

○玉澤晃希, 佐藤雄太, 幸村孝由, 安藤正人, 栗野晋太郎, 丹野憧磨, 吉野祐馬(東京理科大学), 鶴剛(京都大学), 久保雅仁, 坂東貴政, 鎌田有紀子, 鹿野良平(国立天文台), 常深博(大阪大学), 堂谷忠靖(ISAS/JAXA)、他ASTRO-H SXI チーム

1. 概要

X線天文衛星に搭載するX線CCDは、宇宙線からCCDを防護する目的などから気密性の高いアルミ製の容器(カメラ)に格納している。またカメラには、アルミニウムとポリイミドからなる厚さが~200nm程の薄膜の窓を装備しており、天体からのX線は窓を通してCCDに照射する。衛星打ち上げ後、軌道上でカメラ内部と外部とに気圧差が生じると、この窓を破損することになる。従って、カメラはカメラ内部の気圧を逃がすベントパイプを装備している。2015年度打ち上げ予定のASTRO-H搭載軟X線撮像検出器(Soft X-ray Imager; SXI)も、ベントパイプを装備している。しかしながら、ベントパイプは地球大気からの可視光が、カメラ内部に侵入する経路となり、CCDにとってノイズを増加させる可能性がある。そこで我々は、ベントパイプからカメラ内部にどの程度可視光が侵入するのか評価実験を行った。実験は2014年10月に国立天文台先端技術センター内のクリーンルームで実施し、長さ~1mと、一部黒色メッキ処理を施した長さ20cmのNW16のベントパイプを使用した。実験結果から、ベントパイプの3箇所を各30°以上曲げることで光量が9桁減光すること、さらにベントパイプ内部に黒色メッキを施すことで最終的には12桁程光量を減光することができることが分かった。

2. ベントパイプから侵入する光の検討

地球大気によって、反射された太陽光がベントパイプを通じて、カメラ内部に侵入したとすると、カメラ内のCCDには、1ピクセル(48×48 μm²)あたり、

$$\frac{1.37 \times 10^3 \times \pi \times 0.008^2}{3.58 \times 10^{-19}} \times \frac{0.048^2}{\pi^2} \times \frac{3}{10} \times \cos 87^\circ \times \frac{\pi^2}{60^2} \sim 7.4 \times 10^9 \text{ 個/s/bpix の光子が照射する。}$$

上記の計算結果には以下のパラメータを用いた。

- 太陽光: 9.4×10⁵ルクス (~1.37×10³ W/m²)、可視光(波長555 nm)のエネルギー 3.58×10⁻¹⁹J、NW16のベントパイプの断面積: π8² mm²、地球のアルベド ~0.3 (一般気象学: 小倉義光(著))、図1より、θ>87°→cosθ<~0.05 倍、ベントパイプとCCDの面積比、π8² / (60×60) ~0.05倍

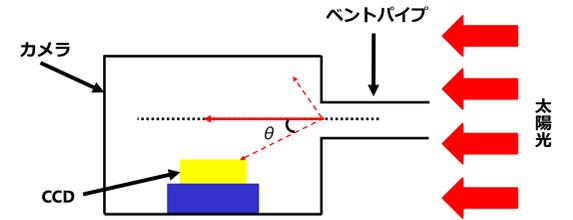


図1: ベントパイプから侵入してきた光がCCDに照射する模式図
ベントパイプからカメラ内部に侵入してきた光は、cosθでCCDに照射する。

CCDの読み出しノイズ(暗電流)は、~4個/s/bpixの光子なので、可視光のゆらぎが読み出しノイズに対して支配的にならないために、ベントパイプを通じて侵入した可視光の光量を9桁程落とす必要がある。

3. ベントパイプを用いた迷光評価実験

2014年10月31日に、国立天文台先端技術センターのクリーンルームにおいて実験を実施した。

3.1 可視光照射実験装置

- 図2に本実験装置の概要図と装置図を示す。

- 光源とチェンバー間にフレキ(フレキA, B, C)を挿入することで、フレキによって減光した光がチェンバー内のフォトダイオードに、照射する。

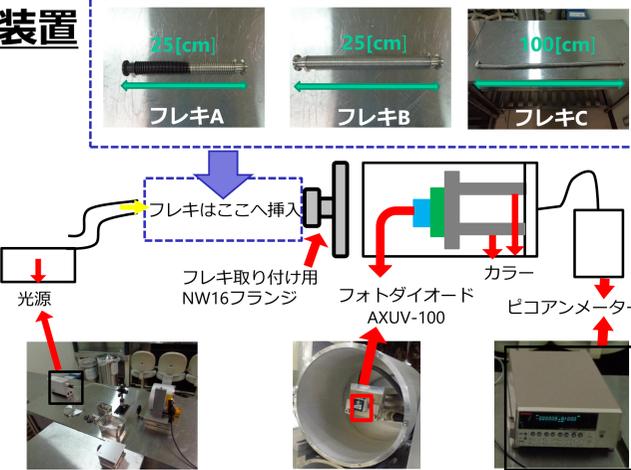


図2: 実験装置概要図と写真

チェンバー内に設置したフォトダイオードに光源からの光を照射する。ベントパイプとして使用するフレキは3種類、(上左) NW16のフレキA(左半分にフレキ内部も含め黒色メッキ有り)、(上中) NW16のフレキB(黒色メッキ無し)、(上右) NW16のフレキC(黒色メッキ無し、FM相当、フレキの片側にはエルボ溶接)

3.2 可視光照射実験

- 3.2.1: フレキCの90°に曲げる箇所を1~3箇所と増やしながら光量を測定することで、曲げ回数による減光の関係の評価を行った。



図3: 曲げ回数による減光評価実験セットアップ
(左写真) フレキCを1箇所90°曲げた際の実験写真。
(右写真) フレキCを2箇所90°曲げた際の実験写真。

- 3.2.2: フレキCを0°, 30°, 45°, 60°, 90°と曲げる角度を変えることで、減光の角度依存性を測定した。

図4: 減光の角度依存性評価実験セットアップ
(左写真) フレキCを30°曲げた際の実験写真。
(右写真) フレキCを45°曲げた際の実験写真。



- 3.2.3: 光源とチェンバー間にフレキAとフレキB(各0°, 90°曲げ)を挿入し光量を測定することで、黒色メッキの効果を検証した。



図5: 黒色メッキ効果の検証セットアップ
(左写真) フレキBを0°曲げた際の実験写真。
(右写真) フレキAを黒色メッキを施した箇所を90°曲げた際の実験写真。

4. 実験結果

4.1 減光の曲げ回数依存性

3.2.1の実験結果を図6に示す。

- 曲げ回数が3回以上の測定は、光量がピコアンメーターのバックグラウンド値と同程度になるまで減光した。
- 図6より、フレキCの90°曲げを1回行うごとに、光量が3桁程減光することが分かった。
- SXIでは、可視光の光量を9桁落としたいので、ベントパイプを3回以上曲げることで、要求値を満たす。

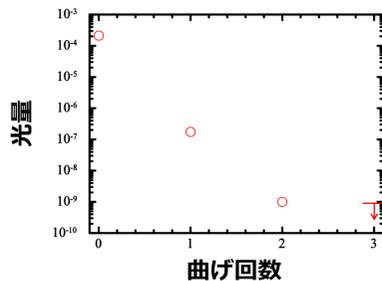


図6: 曲げ回数と光量の関係

横軸はフレキCを曲げた回数であり、縦軸はフォトダイオードの出力値(光量)。3回曲げのデータ点の向き矢印は、上限値である。

4.2 減光の角度依存性

3.2.2の実験結果を図7に示す。

- 30°~90°の間では、明らかな角度依存性は見られなかった。
- フレキCが0°(曲げていない状態)に比べ、30°以上曲げるだけで、光量が3桁程減光することが分かった。

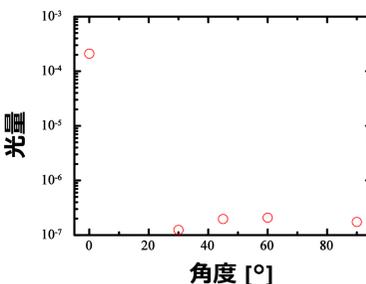


図7: 光の量の角度依存性

横軸はフレキCを曲げた角度、縦軸はフォトダイオードの出力値(光量)である。30°から90°では、光量がばらついていることが分かる。

4.3 黒色メッキによる光量の減光

3.2.3の実験結果を表1に示す。

測定内容	0°曲げで光量の測定結果	90°曲げで光量の測定結果
フレキA(黒色メッキ有り)の0°,90°曲げ、光量を測定	4.37×10 ⁻³	4.80×10 ⁻⁶
フレキB(黒色メッキ無し)の0°,90°曲げ、光量を測定	4.05×10 ⁻³	6.76×10 ⁻⁵

表1: フレキAとフレキBの0°, 90°曲げにおける光量の測定値

- 90°曲げの測定結果では、黒色メッキ有りと黒色メッキ無しを比較すると、黒色メッキ有りの方が、1桁多く光量が減光することが分かった。

5. まとめ

- 黒色メッキを施していないフレキは90°曲げる(一回曲げる)度、可視光の光量を3桁程落とすことができる。
- 黒色メッキを施すことによって、フレキを90°曲げる度、可視光の光量を4桁程落とすことができる。
- SXIのベントパイプは、可視光の光量を9桁落とす必要があるが、黒色メッキを施したベントパイプの3カ所を曲げることで12桁減光することができ要求を満たす。
- 今年の1月中旬に国立天文台において、黒色メッキを施したFMのベントパイプを用いて迷光評価の実験を行う。