

Development of ASICs for multi-readout X-ray CCDs (X線 CCD の並列信号処理用 ASIC の開発)

宇宙地球科学専攻常深研究室 松浦 大介

天体の観測は近年ほぼ全ての波長の電磁波を用いて行われている。その中で我々の行っている X 線天文学は超新星残骸やブラックホール、銀河など様々な天体が放射する X 線を観測して、その高エネルギー現象の解明を目的としている。X 線は地球大気により吸収されてしまい地上まで届かないため、検出器を人工衛星に搭載し観測を行う。我々の研究室では X 線検出器の 1 つである X 線 CCD を開発している。X 線が CCD に入射して光電効果を起こすとエネルギーに比例した数十～数千個の信号電荷を発生する。このとき、信号処理システムの雑音レベルが十分に低い場合には発生した信号電荷の量を正確に測定し、入射した X 線 1 つ 1 つのエネルギーを求めることができる。入射した X 線の位置とエネルギーを高い精度で求められる X 線 CCD は X 線望遠鏡の焦点面検出器として用いられ非常に多くの成果をあげている。しかし、X 線 CCD の時間分解能は数秒程度しかなく、これは他の検出器と比べて大きく劣る。そのために数十ミリ秒の速い時間変動を示す X 線パルサー等の観測は難しい。CCD で数十ミリ秒の時間分解能を達成するには CCD の信号読み出し口の数を増やし、並列信号処理を行う必要がある。しかし、その数は数百にもなり、これら数百チャンネルの読み出し回路を現在の読み出しシステム同様に市販の IC で構成した場合巨大なシステムになってしまう。特に我々は衛星搭載を考えており、スペースや消費電力の面から実現は難しい。以上の背景より、X 線 CCD の信号処理専用集積回路 (ASIC: application specific integrated circuits) の基本回路ブロックを開発し、読み出しシステムの小型化、低消費電力化が本研究の目的である。

今回、CCD からのアナログ信号を増幅、整形して最後デジタル信号に変換する回路ブロックを 4 チャンネル集積した ASIC を開発した。パッケージングしたチップサイズは 1.5 cm×1.5 cm、消費電力は 1 チップ当り約 100 mW であった。これらは現在我々の研究室で使用しているシステムの数 % の値であり、本研究の目的である読み出し回路の小型化と低消費電力化に成功したと言える。回路の雑音レベルは既存のものと同色なく、CCD の分光性能はほぼ理論限界を達成することができる。今回試作した ASIC は 4 チャンネル実装したものであったが、今後 CCD の信号読み出し口数を増やし、本研究で開発した回路ブロックを複数実装することで時間分解能は大きく改善できると思われる。そして、X 線 CCD は今後の天体観測においても必要不可欠な検出器であり、開発した回路ブロックは様々な衛星搭載装置や地上試験装置へ応用できると思われる。その 1 つとして我々が現在開発している 2013 年打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星 (ASTRO-H) に搭載する X 線 CCD カメラがある。今回、衛星搭載に向けて開発した X 線 CCD と ASIC を用いた読み出し試験を行い、要求性能を達成することを確認した。その他のプロジェクトとして次期小型 X 線観測衛星 (FFAST) や地上観測衛星で本 ASIC を使用することを現在検討している。