

要旨

本研究では、惑星現象の長期観測を可能とするために、2014年夏にハワイ・ハレアカラ山頂に設置される東北大学 60cm 望遠鏡の為に赤外観測装置の開発を行っている。本研究は、木星赤外オーロラを主なターゲットとする赤外カメラと赤外エシエル分光器に共通に用いられる InSb256×256 赤外の Focal plane array (FPA) 用の駆動システムを開発し、その評価を行うことで FPA の適切な動作条件を明らかにし、木星赤外オーロラの観測実現性を示すことを目的とする。

第 1 章では、本研究の目的、開発経緯についてまとめた。先行研究より、赤外オーロラの時空間変動を明らかにする為には、H3⁺オーロラは S/N=15 以上、H2 オーロラでは S/N=5 以上、赤道域温度場については S/N=5 以上必要であることを示した。この要求 S/N に基づいて、FPA のノイズ要求を定義した。

第 2 章では、本研究で採用している赤外 FPA である Raytheon 社の CRC463 の駆動原理を明らかにし、本駆動システムで動作させた場合の適切なバイアス範囲が、Vdet-3.0V 以下、Vdduc-4.0V 以上であることを明らかにした。それにより、バイアス Vdet-Vdduc=0.6V において Full Well が 0.02V から 0.4V に拡大し、出力波形の確認とハロゲンランプの撮像に成功した。更に、本駆動システムの改良と新規開発で性能向上を行った。①赤外カメラの熱パスの熱コンダクタンスを増大させることで、FPA 近傍のクールドプレート温度を 45K から 20K に下げたことにより、暗電流は 17,145e/s から 200e/s、リードノイズは 453erms から 320erms まで低減した。②ピクセル内リセット時の CRC463 特有の不具合を検証し、フレーム単位で制御を行う新規制御方法を明らかにした。この制御方法により、リードノイズは 200erms まで低減した。これに基づき、FPA 制御回路系の SUZAKU-V のクロックタイミング制御ソフトウェアの開発を行うことで、シエルスタリプトベースの開発環境の構築を行った。これにより、本駆動システムの柔軟な制御および評価を行うことが可能となり、利便性が向上した。③FPA 駆動回路系の Bias ボード、Power Receiver ボードの改良を行って、各ボードの出力電位のノイズを低減した。Bias ボードの PCB 作成で、リードノイズは 123erms まで低減し、更に回路構成の調整と、Power Receiver ボードの改良により、90erms まで低減出来た。そして、コモンモードノイズの低減と S/N 向上を目指して、2 種類の fan-out-board の新規設計を行った。

第 3 章では、画像処理による各ノイズ成分の抽出方法を示すとともに、サンプリング画像を平均化する画像処理により、リードノイズを 57erms まで低減した。これにより、Photon Transfer Curve の手法を用いて、性能パラメータを評価することが可能となった。その結果、バイアス 0.6V の場合では、Fixed pattern Noise (FPN) の性能指標 Dark Signal Nonuniformity (DSNU)=3.8%、Photoresponse Nonuniformity (PRNU)=1.6%、リーク電流 200e/s、Full Well 133,000e、システム

ゲイン $10.9e/DN$ であることが明らかになった。そして, Full Well, リーク電流, システムゲインについてバイアス依存性を明らかにした。又, FPA 動作評価では, 黒体炉を用いた量子効率測定を行い, Raytheon 社が提示している量子効率と, ほぼ等しい 0.85 の値を確認した。又, $2.3\ \mu m, 400K$ の Noise Equivalent Difference Temperature (NEDT) を評価したところ, $45mK$ であった。これより, 第3世代 FPA と比較しても十分な性能を発揮できていることが明らかになった。これらの結果を用いて, 東北大学 $60cm$ 望遠鏡のハレアカラ山頂における, 木星 H2 オーロラと赤道域温度場のエッセル分光器観測, 並びに H3+オーロラのイメージング観測において観測に適したバイアスと, 得られるデータの S/N 値を明らかにした。

本研究で開発された赤外 FPA 駆動システムと東北大学 $60cm$ 望遠鏡を組み合わせると, バイアス $0.8V$ で, H3+オーロラを露光時間 $15s$ でイメージング観測した場合の S/N 値が 30 (S/N 要求 15) である。一方, バイアス $0.4V$ で, H2 オーロラを露光時間 $600s$ で分光観測(波長分解能 20000) した場合の S/N 値は, 2.3 であり, これを 2 枚加算した場合, 5.56 を達成できる (S/N 要求値 5)。赤道域温度場観測の場合, バイアス $0.9V$ で露光時間 $600s$ の S/N 値は 15 (S/N 要求値 5) である。更に, リーク電流を低減した場合の観測可能性を示した。H2 オーロラの場合, バイアス 0.5 以上においてリーク電流を $140e/s$ 以下に低減すれば, 1 回の撮像で更に S/N を向上できる。赤道域温度場ではバイアス $0.9V$ において $100e/s$ 以下に低減することが出来れば, S/N 値を 15 程度から 40 以上に向上することができる。この時, 赤道域温度場は, $20K-30K$ 程度で分解できると見積もられる。

以上より, 今後の観測において, H3+オーロラ, H2 オーロラ並びに赤道域温度場の観測が達成可能であると結論付けた。