2020.12.01

深宇宙探査機に搭載予定の

宇宙赤外線背景放射観測装置の設計

(8deg,4deg)



試作機









深宇宙探查概略図

関西学院大学・松浦研究室 D2 橋本遼

Index

背景

赤外線背景放射の観測の意義

赤外線背景放射の観測の問題

設計・製作・組み立て

光線追跡ツールによる設計

ミラーの構造・表面形状の評価

組み立てとアライメント

光学性能評価・シミュレーションとの比較

ベストフォーカス像の比較

PSFによるEE評価

迷光評価シミュレーション(照明解析ツール)

Index

背景

赤外線背景放射の観測の意義

赤外線背景放射の観測の問題

設計・製作・組み立て

光線追跡ツールによる設計

ミラーの構造・表面形状の評価

組み立てとアライメント

光学性能評価・シミュレーションとの比較

ベストフォーカス像の比較

PSFによるEE評価

迷光評価シミュレーション(照明解析ツール)

宇宙赤外線背景放射の観測の意義

EBL(Extragalactic Background Light)

- ・我々の銀河以遠からの背景光
- ・宇宙背景放射には宇宙進化過程のあらゆる光源からの成分が含まれているため、
 宇宙最初の天体形成の物理的メカニズムを解析する手がかり
- ・これまでのロケット観測(CIBER等)では、1-5umに既知の系外銀河の積算光を超過する成分を観測



宇宙赤外線背景放射の観測の問題点

- ・EBLは観測位置から全ての前景光の差し引きによって求める
- ・ロケット・衛星観測では黄道光が、EBLの前景光として観測される







黄道光(ZL)のモデル*1によると、

太陽から遠ざかるほど、 太陽光のフラックスとダスト密度が下がるため

1 au -> 5 auで、ZLは5%に下がる

EBLの不確定性の改善

加えて0.4~1.6umの連続測定を目指す

*1Kelsall The Astrophysical Journal 508(1), 44–73 (1998).

深宇宙探査のルート例(JAXAのソーラー電力セイル)

木星スイングバイを利用してトロヤ群へ向かう航路

惑星間ダストが希薄な深宇宙までのクルージング期間を利用して 太陽からの距離に対する黄道光の輝度やスペクトルの変化を調べることにより 惑星間ダストの密度や組成の3次元分布を明らかにして太陽系構造に関する新たな知見を得る

小惑星帯を抜ける間も連続的に観測

要求される光学性能

- ・感度を高めるため、広い視野角
- ・EBLや黄道光の成分を分析するために分光測定

有効口径	90mm x 50mm (楕円開口)
観測波長	0.4-1.6um
波長分解能	λ/20
ピクセルサイズ	18um/pix
ピクセル数	2048 x 1024
検出器温度	140K

分光手法: LVF(Linear variable filter)

連続的に透過波長を変化させて空間的に分光する

CIBER2での製作実績あり

Index

背景

赤外線背景放射の観測の意義

赤外線背景放射の観測の問題

設計・製作・組み立て

光線追跡ツールによる設計

ミラーの構造・表面形状の評価

組み立てとアライメント

光学性能評価・シミュレーションとの比較

ベストフォーカス像の比較

PSFによるEE評価

迷光評価シミュレーション(照明解析ツール)

光学追跡ツールによる設計

反射光学系にすることで、支持具を含めてAIのみでの設計 → 冷却収縮による光学系のずれをなくす

背景放射を観測するので、3pix□の外に明るい天体がにじみ出ないことが大切

ミラーの試作

ダイアモンド切削

M2 位置で絞る

ミラーの軽量化・肉抜き

ミラーの背面を厚みに応じてハニカム構造に肉抜き

~30%程度の軽量化

設計上の曲面からのずれ

接触式3次元計測器での測定

M1

М3

*M1,M3はミラーが大きいため 2分割して測定

Status R.M.S = 0.2440 (µm) P-V = 1.2909 (µm)

UA3P/Panasonic

Status R.M.S = 0.2961 (µm) P-V = 1.4492 (µm)

UA3P/Panasonic

表面形状の評価・ラフネス

AFMによる計測 M1

M2

М3

組み立てとアライメント

各ミラーの設計猶予は100um程度

ミラー同士の相対的アライメントは 位置決めピンとトルク管理でアライメントの余地をなくし、 光学設計上の位置にミラーが来るように組み立てた (微調整はシムを挟むことを想定)

像は検出器を動かすことで取得する

Index

背景

赤外線背景放射の観測の意義

赤外線背景放射の観測の問題

設計・製作・組み立て

光線追跡ツールによる設計

ミラーの構造・表面形状の評価

組み立てとアライメント

光学性能評価・シミュレーションとの比較

ベストフォーカス像の比較

PSFによるEE評価

迷光評価シミュレーション(照明解析ツール)

ベストフォーカス像の比較

Simulation

(-8 deg, 0 deg)

(-8 deg, -4 deg)

(0 deg, 4 deg)

(0 deg, 0 deg)

(0 deg, -4 deg)

(8 deg, -4 deg)

(8 deg, 4 deg)

 $(-8 \deg, 4 \deg)$ $\begin{bmatrix} 100 \\ 50 \\ - & - & - \\ 0 \\ 50 \\ - & - & - \\ 0 \\ - & - & - \\ 0 \\ 50 \\ - & - & - \\ 0 \\ - & - &$

Measurement

ベストフォーカスでのエンサークルドエナジー

重心から円サイズ vs 円内のエネルギー割合

EE80%径において、シミュレーションの 1.5倍程度の大きさに収まっている

Defocus vs EE80%直径

デフォーカスした場合のPSFの広がり方を評価

裾の広がり具合は同程度

実線がシミュレーション

迷光評価シミュレーション

*各バッフルには5%のランバート散乱を想定

基本的な迷光避けバッフル*をデザインし、迷光評価を行った

M2の位置で絞りを設計しているため、 M2のカバーでの散乱がつよい

迷光パワー/主光線パワー=0.49%

M2カバーの散乱を抑えるため、カバーをM3に行かない角度に調整などを検討中

光学試験

- ・ハルトマンマスクをつけた光学試験を行い、ミラーの局所的な制作精度を評価
 ・詳細な迷光シミュレーションを実施と迷光対策
- ・迷光シミュレーションで実際のバッフルを検討・実試験を行う
- ・低温での光学試験をおこない、性能劣化がないことを検証

熱構造

- ・冷却機構をシミュレーションで検討
- ・耐震機構をシミュレーションで検討
- ・試作機に耐震機構を設けた支持具で固定し、実際に振動試験を行う