

J-PARC MLFのMuonスピン緩和用分光器の開発

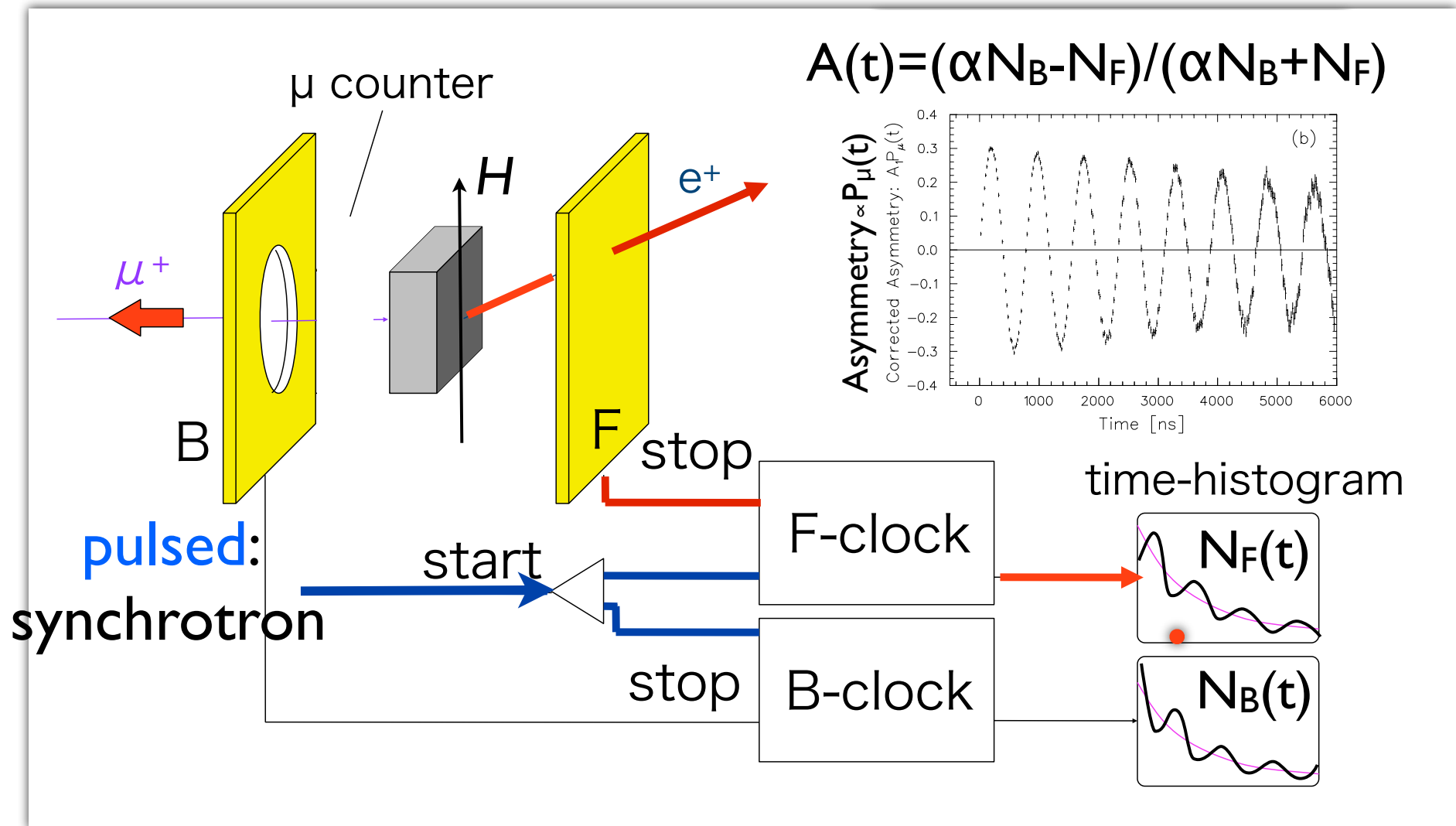
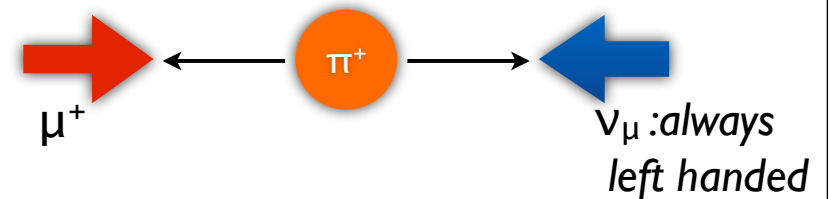
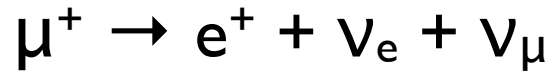
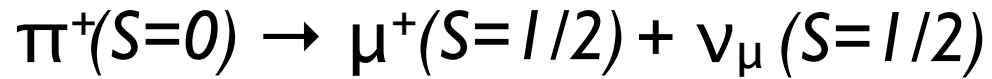
~Kalliope検出器~

小嶋健児 (KEK物構研)

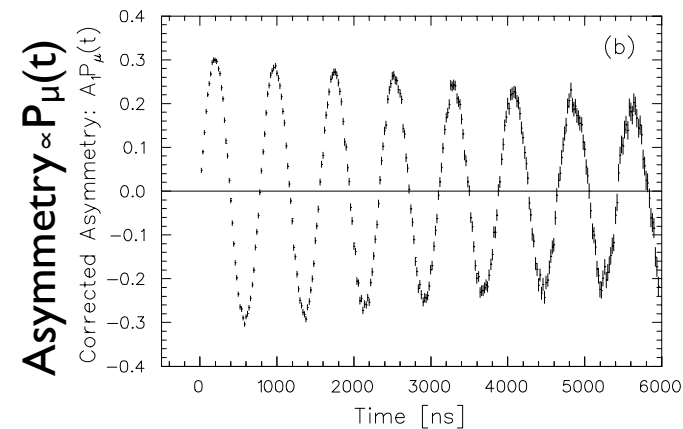
Outline

- Muon スピン緩和測定とは？ ----- 1 page
- 必要なスペック ----- 3 page
- μ SR分光器の全体像 ----- 5 page
- Kalliope検出器
 - 構成・実装 ----- 8 page
 - 調整方法 ----- 6 page
 - 問題点・解決法 ----- 7 page
- 派生商品・現状まとめ ----- 4 page

Muon Spin Relaxation (μ SR) の原理

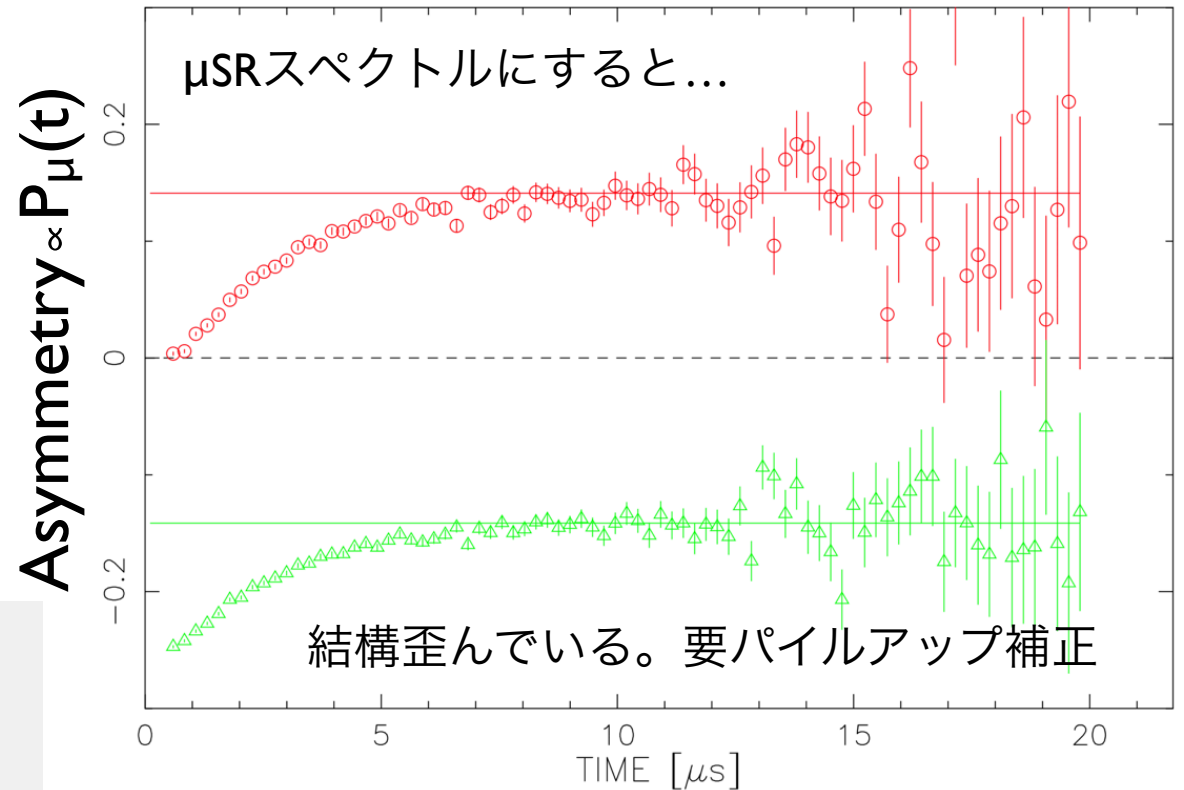
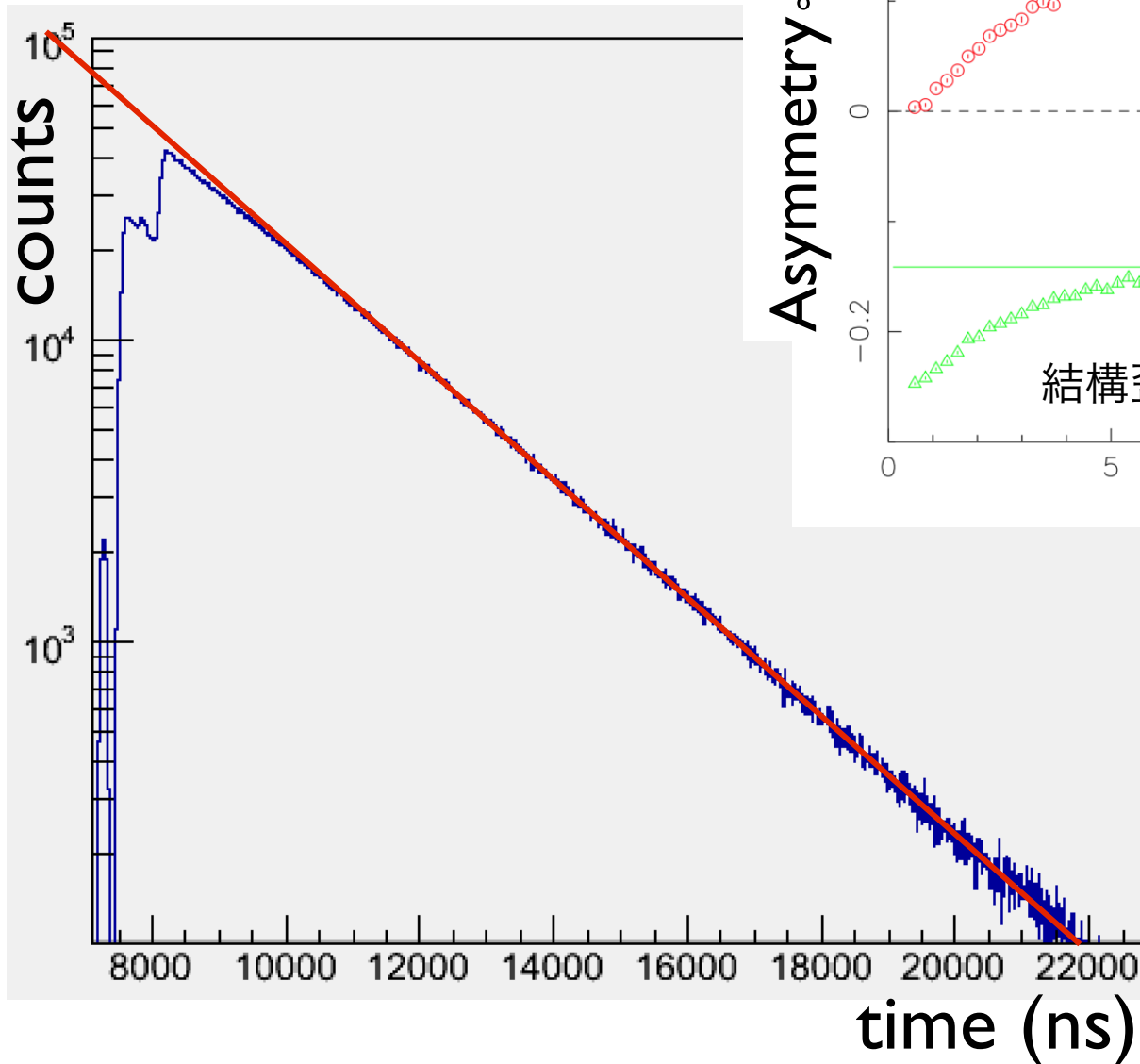


$$A(t) = (\alpha N_B - N_F) / (\alpha N_B + N_F)$$

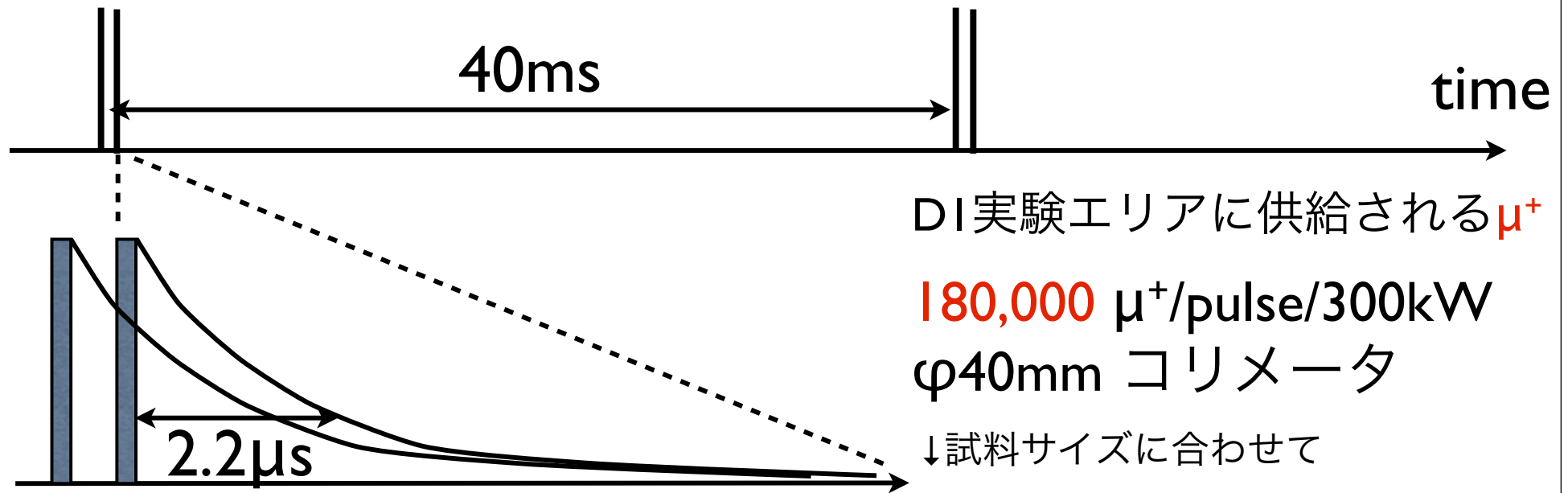


μSR用 陽電子検出器の必要スペック

μSRはμe崩壊時間スペクトルの
 $\exp(-t/\tau)$ からの~1%程度のずれを
計測する。



- 32~64μs時間窓TDC
- ~1ns 時間分解能
- 20-25%立体角
- 高ダブルパルス時間分解能
- =低パイルアップ



瞬間レート

$$180,000 / 2.2\mu s = 100 \times 10^9 \text{ cps for } 4\pi$$

$$\rightarrow 100 \text{ Gcps} \times 0.20 \div 1000 = 50 \text{ Mcps}$$

$$60,000 \mu^+ / \text{double pulse}$$

$$30,000 \mu^+ / \text{single pulse}$$

有効立体角 **20%** 検出器分割数 **1000ch**

→ 試料サイズ・単パルス化 **10Mcps**

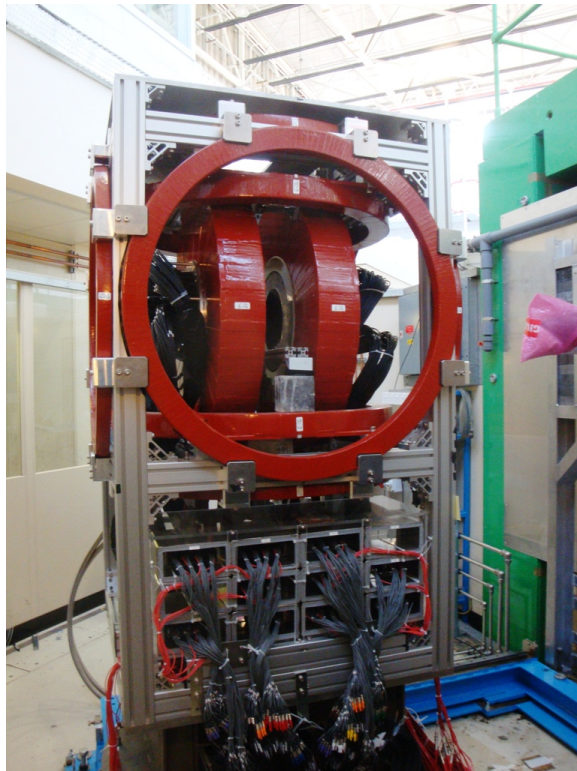
$$\rightarrow 30,000 \times 0.20 \div 1000 = 6e^+ / \text{pulse/ch}$$

この高レートでの陽電子信号をなるべく数え落とさず計測！

しかも~1000chの高集密度で

コスト計算

CHRONUS分光器
RIKEN-RAL muon
beamline port 4

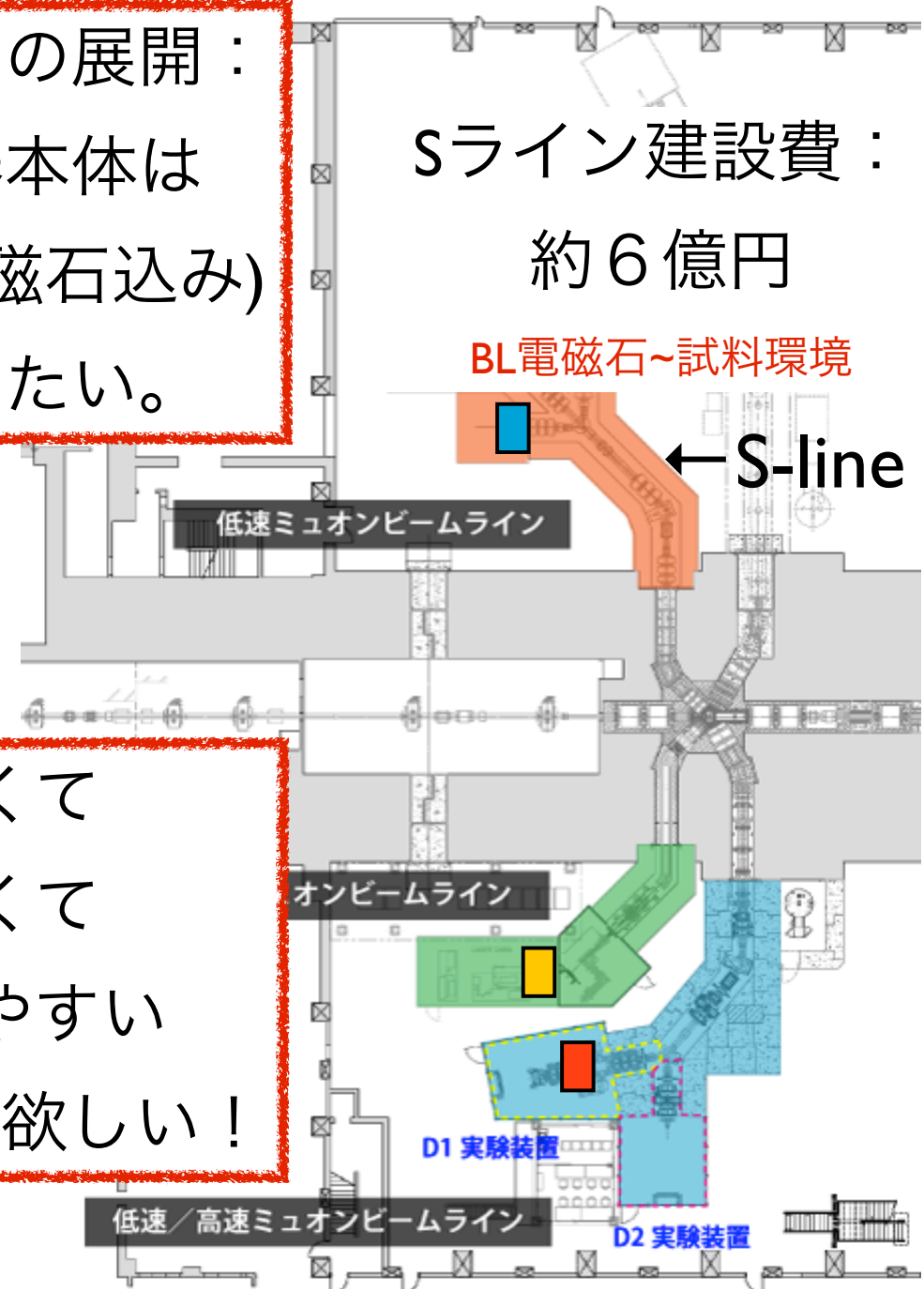


606ch: MAPMT
+VME Discr+TDC
1-2億円(高級品)

これからの展開：
分光器本体は
0.5億円(磁石込み)
に抑えたい。

速くて
安くて
扱いやすい
検出器が欲しい！

Sライン建設費：
約6億円



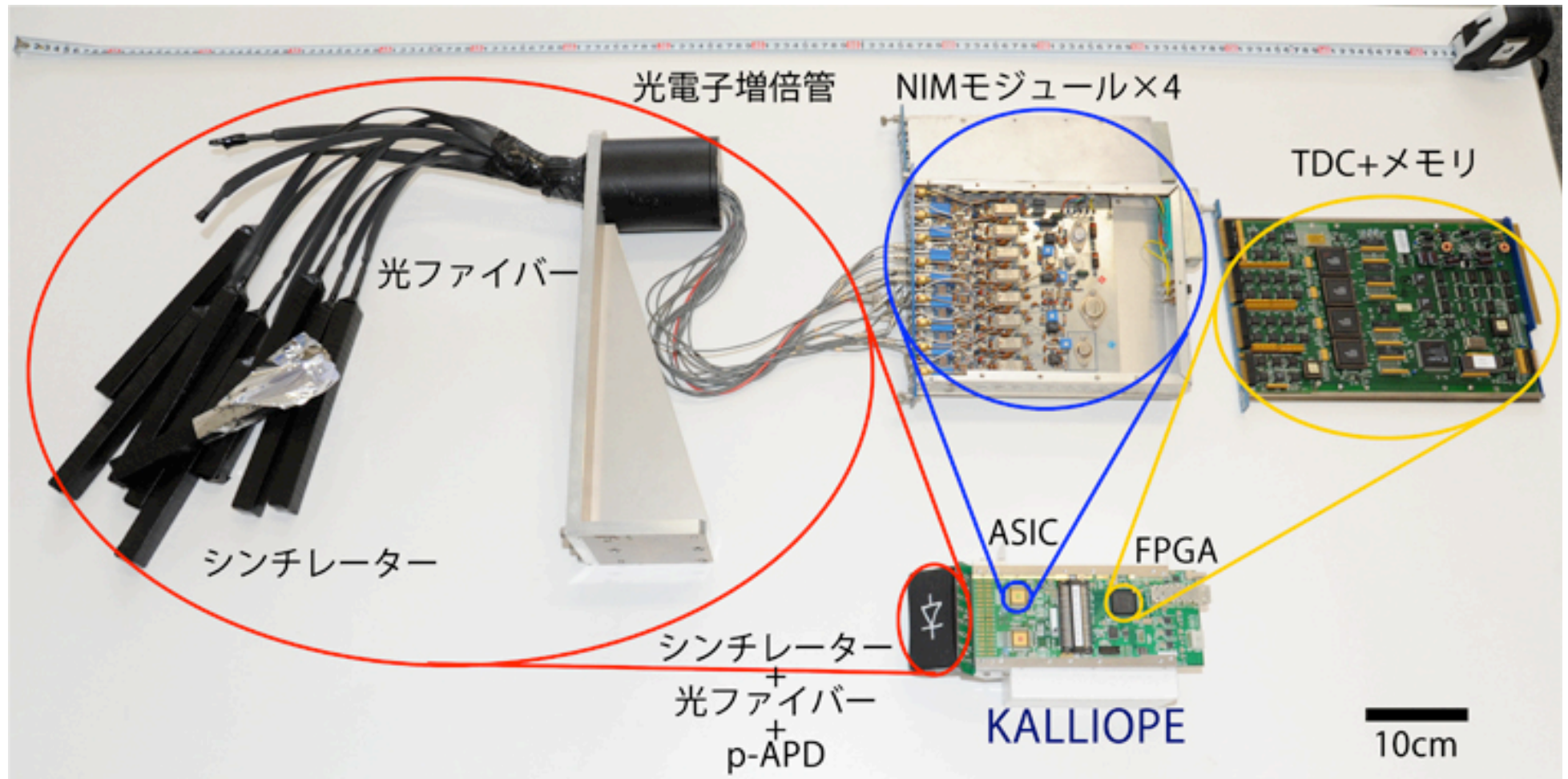
Outline

- Muon スピン緩和測定とは？ ----- 1 page
- 必要なスペック ----- 3 page
- μ SR分光器の全体像 ----- 5 page
- Kalliope検出器
 - 構成・実装 ----- 8 page
 - 調整方法 ----- 6 page
 - 問題点・解決法 ----- 7 page
- 派生商品・現状まとめ ----- 4 page

KEK, Kalliopeで 

Kalliope=KEK Advanced Linear and Logic-board Integrated Optical detector for Positrons and Electrons

2013年1月24日版 KEKハイライト記事



Kalliope検出器利用の分光器(384ch=12台→1280ch=40台)

2014年から稼働中のD1新分光器1280ch

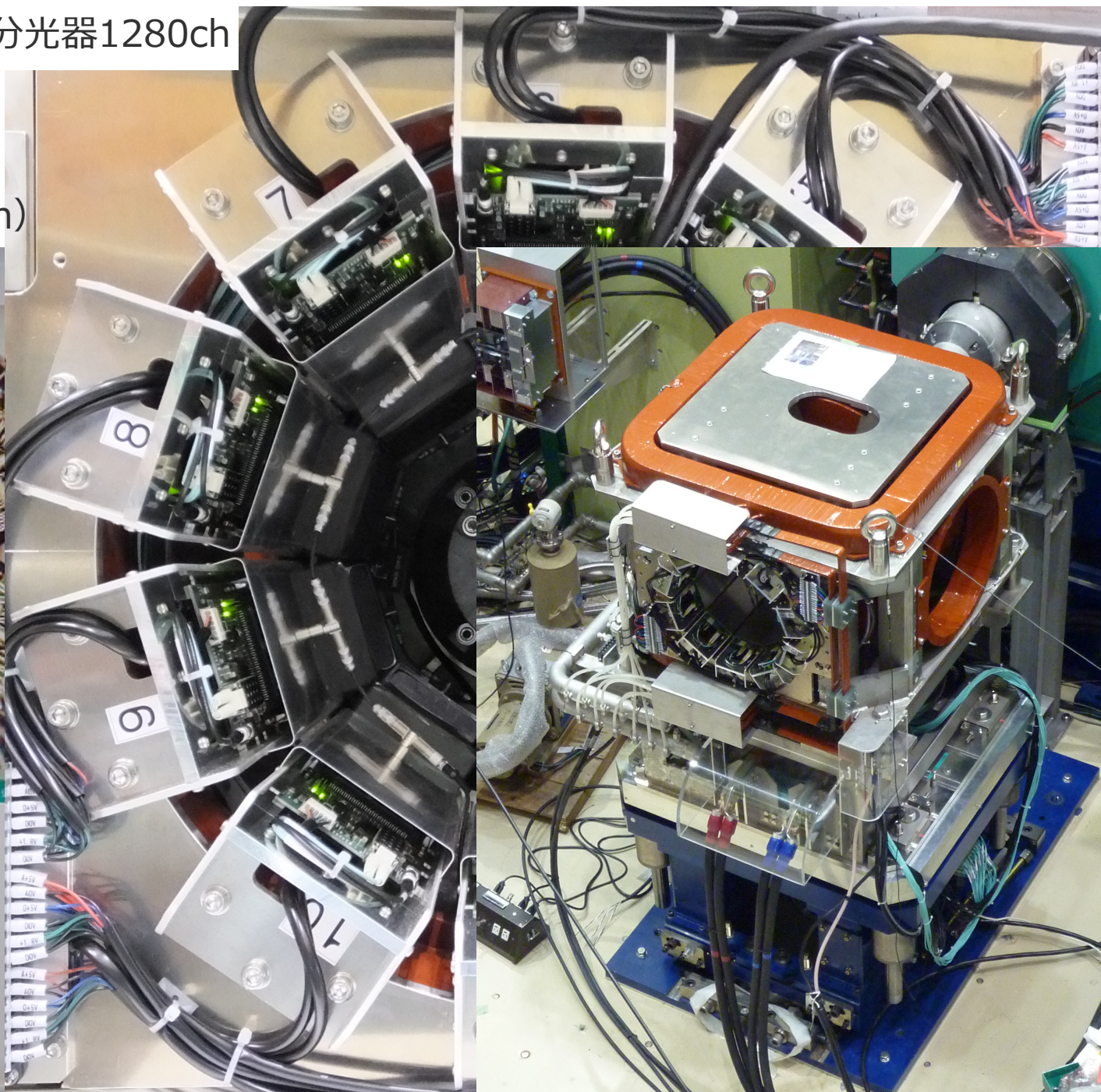
KEKアニュアルレポート

2013表紙 (旧分光器384ch)



High Energy Accelerator Research Organization

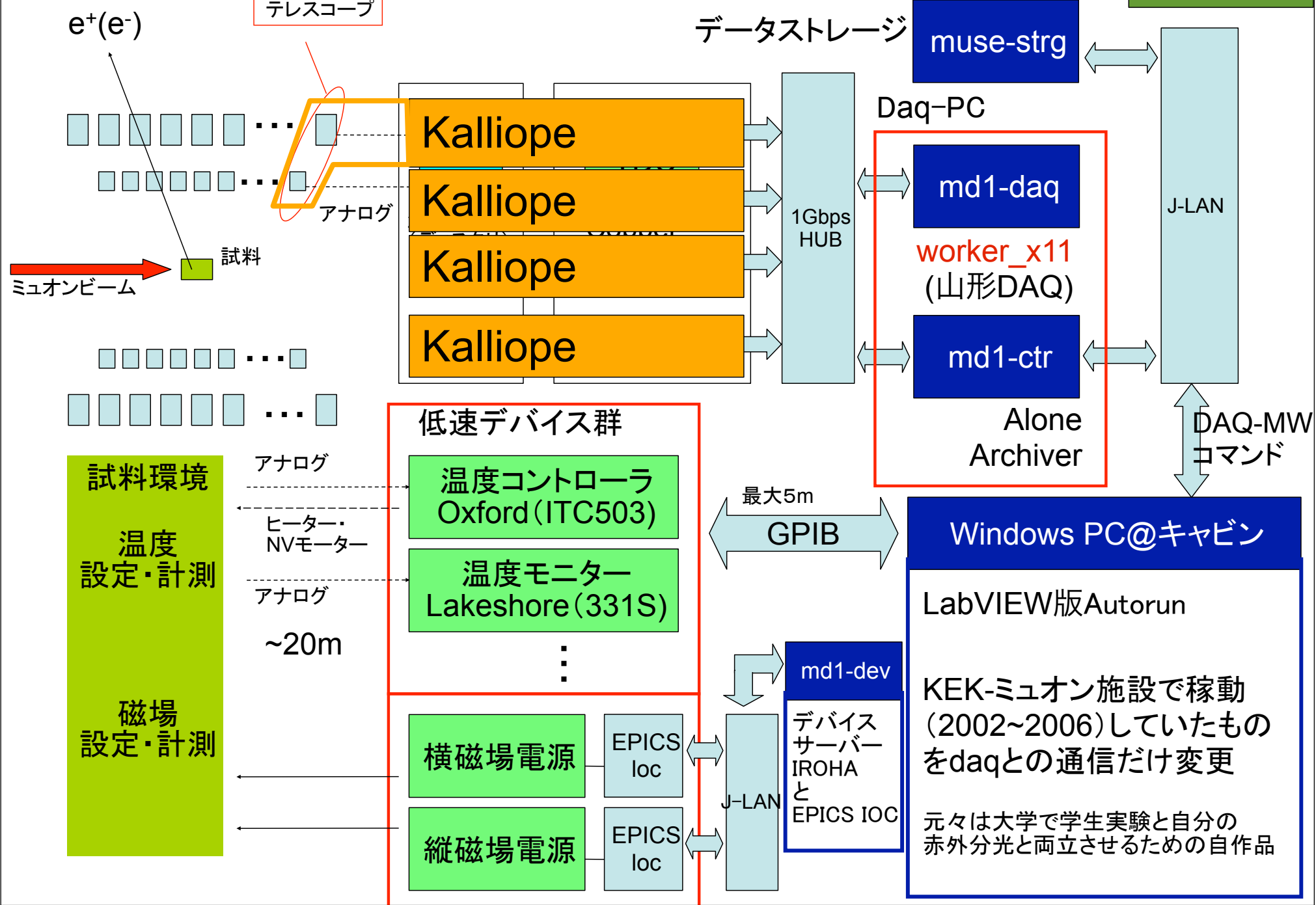
2013
at KEK
ANNUAL REPORT
Vol.1



D1-μSR装置構成 (Kalliope)

つくば

MySQL 10
web可視化



e⁺ or e⁻
カウンター
テレスコープ

e⁺(e⁻)

ミュオンビーム

試料

アナログ

Kalliope

Kalliope

Kalliope

Kalliope

データストレージ

muse-strg

Daq-PC

md1-daq

worker_x11
(山形DAQ)

md1-ctr

Alone
Archiver

J-LAN

DAQ-MW
コマンド

低速デバイス群

温度コントローラ
Oxford (ITC503)

温度モニター
Lakeshore (331S)

⋮

横磁場電源

EPICS
loc

縦磁場電源

EPICS
loc

最大5m

GPIB

Windows PC@キャビン

LabVIEW版Autorun

KEK-ミュオン施設で稼動
(2002~2006)していたもの
をdaqとの通信だけ変更

元々は大学で学生実験と自分の
赤外分光と両立させるための自作品

試料環境

温度
設定・計測

磁場
設定・計測

アナログ

ヒーター・
NVモーター

アナログ

~20m

LabVIEW版Autorun (実験コントロール)

Rodem-J by KMK (2009)

Sequence commands

```

contact=<e-mail address> sets e-mail address to notify start/end/error of sequence.
log=<log filename> sets logging filename which stores T, Ts, B, etc.

wait=<sec.> waits upto <sec.>.
PID=<P> <I> <D> sets PID parameter of the cryostat (ITC503)
setAutoITC sets ITC503 temperature controller to the auto NV and Heater mode
shutdownITC sets ITC503 temperature controller to NV=0, Heater=0, and manual mode
T=<Tset (K)> sets target temperature of the cryostat (ITC503).
waitT=<dT (K)> <min.> waits upto <min.> under the condition of |T-Tset| < dT.
Ts=<Tsset (K)> sets target temperature of the sample.
waitTs=<dTs (K)> <min.> waits upto <min.> under the condition of |Ts-Tset| < dTs.

run=<run number>:<title> start the run with the run number and run title
waitStat=<statistics> wait until the statistics exceeds the setpoint (unit: million events).
endrun ends the run

```

daqComponent

controller IP: 10.105.52.141 | TCP port: 80 | 10.105.52.141

e-mail

SMTP server: 192.168.0.1 | Receiving address: kojima@lyra.t.u-tokyo.ac.jp

address

ILM Com Port: 2 | ISOBUS Address: 3 | GPIB Address: 30

ITC503 Com Port: 2 | IPS Com Port: 2 | ITC503 Address: 1 | IPS Address: 2 | GPIB Address: 24 | IPS Address: 25

TR6144 GPIB: 9 | HP3478A GPIB: 22 | EX-2 GPIB: 8 | TR6144 for LF: 1 | Relay Unit GPIB: 5

Error messages

ready | running | looping

line 0

mon-log file: %C:\LabVIEW vi\Autorun\logfile\%test.log.mon

data-log file: %C:\LabVIEW vi\Autorun\logfile\%test.log

```

!!!! sequence file (do not remove this line)
#contact=kojima@lyra.t.u-tokyo.ac.jp
log=C:\%LabVIEW vi\Autorun\logfile\%test.log
T=446
waitT=1.0 0.5
run=10834:test-10834
waitStat=2
endrun
T=447
waitT=1.0 0.5
run=10835:test-10835
waitStat=2
endrun
T=447
waitT=1 1
run=10836:test-10836

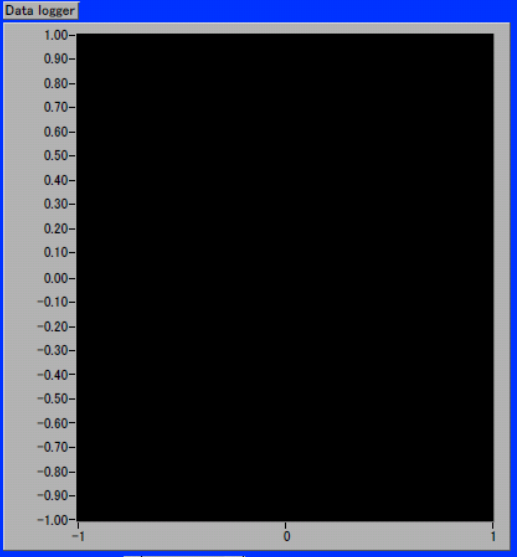
```

Control panel for ITC503 and TF setpoints.

wait: 0.00 | T: 0.00 | waitT: 0.00 | B: 0.00 | TF: 0.00

time (sec): 1.00 | Tset (K): 1.00 | Tread (K): 1.00 | Bset (G): 4 | TFset (G): 4

ITC503: NV: -000.0 | P: 5.000 | I: +001.0 | D: +000.0 | Vm: | Hi: +000.0 | Tset (K): 10.00 | Tread (K): 1.0 | Ts device: I-V | I: 1.0 | min: 0.0



縦磁場のシーケンスコマンドが少し変更されました。
 B=OFFで縦磁場電源OFF
 B=100でNormal方向に100ガウス
 B=100 RでRevers方向に100ガウスです。
 詳細はマニュアルのページを参照ください。
 DRの場合、StepTimeは500msくらいが最適です。

DaqComponent, waitStat, run, endrun

Stat set (M): 10838 | Stat read (M): 2.00

Run title: test-10838

Experimental conditions: 8:01:06 445.800

Monitor

ILM %: 0.00 | ITC503 (K): 446.30 | IPS (T): 0.00 | I-V (Ohm): 0.00 | DR (Ohm): 0.00

Monitoring device

ILM channel(1/2/3): OFF | ITC503 channel(1/2/3): ON | IPS: OFF | I-V: Current(mA) | DR: Refresh rate (sec): 60.00

TRIUMF製ウェブ版μSR結果モニタ (MySQL-検索可能)

Run List

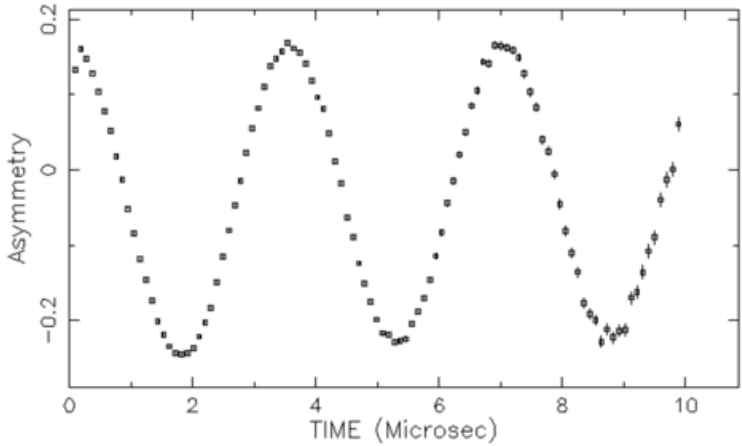
Year	Area	Run	DEL
1	MD1	2768	x

Deselect All
Plot Data Plot FFT
Edit Spectrum Parameters
Edit Plot Parameters
Close this Window
Zip & Download Runs

Time-spectrum plot of selected runs

1: MD1 (2014) # 2768: "Ag 20x20mm minicryo col.20 TF20G 67.228V s-pls 000796n4 (3B-4)"

20x20mm minicryo col.20 TF20G 67.228V s-pls 000796n4 (3B-4)



Close this Window

muSR Runs: search results

msl.kek.jp/db_web/runSel.php

Condensed Matter Google カレンダー WebMail Direct KEK Active! mail SquirrelMail - Login Apple Yahoo! Google Maps YouTube Wikipedia News 業務系 Popular

μSR Runs:

lab="J-PARC" and area="MD1" and year=2014 and run>=2768 and run<=2900

found 126 matches:

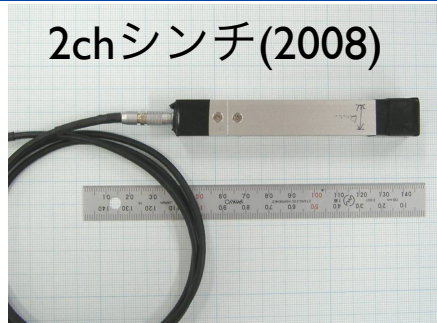
Year	Area	Expt	Type	Run	Sel	Title	nH	Counts	
Click on a Run # to inspect one run. Check the box to Select it for the short-list. List of Expt#s here									
1	2014	MD1	2014B0000	TD	2768	<input checked="" type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 TF20G 67.228V s-pls 000796n4 (3B-4)	8	64273367
2	2014	MD1	2014B0000	TD	2769	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 LF100G 67.228V s-pls 000796n4 (3B-4)	8	64413361
3	2014	MD1	2014B0000	TD	2770	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 LF100G 67.029V s-pls 000796n4 (3B-4)	8	20933253
4	2014	MD1	2014B0000	TD	2771	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.029V s-pls 000796n4 (3B-4)	8	24276034
5	2014	MD1	2014B0000	TD	2772	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.228V s-pls 000796n4 (3B-4)	8	64602475
6	2014	MD1	2014B0000	TD	2773	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.429V s-pls 000796n4 (3B-4)	8	66891172
7	2014	MD1	2014B0000	TD	2777	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 LF=100G 67.228V s-pls 000796n4 (3B-4)	8	64669124
8	2014	MD1	2014B0000	TD	2778	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.228V s-pls 000796n4 (3B-4)	8	64656776
9	2014	MD1	2014B0000	TD	2779	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.228V s-pls 000799 (66)	8	8501700
10	2014	MD1	2014B0000	TD	2780	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.228V s-pls 000800 (48n4)	8	48164757
11	2014	MD1	2014B0000	TD	2781	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.228V s-pls 000800 (48n6)	8	42961539
12	2014	MD1	2014B0000	TD	2782	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.228V s-pls 000800 (48n10)	8	34492188
13	2014	MD1	2014B0000	TD	2783	<input type="checkbox"/>	MUSE D1	8	15184664
14	2014	MD1	2014B0000	TD	2784	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.228V s-pls 000801 (4An4)	8	42827180
15	2014	MD1	2014B0000	TD	2787	<input type="checkbox"/>	MUSE D1	8	18890121
16	2014	MD1	2014B0000	TD	2788	<input type="checkbox"/>	MUSE D1	8	40404854
17	2014	MD1	2014B0000	TD	2789	<input type="checkbox"/>	MUSE D1	8	33531801
18	2014	MD1	2014B0000	TD	2790	<input type="checkbox"/>	MUSE D1	8	21753051
19	2014	MD1	2014B0000	TD	2791	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.710V s-pls 000803 (C4)	8	25962149
20	2014	MD1	2014B0000	TD	2792	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.509V s-pls 000803 (C4)	8	31087149
21	2014	MD1	2014B0000	TD	2793	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 LF100G 67.229V s-pls 000801 (4An4)	8	43834330
22	2014	MD1	2014B0000	TD	2794	<input type="checkbox"/>	Ag 20x20mm minicryo col.20 ZF 67.229V s-pls 000801 (4An4)	8	43618556

Close this Window

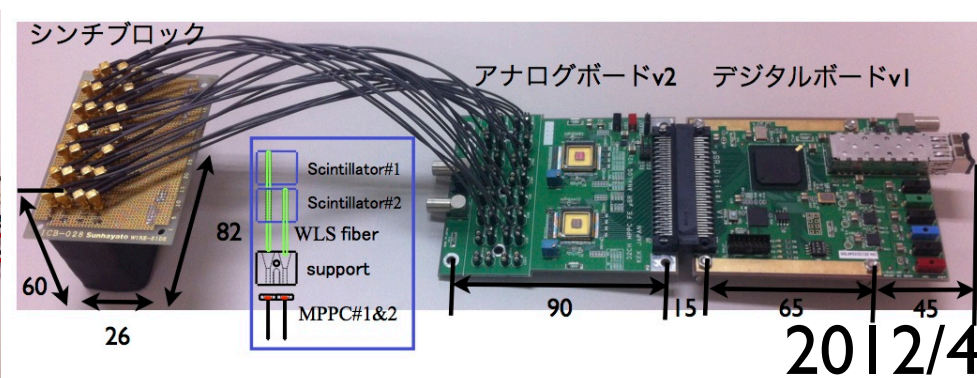
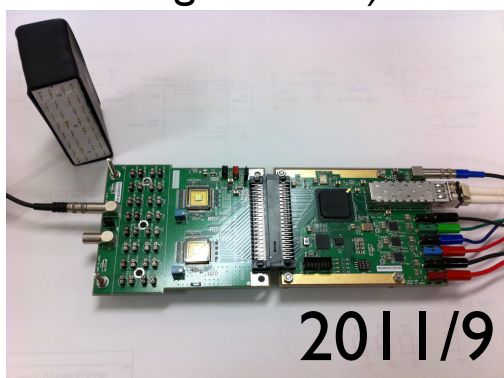
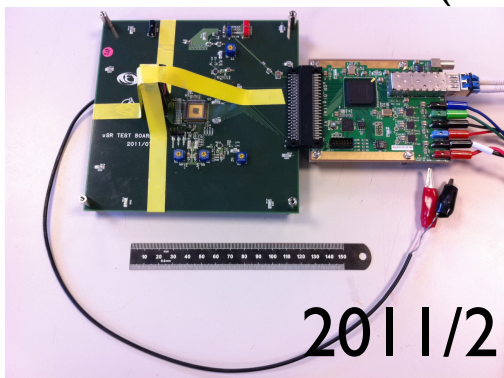
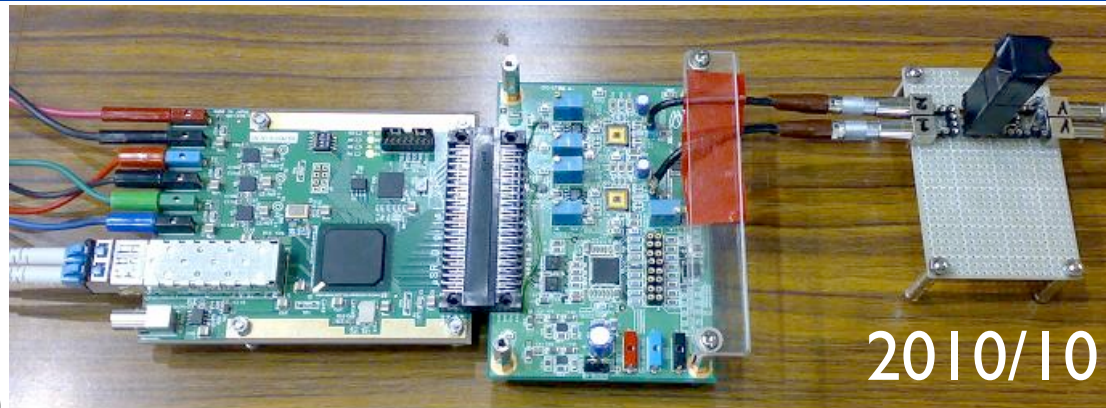
PS PDF

Outline

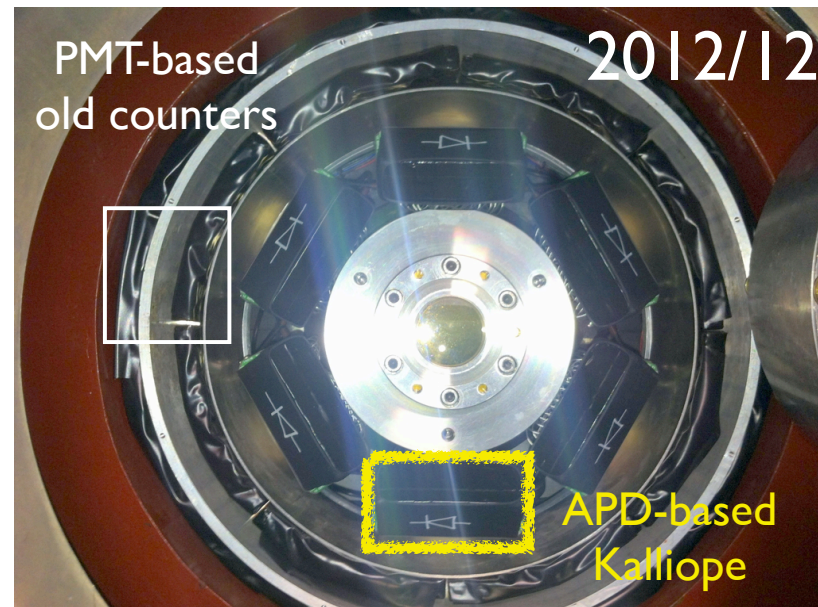
- Muon スピン緩和測定とは？ ----- 1 page
- 必要なスペック ----- 3 page
- μ SR分光器の全体像 ----- 5 page
- **Kalliope**検出器
 - 構成・実装 ----- 8 page
 - 調整方法 ----- 6 page
 - 問題点・解決法 ----- 7 page
- 派生商品・現状まとめ ----- 4 page



竹下聡史さん
(KEK→SPring-8→KEK)



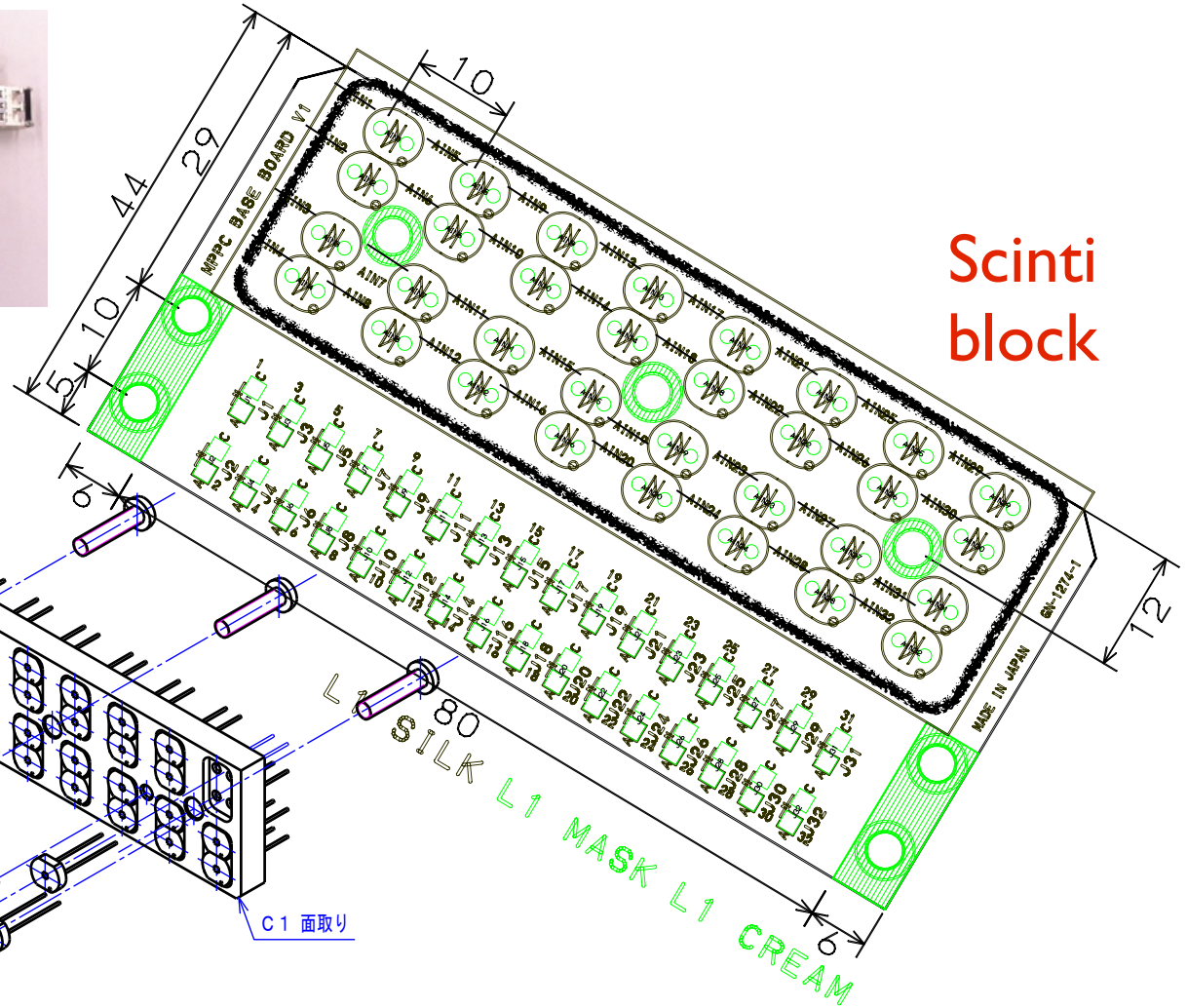
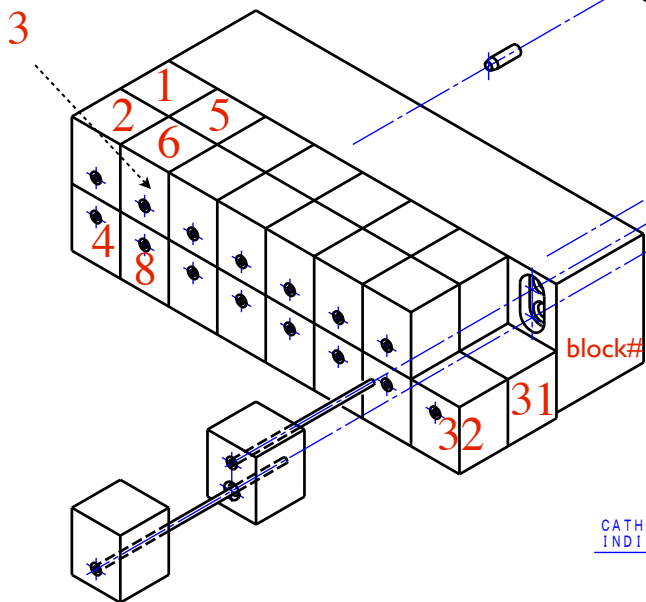
試作機(PMT型分光器へ追加)
2013年に新分光器を製作
2014年2月から利用





1x1.2x1cm
scintillator

Scinti #



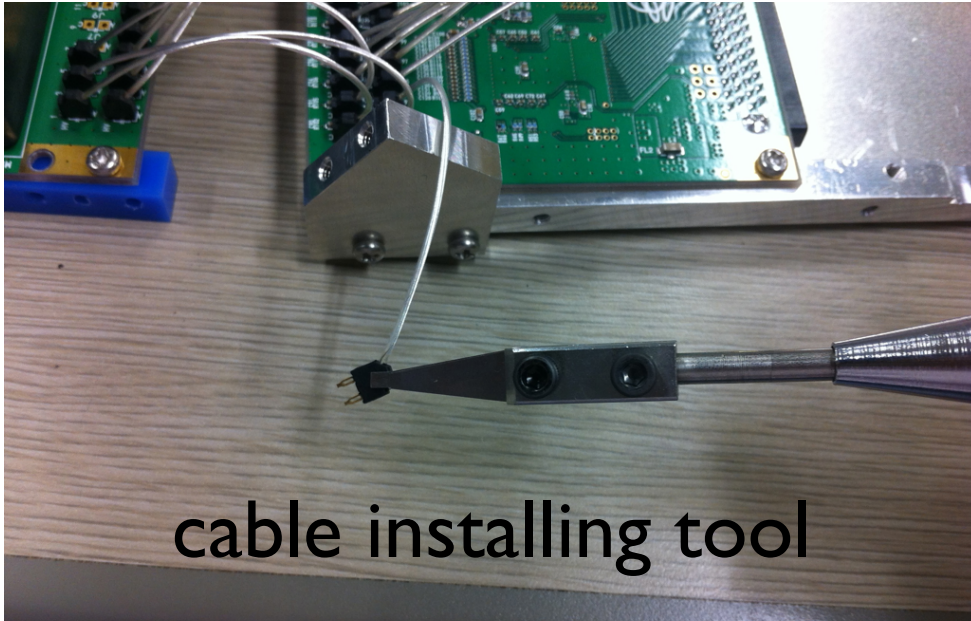
Scinti
block

□ 1.3mm, 50 μ m pitch の MPPC

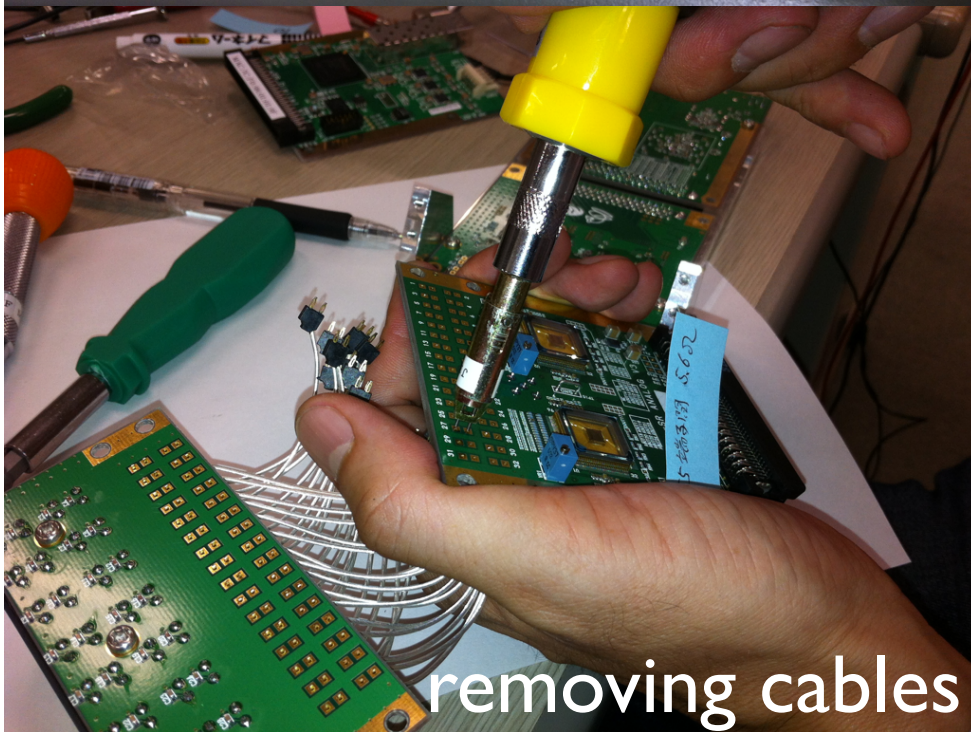
(T2K version → 新 MPPC □ 1.3mm)

↑ ~3000円/pc → 表面実装型: 790円/pc

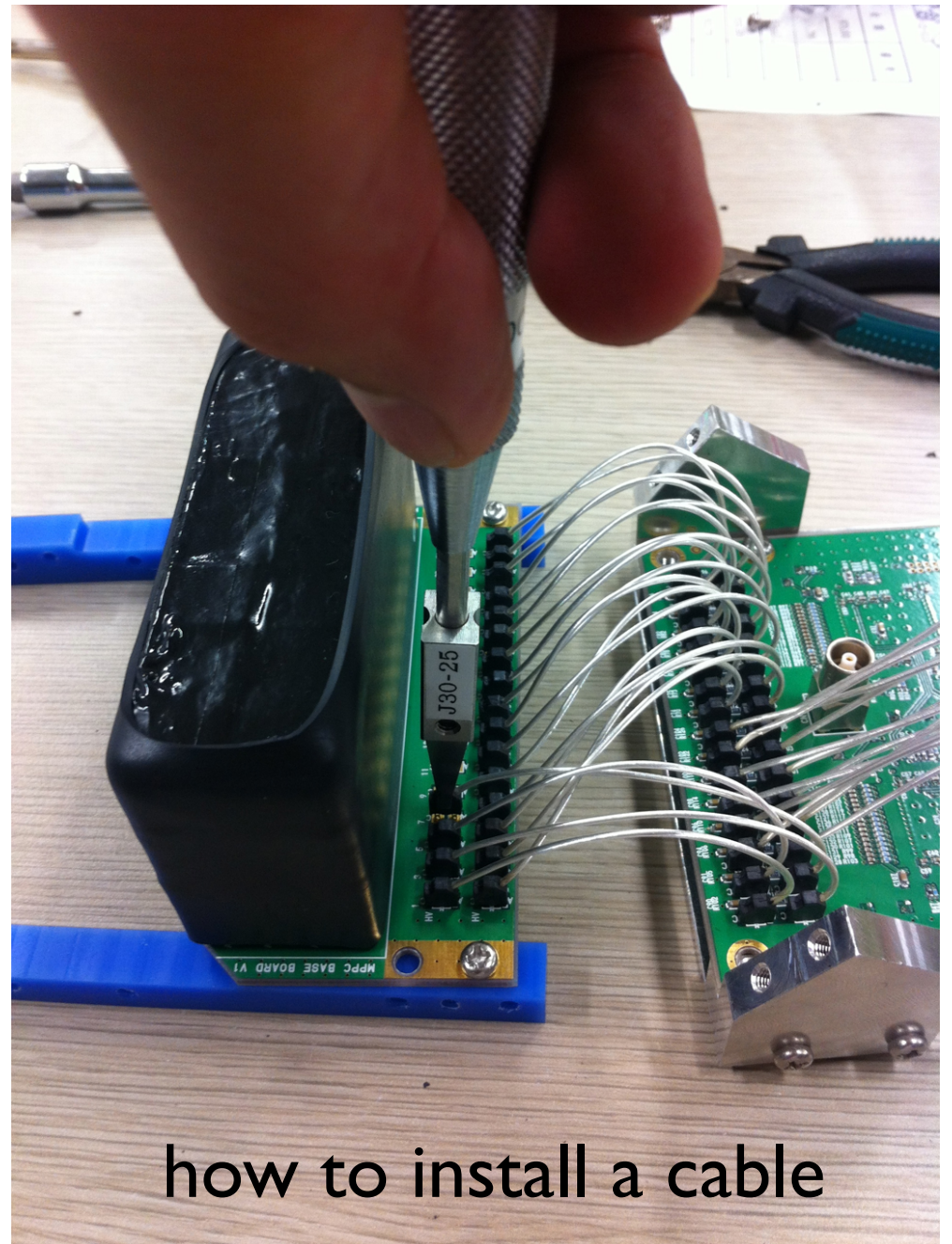
シンチボードとアナログボードの間：1ch毎に同軸線で接続¹⁶



cable installing tool



removing cables

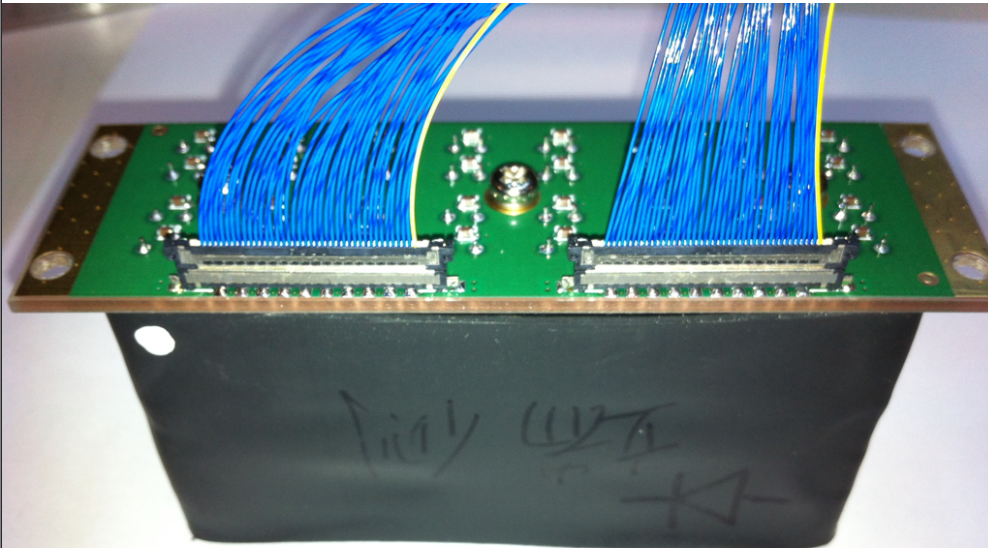
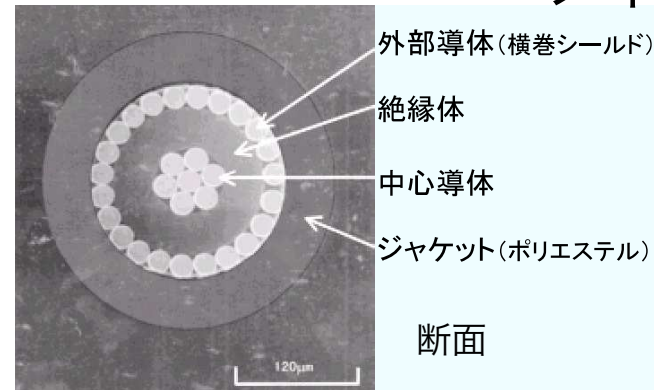


how to install a cable

改良：接続を細線同軸ケーブル(KEL)へ

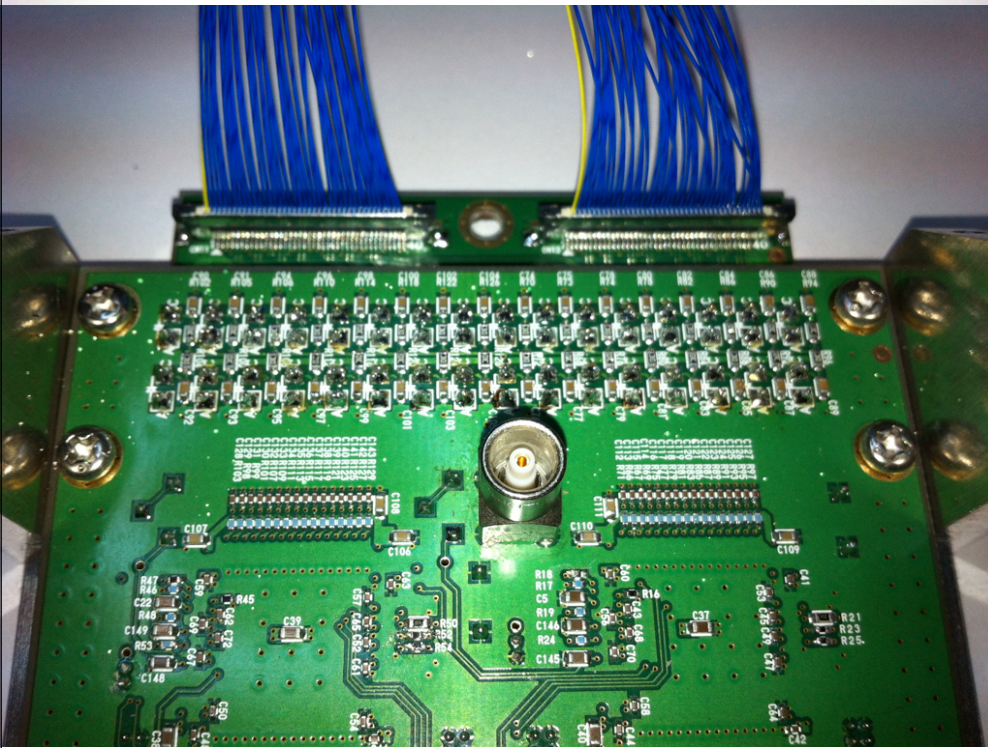
シンチ部を自由に配置できる

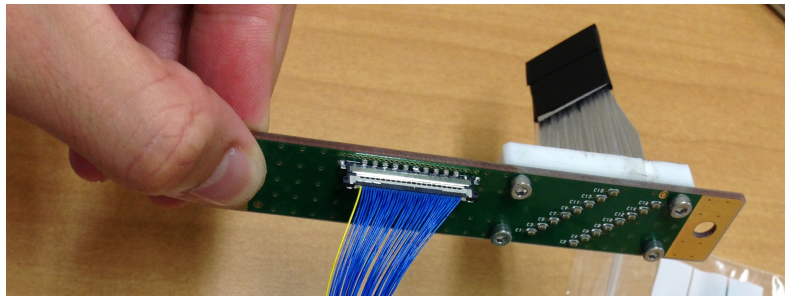
ノイズ耐性もOK



↓GNI372-1

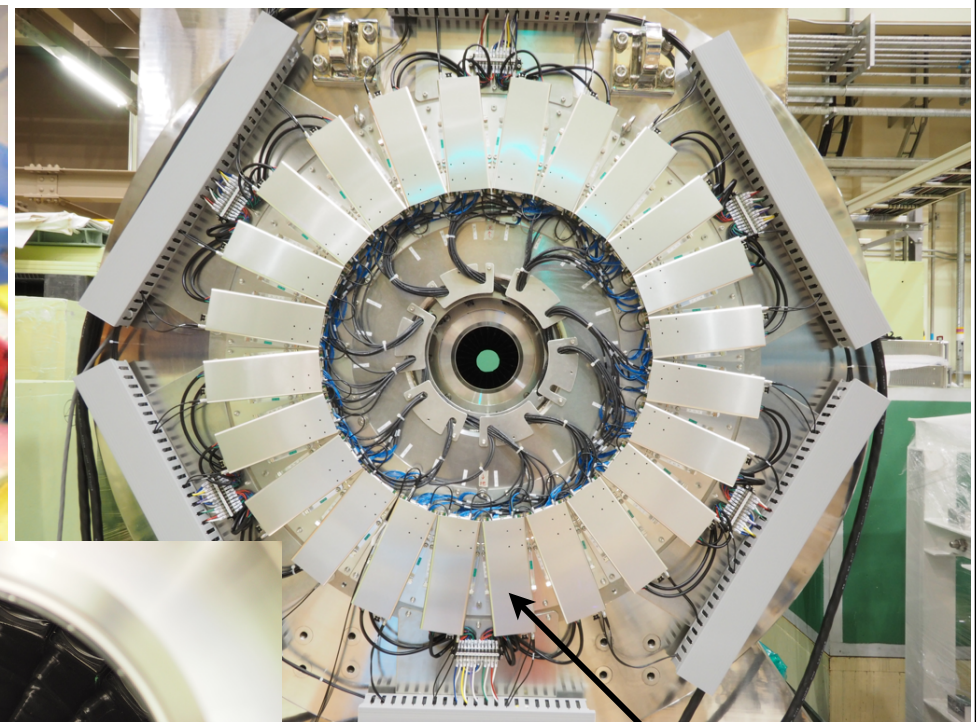
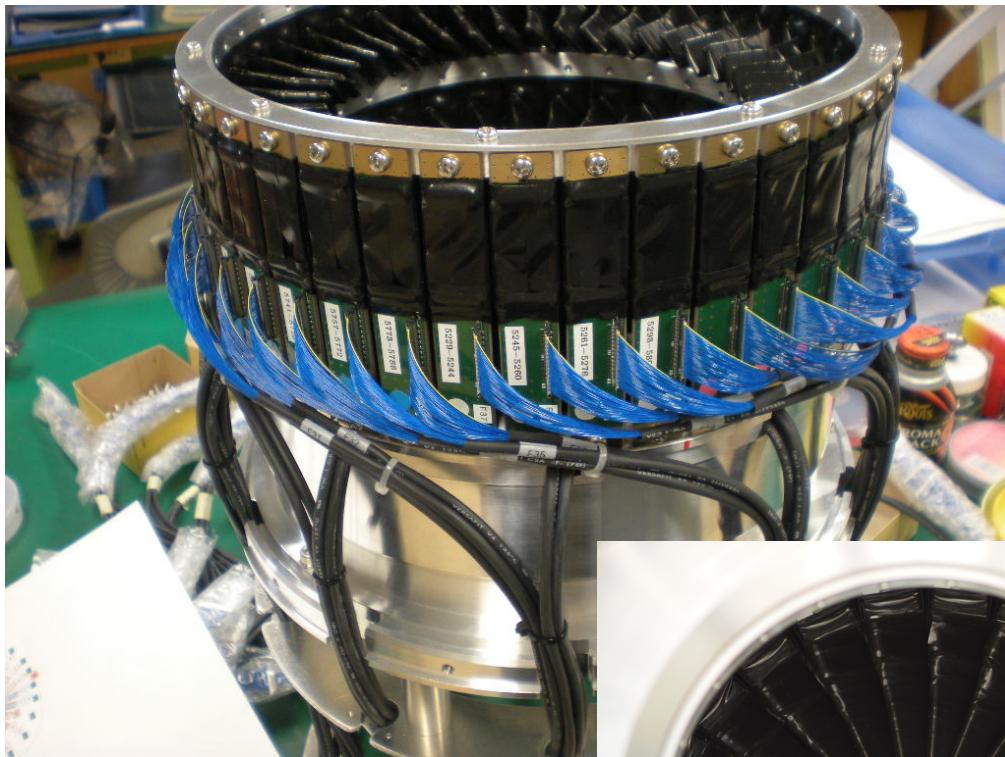
↑GNI347-2





2014年10月末納入

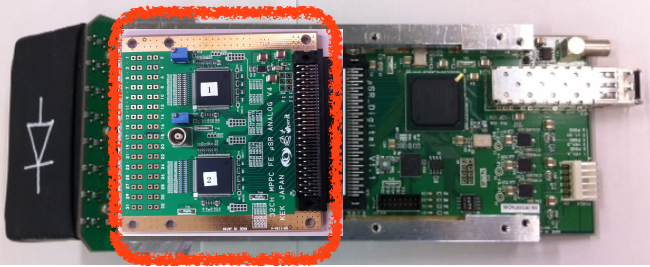
←GNI434-I, GNI456-I(鏡映)



シンチファイバを斜めに並べて
高磁場での陽電子軌道をマルチ
ヒット避けて検出



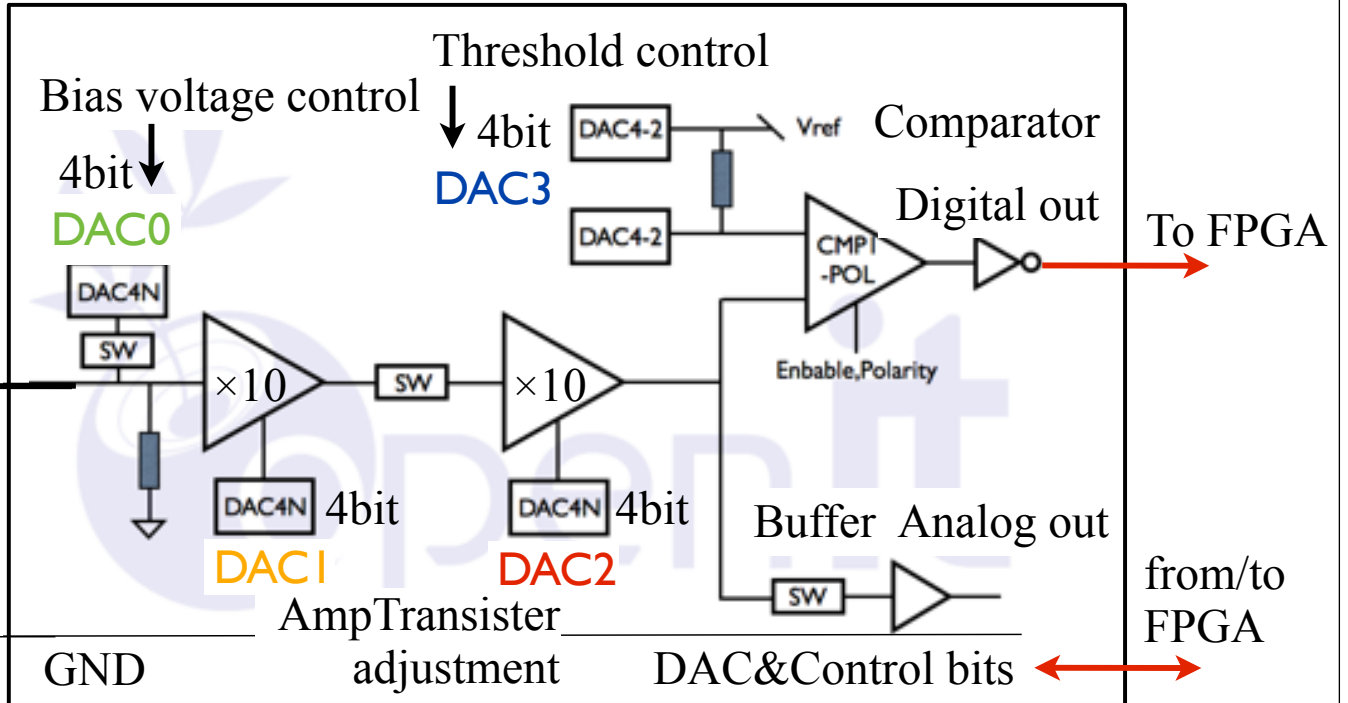
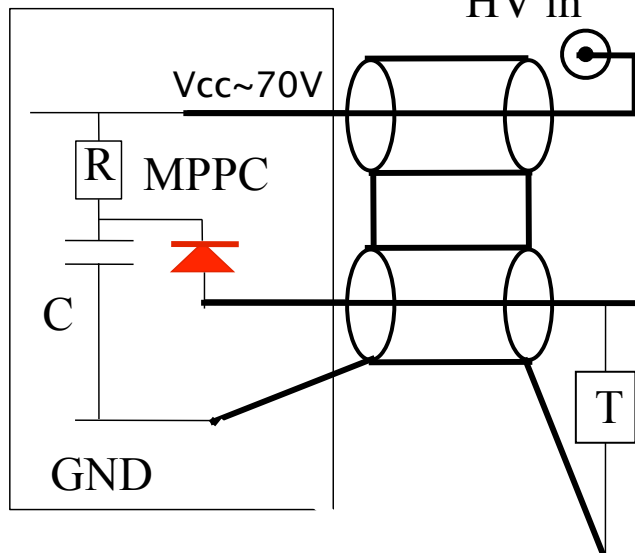
カバー内にKalliopeが2台
上流・下流各47台



田中真伸さん(KEK素核研)

VOLUME2012 ASIC (100MHz電圧アンプ)

Scinti-board



パラメータ

- HV(共通)
- AmpDAC x 2 (DAC1, DAC2) ← スペクトル歪み
- ThDAC (DAC3) ← 閾値を決める
- BiasDAC (DAC0) ← HVの微調整(±0.2V)
- すべて4bit

各チャンネルの4bitDACx4+control: 0x03210n

- HVを 村上(素核研)
- AmpDAC 神田(東大理)テスト
- ThDAC
- (必要)
- スペクトル

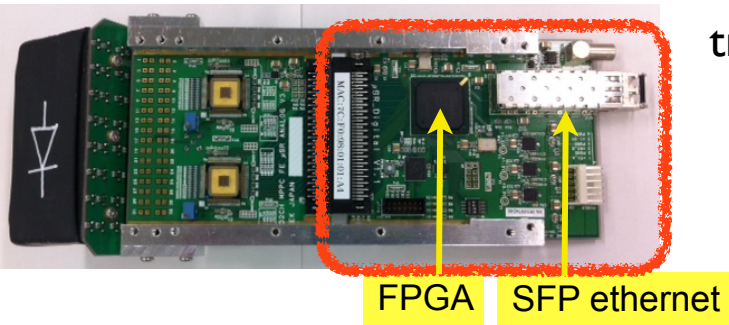
0x00f406

20ns

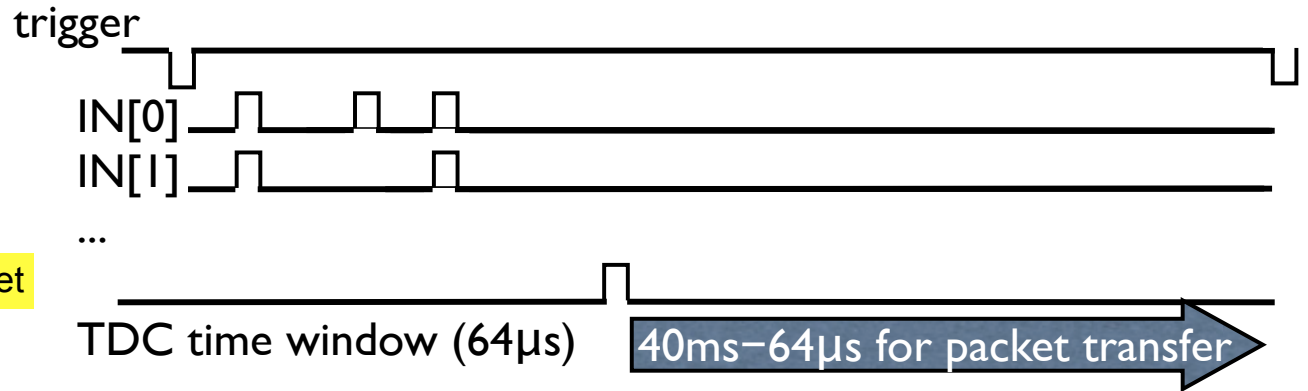
を**選ぶ**

FPGA (Field Programmable Gate Array)

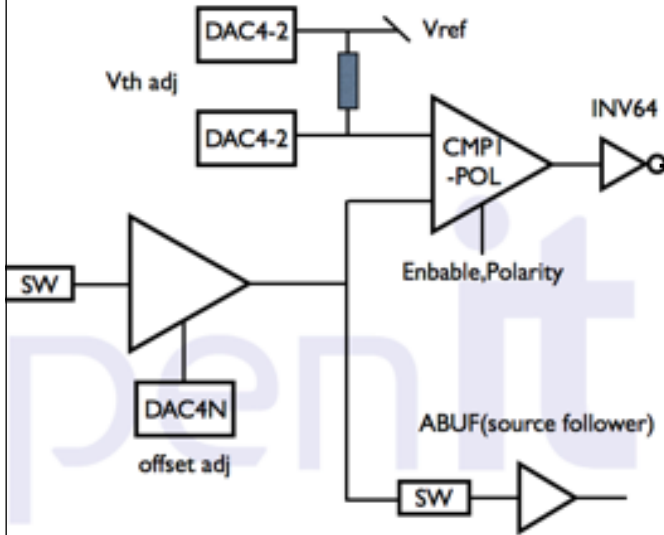
内田智久さん(KEK素核研)+小嶋



FPGA SFP ethernet

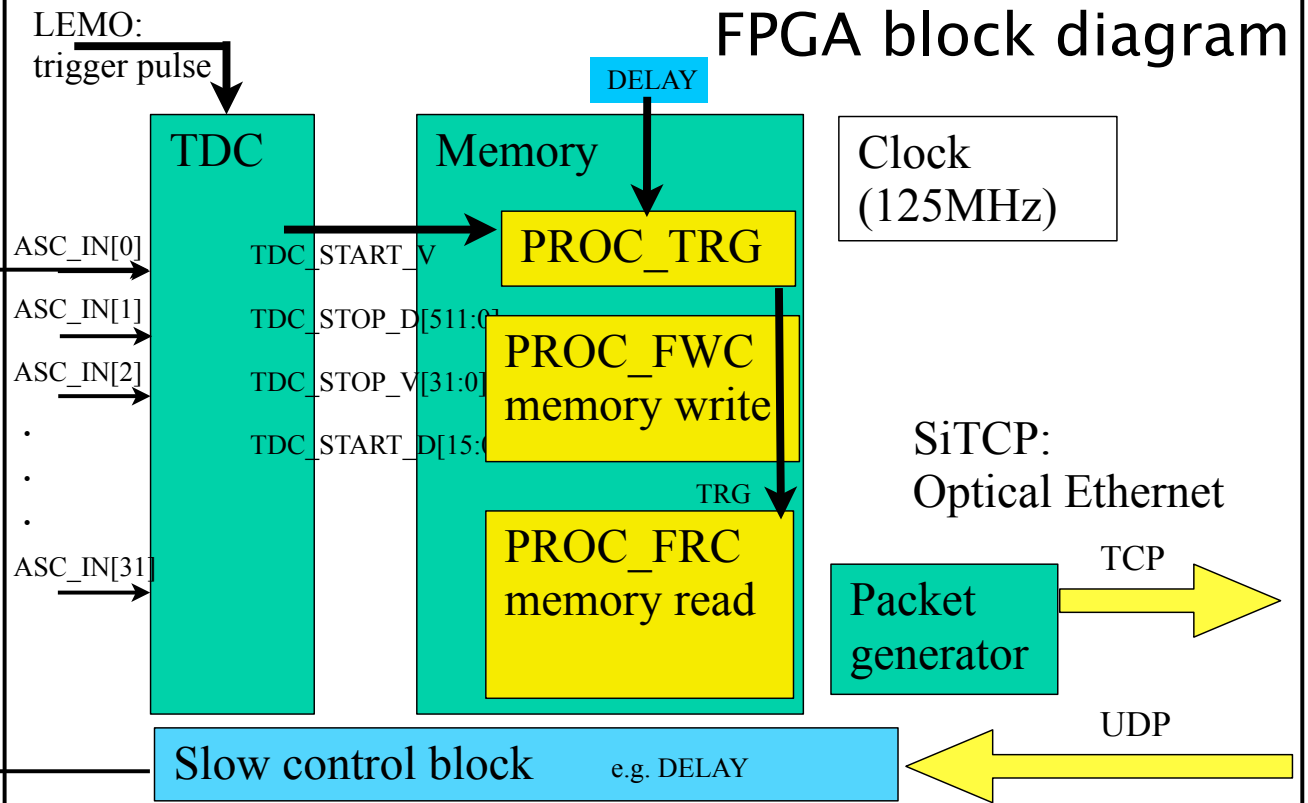


VOLUME2012デジタル出力



ASIC digital control

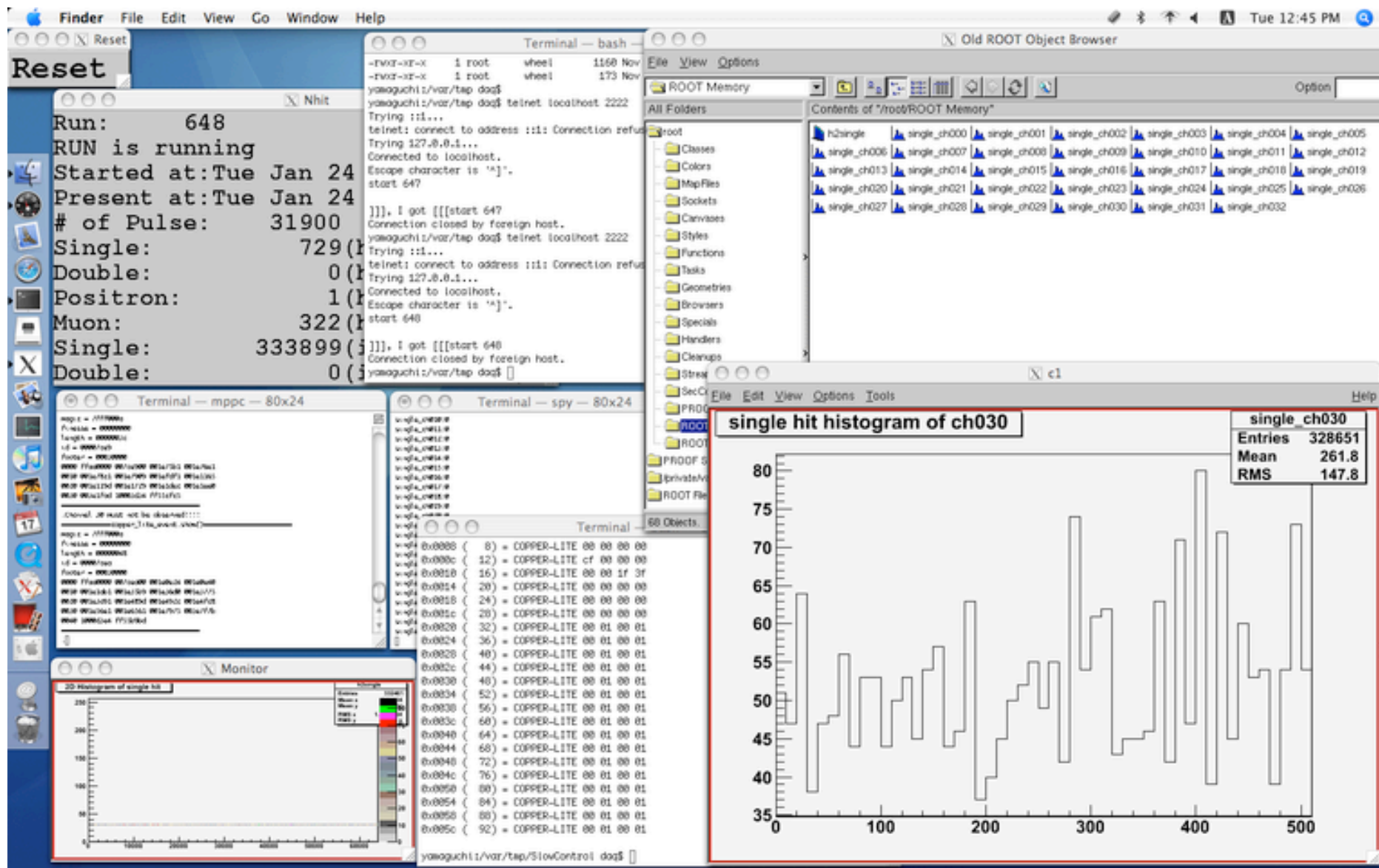
FPGA block diagram



鈴木(山形)聡さん(KEK計算科学センタ)+小嶋

LinuxでもMacでも **シングルCPU・1GbE1本**で走る。C++コード

AloneのブリッジでDAQ-MW準拠コントロール。 (不安な点・問題点は山形さんの講演参照)



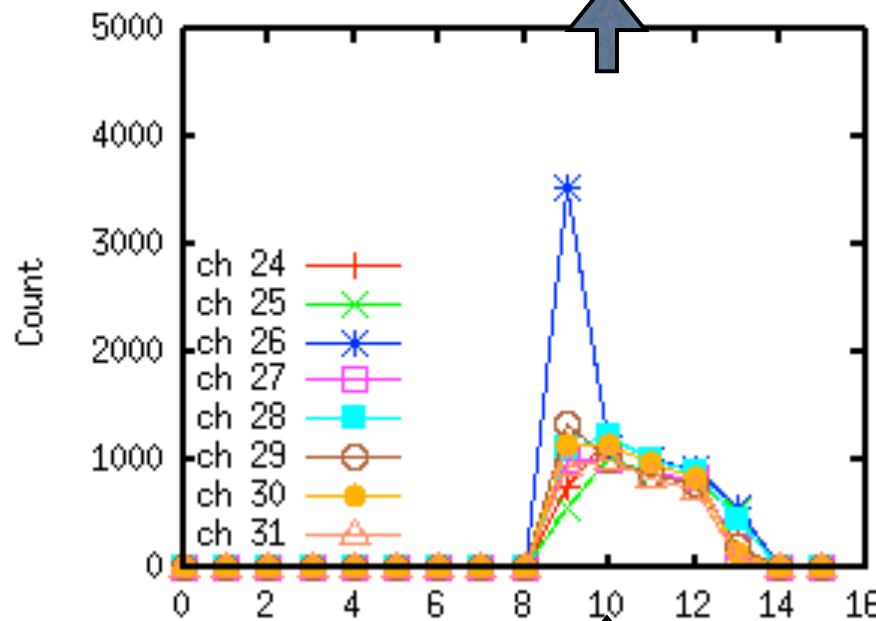
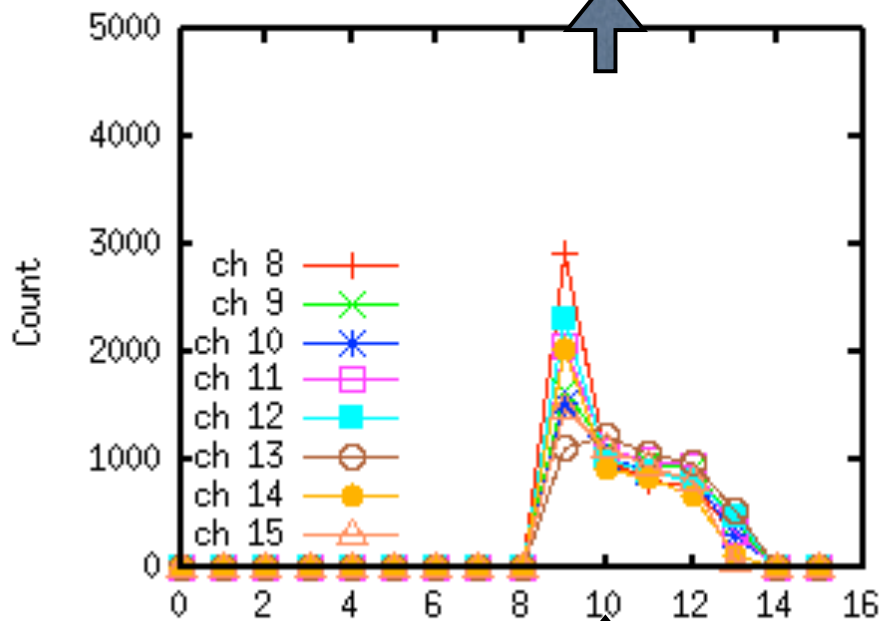
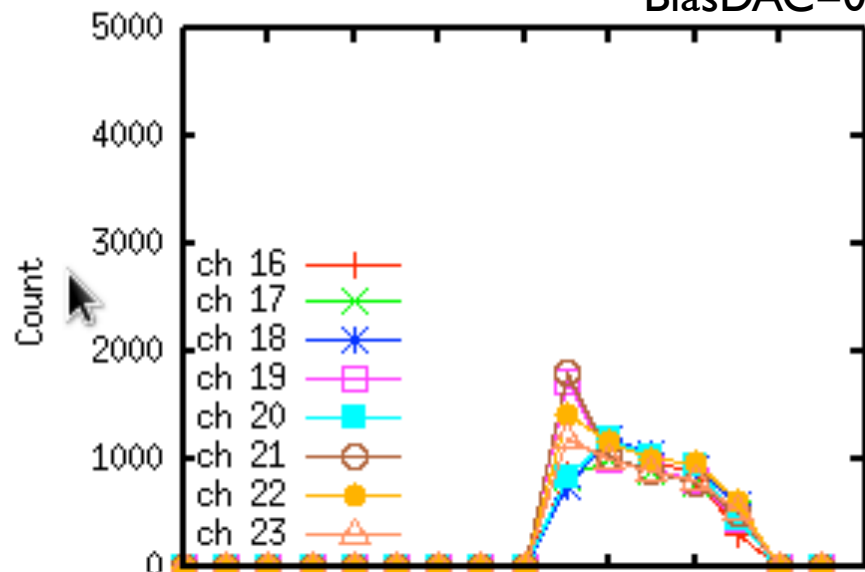
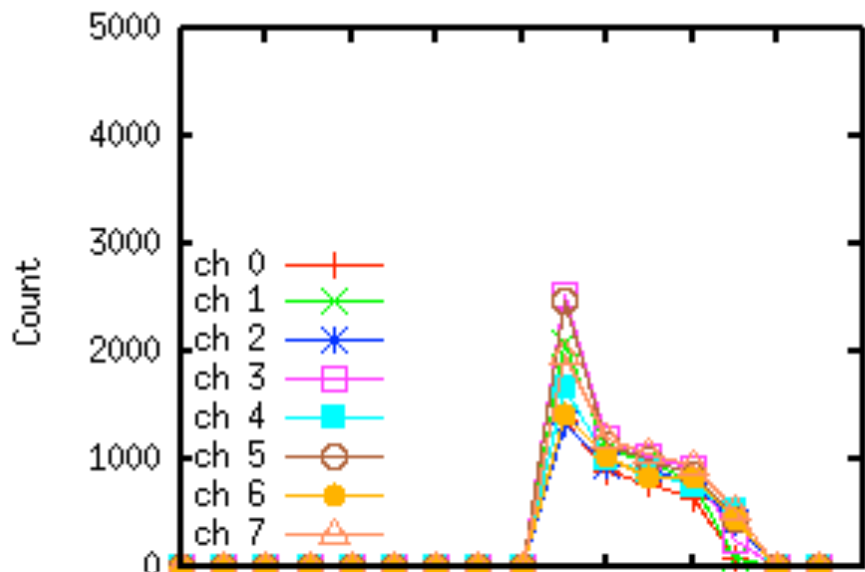
Outline

- Muon スピン緩和測定とは？ ----- 1 page
- 必要なスペック ----- 3 page
- μ SR分光器の全体像 ----- 5 page
- **Kalliope**検出器
 - 構成・実装 ----- 8 page
 - 調整方法 ----- 6 page
 - 問題点・解決法 ----- 7 page
- 派生商品・現状まとめ ----- 4 page

DACs=0x0X4C05

work/000116/192,168,10,1

AmpDAC=4C
BiasDAC=0



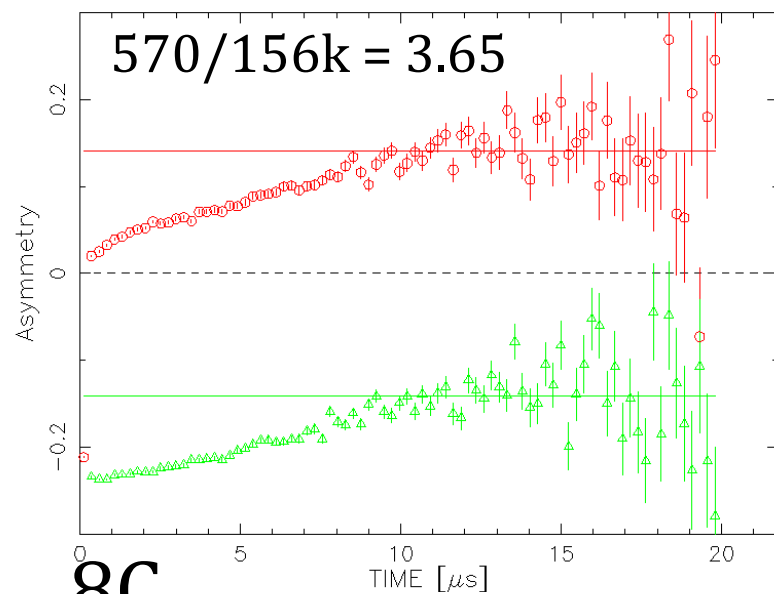
x= -2.65351 y= 8266.06

ThDAC=X

ThDAC=X

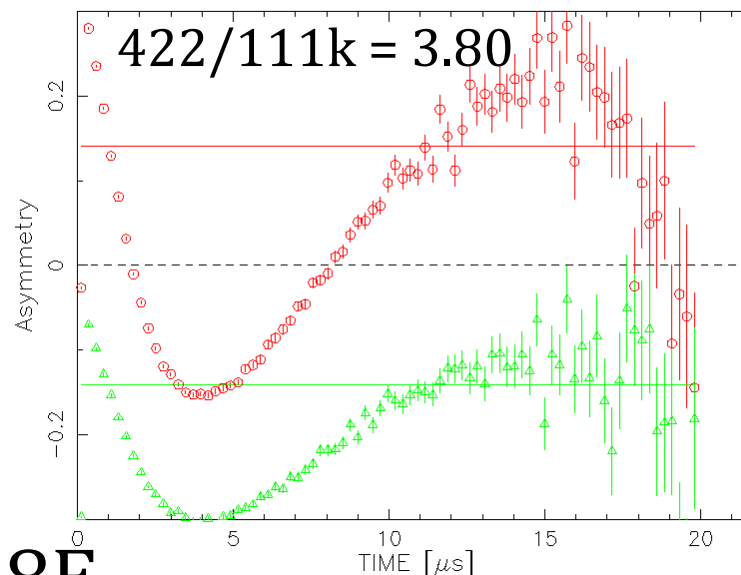
88

1381: MUSE D1 [H 2: double bac]



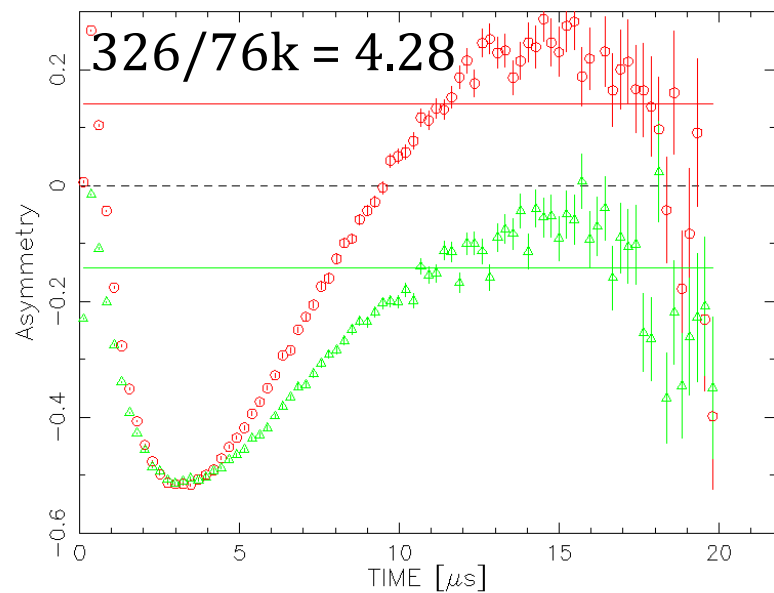
8A

1382: MUSE D1 [H 2: double bac]



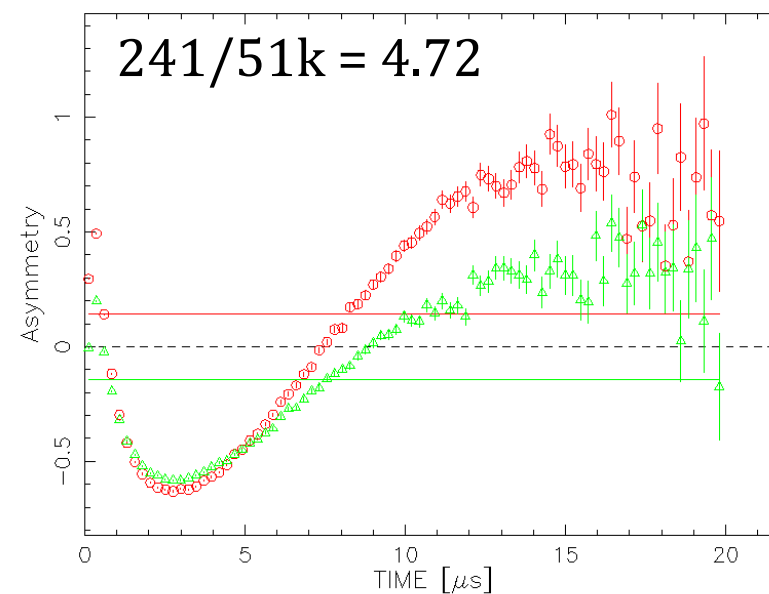
8C

1383: MUSE D1 [H 2: double bac]

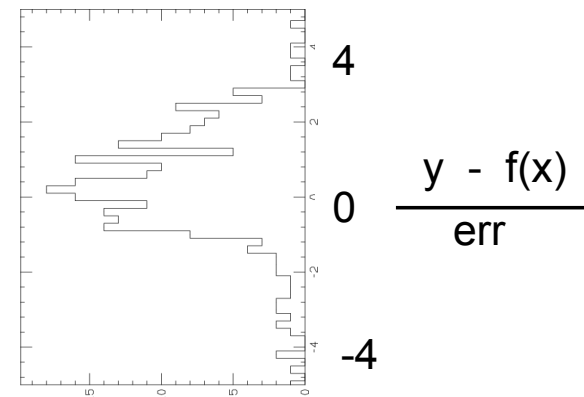
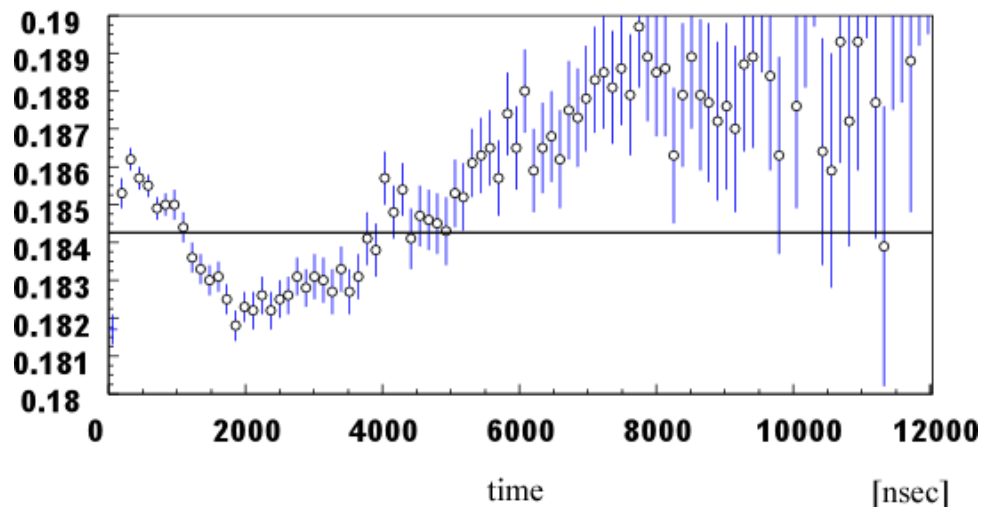


8E

1384: MUSE D1 [H 2: double bac]

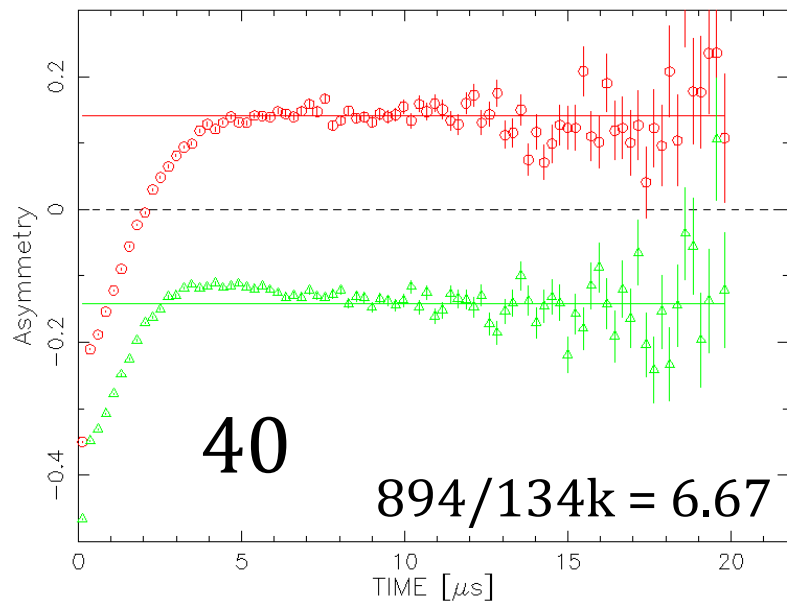


よく見てみると、

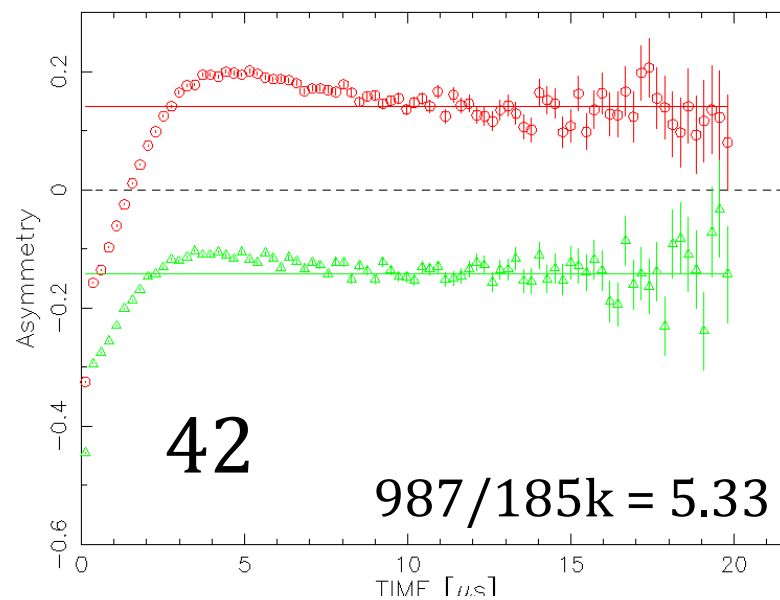


- ▶ 統計より有意に大きな誤差 — 約0.5%程度の系統誤差
- ▶ パイルアップ、(信号の重なりで数え落とす)
- ▶ 信号が重なることによって、閾値を超えて数えてしまう
- ▶ これらの両方の効果(どちらも同じ時定数)
- ▶ これらの説明が課題

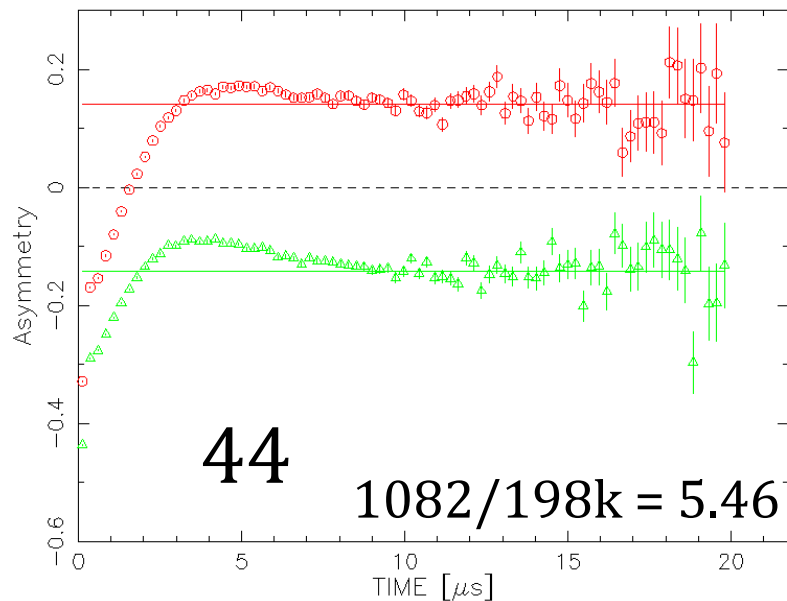
1320: MUSE D1 [H 2: double bac]



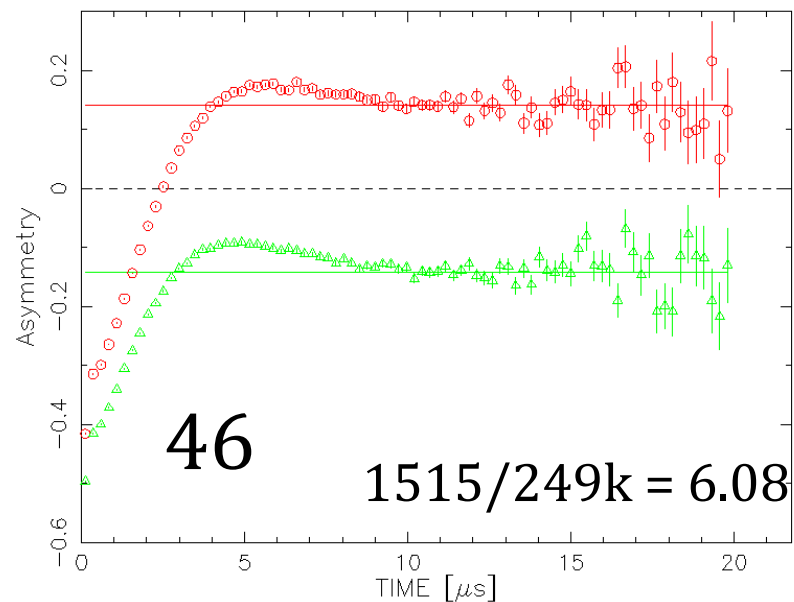
1321: MUSE D1 [H 2: double bac]



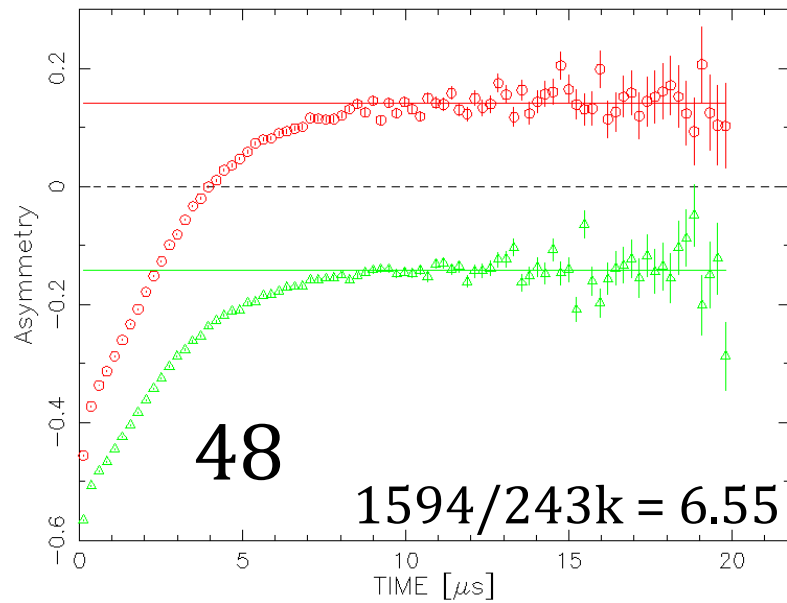
1322: MUSE D1 [H 2: double bac]



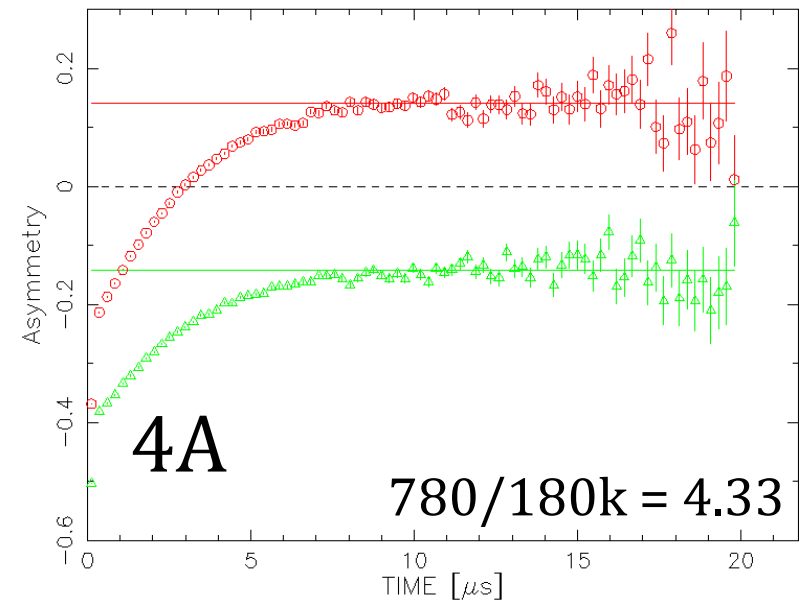
1323: MUSE D1 [H 2: double bac]



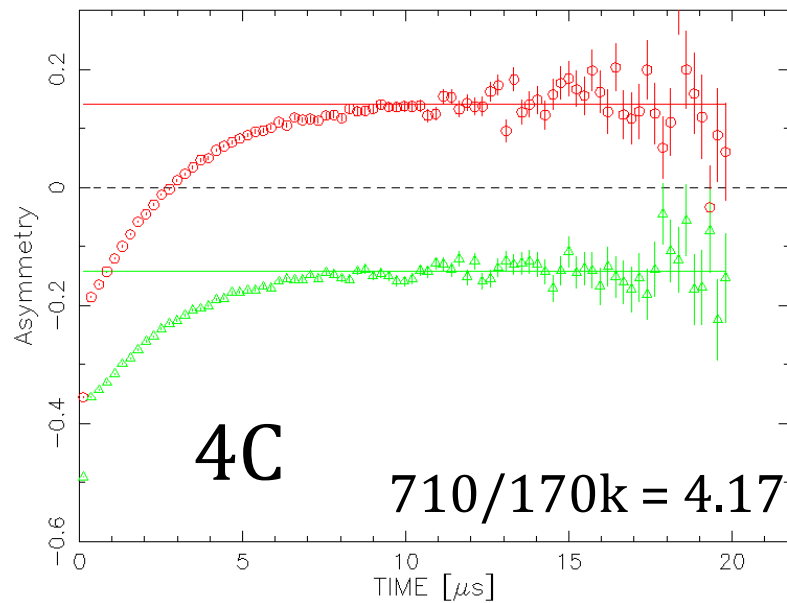
1324: MUSE D1 [H 2: double bac]



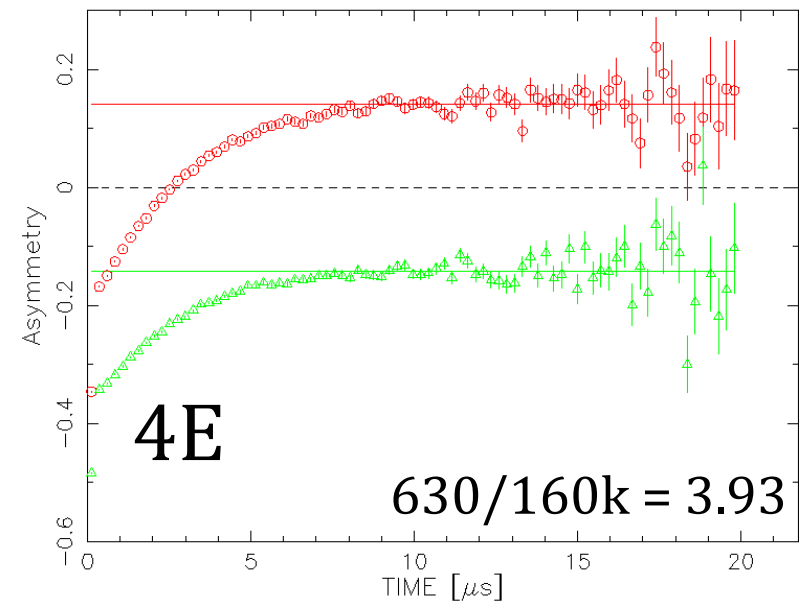
1325: MUSE D1 [H 2: double bac]



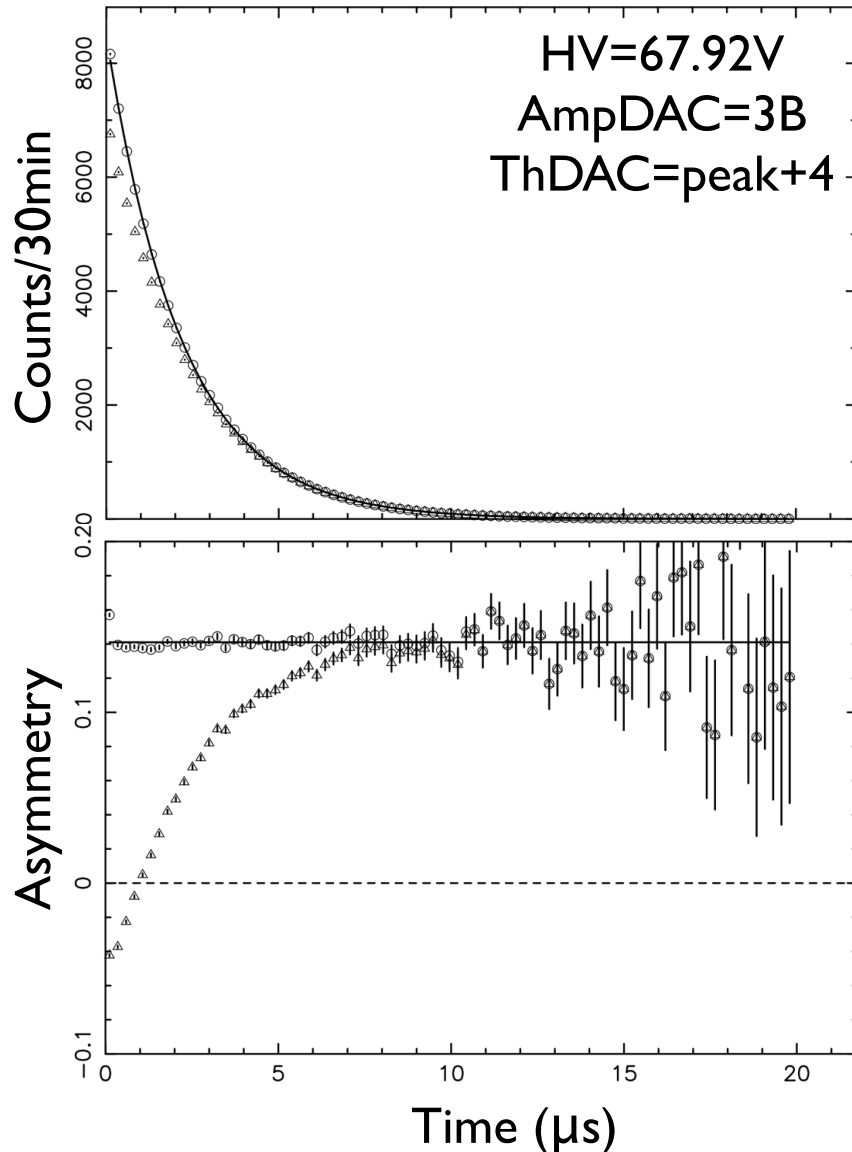
1326: MUSE D1 [H 2: double bac]



1327: MUSE D1 [H 2: double bac]



μ e崩壊曲線÷寿命→かなりの数え落とし



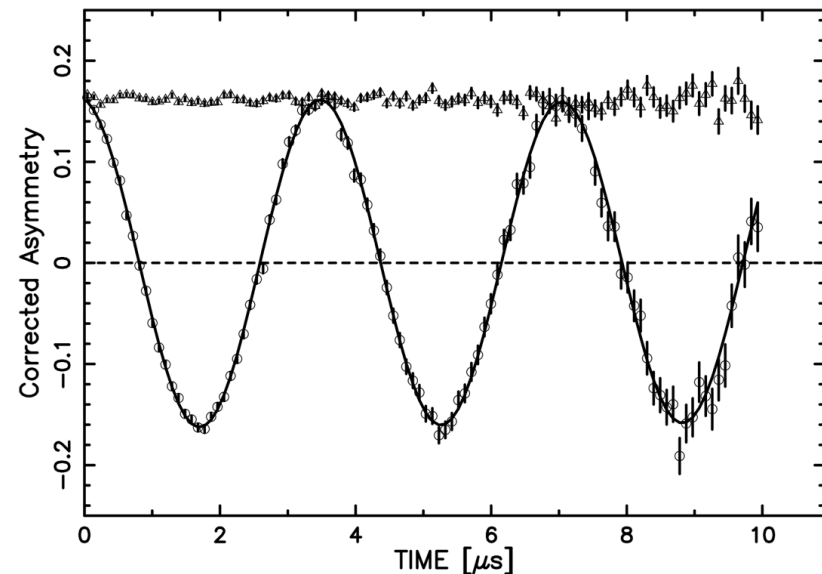
K. M. Kojima et al, J. Phys: Conf. Ser., to appear, (2014)

補正に必要な
実効検出器デッドタイム τ

$$N = N_{\text{obs}} / (1 - N_{\text{obs}}\tau)$$

$\tau \sim 300\text{ns}$ for coincidence

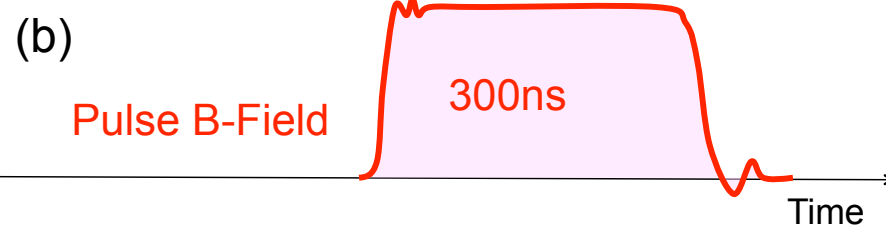
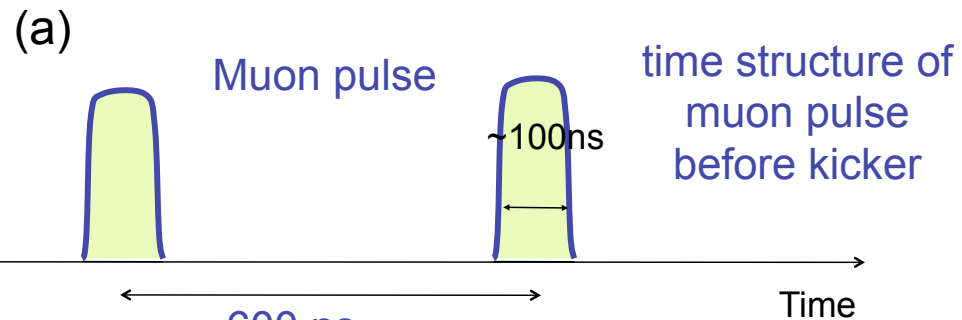
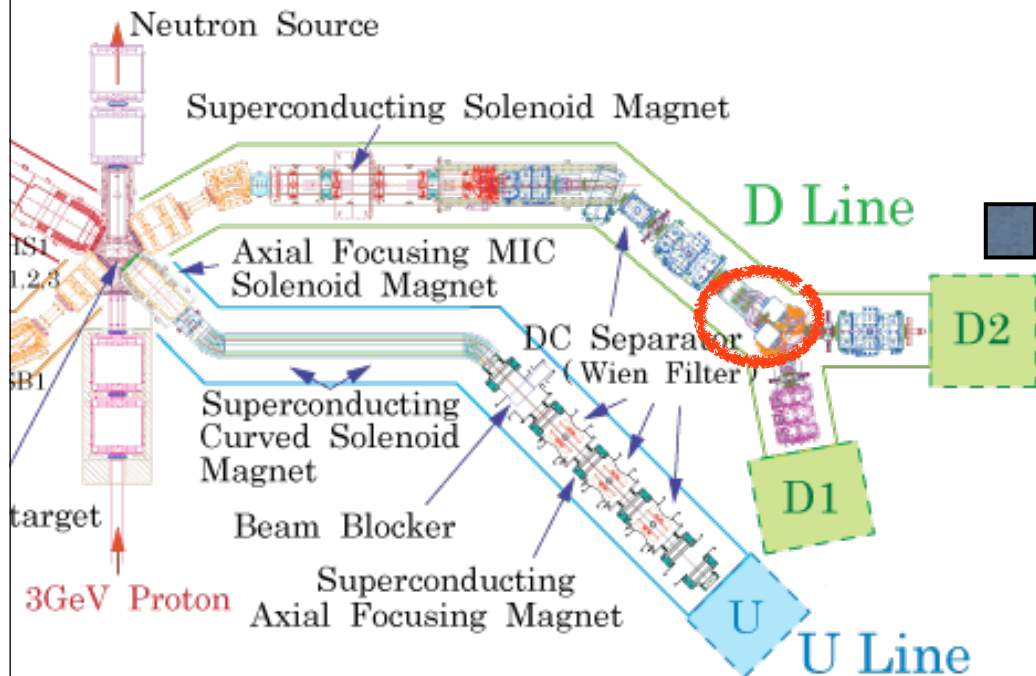
$\tau \sim 100\text{ns}$ for single counter



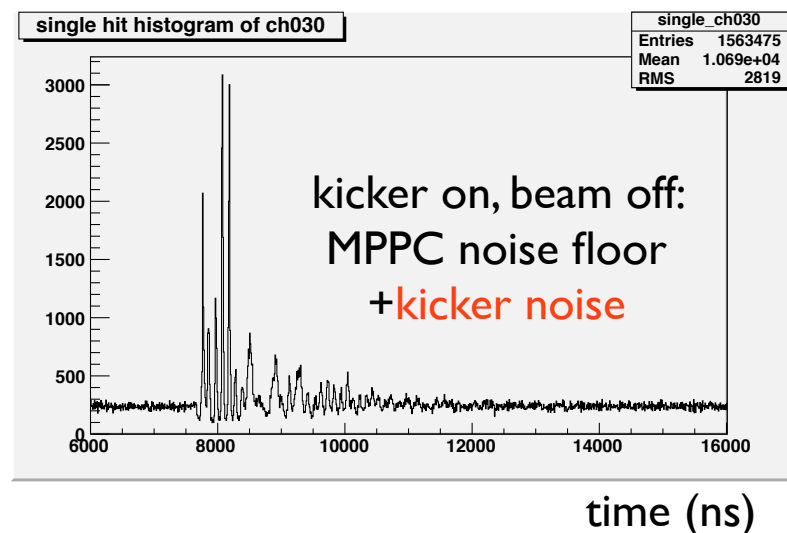
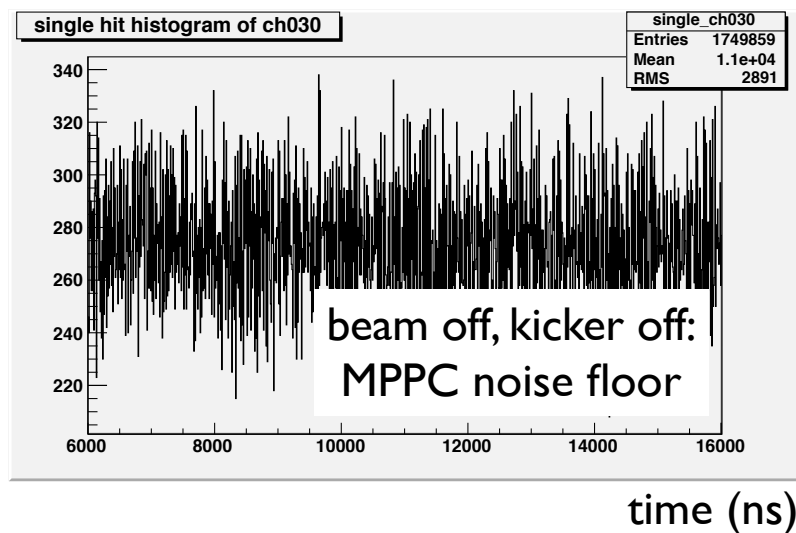
テール時間 PMT:20ns, MPPC:40ns

Outline

- Muon スピン緩和測定とは？ ----- 1 page
- 必要なスペック ----- 3 page
- μ SR分光器の全体像 ----- 5 page
- **Kalliope**検出器
 - 構成・実装 ----- 8 page
 - 調整方法 ----- 6 page
 - 問題点・解決法 ----- 7 page
- 派生商品・現状まとめ ----- 4 page

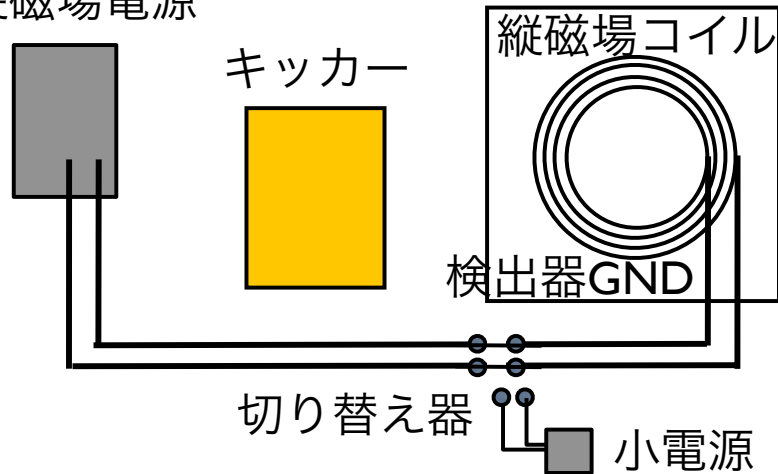


400A 50kV=2MW MHz帯パルス電源

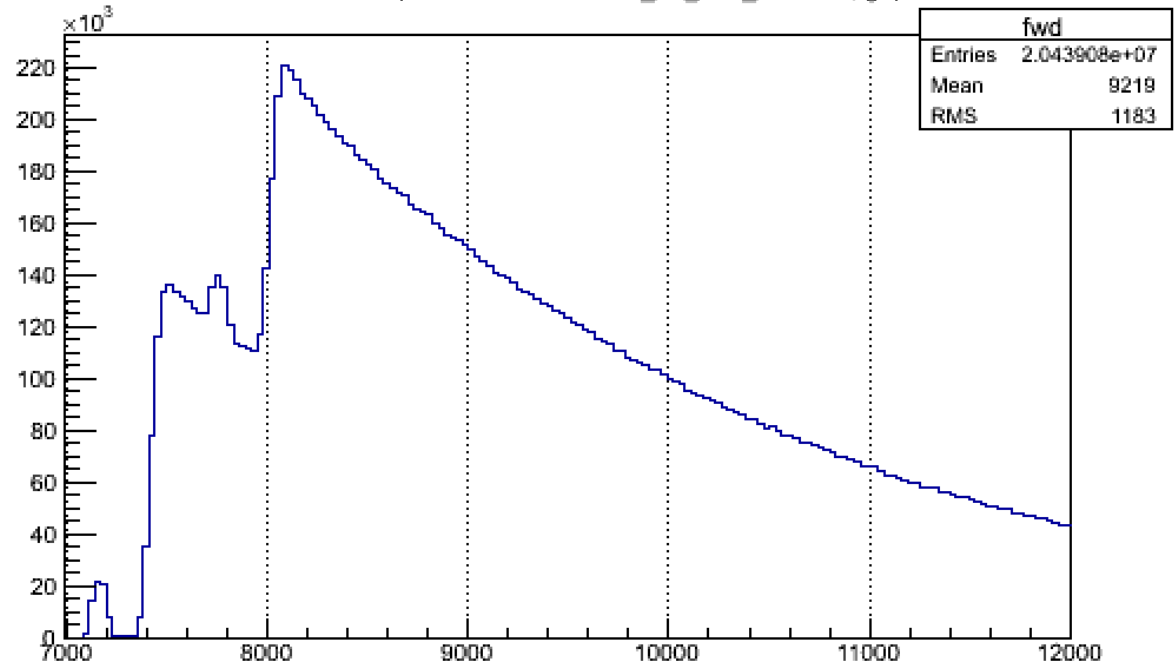


新分光器の問題と対策：キッカーノイズ

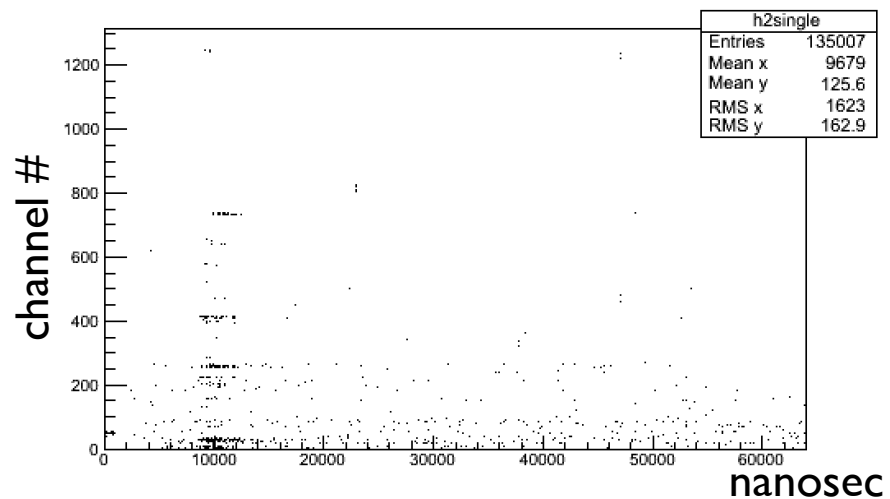
縦磁場電源



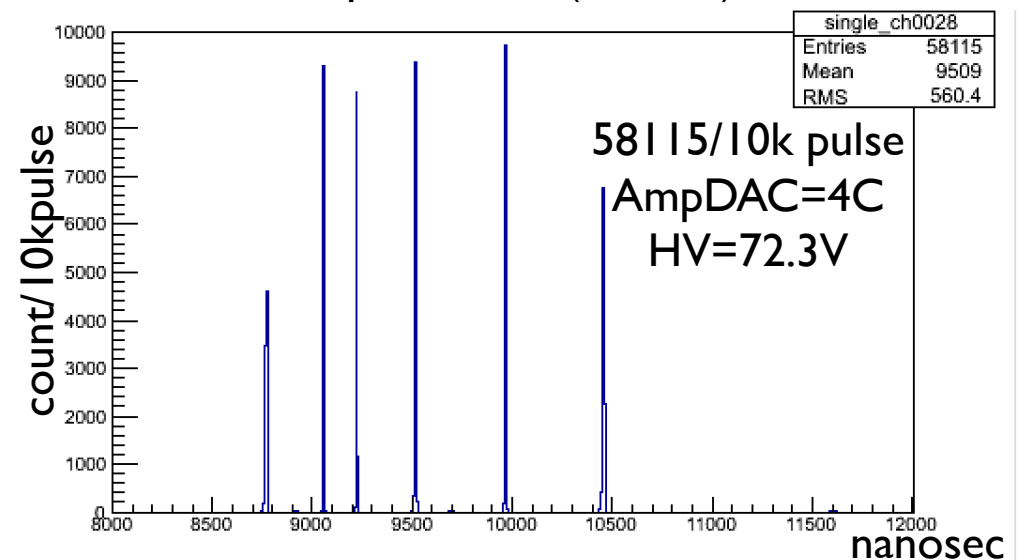
Coincided Hitmap from MUSE001004_01_001_000.edb, gap = 30



Run#746, AmpDAC=4C (000098), HV=72.326V

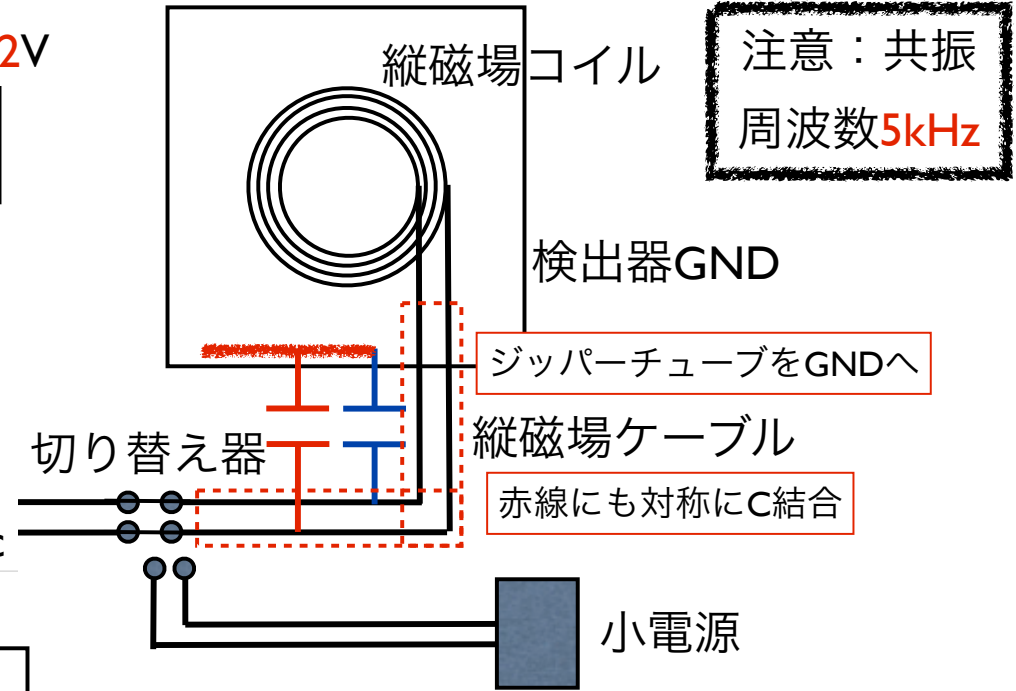
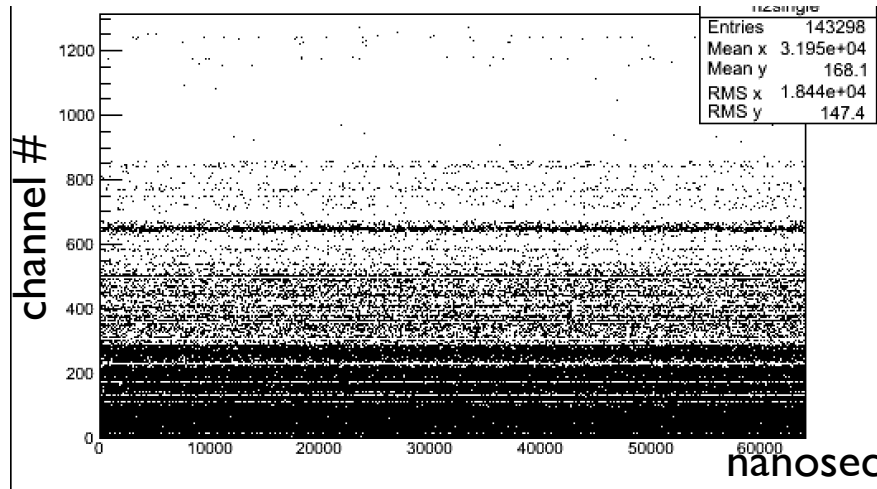


Run#746, AmpDAC=4C (000098), HV=72.326V



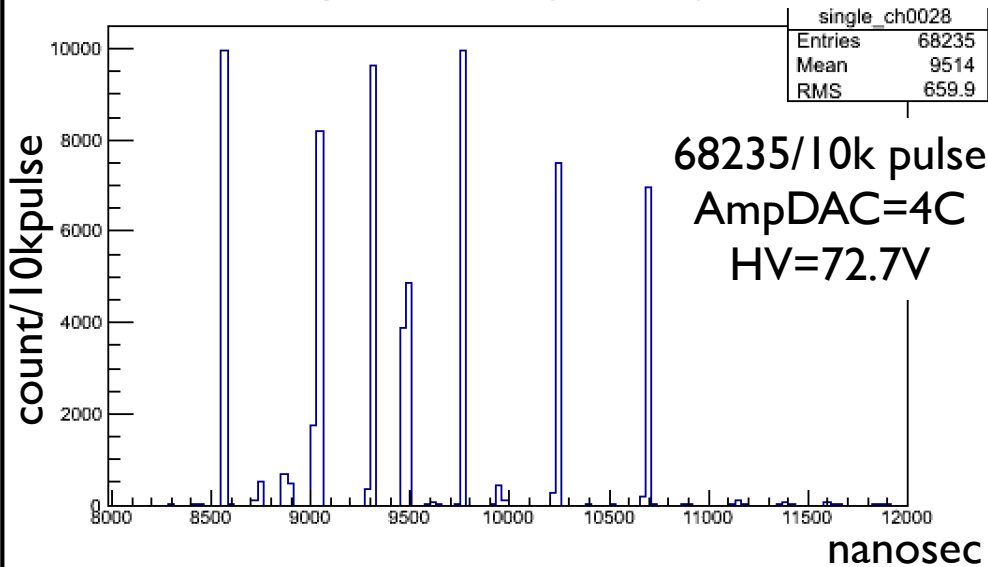
新分光器の問題と対策 (パソコン) : キッカーノイズ退治 ³²

Run#1283, AmpDAC=4C (000098), HV=72.722V

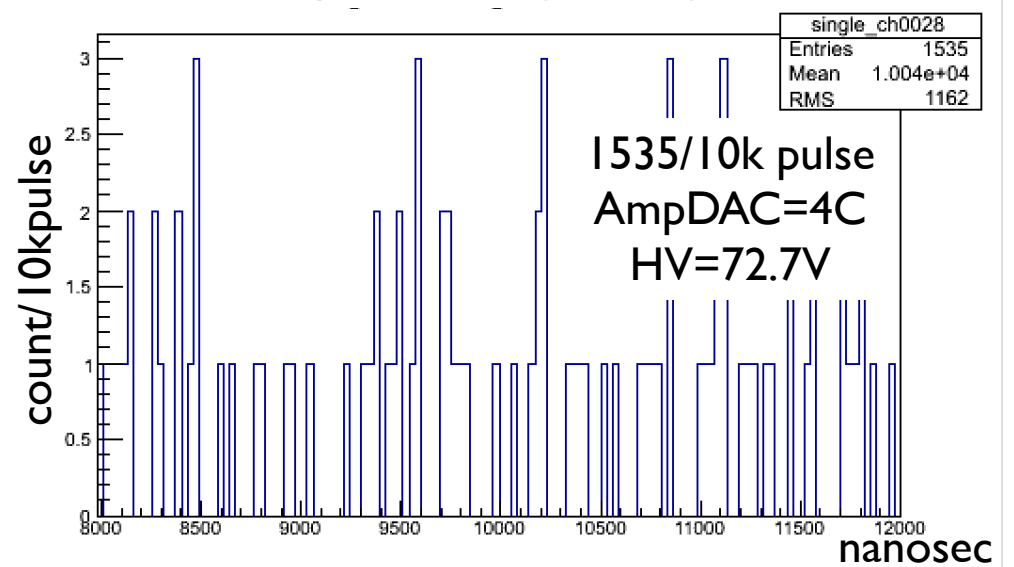


Cとジッパーチューブを外すとノイズ復活

Run#1287, AmpDAC=4C (000098), HV=72.722V

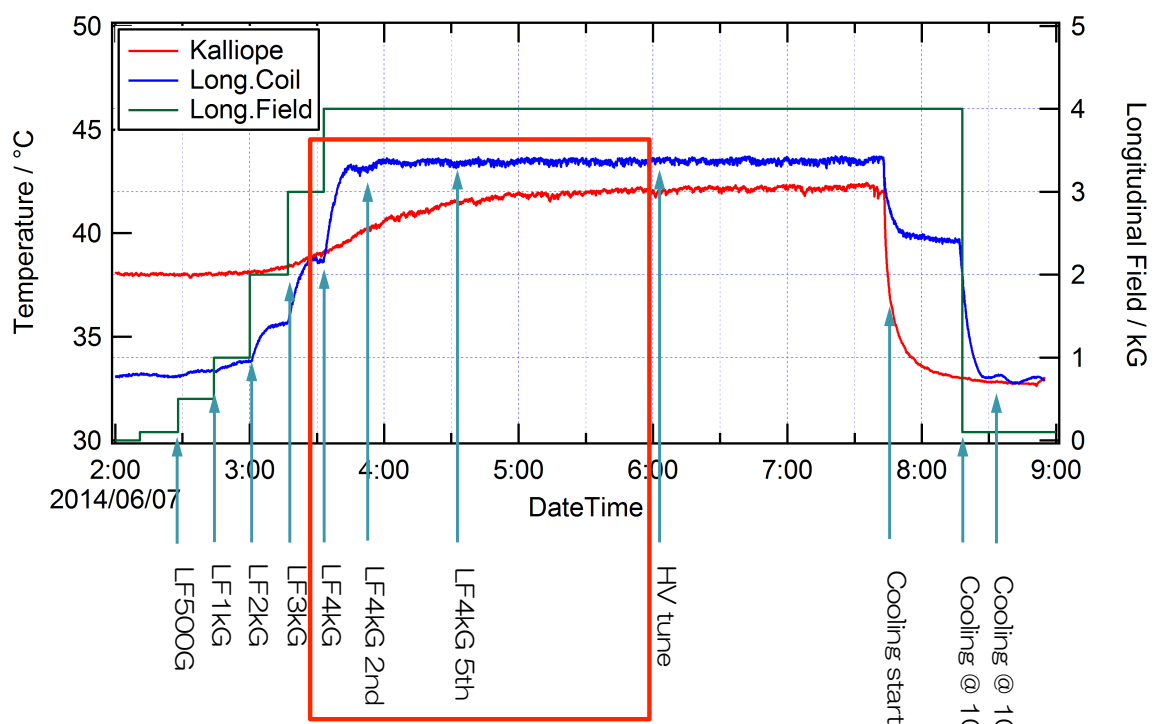
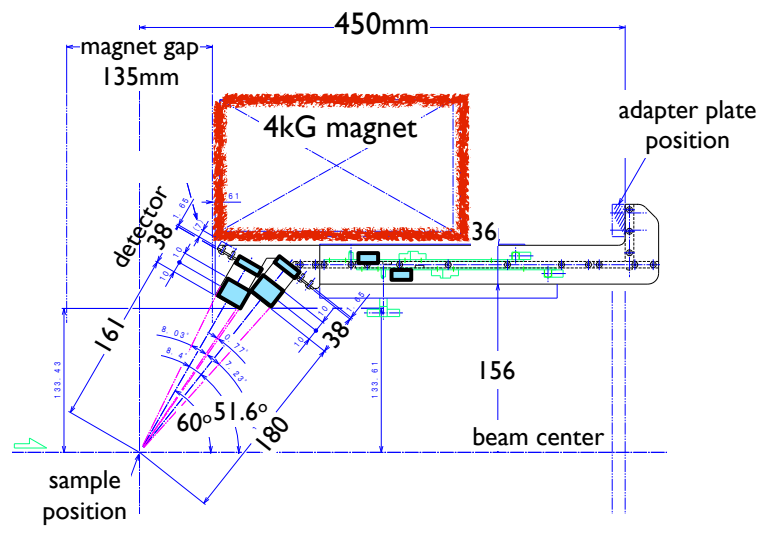


Run#1283, AmpDAC=4C (000098), HV=72.722V

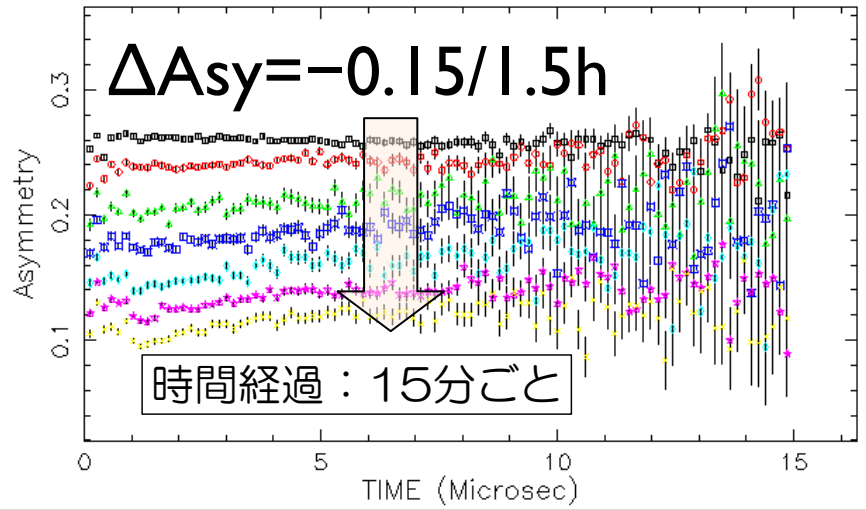
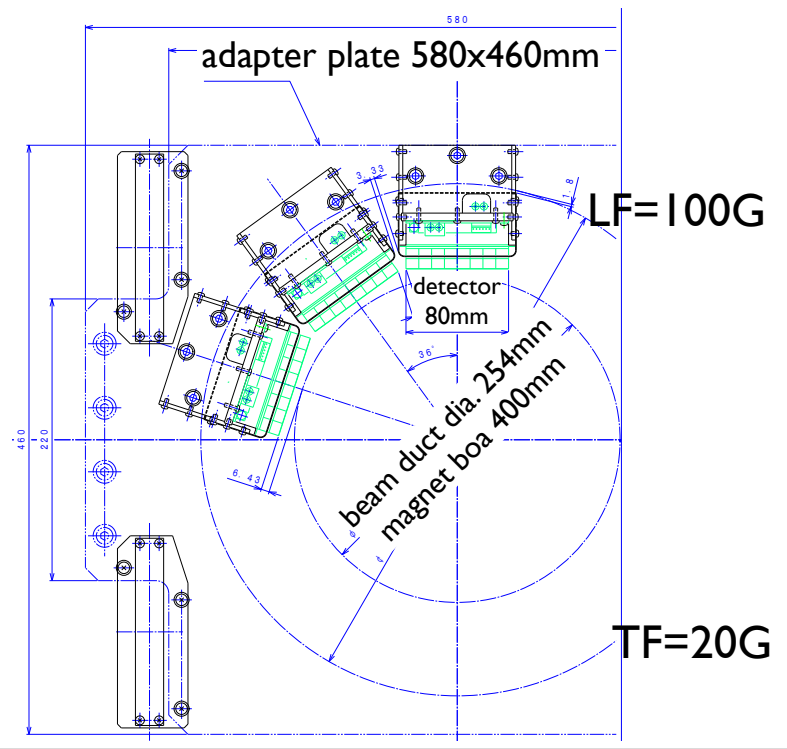


新分光器の問題と対策：検出器配置と温度管理

電磁石に通電すると温度上昇からスペクトルがドリフトする



2301: Ag LF=4kG 7th RT d-pls [1 vs 2] ASY

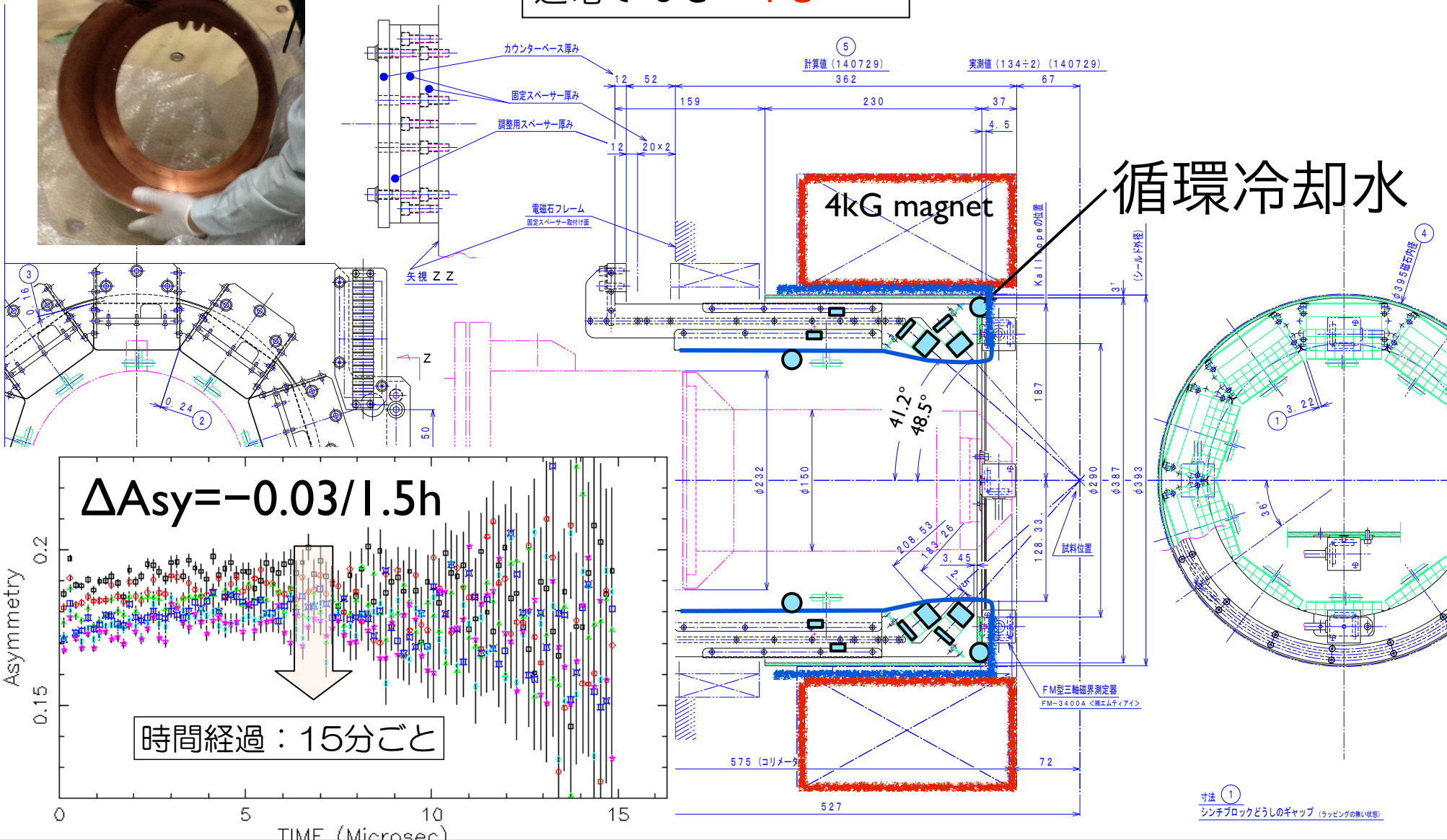


新分光器の問題と対策（遮熱板配置）：ドリフト改善



電磁石と検出器の間に
水冷式の遮熱板を導入
通電で+5°C→+1°C

さらに内側の遮熱板製作中



電磁石に通電すると

データ転送が遅くなりRev-Qが増える

Kalliopeの数える加速器パルスが飛ぶ

- ネットワークスイッチは磁石架台に置いてある
(～100ガウスの漏れ磁場の影響あり?)
- ノイズ対策の共振回路＋電磁石電源ノイズ?

解決：遮熱板設置で大幅に改善。

温度上昇によるFPGA動作不良か？

諸元	D Ω -I J-PARC	New DI J-PARC	ARGUS RIKEN-RAL	CHRONUS RIKEN-RAL
磁場 (kG)	1.5	4	4	4
立体角 チャンネル数	8%/128 _{pair} PMT	23%/640 _{pair} MPPC	25%/192 PMT	26%/606 MAPMT
データ収集 レート	20-40M/h for 15x15mm	100-200M/h for 15x15mm	40M/h for 25x25mm	86M/h for unknown size

データ収集レートが5~6倍
1測定30分→5分

新たな問題

(1) データをどこに保存するか?

max. 1GB/5min...

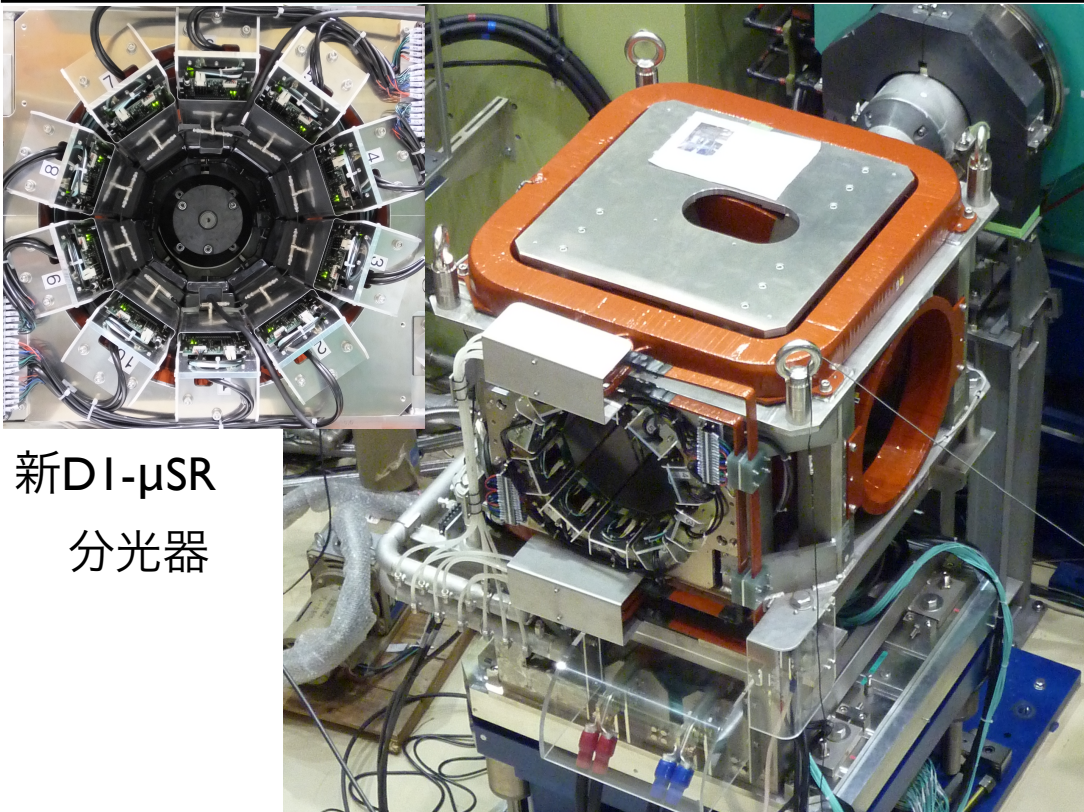
→40TBのストレージを購入。

8TBをDラインに。1ヶ月持つ

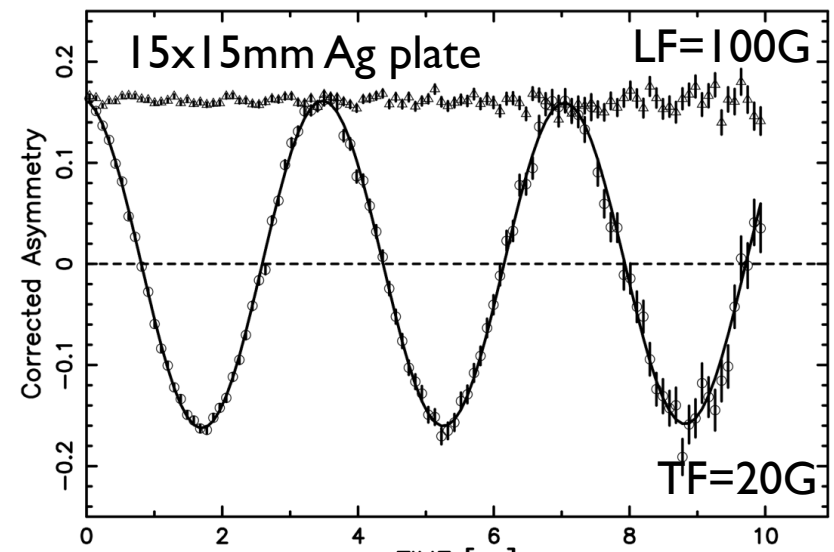
→KEKのテープバックアップ

(2) どう解析するか?

→自動解析? 前人未到の領域



新DI- μ SR
分光器



Outline

- Muon スピン緩和測定とは？ ----- 1 page
- 必要なスペック ----- 3 page
- μ SR分光器の全体像 ----- 5 page
- Kalliope検出器
 - 構成・実装 ----- 8 page
 - 調整方法 ----- 6 page
 - 問題点・解決法 ----- 7 page
- 派生商品・現状まとめ ----- 4 page

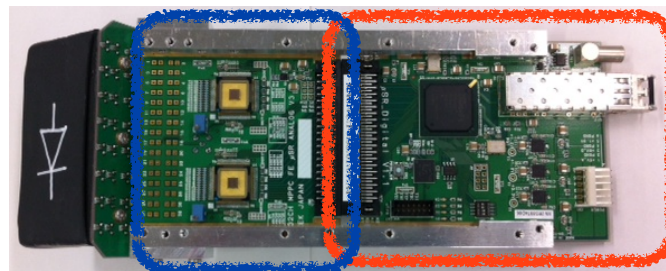
100MHz Amplifier

~100mV入力

アナログ出力

4bit threshold DAC

1台32ch入力



TDC

1ns時間分解能

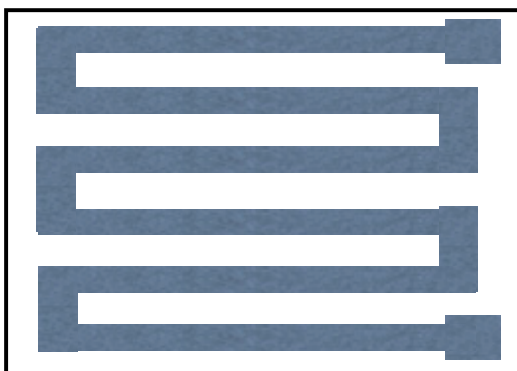
64μs時間窓

1000hits/ch

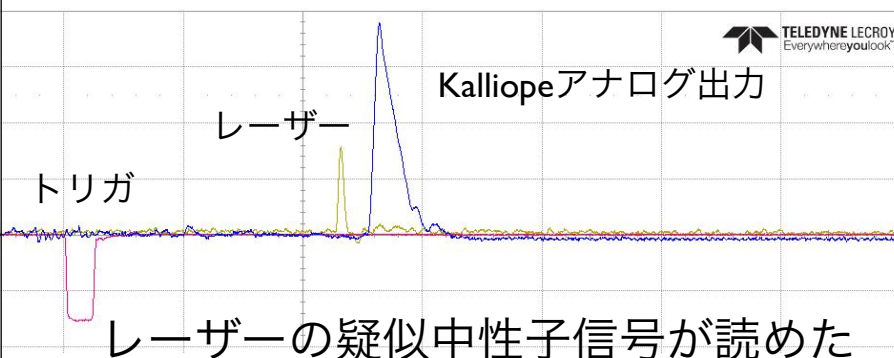
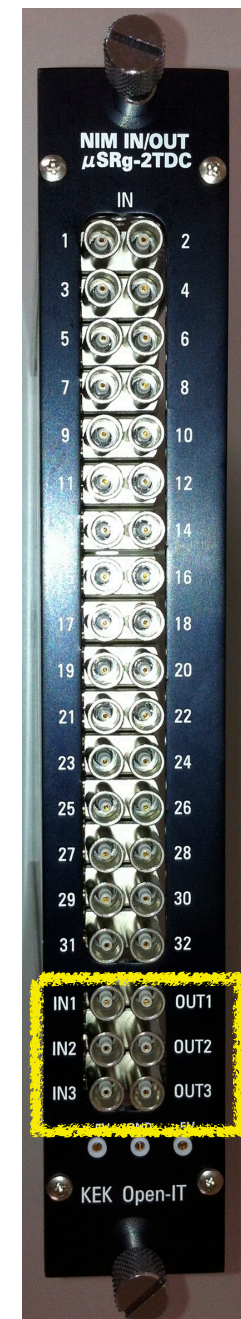
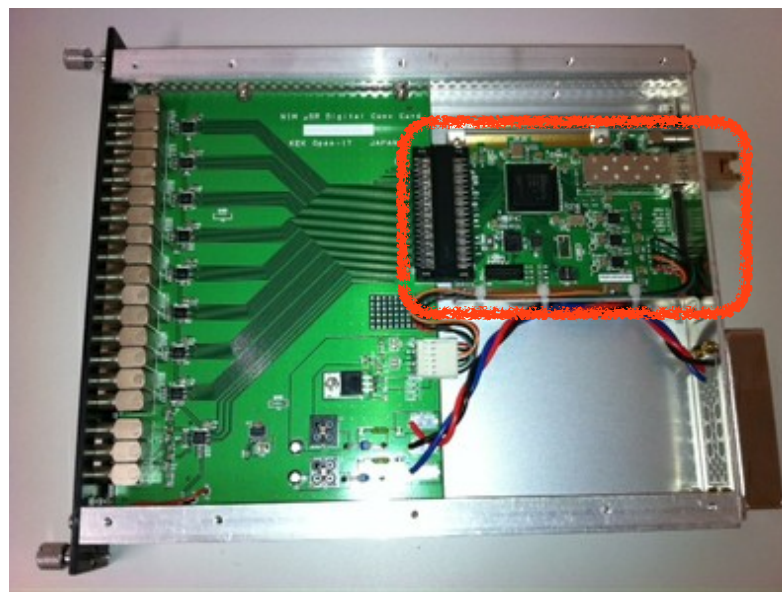
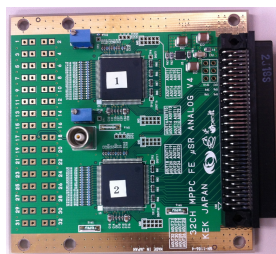
1台32ch入力

メアンダライン中性子検出器の
時間差読取り回路(府大・KEK)

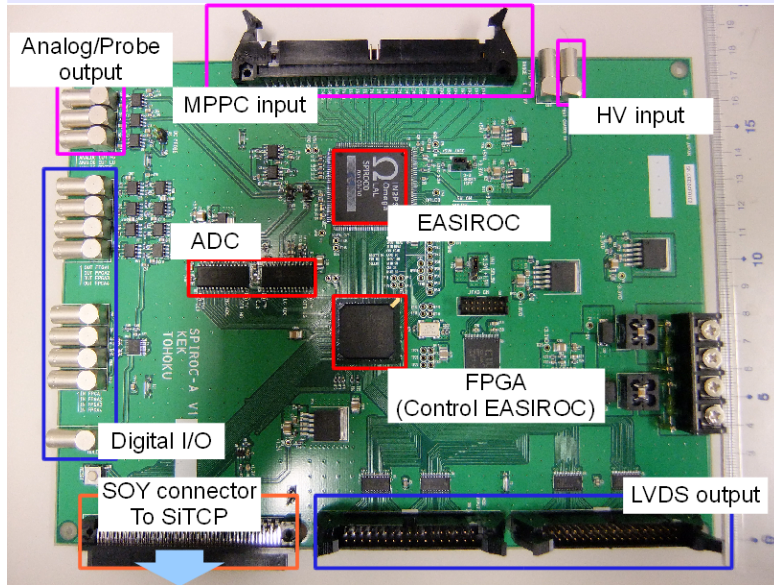
NIM入力Kalliopeデジタル (GN-1245-1)



$\Delta t \sim 100\text{ns}$



KalliopeデジタルをNIM入力化した。
ASICの制御は出来ないが、代わりに
プログラム可能なNIM入出力を持つ。



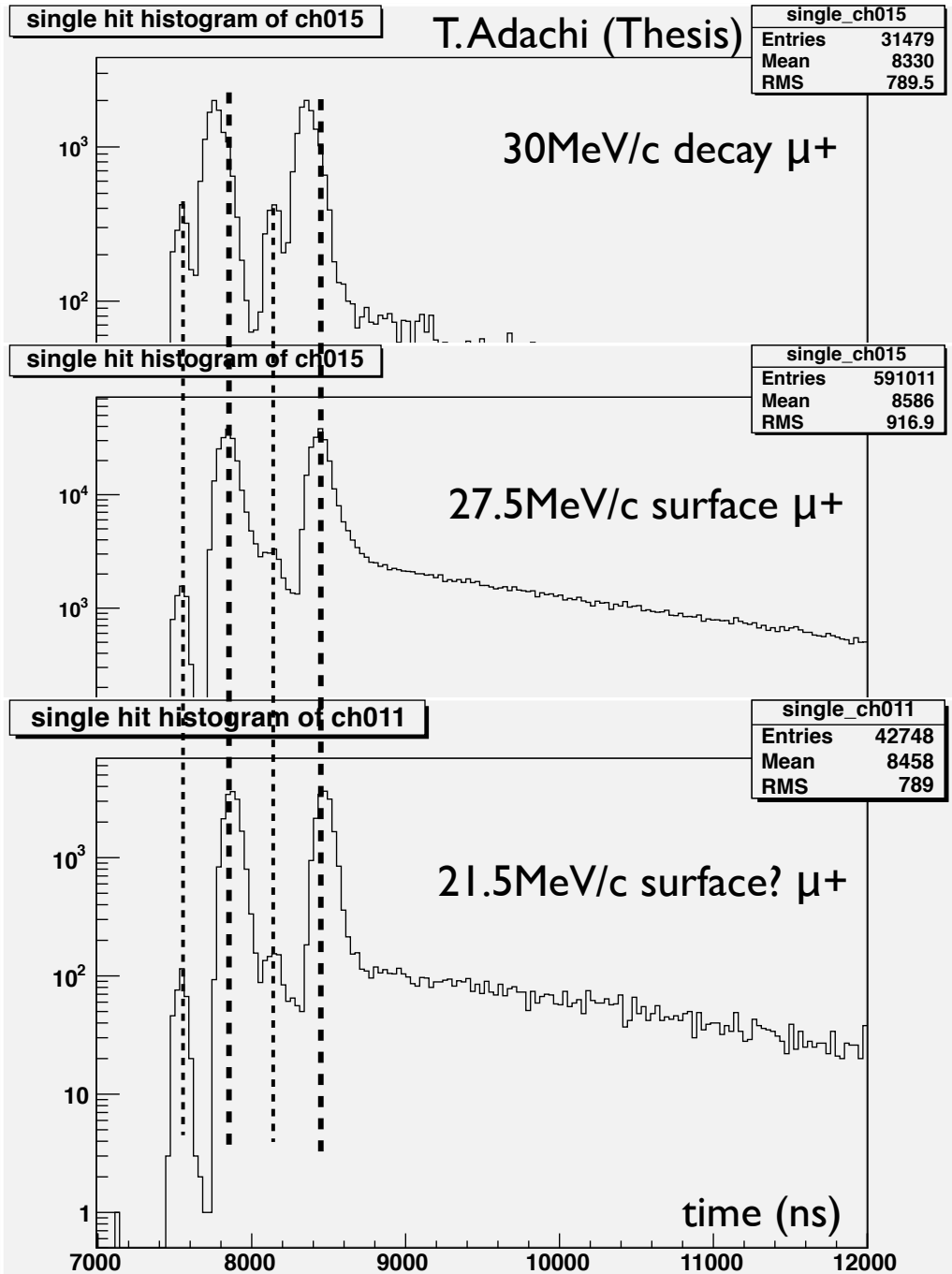
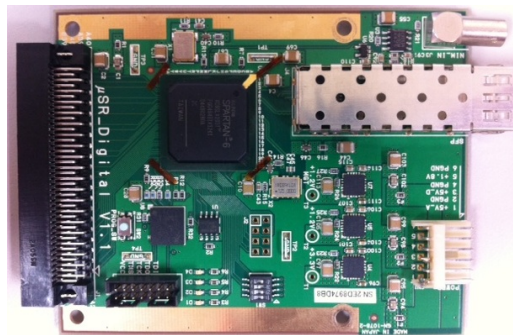
32ch-LVDS output

sorry, no photo

LVDS-LVTTL
level adapter board
(GN1220)

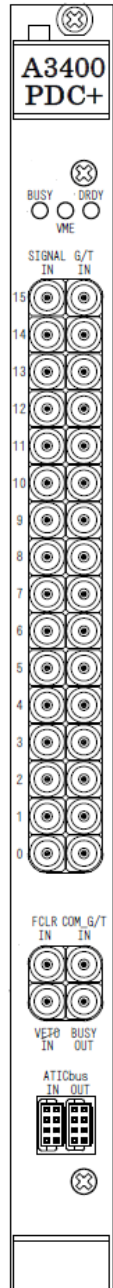
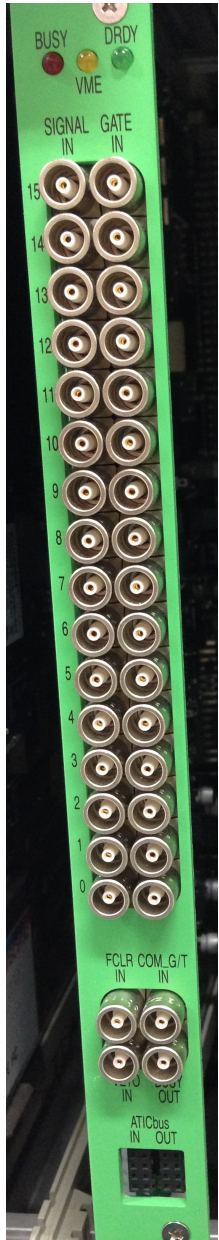
32ch-LVTTL input

Kalliopeデジタル
ボード



Kalliope派生商品 (仁木工芸A3N00モジュール読み出し関数) ⁴⁰

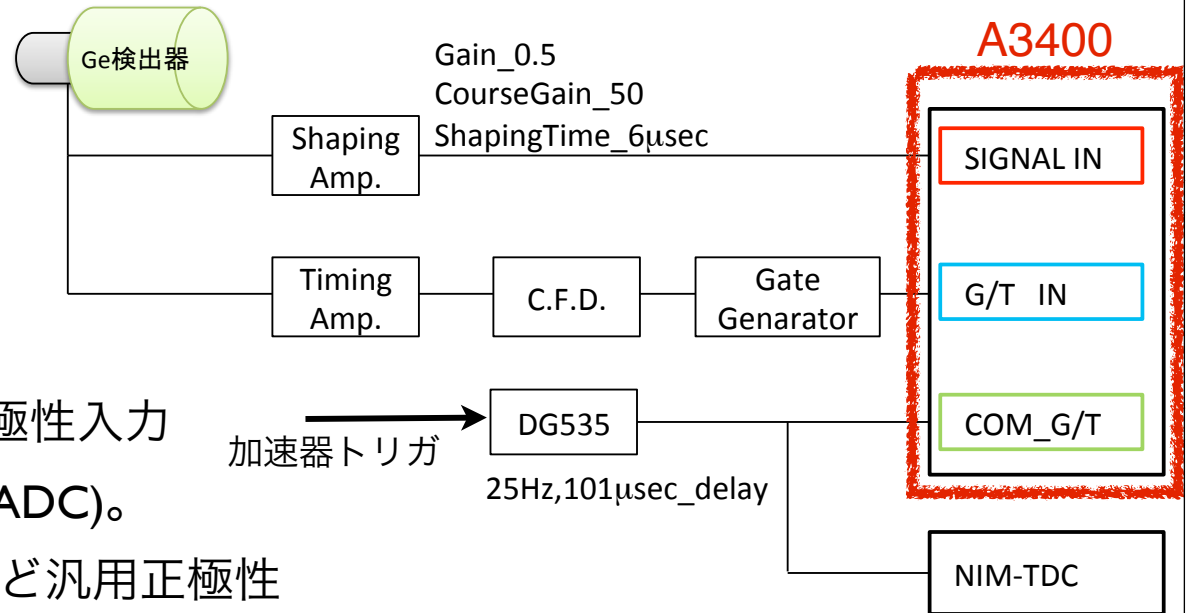
仁木工芸VME-QDC(A3200)



VME-ADC(A3400)

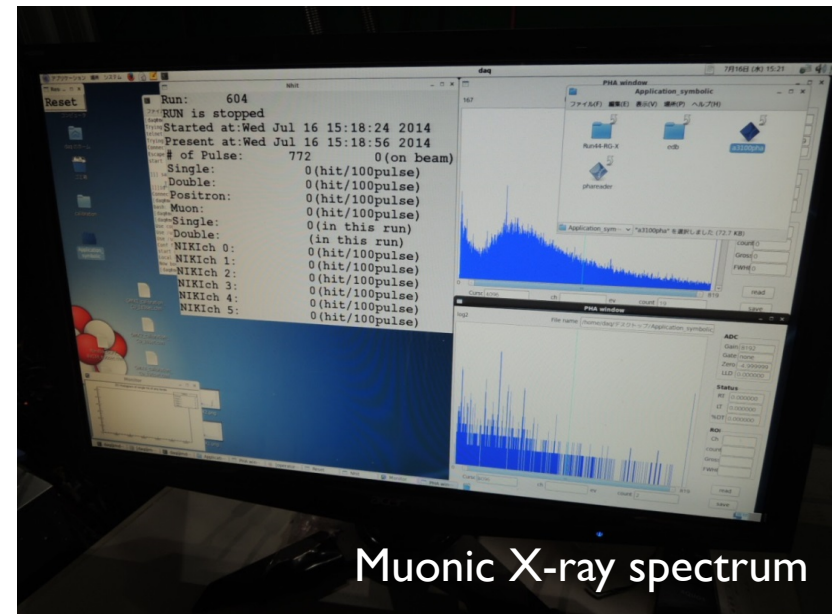
A3200: PMT用の負極性入力
0~-2.5V QDC(電荷ADC)。
A3400: Ge検出器など汎用正極性
入力0~+12V ADC

最高分解能5nsのタイムスタンプ
機能を持ち、波高とトリガから
の時間を記録出来る。
特にedbデータのバイト長で
40msをカバー出来る。



山形DAQの拡張

Kalliope



Muonic X-ray spectrum

現状まとめ

- Kalliope陽電子検出器(1ns時間分解能・64 μ s時間窓32chTDC)
- 1280chの分光器を製作しJ-PARC DI実験エリアに設置した。
- 2014.02.17のビーム再開から利用
- 3008chの高磁場5Tesla分光器も製作済み。～1万円/ch
- 問題点
 - キッカーノイズ：対策済み。
 - 検出器設置位置・温度管理：対策中。検出器が出来た。
 - デッドタイム τ ～100ns：次のASIC(VOLUME2013)で改善？
→2014

(そこそこ)速くて
安くて
(まあ)扱える

謝辞

KEK物構研ミュオン：幸田章宏, 高橋義知(VIC), 李華, 宮崎正範, 平石雅俊,
山内一宏, 岡部博孝, 竹下聡史, 門野良典

JAEA先端基礎研：髭本 亘, 伊藤 孝

KEK素核研g-2グループ：深尾祥紀, 神田聡太郎, 齊藤直人

KEK計算センタ(DAQ)：鈴木(山形)聡

KEK素核研先端計測

(ASIC設計・テスト)：田中真伸, 村上 武, 庄子正剛

(FPGAオリジナルコード)：内田智久

(ボード設計)：池野正弘, 齊藤正俊

今後の発展：佐藤 朗, 松本侑樹(阪大),
石田武和, 宮嶋茂之, 鳴神吉人(府大)

このプロジェクトはOpen-Itの枠組みで可能になりました。

他のプロジェクトでもKalliopeを再利用して頂けると幸いです。