

京大3.8m可視・近赤外 望遠鏡の技術



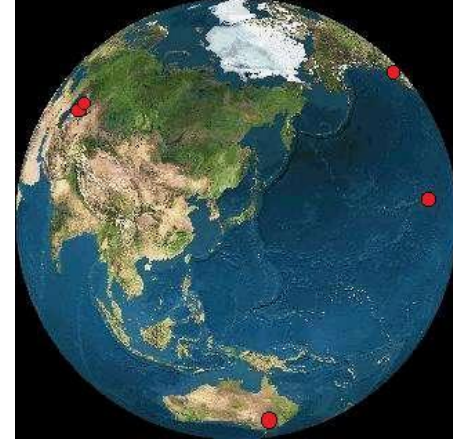
栗田光樹夫

京都大学

180319

arie adrian photo by all rights reserved 国立天文台

計画と望遠鏡



日本周辺の4m級望遠鏡

8 m

タイムドメインが主題

分光ができる4m級

188cm望遠鏡の後継機

研究だけでなく、国内の実験、教育拠点

口径: 3.8 m (東アジア最大)

焦点: ナスミス × 2 F/6

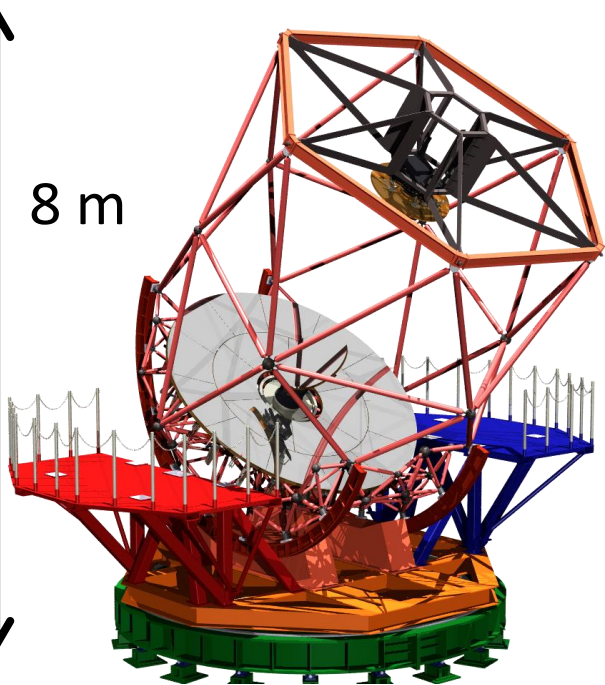
視野: 10', 1°

観測波長: 0.4 ~ 4.2 μm

補償光学: J, H bands

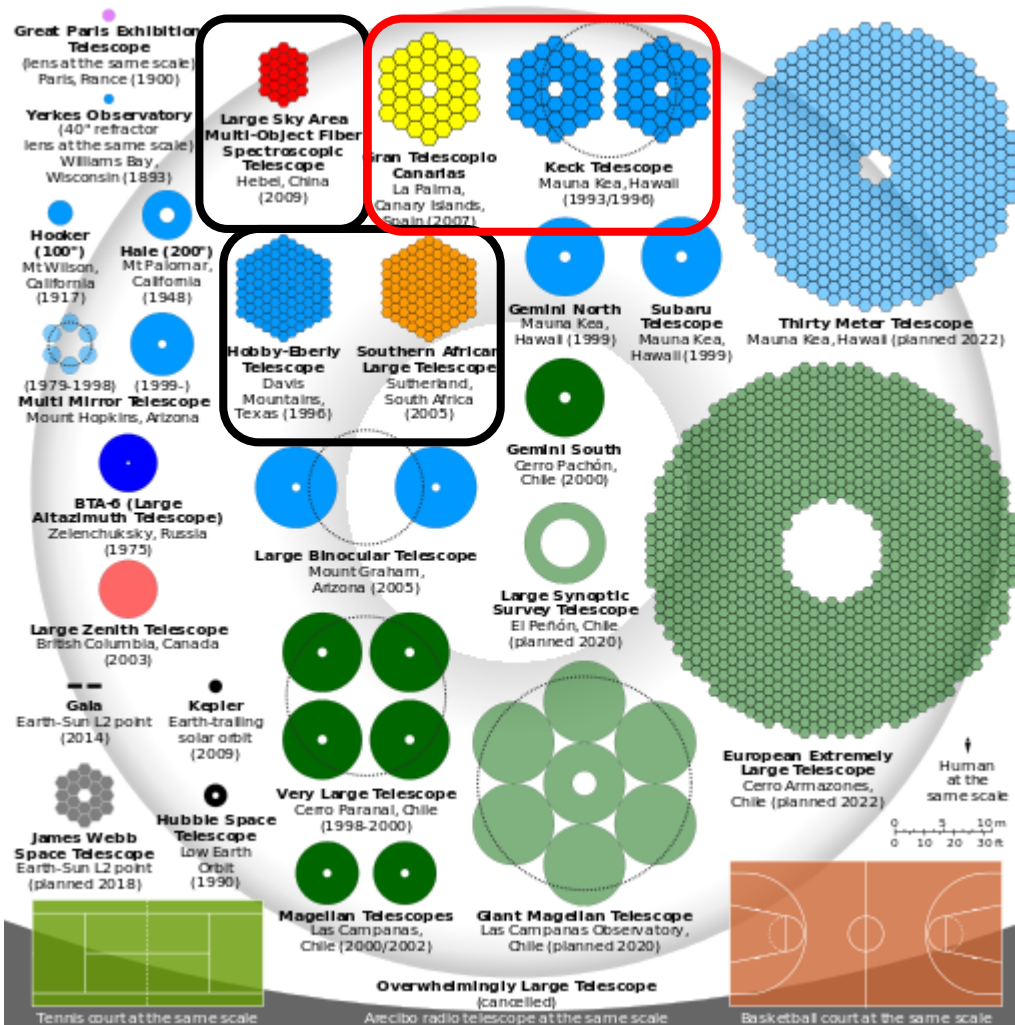
指向時間 < 1分

8 m



20トン

世界の分割鏡望遠鏡



分割鏡は世界で6台

鏡の段差(位相)まで合わせているのはKeck系列のみ

3.8m望遠鏡は2例目の位相合わせを行う望遠鏡

地上可視近赤外線観測の特徴

- (電波と異なり、) 大気ゆらぎの影響を大きく受ける
- フリード長 r_0 を超える口径の望遠鏡は回折限界を達成できない。地上では r_0 =数十cm



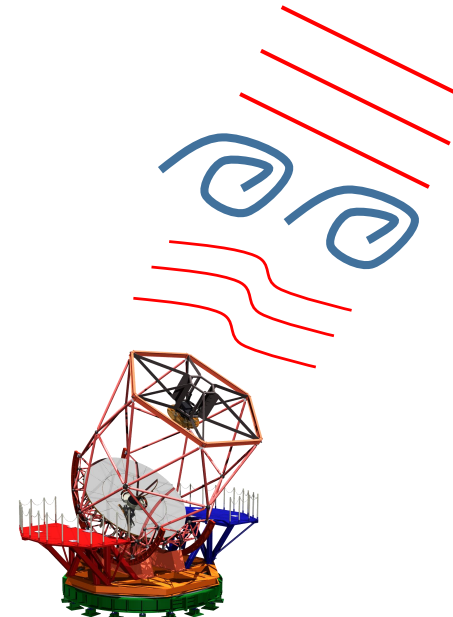
鏡面の姿勢と段差(位相)が
合った状態
口径を生かした集光と結像性能

- ・分光
- ・シーイングリミット撮像
- ・回折限界撮像(with AO)



鏡面の姿勢のみが正しく、
段差(位相)が合っていない状態
口径を生かした集光のみ

- ・分光
- ・シーイングリミット撮像



分割鏡：18枚＋基準リング

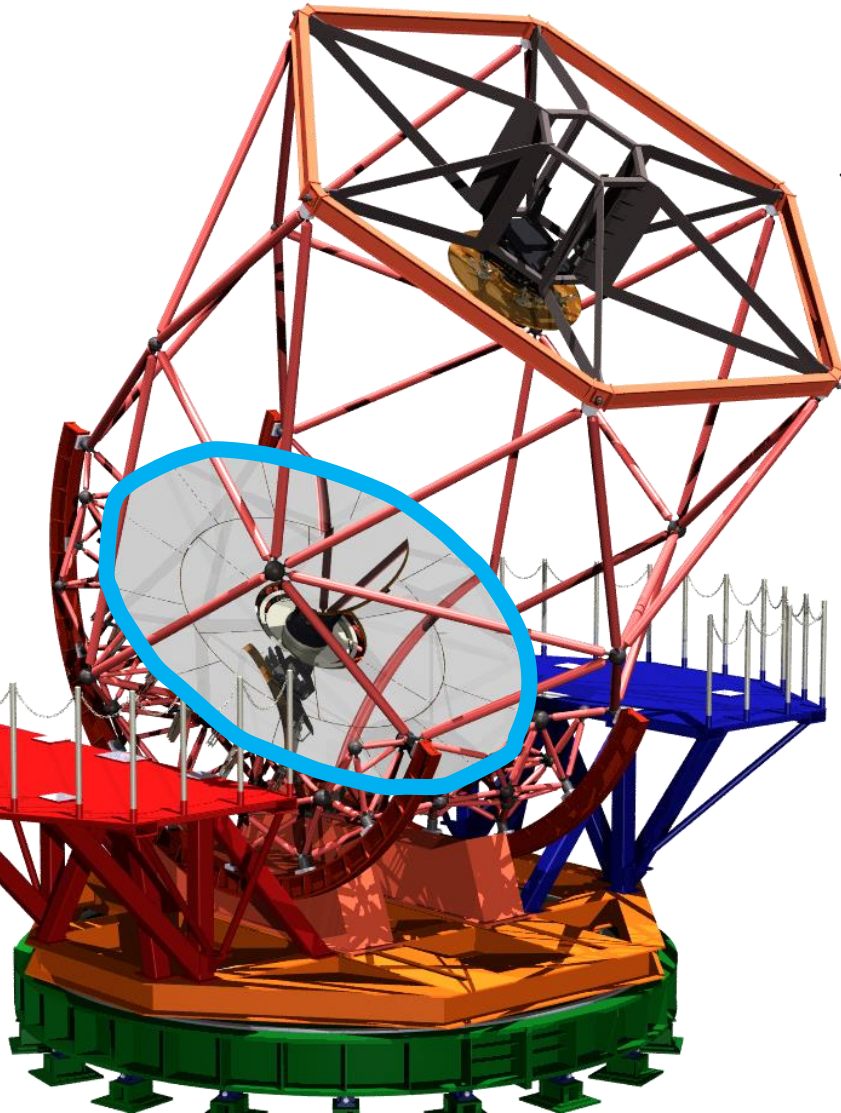
大きさ：～1m、70kg

要求精度：RMS < 50 nm

●外乱

架台の重力変形・熱変形：～100 μm 変動は遅い

風圧：300 nm @1 Hz 10 nm @10 Hz



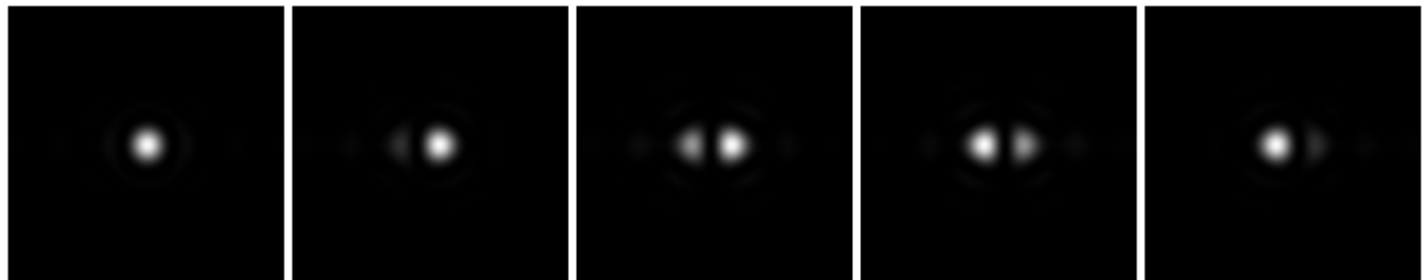
鏡面合わせ

- 観測開始前にSHWFSでTilt、**位相カメラ**でPistonを計測



カメラ

Keck望遠鏡の方式

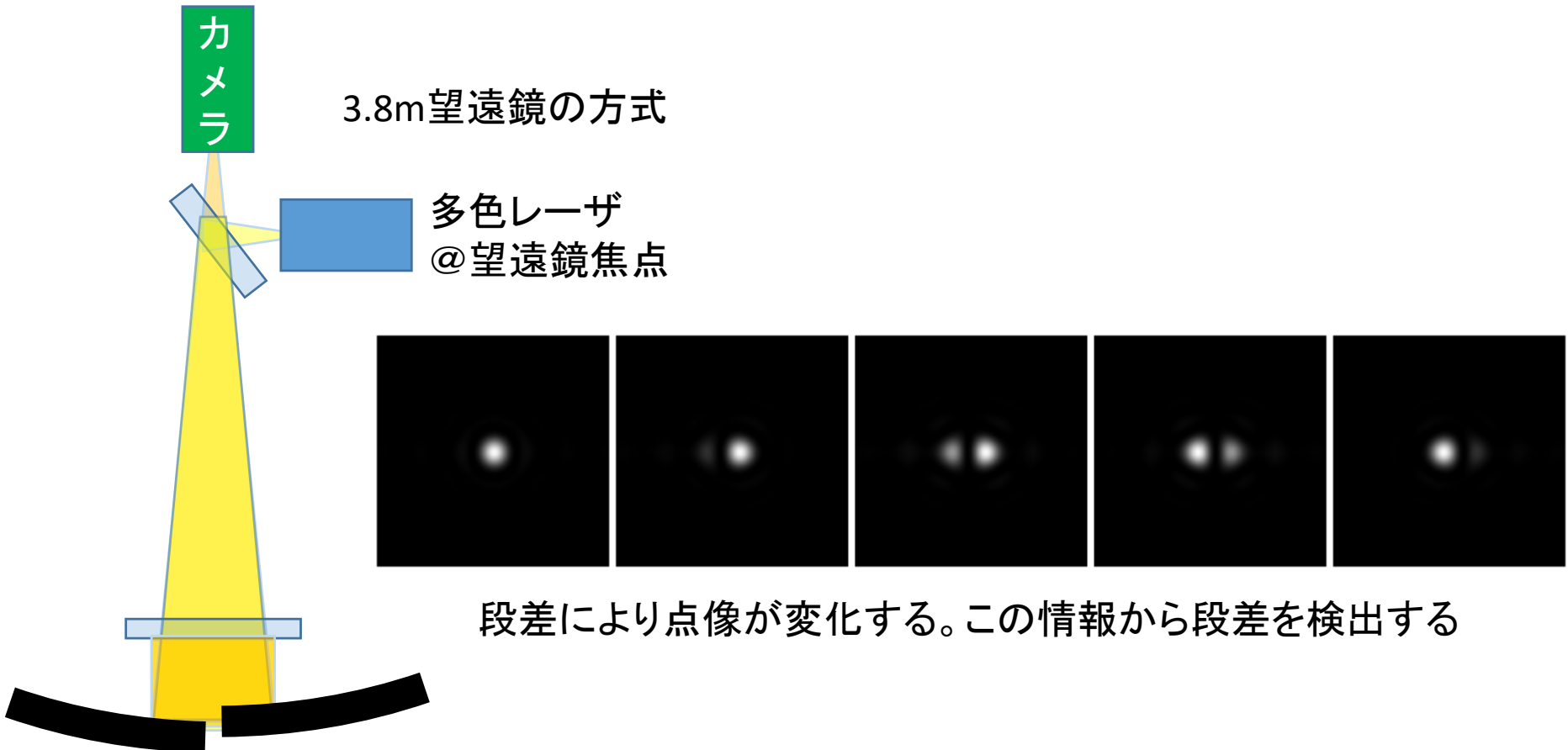


段差により点像が変化する。この情報から段差を検出する

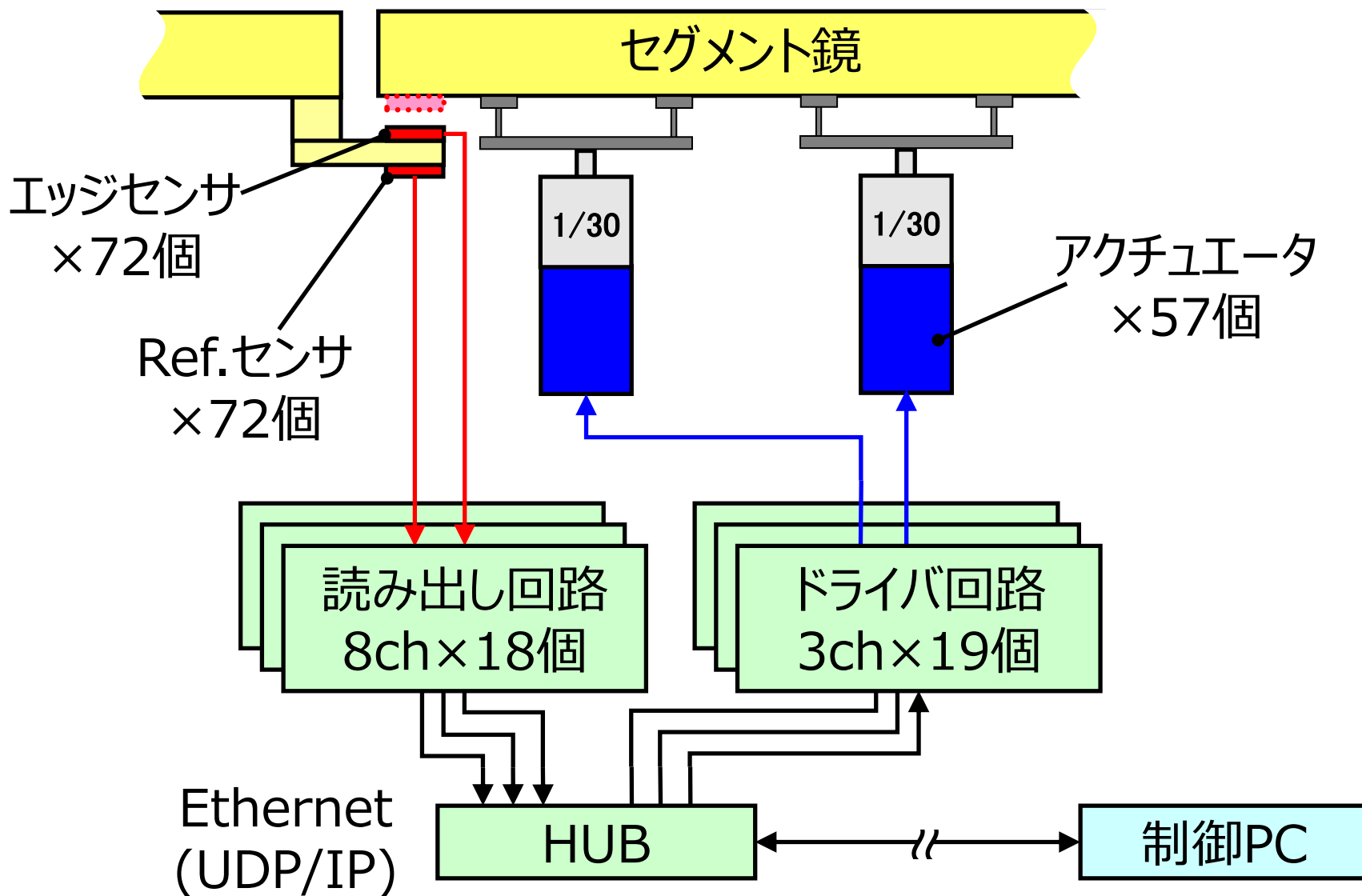


鏡面合わせ

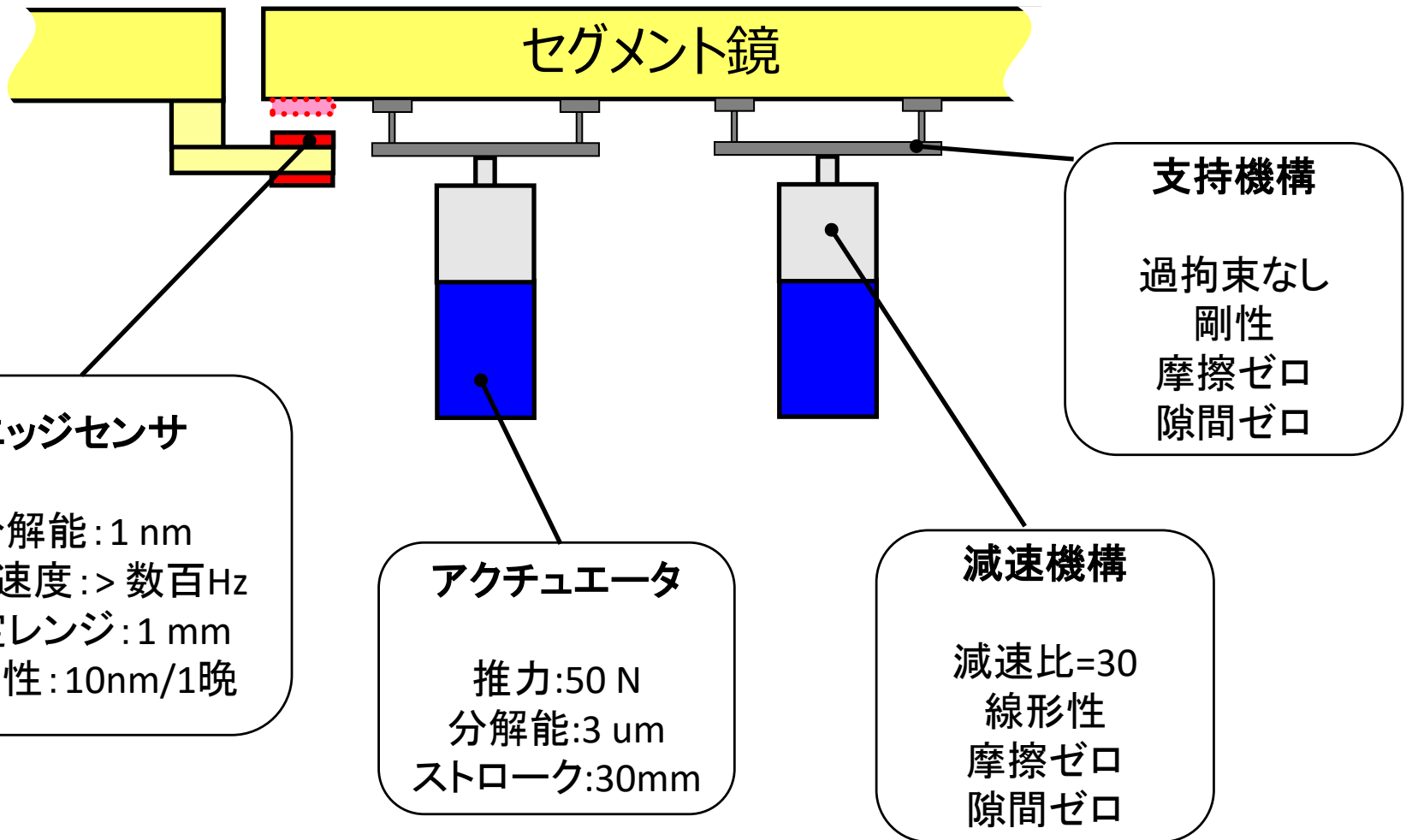
- 観測開始前にSHWFSでTilt、**位相カメラ**でPistonを計測

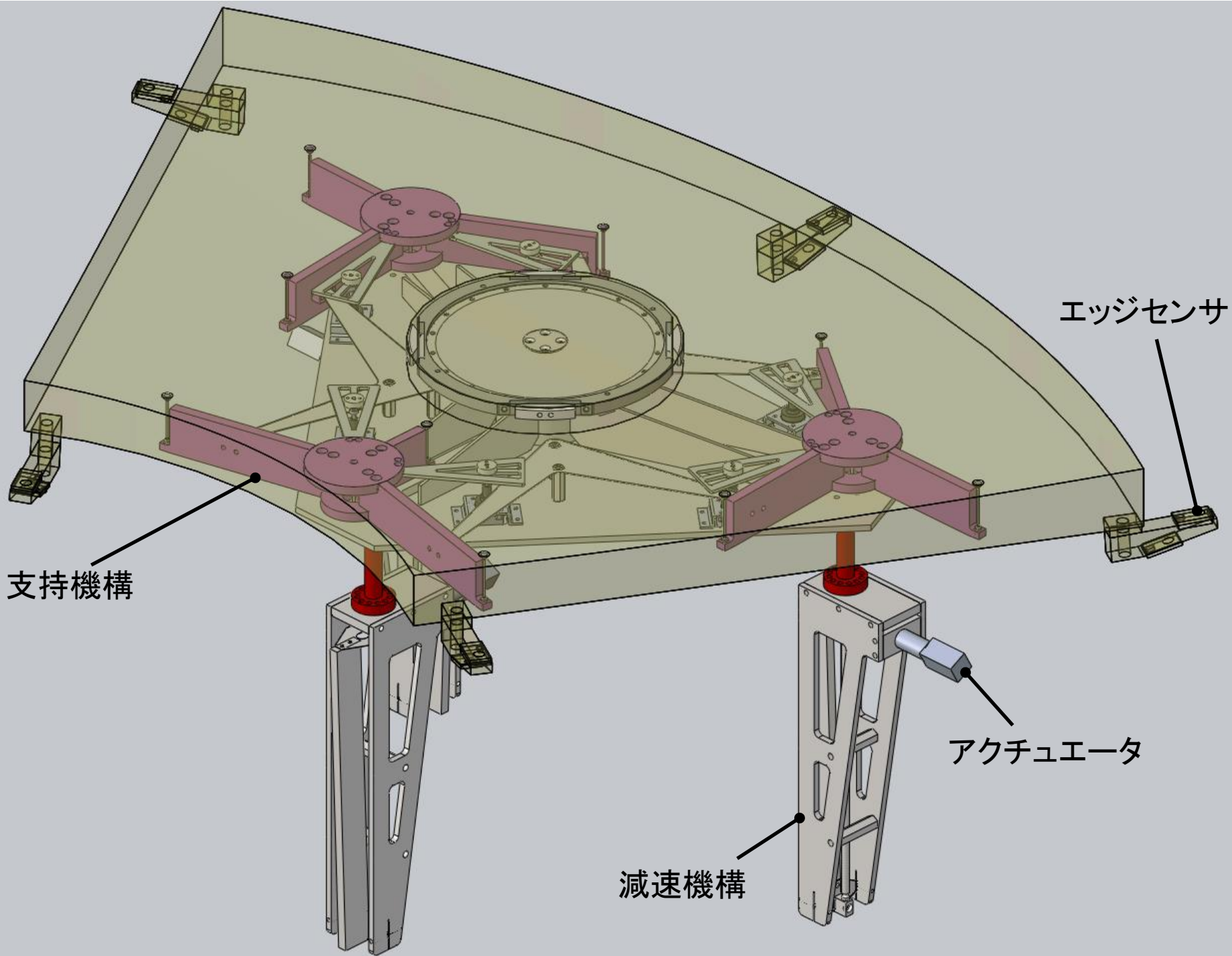


制御システム



制御機構





エッジセンサ

支持機構

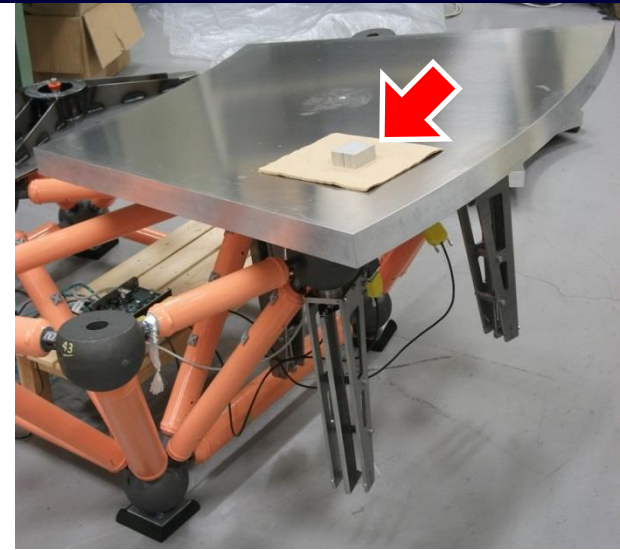
アクチュエータ

減速機構

外乱に対する応答

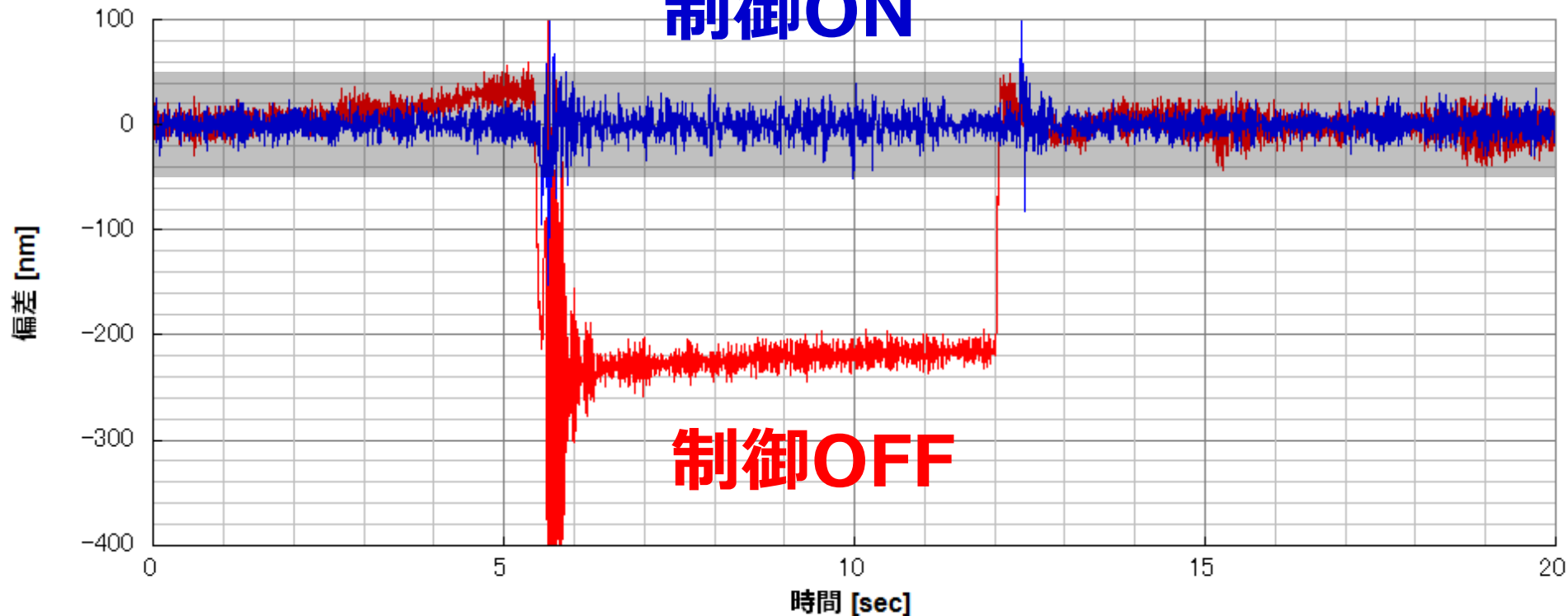
■ 重さ90gwのアルミ片を鏡面上に置く → 退ける

- 風の影響 : 60gf @1Hz
(屋外での風速 10m/s)



制御ON

制御OFF

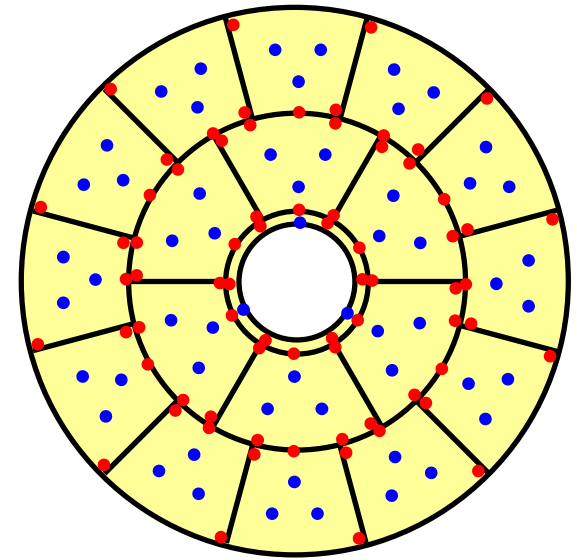


制御アルゴリズム

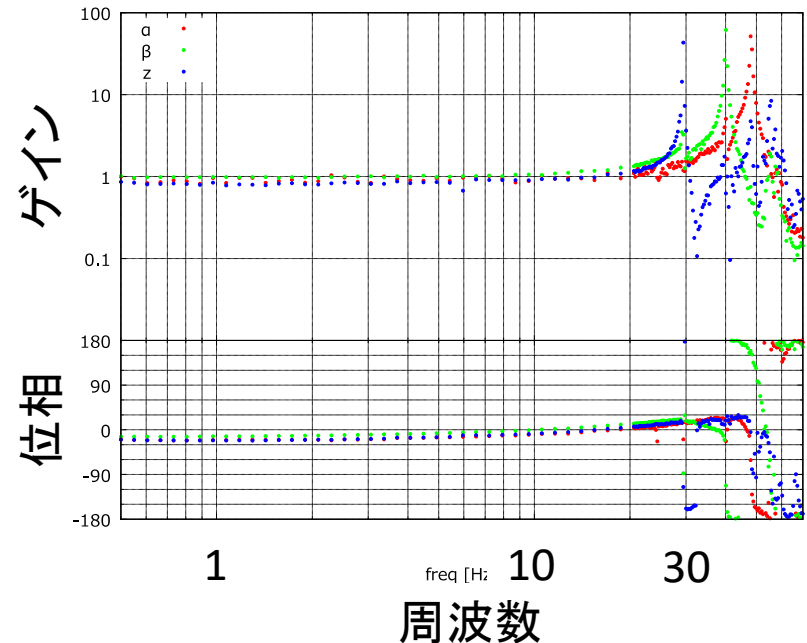
センサ アクチュエータ

$$\begin{pmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & \cdots & k_{1,m} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ k_{n,1} & \cdots & \cdots & k_{n,m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{pmatrix}$$

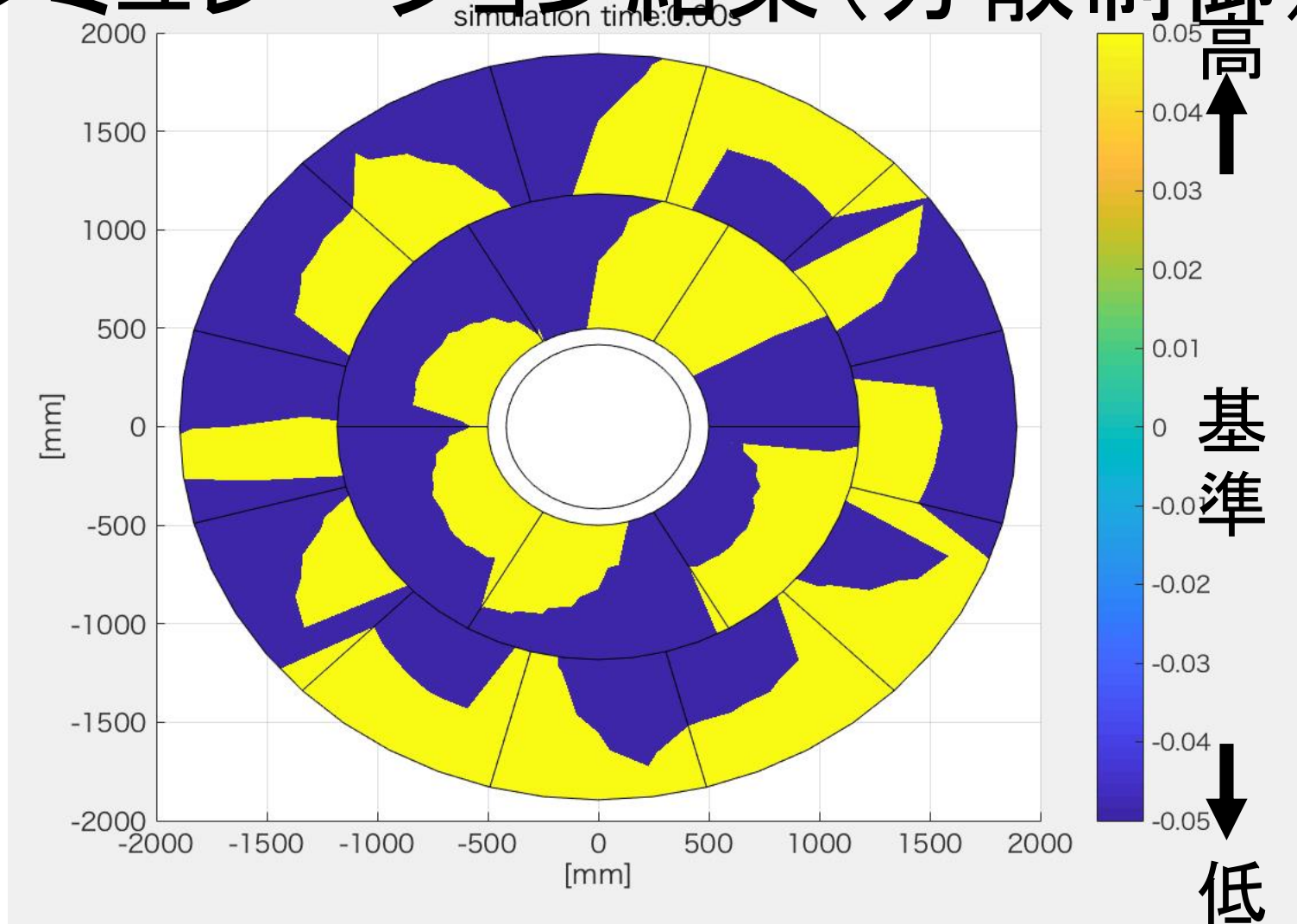
センサ値とアクチュエータの関係を行列表現し、固有値と固有ベクトル(変形モード)を評価し、制御剛性の高い配置を検討する



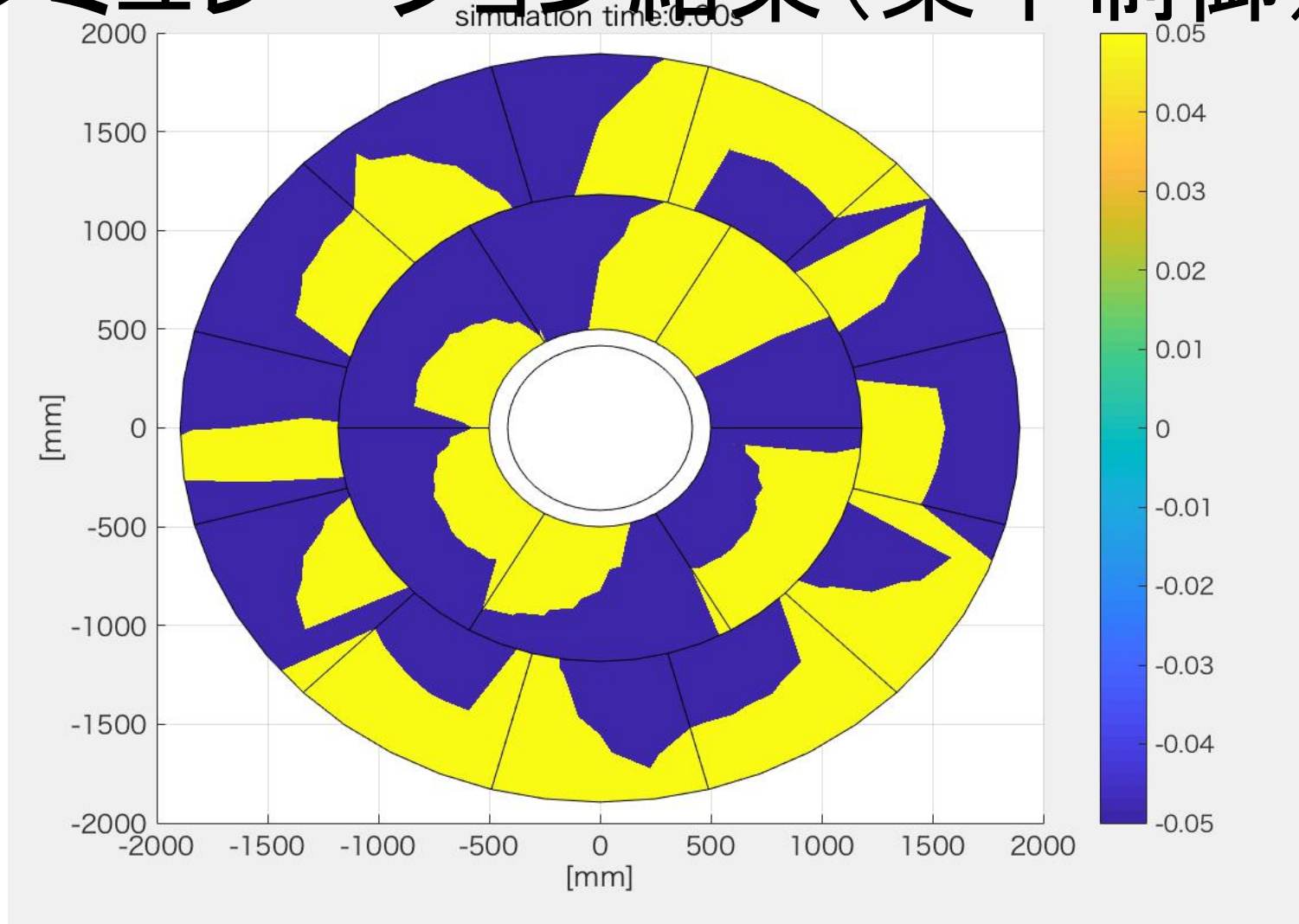
センサとアクチュエータの配置



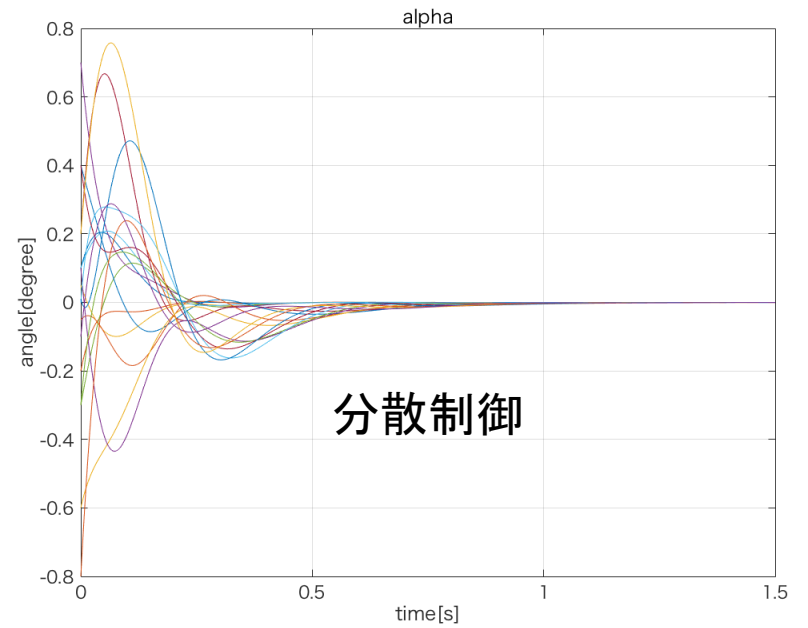
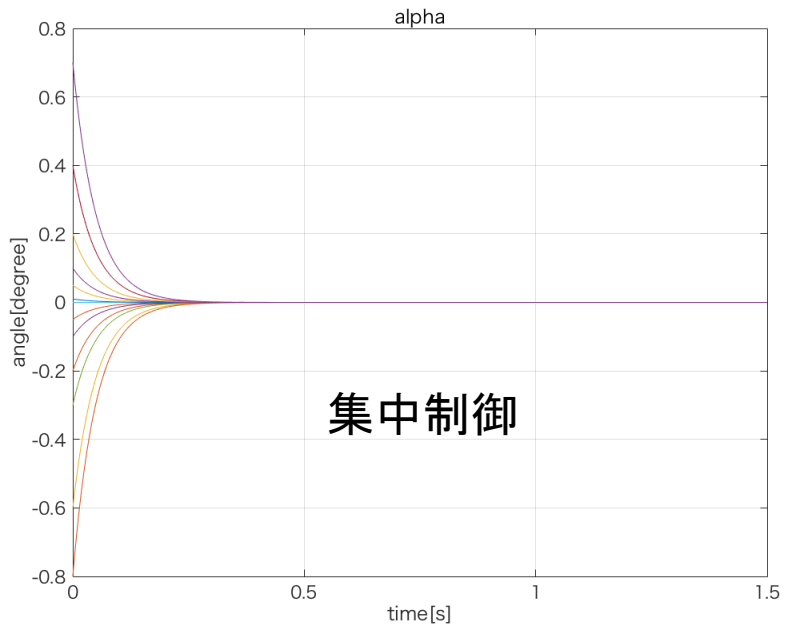
シミュレーション結果(分散制御)



シミュレーション結果(集中制御)

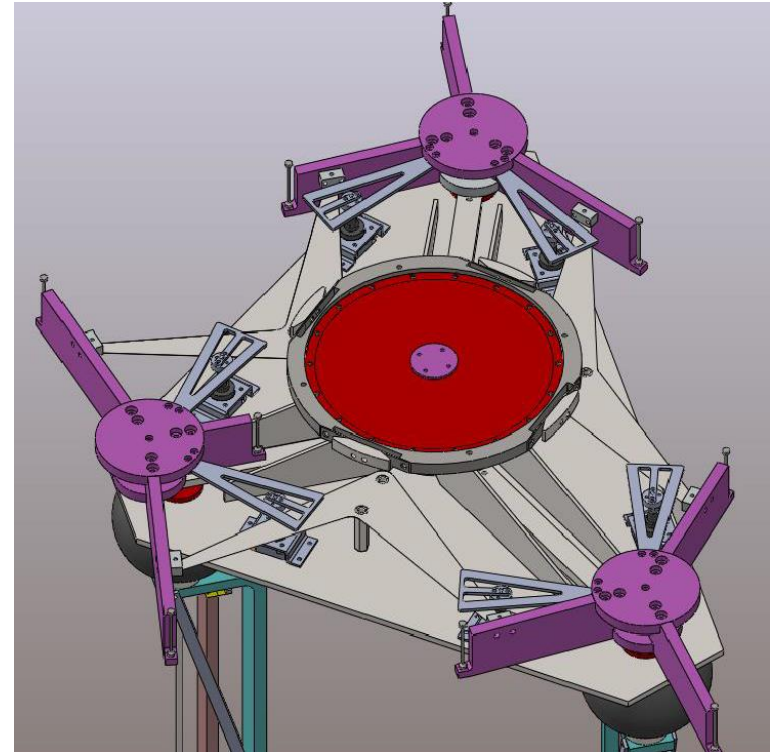
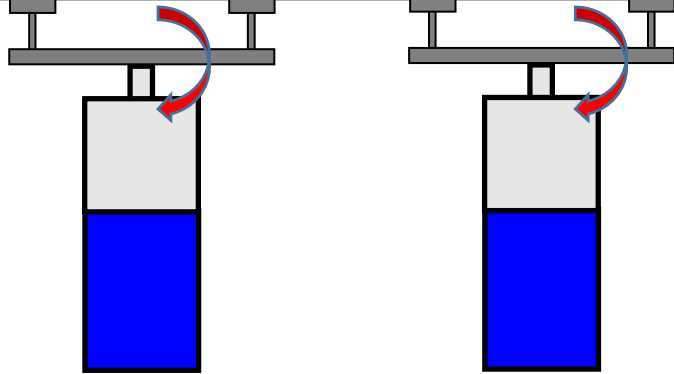


シミュレーション結果

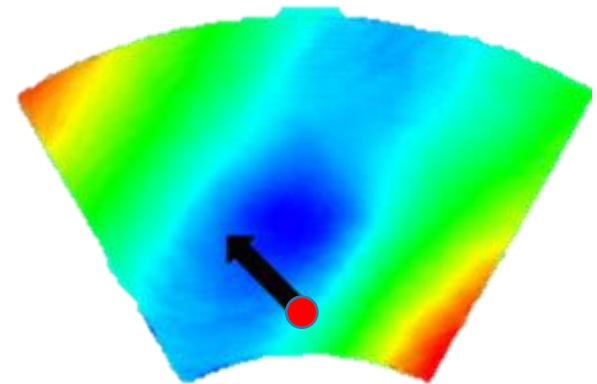


鏡面の形状修正

セグメント鏡



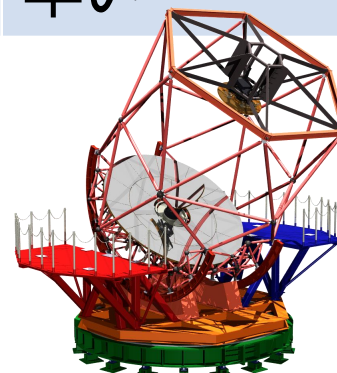
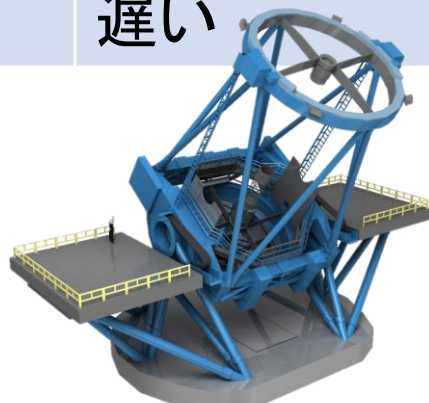
- ・鏡面の経年変化
 - ・支持機構とのミスマッチ
- などによる緩やかな形状変形を補正するための機構
6 × 18 = 54アクチュエータ



トルクと鏡の変形
1μm程度の形状修正が可能

単一鏡と分割鏡のまとめ

	単一鏡	分割鏡
拡張性	なし	あり
重量	大	小
鏡面の連続性	あり	なし
センサ	傾斜	傾斜と段差
制御	力制御	位置制御
制御速度	遅い	早い

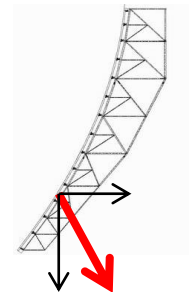
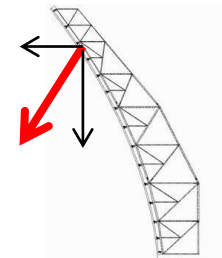


軽量な構造

- 突発天体のための高速駆動
 - 軽量で固い構造
 - 巨大な円弧状の高度軸
 - トラス構造
 - ホモロガス変形と遺伝的アルゴリズム

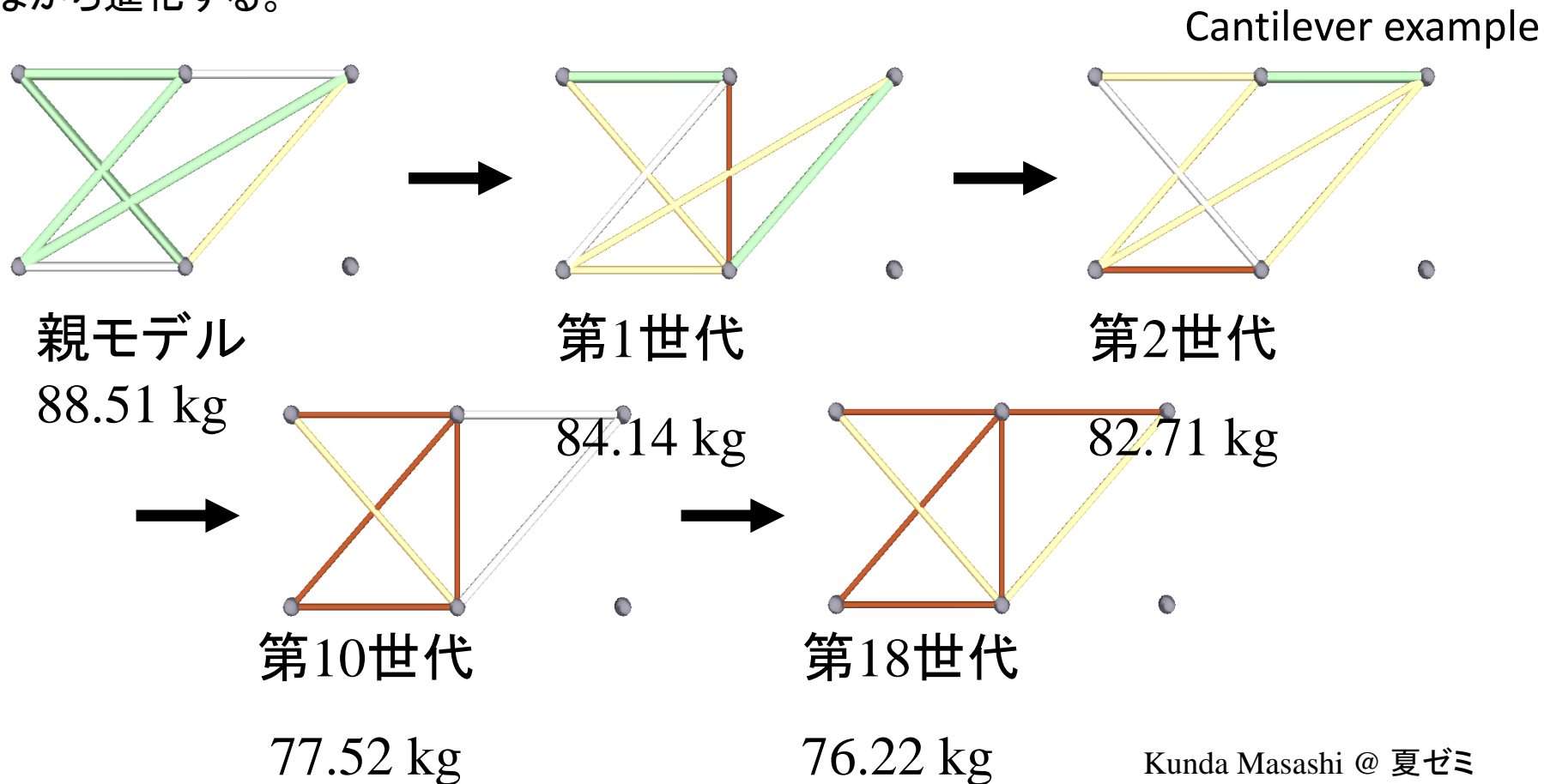


鏡筒の重量は従来の1/5に



遺伝的アルゴリズムによる最適化

遺伝的アルゴリズムとは、最適化問題への数値解析手法のひとつ。相反する複数の目的から最良の解を探索する際に、モデルが生命のように交配、変異、評価・選択をしながら進化する。



遺伝的アルゴリズムによる最適化

ホモロガス性能の要求 (仰角. 88~20 度)

- 主鏡用の節点変位 <math><0.1\text{ mm}</math>
- 副鏡用の節点変位 <math><0.4\text{ mm}</math>
- 第三鏡用の節点変位 <math><0.05\text{ mm}</math>

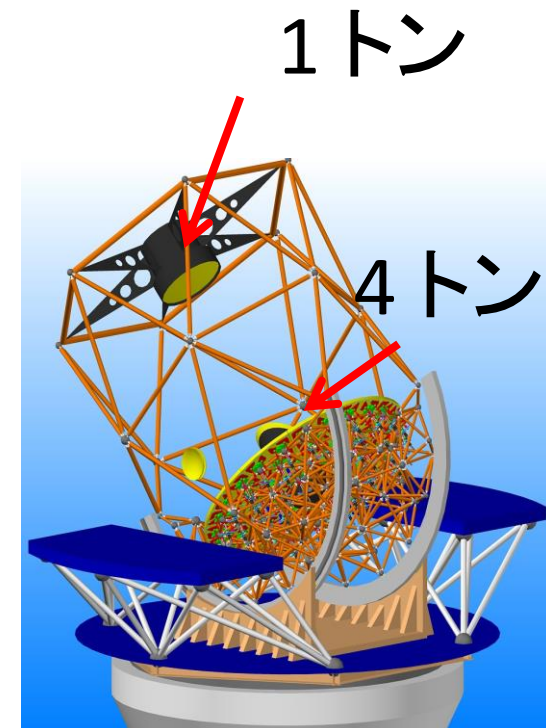
設計変数

- 接点の位置 (削除も含む)
- パイプの断面積 (削除も含む)

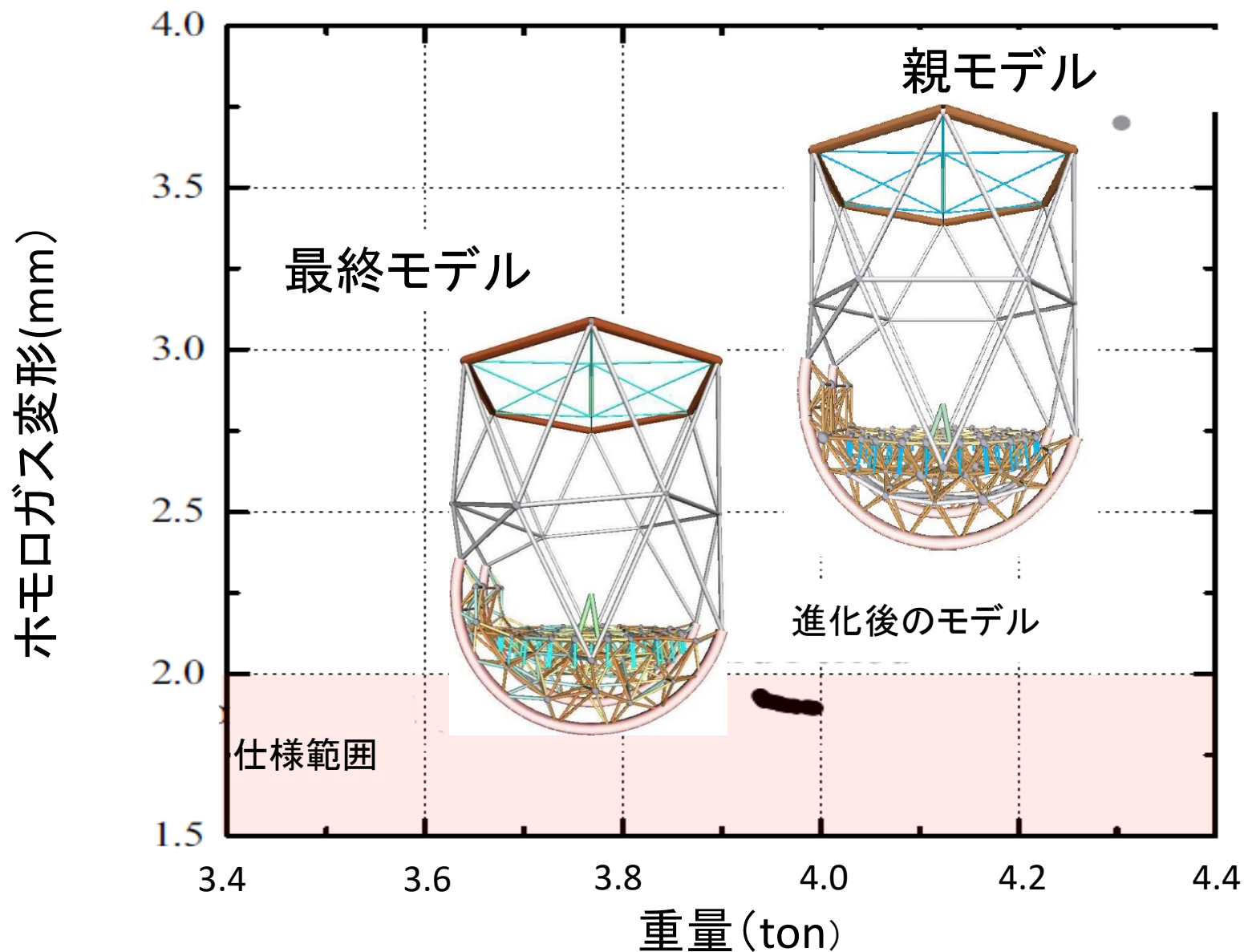
JISからの未選択

交叉レート: 0.8

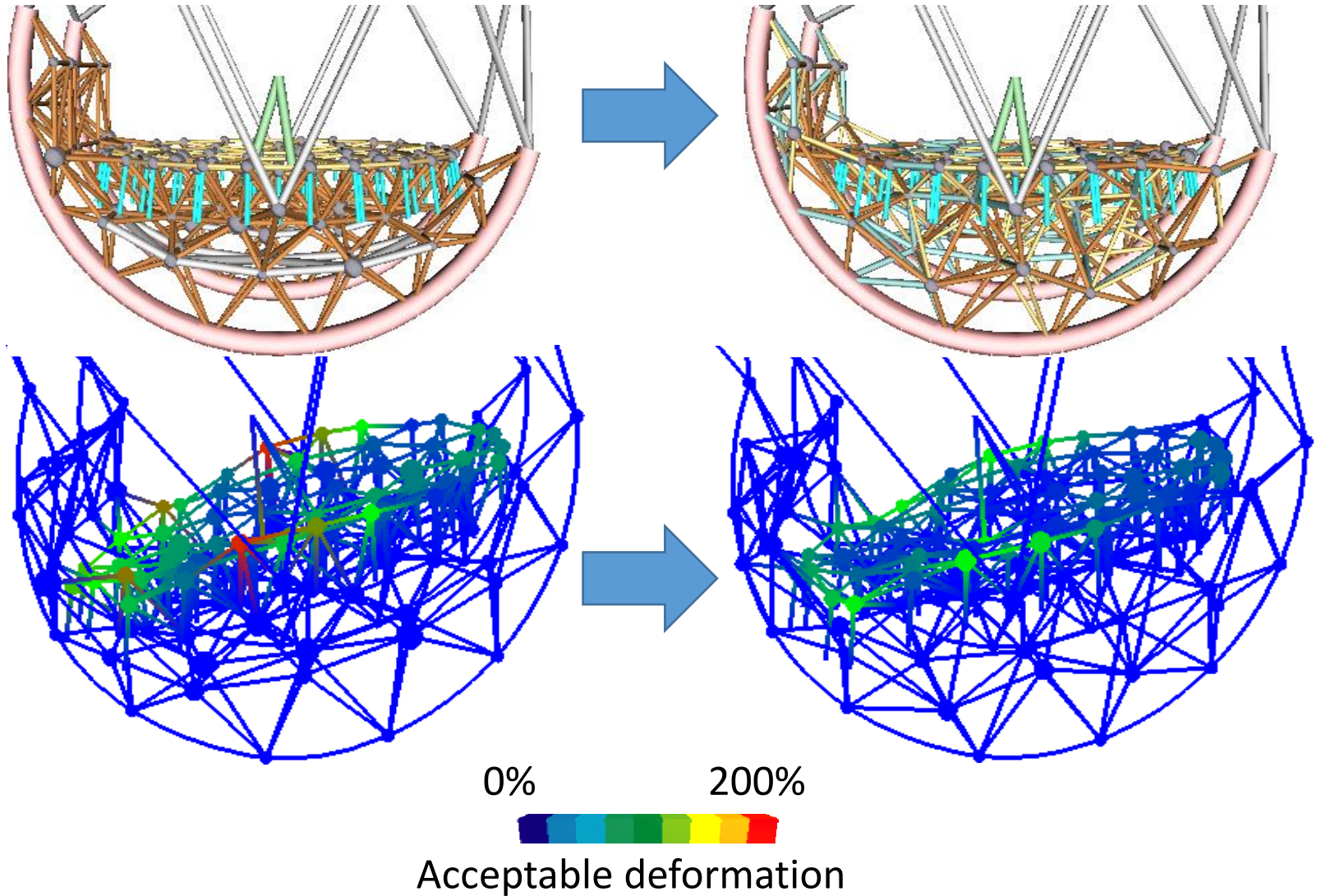
変異レート: 0.01



遺伝的アルゴリズムによる最適化

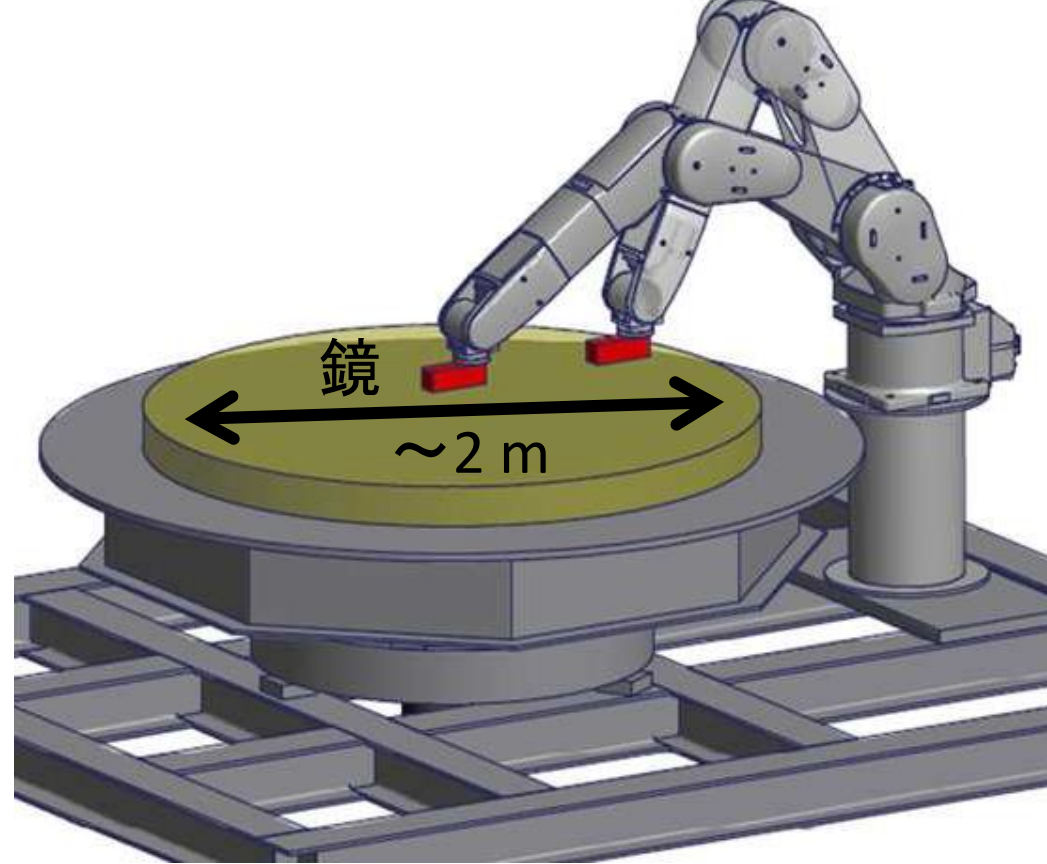


遺伝的アルゴリズムによる最適化

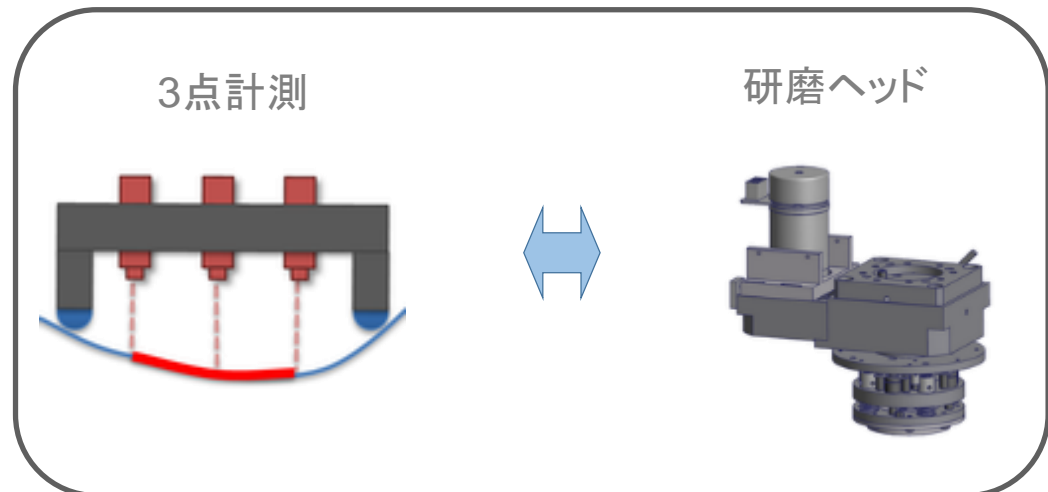


鏡加工と計測

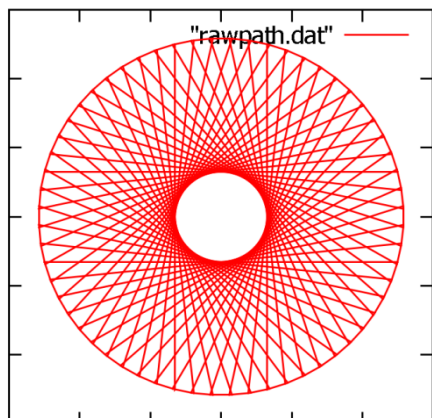
- ロボットアームのみで
- 研磨と計測を行い、
- メートルクラスの
- 自由曲面の
製作工程を確立する



- 自由曲面
- コンパクト
- 耐環境性

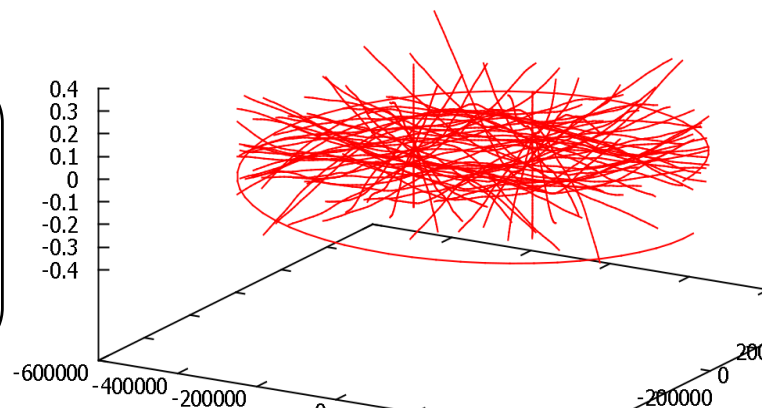


形状計測とデータ処理



走査パス

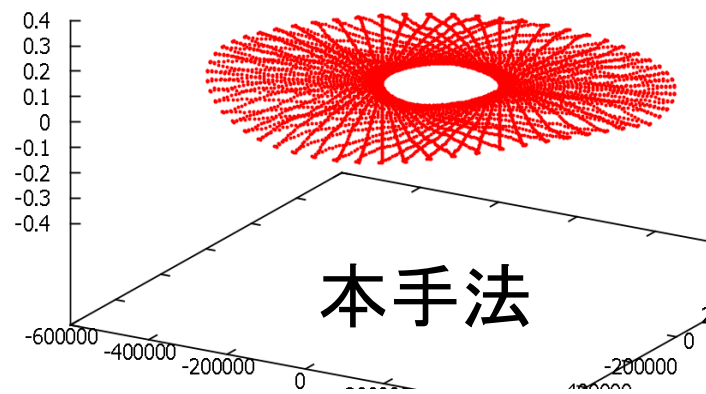
分割計測された
データはお互い
に矛盾する



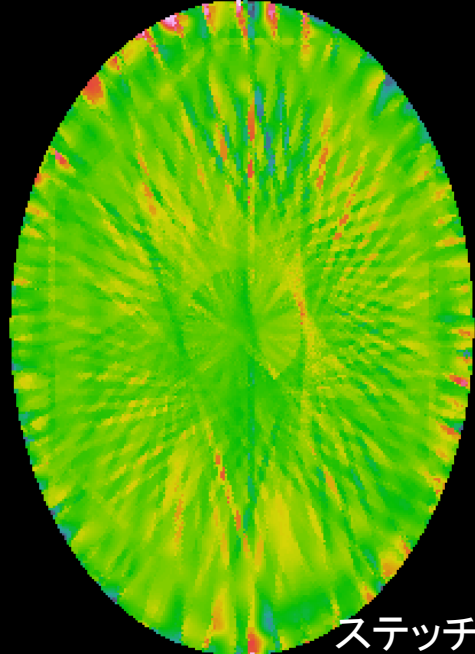
従来の最小二乗法



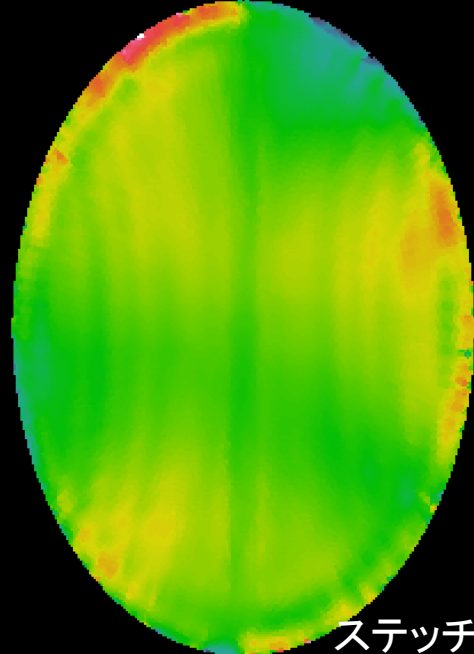
竹かごを編むのと同じ原理



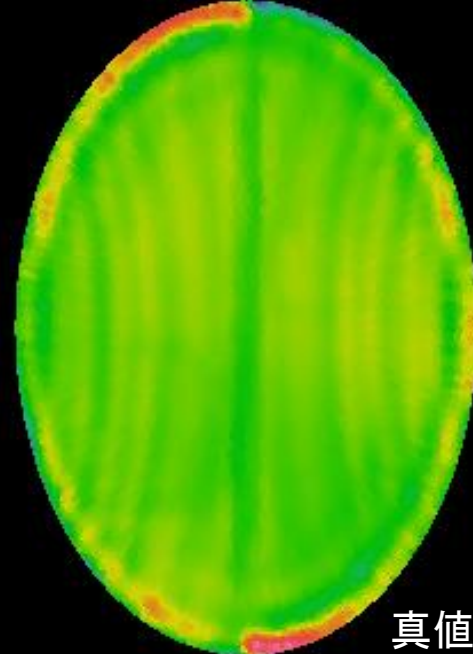
本手法



ステッチなし



ステッチあり

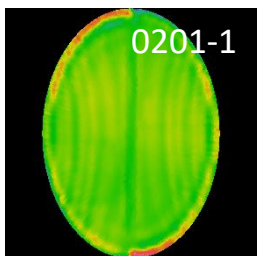


真値

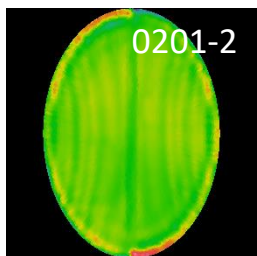


-600 nm

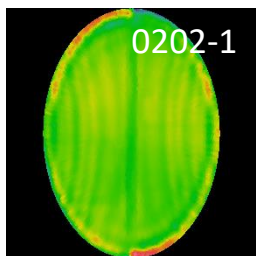
600 nm



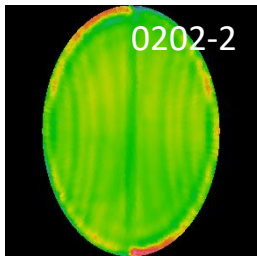
0201-1



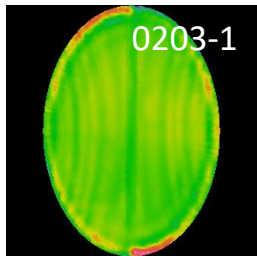
0201-2



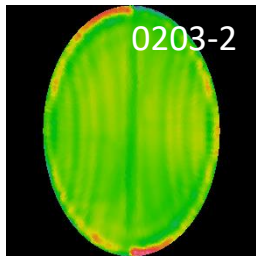
0202-1



0202-2



0203-1



0203-2

計測の再現性

RMS < 10nm

-0.3 um

0.3 um

まとめ

- 日本初、世界で2例目の分割望遠鏡
- 東アジア最大の3.8m
- 鏡に関する技術
 - 加工
 - CGH干渉計、機械式計測
 - 支持機構(オプトメカニクス)
 - 位置姿勢計測
 - 補正機構
 - 変位センサ
 - 減速機構
 - 制御アルゴリズム
- しなやかなデータ処理アルゴリズム
- 架台の軽量化技術