



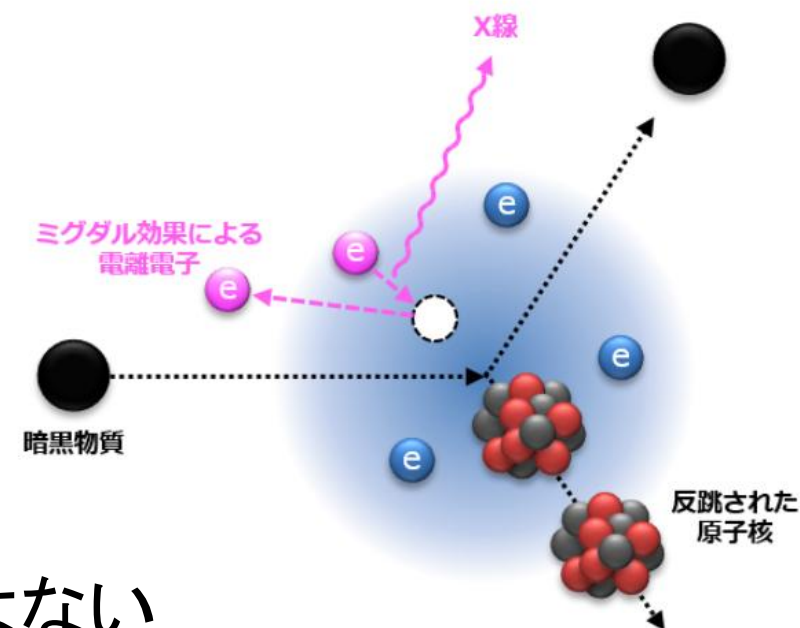
# MIRACLUE実験における 統合DAQシステムの開発

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
  - **MIRACLUE実験**で初観測を目指す



Migdal効果 模式図

# MIRACLUE実験

Direction Sensitive  
WIMP-search  
**NEWAGE**

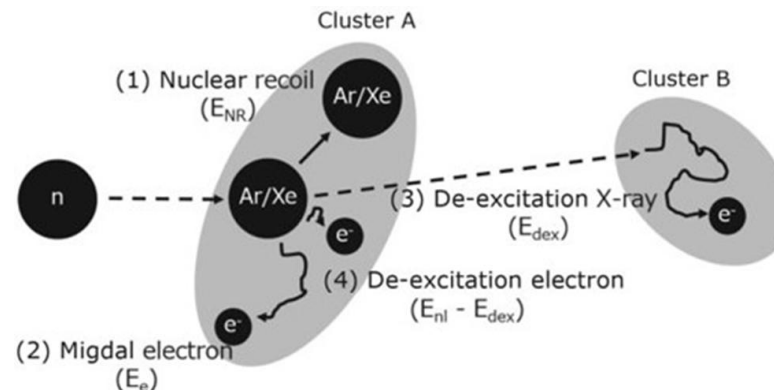
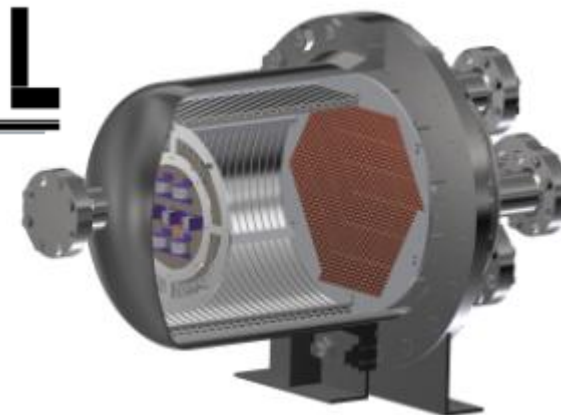
@神戸大



- 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

**AXEL**

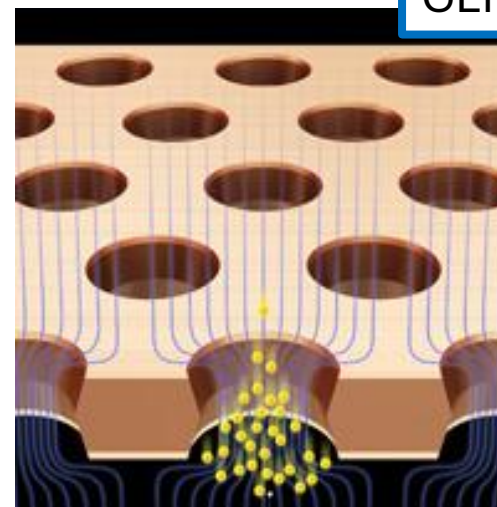
@東北大



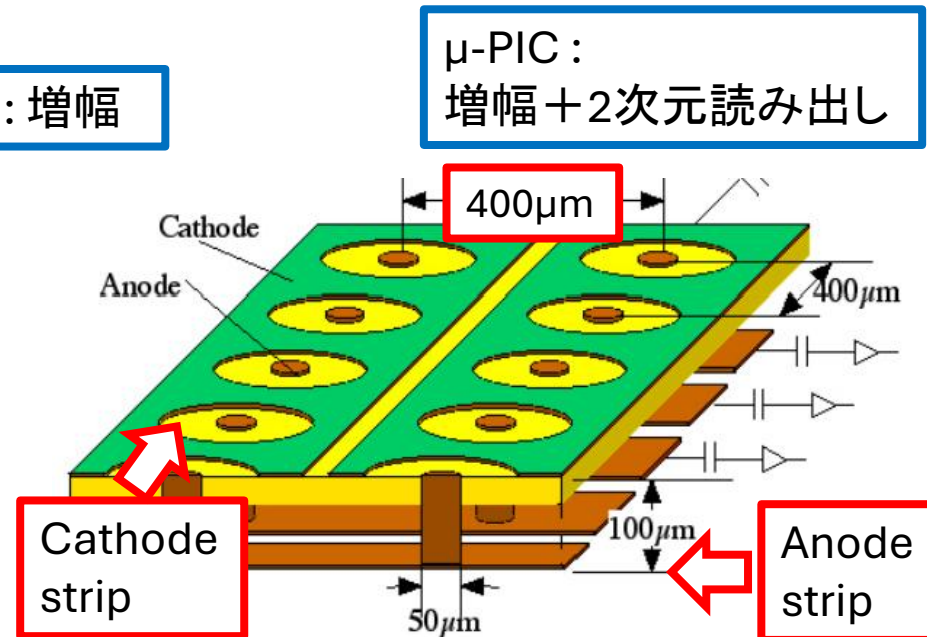
# ArガスTPC

- **GEM +  $\mu$ -PIC**
  - 増幅 + 2次元読み出し
  - NEWAGEで使われている技術
- $\mu$ -PIC
  - 400 $\mu$ m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 : 増幅



$\mu$ -PIC :  
増幅 + 2次元読み出し

Cathode  
strip

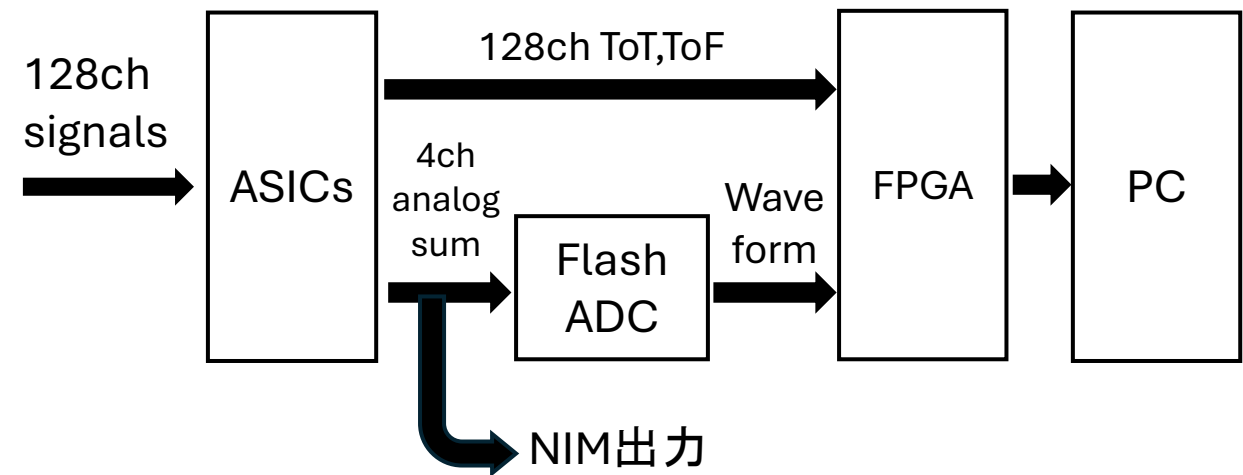
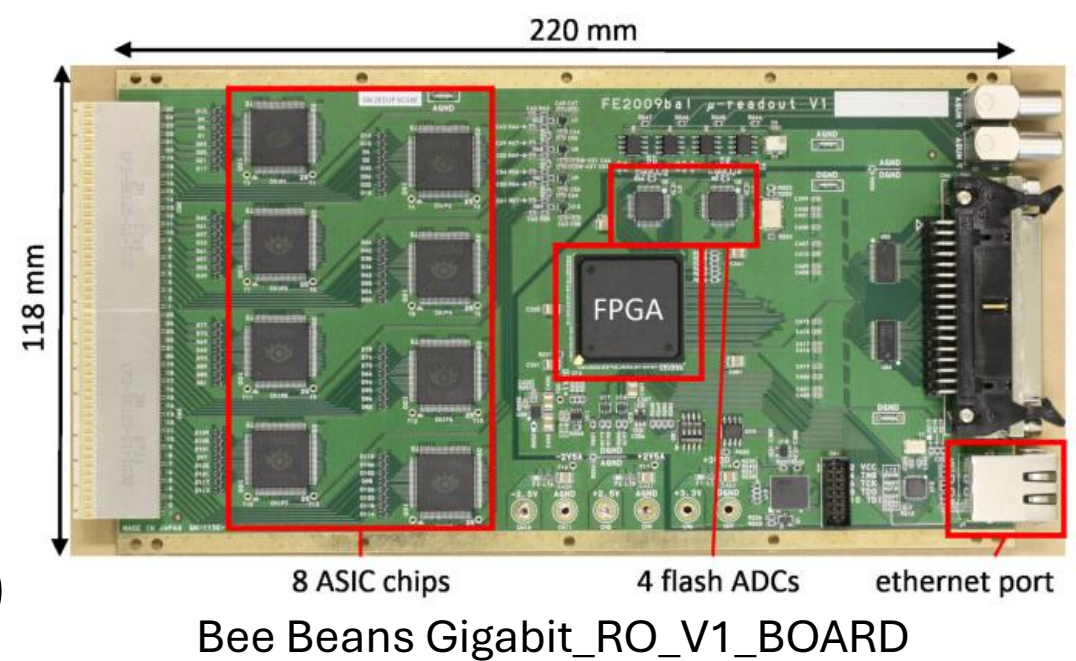
Anode  
strip

# 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







# 本研究の目的

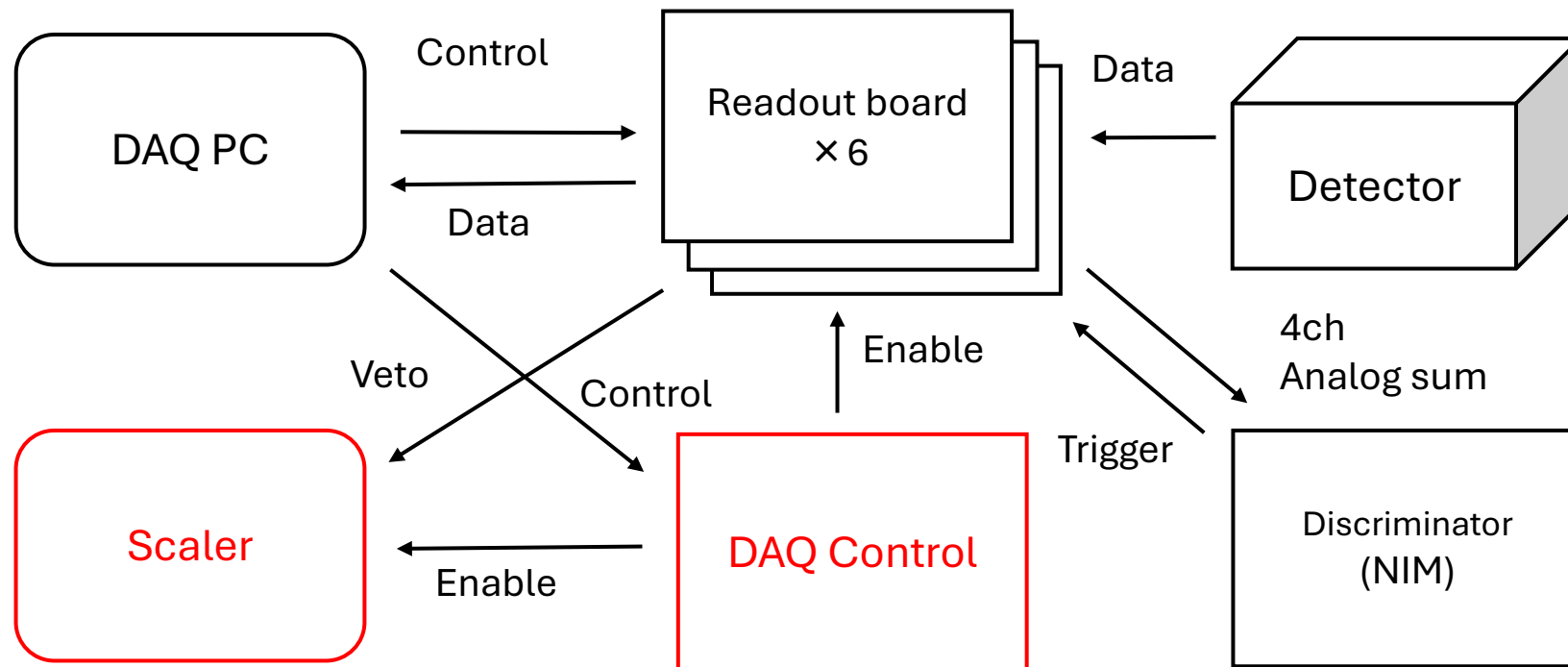
検出器のピッチ変更に対応できるDAQシステム開発

- 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 $\rightarrow$ 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

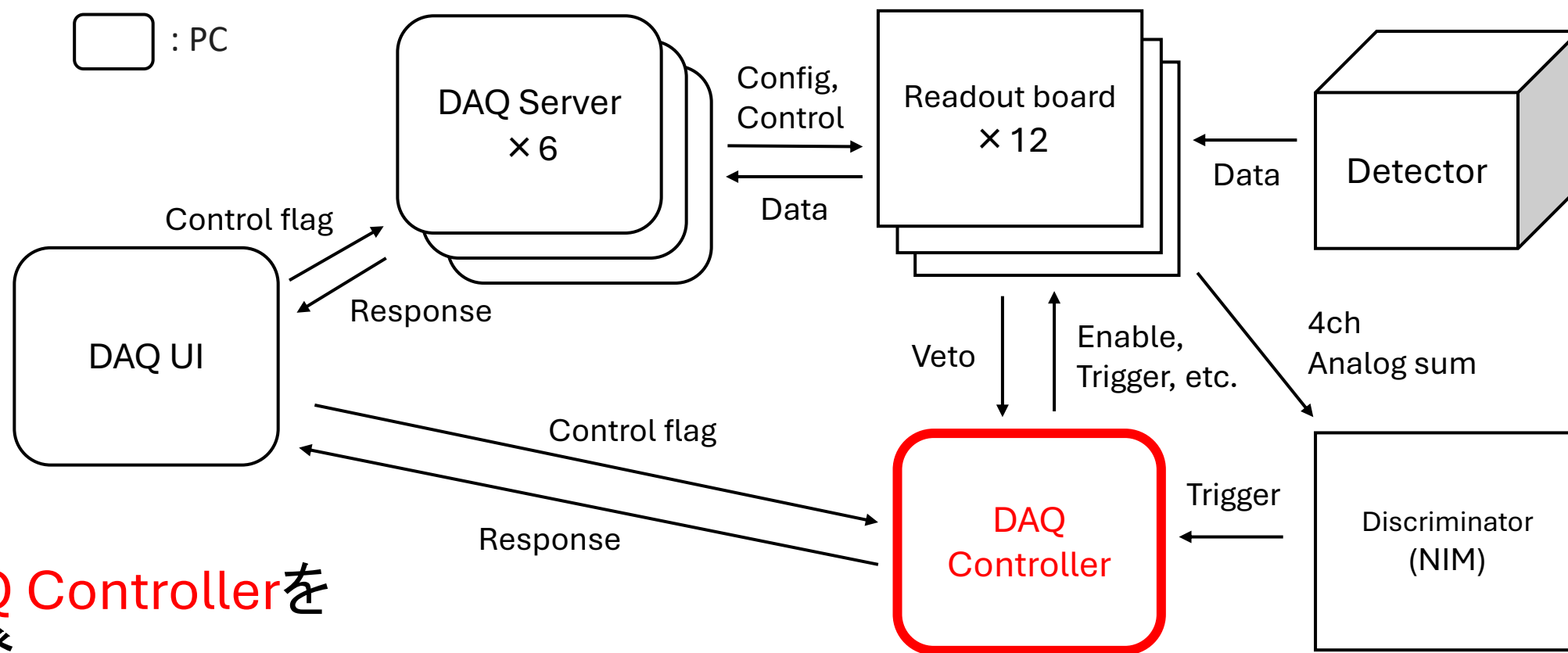


# 新DAQシステム

- 12枚の読み出しボードに対応
- 機能を統合

Legend  : readout electronics

 : PC

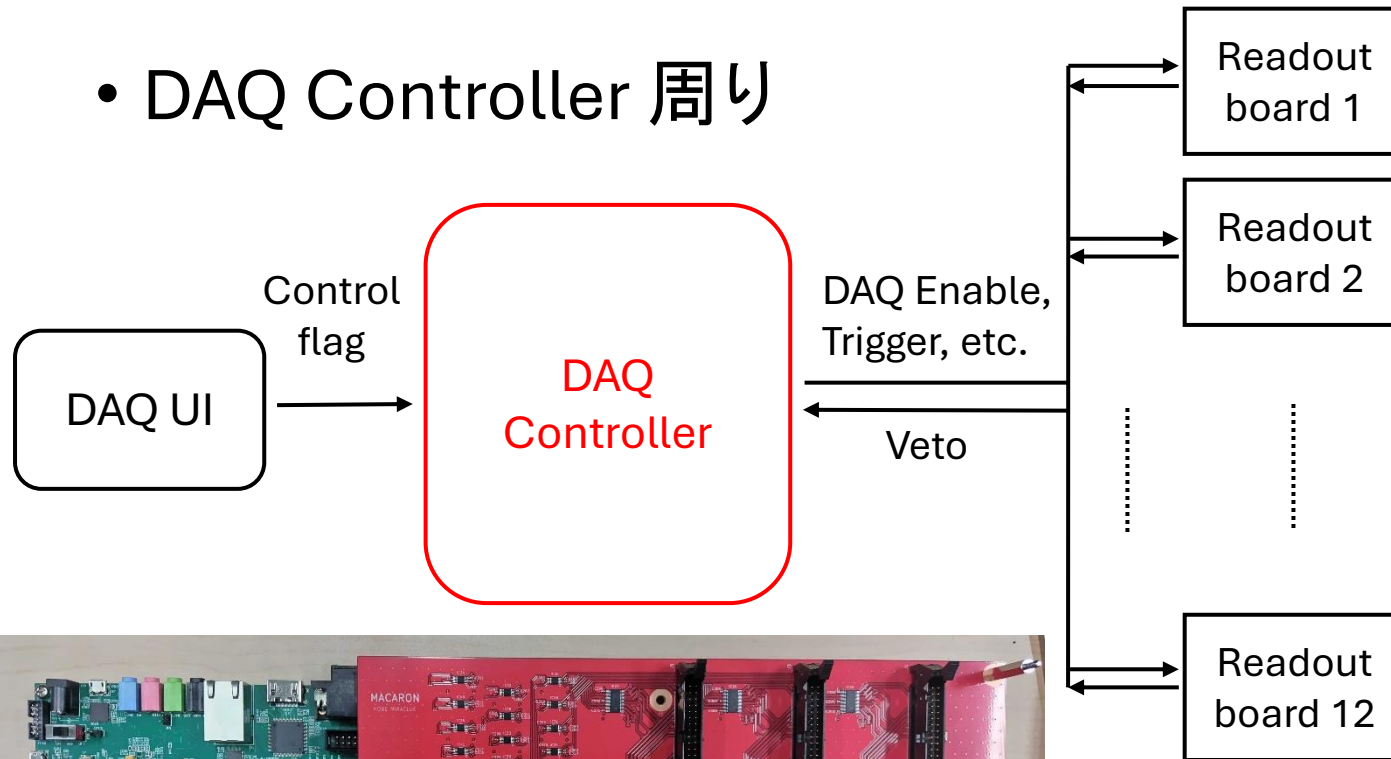


DAQ Controllerを  
開発



# 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

ZedBoard  
(SoC)

Single-ended

Discriminator



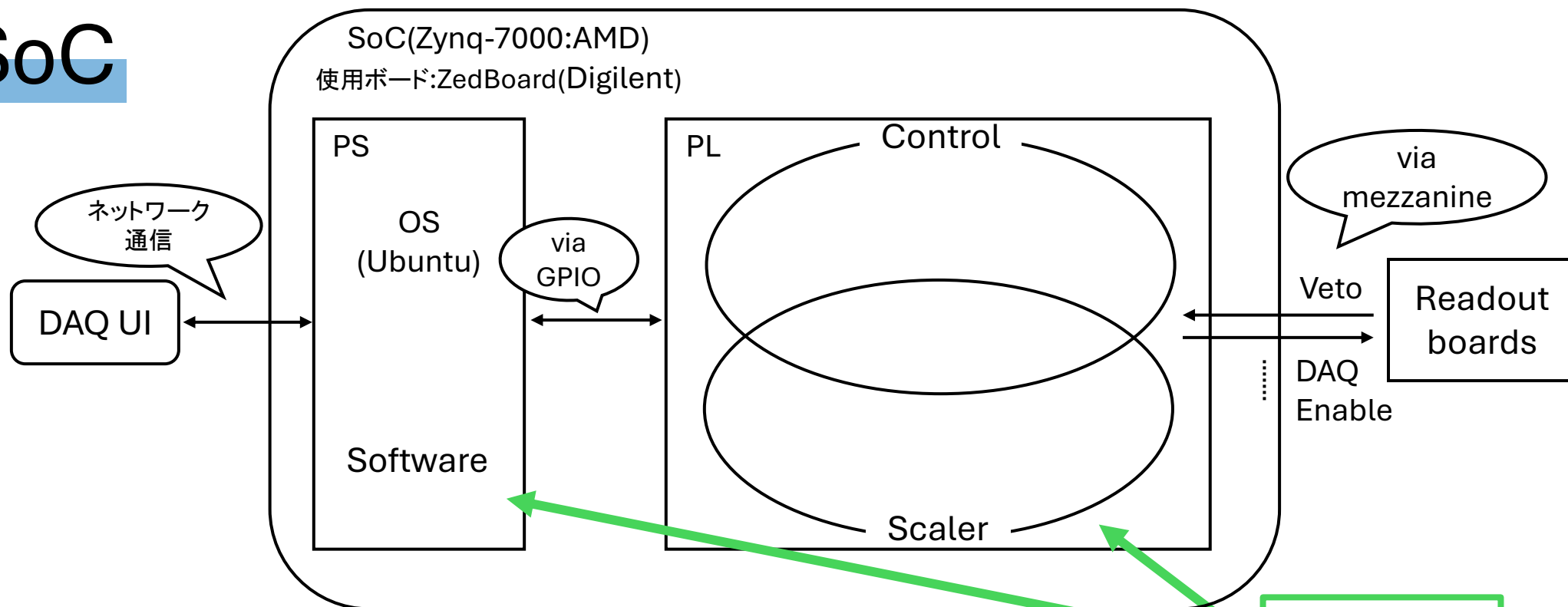
Readout  
boards

LVDS

- 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

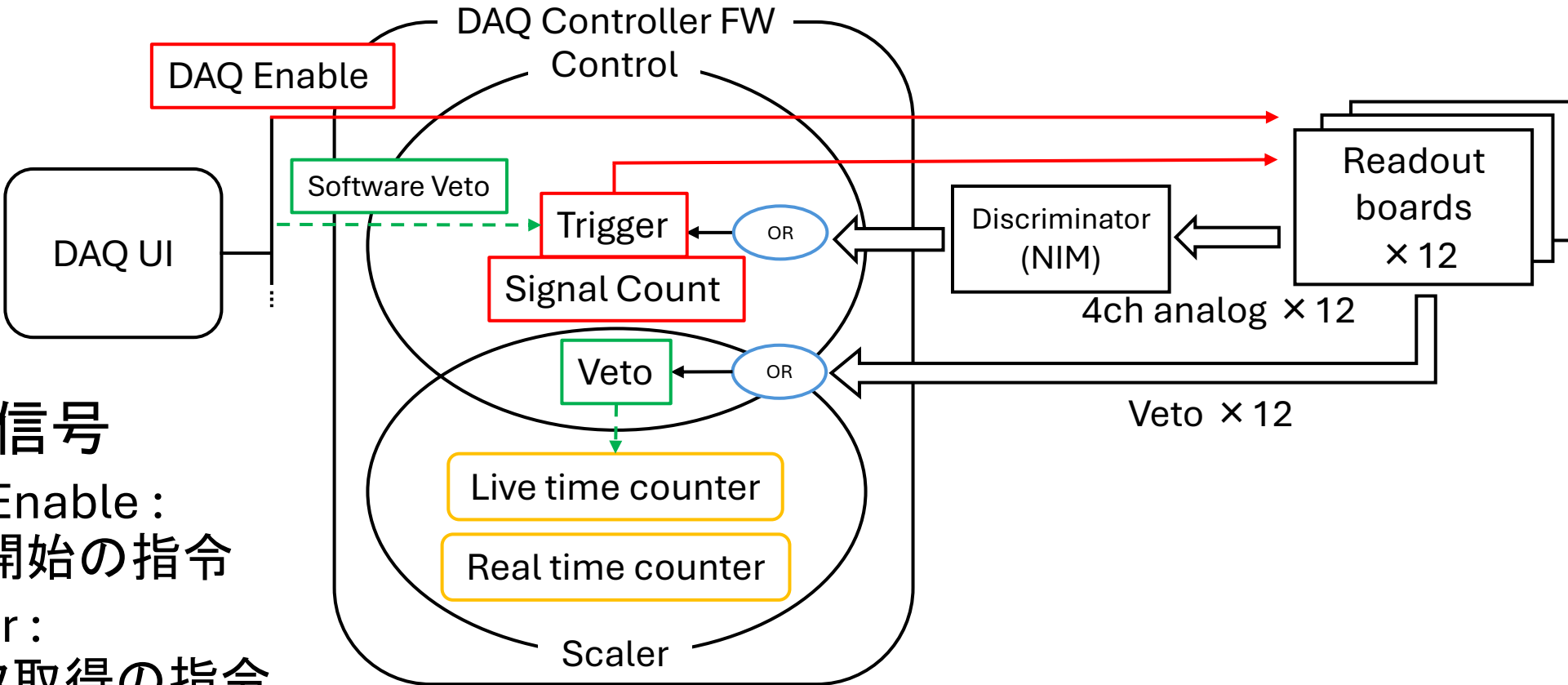
Kicadでデザインし  
P板.comで製造・実装

# 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



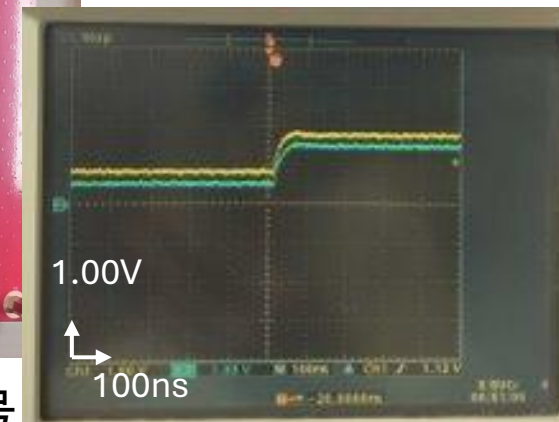
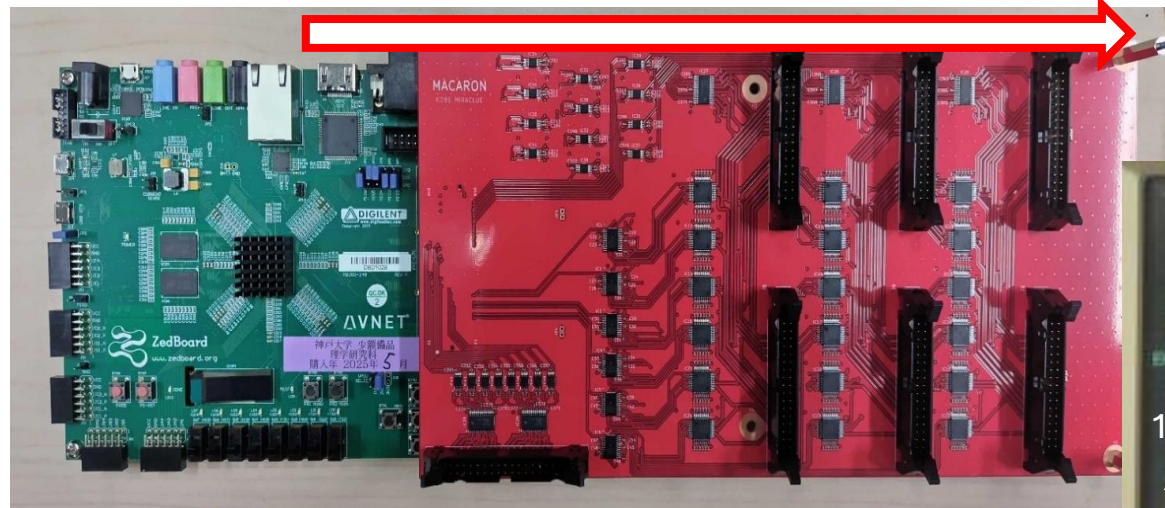
- Control信号

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

- Scaler

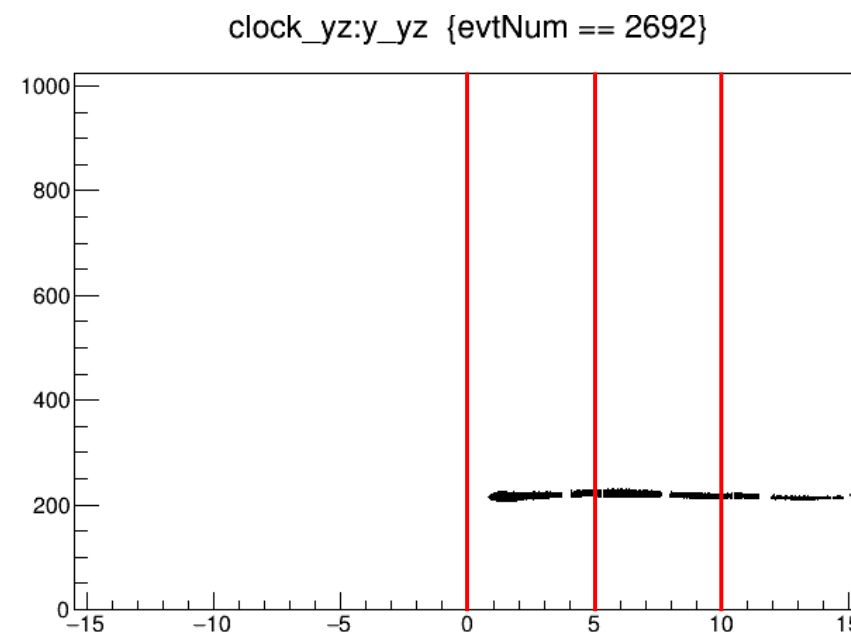
- Real time counter : DAQが動いている時間を測定
- Live time counter : 実際にデータを受け付けていた時間を測定
- 10kHz clock, 32bit

# 動作チェック



別コネクタの同じ信号

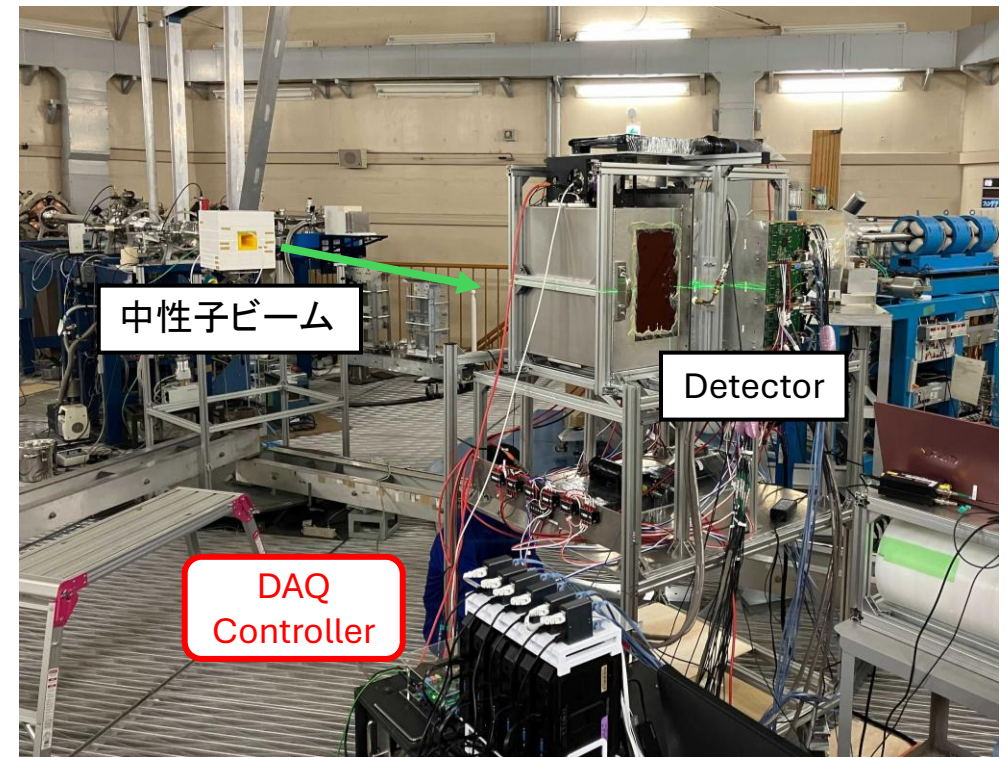
- Controllerのみでチェック
  - Mezzanine : 信号の分配とその同時性
  - Scaler : スイッチ操作で動作確認
- 検出器と統合してチェック
  - 実際にDAQを動かしてデータを取る
  - ボードが正しく連動していることを確認





# 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

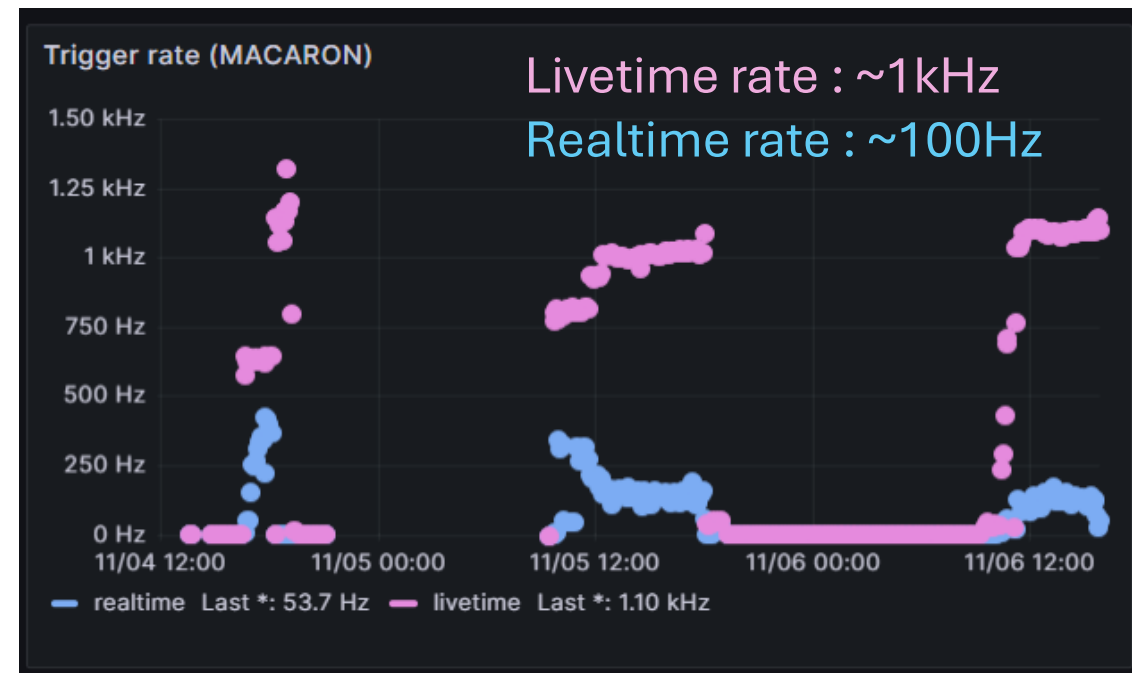
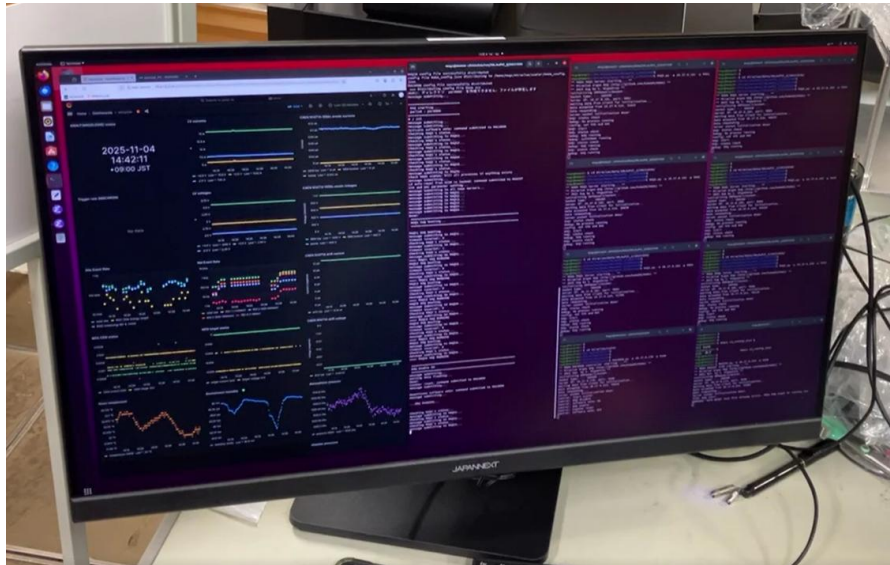




# ビームテスト @産総研

- 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

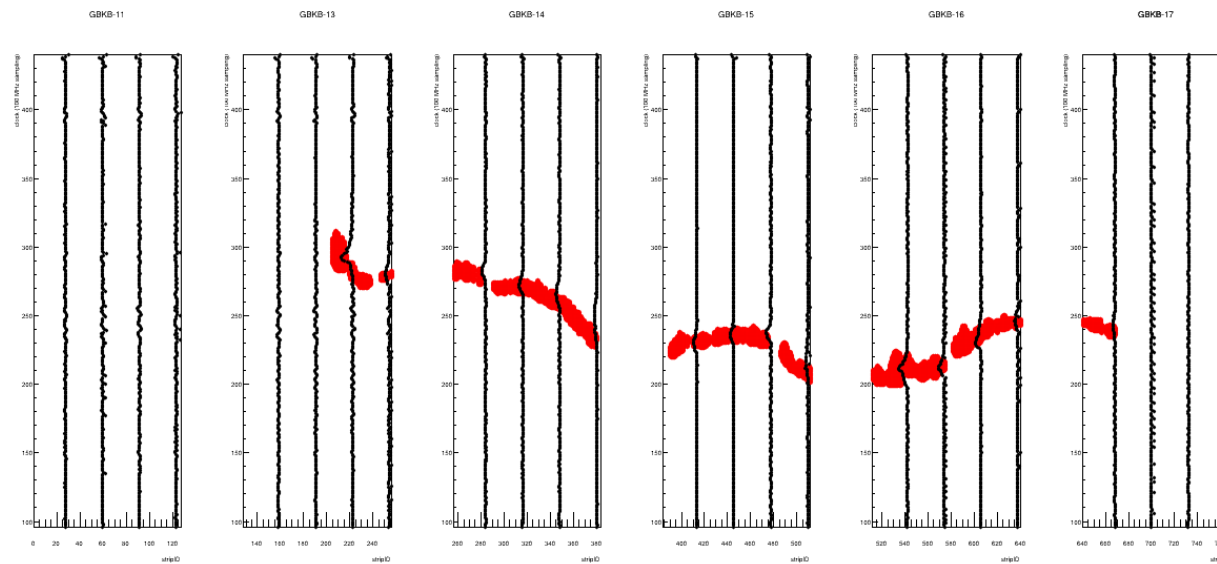
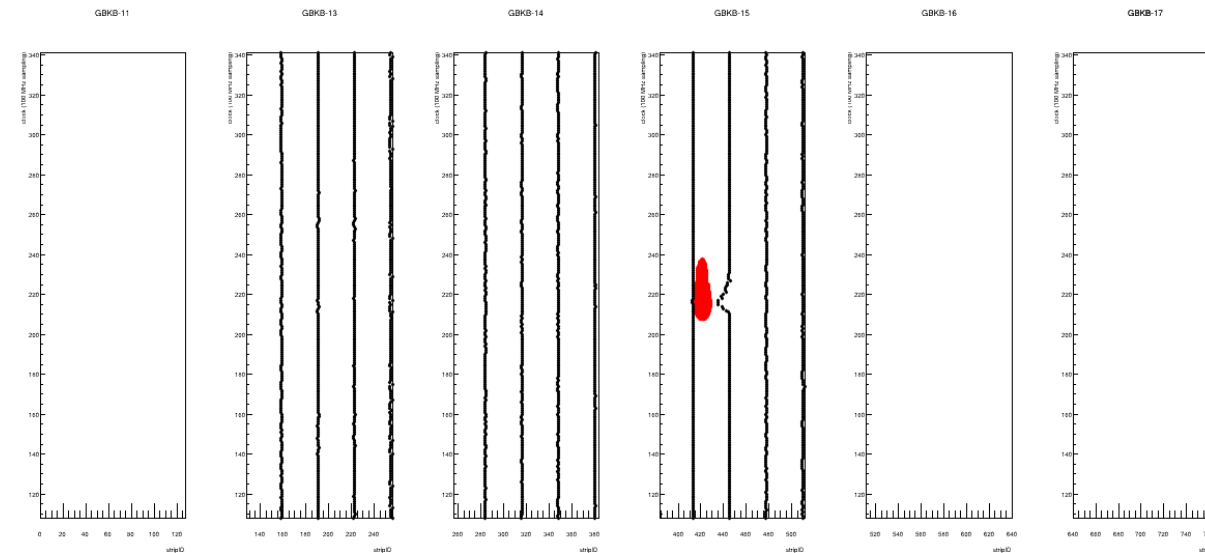
原子核反跳

- 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

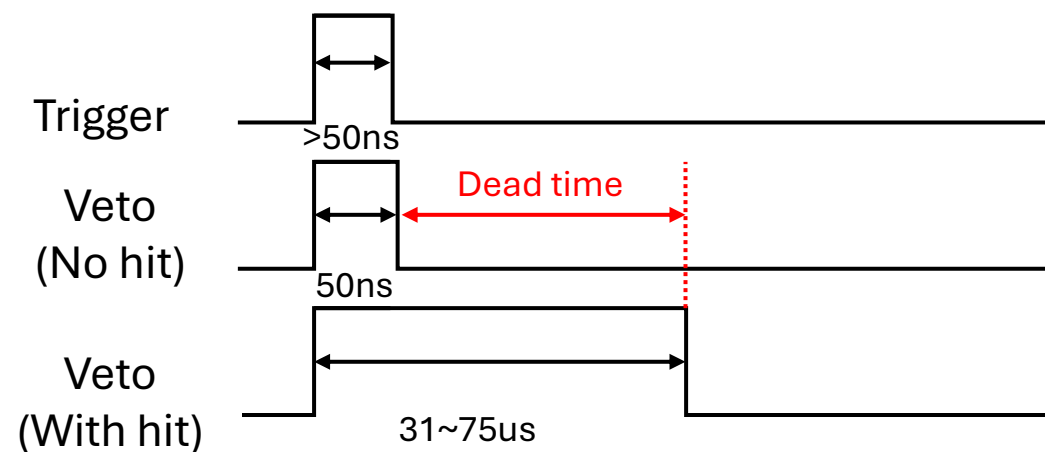
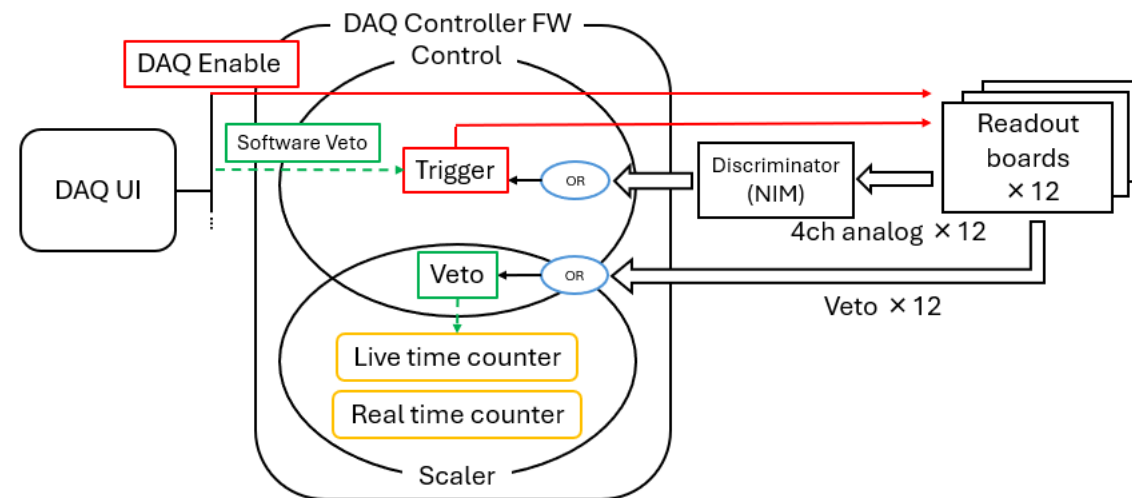
- 12枚体制DAQが運用できたことを  
確認

電子反跳



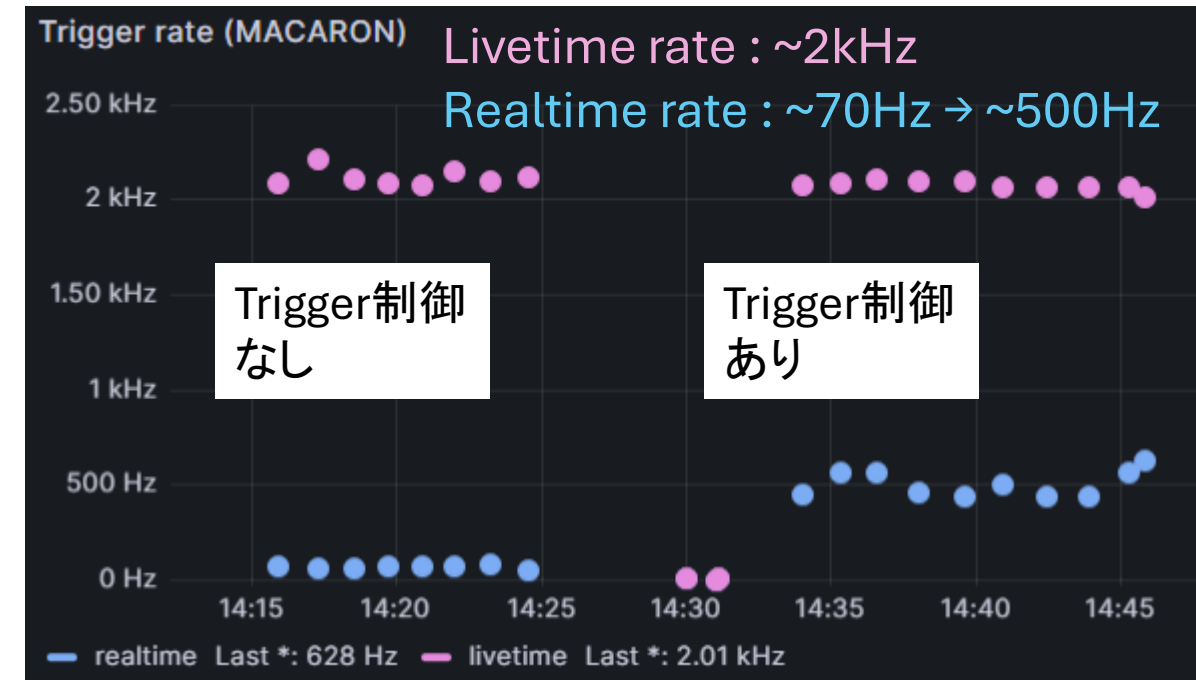
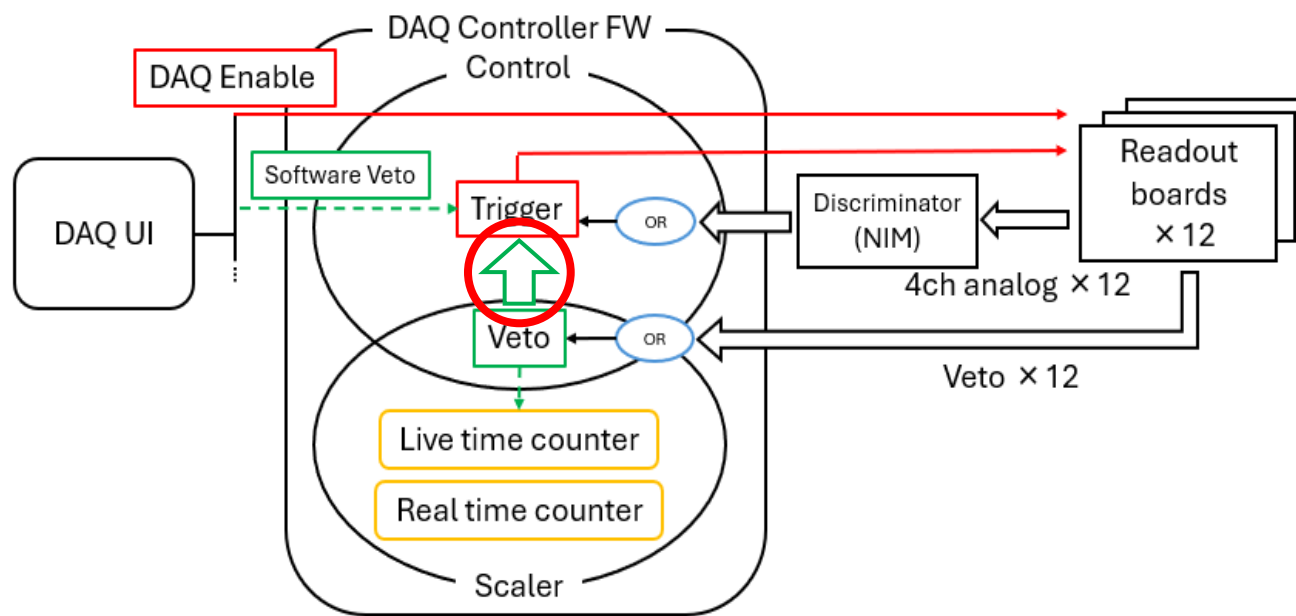
# Dead time

- 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



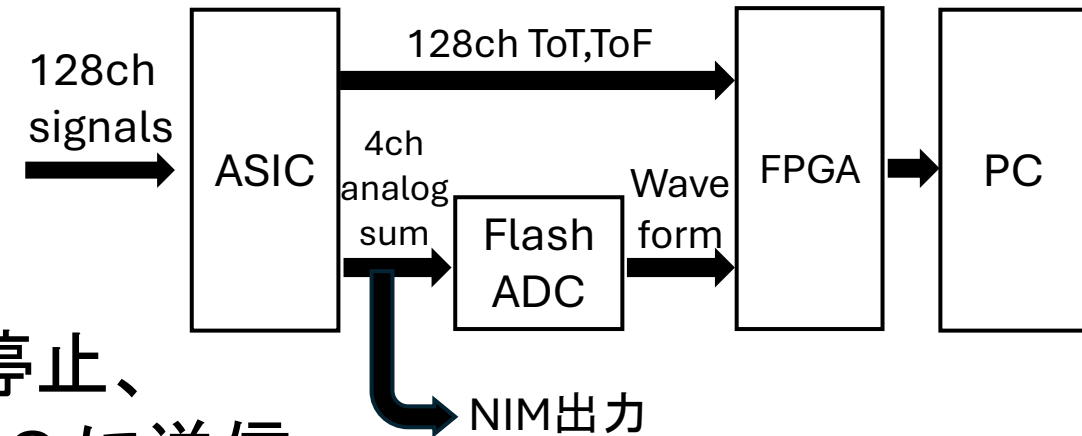
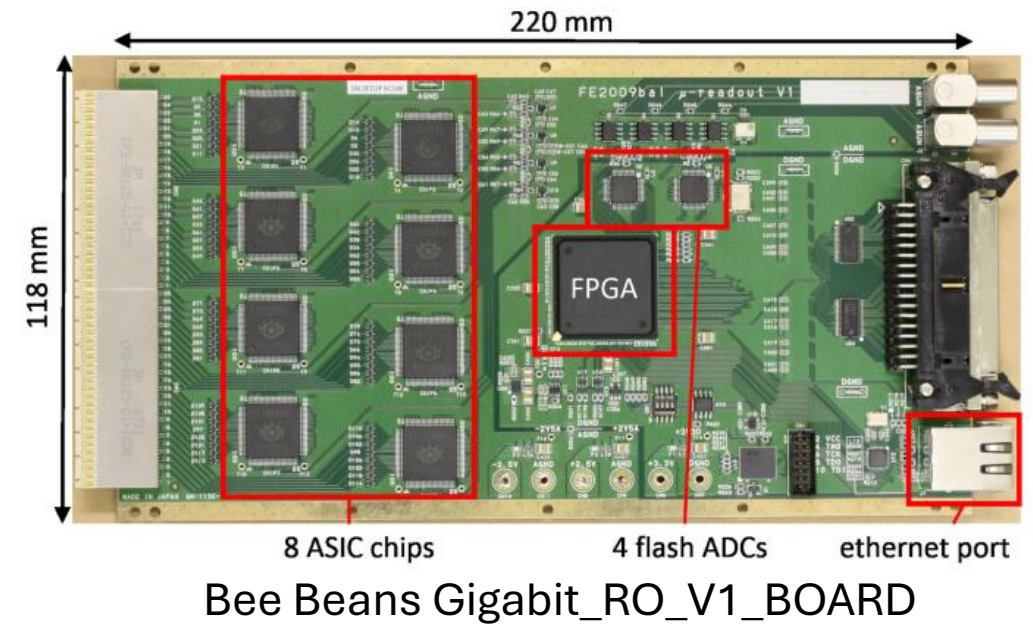
# 読み出しボード

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

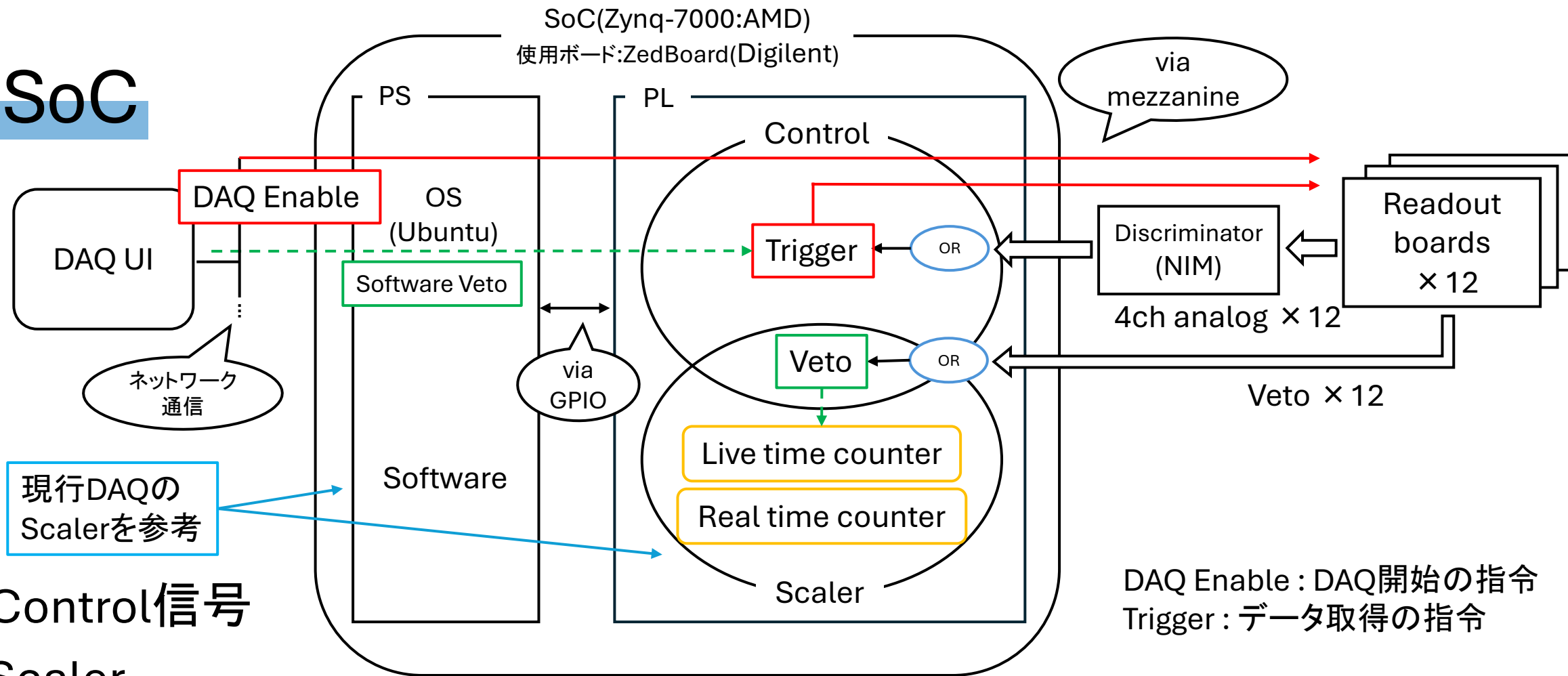
4ch 波形情報

4ch NIM Analog波形

- Dead time :  $\sim 50\mu\text{s}$ 
  - Max 20kHz
- Trigger信号を受け取るとデータ取得を停止、  
 $10.24\mu\text{s}$  分遡って読み出したデータをPC に送信

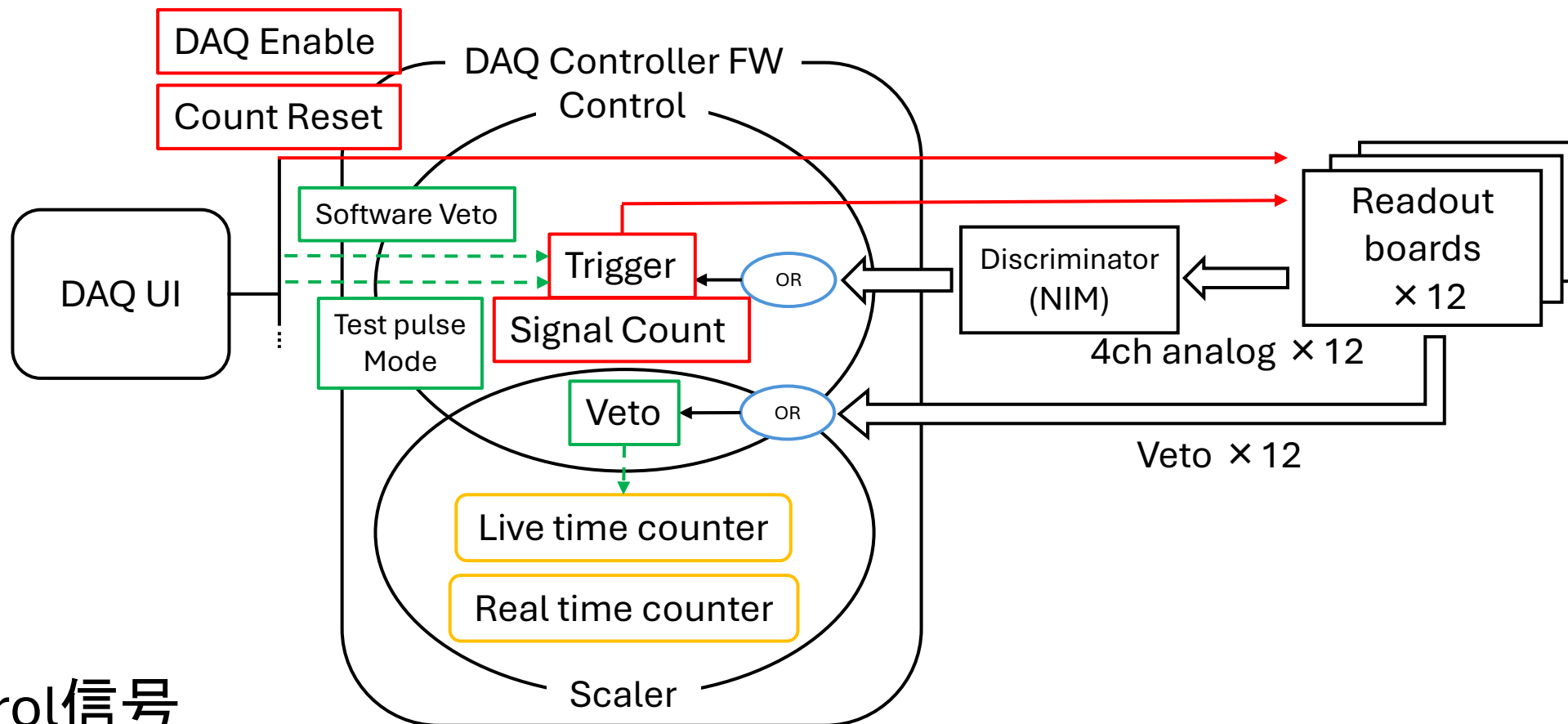


# SoC



- Control信号
- Scaler

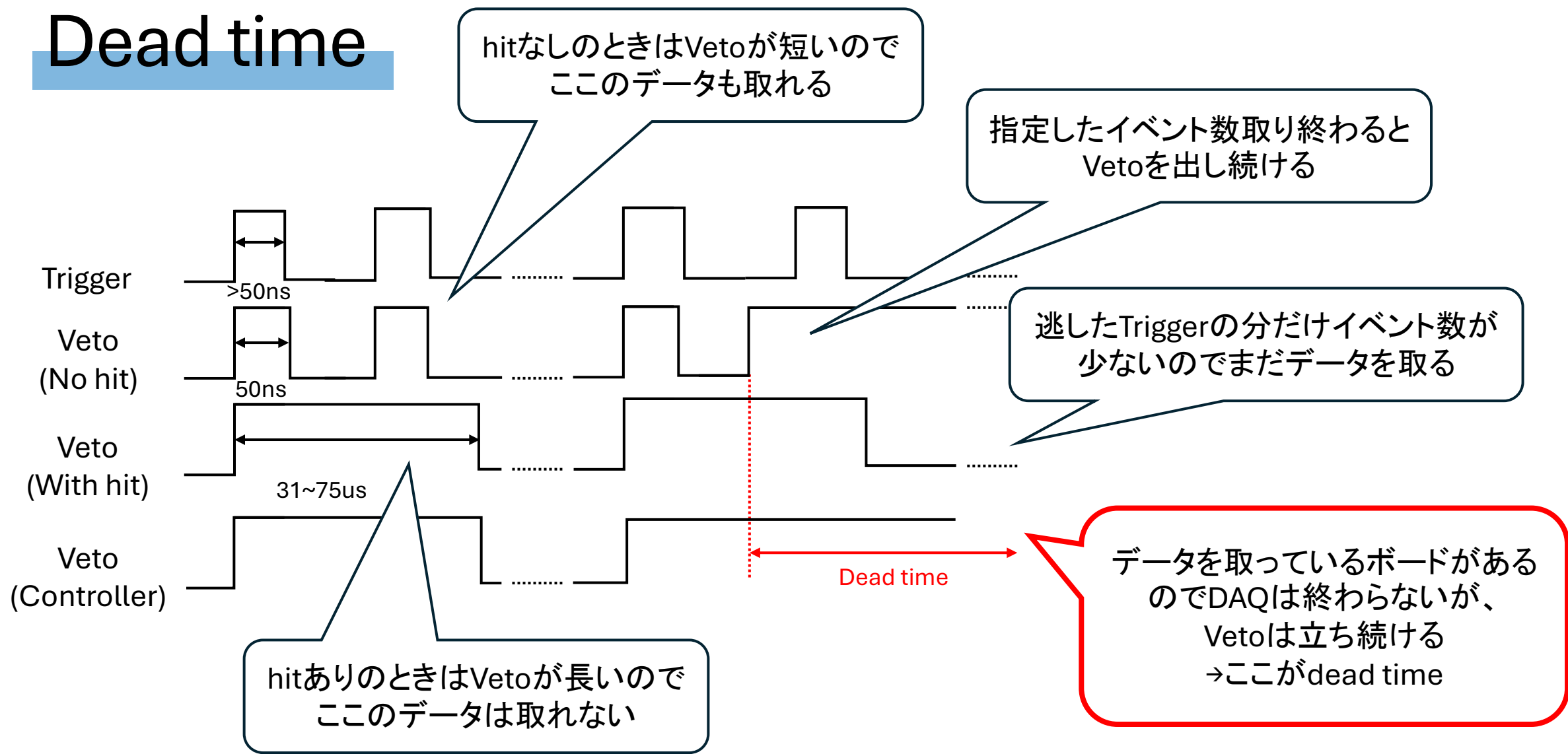
- Real time counter : DAQが動いている時間を測定
- Live time counter : 実際にデータを受け付けていた時間を測定



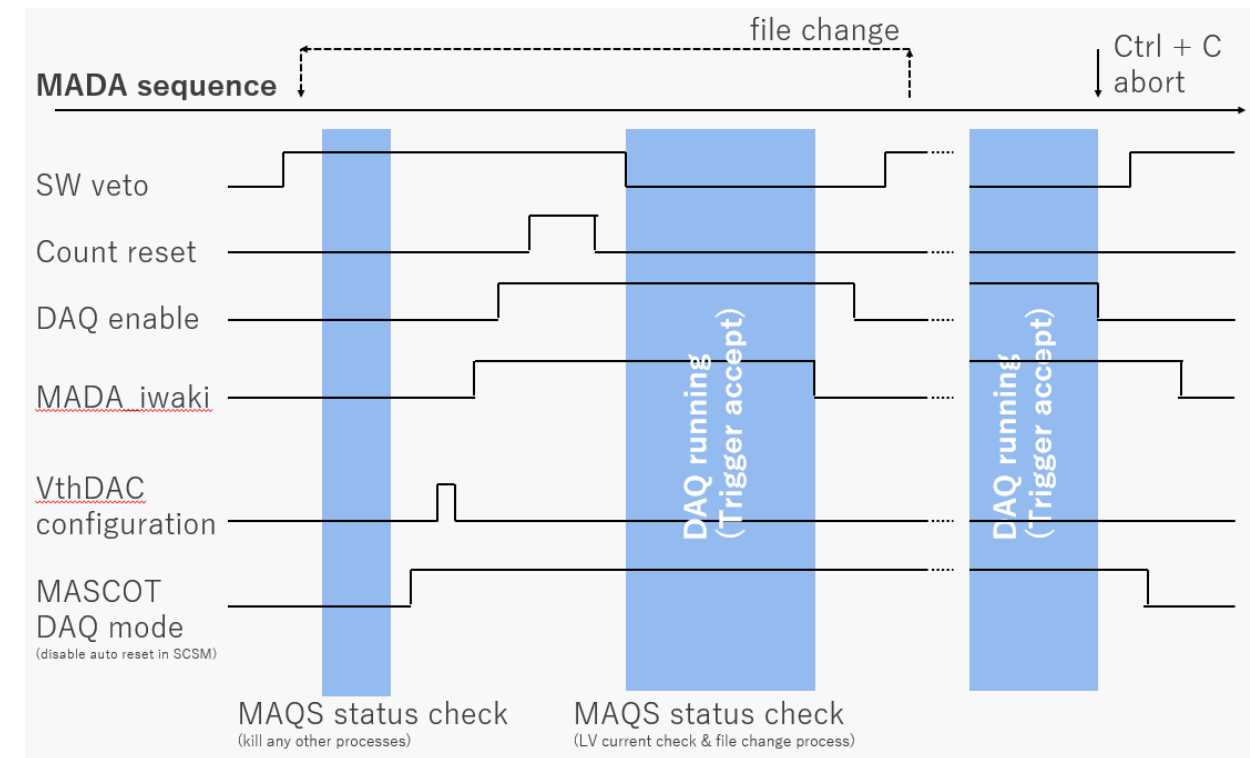
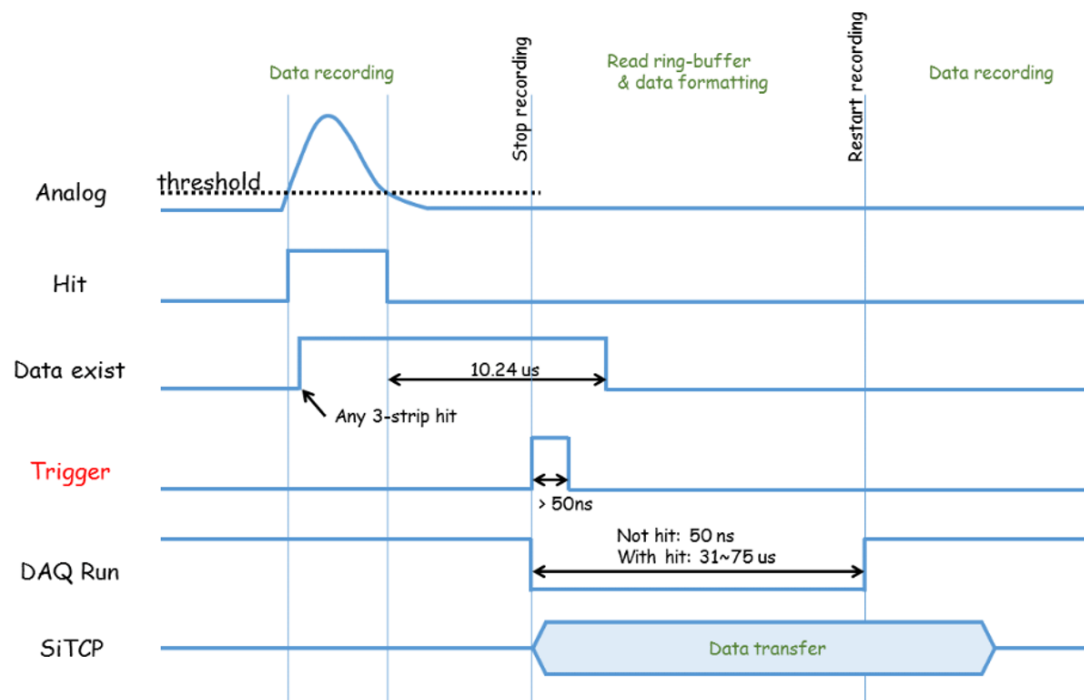
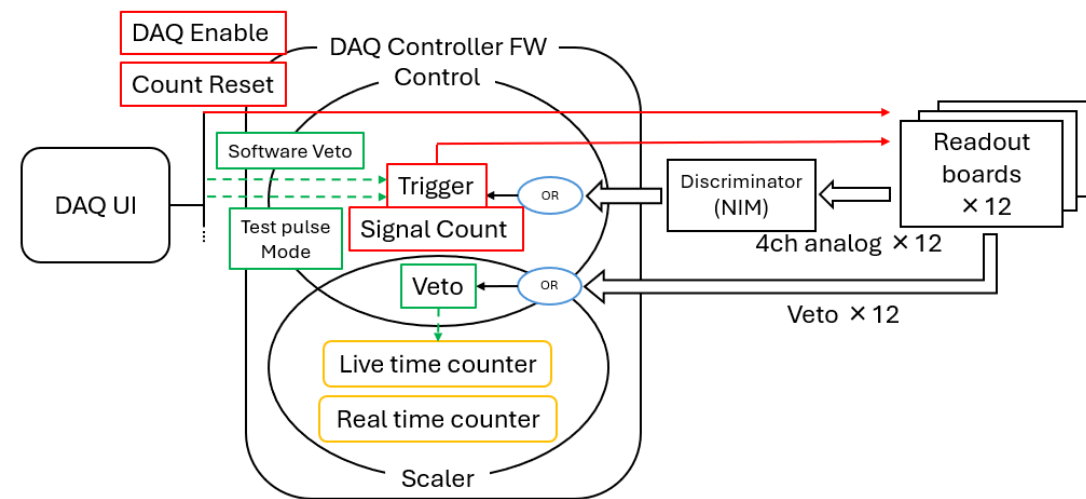
## • Control信号

- 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

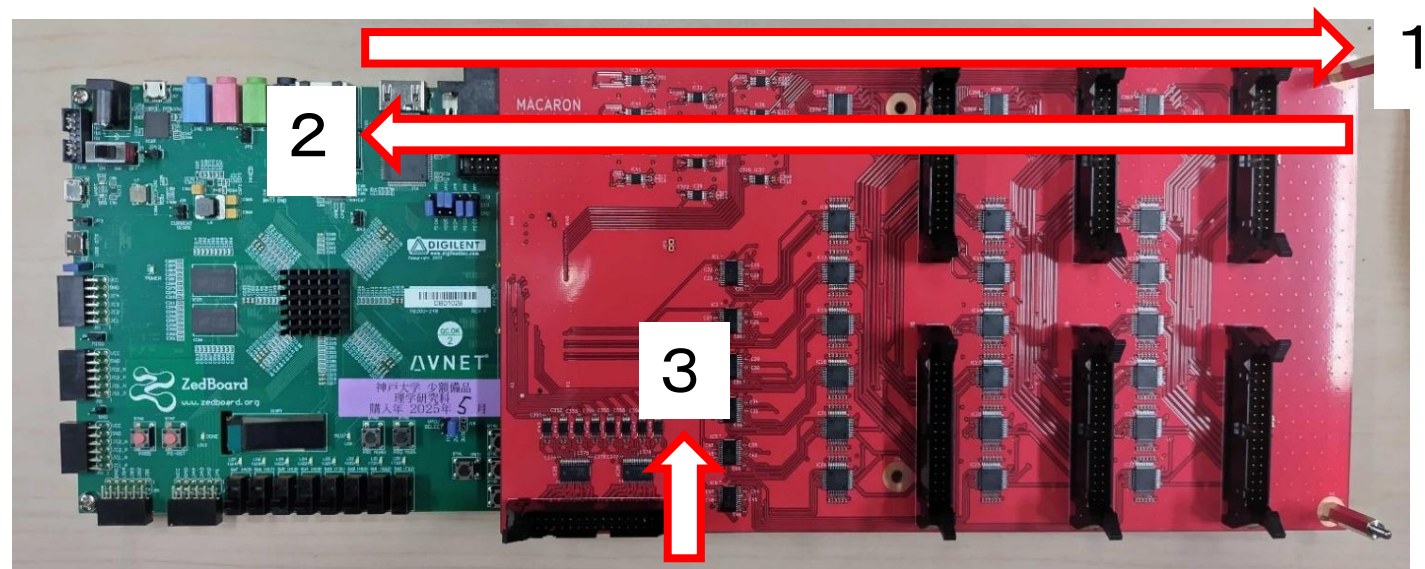
- 手法

- 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

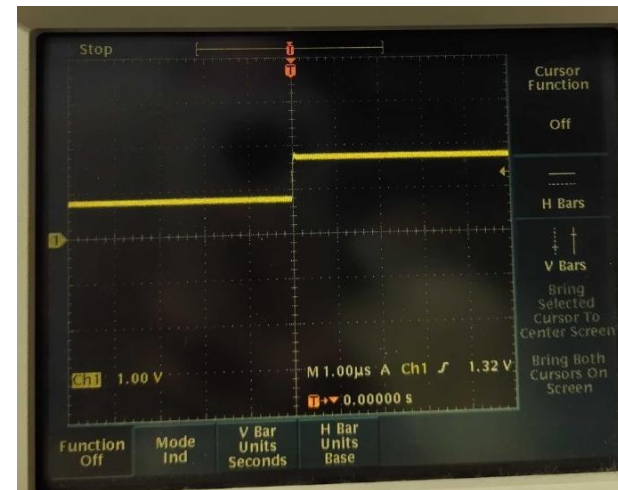
- 結果

- 正常に動作することを確認

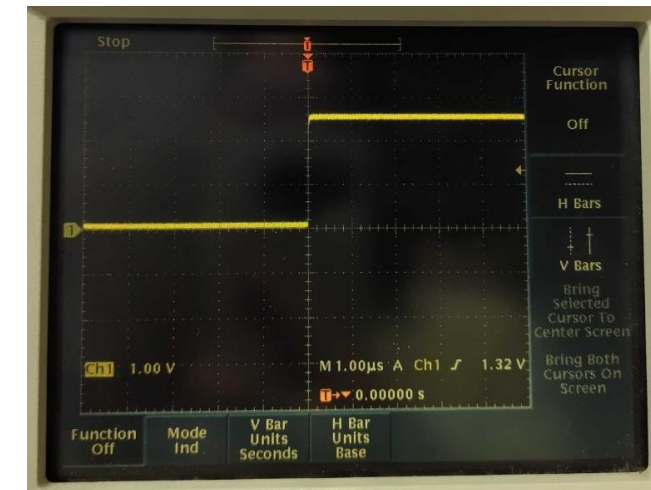
- Mezzanine→ZedBoard  
入力確認



1.0V  
1.0us



1番 (LVDS Positive)

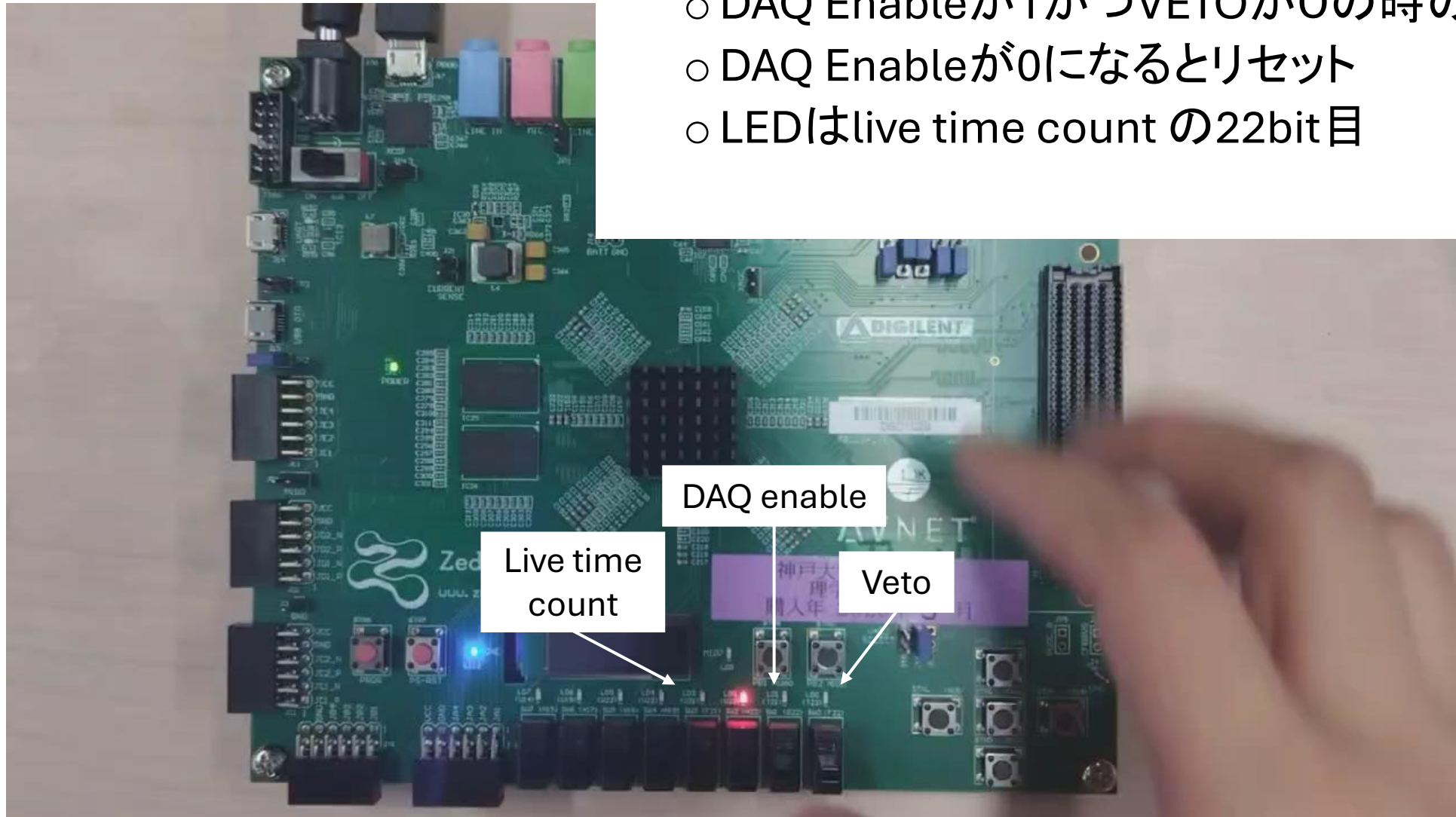


2,3番 (2.5V CMOS)

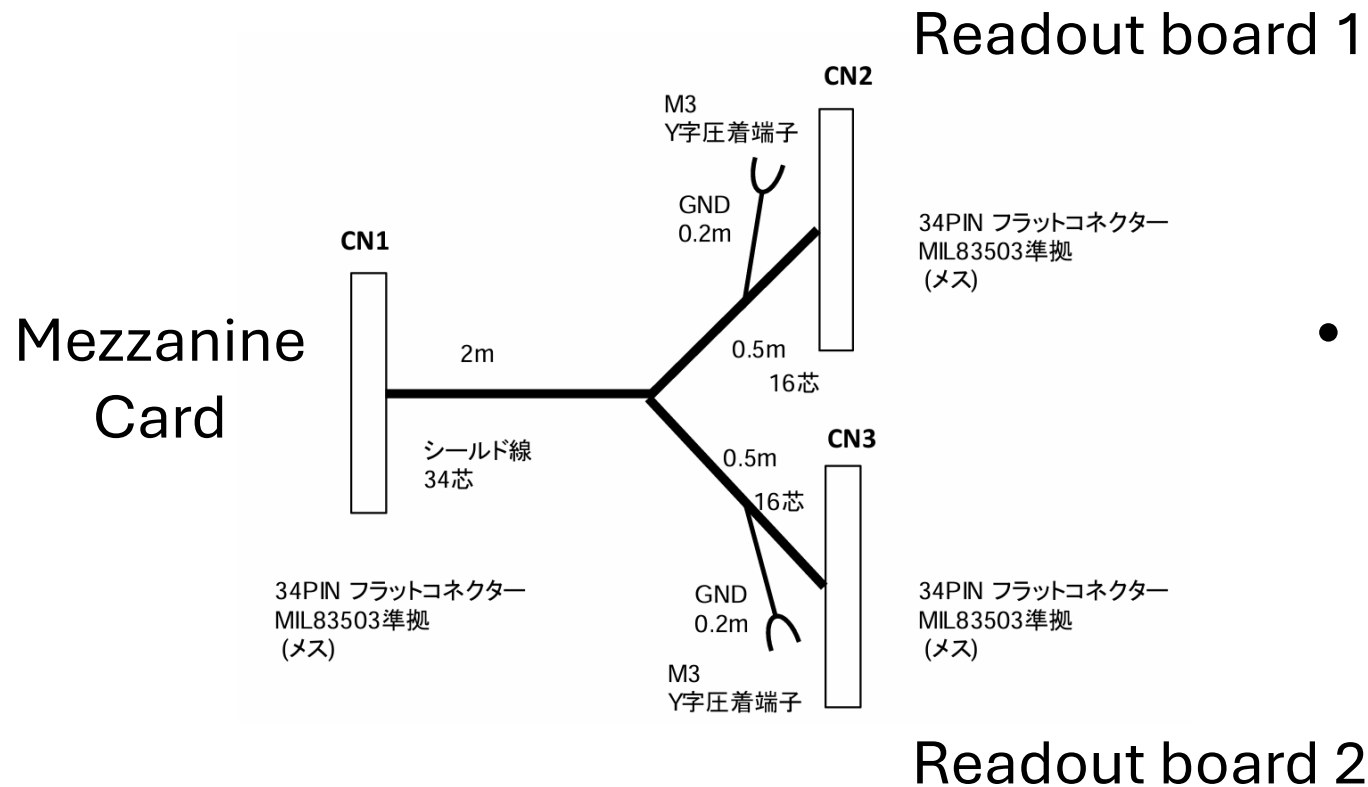


# SoC

- 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

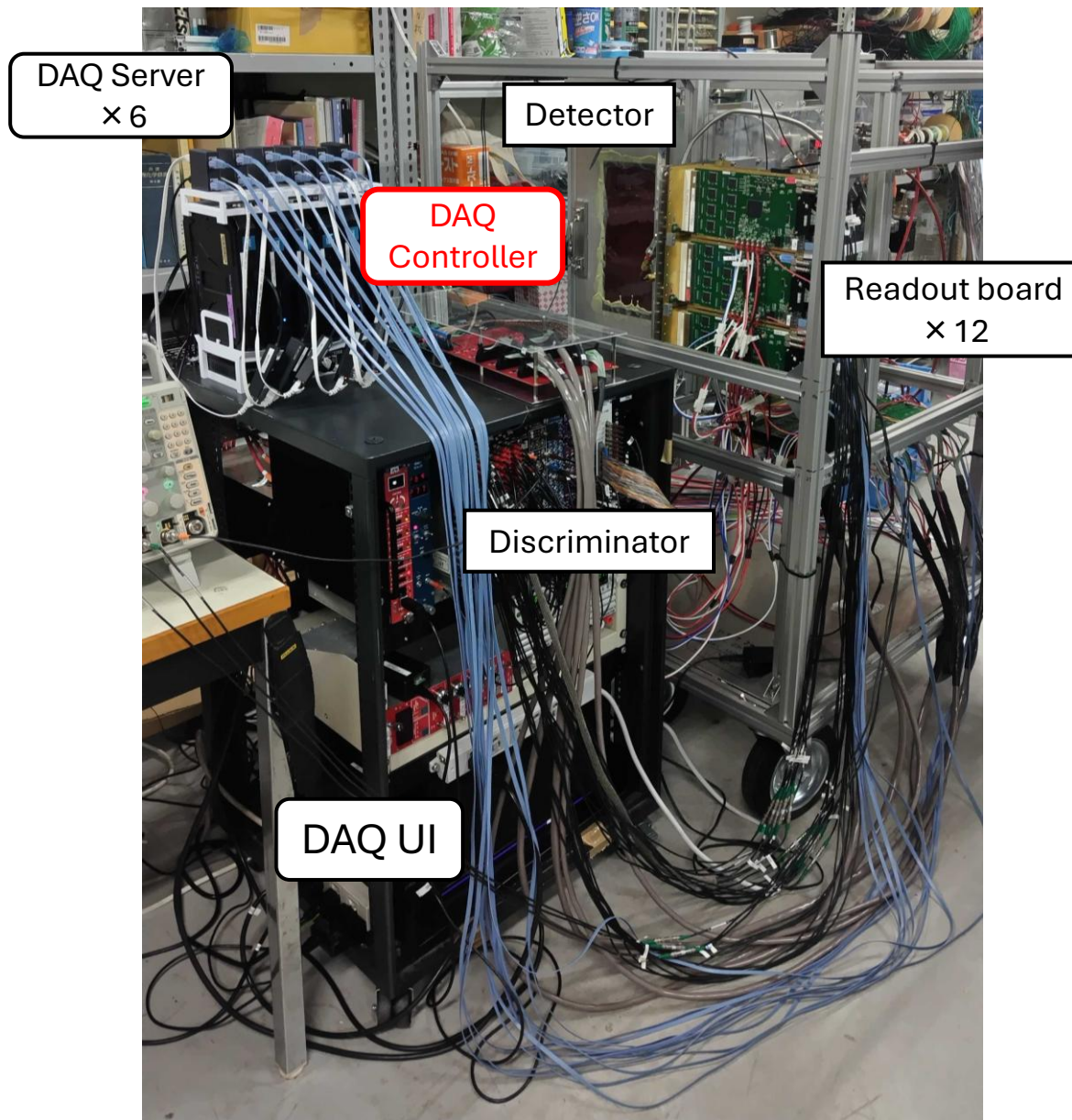


# Mezzanine Card-Readout board cable



- 1つのコネクタにつき  
2枚の読み出しボードと接続する

# 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	Y1	24
2	1G	Y3	23
3	Y_0	VDD_5	22
4	GND_1	Y2	21
5	VDD_1	GND_5	20
6	Y_4	Y5	19
7	GND_2	VDD_4	18
8	Y_6	Y7	17
9	VDD_2	Y8	16
10	Y_9	GND_4	15
11	GND_3	Y10	14
12	Y11	VDD_3	13

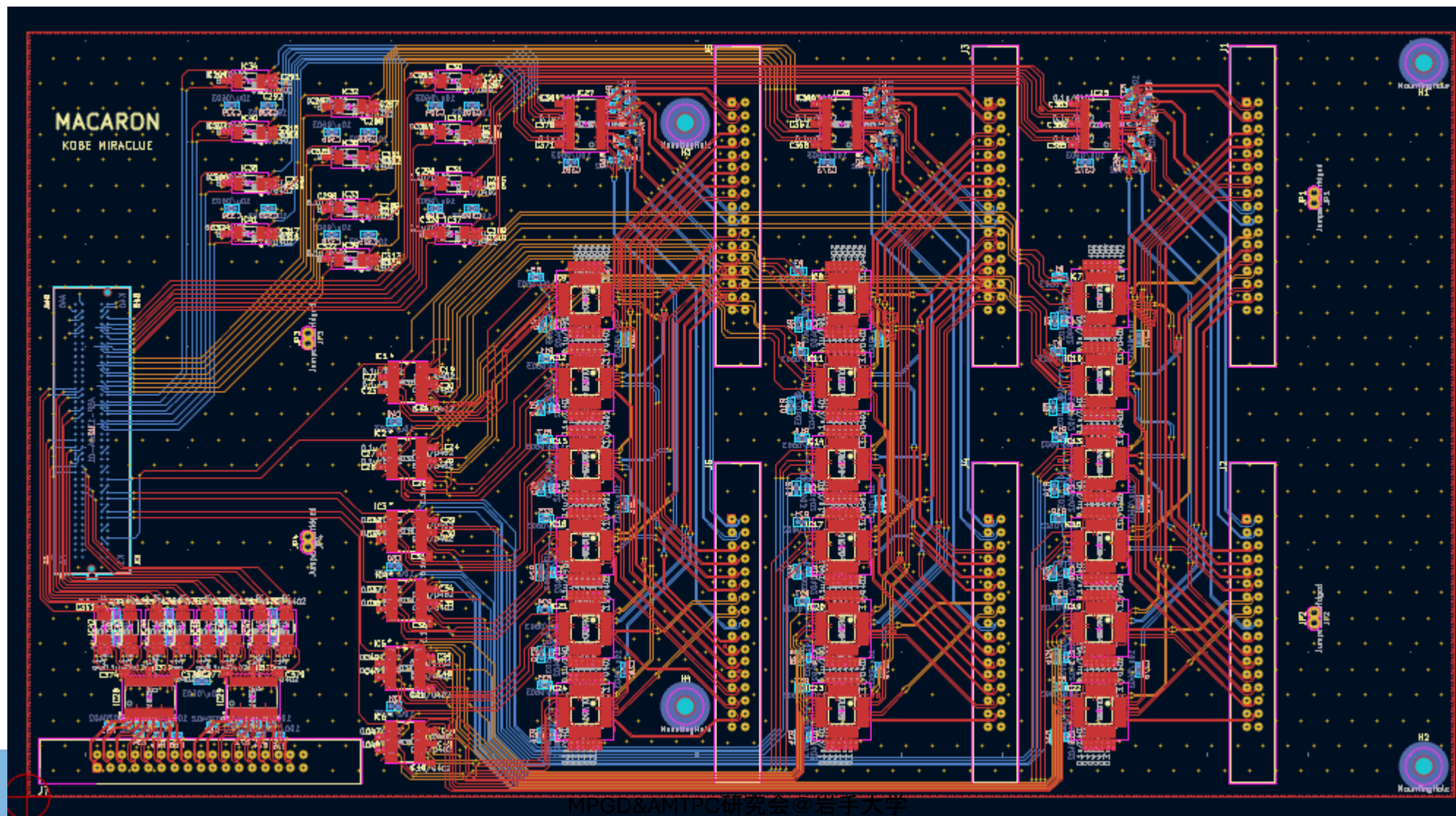
DS90LV004TVS	
13	IN0+
14	IN0-
15	IN1+
16	IN1-
17	GND_3
18	GND_4
19	IN2+
20	IN2-
21	IN3+
22	IN3-
23	GND_5
24	GND_6
25	GND_7
26	GND_8
27	GND_9
28	VDD_7
29	VDD_8
30	VDD_9
31	N/C_2
32	N/C_3
33	VDD_10
34	VDD_11
35	VDD_12
36	N/C_4
37	N/C_5
38	GND_10
39	GND_9
40	OUT3+
41	OUT3-
42	OUT2+
43	OUT2-
44	OUT1+
45	OUT1-
46	OUT0+
47	OUT0-
48	OUT0+

TS5A623157DGSR			
1	IN1	COM1	10
2	NO1	NC1	9
3	GND	V+	8
4	NO2	NC2	7
5	IN2	COM2	6

SN65LVDT388ADBT			
1	A1A	GND_2	38
2	A1B	VCC_2	37
3	A2A	ENA	36
4	A2B	A1Y	35
5	AGND_1	A2Y	34
6	B1A	ENB	33
7	B1B	B1Y	32
8	B2A	B2Y	31
9	B2B	DGND_2	30
10	AGND_2	DVCC	29
11	C1A	DGND_1	28
12	C1B	C1Y	27
13	C2A	C2Y	26
14	C2B	ENC	25
15	AGND_3	D1Y	24
16	D1A	D2Y	23
17	D1B	END	22
18	D2A	VCC_1	21
19	D2B	GND_1	20



# 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

