

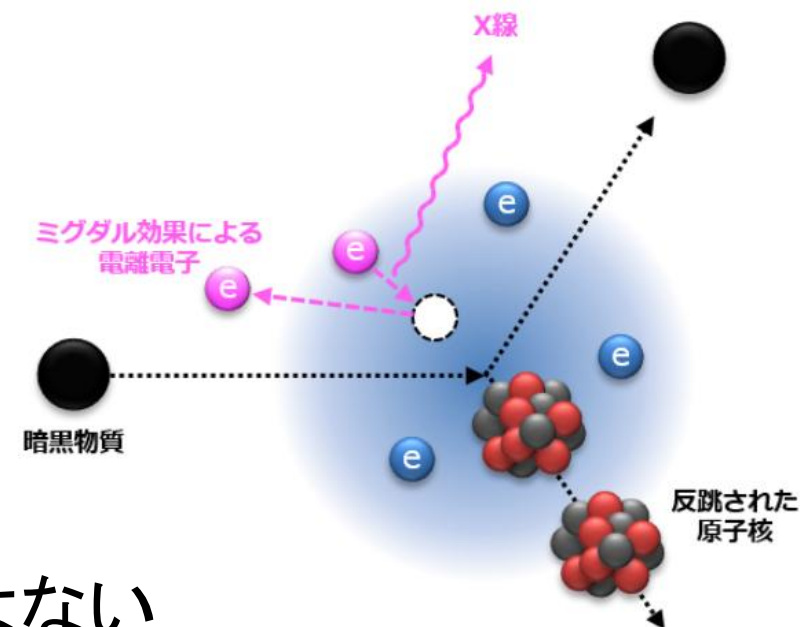
MIRACLUE実験における 新しい統合DAQシステムの開発

第10回 YMAP 秋の研究会@東京大学柏キャンパス
2025/12/06

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

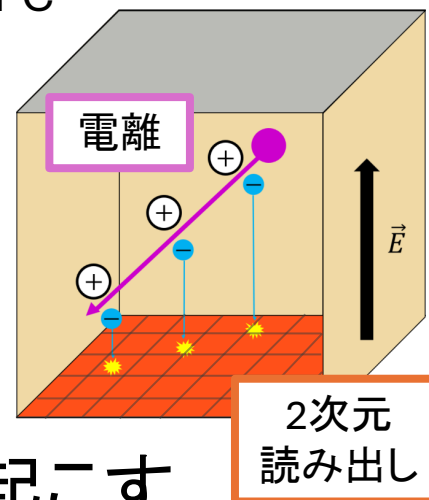


Migdal効果 模式図

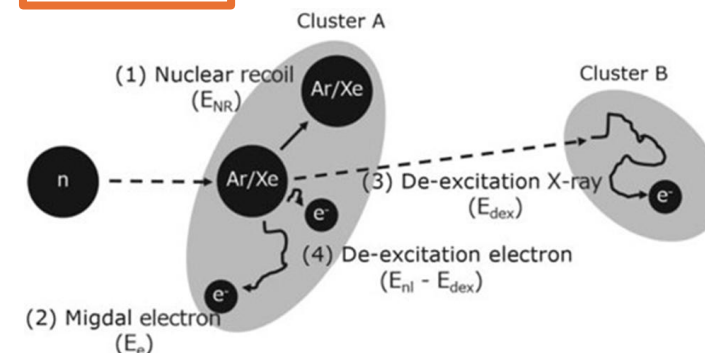
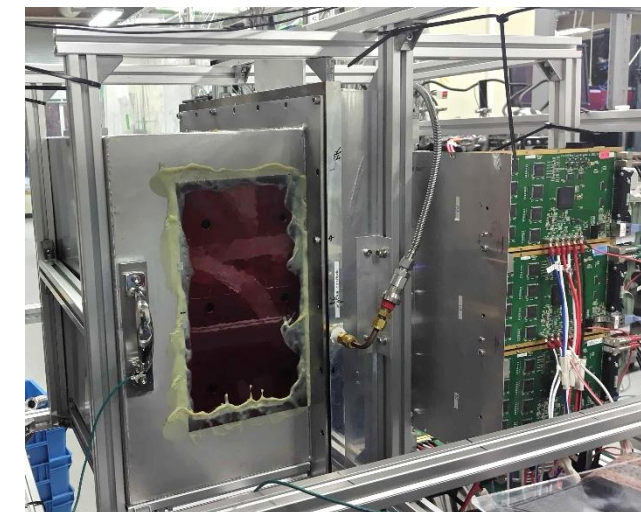
MIRACLUE実験

- 原子核反跳によるMigdal効果の実験的観測を目指す
- 検出器: ガスTPC
 - 東北大: Xeガス
 - 神戸大: Arガス
 - 3次元で飛跡を取得可能
 - 2次元ストリップ+時間情報
 - X,Y各768ch, 400 μ mピッチ
- 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



TPC



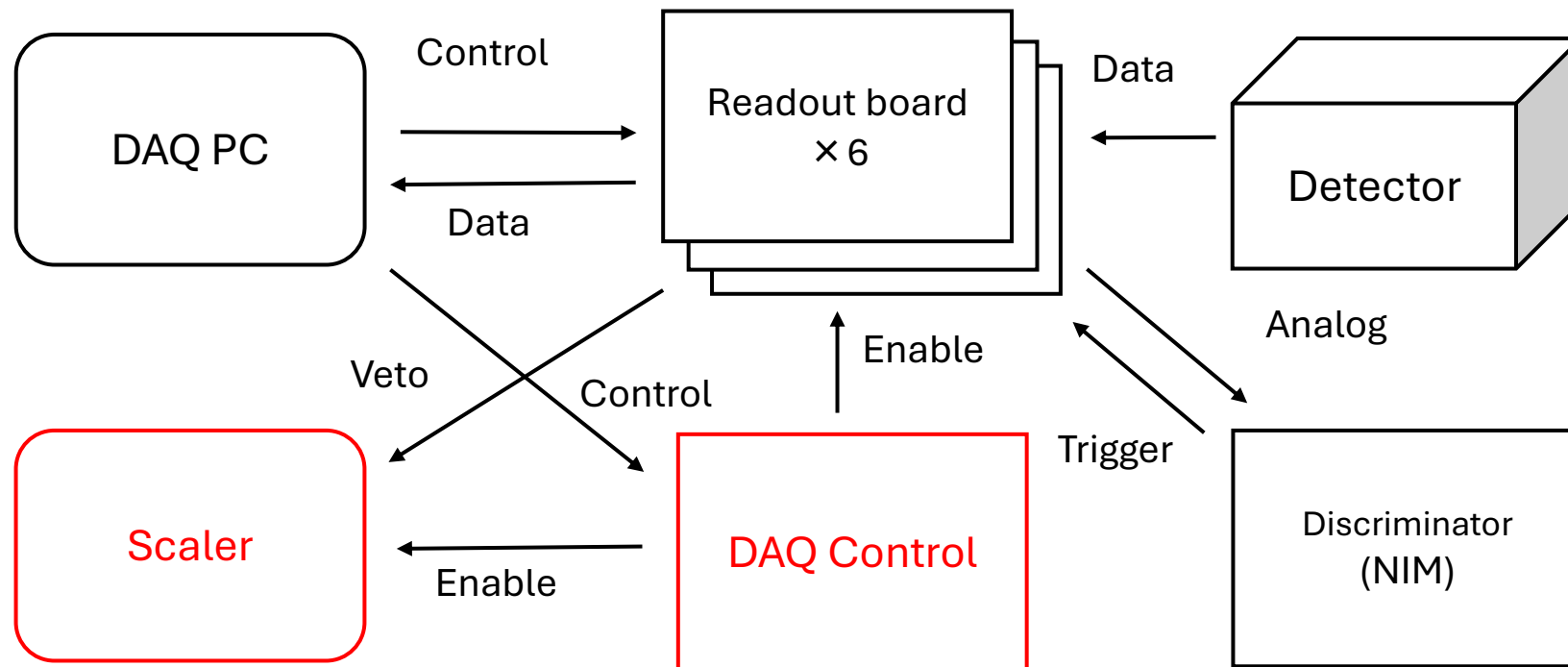
神戸大detector



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




本研究の目的

検出器の性能向上に対応できるMIRACLUE実験のDAQ システム開発

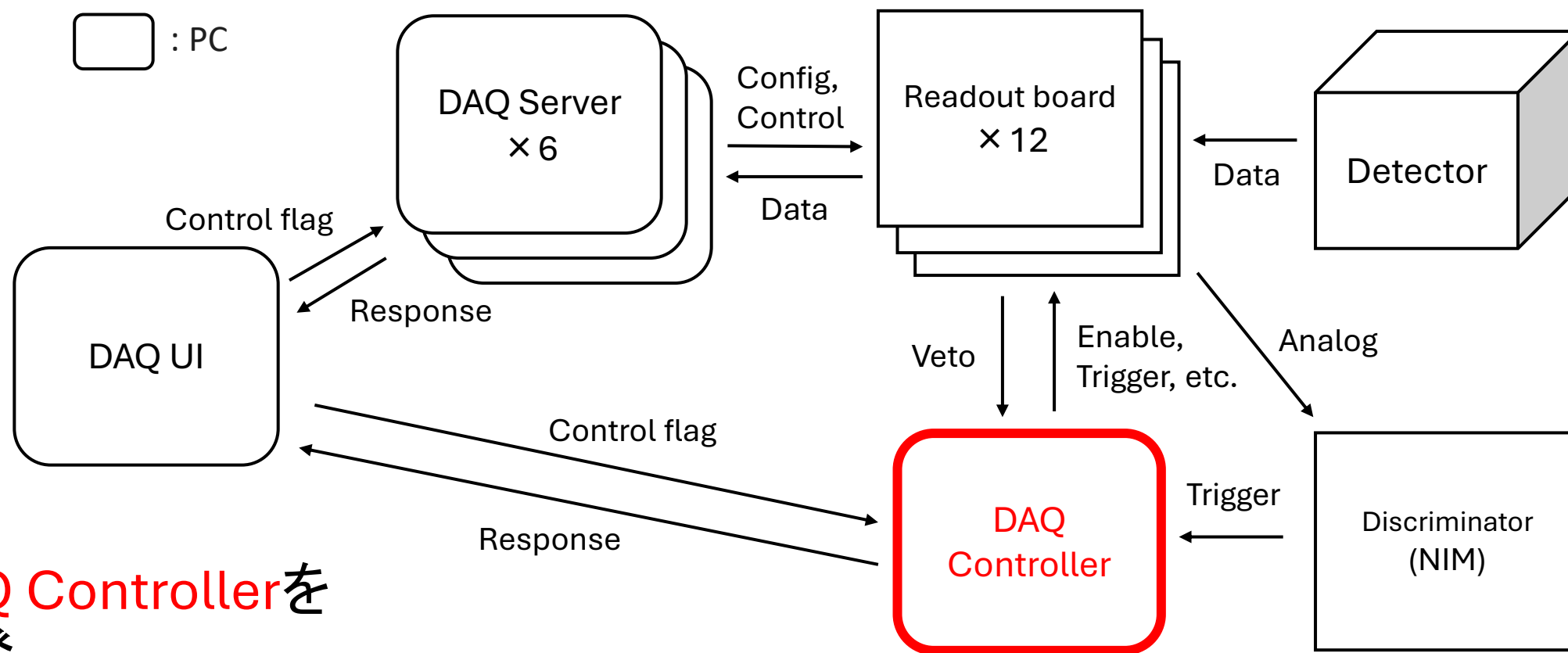
- 検出器のピッチ変更($800\mu\text{m} \rightarrow 400\mu\text{m}$)に対応可能
 - 必要ch数の増加 → 必要ボード数も増加
 - 対応ボード枚数の拡張(6枚 \rightarrow 12枚)
- 機能の統合
 - 複雑な信号のやり取りをなくす

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

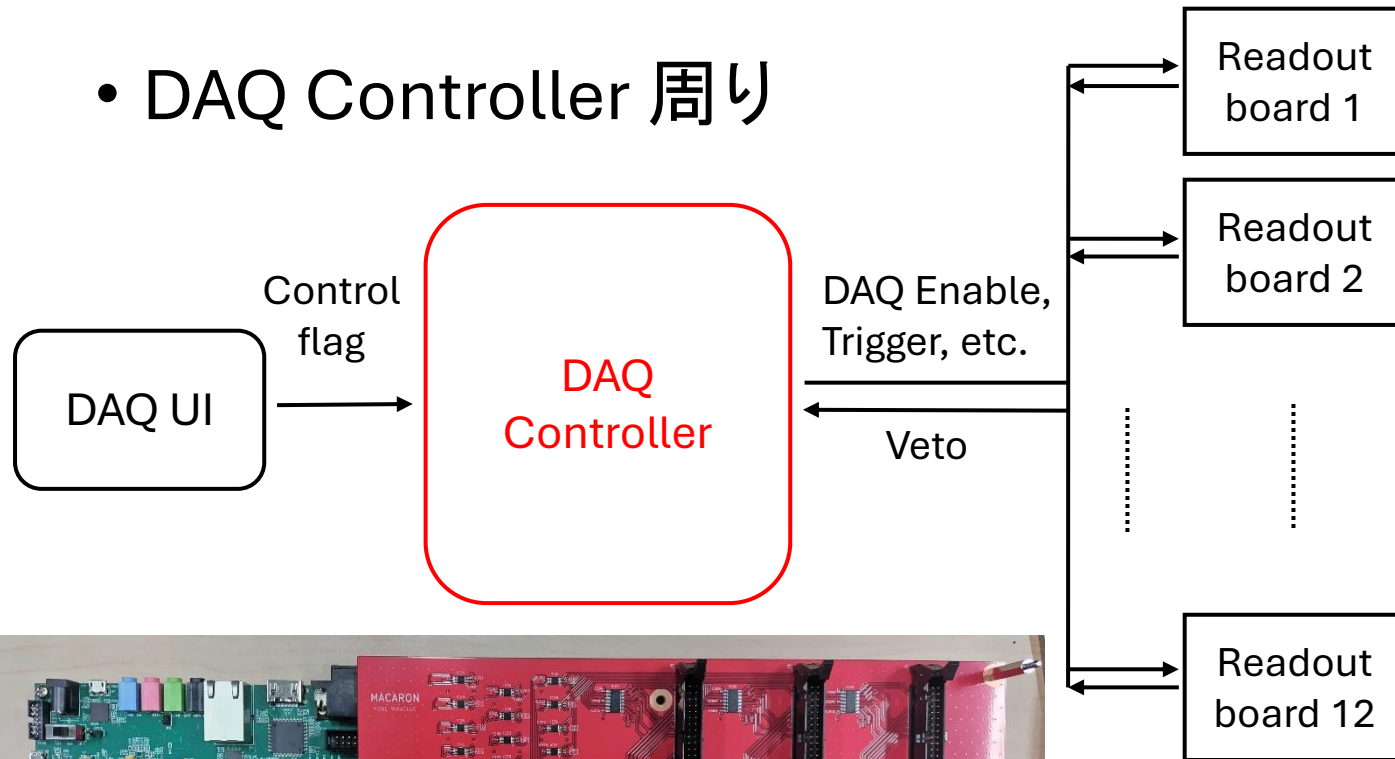
 : PC



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



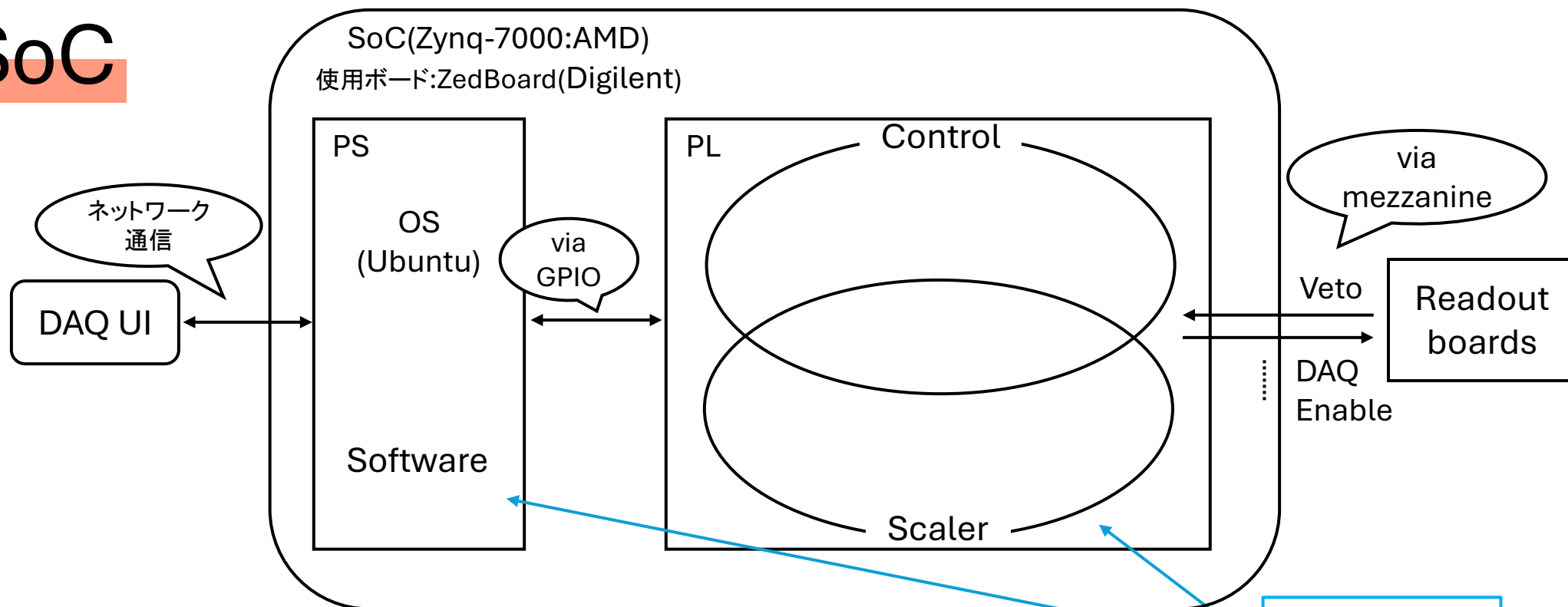
Readout
boards

LVDS

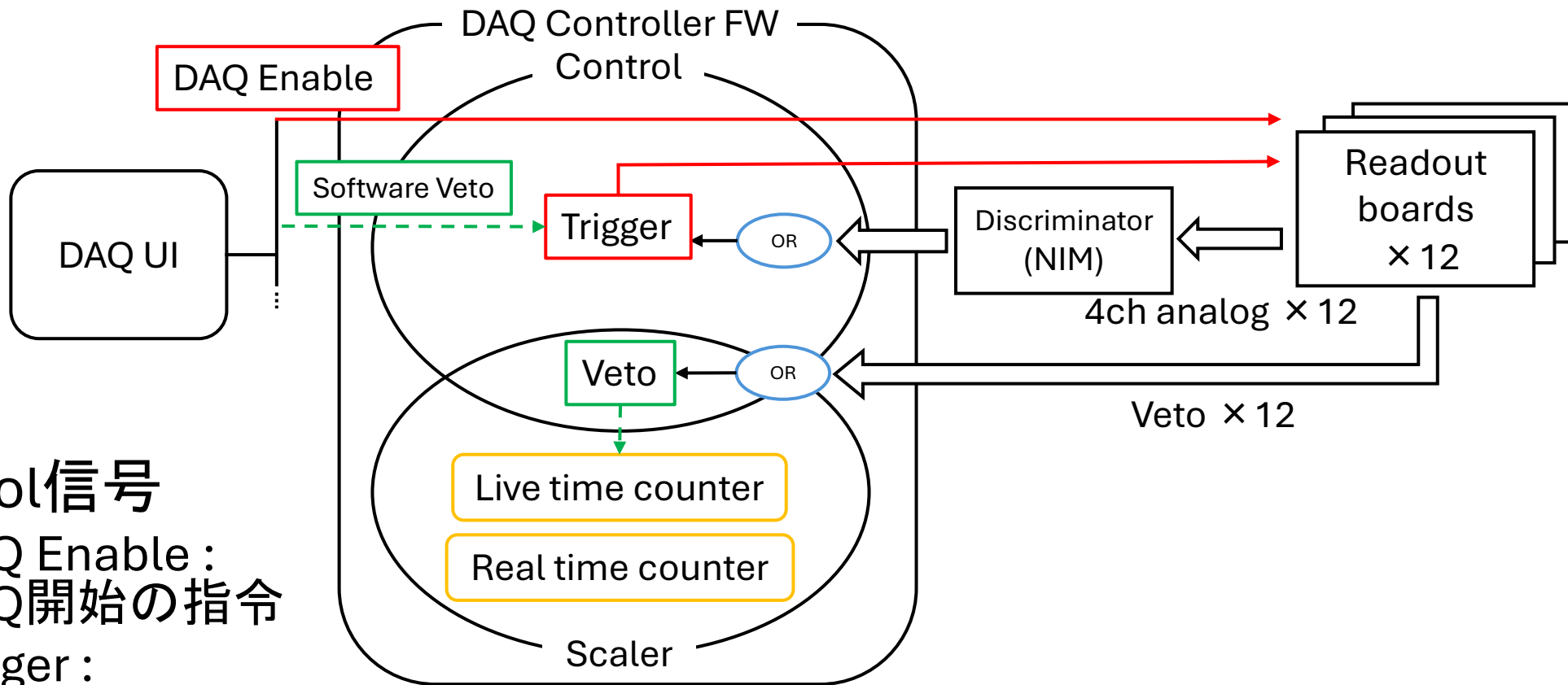
Kicadでデザインし
P板.comで製造・実装

- 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



- Control信号

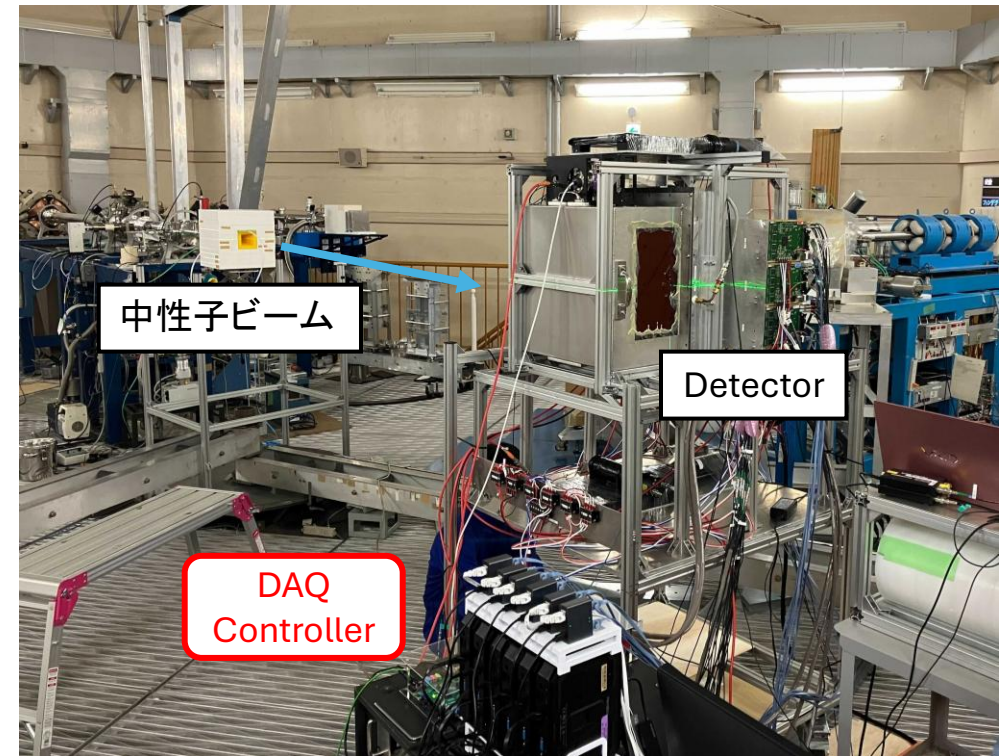
- DAQ Enable :
DAQ開始の指令
- Trigger :
データ取得の指令

- 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

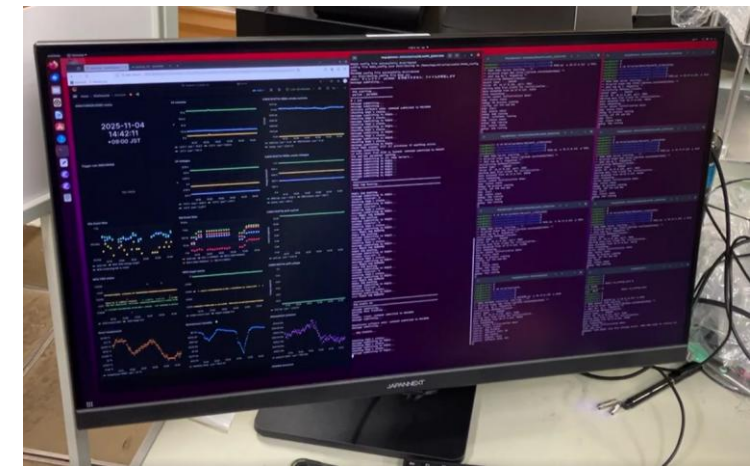
ビームテスト @産総研

- 神戸大で検出器との統合試験の後、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

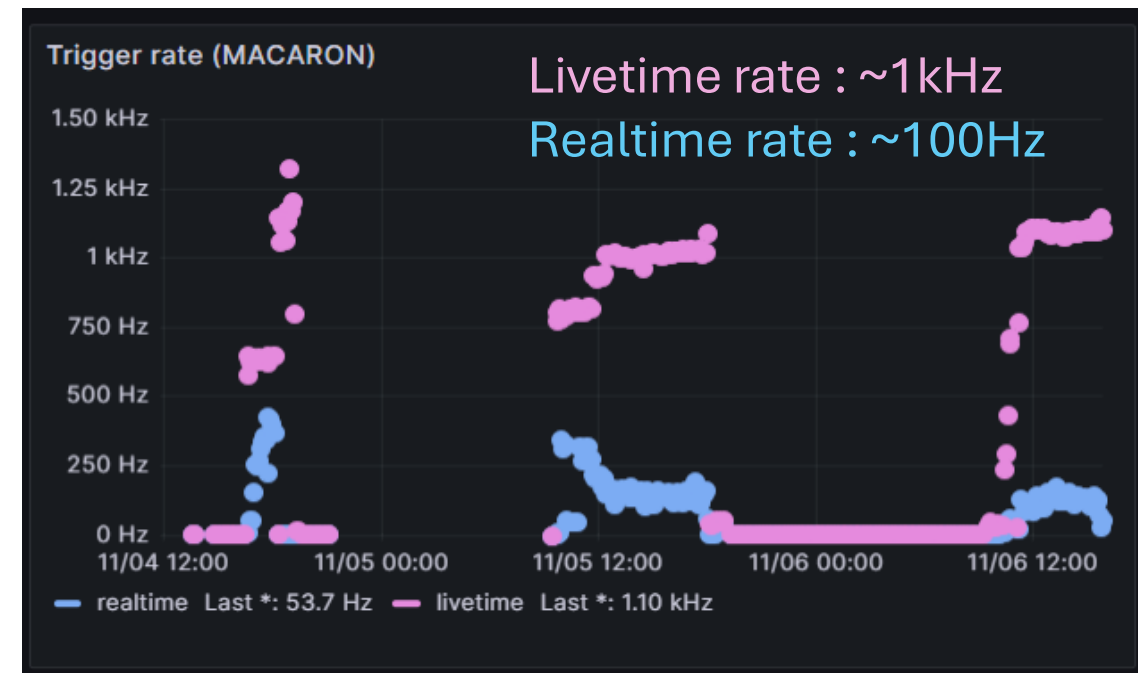
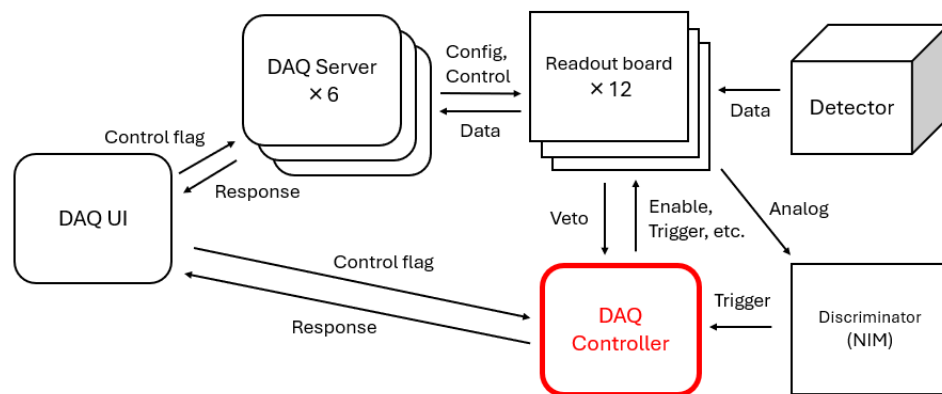


ビームテスト @産総研

データ取得時の様子



- 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
- いくつか課題も
 - Deadtimeが大きい
 - DAQ Serverごとに1ファイルあたりのevent数が異なる
 - 1ファイルあたりevent数は指定している

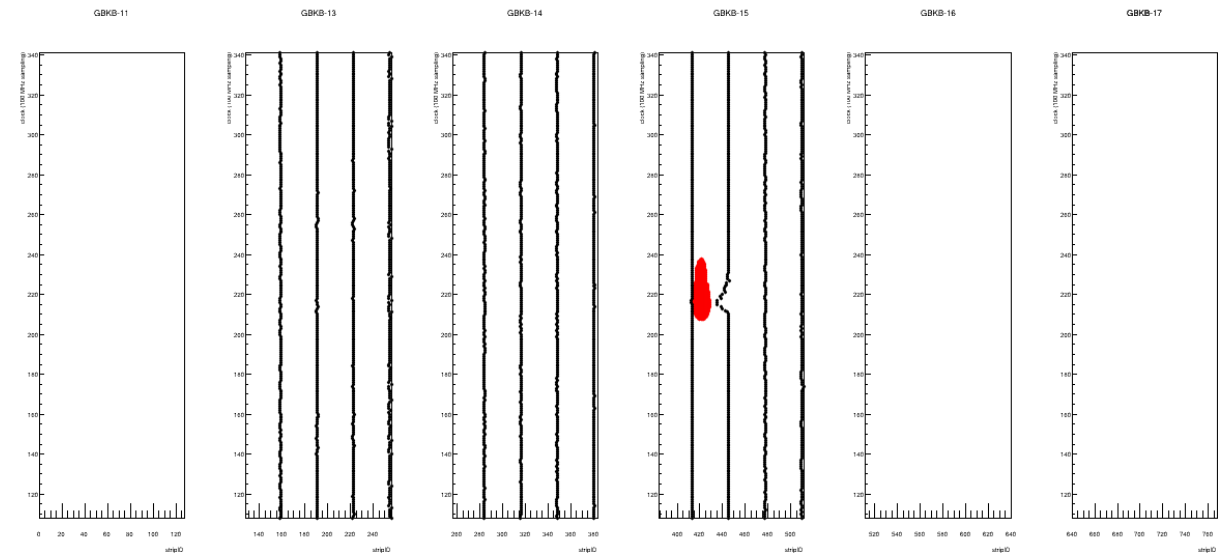
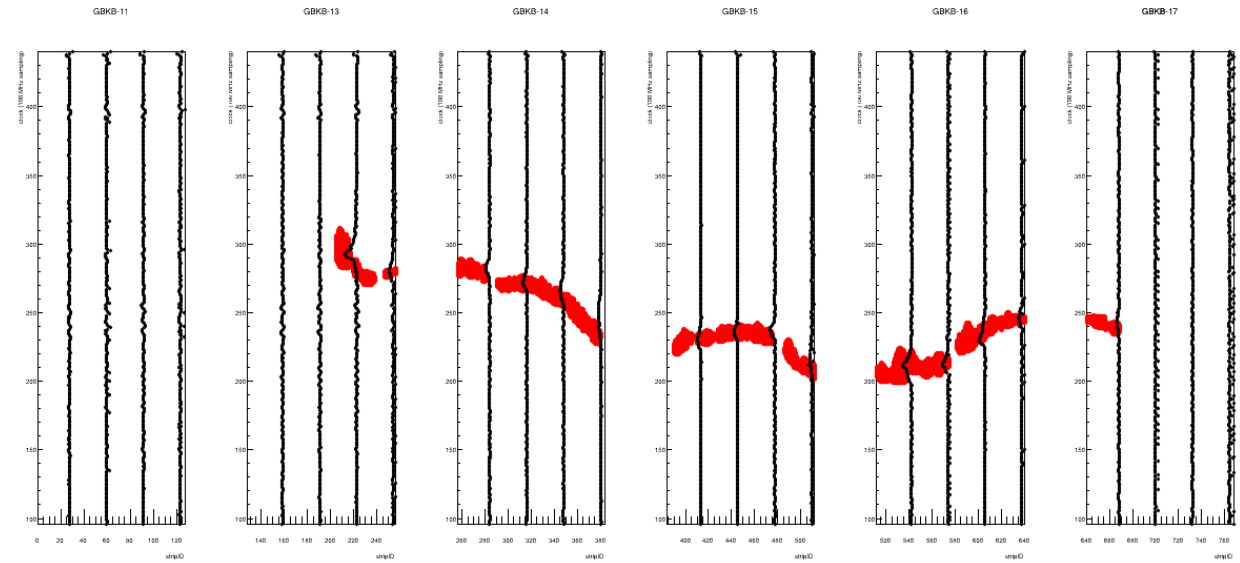


ビームテスト @産総研

電子反跳

- 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
- 今後詳しい解析

原子核反跳



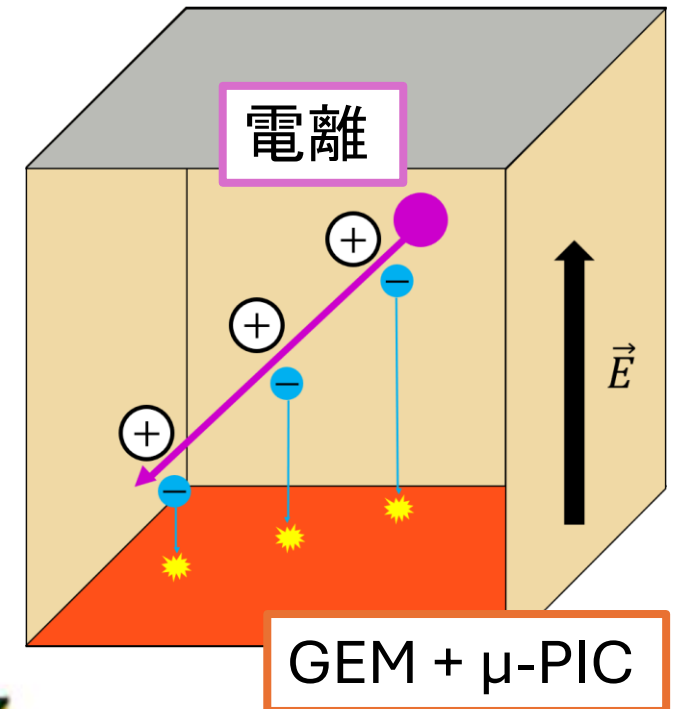
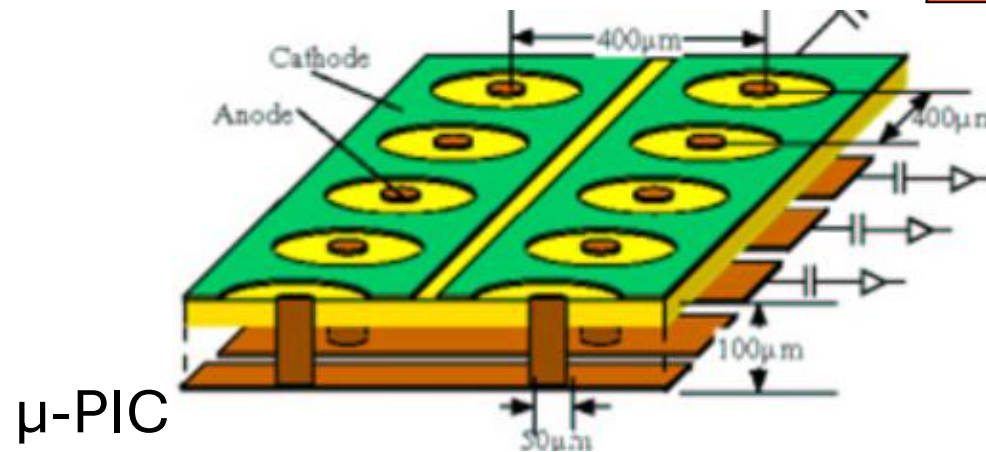
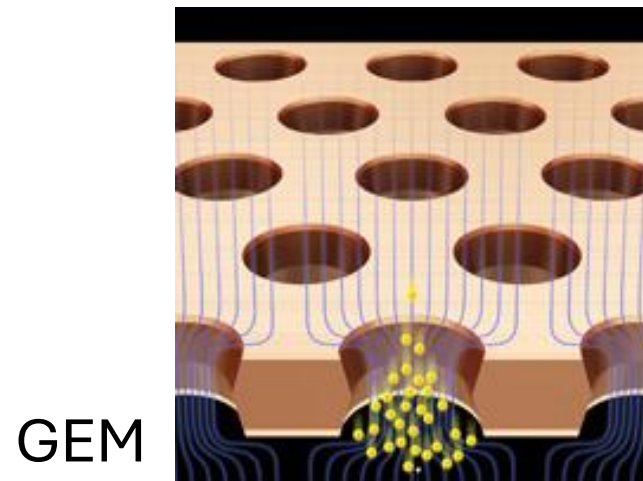
まとめと展望

- 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
 - データの取得ができた
 - 詳細な解析は今後
 - Deadtime等、課題の調査

Back up

ガスTPC

- Time Projection Chamber
 - 電離した電子を電場でドリフト
 - GEM + μ -PICで増幅
 - μ -PICで2次元読み出し
 - 電子がGEMに到達するまでの時間を測定し、3次元で飛跡を再構成



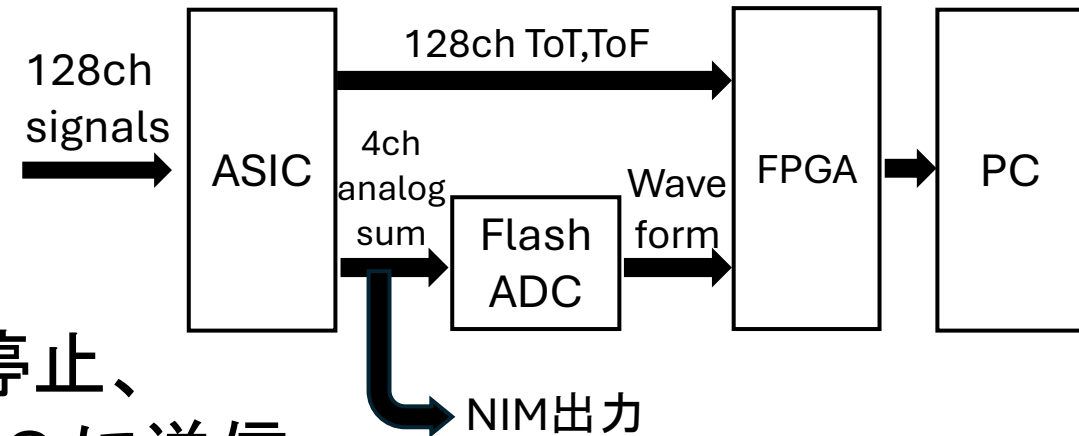
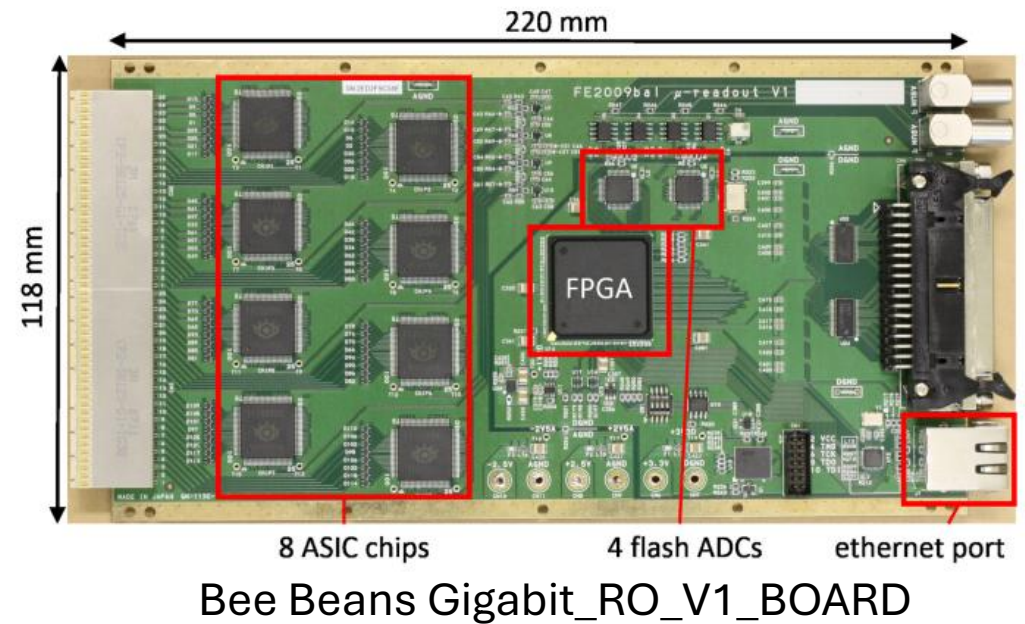
読み出しボード

- 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



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

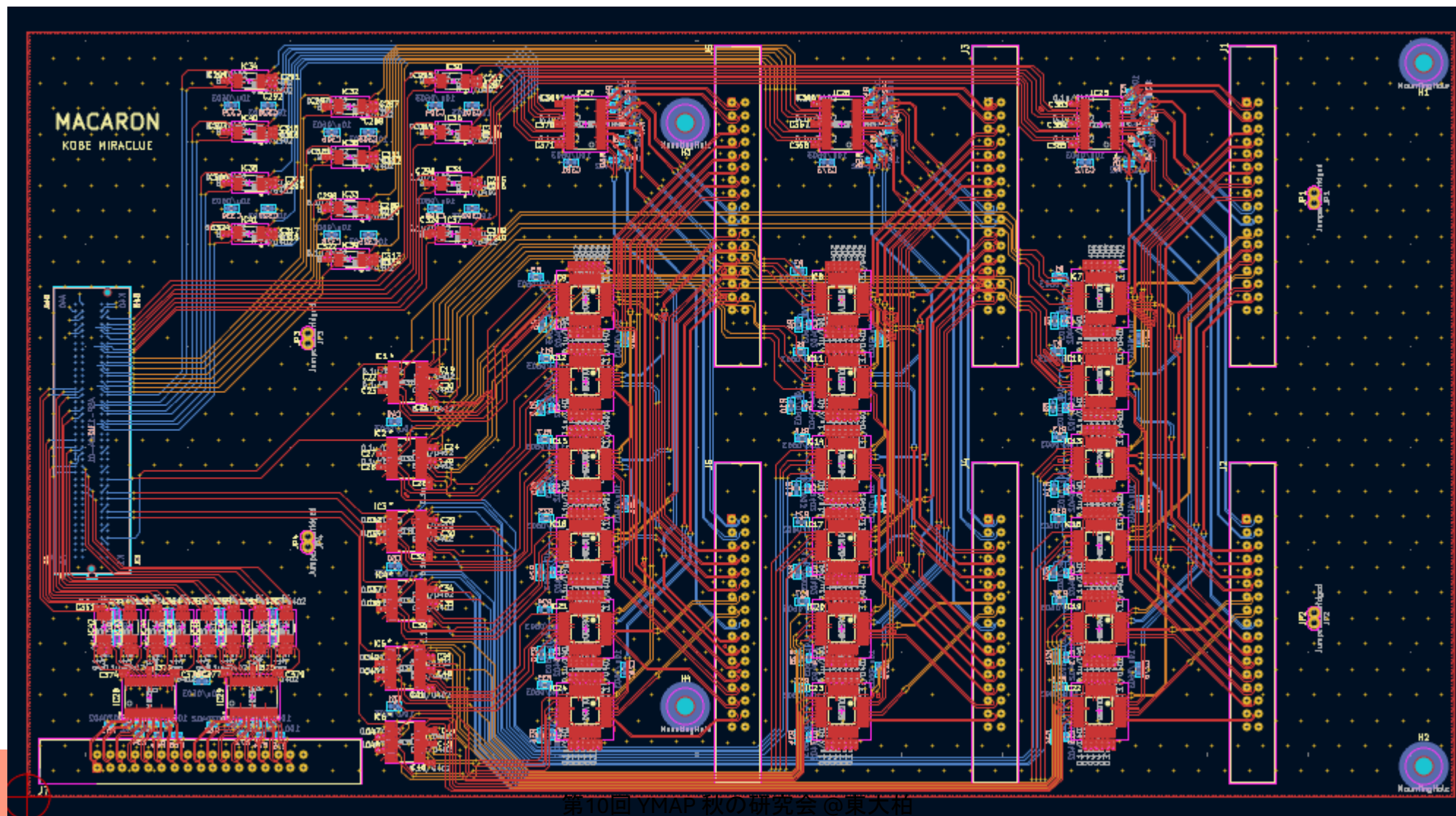
CDCLVC1112PW			
1	CLKIN	Y1	24
2	1G	Y3	23
3	Y_0	VDD_5	22
4	GND_1	Y2	21
5	VDD_1	GND_5	20
6	Y_4	Y5	19
7	GND_2	VDD_4	18
8	Y_6	Y7	17
9	VDD_2	Y8	16
10	Y_9	GND_4	15
11	GND_3	Y10	14
12	Y11	VDD_3	13

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_11
40	GND_12
41	OUT0+
42	OUT0-
43	OUT1+
44	OUT1-
45	OUT2+
46	OUT2-
47	OUT3+
48	OUT3-
49	PEM1
50	PEM2
51	GND

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



Mezzanine Card

- 動作確認

- 手法

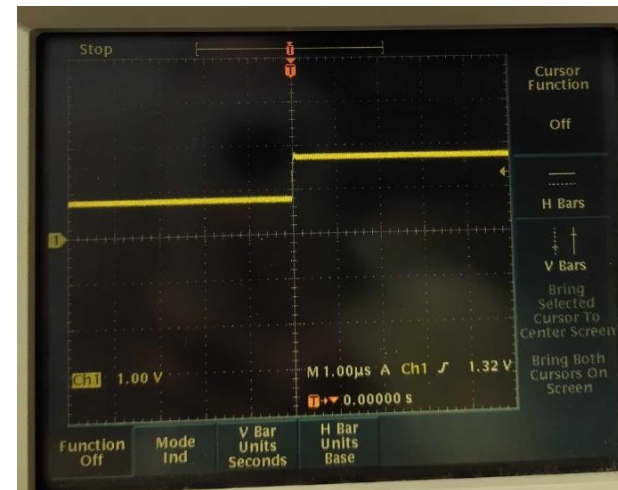
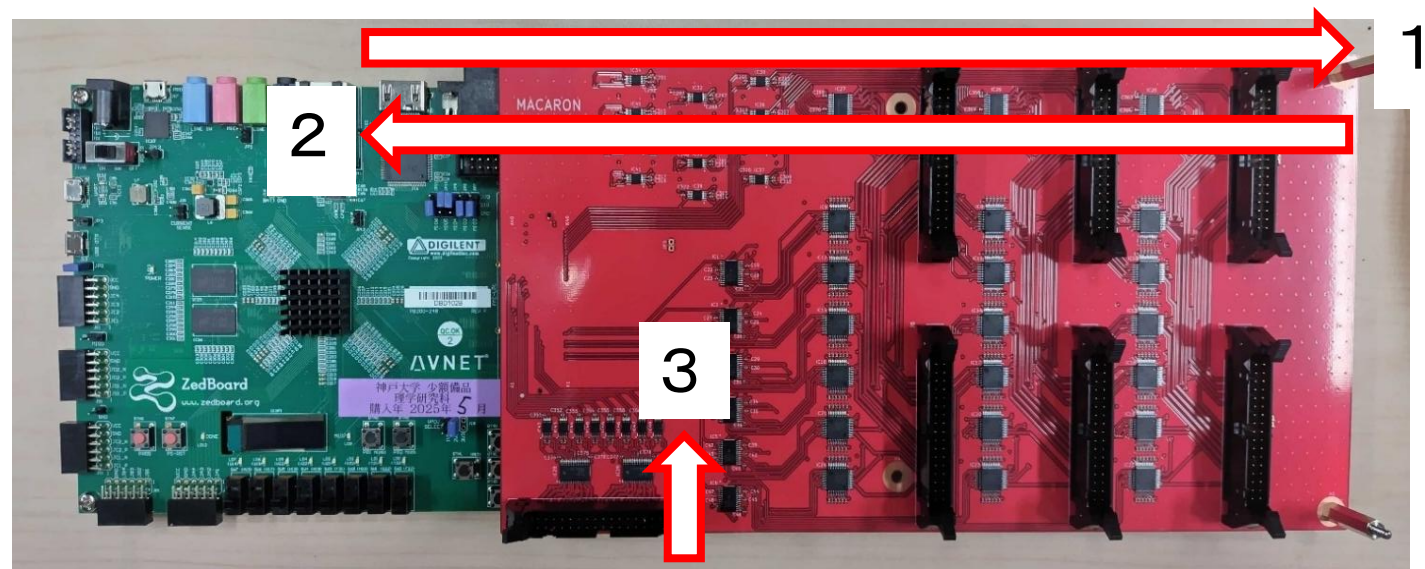
- 1番: 1.5 kHzクロック信号を送信、コネクタで波形観測
 - 2,3番: LVDS信号入力、FMCコネクタで波形観測

- 結果

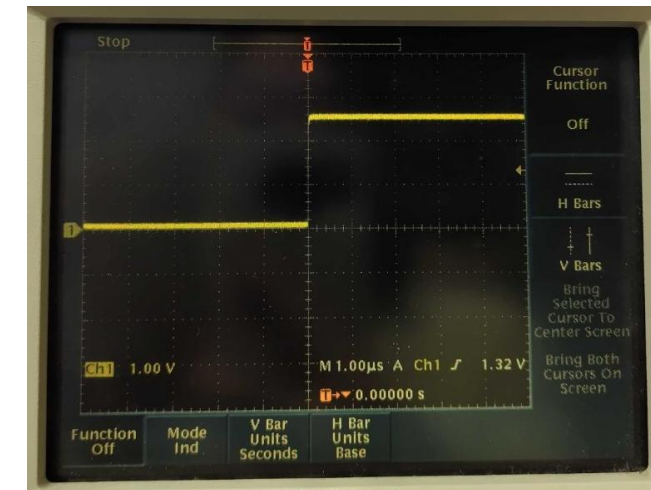
- 正常に動作することを確認

- Mezzanine→ZedBoard
入力確認

1.0V
1.0us

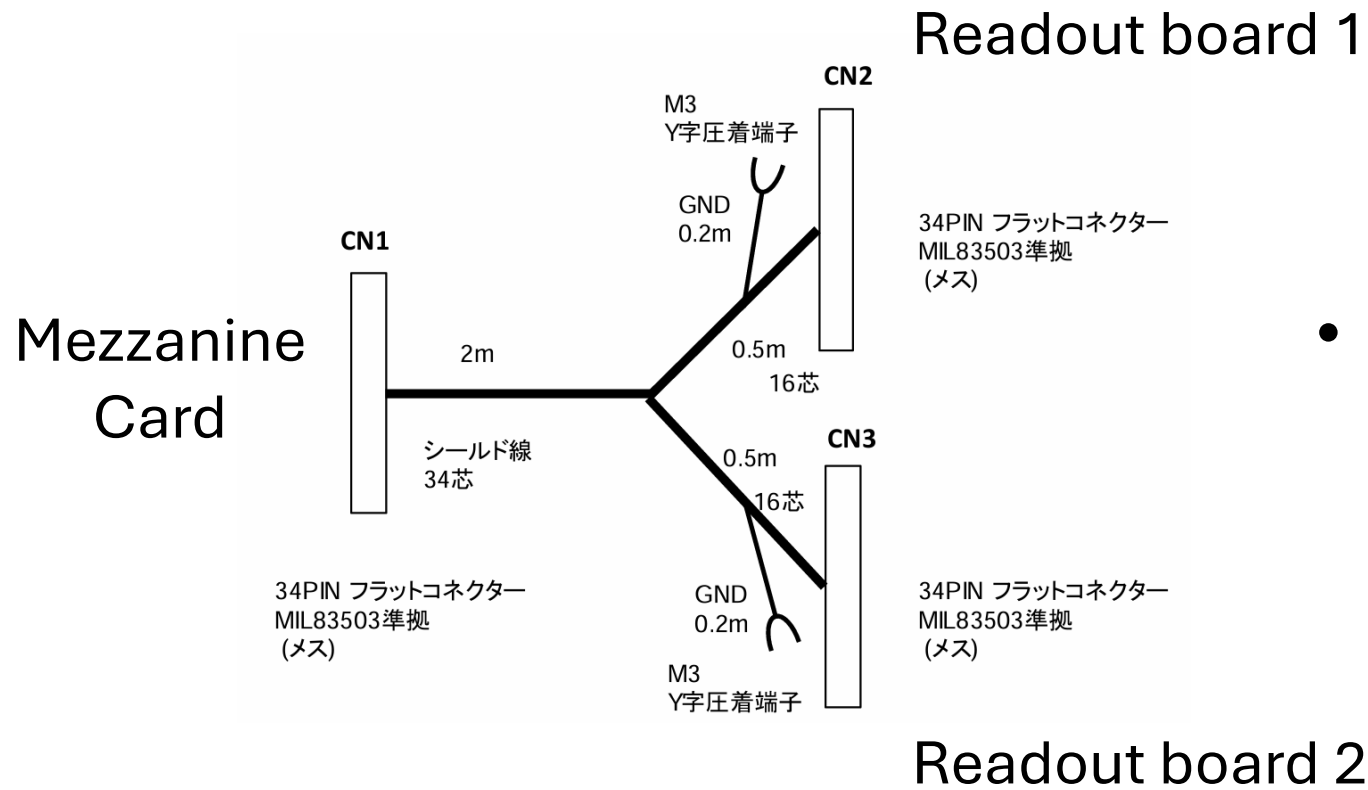


1番 (LVDS Positive)



2,3番 (2.5V CMOS)

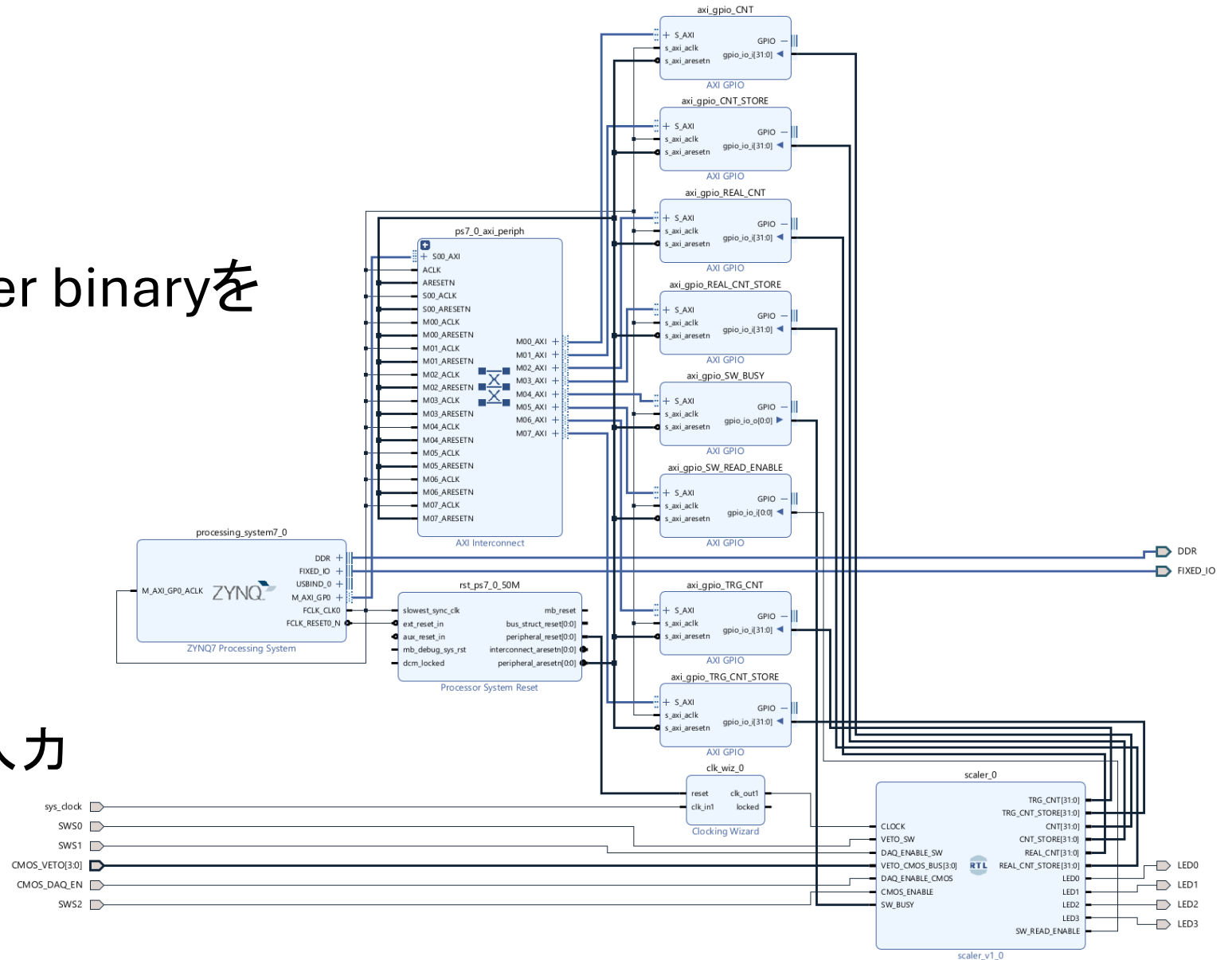
Mezzanine Card-Readout board cable



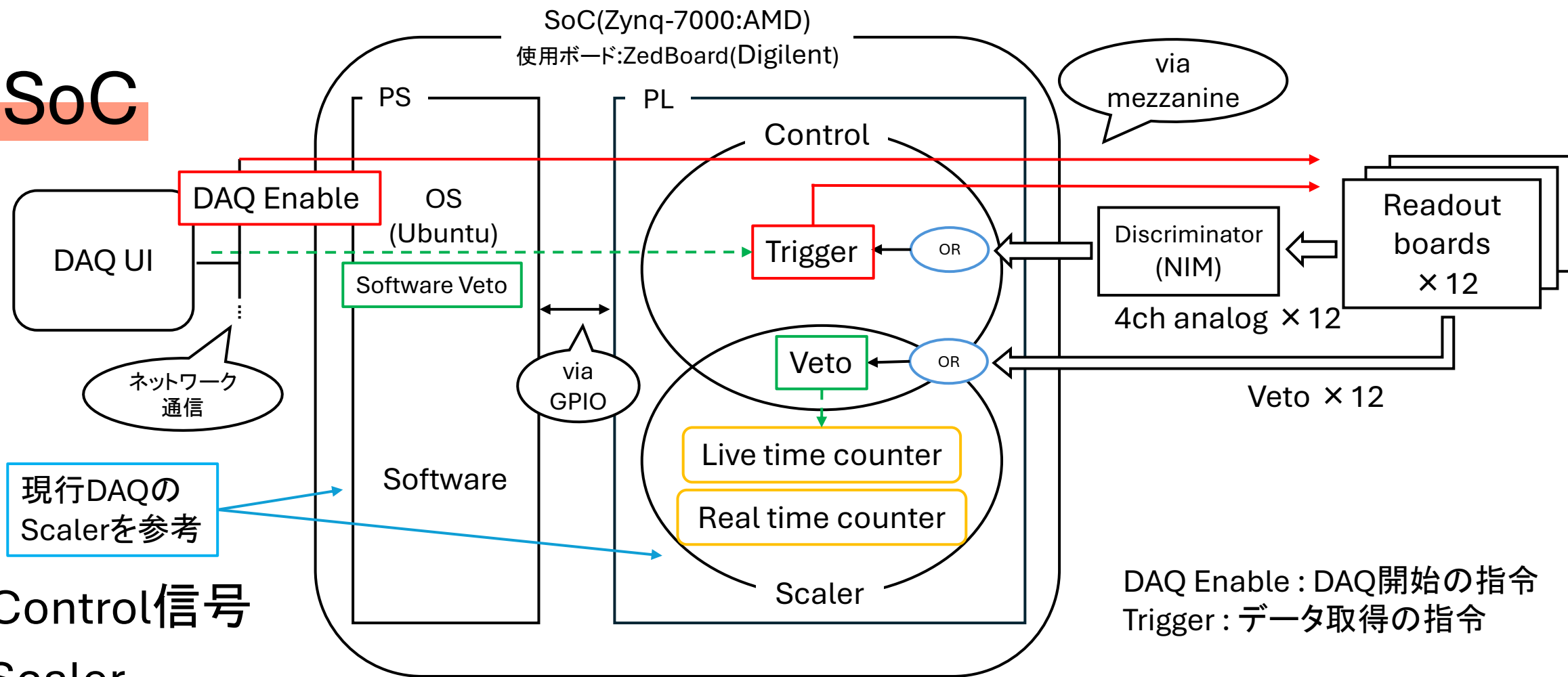
- 1つのコネクタにつき
2枚の読み出しボードと接続する

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

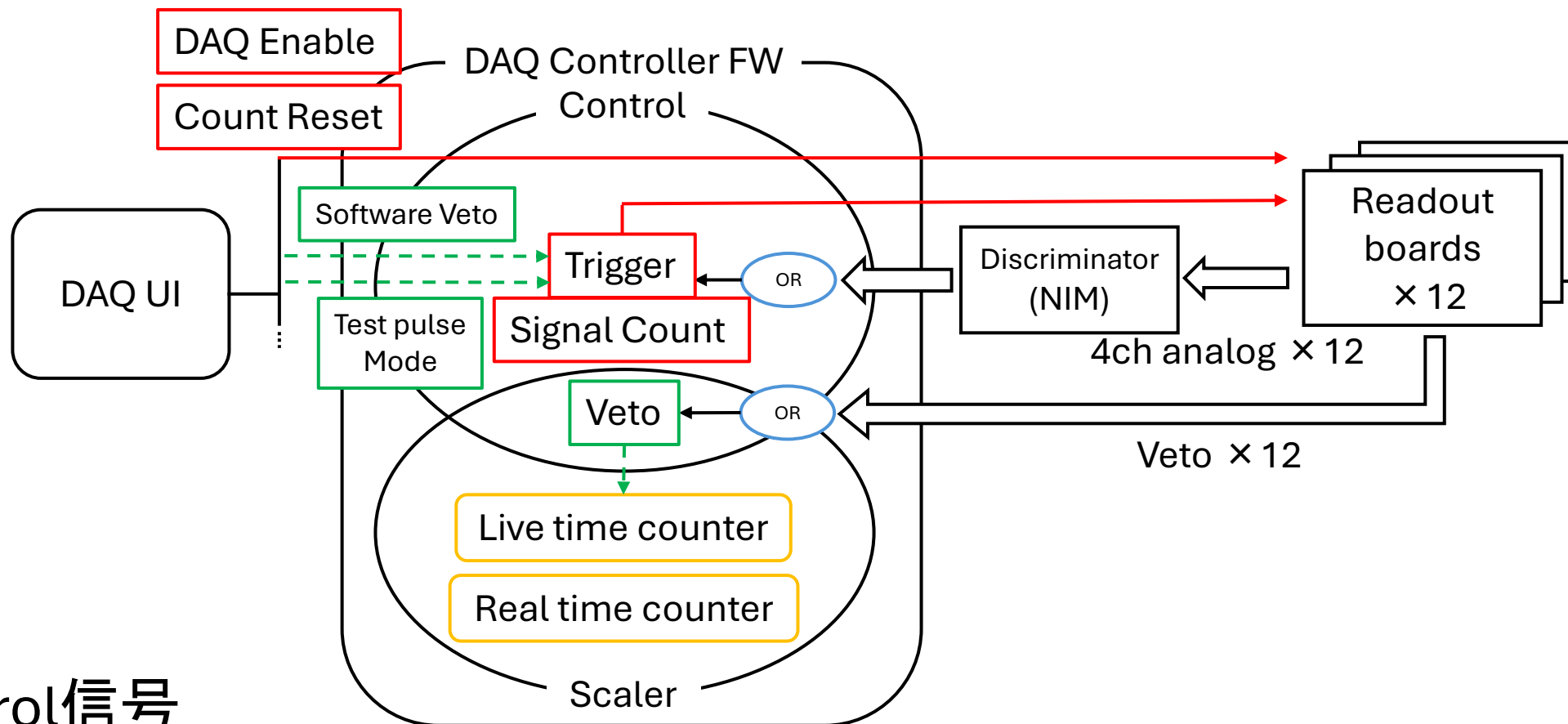


SoC



- Control信号
- Scaler

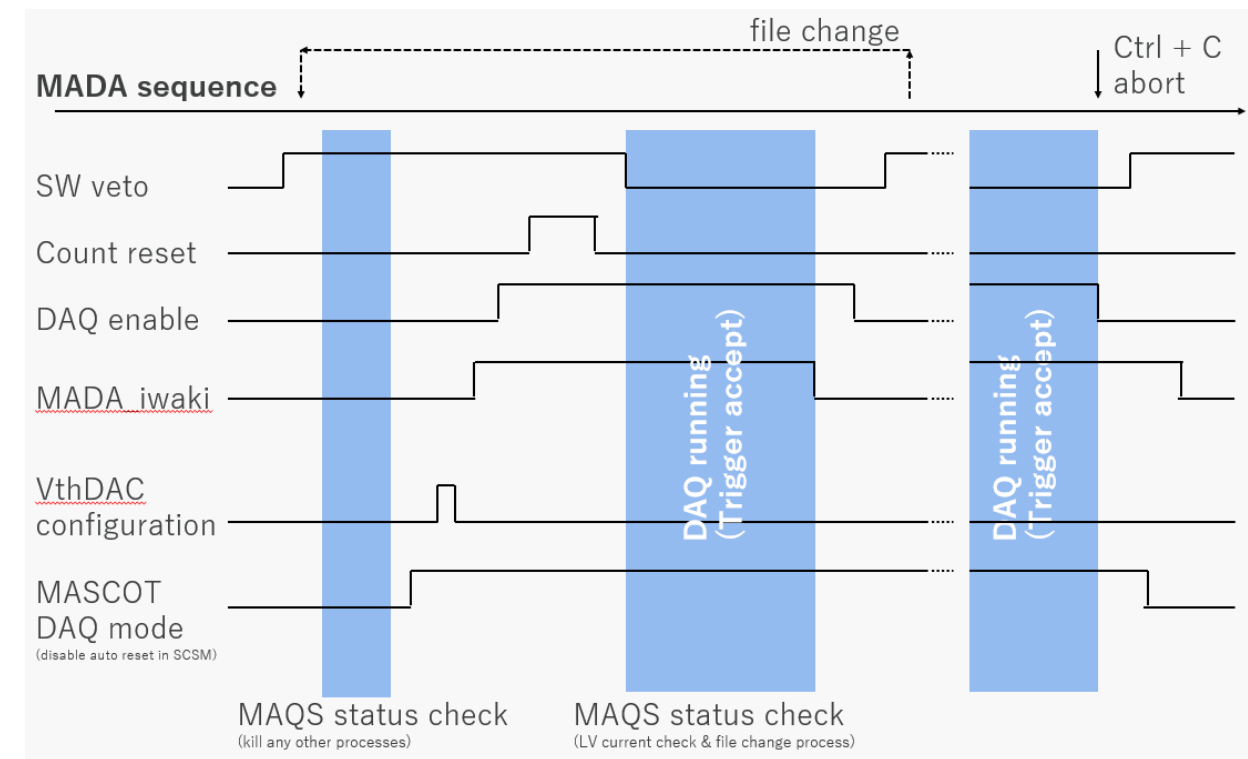
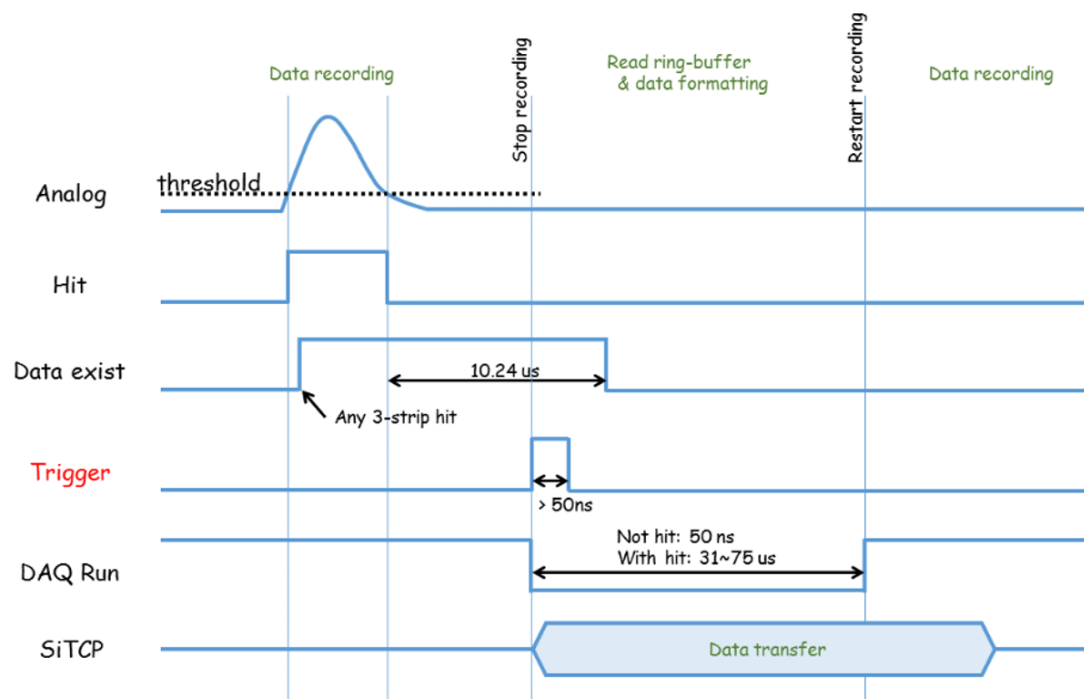
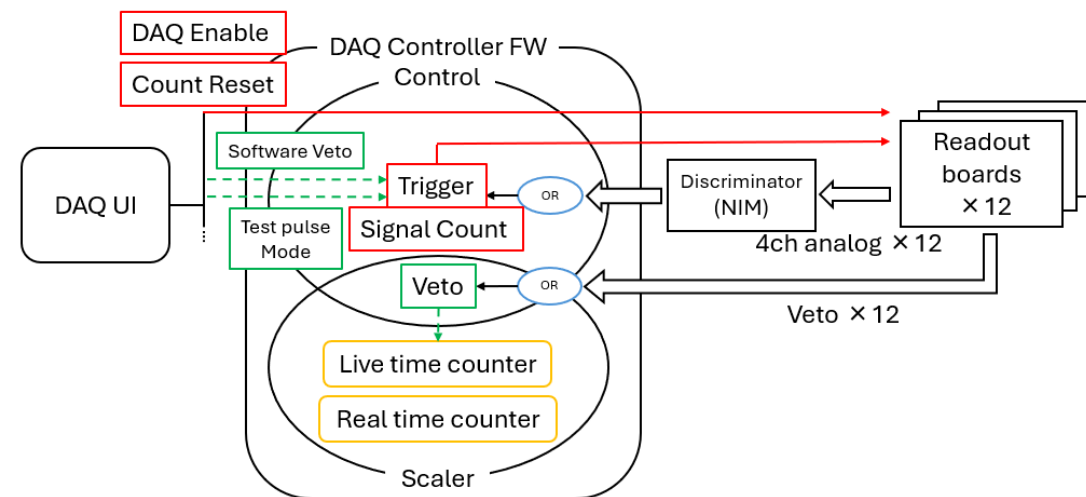
- Real time counter : DAQが動いている時間を測定
- Live time counter : 実際にデータを受け付けていた時間を測定



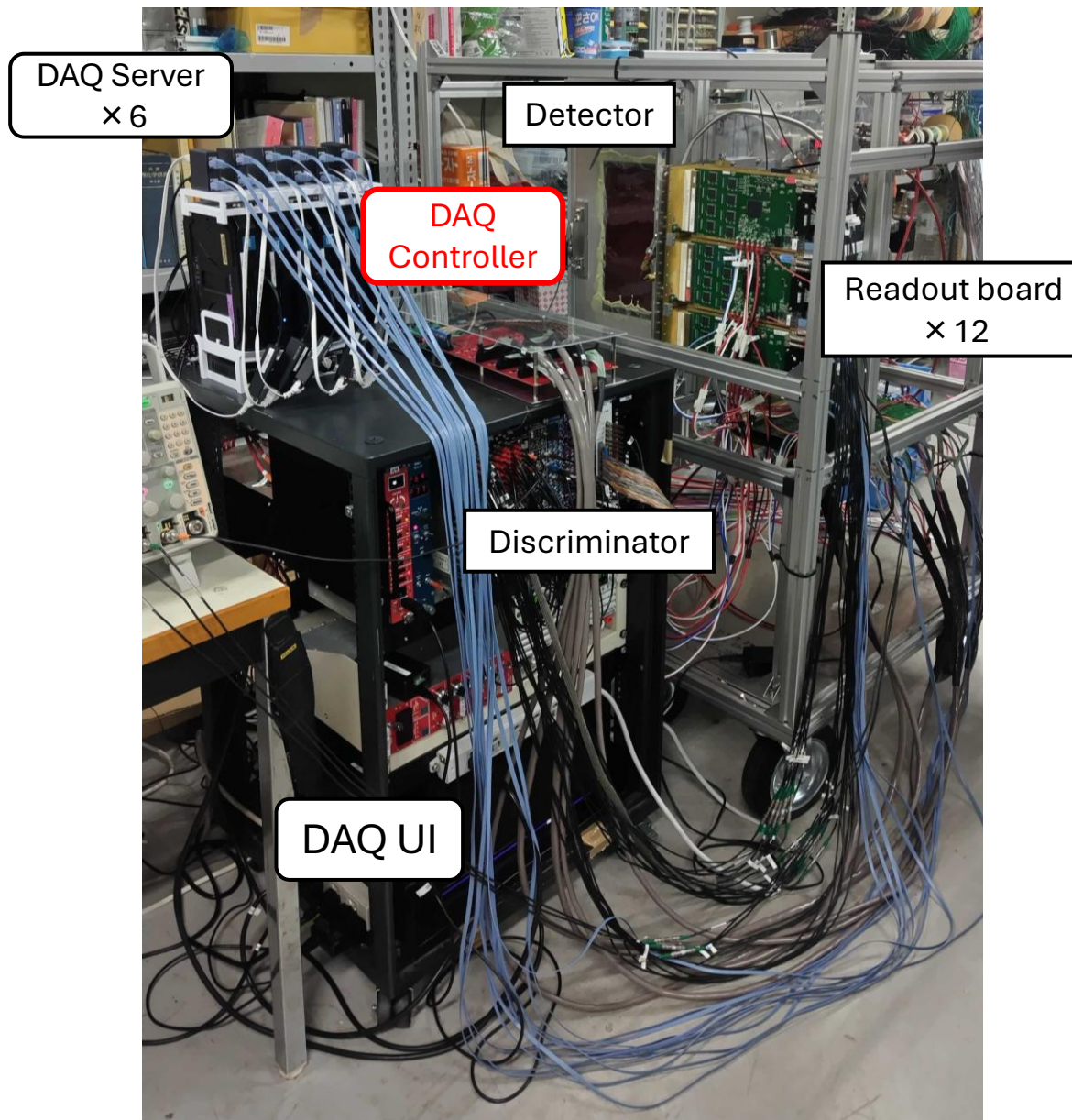
• Control信号

- 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

タイミングチャート



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

