



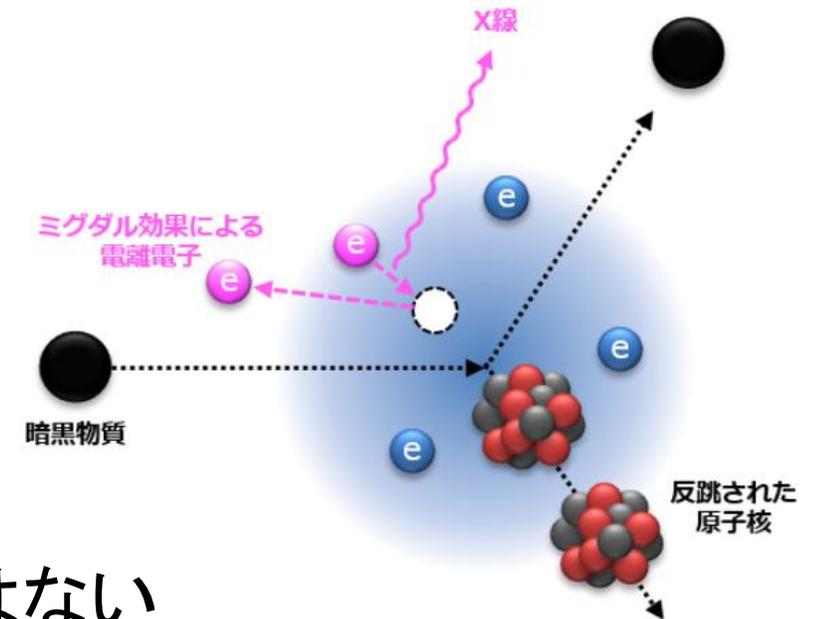
MIRACLUE実験における 統合DAQシステムの開発

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

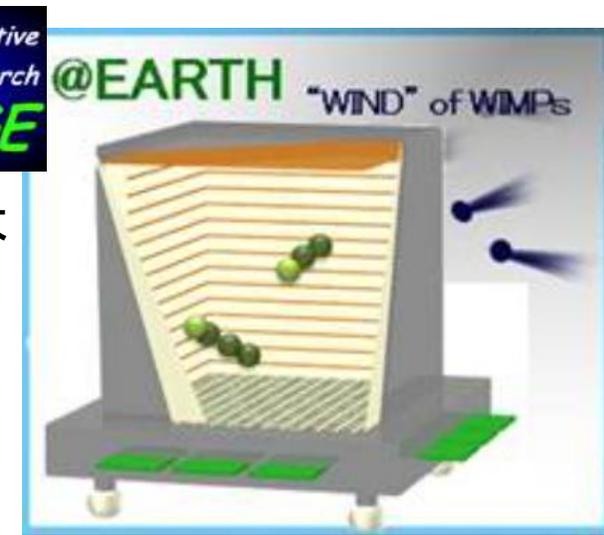


Migdal効果 模式図

MIRACLUE実験



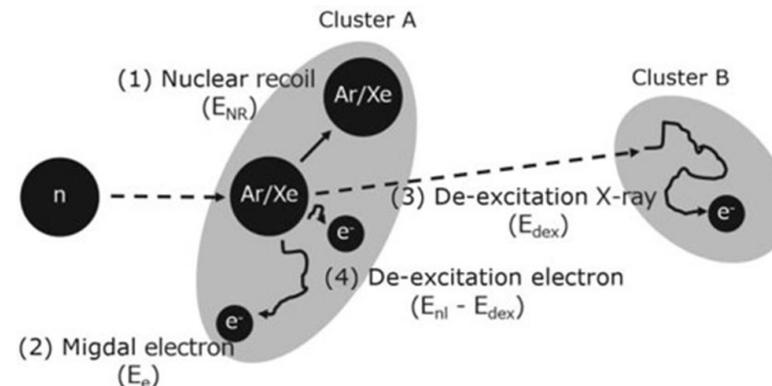
@神戸大



- 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



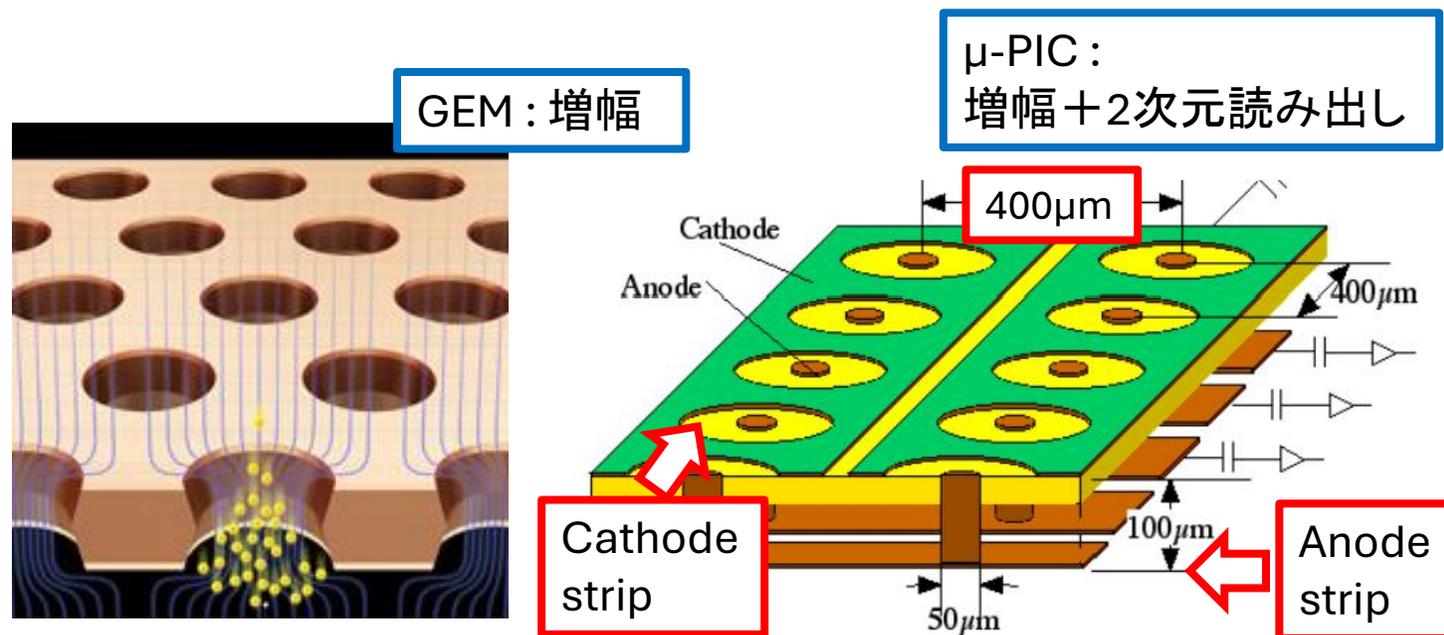
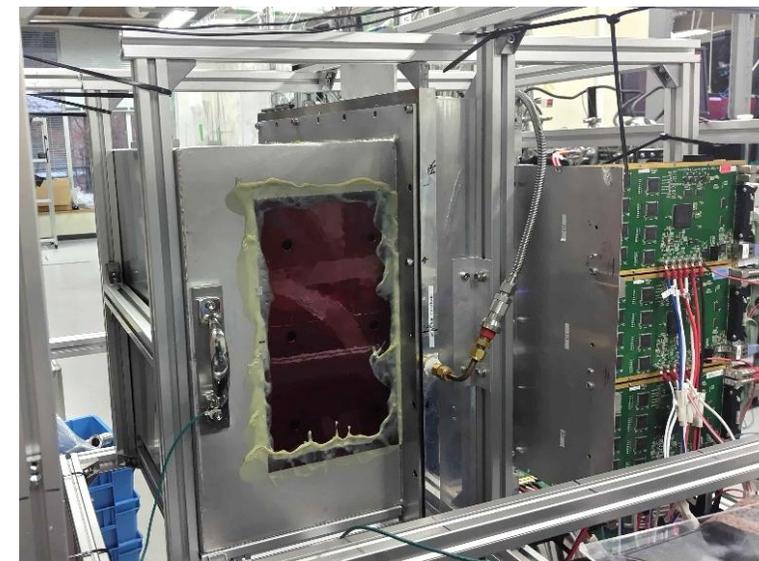
@東北大



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 μ 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

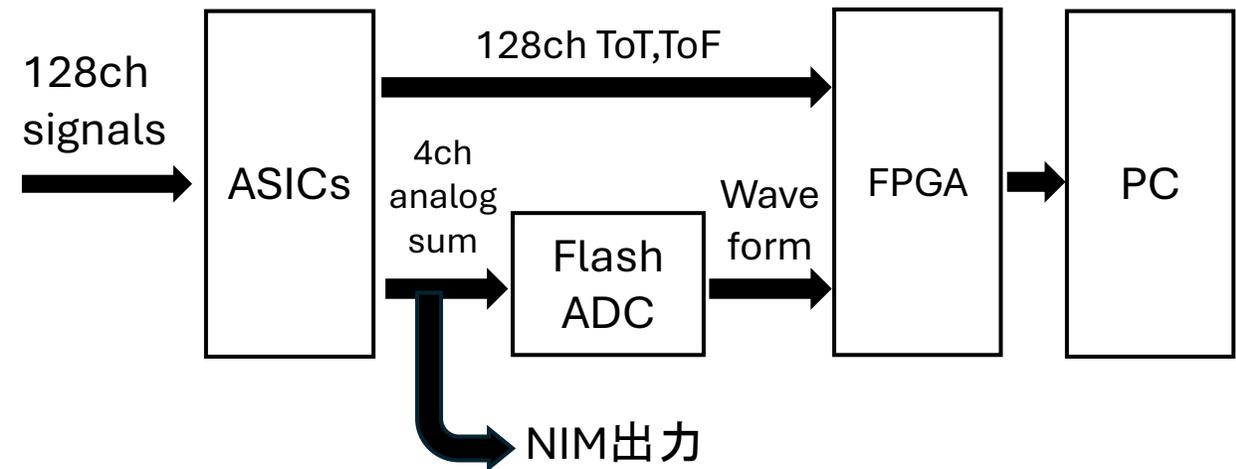
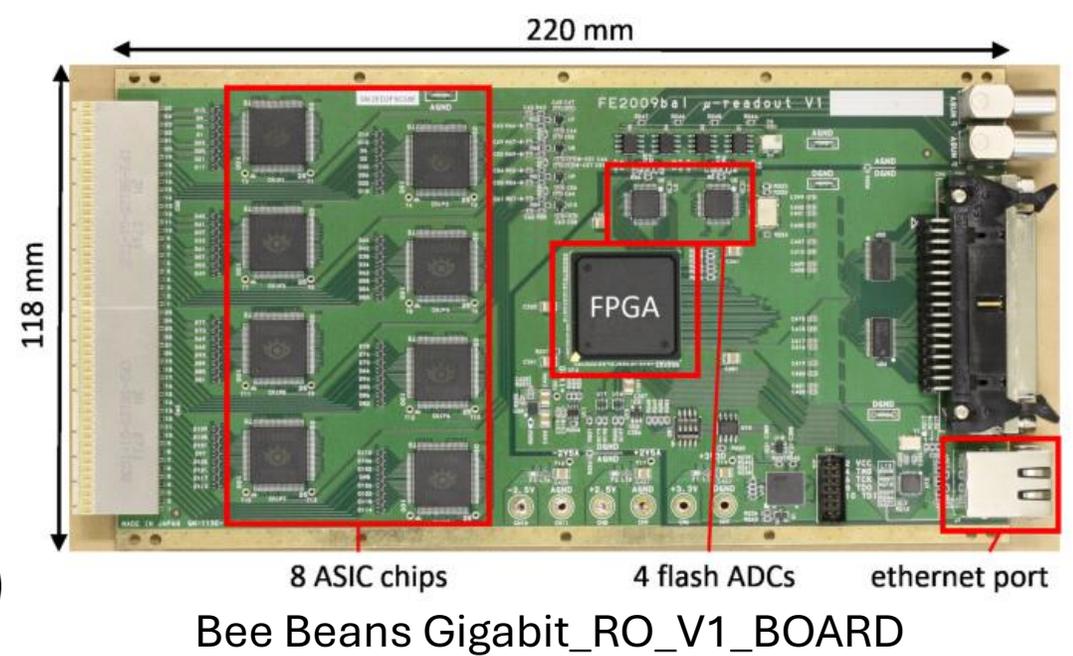


読み出しボード

- 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

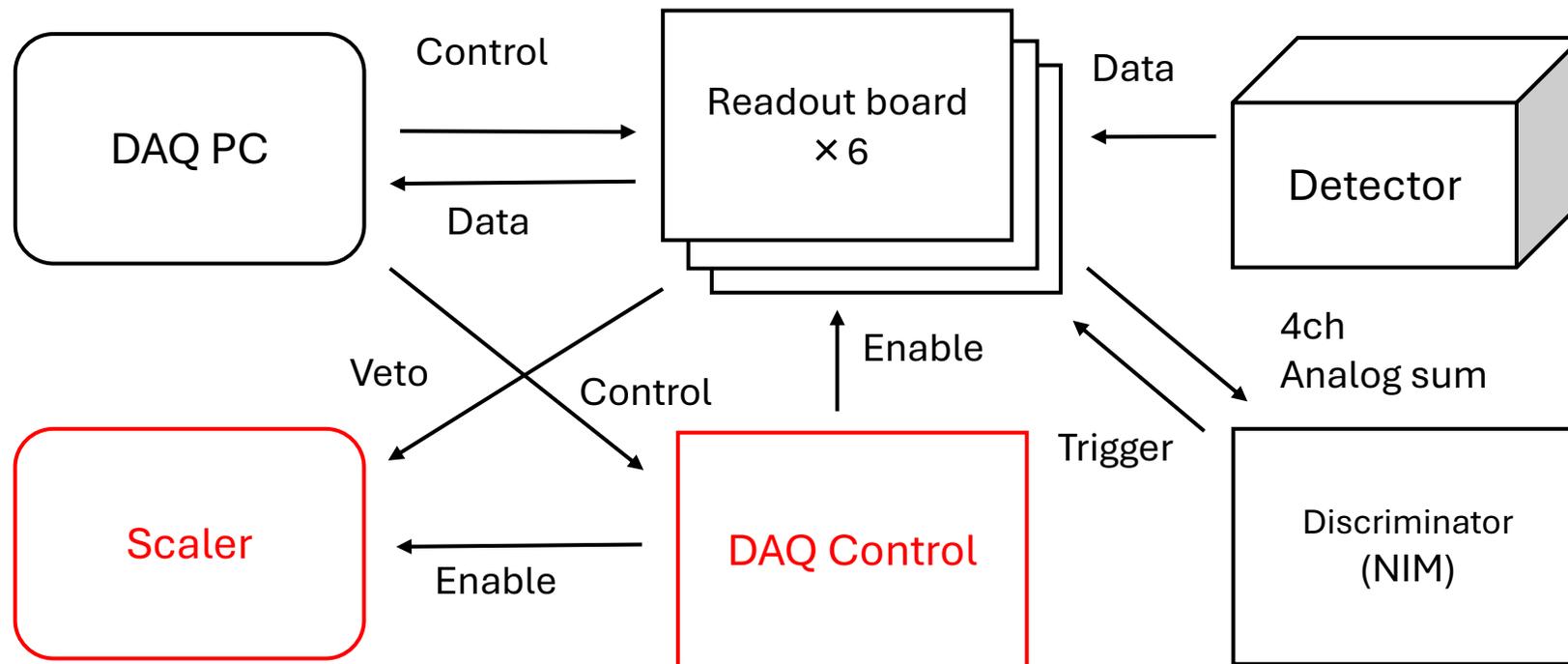
検出器のピッチ変更に対応できるDAQシステム開発

- 検出器のピッチ変更(800 μ m \rightarrow 400 μ m)
 - 必要ch数の増加 \rightarrow 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

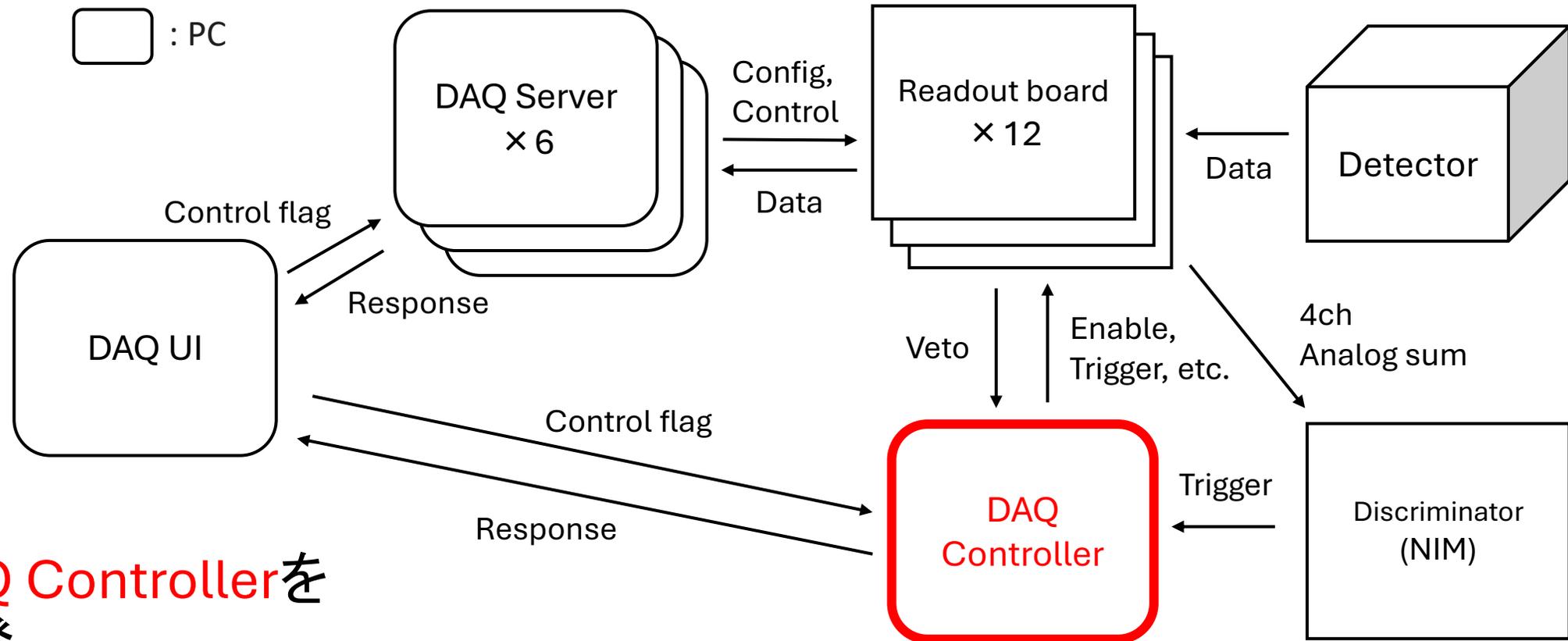


新DAQシステム

- 12枚の読み出しボードに対応
- 機能を統合

Legend  : readout electronics

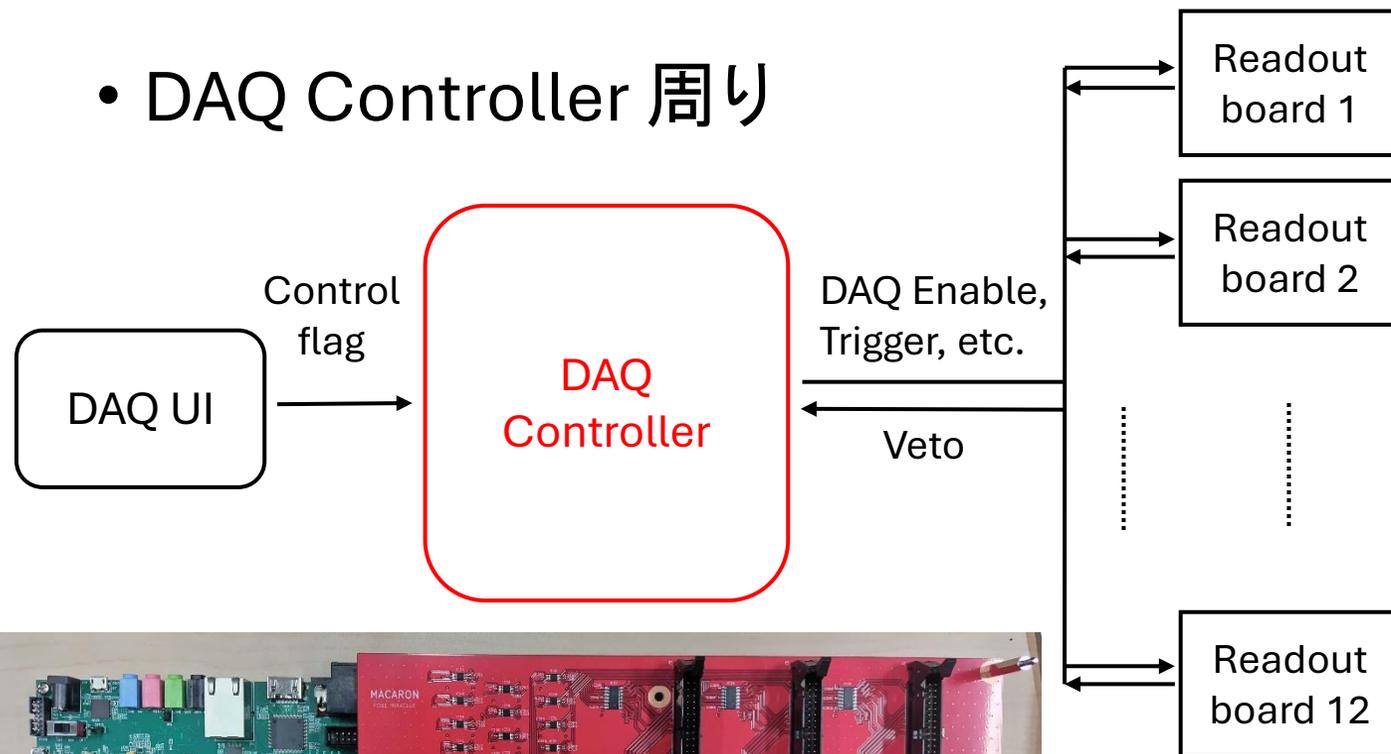
 : PC



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



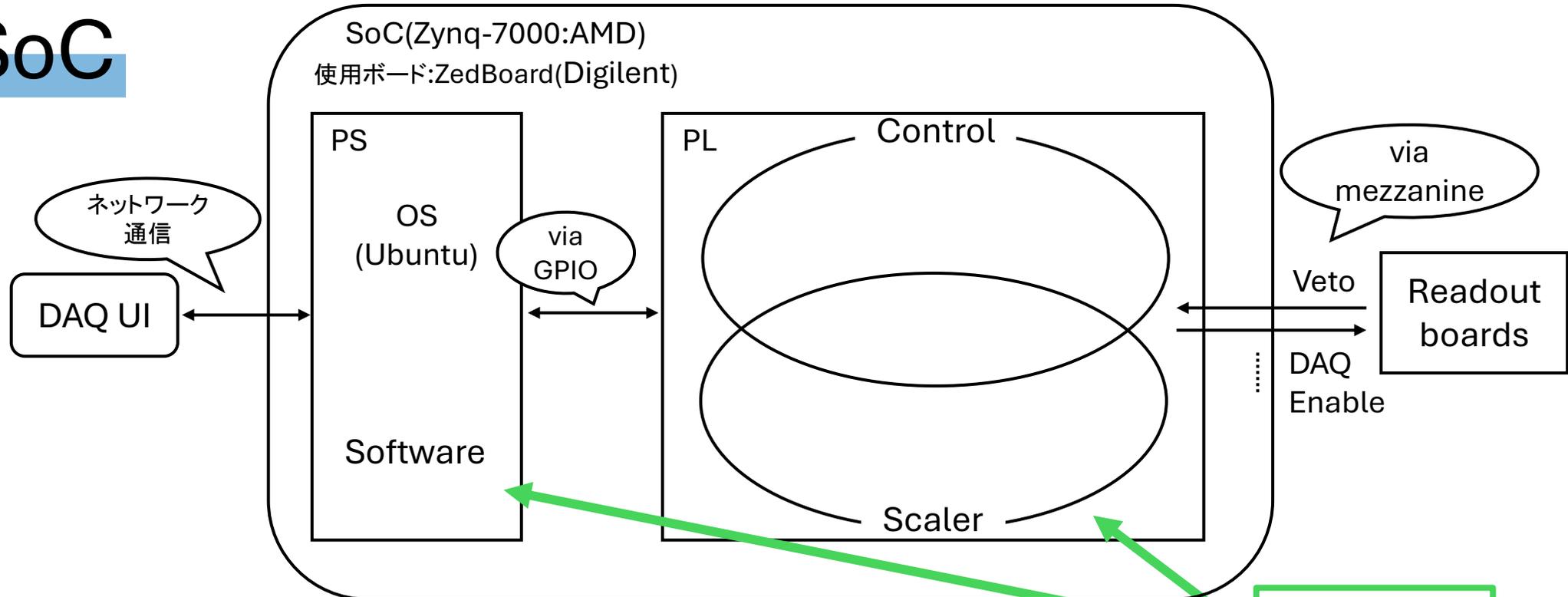
Readout
boards

LVDS

Kicadでデザインし
P板.comで製造・実装

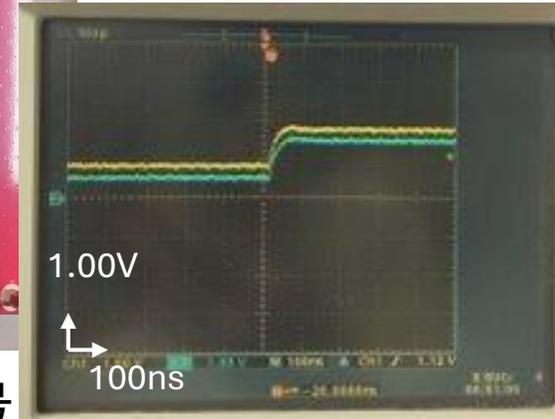
- SoCと読み出しボード間で信号の変換、分配
 - SoCからの信号を12個に分配
single-ended→LVDS変換し読み出しボードに送る
 - 読み出しボード、Discriminatorからの信号をLVDS→single-ended変換しSoCに送る

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

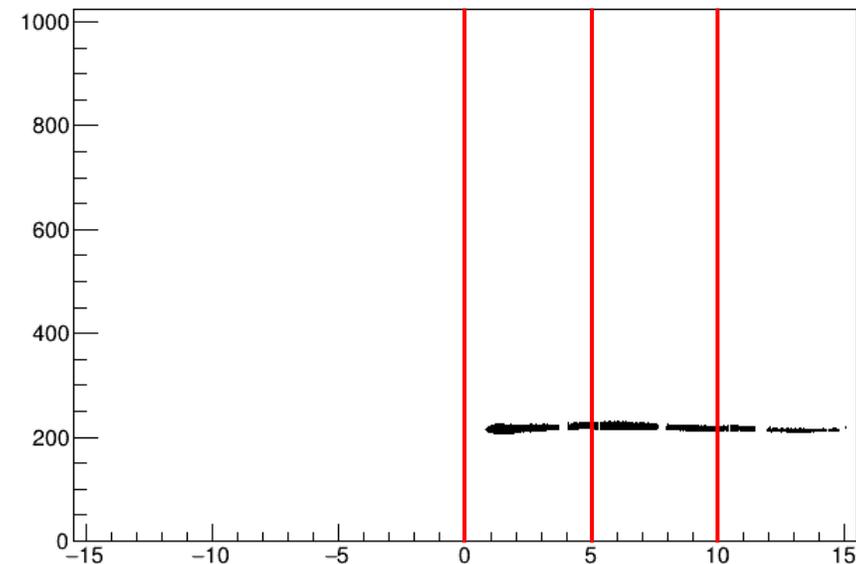
動作チェック



別コネクタの同じ信号

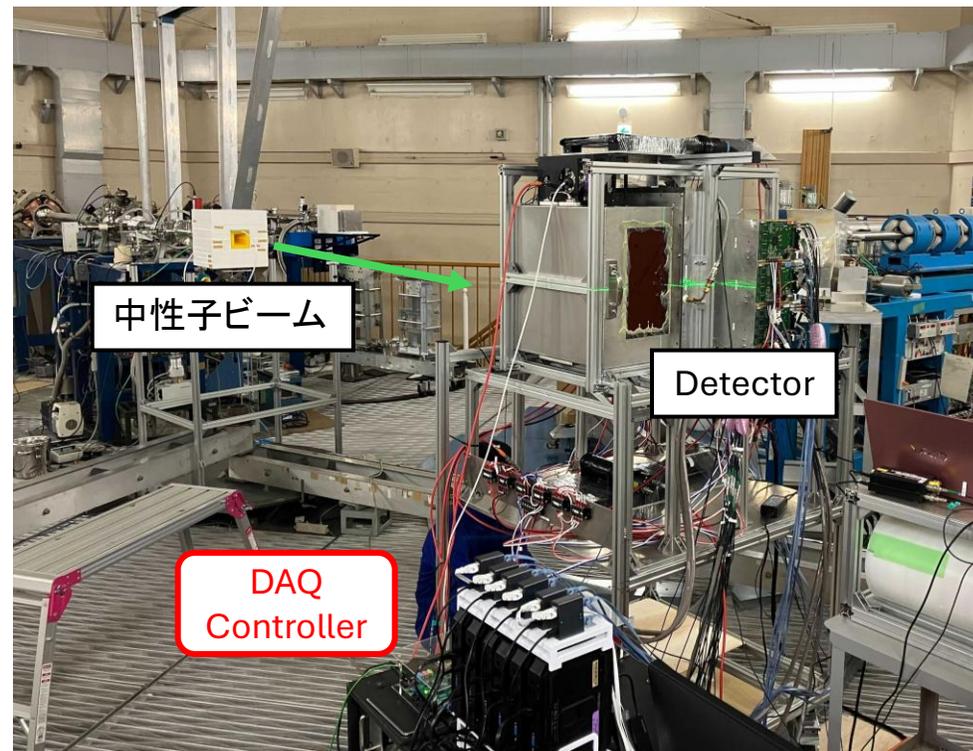
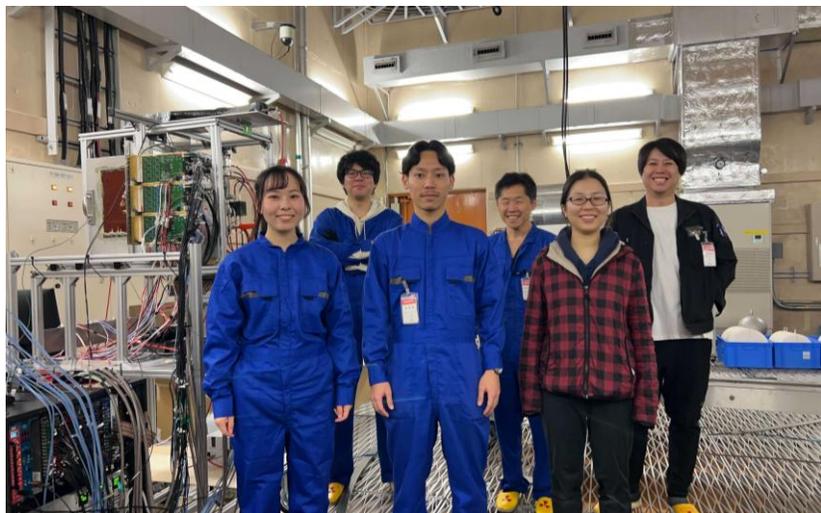
- Controllerのみでチェック
 - Mezzanine : 信号の分配とその同時性
 - Scaler : スイッチ操作で動作確認
- 検出器と統合してチェック
 - 実際にDAQを動かしてデータを取る
 - ボードが正しく連動していることを確認

clock_yz:y_zy {evtNum == 2692}



ビームテスト @産総研

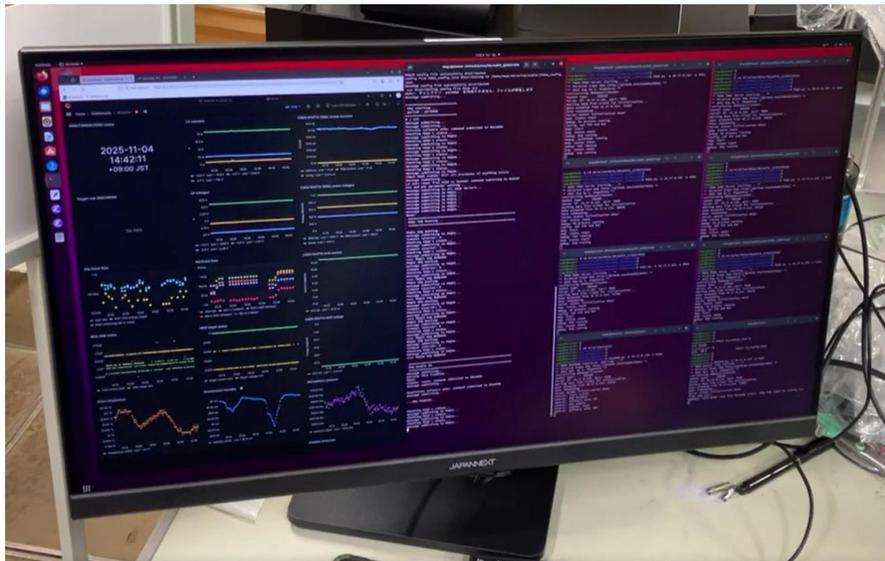
- 産総研でビームテストを実施
- 2025年11月3日~7日 (4日~6日ビーム照射)
 - 565keV中性子
 - トリガーレート: ~1kHz



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

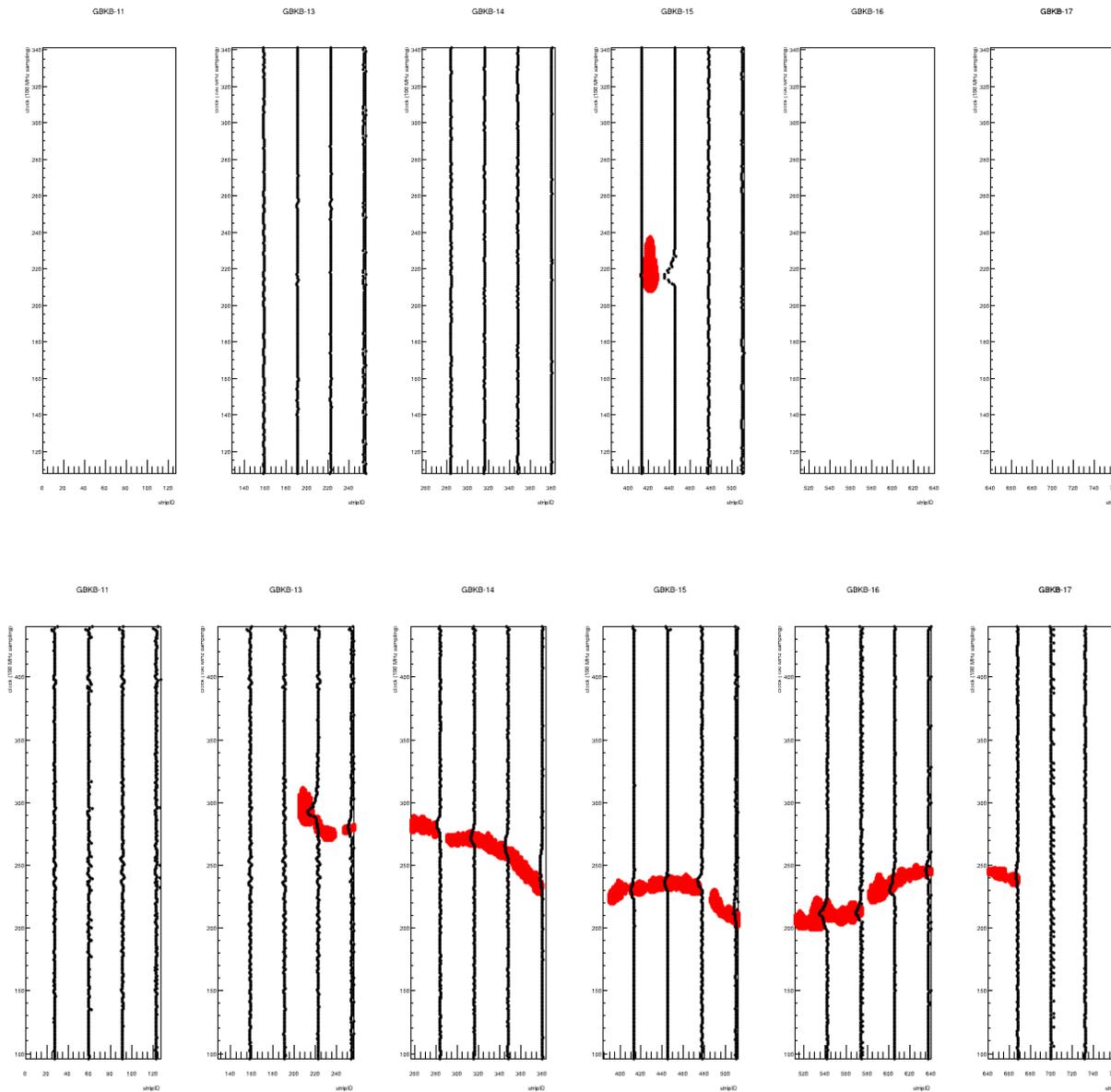
原子核反跳

- 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

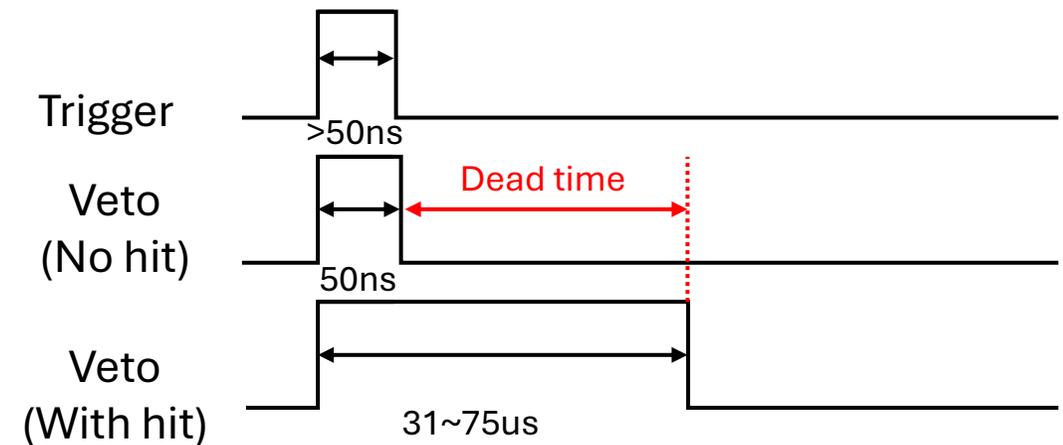
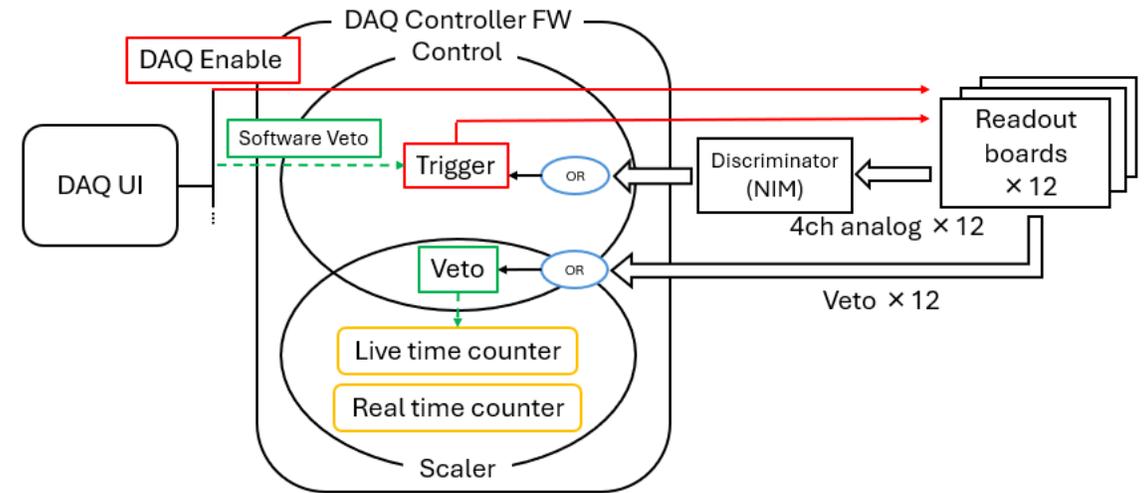


Dead time

- Dead time低減のため Controllerの見直しを実施

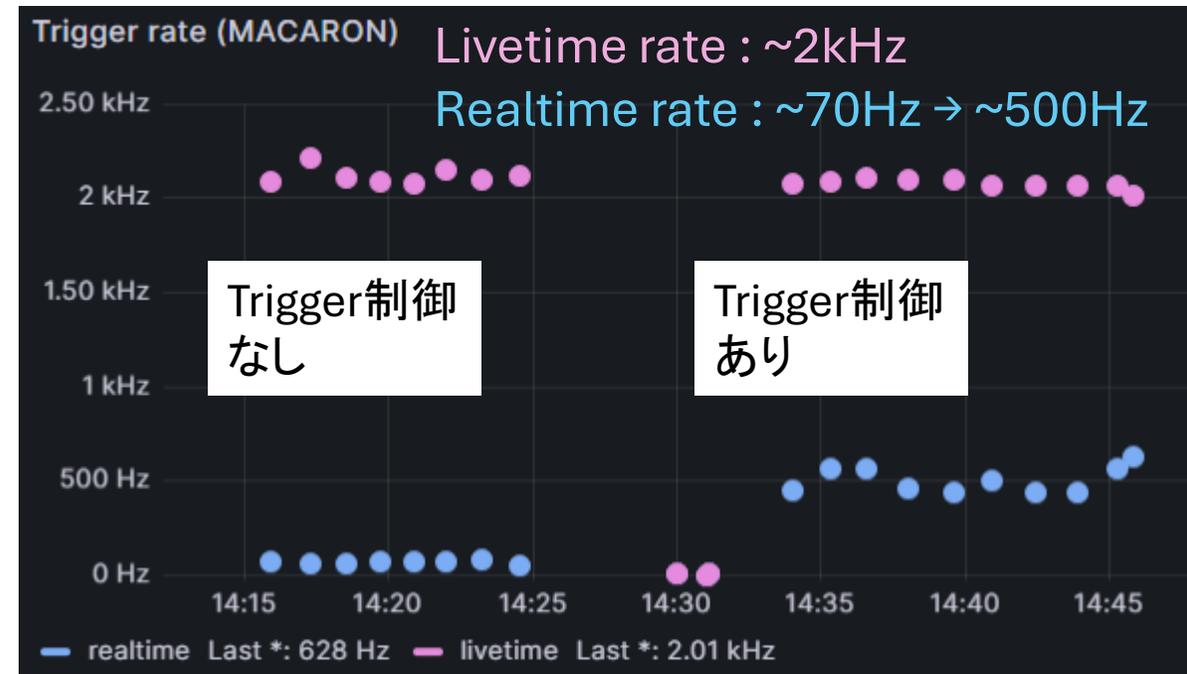
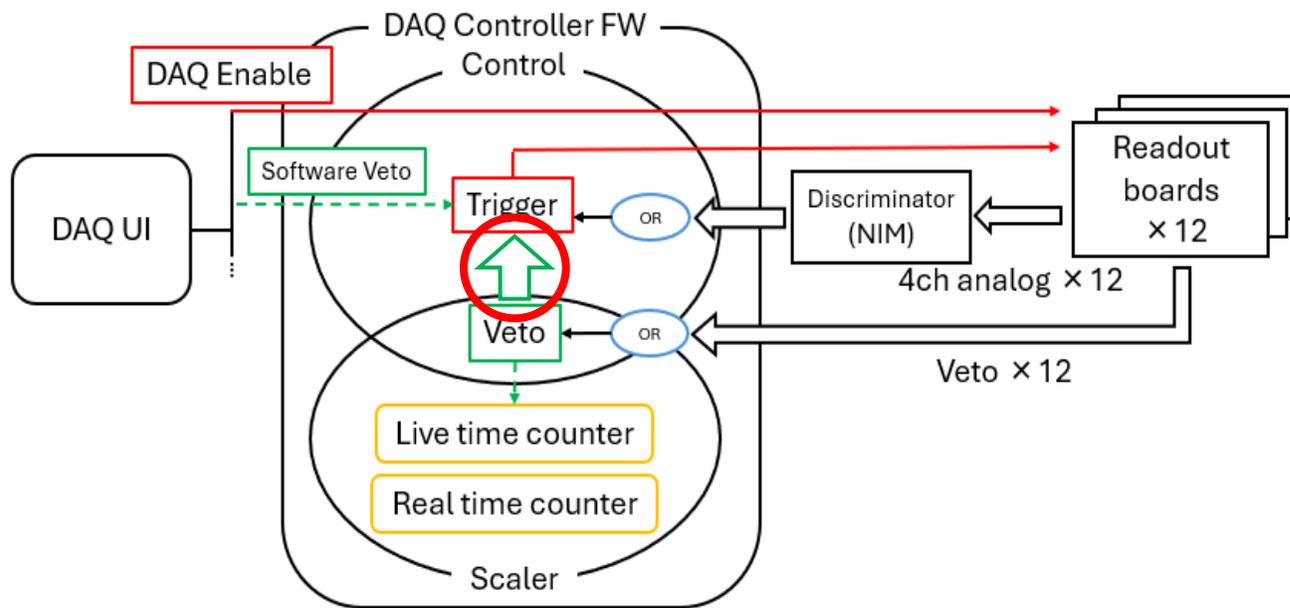
- ControllerFWに問題点

- 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

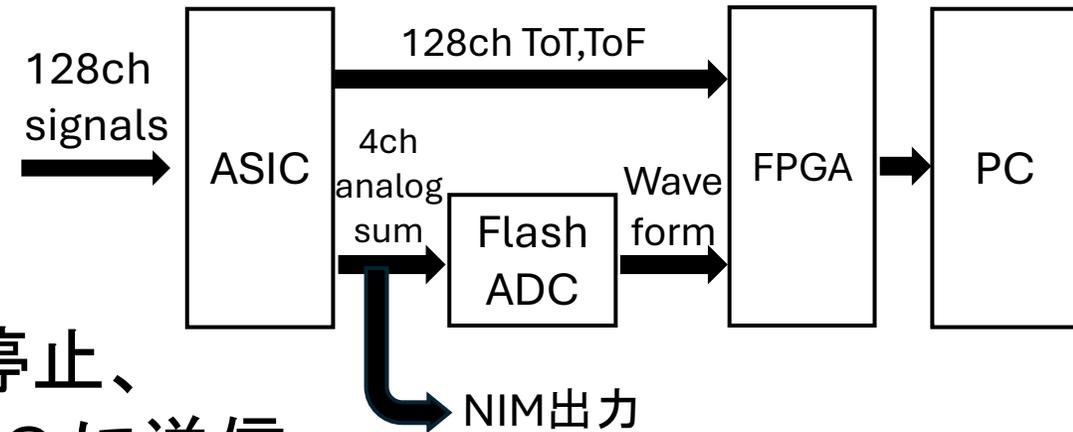
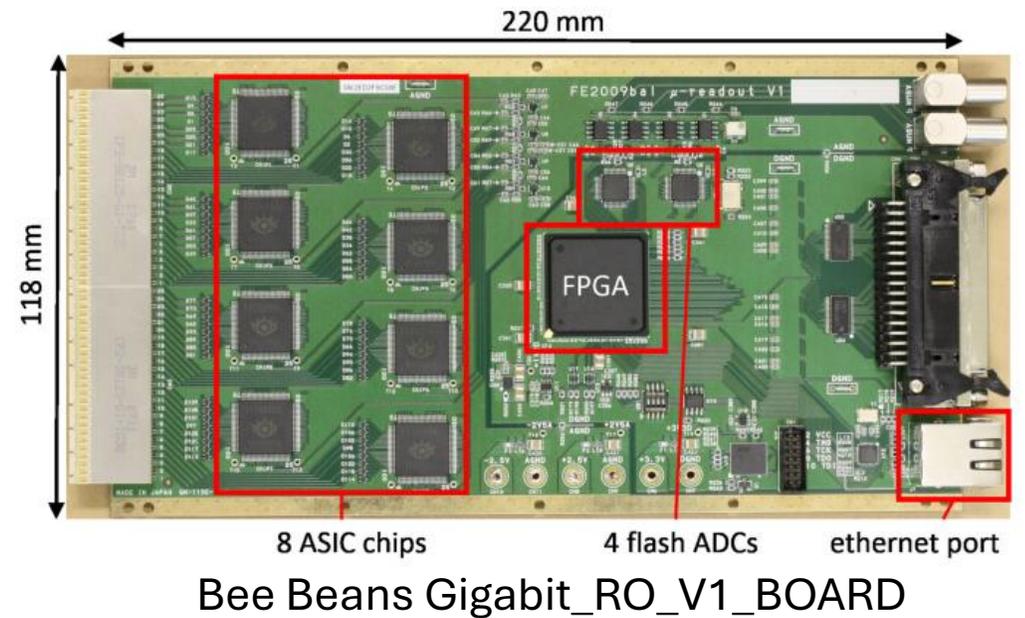
読み出しボード

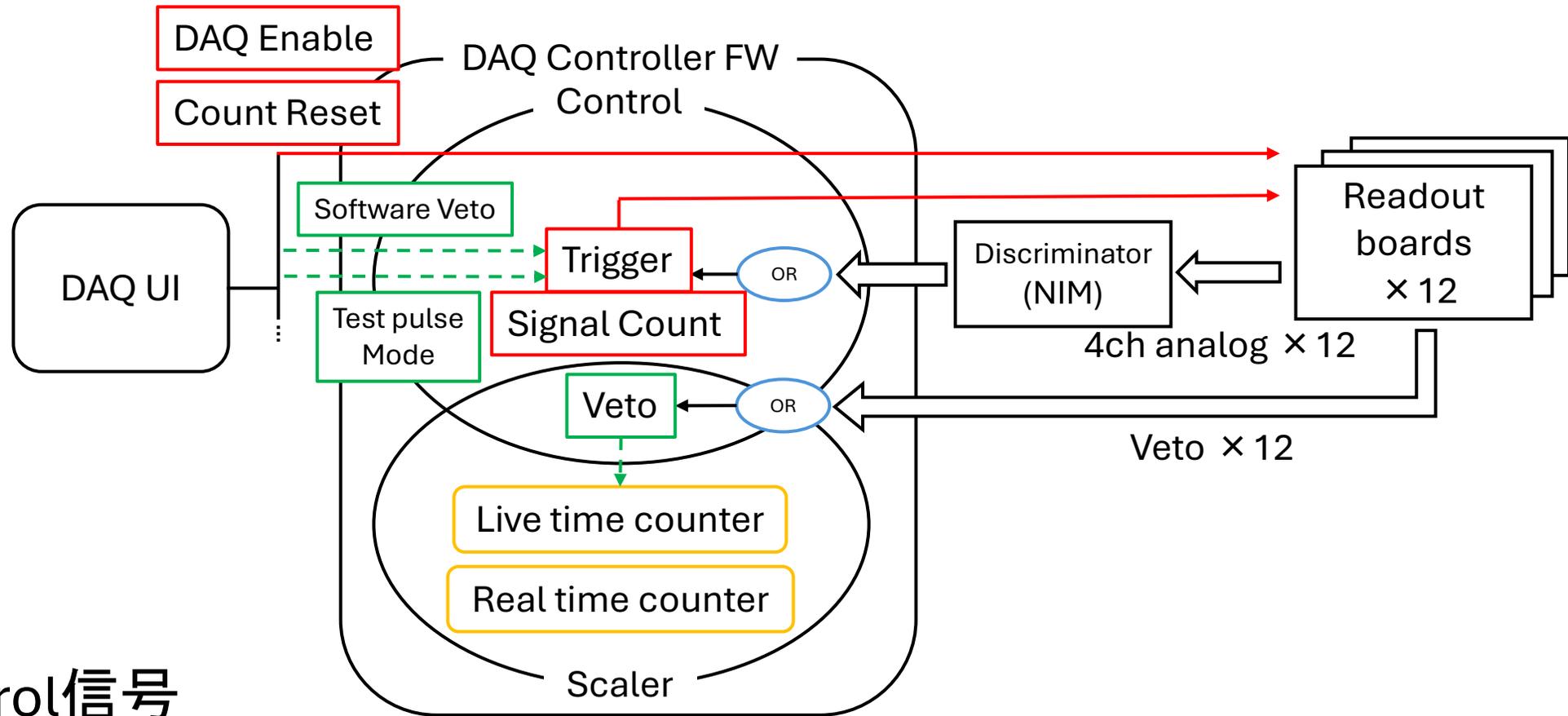
- 入力: 128ch Analog信号
- 出力: 128ch ToT (Time over Threshold)
ToF(Time of Flight)

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

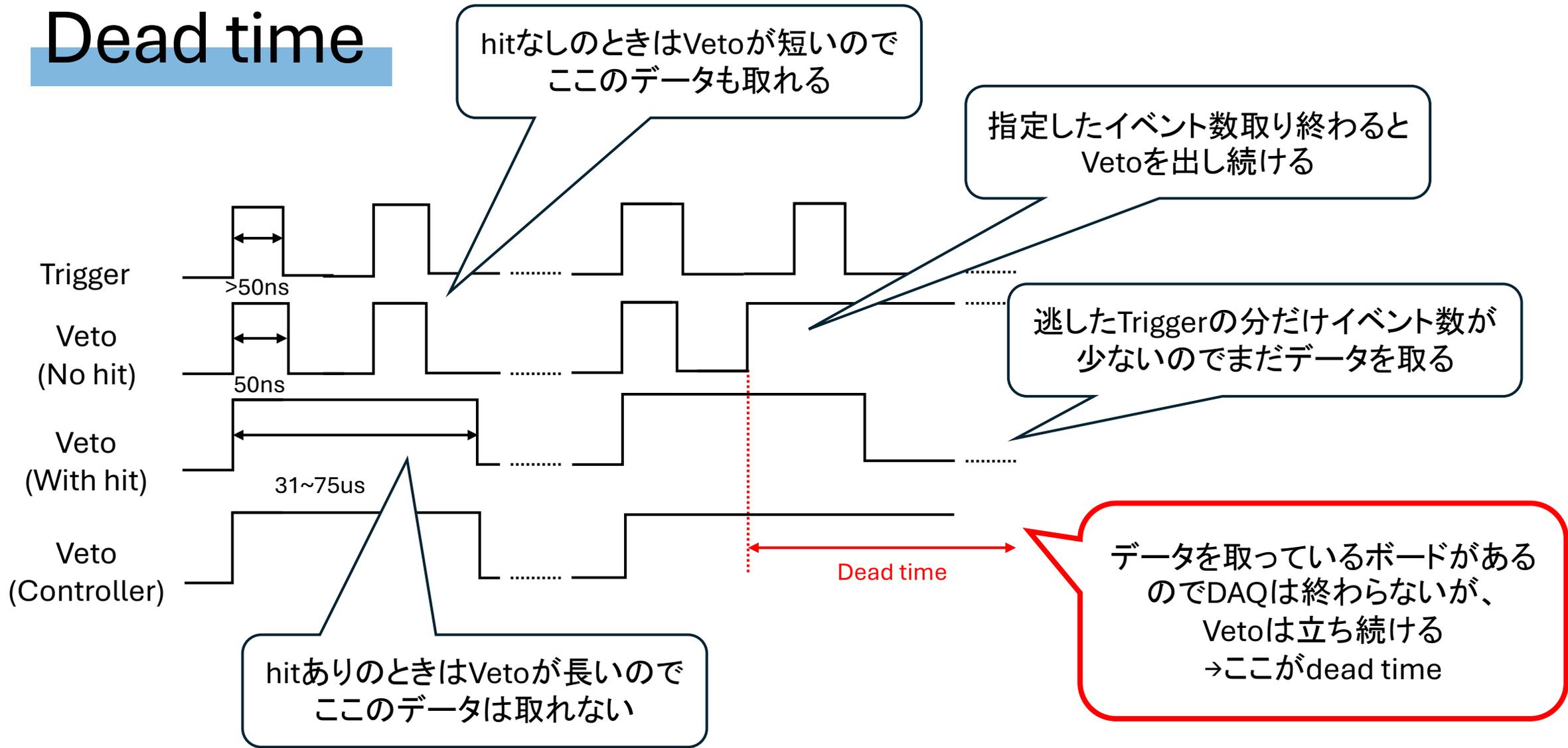




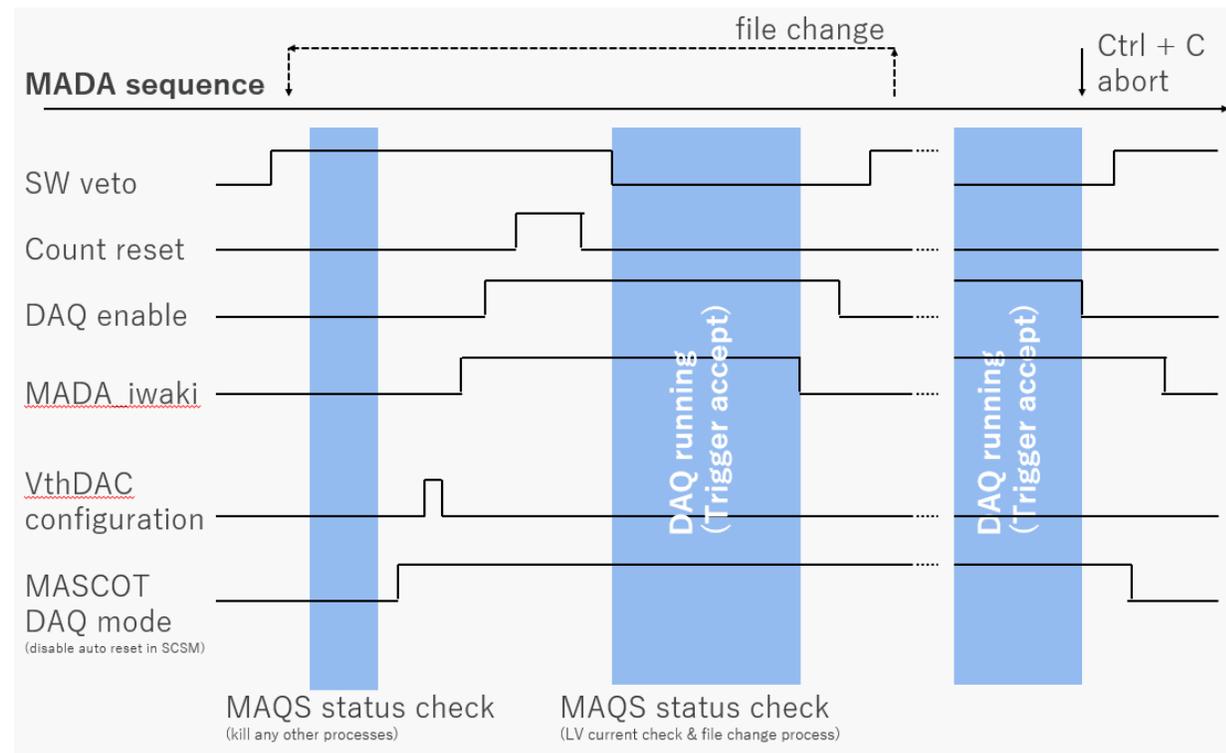
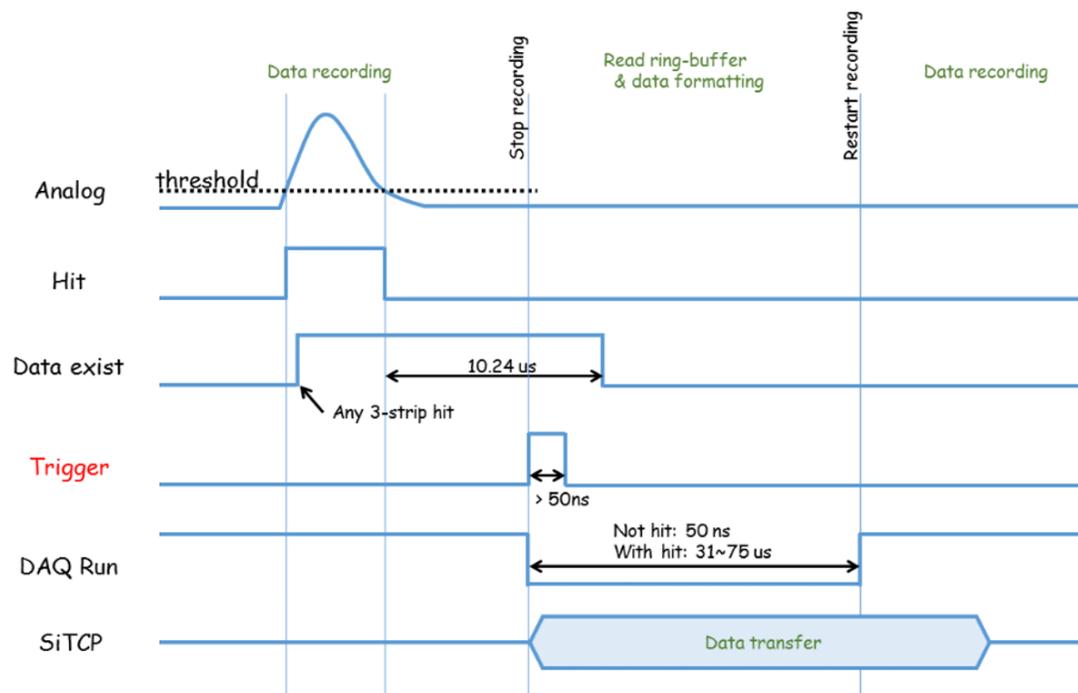
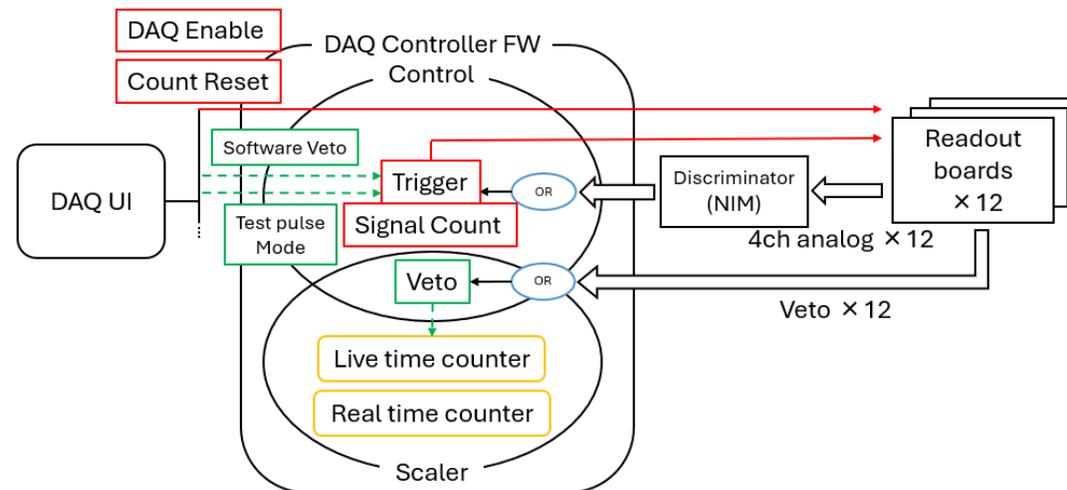
• Control信号

- 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

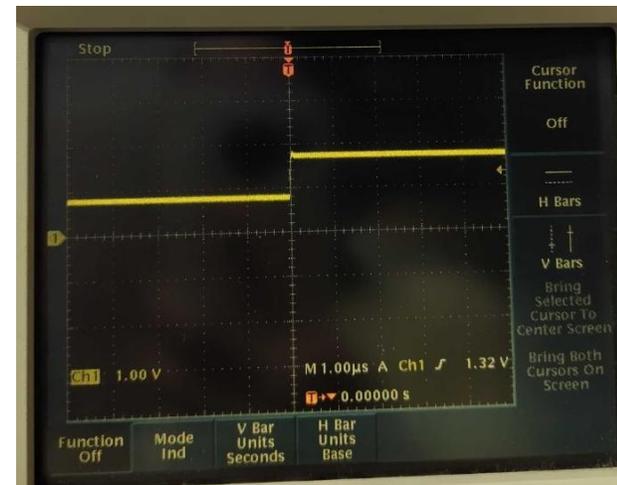
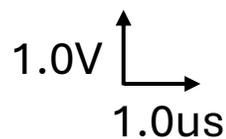
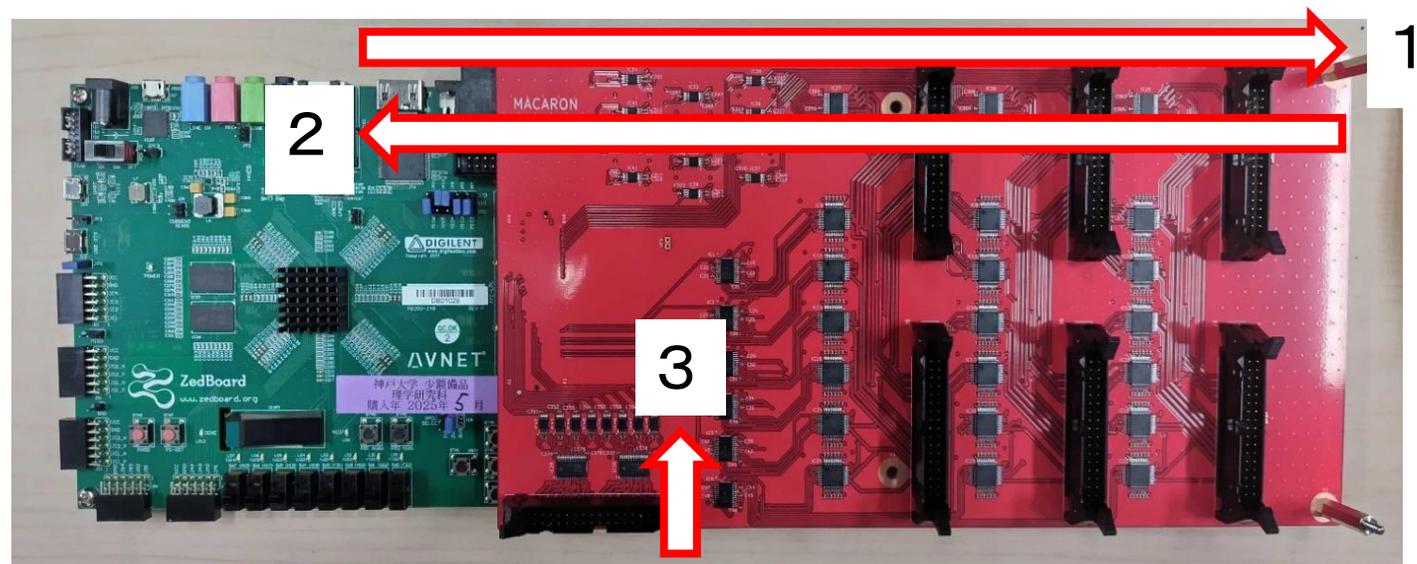
 - 手法

 - 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

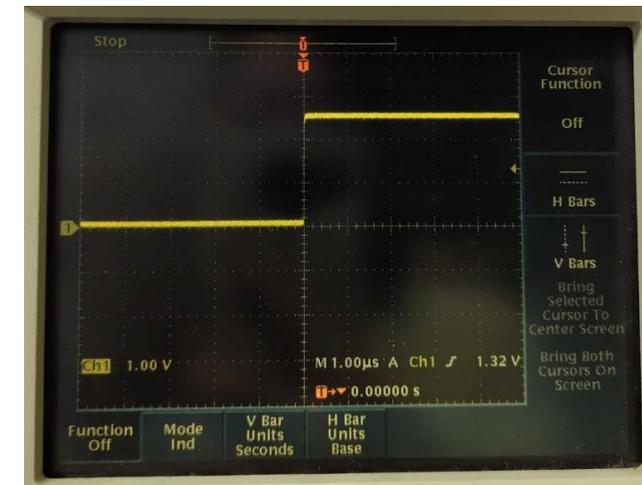
 - 結果

 - 正常に動作することを確認

- Mezzanine→ZedBoard
入力確認



1番 (LVDS Positive)

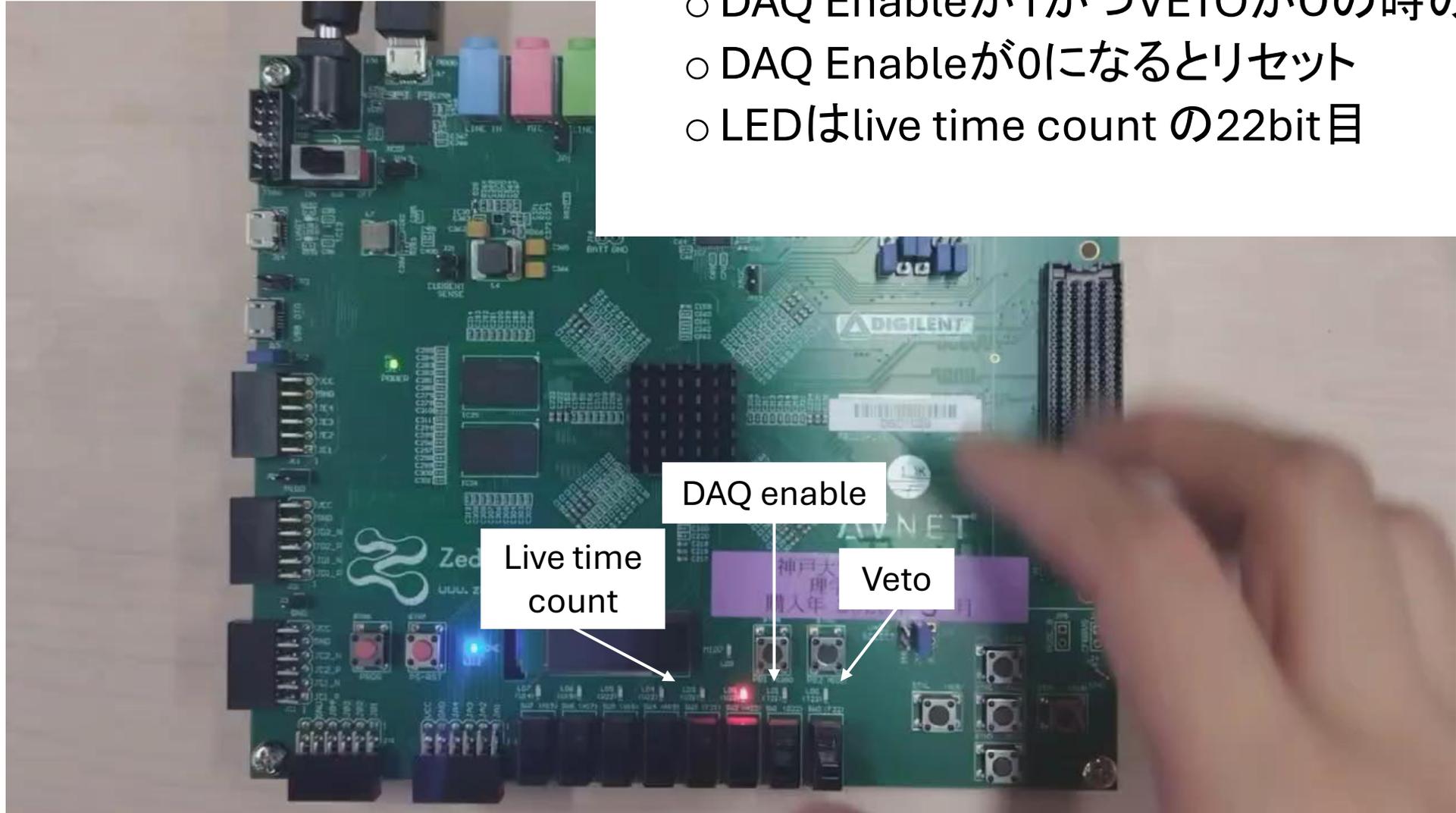


2,3番 (2.5V CMOS)

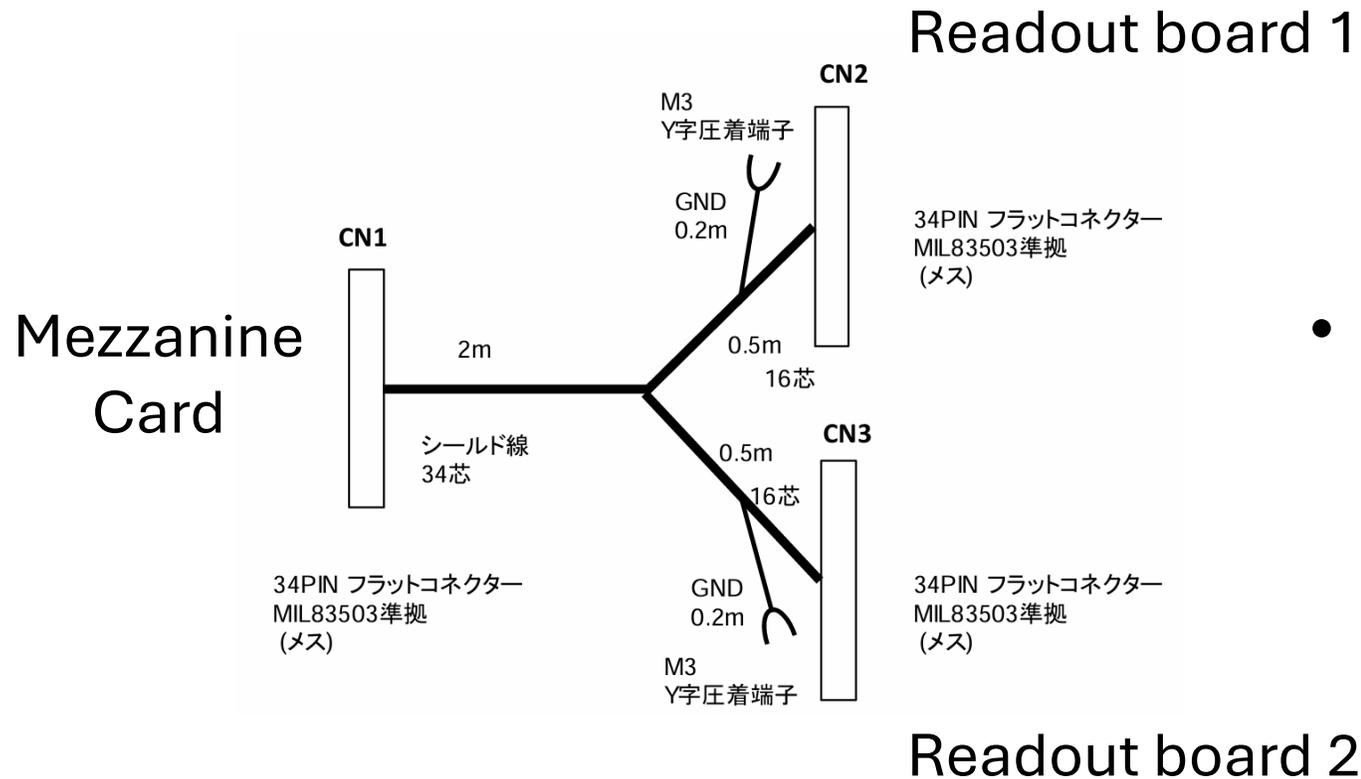
SoC

- 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

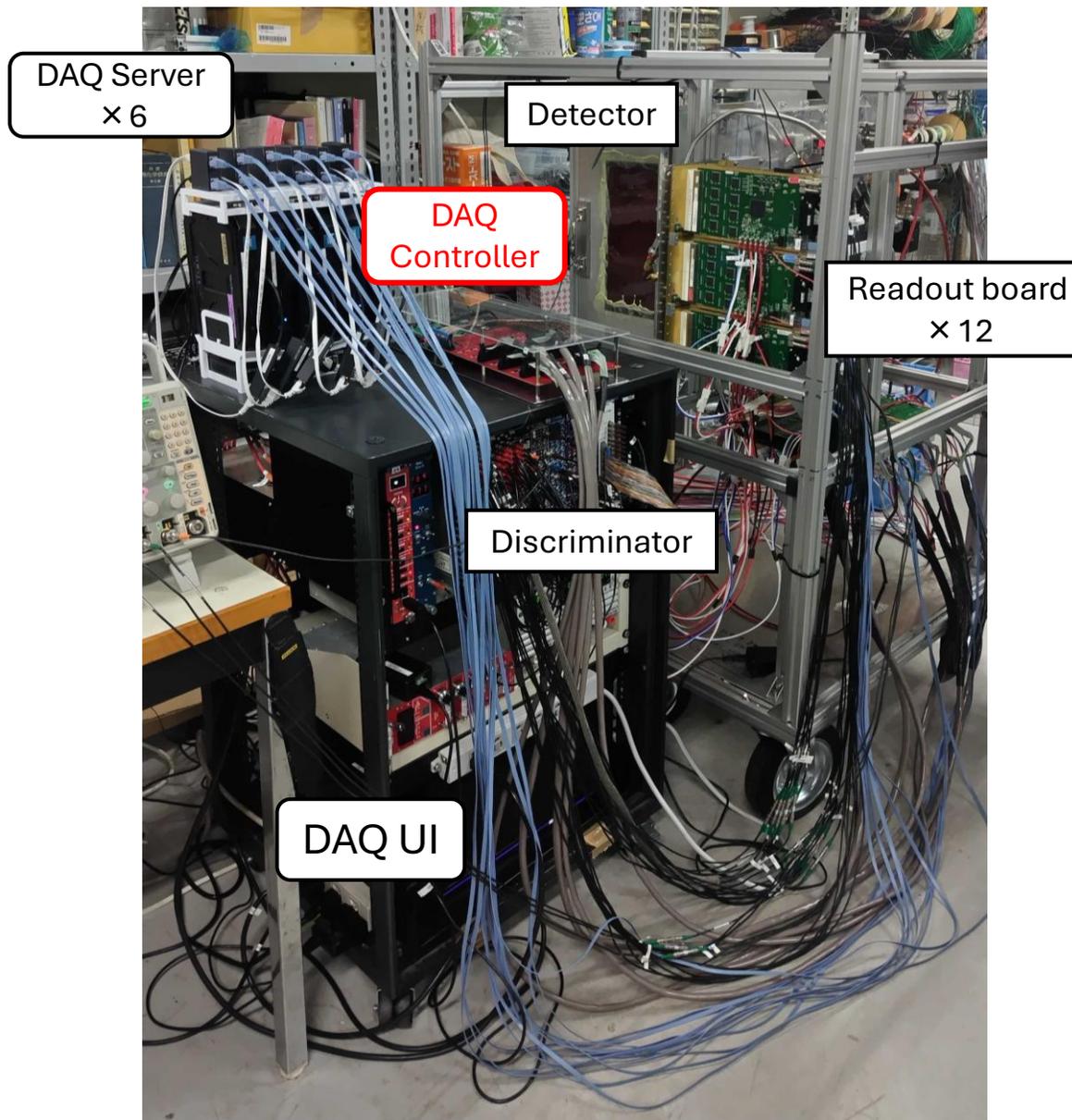


Mezzanine Card-Readout board cable



- 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

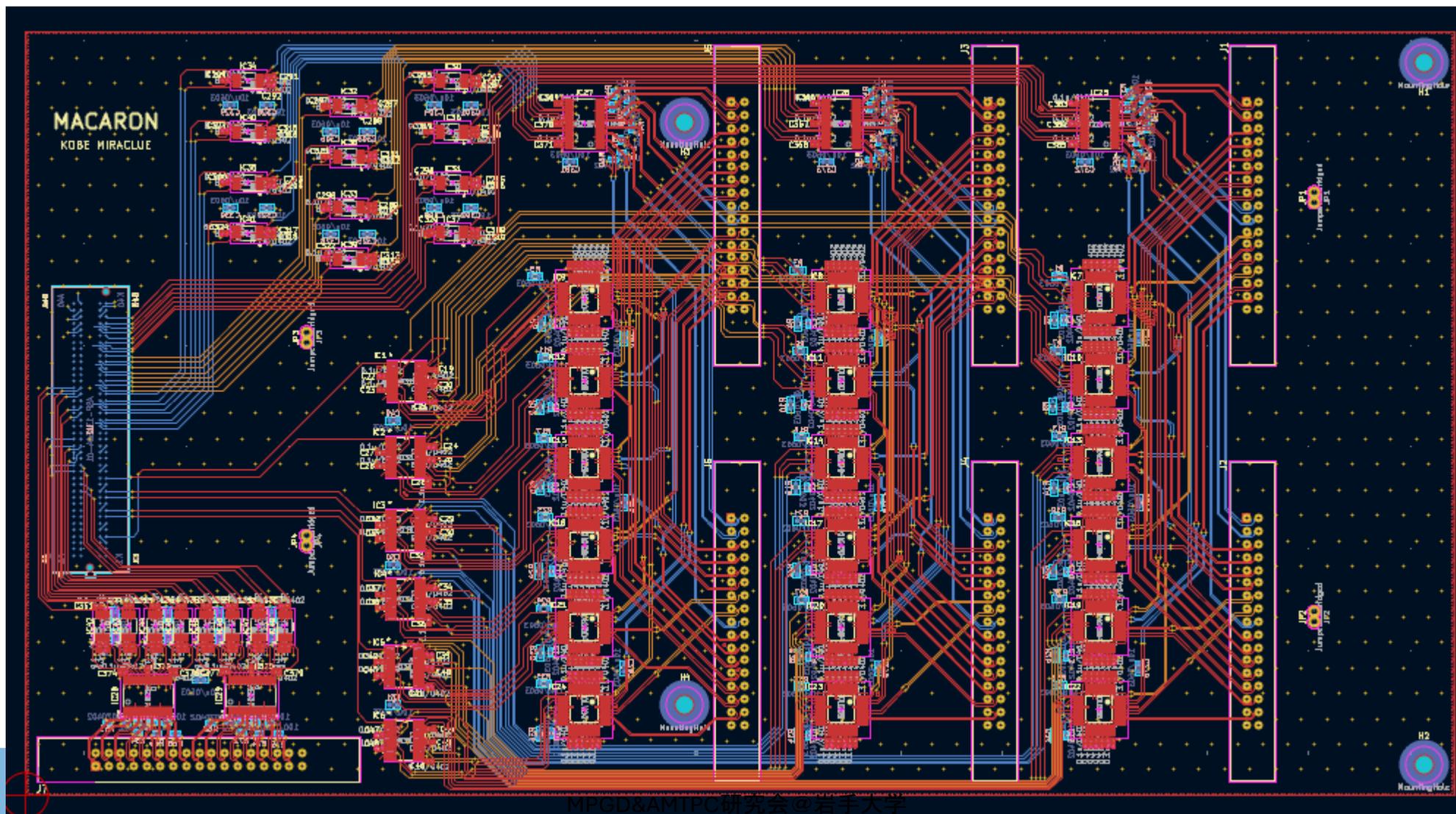
CDCLVC1112PW			
1	CLKIN	Y1	24
2	1G	Y3	23
3	Y_0	VDD_5	22
4	GND_1	Y2	21
5	VDD_1	GND_5	20
6	Y_4	Y5	19
7	GND_2	VDD_4	18
8	Y_6	Y7	17
9	VDD_2	Y8	16
10	Y_9	GND_4	15
11	GND_3	Y10	14
12	Y11	VDD_3	13

DS90LV004TVS		
13	INO+	48
14	INO-	47
15	IN1+	46
16	IN1-	45
17	GND_3	44
18	GND_4	43
19	IN2+	42
20	IN2-	41
21	IN3+	40
22	IN3-	39
23	GND_5	38
24	GND_6	37
25	GND_7	
26	GND_8	
27	VDD_7	
28	VDD_8	
29	VDD_9	
30	N/C_2	
31	N/C_3	
32	VDD_10	
33	VDD_11	
34	VDD_12	
35	N/C_4	
36	N/C_5	
	PEM1	
	PEM0	
	VDD_1	
	VDD_2	
	N/C_1	
	VDD_3	
	VDD_4	
	GND_1	
	GND_2	
	VDD_5	
	VDD_6	
	PWON	
	OUT0+	48
	OUT0-	47
	OUT1+	46
	OUT1-	45
	GND_12	44
	GND_11	43
	OUT2+	42
	OUT2-	41
	OUT3+	40
	OUT3-	39
	GND_10	38
	GND_9	37
		+3V3

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

