

令和 7 年 6 月 12 日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2024

課題番号：21K14174

研究課題名（和文）10Gb Ethernet転送データ収集システムによる高速X線イメージャ開発

研究課題名（英文）Development of High-Speed X-ray Imager using 10Gb Ethernet Transmission Data Acquisition System

研究代表者

西村 龍太郎（Nishimura, Ryutaro）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特別助教

研究者番号：00828189

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：Silicon-On-Insulator(SOI)技術を用いた二次元半導体検出器SOIPIXシリーズの一つであるINTPIX4NAを用いた高速X線イメージャの実現のため、Field Programmable Gate Array(FPGA)素子上で動作する10Gb Ethernetコントローラを基盤とした高速データ収集システムを開発した。また、これによる高速X線イメージャの放射光実験施設をはじめとする各種実験への応用展開を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって開発されたX線イメージャは、検出器素子の高い解像特性を活かしたX線強度が低い条件となる光学系におけるイメージングへの応用が進められており、今後これらの測定による成果が報告される見込みである。また、検出器素子に改良を施すことにより中性子イメージング等への応用展開が進められている。加えて、基盤となるデータ収集システムは、Field Programmable Gate Array(FPGA)上で動作するロジックを変更する事による機能拡張や一部構成基板の変更による性能向上が可能である。よって、今後考案される新たな実験、次世代・他種の検出器素子においても幅広い活用が期待される。

研究成果の概要（英文）：We developed the high speed readout data acquisition system using 10Gb Ethernet controller based on Field Programmable Gate Array (FPGA). This system was unified with INTPIX4NA, the silicon pixel sensor using Silicon-On-Insulator (SOI) technology, as the higher framerate and well resolution X-ray imaging device. In addition, the application of this new X-ray imaging device developed thereby to various experiments, including those at synchrotron radiation experimental facilities.

研究分野：二次元半導体検出器、制御・計測システム

キーワード：データ収集システム X線イメージング 半導体検出器 SOIPIX 二次元検出器 DAQ 制御 10Gb Ethernet

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) SOI ピクセル検出器(SOPIX)

SOI ピクセル検出器 [1, 2] (図1) (以下 SOPIX 検出器)は高エネルギー加速器研究機構 (KEK) を中心とする SOPIX グループで開発されている直接変換型二次元半導体検出器である。

本検出器は高抵抗シリコンウエハーと回路部の低抵抗シリコンウエハーを張り合わせた一体型構造となっており、ピクセルサイズの制約要因になっていたバンプボンディングが不要であるため 10  $\mu\text{m}$  以下の空間分解能の実現が可能である。またバンプによる物質量の増加やコスト高、歩留まりが悪いといった課題を解決している。更に、標準的な半導体プロセスによって製作できるため、可視光用 CMOS センサーと同様にピクセル内に信号処理回路を作ることができ、高い機能を持った検出器を安価かつ大量に生産することが可能である。本研究において X 線イメージャ素子として用いる INTPIX4NA [3] (図2) は 17  $\mu\text{m}$  角の画素を 832  $\times$  512 ピクセル搭載しており、センサー層は Floating Zone 法による 320  $\mu\text{m}$  厚のシリコンである。

本研究開始当初の時点においては、SOPIX 検出器は X 線イメージャとして実用的な撮像性能を実現していることが先行研究による評価試験によって確認されていたが、本検出器を含む SOPIX 検出器の制御を行うためのデータ収集システムは検出器自体の評価試験目的のもの[4]のみが存在し、X 線イメージングに供することが出来るイメージャパッケージは未開発の状態であった。

### (2)FPGA 搭載型 Ethernet コントローラ SiTCP

SiTCP [5]は、KEK において開発され、(株)Bee Beans Technologies に技術移転され開発が継続されている Field Programmable Gate Array (FPGA) 搭載型 Ethernet コントローラである。Ethernet はコンピュータネットワークに広く用いられる通信規格の一つであるが、規格内でサポートされる伝送距離が他の通信規格と比較して圧倒的に長距離 (CAT6A 規格の場合で 100 m)、スイッチングハブ(集線装置)を介した多対多接続が可能である等の利点が存在する。これらの利点は、検出器とストレージ間の距離が離れている構成、複数検出器・ストレージを並列して接続する構成において特に有効であり、セットアップの配置自由度向上、リモート化対応、及び小規模検出器のグループ運用対応といったセットアップの高度化に寄与する。また、使用される通信プロトコルは多くの主要オペレーティングシステムで標準対応済であり、データ収集システムの構築に要するコストを抑制できる点も利点として挙げられる。

SiTCP では、この Ethernet および通信プロトコルについて、インターネット・プロトコル・スイートのリンク層からトランスポート層までを実装範囲としており、ユーザーによる複雑なプロトコルの追加実装を必要としない。また、検出器の制御に広く用いられる FPGA 内に他の論理回路と共存できる程度の回路規模で実装可能であるため、検出器制御に必要な制御基板構成に最小限の追加を行うことにより低コストでネットワーク通信機能を追加できる。

本研究開始時点においては、最大 1 Gbps での通信に対応したものが開発済 (SOPIX 検出器の検出器評価試験目的データ収集システムにも搭載) であり、新たに 10 Gbps に対応する次世代型 (SiTCP-XG) が開発中であった。

### (3)放射光実験施設における X 線イメージャに対するニーズ

放射光 X 線を用いた生命科学分野をはじめとする X 線イメージング実験では、光学系の制約上 X 線強度が低下する条件下での高感度撮像が必要な実験、10 cm 角程度の大面积と 10  $\mu\text{m}$  角以下のピクセルサイズが求められる実験、1 kfps 程度の高フレームレートを要求される実験等が提案されており、将来的なものを含めて SOPIX 検出器が対応し得るニーズは多く存在する。しかし、これらのニーズに対応するための SOPIX 検出器改良によるフレームレート向上や面積化による対応を考えたとき、現行の検出器評価試験目的データ収集システムをベースとした 1Gbps Ethernet (1GbE) 対応のシステムでは、現状からの転送データ量の大幅な増大には対応できず (INTPIX4NA の 1 素子フルアレイの場合で現状の常用設定におけるフレームレート 93 fps は 0.7 Gbps (最大帯域の 70 %) に相当)、また拡張の余地もあまり残されていないために、現在および将来の実験条件から要求される性能を満たせないと見込まれ、転送速度の向上をはじめ大幅な性能向上を実現する新システムの開発が急務となっていた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は 10Gb Ethernet (10GbE) を転送に用いた汎用的かつ高速なデータ収集システ

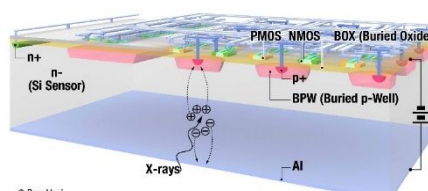


図1. SOPIX 検出器の構造図

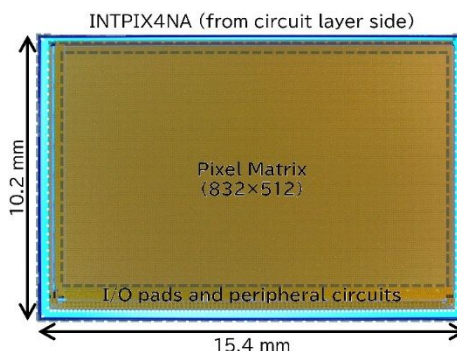


図2. INTPIX4NA 素子の写真 (寸法概略含む)

ムの開発により、高フレームレート・大面積撮像・高い拡張性に対応可能な SOIPIX 検出器ベースの X 線イメージャを実現することである。

3 次元 CT イメージング実験のような放射光における X 線イメージングでは、高フレームレートでの連続撮像・大面積撮像等によって転送データ量が增大することから、転送帯域の増大は勿論のこと、必要に応じて適宜データ収集システム内で中間処理を済ませる、大容量バッファを設けること等の中間処理にも対応できるような設計にすることが必要となる。また、アナログ信号処理の都合上読み出し基板は SOI ピクセル検出器の近傍に配置することが望ましいが、一方で SOI ピクセル検出器は半導体検出器であることから、運用条件によっては真空容器内での冷却が必要になる場合や、狭小部に配置する必要がある場合が想定されるため、形状・排熱に関する制約が発生することにも考慮する必要がある。加えて、SOIPIX 検出器については既に現行の検出器評価用データ収集システムを使用するユーザーが存在するため、10GbE 版データ収集システムの開発に当たってはこれらとの互換性を確保し、既存の SOIPIX 検出器ユーザー・コミュニティへの便宜を図ることも考慮することとした。

以上を踏まえて本研究において新たに開発するデータ収集システム用基板(検出器の制御・データ転送等を担う電子回路基板)の構成については、基板を機能別に複数枚に分割し基板間を適宜基板対基板コネクタもしくはケーブル接続とすることで、

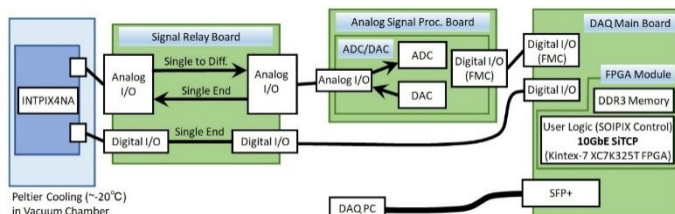


図 3. 新開発のデータ収集システム用基板構成図

- ・ FPGA、大容量バッファ等基板サイズを要するものを検出器近傍から離して配置できるようにする
- ・ 一部基板のみを検出器とともに真空容器内に収めることができるようにする
- ・ 必要な機能を搭載した基板のみでの使用を可能にする
- ・ 用途に合わせてカスタマイズした基板を併用可能にする

等、セットアップの小型化・フレキシビリティの向上を図ることとした(図 3)。

また、10GbE でのデータ転送については、上述の通り当時開発中であった 10GbE に対応した SiTCP-XG (10GbE 版 SiTCP) [6] をメイン基板上 FPGA に検出器制御回路と併せて搭載することによって、部品数を抑えることによる基板サイズの小型化、および、従来 SEABAS 基板との互換性確保を実現することとした。

### 3. 研究の方法

本研究においては、本課題の採択前より先行して開発・評価中の汎用 FPGA 評価基板を用いたプロトタイプシステム、および、開発中の初期版データ収集基板を用いた高速転送に関する検証を先行して行い、採択初年度より検証結果を踏まえて要求を満たすデータ収集基板の改修・開発を行うこととした。また、データ収集システムの開発と並行して SOIPIX 検出器 INTPIX4NA 素子搭載基板とペルチェ素子を用いた冷却温調システムを開発し、これらを一体とした線イメージャの開発を行う。上記の内容を当初 3 箇年 + 発展的な実験実施のため 1 年延長で実施し、得られた成果については随時学会発表と論文にて公開することとした。

### 4. 研究成果

(1) 開発した X 線イメージャのシステムについて

開発した X 線イメージャのシステムは、研究の目的にて示した通り、検出器素子基板を含む複数枚の基板と冷却システムによって構成される[7, 8]。データ収集システム基板はメイン制御基板(図 4 に PF-DAQSIX として記載)、検出器の信号を中継するための信号中継基板、各基板に電源を供給する電源供給基板から成る[8]。各基板・冷却システムを図 3 にて示した構成図に追加したものを図 4 として示す。本構成による X 線イメージャによって、検出器素子を -20 に冷却しながら、フルアレイ読み出しでフレームレート 350Hz (約 2.5Gbps 相当)、フレーム当たり露光時間最大 0.5 秒での撮像が可能となった。

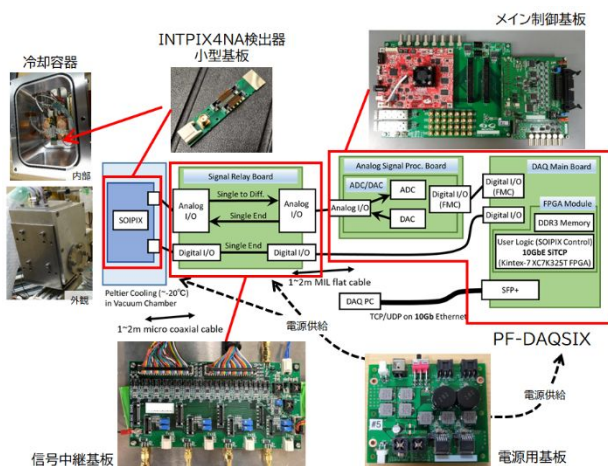


図 4. 新開発のデータ収集システム用基板・冷却容器

(2) 開発した X 線イメージャの評価と応用について

開発した X 線イメージャは主に KEK 放射光実験施設(Photon Factory, PF)において評価と応用試験が実施された。以下に概要を示す。なお、詳細については論文化済[9]である。

## 性能評価

性能評価は PF の実験ステーション BL-14A および BL-14B を用いて実施した。ここでは主要な評価項目である、エネルギー分解能、等価雑音電荷 (Equivalent Noise Charge、ENC)、解像特性 (Modulation Transfer Function、MTF) について示す。

エネルギー分解能は BL-14A 実験ステーションにて実施した。直径 10  $\mu\text{m}$  (FWHM) 程度の 12 keV 単色 X 線ビーム特定ピクセルに照射し、これを 1 ms / フレーム  $\times$  9995 フレーム連続撮像した際の当該ピクセル応答の分布から評価した。図 5 は検出器のフレーム毎アナログ出力の分布を示した図である。複数ピクセルで電荷が共有される位置に X 線光子が入射する確率が高いため、本分布図では、照射対象のピクセルとその周囲 8 ピクセルの  $3 \times 3$  ピクセル分の出力値を合算したものをアナログ出力値として用いている。この図より明らかにバックグラウンドピークと 1 光子ピーク及び 2 光子ピークを分離できていることが確認できる。この中から 1 光子ピークを用いエネルギー分解能  $R[\%] = FWHM_{peak} / Mean_{peak} * 100$  を算出すると、36.23 %であった。

等価雑音電荷 (ENC) はバックグラウンドピークの標準偏差 (Standard Deviation、SD) と検出器アナログ出力のゲインを用いて  $ENC[e] = SD_{background\ peak} [mV] / Gain [mV/e]$  のように求められるので、図 5 の分布よりバックグラウンドピークから算出することができる。バックグラウンドピークの FWHM は 13.01 mV、ピーク形状が正規分布に従うとして SD は 5.52 mV であるが、これが単純に合算している 9 ピクセルで均等に按分されるものとする、1 ピクセル当たりの SD は約 0.61 mV となり、ゲインを 10  $\mu\text{V}/e$  (0.01 mV/e) として計算すると ENC は 61.36 e となる。

解像特性の評価測定は BL-14B 実験ステーションにて実施した。9.5 keV の単色 X 線を用いて、ニッケルメッキが施された針 (X 線ビームプロファイル中に一部遮蔽された領域を作るためのサンプル) を撮像し、得られた像を入射ビームの分布プロファイル像を用いて正規化した後、エッジ領域に対して斜めエッジ法を適用して MTF を算出した。同様の方法で間接変換型 Scientific CMOS イメージャ (6.5  $\mu\text{m}$  角画素、GOS (P43) 10  $\mu\text{m}$  シンチレータ) についても MTF を算出し、重ねてプロットしたものを図 6 に示す。INTPIX4NA の画素サイズによるナイキスト周波数は 29.4 cycle/mm (1000  $\mu\text{m} / (17 \mu\text{m} \times 2)$ ) であるが、この時の MTF は 0.7 を超えており、ナイキスト周波数まで入力信号の 70% 程度のコントラストを維持して撮像できることがわかる。一方で、より微細な画素を持つ Scientific CMOS イメージャは 29.4 cycle/mm の時点で 0.2 程度と、本研究によって開発された INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャより低く、また明らかにナイキスト周波数の 76.9 cycle/mm (1000  $\mu\text{m} / (6.5 \mu\text{m} \times 2)$ ) よりかなり前に MTF がほぼ 0 になることから、実質的な空間分解能は本研究による X 線イメージャの方が良いことが確認された。

## 応用に向けた測定試験

X 線イメージャの応用に向けた測定試験の一環として、AR-NE1A 実験ステーションに設置されたフレネルゾーンプレート (FZP) 2 枚を用いた可変倍率ズーム光学系 [10] を用いた、低強度 X 線条件での撮像試験を実施した。この光学系は、2 枚の FZP の位置を調整することで光路長を短く抑えつつ任意の倍率を得ることができる光学系である。しかし、FZP は X 線を回折すると同時に吸収もしてしまうため、FZP を 2 枚用いる本光学系は強度が大幅に低下することが課題となっていた。本研究によって開発した X 線イメージャは、検出器素子を -20 程度に冷却し、1 フレーム当たりの露光時間を 0.5 秒に設定することによって、このような低 X 線強度の条件においても X 線由来の信号が読み出しノイズに埋もれることなく撮像出来るように設計されており、従来の間接変換型 Scientific CMOS イメージャと比較して感度特性・解像特性に優れた像が得られることが期待された。

測定試験には 14.4 keV の単色光を用い、テストパターン (ジューメンズスターチャート) を可変倍率ズーム光学系で 115.44 倍に拡大し、これを本研究による INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャ、および従来の間接変換型 Scientific CMOS イメージャを用いて撮像した。撮像結果を図 7 に示す。図 7(a) はテストパターンの図面に視野範囲を示したもので、図 7(b) は Scientific CMOS イメージャによる正規化像、図 7(c) は INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャによる正規化像である。図 7(b) と (c) はいずれも撮像したテストパターンの像を入射ビームの分布プロファイル像を用いて

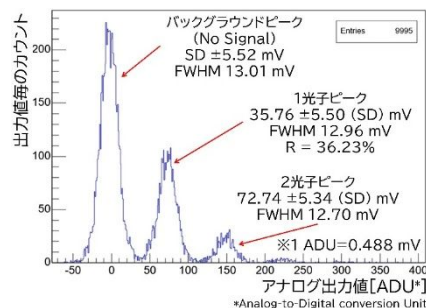


図 5. 12 keV 単色 X 線に対する検出器のフレーム毎アナログ出力 ( $3 \times 3$  ピクセル合算) の分布

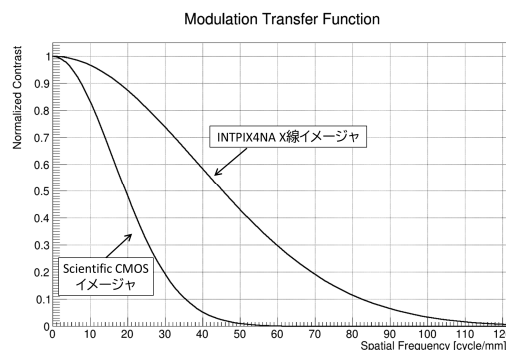


図 6. 9.5 keV 単色 X 線における、本研究によって開発された INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャと Scientific CMOS イメージャの MTF 特性

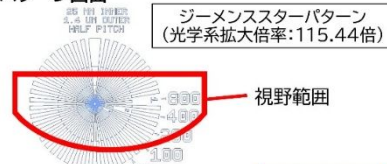
正規化し、同じコントラスト設定で表示しているが、Scientific CMOS イメージャではコントラストが弱く、この強度範囲における応答の線形性に問題がある可能性が示唆される。また、チャート中心部のパターンについて、像が拡大される分だけ検出器の実効画素サイズが小さくなると考えると、INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャは画素サイズより規定されるナイキスト周波数 (29.4 cycle/mm、コントラストサイクル間隔 34  $\mu\text{m}$ ) より、ハーフピッチ 147.26 nm (34,000 nm / 115.44 倍 = フルピッチ 294.52 nm) 程度まで解像できる計算となる。図 7 (c) を見ると、実際に計算上の上限値となる外周から 4 番目のパターン (ハーフピッチ 200 nm ~ 100 nm) の中間付近まで解像できており、またより内周部についてもテストパターンの同心円構造については解像できていることがわかる。更に、外周から 4 番目のパターンの内周寄りでは検出器の画素ピッチとテストパターンのコントラストの干渉によるモアレが発生していることが確認でき、このことから INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャがナイキスト周波数付近まで解像特性を維持して撮像できていることがわかる。一方で、図 7(b) を見ると、Scientific CMOS イメージャではナイキスト周波数から見て余裕があるはずの領域でも既にパターンが不鮮明となっており、INTPIX4NA の結果より実質的な空間分解能は低いことがわかる。このことから、低強度の条件下において間接変換型 Scientific CMOS イメージャよりも INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャの方が実際の空間分解能では優れていることが示された。

(3) まとめと今後に向けて

本研究においては、10GbE を転送に用いた汎用的かつ高速なデータ収集システムの開発により、高フレームレート・大面積撮像・高い拡張性に対応した SOIPIX 検出器ベースの X 線イメージャを実現することを目的とし、その基本型となる、INTPIX4NA を 1 素子搭載する X 線イメージャを開発した。本 X 線

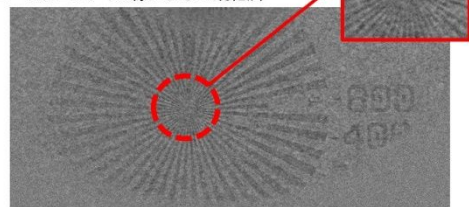
イメージャはフルアレイ読出しでフレームレート 350Hz (約 2.5Gbps 相当)での撮像に対応し、更なる拡張、性能向上も可能である。性能評価試験においては INTPIX4NA 検出器素子の性能を十分に発揮した優れた結果を得ており、今後は放射光実験施設内外での応用展開を予定している。

(a) テストパターン図面



(b) Scientific CMOSカメラ

露光時間: 500秒(5秒×100フレーム)  
ビームプロファイル像による正規化済



(c) SOIPIX(INTPIX4NA)

露光時間: 500秒(0.5秒×1000フレーム)  
ビームプロファイル像による正規化済

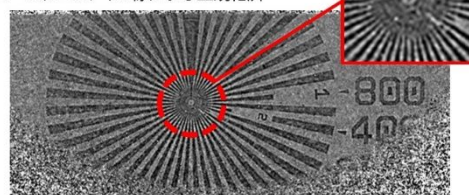


図 7. ジューメンススターチャートを変倍率ズーム光学系で拡大し、Scientific CMOS イメージャと INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャで撮像後、入射ビーム強度で正規化した像。(a)テストパターン(赤実線が視野範囲)、(b)Scientific CMOS イメージャによる正規化像、(c) INTPIX4NA 搭載 X 線イメージャによる正規化像。(b)と(c)はいずれもコントラスト設定は同一で、右上に像の中央赤破線で示す領域の拡大図を示す

[1] Y. Arai, et Al., "Development of SOI pixel process technology", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 636 (2011) S31--S36.

[2] T. Miyoshi, et Al., "Performance study of SOI monolithic pixel detectors for X-ray application", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 636 (2011) S237--S241.

[3] R. Nishimura, et Al., "INTPIX4NA" - new integration-type silicon-on-insulator pixel detector for imaging application", JINST 16 (2021) P08054.

[4] R. Nishimura, et Al., "Development of a new high-speed readout system for SOI pixel detectors", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 924 (2019) pp.480-484.

[5] SiTCP ホーム, <https://www.sitcp.net/>

[6] SiTCP-XG( )特設ページ, <https://www.bbtech.co.jp/sitcp-xg/>

[7] INTPIX4NA 1 素子搭載小型基板・冷却容器・信号中継基板, <https://wiki.kek.jp/pages/viewpage.action?pageId=345112977>

[8] PF-DAQSIX (Photon Factory Data Acquisition system for SOIPIX Imaging with XG-Ethernet), <https://wiki.kek.jp/pages/viewpage.action?pageId=172818436>

[9] R. Nishimura, et Al., "X-ray imaging camera using INTPIX4NA SOIPIX detector with SiTCP-XG 10GbE based high-speed readout system", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 1064 (2024) 169429.

[10] D. Wakabayashi, et Al., "X-ray zooming microscopy with two Fresnel zone plates", Rev. Sci. Instrum. 93 (2022) 033701.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Nishimura Ryutaro, Igarashi Noriyuki, Wakabayashi Daisuke, Shibasaki Yuki, Suzuki Yoshio, Hirano Keiichi, Arai Yasuo	4. 巻 1064
2. 論文標題 X-ray imaging camera using INTPIX4NA SOIPIX detector with SiTCP-XG 10GbE based high-speed readout system	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 169429 ~ 169429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2024.169429	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishimura Ryutaro, Kishimoto Shunji, Arai Yasuo, Miyoshi Toshinobu	4. 巻 2374
2. 論文標題 Development of a new high-speed data acquisition system prototype for SOI pixel detector using SiTCP-XG, a 10-gigabit Ethernet network processor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012093 ~ 012093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2374/1/012093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishimura R., Kishimoto S., Sasaki T., Mitsui S., Shinya M., Arai Y., Miyoshi T.	4. 巻 16
2. 論文標題 "INTPIX4NA" -- new integration-type silicon-on-insulator pixel detector for imaging application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P08054 ~ P08054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/16/08/P08054	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishimura R., Kishimoto S., Arai Y., Miyoshi T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a new high-speed data acquisition system prototype for SOI pixel detector using SiTCP-XG, a 10-gigabit Ethernet network processor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 西村龍太郎
2. 発表標題 SOIPIX検出器INTPIX4NAを用いたPF開発のX線撮像システムとその応用
3. 学会等名 量子ビームサイエンスフェスタ2024
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 西村龍太郎、仁谷浩明、柴崎裕樹、若林大佑、平野馨一、小菅隆、鈴木芳生、杉山弘、五十嵐教之、船守展正
2. 発表標題 STARSフレームワークと検出器用STARS共通コマンドを用いた2FZPブリーミング光学系向け統合制御システムの開発について
3. 学会等名 量子ビームサイエンスフェスタ2024
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 西村龍太郎、米山明男、五十嵐教之、平野馨一、杉山弘、兵藤一行
2. 発表標題 PF開発のSOIPIX検出器撮像システムの分離型X線干渉計による位相コントラストイメージングへの応用
3. 学会等名 日本物理学会 2025年春季大会
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 西村龍太郎、仁谷浩明、柴崎裕樹、若林大佑、平野馨一、小菅隆、鈴木芳生、杉山弘、五十嵐教之、船守展正
2. 発表標題 2FZPブリーミング光学系のためのSTARSベース統合制御システムの開発
3. 学会等名 第38回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 西村龍太郎
2. 発表標題 PFにおけるINTPIX4NAを用いたX線撮像システムとその応用について
3. 学会等名 SOIPIX量子イメージング研究会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西村龍太郎、梅垣いづみ、西村昇一郎、二宮和彦、五十嵐教之、下村浩一郎
2. 発表標題 PF開発のSOIPIX検出器撮像システムのミュオン特性X線測定への応用II
3. 学会等名 日本物理学会第79回年次大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西村龍太郎
2. 発表標題 SOIPIX検出器「INTPIX4NA」を用いた高速・高感度・高解像特性半導体X線カメラの開発
3. 学会等名 2024年度 非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西村龍太郎
2. 発表標題 SOIPIX検出器INTPIX4とPF開発の10GbE読出しシステムを用いたX線イメージング(2)
3. 学会等名 J-PARC MUSE成果報告会 S2課題研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名	Ryutaro NISHIMURA, Noriyuki IGARASHI, Daisuke WAKABAYASHI, Yuki SHIBAZAKI, Yoshio SUZUKI, Keiichi HIRANO, Yasuo ARAI
2. 発表標題	X-ray imaging camera using INTPIX4NA SOIPIX detector with SiTCP-XG 10GbE based high-speed readout system
3. 学会等名	13th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD13) (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	西村龍太郎、五十嵐教之、若林大佑、柴崎裕樹、鈴木芳生、平野馨一、新井康夫
2. 発表標題	10GbEネットワークコントローラSiTCP-XGによる高速読み出しシステムPF-DAQSIXを使用したINTPIX4NA検出器搭載X線カメラの開発
3. 学会等名	量子ビームサイエンスフェスタ2023
4. 発表年	2024年

1. 発表者名	西村龍太郎、仁谷浩明、小菅隆、永谷康子、五十嵐教之
2. 発表標題	検出器用STARSクライアントの開発と共通制御コマンドの整備について
3. 学会等名	第37回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年	2024年

1. 発表者名	西村龍太郎、岸本俊二、五十嵐教之、新井康夫
2. 発表標題	SOIピクセル検出器と10Gb版SiTCPライブラリを用いたX線カメラの開発 II
3. 学会等名	第36回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 西村龍太郎、新井康夫、岸本俊二、五十嵐教之
2. 発表標題 FPGA基板と10Gb Ethernetを用いたINTPIX4NA検出器撮像システムの開発 II
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西村龍太郎、新井康夫、岸本俊二、五十嵐教之
2. 発表標題 FPGA基板と10Gb Ethernetを用いたINTPIX4NA検出器撮像システムの開発
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nishimura R., Kishimoto S., Arai Y., Miyoshi T.
2. 発表標題 Development of new high speed data acquisition system prototype for SOI pixel detector using 10 Gb Ethernet SiTCP
3. 学会等名 International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村龍太郎、岸本俊二、五十嵐教之、新井康夫、三好敏喜
2. 発表標題 SOIピクセル検出器と10Gb版SiTCPライブラリを用いたX線カメラの開発
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村龍太郎、新井康夫、三好敏喜、岸本俊二
2. 発表標題 FPGA評価基板を用いたS0Iピクセル検出器読出しシステムの開発
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村龍太郎、新井康夫、三好敏喜、岸本俊二
2. 発表標題 FPGA基板と10Gb Ethernetを用いたS0Iピクセル検出器読出しシステムの開発
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西村龍太郎	4. 発行年 2024年
2. 出版社 日本非破壊検査協会	5. 総ページ数 6
3. 書名 非破壊検査 特集号(73巻5号) (特集内記事として掲載)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>(1)PF-DAQSIX  <a href="https://wiki.kek.jp/pages/viewpage.action?pageId=172818436">https://wiki.kek.jp/pages/viewpage.action?pageId=172818436</a>  (2)INTPIX4NA 1素子搭載小型基板・冷却容器・信号中継基板  <a href="https://wiki.kek.jp/pages/viewpage.action?pageId=345112977">https://wiki.kek.jp/pages/viewpage.action?pageId=345112977</a>  (3)SW and FW for S0IPIX  <a href="https://wiki.kek.jp/display/soigroup/SW+and+FW+for+S0IPIX">https://wiki.kek.jp/display/soigroup/SW+and+FW+for+S0IPIX</a>  (4)KEK保有のプログラム  <a href="https://www2.kek.jp/APD/intellectualproperty/pro_list/">https://www2.kek.jp/APD/intellectualproperty/pro_list/</a></p> <p>(1)は本研究によって開発された基板に関する情報を記載したWebページ、(2)は本研究で開発したS0IPIX検出器INTPIX4NA・信号中継基板・冷却容器に関する情報を記載したWebページ、(3)は本研究で開発した装置で使用するソフトウェア類を含めた制御ソフトウェア類の頒布Webページである。(4)は研究代表者所属機関の保有プログラム類のリストであり、687番、703番が関連知財である。</p>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	五十嵐 教之  (Igarashi Noriyuki)		
研究協力者	岸本 俊二  (Kishimoto Shunji)		
研究協力者	平野 馨一  (Hirano Keiichi)		
研究協力者	若林 大佑  (Wakabayashi Daisuke)		
研究協力者	柴崎 裕樹  (Shibazaki Yuki)		
研究協力者	鈴木 芳生  (Suzuki Yoshio)		
研究協力者	新井 康夫  (Arai Yasuo)		
研究協力者	佐々木 敏彦  (Sasaki Toshihiko)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	三井 真吾  (Mitsui Shingo)		
研究協力者	三好 敏喜  (Miyoshi Toshinobu)		
研究協力者	神谷 好郎  (Kamiya Yoshio)		
研究協力者	新谷 正義  (Shinya Masayoshi)		
研究協力者	杉山 弘  (Sugiyama Hiroshi)		
研究協力者	兵藤 一行  (Hyodo Kazuyuki)		
研究協力者	仁谷 浩明  (Nitani Hiroaki)		
研究協力者	梅垣 いづみ  (Umegaki Izumi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	西村 昇一郎  (Nishimura Shoichiro)		
研究協力者	二宮 和彦  (Ninomiya Kazuhiko)		
研究協力者	下村 浩一郎  (Shimomura Koichiro)		
研究協力者	米山 明男  (Yoneyama Akio)		
研究協力者	船守 展正  (Funamori Nobumasa)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関