

# SiTCP技術を用いた SOI pixel検出器読み出しシステムの開発

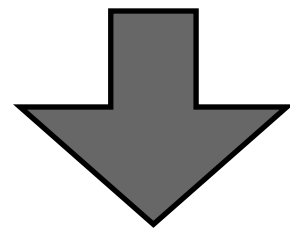
---

日本物理学会 2008年秋季大会@山形大学  
2008/09/23 (23aSJ-7)

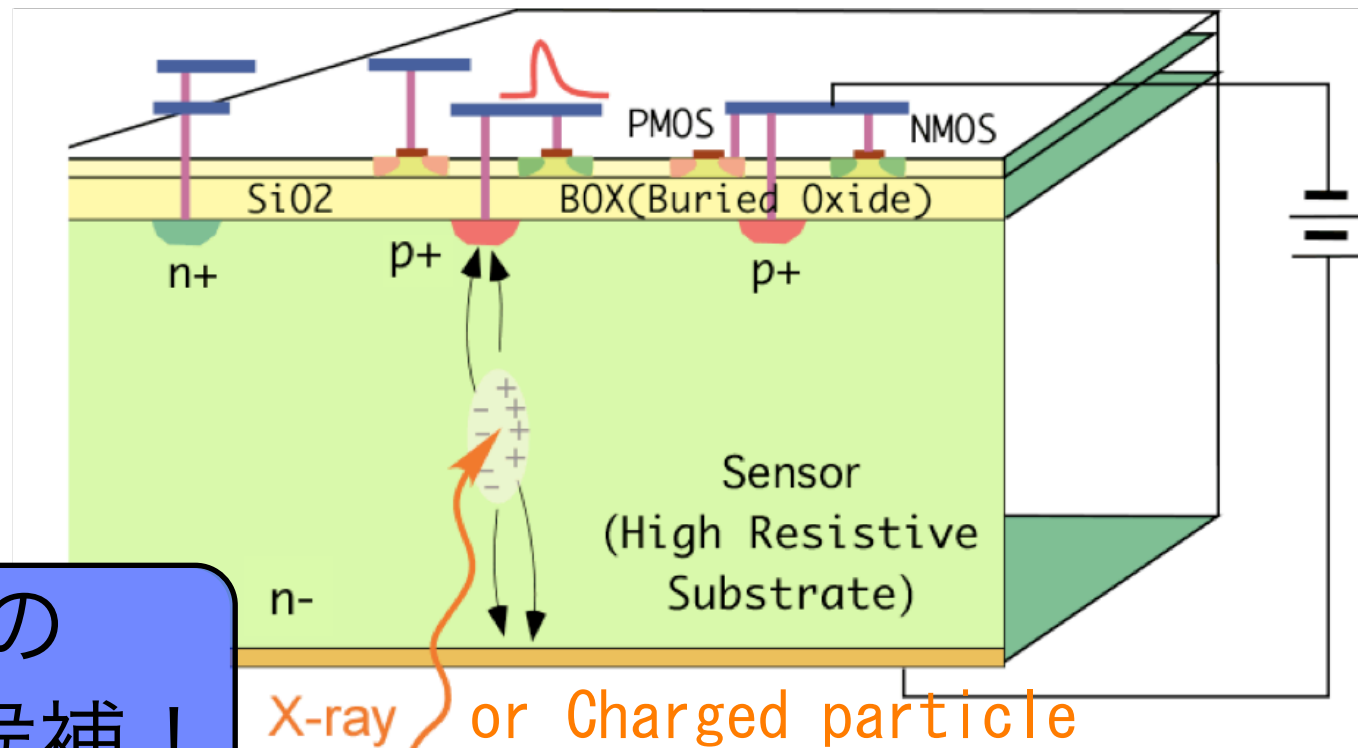
廣瀬穰、花垣和則、内田智久<sup>A</sup>、  
新井康夫<sup>B</sup>、坪山透<sup>B</sup>、池本由希子<sup>B</sup>、三好敏喜<sup>B</sup>、堀井泰之<sup>C</sup>  
その他SOI検出器開発グループ  
(大阪大学、東京大学<sup>A</sup>、高エネルギー加速器研究機構(KEK)<sup>B</sup>、東北大学<sup>C</sup>)

# SOI Pixel 検出器とは...

- SOI waferのBOX(Buried Oxide)層の上の回路部分を読み出し回路、もう一方の基板をセンサーとして利用する一体型ピクセル検出器
- 利点
  - ▶ 半導体検出器に有利な高抵抗のウェハをセンサー側に選択可能
  - ▶ 機械的接合が無い(No wire or bump bonding)
  - ▶ 浮遊容量の低減による高いS/N比
  - ▶ 研削、研磨による薄型化が可能
  - ▶ 高放射線耐性



SuperBelle, ILC, superLHC等の  
次世代の加速器実験への有望な候補！  
X-ray image sensor等にも応用可能



# 出来た事、今後しなければならない事

---

- ・ 前年度までの成果

- ▶ COBIボードと呼ばれるUSBを用いたInterfaceボードでの読み出しにより、積分型 픽셀検出器で可視光、 $\beta$ 線の検出を確認
- ▶  $^{60}\text{Co}$ による $\gamma$ 線照射実験を行い、照射後に絶縁膜上の回路が動作することを確認

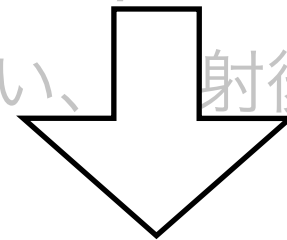
- ・ 課題

- ▶ back-gate bias効果の克服
  - ➡SOI特有の問題で、センサーに電圧を掛けることにより、絶縁膜上のトランジスタが動作しなくなる
- ▶ 荷電粒子ビーム、X線の検出確認

# 出来た事、今後しなければならない事

## ・ 前年度までの成果

- ▶ COBIボードと呼ばれるUSBを用いたInterfaceボードでの読み出しにより、積分型ピクセル検出器で可視光、 $\beta$ 線の検出を確認
- ▶  $^{60}\text{Co}$ による $\gamma$ 線照射実験を行い、照射後に絶縁膜上の回路が動作することを確認



## 汎用読み出しボード作成

## ・ 課題

- ▶ back-gate bias効果の克服
  - ➡ センサーに電圧を掛けることにより、絶縁膜上のトランジスタが動作しなくなる
- ▶ 荷電粒子ビーム、X線の検出確認

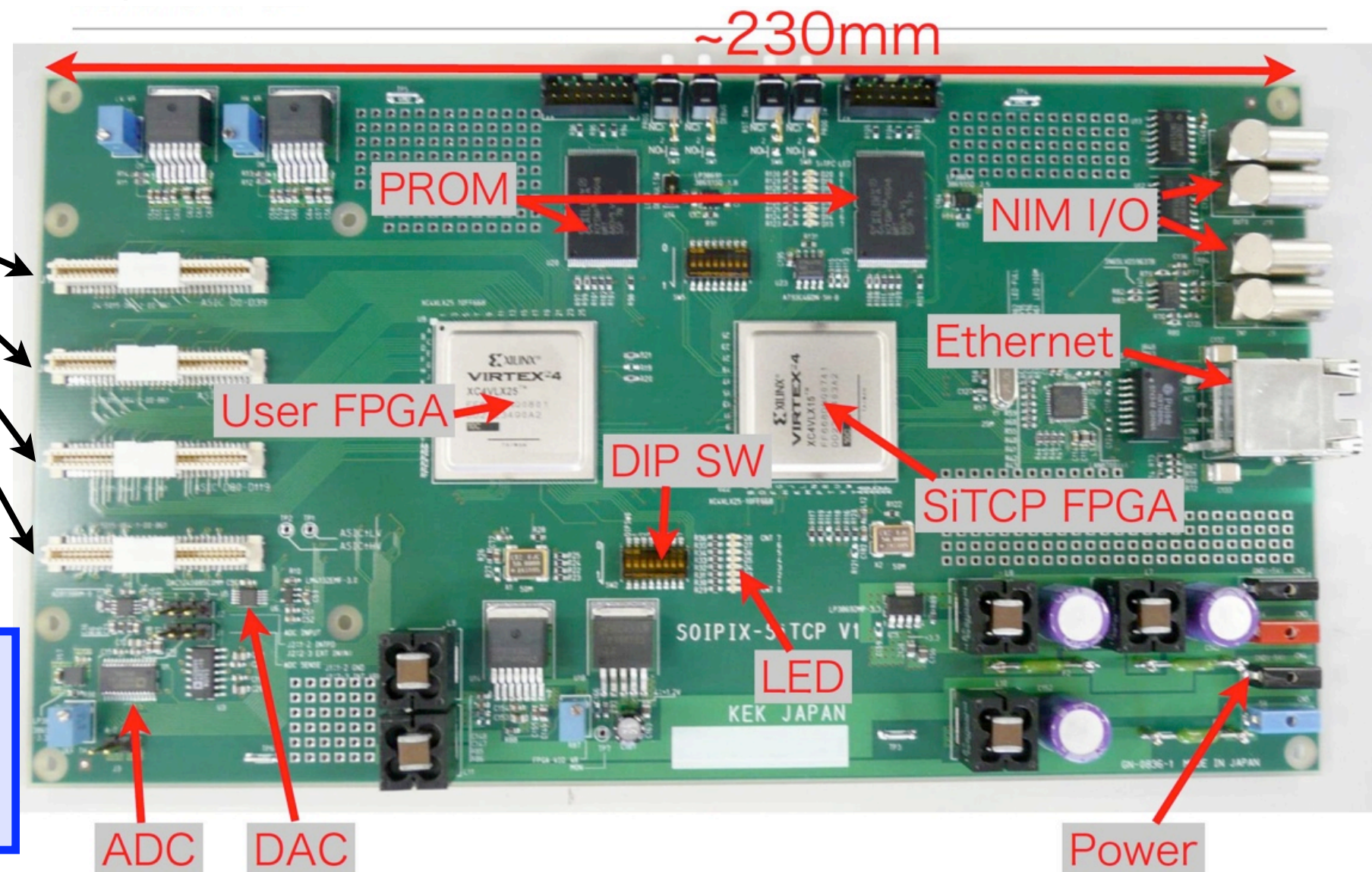
今回のTalkでは、新しい読み出しシステム  
+ それを用いたX線検出テストについて

# SOIPIX評価用読み出しボード

- **SEABAS** (Soipix EvAluation BoArd with Sitcp)
  - ▶ ADC(65MHz, 12bit), DAC(12bit, 4ch), NIM I/O(2chずつ)  
SiTCP(100Mbps), FPGA(VIRTEX4), 信号線120本(User FPGAより)
  - ▶ 評価したいSOIPIXのチップに合わせたサブボードを付け替えることにより  
様々なPIXEL検出器を評価できる汎用読み出しボード

4つのコネクタで  
サブボードに繋がる

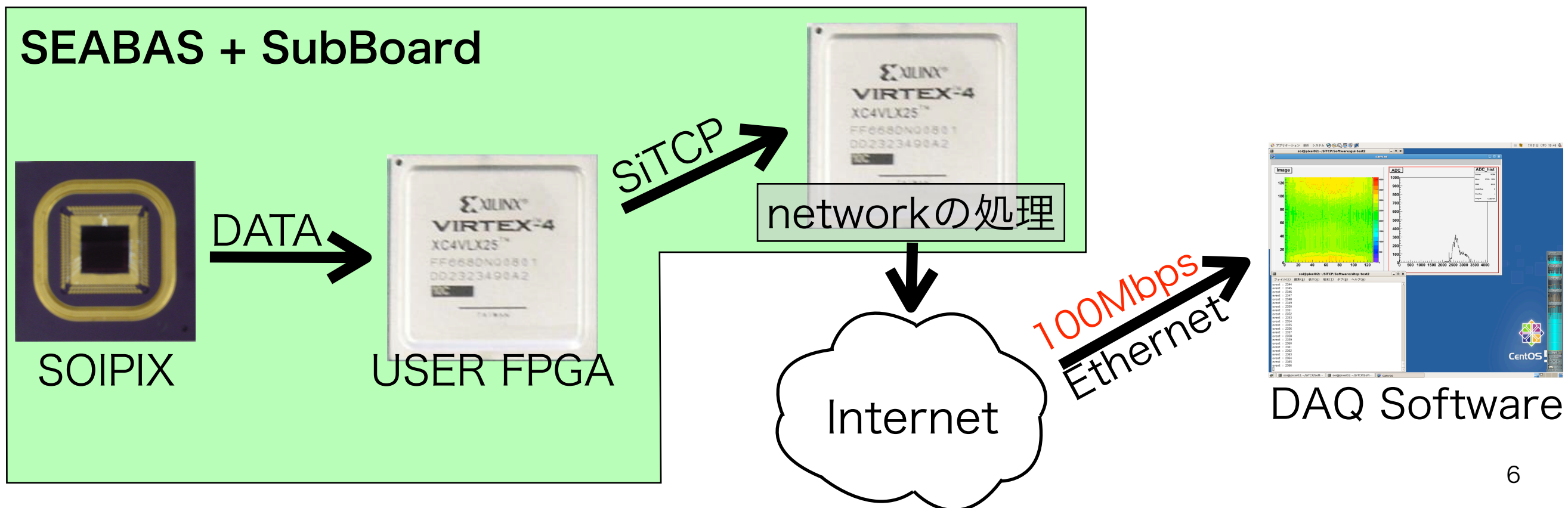
信号線の数やADCなどの要求  
を満たせばSOIPIX以外にも  
使用可能





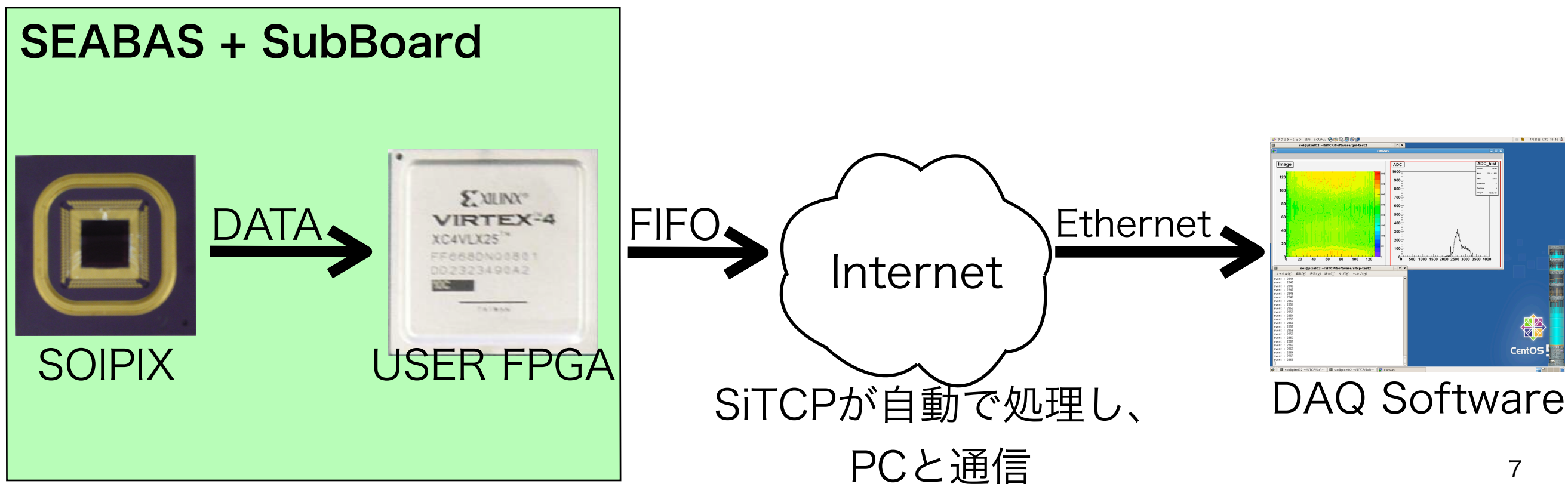
# SEABASを用いたDAQ system

- SiTCP : 内田智久氏(東大)が開発したネットワークプロセッサ
  - ▶ FPGA上に実装したハードウェアでTCP/IPの処理を実現
    - ➡ハードで処理するため、帯域上限で安定してデータ転送可能
- Ethernetを通したDAQシステム
  - ▶ DAQには普通のPCを用意するだけでよく、設置場所の制限もない。
- SiTCPのInterfaceは同期FIFOとほぼ同じ
  - ▶ USERがSOIPIXから得たデータをPCに送信するのは簡単



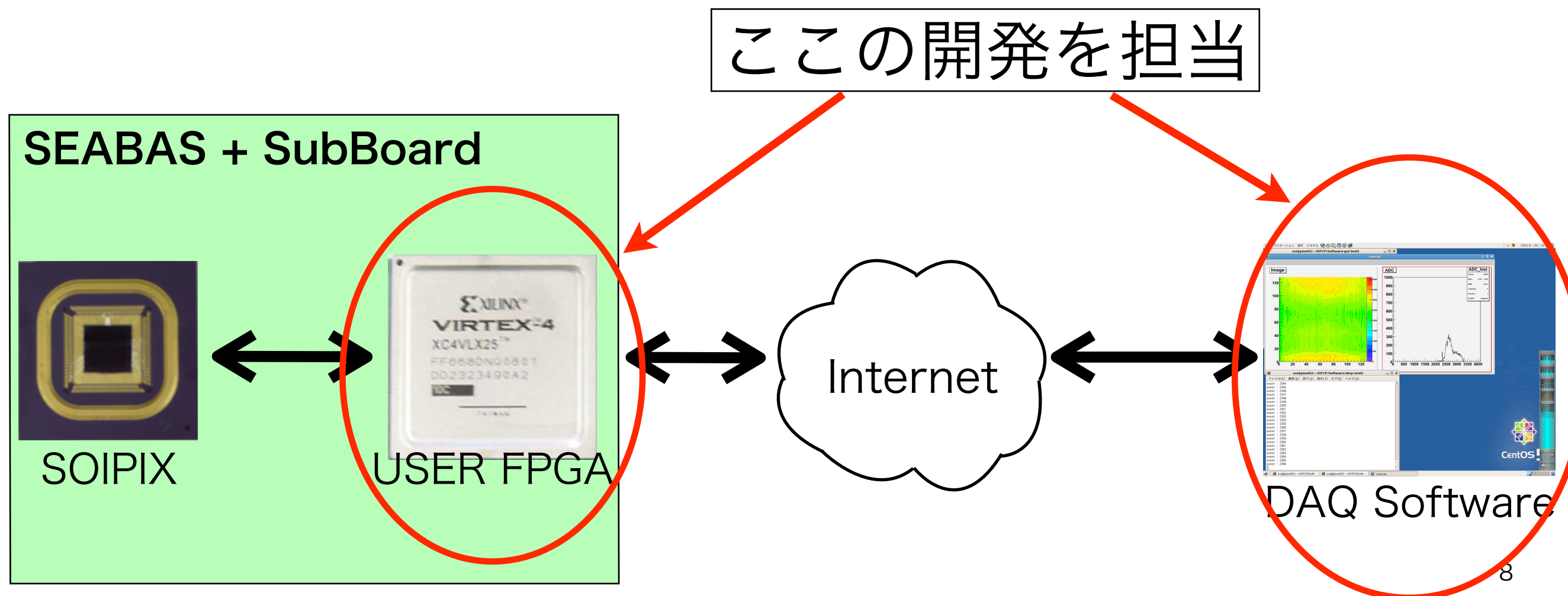
# SEABASを用いたDAQ system

- SiTCP : 内田智久氏(東大)が開発したネットワークプロセッサ
  - ▶ FPGA上に実装したハードウェアでTCP/IPの処理を実現
    - ➡ハードで処理するため、帯域上限で安定してデータ転送可能
- Ethernetを通したDAQシステム
  - ▶ DAQには普通のPCを用意するだけでよく、設置場所の制限もない。
- SiTCPのInterfaceは同期FIFOとほぼ同じ
  - ▶ USERがSOIPIXから得たデータをPCに送信するのは簡単



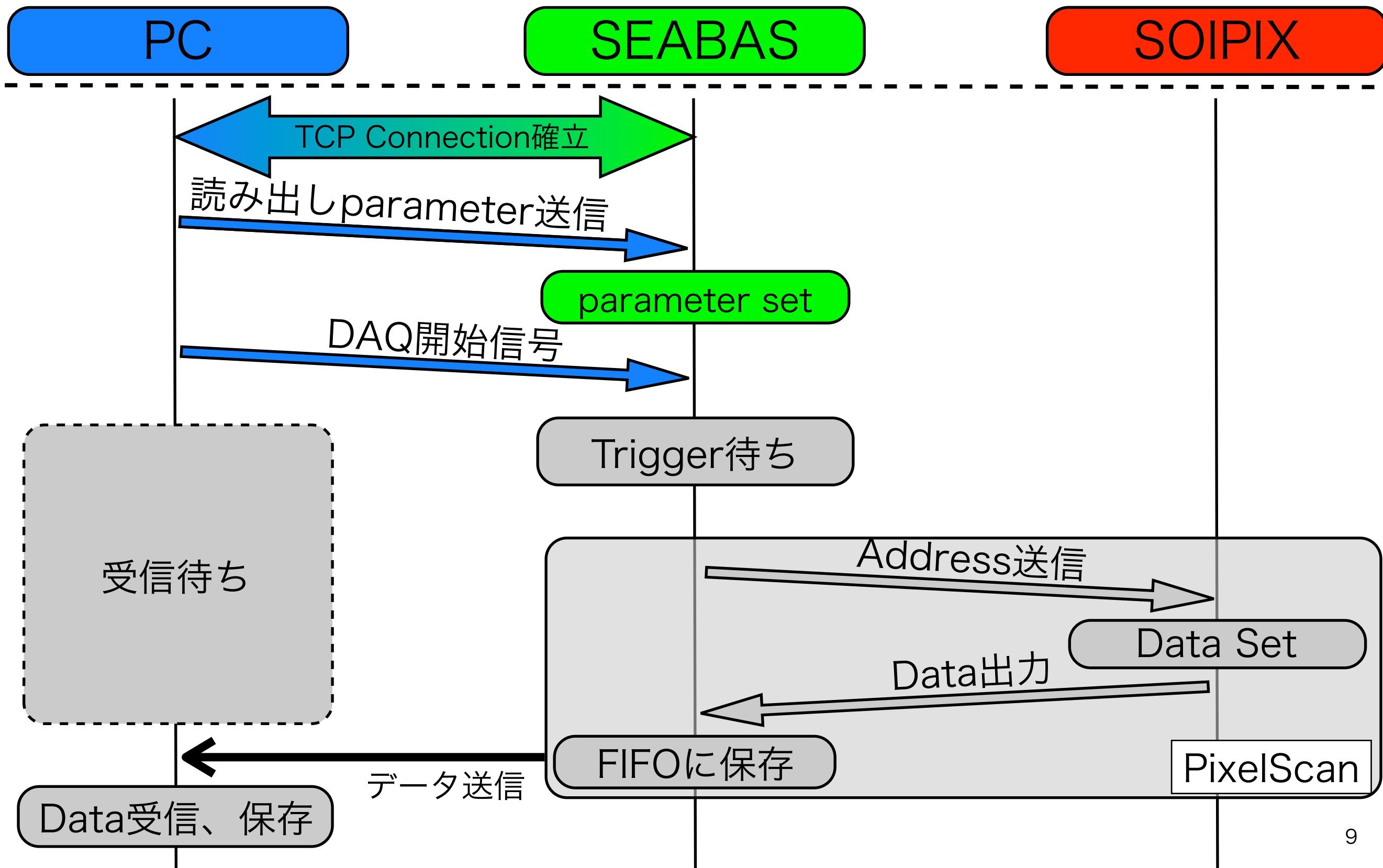
# SEABASを用いたDAQ system

- ・ 今回僕が開発した部分は、1月にSubmitした3種のSOIPIXについて、、、
  - ▶ SEABASを操作するSoftware  
(C++を用いてLinux, Mac, Windows上で動くプログラム)
  - ▶ USER FPGAを用いSOIPIXを操作するFirmware  
(Verilog HDLにてCoding)

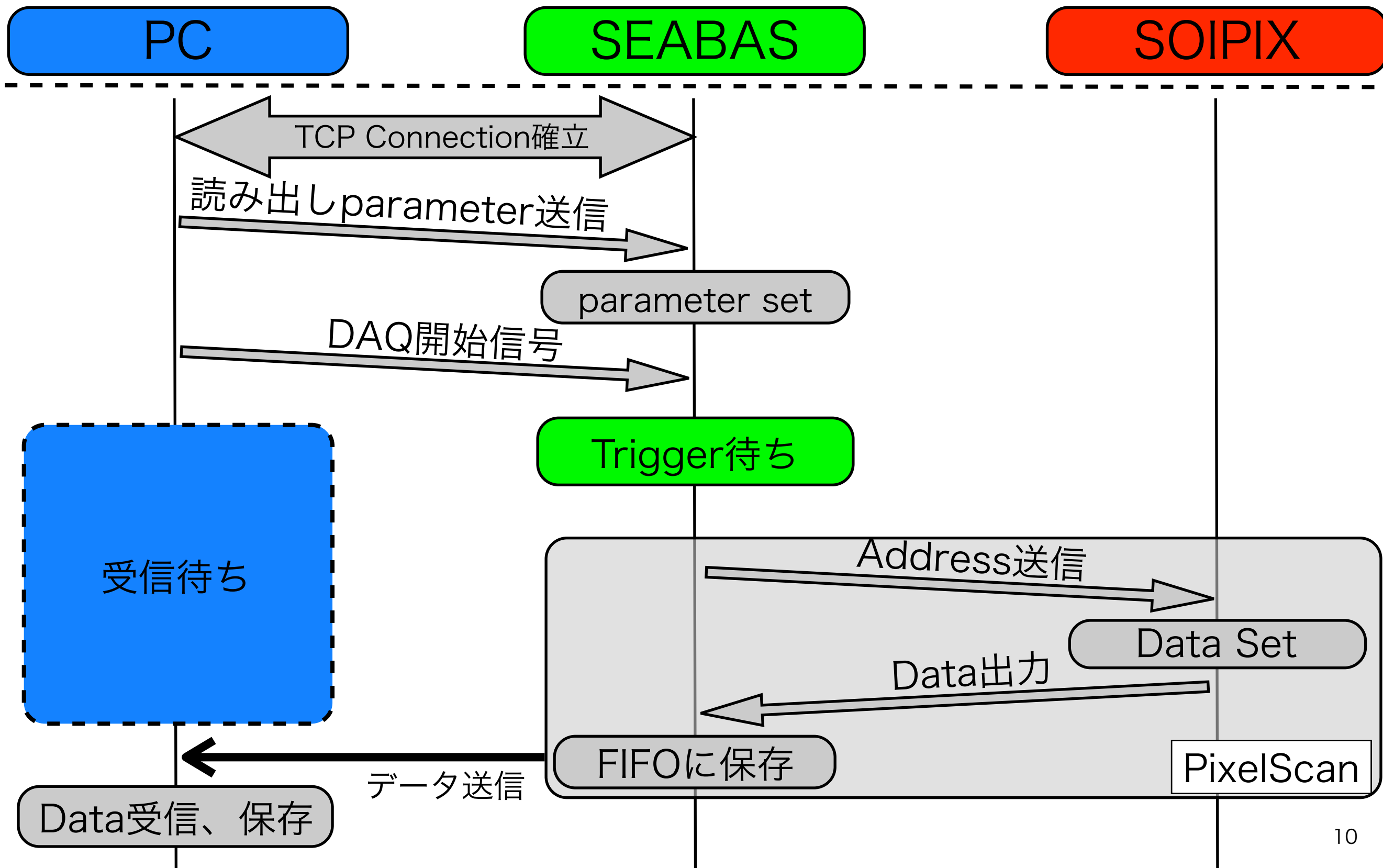




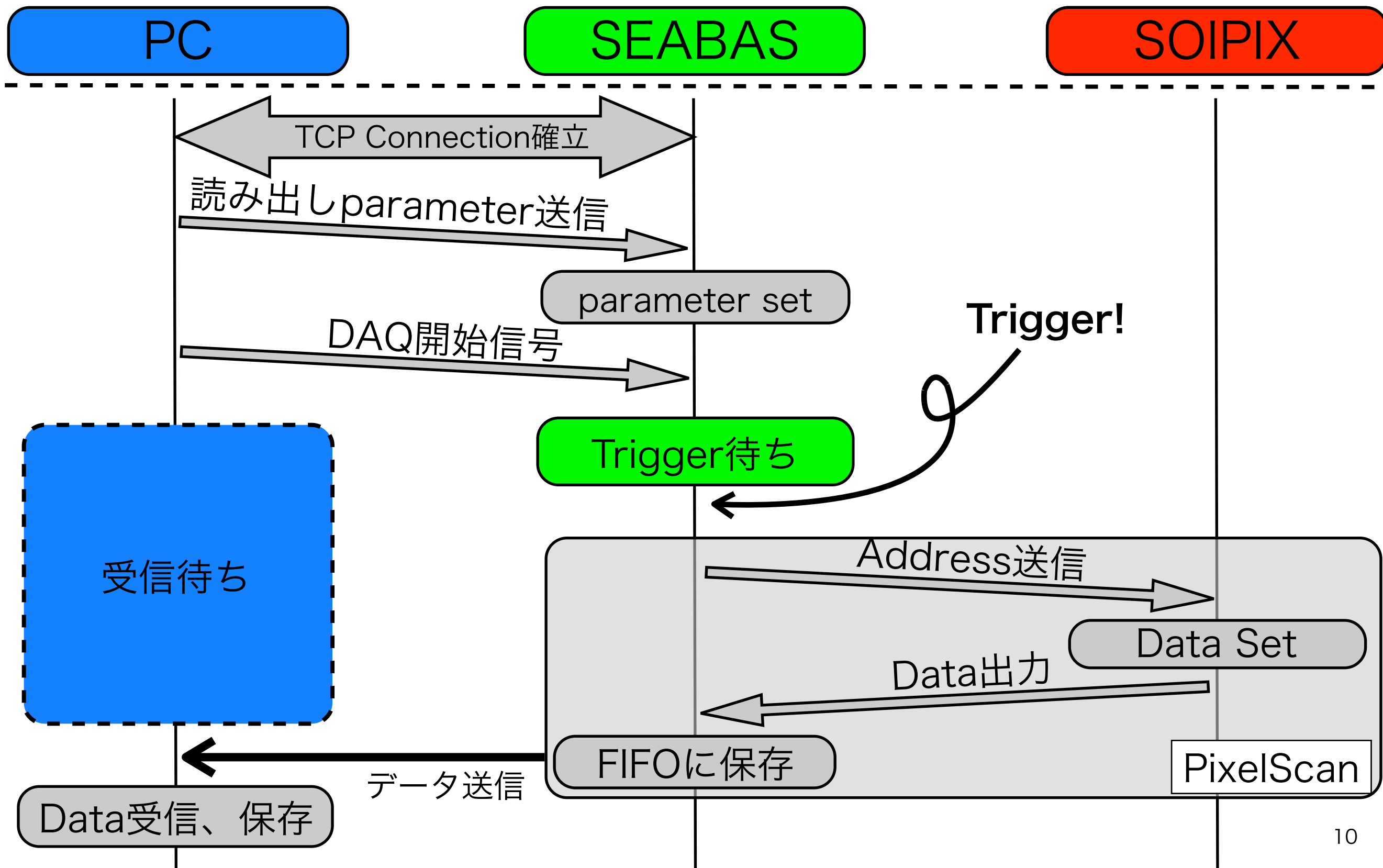
# SOIPIX 読み出しシステムの流れ



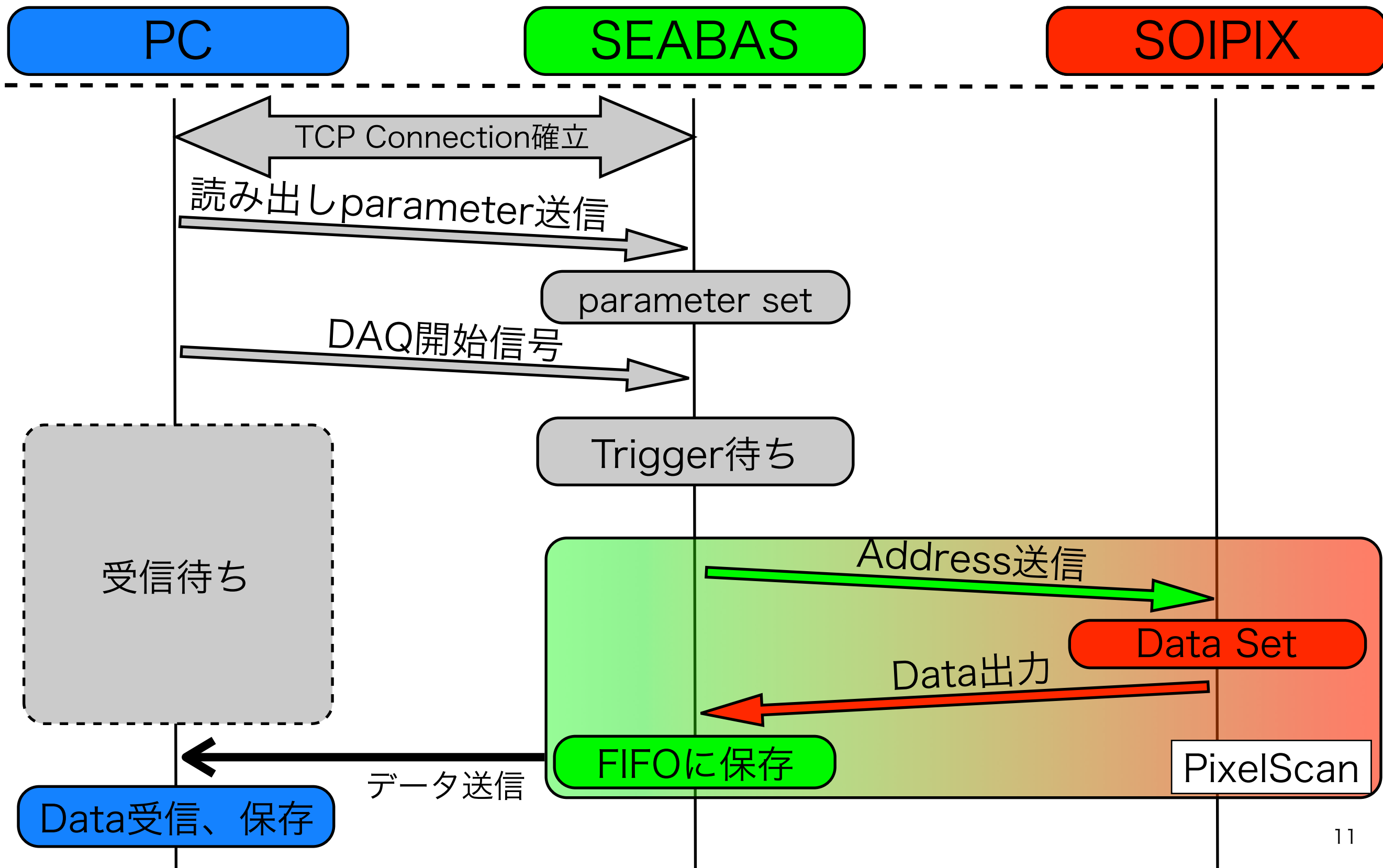
# SOIPIX 読み出しシステムの流れ



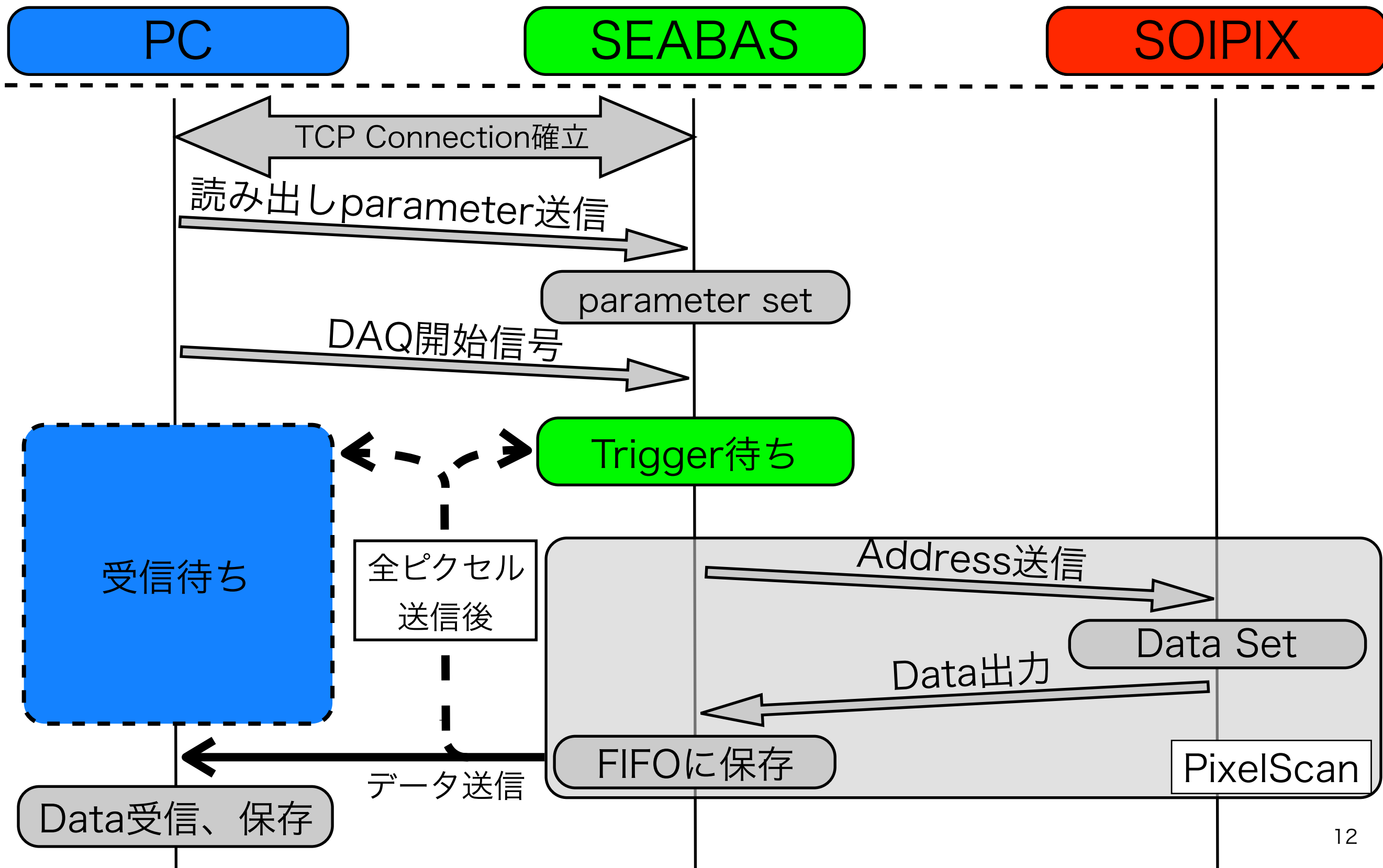
# SOIPIX 読み出しシステムの流れ



# SOIPIX 読み出しシステムの流れ

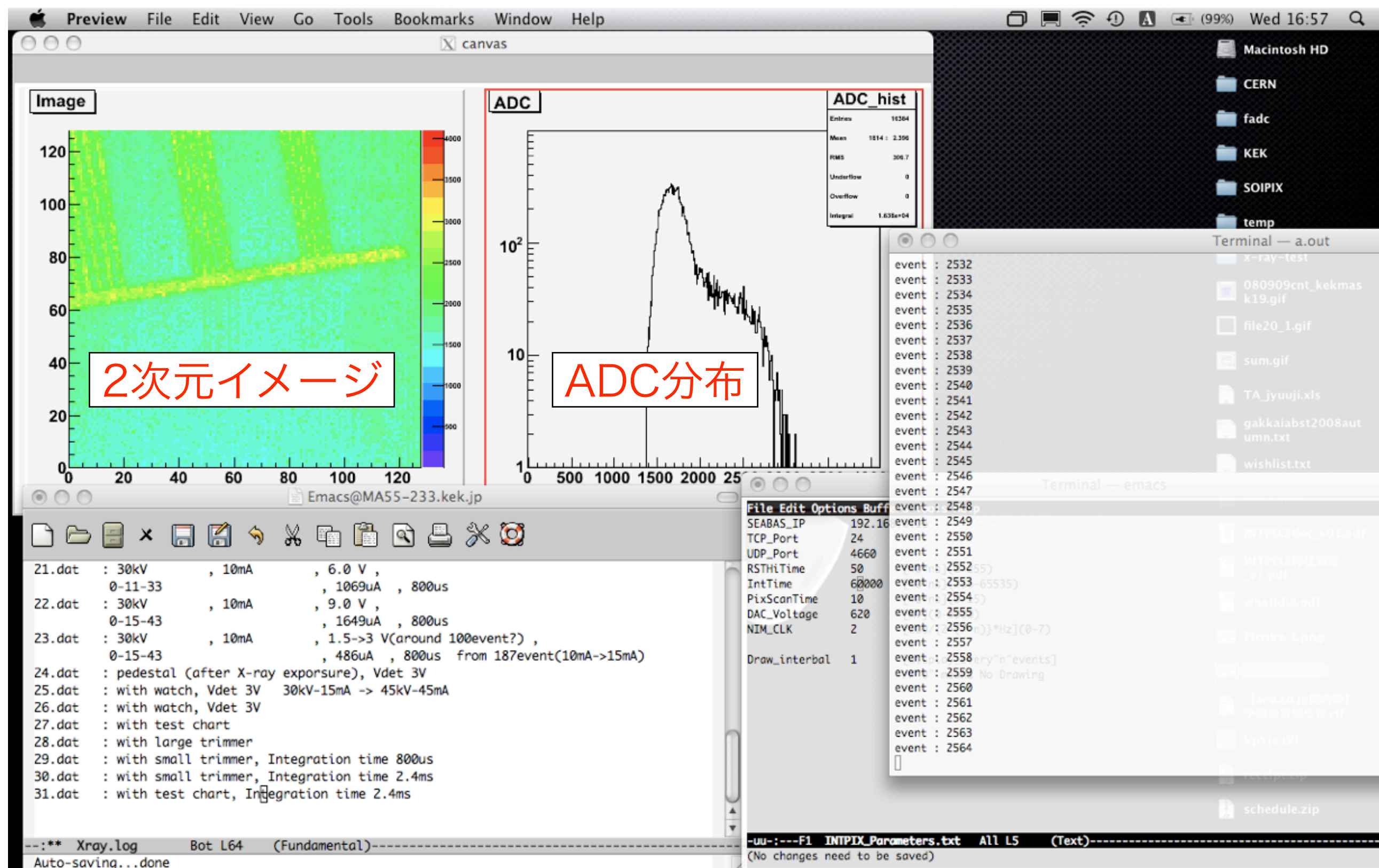


# SOIPIX 読み出しシステムの流れ





# DAQ中の画面の例 (imageをリアルタイム表示)



# 今回テスト結果を発表するピクセル

---

- ・ 2008年1月にサブミットした新しいSOIPIXのChip
- ・ **INTPIX2**(積分型ピクセル, 128×128 pixels (pixel size : 20 $\mu$ m×20 $\mu$ m))
  - ▶ USERの指定した時間内の電荷を絶縁膜上の回路のCapacitorに溜め、その電位差を出力とする
- ・ **CNTPIX2**(計数型ピクセル, 128×128 pixels (pixel size : 60 $\mu$ m×60 $\mu$ m))
  - ▶ X線測定器を目標とするピクセル型検出器
  - ▶ 絶縁膜上の回路にプリアンプ、Discriminator(Hi,Lo)、16bit counterを持ち、Hi, Loのthresholdをクリアしたシグナルを計数し出力とする



# X線照射テスト@KEK物構研

- ・ X線発生装置(Rigaku FR-D@KEKPF)を用いてテストを行った

- ▶ 管電圧 : 30~50kV  
管電流 : 10~60mA  
target : Cu ( $\text{CuK}\alpha$  ~8keV)

- ・ 必要なもの

- ▶ SEABAS
- ▶ SUB BOARD  
(INTPIX2, CNTPIX2用)
- ▶ 電源×2
- ▶ PC (C++が使える環境)

非常にコンパクトな  
DAQシステム！

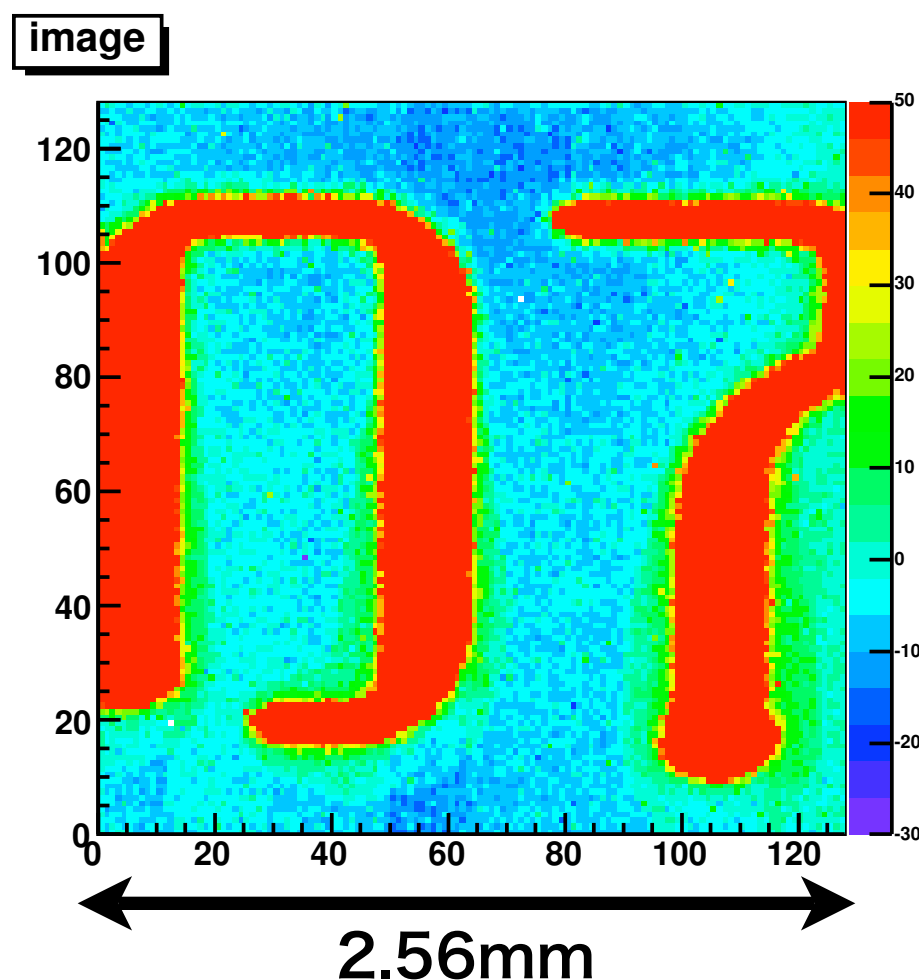
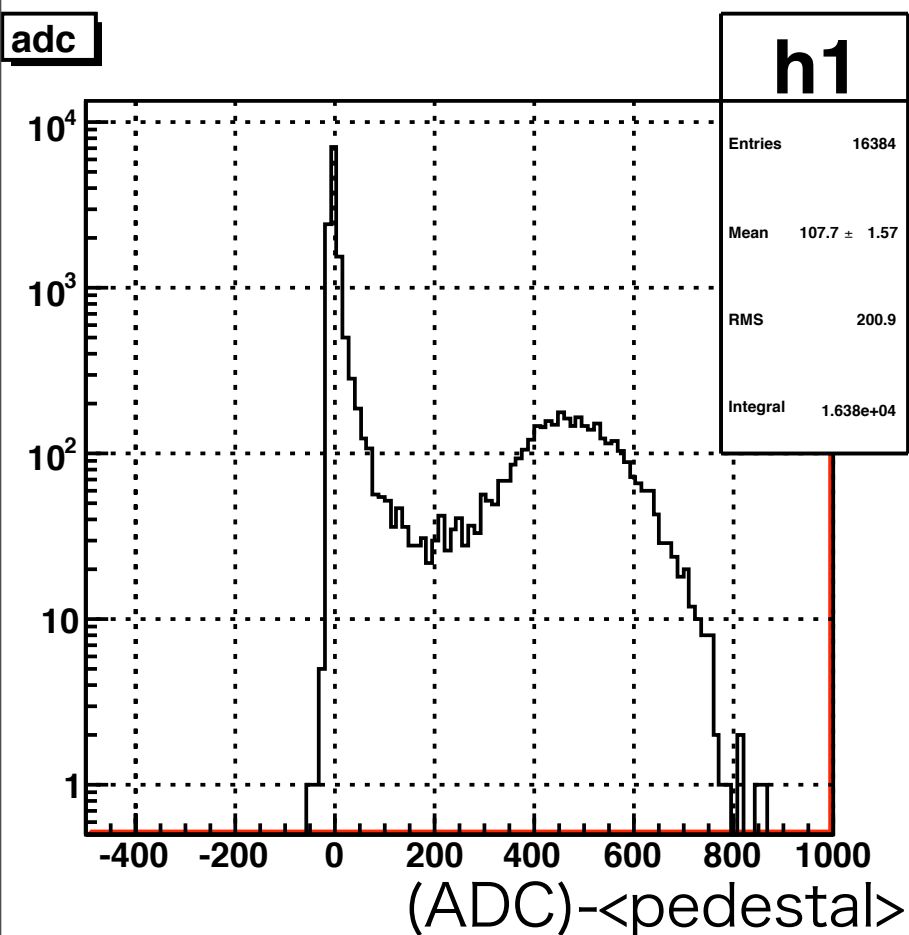


# X-ray Image(INTPIX2)

- 真鍮製のMaskを用いて撮像

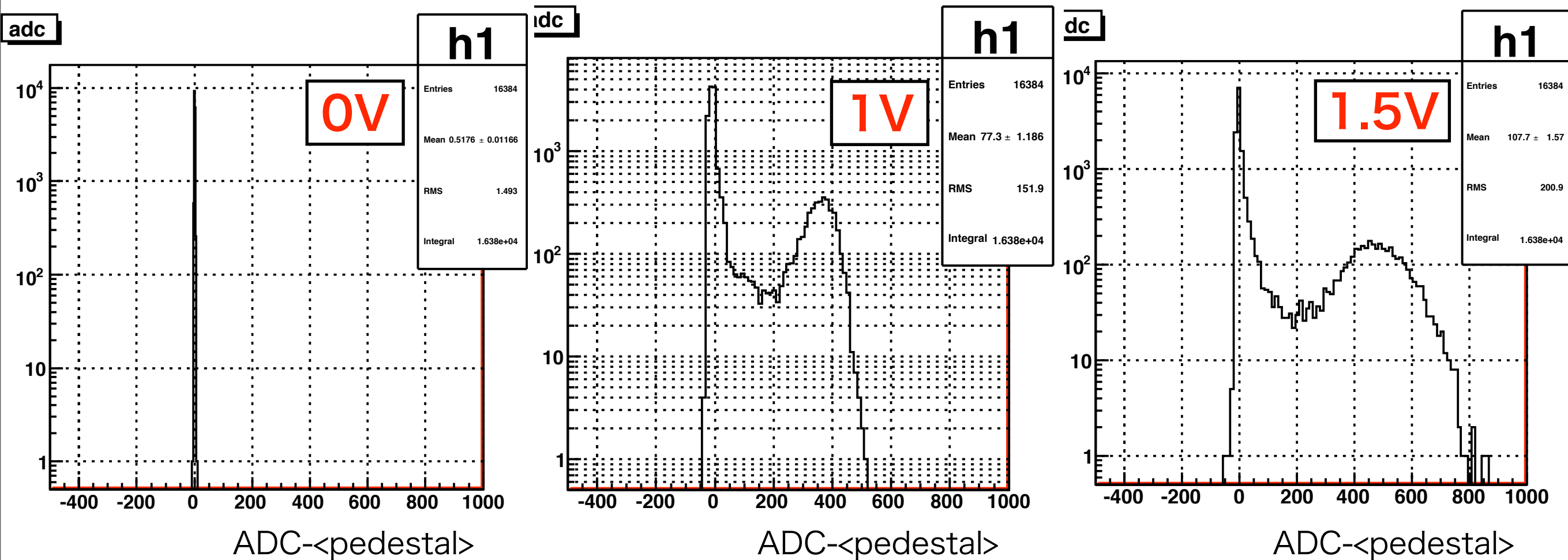
- ▶ 管電圧：30kV, 管電流：10mA ( $2.4 \times 10^3 [\text{pixel}^{-1} \text{sec}^{-1}]$ )
- ▶ Vdet(逆バイアス電圧) = 1.5V (空乏層 $\sim 20 \mu\text{m}$ 程度)
- ▶ (電荷収集時間) =  $800 \mu\text{s}$
- ▶ X線のピークが確認できる

PIN Photodiodeで過去に  
キャリブレーションした結果



# ADC CountのVdet依存性

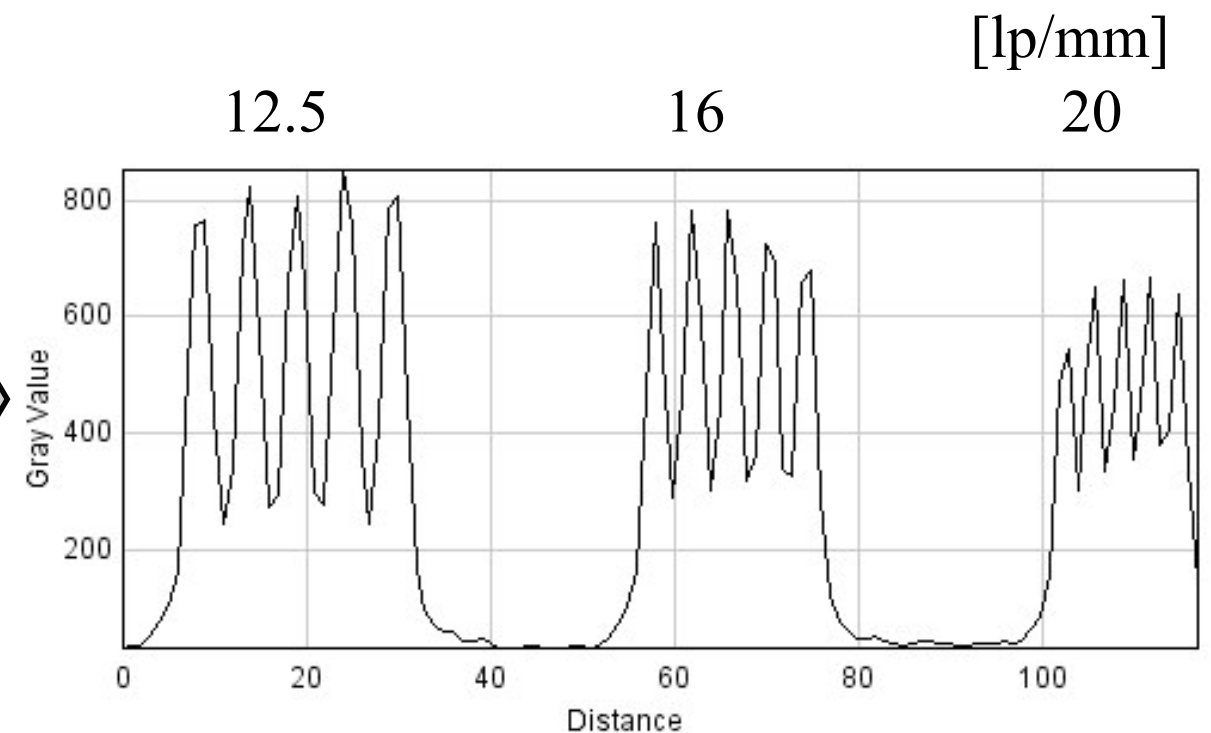
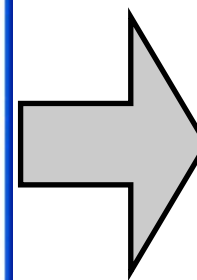
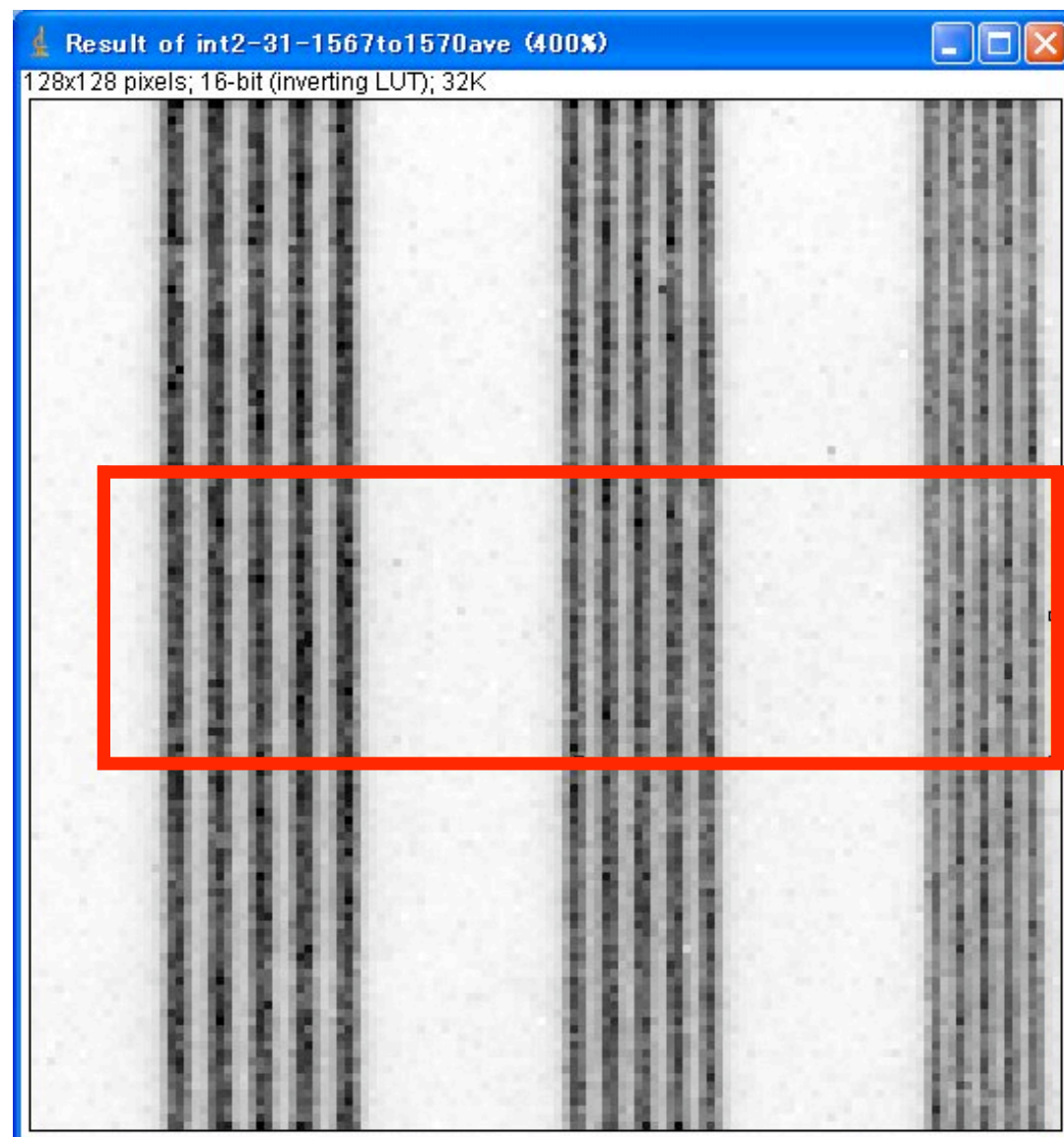
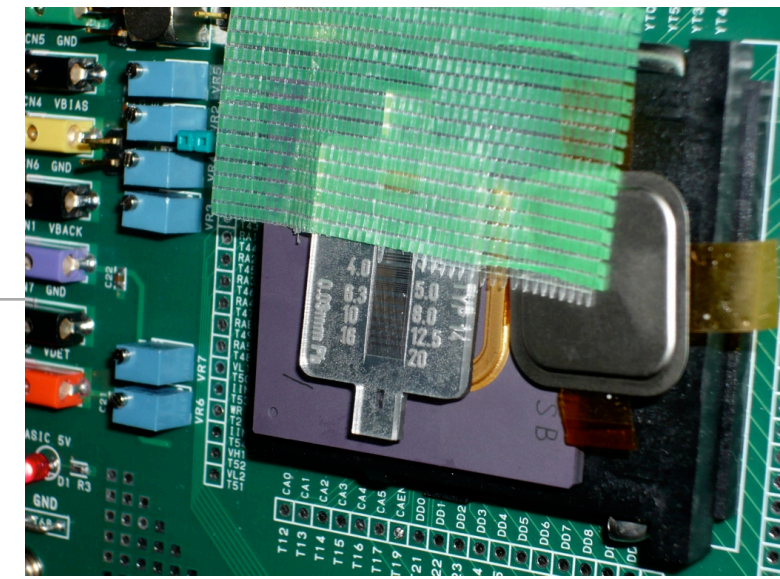
- Vdetに応じてADCの値が変化する
  - ▶ X線がセンサー部で反応しているという保証





# 空間分解能(INTPIX2)

- ・ X線テストチャートを用いて評価
  - ▶ 囲んだ範囲のProfileをとり、空間分解能を評価する
    - ➔ 20lp/mm(=スリット幅が $25\mu\text{m}$ )が区別できる
    - ➔ INTPIXはピクセルサイズが $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ なのでreasonable



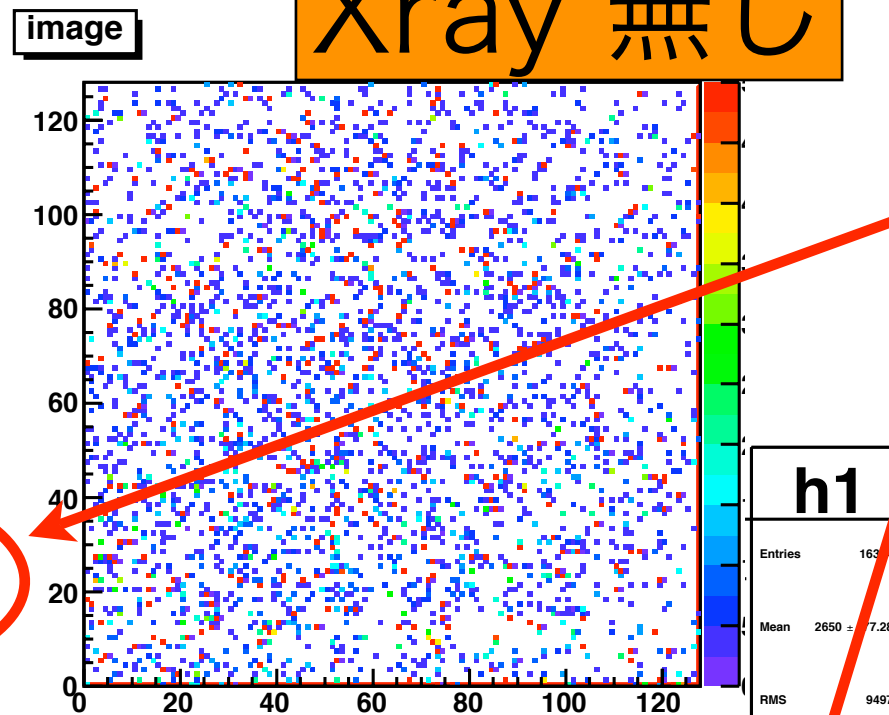
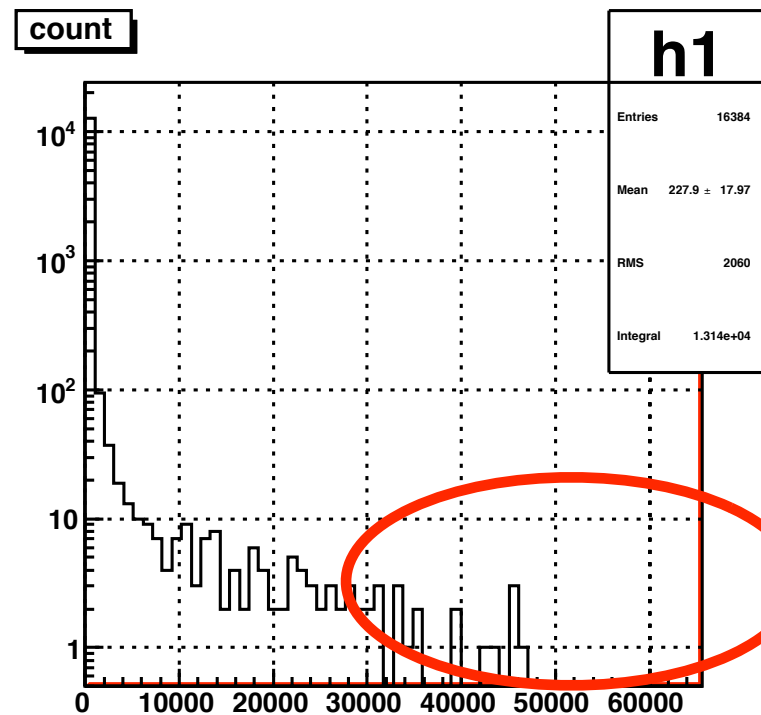
# X-ray Image(CNTPIX2)

・ 真鍮製のMaskを用いて撮像

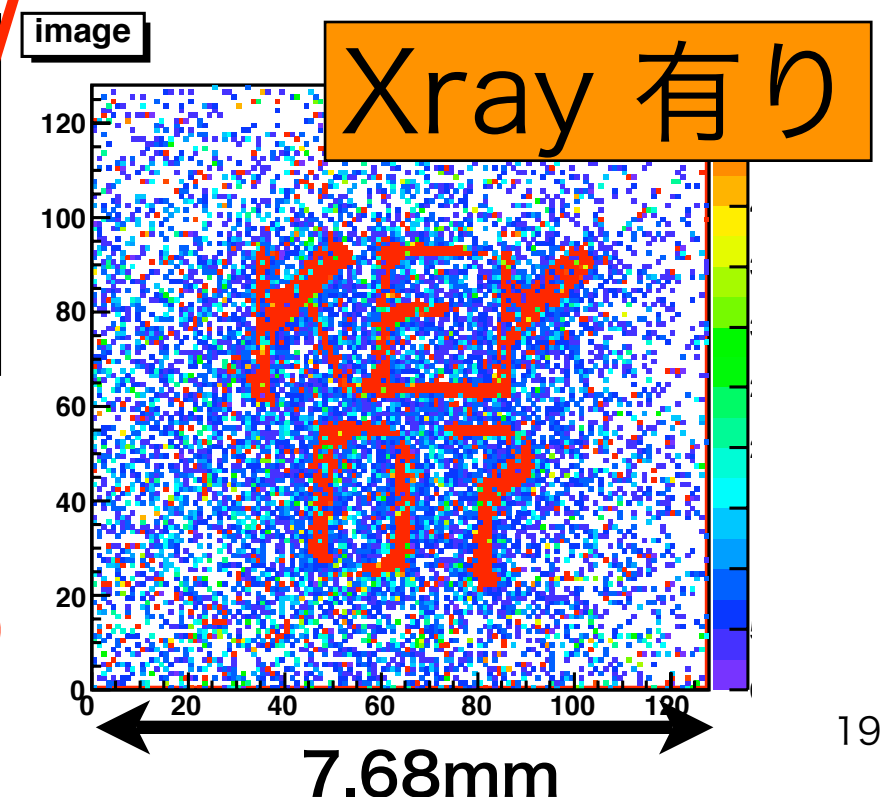
▶ 管電圧 : 30kV, 管電流 : 10mA ( $2.28 \times 10^4 [\text{pixel}^{-1} \text{sec}^{-1}]$ )

▶ Vdet = 1.5V (空乏層~20 $\mu\text{m}$ 程度)

▶ (計数時間) = 1.6ms



計数が多くなる  
ピクセルが増える



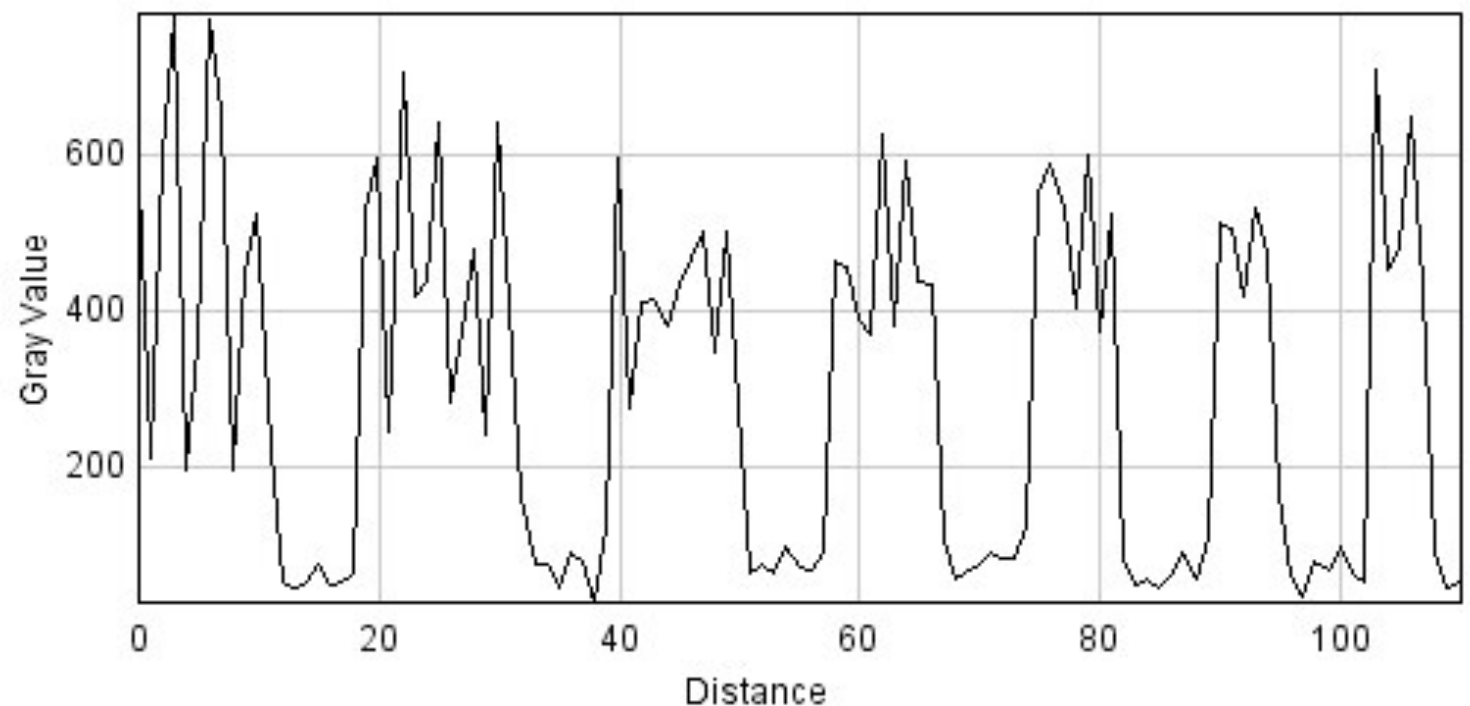
- ・ 計数時間とX線のefficiencyを見積もると期待されるCountは~10程度
- ・ 更なる解析が必要

# 空間分解能(CNTPIX2)

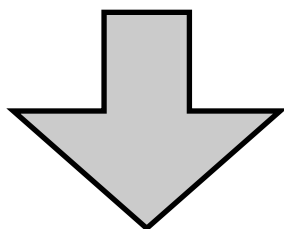
- ・ X線テストチャートを用いて評価
- ・ 6.3 lp/mm→80 $\mu$ mのスリットが区別できている。
- ・ CNTPIX2はピクセルサイズ60 $\mu$ m×60 $\mu$ m
  - ▶ 8 lp/mmが62.5 $\mu$ mのスリットなので見えてもよいはず



5      6.3      8      10      12.5      16      20 [lp/mm]



- ・ アライメントの問題
- ・ Counterの挙動が怪しい



もう一度、基本動作の  
チェックが必要

# Summary

---

- ・ SOI技術を用いたPixel検出器のR&Dを進めている
  - ▶ SOIPIXは高速動作、低消費電力、高放射線耐性など数多くの利点がある
  - ▶ back-gate bias効果など、SOI特有の問題点を改善したい
- ・ 今後のテスト用の汎用読み出しボード、SEABASを作成。
  - ▶ SiTCPを用いて、ネットワークによる読み出しシステムを構築
    - ➡テストに便利なコンパクトなDAQシステム
  - ▶ 現在1月にSubmitしたSOIPIXのChipのテスト中
- ・ INTPIX, CNTPIXを用いて、X線を用いたImagingに成功
  - ▶ まだ理解できていない部分があるので更なる解析が必要