

# KAGRA光テコ用パイロンの設計(2)

11/28/2013

浦口 史寛(国立天文台 先端技術センター)

前回の報告で、構造としてステンレスの円筒を仮選定したところ、共振周波数および光学定盤傾きの感度は仕様を満たすことが推定された。

今回、取り回しの向上と温度むらによる光学定盤傾き感度の低減を考え、ステンレスと比較して軽量かつ熱伝導率が高いアルミニウムを材質として再検討を行った。

再検討の結果、アルミニウムでも仕様を満たすと考えられたため、続けて製作形状を検討した。

# 仕様

131025\_oplev\_pylon.pdf

- ・ 剛性、安定性
- ・ 共振なるべく高め
- ・ ゴム等を配置して低次の共振をダンブ
- ・ 300 x 400程度の光学板が乗る
- ・ 光学板:M6を25mmピッチであける
- ・ 光学板の上面の地面からの高さ: 1100-1150 mm (TBD)

Subject:Re: KAGRA-ATC/ME meeting 議事メモ (20131025)

Date:Wed, 30 Oct 2013 18:31:23 +0900

- ・ 支持する光学定盤のサイズ: 300 x 400
- ・ 光学定盤上面の地面からの高さ: 1100
- ・ 共振周波数: 50 Hz 以上
- ・ 地面との接続: ボルト留めもしくはツメで固定
- ・ 安定度(参考値): 0.2°Cの温度変動に対し光学定盤の角度変動が10  $\mu$  rad以内

11/8打ち合わせ

- ・ 光軸位置: 地面より 1200 mm

~~材質: ステンレス304~~ (←仕様から外しても問題ないことを確認 2013/11/19)

- ・ 光学系(ブレットボード込み)重量: 10 kg
- ・ 総重量制限: 30 kg

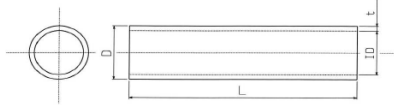
# 構造体

アルミニウムの円筒を想定。入手性を考慮し、JIS規格から仮選定したものについて性能を推定する。

## 仮選定結果

規格 JIS H 4080アルミニウム合金継目無管 径呼び 200A 厚さ呼び S10S  
 外径 216.3 mm  
 厚さ 4.0 mm  
 重量 7.150 kg/m

A 5052アルミ合金製シームレス管（配管サイズアルミ管）



JIS G3459  
 JIS H4080  
 定尺 4,000mm

A5052TD-0（引抜管）

径の呼び		S10S			S20S			S40			S80			
		厚さの呼び 外径 (mm)	厚さ (mm)	内径 (mm)	m重量 (Kg)	厚さ (mm)	内径 (mm)	m重量 (Kg)	厚さ (mm)	内径 (mm)	m重量 (Kg)	厚さ (mm)	内径 (mm)	m重量 (Kg)
A	B	D	t	ID	(Kg)	t	ID	(Kg)	t	ID	(Kg)	t	ID	(Kg)
6A	1/8	10.5	1.2	8.1	0.094	1.5	7.5	0.114	1.7	7.1	0.126	2.4	5.7	0.164
8A	1/4	13.8	1.65	10.5	0.169	2.0	9.8	0.199	2.2	9.4	0.215	3.0	7.8	0.273
10A	3/8	17.3	1.65	14.0	0.217	2.0	13.3	0.258	2.3	12.7	0.290	3.2	10.9	0.380
15A	1/2	21.7	2.1	17.5	0.347	2.5	16.7	0.404	2.8	16.1	0.446	3.7	14.3	0.561
20A	3/4	27.2	2.1	23.0	0.444	2.5	22.2	0.520	2.9	21.4	0.593	3.9	19.4	0.765
25A	1	34.0	2.8	28.4	0.736	3.0	28.0	0.783	3.4	27.2	0.876	4.5	25.0	1.118
32A	1 1/4	42.7	2.8	37.1	0.941	3.0	36.7	1.003	3.6	35.5	1.185	4.9	32.9	1.560
40A	1 1/2	48.6	2.8	43.0	1.080	3.0	42.6	1.152	3.7	41.2	1.399	5.1	38.4	1.868
50A	2	60.5	2.8(3.0)	54.9(54.5)	※1.452	3.5	53.5	1.680	3.9	52.7	1.859	5.5	49.5	2.547
65A	2 1/2	76.3	3.0	70.3	1.852	3.5	69.3	2.145	5.2	65.9	3.113	7.0	62.3	4.085
80A	3	89.1	3.0	83.1	2.175	4.0	81.1	2.866	5.5	78.1	3.872	7.6	73.9	5.215
90A	3 1/2	101.6	3.0(3.05)	95.6(95.5)	※2.531	4.0	93.6	3.287	5.7	90.2	4.603	8.1	85.4	6.377
100A	4	114.3	3.0	108.3	2.811	4.0	106.3	3.715	6.0	102.3	5.471	8.6	97.1	7.654
125A	5	139.8	3.4	133.0	3.905	5.0	129.8	5.675	6.6	126.6	7.402	9.5	120.8	10.423
150A	6	165.2	3.4	158.4	4.632	5.0	155.2	6.744	7.1	151.0	9.452	11.0	143.2	14.282
200A	8	216.3	4.0	208.3	7.150	6.5	203.3	11.482	8.2	199.9	14.368	12.7	190.9	21.772
250A	10	267.4	4.0	259.4	—	6.5	254.4	—	9.3	248.8	—	15.1	237.2	—
300A	12	318.5	4.5	309.5	—	6.5	305.5	—	10.3	297.9	—	17.4	283.7	—

JIS規格より  
 赤線で示しているのが  
 仮選定した円筒

# 固有値解析

共振周波数の推定のため固有値解析を行う。

## 解析モデル

形状      ブレッドボード: 400 x 300 x 16 mm  
            上フランジ: 300 mm径, 4 mm厚(中空)  
            円筒: 1072 mm長, 216.3 mm径, 4 mm厚  
            下フランジ: 300 mm径, 10 mm厚(中空)

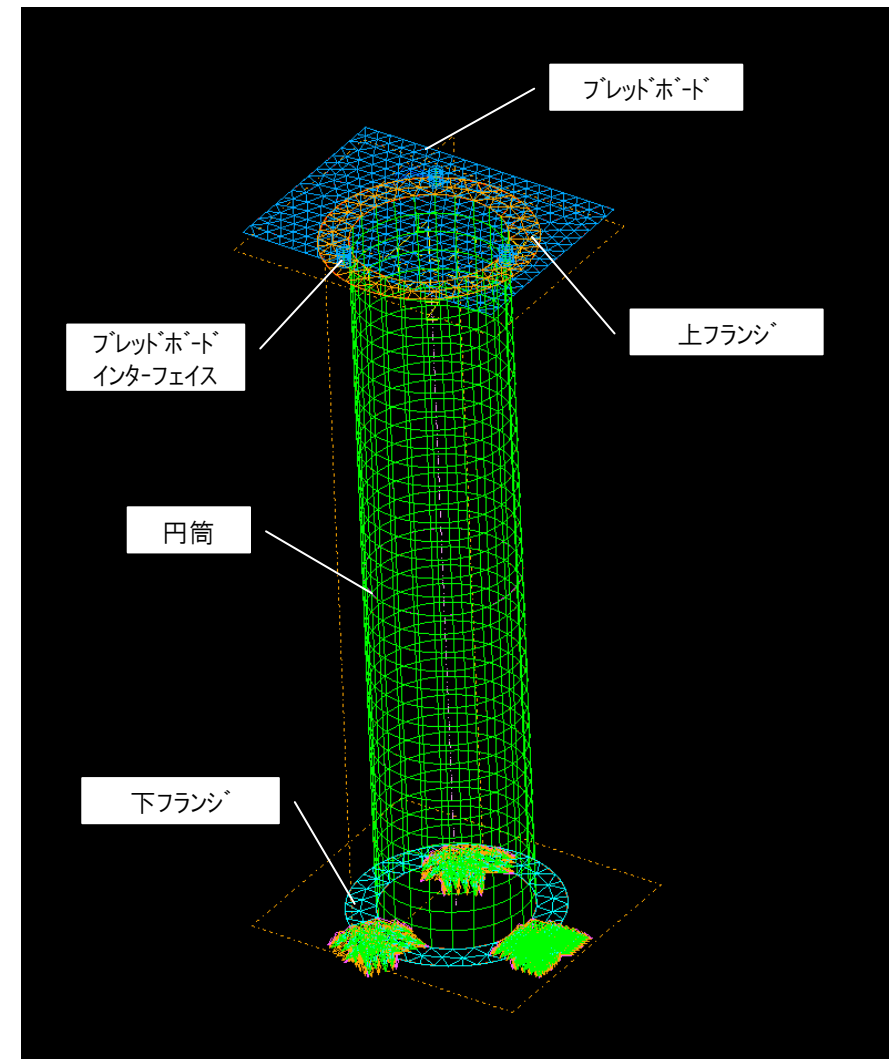
材質      A5052(すべて)

質量      ・ ブレッドボード中央に 5 kg の集中質量  
            ・ ブレッドボード端に 5 kg の集中質量  
            の 2 とおり

要素      円筒: シェル二次(四角形)  
            ブレッドボードインターフェイス: ビーム二次  
            その他: シェル二次(三角形)

要素長    円筒: 40 mm  
            ブレッドボードインターフェイス: 4 mm  
            その他: 20 mm

- ・ 地面への拘束は、幅 50 mm の爪を想定
- ・ 重力を上フランジから下フランジ方向に設定

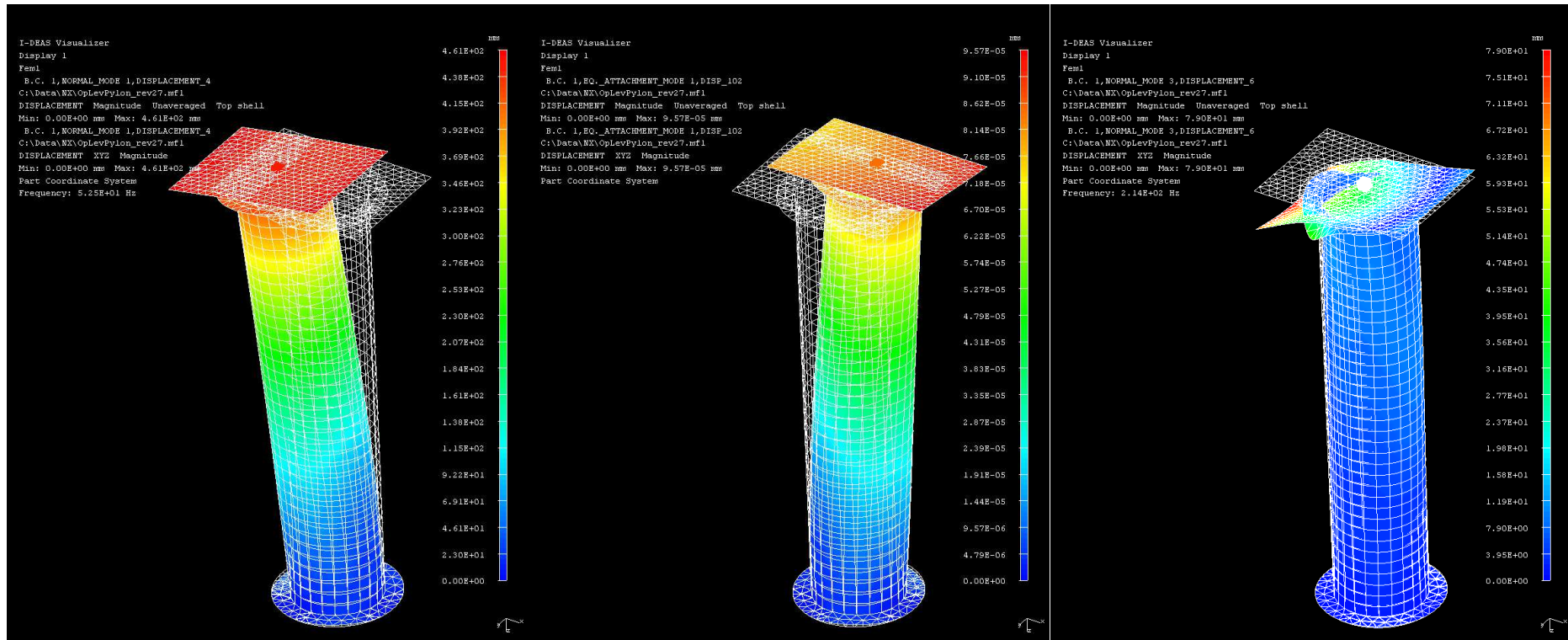


固有値解析モデル

# 固有値解析結果

集中質量の位置によらず仕様50Hz以上を満たすことを確認した。

質量位置	1次モード周波数 [Hz]	2次モード周波数 [Hz]	3次モード周波数 [Hz]
中央	52.52	52.69	213.6
端	50.17	51.75	74.22

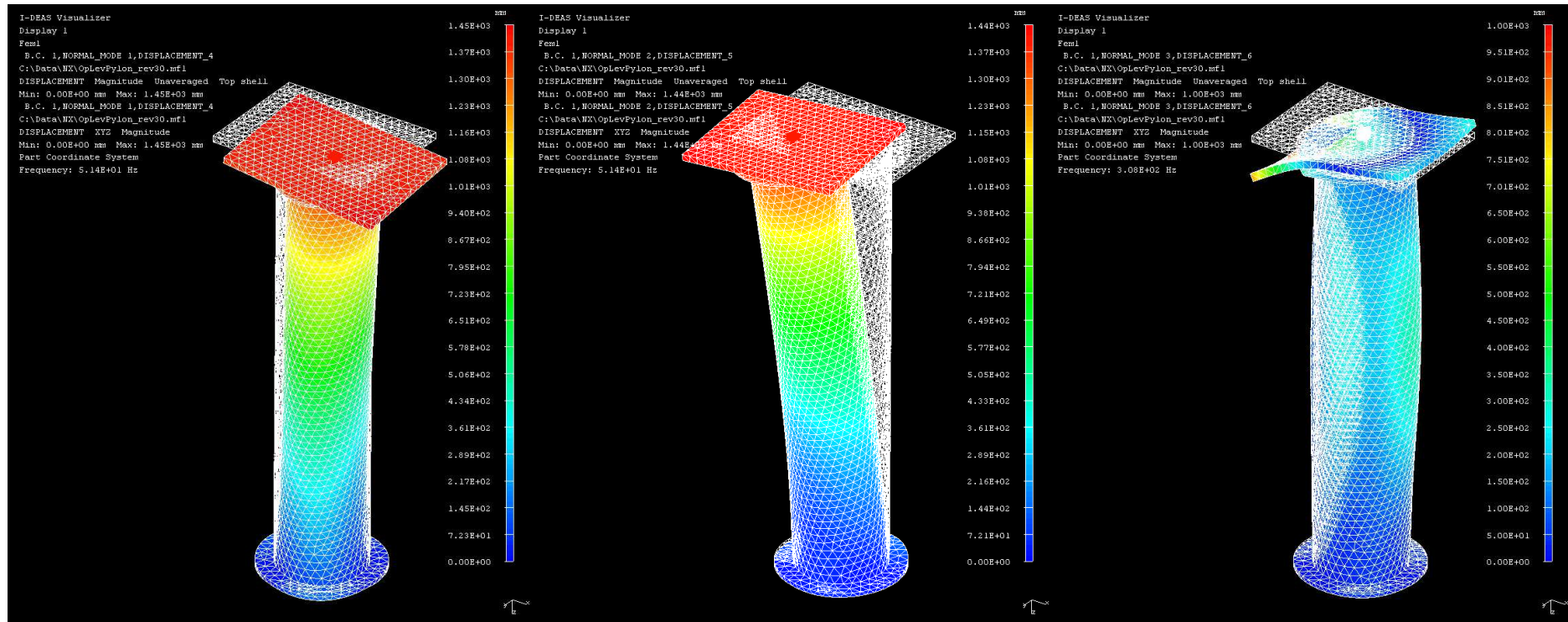


集中質量をブレットホート中央に配置したときのモードシェイプ。左から1次、2次、3次。  
3次以上のモードシェイプは集中質量の位置で大きく異なる

## (参考) ソリッド要素による固有値解析結果

シェル要素の代わりにソリッド要素を用いた解析を行い、低次のモード周波数において要素選択に起因する相違が顕著でないことを確認した。

質量位置	1次モード周波数 [Hz]	2次モード周波数 [Hz]	3次モード周波数 [Hz]
中央	51.43	51.44	308.4



ソリッド要素を用いたモデルのモードシェイプ。左から1次、2次、3次。  
3次以上のモードではシェル要素と異なる周波数となった。

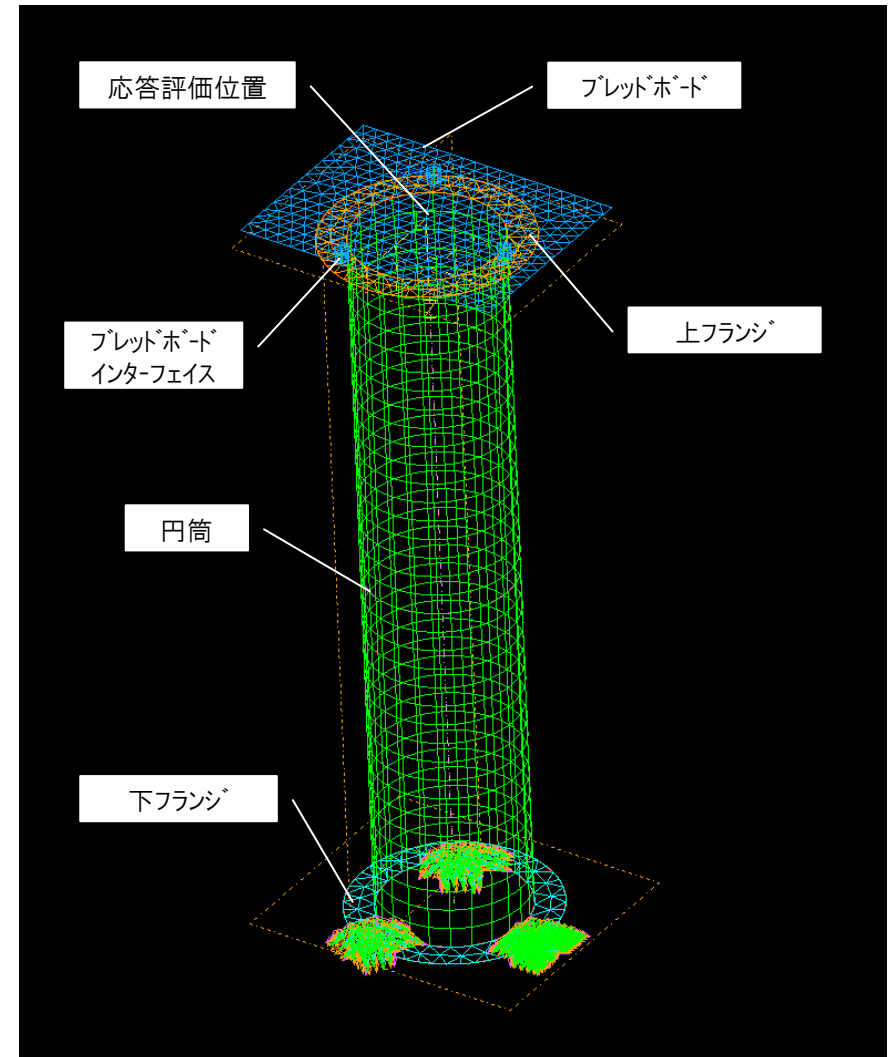
# (参考) ランダム応答解析

神岡鉱山での地面振動の変位スペクトルを入力し、その応答を解析で求める

## 解析モデル

固有値解析用モデルに以下を考慮している

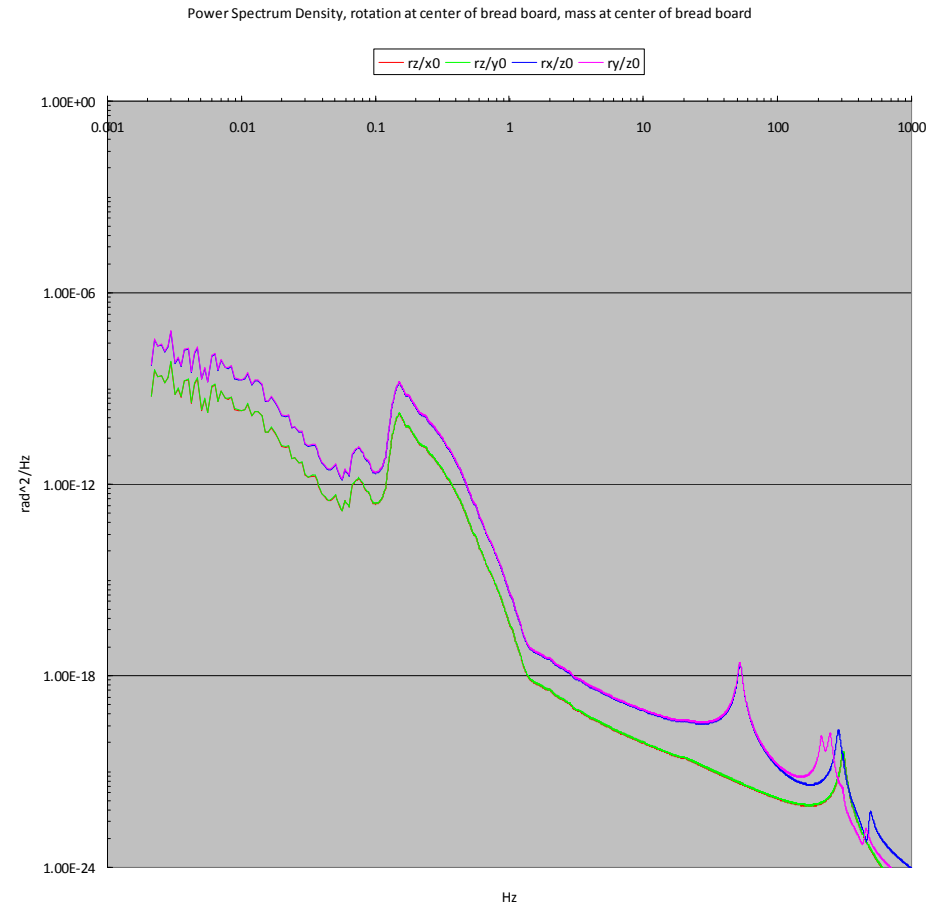
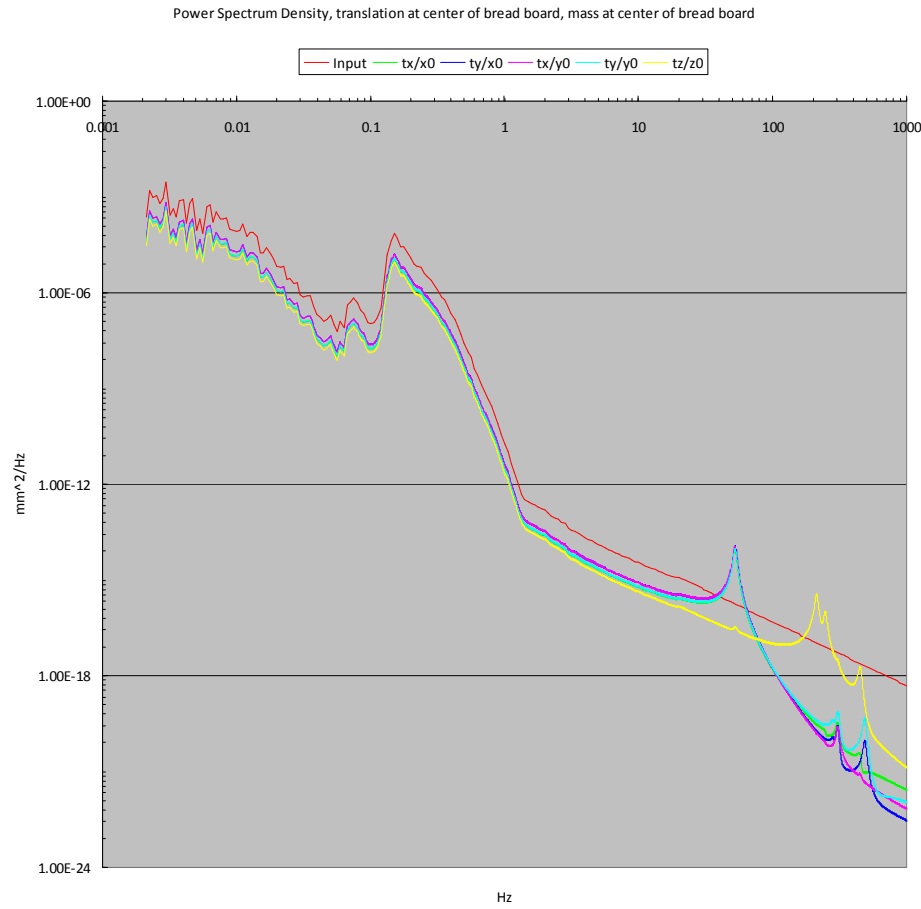
- ・ 3%の粘性減衰を設定
- ・ 応答の評価はプレートボード中央の節点で行う



ランダム応答解析モデル

# (参考) ランダム応答解析結果(1)

ブレッドボード中央に集中質量を置いたときの、ブレッドボード中央における応答

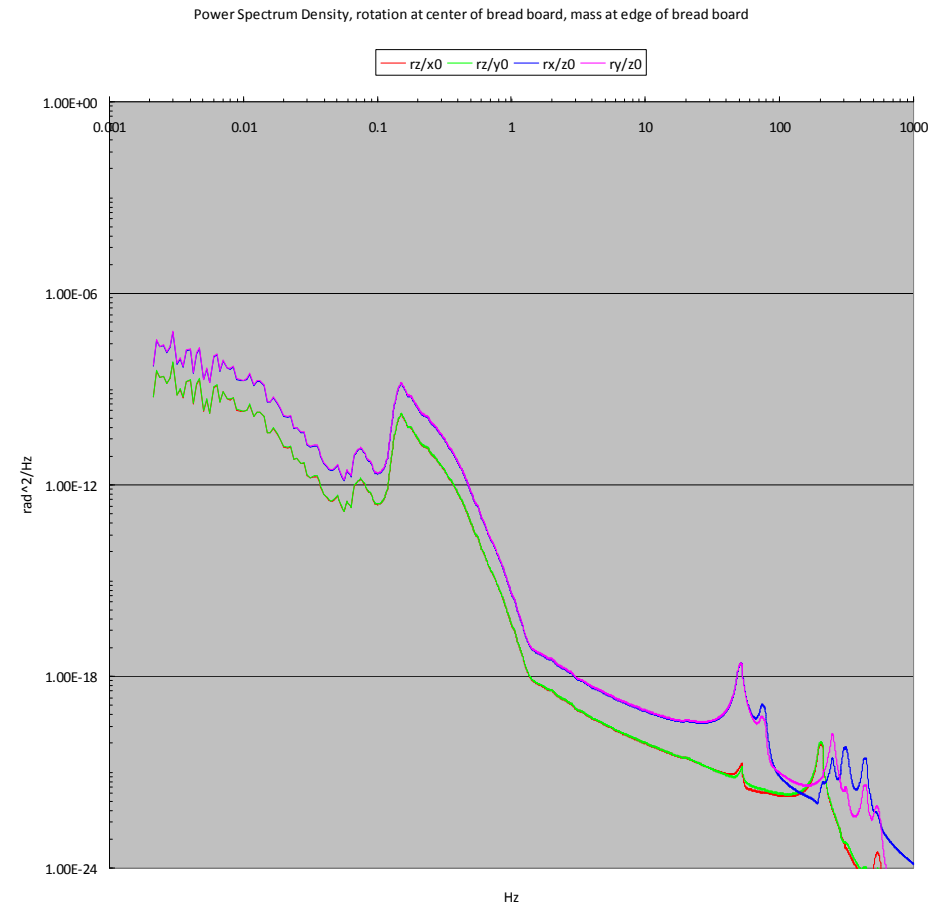
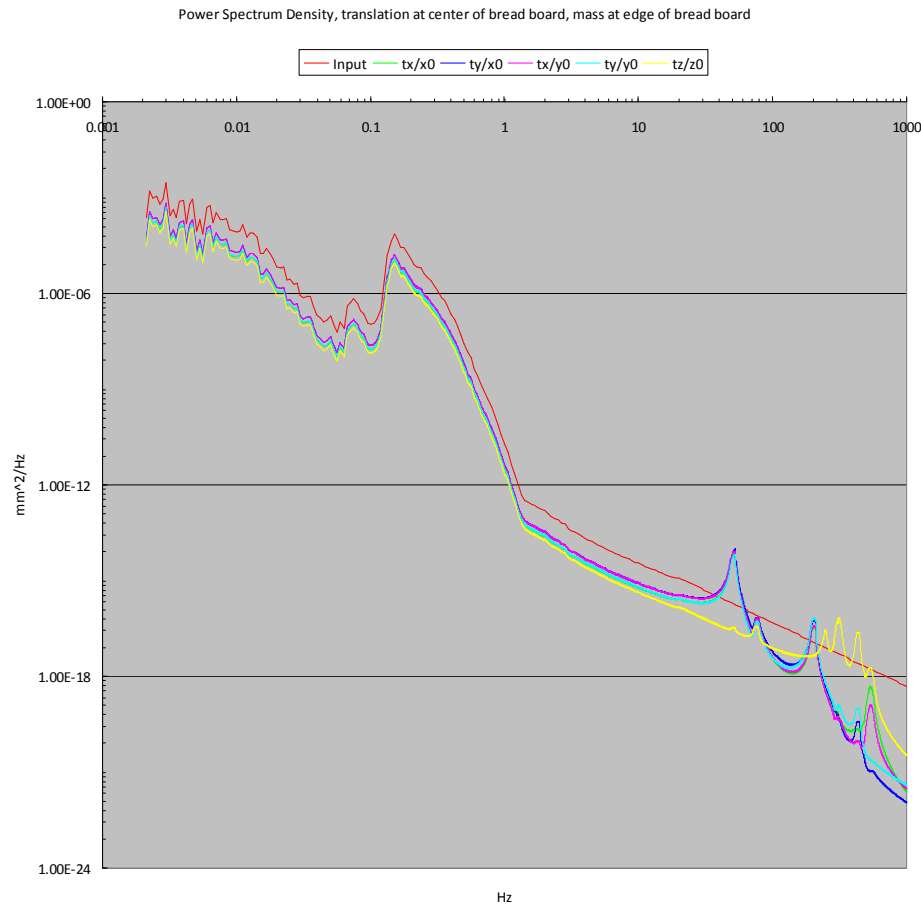


(左) 並進。入力は赤線 (右) 回転



## (参考) ランダム応答解析結果(2)

フレットボード端に集中質量を置いたときの、フレットボード中央における応答



(左) 並進。入力は赤線 (右) 回転

# 安定度推定

安定度を推定するにあたり、円筒の温度むらに起因するブレードボードの傾きを考える。  
傾きの最悪値は、円筒を縦に割ったときのそれぞれが温度差を持つ場合と考え、  
パイロンの固定部と円筒の半分が仕様に示される0.2℃の温度差をもったとき、  
ブレードボードがどれくらい傾くかを解析で求める。

## 解析モデル

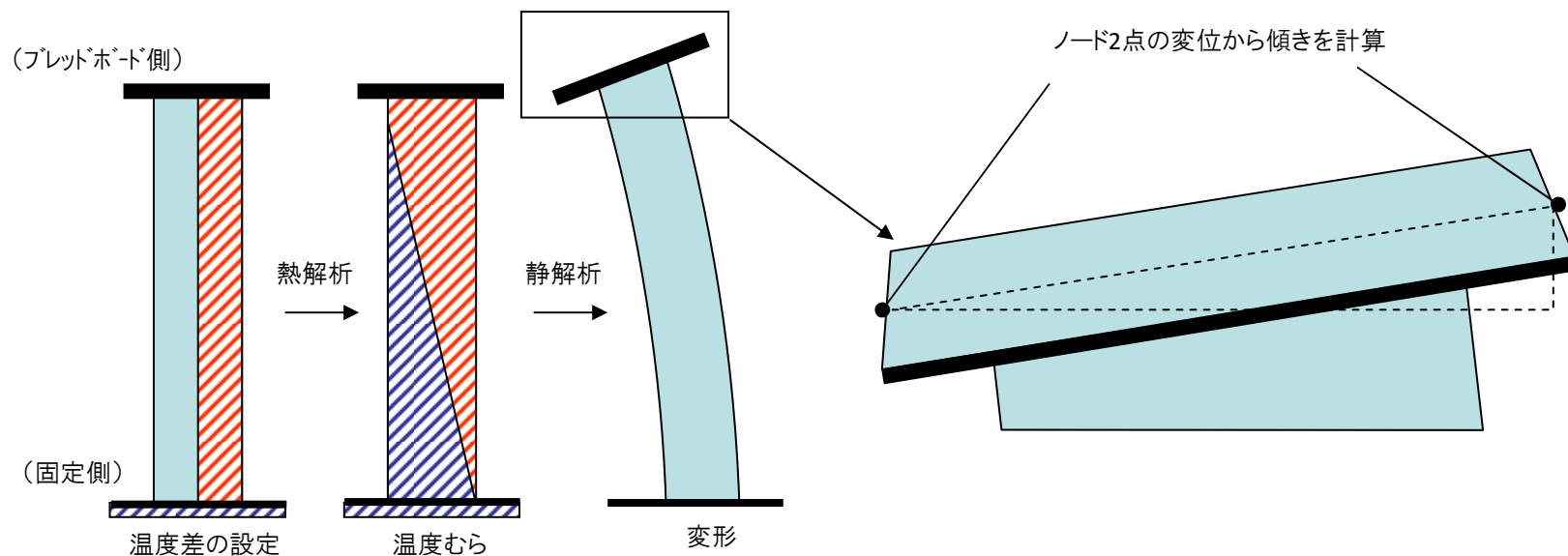
形状・要素・要素長  
温度差の設定

固有値解析と同じ

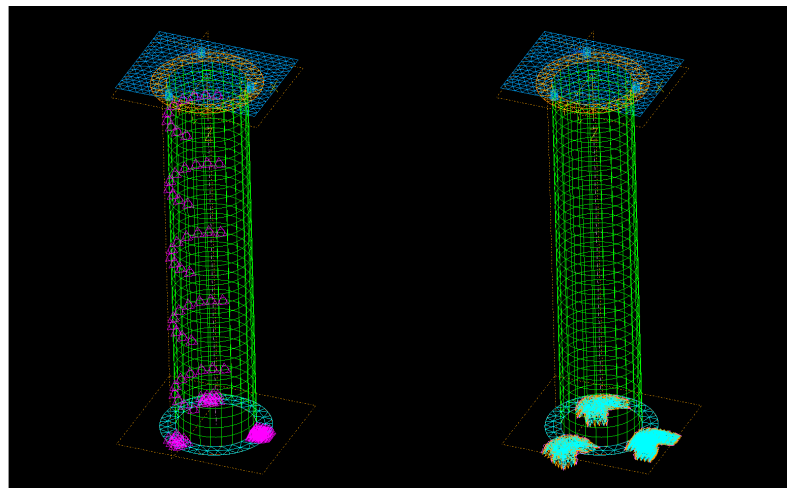
円筒を縦に割ったときの片方に固定側より0.2℃高い温度を設定し、  
温度むらを求める。

傾きの測定

先に求めた温度むらを入力とする静解析を行い、ブレードボード端の変位から傾きを  
求め(下図参照)、温度むらを設定しなかったときの傾きと比較する。



## 安定度推定結果

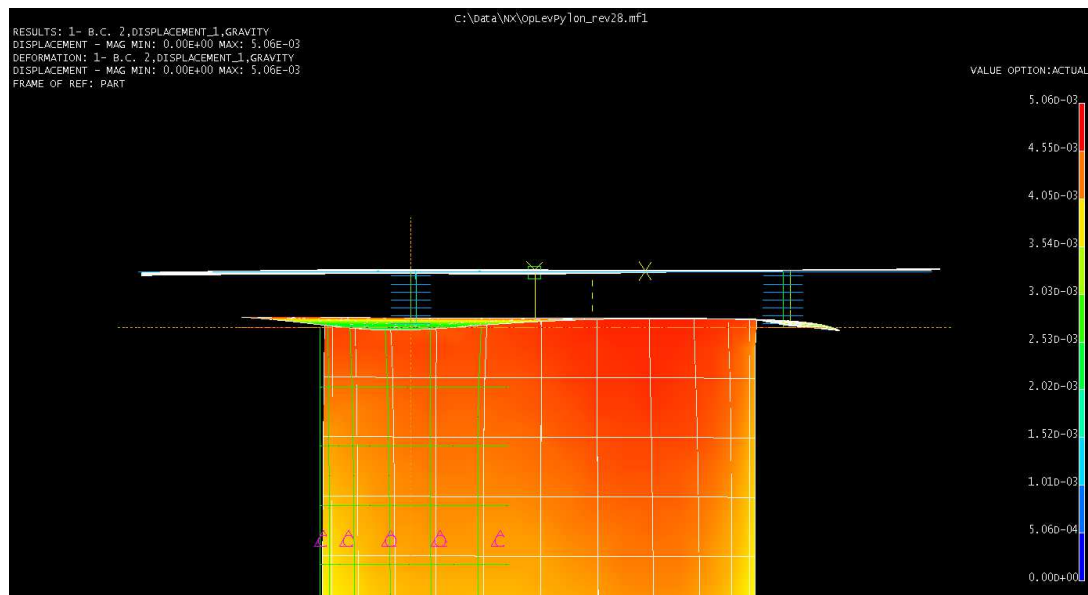
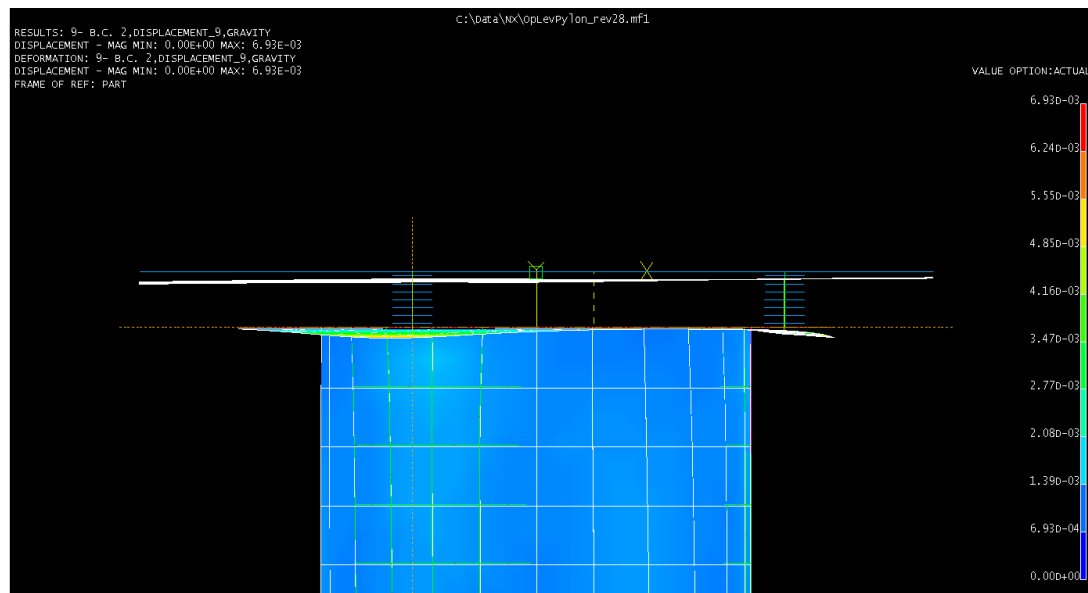


(上)

上段左より、熱解析用モデルと、静解析用モデル  
ピンク色で示されているのが熱を入力している面で、  
円筒部は下フランジと比較し0.2℃高い温度が設定される

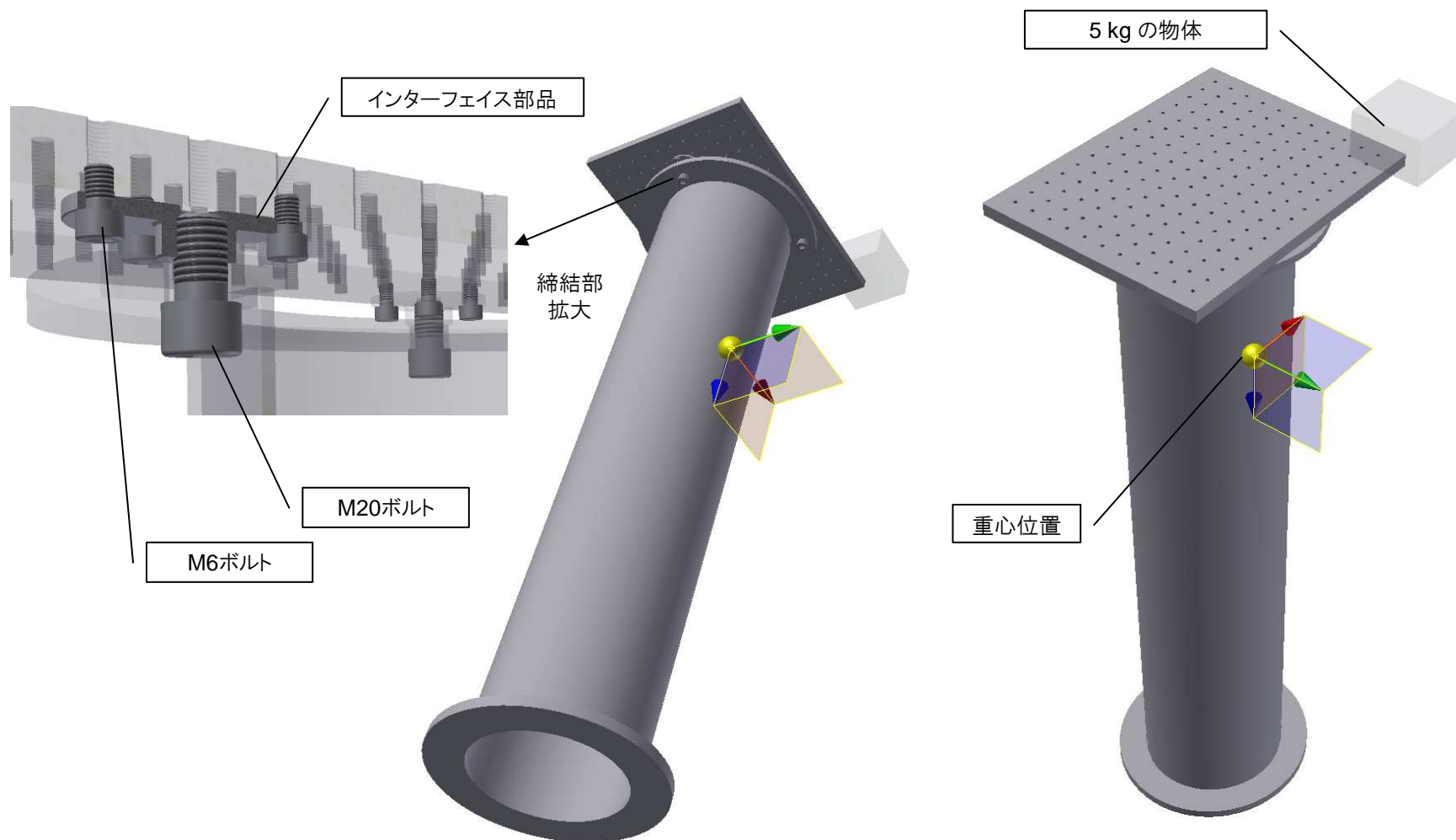
(右) 解析結果

上が温度むらなし、下が温度むらあり。  
コンターは解析前後での変位量を示している。ブレッド  
ボードの傾きは上が画面に対して反時計周りに 9.64  
 $\mu$  rad、下が同じく反時計周りに 7.17  $\mu$  rad。  
変化量は 2.5  $\mu$  rad となり仕様を満たす。



# 製作形状

解析モデルを元に製作形状を作成した。ブレッドボードと上フランジの締結は、ブレッドボードのM6穴を裏面から使用し、インターフェイス部品によって行う。また、ブレッドボード端に5 kgの物体を置いたときも自立することを確認した。ブレッドボード込みの総重量は15.4 kgとなる。



## まとめ

KAGRA光テコ用パイロンについて、構造としてアルミニウムの円筒で再検討したところ、共振周波数および光学定盤傾きの感度は仕様を満たすと考えられる。そこで、解析で得られた形状をもとにアルミニウムを材質として製作する。

今後は、

- ・ 製作図面の作成
- ・ 表面処理の検討
- ・ 製作見積もり・発注

を行う。