

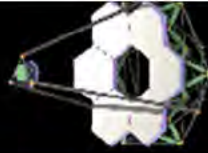


Geostationary  
Earth Observation

# 静止地球観測システムに向けた 大型分割鏡光学系の研究開発

水谷忠均（宇宙航空研究開発機構）

# 常時観測システムの構想図



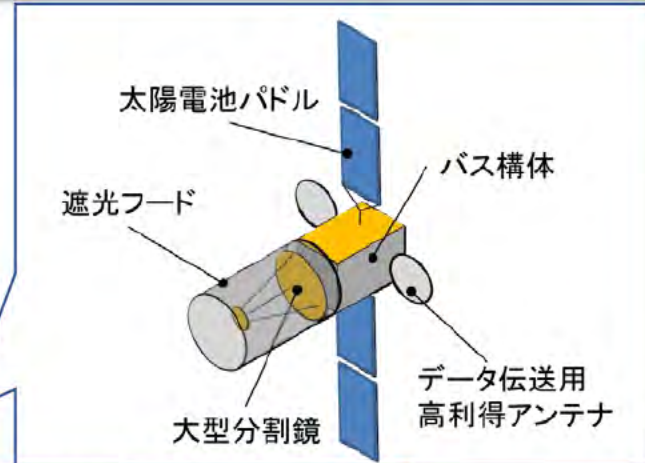
## 既存のインフラ衛星との連携



通信・放送衛星

みちびき「災危通報」  
災害・危機管理通報サービス

最低限の避難情報の  
被災地への配信



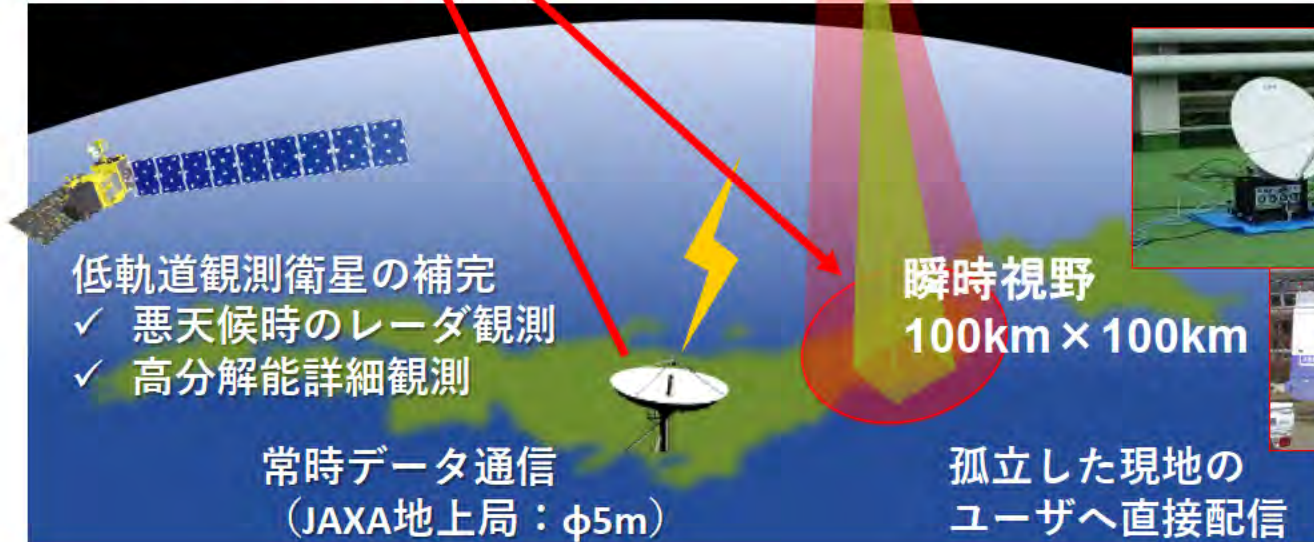
静止地球観測衛星

災害現地への  
迅速な情報提供

可搬型  
アンテナ



衛星通信車



低軌道観測衛星の補完  
✓ 悪天候時のレーダ観測  
✓ 高分解能詳細観測

常時データ通信  
(JAXA地上局: φ5m)

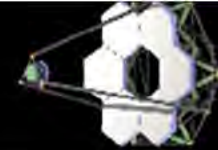
瞬時視野  
100km × 100km

孤立した現地の  
ユーザへ直接配信

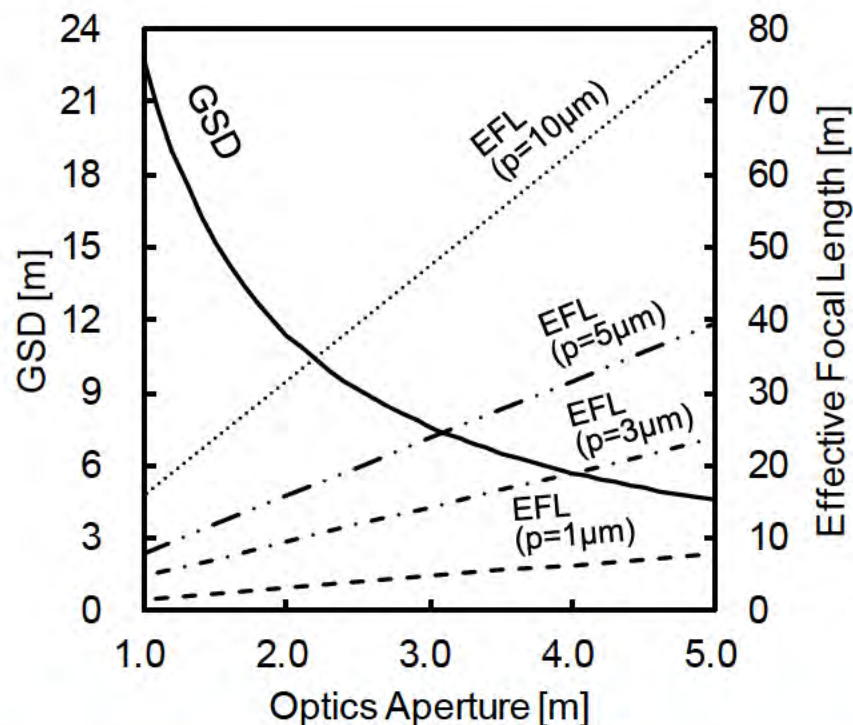
GEO  
QZO

LEO

# 地表面分解能と焦点距離



Ref. Fiete, 1999



- 観測波長：633nm
- 観測高度：36000km
- $\lambda FN/p^{*1}$ ：1.0

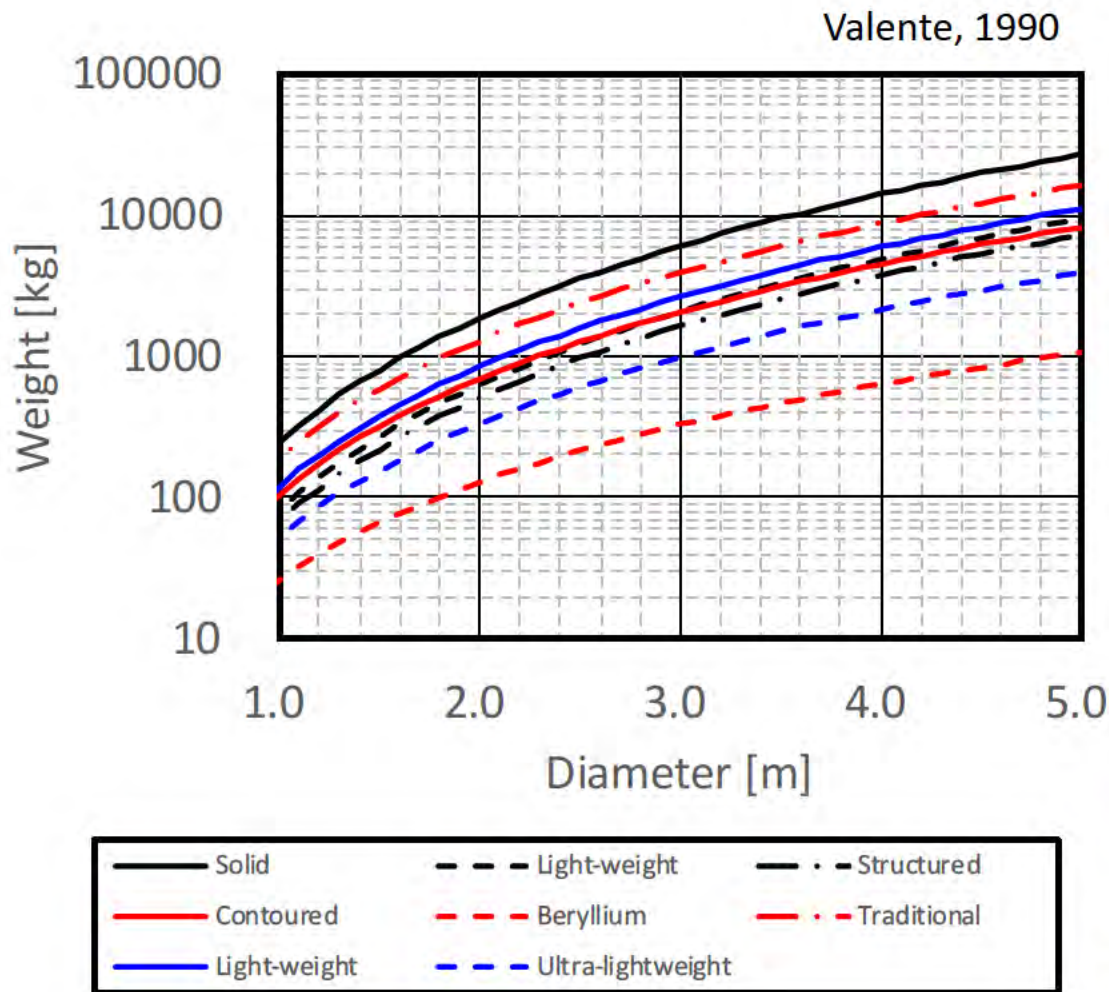
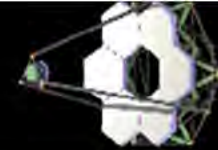
※1  
画質に関するパラメータ。検出器サンプリング周波数と光学系カットオフ周波数の比 ( $2v_N/v_c$ )。  $\lambda FN/p=1.0$  のとき、検出器カットオフ周波数におけるMTFは約0.3となる。

$\lambda$ : 観測波長, FN: f-number(=EFL/aperture), p: 検出器画素ピッチ  
 $v_N$ : 検出器のナイキスト周波数,  $v_c$ : 光学系のカットオフ周波数

EFL	短い	長い
F値	小 (明るい)	大 (暗い)
収差	大	小
光学系寸法	小	大
寸法安定性	厳しい (鏡の曲率大)	厳しい (構造が大)
検出器寸法	小	大
検出器ピッチ	小	大

技術の壁は  
相当高い

# 大口径主鏡の製造性

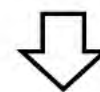


- 鏡の軽量化は必須  
質量は口径の2.6~2.9乗で増大

⇒ 3.5m鏡は1ton超?  
⇒ 軽量化 & 剛性保持

- 高い鏡面精度+高安定化  
要求精度は口径に無依存  
(観測波長に依存)

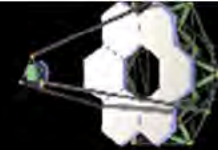
⇒ リードタイム, コスト  
⇒ 宇宙環境 (温度・放射線)



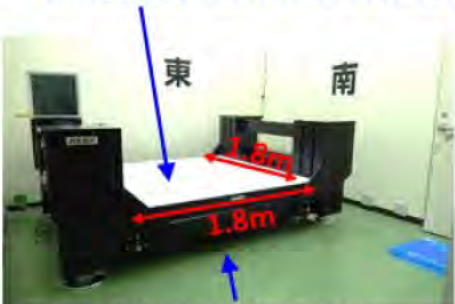
インハウスで実施した研究開発成果  
を活用して課題解決に挑戦

- コーディングセラミックスの鏡材適用
- 網羅的な材料データの活用
- プロトタイプ試作結果の活用

# コーディエライトセラミックス




ゼロ膨張セラミックス (NEXCERA) の定盤  
⇒ 測定基準面の熱膨張の解決




東 南  
1.8m  
1.8m

懸垂型空気浮上除振脚  
⇒ 低重心による振動安定化

低膨張除振定盤の全景  
(高安定試験環境内に設置)  
(1.8m × 1.8m × 1.8mの計測空間)



NEXCERA定盤の表面(ネジ穴)



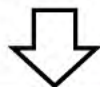
定盤の裏面の軽量化リブ加工

1.8m × 0.6m × 6枚  
の井桁組

**国内最大サイズのゼロ膨張基盤 (CTE: -0.02ppm/K) を構築**  
⇒ 測定系基準面の熱変形に起因する測定誤差を低減  
⇒ 中型ミッション機器単体、小型ミッション部全体に対応可能

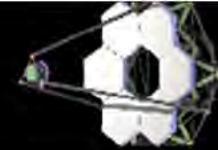
10 神谷他, 2015

1メートルを超える構造体が製作可能であることが確認できた

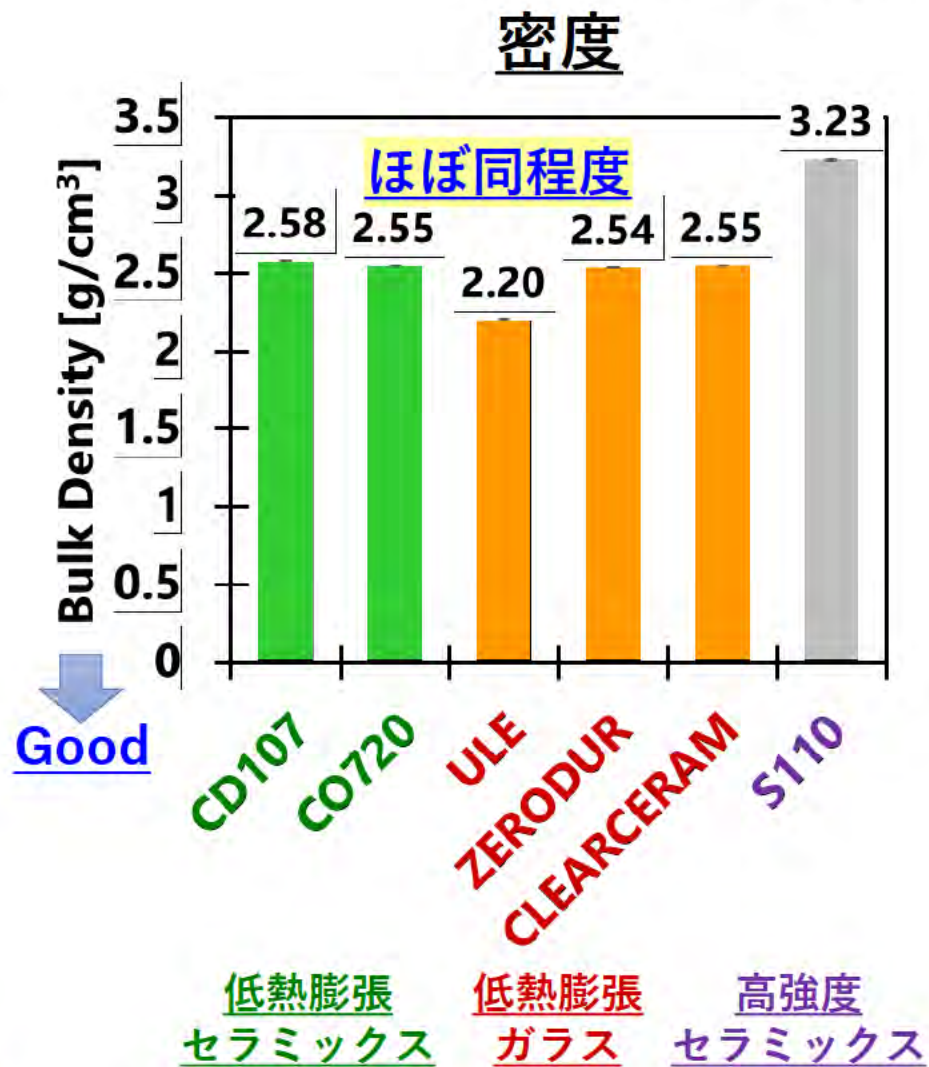
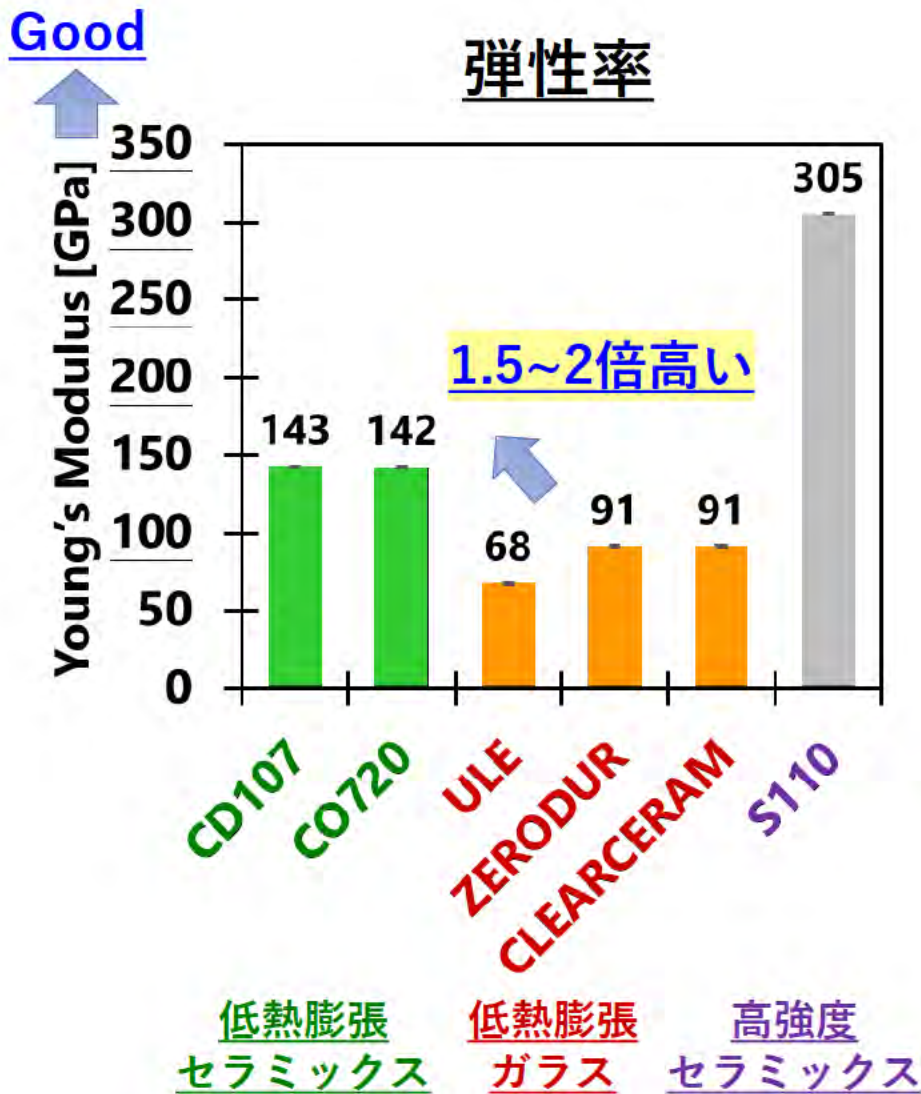


コーディエライトセラミックスの**大型鏡への適用可能性**に着目

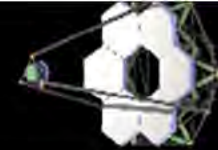
# 材料試験 - 弾性率と密度 -



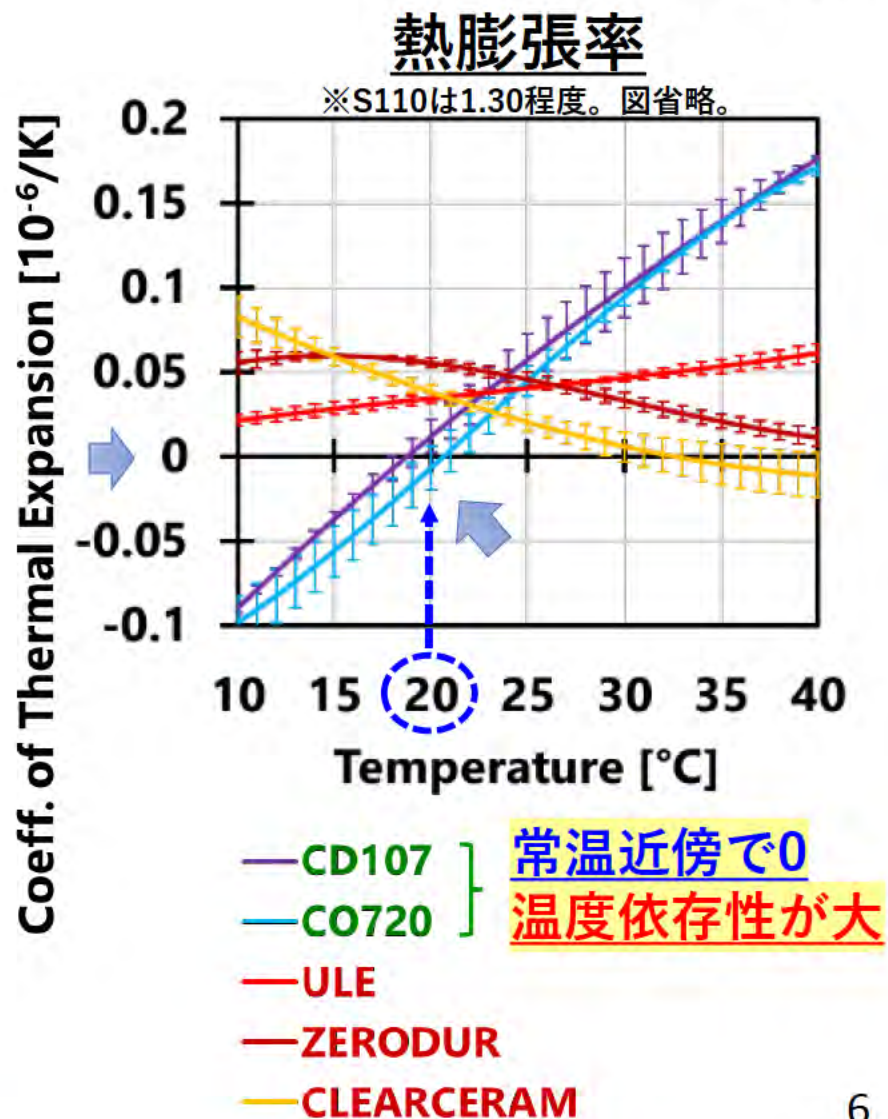
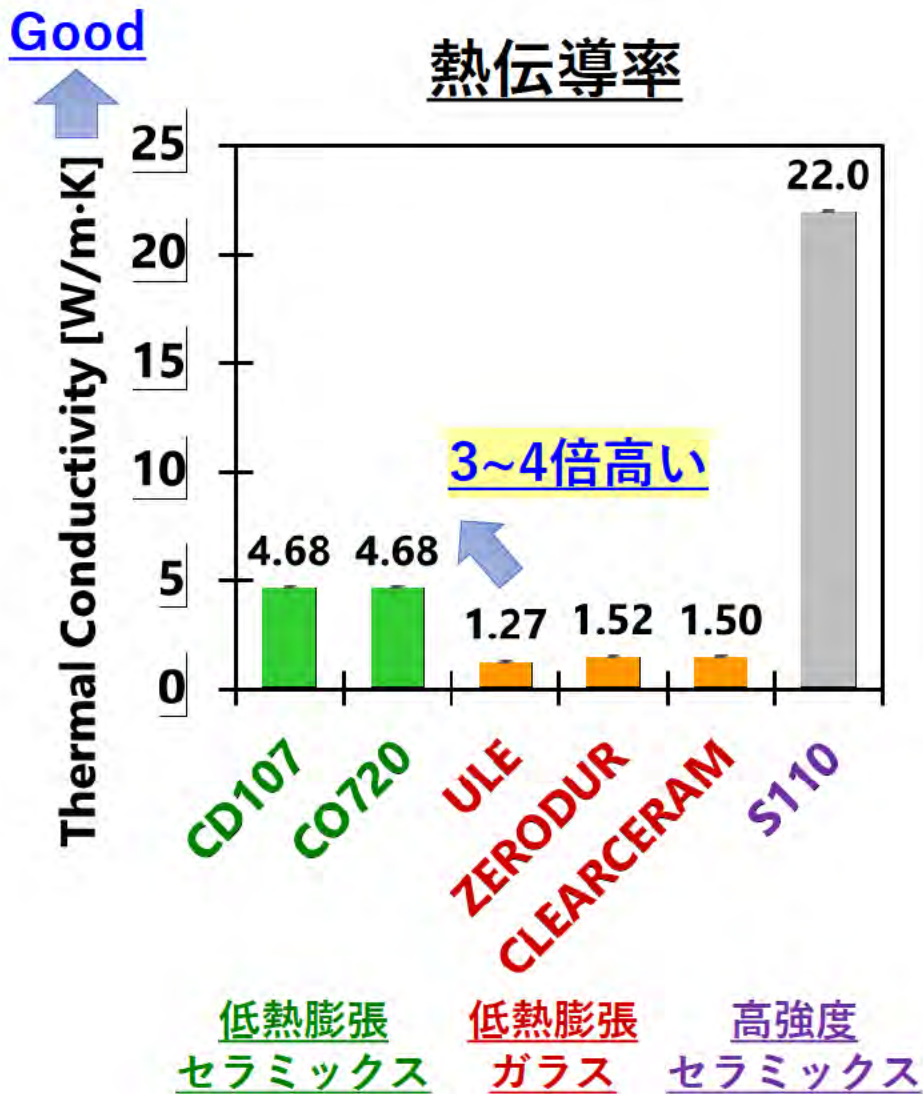
神谷他, 2018



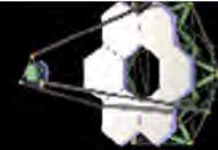
# 材料試験 - 熱伝導率と熱膨張率 -



神谷他, 2018



# 主鏡の構成：一枚鏡と分割鏡



## 地上望遠鏡

口径8-10mが1枚鏡の限界と言われている。近年は分割鏡方式の大型望遠鏡開発が主流。

## 宇宙望遠鏡

口径2m前後で分岐点があると思われるが、単純なトレードオフにはならない。

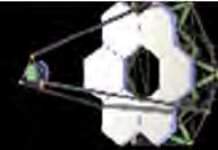
- ✓ 口径が2m以下の場合、明らかに一枚鏡のほうが有利。
- ✓ 口径が2m超の場合、分割鏡は製造面および将来の拡張性で有利と思われるが、光学性能確保のためにリスクの高い技術開発（波面合成技術）が必要となる。
- ✓ いずれも赤外領域の冷却望遠鏡ではあるが、欧州では接合鏡（Herschel）、米国では分割鏡（James Webb Space Telescope）の大口径主鏡が開発済／開発中。

	Diameter <2m		Diameter >2m	
	One-Piece	Segmented	One-Piece	Segmented
Optical Performance	◎	○	◎	○
Active control	NO	YES	YES	YES
Mirror Mass	○	△	△	○
Production Time/Cost	○	△	△-	○
Design expansion	○	△	△	○
Result	One-Piece for <2m		Segmented for >2m	

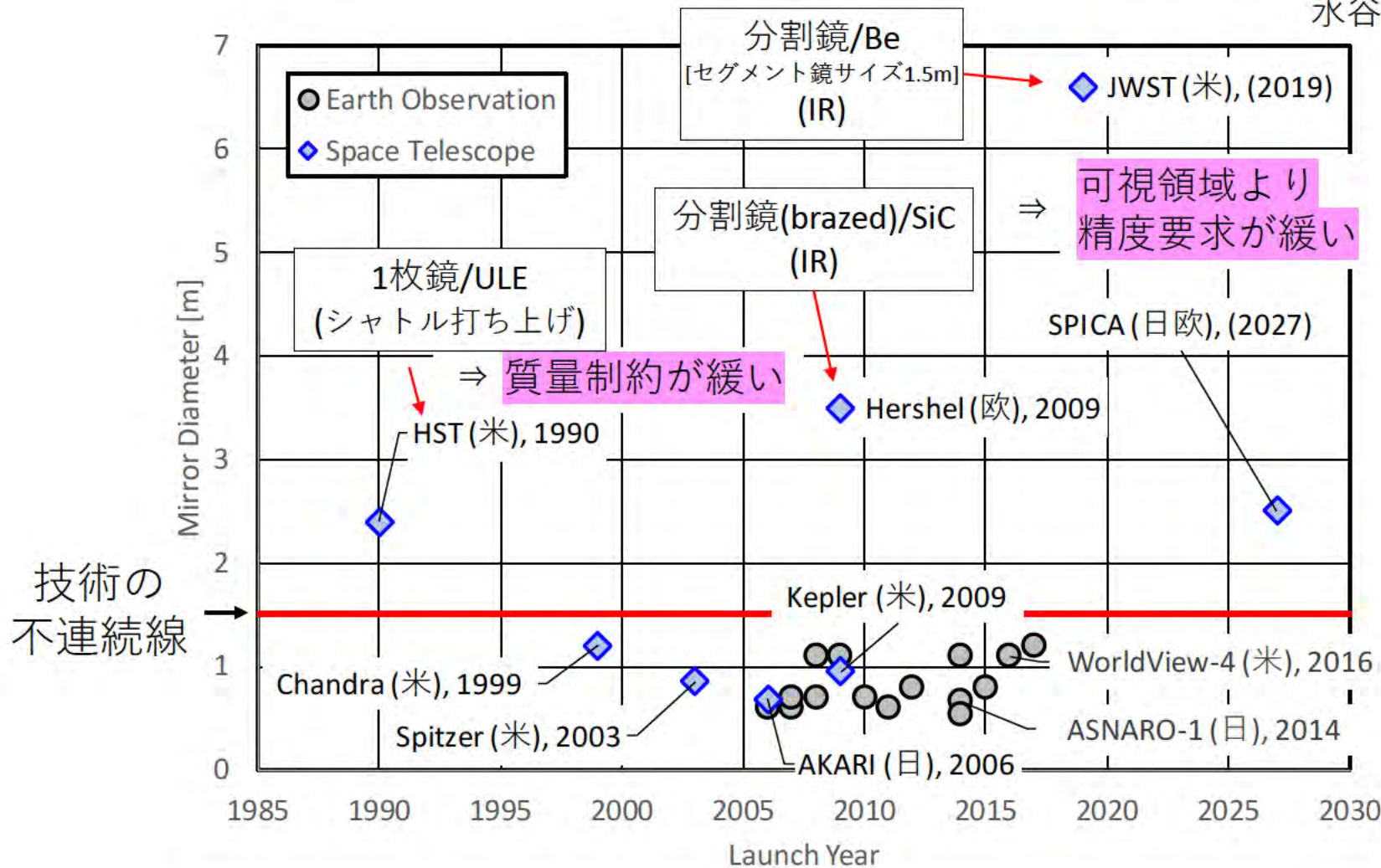
将来への拡張性を考慮し、分割鏡構築技術に挑戦



# 人工衛星搭載の大型鏡（可視・赤外）

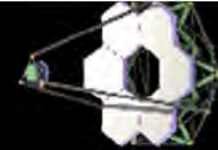


水谷他, 2017

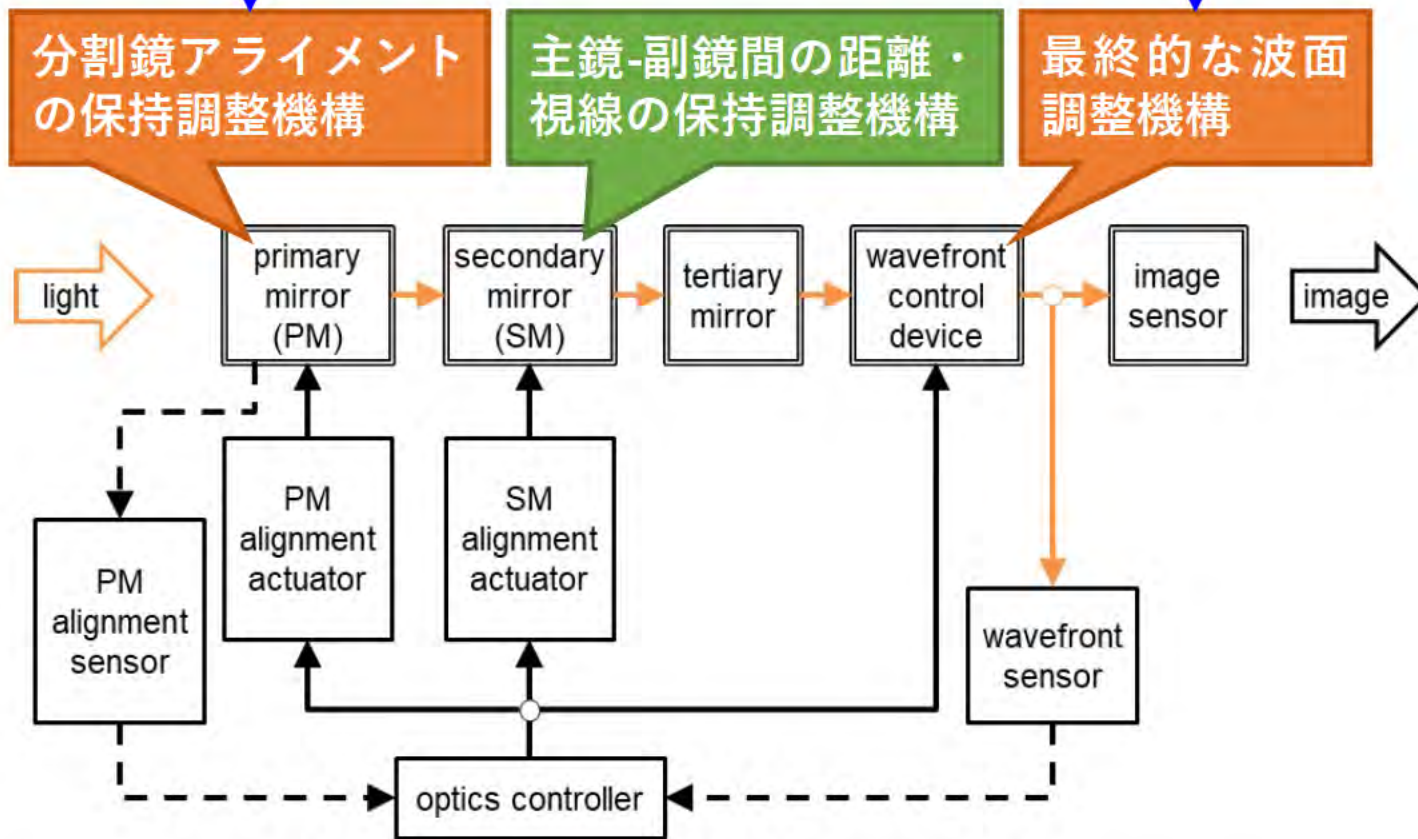


口径2mを超える大型鏡実現には**分割鏡の技術開発**が必要  
 衛星搭載・可視光領域の分割鏡技術は**未知の技術領域**

# 分割鏡を想定した集光光学系



H/Wの新規開発を含めた  
軌道上位相整合 (Phasing) 技術



Subaru Telescope  
(8m@Hawaii)

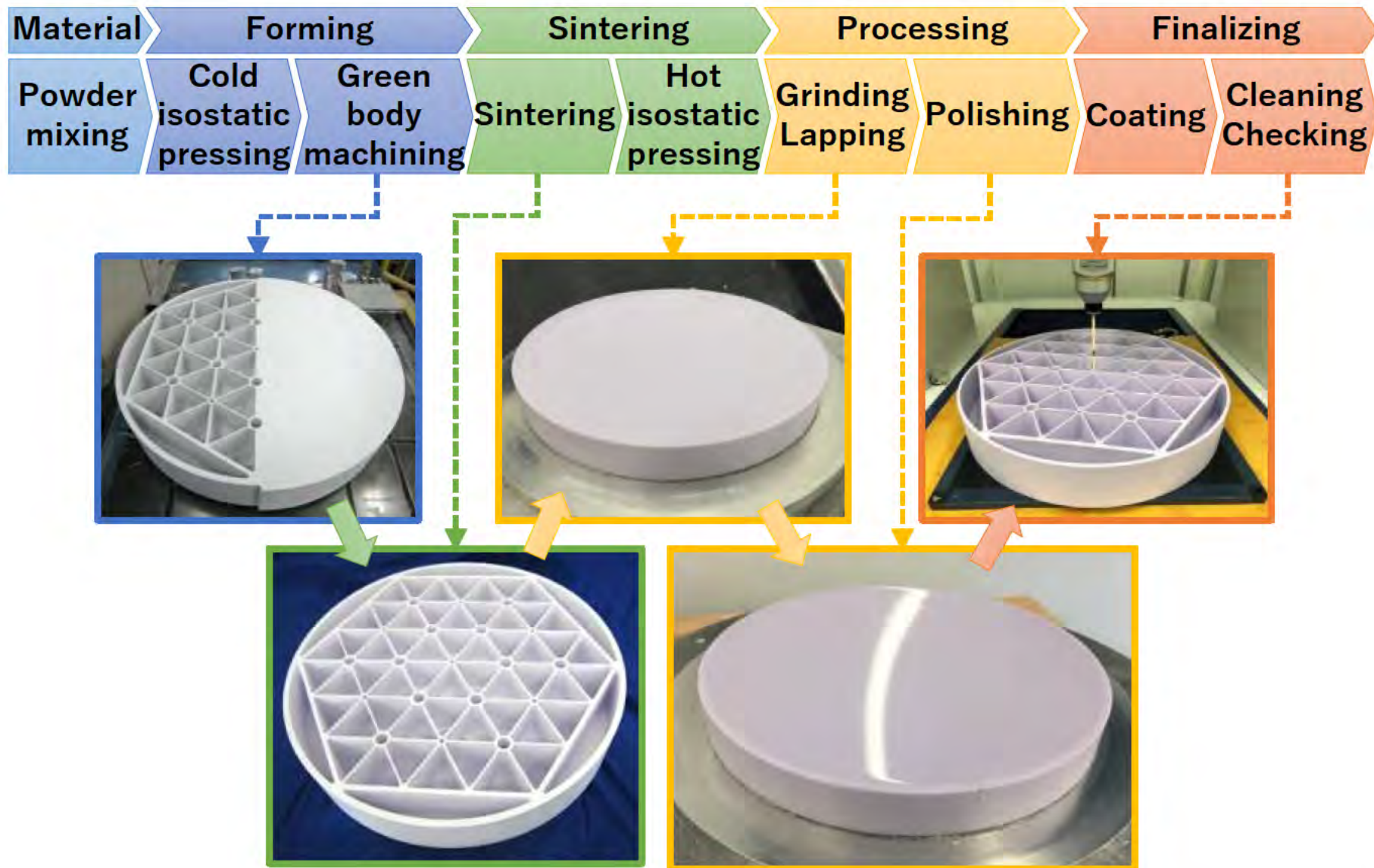
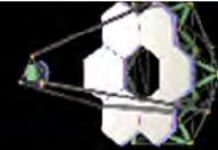


Seimei Telescope  
(3.8m segmented @Okayama)

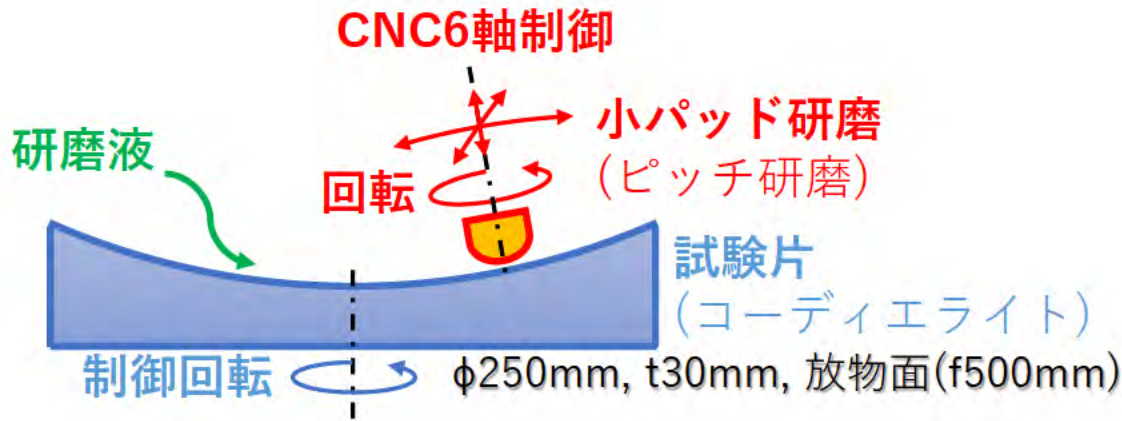
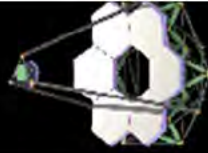
地上望遠鏡の  
active/adaptive  
光学技術を活用

調整機構は**10nmオーダーの調整精度**が必要。ただし、地上望遠鏡とは違い、高周波数の補正（大気揺らぎ補正）は想定しない。

# コーディエライト分割鏡の加工技術

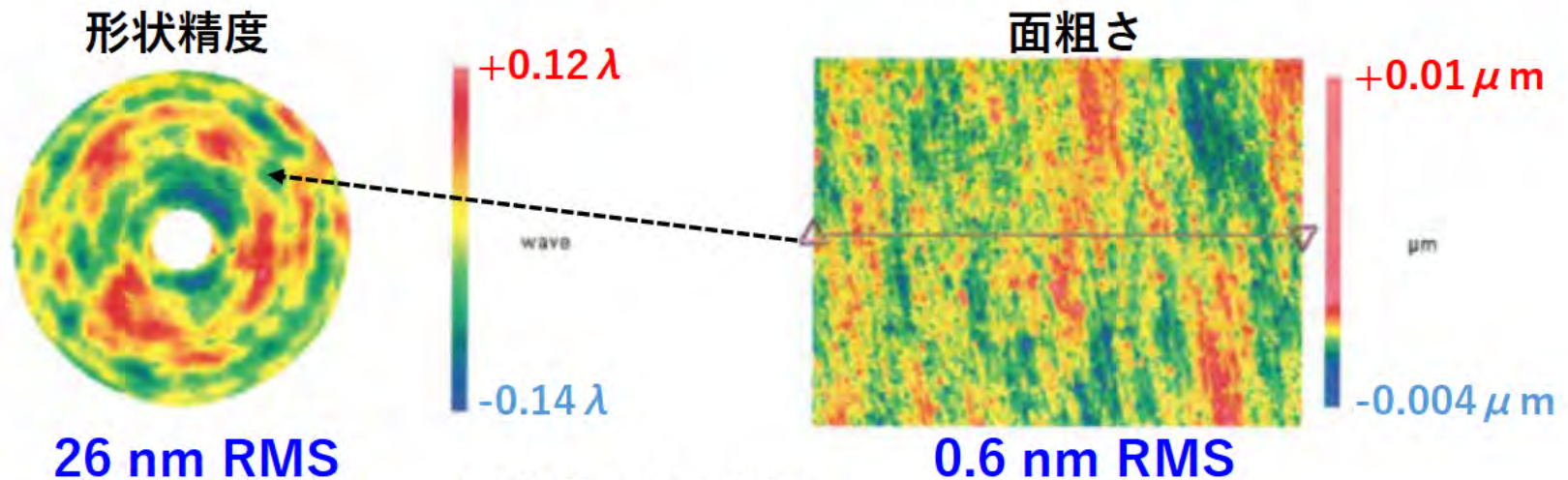


# 加工技術 - 鏡面加工(研磨テスト) -



研磨後の表面

## CNC小パッド研磨の概要

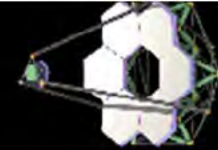


※目標：30 nm RMS

## 研磨後の測定結果

※目標：1 nm RMS

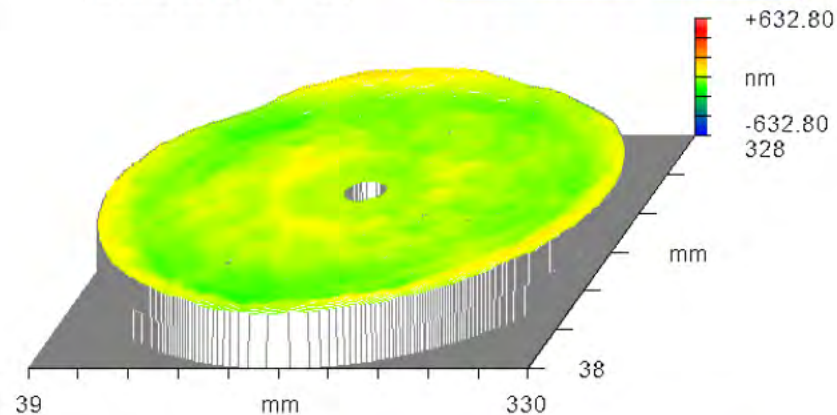
# プロトタイプ試作 – 小型サイズ



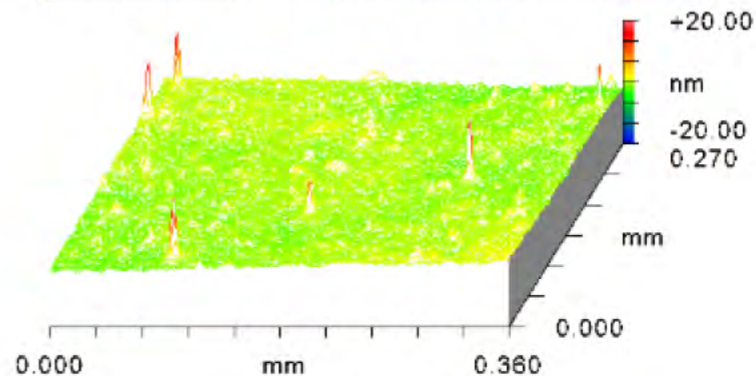
## φ0.3m小型プロトタイプミラー



形状精度 ← 35 nm RMS

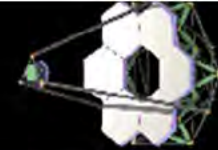


面粗さ ← 0.8 nm RMS



軽量化リブ構造(25kg/m<sup>2</sup>以下)に対して高精度鏡面を達成

# プロトタイプ試作 - 中型サイズ

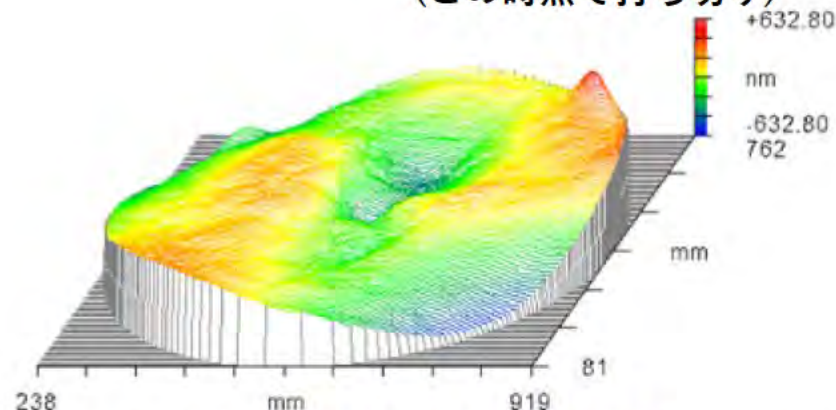


## φ0.7m中型プロトタイプミラー



形状精度 ← **154 nm RMS**

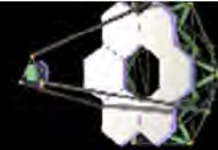
(この時点で打ち切り)



- ✓ 基板製作はすべて仕様を満足。
- ✓ 中型サイズの研磨も事前予測通りで、問題ないことを確認。  
→ 研磨は150nm程度で打ち切り。
- 中型プロトタイプは、今後の予定である分割鏡技術の確認と試験検証の供試体として活用する。

中型サイズ(0.7m級)の基板製作, 研磨加工の**実現性**を確認

# まとめ



- 常時観測システムの構想と期待される需要，すなわち「即時観測」に対する重要性を説明した。また，「動画観測」による新たな需要発掘も期待される。
- 常時観測システムを構成する重要な要素である静止地球観測衛星の構想案とキー技術を説明した。
- JAXA研究開発部門では，コーディエライトセラミックスの宇宙望遠鏡への適用可能性に注目し， $\Phi 3.5\text{m}$ 分割鏡から構成される静止地球観測衛星システムの実現を最終目標とした研究開発活動を進めている。
- 研究開発成果が広く活用されることを期待したい。