

木星オーロラ観測用赤外カメラ搭載 InSb イメージセンサ駆動システムの開発と評価 Development and evaluation of the drive system of InSb imager mounted on infrared cameras for Jovian aurora

野口 恵理子^{1*}; 小谷 光司²; 坂野井 健¹; 鍵谷 将人¹; 市川 隆³
NOGUCHI, Eriko^{1*}; KOTANI, Koji²; SAKANOI, Takeshi¹; KAGITANI, Masato¹; ICHIKAWA, Takashi³

¹ 東北大・理・地球物理学専攻, ² 東北大・工・電子工学専攻, ³ 東北大・理・天文学専攻
¹Geophys., Graduate School of Science, Tohoku Univ., ²Electronics, Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., ³Astronomy, Graduate School of Science, Tohoku Univ.

東北大学では、2014 年にハワイ・ハレアカラ山頂に設置される 60cm 望遠鏡のための赤外観測装置の開発を行っている。本研究は、木星赤外オーロラ用赤外カメラと赤外エシエル分光器に共通に用いられる Focal plane array(FPA) 用の駆動システムを開発し、その詳細な評価・分析結果を用いて、観測対象毎に異なる FPA の最適動作条件を決定する手法を確立し、各観測対象の観測実現性を示すことを目的とする。

先行研究より、観測対象の時空間変動を明らかにする為には、H3+オーロラは撮像時間 15s で S/N=15 以上、H2 オーロラでは撮像時間 1200s で S/N=5 以上、赤道域温度場については撮像時間 7200s で S/N=5 以上が必要であることを示した。この要求 S/N および撮像時間制限に基づいて、観測対象のシグナル成分、地球大気発光成分、望遠鏡からの熱輻射を考慮し、FPA に要求されるノイズ指標、具体的にはリードノイズおよびリーク電流の上限値を明らかにした。

次に、本研究で採用している赤外 FPA である Raytheon の CRC463 の駆動原理に基づき、本駆動システムでの適切なバイアス電圧範囲が、 $V_{det} = -3.0V$ 以下、 $V_{ddc} = -4.0V$ 以上であることを明らかにした。この条件下で、バイアス $V_{det} - V_{ddc} = 0.6V$ において Full Well(FW) が 0.02V から 0.4V に拡大し、ハロゲンランプの撮像に成功した。更に、次のような改良を行った。①赤外カメラの熱パスの伝導性を増大させることで、FPA 近傍温度は 45K から 20K にまで下がり、リーク電流は 17,145e/s から 200e/s、リードノイズは $453e_{rms}$ から $320e_{rms}$ まで低減した。②CRC463 特有の不具合を検証し、フレーム単位の新規制御方法を開発したことで、リードノイズは更に $200e_{rms}$ まで低減した。これに基づき、FPA 制御回路系のクロック制御シーケンスの最適化を行った。本駆動システムの詳細な性能評価を行うことが可能となった。③FPA 駆動回路系の改良として、各ボードの出力電位のノイズを低減し、最終的にリードノイズを $90e_{rms}$ まで低減した。

以上の改良により、Photon Transfer Curve の手法を用いて、FPA の性能パラメータを詳細に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 の性能指標である Dark Signal Nonuniformity が 3.8 %、Photoresponse Nonuniformity が 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。FPA 動作評価では、量子効率測定を行い、Raytheon が提示している値と同等の 0.85 の値を確認した。又、 $2.3 \mu m$ 、400K の Noise Equivalent Difference Temperature を評価したところ、最大 45mK であり、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。なお、本研究で採用している FPA は NASA の IRTF と同種のものであり、駆動系を含む撮像システムの性能を比較すると、リーク電流以外は IRTF の駆動システムに匹敵する性能であることが示された。

さらに、FW、リーク電流、システムゲインについて、それらのバイアス依存性を詳細に評価した。その評価結果を用い、観測対象毎の信号成分強度、雑音成分強度、最大撮像時間制限などを考慮し、観測対象毎に異なる最大 S/N を実現可能な最適バイアス設定を決定する手法を確立した。それにより、以下のことが明らかになった。本赤外 FPA 駆動システムにおいて、バイアス 0.5V で、H3+を露光時間 15s でイメージング観測した場合の最大 S/N は 30 である。バイアス 0.4V で、H2 を撮像時間 1200s で分光観測した場合の最大 S/N 値は、ビニング処理した場合、最大 S/N 値 3.14 を達成するが、要求 S/N を下回る。この場合、リーク電流を 81e/s 以下に低減する必要がある。温度場分光観測の場合、バイアス 0.4V で 28 回加算を行うと、撮像時間 7200s で最大 S/N=52.7 であるが、バイアス 0.9V でリーク電流を 100e/s 以下に低減すれば、1 回の撮像で S/N=40 以上達成できる。

要するに本研究は、惑星観測のための東北大望遠鏡に組み合わされる赤外観測装置に搭載される FPA の駆動システムを開発・改良し、その性能を詳細に評価し、その結果を用いて観測対象毎に最適バイアスを導出する考え方を示したものである。なお、現時点でのリーク電流は FPA 本来のスペックと比較しても 2 桁程度大きく、この低減が今後の課題である。

キーワード: 赤外イメージセンサ駆動システム, 東北大学望遠鏡, 惑星長期観測, NASA 赤外望遠鏡

Keywords: Focal plane array drive system, IR telescope of Tohoku Univ., long-term observation for planet, NASA IRTF