

# J-PARC MLF 汎用ミュオンスピン緩和分光器

## ARTEMISの開発

(検出器～データサーバまで)

小嶋健児 (KEK物構研)

# Outline

- ARTEMIS分光器とは ——— 2 page
- パルス $\mu$ SR分光器のスペック ——— 2page
- ビームの質の向上（チューニング） ——— 3 page
- Kalliope検出器 ——— 3 page
- アナログボードのアップグレード ——— 7 page
- MPPC温度管理の問題・解決法 ——— 2 page
- 中性子ほかへの応用 ——— 1 page



# 素核と物性の装置に対する捉え方の違い

- 素核

装置を作る人=使う人

動かなかったら自分のせい

- 物性

装置を作る人≠使う人

試料を持って来る人はえらい。

測れなかったら施設が悪い。

# ARTEMIS分光器とは？

## Advanced Research Targeted Experimental Muon Instrument at S-line

高エネルギー加速器セミナー  
OHO'16  
量子ビーム計測 ～基礎から最先端の応用まで～

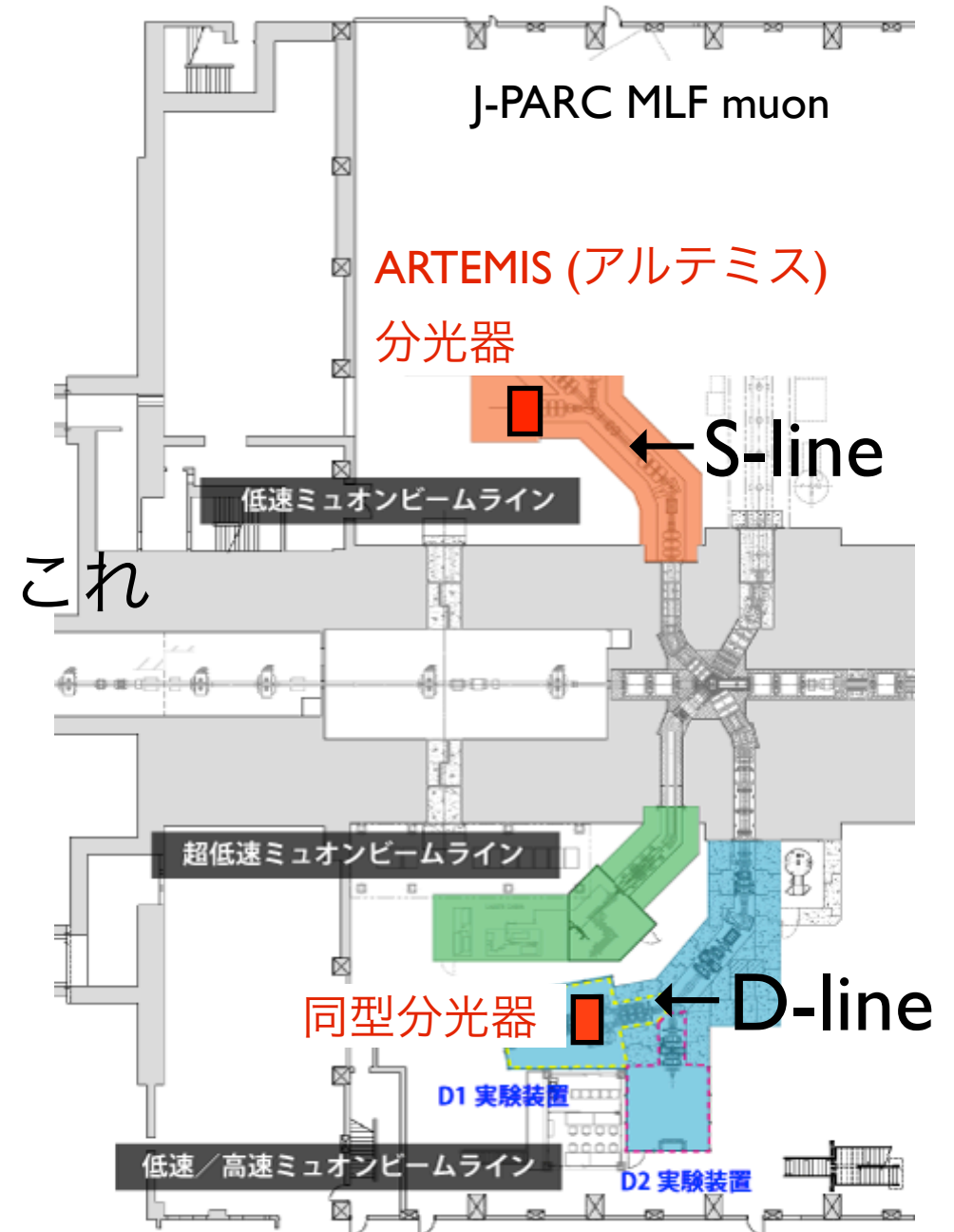


2016 9.6 Tue. ~ 9.9 Fri.  
高エネルギー加速器研究機構 3号館セミナーホール

<b>参加者募集</b> 詳しくは WEB をご覧下さい。 <a href="http://www.heas.jp">http://www.heas.jp</a> <a href="http://accwww2.kek.jp/oho/">http://accwww2.kek.jp/oho/</a>	<b>講義に関するお問い合わせ</b> 小林 幸則 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 TEL : 029-864-5632 E-mail : oho16@ml.post.kek.jp
--	---

共催  
公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会  
〒305-0801 つくば市大穂 1-1 高エネルギー加速器研究機構内  
TEL / FAX : 029-879-0471 E-mail : info@heas.jp

KEK : 高エネルギー加速器研究機構  
総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科

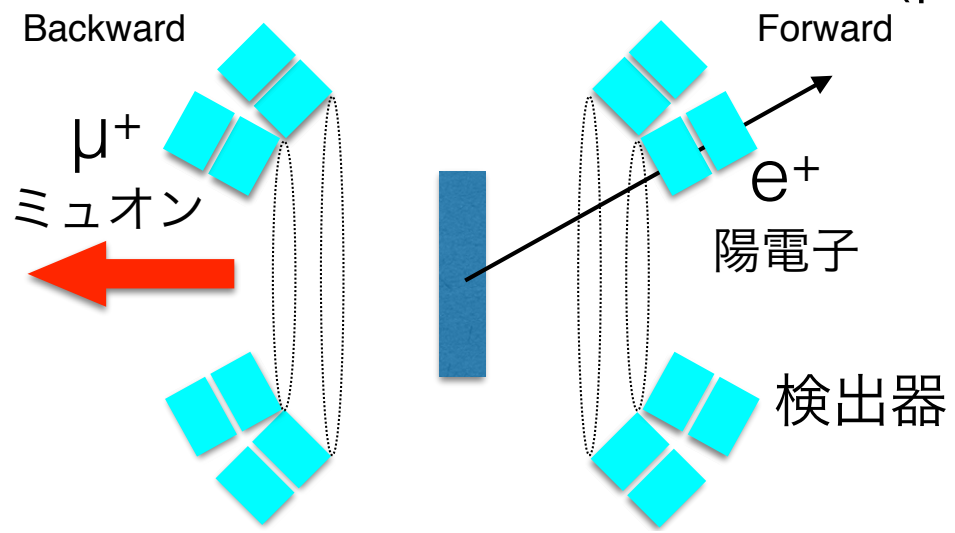


# Outline

- ARTEMIS分光器とは ——— 2 page
- パルス $\mu$ SR分光器のスペック ——— 2page
- ビームの質の向上（チューニング） ——— 3 page
- Kalliope検出器 ——— 3 page
  - アナログボードのアップグレード ——— 7 page
  - MPPC温度管理の問題・解決法 ——— 2 page
- 中性子ほかへの応用 ——— 1 page

# ミュオン物性実験ではどんな測定をするか

## ミュオンスピン緩和( $\mu$ SR)



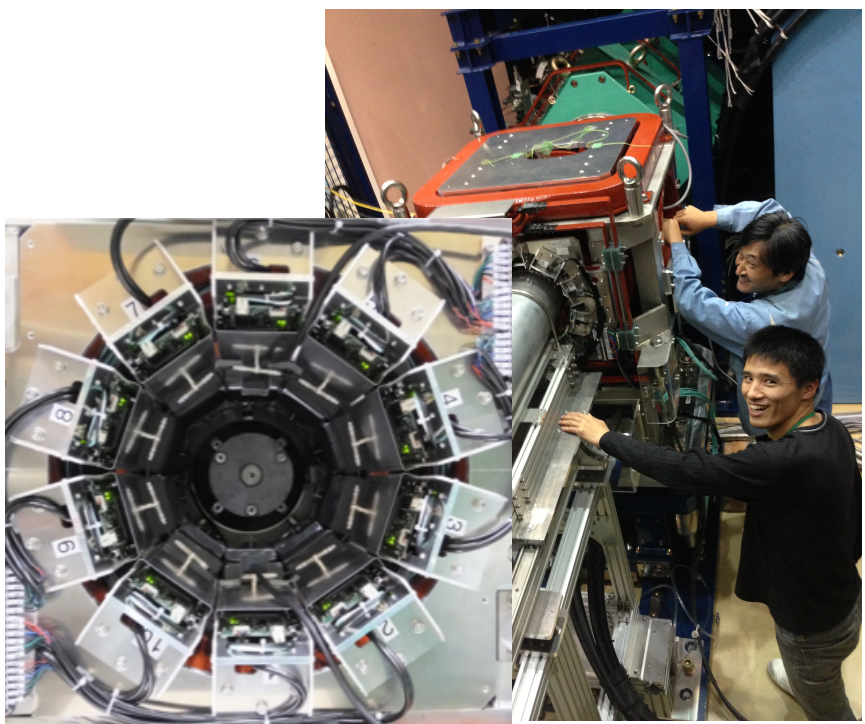
試料中のミュオンが崩壊して出て来る陽電子の時間・角度分布を測定する。

角度分布 → ミュオンスピン向き情報

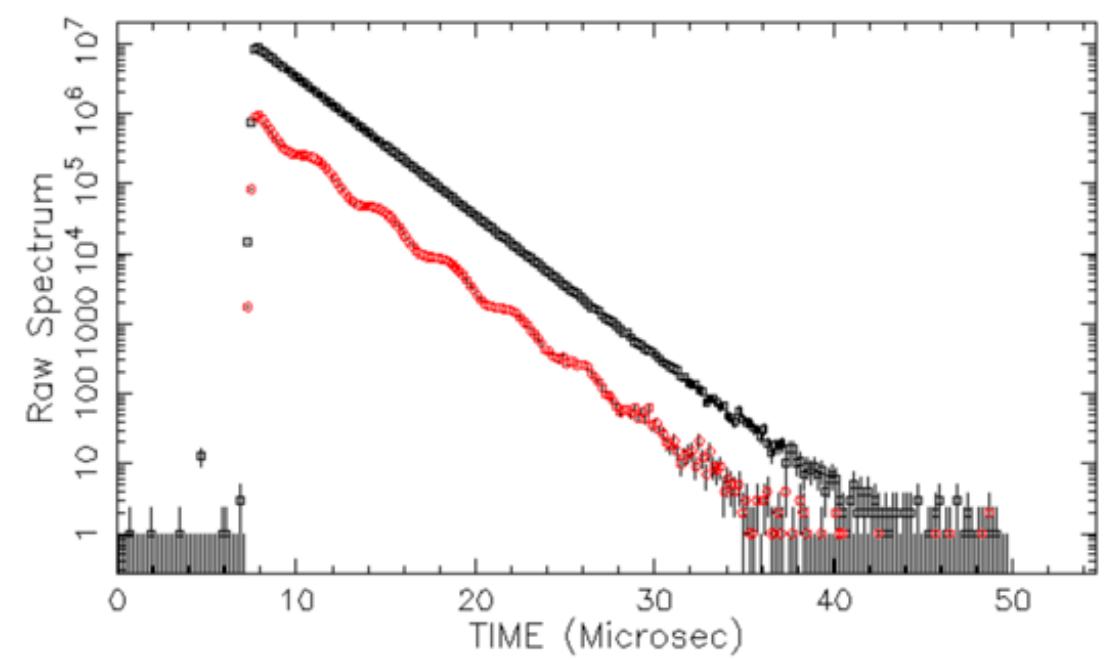
時間分布 → その時間変化

- 1: MS1 (2016) # 101469: "All16sq Flypass LF100G HV=67.8V ThDAC=24 VRSDAC=28"
- 2: MS1 (2016) # 101468: "All16sq Flypass TF20G HV=67.8V ThDAC=24 VRSDAC=28"

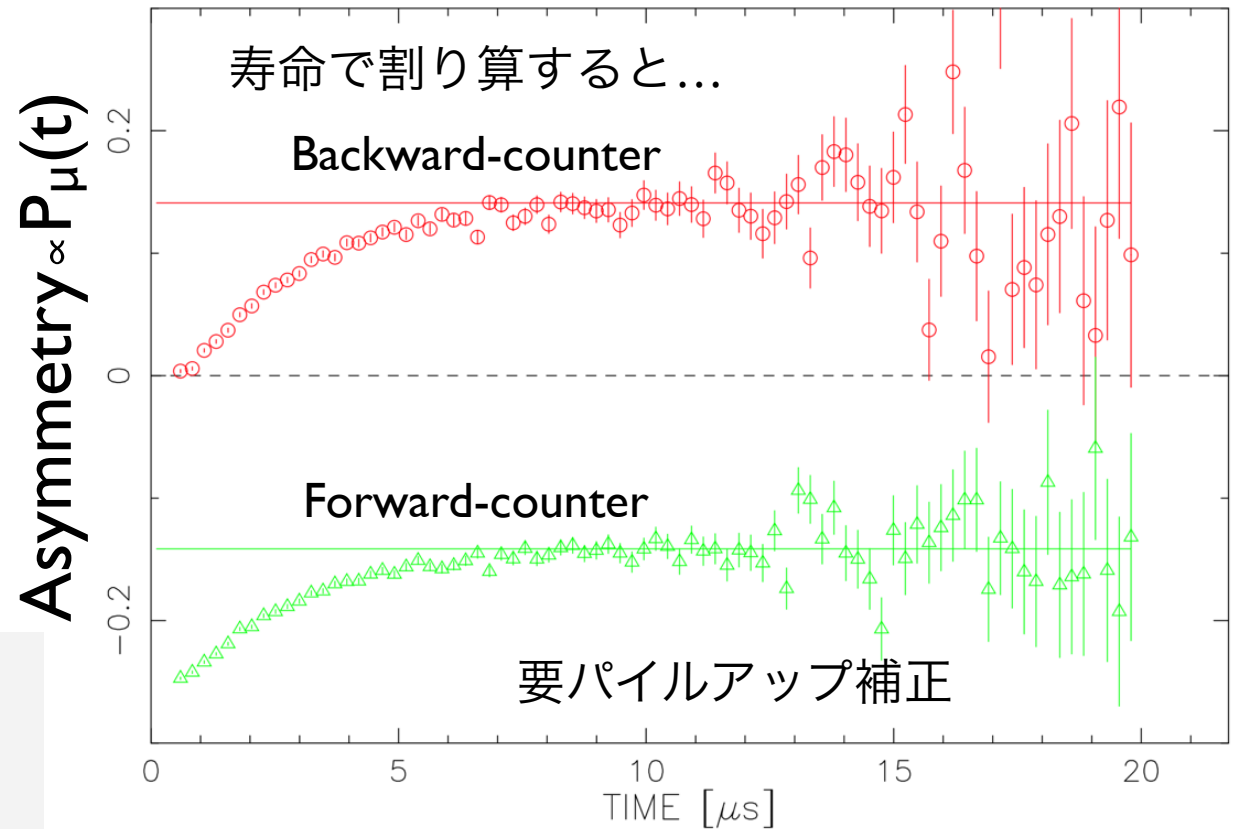
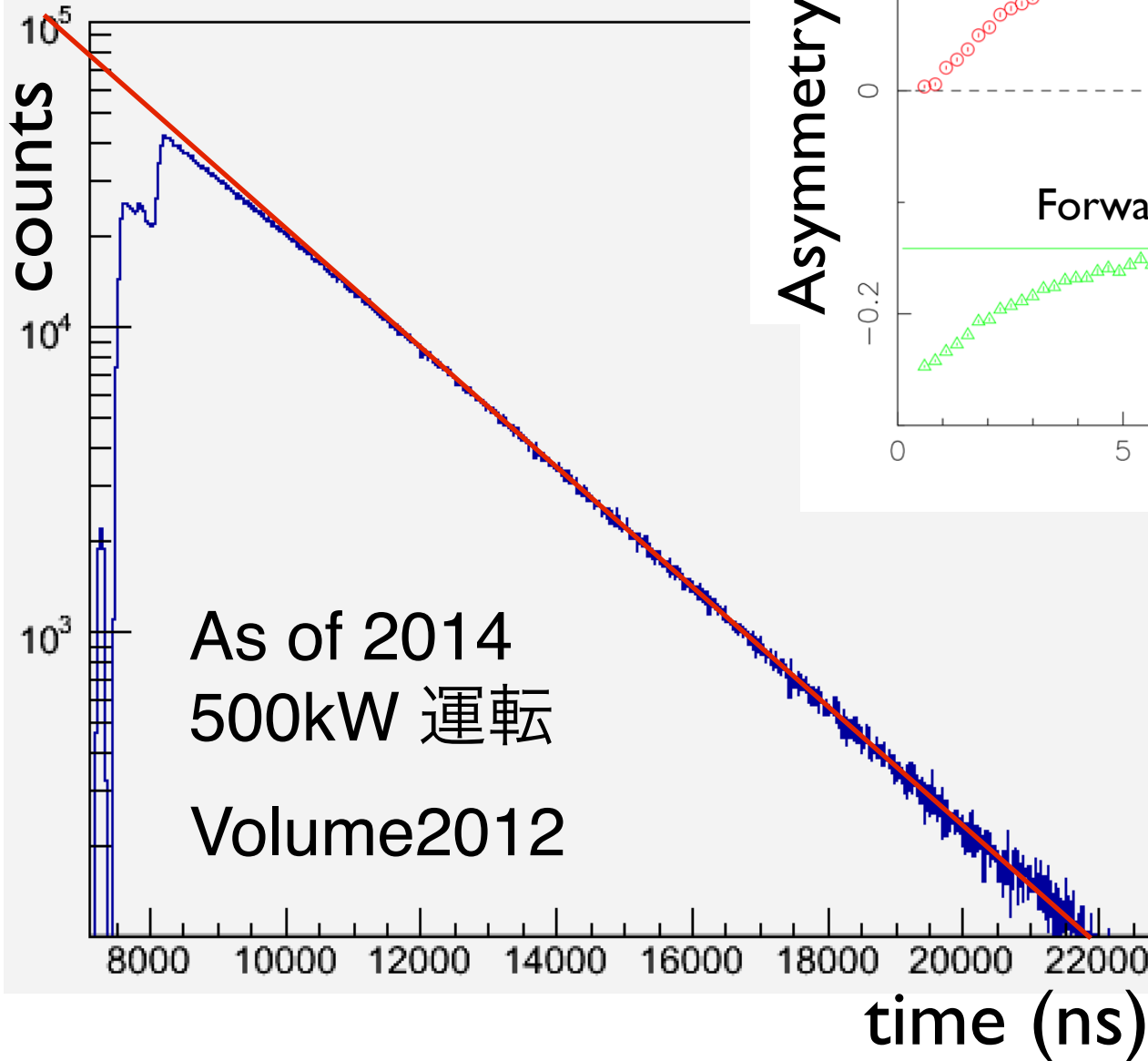
S1分光器 『アルテミス』



8: All16sq Flypass TF20G HV=67.8V ThDAC=24 VRSDAC=28 [H 1:



μSRは  $\mu e$ 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
- シンチを細分化→~1000ch

# Outline

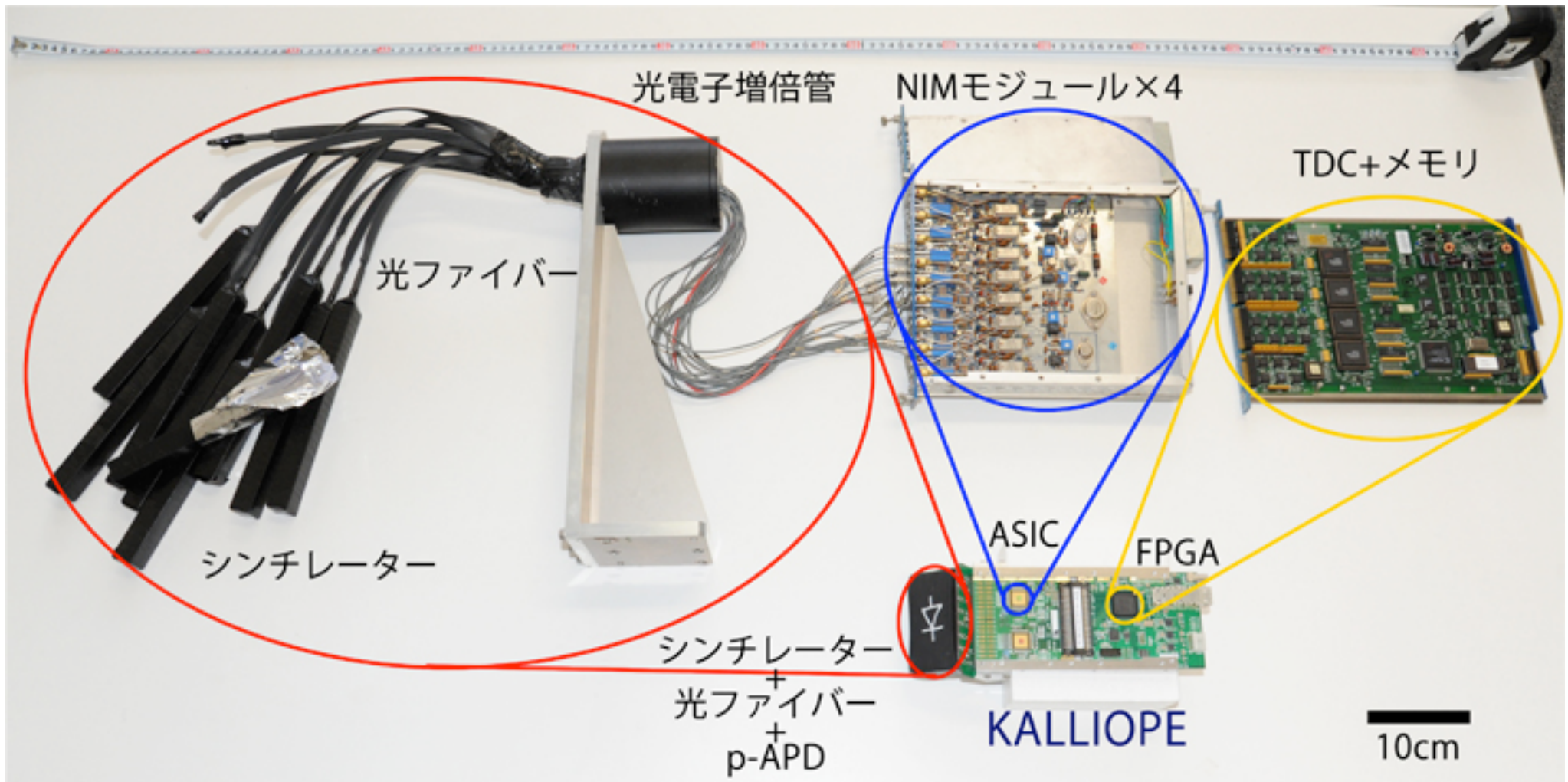
- ARTEMIS分光器とは ——— 2 page
- パルス $\mu$ SR分光器のスペック ——— 2page
- ビームの質の向上（チューニング） ——— 3 page
- Kalliope検出器 ——— 3 page
  - アナログボードのアップグレード ——— 7 page
  - MPPC温度管理の問題・解決法 ——— 2 page
- 中性子ほかへの応用 ——— 1 page



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関連技術を使った発表

10月13日 (木)

時間	講演名	講演者
	座長 三輪浩司 (東北大)	
10:00 - 10:10	開会の挨拶	J-PARCセンター長 齊藤直人
10:10 - 10:35	COMET実験における計測システム開発	上野一樹 (KEK素核研)
10:35 - 11:00	高輝度LHC-ATLAS実験で用いる $\mu$ 粒子検出器フロントエンド回路開発およびフラッシュメモリFPGAの放射線耐性試験	水越健太 (名古屋大学)
11:00 - 11:25	ATLAS実験Run-2におけるノイズバースト判定回路、およびRun-3におけるトリガー判定回路の開発	赤塚駿一 (京都大学)
11:25 - 11:50	新BPMC試作機の前段信号減衰器における発熱試験	久保木浩功 (KEK加速器)
11:50 - 13:00	休憩 (70分)	
	座長 小嶋健児 (KEK物構研)	
13:00 - 13:25	COMET実験における計測システムの放射線対策	中沢遊 (大阪大学)
13:25 - 13:50	北海道大学におけるダイヤモンド放射線検出器開発の現状	金子純一 (北海道大学)
13:50 - 14:15	Development of a counting-type neutron imaging detector for energy-resolved imaging at J-PARC/MLF	Joseph Don Parker (CROSS-Tokai)
14:15 - 14:40	大強度パルスミュオンビームを用いた精密測定実験のための検出器開発とMuSEUM実験における運用	神田聡太郎 (東京大学)
14:40 - 15:00	休憩 (20分)	
	座長 坂下健 (KEK素核研)	

10月14日 (金)

時間	講演名	講演者
9:30 - 9:55	J-PAF	
9:55 - 10:20	J-PAF	
10:20 - 10:45	WAG/	
10:45 - 11:10	J-PAF	
11:10 - 11:35	J-PAF	
11:35 - 12:35	休憩 (85分)	
	座長 三部勉 (KEK素核研)	
12:35 - 13:00	ニュートリノビームライン制御システムのアップグレード	仲吉一男 (KEK素核研)
13:00 - 13:25	汎用ビームラインチューニングシステムForTuneによる負ミュオンチューニング	濱田幸司 (KEK物構研)
13:25 - 13:50	J-PARC nigh-piにおける次世代高速DAQシステムの開発	高橋智則 (大阪大学)
13:50 - 14:15	チャームバリオン分光実験における高速トラッキング検出器の開発	浅野秀光 (大阪大学)
14:15 - 14:35	休憩 (20分)	
	座長 三原智 (KEK素核研)	
14:35 - 15:00	超伝導中性子検出器によるイメージングのためのKalliope-DC処理系	穴戸寛明 (大阪府立大学)
15:00 - 15:25	LHC-ATLAS実験アップグレードのための試験用ビグセル検出器高速読み出しシステムの開発	永井遠 (お茶の水女子大学)
15:25 - 15:50	J-PARC muon g-2/EDM実験:シリコンストリップセンサー用読み出しASICの開発	佐藤優太郎 (KEK素核研)
15:50 - 16:15	J-PARC muon g-2/EDM実験:シリコンストリップ検出器の性能評価	西村昇一郎 (東京大学)
16:15 - 16:35	休憩 (20分)	
	座長 東城順治 (九州大)	
16:35 - 17:00	J-PARC MLF 汎用ミュオンスピン緩和分光器ARTEMISの開発 (検出器~データサーバまで)	小嶋健児 (KEK物構研)
17:00 - 17:25	ハドロンビーム環境下における超伝導X線検出器の性能評価	岡田信二 (理化学研究所)
17:25 - 17:50	PFにおける走査型透過X線顕微鏡の開発と将来展望	武市泰男 (KEK物構研)
17:50 - 18:00	閉会の挨拶	J-PARC 素核D長 / KEK IPNS副所長 小林隆

↑  
ミュオン偏極測定

←  $\mu$ -X線測定

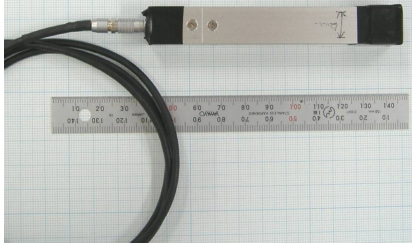
← 中性子イメージング

←  $\mu$ SR(偏極測定)

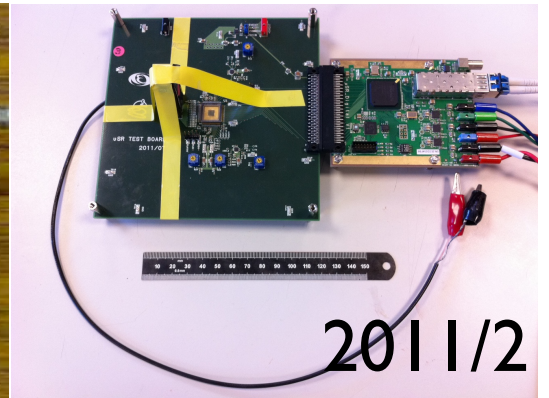


# Kalliope検出器の変遷(2010-2014)

2chシンチ(2008)



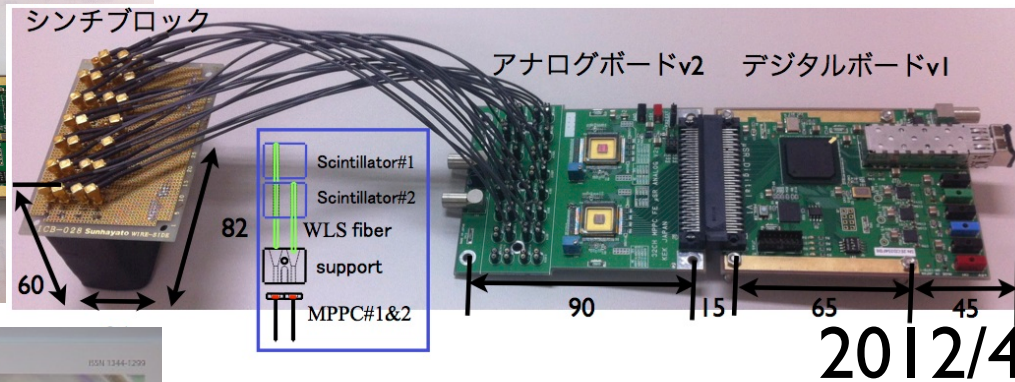
2010/10



2011/2



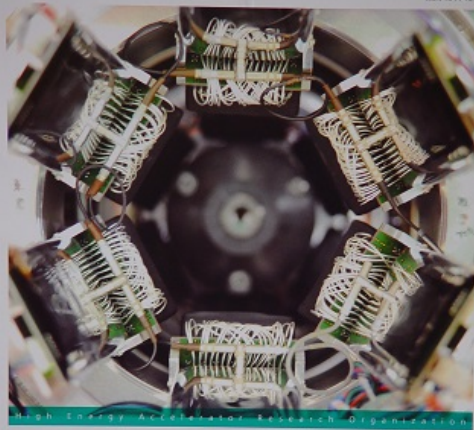
2011/9



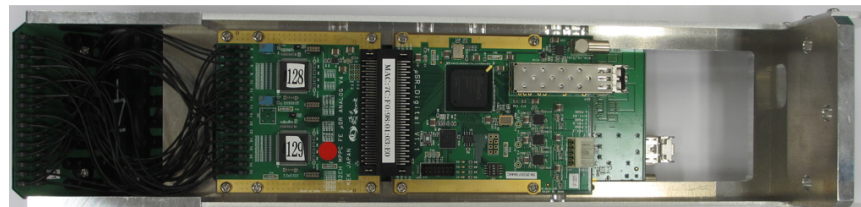
2012/4



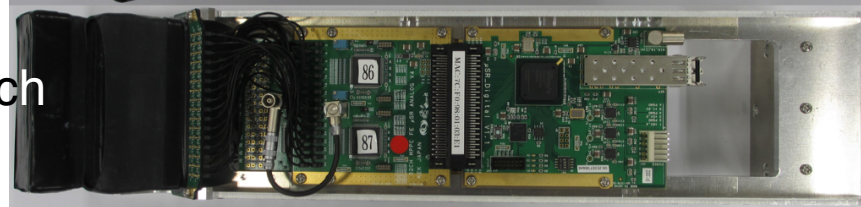
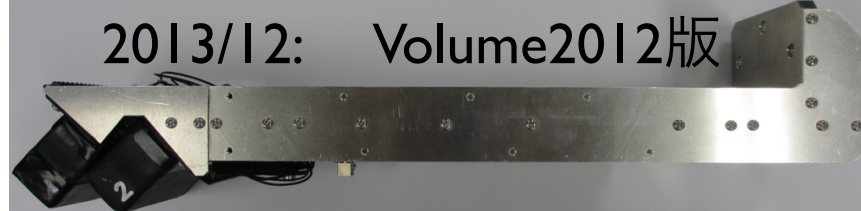
2012/9



2012/12  
Kalliope 384ch  
PMT 256ch



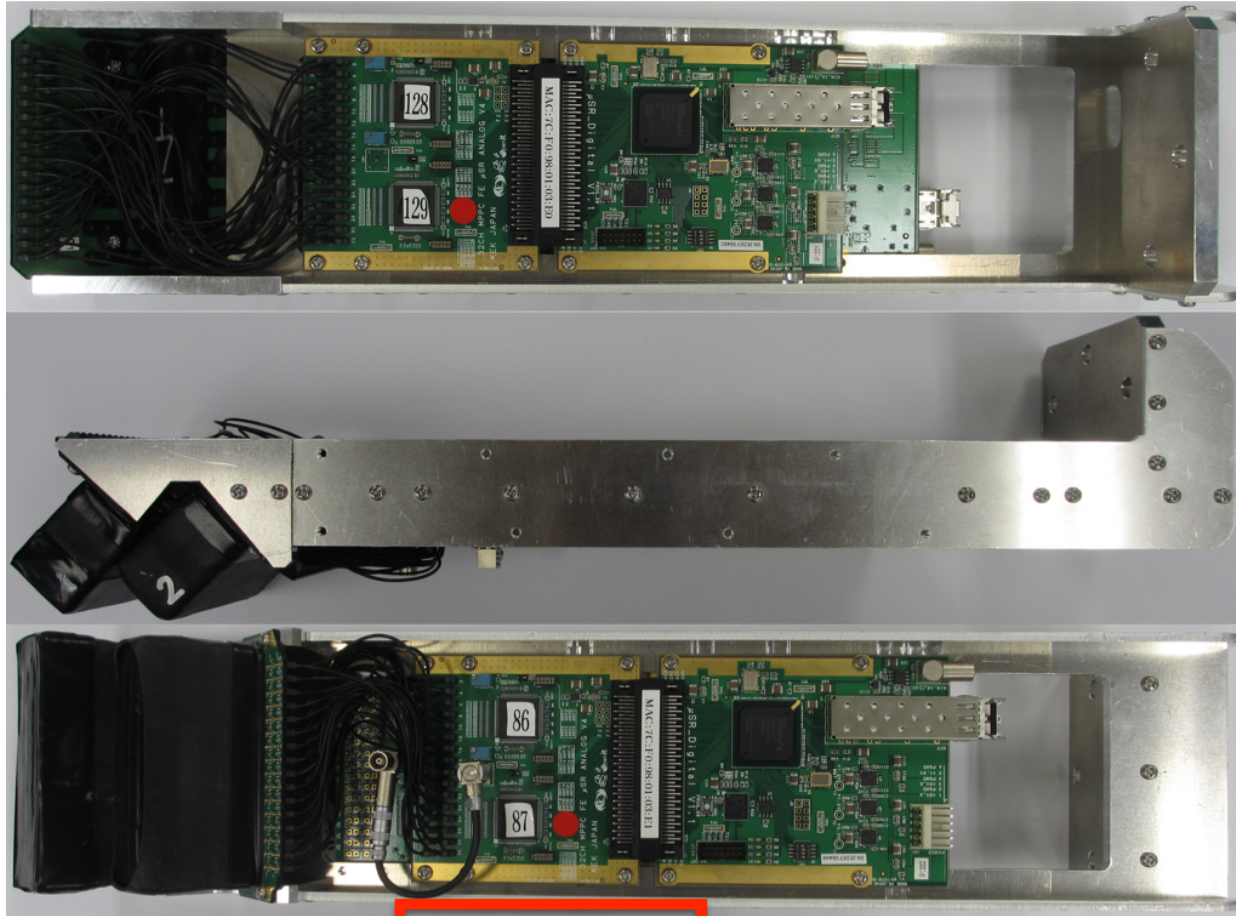
2013/12: Volume2012版



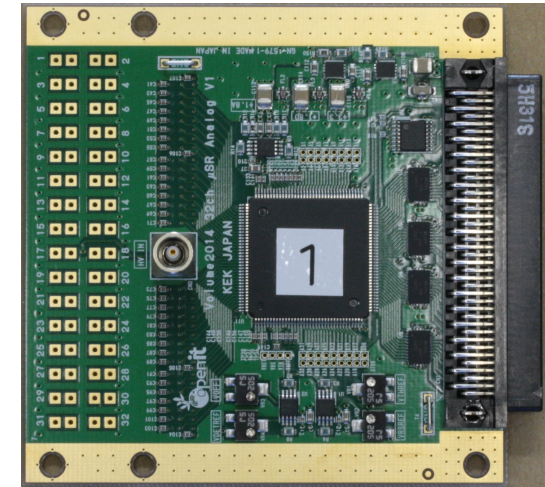
2014/1



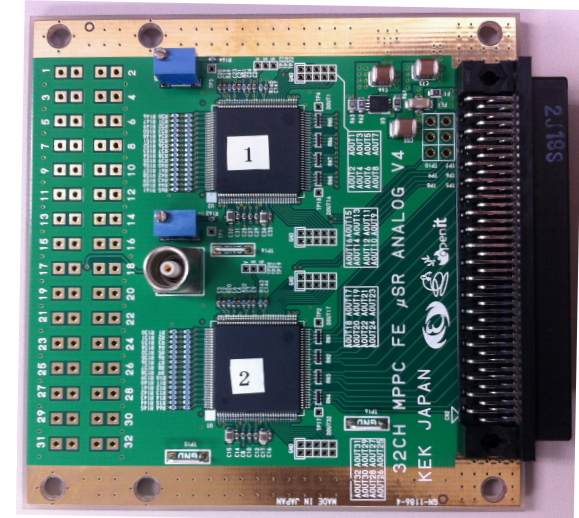
# Inside Kalliope (S1/D1用 v2.1→v4.1)



新版アナログボード (Volume2014)



旧版アナログボード (Volume2012)



シンチ～MPPC  
光検出器

アナログ  
ボード

デジタル  
ボード

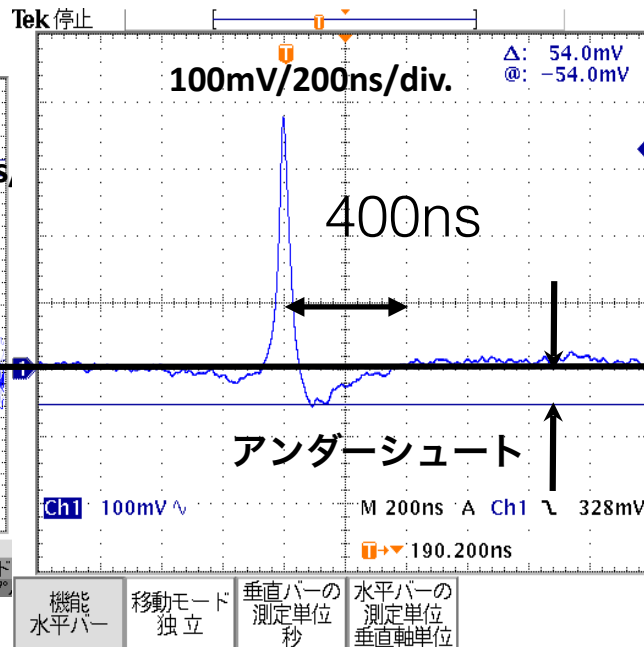
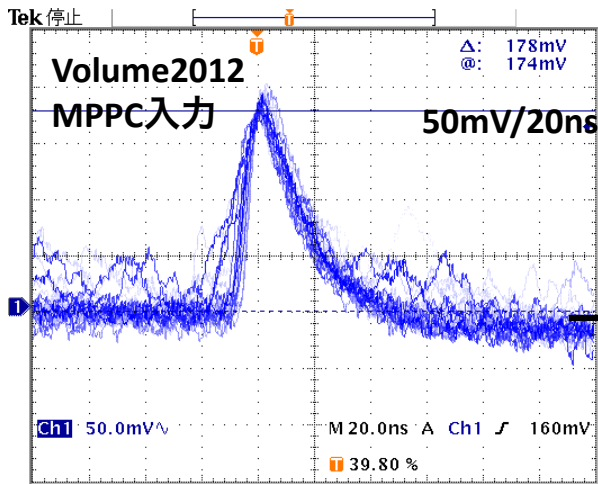
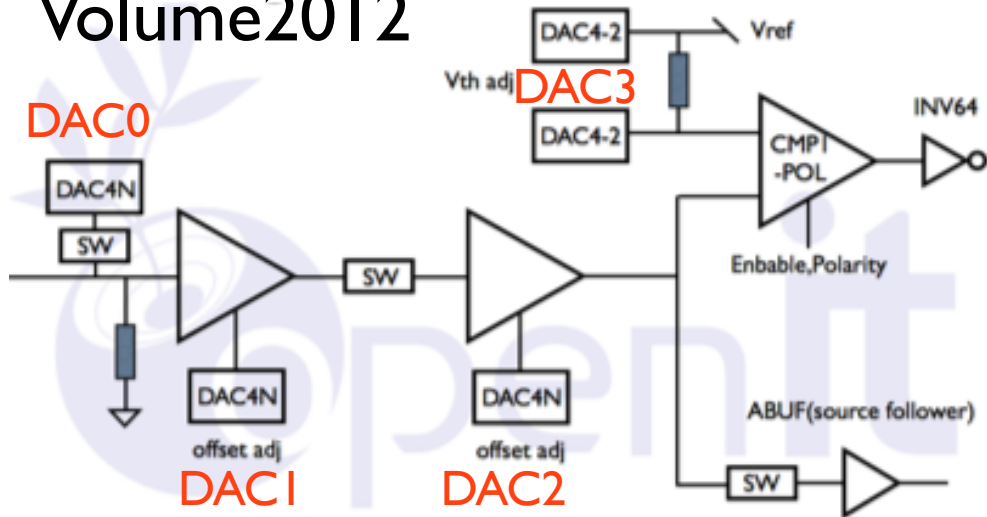
陽電子信号を  
光パルスに変え、  
電気パルスに変える

電気パルスに閾値  
を設定しデジタル  
パルスに変える。

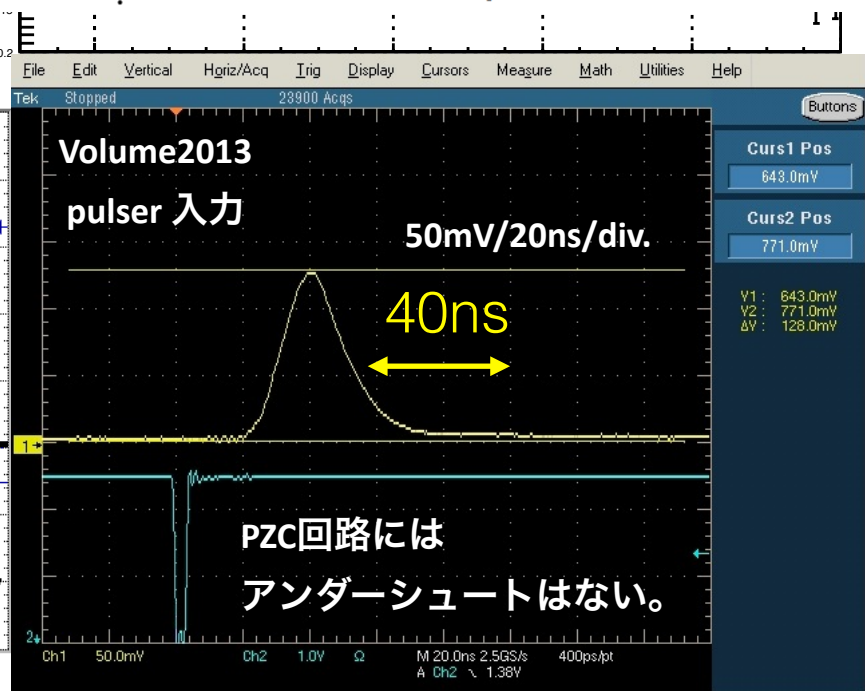
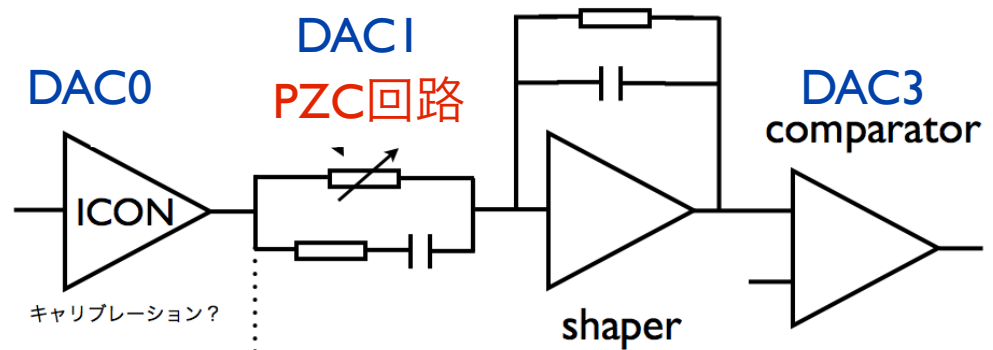
デジタルパルスの  
タイミングを記録  
し、PCに送る。

# 過渡特性改善：Volume2014 Pole-Zero Cancellation

## Volume2012



## Volume2014

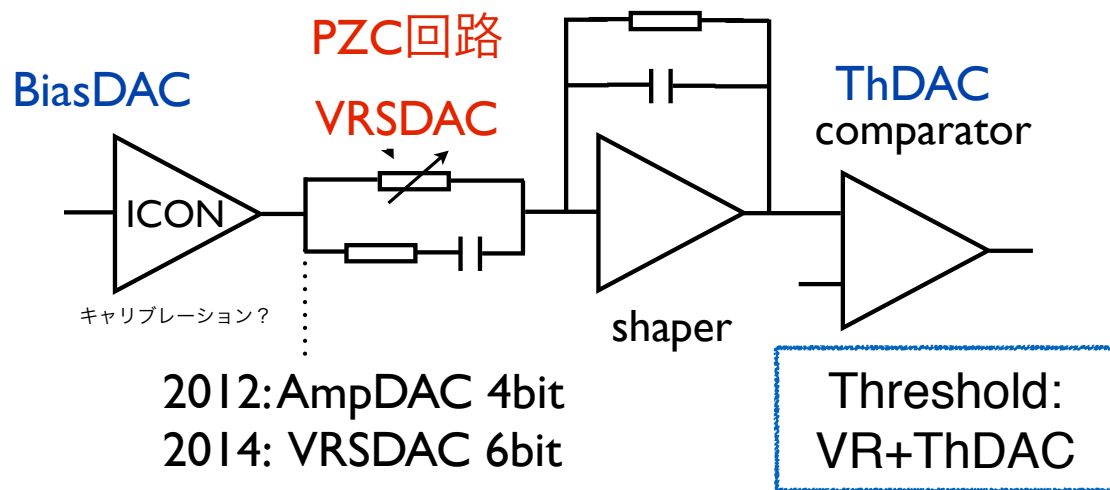


Volume2012: 電圧アンプで高速応答を目指すとアンダーシュートし、時間スペクトルが歪む。  
消費電力：8mW/ch

Volume2014: PZC回路で応答時定数を選びアンダーシュートは出ない。立ち上がりは少し遅いがテールは早い。16mW/ch

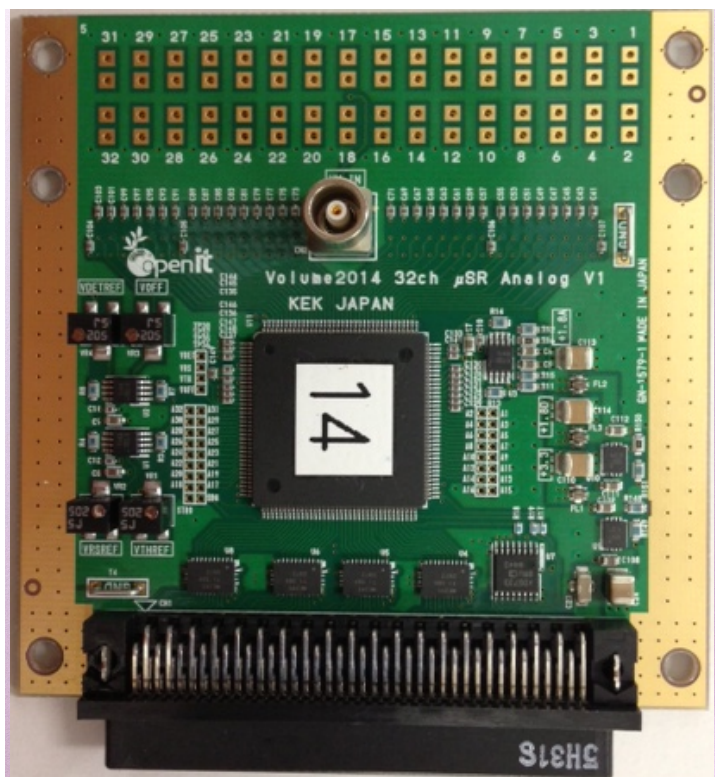


# Volume2012/2014諸元



Volume	2012	2013	2014
ch数	16	16	32
pin数	128	102	144
Bias	4bit	4bit	6bit
時定数	AmpFB 4+4bit	PZC 手動	PZC 6bit
Thres.	4bit	4bit	6bit
Ctrl	4bit	4bit	6bit

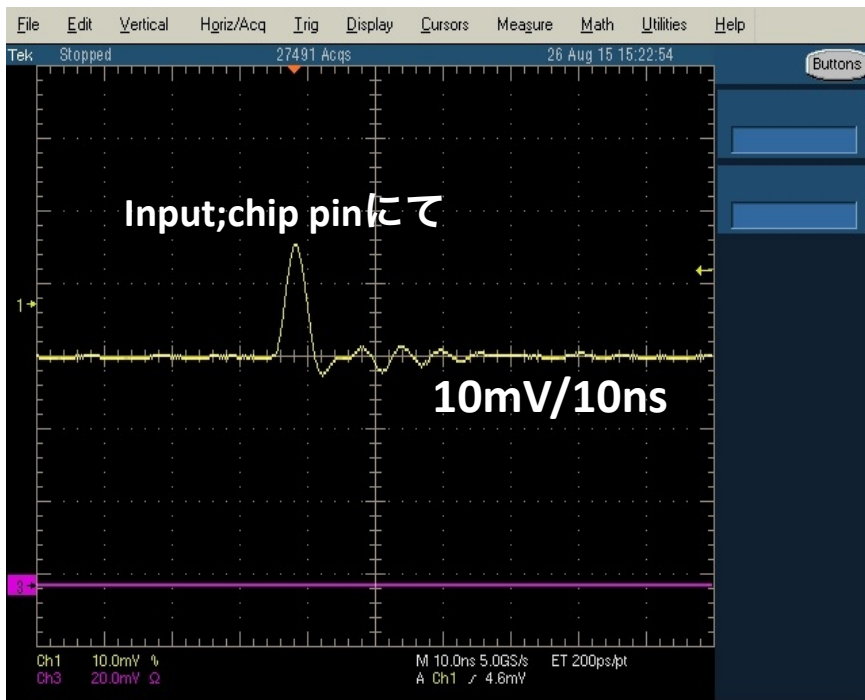
## GN-1579-I (2012互換のVolume2014実用基板)



基板穴位置  
入出力端子  
電源・信号電圧  
すべて  
Volume2012  
アナログボード  
(GN1186-4)  
とコンパチ

チップ電源	2.5V	1.8V
電源電圧	5V	5V
消費電流	30mA $\times$ 2	200mA

分光器アナログボード用  
電源容量を3倍に!



# Volume2014テスト結果

(KEK庄子さん・村上さん)

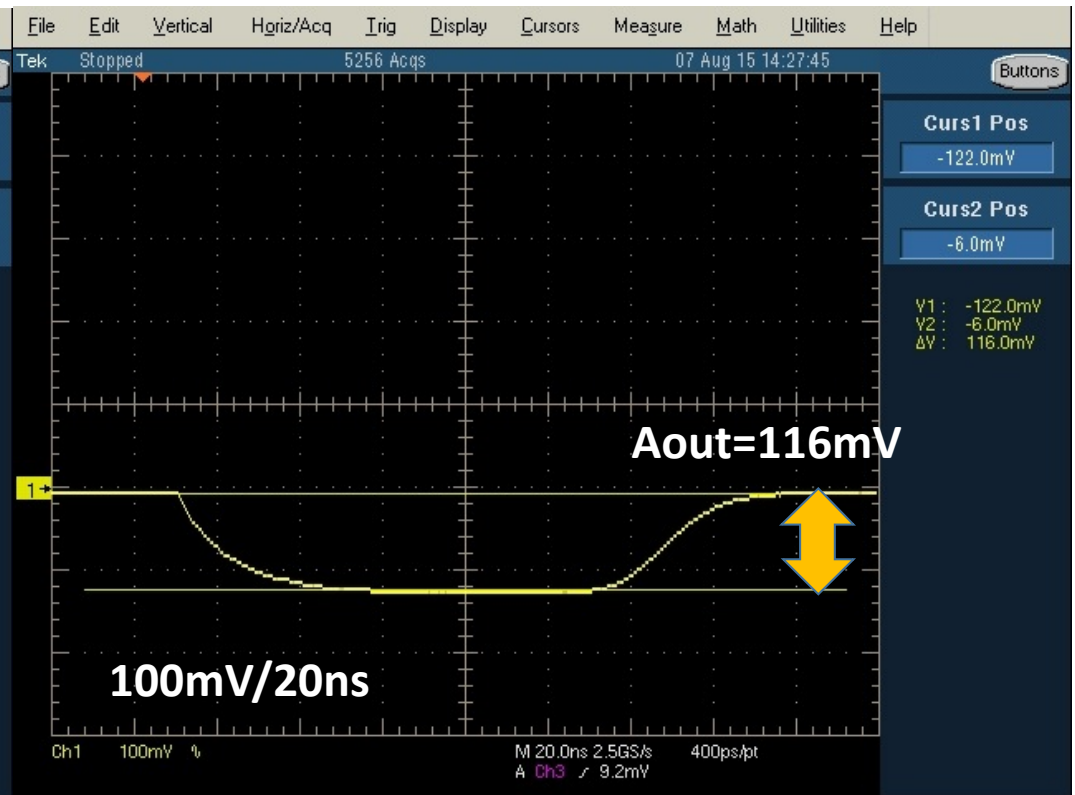
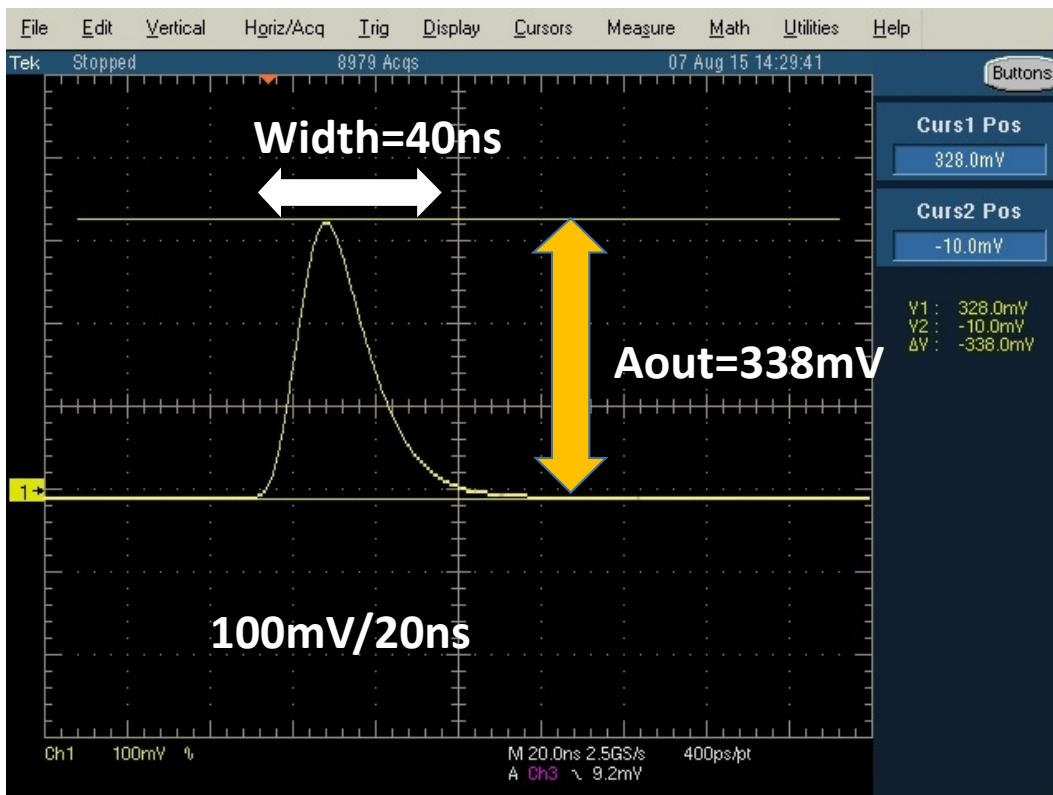
PG信号入力

Vin;100mV/C;10pf=1000fc

Volume2012とは違い正負非対称。  
正入力側に広いダイナミックレンジ。

Analog Out (+)

Analog Out (-)

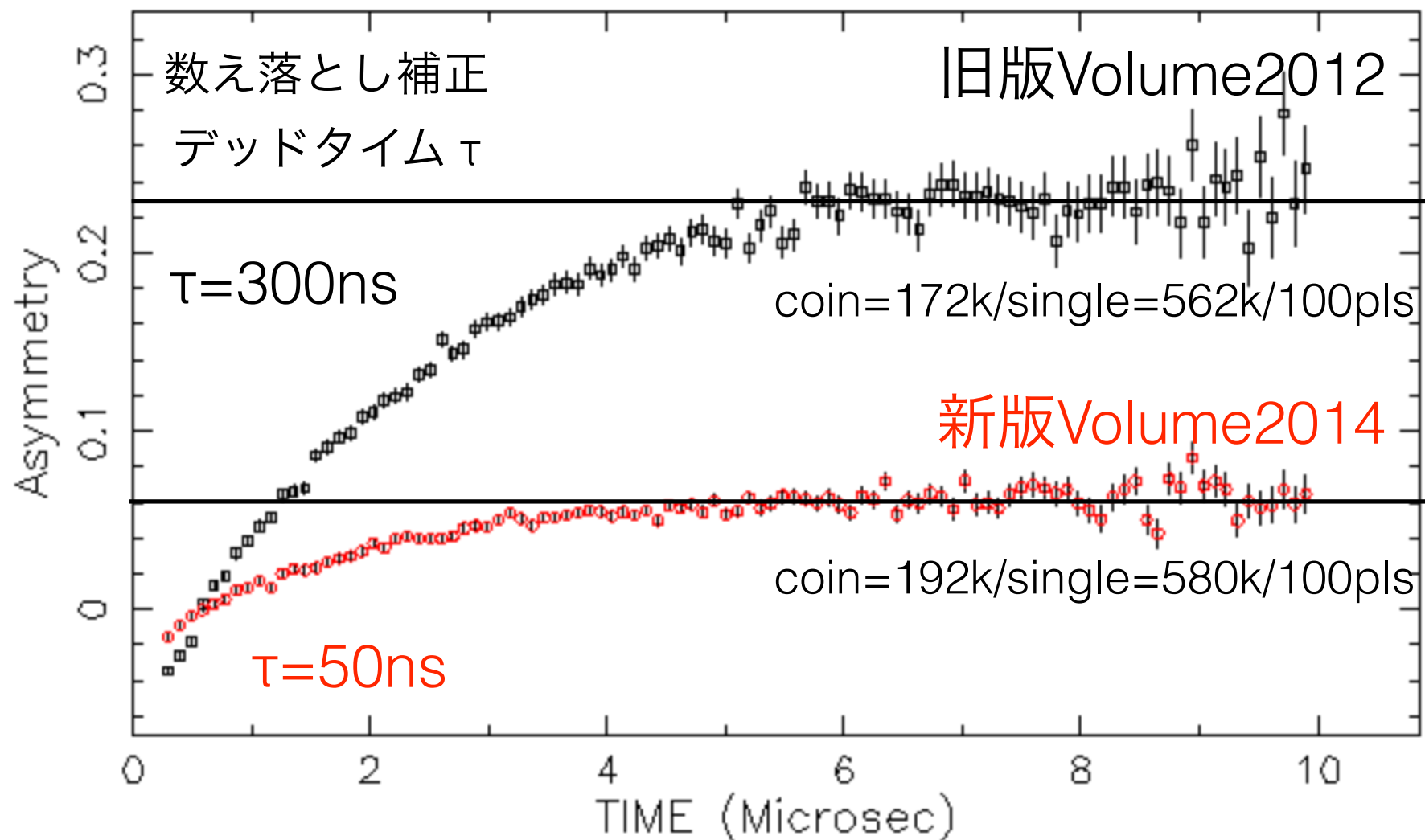


# 寿命補正 $\mu e$ 崩壊時間スペクトル：数え落とししがなければ平ら

1: MS1 (2016) # 100790: "Large Al on stage z=14mm NPPPN LF100G"

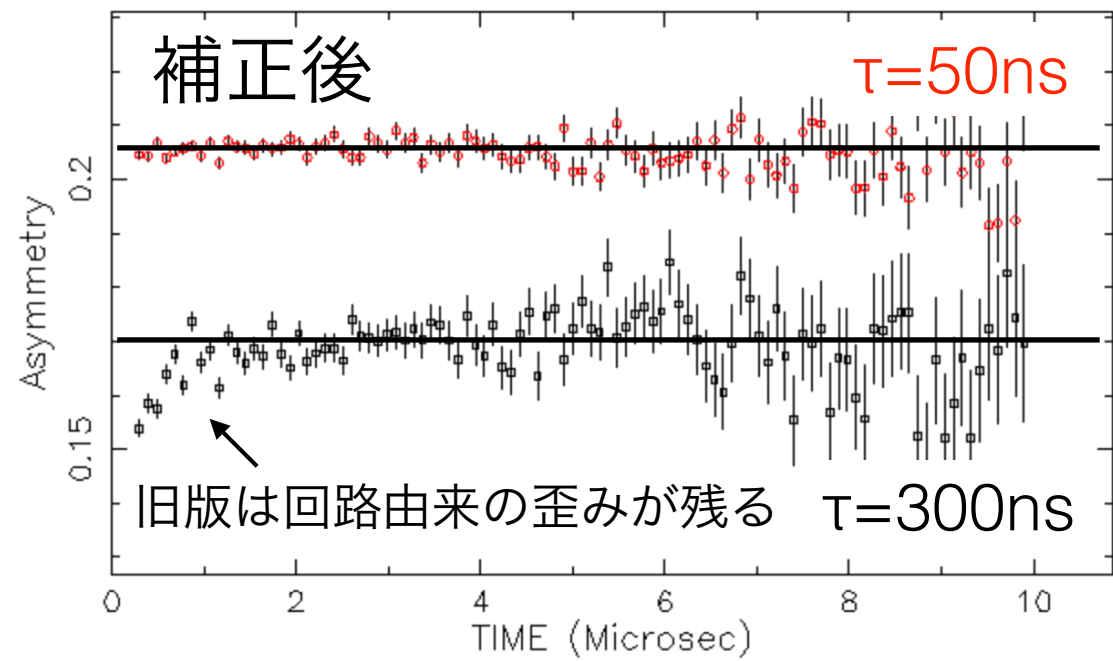
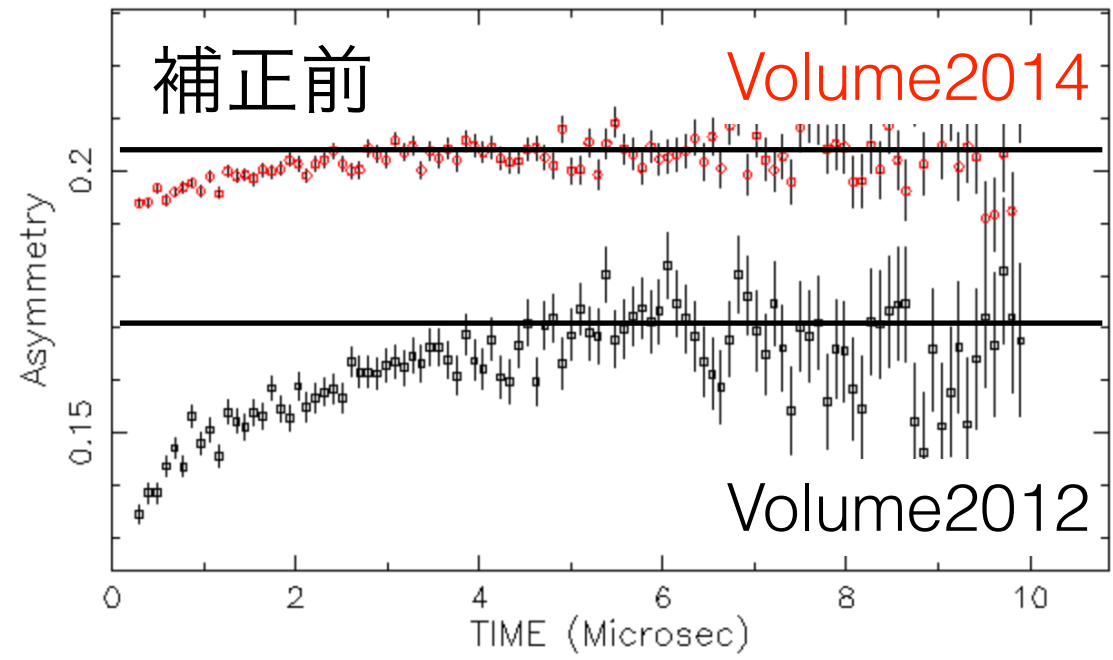
2: MS1 (2016) # 101191: "Al100x100 LF=100G VOLUME2014 DACS=30 00 00 01"

Al 100x100, slits 50all full beam at S1: ~200M events/h



# $\mu$ SRスペクトル ( $Asy=(B-F)/(B+F)$ : 実験者が解析するもの)

AI 100x100, slits 50all full beam at S1: ~200M events/h



新版アナログボードは  
~200Mevents/hourの  
ヒットレートでも  
数え落とし補正可能  
(回路由来の歪みなし)

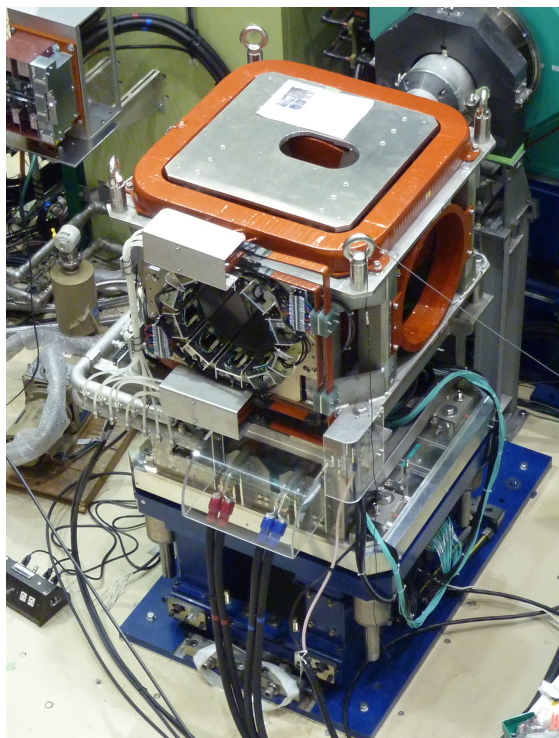
200kW運転→40M/hour  
x5  
1MW運転→200M/hour

S1分光器「アルテミス」は  
MLFの1MW運転に耐える

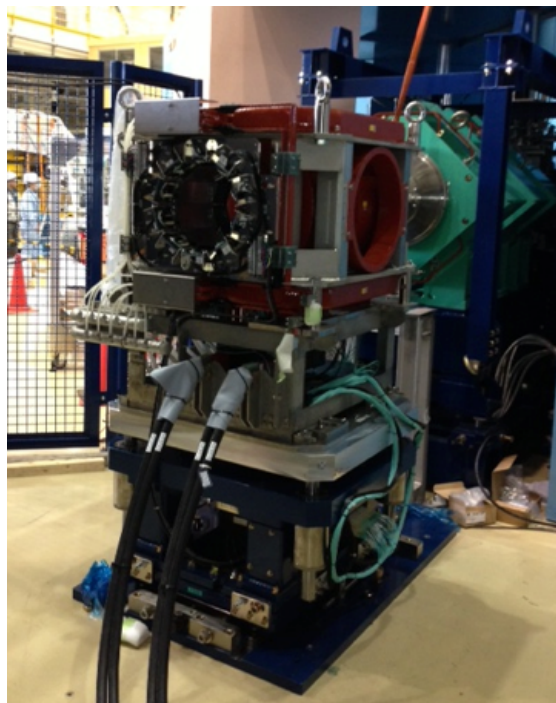


# MLFの $\mu$ SR分光器:Volume2014化

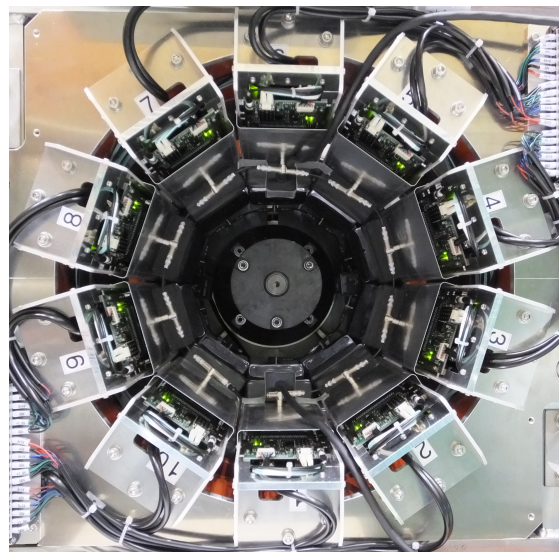
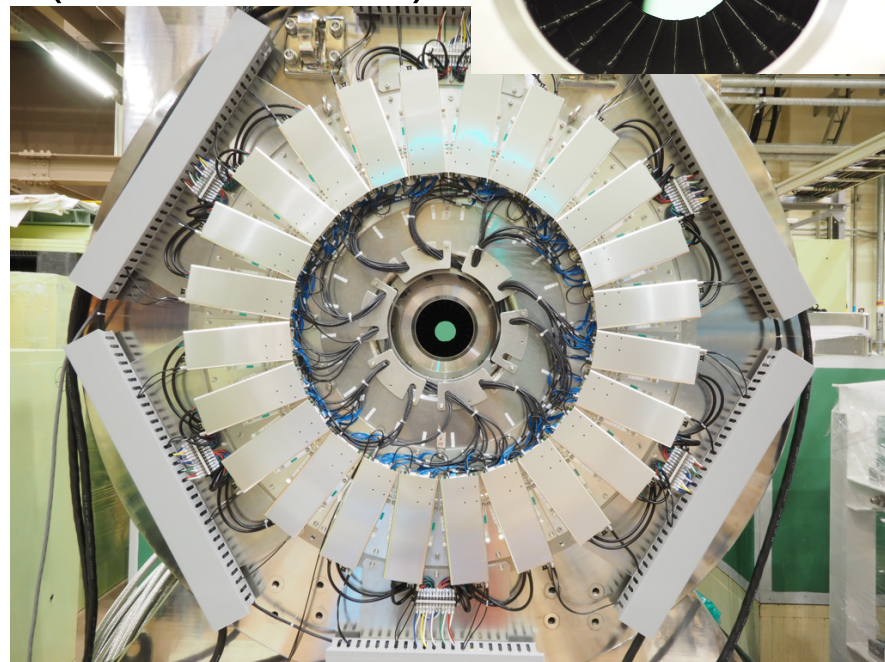
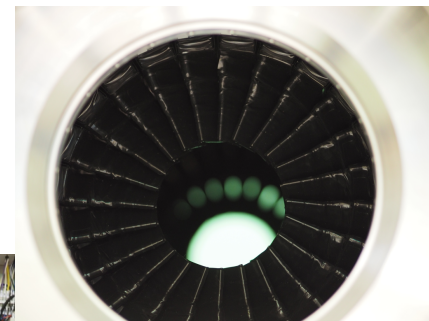
✓D1分光器



✓S1分光器  
(ARTEMIS)



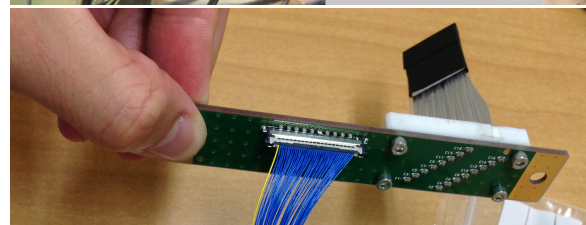
5Tesla分光器  
(CYCLOPS)



1280ch分光器

1cm<sup>3</sup>シンチ

Kalliope 40台



3008ch分光器

□1x1mmファイバ

Kalliope 94台



# Outline

- ARTEMIS分光器とは ——— 2 page
- パルス $\mu$ SR分光器のスペック ——— 2page
- ビームの質の向上（チューニング） ——— 3 page
- Kalliope検出器 ——— 3 page
- アナログボードのアップグレード ——— 7 page
- MPPC温度管理の問題・解決法 ——— 2 page
- 中性子ほかへの応用 ——— 1 page

# MPPCと熱の問題と対策：電磁石励磁と発熱ドリフト改善 20



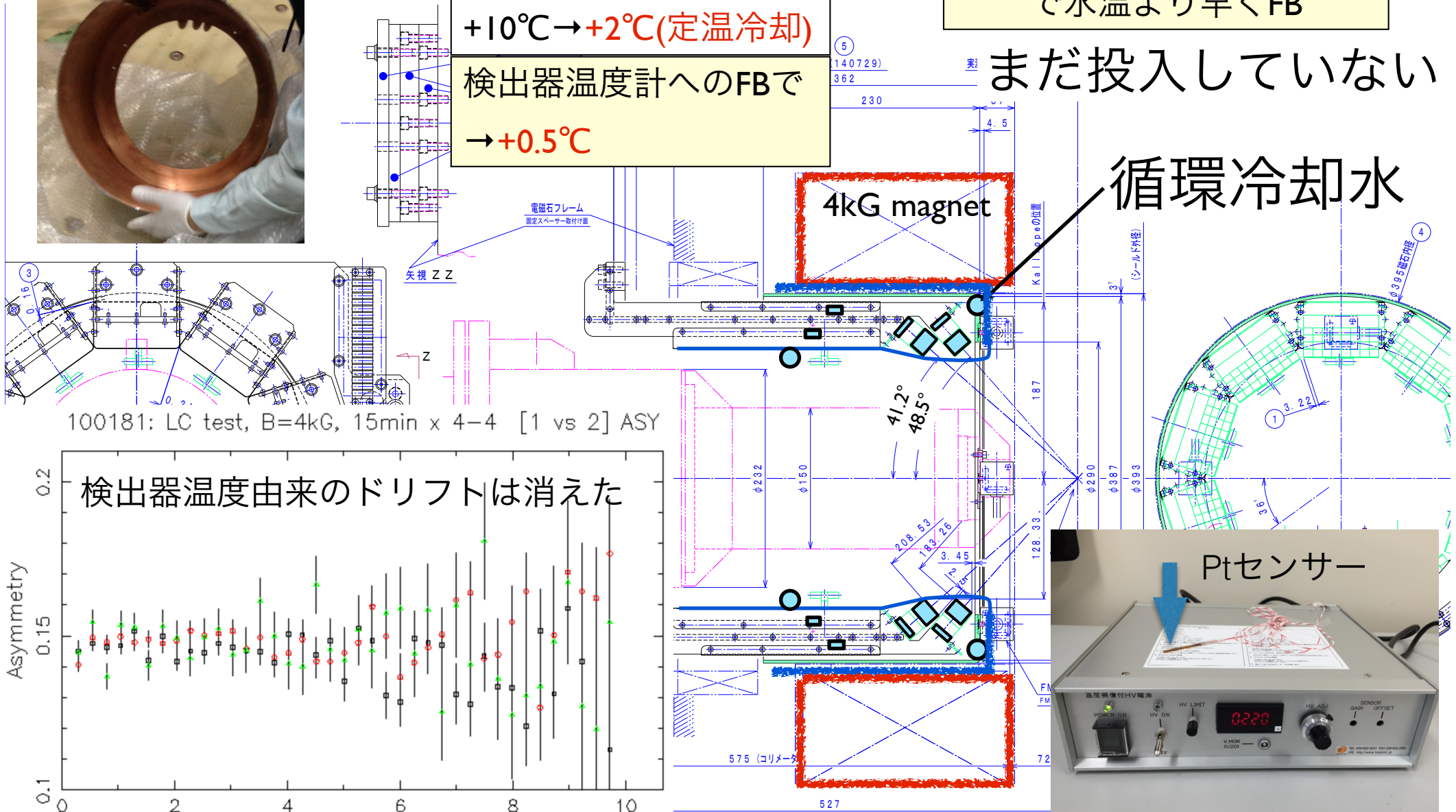
電磁石と検出器の間に  
水冷式の遮熱板を導入  
電磁石通電で  
**+10°C → +2°C (定温冷却)**

検出器温度計へのFBで  
**→ +0.5°C**

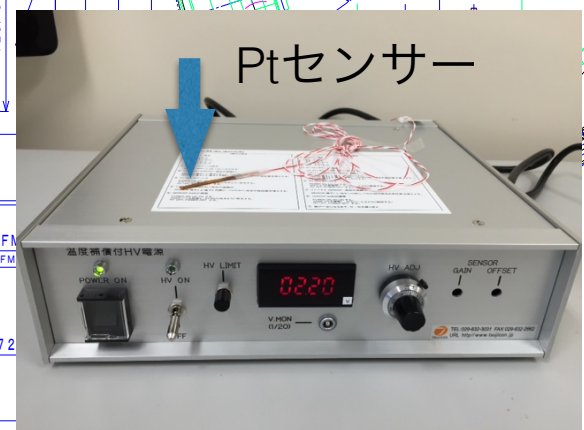
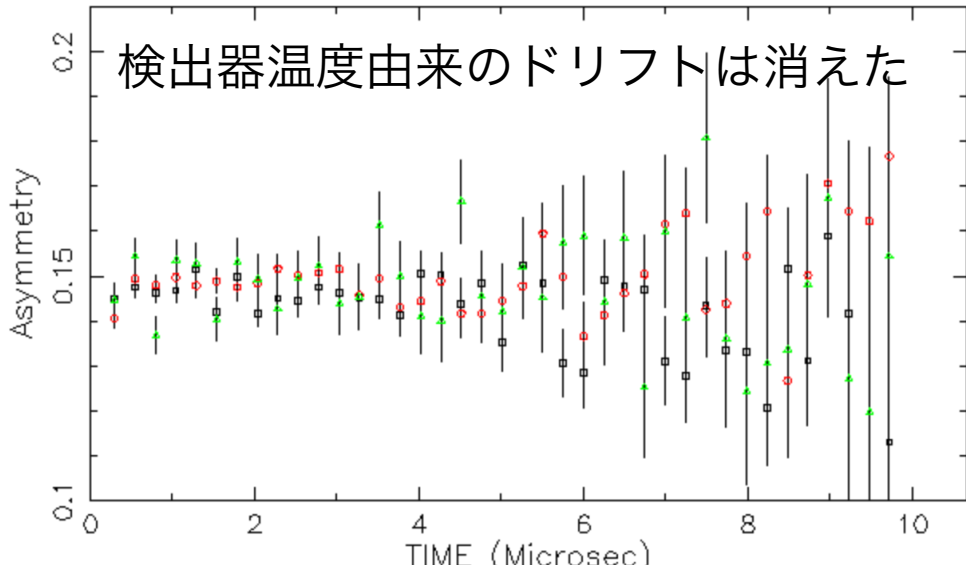
**HVへの温度フィードバック**  
50mV/°C × 0.5°C = 25mV程度  
で水温より早くFB

まだ投入していない

循環冷却水

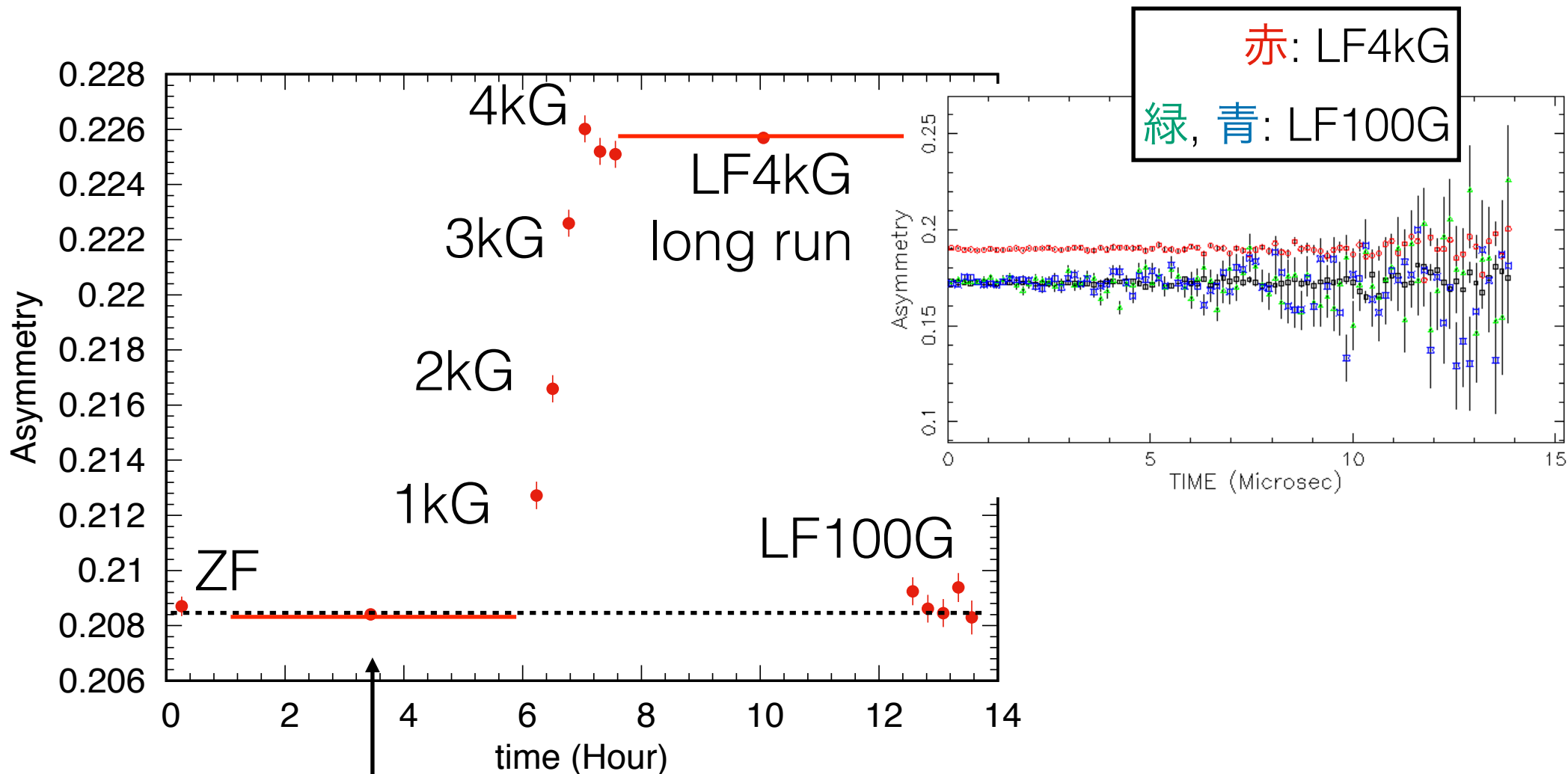


100181: LC test, B=4kG, 15min x 4-4 [1 vs 2] ASY



# 磁場/時間安定性のチェック

Target Ag16x16mm<sup>2</sup> Taiko, HV 68.2V, SSL1 UD/LR=20/50, SSL2 50/20



LF100G  
long run

LF4kGの後のLF100Gのasymmetryは  
約9時間前と同じasymmetry。

検出器測温PID制御の循環冷却水だけで、  
温度由来のドリフトは消えた。

# BL10の中性子イメージングの読み出し回路として

座長 三原智 (KEK素核研)

14:35 - 15:00

超伝導中性子検出器によるイメージングのためのKalliope-DC処理系

宍戸寛明 (大阪府立大学)

- ファームウェア変更(BBT石綿さん)

時間レンジはミュオン：64 $\mu$ sあれば十分→中性子：40ms必要

- TDCを16bit x 1ns→32bit x 1ns (=4.2s full range)

- ヒットがあったらすぐデータ転送のDC的な動作モード

- 他への応用もたくさんあるはず。(RCNP MuSICとか?)

- DAQプログラム変更(KEK山形さん)

- sitcp\_dump.cc  
(生パケットをディスク記録)

- BL10のスリット全開でも

取りこぼさなかった

(検出効率が数%だから?)

# KalliopeとARTEMISのまとめ (2016)

- Kalliope陽電子検出器(1ns時間分解能・64 $\mu$ s時間窓32chTDC)
- 1280chの汎用 $\mu$ SR分光器（同型機）を2台製作し、MLFのDIとSI実験エリア（=SI-ARTEMIS分光器）に設置した。
- Volume2012→Volume2014のアップグレードでレート耐性が6倍に向上
- 検出器温度管理：対策済み。常伝導磁石の温度上昇はMPPCで、もはや観測されない。
- IMW運転までこの分光器でOK。IROHA2自動計測開始。
- DC測定モード(1ns分解能・4.2s時間窓32chTDC)を開発。中性子イメージングに利用開始。

# 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, 庄子正剛, 村上 武

(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, 友野 大(阪大 RCNP),  
石田武和, 穴戸寛明(府大), 宮嶋茂之(NICT)

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。

