

(2021)年度国立天文台共同開発研究成果報告書

2021年 4月 30日

国立天文台長 殿

研究代表者	氏名	(ふりがな) なかもりたけし 中森健之
	所属・職	山形大学学術研究院(理学部主担当)・教授
研究課題名	可視光子計数撮像システムの読み出し回路の開発	
研究実績	<p>本研究は、単光子の検出能力と高速応答性を合わせ持つ半導体光センサを用いた撮像システムを開発し、高感度・高時間分解能の可視光観測を実現することが目的であった。アナログASICとFPGAを活用して、回路の集積化と小型化を進め、毎秒100万フレームで検出光子数を記録する動画撮影システムである。</p> <p>本研究で採用するセンサは、MPPCとよばれるセンサを独自にカスタマイズし、有感セルの信号を独立に読み出すことによりピクセル検出器として動作させるものである。製作したばかりの8x8画素センサの信号読み出し回路基板を作成し、基本特性評価をはじめに行った。信号波形、印加電圧に対するゲインの線形性、ゲインの温度依存性、ダークカウントレートの温度依存性をそれぞれ測定し、先行して製作した4x4画素の試作素子と遜色ない性能であることを確認した。</p> <p>高エネルギー加速器研究機構(KEK)で開発されたアナログASIC(名称:FGATI)を用いて、8x8画素センサの信号処理回路を設計、制作する計画であった。FGATIはGHz帯域の高速信号処理に対応したASICで、MPPCの読み出し目的に開発されたものである。波高計測用の電圧アンプのアナログ出力と、タイミング計測用のトランスインピーダンスアンプとコンパレータによる高速デジタル出力がFGATIに16系統内蔵されている。</p> <p>前段のアナログ処理部の開発として、8x8画素センサの信号をFGATIテスト基板に入力した動作試験を行った。Raspberry PiのSPI通信でFGATIを制御し、アナログ出力のゲイン可変動作、およびオフセット制御によるデジタル出力の確認と最適化ができた。これにより、我々の実験にFGATIが採用できることが確かめられた。一方で、世界的な半導体等回路部品の供給不安定な情勢を受け、本研究期間中にFGATIを搭載した専用基板の製作が現実視できなかつたため、FGATI後段のデータ収集系は、既存の製品を組み合わせた要素試験にとどまった。</p> <p>並行して、後段FPGAによるデータ収集システムの動作実証として、4x4画素試作センサをFPGAでデータ収集する(FGATI未搭載の)システムを構築した。広島大学かなた望遠鏡に設置して、Crabパルサーの観測を行った。光子検出の絶対時刻を100nsの分解能で付与し、電波望遠鏡の情報をういてCrabパルサーの光度曲線の再構成に成功した。現在論文準備中である。</p> <p>扱いやすく安定したパッケージとして、OISTERの観測網に超高速測光というこれまでにない機能を提供して、CMOSを凌駕するミリ秒未満の時間領域へ可視天文学を拡張する観測基盤の構築を目指すという目標も提示した。広島大学かなた望遠鏡で試験観測を継続しながら、本研究のシステムを配備することを目指す内諾を得た。</p>	
研究の活用	<p>本研究の技術的に重要な基盤が確立できた。これから8x8画素センサによる観測システムを完成させるにあたり、アナログ信号処理部はFGATIを採用、FPGAの信号処理部の基本回路をそのまま流用できる。また、望遠鏡側でのポインティングのキャリブレーションを効率化するためにもセンサの視野がより大きいことが望ましいことが、実際に観測実験を通じて明らかとなった。追尾精度が有限であることで天体の結像位置が時間とともに動くことへも、センサの大型化によって対応することができる。センサを大型化すると信号処理系の肥大化が不可避である。FGATIによるアナログ信号処理部の集積化は、将来的に画素数を拡張した場合にも回路部の大型化を抑制できると期待される。</p>	

国立天文台共同開発研究 報告書(別紙)

氏名	所属	標題名	ID
----	----	-----	----

回答日: 年 月 日

1 欧文論文(査読あり)

記述不要	著者(DOIが付与されていれば記述不要)	出版年	論文名	雑誌名	巻(※1)	ページもしくはID (DOIが付与されてい れば記述不要)	DOI	調査年度	備考

2 和文論文(査読あり)

筆頭著者名 ローマ字表記	著者(DOIが付与されていれば記入不要)	出版年	論文名	雑誌名	巻(※1)	ページもしくはID (DOIが付与されてい れば記述不要)	DOI (付与されている場合)	調査年度	備考

3 国内・国際会議講演、学会発表等

記述不要	講演者	年	講演名	会議等名	開催場所・開催日	招待講演(※2)	調査年度	備考
	中森健之	2022	単光子計数法による高速可視撮像システムの開発と改良	日本天文学会春季年会	オンライン(Mar. 3-5, 2022)			
	佐藤凜	2021	可視天体の高感度・高時間分解観測装置の開発	可視赤外線観測装置技術 ワークショップ	国立天文台(Dec. 9-13, 2021)			
	中森健之	2021	カスタムMPPCのデジタル読み出しシステムの開発	計測システム研究会	九州大学(Oct 28-29, 2021)	*		
	中森健之	2021	光子係数法による時間領域可視光天文学の開拓	山田科学振興財団研究交 歓会	オンライン(Oct 16, 2021)			
	中森健之	2021	MPPCを応用した高感度高速撮像システムの開発と性能 評価	日本物理学会秋季大会	オンライン(Sep14-17)			
	中森健之	2021	かなた望遠鏡と光子計数法によるCrabパルサー巨大電 波パルスの可視電波同時観測	日本天文学会秋季年会	オンライン(Sep 13-15)			

4 修士/博士論文

記述不要	著者	学位授 与年度	論文名	学位授与大学	言語	取得学位	DOI (付与されている場合)	調査年度	備考

5 その他

(※1)巻がない場合は省略可。また、号の記載が必要な場合は巻の後ろに括弧で記載する。(例:57(12))
 (※2)招待講演の場合には「*」を記載する。