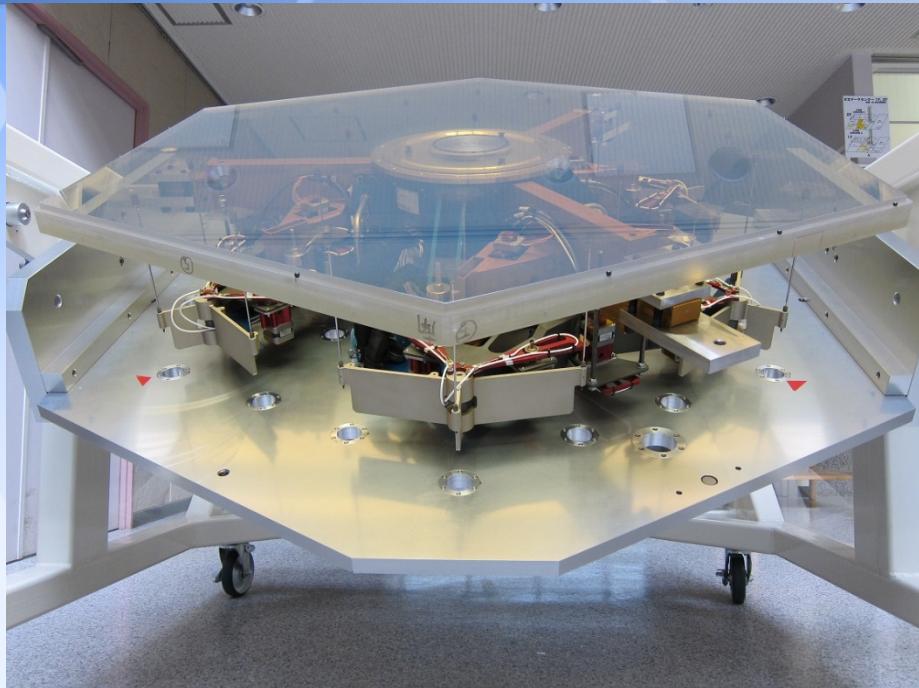


支持機構搭載試作

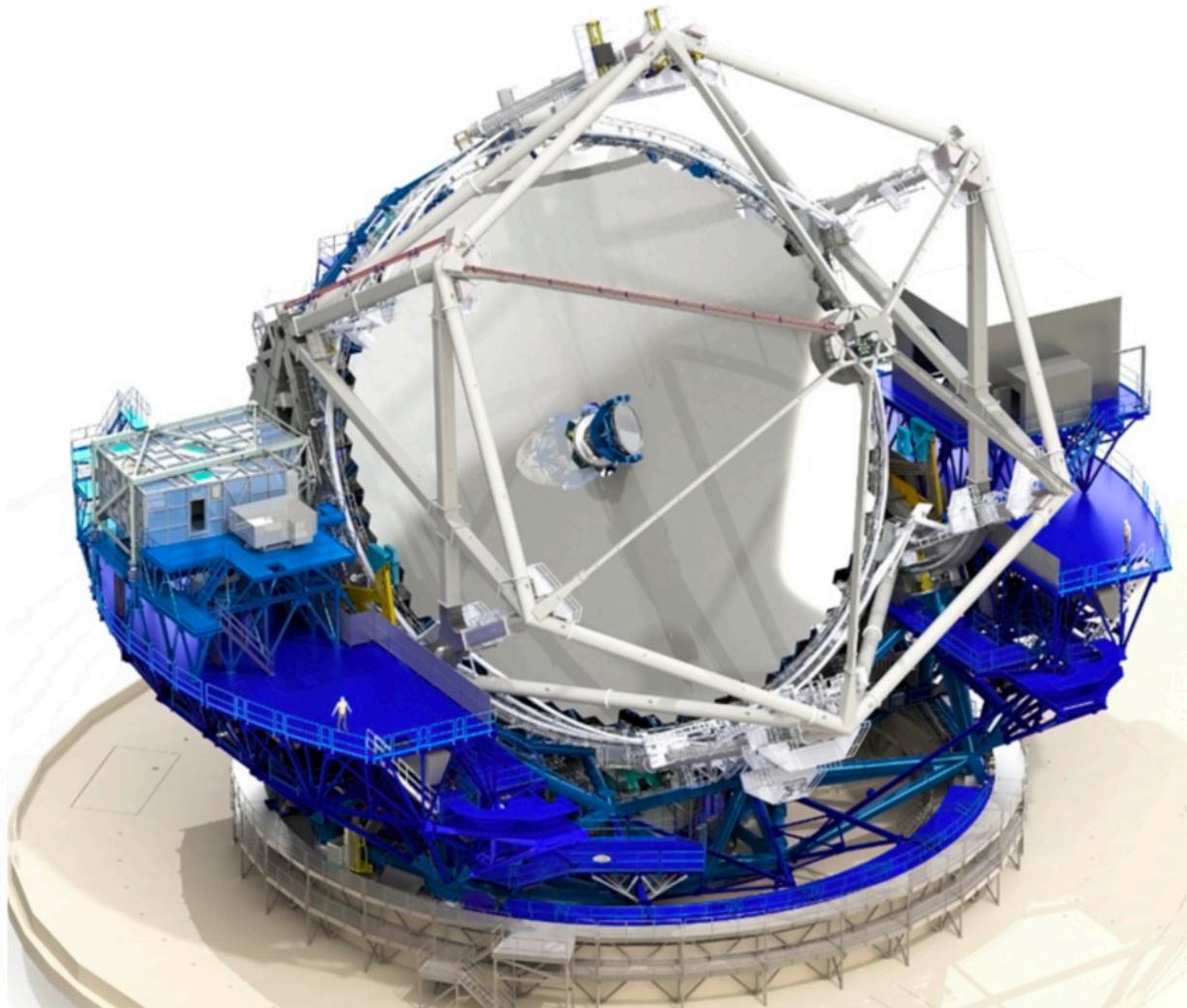
- 支持機構(SSA: Segment Support Assembly)
 - 米国TMT設計・製作
 - 量産はインド担当の予定
- 搭載には専用の治具を用いる
 - 位置精度・再現性



支持機構に搭載された プロトタイプセグメント鏡



望遠鏡構造



軽量化という挑戦

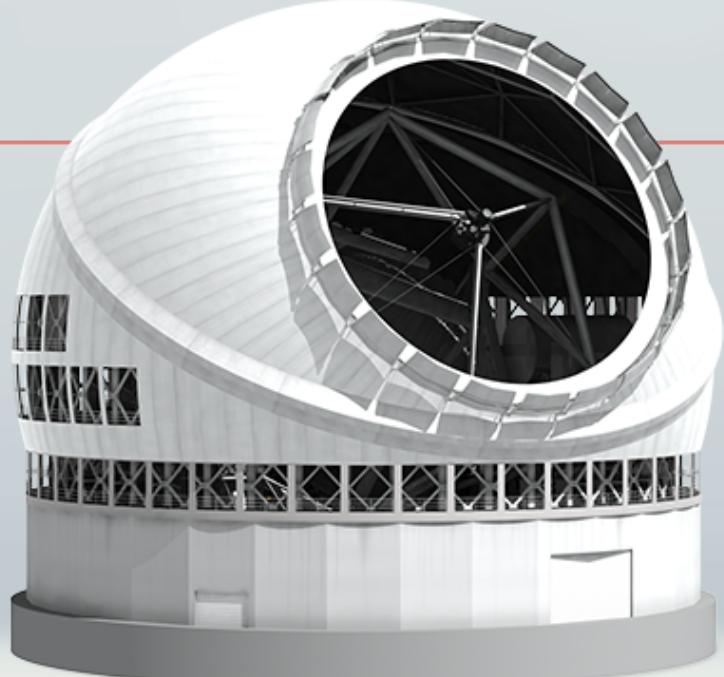
重量を大きさの3乗とすると、TMTは $550 \times (30/8.2)^3 \sim 27000$ トン

2600トン

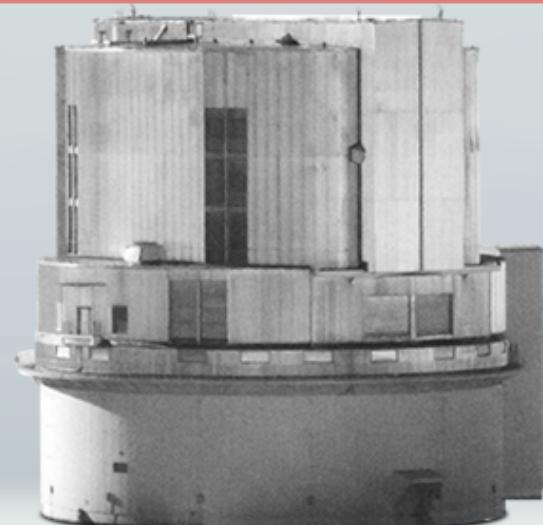
TMT 56m

550トン

すばる望遠鏡 43m



TMTはすばる望遠鏡に比べて
口径が4倍近く大きいが、ドー
ムはひとり回り大きいサイズにと
どまっている。



● 環境条件

- 観測条件
- 生存条件(地震など)

● システム要件

- 重量
- 電力

● 指向追尾精度

- 指向精度
- 追尾精度

● 振動要求

- インタフェース(CS: control sys)
- ENC (Enclosure), SUM (Summit), NFIRAOS (AO), LGSF (Laser guide star facility, CRYO (Cryo cooling system), IRIS, WFOS
- M1 Optics, M2, M3, CLN (Cleaning), TINS (Test instrument), TCS (Telescope CS), M1CS, APS (Alignment and Phasing system), OSS (Observatory safety system), ESEN (engineering sensors)

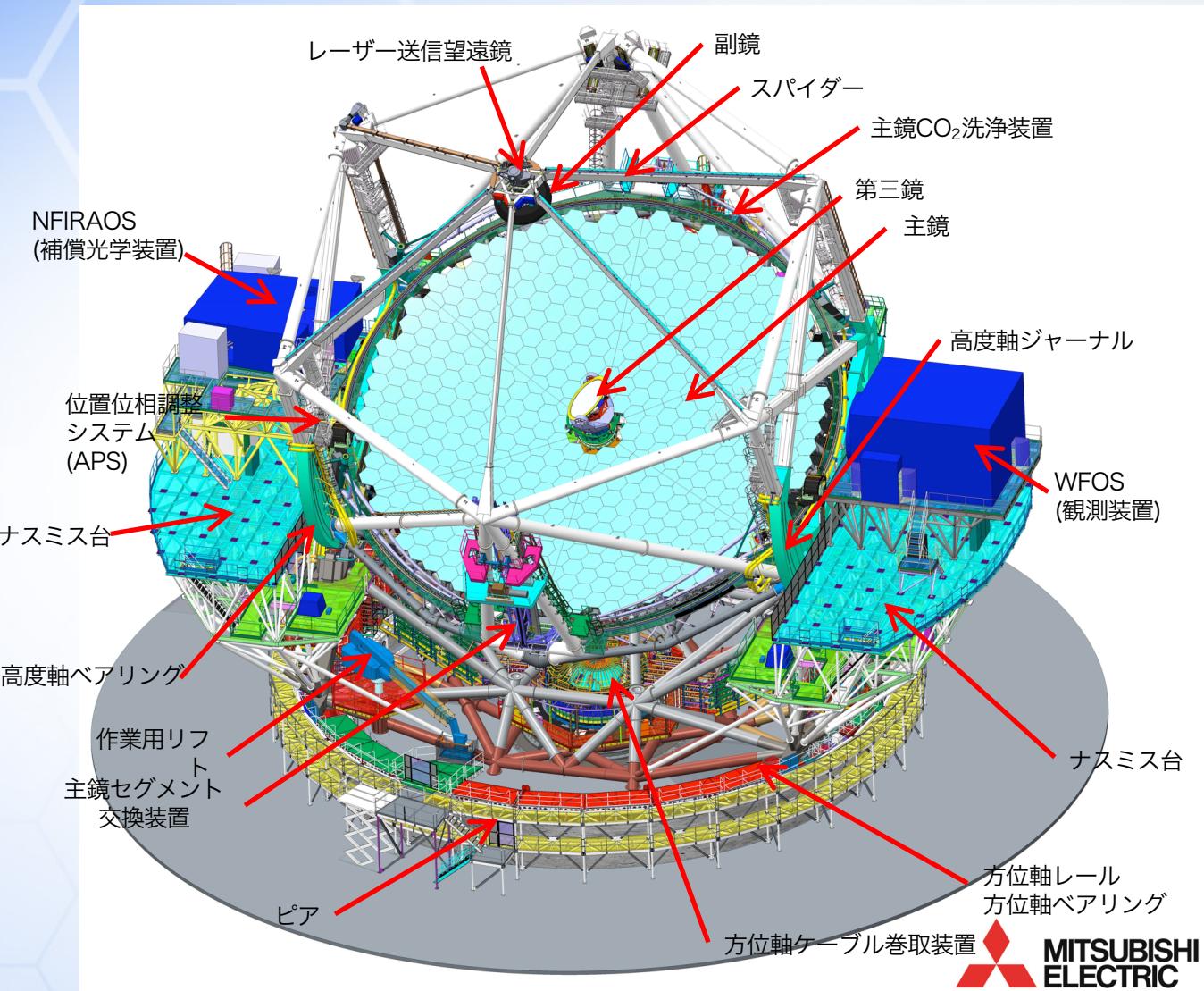
- 1000年に一度の地震が来ても復旧できる。
- 免震機構の試作(ある閾値で動作する)



- 空間分解能はすばる望遠鏡の約4倍よいため、要求される追尾精度も約4倍よくする必要がある。
- 駆動機構にダイレクトドライブシステムを採用(リニアモーターカー方式)
- 試作をして、コギングトルクの評価。



その他の装置とのインターフェース



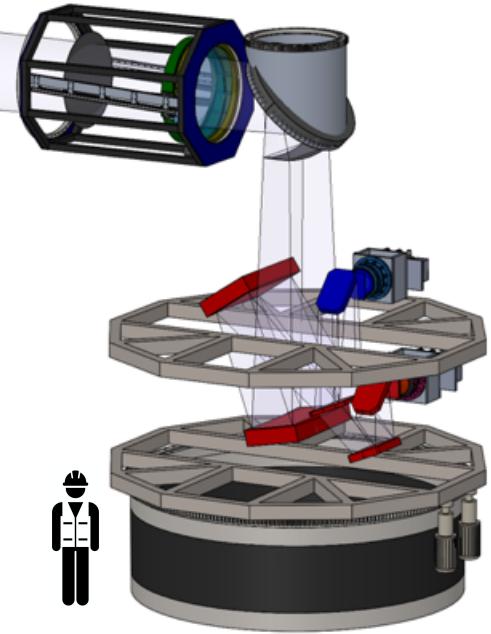
第1期観測装置



IRIS
(近赤外撮像分光装置)

日本(国立天文台)、UC・カルテク、カナダ(NRC)が分担して開発・製作

詳細設計中、日本は撮像部を担当する
ほか、全体のシステムエンジニアリングも担当している。

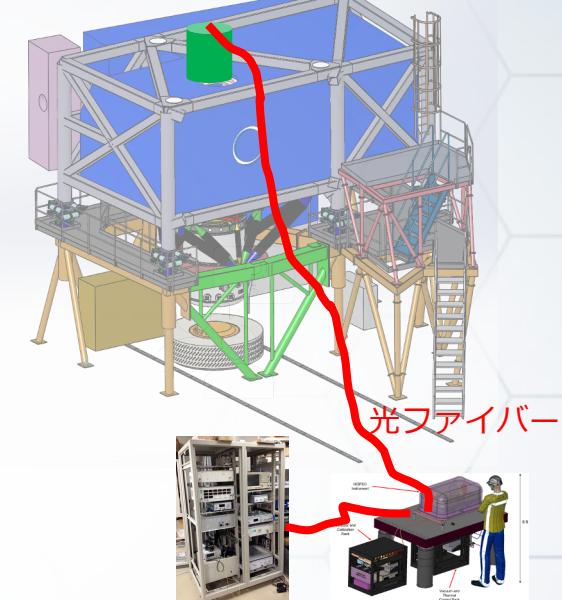


WFOS
(可視広視野多天体分光装置)

UCが中心となって概念設計を実施中

国立天文台は設計および要素技術開発
に人的貢献を行っている。

補償光学装置 (NIRAO)



MODHIS
(多天体回折限界近赤外高分
散分光装置)

カルテク・UCが中心となって概念設計
と実施中

国立天文台は人的貢献による設計・検
討に参加している。

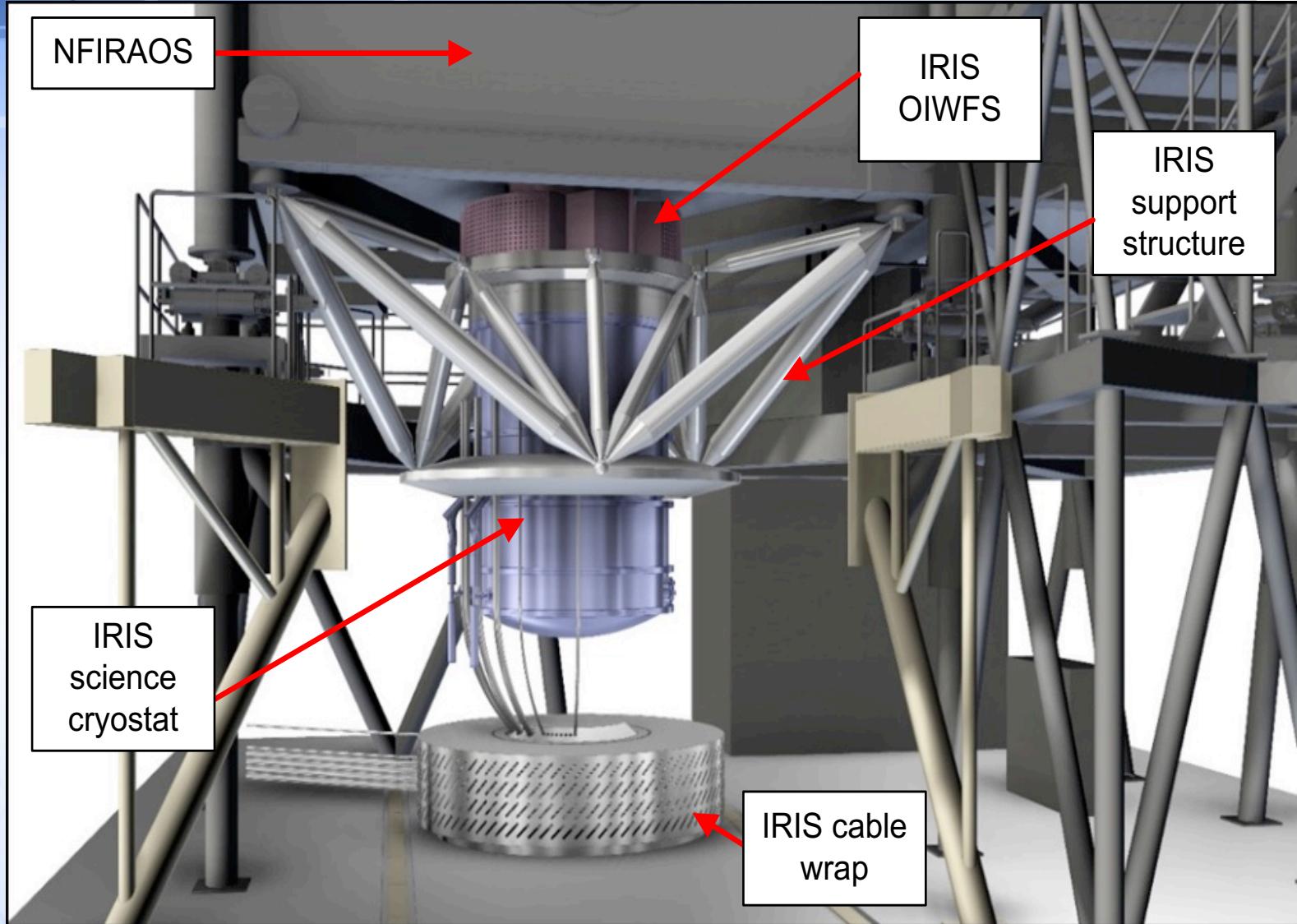
IRISの基本仕様

Requirement #	Description	Requirement
[REQ-1-OAD-3070]	Wavelength Range	0.84 – 2.4 μ m
[REQ-1-OAD-3072]	Image quality	Aberrations uncorrectable by an order 60x60 AO system should not add wavefront errors larger than 40 nm RMS in imaging and fine IFU modes
[REQ-1-OAD-3074]	FoV, IFU	Up to 3 arcsec for integral field mode, in one spatial direction
[REQ-1-OAD-3076]	FoV, Imaging	>30x30 arcsec for imaging mode
[REQ-1-OAD-3078]	Detector Sampling, Imaging	0.004 arcsec per pixel (Nyquist sampled (I/2D)) over 4096 pixels for IFU)
[REQ-1-OAD-3080]	Spatial Sampling, IFU	Plate scale adjustable 0.004, 0.009, 0.025, 0.050 arcsec/spaxel for IFU
[REQ-1-OAD-3084]	Spectral Bandpass	Broad infrared bands in single exposure, but smaller wavelength coverage ($D\lambda/\lambda \leq 0.05$) is acceptable for area coverage equivalent to 100*100 spatial pixels.
[REQ-1-OAD-3086]	Spectral Resolution	R=4000 over Y,J,H,K bands, one band at a time R=5-100 for imaging mode
[REQ-1-OAD-3088]	Throughput	>30% for IFS, Not including telescope or NFIRAOS
[REQ-1-OAD-3089]	Throughput	>40% for imager, not including telescope or NFIRAOS
[REQ-1-OAD-3090]	Instrument background	The instrument should not increase the (inter-OH) background by more than 5% (TBC) over the sum of: inter-OH sky, telescope and NFIRAOS background.
[REQ-1-ORD-3092]	Instrument Background	In imaging mode the instrument should not increase the K-band background by more than 15% over natural sky.

IRIS modes

Capability mode	Spatial sampling (mas)	Field of View (arcsec)	Resolution (l/dl)	Min/Max wavelength (mm)	Bandpass ³
Imager	4 mas	34 x 34	Set by filter	0.84-2.4	60 filters BB ¹ and NB ²
Slicer IFS					
88x45 Spaxels	50 mas	4.4 x 2.25	4,000, 8,000	0.84-2.4	20%, 5%
Slicer IFS					
88x45 Spaxels	25 mas	2.2 x 1.125	4,000, 8,000	0.84-2.4	20%, 5%
Lenslet IFS					
112x128 Spaxels	9 mas	1.01 x 1.15	4,000	0.84-2.4	5%
Lenslet IFS					
16x128 Spaxels	4 mas	0.45 x 0.51	4,000	0.84-2.4	5%
Lenslet IFS					
16x128 Spaxels	9 mas	0.144 x 1.15	4,000, 8,000	0.84-2.4	20%, H+K
	4 mas	0.064 x 0.51		0.84-2.4	20%, H+K

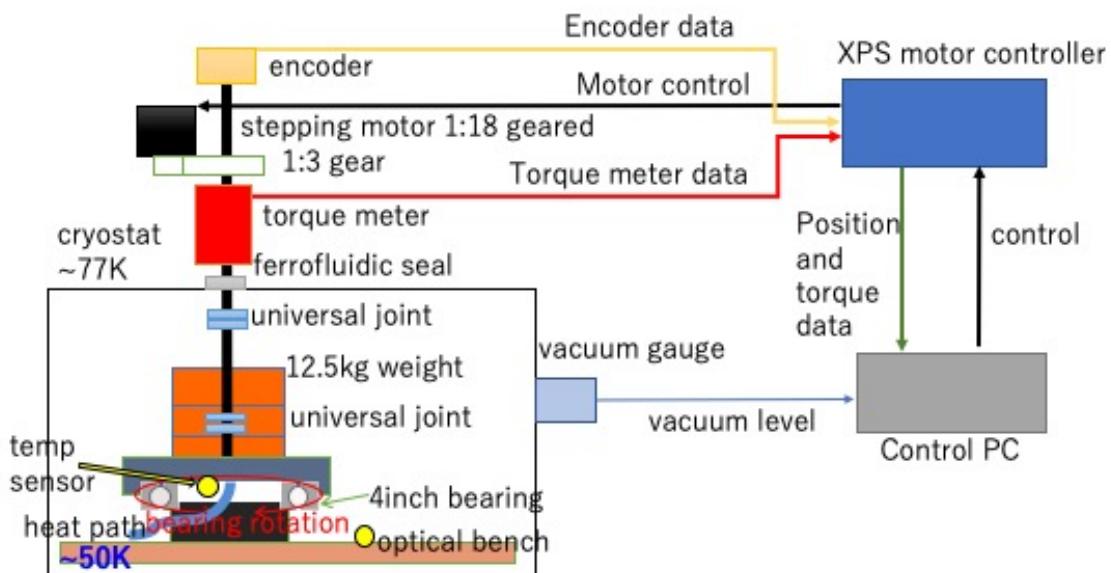
NFIRAOSに取り付けられたIRIS



技術的なチャレンジ

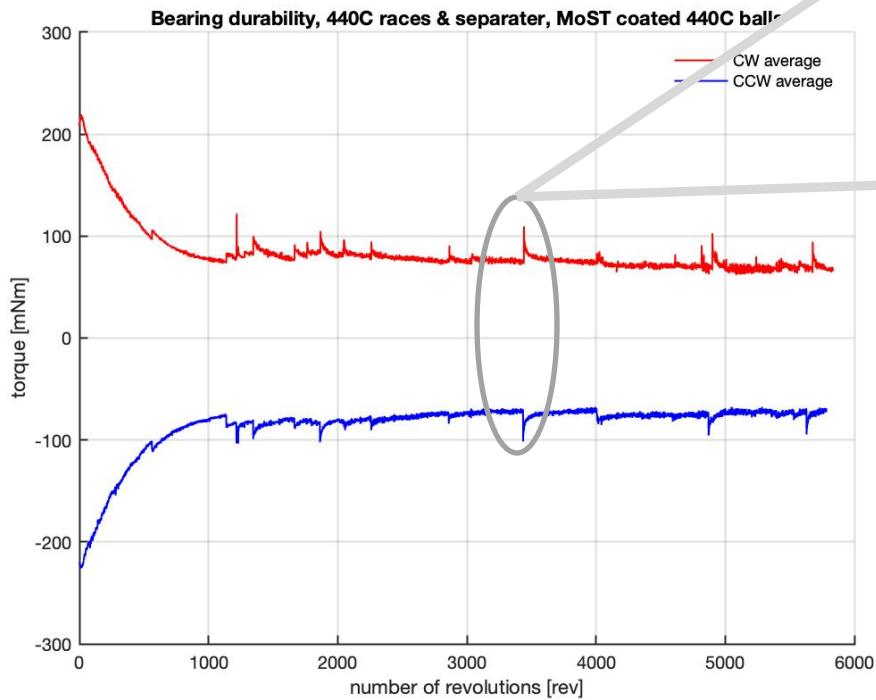
- 非常に小さい波面誤差(40nm rms)を達成する光学系
 - 午後の発表
- 30マイクロ秒の相対アストロメトリ
 - これまでに達成されたことのない精度
 - 10マイクロ秒 = 1/400ピクセル = 38nmの精度で天体の位置を決定
 - 天体、大気、望遠鏡、AO、装置をキャリブレーション、補正
- 非常に安定したシステム
 - 高精度のアストロメトリを達成するために、5-10年間は装置を開けない
 - 高い機械的精度を長期間に渡って保持
 - 真空・冷却下の駆動系の長期耐久性が求められる。

ベアリング耐久試験

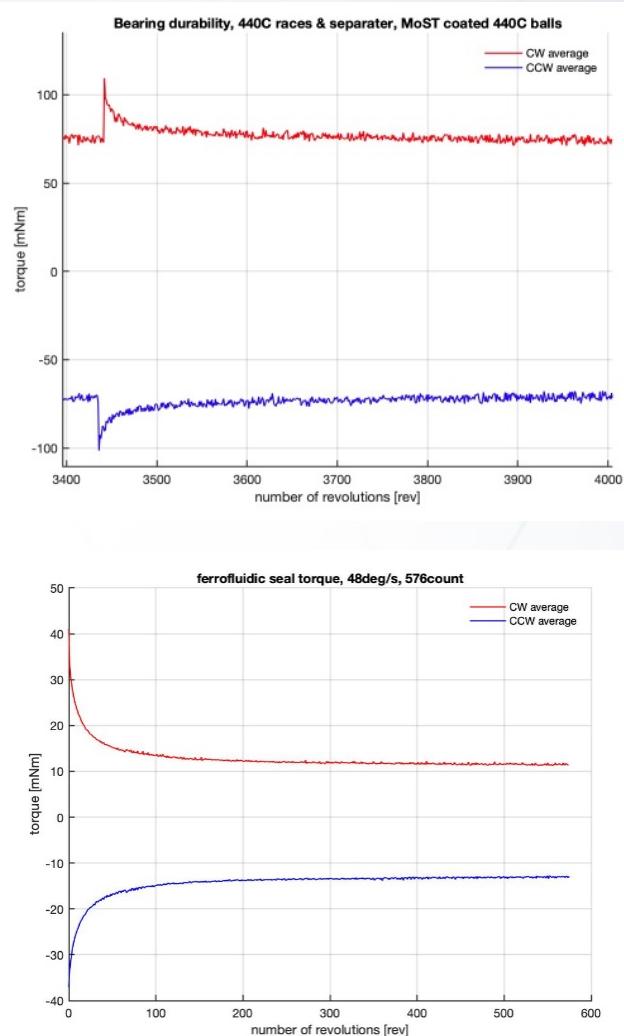


実験系の概略図と写真

ペアリング耐久試験結果



平均トルク. (磁性流体シールトルクと熱パスの屈曲復原力によるトルクを含む)

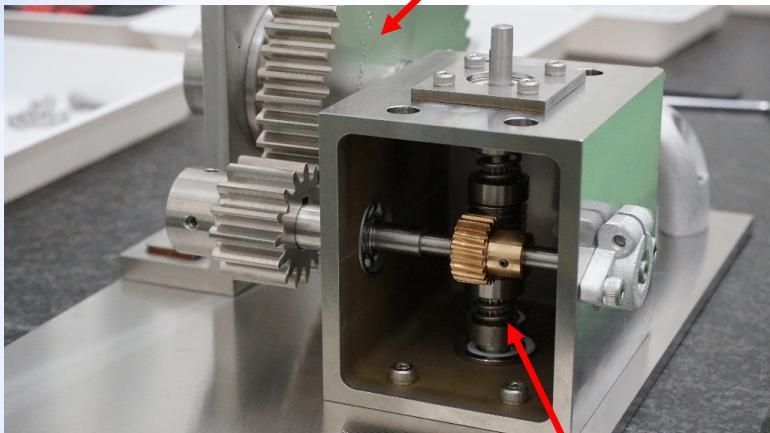


磁性流体シールトルク

ウォームギアドライブの耐久試験

- ダイクロナイトギアは12000サイクルの駆動に耐えたが激しく摩耗をした。
- 超高分子量ポリエチレンのギアに変更した。

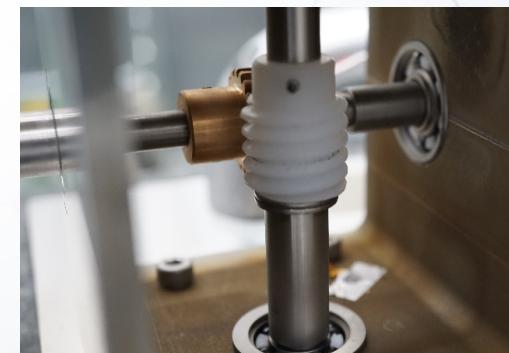
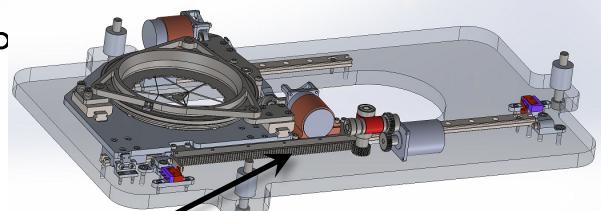
(UHMW-PE) Fly wheel



Spring supported worm gear



damaged worm gear



worm gear (UHMW-PE)

その他の主要要素技術

- コーティング(高反射、AR)
- 冷却・排熱、熱構造解析
- 振動・固有振動数解析
- 遮光、ゴースト・迷光対策
- 電磁ノイズ対策

まとめ

- TMTセグメント鏡の加工工程、外形加工、支持機構試作。
- 望遠鏡構造のチャレンジングな要求仕様と試作による試験、複雑なインターフェース。
- 近赤外撮像分光装置IRISの要求仕様と技術課題。関連する主要な要素技術。