



SUNRISE-3大気球太陽観測実験： 偏光分光装置SCIPにおける構造設計

浦口史寛、都築俊宏、原弘久、勝川行雄(国立天文台)、
岩村哲(MRJ)、久保雅仁(国立天文台)、清水敏文(宇宙科学研究所)

概要

SUNRISE-3 SCIPの構造設計について報告する。SCIPの光学性能維持のため構造に与えられる要求は、 $10^2 \sim 10^5$ Paの圧力変化、 $20 \pm 10^\circ\text{C}$ の温度変化に対し、光学素子の剛体運動が0.1mmならびに1分角以下、かつ光学面の形状変化が4nm rms以下、である。また非運用時の環境変化や衝撃に対しても機器の健全性が要求される。本講演では、構造数学モデルによる一次評価結果を示す。

仕様

光学設計 (P-053)より、分光器の性能を決定する素子

- SP-COLM (コリメータミラー)
- SP-GRAT (グレーティング)
- SP-CAMM (カメラミラー)
- SP-FM (折り曲げミラー)

について一次評価を行う

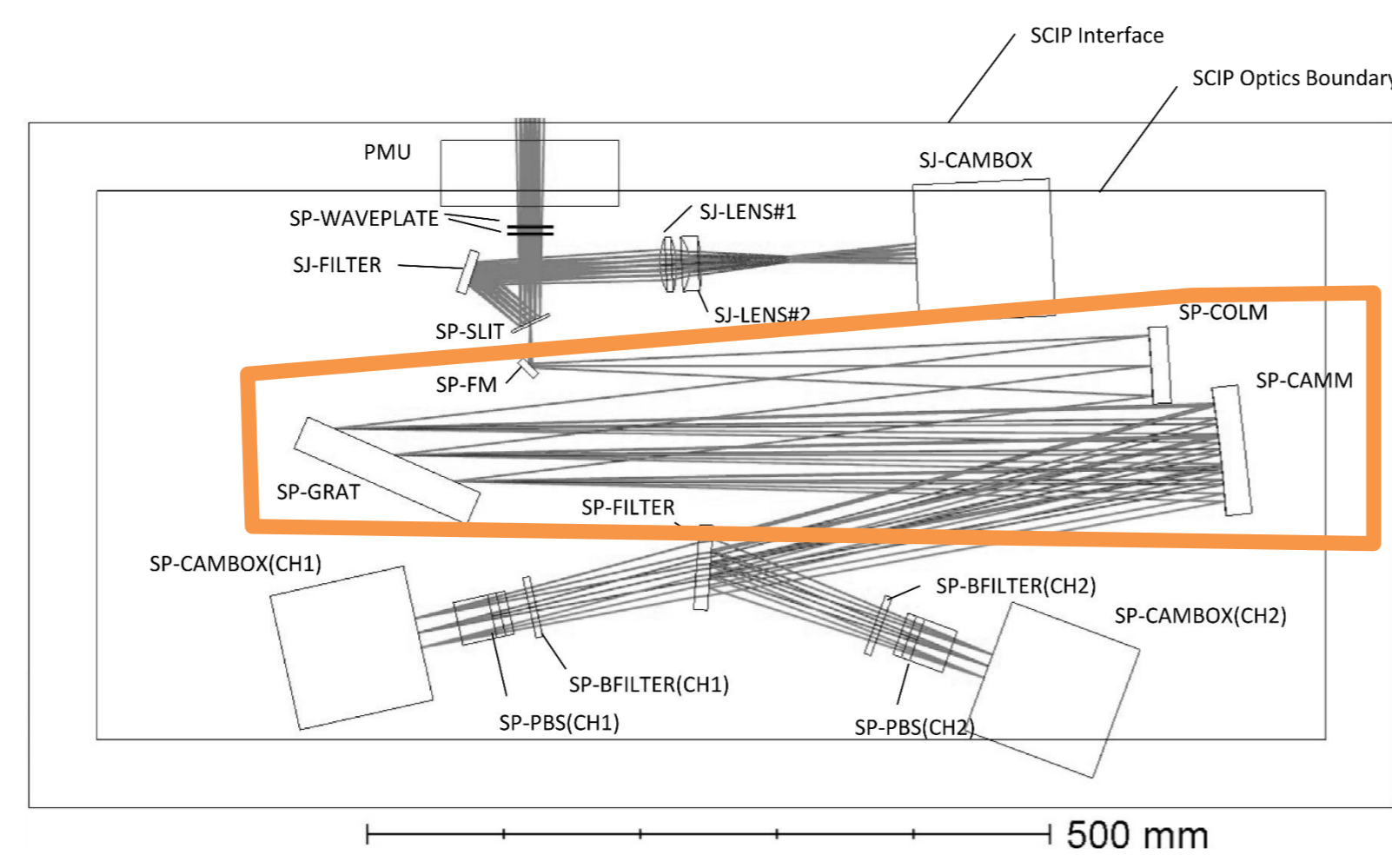


図1 SCIP素子配置図。オレンジ枠内が評価対象

波面誤差への寄与 (ポスターP-053エラーバジェットプラン参照)

「表面形状誤差 (保持による)」「設置誤差」「調整誤差」→ 各素子に配分 (表1)
「環境誤差」→ 全体で18 nm、機械環境条件 (運用時) (表2)において

機械環境条件

光学性能維持 (運用時)、機器の健全性 (非運用時) がそれぞれ要求される

表1 評価対象素子の仕様

素子名	材質	表面形状誤差 (保持による)		設置誤差		調整誤差	
		[nm rms]	Shift/Tilt	[mm/arcmin]	[mm/arcmin]	[mm/arcmin]	[mm/arcmin]
SP-FM	Clearceram	4	Shift X/Y/Z Tilt X/Y/Z	0.5 / 0.5 / 0.1 1 / 1 / 18	- / - / - 0.96 / 0.96 / -	- / - / -	- / - / -
SP-COLM	Clearceram	4	Shift X/Y/Z Tilt X/Y/Z	0.1 / 0.1 / 0.1 1 / 1 / 6	- / - / 0.02 - / - / -	- / - / -	- / - / -
SP-GRAT	Zerodur	4	Shift X/Y/Z Tilt X/Y/Z	0.5 / 0.5 / 0.5 1 / 1 / 2.5	- / - / - - / 0.2 / 1.32	- / - / -	- / - / -
SP-CAMM	Clearceram	4	Shift X/Y/Z Tilt X/Y/Z	0.1 / 0.1 / 0.1 1 / 1 / 3	- / - / - 0.42 / 0.78 / -	- / - / -	- / - / -

表2 機械環境条件仕様

環境条件	仕様
圧力	1 mbar - 1 atm ($10^2 - 10^5$ Pa)
温度	10 ~ 30 °C (運用時)、-20 ~ +50 °C (非運用時)
衝撃	4 G · 11 msec 半正弦波 (運用時)、10 G · 11 msec 半正弦波 (非運用時) 構造インターフェイス (I/F) 点に入力

基本設計

ベース ハニカムパネル (CFRP表皮5mm厚、アルミコア50mm厚)。熱膨張率は最悪値として6ppm/Kを想定。

ホルダ アルミニウム製。フレクシャを締結。

フレクシャ スーパーインバー製 (東北特殊鋼 K-EL50CS、熱膨張率0.7ppm/K、耐力330MPa、強度500MPa)。光学素子に接着。光学素子-ホルダ間の熱ひずみの差を吸収。

マウント アルミニウム製。ホルダとベースを結合。ホルダとの間にシムを挿入。

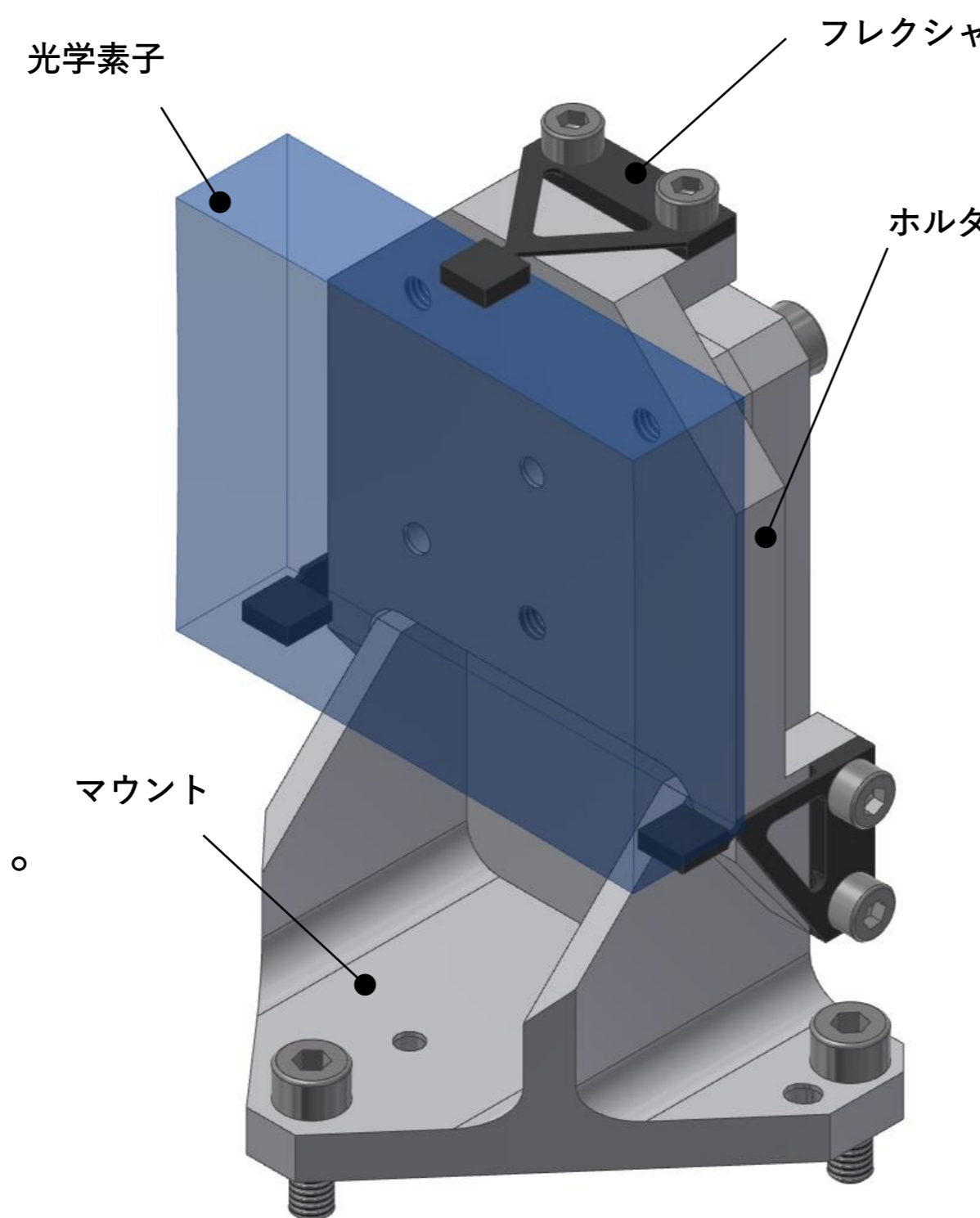


図2 光学素子ホルダ・マウント基本構成

課題

- 接着剤硬化収縮のモデル化 → 表面形状誤差推定の精度向上
- ベース膨潤変形のモデル化 → 環境誤差推定の精度向上
- 現実的な設置誤差、調整誤差を再配分 → 光学系公差解析へフィードバック
- 温度変化に対する波面誤差増加の抑制
 - たとえば
 - 低熱膨張率ベースプレートの採用
 - 温度制御による運用時温度変化の抑制

一次評価結果

設置誤差・調整誤差

機械加工精度のみでは設置誤差要求の達成は困難

- ホルダ・マウントを組立後、光学素子とマウントの相対位置・姿勢を3次元測定機で測定
- マウントベース間のシムで補償することで仕様達成の見込み

回転調整には5μmの分解能が必要。困難が予想される

- 光学系公差解析へのフィードバックが望ましい

表3 SCIP各構成素子の設置誤差・調整誤差の推定値

素子名	Shift/Tilt	設置誤差 (線形和)		調整誤差	
		[mm/arcmin]	[mm/arcmin]	[mm/arcmin]	[mm/arcmin]
SP-FM	Shift X/Y/Z Tilt X/Y/Z	0.168 / 0.056 / 0.066 0.557 / 0.737 / 1.678	- / - / - 0.96 / 0.96 / -	- / - / -	- / - / -
SP-COLM	Shift X/Y/Z Tilt X/Y/Z	0.074 / 0.017 / 0.066 0.737 / 0.557 / 2.075	- / - / 0.01 - / - / -	- / - / -	- / - / -
SP-GRAT	Shift X/Y/Z Tilt X/Y/Z	0.334 / 0.017 / 0.066 0.430 / 0.382 / 1.386	- / - / - - / 0.3 / 0.42	- / - / -	- / - / -
SP-CAMM	Shift X/Y/Z Tilt X/Y/Z	0.086 / 0.029 / 0.066 0.516 / 0.516 / 1.344	- / - / - 0.42 / 0.42 / -	- / - / -	- / - / -

表面形状誤差・環境誤差

環境誤差も最終的には表面形状誤差として現れる (図3)

- 保持から運用状態までを構造数学モデル (図4) で解析、最終的な「表面形状誤差」を得る
 - ・接着保持は未実装 (モデル化が困難)
 - ・外乱として重力 (1G) を設定。温度は基準を20°Cとして±10°Cを一様に設定

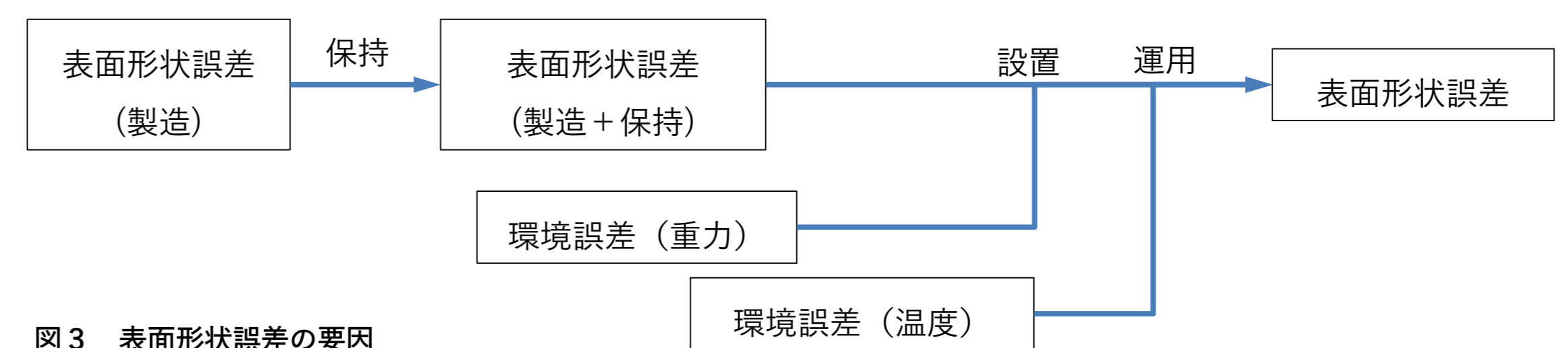


図3 表面形状誤差の要因

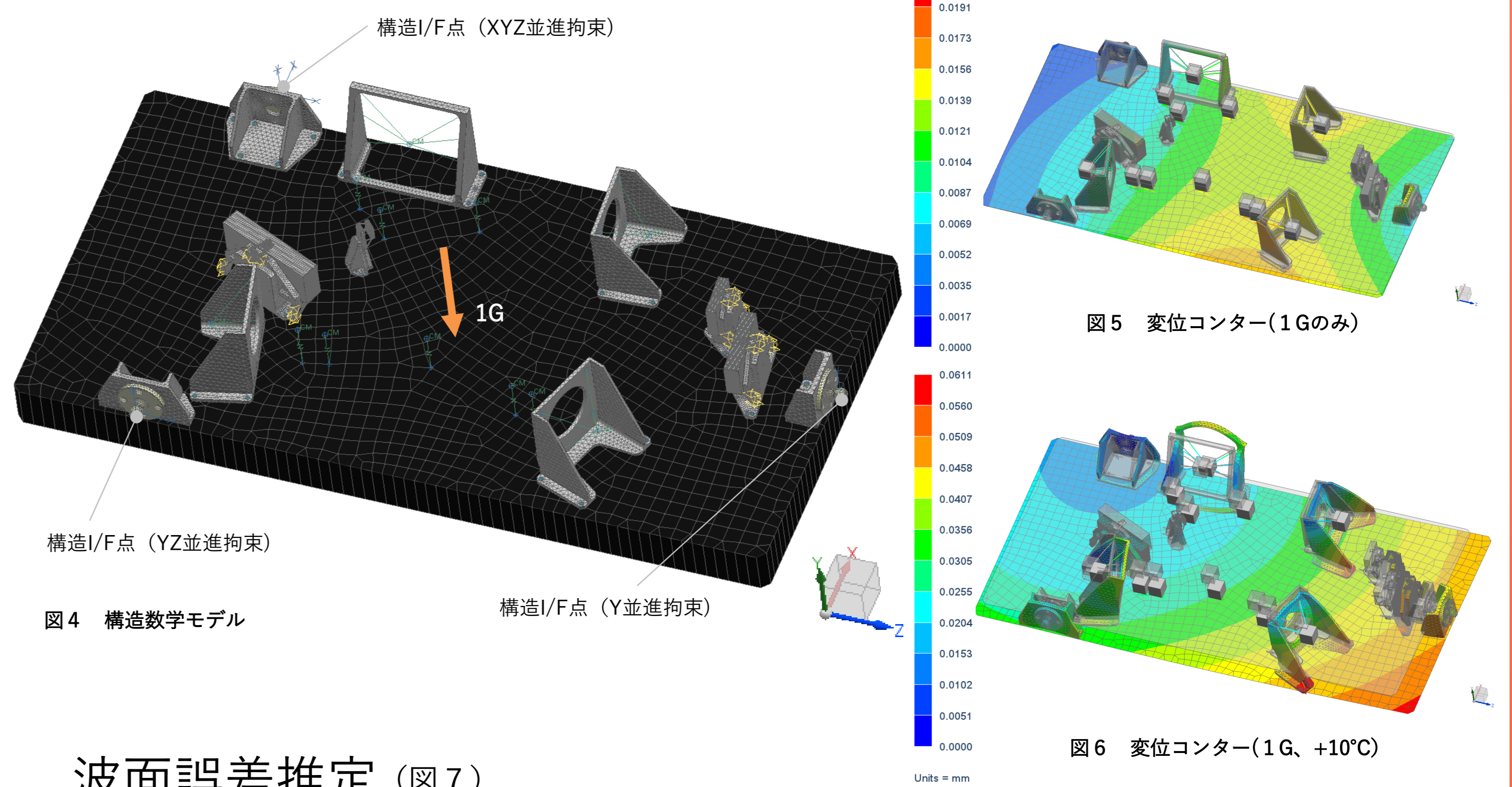


図4 構造数学モデル

図5 変位コンター(1Gのみ)

図6 変位コンター(1G、+10°C)

波面誤差推定 (図7)

- ・1Gの入力のみでは劣化はほとんどない
- ・温度変化により43.5 nmに悪化
 - 誤差配分 (18 nm) を超える
- ・光学素子の剛体運動(RBM)を抽出 (図7におけるOnly RBM)
 - 剛体運動の寄与が支配的
 - ベースの熱変形による剛体運動を抑えれば性能維持が可能

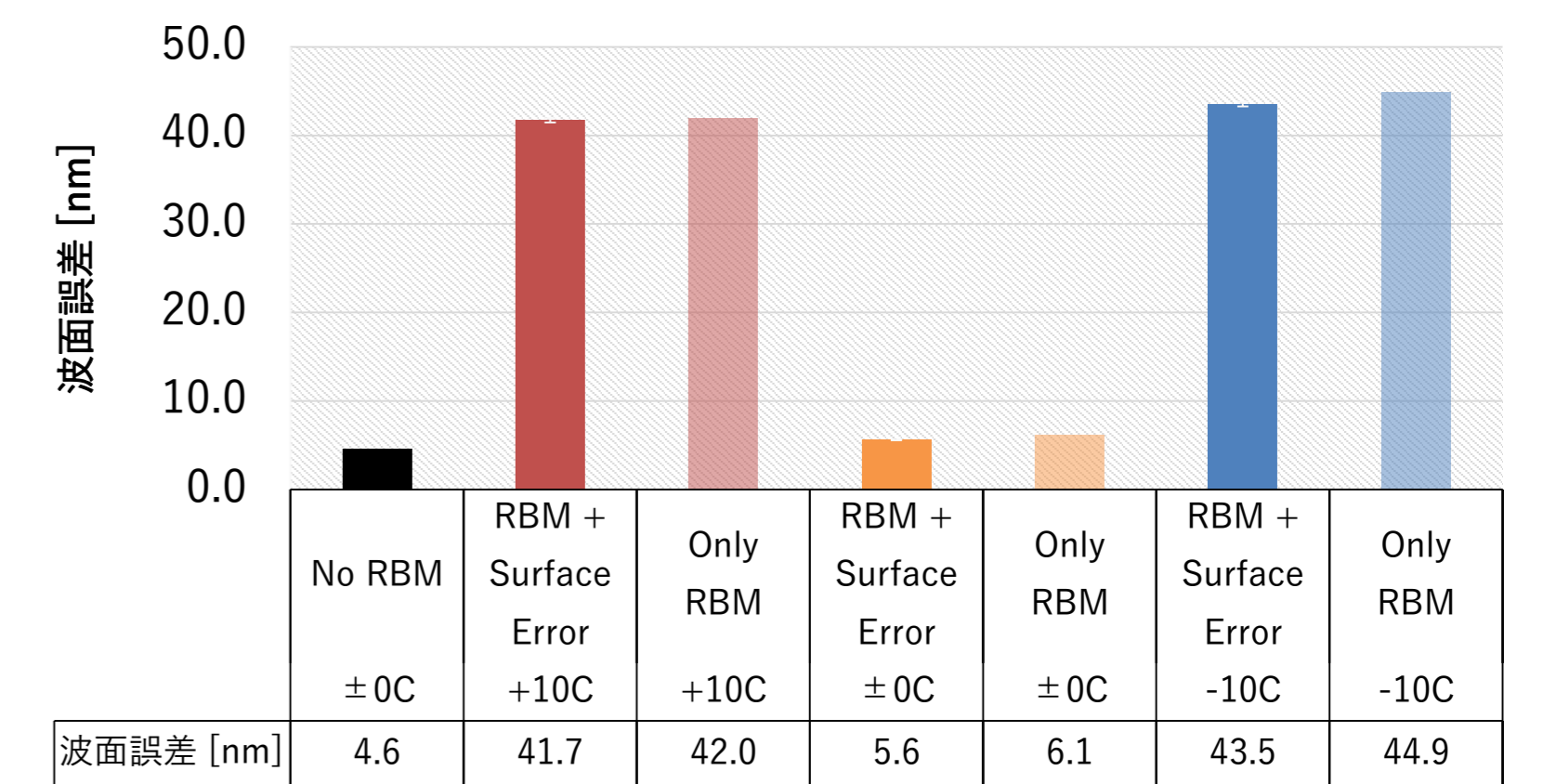


図7 波面誤差推定結果

機械環境条件

過渡応答解析において非運用時衝撃 (10 G · 11 msec 半正弦波) を入力

- 最大応力 253MPa (Q値: 20) SP-CAMMのフレクシャ部 (図8)
- 材質強度 (500 MPa) の0.5倍
材質耐力 (330 MPa) の0.8倍
即座に破損や光学性能の劣化を示すものではない。

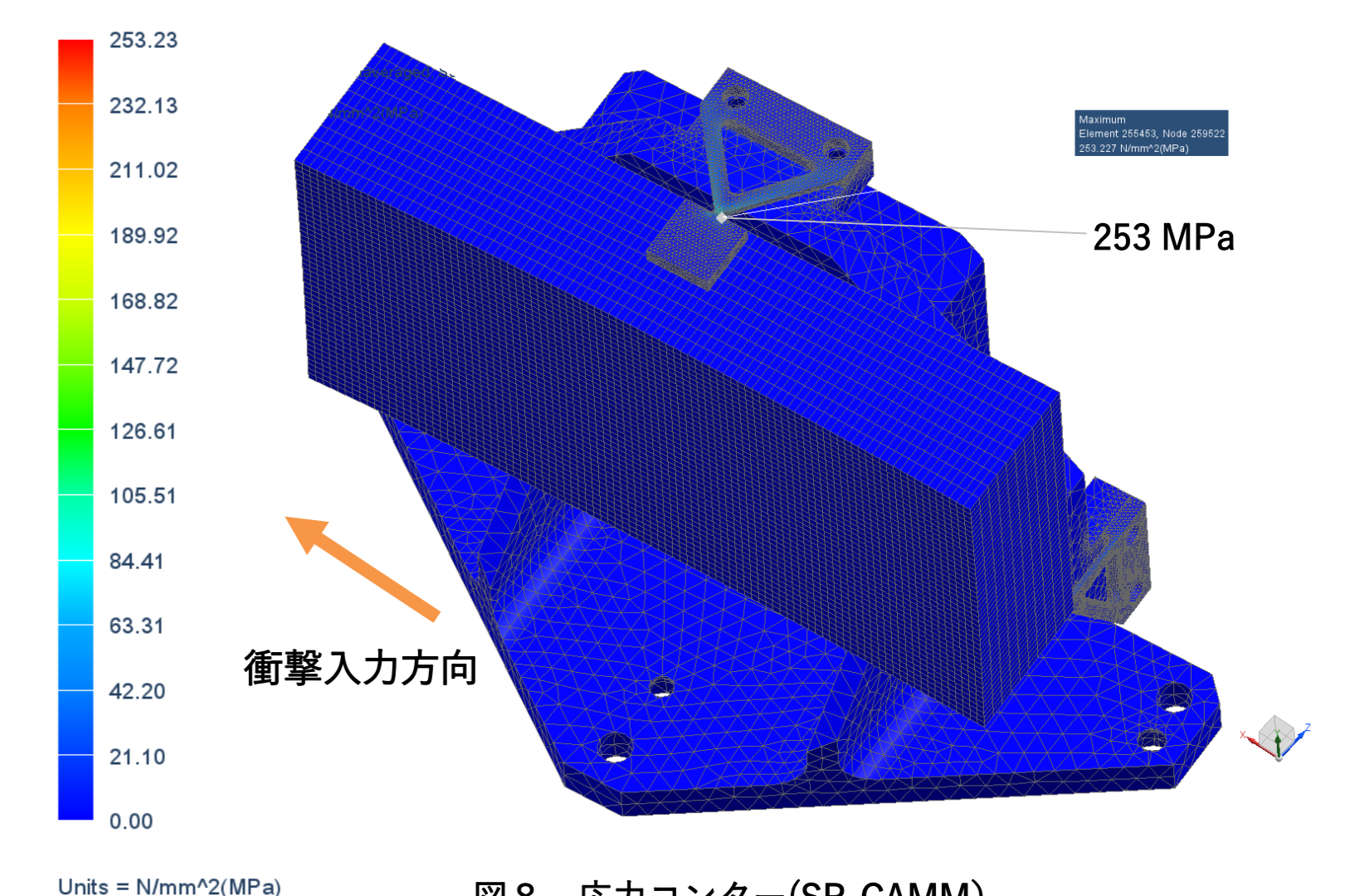


図8 応力コンター(SP-CAMM)