

LEPS2 TOF測定用RPCおよびその 読み出しシステムの開発

計測システム研究会@J-PARC

2014/11/20

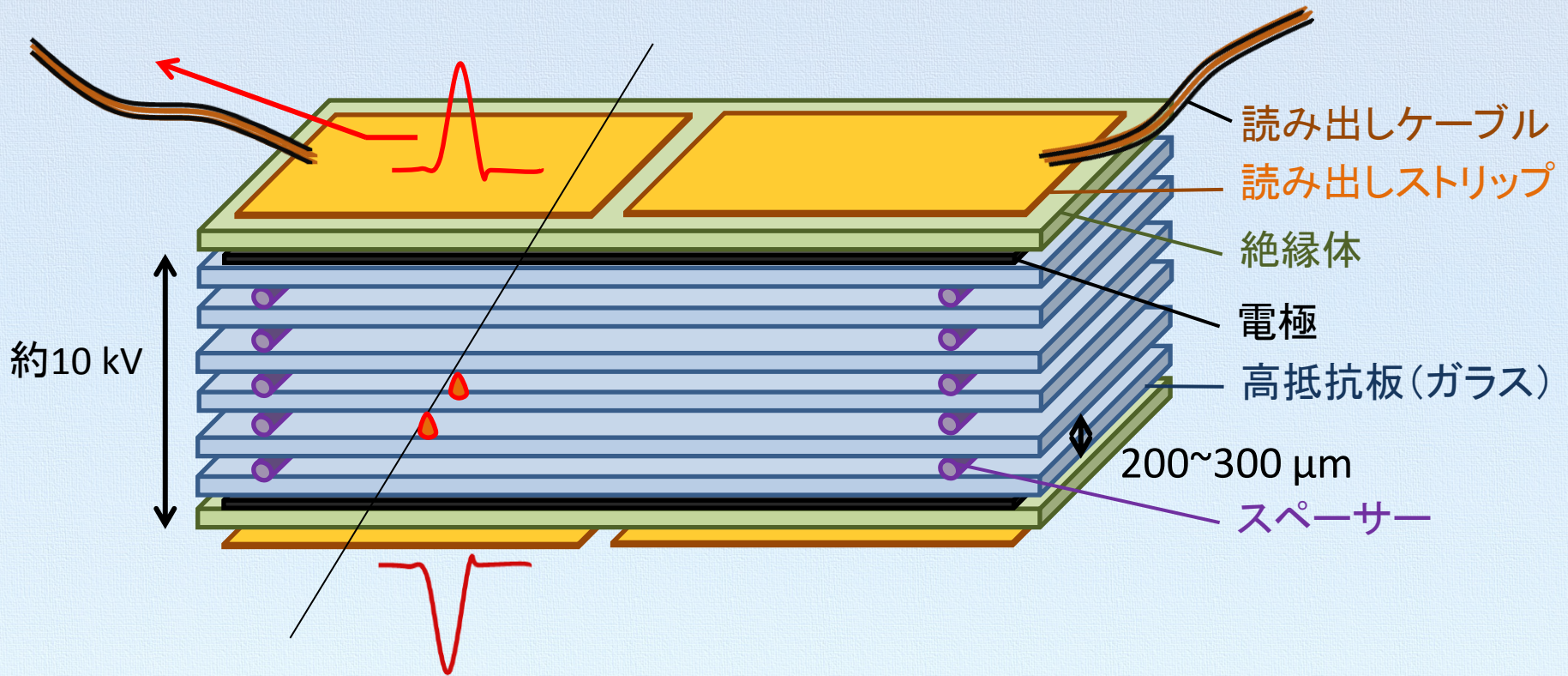
京都大学 原子核ハドロン研究室

D3 富田夏希

Contents

- Resistive Plate Chamber (RPC) とは
- LEPS2 RPC のチャレンジ
- LEPS2
 - BGOegg実験 (2013~)
 - LEPS2実験 (2016~)
- RPC の製作/テスト (2010~)
- 読み出し回路開発 (2012~)
- BGOegg RPC (2013~)
- BGOegg RPC の performance (2014)

Resistive Plate Chamber (RPC)



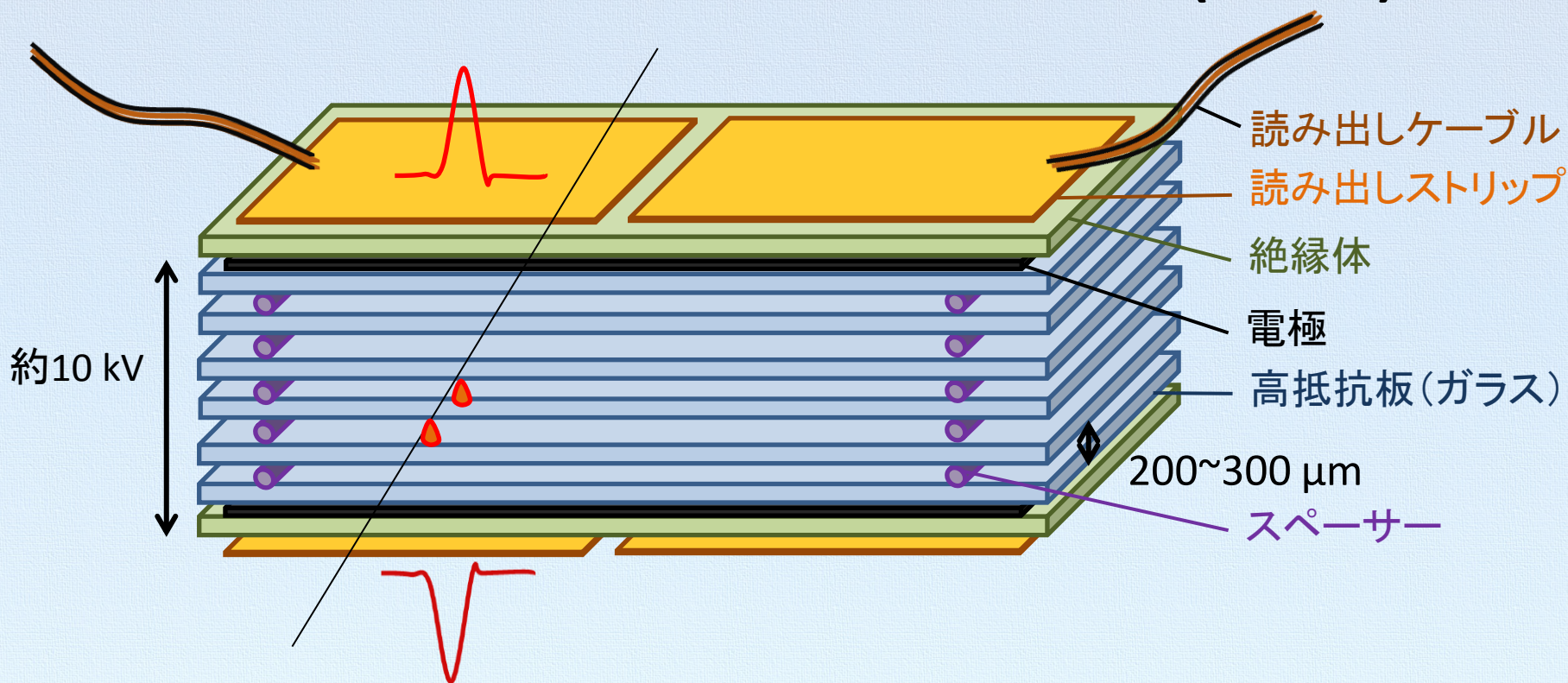
- 高抵抗板を複数枚並べたガスチェンバー
- 高抵抗板の間(ギャップ)で電子を増幅
- 最外層の読み出しパッドに信号を誘起

低コスト

高い時間分解能(<50ps)

磁場中で使用可

Resistive Plate Chamber (RPC)



- 高抵抗板 → 放電を避ける
- 狭いギャップ
→ ドリフト時間のばらつき小 → 高時間分解能
- 複数のギャップ → 十分な検出効率、高時間分解能

オペレーションモード

ストリーマーモード

- $e^- > 10^8$ 紫外線
- Arガス
- ギャップ幅 ~ 2 mm
- シングルギャップ
- 信号 大 (数10 mV)
(アンプ不要)
- 時間分解能 ~ 1 ns
- レート耐性 \sim Hz/cm²
ミューオントリガー
宇宙線
Belle, ATLAS, OPERA,...

アバランシェモード

- $e^- < 10^7$ ←
- フロンガス(高電気陰性度)
- ギャップ幅 200-300 μ m
- マルチギャップ
- 信号 小 (数mV)
(アンプ必要)
- 時間分解能 ~ 50 ps
- レート耐性 \sim kHz/cm²
TOF
ALICE, STAR, FOPI, ...
LEPS2で日本初採用

LEPS2 RPCのチャレンジ

高時間分解能

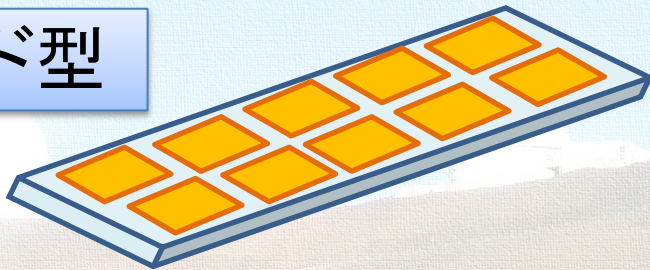
TOF システムとして $\sigma\text{TOF}=50\text{ps}$

-読み出し回路、TDCを含む

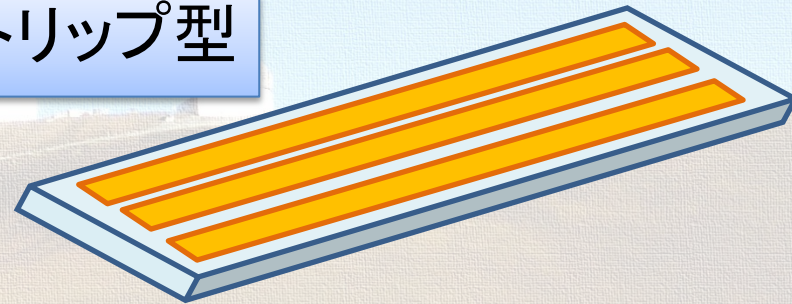
大面積読み出しストリップ ($\sim 100\text{cm}^2/\text{ch}$)

チャンネル数削減 (typical : $\sim 10\text{cm}^2/\text{ch}$)

パッド型



ストリップ型



パッド型読み出し

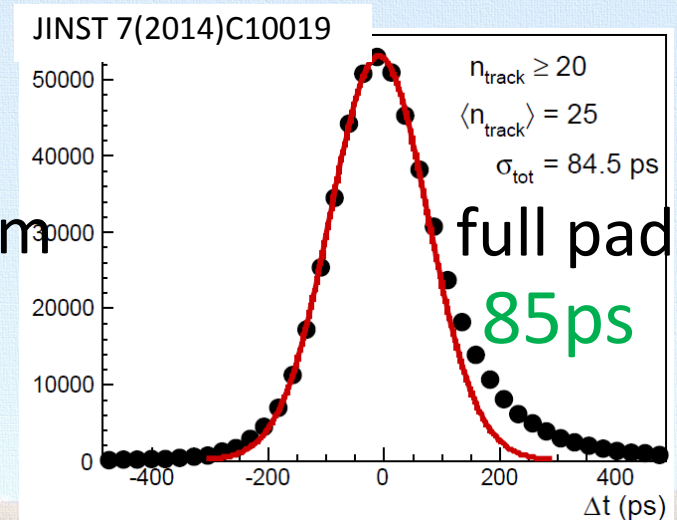
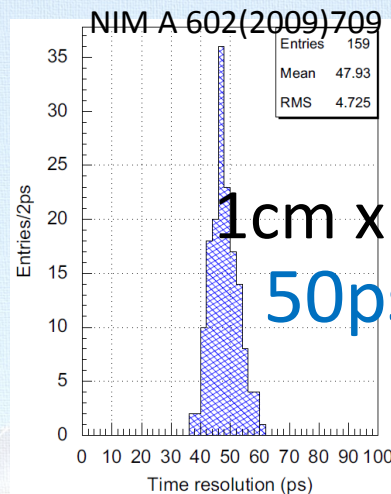
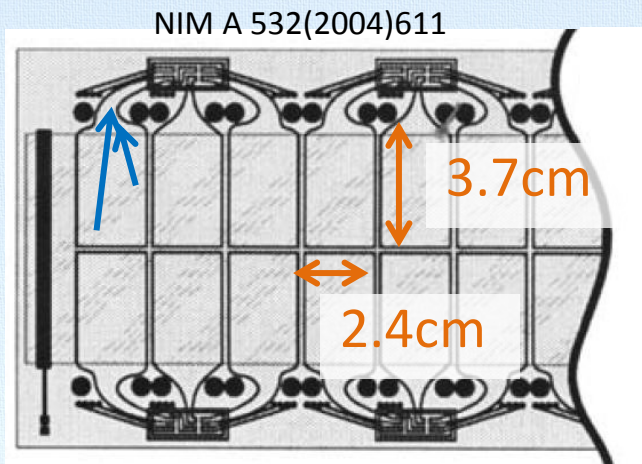
~10cm² 読み出しパッド

- ALICE : 2.4 cm x 3.7 cm
- STAR : 3.15 cm x 6.3 cm

- 初期のTOF-RPC (2000年代~)

伝搬中の信号の変形が小さい

ALICE RPC



- 信号の伝搬 ~50ps/cm
- Hit positionの不定性が時間分解能に影響



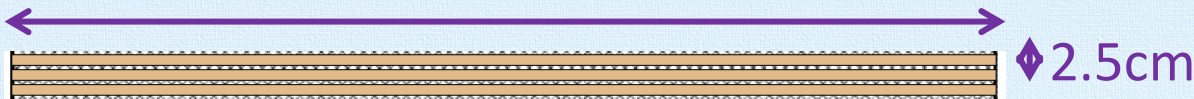
- パッド型では50ps達成は難しい
- 大面積化も難しい

ストリップ型読み出し

- 2010年代~ • CBM
- 両読みで平均を取る
 - > Hit position の不定性による影響がない
- 大面積化が可能

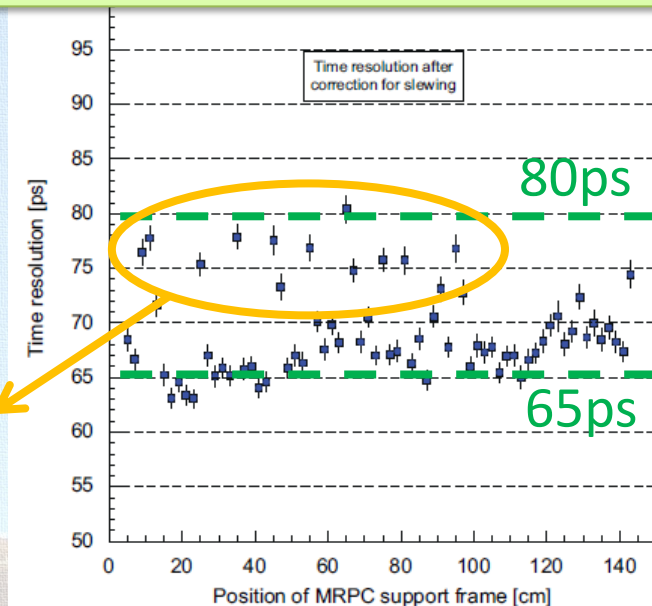
M. Abbrescia et al. NIM A 593(2008)263

180cm



読み出しストリップとアンプのインピーダンスミスマッチにより信号が変形

Time resolution vs Position



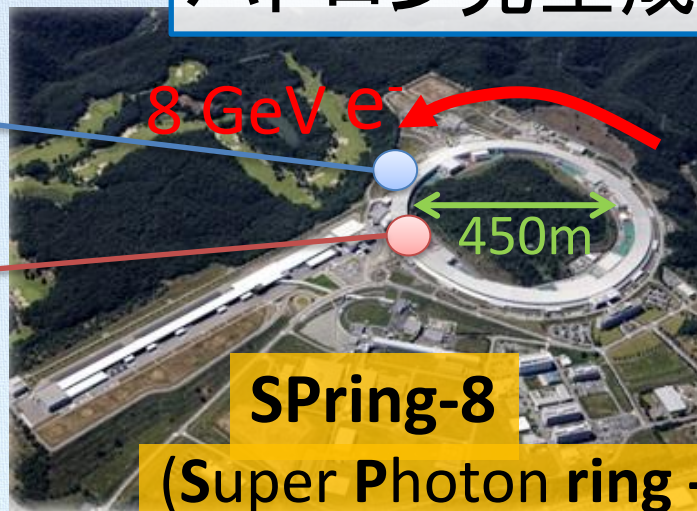
ストリップ型は読み出し回路に工夫が必要

50ps達成はチャレンジング

LEPS2

Laser Electron Photon experiment at SPring-8

ハドロン光生成実験



LEPS2

(2013~)

LEPS

(2000~)

放射光

物質科学
生命科学

SPring-8

(Super Photon ring - 8GeV)

γ 線ビーム

SPring-8

LEPS

LEPS2

3.5 ~ 4.7 eV Laser

8 GeV e^-

1.5 ~ 3.0 GeV γ -ray

逆コンプトン散乱

ハドロン光生成

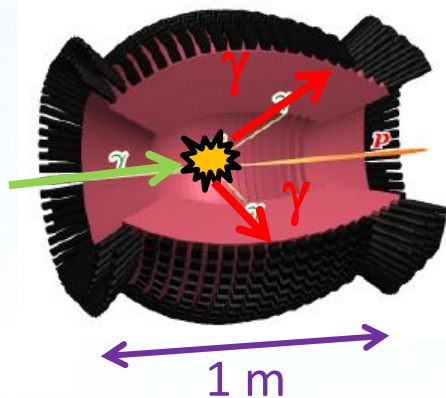
- エキゾチックハドロン
- 媒質中でのハドロン
の性質

LEPS2

- 大立体角検出器 (LEPS:前方のみ)
- 10^7 cpsのビーム強度 (LEPS: 10^6 cps)

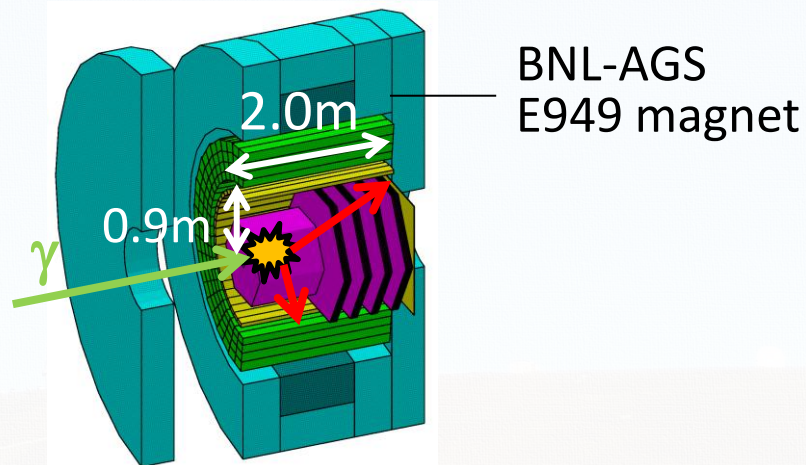
BGOegg実験

- 2013~
- 電磁カロリメーター
($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ クリスタル)
- γ 線 (高分解能)



LEPS2実験

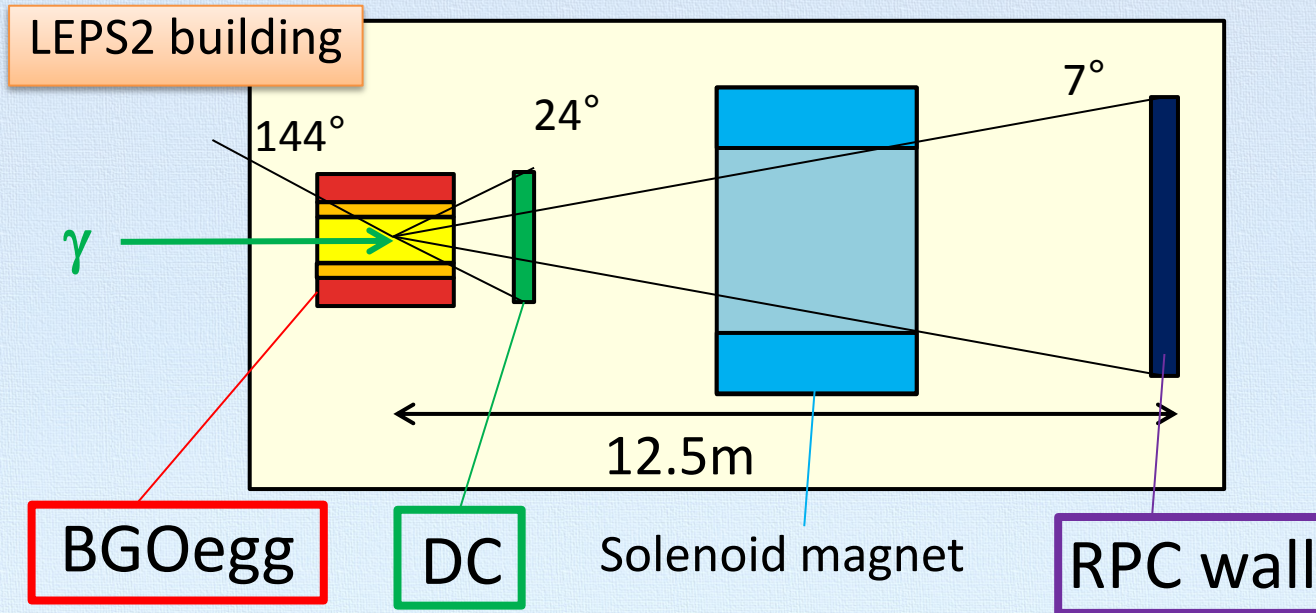
- 2016~
- ソレノイドスペクトロメーター
- 荷電粒子/ γ 線



両方に TOF用 Resistive Plate Chamber を使用

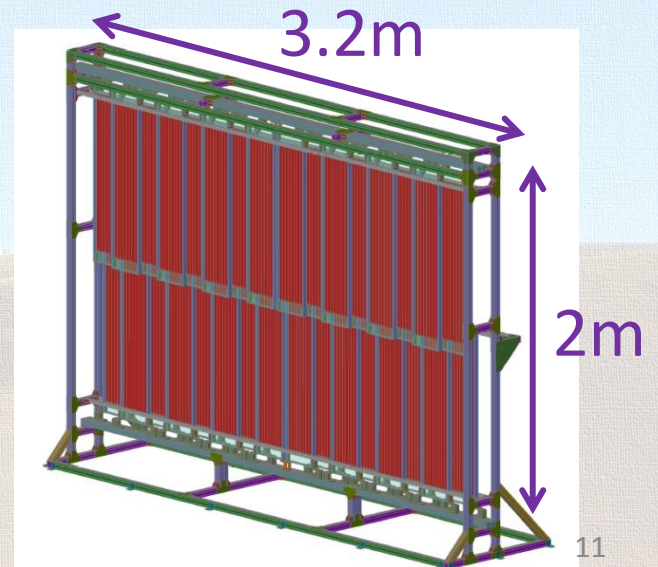
大面積読み出しストリップ/高時間分解能

BGOegg RPC

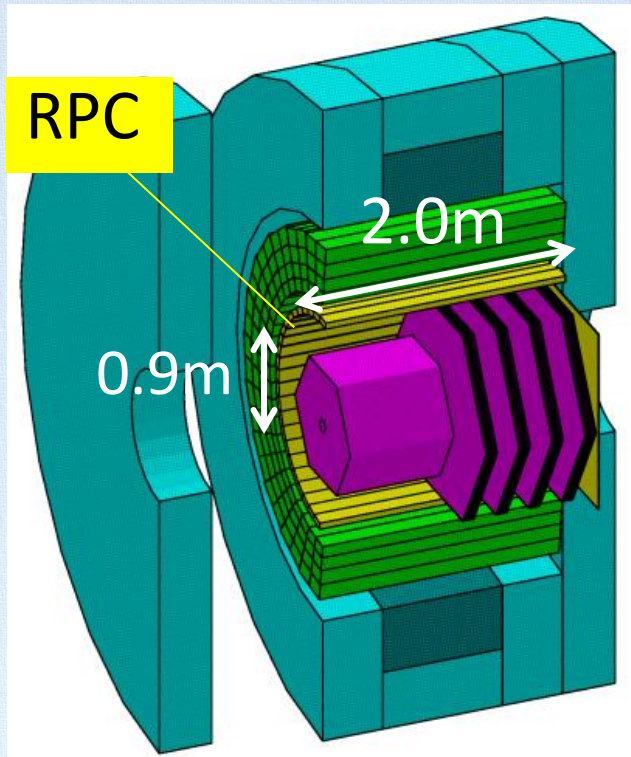


- TOFによるエネルギー測定
- 2.1 GeV/c 陽子 $\Delta E=12.5\text{ MeV}$
-> $\Delta\text{TOF}=50\text{ps}/12.5\text{m}$
- TDC/ADC 350ch (260ch)
-> $180\text{cm}^2/\text{ch}$ の読み出しストリップ

制作済み/稼働中



LEPS2 solenoid RPC



- バレル部分 10m^2
- $1.1\text{ GeV}/c$ 3σ K/π separation
 $\Rightarrow \sigma\text{TOF} = 50\text{ps}$
- チャンネル数 1000ch以下
 $\Rightarrow 100\text{cm}^2/\text{ch}$ 以上の読み出しストリップ
- 検出効率 99%以上

LEPS2 RPC 開発目標

TOFシステムの時間分解能 $\sigma\text{TOF} = 50\text{ps}$

$180\text{cm}^2/\text{ch}$ 以上の大面積読み出しストリップ

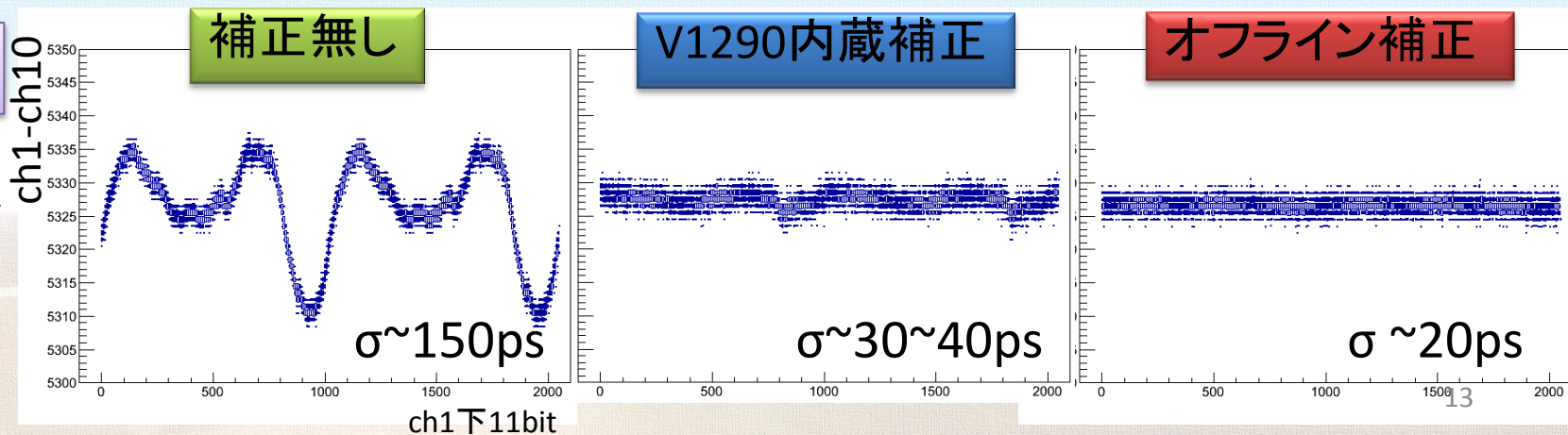
TOFシステムの時間分解能

TOF resolution 内訳

START	RF信号	4 ps
	e ⁻ バンチ幅	14 ps
TDC	TDC (CAEN VME V1290A (HPTDC))	20-30 ps (offline correction)
STOP	RPC intrinsic	~25 ps
	ストリップ伝搬 + 読み出し回路	< 30 ps
	total	50 ps

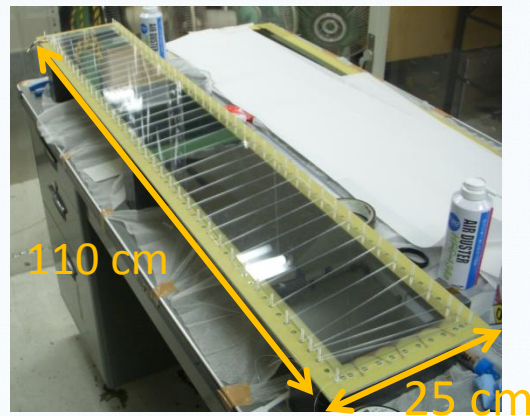
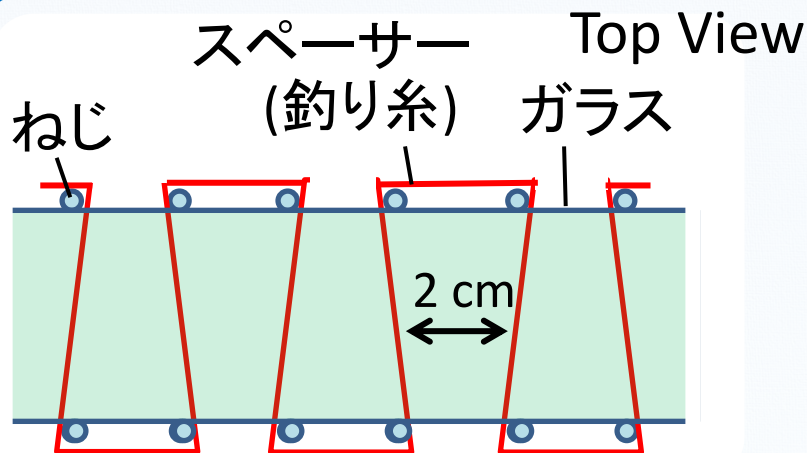
最重要
課題

V1290
Non-
Linearity



Resistive Plate Chamber の製作

- 手作り



ガス

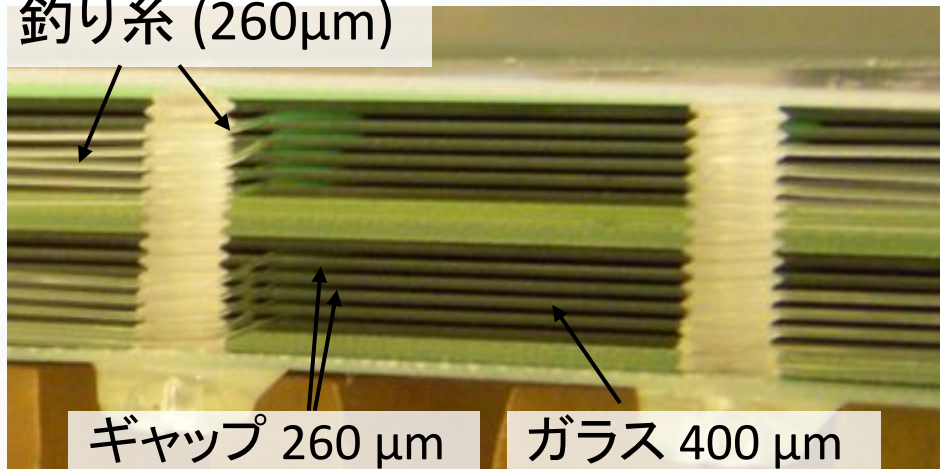
フロン (R134a) : 90%

SF6 : 5%

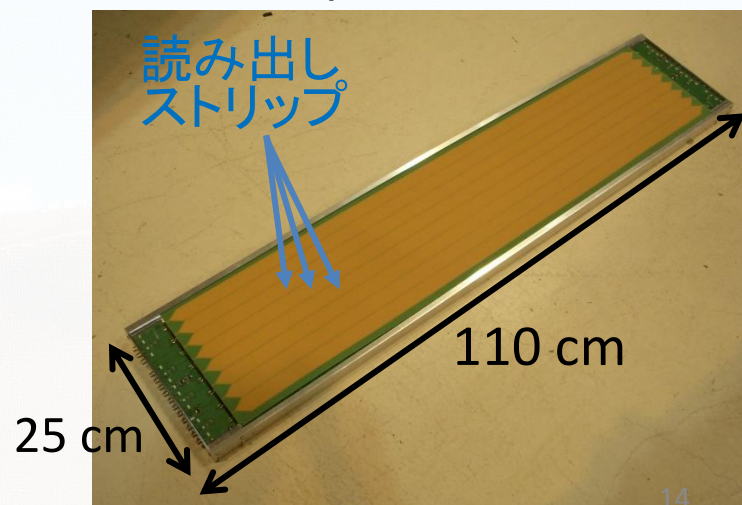
ボタン : 5%

Side View (ダブルスタック)

釣り糸 (260 μ m)

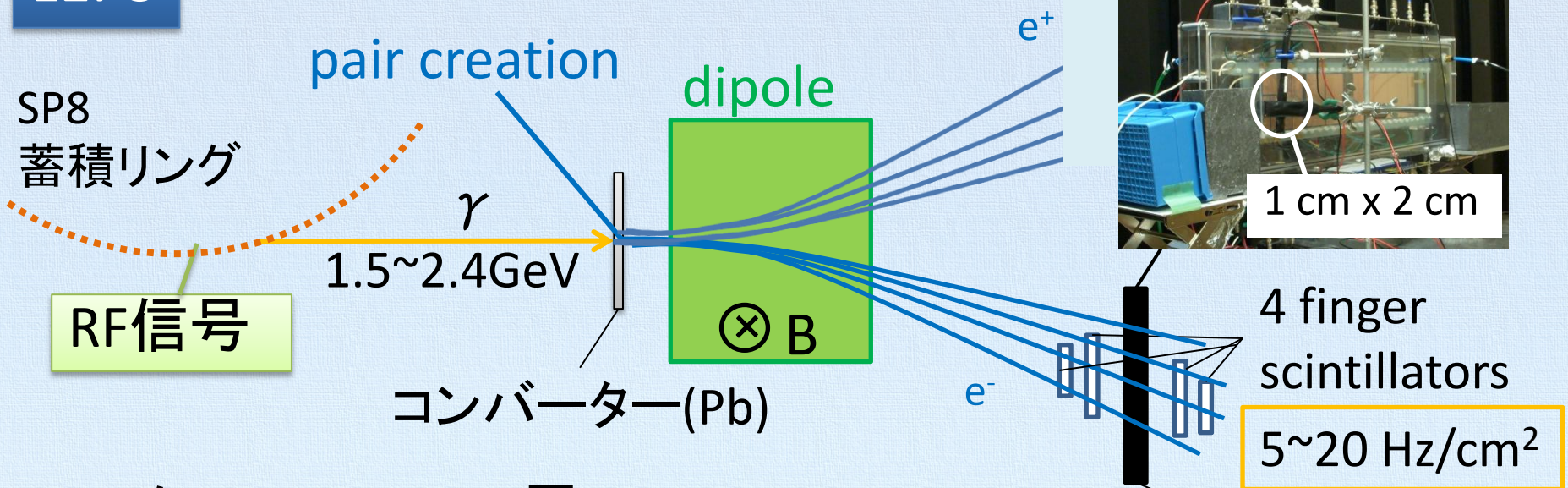


Top View



ビームテスト

LEPS

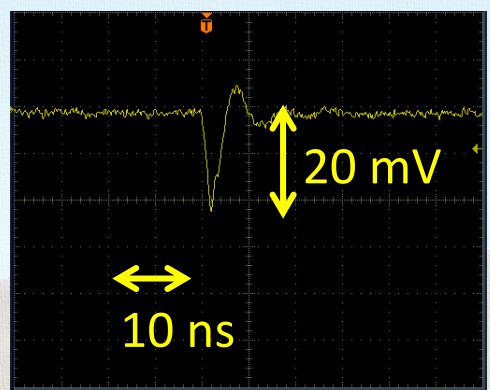


2010年～ NIM PMT用 amp

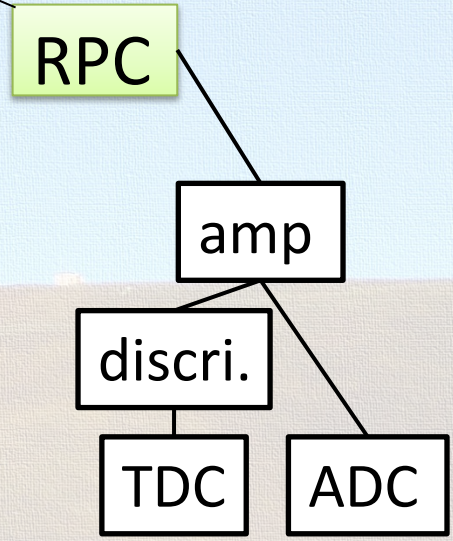
- ギャップ幅依存性
- ギャップ数依存性
- ストリップ形状依存性

2012年～ 読み出し回路開発

- 読み出し回路依存性



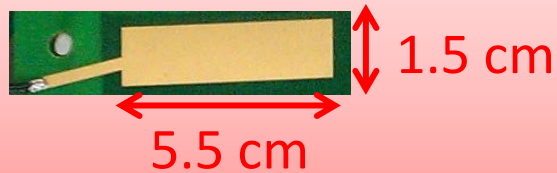
(NIM amp gain~4)



Slewing correction

ギャップ幅依存性

small pad (12,000ch)



104 μm x 14 gaps
148 μm x 12 gaps
260 μm x 10 gaps

狭いギャップ幅

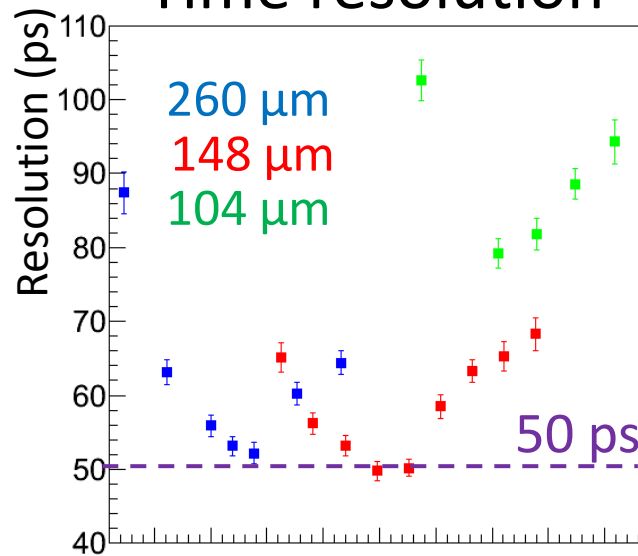


時間のばらつき
が小さい



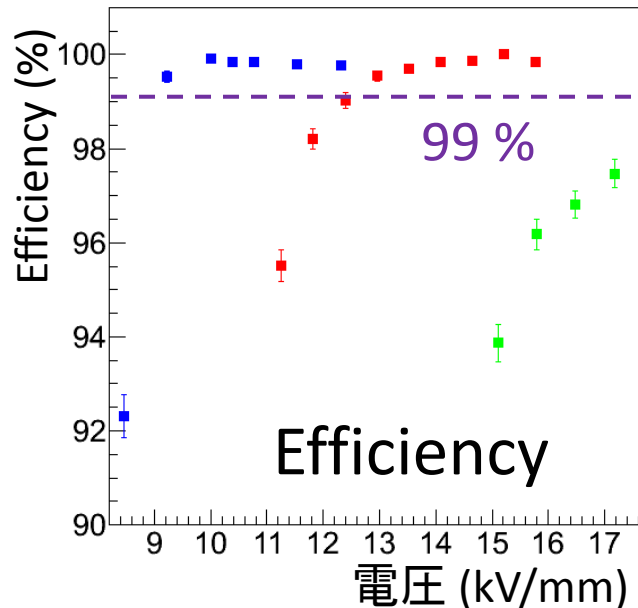
高時間分解能

Time resolution



148 μm / 260 μm
大きな違いなし

104 μm 狭すぎる



148 μm / 260 μm
50 ps / >99 %

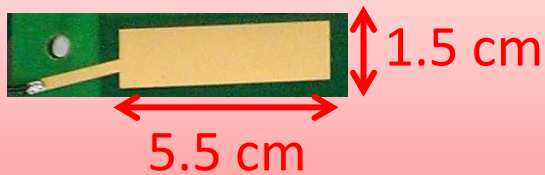
小さい読み出し
ストリップである
が目標を達成

ギャップ数依存性

260 μm

148 μm

small pad (12,000ch)



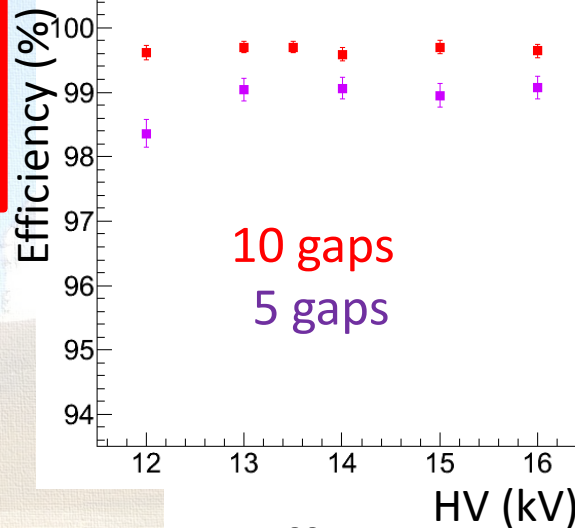
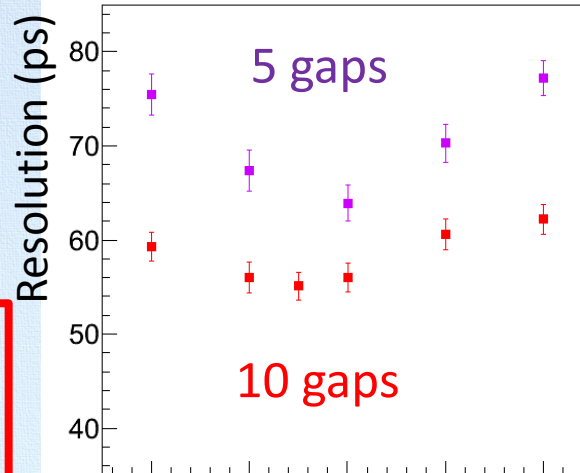
ギャップ数が多い

信号が大きくなる

高時間分解能

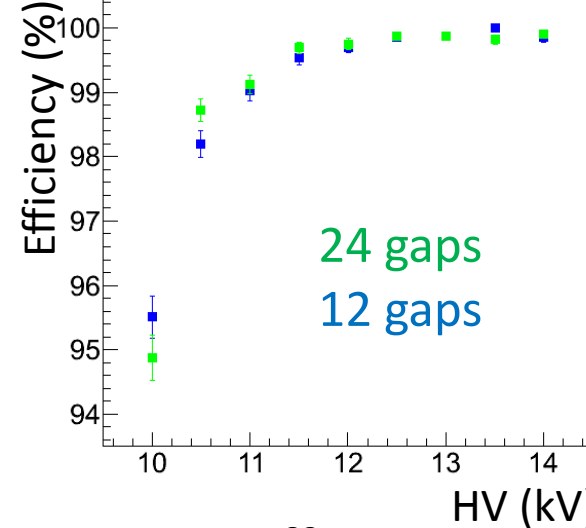
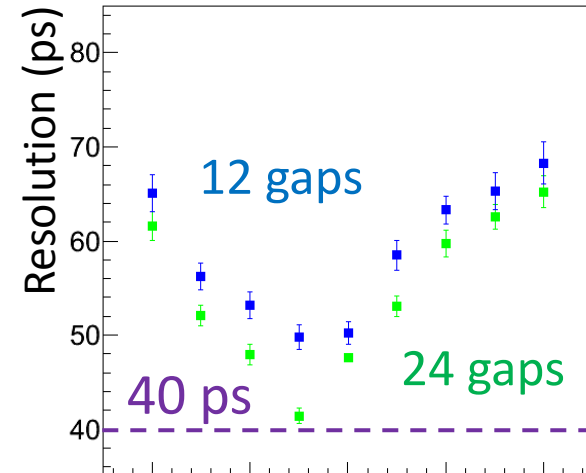
148 μm x 24 gaps
40 ps

Time resolution



Efficiency

Time resolution



Efficiency¹⁷

ストリップ形状依存性

Pad type

148 μ m x 12gaps

トリガー :  1cm x 2cm

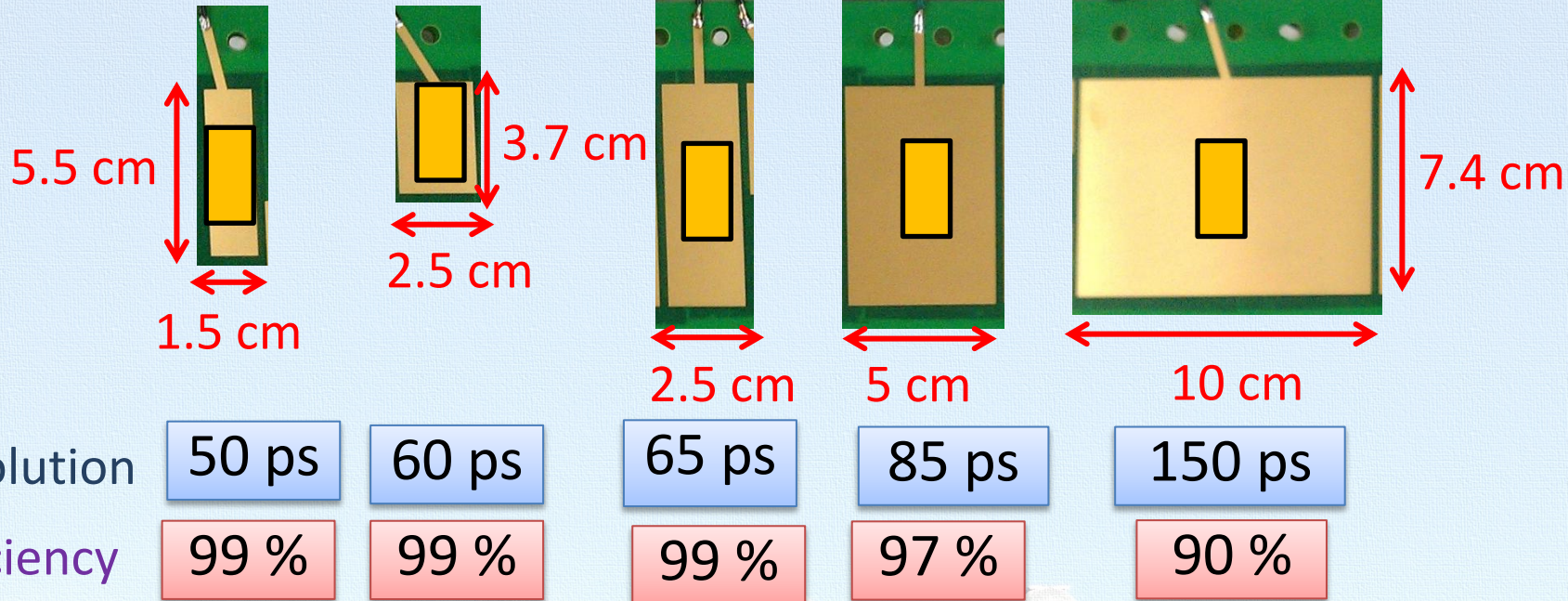
12,000 ch

11,000 ch

5,400 ch

2,700 ch

1,350 ch




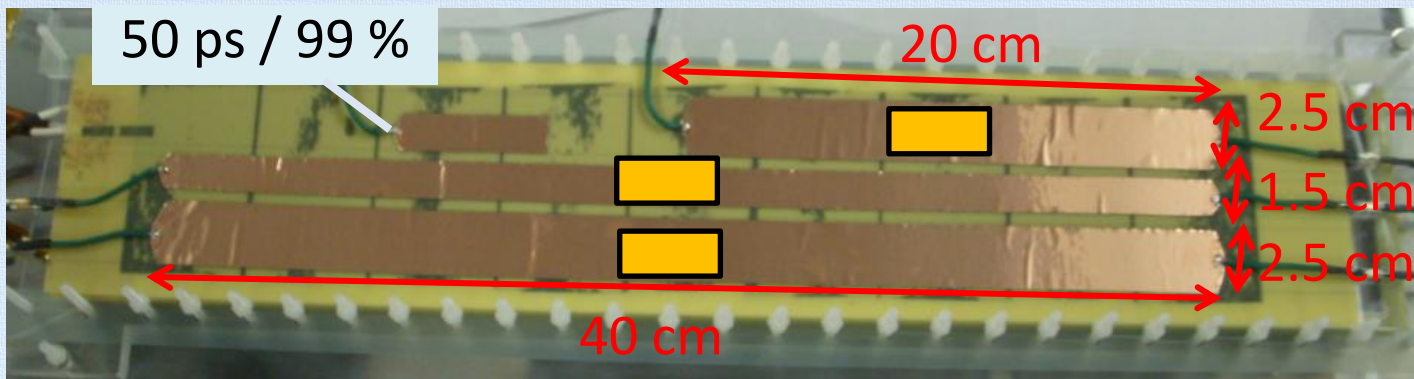
時間分解能/検出効率ともに面積が大きくなるにつれ悪化
(Hit position の不定性によるものではない)

信号の伝搬で波形が歪む影響

ストリップ形状依存性

Strip type

trigger 
1cm x 2 cm



Gap	Strip	Channel	Resolution	Efficiency
148 μ m 12 gaps	2.5 cm x 20 cm	4000	61 \pm 3 ps	93 %
	1.5 cm x 40 cm	3400	62 \pm 2 ps	96 %
	2.5 cm x 40 cm	2000	63 \pm 2 ps	90 %
260 μ m 10 gaps	2.5 cm x 20 cm	4000	56 \pm 2 ps	99 %
	1.5 cm x 40 cm	3400	64 \pm 2 ps	98 %
	2.5 cm x 40 cm	2000	61 \pm 2 ps	99 %

not enough

almost same

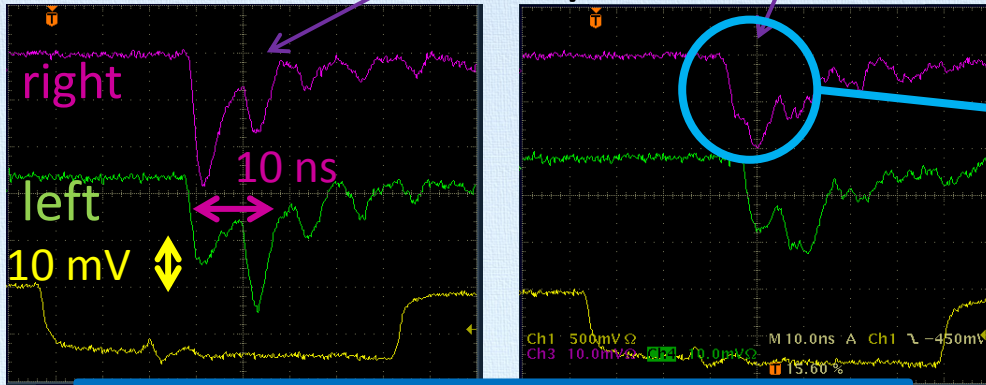
choose 260 μ m x 10gaps

try larger strip

ストリップ形状依存性

2.5 cm × 108 cm

- インピーダンスミスマッチにより信号が反射/変形



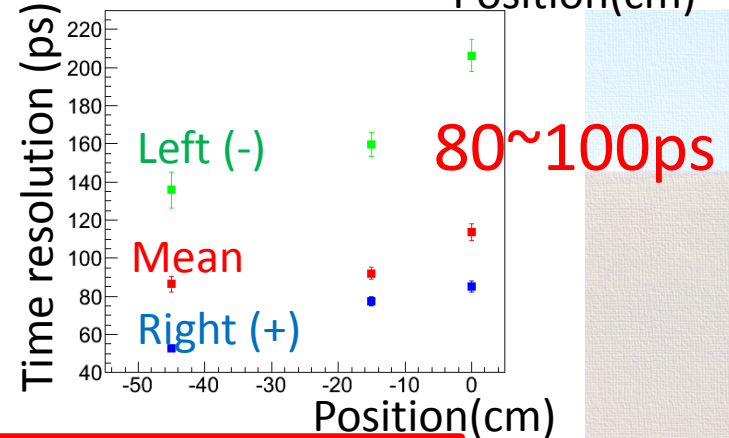
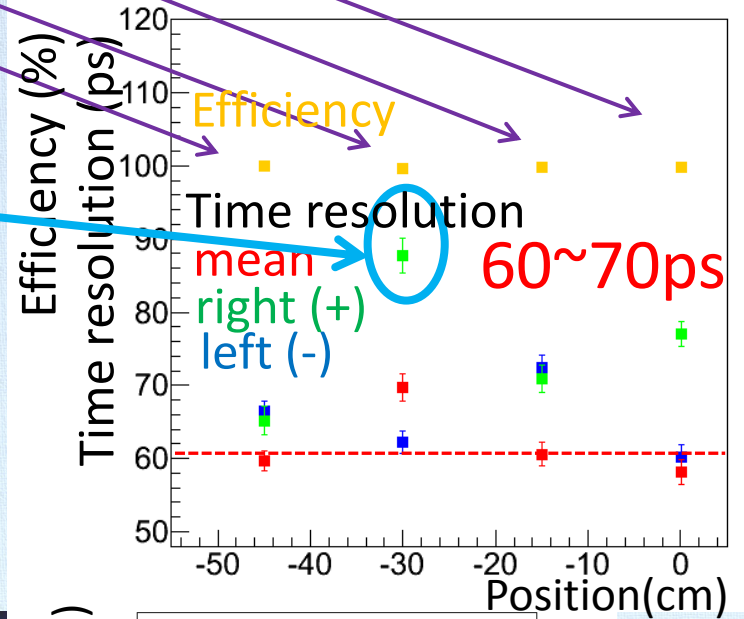
- 時間分解能の場所依存性

5.0 cm × 108 cm

- 変形大
- 時間分解能悪化



- strip 5~30 Ω
- NIM amp 50Ω



choose 2.5cm x 108cm (125cm²/ch, 800ch)

読み出し回路

- 台湾中央研究所と開発 (M.-L. Chu氏)

- アンプ

- インピーダンスマッチ
- 2chのSumを取る

ADC

チャンネル数削減

- ディスクリミネーター

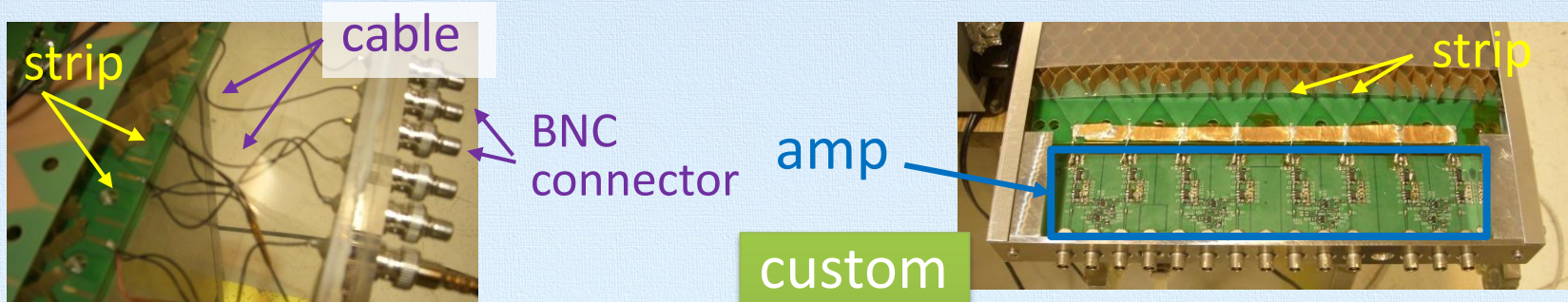
- ORボード

- 2chのOrを取る

TDC

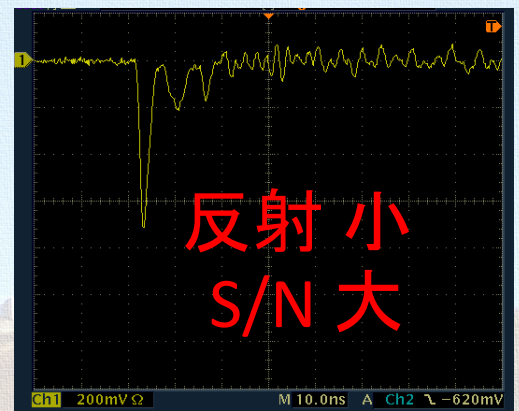
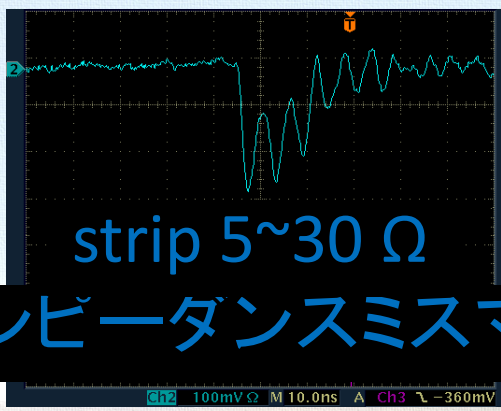
アンプ

- 時間応答の良い GaAc chip を使用 (RF3377, 2GHz 3dB B.W.)
- Gain ~200
- チェンバーの中に入れ読み出しストリップと直接つなぐ

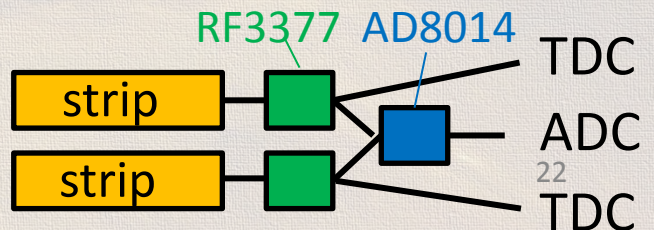


NIM
amp
(50Ω)

custom
amp
(30Ω)

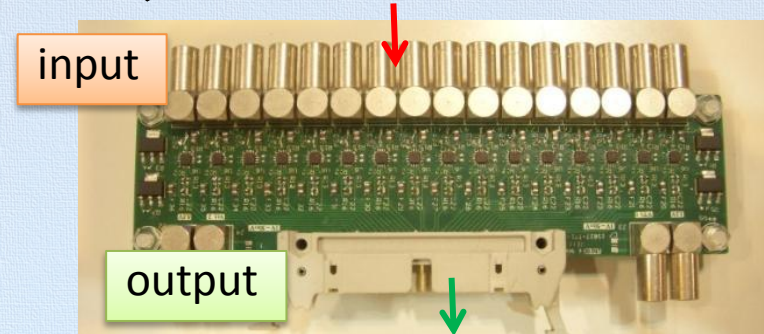


- RF3377はsumが取れないため後段のAD8014でADC用に2chの信号をsum



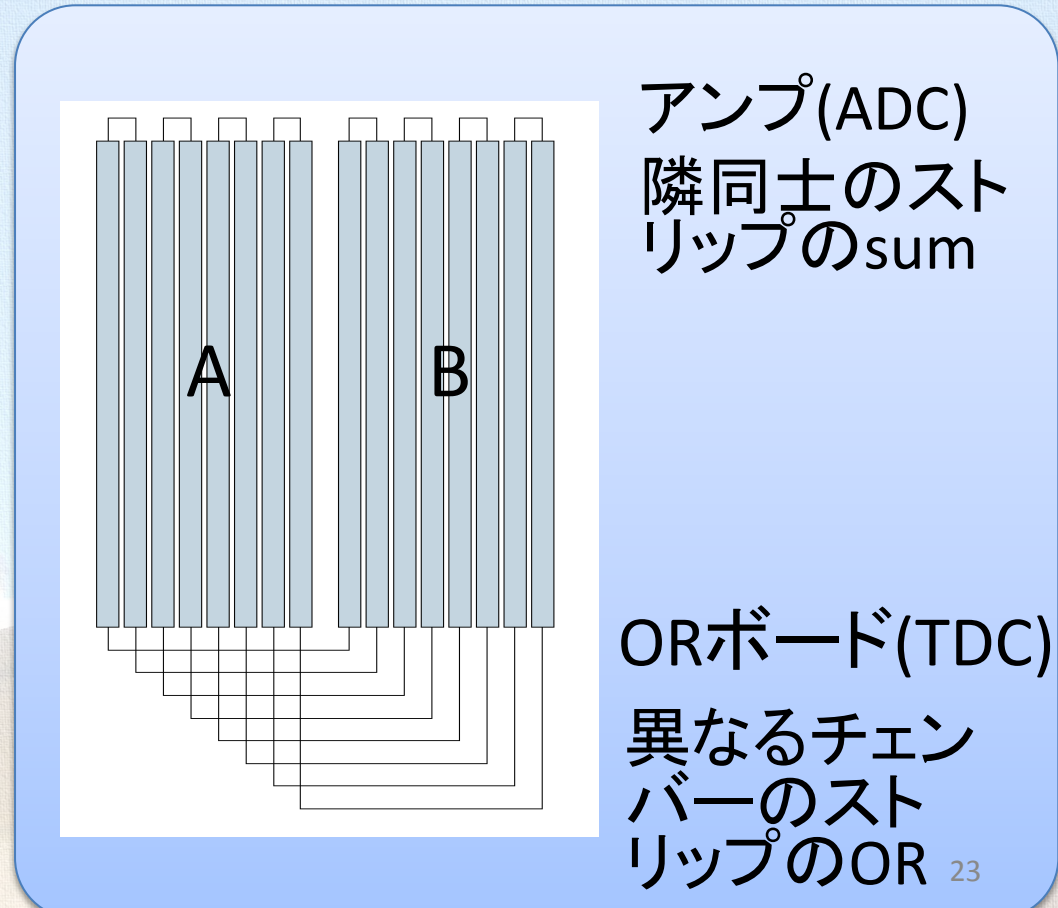
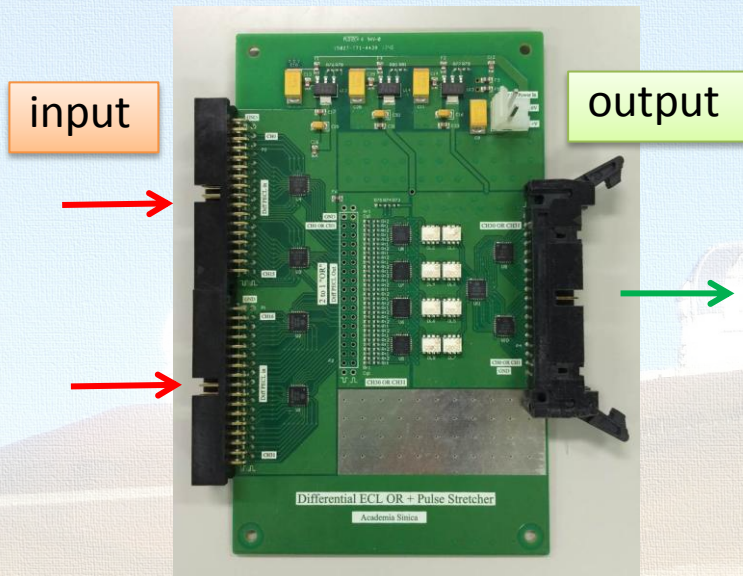
ディスクリミネーター

- 速いコンパレータ
(ADCMP573, $\sim 0.2\text{ps}$ random jitter)
- PECL output



ORボード

- MC100EP105 chip



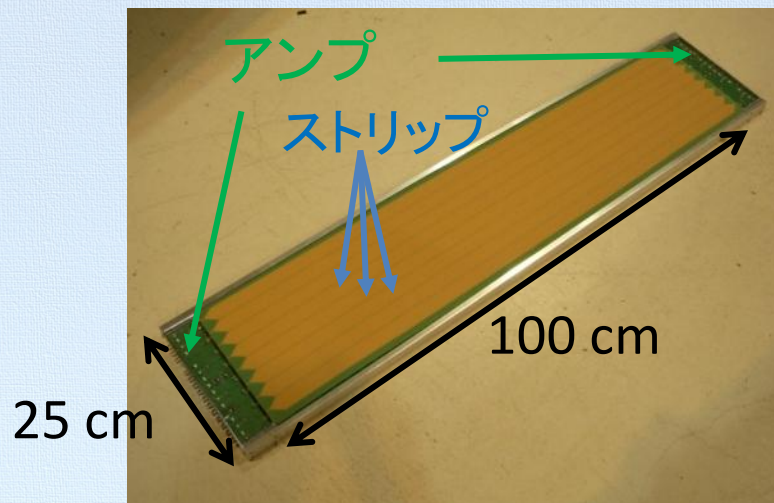
アンプ(ADC)
隣同士のスト
リップのsum

ORボード(TDC)
異なるチェン
バーのスト
リップのOR 23

最終ビームテスト

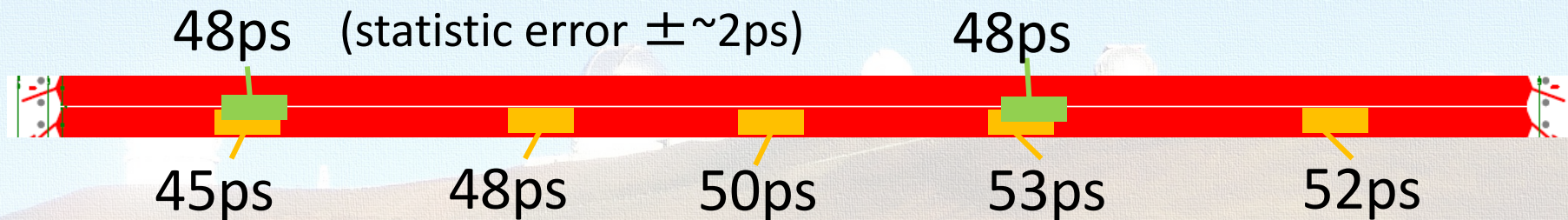
- 2013年7月
- ギャップ 260 μm x 10 gaps
- ストリップ 2.5cm x 100cm
ストリップ間 0.5mm
- 台湾製読み出し回路
- 250cm²/ch (400ch@LEPS2)

最終プロトタイプ



結果

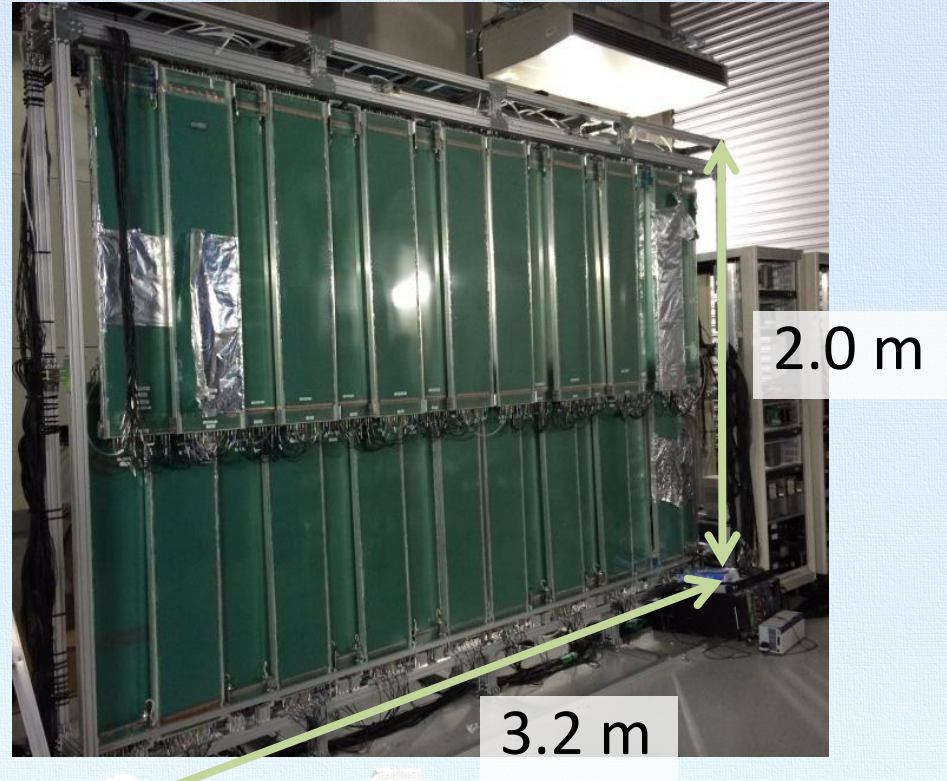
時間分解能 検出効率 > 99%



場所に依らず50psの時間分解能達成

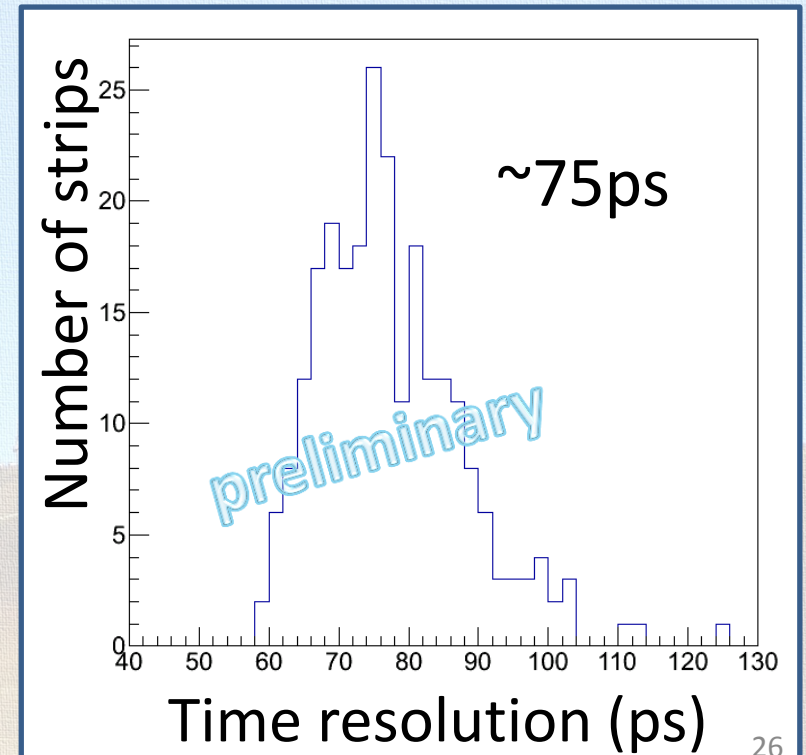
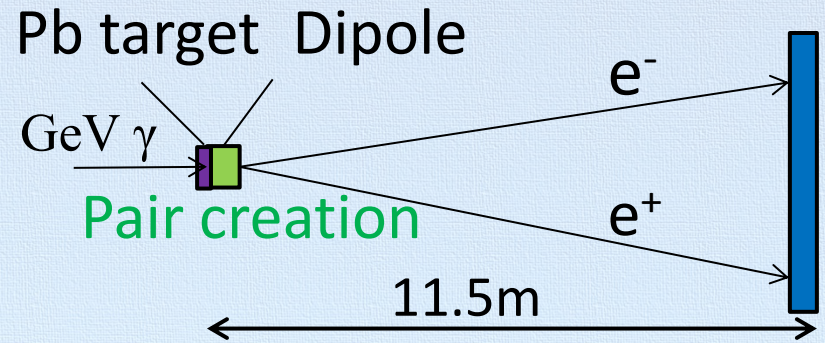
BGOegg RPC

- 16 x 2 modules
- 8 strip / module
- Total 256 strips (512ch)
- TDC V1290A : 256ch
- ADC FERA : 256ch
- 2013年10月 製作開始
- 2013年12月 一部インストール
- 2014年5月インストール完了



BGOegg RPC performance

- Electron beam を使って
時間分解能を評価
- 時間分解能 $\sim 75\text{ps}$
- クロストーク $\sim 100\%$
- Hitストリップの選び方
 - 最大のADCの2strip
 - 2stripのうち早い方
- アルゴリズム開発中
(まだ不定性有)
- 世界トップクラスの時間分解能を持つRPC-TOFシステム



まとめ

- LEPS2 TOF 測定用 Resistive Plate Chamber (RPC) を開発
 - BGOegg 実験
 - LEPS2 実験
- 大面積読み出しストリップ・高時間分解能 RPC
- 読み出し回路：インピーダンスマッチアンプ・OR回路
- $250\text{cm}^2/\text{ch}$ の大面積で $\sigma\text{TOF}=50\text{ps}$ を達成 (ビームテスト)
- 2014年5月 BGOegg実験用TOF-RPCインストール
- $\sigma\text{TOF}=75\text{ps}$ 解析中
- 世界トップクラスの時間分解能を持つRPC-TOFシステム