

# J-PARC E36 実験 DAQ 計画と実際

2016/10/14

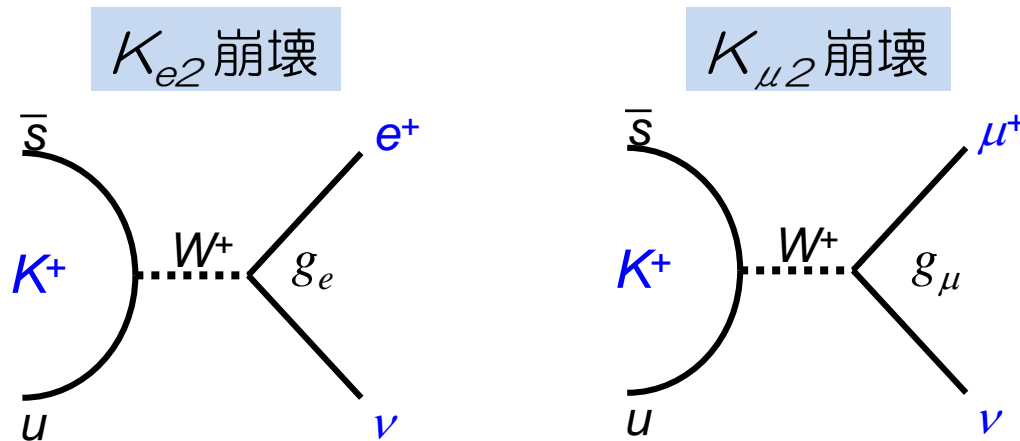
IGARASHI Youichi

KEK

# J-PARC E36

## レプトンフレーバー普遍性の破れの探索

$K$  中間子崩壊で普遍性の破れを探索  $g_e = g_\mu$  ?



崩壊幅の比 
$$R_K = \frac{\Gamma(K_{e2})}{\Gamma(K_{\mu 2})} = R_K^{SM} + \Delta R_K^{NP}$$

$R_K^{SM}$  : 標準模型からの寄与

$R_K^{NP}$  : 標準模型を超える新しい物理からの寄与

# 崩壊比 $R_K$ の測定

$$R_K^{SM} = \frac{\Gamma(K^+ \rightarrow e^+ \nu)}{\Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu)} = \frac{m_e^2}{m_\mu^2} \left( \frac{m_K^2 - m_e^2}{m_K^2 - m_\mu^2} \right)^2 (1 + \delta_\gamma)$$

V-A 型相互作用による  
ヘリシティ抑制

$K \rightarrow l \nu \gamma$  崩壊 IB 部分の補正

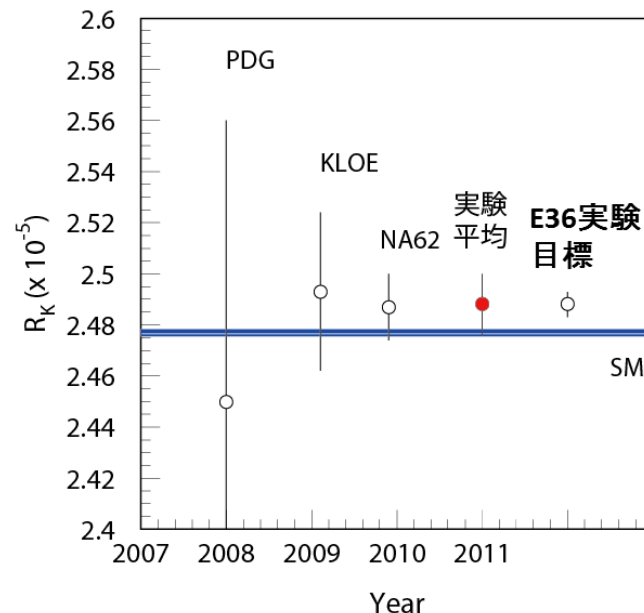
$$R_K^{SM} = (2.477 \pm 0.001) \times 10^{-5}$$

標準模型での不確定さ  $\Delta R_K / R_K \sim 0.05\%$

$$R_K = (2.488 \pm 0.009) \times 10^{-5} \text{ (KLOE, NA62)}$$

標準模型と誤差の範囲で整合

E36 目標測定精度は  $\Delta R_K / R_K \sim 0.25\%$

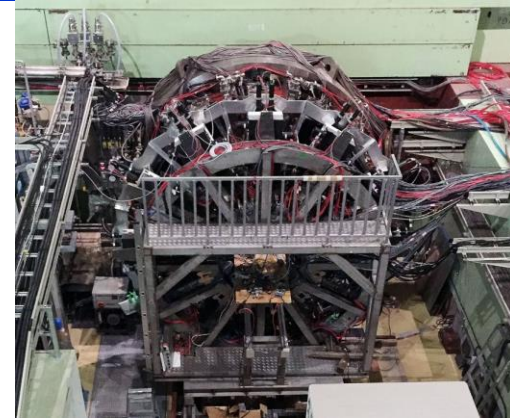


$R_K$  は ”新しい物理” の良いプローブ

J-PARC E36 実験は 2015 年 3 月から 12 月にかけて データ収取を行った。  
現在データ解析中

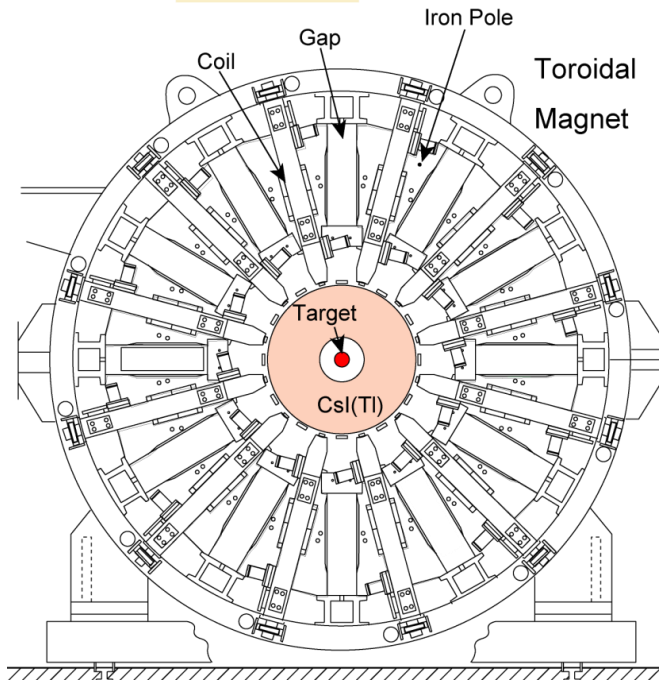
# J-PARC E36 検出器

- KEK-PS E246 検出器をアップグレード
  - トロイダルマグネットを使用したスペクトロメーター
- 3通りのPID検出器系
  - TOF, AC, PGC
- Backgroundとなる $\gamma$ 放射崩壊を測定するためのCsI(Tl)光子検出器

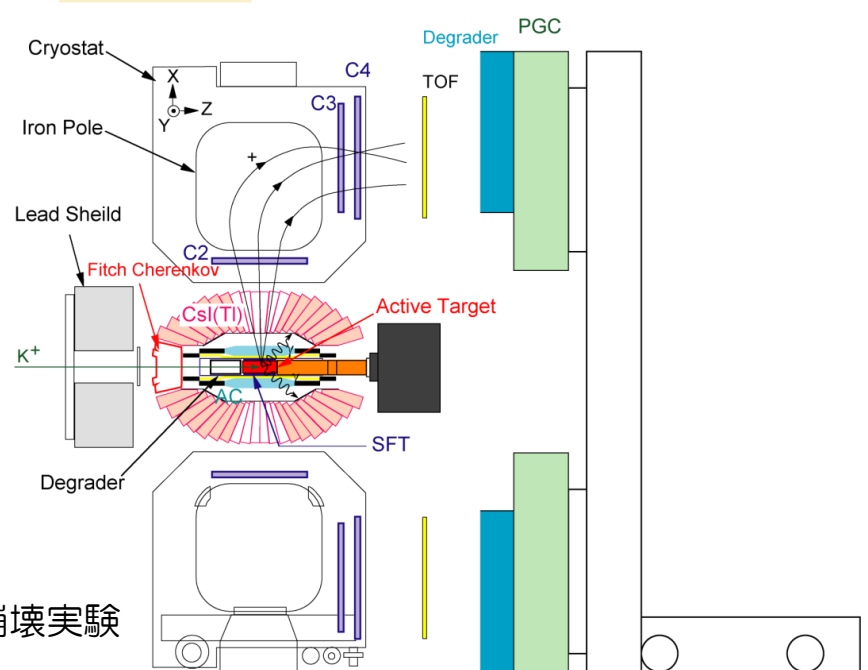


Hadron Hall K1.1BR beam line

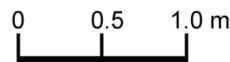
End view



Side view

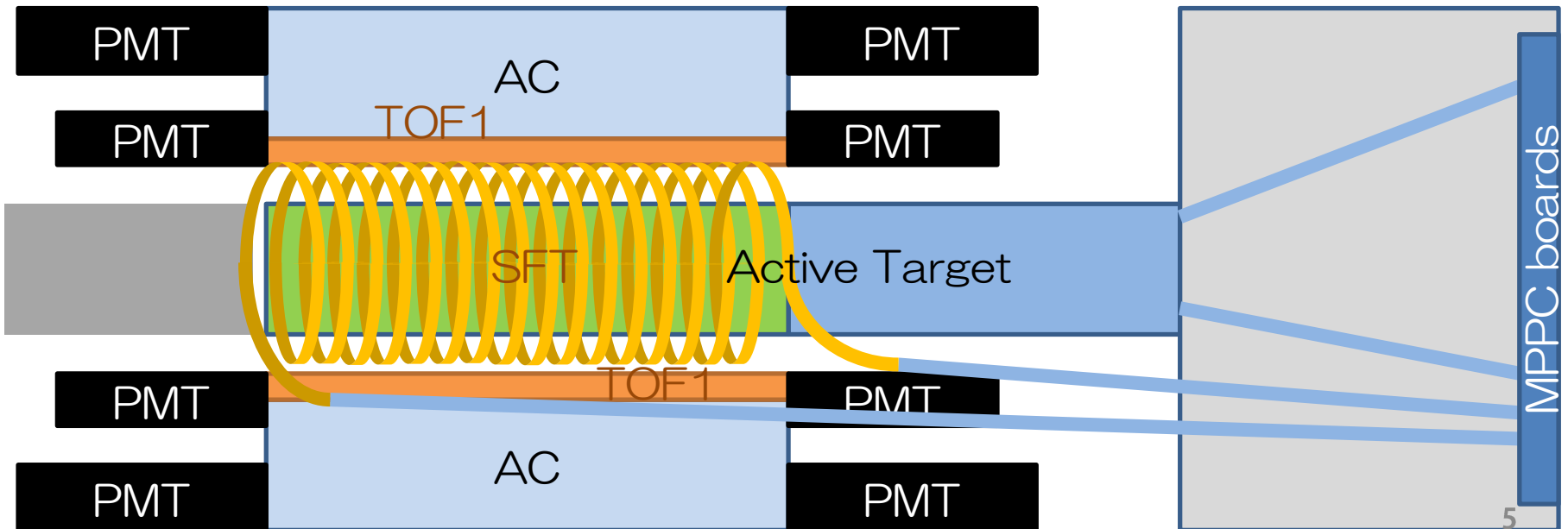
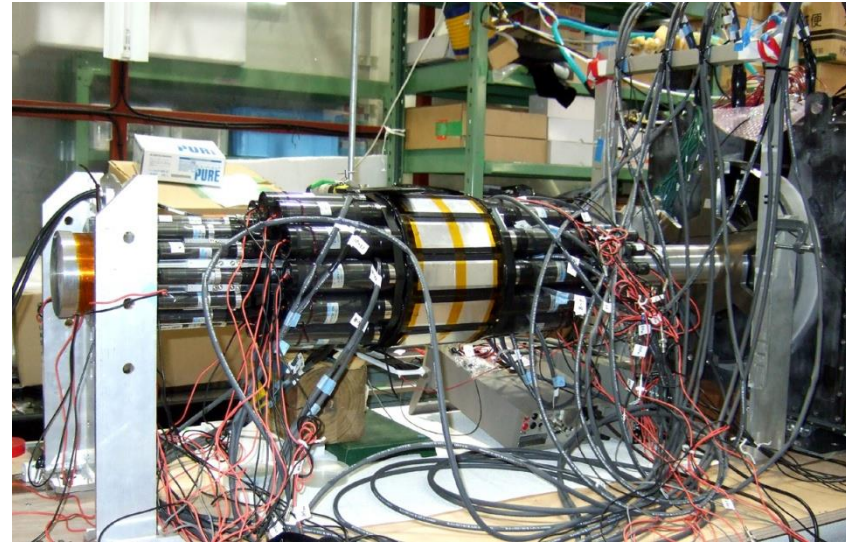


静止K崩壊実験

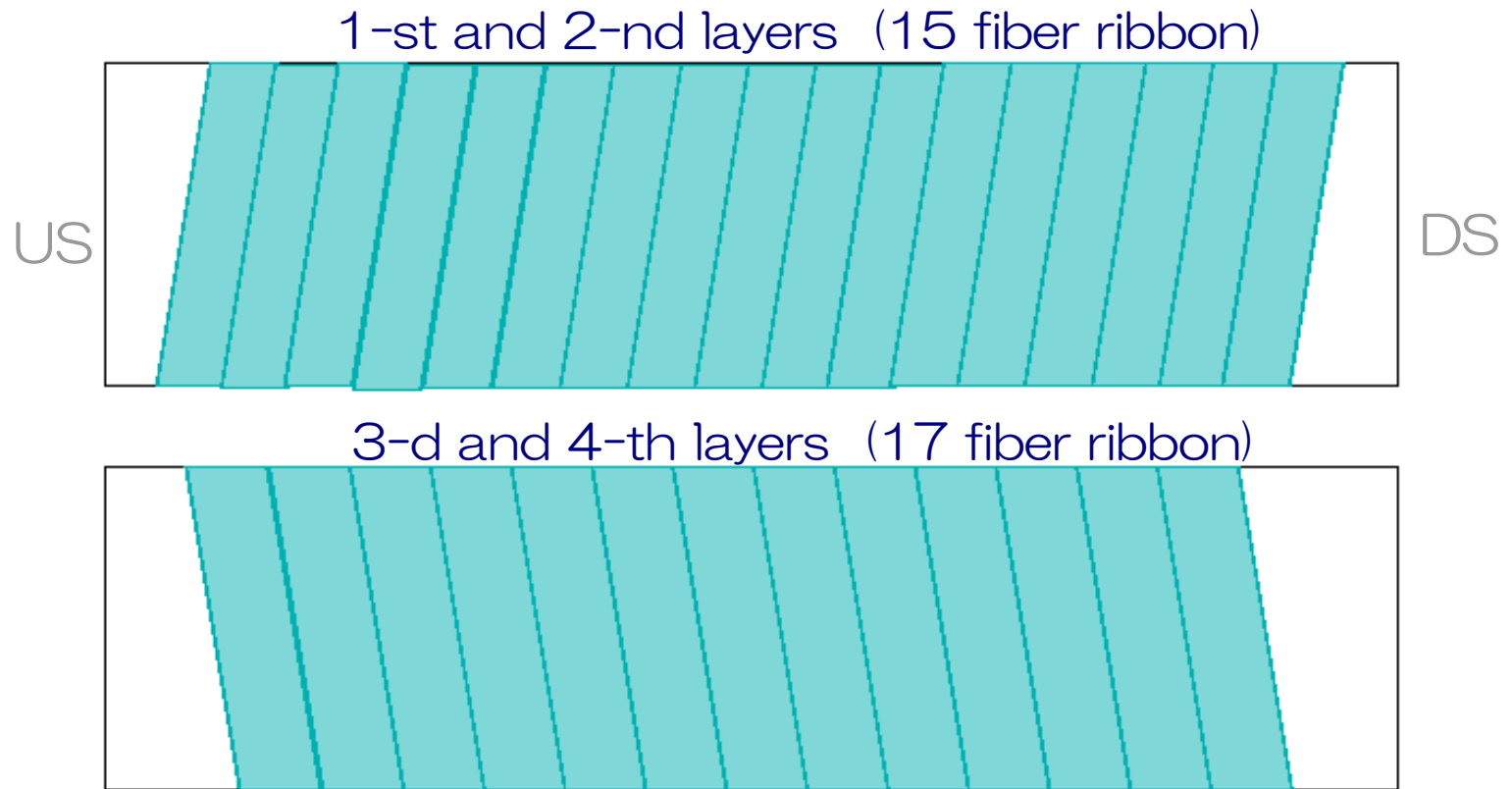


# 中心検出器群

- Fiber Target
- SFT (Spherical Fiber Tracker)
- AC (Aerogel Cherenkov counter)
- TOF1



# Spiral Fiber Target



- 4層
- 系統誤差を減らすために2層は逆巻き
- 位置同定をし易くするためにリボンの本数が2層で異なる。

# E36 検出器群と読み出し機器

Detector	No. of Ch.	ADC	TDC
Beam hodo-scope	24	---	TRIUMF VT48
Fitch cherenkov	28	---	TRIUMF VT48
TOF	72	CAEN V792	TKO HR-TDC
Trigger counter	17	CAEN V792	TRIUMF VT48
Lead glass counter	84	CAEN V792	TRIUMF VT48
Gap veto counter	12	CAEN V792	TRIUMF VT48
Aerogel cherenkov	24	TKO ADC	TRIUMF VT48
MWPC	496	TKO ADC	---
Spiral fiber tracker	128	Network oriented EASIROC board	
Fiber target	256	Network oriented EASIROC board	
CsI(Tl)	768	FADC	

VME, TKO, SiTCP 混合系

VME, TKO は VME-SBC でネットワークへ  
ネットワークベースのイベントビルディング

VME

TKO

SiTCP

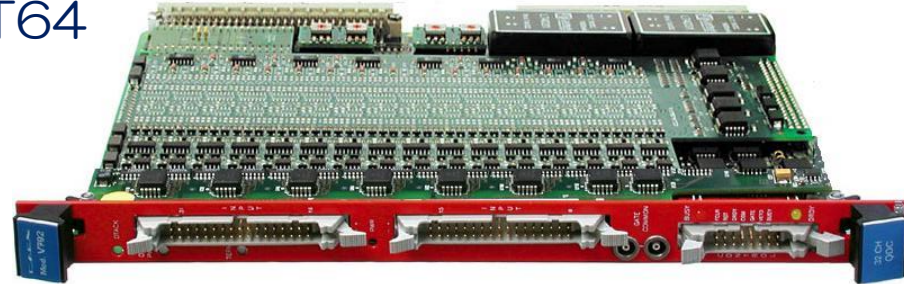
# DAQ 方針

- Trigger は  $K_{e2}$  崩壊 Trigger をプリスケールして 1kHz 以下に落とす
  - (性能よりもコスト)
  - とはいえ、統計精度、系統誤差の評価に効いてくるので十分速くあるべき。
- データ転送
  - TCP/IP Network + Network based Compact DAQ Software
    - 幸いなことに PC 技術の一般化ですべて A/D 機器はネットワークにデータを送れる。
- Event の同期
  - Trigger と同時に Event Tag をリアルタイムに A/D 機器に配る。
  - 全システムを同期するのは Trigger 信号
- 出来るだけシンプルに (KISS)
  - 多くの実験遂行者に出来るだけ理解できるように。
    - どのように動いているかが出来るだけ見えるように。
    - 実験遂行者による問題の解決、改良、機器の追加の必要性
  - 理解していないものは運用できない。
    - DAQ も 検出器と同じ

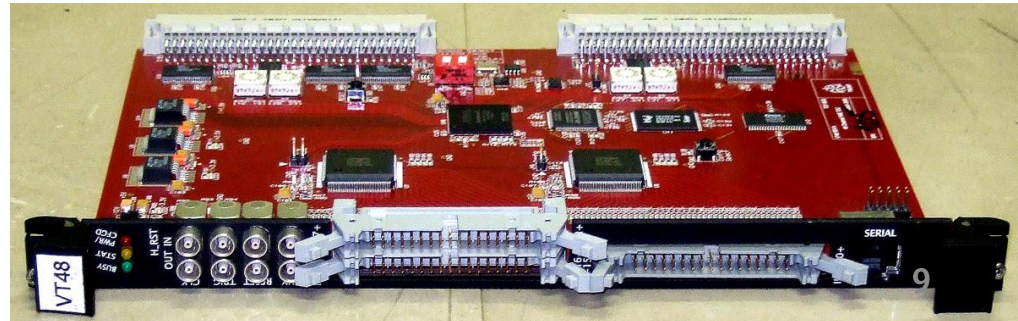
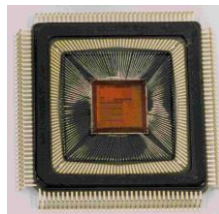


# PMT readout

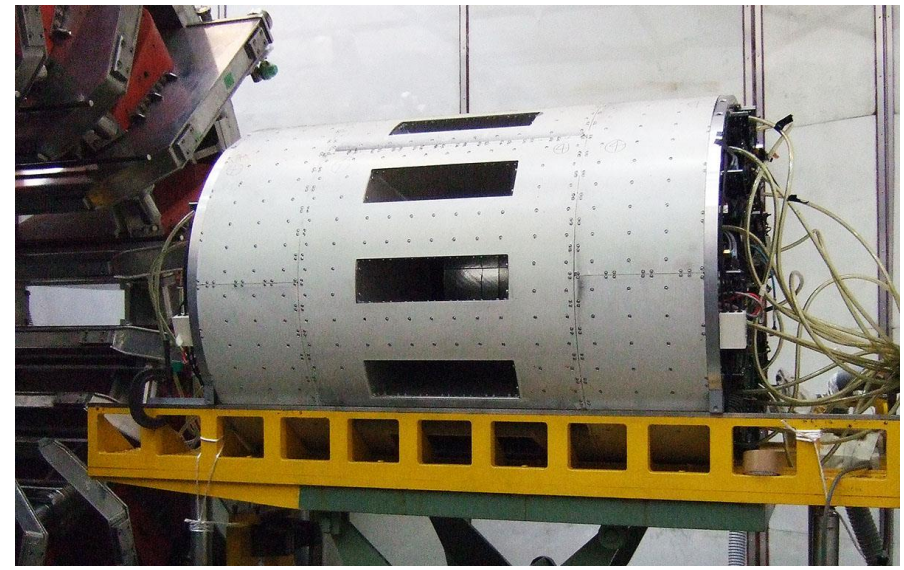
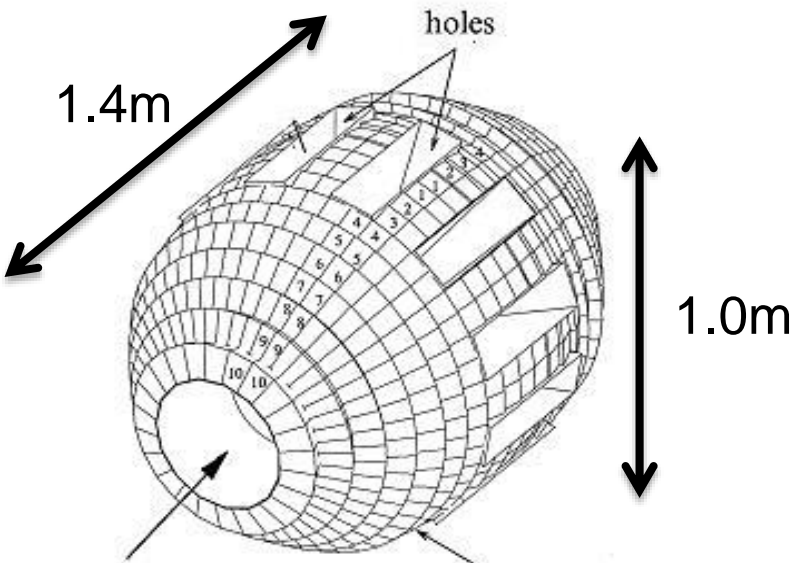
- CAEN V792 QDC
  - 400pC / 12bit
  - 32ch/board
  - VME A32/A24 BLT32/MBLT64
  - TRIUMF からレンタル



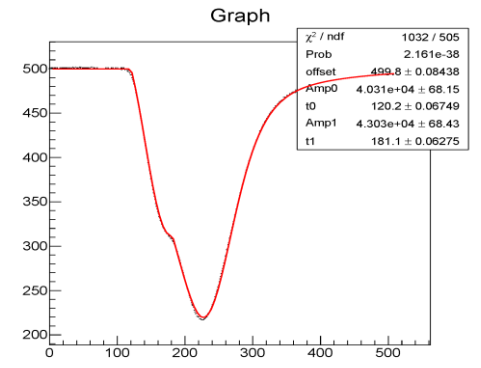
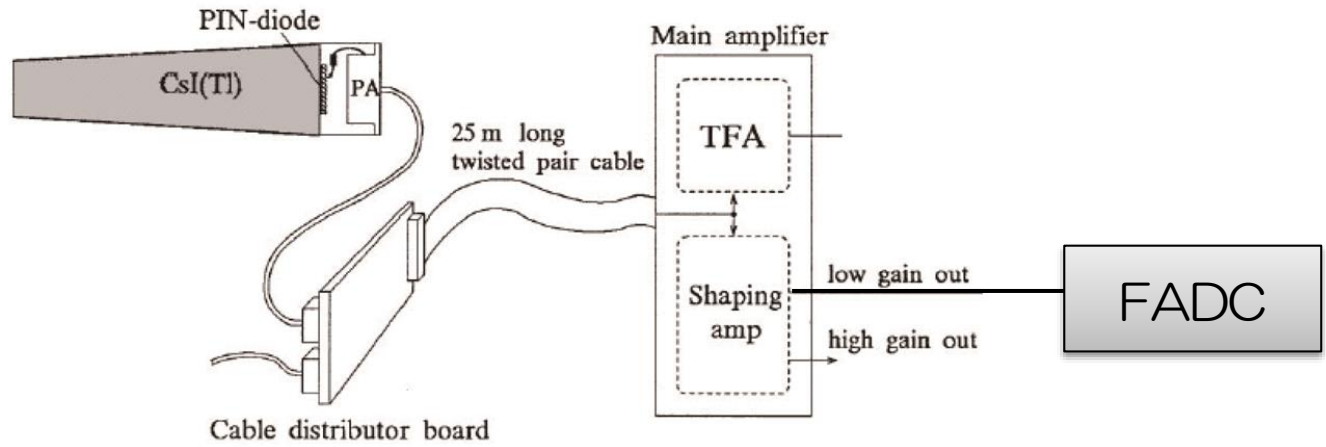
- TRIUMF VT48 TDC
  - AMT3 base TDC with 0.78 nsec resolution
    - AMT3 : Atlas 用に開発された TDC ASIC
    - Pipeline readout をサポート
  - TRIUMF からレンタル



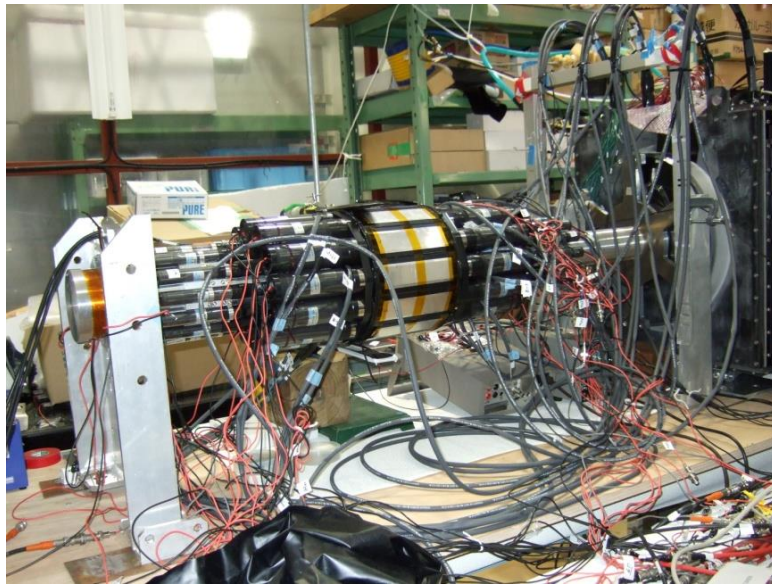
# CsI(Tl) Photon Detector readout



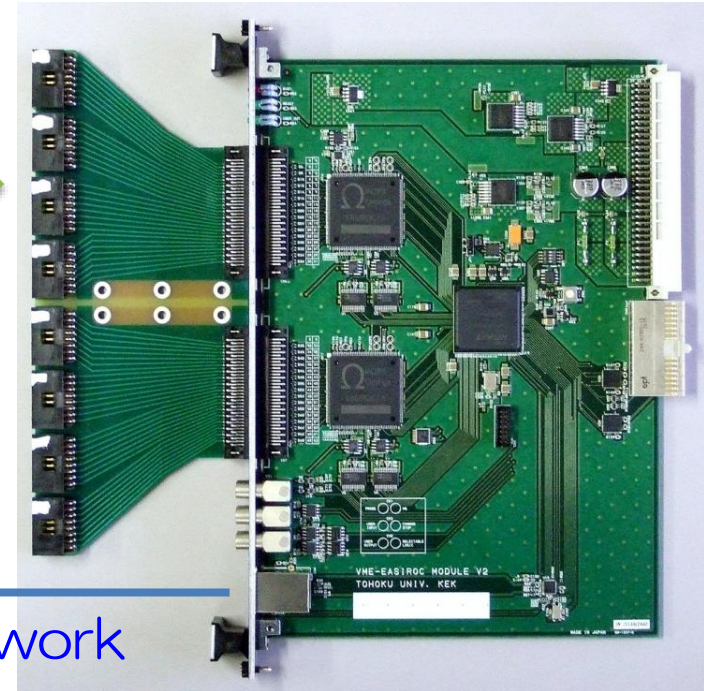
$$V(t) = \text{Freq} \left[ \frac{t - (t_0 + t_d)}{\tau_r} \right] \frac{t - t_0}{\tau_1^2} \left( \exp \left[ \frac{-(t - t_0)}{\tau_1} \right] + \alpha \exp \left[ \frac{-(t - t_0)}{\tau_2} \right] \right)$$



# Fiber target/Spiral fiber tracker

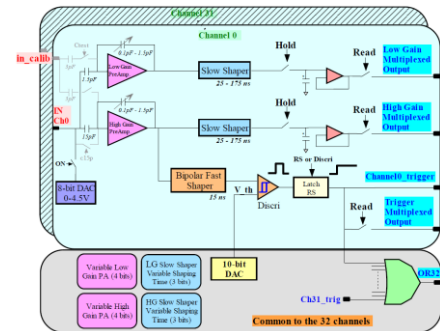


MPPC  
MPPC  
MPPC  
MPPC



DAQ Network

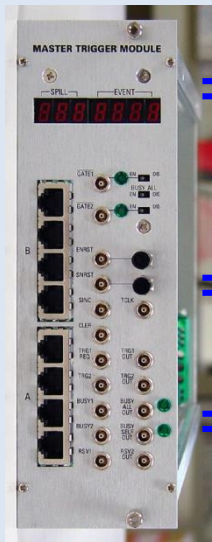
- 64 channel EASIROC based readout board.
  - EASIROC
    - LAL で開発された SiPM 用 Front-end ASIC
    - 2 level amplifier, slow shaper amplifier, voltage hold
  - 12 bit ADC, 0.7 nsec FPGA based TDC
  - SiTCP readout, KEK-VME J0 TAG
  - 東北大(本多、塩崎、三輪)により開発



# イベントの同期

- MTM/RM トリガー配布システム

- あちらこちらにイベントバッファを持った環境でイベントの同時性を保障する。
- Trigger/Busy のハンドリング
- Event Number (20 bit) の配布



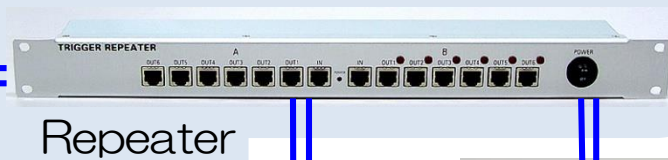
## MTM

- イベント番号を管理
- トリガー源
- Busy handling

E36 で使用



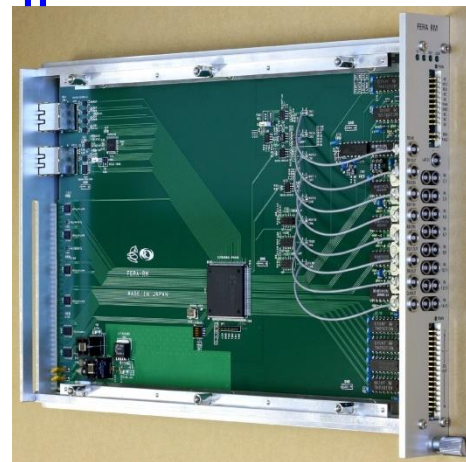
KEK-VME/  
VME RM



Repeater



TKO RM



CAMAC/FERA RM



STM



Chamber  
Readout Card<sup>12</sup>

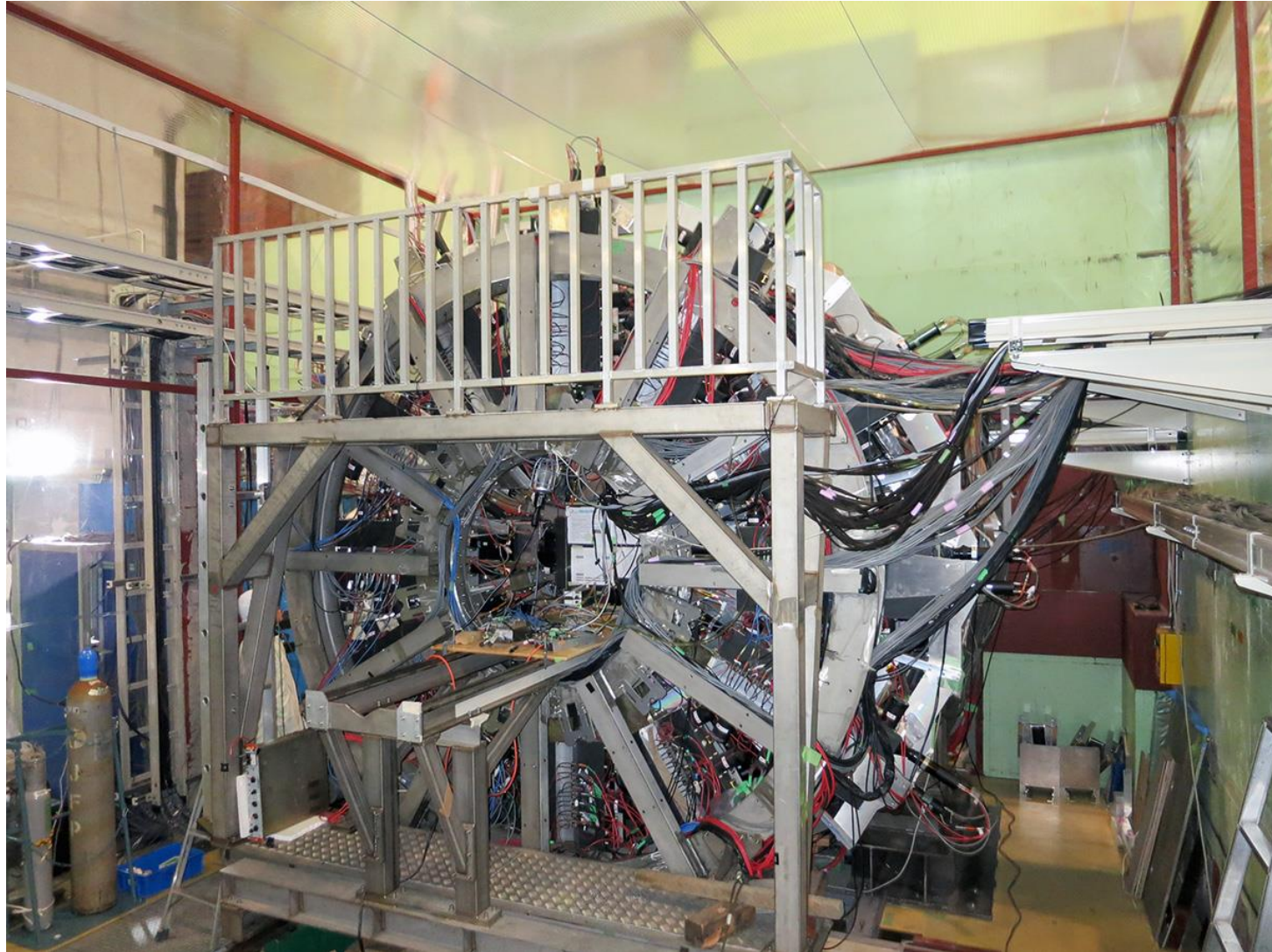
# DAQ software

## Network based Compact DAQ software (HDDAQ)

- 単機能の複数のプログラムによる機能の実現
  - Front-end, Event builder, Event distributor, Controller, Analyzer and Message daemons
- Small code size
  - 少人数で運用、メンテナンス、改良ができる様に 必要な機能を最小限のコードで。
- 広範囲に使われている規格だけを使う。
  - OS のアップデートを越えて運用するため。
  - 移植をしやすくする。
- すべてのプロセス間通信は TCP/IP
  - 機能プログラムは計算機を越えてネットワーク上に自由に配置できる。
- K1.8 における実験を始め幾つかの実験での実績がある。

何が起こったか？  
何をを行ったか？

# J-PARC E36 検出器



# SFT 巻き



**For 4-th layer:**  
**13 coils of 17 fibers,**  
**221 fibers along;**  
**length is 235 mm;**  
**diameter is <89 mm**

Light isolation sheet is wrapped around SFT. Fiber bundles are hidden into light isolation shrinkable tubes.



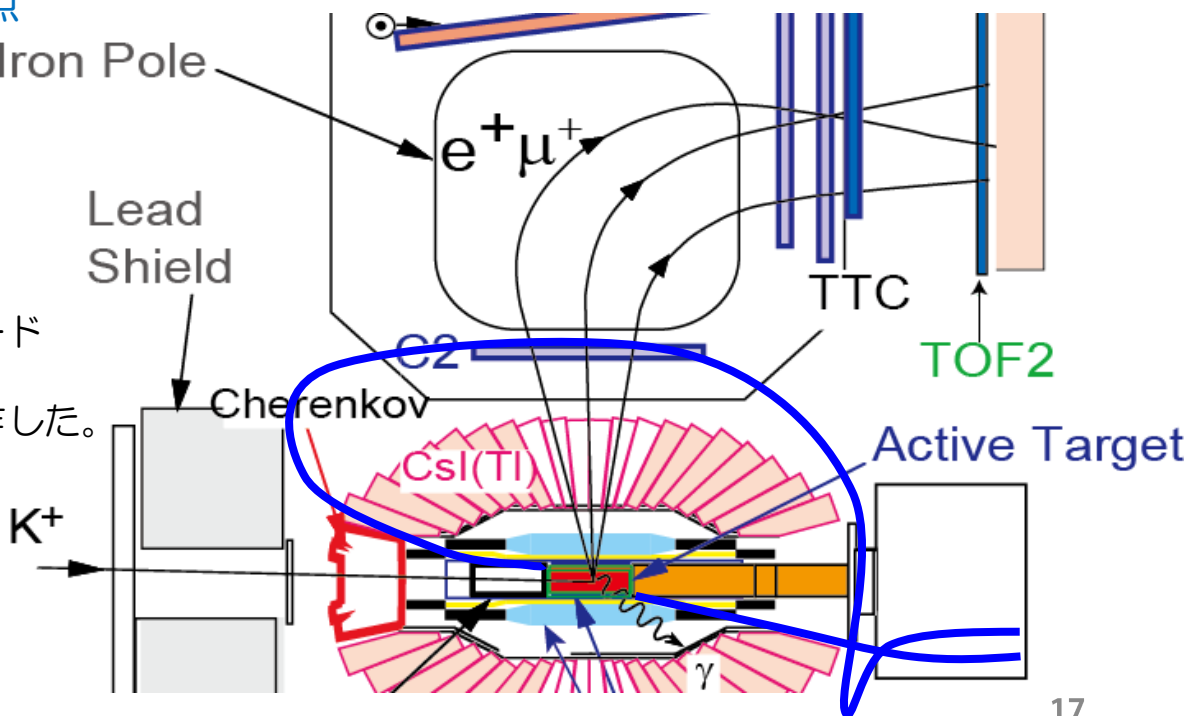


# SFT で困ったこと

- Fiber は簡単に折れる
  - 制作中に何回も折れた。(MPPC への接続カプラの部分)
  - インストールに繊細な注意深さが必要だった。
- 光量が少ない、数フォトン (設計時から予想されていた)
  - 一本の効率が 100% に近くないため位置のリコンストラクトが難しい。
  - 4層、複数の方法によるヒット位置の同定。

- ヒットワイヤーの交点
- MWPC からの外挿 Iron Pole
- TDC
- ADC

- 一撃必勝は難しい
  - プロトタイプを作り実機にフィードバックは重要
  - 今回は時間的都合で実機のみ制作した。



# CAEN V792 QDC

- CAEN V792 QDC に問題
  - AC の信号が正しく読めない。
    - 大きな BG 信号がある環境で TRIGGER に同期した 小さい信号が読めない。
    - AMP がチャージアップしている可能性がある。

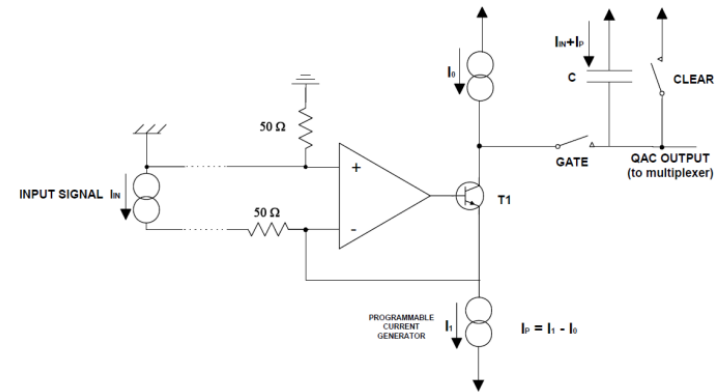
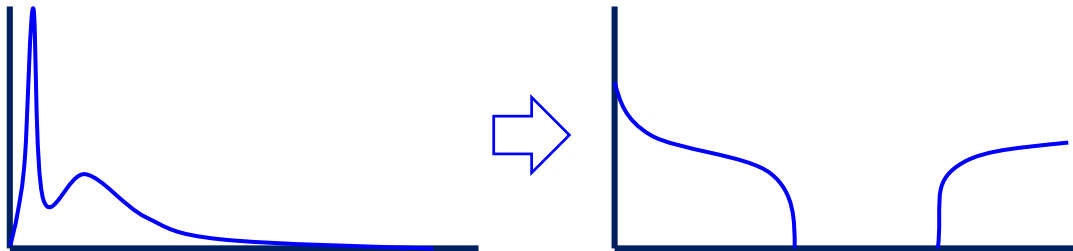
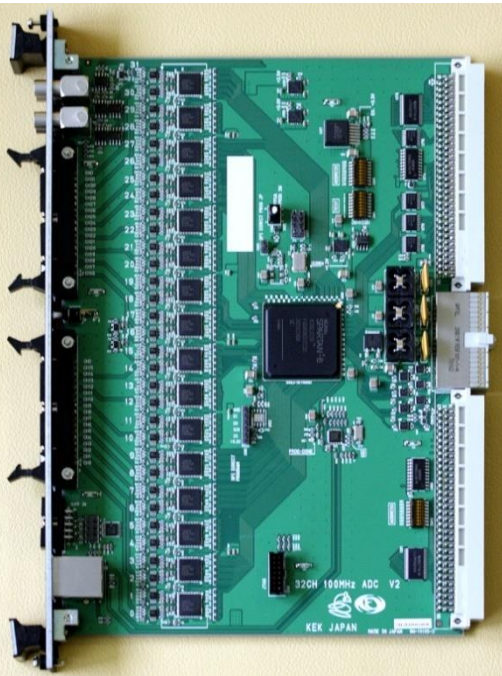


Fig. 2.4: QAC section (piggy back board rev. 2 and later)

AC は TKO-ADC で読むことにした。

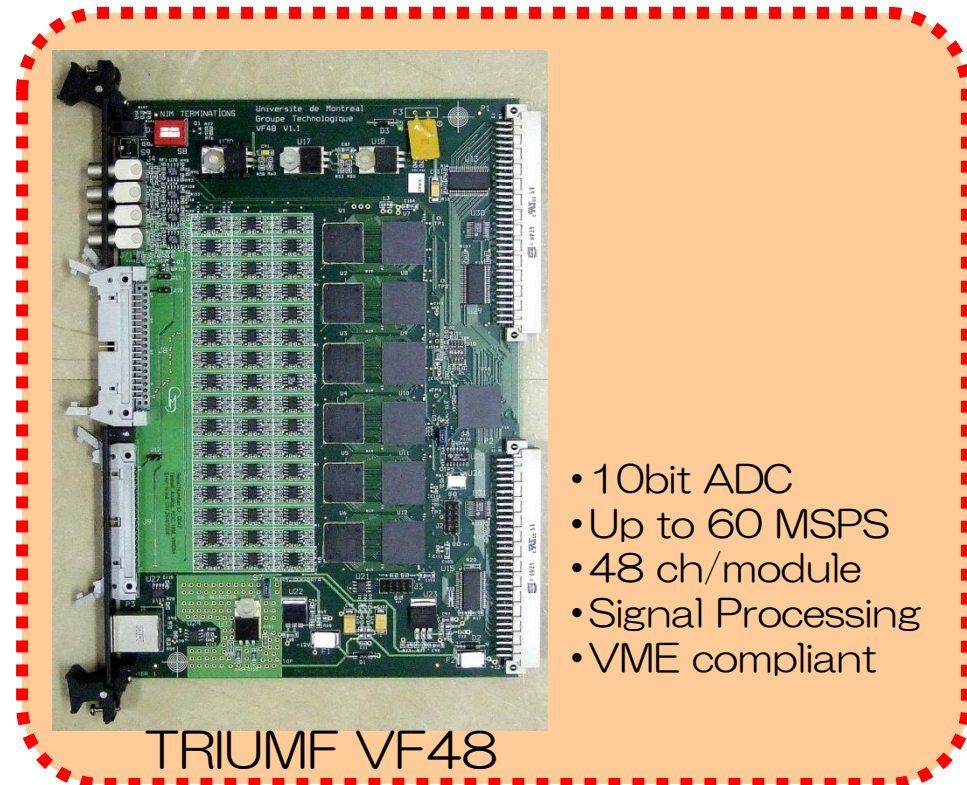
# FADC for CsI(Tl)

- FADC の候補
  - 開発した 32 ch Network oriented FADC : 生産予算?
  - TRIUMF VF48 FADC : チャンネル数が揃うか?
- 25 MHz sampling, 10  $\mu$ sec sampling time
- チャンネル数: 768 channel



- 10bit ADC
- Up to 100 MSPS
- 32 ch/module
- 100Mbps network
- JO TAG supported
- TREK 実験用に開発

Network oriented FADC



- 10bit ADC
- Up to 60 MSPS
- 48 ch/module
- Signal Processing
- VME compliant

TRIUMF VF48

# FADC

- FADCの生産に問題。
  - 予算的に開発が終了していた FADC の生産ができなかった。
  - TRIUMF から VME FADC VF48 をかき集めて借りることができた。
- イベントの同期をどのように解決するか？
- VME で FADC の大量のデータの読み出しは何処まで出来るか？

# VF48 への TAG 入力

## Analog Encoding

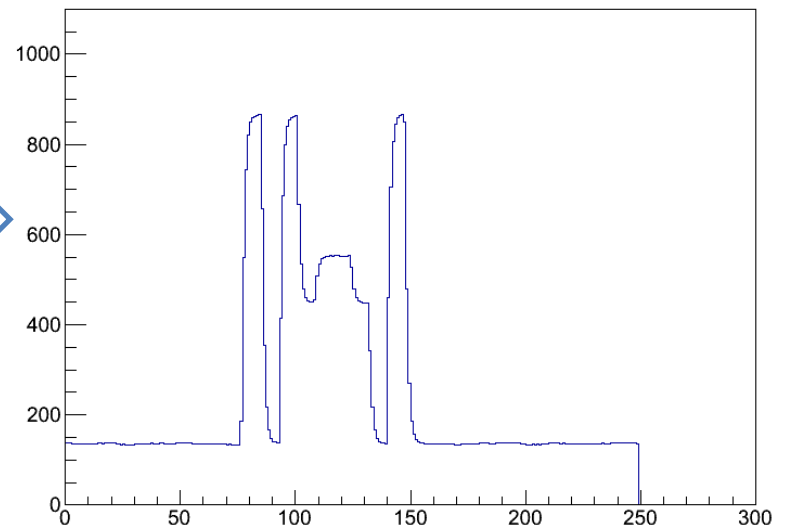
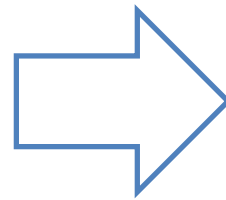
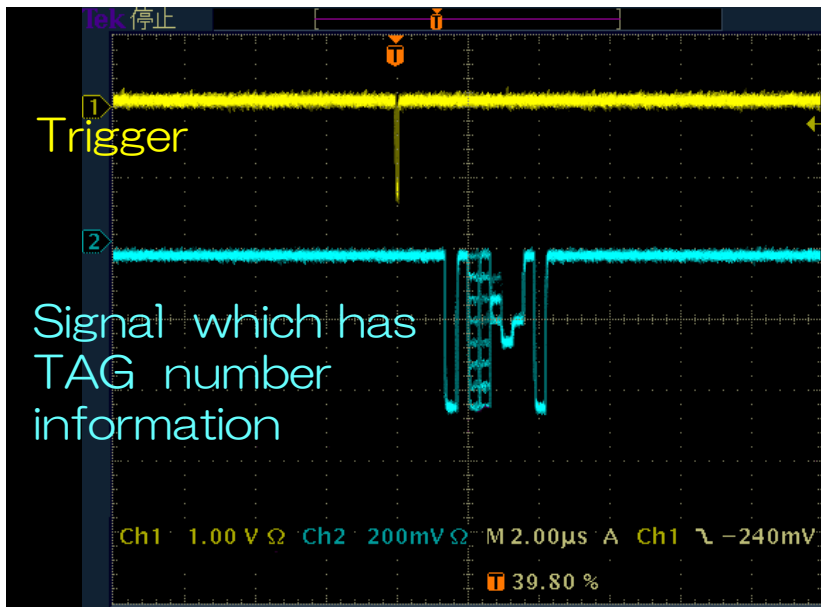
- VF48 は EVENT TAG を入力するインターフェースを持っていない。
- VME-RM は GP-IO と RM カードで構成されていた。
- DAC を使って TAG 情報を持った信号を作り FADC のチャンネルに入力



ADC/DAC GP-IO MC



## Sampled data by VF48



# VME による読み出し

- VME は VME で進歩している。

mode	規格	速度	
PIO	VME32	~5 MB/sec	通常の READ/WRITE
BLT32	VME32	~20 MB/sec	32 bit DMA
MBLT64	VME32	~40 MB/sec	64 bit(A32+D32) DMA
2eVME	VME64	50~80 MB/sec	64 bit DMA

## VMIVME-7768/Universe-II (VME32)

- PIO/BLT/MBLT64

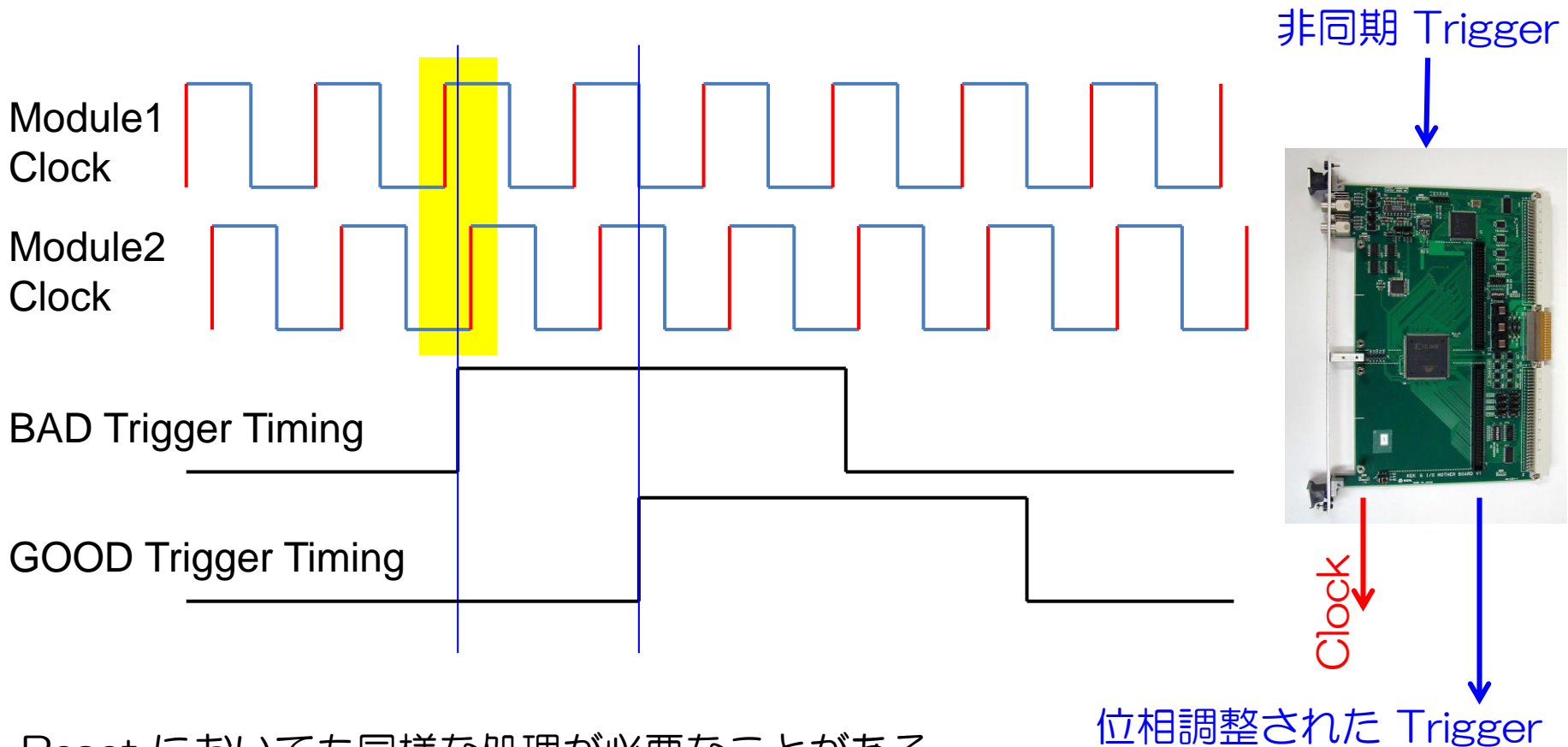
## XVB602/Tsi148 (VME64)

- PIO/BLT/MBLT64/2eVME
- Dual-channel
- Intelligent Chained DMA : とびとびのアドレスを一度に DMA 出来る。

うまく DMA とモジュールのバッファを使えれば速度的には十分

# Sub-system Clock 同期

- Trigger は駆動 Clock とは非同期に発生するため VT48/FADC は Clock 境界問題が生じる。
- FPGAを使用して Clock と位相の調整されたTrigger を配布する。



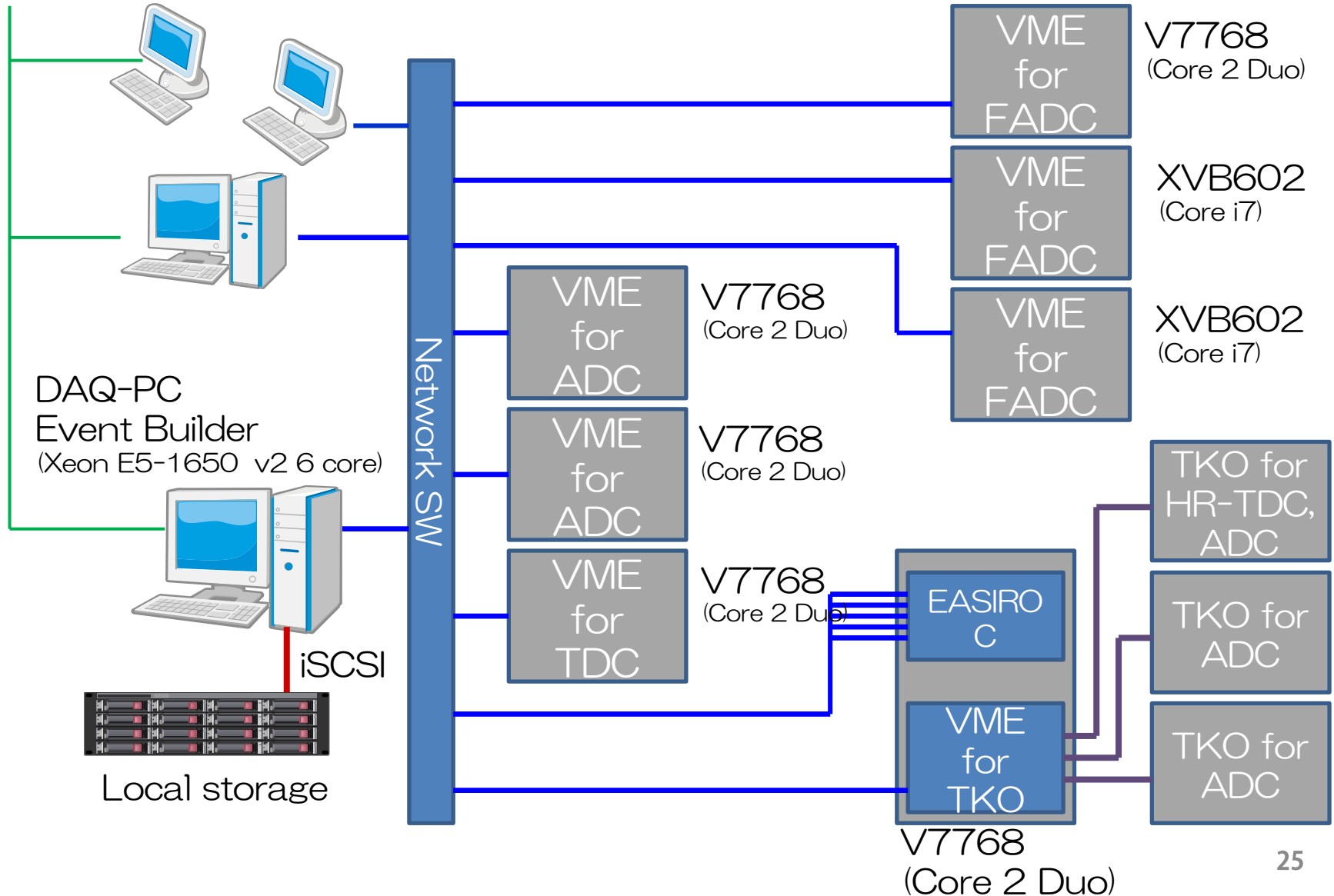
Reset においても同様な処理が必要なことがある。





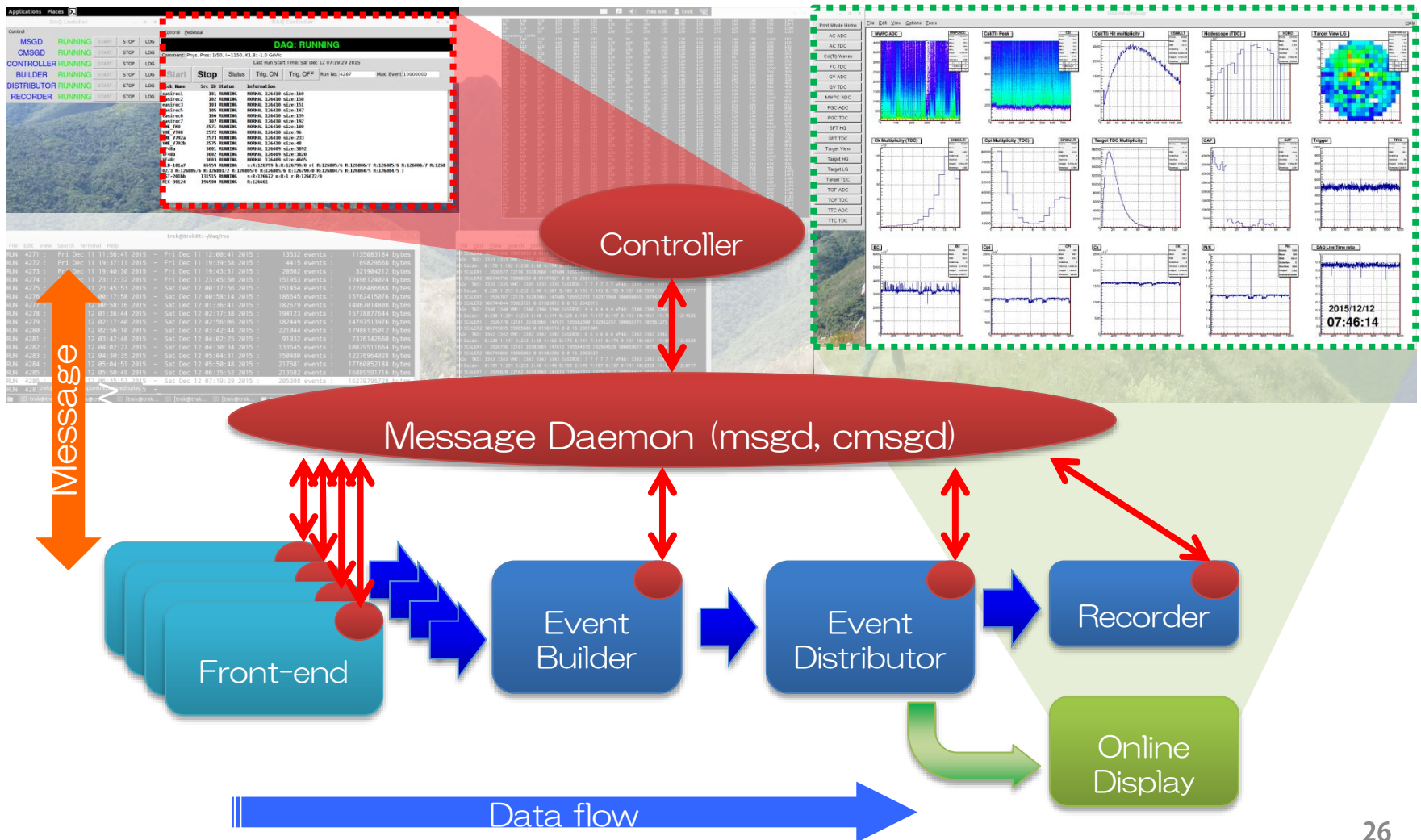
# E36 DAQ Network

## JLAN Intra (J-PARC LAN)



# Network based DAQ software

単機能の複数のプログラムによる協調動作で DAQ を行う。



# DAQ Controller

Control Pedestal

**DAQ: RUNNING**

Comment: Phys. Pres: 1/50, I=1150, K1.8: -1.0 GeV/c  
Last Run Start Time: Sat Dec 12 07:19:29 2015

Start Stop Status Trig. ON Trig. OFF Run No. 4287 Max. Event 10000000

Nick Name	Src ID	Status	Information
easiroc1	101	RUNNING	NORMAL 126410 size:160
easiroc2	102	RUNNING	NORMAL 126410 size:158
easiroc3	103	RUNNING	NORMAL 126410 size:151
easiroc5	105	RUNNING	NORMAL 126410 size:147
easiroc6	106	RUNNING	NORMAL 126410 size:139
easiroc7	107	RUNNING	NORMAL 126410 size:192
VME_TK0	2571	RUNNING	NORMAL 126410 size:180
VME_VT48	2572	RUNNING	NORMAL 126410 size:96
VME_V792a	2573	RUNNING	NORMAL 126410 size:233
VME_V792b	2575	RUNNING	NORMAL 126410 size:48
VF48a	3001	RUNNING	NORMAL 126409 size:3892
VF48b	3002	RUNNING	NORMAL 126409 size:3820
VF48c	3003	RUNNING	NORMAL 126409 size:4605
BLD-101a7	65959	RUNNING	s:R:126799 b:R:126799/0 r( R:126805/6 R:126806/7 R:126805/6 R:126806/7 R:126802/3 R:126805/6 R:126801/2 R:126805/6 R:126805/6 R:126799/0 R:126804/5 R:126804/5 R:126804/5 )
DST-201bb	131515	RUNNING	s:R:126672 m:R:1 r:R:126672/0
REC-30124	196900	RUNNING	R:126661

EASIROC

TKO

VME TDC

VME ADC

VME VF48

Event Builder

# Trigger/DAQ 改良

- 3月から6月のビームタイム
  - $\mu$ -Trig : Ck  $\otimes$  TOF1  $\otimes$  TOF2
  - e-Trig : Ck  $\otimes$  TOF1  $\otimes$  TOF2  $\otimes$  AC  $\otimes$  PGC
  - TKO : 2 crate
    - HR-TDC 6, ADC x2 , ADC x8
    - ADC x8

ターゲットに止まっていないイベントが  
多数トリガーに入ってくる

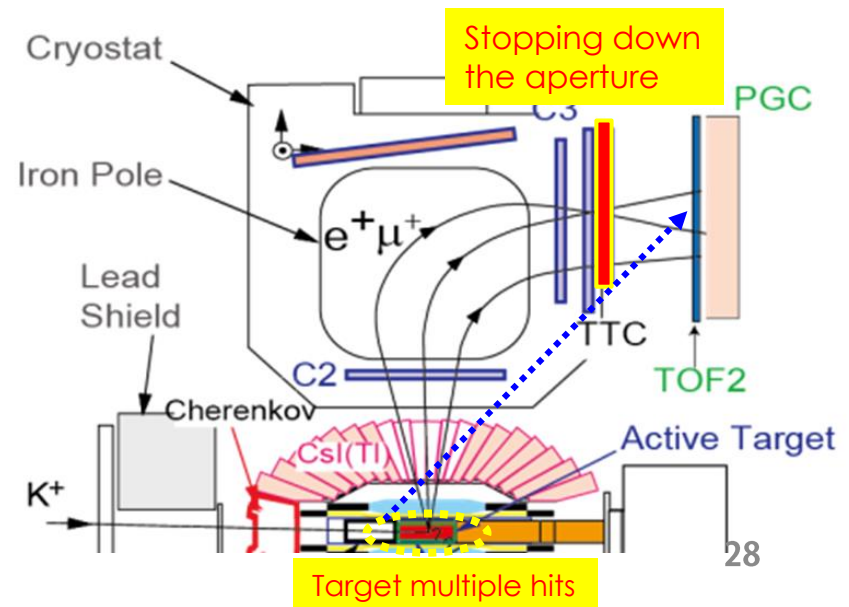
- 10月から12月のビームタイム
  - $\mu$ -Trig : Ck  $\otimes$  TOF1  $\otimes$  TOF2  $\otimes$  Target (N>2)  $\otimes$  TTC
  - e-Trig : Ck  $\otimes$  TOF1  $\otimes$  TOF2  $\otimes$  AC  $\otimes$  PGC  $\otimes$  Target(N>2)  $\otimes$  TTC
  - TKO : 3 crate
    - HR-TDC 6, ADC x 2
    - ADC x8
    - ADC x8

EASIROC  
board  
firmware 改良

新たにトリ  
ガーカウン  
ターを追加

Trigger 性能 : 2倍

DAQ 速度 : 30 % 向上



# DAQの性能と安定性

Sub DAQ system (Slowest part)	Number of readout channel	Typical Data size (Bytes)	Dead time ( $\mu$ s)
TKO	256	800	400
VME ADC Crate	288	930	200
VME TDC Crate	384 (multi-hit)	860	200
VME FADC Crate	384	35000	20 (Pipeline readout)
EASIROC board	64	800	12 (Pipeline readout)
		Total 85 kB	Entire 400

不幸にも見積もりより K 粒子の数が少なかった。 Trigger  $\sim 250$  Hz 程度  
DAQ 10 % dead time で安定に稼働  
The total data flow is  $\sim 20$  MB/sec

## 安定性 (10月から12月のビームタイム)

Incident	Frequency
Event slip	週数回程度 (VME, TKO で稀に起こる事象が落とし切れなかった。)
Software crash	なし
FADC freeze	月数回

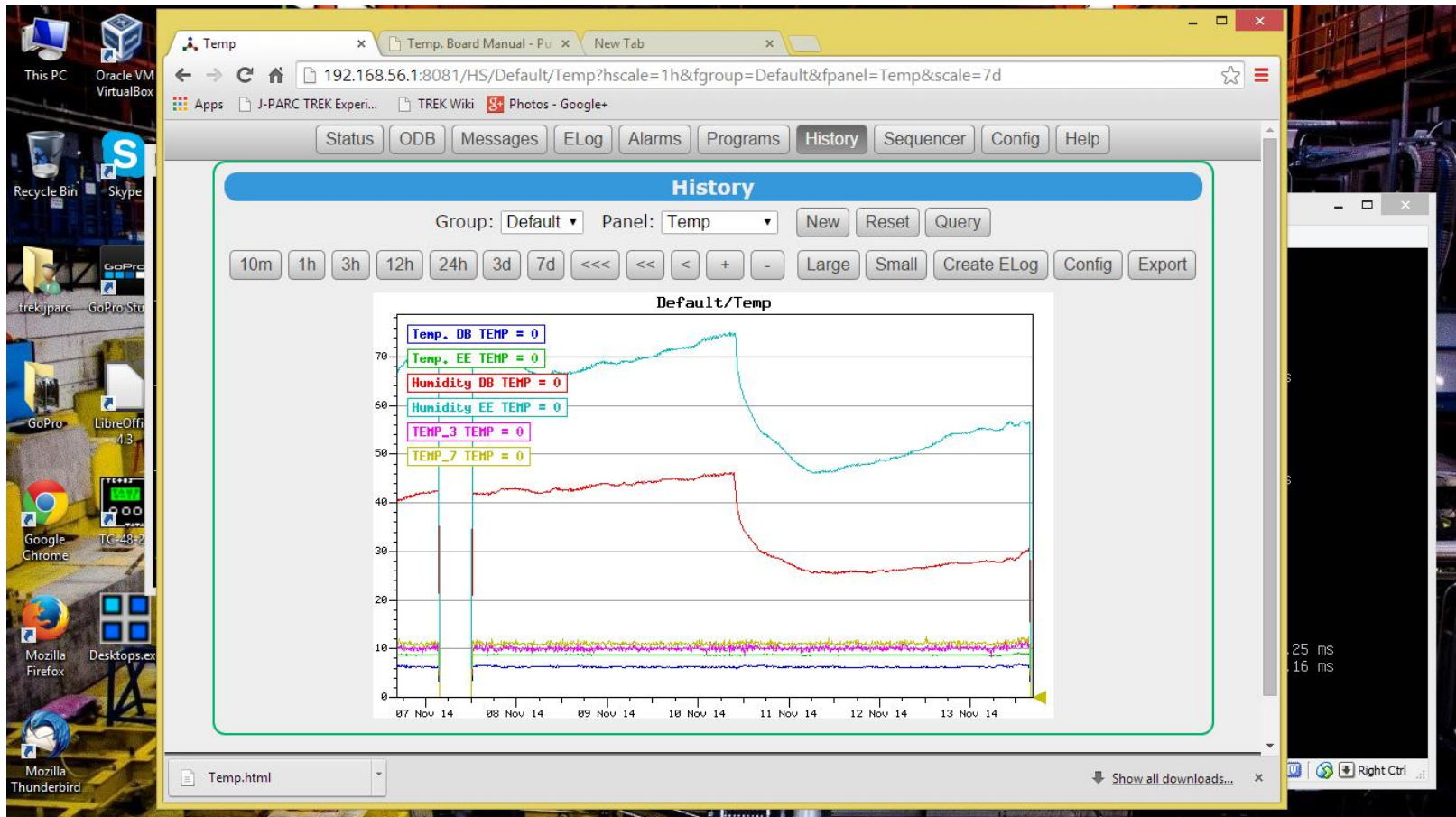
# まとめ, 他

- J-PARC E36 実験 は 2015年 3月~12月 にデータ収集を行った。
  - DAQ は Dead Time 10 % で安定に動作。
- VME はモジュールにバッファリングできれば結構頑張れる。
  - Tsi148 は強力だが、ドライバが有料 ディスコンに
- 頼みにしていた CAEN V792 QDC はいまいち頼りにならない。(用途があまり広くない)
- モジュラーコンセプトは中小実験には強力
  - 現場での即時対応が出来る。
    - GP-IO 用に作りためていた Mezzanine card が有効に働いた。
  - しかしある程度の規模になると信頼性、コスト、実装密度的に不利。
- イベントタグを読めない Read-out 機器には検出器信号としてイベントタグを入れればタグを読める。
  - いろいろな GP-IO Mezzanine card
    - DAC, NIM, TTL, LVDS, ECL



# 環境モニタ

- MIDAS Slow control
  - MPPC 温度、湿度をモニタ

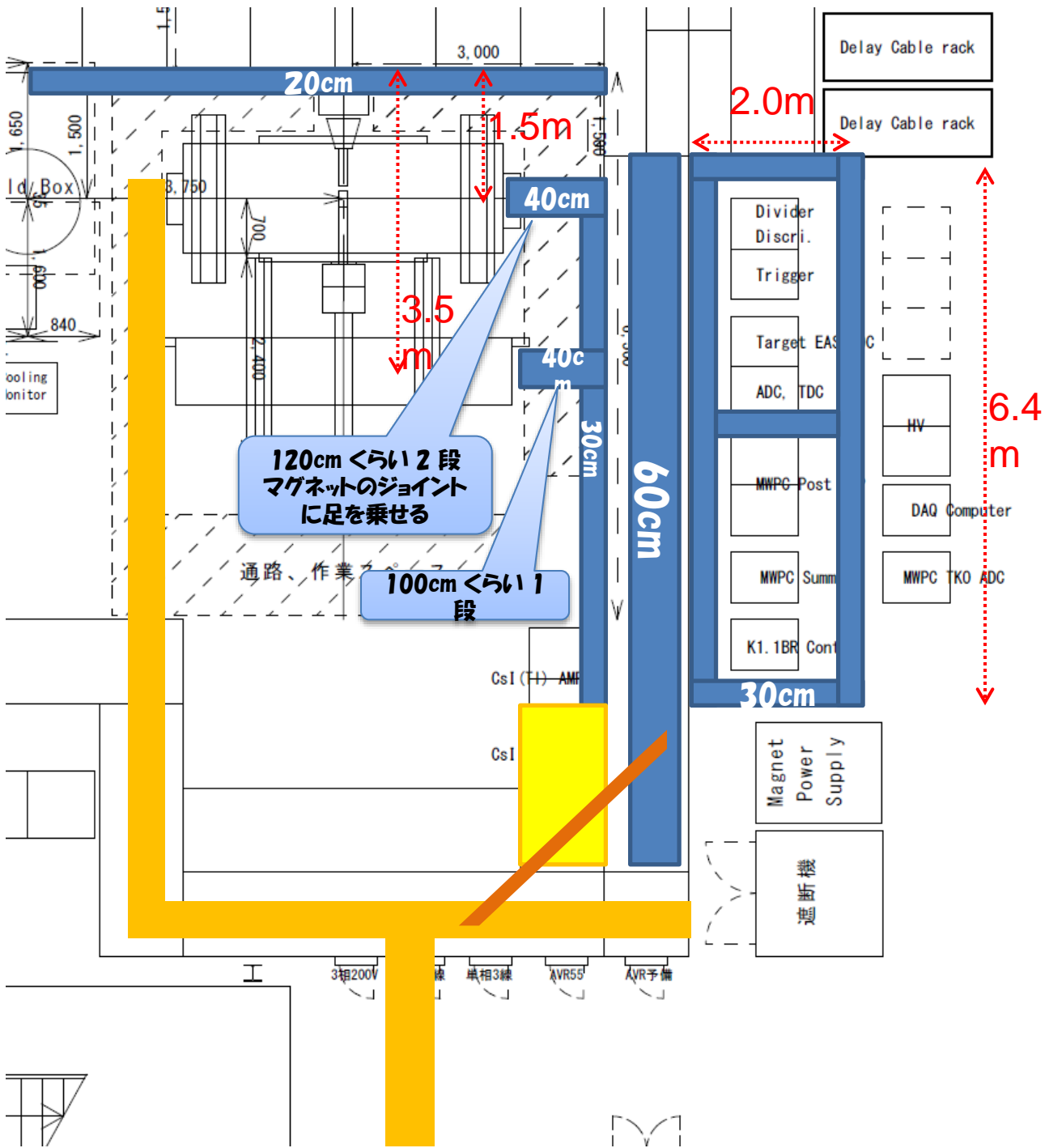




# E36 DAQ Display

The screenshot displays the E36 DAQ Display software interface, which is used for monitoring and controlling the data acquisition system. The interface is divided into several main sections:

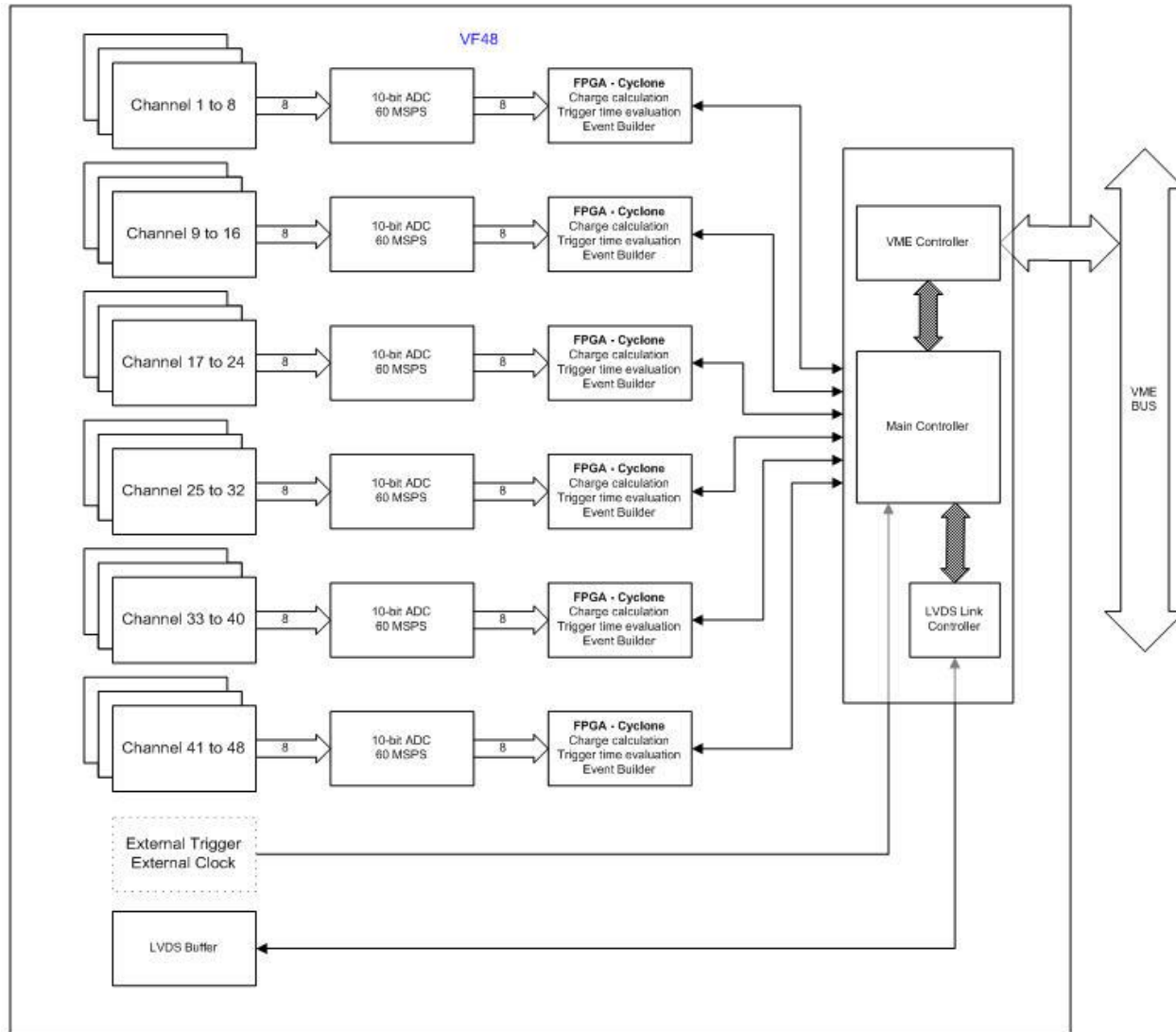
- Control Panel (Top Left):** Shows the status of various components: MSGD, CMSGD, CONTROLLER, BUILDER, DISTRIBUTOR, and RECORDER. All are currently in a "RUNNING" state. A "DAQ: RUNNING" indicator is also present.
- Data Log (Top Middle):** A table listing the status of various modules (e.g., mslnrc1, mslnrc2, etc.) and their associated information.
- DAQ Configuration (Top Right):** A control panel for various DAQ modules, including MPPC ADC, CAU's Peak, CAU's NE multiplicity, SIBILL, Hodoscope (TDC), SPP, Target View (L), CAU Multiplicity (TDC), SIBILL, Cap Multiplicity (TDC), Target TDC Multiplicity, SPP, Target View, Target HG, Target LG, Target TDC, TOP ADC, TSP TDC, TIC ADC, and TIC TDC.
- Terminal Windows (Bottom):** Multiple terminal windows showing real-time data logs and event counts. For example, the first terminal shows event counts for various modules over time, such as "13532 events : 1135083184 bytes" for Fri Dec 11 12:00:41 2015.
- Plot Grid (Right Side):** A grid of plots showing various data distributions and trends, including histograms and heatmaps.
- System Information (Bottom Right):** A small window displaying the date and time: "2015/12/12 07:46:14".



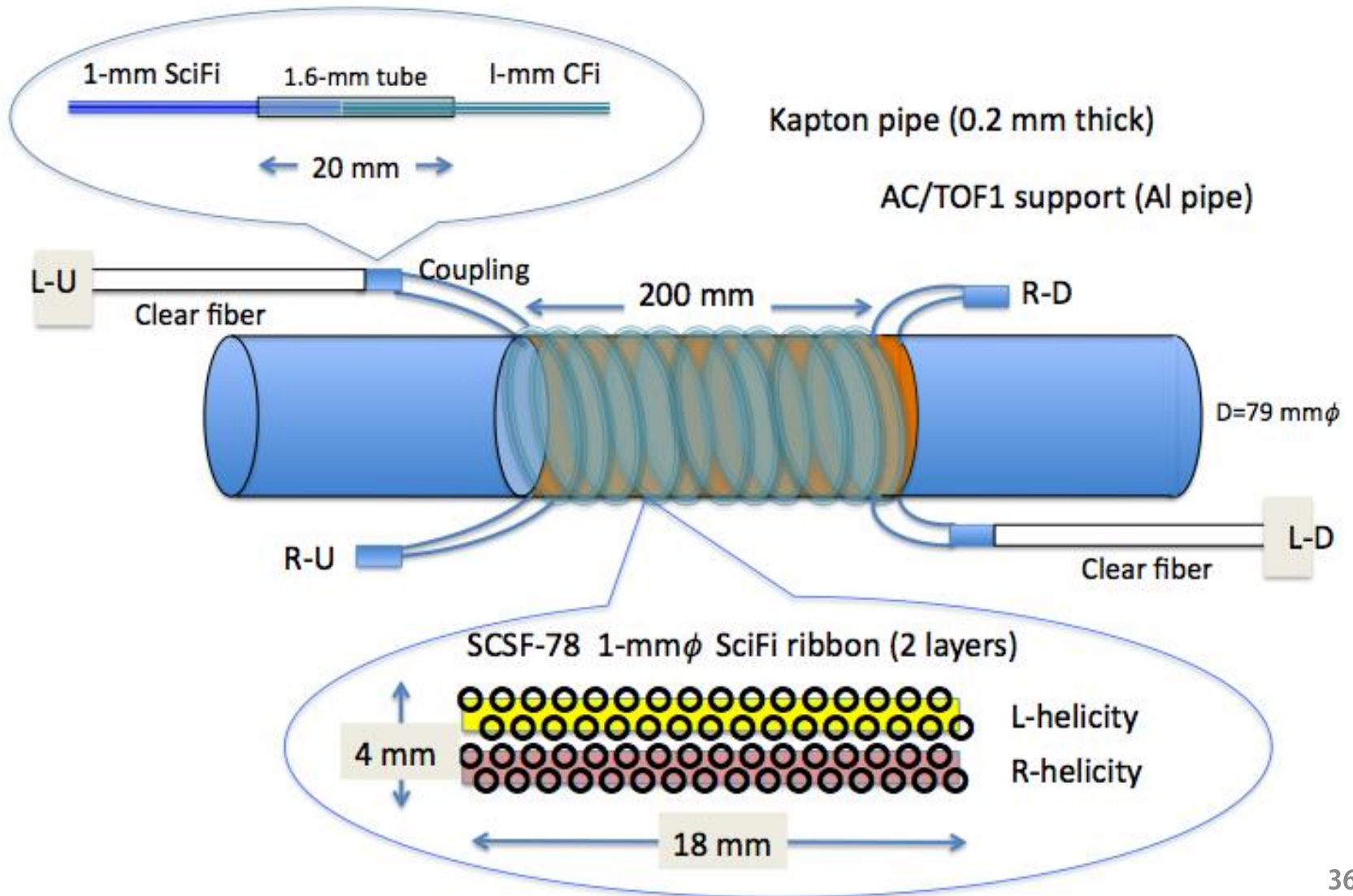
# Cable rack plan

MWPC ケーブルのみ下の穴を通す。

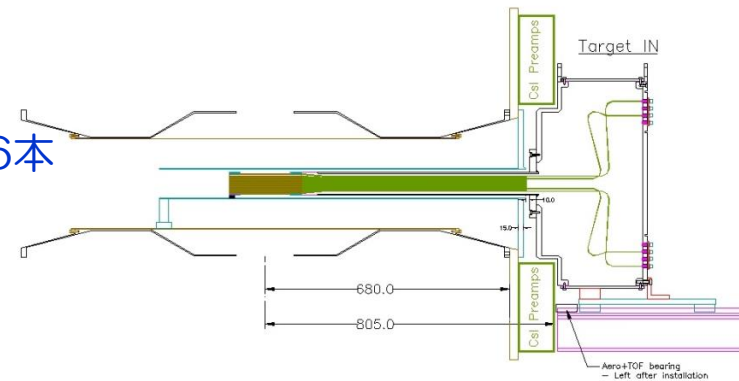
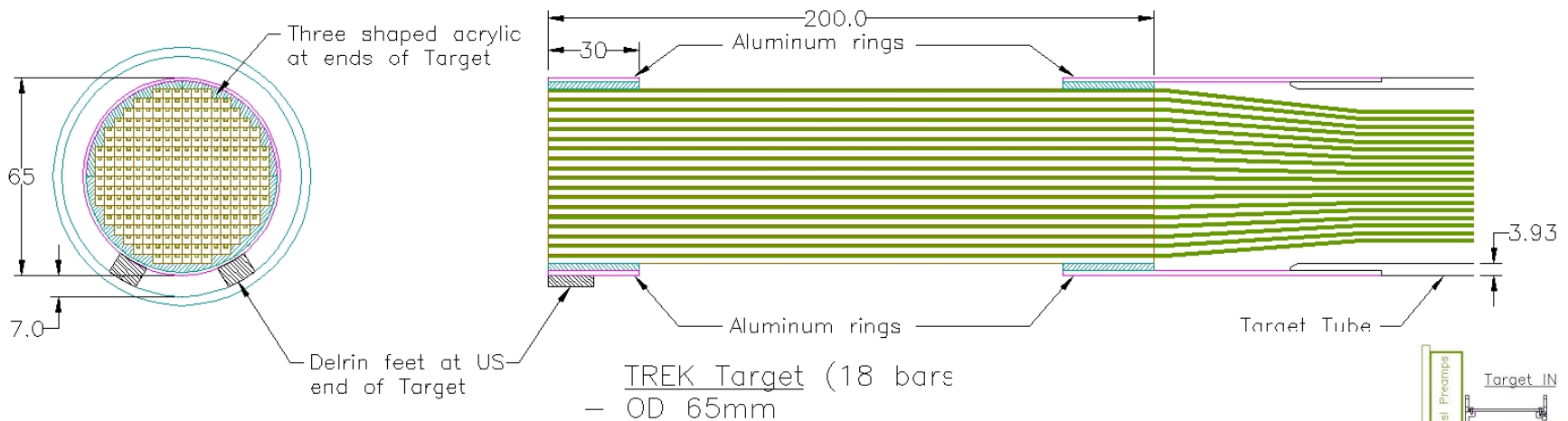
# VF48



# Structure of SFT



# TREK アクティブターゲット



- 3mm x 3mm x 200mm シンチレーションバー 256本

- バイクロンプラスチックシンチレーター + BC-620 白色反射塗装

- 波長変換ファイバーによる光伝送

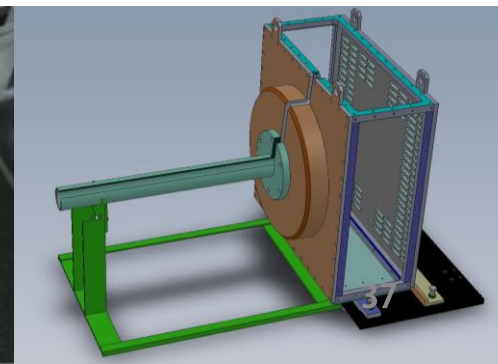
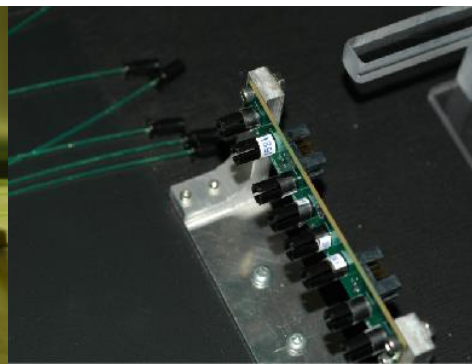
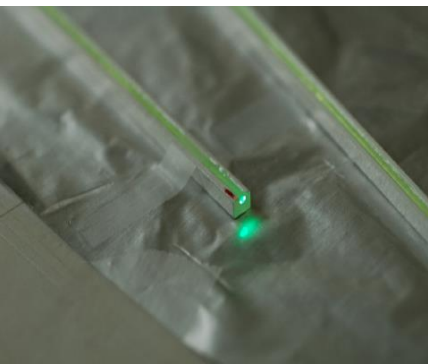
- クラレ Y11 (200) マルチクラッド 1mmφ 140 mm

- 小口径、細密化による位置測定精度の向上

- エネルギーロスによる運動量分解能の悪化を削減。
  - 崩壊点からターゲットを通過した距離により補正を行う。
- エアロジェルチェレンコフカウンターの場所を空ける。

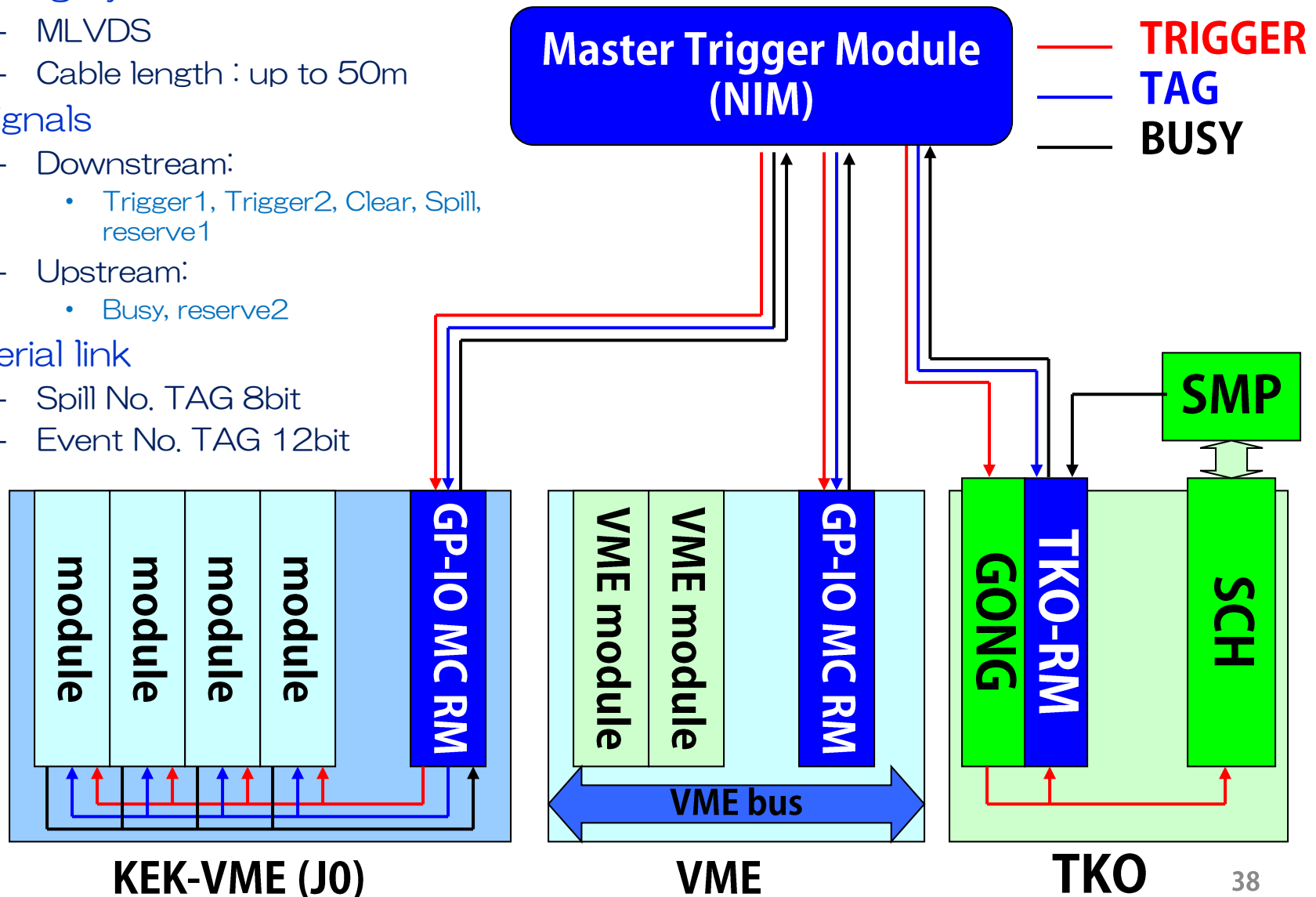
- MPPC による読み出し

- S10362-11-050C (400 pixel)



# A Trigger/Tag Distribution System

- Category 5 cable x 2
  - MLVDS
  - Cable length : up to 50m
- Signals
  - Downstream:
    - Trigger1, Trigger2, Clear, Spill, reserve1
  - Upstream:
    - Busy, reserve2
- Serial link
  - Spill No. TAG 8bit
  - Event No. TAG 12bit



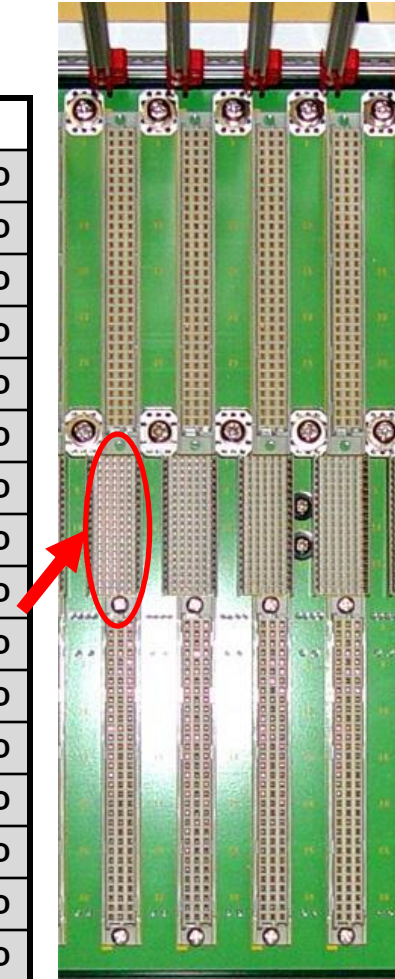
# RM↔KEK-VME module Communication

- KEK-VME timing signal line in J0
  - S1 - S7
  - C1, C2 (wired OR)

	Default	Hadron ext.
S1	SYSCLK	
S2	TRG	TRG
S3	GATE	SPILLTAG0
S4	CLR	SPILLTAG1
S5	TAG0	TAG0
S6	TAG1	TAG1
S7	TAG2	TAG2
C1	BSY/	BSY/
C2	WOR/	

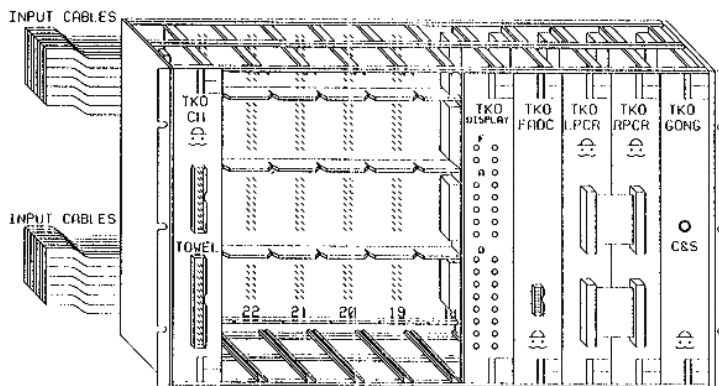
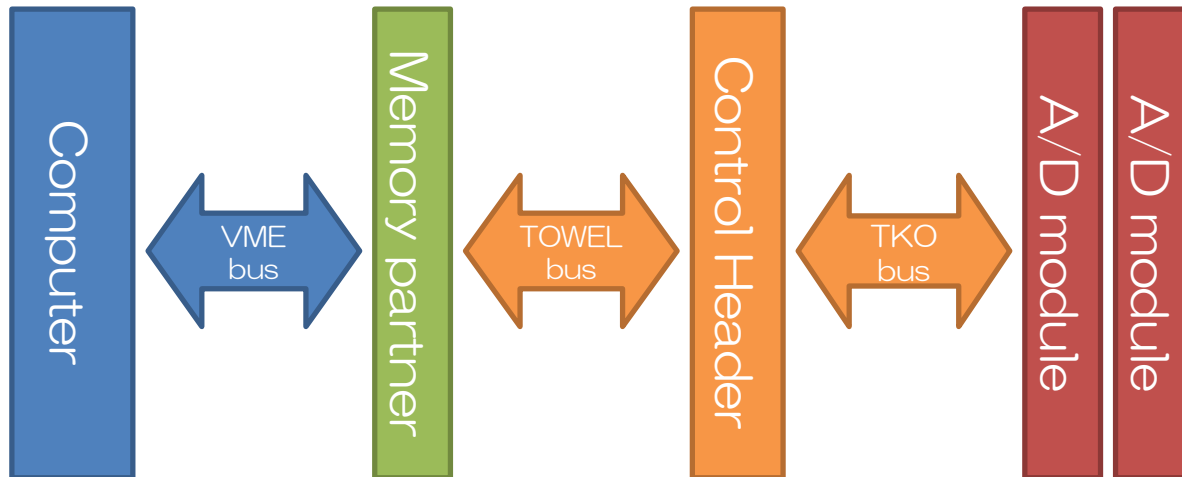
Pin assignment of J0

Pos.	z	a	b	c	d	e	f
1	GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
2	GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
3	GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
4	GND	+3.3V	+3.3V	+3.3V	+3.3V	+3.3V	GND
5	GND	+3.3V	+3.3V	+3.3V	+3.3V	+3.3V	GND
6	GND	+3.3V	+3.3V	+3.3V	+3.3V	+3.3V	GND
7	GND	+3.3V	+3.3V	GND	GND	GND	GND
8	GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
9	GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
10	GND	GND	GND	GND	-3.3V	-3.3V	GND
11	GND	-3.3V	-3.3V	-3.3V	-3.3V	-3.3V	GND
12	GND	-3.3V	-3.3V	-3.3V	-3.3V	-3.3V	GND
13	GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
14	GND	-5V	-5V	-5V	-5V	-5V	GND
15	GND	GND	GND	GND	GND	GND	GND
16	GND	S1+	S1-	GND	S2+	S2-	GND
17	GND	S3+	S3-	GND	S4+	S4-	GND
18	GND	S5+	S5-	GND	S6+	S6-	GND
19	GND	S7+	S7-	GND	C1	C2	GND

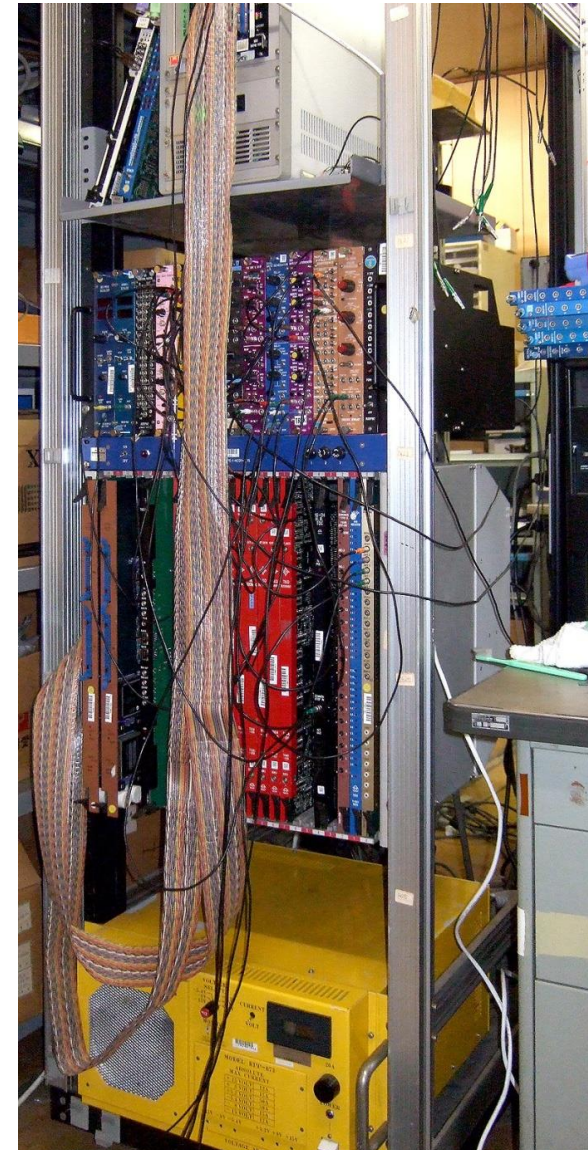


# MWPC / TOF readout

- TKO
  - MWPC ADC
  - TOF HR-TDC (30 psec)



CONCEPTUAL DRAWING OF A TKO BOX



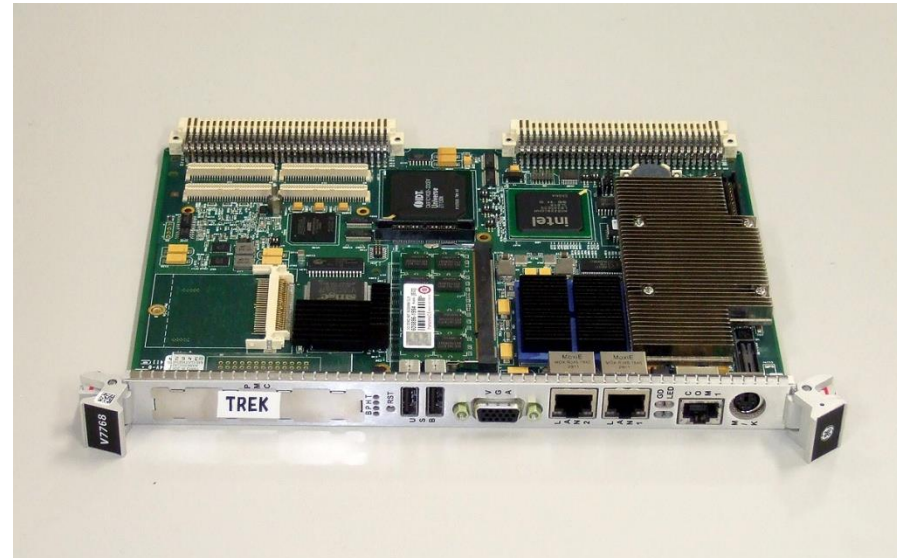


# TKO

- CAMAC, RABBIT の設計を元に規模の大きな実験 (TRISTAN) で使えるようにデザインされた。
- Tokio Kenneth Ohska (大須賀闘雄) さんを中心に開発
- KEK ローカルで使用されている。(使用されていた)
- CAMAC より大きな基盤サイズ
  - 一枚あたりのチャンネル数を増やすことでコスト削減
- 入出力が後部にあることでモジュールの交換がしやすい。
- 加速器タイミング信号をモジュールに伝えることができる。
  - A-bus
- ハードワイヤードのシーケンサを持つコントローラとメモリパートナーによる自動データ収集
  - CH/MP

# VME master controller

- GE Fanuc VMIVME-7xxx, V7xxx
  - VME Single Board Computer
  - PCI-VME Bridge: Universe II
    - PIO : 1~2  $\mu$ sec
    - BLT32 : ~20MB/sec
  - Network boot 環境で運用
- 過去の資産
  - Software/Hardware
- Device driver
- 入手、保守性
- (コスト)



GE V7768 : Core 2 Duo 2.16 GHz