



# CTA報告74:

# CTA大口径望遠鏡における光学系調整 のための分割鏡支持構造設計

**花畑 義隆 (東大宇宙線研)**

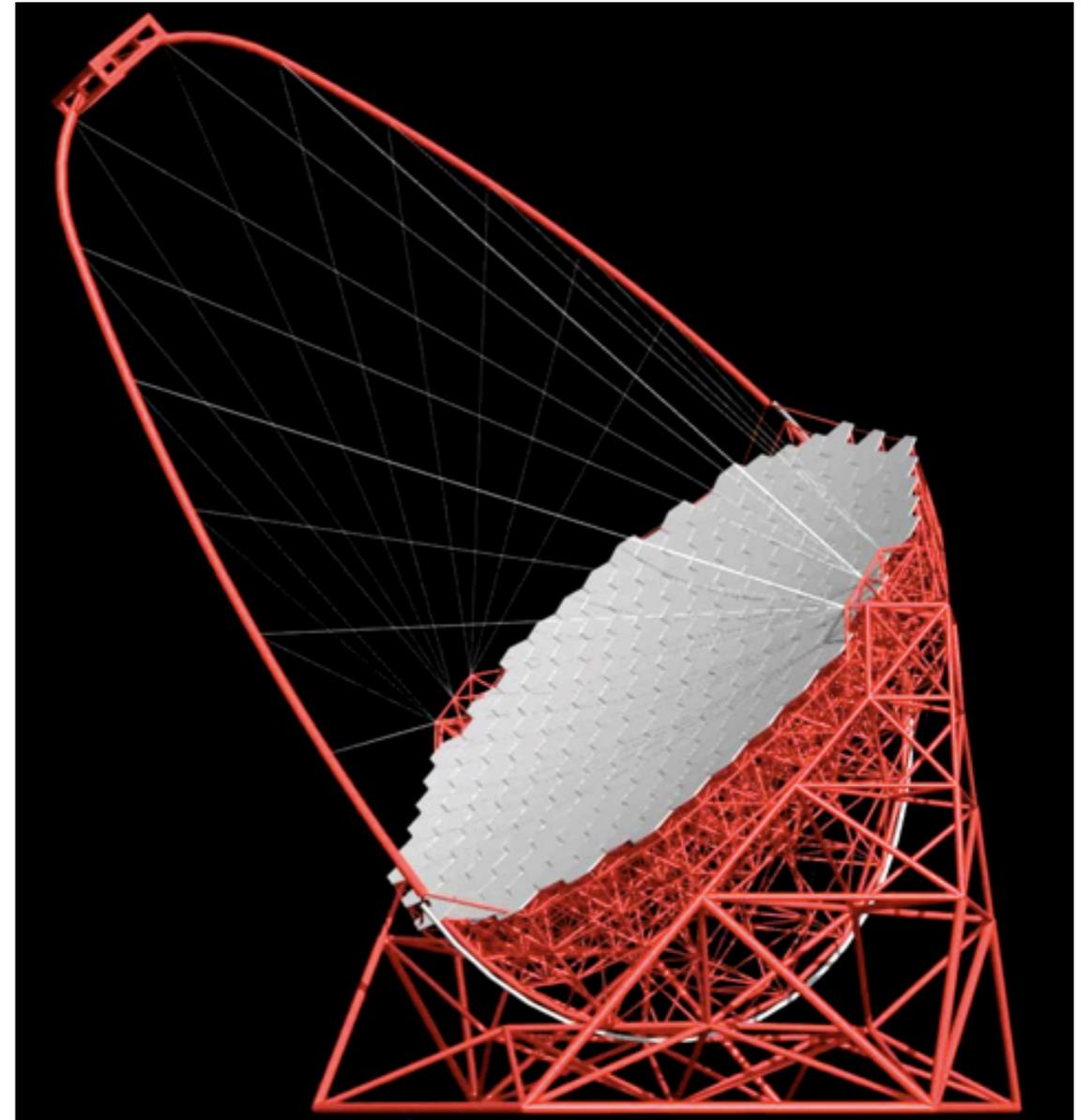
野田浩司<sup>B</sup>, 手嶋政廣<sup>A,B</sup>, 荻野桃子<sup>A</sup>, 奥村暁<sup>C,D</sup>, 加賀谷美佳<sup>E</sup>, 片桐秀明<sup>E</sup>, 小島拓実<sup>A</sup>,  
齋藤浩二<sup>A</sup>, 田中駿也<sup>E</sup>, 千川道幸<sup>F</sup>, 中嶋大輔<sup>A</sup>, 野里明香<sup>F</sup>, 馬場浩則<sup>E</sup>, 林田将明<sup>A</sup>,  
柳田昭平<sup>E</sup>, 山本常夏<sup>G</sup>, 吉田龍生<sup>E</sup>, 他**CTA-Japan consortium**

(**A: 東大宇宙線研, B: Max-Planck-Inst. fuer Phys., C: 名大STE研, D: レスター大,**  
**E: 茨城大理, F: 近畿大理工, G: 甲南大理工)**

**2014年3月27日 日本物理学会春季大会@東海大学**

# CTA大型望遠鏡LST

- 口径: 23m
- 総重量: 70トン
- 焦点距離: 28m
  - ▶辺々1.51mの球面鏡200枚で構成
- 平面焦点面カメラ: 1855本のPMT
- 視野: 4.5度 (1ピクセル0.1度;  $\Phi$ 50mm)
- 回転速度: >180deg/20秒
- スポットサイズ: <0.1度@入射角<~1度

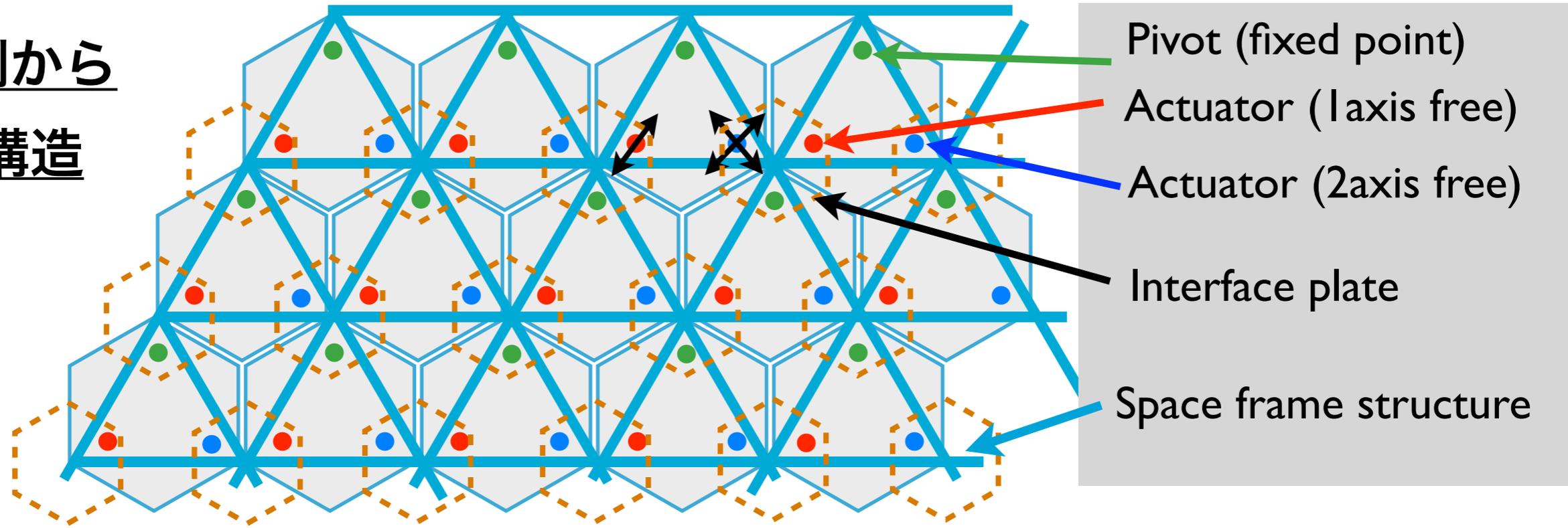


大口徑によりエネルギー閾値を下げ、軽量化してガンマ線バーストなどの突発天体を狙う

- ▶構造の変形を許容し、随時補償を行う(CTA報告74:小島講演)

# 分割鏡支持構造

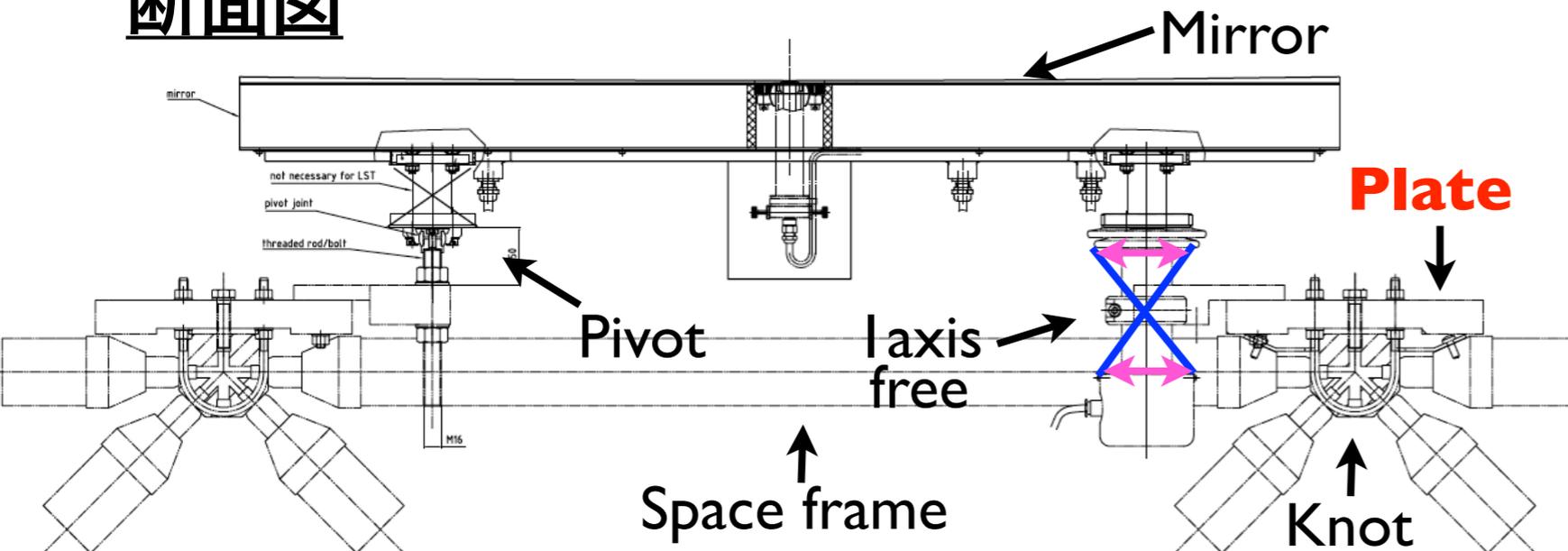
**Dish側から  
見た構造**



- Pivot (fixed point)
- Actuator (1axis free)
- Actuator (2axis free)
- Interface plate
- Space frame structure



**断面図**



1枚のプレートには固定点とアクチュエータ(1,2axes free)が設置され、それぞれ異なる分割鏡を支持

# 分割鏡の変形要因

- 静的要因: 望遠鏡構造体の自重(変形は仰角依存)、温度変化
  - ▶ AMCで補正可能
- 動的要因: 風圧
  - ▶ 振動成分となり、補正できない

---

## インターフェースプレートへの要求

### サイエンス要求: 指向精度 14秒角

- ▶ 分割鏡の動的要因による変形: **< ~35  $\mu\text{m}$**

### 変形量の内訳

1. 分割鏡自体: ~5  $\mu\text{m}$
2. Actuator: 位置精度 5  $\mu\text{m}$ , 機械的遊び 10  $\mu\text{m}$
- 3. インターフェースプレート < ~15  $\mu\text{m}$**

重量: 10 kg以下

素材: アルミニウムが有力候補 ← 軽量で加工しやすく、安価

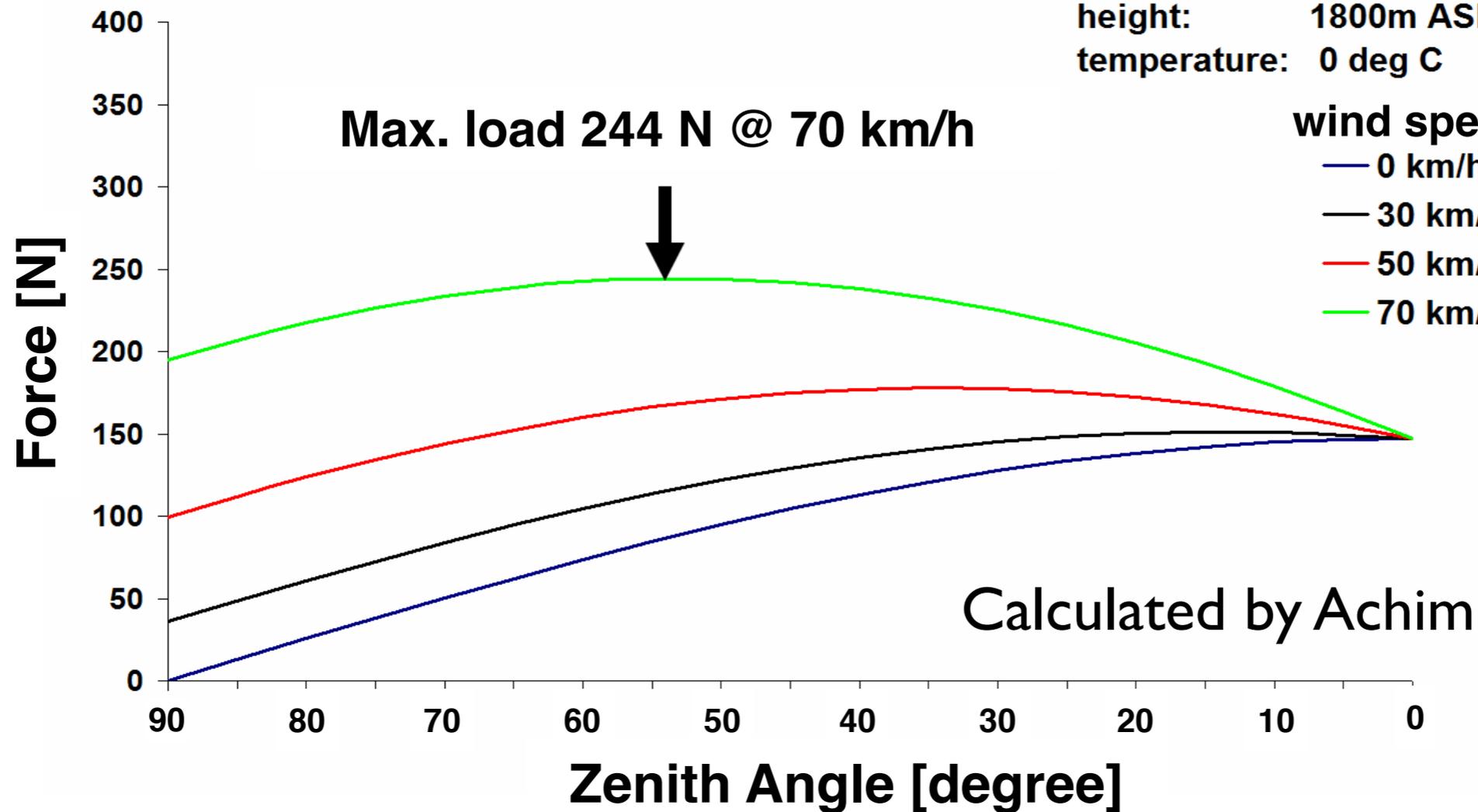
# インターフェースプレートの荷重

各アクチュエータの荷重の天頂角依存性

actuator load  
(=mirror load / 3)

mass: 45 kg  
area: 2.0 m<sup>2</sup>  
height: 1800m ASL  
temperature: 0 deg C

wind speed  
— 0 km/h  
— 30 km/h  
— 50 km/h  
— 70 km/h



風速70km/hでは天頂角60度付近で最大荷重(自重+風圧)

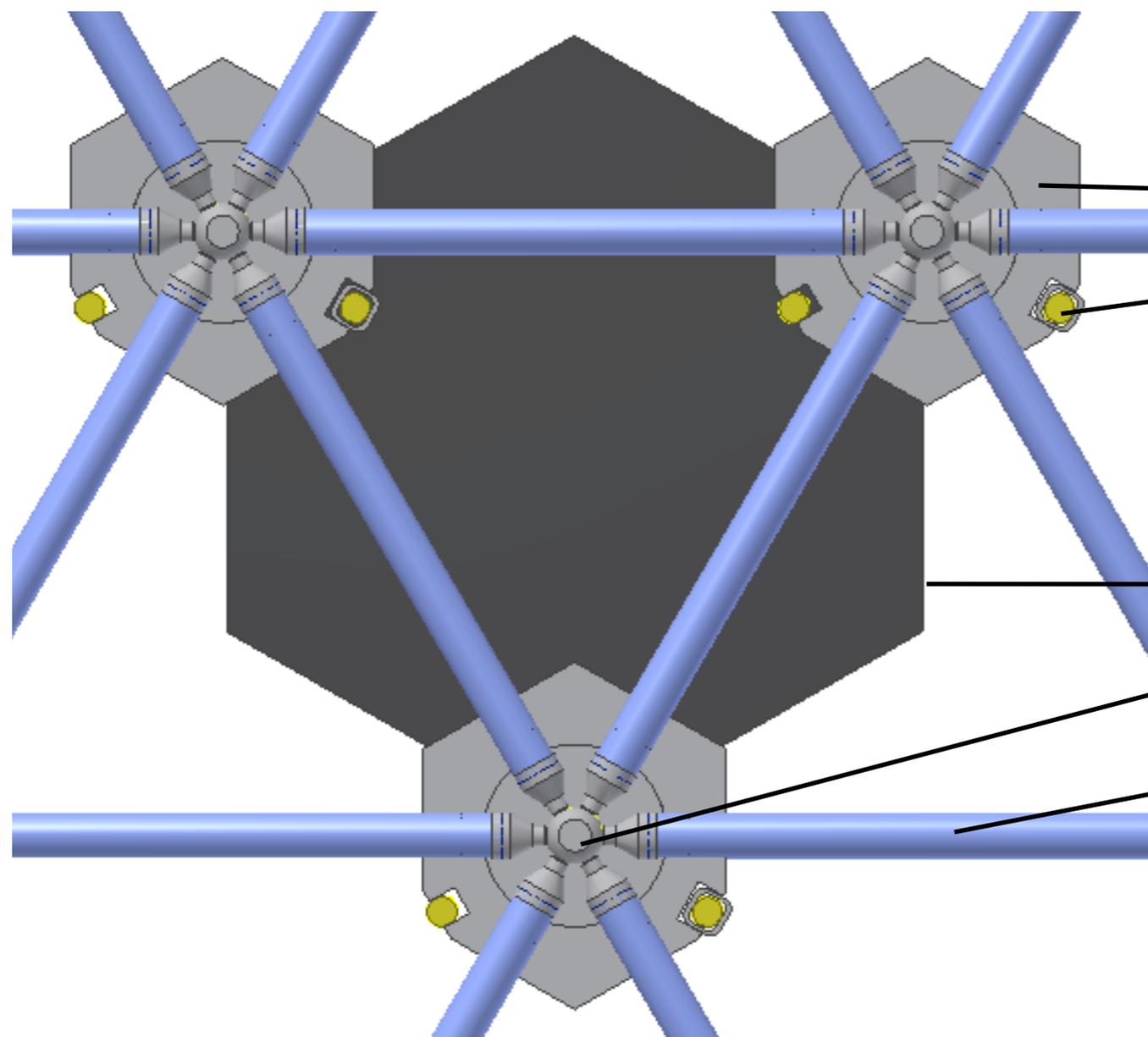
▶構造解析での荷重として採用 \*実際は風速60km/h以下で運用

# 構造解析セットアップ

- 有限要素法を用いて応力、変形量を評価(by Autodesk Inventor)
- 計算時間短縮のために構造を簡略化。但し、加わるトルクを正確に評価するためにアクチュエータのユニバーサルジョイントや回転軸の可動を再現。

## デザインの出発点

“ノット”にかかる曲げモーメントを抑えるために、フレームにもマウント



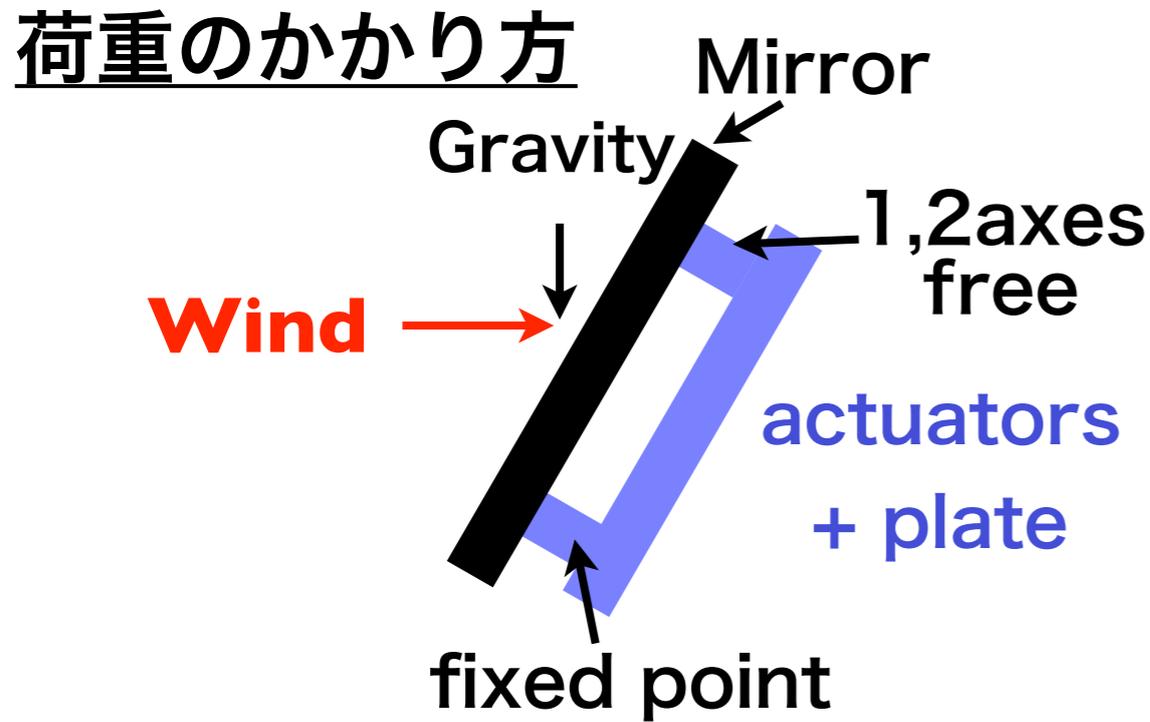
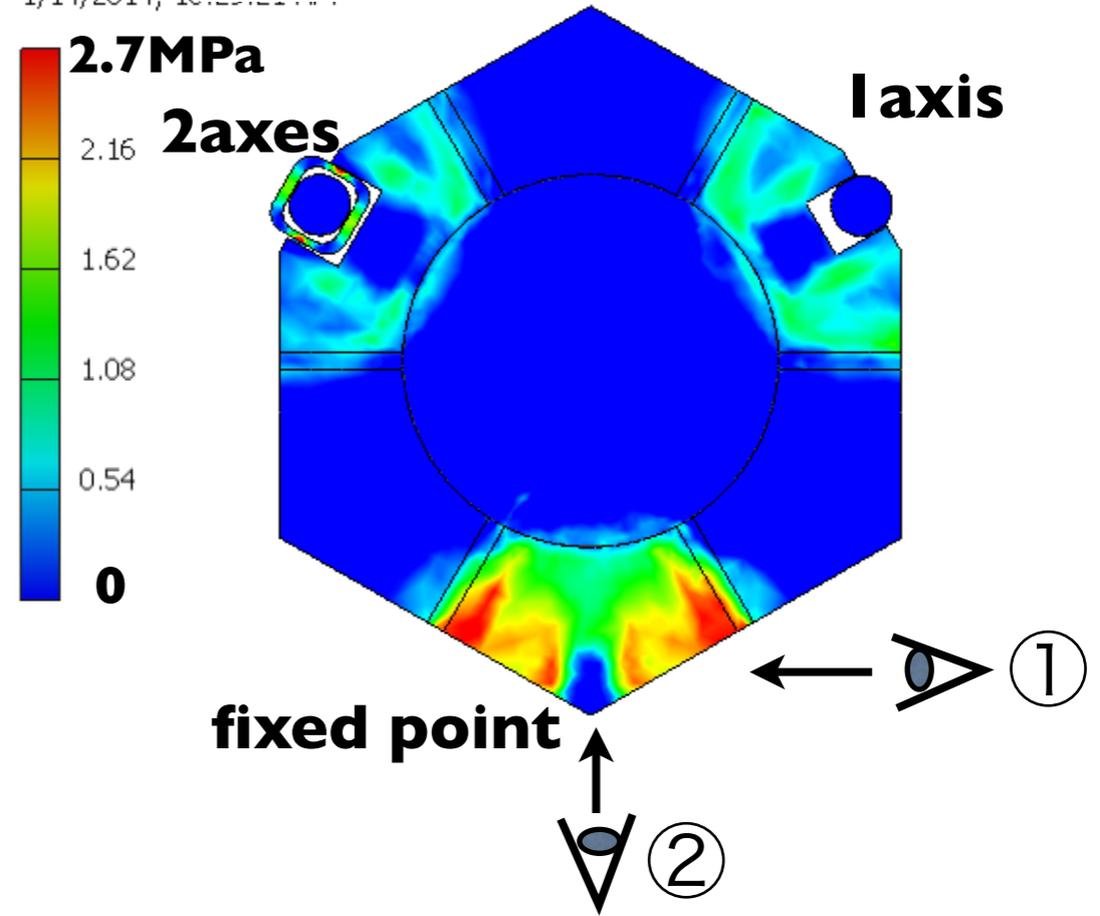
## 構成要素

- **プレート**: アルミニウム、10mm厚
- **アクチュエータ**: SUS410、全重量5kg  
アクチュエータの分割鏡への取り付け位置は $\Phi 1100\text{mm}$ を仮定。
- **分割鏡**: SUS410、45kgのダミー
- **ノット**: アルミニウム、 $\Phi 127\text{mm}$
- **スペースフレーム**: アルミエンドキャップ+CFRPチューブ

# シミュレーション結果 @天頂角60度

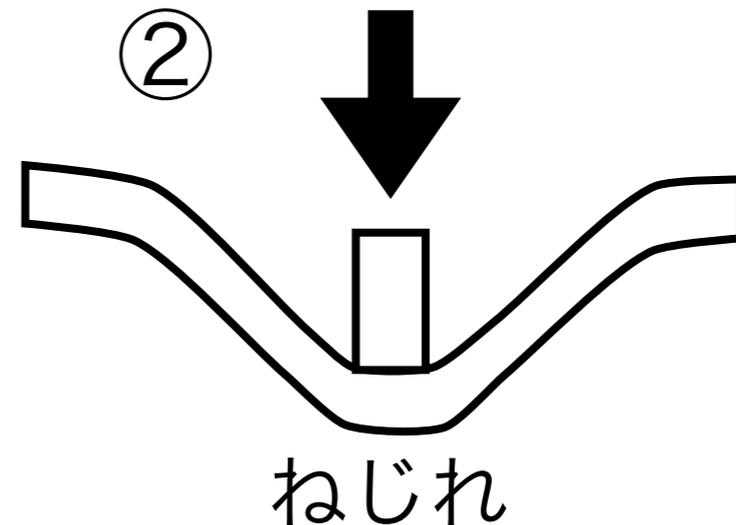
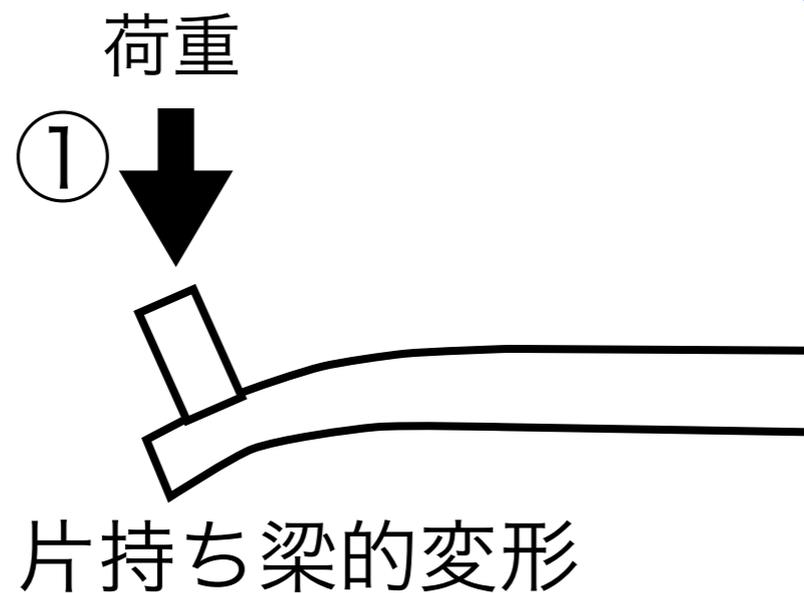
Type: Von Mises  
Unit: MPa  
1/14/2014, 10:...

## ミーゼス応力分布



ジンバル部が力を逃す方向に可動し、固定点が最大荷重を受ける

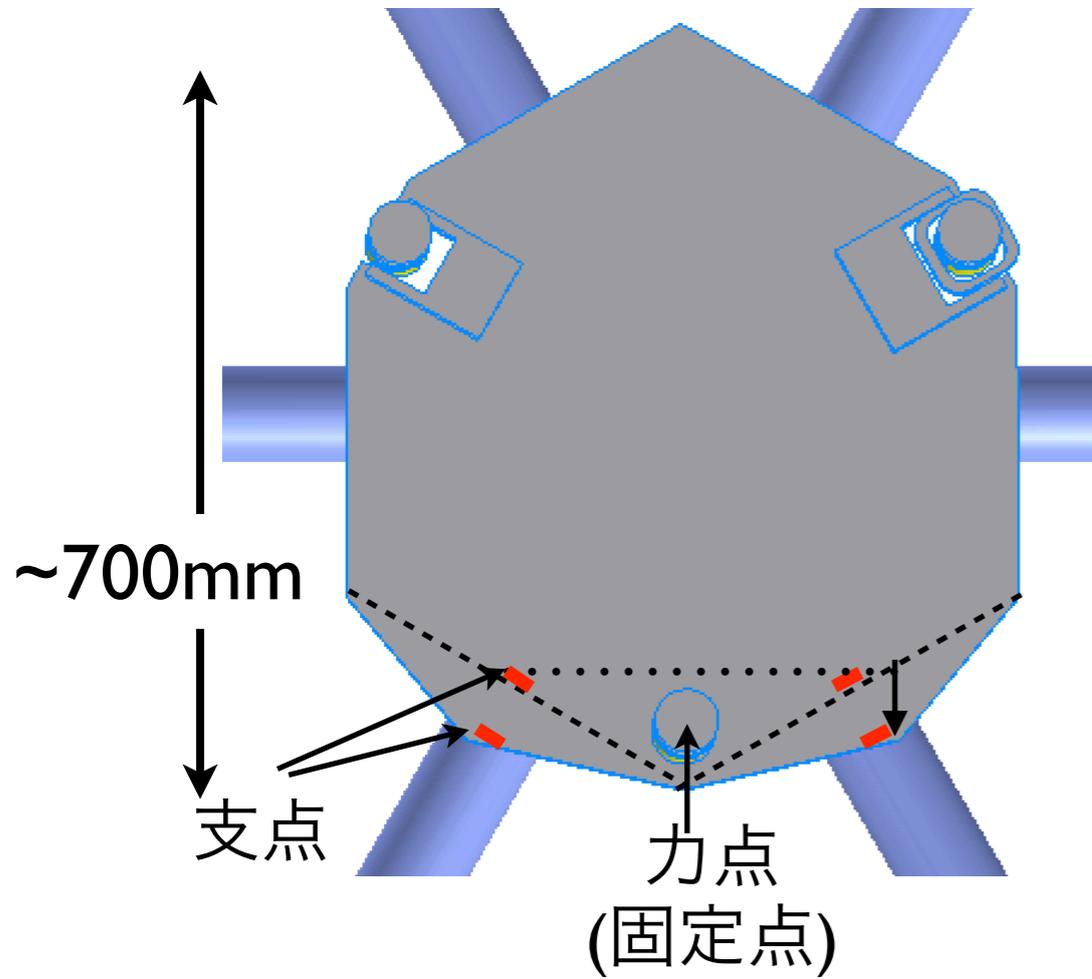
## 変形の様子



複雑な変形が生じている

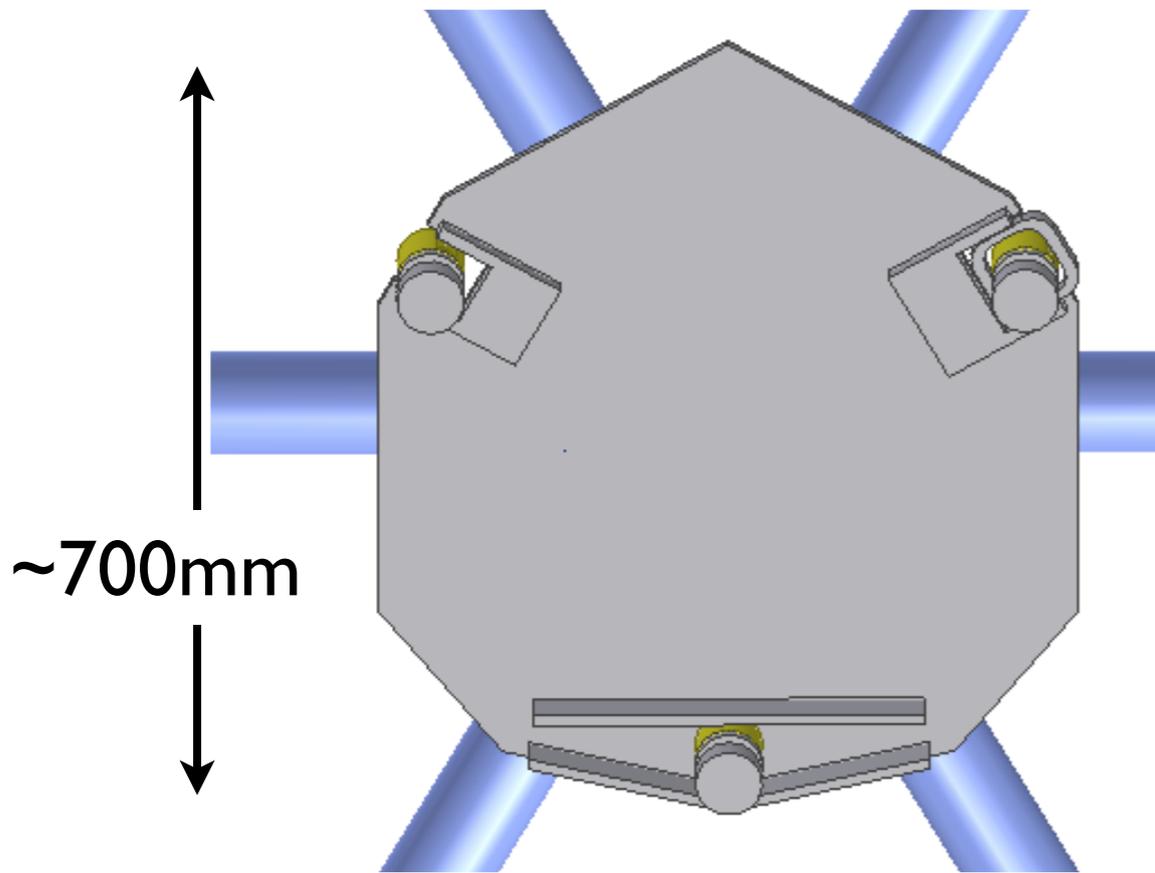
# 構造の強化と結果

1.力点と支点の距離を短くするために、**プレート**を拡張

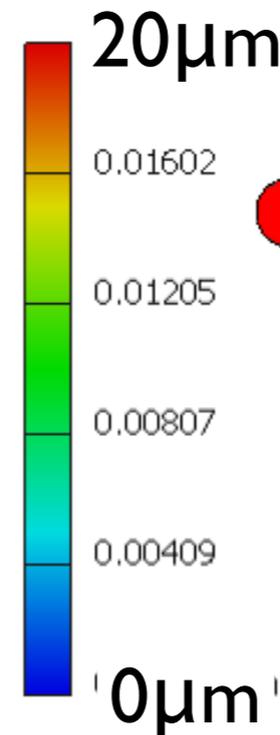


# 構造の強化と結果

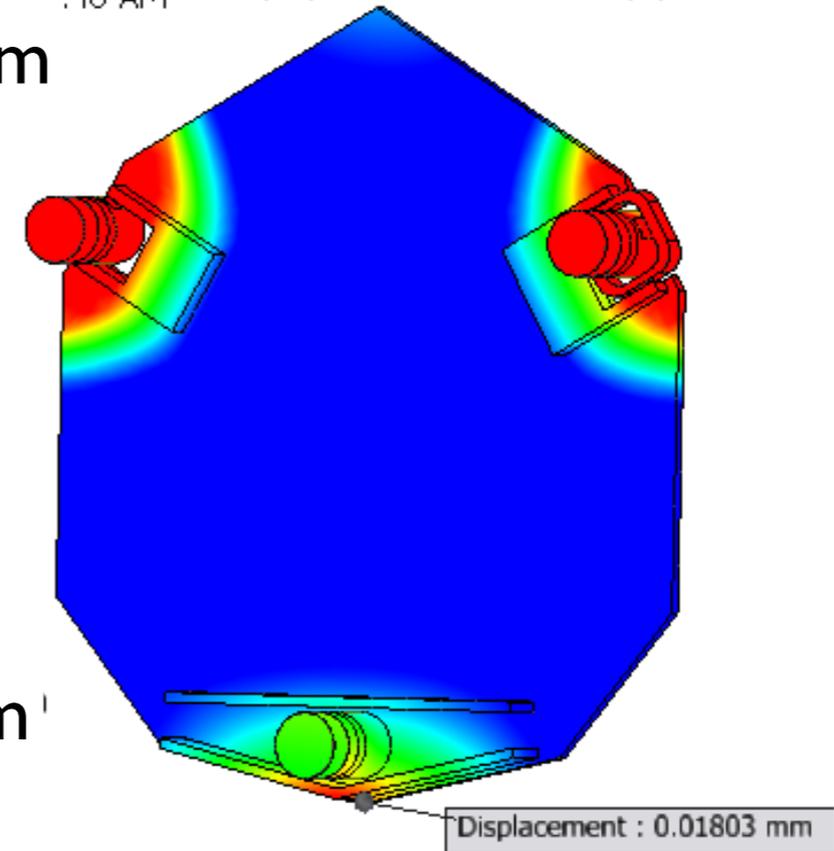
- 1.力点と支点の距離を短くするために、**プレート**を拡張
- 2.ねじれの方角に対して垂直に**リブ**を取り付けた



Type: Displacement  
Unit: mm  
1/14/2014 11:40:48 AM



**変位分布**  
\*固定点のみに着目



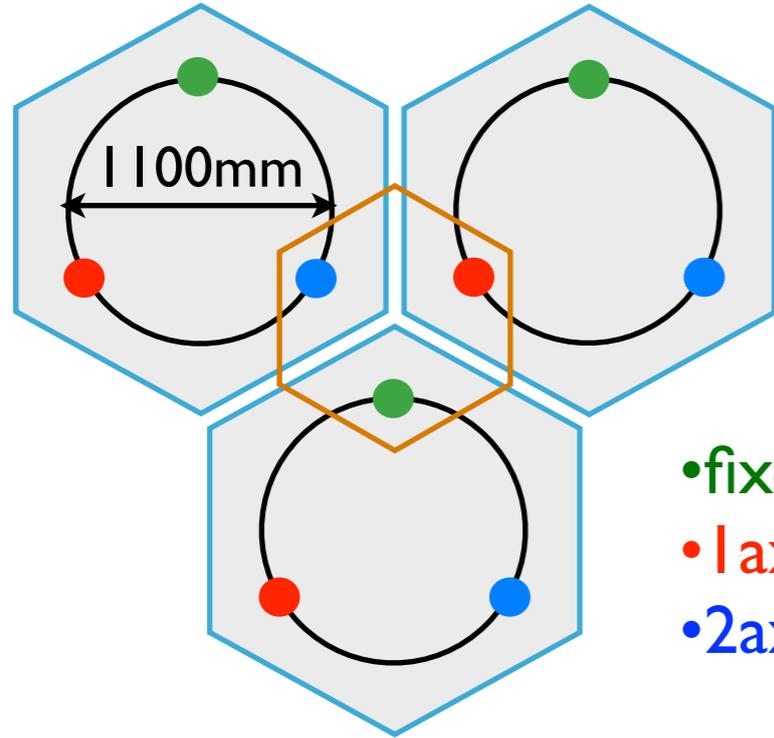
動的変位: **12 µm** (要求クリア)

重量: **16.1 kg** = 13.9 kg (Plate) + 2.2 kg (Ribs)  
(肉抜きをしても10kgが限界)

Dishの外側ではプレートが1割程度大きくなるため、重量オーバーに

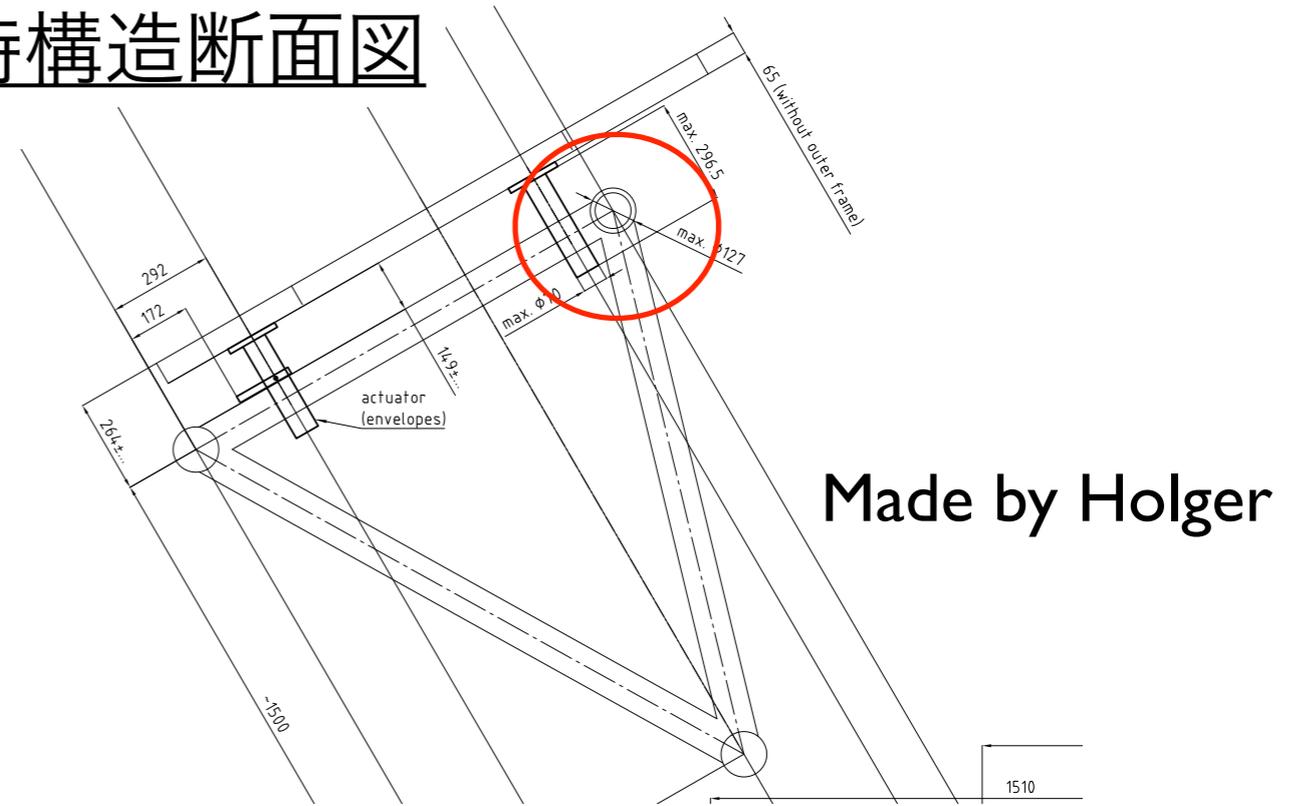
# 分割鏡のアクチュエータ取り付け位置の見直し

アクチュエータ取り付け位置

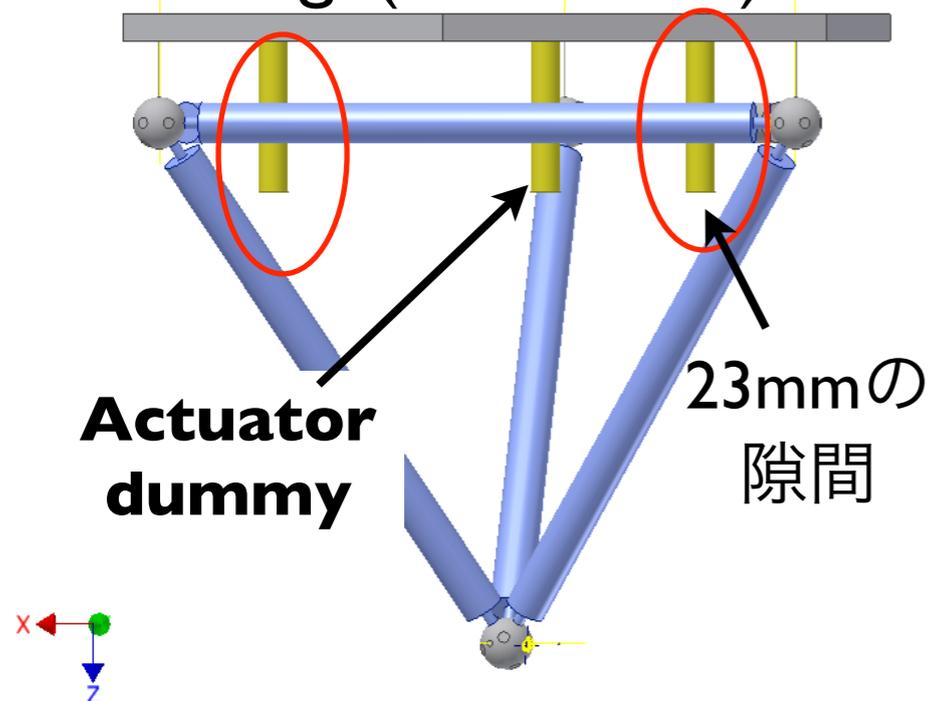


- fixed point
- 1 axis free
- 2 axes free

支持構造断面図



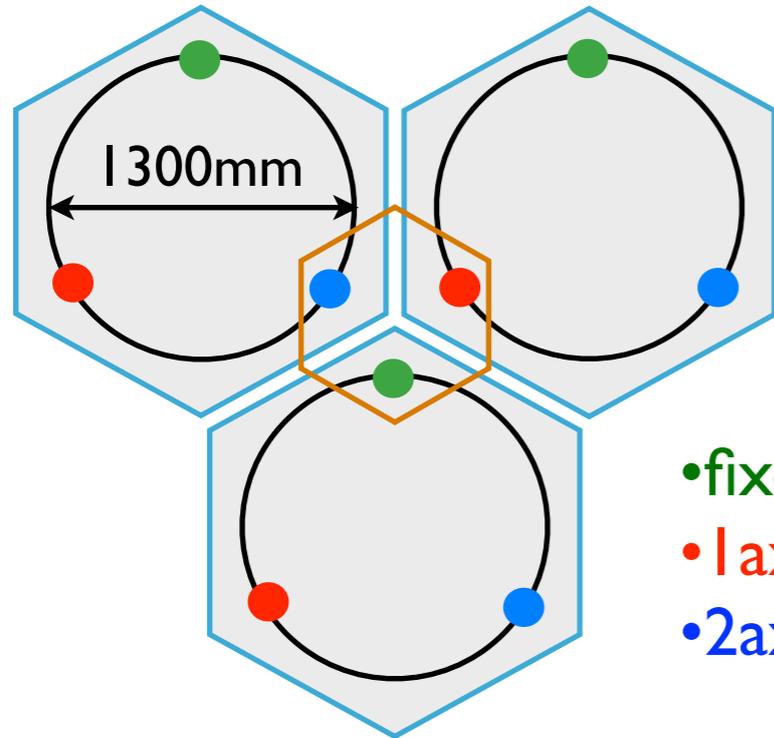
3D image( $\Phi$ 1300mm)



アクチュエータとフレームとの干渉を懸念し、従来は $\Phi$ 1100mmを採用。

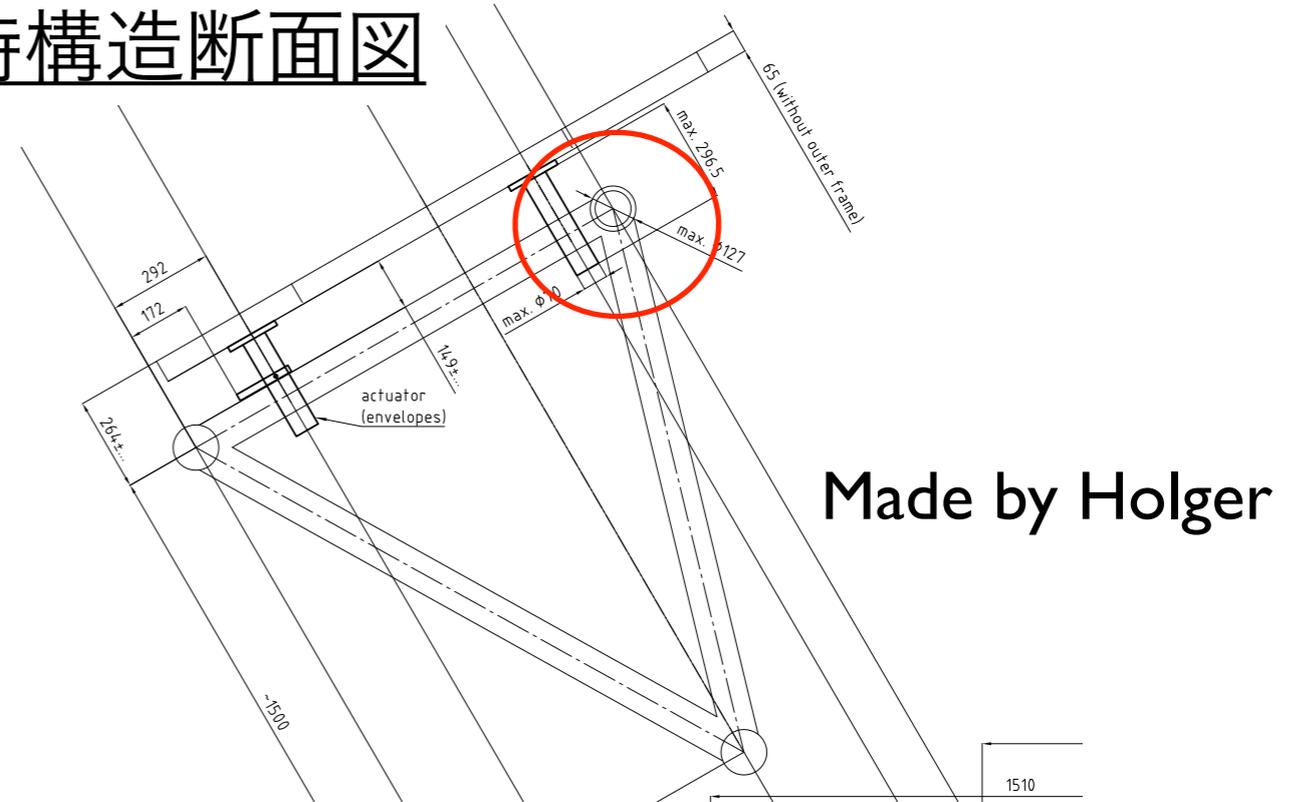
# 分割鏡のアクチュエータ取り付け位置の見直し

アクチュエータ取り付け位置

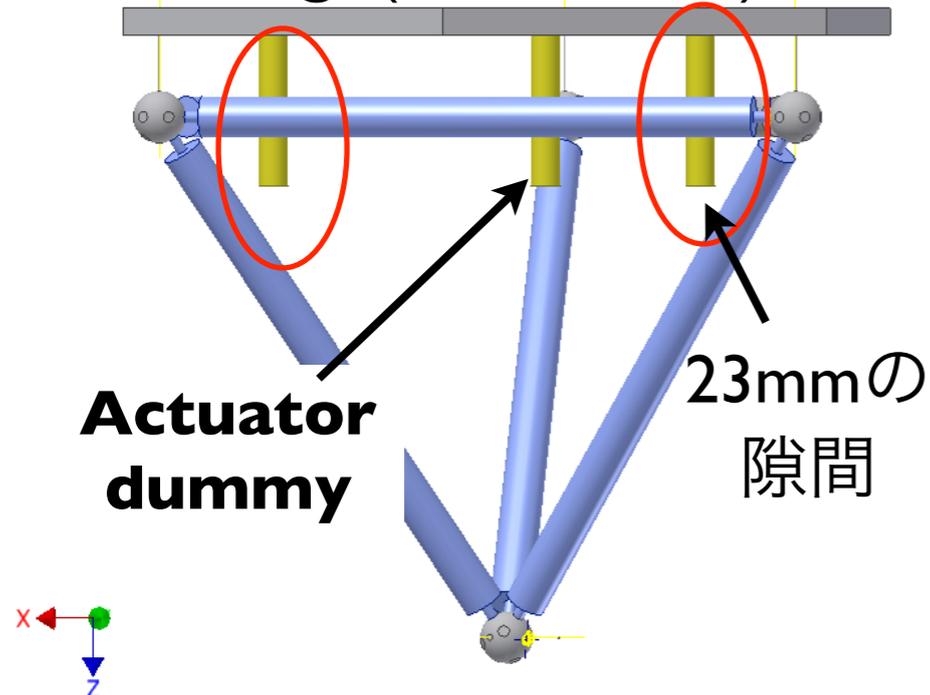


- fixed point
- 1axis free
- 2axes free

支持構造断面図



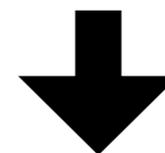
3D image(Φ1300mm)



アクチュエータとフレームとの干渉を懸念し、従来はΦ1100mmを採用。

見直して、Φ1300mmまで拡張可能と判明

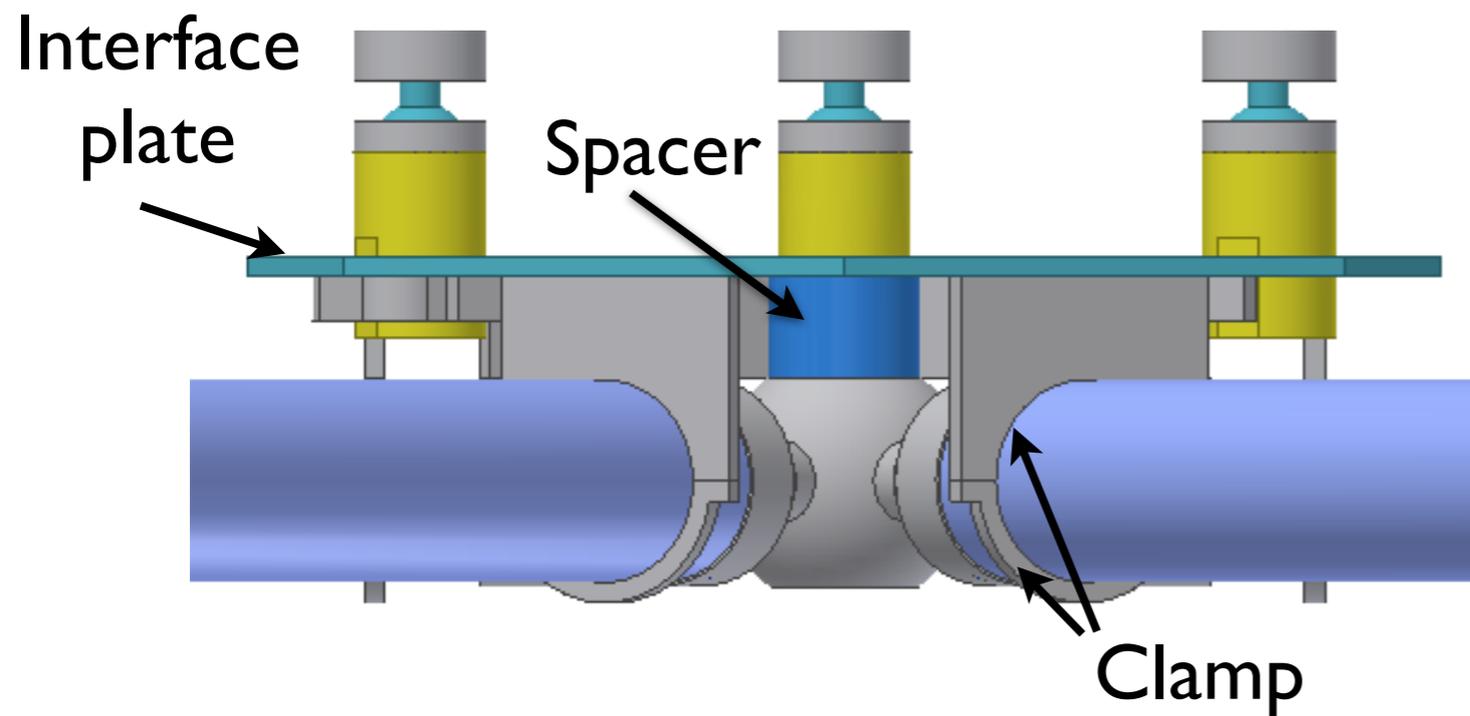
▶ノットと力点との距離が3割減(340mm→240mm)



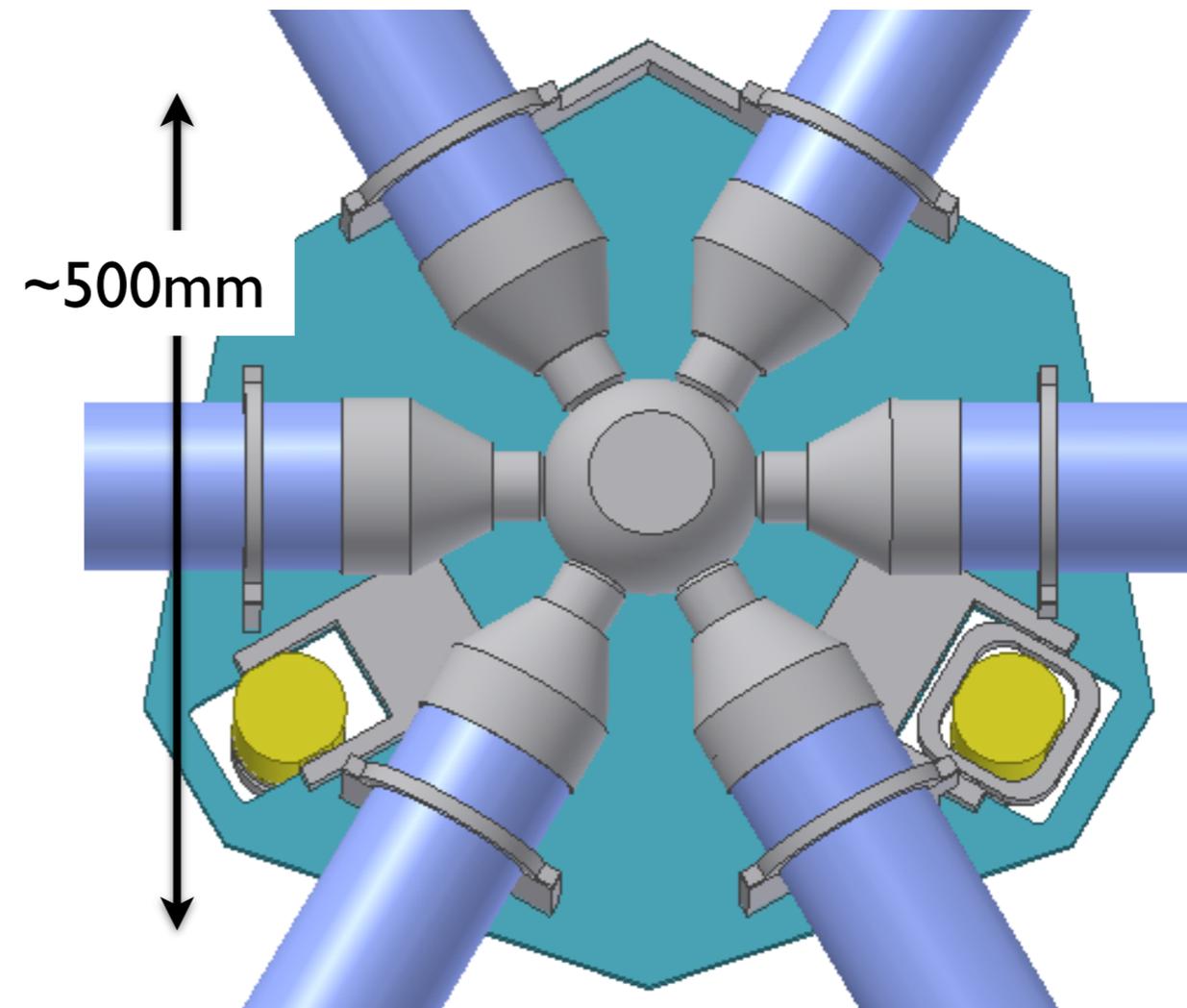
プレートの変位が7割減ると期待できる  
(∵変位 $\propto$ ノットとアクチュエータの距離<sup>3</sup>)

# 改訂版デザイン

断面図



ノット側から見た図



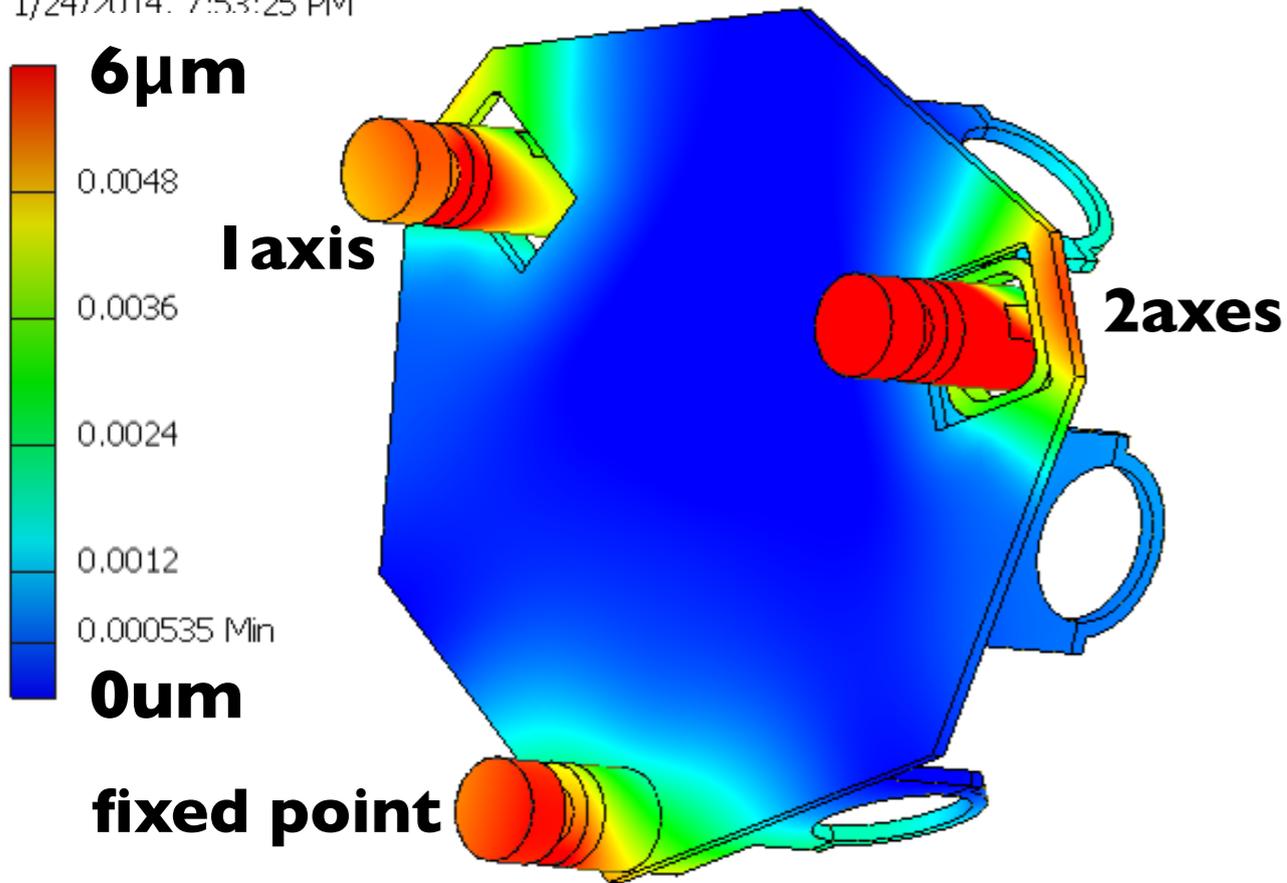
クランプ: アルミニウム、  
厚さ 10 mm, 高さ 50mm

プレートとスペースフレーム(チューブ)をクランプで固定し、  
構造を強化

# シミュレーション結果@天頂角60度

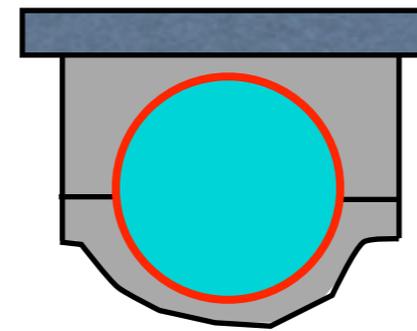
## 変位の分布

Type: Displacement  
Unit: mm  
1/24/2014, 7:53:25 PM



## 動的変位

**3µm!**



クランプをしっかりとチューブに接触させると強度が出る

## 重量

**8.6kg** = 5.9kg(Plate) + 2.7kg(Ribs+Spacer)  
(肉抜きで軽量化できる)

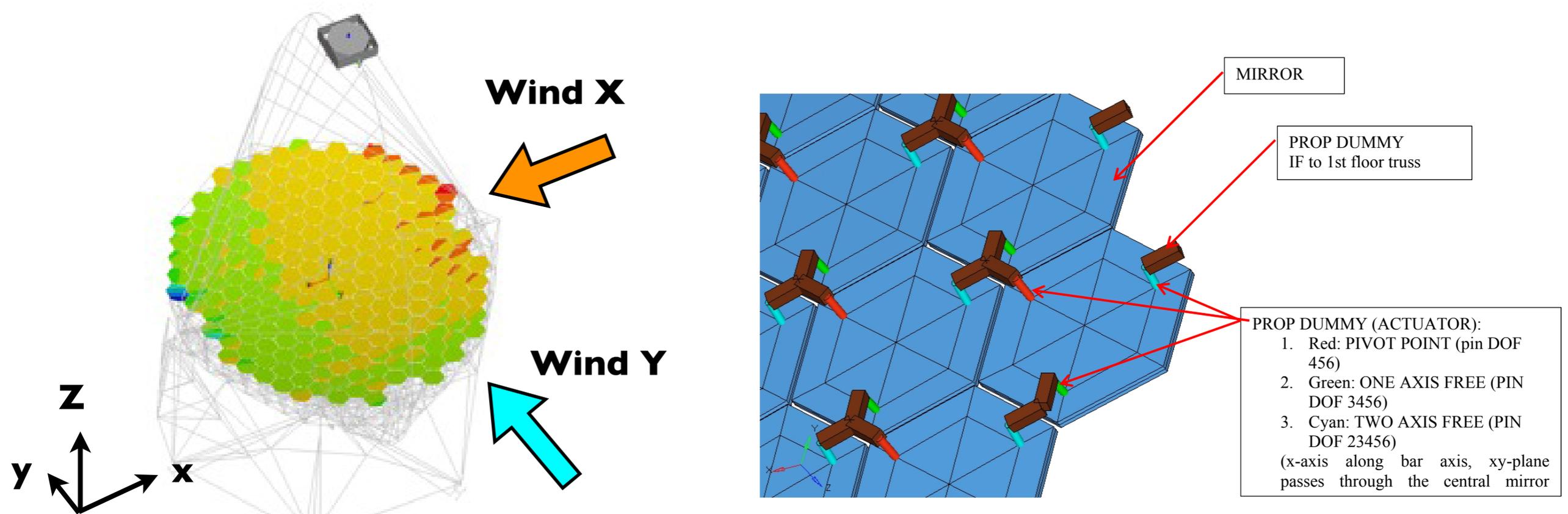
チューブをリブとして利用することで変位と重量の両方がクリアできる

→CADモデルをエンジニアに渡し、クランプ方法の詳細を検討中

# LST光学系性能の評価

LSTの全要素モデルを組み込んだ構造計算が行われている(by Eder)

その結果をもとにレイトレースし、光学系性能を評価(by 野田)



現在、インターフェースプレートは十分な強度を持ったダミーを仮定

▶ 指向精度、スポットサイズともに問題ないことを確認した

今後、実際のデザインでLSTの要求を満たすかを検証

# まとめ

- 有限要素法を用いて、CTA/LSTのアクチュエータを支持するインターフェースプレートの設計開発を行った。
- 分割鏡へのアクチュエータの取り付け位置が $\Phi 1100\text{mm} \rightarrow \Phi 1300\text{mm}$ に変更可能であることを指摘し、プレートのサイズを変更。
- プレートをクランプでスペースフレームに固定する構造が、LSTの要求を満たすことを確認。

# 今後

- LST全体での構造計算に実際のプレートのデザインを反映し、レイトレースで光学系性能の評価を行う。
- プレートの試作品を作成し、分割鏡支持構造の確認試験を行う。