

ASTRO-H 衛星搭載 X 線 CCD カメラ開発用試験系の整備

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 高エネルギー天文学研究系
東京工業大学大学院 理工学研究科 基礎物理学専攻 修士課程 1 年
岩井 将親

1 はじめに

現在、2014 年に打ち上げ予定である次期 X 線天文衛星 ASTRO-H に搭載する X 線 CCD カメラ (SXI) の開発を進めている。そのため、搭載品と同等だが小型の mini-CCD と駆動読み出し回路の試作モデルを用いた試験系の整備を行っている。本発表では、ASTRO-H 衛星・X 線 CCD カメラ (SXI) の概要とともに、CCD カメラ開発用試験系の整備について私が担当している箇所を中心に述べる。

2 ASTRO-H 衛星と X 線 CCD カメラ (SXI)

2.1 ASTRO-H 衛星

ASTRO-H 衛星は、日本で 6 番目の次期 X 線天文衛星である。ASTRO-H 衛星は、軟 X 線撮像検出器 (X 線 CCD カメラ:SXI)、軟 X 線分光検出器 (SXS)、硬 X 線撮像検出器 (HXI)、軟 X 線検出器 (SGD) の 4 つの観測機器を搭載し、0.2-600keV に及ぶ広帯域の撮像・分光観測を行うことが可能である。

2.2 X 線 CCD カメラ (SXI)

軟 X 線望遠鏡 (SXT-I) から 5.6m 離れた焦点面に配置され、SXT-I とともに軟 X 線撮像システムを構成する。低エネルギー側の検出効率を高くするため、CCD 素子には新たに開発した P-ch 裏面照射型 CCD を採用し、0.3-12keV の撮像 / 分光を行う。エネルギー分解能は 5.9keV の FWHM で 150eV 以下を目指している。また、CCD 素子の放射線劣化抑制の観点から機械式冷凍機を導入し、CCD 素子を -120℃ に冷却し動作させる。

3 SXI-EM 地上用試験系セットアップ

SXI-EM(engineering model) CCD カメラの性能評価のため、軌道上と同じく mini-CCD を -120℃ まで冷却し、SXI-EM を用いて end-to-end で mini-CCD からデータ取得を行うシステム、SXI-EM 地上用試験系セットアップを実験室内で構築する。SXI-EM 地上用試験系セットアップは、大きく CCD 読み出し回路と冷却系で構成される。CCD 読み出し回路は、3 つの基板から構成される。Sequencer からのタイミングをもとに駆動信号を CCD へ供給するドライバーボード、CCD から

の出力の A/D 変換処理を行う ASIC 基板と FPGA 基板から成るビデオボード、それらに必要なクロックパターンの供給と外部へのインターフェースを提供するインターフェースボード (MIO) である。冷却系は、CCD を設置する真空槽、機械式冷凍機、ヒーターで構成される。私は、冷却系を担当しており、詳しくは以下で述べる。

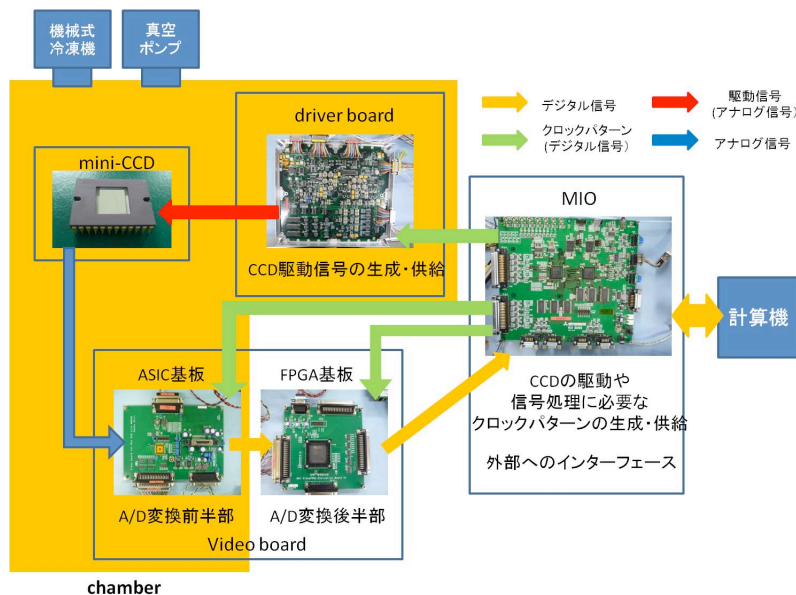


図 1: SXI-EM 地上用試験系セットアップの概略図

4 冷却系の整備

SXI では、CCD を -120 程度で動作させるので、本試験系でも mini-CCD を -120 まで冷却する必要がある。そこで、CCD は真空槽に設置し、機械式冷凍機とヒーターで温度制御が可能な構成にしている。CCD を真空槽に設置した理由は、大気中で CCD を冷却すると表面に霜が付着してしまうためである。機械式冷凍機の最低到達温度は -213 であり、 -213 において mini-CCD は電荷転送が十分にできない。これは、電荷転送に電子の熱拡散を利用しているためである。そのため、熱拡散を利用した電荷転送と放射線劣化の抑制の観点から CCD 動作温度は -120 に設定された。機械式冷凍機は一定パワーで動作、細かい温度制御はヒーターで行い、CCD を -120 に冷却する。

4.1 真空槽内への基板の配置

mini-CCD 周りのアナログ信号は、ノイズの影響を受けやすいので、アナログ信号に関わる基板 (Driver-board、Video-board の ASIC 基板) は、mini-CCD とともに真空槽内にマウントすることにする。それ以外の基板は、真空槽外に配置する。

4.2 冷凍機単体試験と熱見積もり

真空槽内の冷却部（冷凍機の cold-head 部分）と mini-CCD 設置場所の位置関係より、冷却部と mini-CCD の間には温度勾配が生じる。冷却部の温度に対し、mini-CCD 部分は 10-20 ほど温度が高くなると推定される。そのため、mini-CCD を -120 程度に冷却するため、cold-head 部は -130 程度に冷却する必要がある。cold-head 部を -130 程度に冷却するため、ヒーターにより cold-head 部に加える熱量の概算を知る必要がある。そのために、冷凍機単体試験を行い、白金側温抵抗体により冷凍機の cold-head 部の温度推移を調べた。図 2 がその結果である。

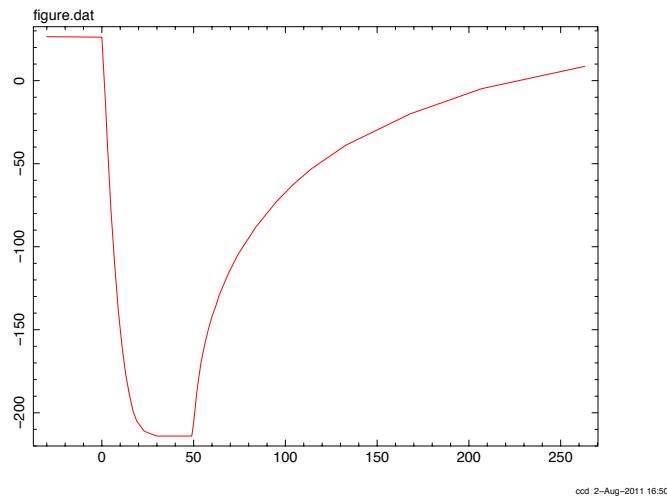


図 2: 冷凍機単体試験 cold-head 部の温度推移。縦軸は温度 [°C]、横軸は時間 [min]。t=0 で冷凍機を ON にし、t=50 で冷凍機 OFF とした。~20min で ~240 度低下し、cold-head 温度は -213 まで達した。

冷凍機単体試験より、-130 における温度冷却率は ~0.2 °C/s であることがわかる。ここで、-130 におけるアルミニウムの比熱は、アルミニウムの比熱 $C[\text{J/g/K}]$ の近似式（適用範囲: -227 ~ 753 K）

$$C = 4.186aT^b e^{cT} e^{d/T} \quad (a = 6.27, b = -0.547, c = 0.000925, d = -157) \quad (1)$$

より、-130 K、つまり $T = \sim 140\text{K}$ において $\sim 0.653[\text{J/g/K}]$ となる。冷凍機の cold-head 部の体積は、冷凍機外観寸法図より $\sim 19\text{cm}^3$ であり、アルミニウムの密度 $[\text{g/cm}^3]$ は、温度による体積変化率は無視できるほど小さいので 2.7g/cm^3 である。以上の結果を用いて、-130 における冷凍機の冷却能力が $\sim 8\text{W}$ であることが推定される。

4.3 温度制御系

熱見積もりの概算より、30 W のテープヒーター 1 枚を用いたとき、テープヒーターに $\sim 15\text{V}$ の電圧を印加すれば cold-head 部に $\sim 8\text{W}$ の熱量を与えられる。温調器の出力電圧は最大 10V なの

で、温調器とヒーターの間に直流安定化電源をはさみ、出力電力を最大 18V まで増幅することにした。温度制御は、温調器の PID 制御を用いて、設定値と測定値の偏差から温調器自身がヒーター側に出力する操作量を加減することにより行う。mini-CCD（付近）の温度測定は、4 線式白金測温抵抗計を用いる。下に温度制御系統図と冷却系セットアップの概略図を載せる。

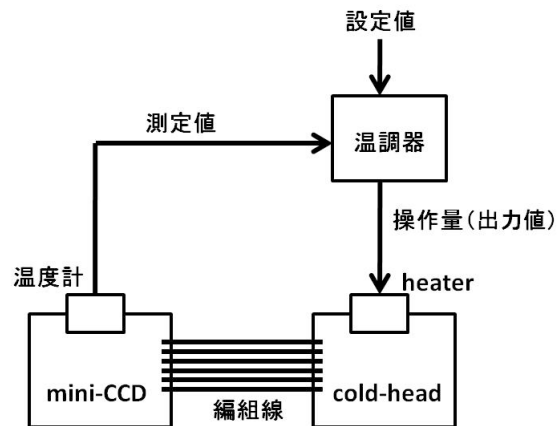


図 3: 温度制御系統図

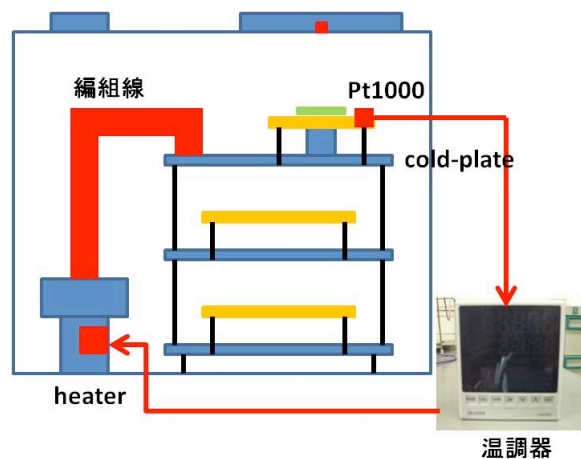


図 4: 冷却系セットアップの概略図

5 今後

実際に冷却系セットアップを組み上げ、mini-CCD を用いない冷却試験、mini-CCD を用いた冷却試験を行う。その後、冷却系セットアップを含めた SXI-EM 地上用試験系セットアップを用いて mini-CCD の性能評価試験を行っていく。