



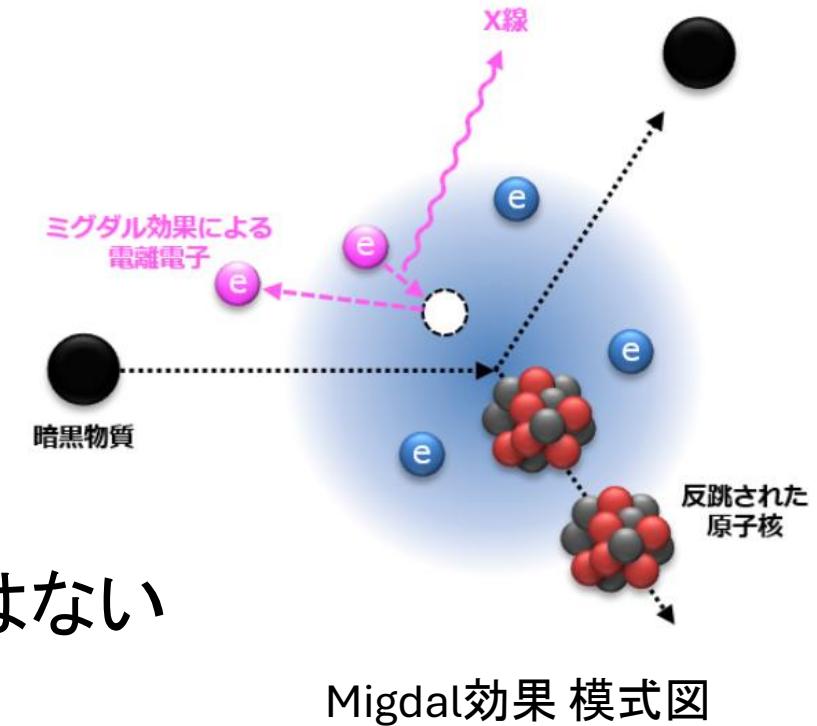
MIRACLUE実験における 統合DAQシステムの開発

MPGD&AMTPC研究会2025@岩手大学
2025/12/19

神戸大学 M1 西田汐里

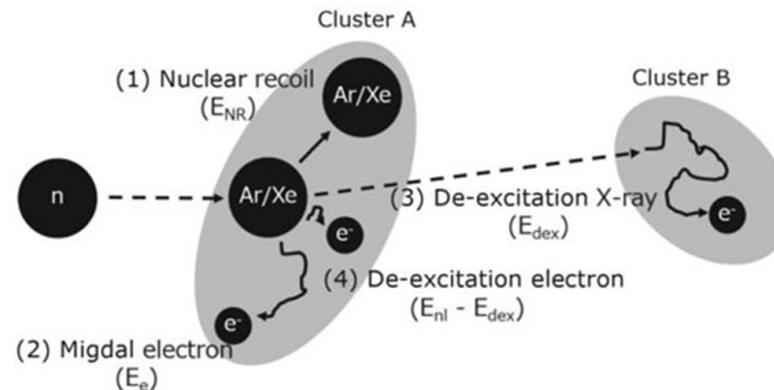
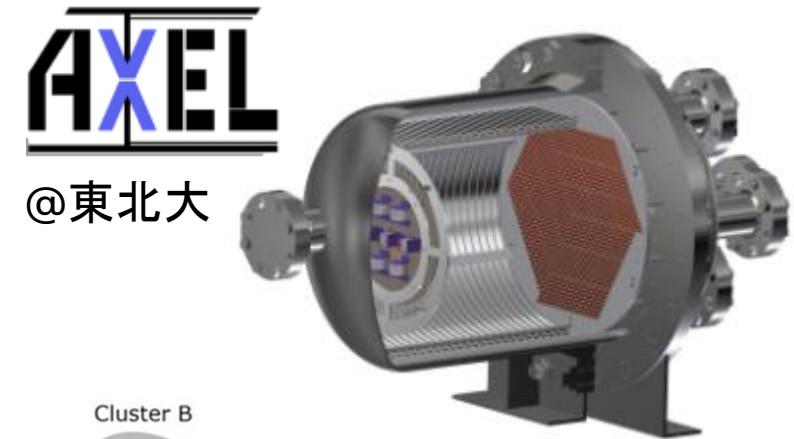
Migdal効果

- ・原子核反跳事象により原子核が急に動き、低確率で電子が電離・励起
 - 量子力学で予言
 - 軽いDMに対する感度を向上させる
(原子核反跳 + 電子反跳)
- ・原子核反跳によるものの実験的な観測事例はない
 - MIRACLE実験で初観測を目指す



MIRACLU実験

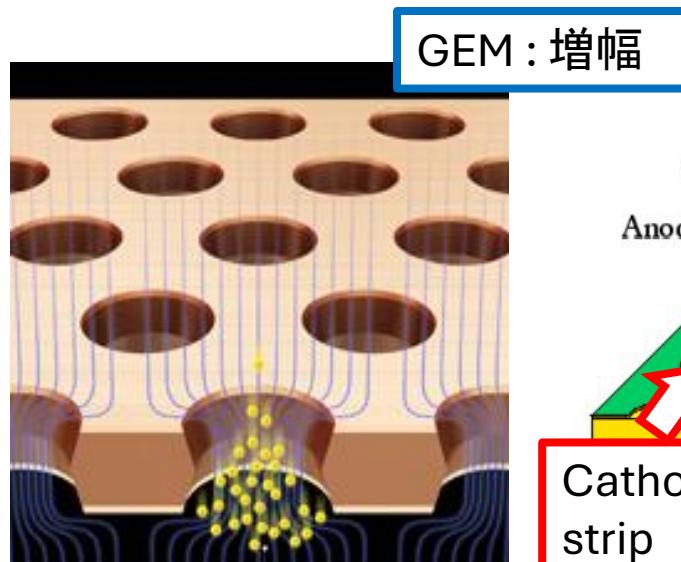
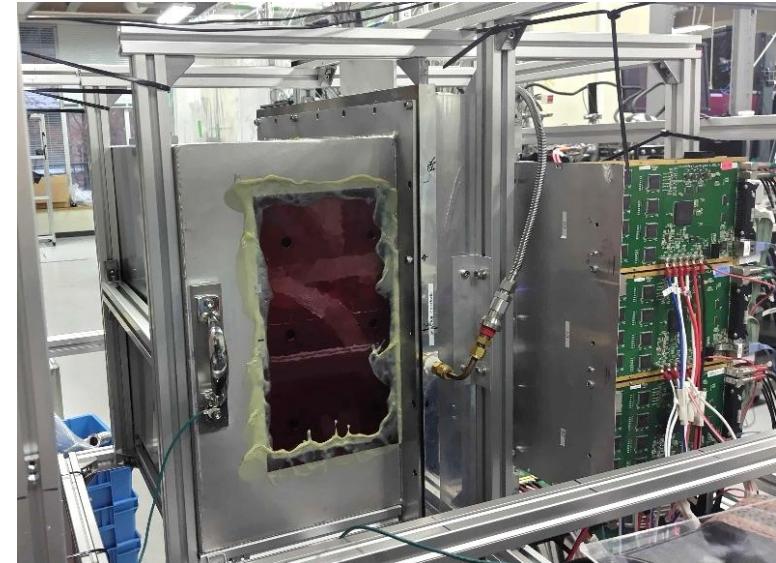
- ・原子核反跳によるMigdal効果の実験的観測を目指す
- ・検出器：既存の技術を用いたガスTPC
 - 東北大：高圧Xeガス
 - 神戸大：Arガス
- ・中性子ビームを照射し原子核反跳を起こす
 - 高レート
- ・原子核反跳と特性X線を検出
 - 2クラスターの座標取得



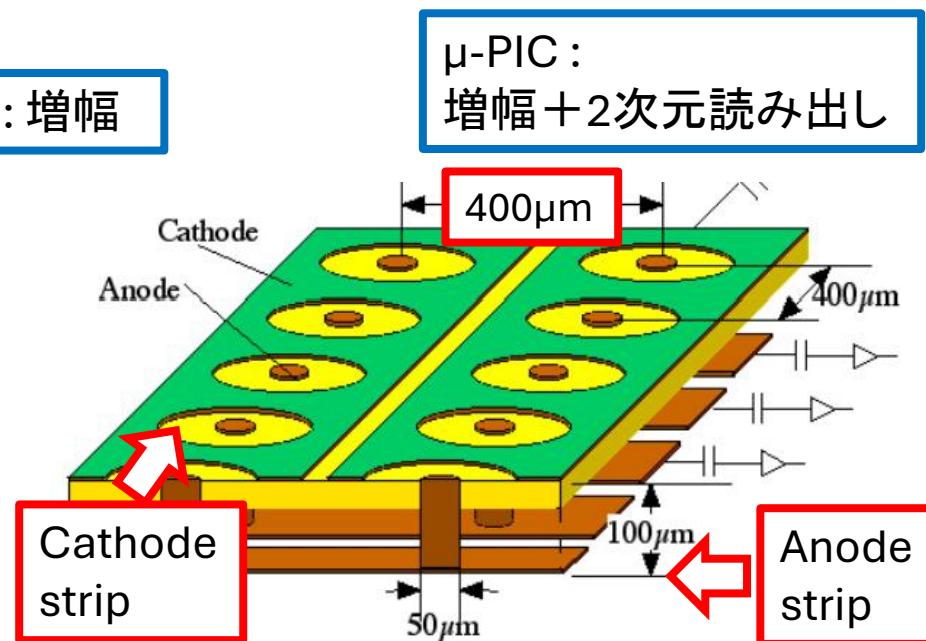
ArガスTPC

- GEM + μ -PIC
 - 増幅 + 2次元読み出し
 - NEWAGEで使われている技術
- μ -PIC
 - 400 μm ピッチ
 - Anode, Cathode 各768ch
- 3次元で飛跡を取得可能
 - 2次元座標 + 時間情報

神戸大
ArガスTPC



GEM : 增幅



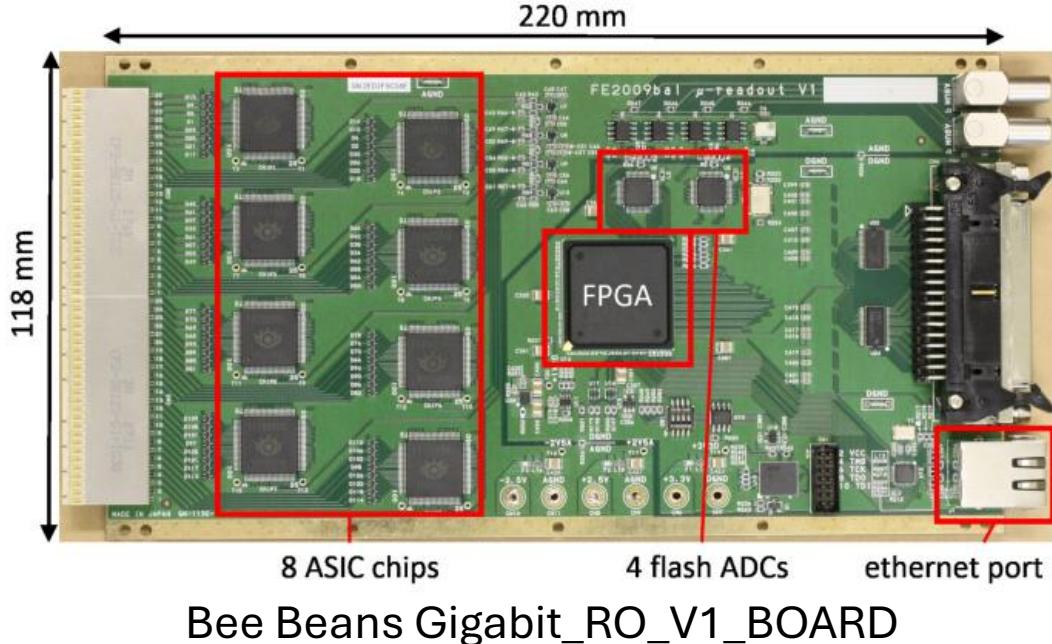
読み出しボード

- 入力: 128ch Analog信号
- 出力: 128ch ToT (Time over Threshold)

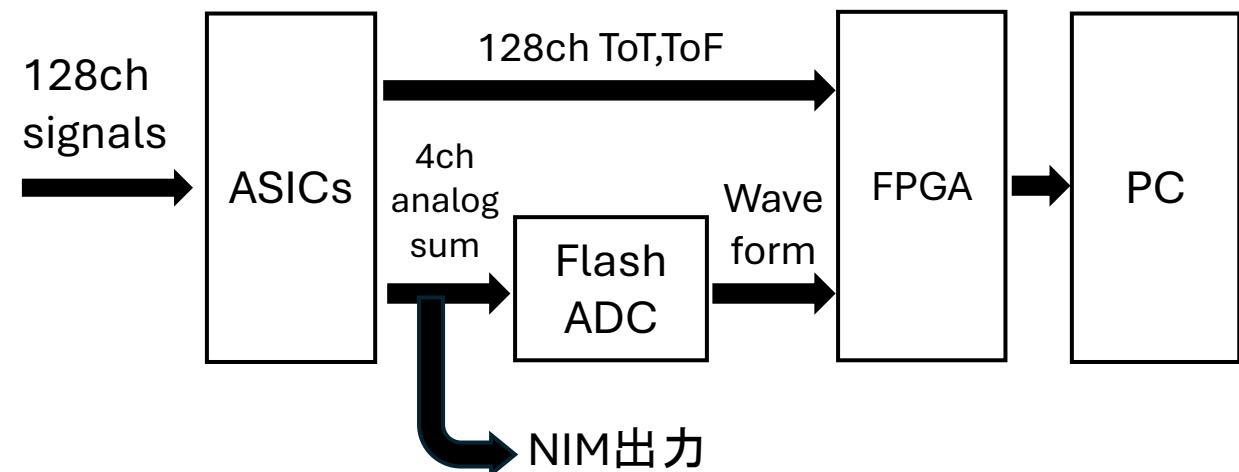
ToF(Time of Flight)

4ch 波形情報

4ch NIM Analog波形



Bee Beans Gigabit_RO_V1_BOARD



本研究の目的

検出器のピッチ変更に対応できるDAQ システム開発

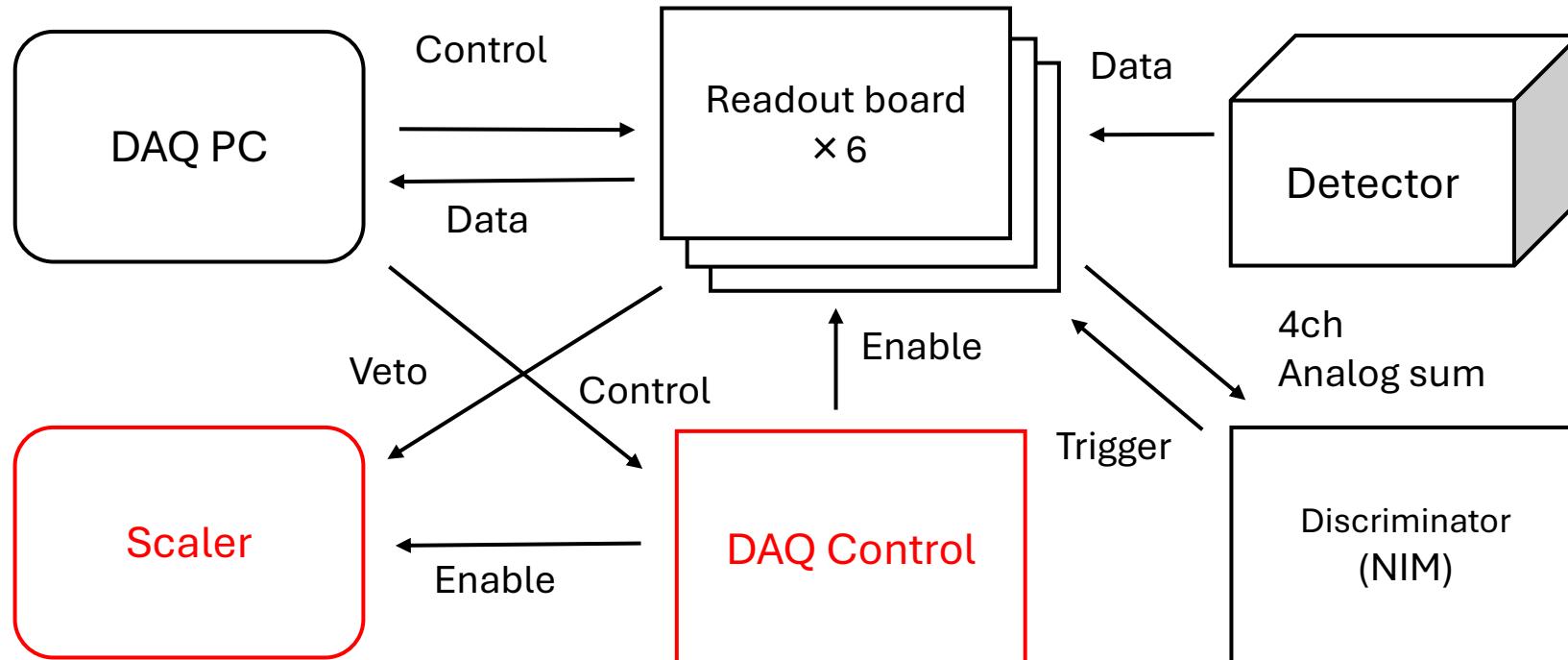
- 検出器のピッチ変更($800\mu\text{m} \rightarrow 400\mu\text{m}$)
 - 必要ch数の増加 → 必要ボード数も増加
 - 対応ボード枚数の拡張(6枚 → 12枚)

現行DAQシステム

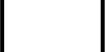
Legend : readout electronics

 : PC

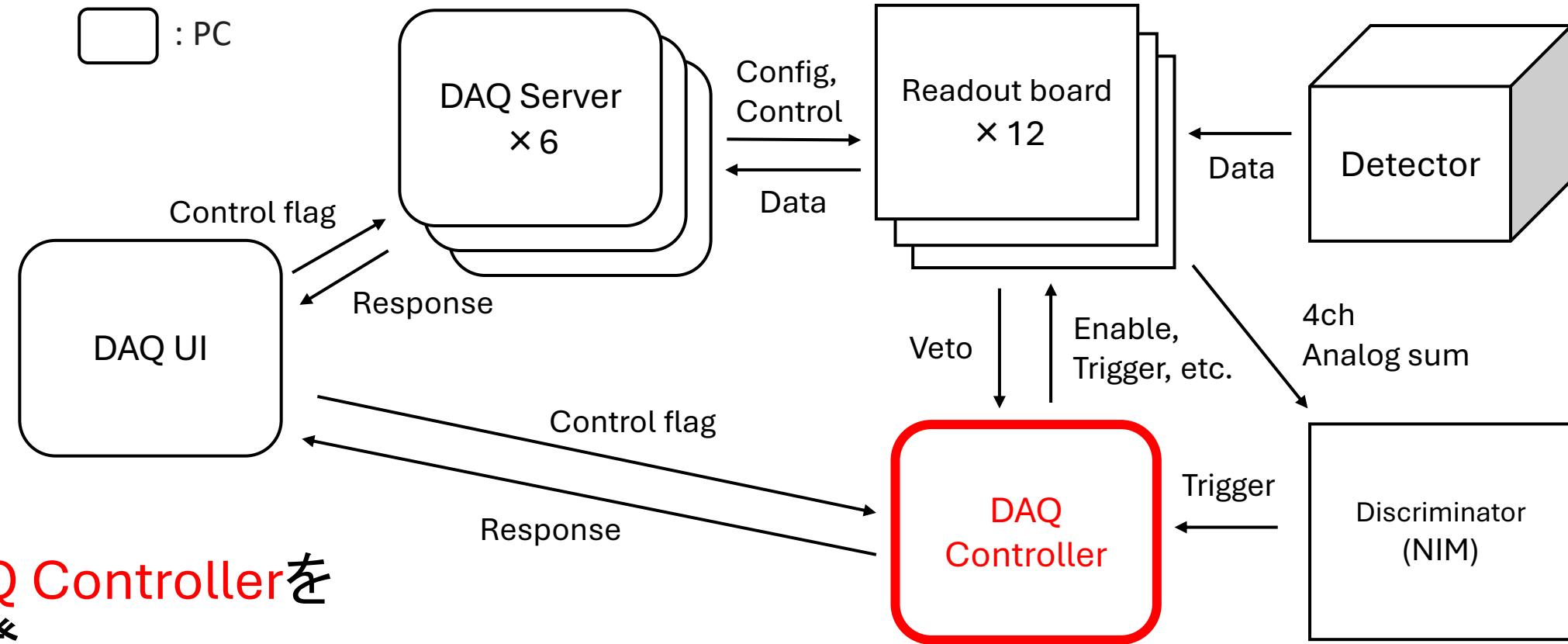
- 複雑な信号のやりとり
 - 機能の分散によるもの
 - 拡張が難しい



新DAQシステム

Legend  : readout electronics

 : PC

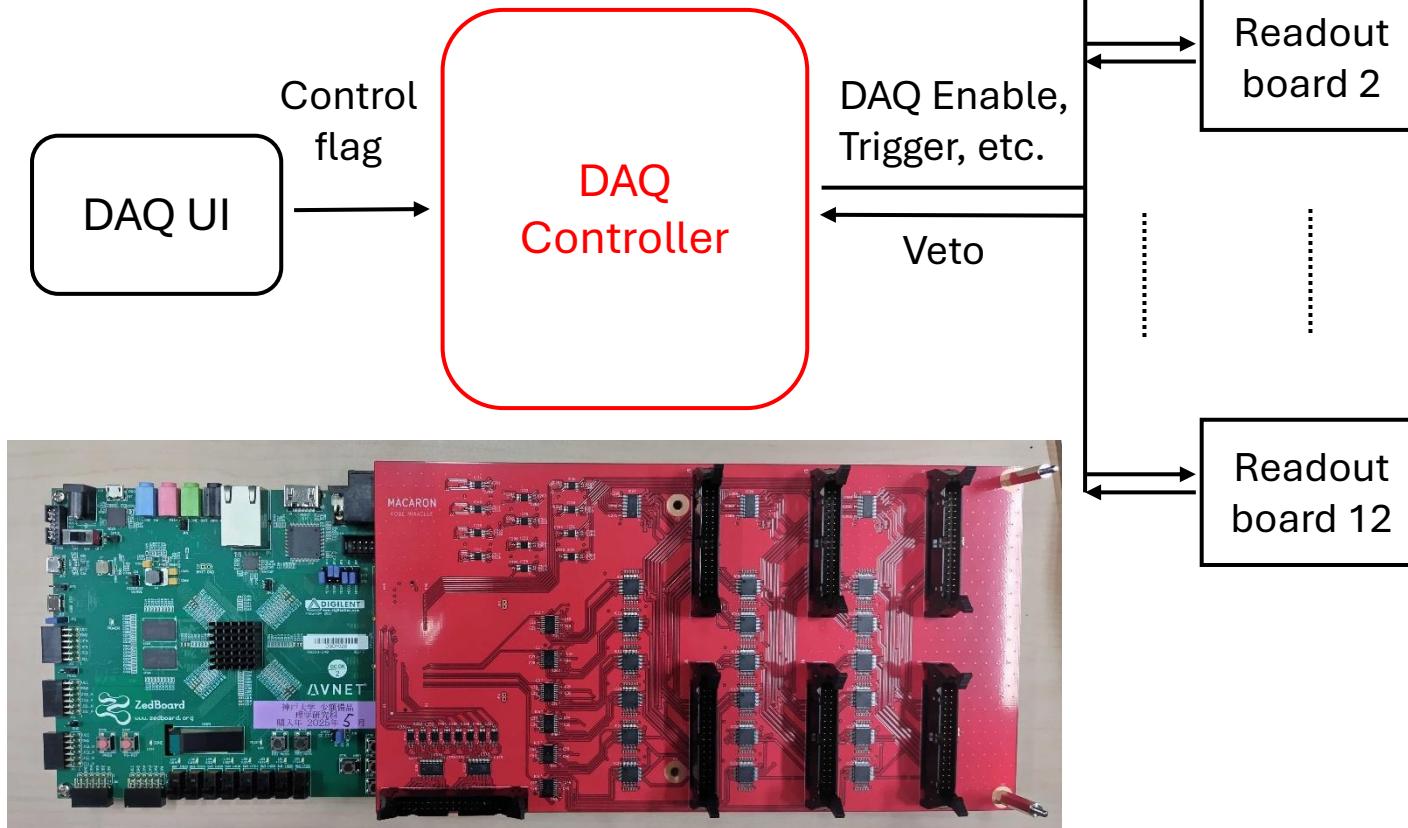


DAQ Controllerを
開発

- 12枚の読み出しボードに対応
- 機能を統合

新DAQシステム

- DAQ Controller 周り

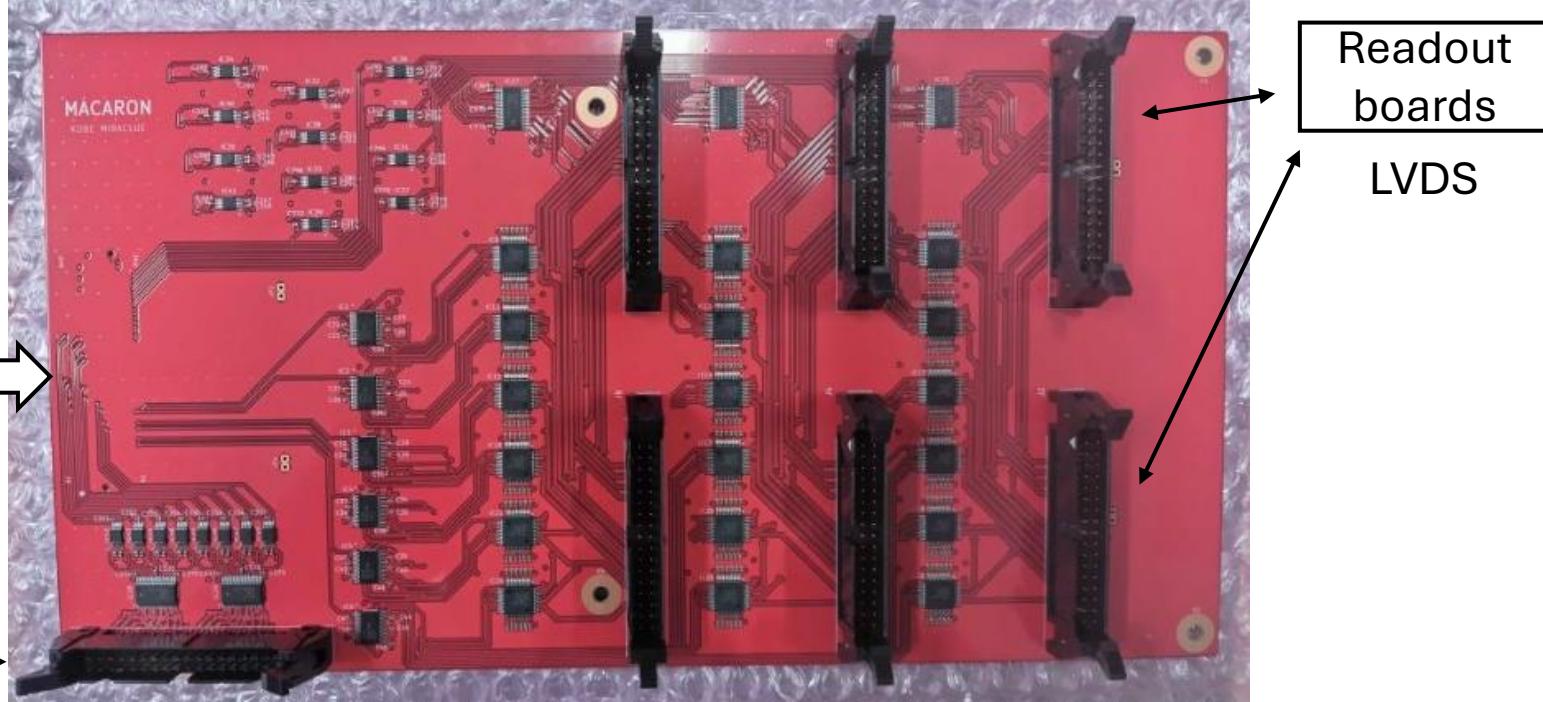
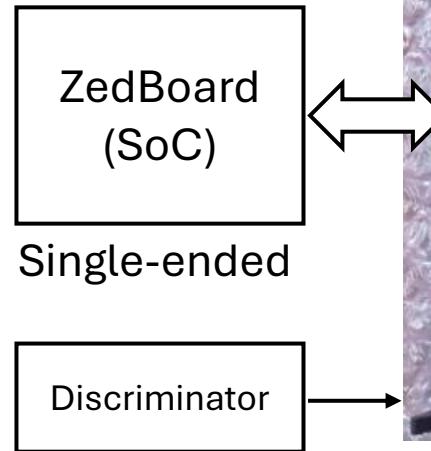


ZedBoard(SoC)

Mezzanine Card

- DAQ UIとの通信
- Control信号の送信、受信
- 時間のカウント
- 信号の分配
- の機能が必要
→ **SoC + Mezzanine Card**

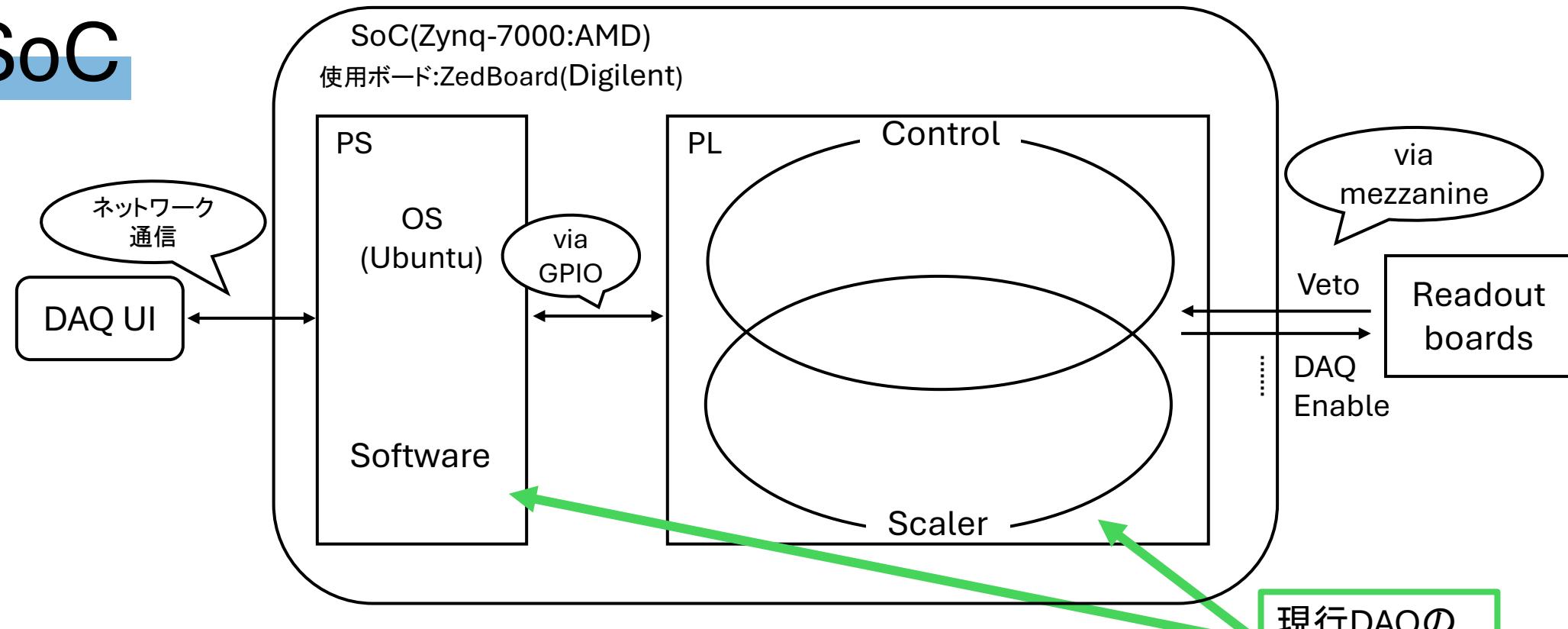
Mezzanine Card



- SoCと読み出しボード間で信号の変換、分配
 - SoCからの信号を12個に分配
single-ended→LVDS変換し読み出しボードに送る
 - 読み出しボード、Discriminatorからの信号をLVDS→single-ended変換し
SoCに送る

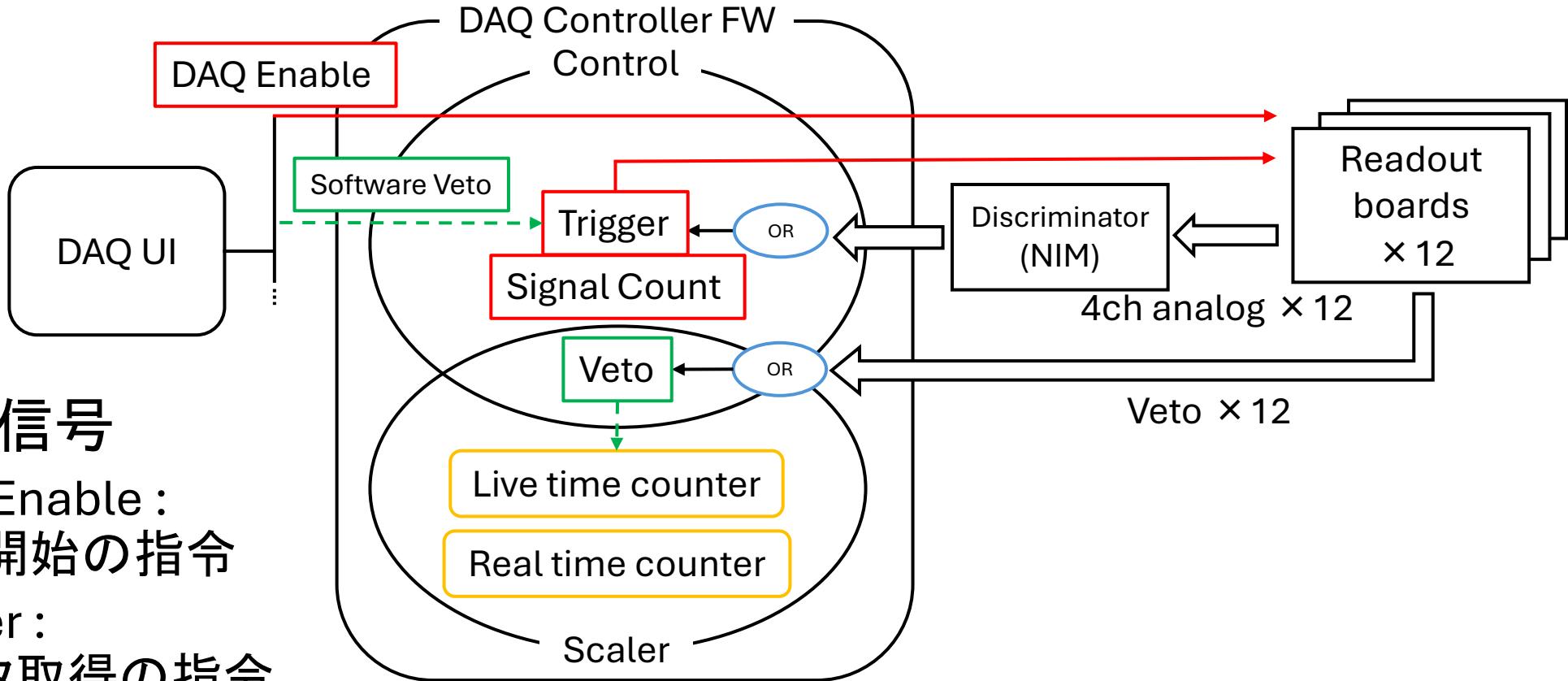
Kicadでデザインし
P板.comで製造・実装

SoC



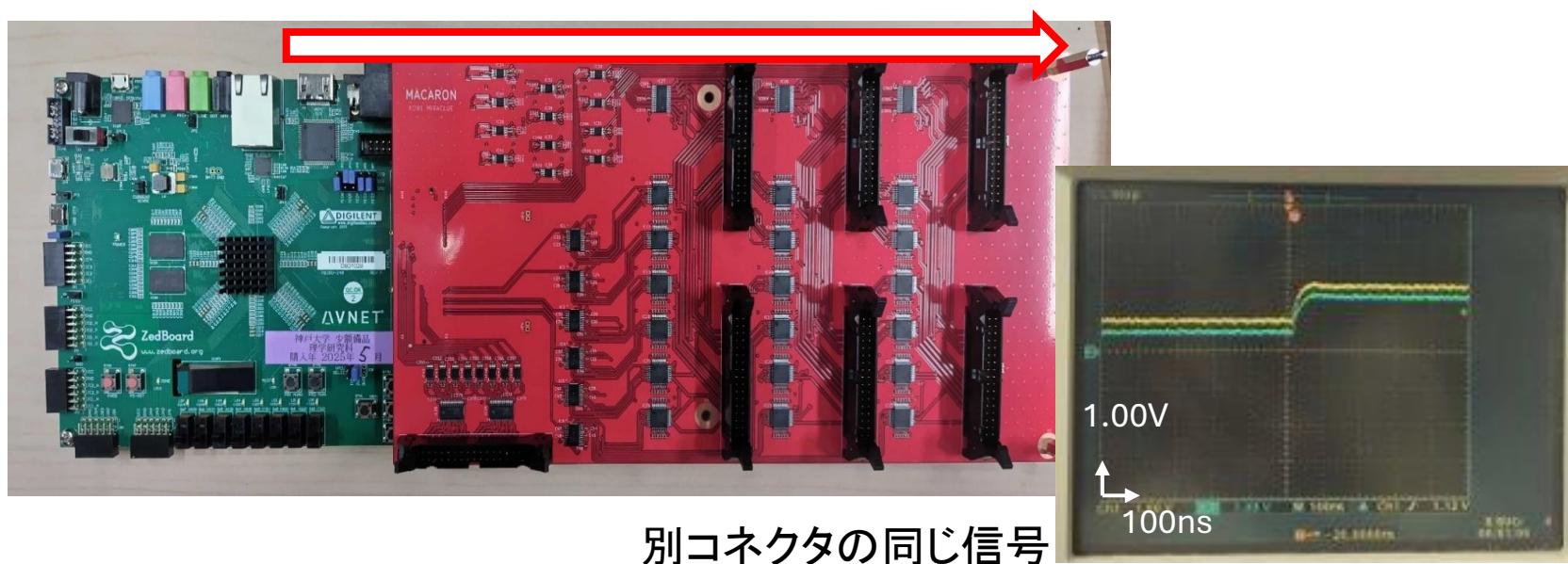
- Control : DAQ Controlのための信号を
DAQ UIの指示に従って読み出しボードに送信
- Scaler : 測定時間のカウント

SoC

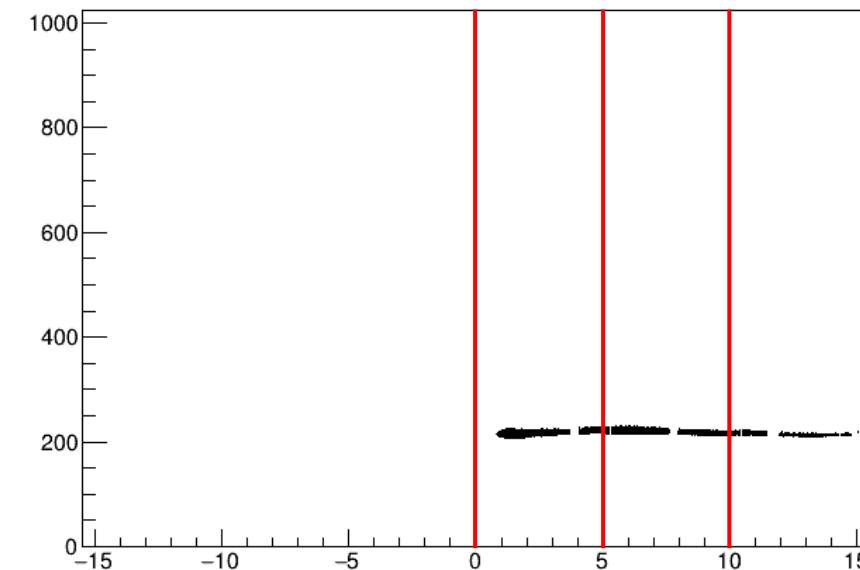


- **Control信号**
 - **DAQ Enable** : DAQ開始の指令
 - **Trigger** : データ取得の指令
- **Scaler**
 - **Real time counter** : DAQが動いている時間を測定
 - **Live time counter** : 実際にデータを受け付けていた時間を測定
 - 10kHz clock, 32bit

動作チェック

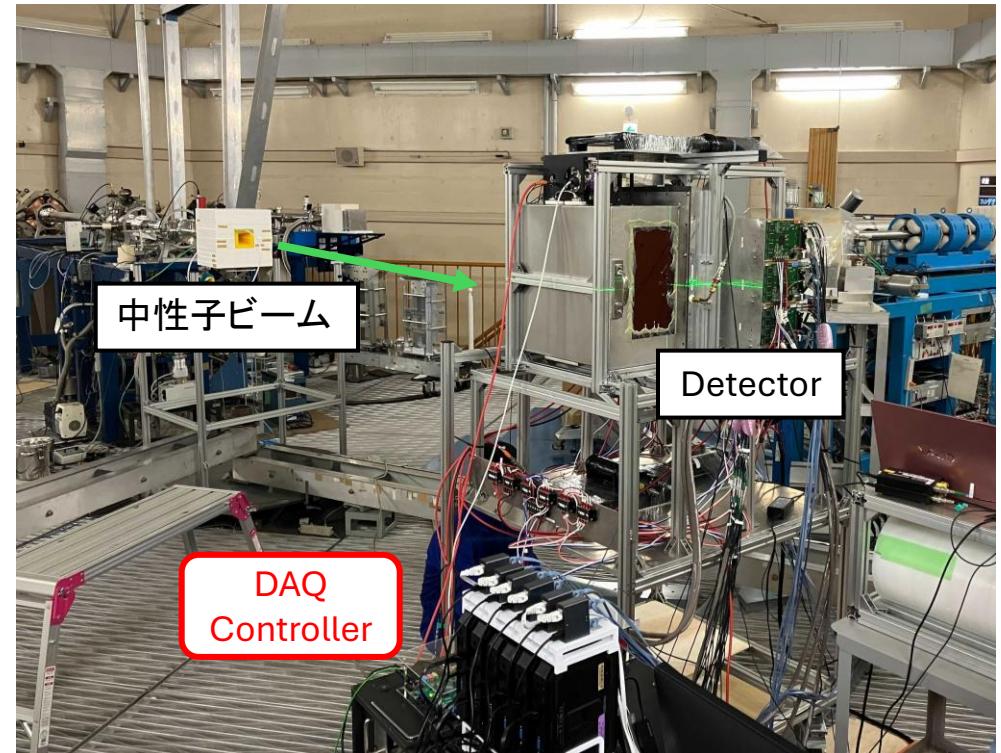


- Controllerのみでチェック
 - Mezzanine : 信号の分配とその同時性
 - Scaler : スイッチ操作で動作確認
- 検出器と統合してチェック
 - 実際にDAQを動かしてデータを取る
 - ボードが正しく連動していることを確認



ビームテスト@産総研

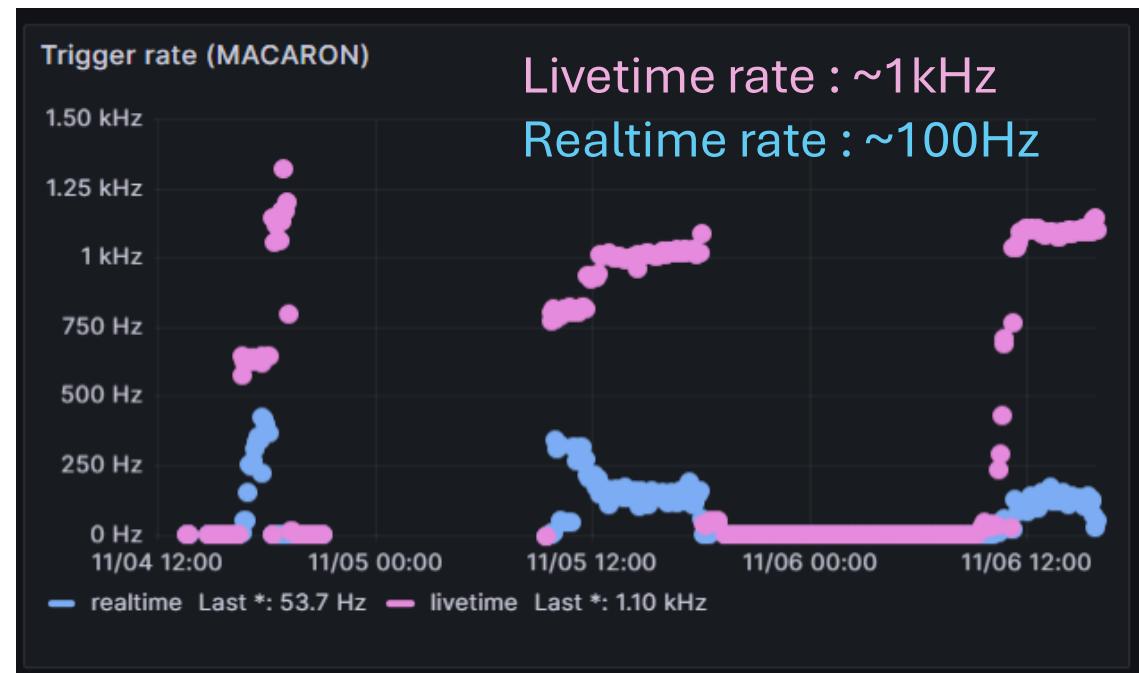
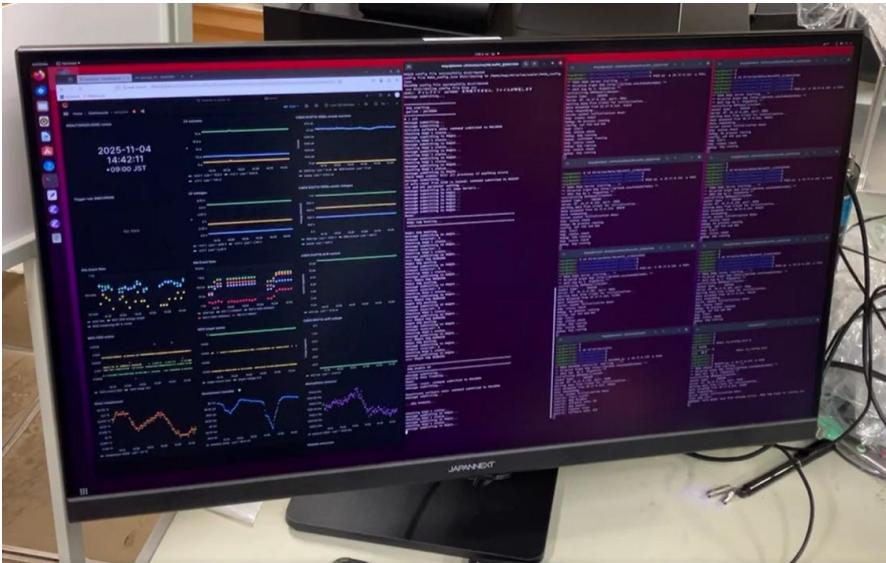
- ・産総研でビームテストを実施
- ・2025年11月3日~7日 (4日~6日ビーム照射)
 - 565keV中性子
 - トリガーレート : ~1kHz



ビームテスト@産総研

- トリガーレート等をリアルタイムでモニター
- DAQが正常に動き、データを取得できた
- Dead timeが課題

データ取得時
の様子

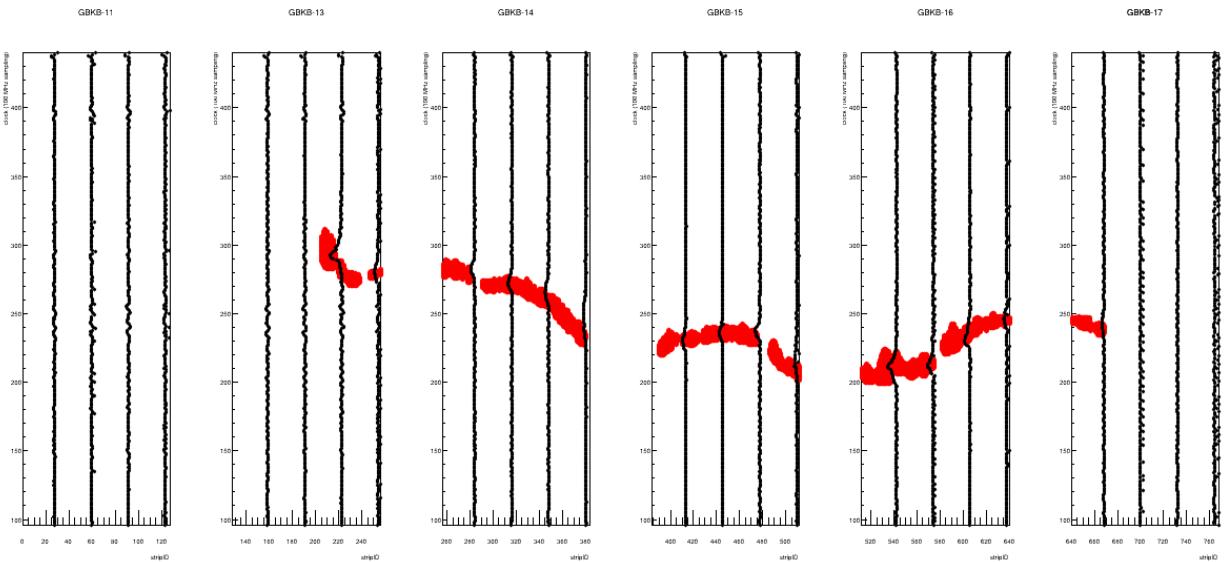
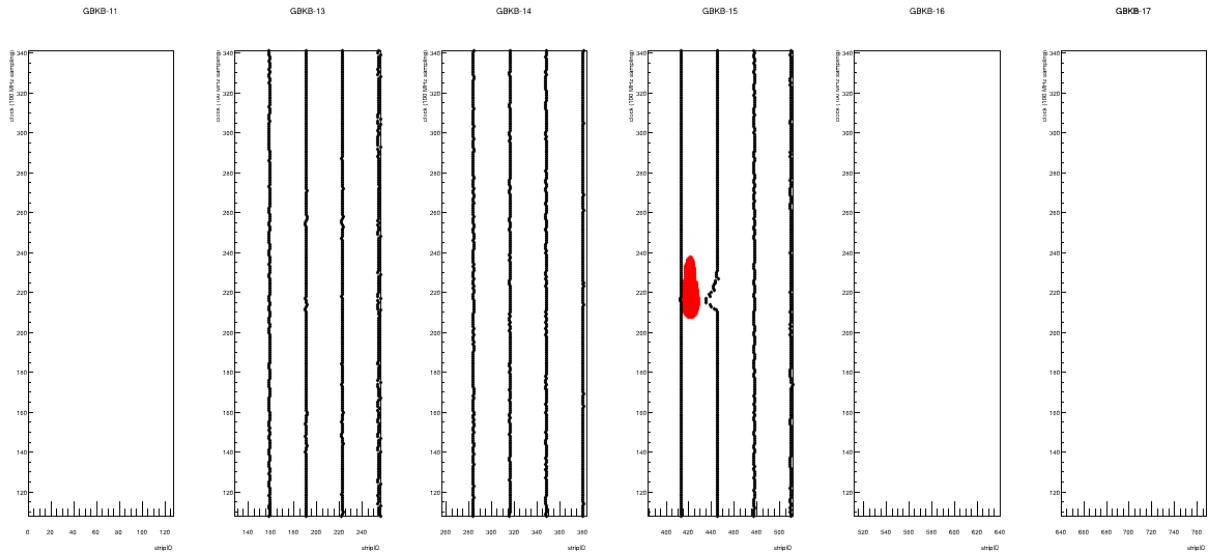


ビームテスト@産総研

原子核反跳

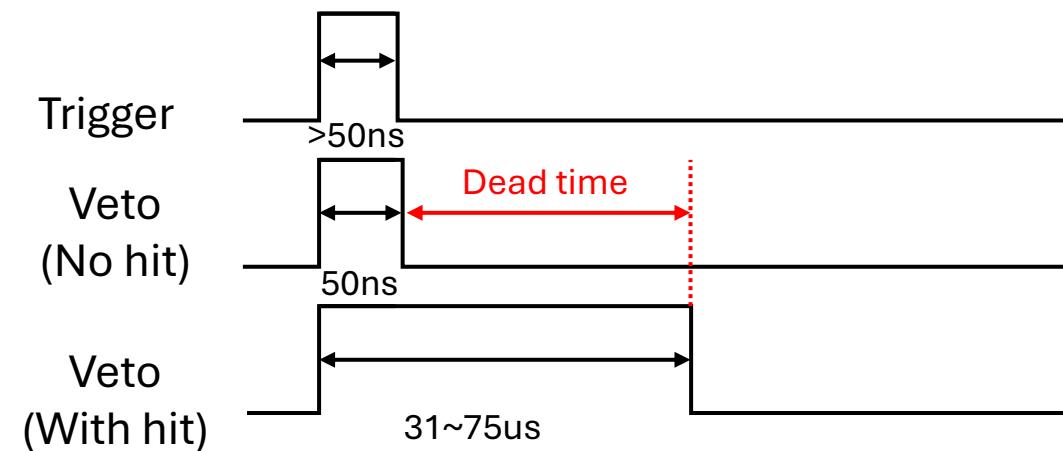
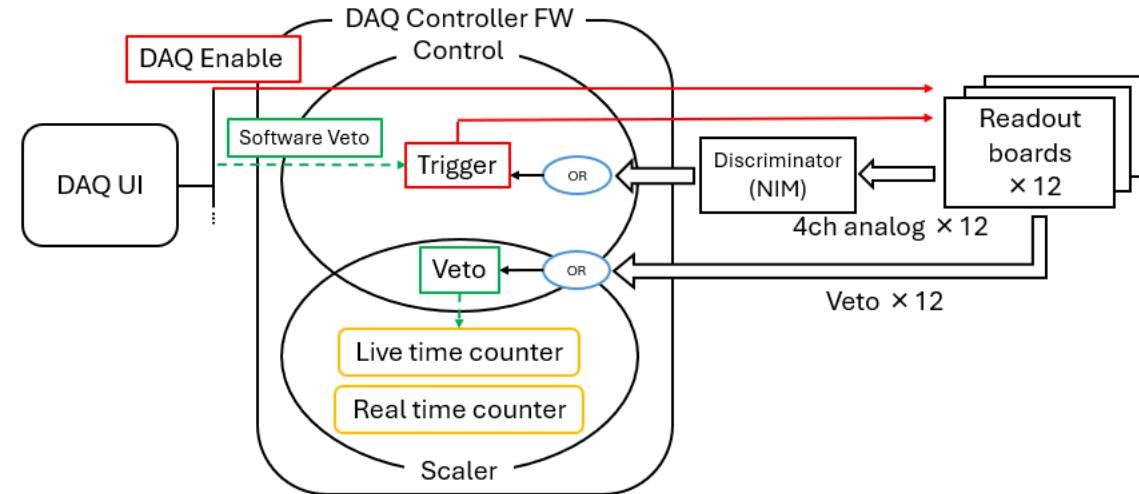
- 原子核反跳、電子反跳事象どちらも検出
 - 長い飛跡も再構成できている
- 12枚体制DAQが運用できたことを確認

電子反跳



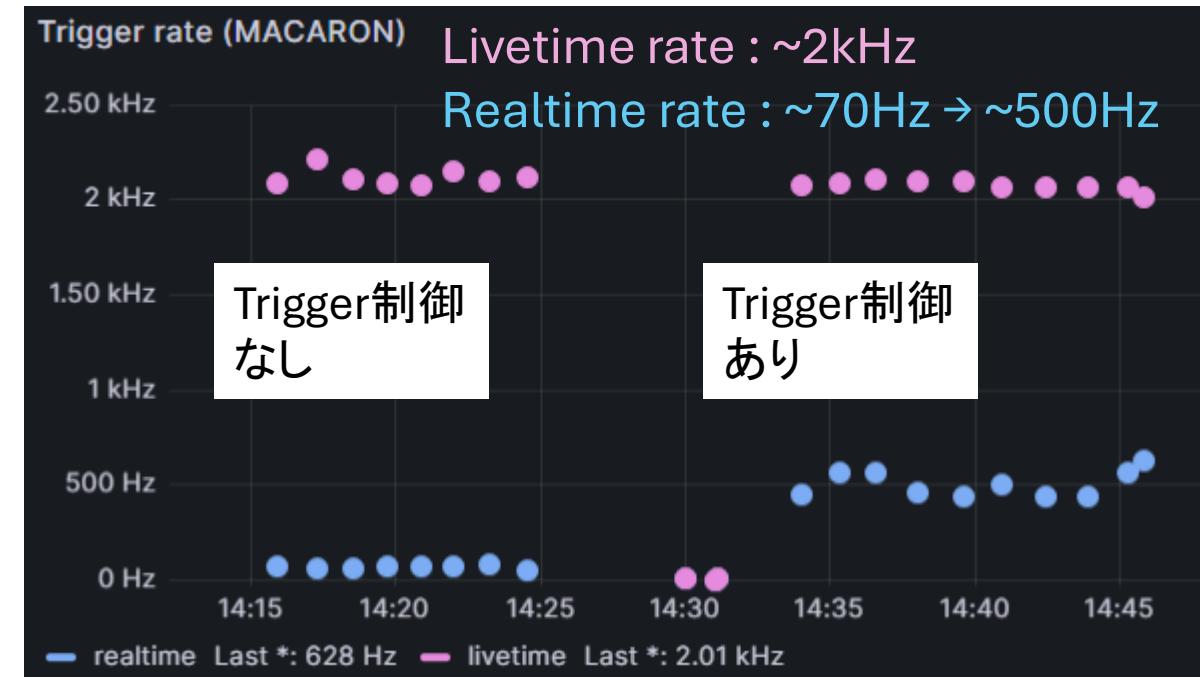
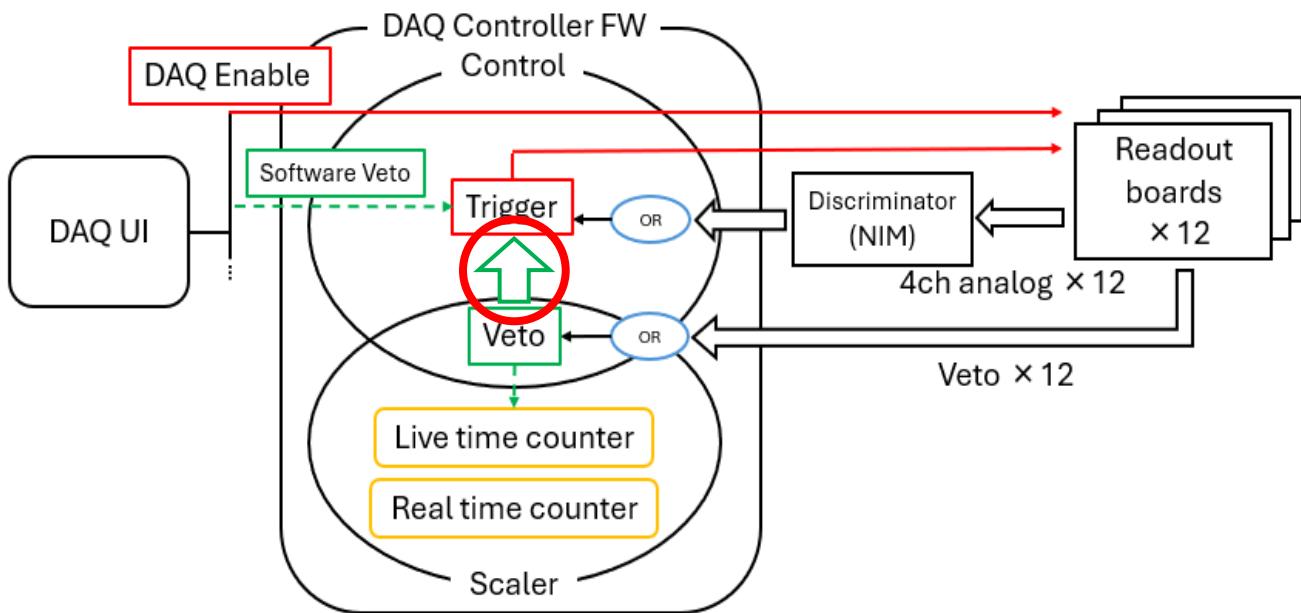
Dead time

- Dead time低減のため Controllerの見直しを実施
- ControllerFWに問題点
 - 読み出しボードからのVeto信号が立っていてもTrigger発行
 - hitありボード hitなしボードで発行するVetoの長さが異なる
→この差がdead timeとして現れる



Dead time

- VetoによるTrigger制御
 - Veto発行中はTriggerが発行されないように変更
- Dead timeの改善を確認



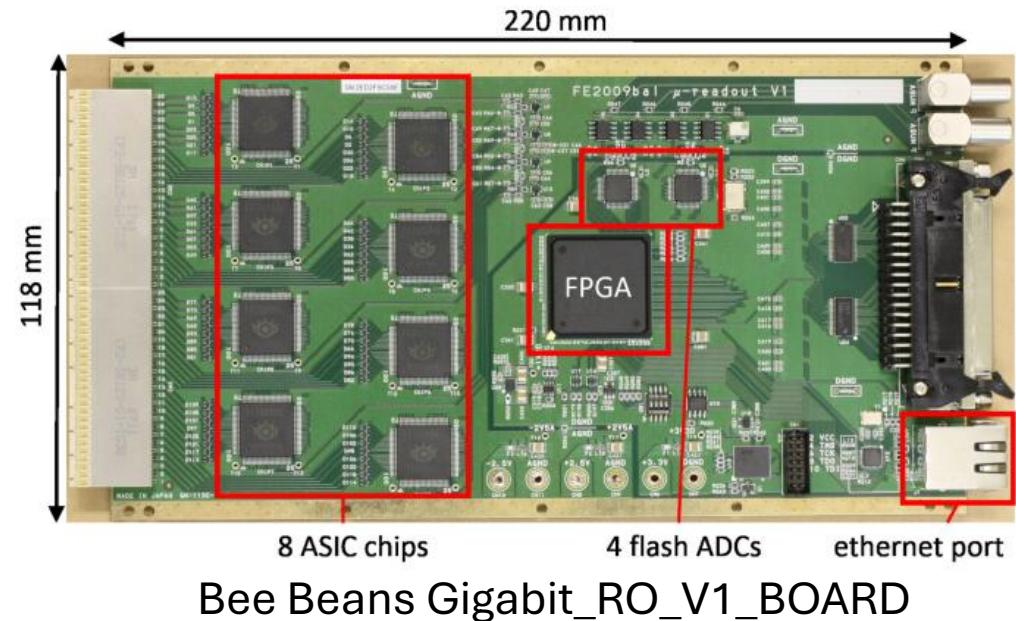
まとめ

- MIRACLUE実験において、新しいDAQシステムを開発
 - 対応ボード枚数の拡張、分散している機能の統合
 - DAQ Controller : SoC + Mezzanine Card
- 2025年11月のビームテストで実際に運用
 - 読み出しボード12枚体制でのデータの取得ができた
 - 解析を進めている

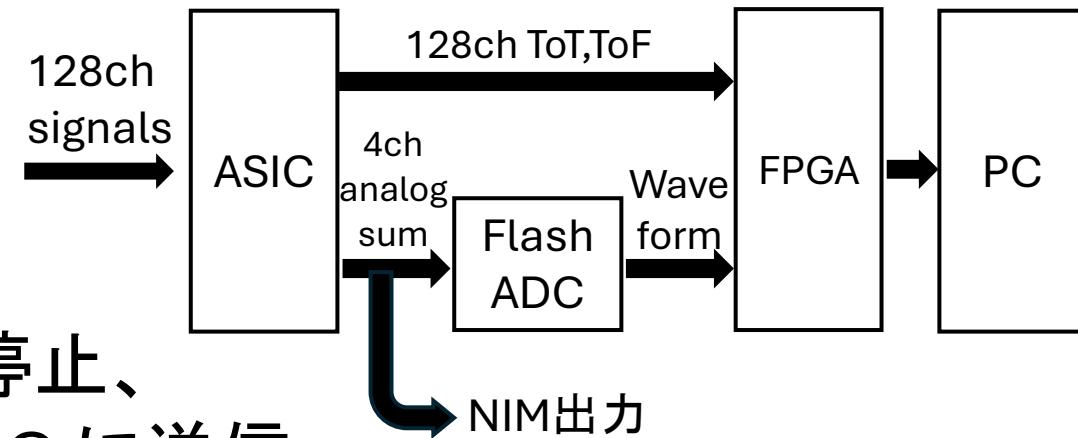
Back up

読み出しボード

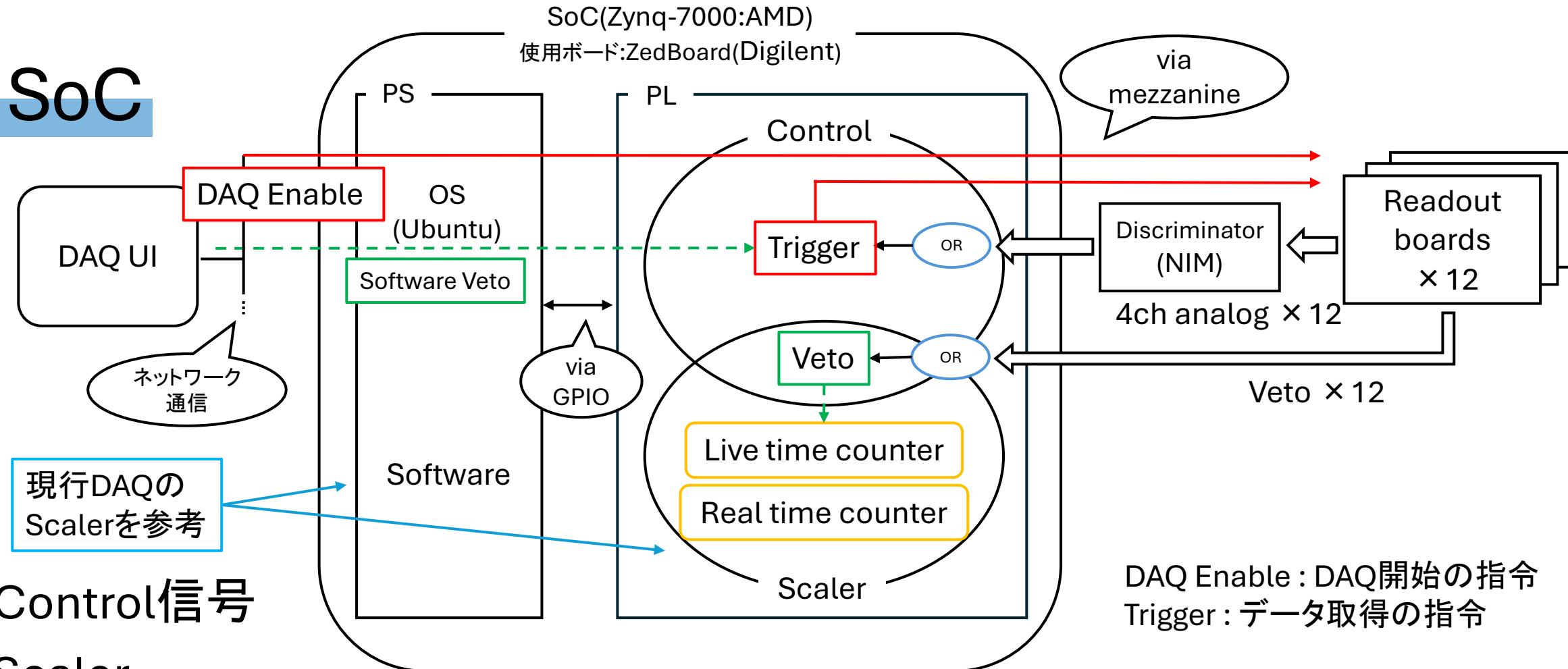
- 入力: 128ch Analog信号
- 出力: 128ch ToT (Time over Threshold)
ToF(Time of Flight)
4ch 波形情報
4ch NIM Analog波形
- Dead time : ~50us
 - Max 20kHz
- Trigger信号を受け取るとデータ取得を停止、
10.24 μ s 分遡って読み出したデータをPCに送信



Bee Beans Gigabit_RO_V1_BOARD



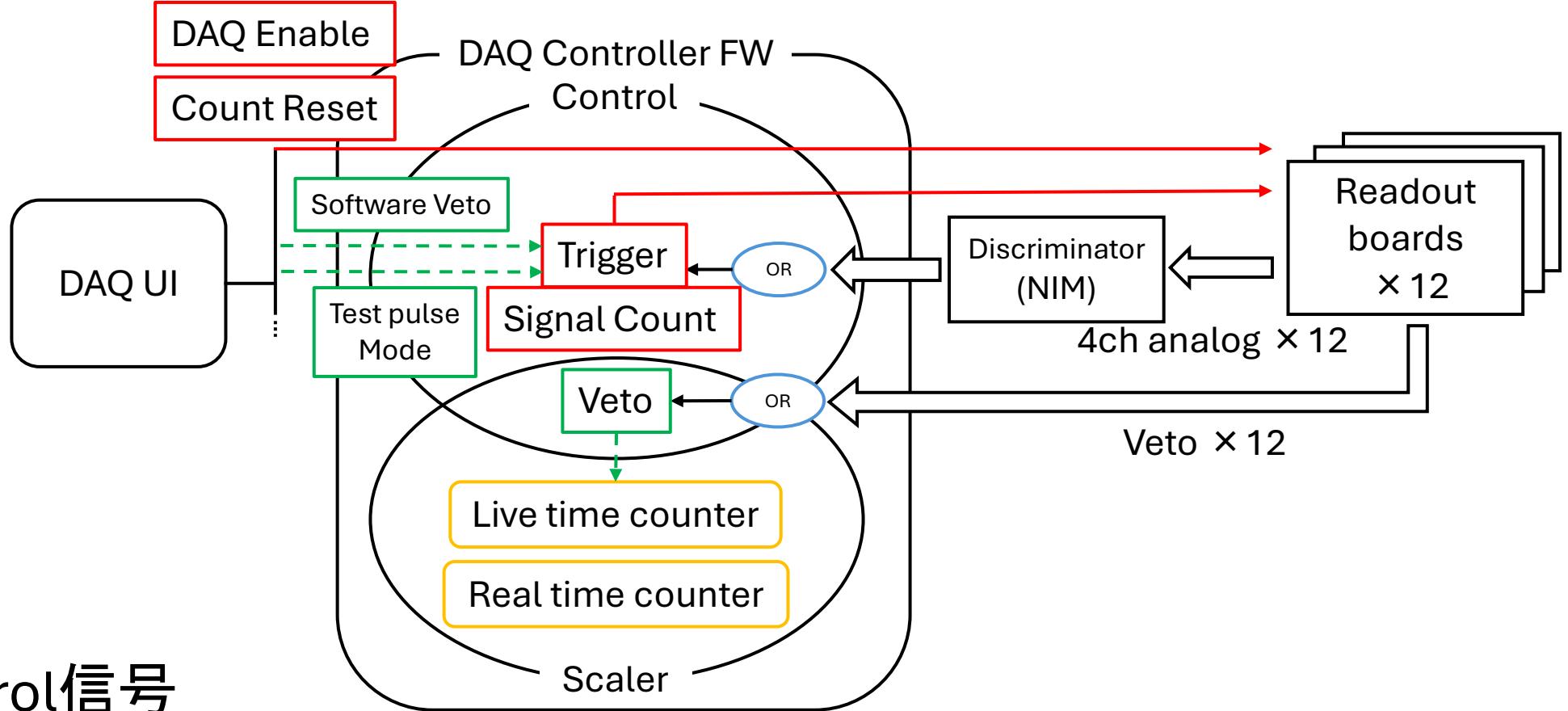
SoC



- Control信号
 - Scaler
 - Real time counter : DAQが動いている時間を測定
 - Live time counter : 実際にデータを受け付けていた時間を測定

DAQ Enable : DAQ開始の指令
Trigger : データ取得の指令

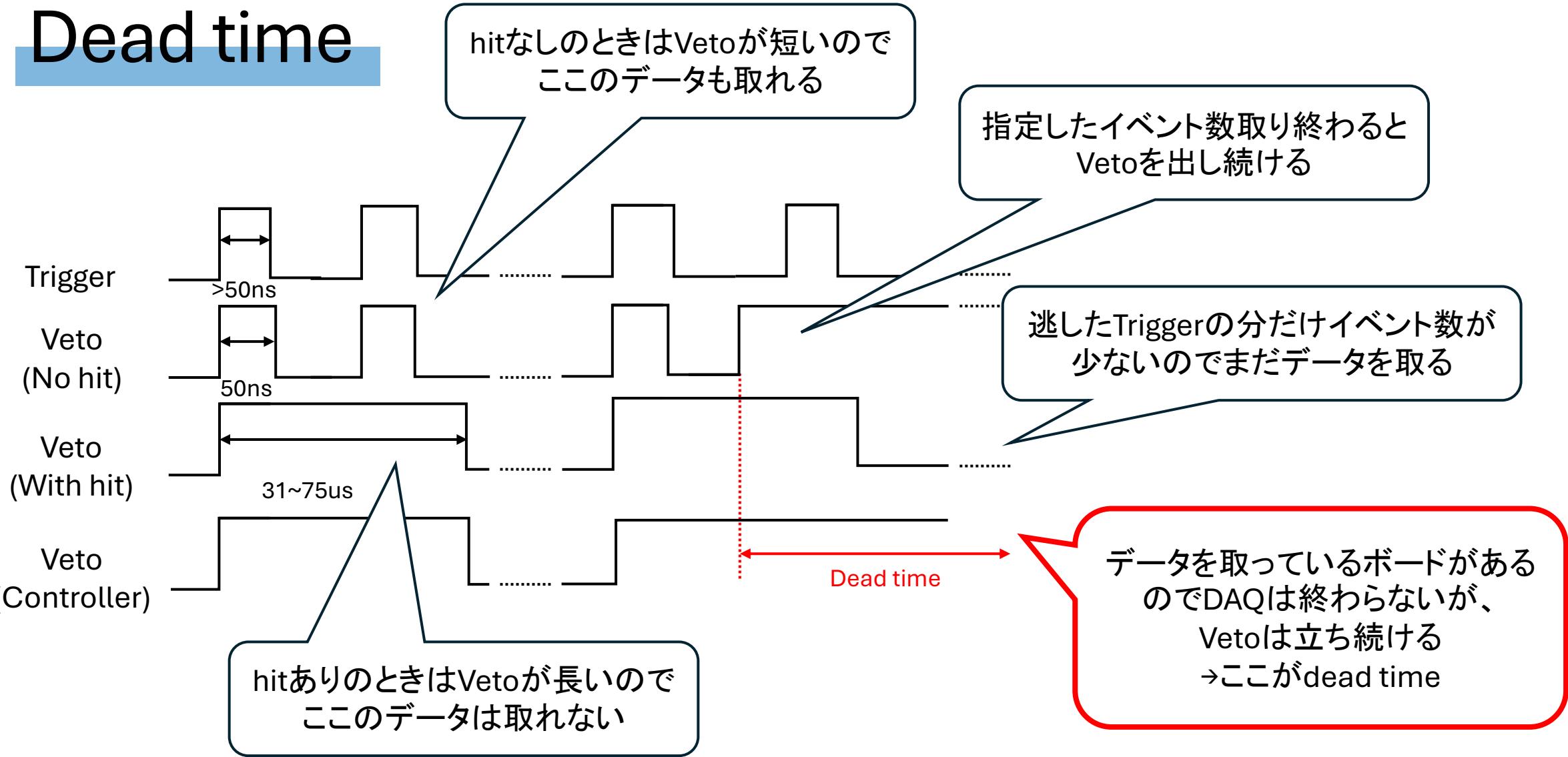
SoC



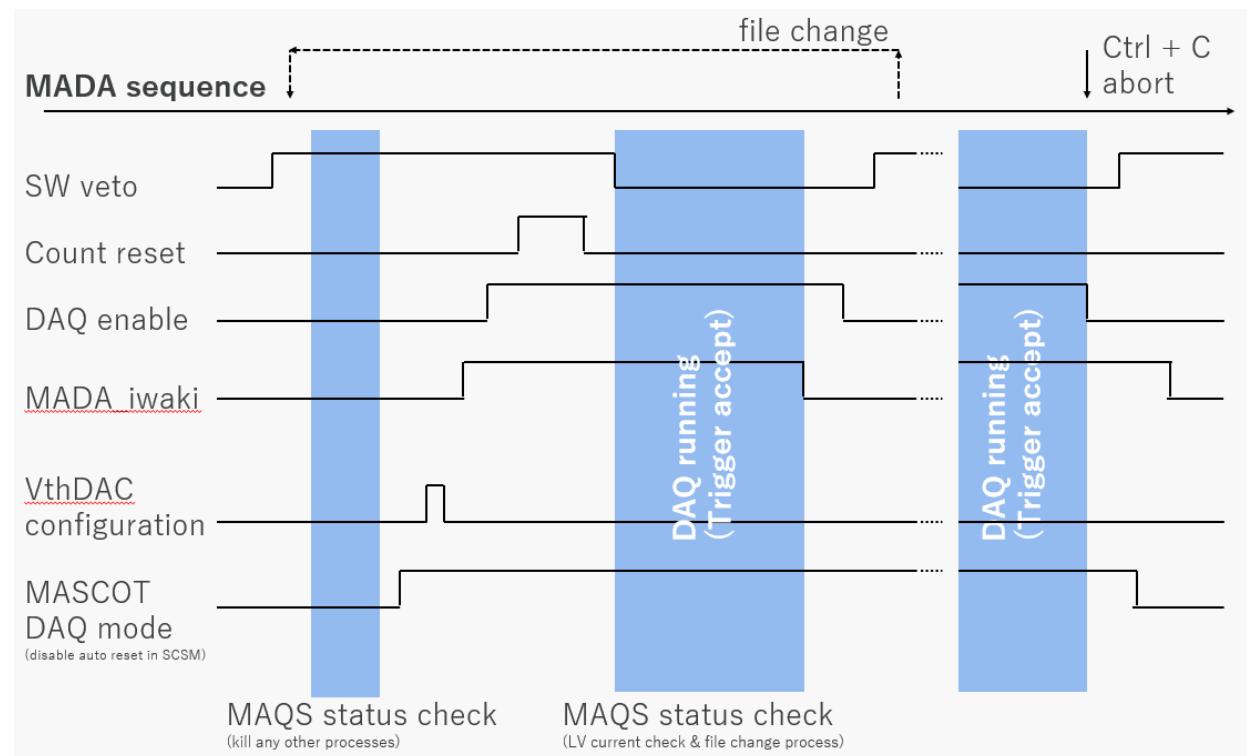
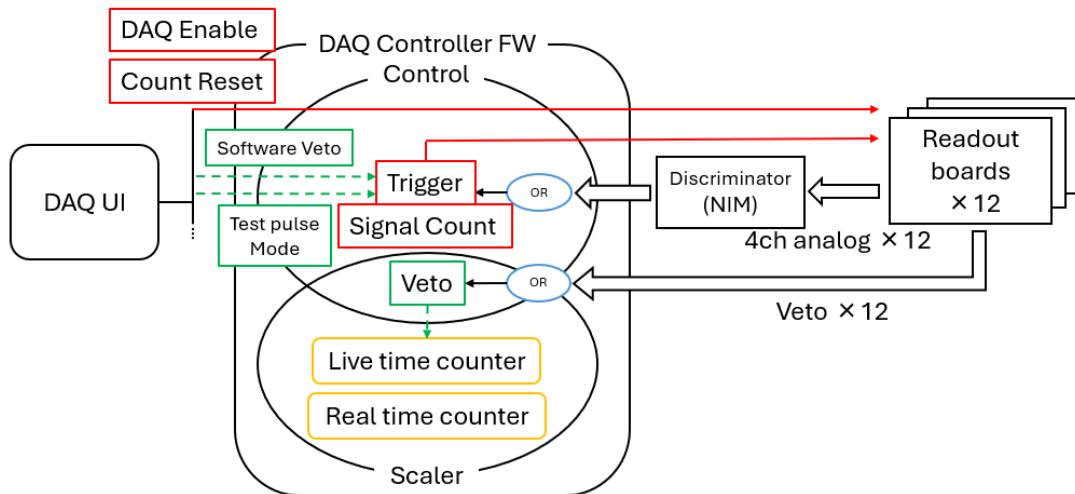
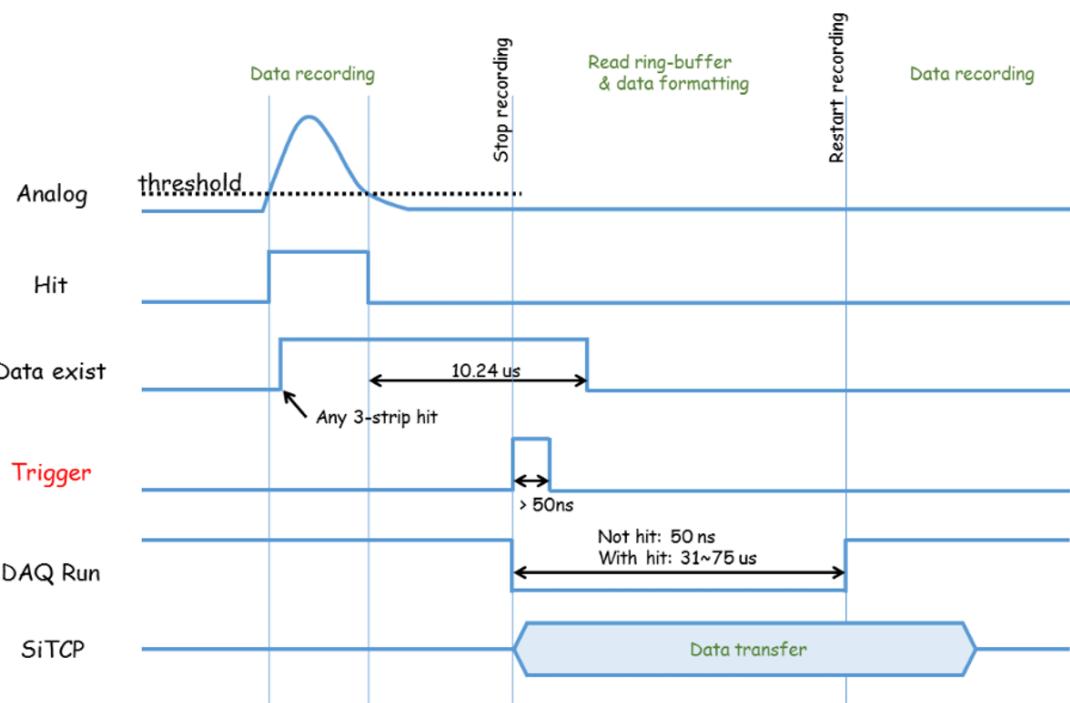
- Control信号

- DAQ Enable : DAQ開始の指令
- Trigger : データ取得の指令
- Signal Count : Trigger数をカウントする
- Counter Reset : ファイル切り替え時にTrigger数をリセットする

Dead time

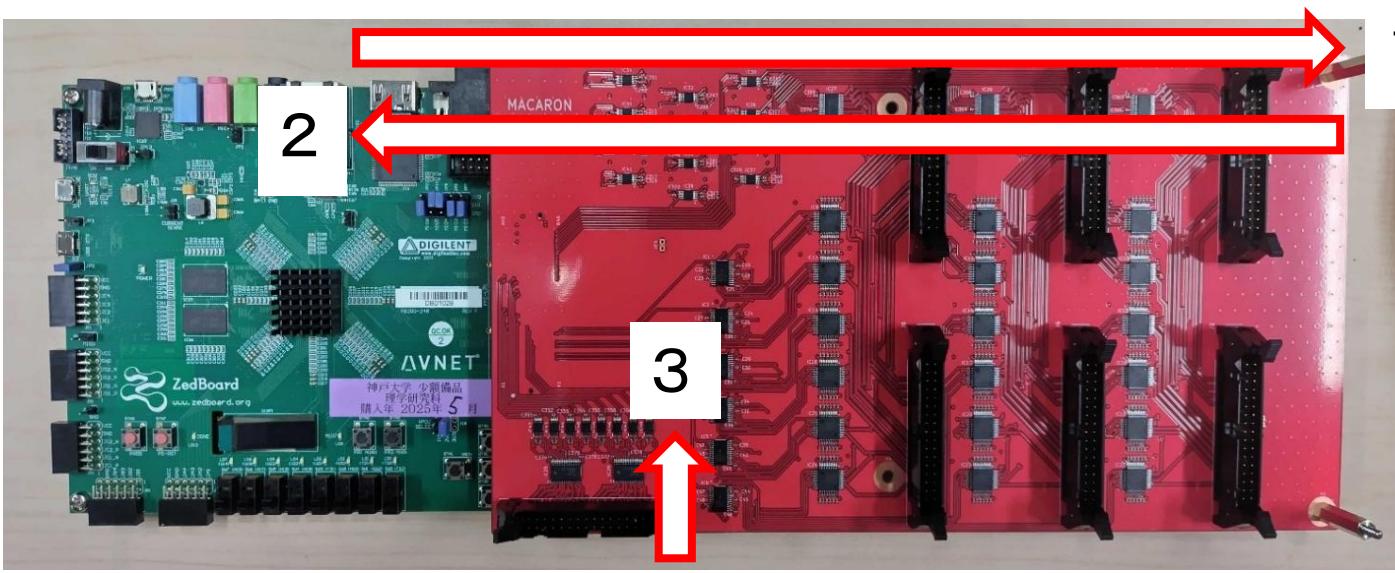


タイミングチャート



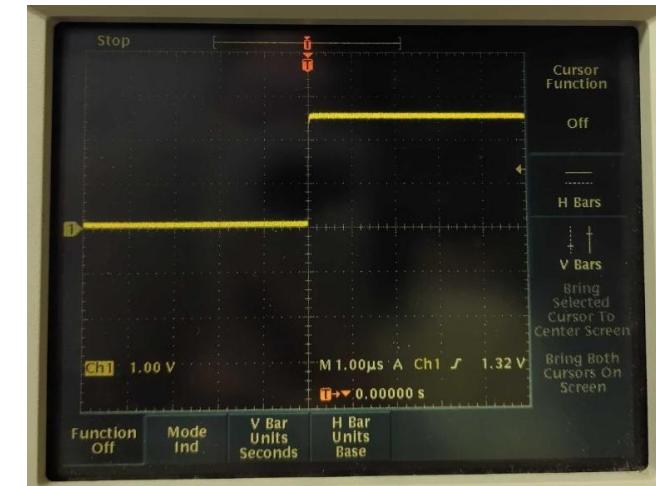
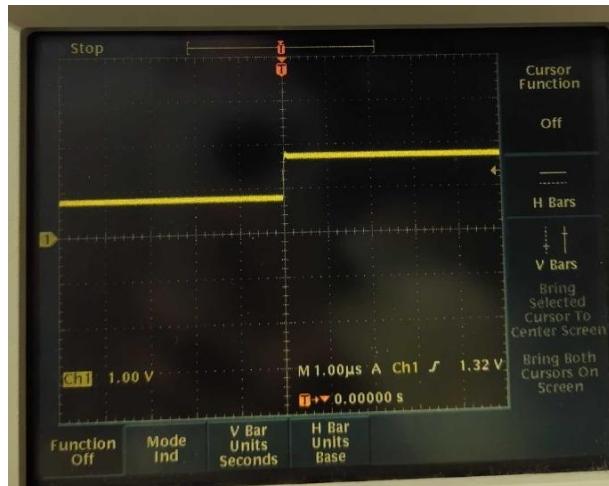
Mezzanine Card

- 動作確認
 - 手法
 - 1番: 1.5 kHzクロック信号を送信、コネクタで波形観測
 - 2,3番: LVDS信号入力、FMCコネクタで波形観測
 - 結果
 - 正常に動作することを確認
- Mezzanine→ZedBoard
入力確認



1.0V
1.0us

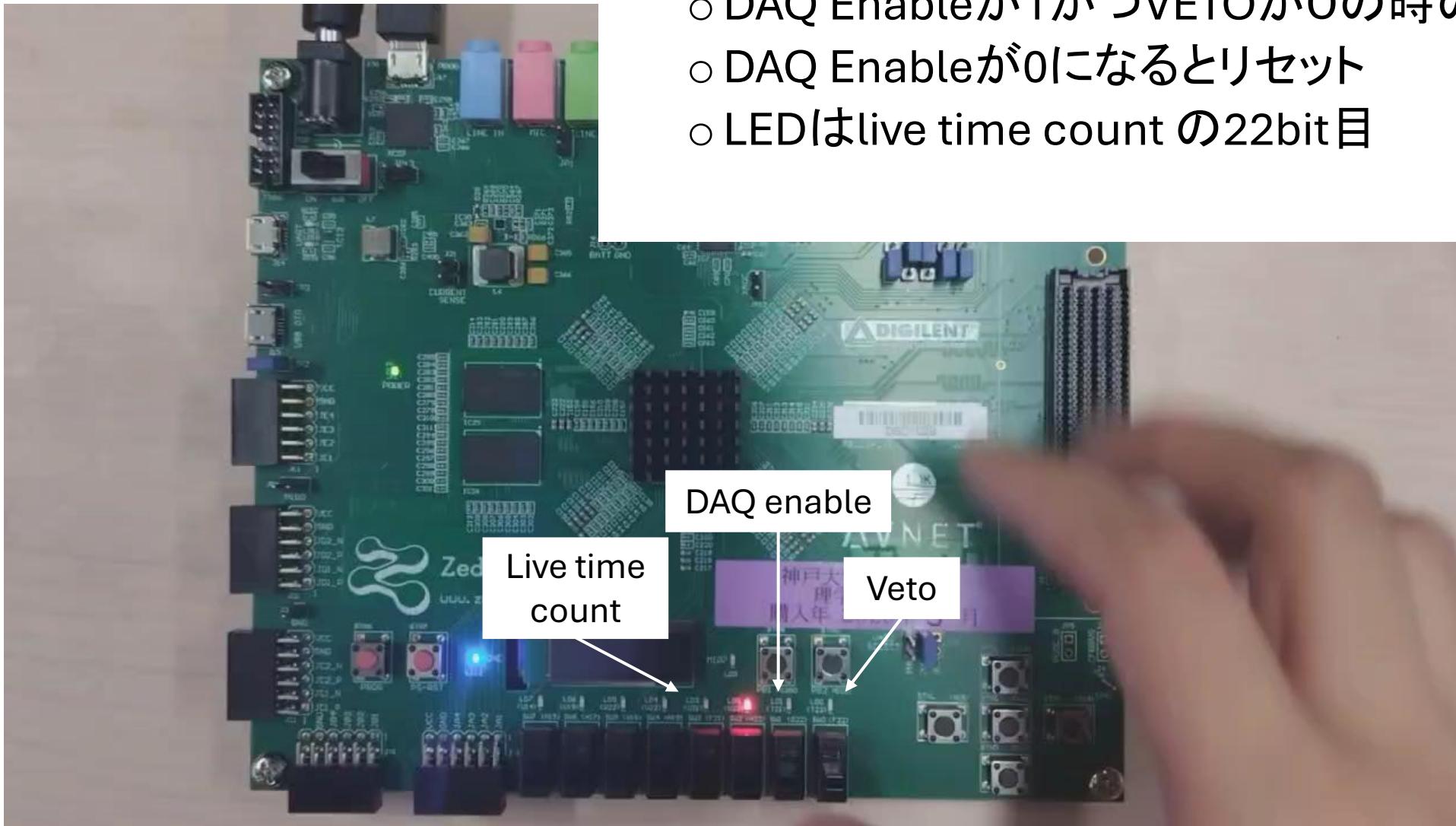
1番 (LVDS Positive)



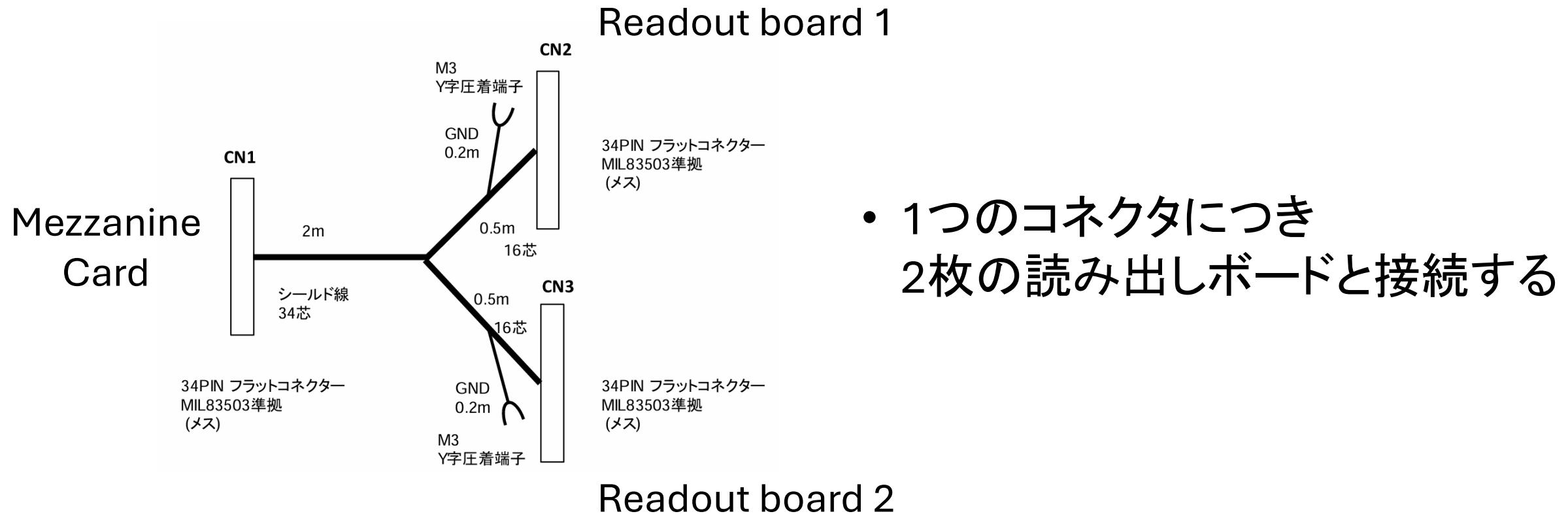
2,3番 (2.5V CMOS)

SoC

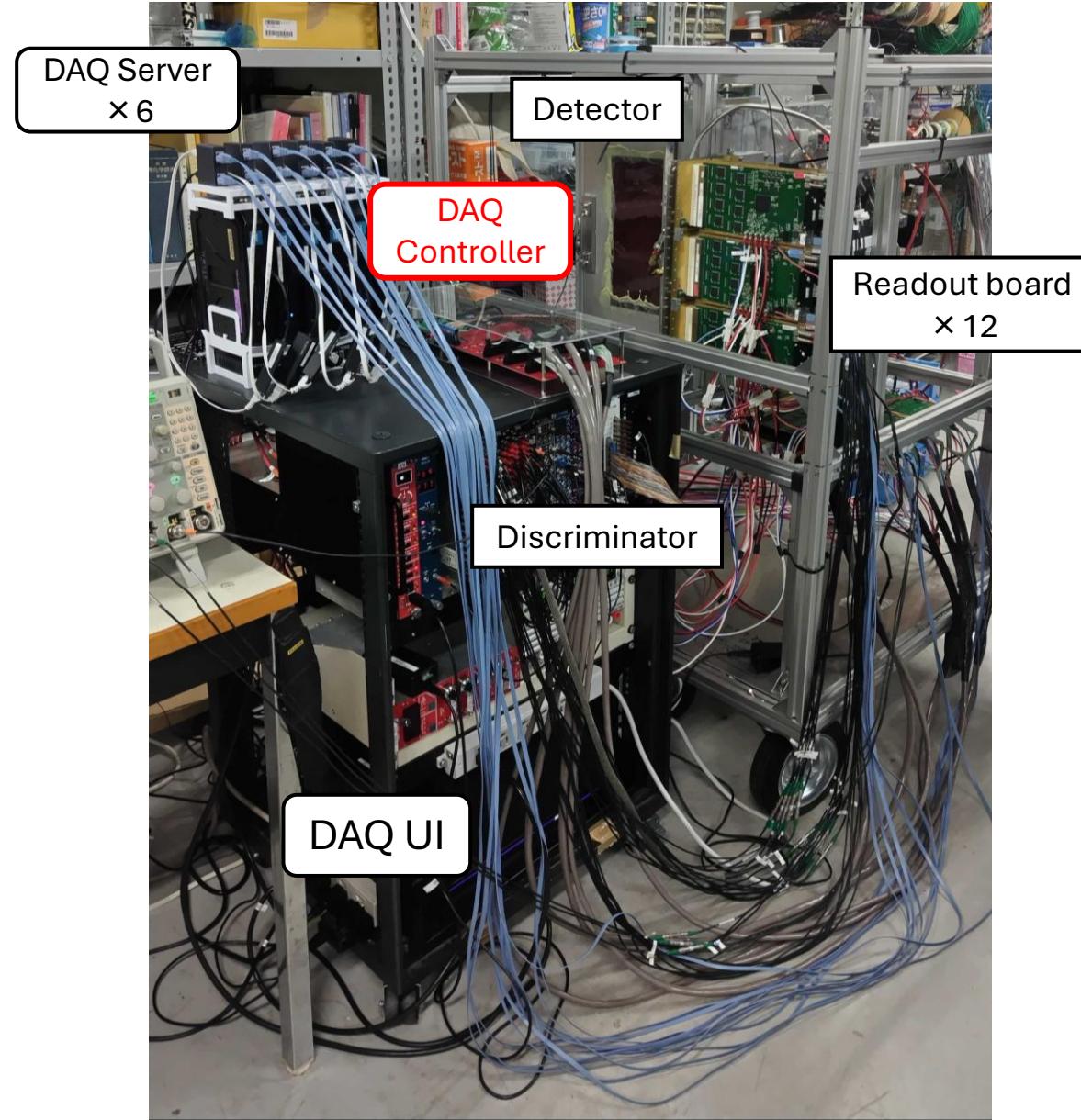
- Scalerでのlive timeカウント
 - DAQ Enableが1かつVETOが0の時のみカウント
 - DAQ Enableが0になるとリセット
 - LEDはlive time count の22bit目



Mezzanine Card-Readout board cable



セットアップ



ビームテスト@産総研

- トリガーレート等をリアルタイムでモニター

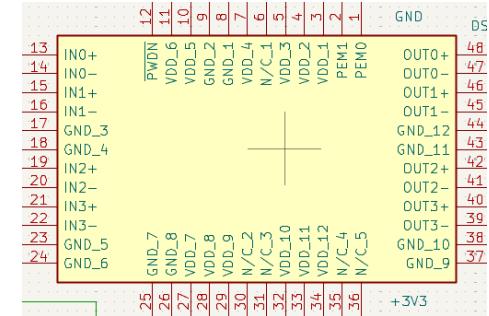


Mezzanine Card

- 使用IC

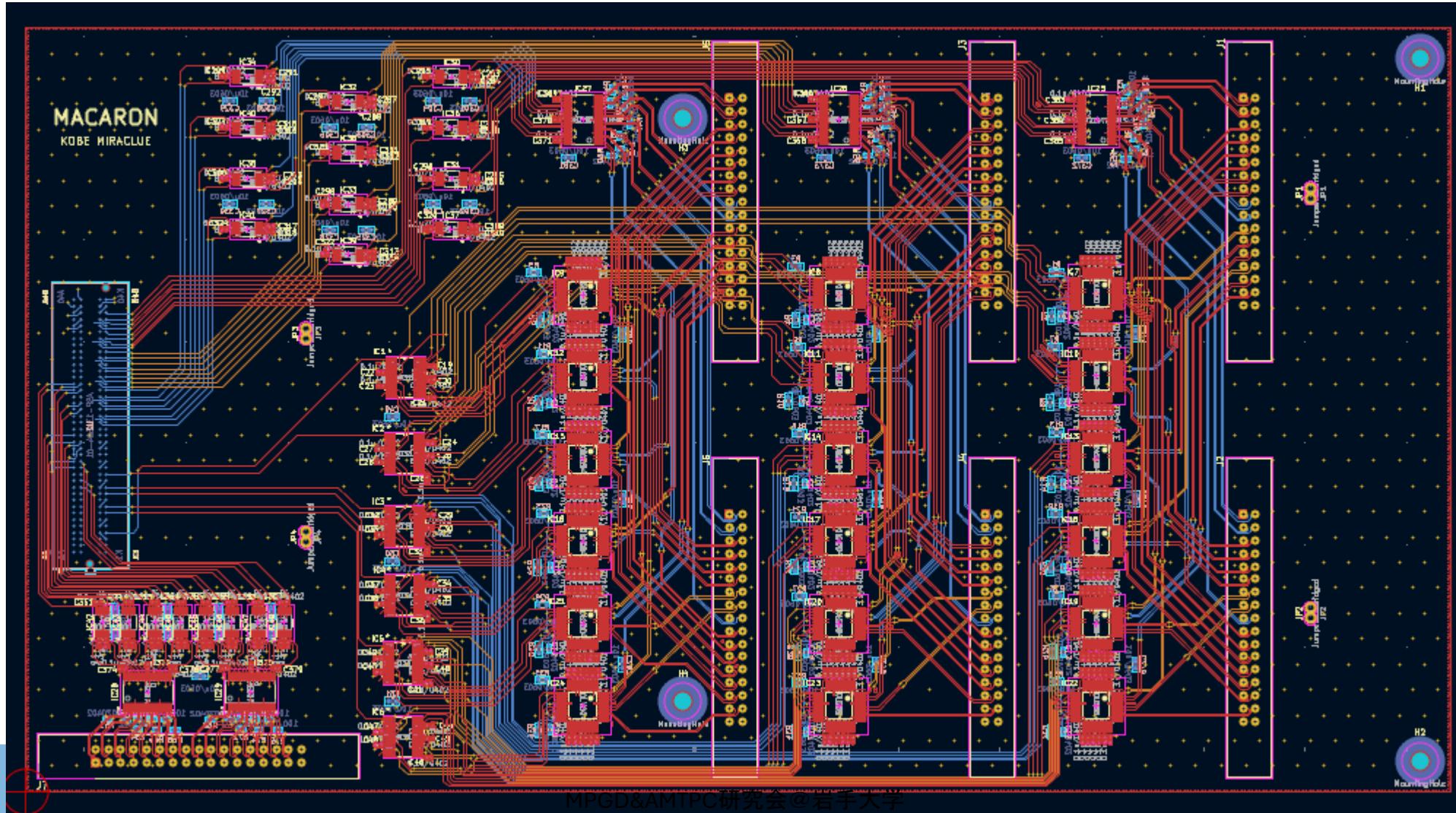
- 分配器: CDCLVC1112PW (Texas Instruments)
 - Turn-on time : ~100fs
 - Supply current : ~10mA
 - Vdd : 2.5V
- Single-ended to LVDS: DS90LV004TVS (Texas Instruments)
 - Turn-on time : ~0.3ns
 - Supply current : ~140mA
 - Vdd : 3.3V
- LVDS to single-ended: SN65LVDT388ADBT (Texas Instruments)
 - Turn-on time : ~5ns
 - Supply current : ~40mA
 - Vdd : 3.3V
- レベルシフト: TS5A623157DGSR (Texas Instruments)
 - Turn-on time : ~4ns
 - Supply current : ~0.75uA

CDCLVC1112PW	
1	CLKIN
2	Y1
3	1G
4	Y3
5	VDD_5
6	GND_1
7	VDD_1
8	Y4
9	Y5
10	GND_2
11	VDD_2
12	Y6
13	Y7
14	GND_3
15	VDD_3
16	Y8
17	GND_4
18	Y9
19	GND_5
20	Y10
21	VDD_4
22	Y11
23	Y1
24	VDD_2



SN65LVDT388ADBT	
1	A1A
2	A1B
3	A2A
4	AGND_1
5	B1A
6	B1B
7	B2A
8	B2B
9	AGND_2
10	C1A
11	C1B
12	C2A
13	C2B
14	AGND_3
15	D1A
16	D1B
17	D2A
18	D2B
19	COM1
20	COM2
21	EN
22	VCC_1
23	GND_1
24	END
25	ENC
26	C2Y
27	C1Y
28	DGND_1
29	DVCC
30	DGND_2
31	B2Y
32	B1Y
33	B2A
34	A2Y
35	A1Y
36	ENB
37	VCC_2
38	GND_2

Mezzanine Card



Scaler logic

- Vivado(AMD)で作成
- Scaler_0の中にcounter binaryを入れている
 - Real time counter
 - Live time counter
- スイッチとLEDで動作確認可能
 - DAQ ENABLE, VetoをスイッチのON/OFFで入力
 - Live time counterの動きをLEDに出力

