

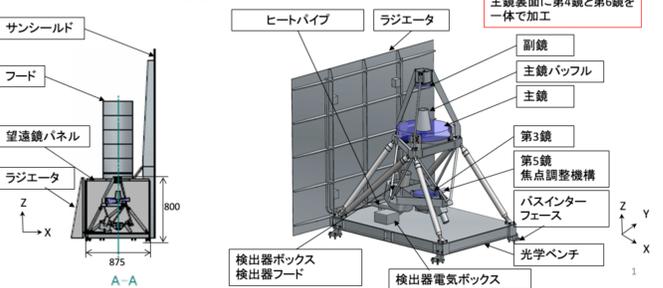
# P-015:小型JASMINE望遠鏡構造の開発と試験及び高精度迷光解析

○鹿島伸悟<sup>1)</sup>, 宇都宮真<sup>1)</sup>, 矢野太平<sup>1)</sup>, 井上登志夫<sup>1)</sup>, 上田暁俊<sup>1)</sup>, 間瀬一郎<sup>1)</sup>, 郷田直輝<sup>1)</sup>, 山田良透<sup>2)</sup>

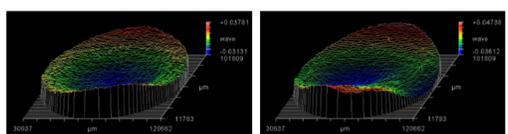
1:国立天文台JASMINE検討室 2:京都大学

## 小型JASMINE望遠鏡の熱構造設計と特長

- 鏡面は、クリアセラム™-Z EX、構造は、スーパー・スーパーインバーという**極低熱膨張率**  $<0.5 \times 10^{-6}/K$  の材料で構成し、熱寸法安定性を実現
- 全金属製のアサーマルな構造であり、安定的かつ設計値の実現性が高い
- 鏡面及び望遠鏡構造は、約5°Cに保持。望遠鏡を囲む6面のパネルを温度制御し、周回中(50分)の温度を0.1°C以下の精度で保つ
- 検出器は、ペルチェ素子で冷却して180K以下に保持。ペルチェ高温部をヒートパイプを介してラジエータに繋ぎ放熱



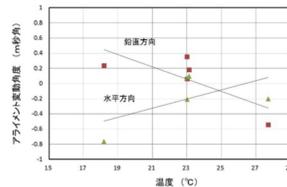
## 望遠鏡の安定性の実証



主鏡鏡面の荷重による変形  
 >1G荷重により保持部近傍が2nm変形

## 望遠鏡への要求精度と検証結果

要求精度	検証結果
焦点距離	10μm/50min <2μm
鏡面精度	10nmPV/50min <2nmRMS
アライメント安定性	27mas/7.1sec <3mas



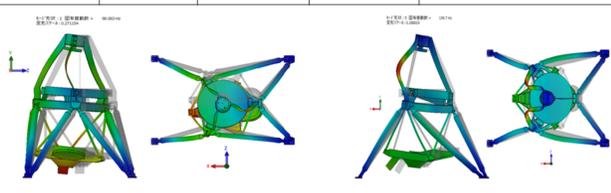
主鏡・副鏡間のアライメント変動  
 >1.5mas/10°C

## 望遠鏡の構造解析と振動試験

表5-1 イプシロン荷重条件(暫定)

注 QTレベル ATレベル=QTレベル/1.25 AT掃引速度=2x QT掃引速度

振動試験条件	機軸方向	基軸直交方向	備考
	3.75G	NA	
準静荷重	1段飛行中	4.3±3G	スピン=360°/sec
	3段飛行中	23.4±2.5G	

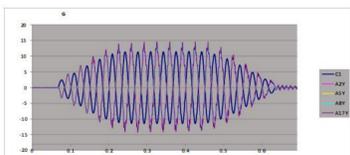
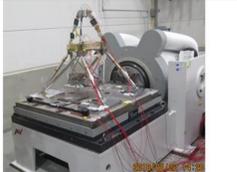


構造解析で得られた固有値と固有モード

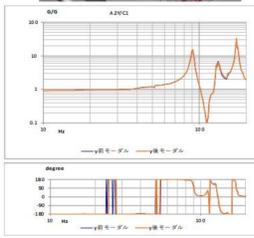
## 振動試験結果

### 構造解析と振動試験結果の比較

モード次数	固有振動数(Hz)	
	試験結果	解析値
1	90.5	98.1
2	133	139.7
3	154	170.1
4	173	179.7
5	190	259



サインバースト試験の時刻歴波形  
 >加振レベル(QT11.3G)は正常に負荷されている



加振前後のモーダル結果比較  
 >両者は位相、倍率ともに完全に重なっており、y軸QTレベル加振によって構造の強度、剛性の変化は無かった

## 高精度迷光解析の背景

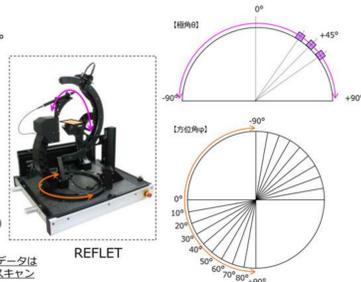
- これまでの迷光解析は、インハウスで開発した簡易型散乱特性測定機での結果に基づき、**植毛の特性は「完全Lambert」**として行っていた
- 今年度、仏Light Tec社が開発したREFLETによる植毛サンプルの特性実測を、開発元のエンジニアに依頼した(国内代理店はサイバネット)
- 垂直入射時の半球反射率が0.5%に満たないサンプルであるため、高精度な測定が非常に難しく、開発元に依頼した方が良いと判断したからである
- 測定の結果、散乱特性はほぼLambertであるが、何れの入射角においても**散乱光の一部が横方向に進み、かなり離角の大きい箇所にピークがある**という不思議な特性が明らかとなった
- 測定条件を以下に示す
  - 測定波長: 小型JASMINEで用いる近赤外波長~1.4μm
  - 測定項目: 半球反射率と散乱特性分布
  - 入射角: 半球反射率は10~70度まで10度刻み、散乱特性は10/30/50/70度
  - 散乱特性データ形式: BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function)

## 測定装置REFLET概要

### CYBERNET 受光器

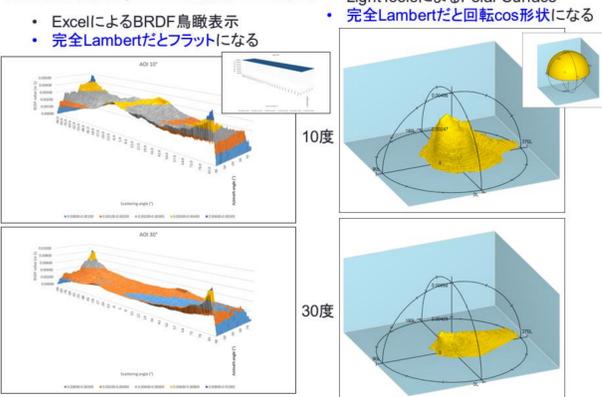
- 可動範囲:
  - 傾角θ: -90°~+90°
  - 方位角φ: -90°~+90°
- デフォルト移動ピッチ:
  - 傾角θ: 0.1°
  - 方位角φ: 10°

- ※補足
- ◇2Dスキャン:
  - ⇒任意の1断面のみ測定
- ◇3Dスキャン:
  - ⇒複数の断面を測定、デフォルトは-90°~+90°まで10°ピッチ(19断面)で測定
  - ⇒LightToolsライブラリデータはデフォルト19断面の3Dスキャンで生成しています



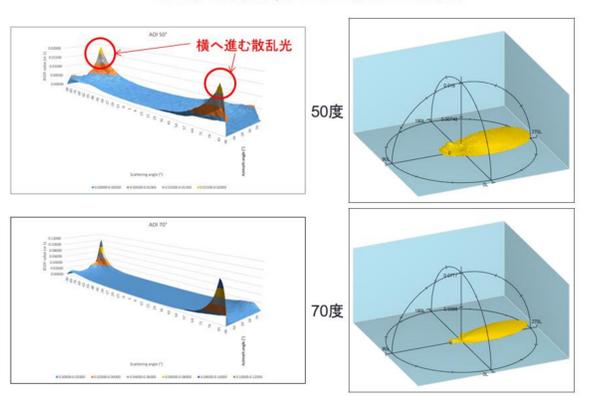
© 2016 CYBERNET SYSTEMS CO., LTD. All Rights Reserved.

## 測定結果: 10度/30度



- ExcelによるBRDF鳥瞰表示
- 完全Lambertだとフラットになる
- LightToolsによるPolar Surface
- 完全Lambertだと回転cos形状になる

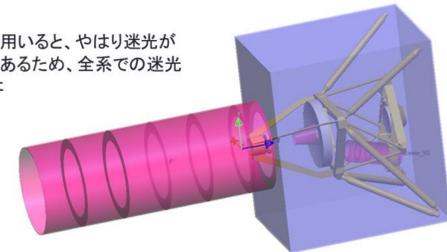
## 測定結果: 50度/70度



## 迷光計算モデル

ユニット	色	表面処理	特性	コメント
パフフルフード	ピンク	植毛	BRDF	10/30/50/70度
ミラ(ボスなし)	シルバー	金属膜	反射100%	他面はLambert 10%
メカ部品	黄色	レイテント	Gauss 10%/15度	実測値は4~7%
Box	水色	PNC	入射角依存	Lambert

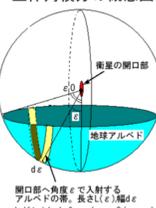
BRDFデータを用いると、やはり迷光が増えるセンスであるため、全系での迷光計算を実施した



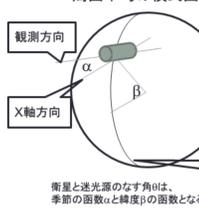
## 計算方法

- 以前と同じように、23~83度まで5度刻みで平行光を入射させ、その時の迷光量を計算する
- 迷光量に対して、PST(Point Source Transmission)カーブを作成する
- そのグラフより、地球周囲上の位置も考慮した立体角積分を行い、**周囲平均での迷光量**を求める

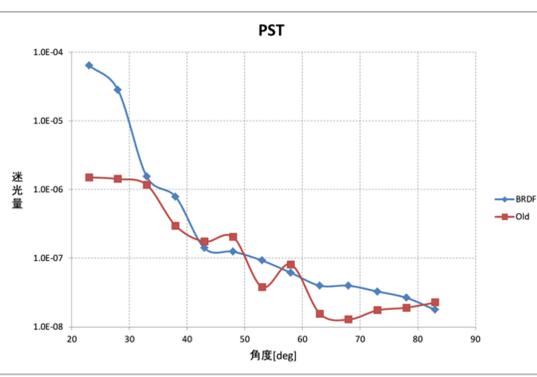
### 立体角積分の概念図



### 周囲平均の模式図



## PST Curve



## PST Curveに関する考察

- 【グラフに関して】
  - Oldが以前計算したPSTカーブ、BRDFが今回の計算結果である
  - 今回の計算の方が時間をかけて高精度に行っているため、**計算誤差は3~10%**程度である
  - 前回の**計算誤差は10~30%**程度あり、入射角が大きく、迷光量が少ないところでグラフが波打っているのはこのせいである
  - 定性的には単調減少になるはずであり、今回の結果は大凡そなっている
  - これでも**計算に1.5ヶ月程度**かかっており、これ以上の高精度化は実際上厳しいし、またそれほど価値もないと思われる
- 【計算結果に関して】
  - 入射角が大きいたる所は大差はないが、23度・28度といった小さなところでは顕著な差が見られる
  - 実際の迷光量は、このグラフから立体角積分や周囲平均を行うため、入射角の小さいところの差がそのまま迷光量の増加になるわけではない
  - 23度での迷光量は43倍**になっているが、実際の迷光増加率は、**ラフ計算では6~7倍程度**である

## PST Curveからの迷光計算詳細

- 計算の前提
  - 地球近辺での太陽エネルギーフラックス(太陽定数): 1353[W/m<sup>2</sup>]
  - 地球半径: 6366[km]
  - 衛星軌道高度: 550[km]
  - 地球アルベドa: 0.3
- 計算手法
  - 地球半径と軌道高度より、衛星から地球を見込む半径角度を求める
  - 観測コーン角は、90-上記半径角度となる
  - 具体的には、半径角度約67度より、観測コーン角約23度となる
  - つまり、JASMINEの地球離角(太陽方向)は**23~90度**となる
  - 衛星開口部における太陽からのエネルギーフラックスは、太陽方向の角度をεとすると、**太陽定数\*cos(ε)**となる
  - 地球アルベドより、地球表面からのフラックス、及び放射強度を求める
  - これを「**立体角積分の概念図**」のεで積分することにより、衛星開口部における地球からの全エネルギーフラックスを求める

## 検出器上に届く迷光量

- 前述のPSTカーブは、太陽方向を23度~83度までを5度刻みで計算した数値結果であるため、このままでは積分できない
- そのため、**PSTカーブを適当な関数で近似**する
- それをPST(ε)とすると、衛星開口部における地球からの全エネルギーフラックス(迷光総量)S<sub>e</sub>は以下ようになる
 
$$S_e = \int_0^{\epsilon_0} I_e * 2 * \text{acos} \left[ \frac{\cos(\epsilon_0)}{\cos(\epsilon)} \right] * \cos(\epsilon) * \sin(\epsilon) * PST(\epsilon) d\epsilon$$
- ここでI<sub>e</sub>は、地球表面の放射強度である
- この値を、23度方向に太陽(光源)があるとして計算した迷光量と比較すると、その比は**2.25e-3**となる
- つまり、地球からの太陽散乱光による迷光総量は、23度方向に太陽があるとして計算した迷光量の**1/444**ということになる
- 前回の計算では、この値は**1/28**であった

## 迷光量に対する結論

- 今回のPSTカーブを用いた迷光総量の、23度迷光に対する比は**1/444**であり、前回は**1/28**であった
- この大きな差は、23度迷光の量が大きく異なることに起因する
- 今回の23度迷光量は**6.43e-5[W]**、前回は**1.51e-6[W]**である
- よって、**今回の迷光総量は1.4e-7[W]、前回は5.4e-8[W]**となり、**約2.7倍に増えている**
- ラフ計算では6~7倍と見込んでいたため、今回の詳細な計算結果では半分以下の値となっており、良い方向ではある
- 迷光計算には各種の不定性があるため、従来、**迷光の計算値は許容量に対して余裕で1桁以上小さなもの**としていた
- そのため、植毛の実測データを用いた今回の迷光量は従来の**2.7倍**となったが、まだかなり余裕があり、**問題となる値ではない**
- 但し、厳しい方向ではあるため、他にも迷光量を増加させかねない要因を調べ、更に迷光計算量の確度を上げていく

★本研究の一部は国立天文台先端技術センターのサポートを受けている★