

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：32686

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740191

研究課題名（和文） SpaceWire を用いた CCD データ取得系の開発と新読み出し方式の研究

研究課題名（英文） Development of CCD data acquisition system with SpaceWire and study of new readout method

研究代表者

村上 弘志（MURAKAMI HIROSHI）

立教大学・理学部・助教

研究者番号：00415902

研究成果の概要（和文）：人工衛星の統一した通信規格として開発された SpaceWire をインタフェースとしてもつ X 線 CCD 読み出しシステムを構築した。駆動・読み出し部は新読み出し方式の試験に用いることを目的とし、FPGA 搭載基板を用いることで変更を容易にした。また、冷凍機や X 線発生装置を導入し、CCD の性能評価を行うためのシステムを構築した。今後の試験へ供することを想定して可搬性を重視したシステムとなっている。

研究成果の概要（英文）：Data acquisition system for X-ray CCD is constructed with the interface of SpaceWire protocol, which is developed for universal standard for satellites. Driver and readout module is designed to be flexible by using FPGA in order to test new readout method. Cooler and X-ray generator were introduced to evaluate the performance of CCD. The whole system is portable, and planed to be used in future experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：X 線天文学、人工衛星、電子デバイス・機器、リモートセンシング、宇宙インフラ、SpaceWire

## 1. 研究開始当初の背景

従来、人工衛星搭載機器は機器ごとに異なったデータ出力形式を持ち、データ処理のプロセッサがそれぞれに応じた形式でデータをとりこみ、上流に送っていた。また、パラレル配線で多数の信号線を持つ場合が多かった。このような機器構成では、検出器だけの試験を行なおうとしても上流側にデータ出力形式に応じた特殊な代替品を必要とし、加えて導通絶縁やインタフェース確認の試験は非常に手間がかかるという欠点が

あった。この状況を改善するため、SpaceWire という規格がまとめられた。LVDS でシリアル信号を送るものでケーブル配線は最低限で済み、また SpaceWire 同士でネットワークを組むことができるため、冗長性を確保することも容易である。各検出機器がこの標準規格 SpaceWire で出力することで、地上試験での労力をはるかに少なくすむと期待されている。特に、衛星搭載機器は一般的に高価になるため、共通部分を増やしコストを減らす重要性は高い。

2014年に打ち上げが予定されている次期 X 線天文衛星 ASTRO-H では、衛星全体が SpaceWire をデータバスとして用いることになった。中大型衛星として本格的に SpaceWire を使用する初めての例である。それに向けて各大学・研究機関で SpaceWire の利用が進められていた。

一方、X 線 CCD は中程度のエネルギー分解能と優れた位置分解能により X 線天文学における標準検出器となっている。ただし、CCD の最大の欠点として読み出し時間が長いことが挙げられる。この欠点により明るい X 線源の観測や、高時間分解能の観測は不可能となっている。これを克服するため、一部分を繰り返し読み出す、あるいは露出時間の大部分を捨てる、などの駆動パターンが工夫されている。しかし、いずれも観測情報の大部分を捨てるものであり、無駄が多い。そのため CCD 以外の検出器の利用も模索されている。

## 2. 研究の目的

実際の衛星搭載品の試験に先駆け、従来の CCD 検出器の駆動-読みだし回路に SpaceWire を適用し、新たなシステムを開発することを第一の目標とした。

また、CCD の欠点である明るい X 線源に対する問題の克服や時間分解能の向上を目的とした新しい読み出し方法を研究する。製作した CCD 駆動・読み出しシステムを用いて新読み出し方法の機能実証および性能評価を行い、実用的な方法を開発することが最終目標である。システム全体は、X 線光学系の試験などにも利用できるよう可搬性の高いものを目指す。

## 3. 研究の方法

デジタル部（駆動用、読み出し用 I/O ボード）とアナログ部（DAC/ADC ボード）に分けて開発を行う。デジタル部は極力市販の FPGA 搭載ボードを利用し、ロジック開発に集中する。アナログ部も必要に応じて既存のボードを利用し、安価で入手しやすいものを使用する。これにより開発要素を絞りこむとともに他の試験系での利用を容易にする。

開発も、デジタル部とアナログ部を別々に行い、まずデジタル部だけで完結するシステムを構築し、模擬データなどの処理を行うことで動作試験を行う。ついでアナログ部の開発を行い、デジタル部と噛み合わせを行う。最後に CCD を実際に駆動し、新しい読み出し方法の試験を行う。

## 4. 研究成果

データ取得システムは図 1 のような構成とした。デジタル部は SpaceWire インタフェースをもつボードを使用した。さらに、読み出

し部は ADC も搭載したものを用い、ADC で単体のボードを使わずにシステムを組むこととした。



図 1: システムの全体図

(1) 駆動部は、I/O ボードでの駆動信号生成が主な開発要素であった。まず SpaceWire による接続を確立し、計算機から SpaceWire 経由で駆動開始等の命令を送ることとした。パターン生成部は FPGA 内のロジックで行うが、駆動パターン自体は別の独立したファイルを用意し、事前に計算機から直接メモリに書き込むこととし、ロジックの再コンパイルをせずに読み出しクロックを変更することを可能とした。

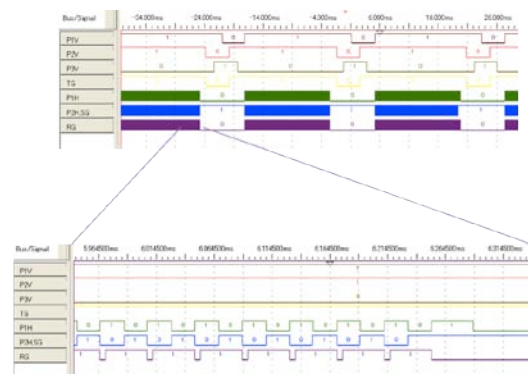


図 2: 生成した駆動パターンの例

図 2 に駆動パターンの例を示す。一行分の回数の横転送パターン（図 2 下の拡大部分）を送り出した後に一回の縦転送クロック、というパターンが正しく繰り返されていることがわかる。

(2) 読み出し部は SpaceWire インタフェースを持ち、かつ FPGA および ADC を搭載したボードを利用することで、1 枚の基板で完結することとした。

これにより FPGA で ADC の読み出しタイミング等を制御することが容易に可能となり、駆動部のクロックに従って CCD の信号を読み出すことができた。図 3 に CCD 出力の模擬信号を読み出した時の波形を示す。LVDS 信号のタイミングで AD 変換を行っている。

また、一定電圧を与えることで ADC の直線性を調べた結果を図 4 に示す。実用上問題のない直線性が得られた。

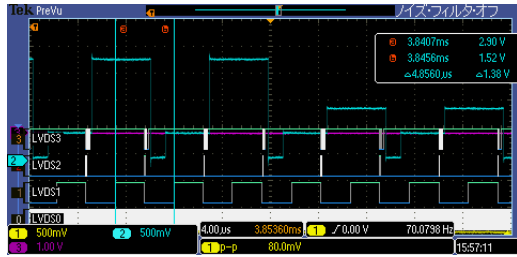


図 3: 読み出し時の波形の様子。下部の LVDS1 の立ち下りのタイミングで AD 変換を行っている。

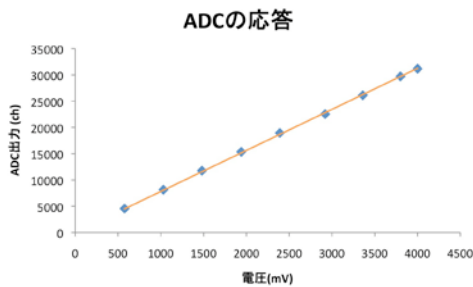


図 4: ADC の応答

AD 変換して得られた値を SpaceWire 経由で計算機に取り込むことで CCD 画像が得られる。図 5 に模擬 CCD 出力から作成した画像を示す。横方向には CCD の実ピクセル数より多く読み出すことで空読みすることにしており、模擬出力でもこれを再現した。



図 5: 模擬 CCD 出力による画像。右端の暗い部分は空読み部分を再現している

(3) アナログ部については、ADC 部は読み出しボードに組み込まれたため、駆動パターンを CCD 駆動に適した電圧値にする DA 変換用のドライバボードのみ必要となった。これは当初は新規に作成する予定であったが、既存のものを使用することとした。ボードは入手

済みであるが、このボードに合わせて駆動用 I/O ボードからの出力を変更することが必要となった。現在駆動部の最終段を改修中である。今後実際に CCD を動かし、新読み出し方法の実証および性能評価を行う。

(4) 駆動・読み出し部以外に CCD の評価システムとして周辺装置も整備した。性能評価には CCD を冷却することが必須であるため、真空槽、冷凍機を導入した。真空槽は小型のものを設計・製作し、将来的に X 線光学系の実験や、他の実験拠点での性能評価試験にも利用しやすいものとした。冷凍機については、冷却試験を行い、十分冷却可能であることを確認した。温度モニタ用の温度計やデータロガーは既存のものを使用する。これにより CCD 駆動を実現後は温度依存性の評価を行う。

また、X 線発生装置を導入した。様々なエネルギーに対する応答を調べることを目的としており、今後蛍光 X 線などを利用した多色 X 線発生装置を準備する予定である。

以上の評価システムにより、新読み出し方法を用いた場合の性能を多角的に評価し、従来の方法で取得した場合の性能と比較する予定である。時間分解能や明るい X 線に対する耐性など、時間的な性能については、LED など可視光の照射も併用して評価する予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

[1] H. Murakami et al. (4 名中 1 番目), Detection of X-Ray Emission from the Unidentified TeV Gamma-Ray Source TeV J2032+4130, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 63, 2011, S873-S878

[学会発表] (計 3 件)

[1] 村上弘志 他、レーザープラズマ光源を使った Xmas 望遠鏡の撮像実験 IV、天文学会春季年会、2012 年 3 月 20 日、龍谷大学

[2] 村上弘志 他、レーザープラズマ光源を使った Xmas 望遠鏡の撮像実験 III、天文学会秋季年会、2011 年 9 月 21 日、鹿児島大学

[3] 村上弘志 他、レーザープラズマ光源を使った Xmas 望遠鏡の撮像実験 II、天文学会春季年会、2010 年 3 月 18 日、つくば大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.rikkyo.ac.jp/~hiro/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 弘志 (MURAKAMI HIROSHI)

立教大学・理学部・助教

研究者番号：00415902

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし