

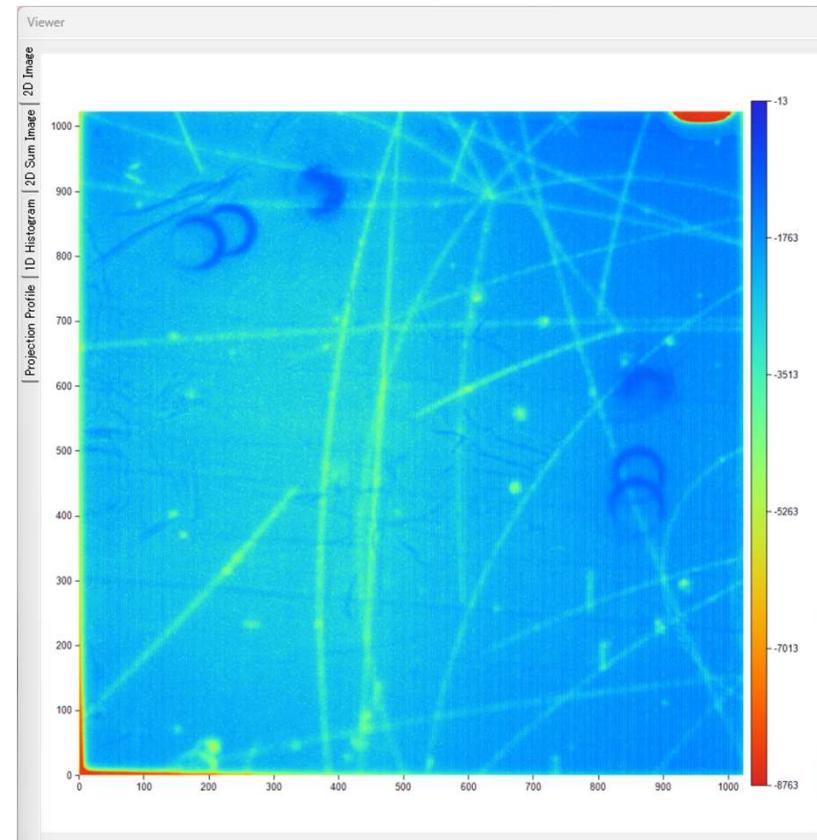


電子顕微鏡用SOIセンサーとSEABAS3開発

2025年12月1日 v. 2

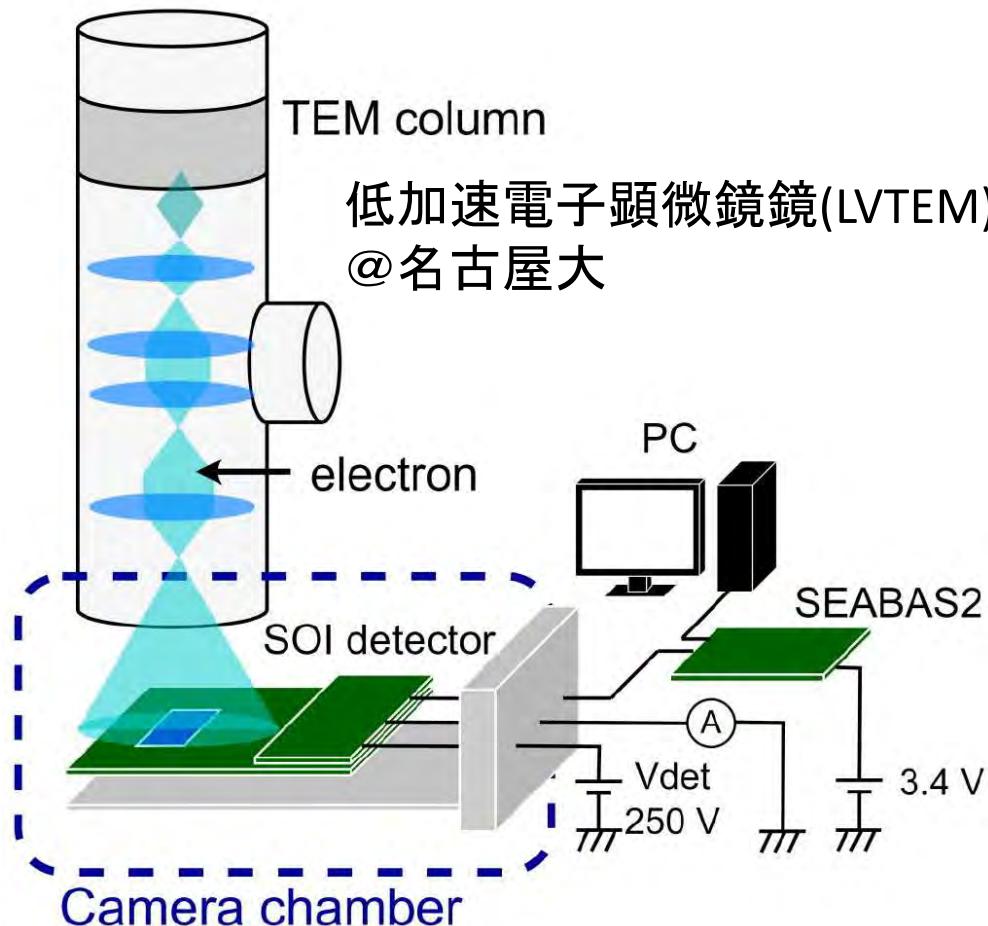
SOIPIX量子イメージング研究会2025@石川県政記念しいのき会館
高エネルギー加速器研究機構 新井康夫
(名古屋大、(株) 日立ハイテクとの共同研究)

- **電子顕微鏡用センサ(INTPIX4NUHT)**
大面積・高精細(20μm角, 1024 × 1024)
高速読み出し(<80ns/pix, 32ch並列)
- **SEABAS3読み出しボード**
SEABAS2後継機、32ch ADC,
10G Ethernet
- **SEMTEGセンサ**
ピクセル内に8つのメモリを内蔵
39μm角ピクセル、評価予定



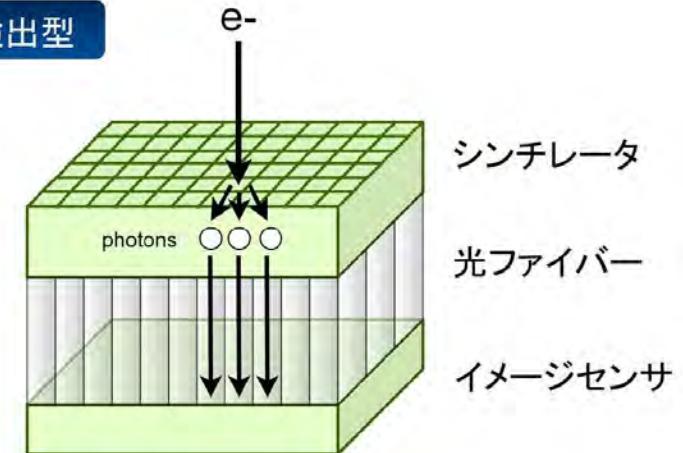
泡箱フィルムを撮影

SOIPIXの電子顕微鏡センサー応用

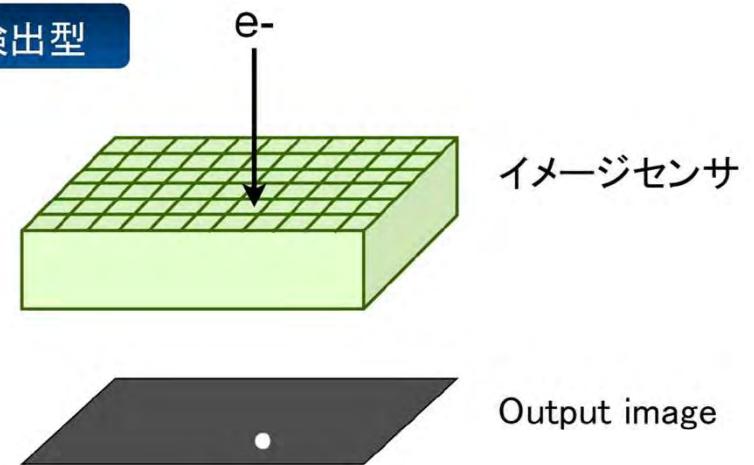


- 光の広がりが無い事で**高分解能**
- 直接電子を検出するので**高感度**
- メモリや処理回路が追加出来る事による
高機能

間接検出型



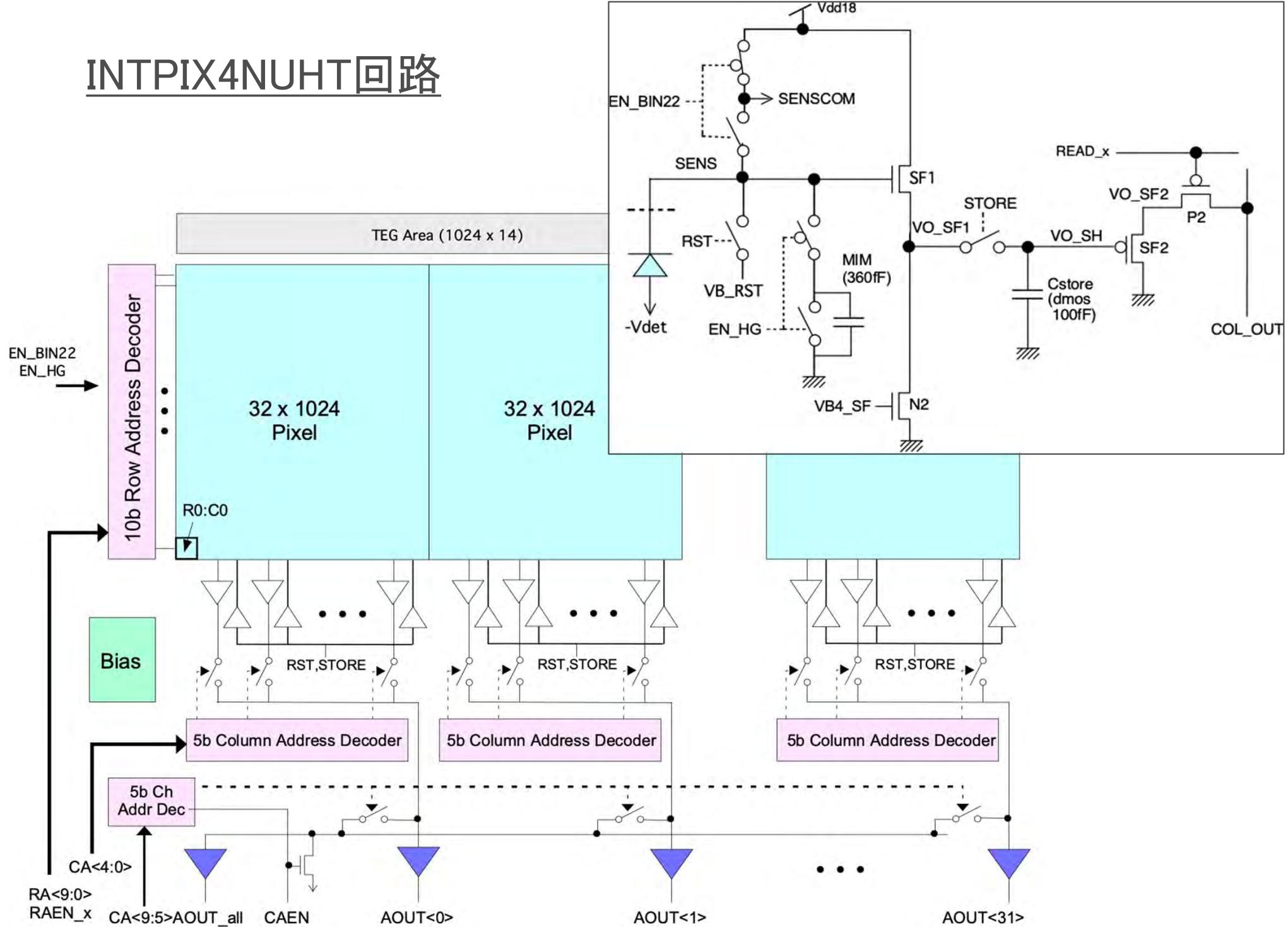
直接検出型



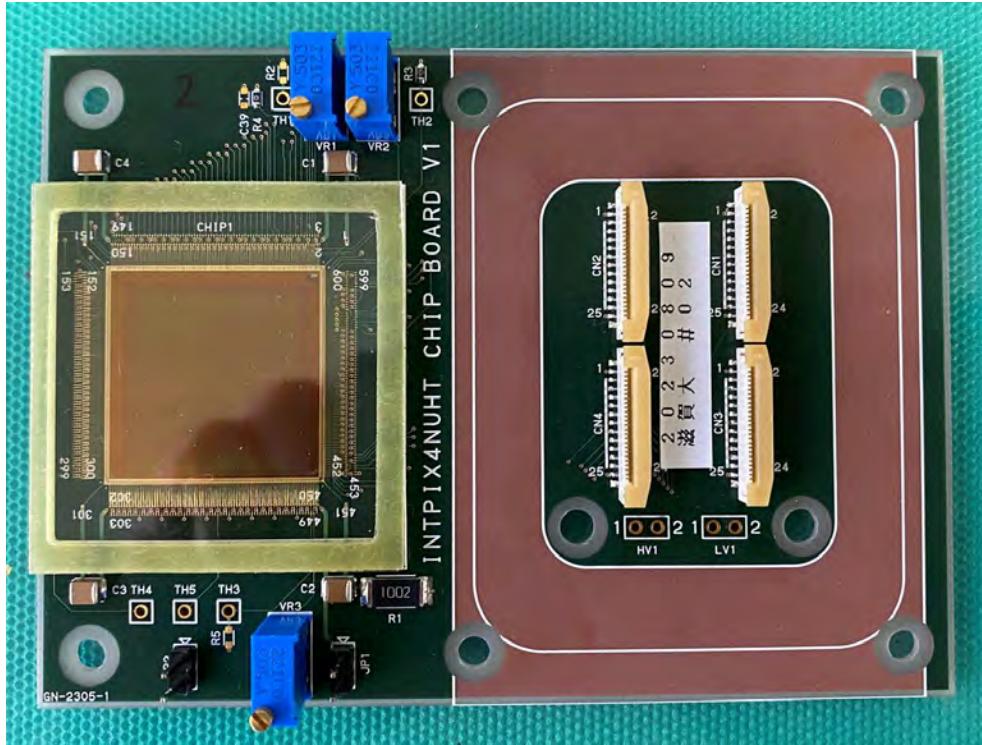
INTPIX4NUHTセンサ仕様

項目	仕様
プロセス	0.2um CMOS FD-SOI Pixelプロセス、
センサ基板	FZ(Floating Zone)法による高抵抗P型基板(~5kOhm·cm)
画素サイズ	20um角
画素数	1024x1024 (=1,048,576ピクセル) 周囲に4画素のダミーを配置
センサー領域	20.48 mm角
チップサイズ	レイアウト面積 24.6mm角(605.16mm ²)。外径およそ24.8 mm角
撮像方式	グローバルシャッター、2x2ピニング読み出し可能
感度	2ゲイン選択式、[Hi=8.0 , Lo=0.4][uV/e-] 最大入射電子数: 70個@100keV(Low Gain mode)
読み出しチャンネル	32ch 並列Analog読み出し、1chからの読み出しも可能 60ns/pix (@20pF 500 Ω typ)
センサー厚さ	150um厚
裏面処理	機械研磨->CMP処理->ボロン注入->レーザーアニーリング
電源電圧・消費電流	1.8V、~570mA (~1W)
パッドサイズ	90um x 100um (試験用とワイヤーボンディング用の2個ずつ) 160umピッチ
その他	CDS回路は無し。

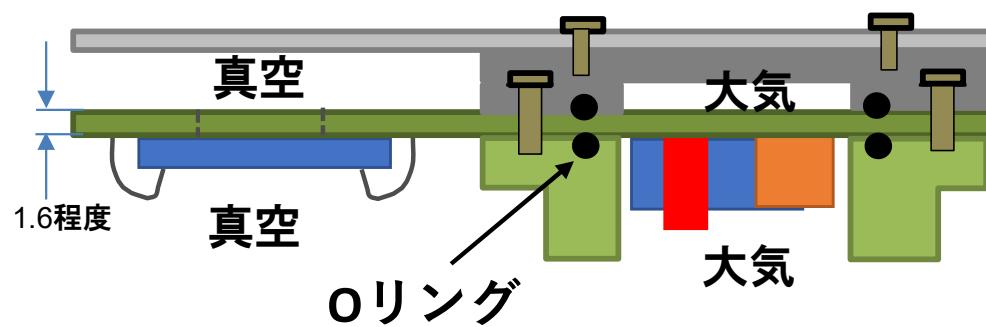
INTPIX4NUHT回路



INTPIX4NUHTセンサ基板

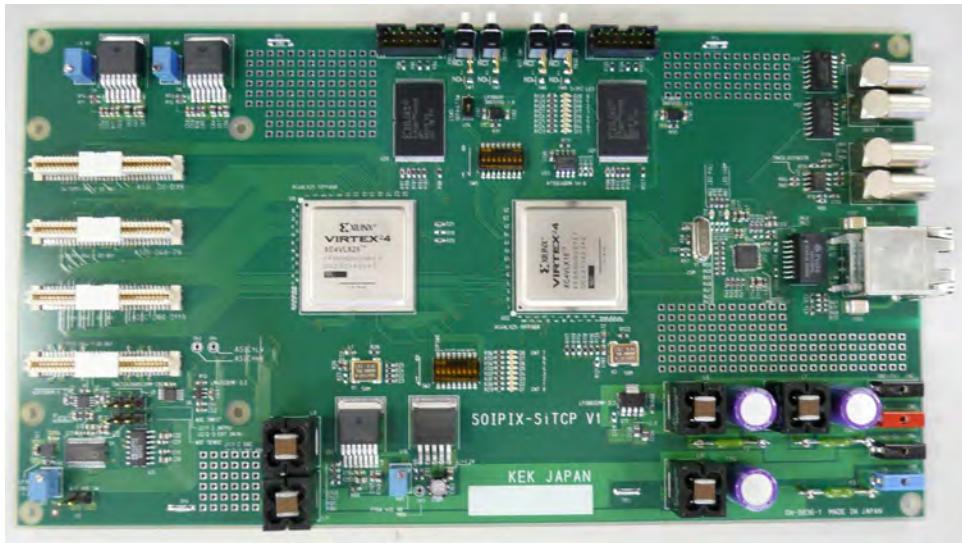


基板にOリングを重ね、直接真
空封止



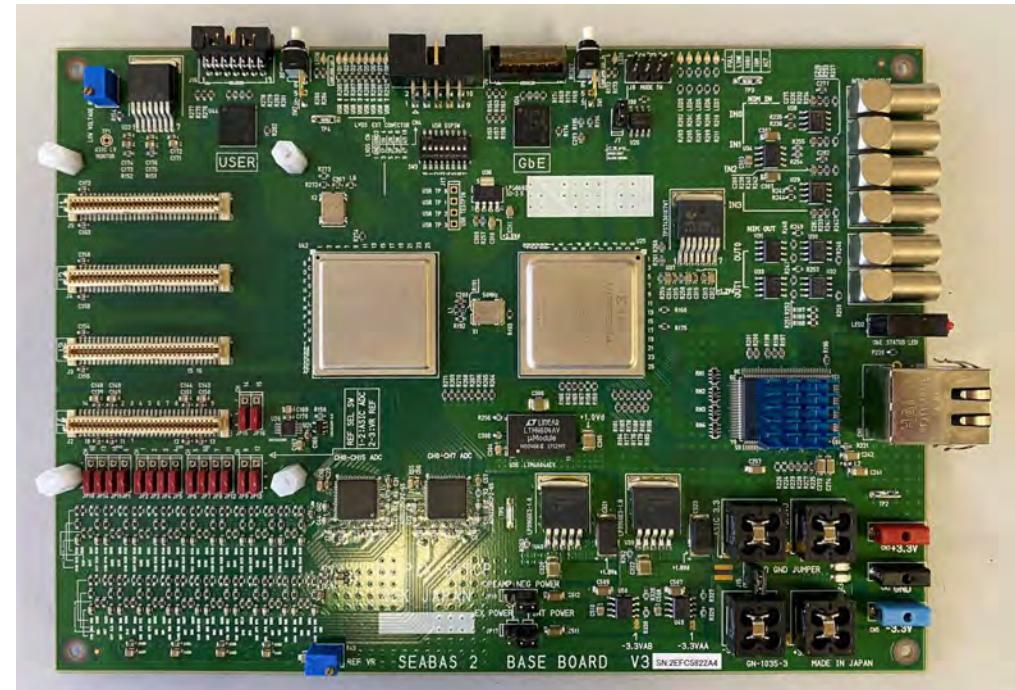
SEABAS (Soi EvAluation BoArd with Sitcp)3

SEABASはSOI(Silicon-On-Insulator)ピクセル検出器のデータ読み出しの為に、2008年にエレクトロニクス・システム・グループの内田さんと私とで開発したDAQボードで、その後2012年に田内さんにより改良されたSEABAS2を開発した。



2008年 : SEABAS1

Virtex-4 x2, 12bit ADC 1ch, DAC 4ch
100M Ether, NIM In x2 Out x2



2012年 : SEABAS2

Virtex-5+Virtex-4, 12bit ADC 8ch, DAC 4ch,
1G Ether, NIM In x4 Out x2, LVDS 4pair

今回新たにSEABAS3を開発した

Main board:

- FPGA: Kintex-7 XC7K160T (XC7K325, XC410 にも対応, 676 pin package)
- Ethernet: 10Gbps SFP+ (Small Form Factor Pluggable) モジュール対応
- DAC: 4ch x2
- 汎用I/Oポート: LVDS/CMOS 16本
- Memory: DDR3 memory (16bit x 128M = 256MB)
- その他: EEPROM, JTAG I/O, LED 8bit, Sw 8bit, XADC monitor, ...
- Power Consumption : 12V, 1.3A (PCIexpress互換、Sub Board無し)
- Board Size: 108 x 180mm² (SEABAS2 140 x 194mm² の72%)

ADC mezzanine board:

- 32ch single end input (ボード内でDifferentialに変換)
- 14/12 bit 40Msps、input range 0-2V (AMD AD9257、8ch x 4)

Sub-board I/F:

- SEABAS2 compatible connector: 4
- Digital I/O (115bit) signal level: 1.8V or 3.3V CMOS
- Analog signal: 32ch
- Power to Sub board : 3.3V(1A) , 0.8~2V(1.5A), 3.3 or 1.8V(1A)

SEABAS3 Board (表)

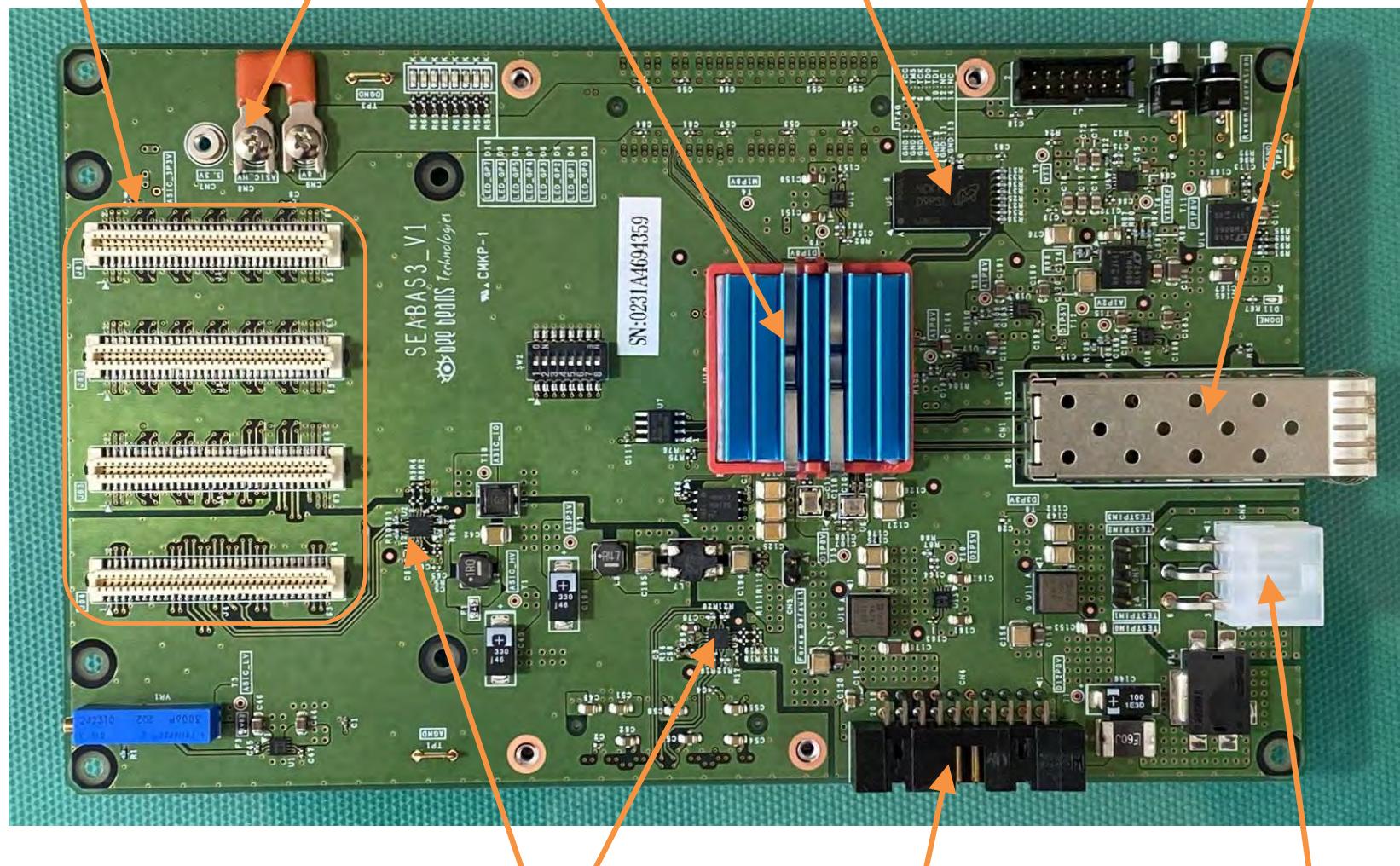
Sub Board Connector

1.8/3.3V切替

FPGA

DDR3 Memory

10G Ethernet



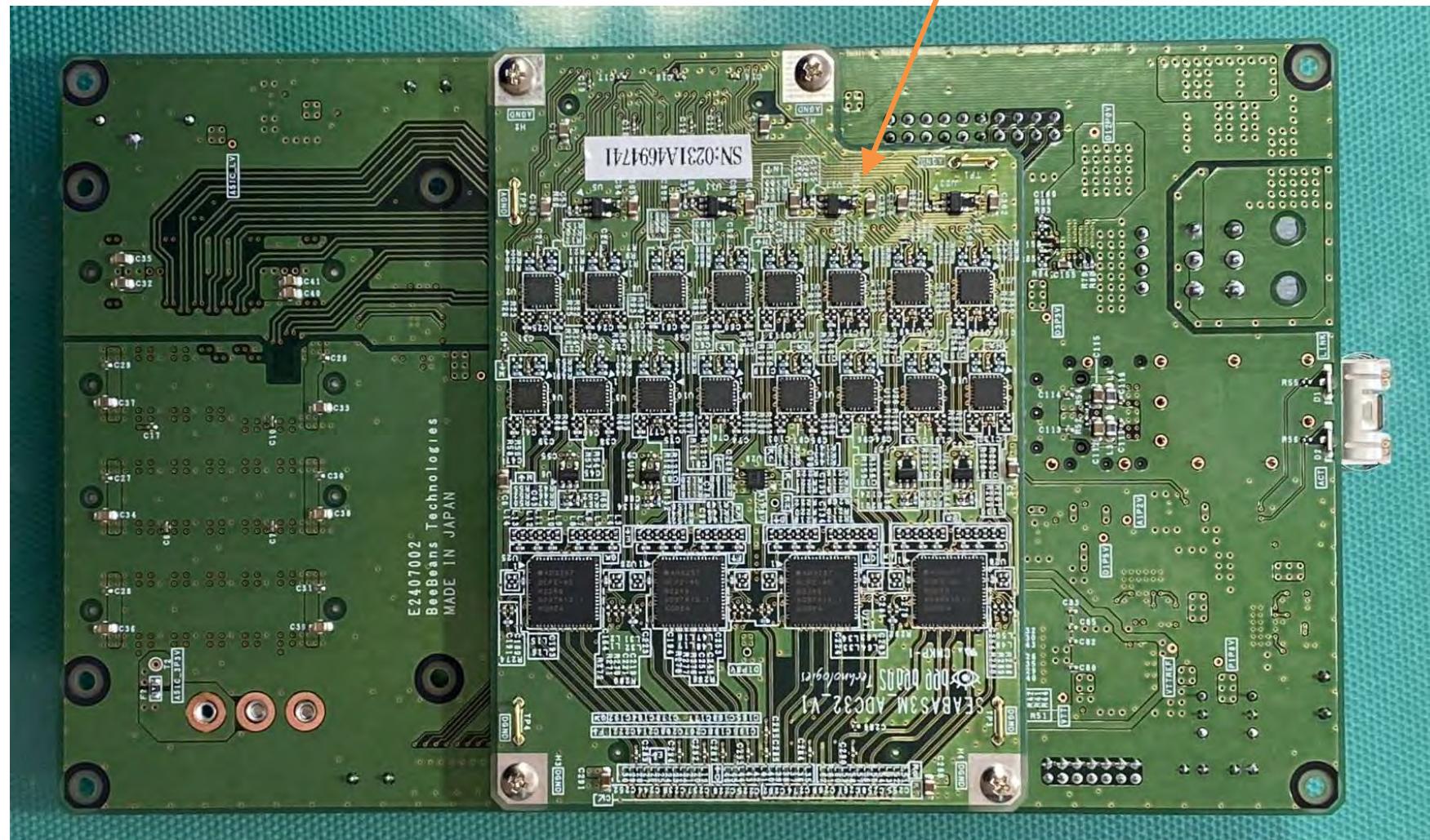
4ch DAC x2

I/O port

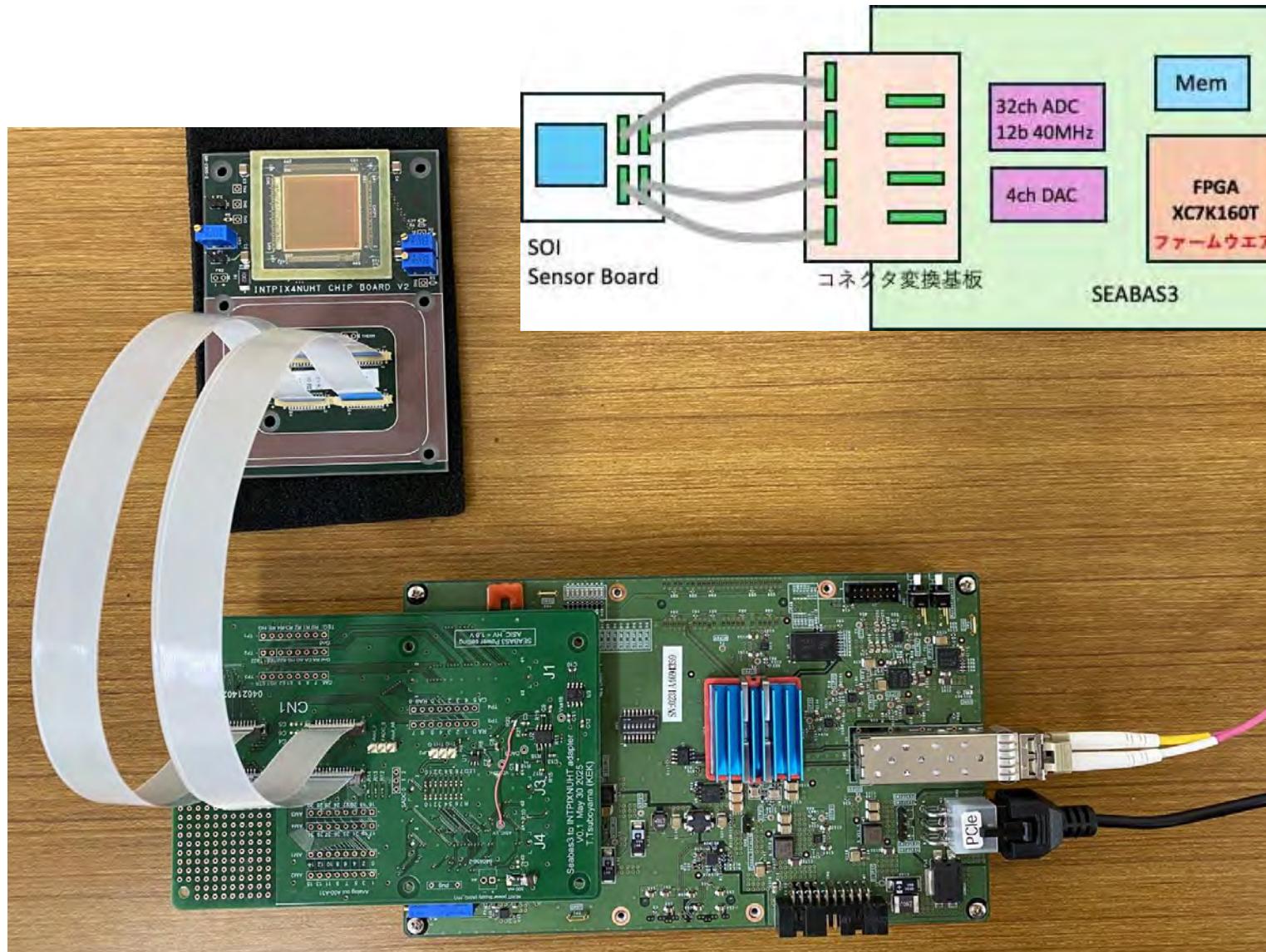
PCIe 12V電源

SEABAS3 Board(裏) + ADC Mezzanine

32ch ADC Mezzanine

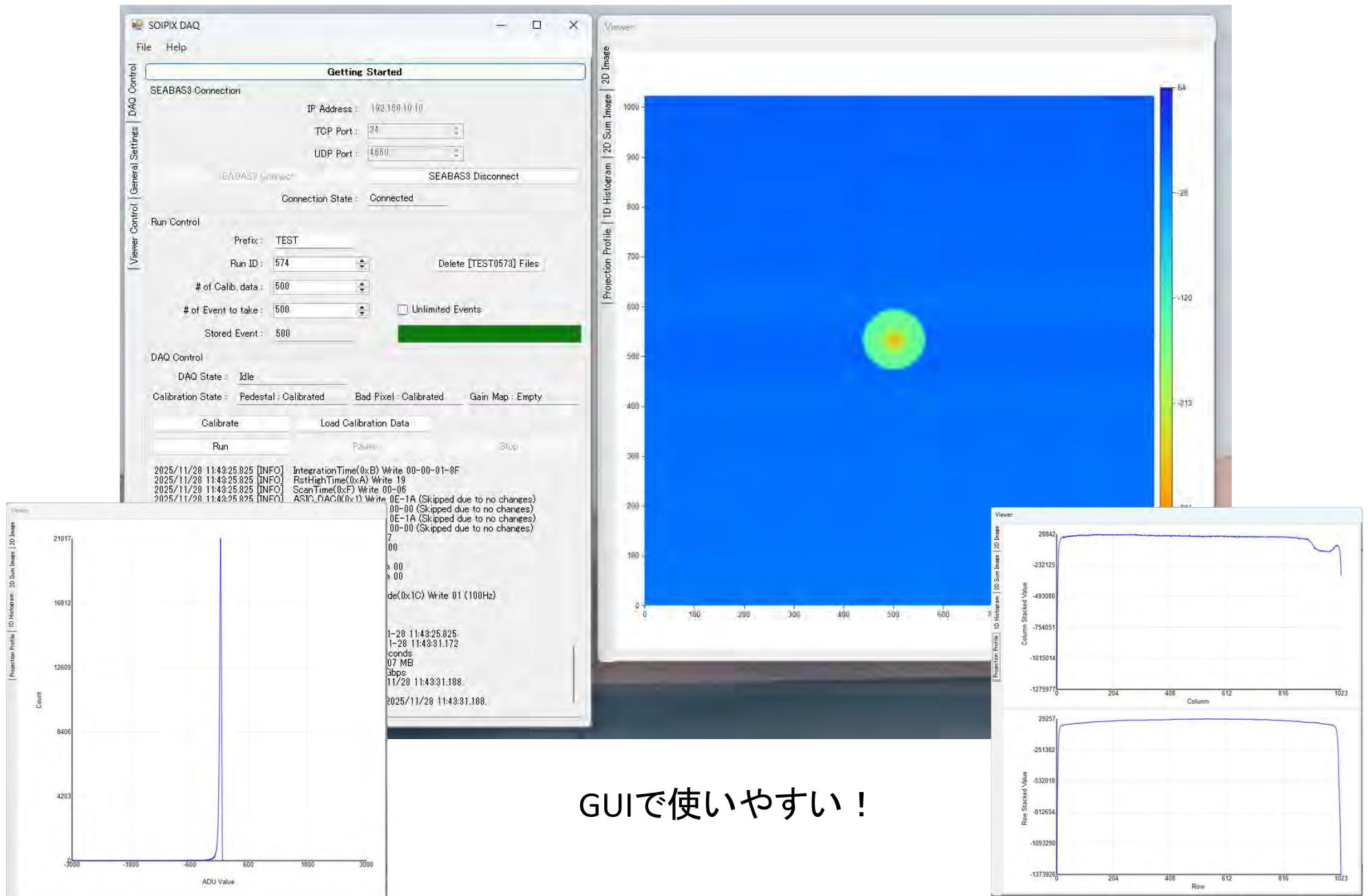


INTPIX4NUHT + Adapter + SEABAS3



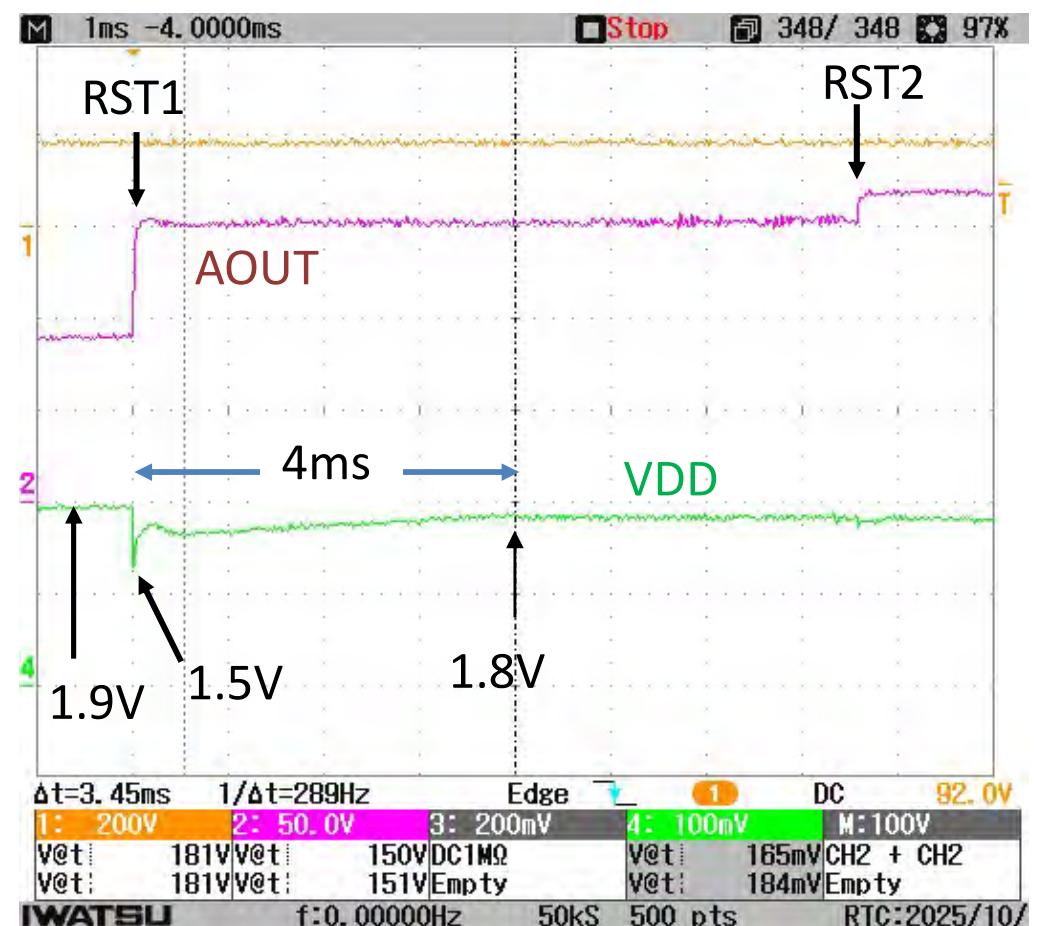
FPGAファーム、
DAQソフトも作成

DAQソフトウェア

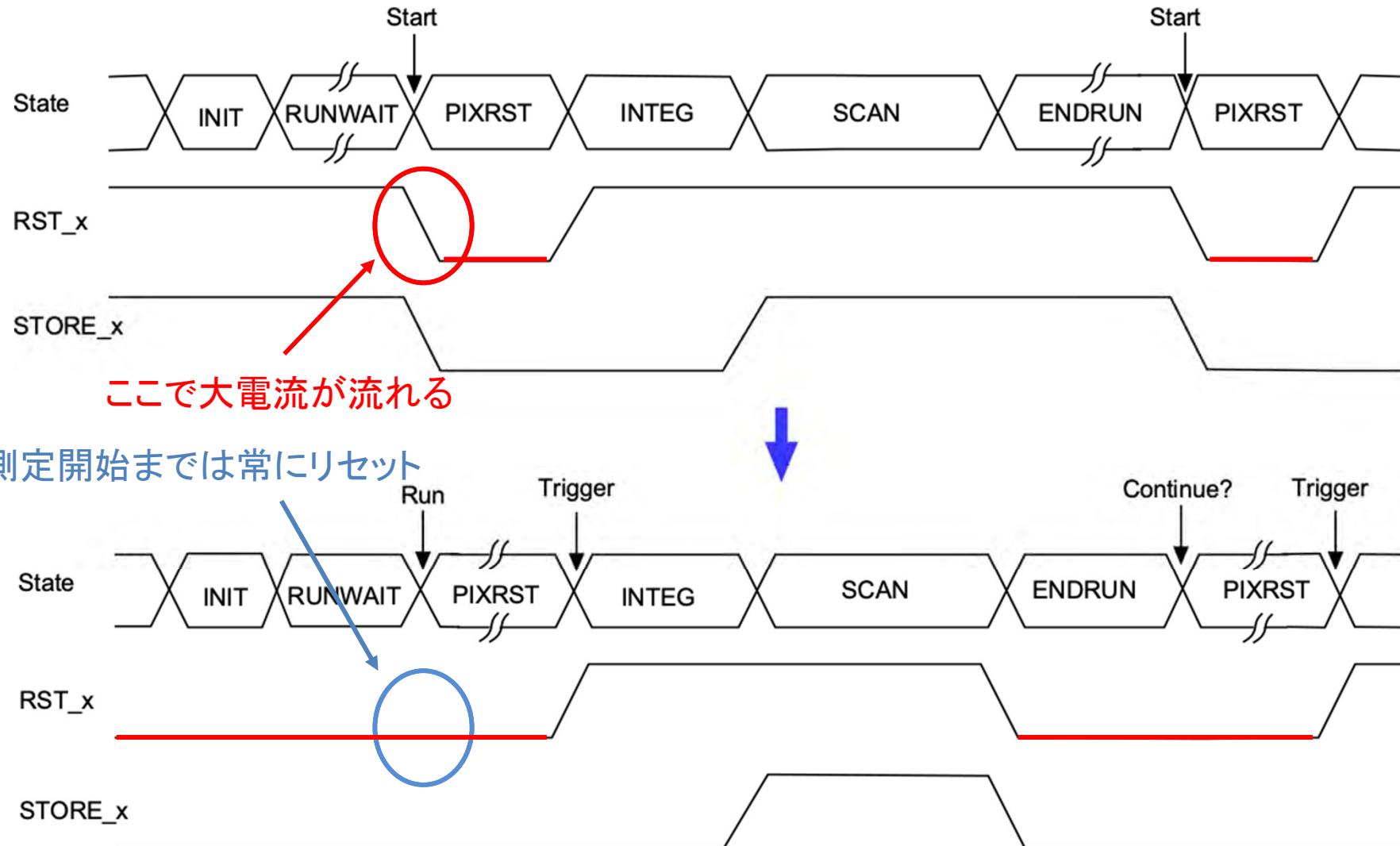


Resetと電源電圧(VDD)との関係で気がついた事

- 電源とVDDとの間にヒューズ($150\text{m}\Omega$)が入っていた為に電流変化により電圧ドロップが生じていた。
- センサI/Oを3.3Vから1.8Vに下げた為、影響が顕著になった。
- RST1前: 光を受けてセンサ電位が下がっていた為消費電流が少なく、 $\text{VDD}=1.9\text{V}$ 。
- RST1: リセットによりセンサ電位が上がると一緒に電流が流れ、VDDが大きく下がった(1.5V)。
- VDDが 1.8V まで回復するのに4msかかった。
- RST2: センサ電位があまり下がっていないので、VDDの変化はほとんど無い。



これを受け、早めにリセットするよう、FPGAファームを変更した

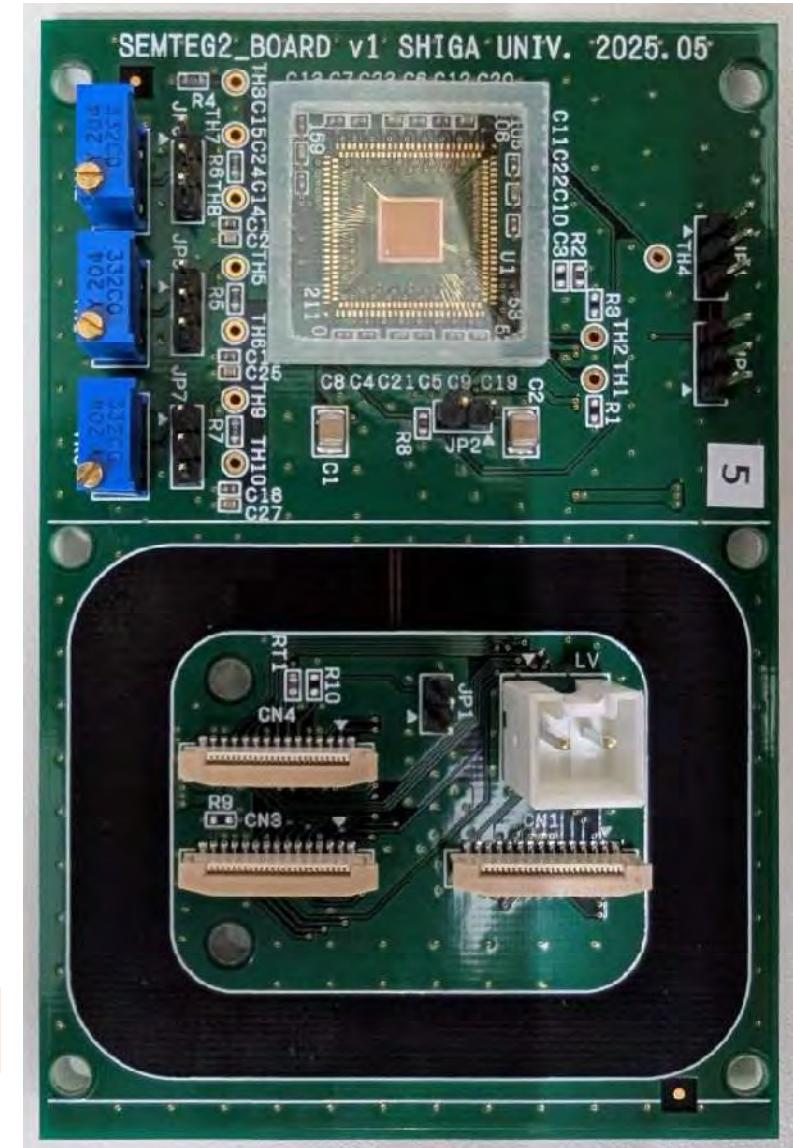


電圧ドロップはほとんど見られなくなった。

SEMTEG2 ~ メモリ付TEGチップ ~

- 高速に変化する事象を捉える為に、ピクセル内にアナログメモリを搭載したセンサ(SEMPIX)を開発予定。
- 今回、その前段階として、8個のメモリを搭載したTEGチップ(SEMTEG2)を製作した。
- INTPIX4NUHTと同様のシステムで評価する予定。

39um角ピクセル、104x112ピクセル、6mm角チップ



まとめ

- 単一マスクではこれまで最大面積のINTPIX4NUHTを開発中。歩留まりを上げる改良を行なっている。
- 13年ぶりに新しいSEABASを開発した。SOI関係者には5%割引で販売。
- ボードサイズは、SEABAS2の72%に縮小され、FPGAの容量は数倍に増加、ADCのチャンネル数も32chまで対応、Ethernetも10Gとなり、256MBのメモリも追加された。
- FPGAのファームウェア、DAQソフトも開発。SOI関係者には希望によりソースを配布。
- ピクセル内に8つのメモリを搭載したSEMTEGセンサを開発。これから評価する。