



講演番号: 16pEK215-11

MIRACLUE実験における 新しい統合DAQシステムの開発

日本物理学会 第80回年次大会
2025/09/16

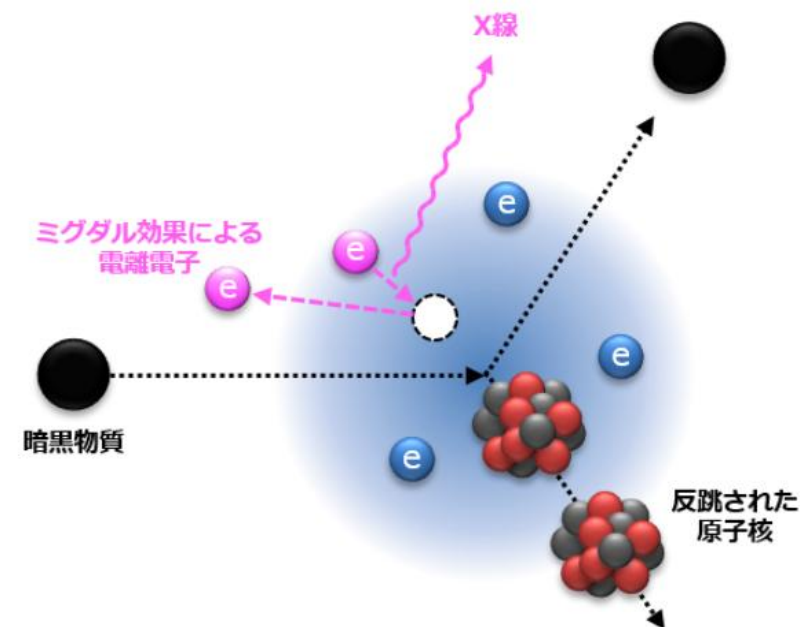
神戸大学 西田汐里

身内賢太郎, 東野聡, 鈴木啓司, 生井凌太, 遠山和佳子, 柳凜
中村輝石^A, 中野愛弓^A, 細川佳志^B

東北大理^A, 東北大RCNS^B

Migdal効果

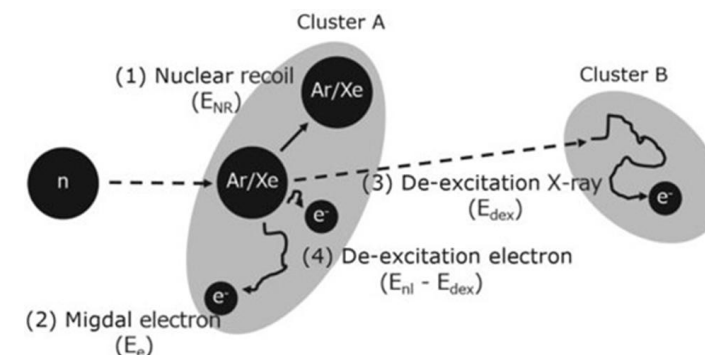
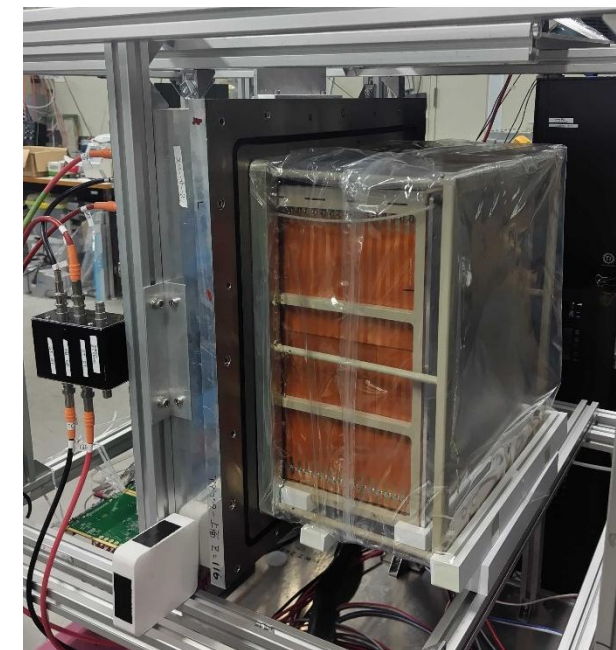
- 原子核反跳事象により原子核が急に動き、低確率で電子が電離・励起
 - 量子力学で予言
 - 軽いDMに対する感度を向上させる（原子核反跳＋電子反跳）
- 原子核反跳による実験的な観測事例はない
 - **MIRACLUE実験**で初観測を目指す



MIRACLUE実験

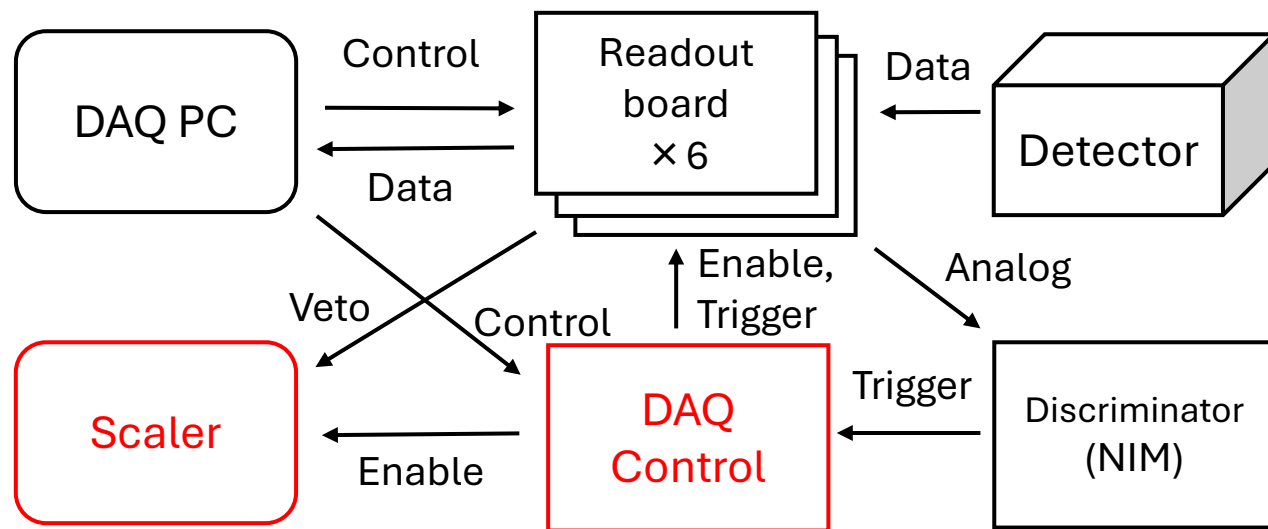
- 原子核反跳によるMigdal効果の実験的観測を目指す
- 検出器: ガスTPC
 - 東北大: Xeガス
 - 神戸大: Arガス
 - 3次元で飛跡を取得可能
 - 2次元ストリップ+時間情報
 - X,Y各768ch, 400 μ mピッチ
- 中性子ビームを照射し原子核反跳を起こす
 - 高レート
- 原子核反跳と特性X線による2クラスター
 - 座標取得

神戸大detector



現行DAQシステム

- 複雑な信号のやりとり
 - 拡張が難しい
 - 読み出しボード枚数上限: 6枚

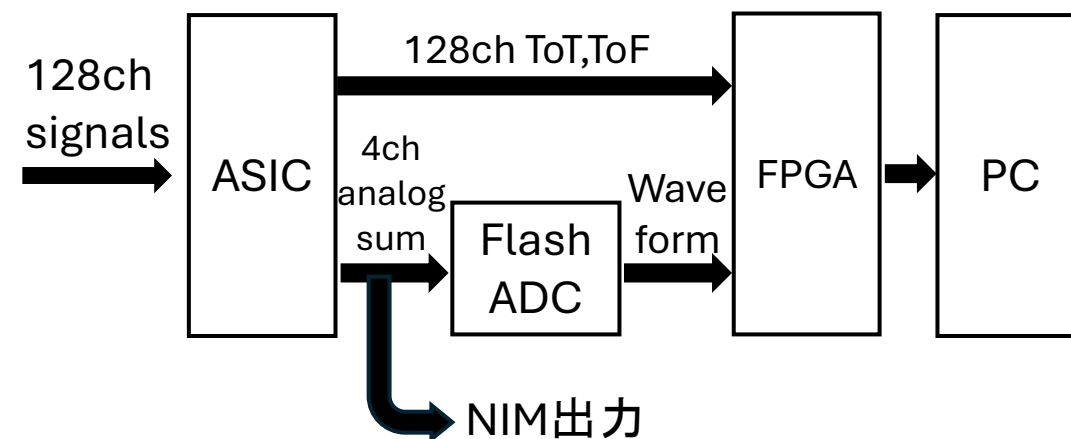


Legend  : PC  : readout electronics



- 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

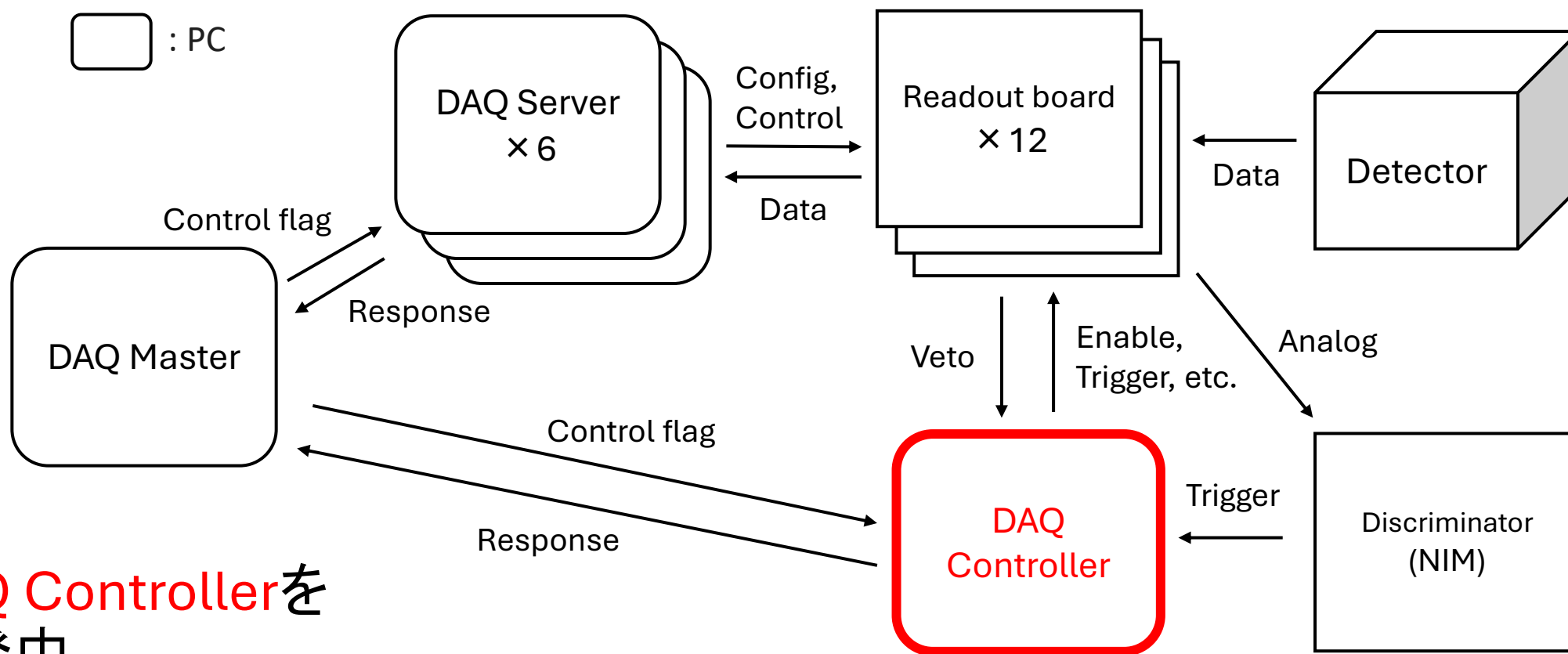
次の条件を満たすMIRACLUE実験の DAQ システム開発

- 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
 - 対応ボード枚数の拡張
- 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

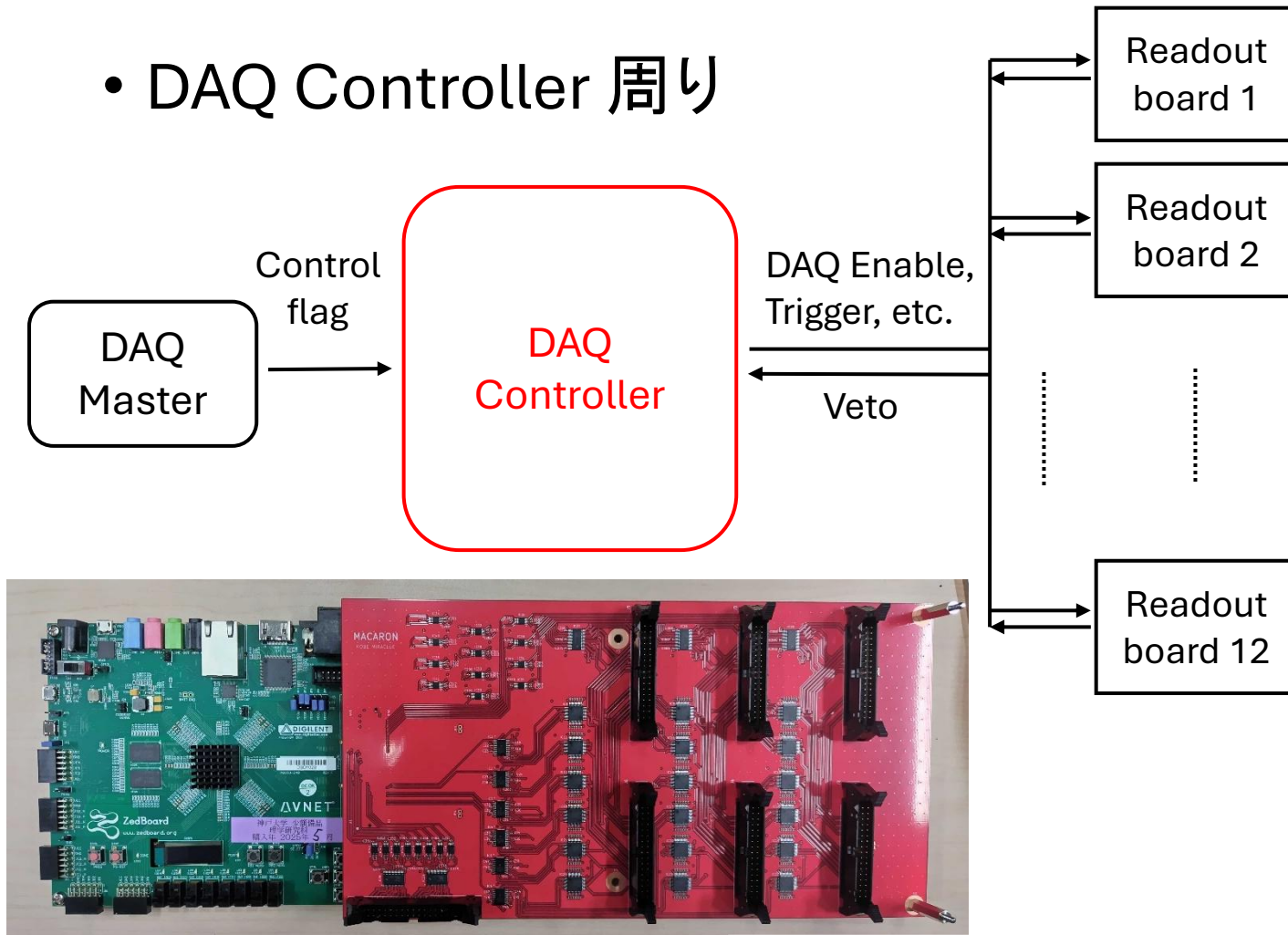
Legend  : readout electronics
 : PC



DAQ Controllerを
開発中

新DAQシステム

• DAQ Controller 周り



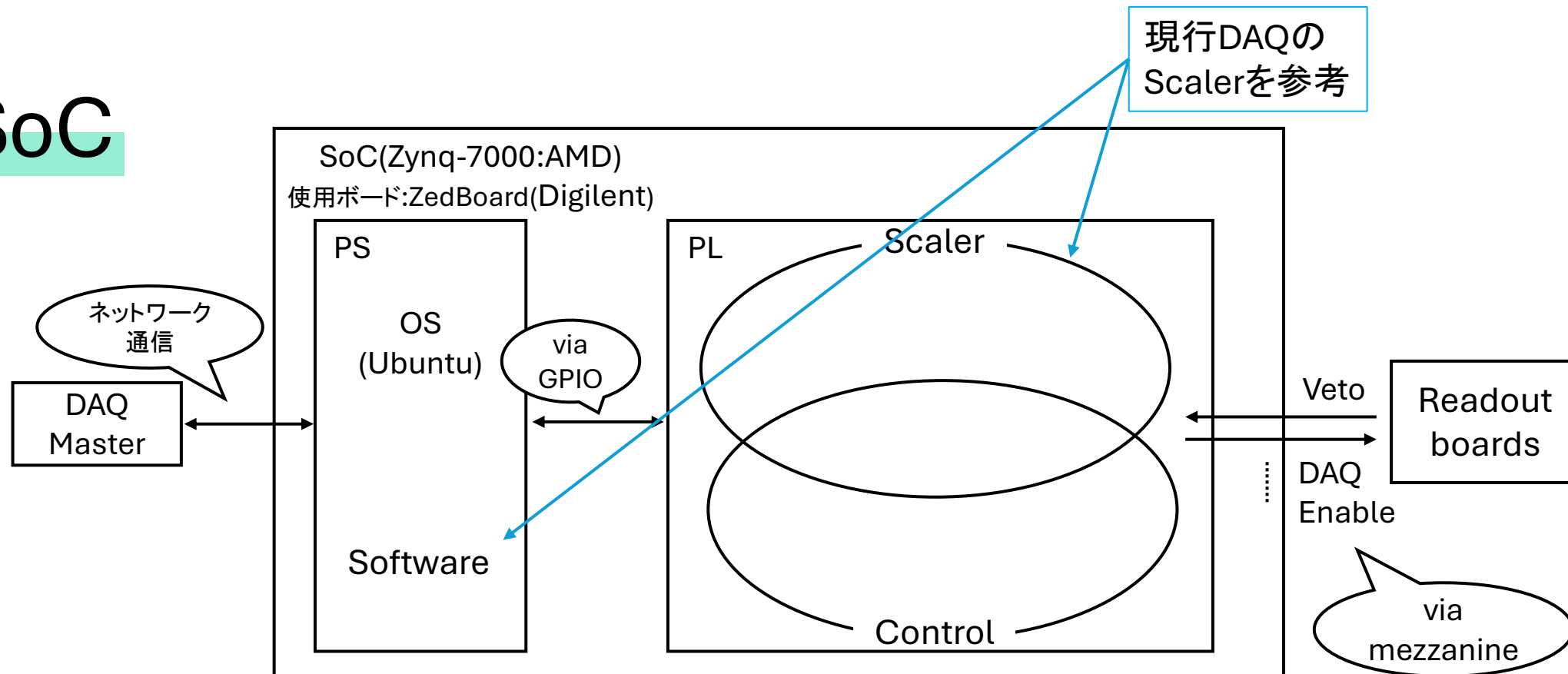
ZedBoard(SoC)

Mezzanine Card

- DAQ User Interface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

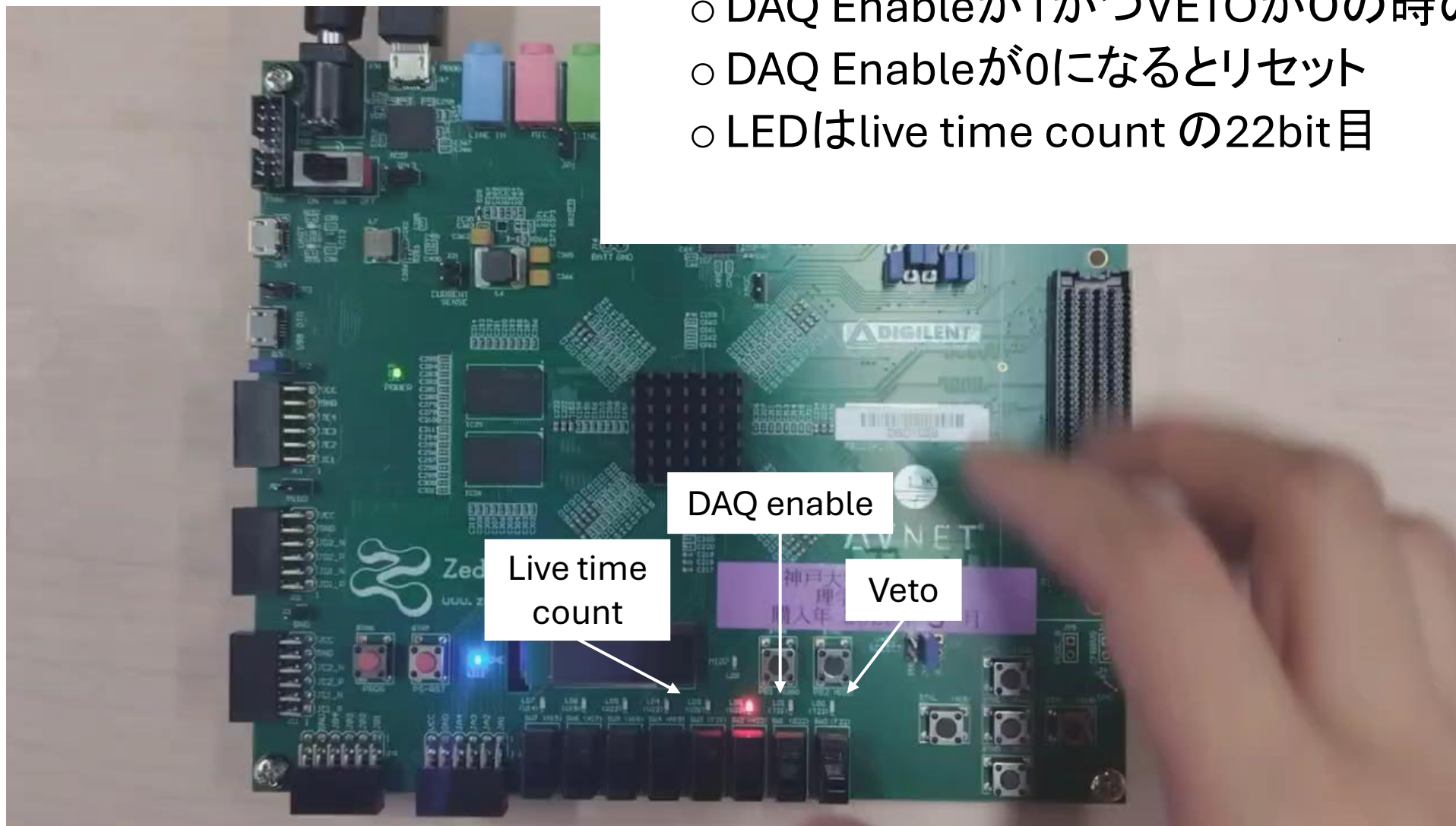
SoC



- Scaler : real time, live timeをカウント
 - DAQ Enableが1かつVETOが0の時のみカウント
 - ロジック完成、スイッチとLEDで動作確認
- Control : DAQ Enable等をDAQ Masterの指示に従って送信

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

ZedBoard
(SoC)
Single-ended

Discriminator



Readout
boards

LVDS

- ZedBoardと読み出しボード間で信号の変換、分配

- ZedBoard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
ZedBoardに送る

Kicadでデザインし
P板.comで製造・実装

Mezzanine Card

- 動作確認

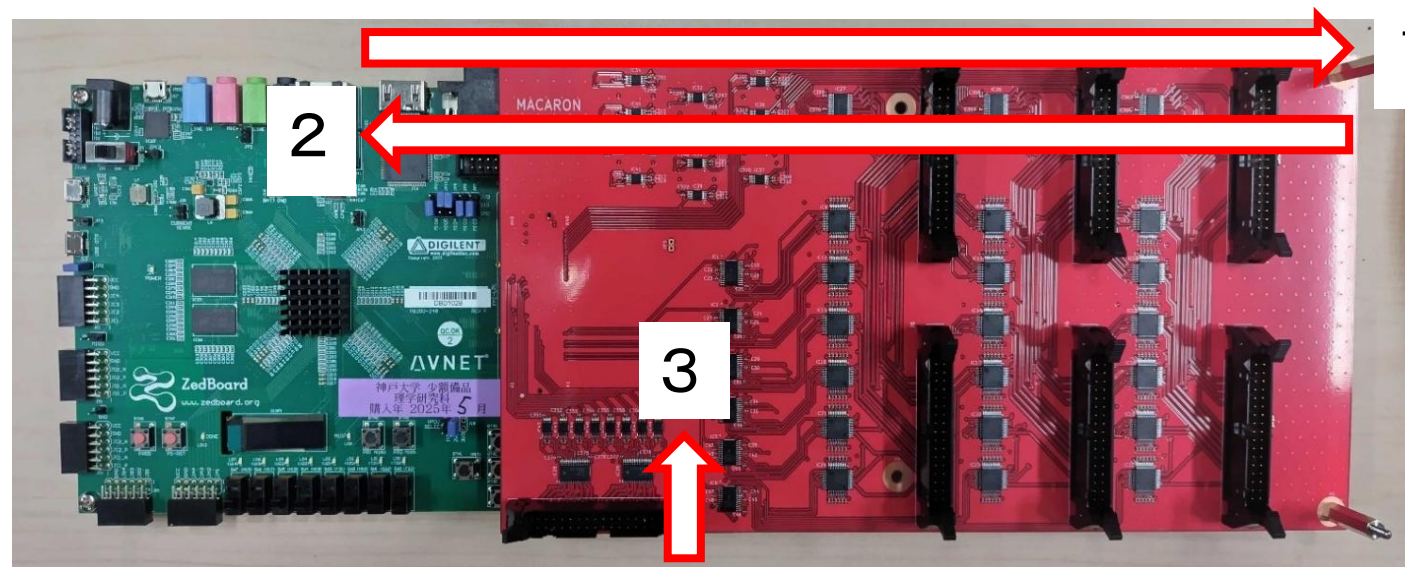
- 手法

- 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

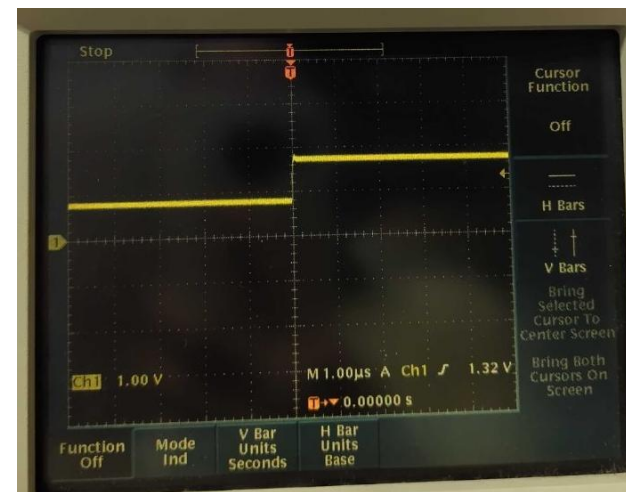
- 結果

- 正常に動作することを確認

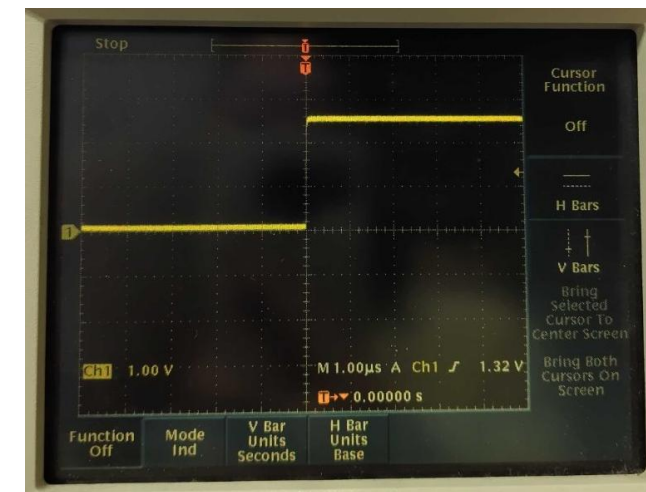
- Mezzanine→ZedBoard
入力確認



1.0V
1.0us



1番 (LVDS Positive)



2,3番 (2.5V CMOS)

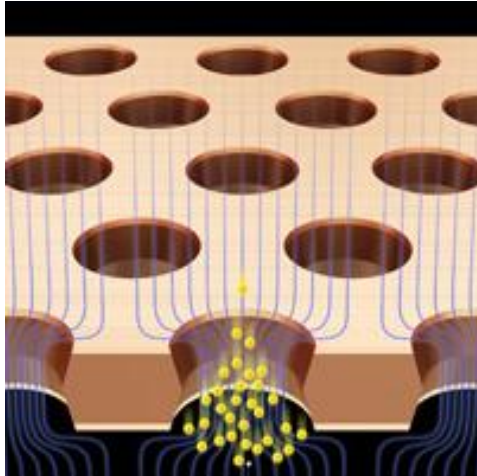
まとめと展望

- MIRACLUE実験において、新しいDAQシステムの開発を進めている
 - 対応ボード枚数の拡張、分散している機能の統合
 - DAQ Controller : SoCとMezzanine Card
 - Scalerロジック、Mezzanine Cardの製作、動作確認
- 11月上旬のビーム試験に向けて、開発と統合試験を完了させる
 - DAQ Enable等の信号を送るControl部の開発
 - 検出器との統合試験

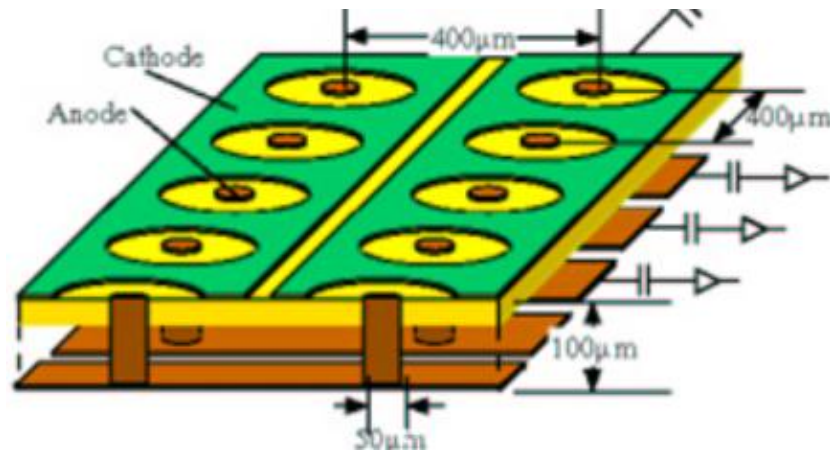
Back up

ガスTPC

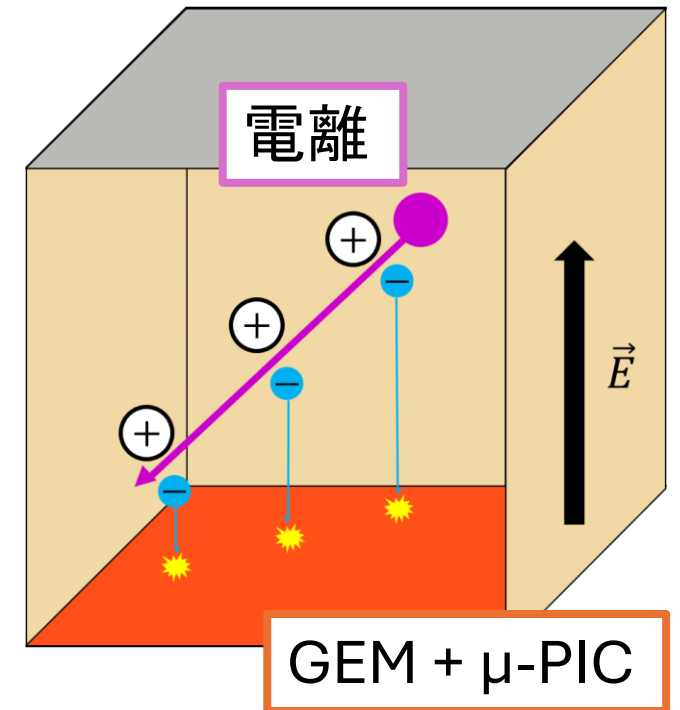
- Time Projection Chamber
 - 電離した電子を電場でドリフト
 - GEM + μ -PICで増幅
 - μ -PICで2次元読み出し



GEM

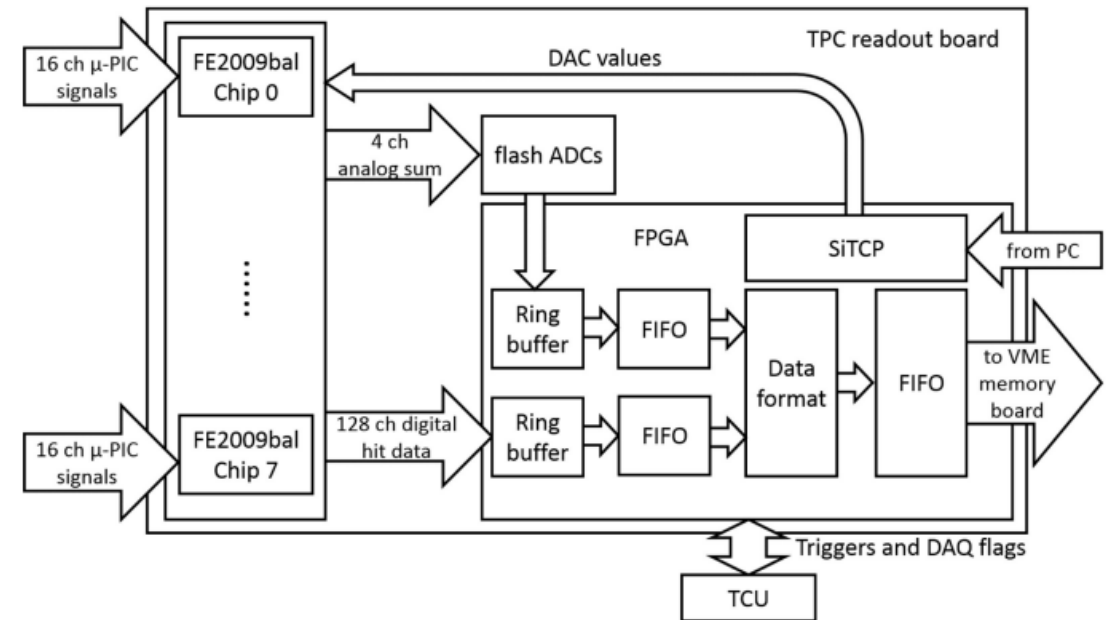
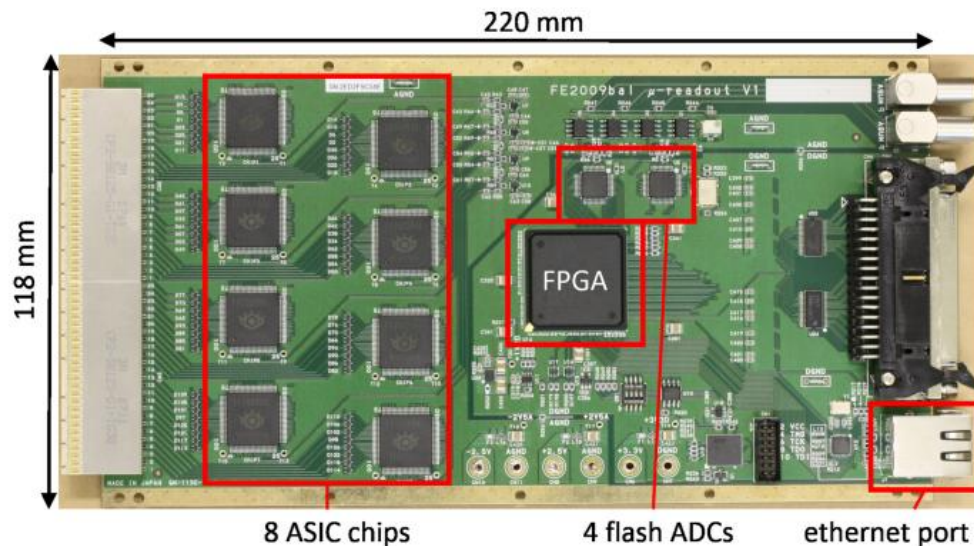


μ -PIC



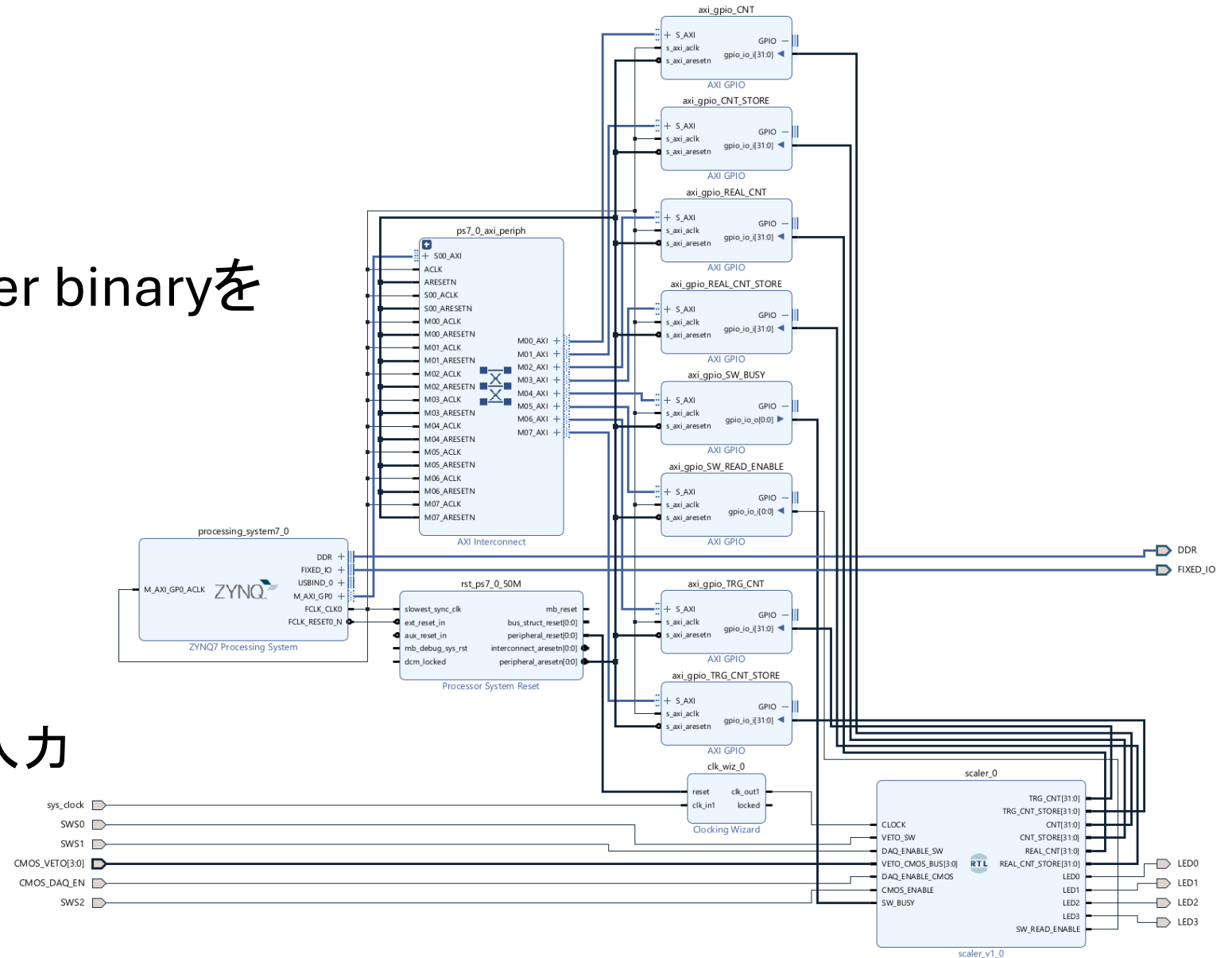
読み出しボード

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



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



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

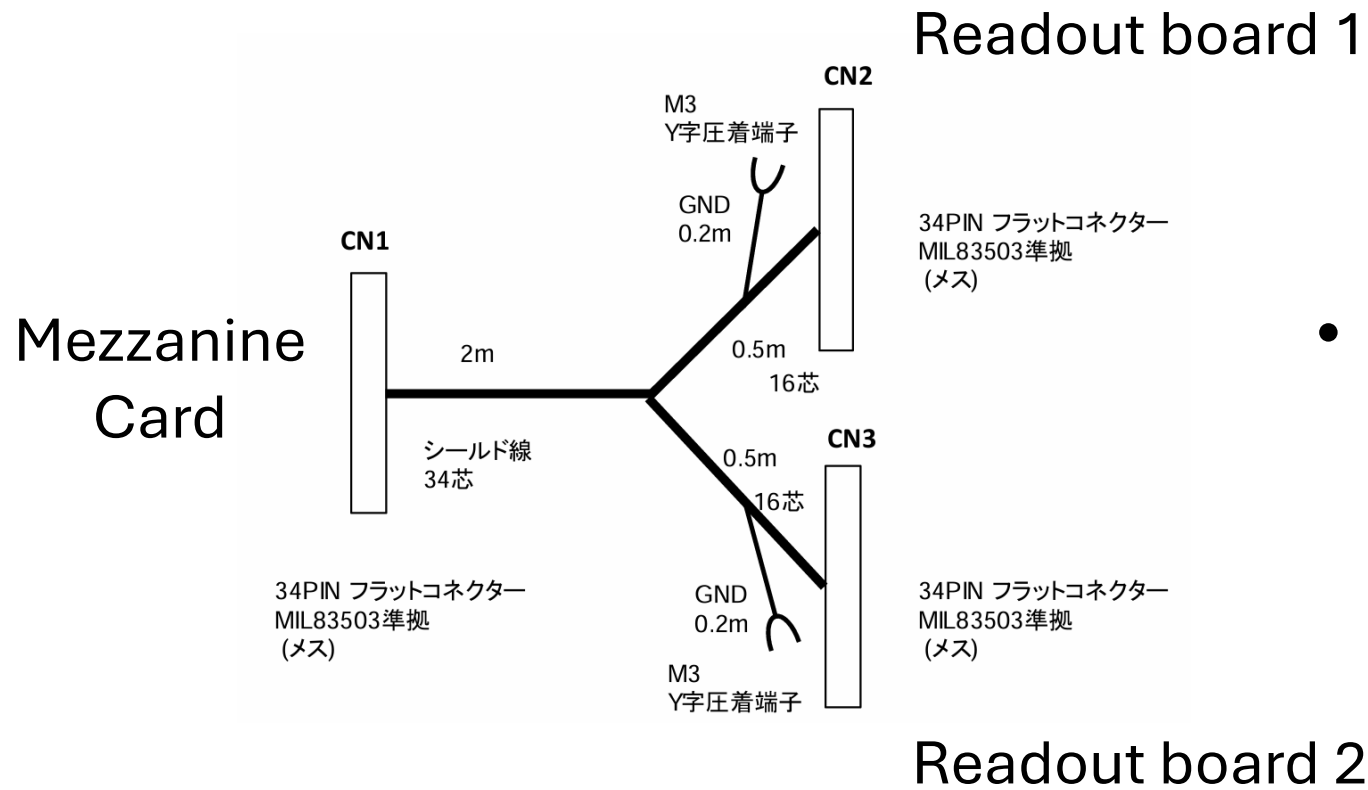
CDCLVC1112PW			
1	CLKIN	Y1	24
2	1G	Y3	23
3	Y_0	VDD_5	22
4	GND_1	Y2	21
5	VDD_1	GND_5	20
6	Y_4	Y5	19
7	GND_2	VDD_4	18
8	Y_6	Y7	17
9	VDD_2	Y8	16
10	Y_9	GND_4	15
11	GND_3	Y10	14
12	Y11	VDD_3	13

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-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

Mezzanine Card

