

Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

JASMINEの迷光技術II

遮光材料と反射率測定

丹羽佳人(NAOJ)

鹿島伸悟、矢野太平、宇都宮真、田村友範(NAOJ)、安田進(JAXA)

Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan

JASMINE Project Office

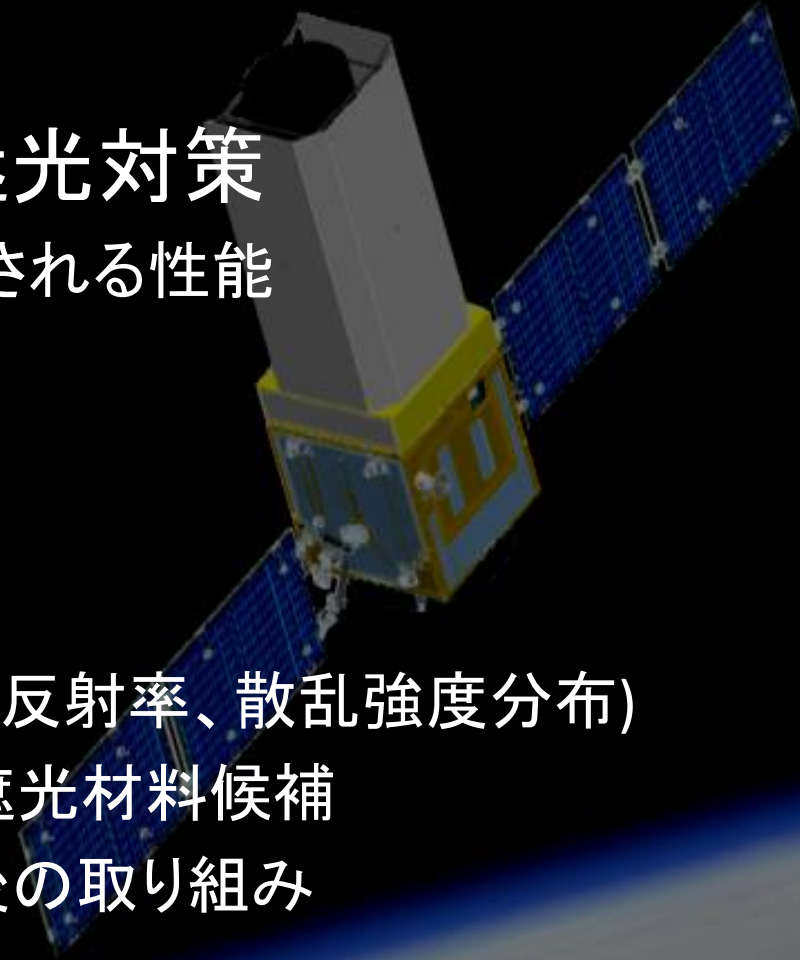
目次

➤ 小型JASMINEの迷光対策

- 遮光材料に要求される性能

➤ 遮光材料

- 各種遮光材料
- 反射率測定(半球反射率、散乱強度分布)
- 小型JASMINEの遮光材料候補
- 最近の研究・今後の取り組み



Small-JASMINE 小型JASMINEの迷光対策

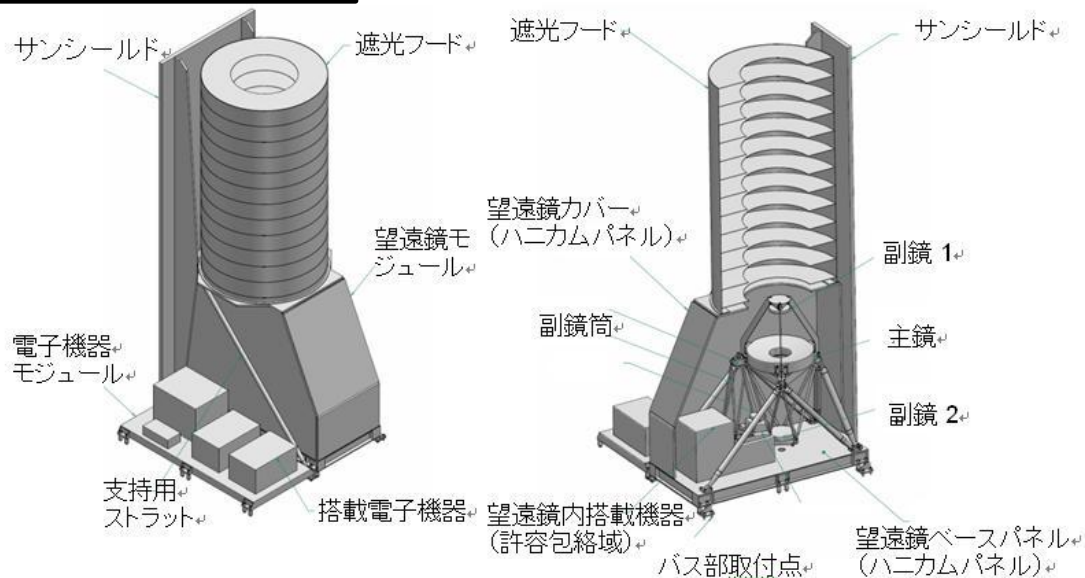
National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

● 小型JASMINEミッション内容

JASMINE: Japan astrometry satellite mission for INfrared Exploration

- 衛星に搭載した望遠鏡を用いて赤外領域で星の位置と速度を高精度(10 μ 秒角)で測定
- 星像の中心位置を10万分の1ピクセルの精度で決定する

ミッション部概要



- 軌道: 550km地球周回軌道 (太陽同期)
- ミッションシステム(124kg)
 - ・ 主鏡口径: 30cm
 - ・ 運用温度: 200K (検出器温度180K)
 - ・ 視野角: 0.6° × 0.6°
- バスシステム: NEC社の小型標準バス(250kg、1m立方)

Small-JASMINE 小型JASMINEの迷光対策

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

●要求される迷光レベル

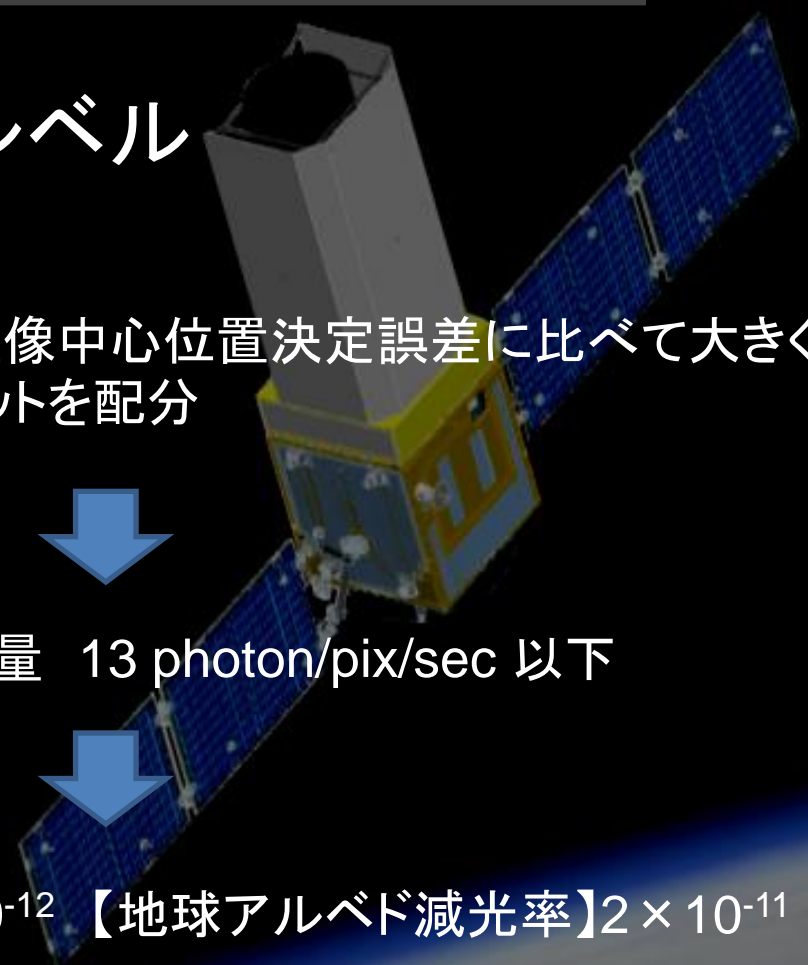
迷光のポアソンノイズが星像中心位置決定誤差に比べて大きくな
らないようにエラーバジェットを配分



焦点面上迷光量 13 photon/pix/sec 以下



【太陽減光率】 1.7×10^{-12} 【地球アルベド減光率】 2×10^{-11}



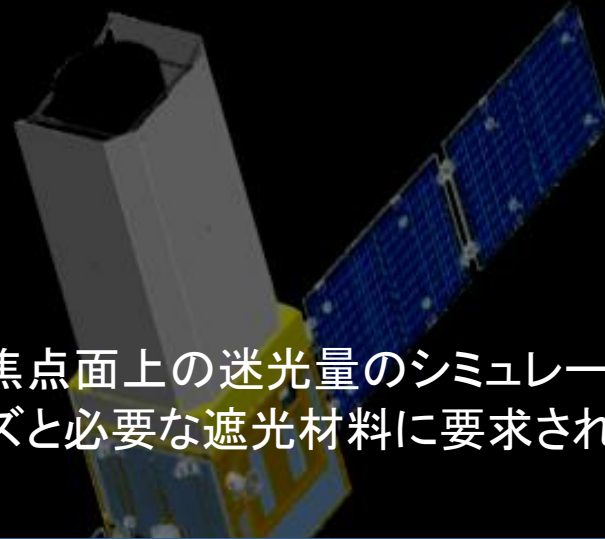
Small-JASMINE 小型JASMINEの迷光対策

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

● 設計方針

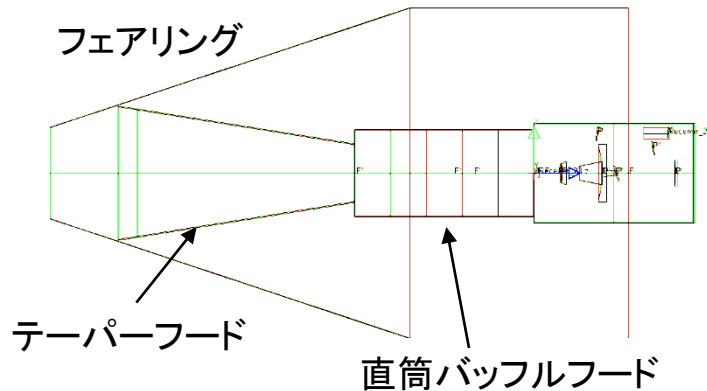
- フード・バッフルによる減光
- 超低反射率の遮光材料の使用

照明設計解析ソフトウェア Light Tools による焦点面上の迷光量のシミュレーションを行い、衛星へ搭載可能なフード・バッフルサイズと必要な遮光材料に要求される反射特性をもとめた(鹿島検討)



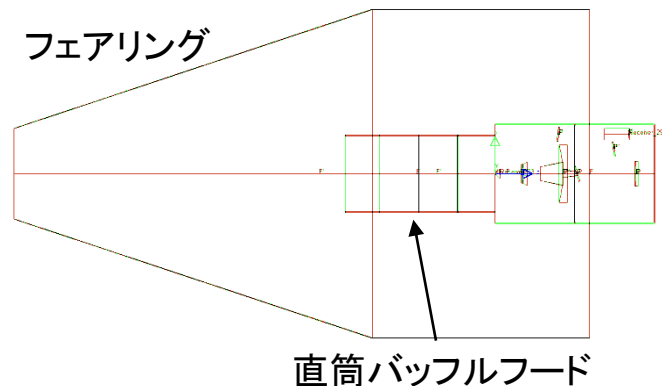
半球反射率5%の場合

フード全長2.2m



半球反射率1%の場合

フード全長0.8m



Small-JASMINE 小型JASMINEの迷光対策

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

● 要求性能

- 半球反射率 1%以下@1.4 μ m
- 散乱特性 ランバート散乱
- 安価で大面積に対して処理が可能なもの
- 宇宙軌道上での環境(温度変化)に耐えられるもの
- アウトガスの量が少ないもの

衛星用遮光材料として通常使用されている塗料の場合、半球反射率およそ5%



要求性能を満たす材料の調査が必要

● 調査状況

- 研究者やweb から情報を収集
- 入手したサンプルをインハウスで性能評価中
- 半球反射率測定、散乱強度分布測定、簡易耐性試験(-150 $^{\circ}$ C~50 $^{\circ}$ Cの温度サイクル)、アウトガスの測定(予定)。

Small-JASMINE

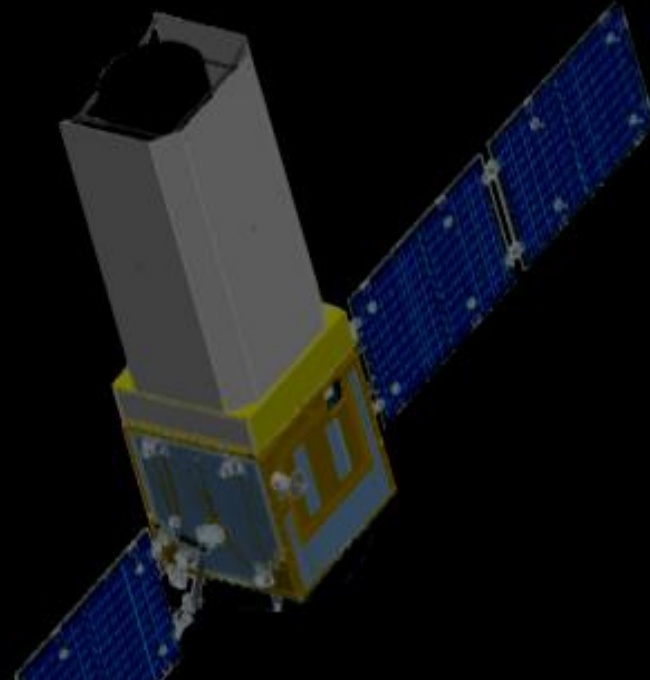
National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料

● 各種遮光材料

- 塗料系
- 植毛系
- メッキ系
- 膜系

● 塗料系



名称	特徴	性能	コスト
Aeroglaze Z306 (旧Chemglaze Z306) (ロードコーポレーション)	1成分のポリウレタン塗料。宇宙実績多数。	半球反射率@1.1~1.7 μ m ガラスビーズなし 4.0~5.1% ガラスビーズあり 3.2~4.6%	1缶(3.63kg) 数万円
PNC(MAP社)	宇宙仕様のブラックペイント。シリコン系塗料。	太陽光反射率2%、赤外反射率 2.1%@1 μ m。	?

Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

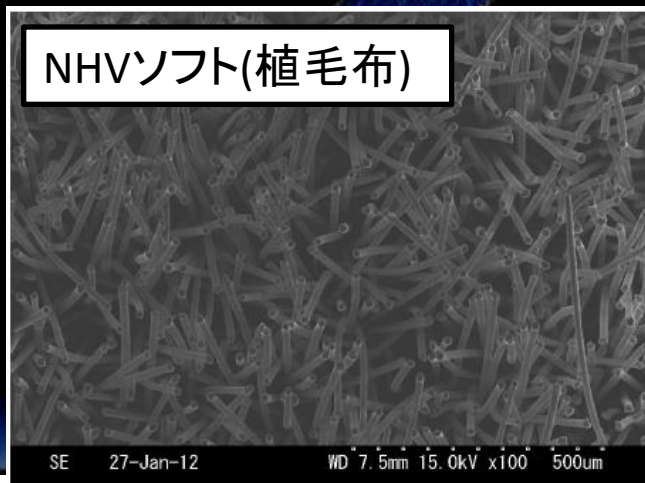
遮光材料



• 植毛系

名称	特徴	性能	コスト
NHVソフト(植毛布) (京都パイル繊維工業株式会社)	黒色に染色されたナイロン(東レ 1.5d × 0.6mm)を布上に植毛したもの。	半球反射率 可視域 1%以下 赤外域数10%以上。	布 数百円/m ²
導電性繊維植毛 (京都パイル繊維工業株式会社)	カーボンブラックを混ぜた導電性繊維(KBセーレン社 ベルトロン9R1 4d × 1mm)を布上に植毛したもの。	可視域から赤外域にかけて半球反射率 0.3~0.4%。	導電性繊維(KBセーレン社 ベルトロン9R1) 数千円/kg

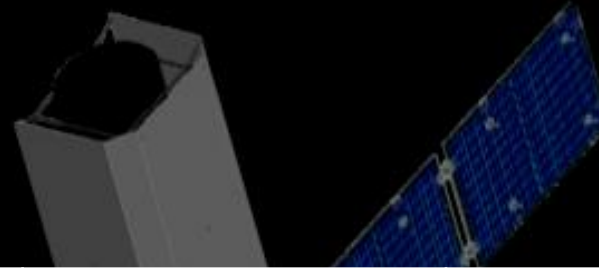
NHVソフト(植毛布)



Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料



- 植毛系

名称	特徴	性能	コスト
カーボンファイバー植毛(次世代宇宙システム技術研究組合林氏提供)	千葉工大で研究開発されたカーボンファイバーを静電植毛したもの。	半球反射率 2~3%。	?
CNTフォレスト (産総研)	単層カーボンナノチューブを用いた光吸収体。	赤外域での半球反射率 1~2%程度	スーパーグローブ法により、大面積金属板上への合成技術を開発、安価で大面積の構造体の生産が可能
VEL-BLACK (Energy Science Laboratories 社)	カーボンファイバー植毛。宇宙仕様。低温から150°Cで使用可能。ランバート散乱。	UVから中間赤外域での半球反射率 0.5%以下	60cm × 90cm サイズ \$1000~

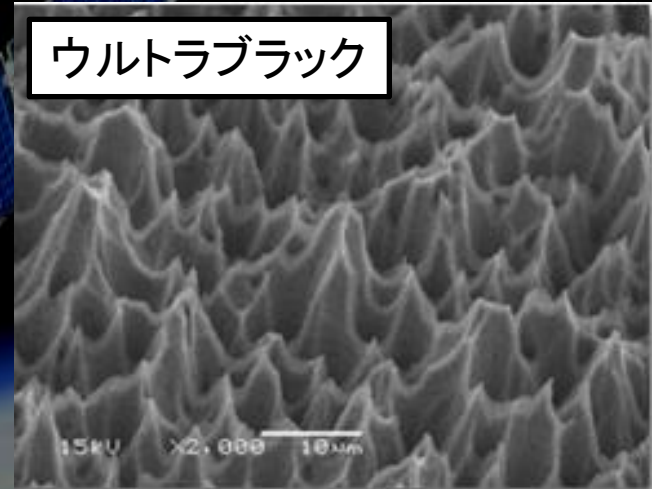
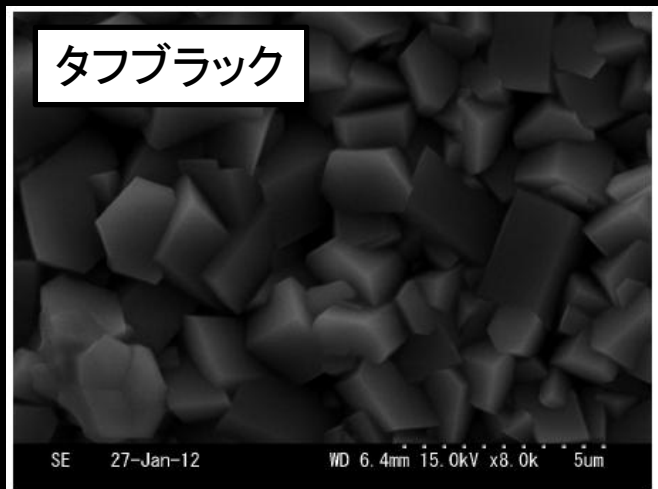
Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料

- メッキ系

名称	特徴	性能	コスト
タフブラック (エビナ電化工業)	黒色メッキ	半球反射率 可視域から赤外域 3~4%	5cm×5cmのサンプル1個製作でおおよそ数万。大面積に使用する場合は蒸着するための大型装置が必要。
ウルトラブラック (NTスペース)	特殊形状ニッケルめっき。結晶配向性がコントロールされている。宇宙使用実績有。	可視領域の反射率 0.1%以下。	φ30cm程度の大きさで、かなり高価



Small-JASMINE

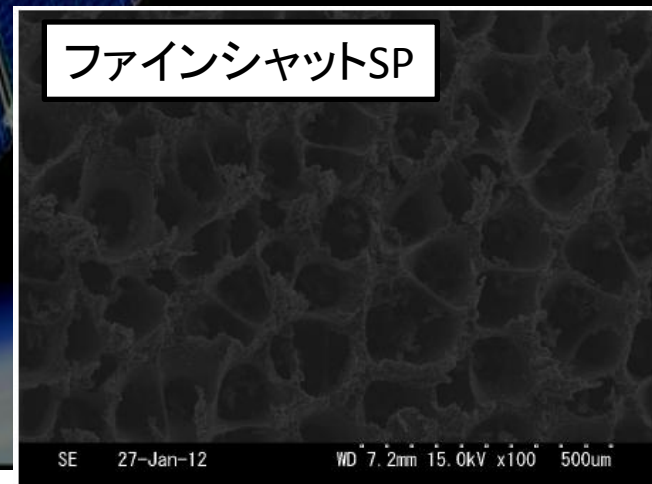
National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料



膜系

名称	特徴	性能	コスト
メタルベルベット (Acktar社)	ナノレベルで表面構造が制御されている光吸収膜。宇宙使用が予定されている。	半球反射率 可視域から赤外域 1~2%。	3cm × 3cmのサンプル作成で数十万くらい。大面積の場合、装置開発が必要。
ファインシャットSP (光陽オリエントジャパン株式会社)	特殊ポリウレタン素材のマイクロセル発泡体	半球反射率 可視域から赤外域 1~2%	0.4mm × 500mm × 10mで数万円



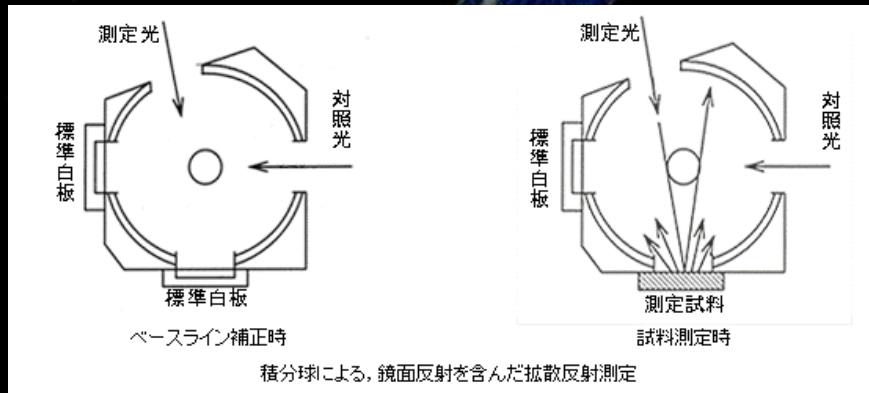
Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料

●半球反射率測定

- 測定装置：分光光度計SolidSpec-3700(国立天文台ATC所有)
- 測定条件
 - 相対反射率測定。標準白板(硫酸バリウム)の反射率は一般に98%以上
 - ダブルビーム方式
 - サンプリングピッチ 1nm
 - 測定範囲400nmから2000nm
 - スキャン速度：中速



遮光材料

Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

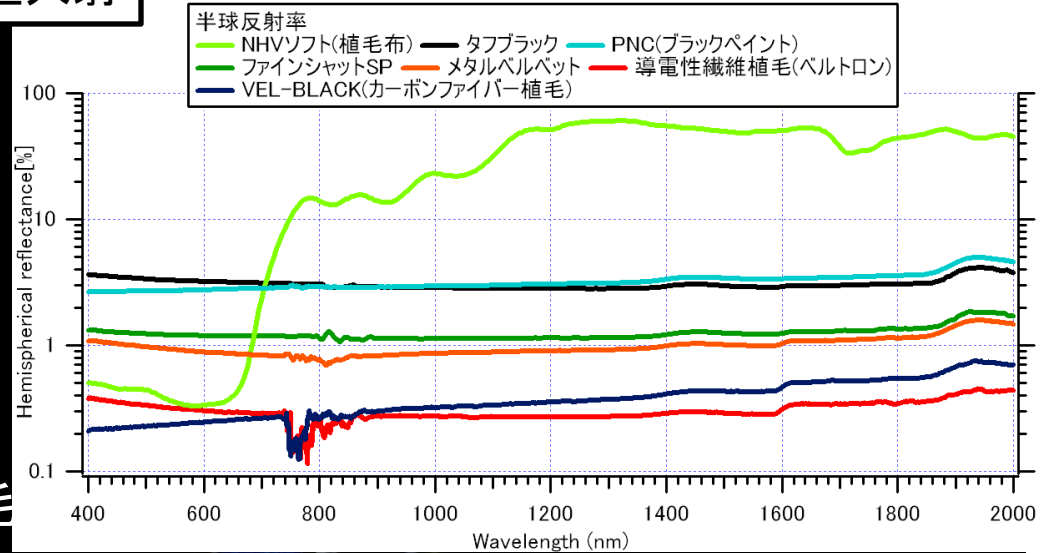
直入射

測定結果

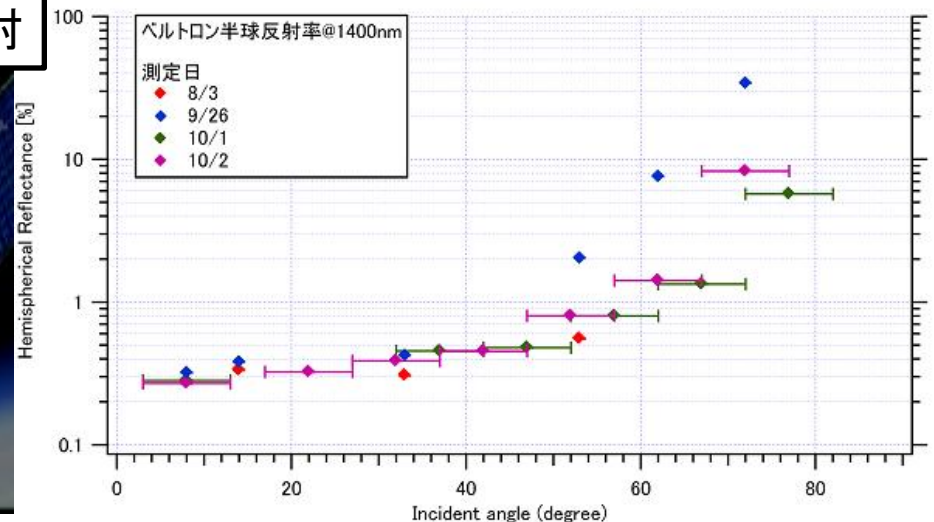
•導電性繊維植毛(ベルトロン)、VEL-BLACKが0.3~0.4%以下
⇒小型JASMINEの要求を満たす

•可視領域では安価なナイロン植毛で0.5%以下

•斜入射の場合、60度あたりで1%を超える
⇒斜めに植毛することで対処可能



斜入射



Small-JASMINE

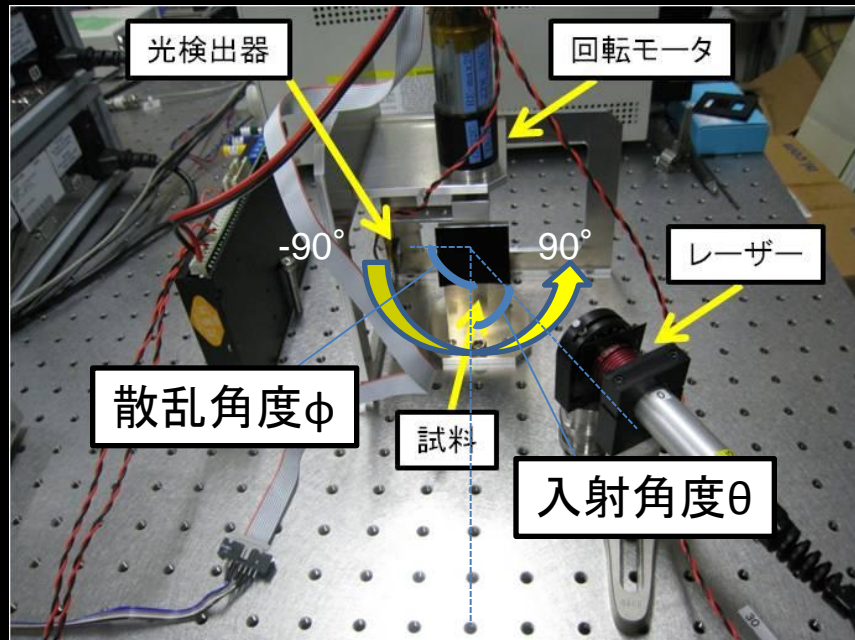
National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料

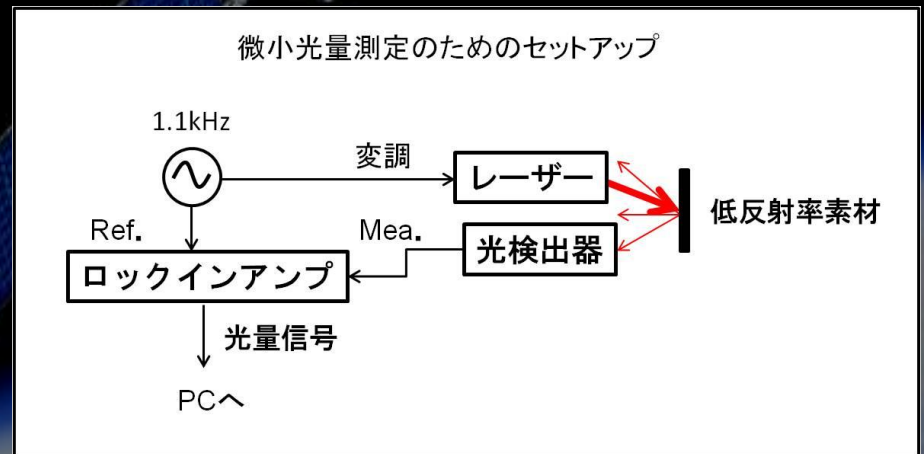
● 散乱強度分布測定

● 測定装置

- いくつかの入射角度でレーザーを入射させた時の散乱強度の分布を測定
- 微小光量を測定するために同期検波
- 使用レーザー:ファイバーレーザー $\lambda=1.55\mu\text{m}$ Power=0.32mW $\phi 1\text{mm}$ 程度
- 使用検出器:InGaAsフォトダイオード(浜ホト製) $\phi 2\text{mm}$



ブロックダイアグラム



Small-JASMINE

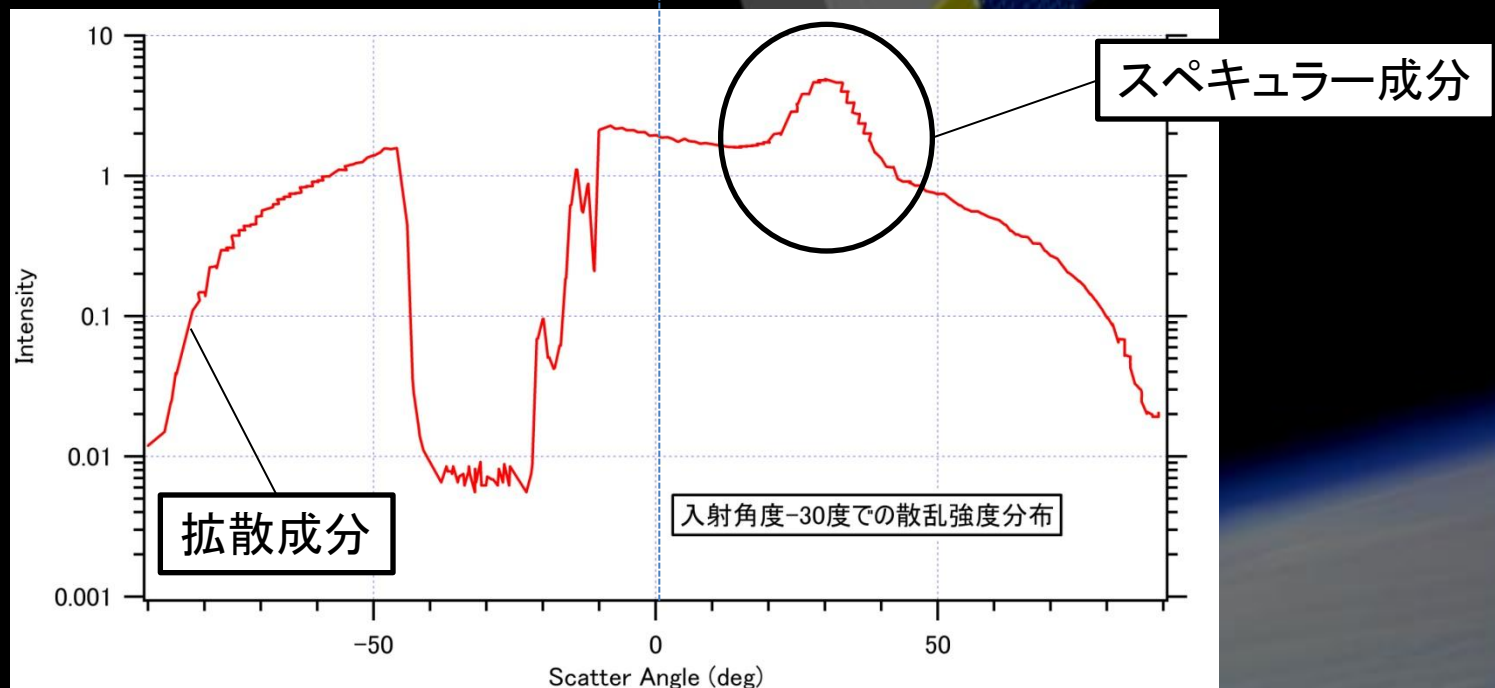
National Astronomical Observatory of Japan

JASMINE Project Office

遮光材料

•測定例

ある遮光材料に-30度の方向から光を入射した場合の散乱強度分布



0度=測定試料面の法線方向

Small-JASMINE

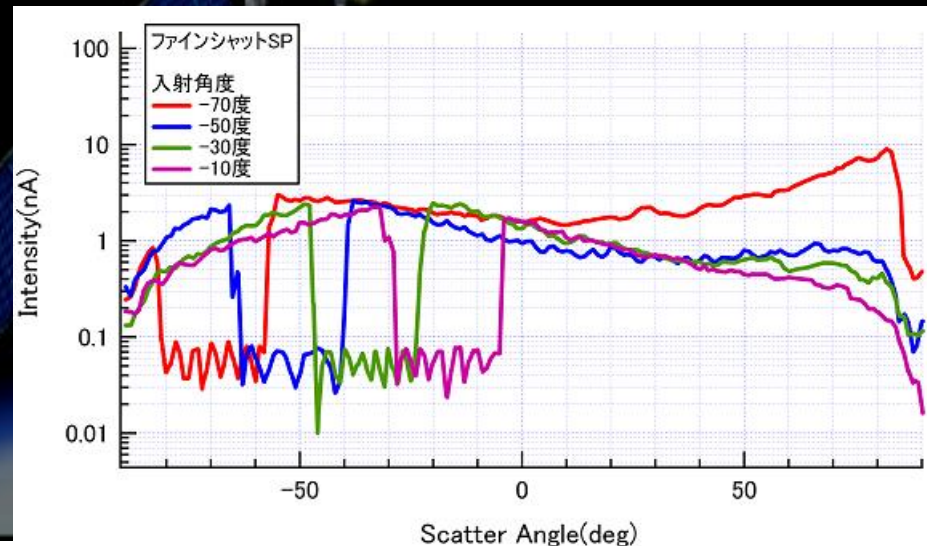
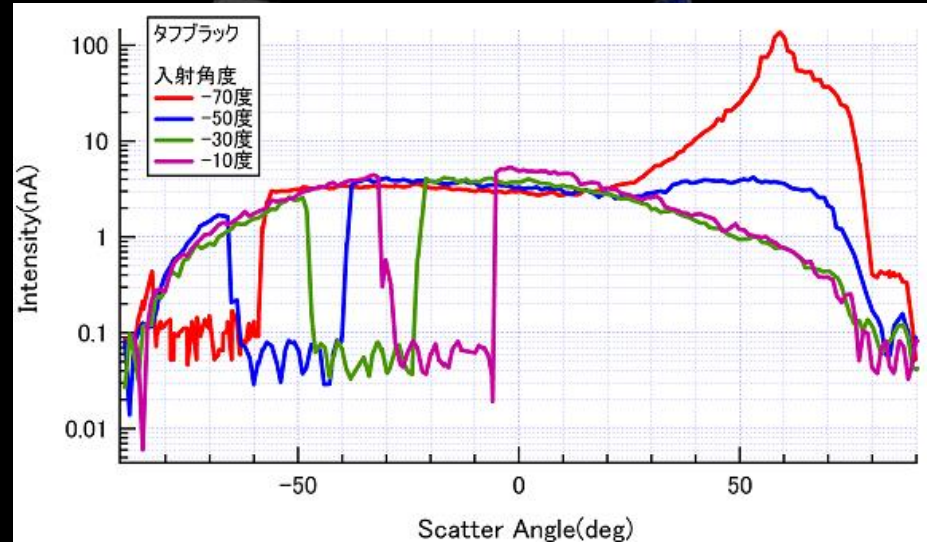
National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料

•測定結果

•タフブラック、ファインシャットSPともに入射角が小さい場合は拡散成分が主で、ランバート散乱とみなせる

•50度あたりからスペキュラー成分が大きくなってくる

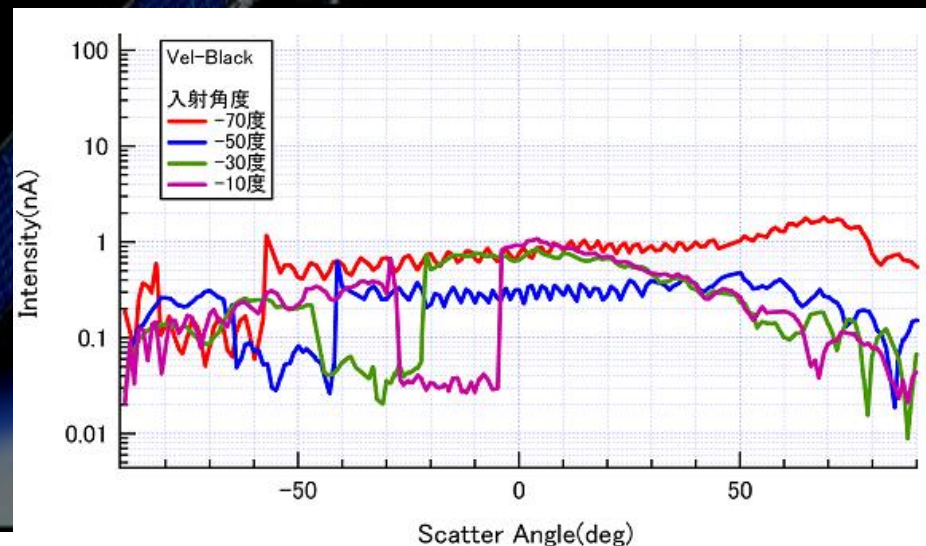
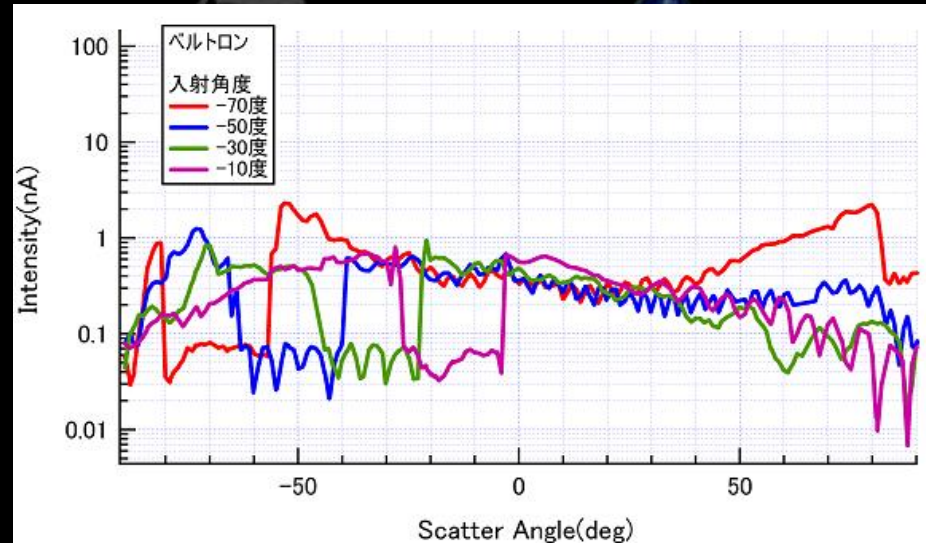


Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料

- ベルトロン、Vel-Blackともに入射角が小さい場合は拡散成分が主で、ランバート散乱とみなせる
- 60度あたりからスペキュラー成分が大きくなってくる
⇒ 斜めに植毛orバッフルに角度をつけることで対処する



Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan

JASMINE Project Office

遮光材料

●小型JASMINEの遮光材料候補

ベースライン

VEL-BLACK G80G-M2(Energy Science Laboratories 社)

- 宇宙仕様・宇宙実績有で、半球反射率0.4%@1.5 μ m。フードの大きさを1mまで小型化可能。
- 斜め植毛が可能

オプション

導電性繊維植毛(京都パイル繊維工業株式会社)

- 半球反射率0.3% ~ 0.4%、フードの大きさを1mまで小型化可能。
- コストが格安。
- 宇宙仕様・実績が無いいため耐性試験やアウトガス試験や接着の際の接着剤の低温での性能の検証が必要。



Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料

● 最近の研究

カーボンファイバーの使用

• 千葉工大のカーボンファイバーの静電植毛

Sekii, Y., Hayashi, T., "Measurements of Reflectance and Thermal Emissivity of a Black Surface Created by Electrostatic Flocking with Carbon-Fiber Piles", *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on*, On page(s): 649 - 654 Volume: 16, Issue: 3, June 2009

カーボンナノチューブの使用

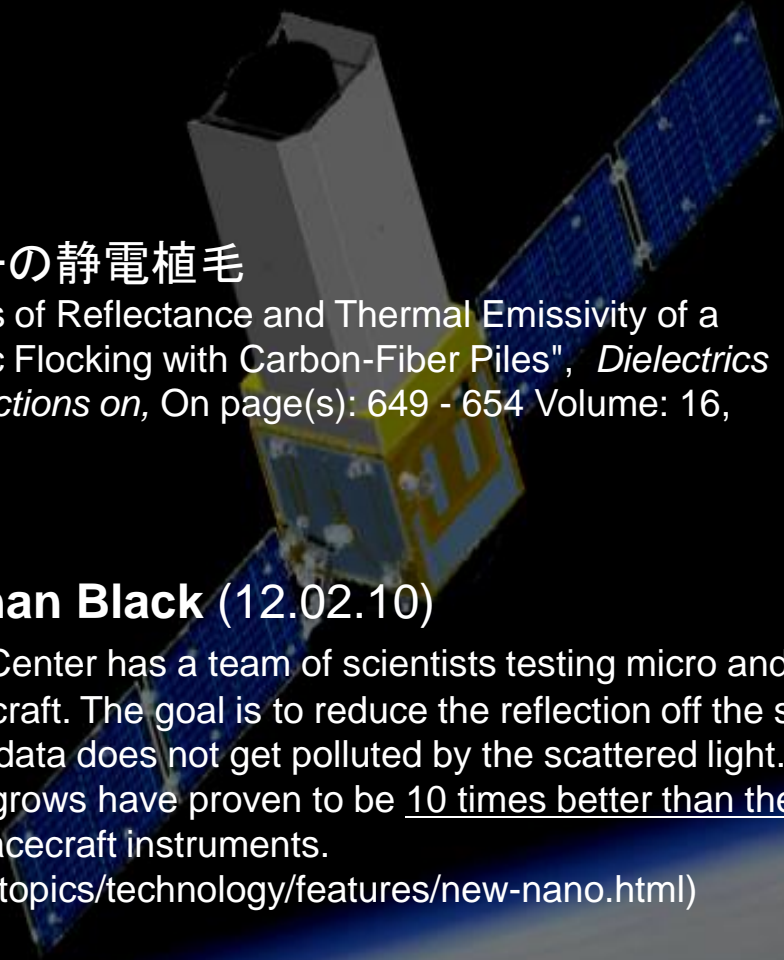
• Nasaのweb記事: **Blacker Than Black** (12.02.10)

NASA's Goddard Space Flight Center has a team of scientists testing micro and nanotechnology to use on spacecraft. The goal is to reduce the reflection off the surface of instruments satellites so that the data does not get polluted by the scattered light. The carbon nanotubes that the team grows have proven to be 10 times better than the NASA Z306 paint, currently used on spacecraft instruments.

(<http://www.nasa.gov/topics/technology/features/new-nano.html>)

• 産総研のCNTフォレスト

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106 (15), 6044-6047, 2009



Small-JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

遮光材料

● 本調査の成果

- 赤外での反射率を小さくするためには、カーボンが有効
- 非常に安価な導電性繊維植毛でも半球反射率0.4%

● 今後の取り組み

散乱強度分布の詳細測定

- 検出器がスキャン可能な自由度を追加
- 測定データは迷光解析シミュレーションの散乱モデルへフィードバック

アウトガス量の評価・耐性試験

