

MEG II実験のためのSiPMを用いた ポジロン時間測定器の研究開発

西村美紀(東大)
内山雄祐(素セ)、大谷航(素セ)、
M. de Gerone (Genova Univ.)、Flavio Gatti(Genova Univ.)
他 MEGコラボレーション
日本物理学会 2014年 年次大会
東海大学 湘南キャンパス

MEG実験

30pSD2 澤田

- 荷電レプトンフレーバー非保存現象、 $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$ 崩壊の探索
 - 標準模型では、ほぼ起きない。
 - たくさんの有力な新理論(SUSYとか)から大きい崩壊分岐比が期待

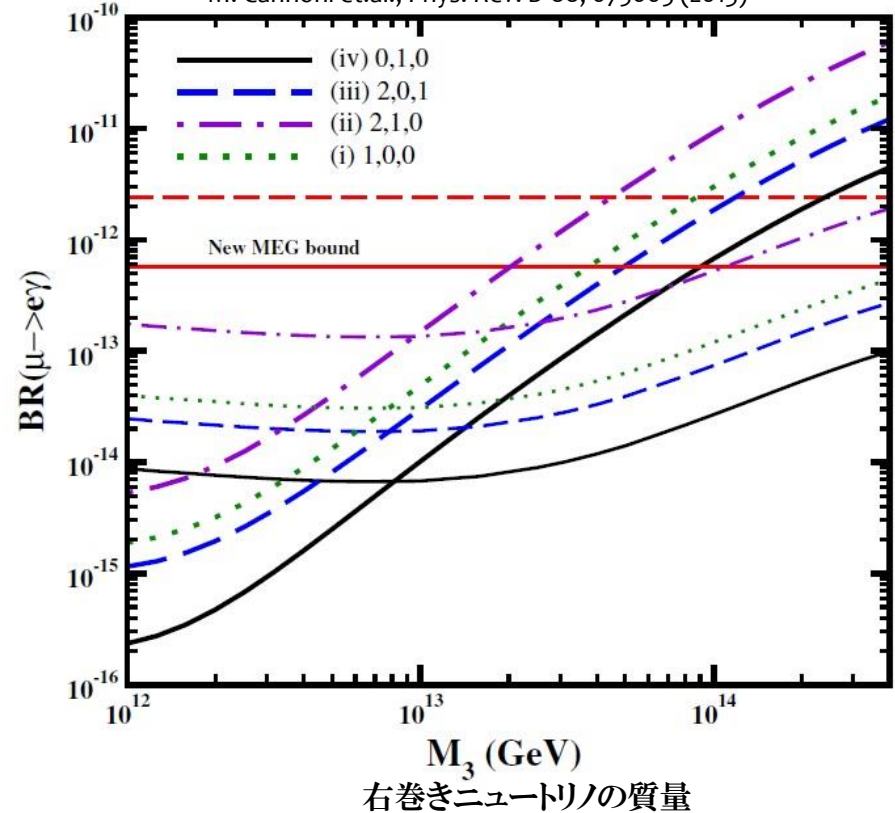
- 現在の崩壊分岐比への上限值は、MEG-I実験から、

$$5.7 \times 10^{-13} \text{ 90\% C.L.}$$

(Phys. Rev. Lett. 110(2013) 201801)

新物理が見えてくる領域

例、SU(5)の超対称性大統一理論からの予想崩壊分岐比
M. Cannoni et.al., Phys. Rev. D 88, 075005 (2013)



➡ アップグレードをして、より高い感度での探索

MEG II

SiPM読み出し
液体キセノン
ガンマ線検出器

次の次の講演 金子

立体交差ワイヤードリフトチェンバー

2倍のビーム強度
(停止 $\mu \sim 7 \times 10^7$)

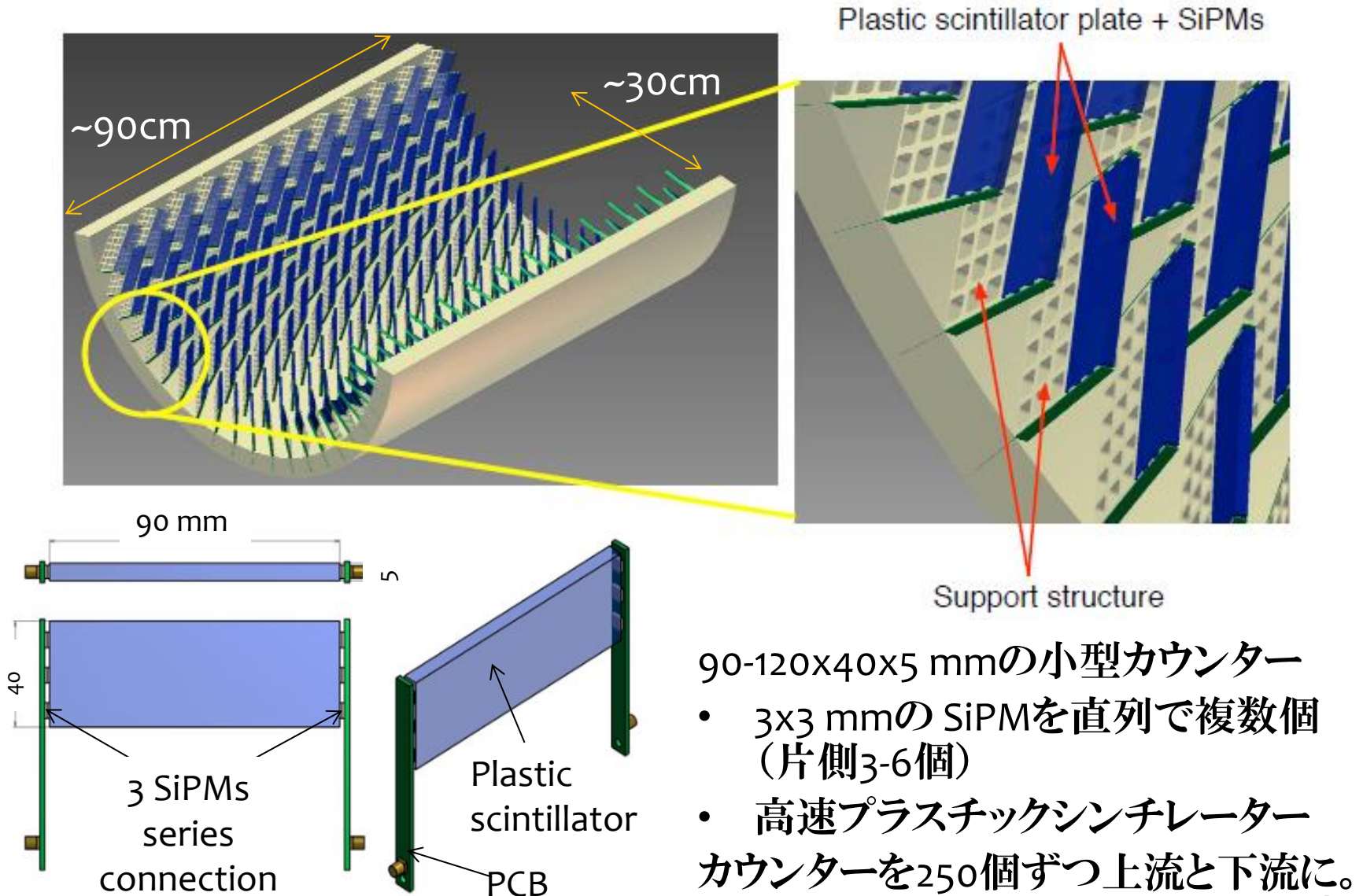
Radiative Decay Counter
BG同定検出器

次の講演 藤井

細分型陽電子タイミングカウンター

sensitivity 5×10^{-14}

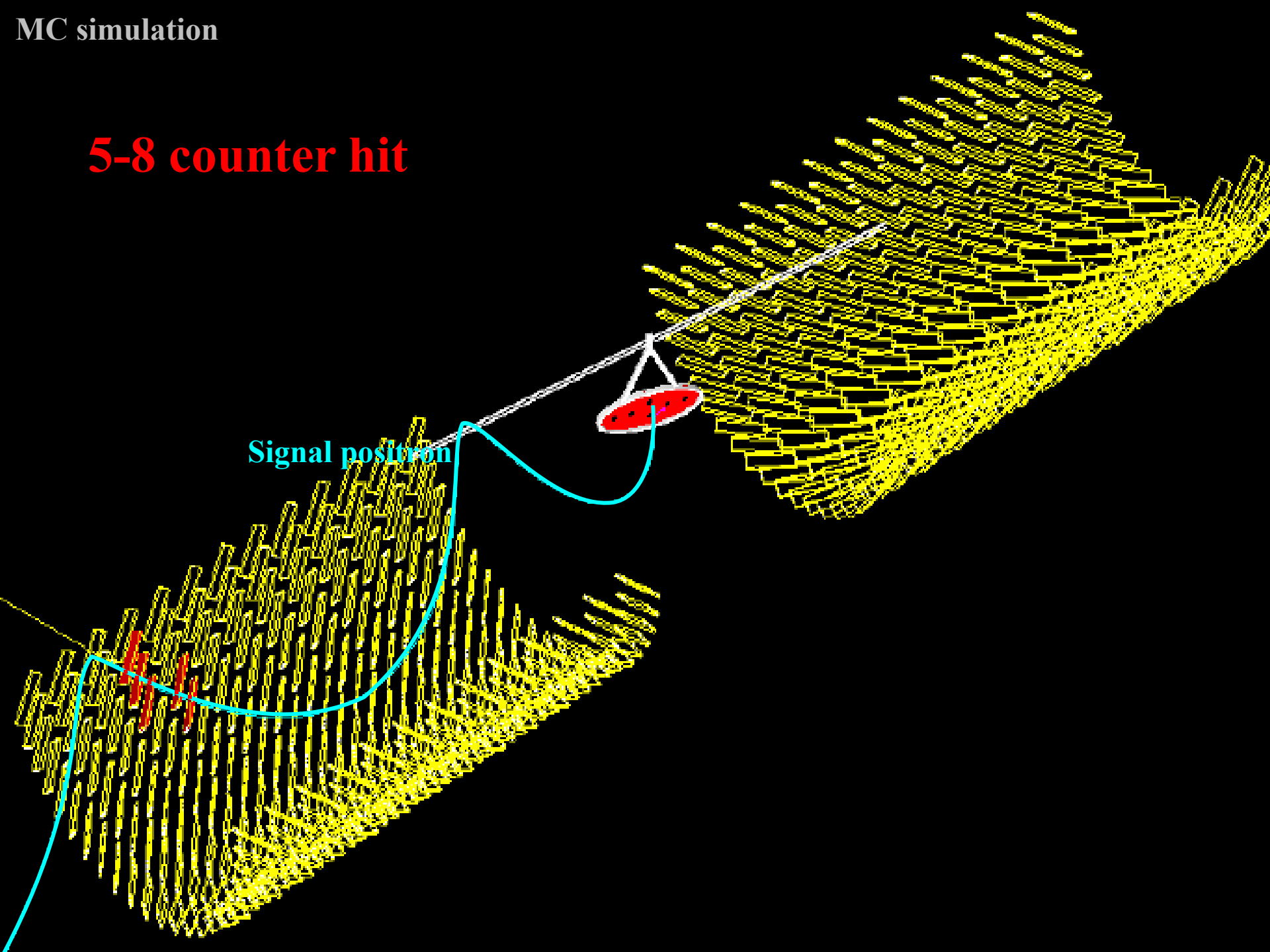
細分型陽電子タイミングカウンター



- 90-120x40x5 mmの小型カウンター
- 3x3 mmの SiPMを直列で複数個 (片側3-6個)
 - 高速プラスチックシンチレーターカウンターを250個ずつ上流と下流に。

MC simulation

5-8 counter hit

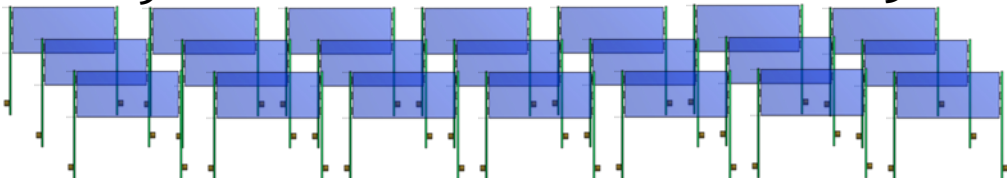


利点

MEG I: 80 cmのシンチレーターバー (PMT2つ) × 15本

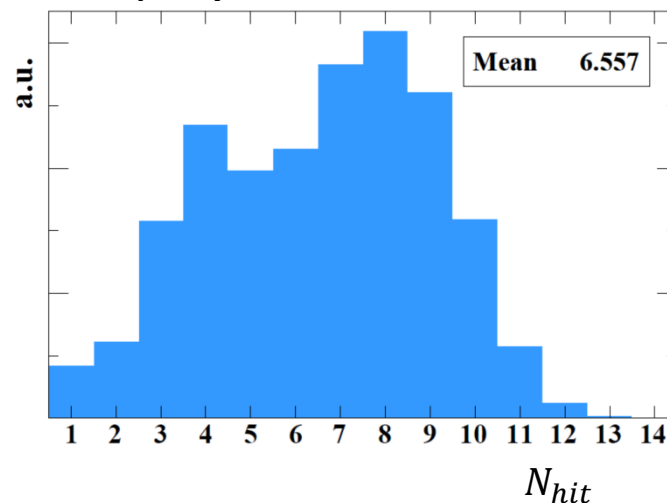


MEG II: 9 cmのシンチレーターカウンター × 250個

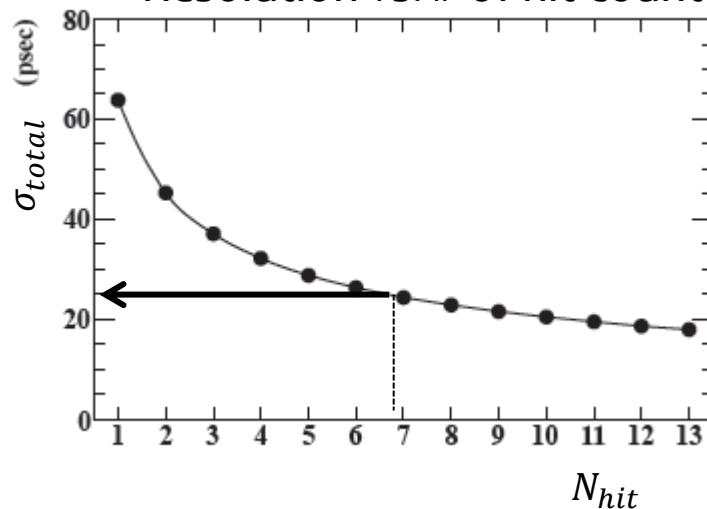


- たくさんのカウンターにあたる。
 - カウンターの時間情報を平均すれば、時間分解能が向上する。
- パイルアップを減らせる。
 - アップグレードでビーム強度アップ
- 陽電子がどこを通ったか細かくわかる。

Number of hit counters



Resolution vs. # of hit counters

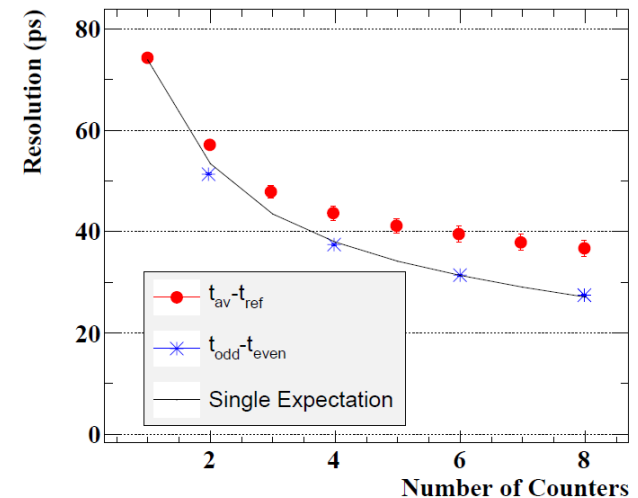
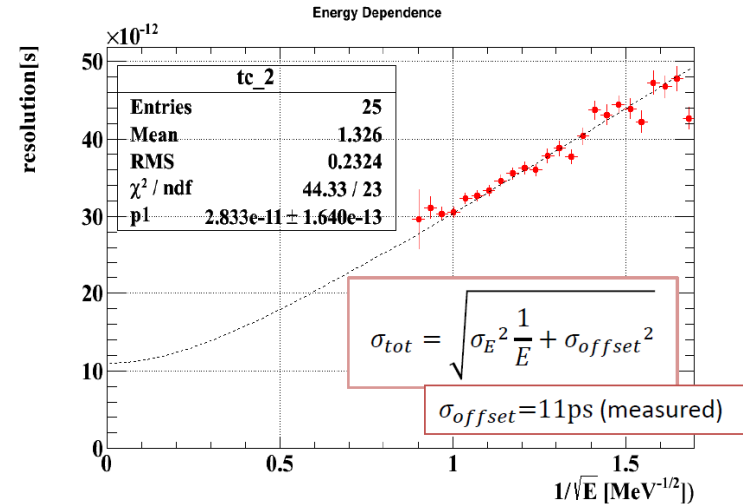


これまで

- **カウンター単体での試験**
 - 十分な性能を持っていることを確認 (40-70 ps)
 - 光電子の統計で時間分解能は決まっている。

- **複数カウンターでのビームテスト**
 - ヒットカウンターの増加によって時間分解能が向上することを実証

25X12X5 mm 2 SiPMs

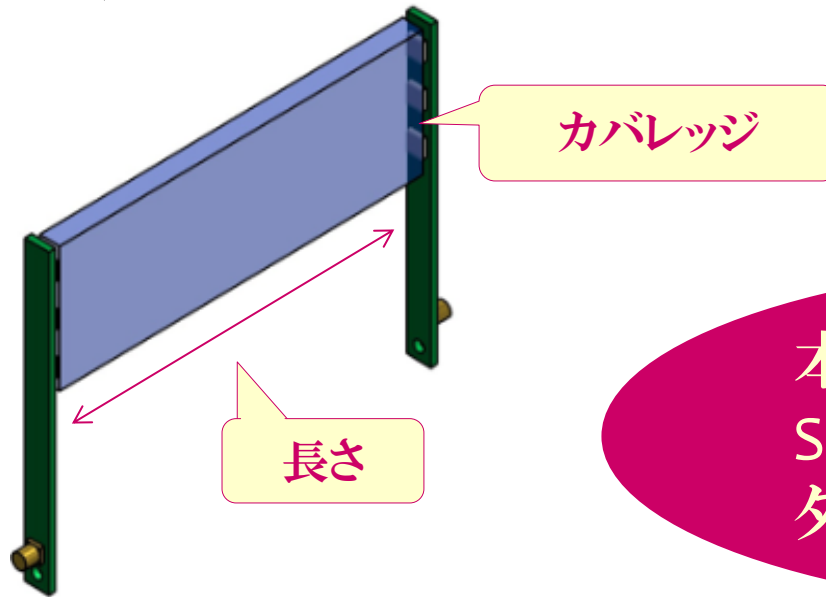


カウンタージオメトリの最適化

ビームテストも終え、すでに良い時間分解能は得られることがわかっている。

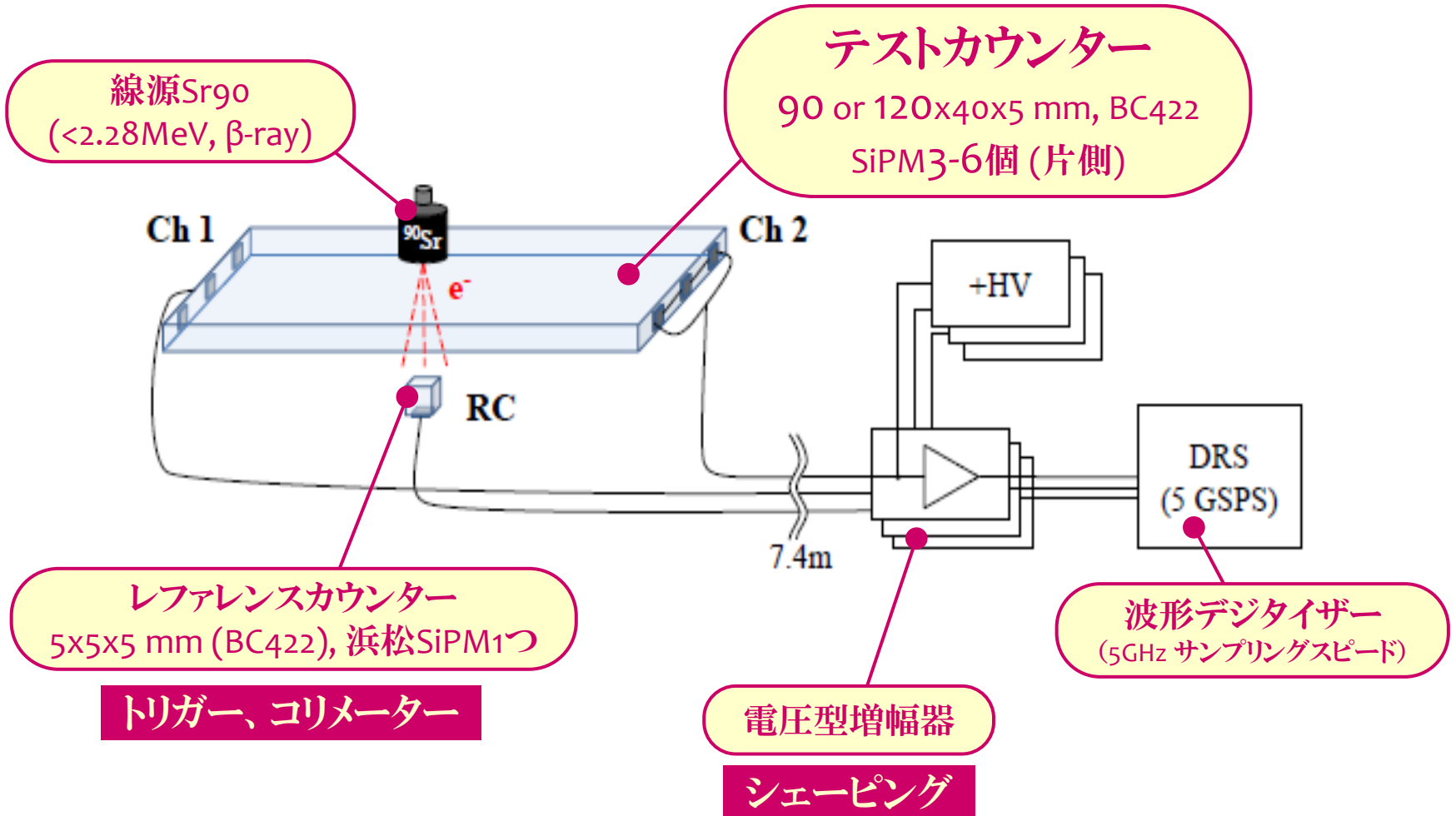
これに加えて、カウンターのジオメトリを最適化し、極限まで時間分解能を上げたい。

シンチレーター(BC422)、反射材(3Mフィルム)、カウンターの高さ(4 - 5 cm)については以前報告。



本日のトークは、
SiPMのカバレッジとカウンターの長さについての話。

カウンターテスト



SiPMのカバレッジ

- カウンター単体のテストより、時間分解能は、光電子数で決まっている。
- SiPMを増やすとカバレッジが増えて光電子数がアップ、時間分解能がよくなる。
- コストが許す限り増やすのがよい。

安い AdvanSiD の SiPM ならたくさんつけられる。



イタリアのメーカー、浜松のMPPCと同じように近紫外光に感度があるタイプ。

浜松とAdvanSiD

3x3 mm², 50μm-3600 pixels

	Hamamatsu new type	Hamamatsu new type trench	AdvanSiD	
PDE	1.2	0.9	0.55	(相対値)
V _{bd} (V)	72	55	25	
Dark count(MHz)	0.25	0.1	1	
Cross talk (%)	70	15	15	
Counter resolution (psec)	42	48	55	片側3個 60x30x5 mm BC 422
cost	高い	もっと高い	安い	

性能は浜松製がよい。

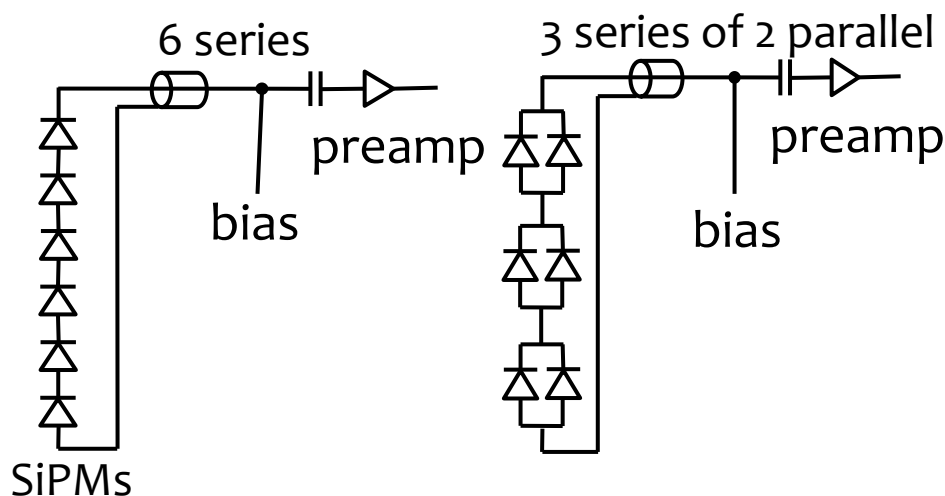
しかし、コスト面から、1つのカウンターに

浜松製は片側約3個までAdvanSiDでは片側6個まで。

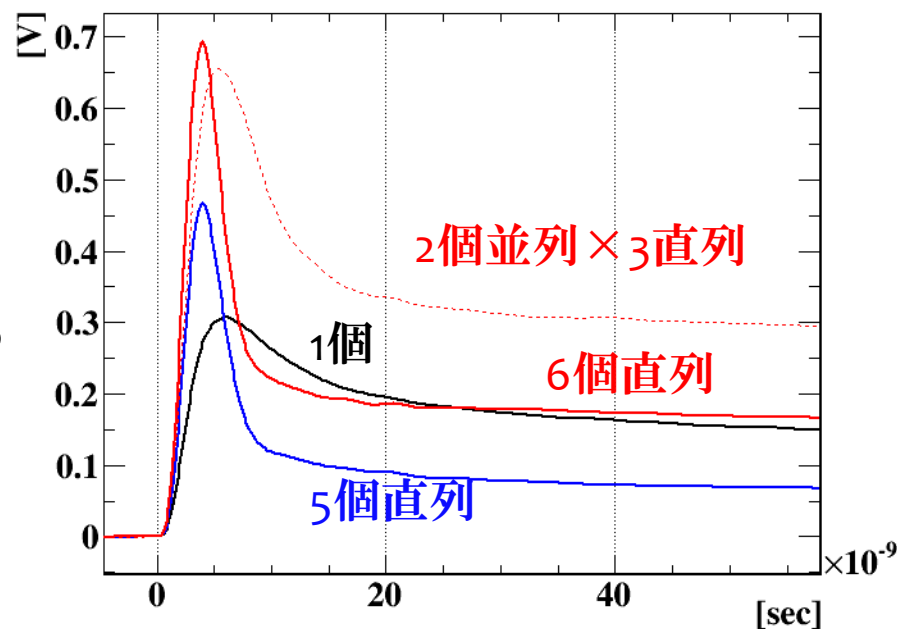
SiPMのカバレッジ

AdvanSiDでの測定

- 5個直列
- 6個直列
- 2個の並列を3個直列 (計6個)
 - 一つ壊れても作動できる、低電圧



AdvanSiD Waveform

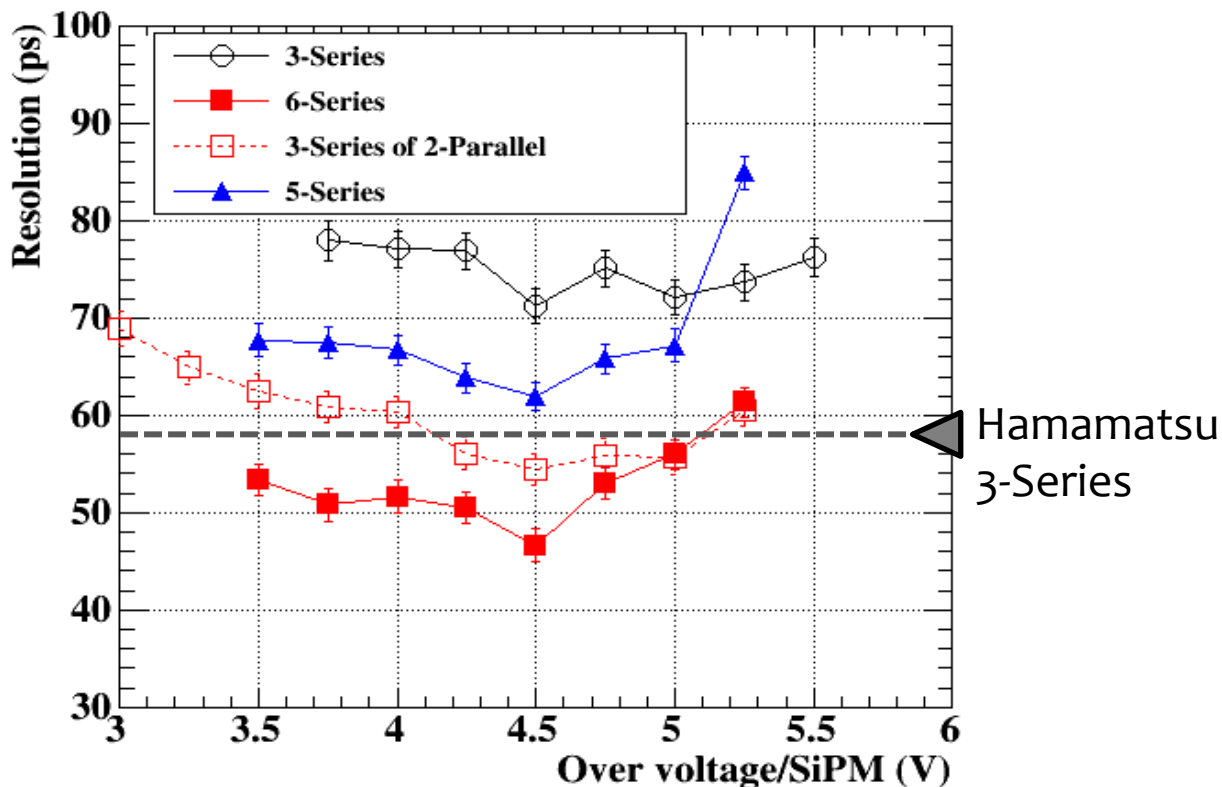


直列ではするどい波形。

SiPM数に応じて波高が大きくなる。

SiPMのカバレッジ

それぞれ超過電圧ごとに時間分解能を測定した。



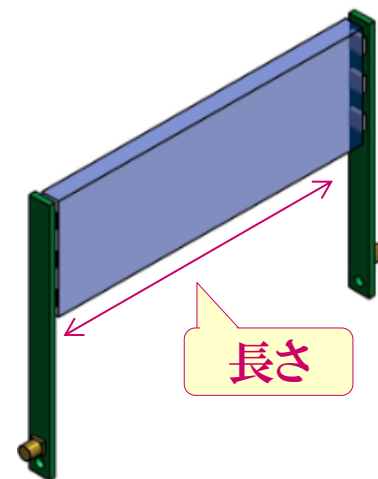
Hamamatsu
3-Series

SiPMの個数が多くなるほど、時間分解能がよくなっている。
AdvanSiD 6個直列が一番良い時間分解能を持っている。

長さの最適化

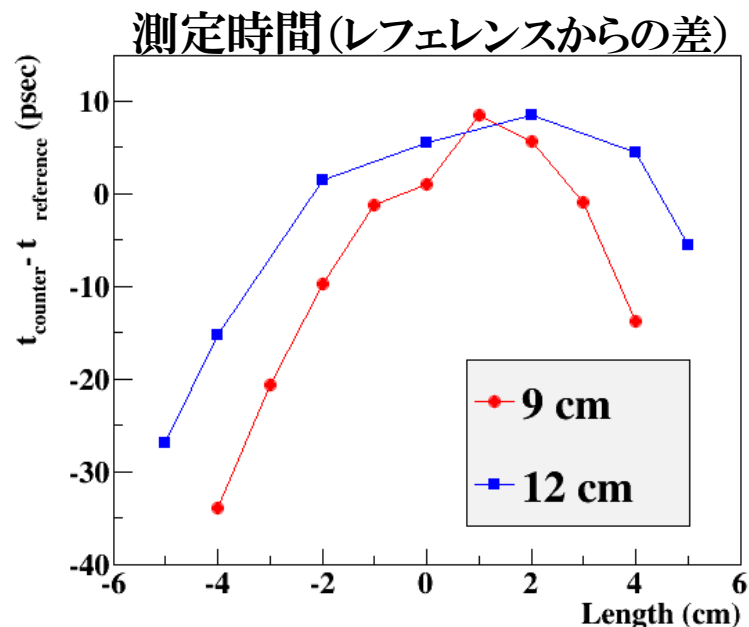
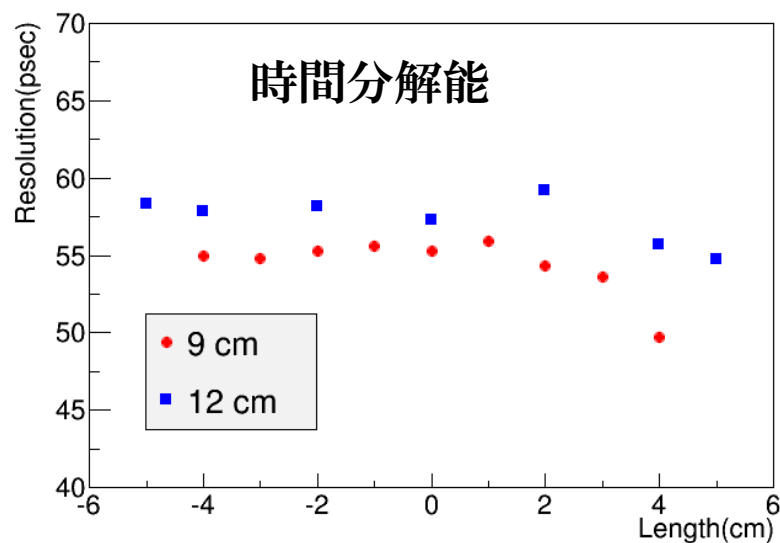
それぞれの利点

- 短い
 - カウンター単体の時間分解能がよい
 - パイルアップ、ダブルヒットが少ない
- 長い
 - シグナルイベントのカウンターヒット数が増える。
- 測定
 - 9 cm, 12 cm
- シミュレーション
 - 9 cm, 12 cm, 15 cm
 - カウンターの数は512個に固定
 - カウンターの中心の置く場所は固定



測定

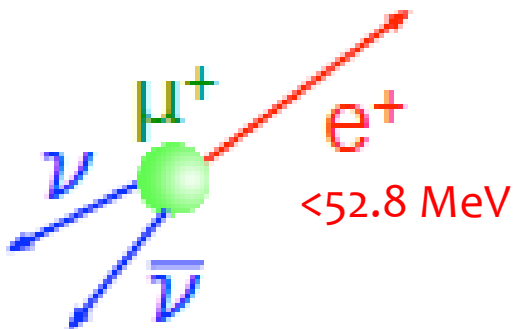
- AdvanSiD 6個直列、BC422
- 9 cmと12 cmのカウンター単体での性能の違いをポジションスキャンをして確認した。



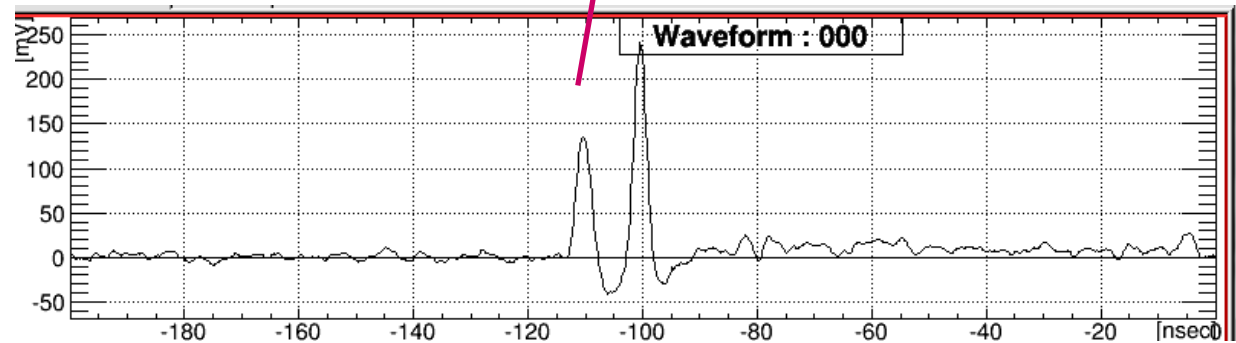
長くなると、光量が減り時間分解能が悪くなる。~5 ps

パイルアップとダブルヒット

- **パイルアップ**
通常のミュオン崩壊からの陽電子が偶然信号と重なる。
- **ダブルヒット**
1つの粒子に起因する複数のヒット
⇒少ない



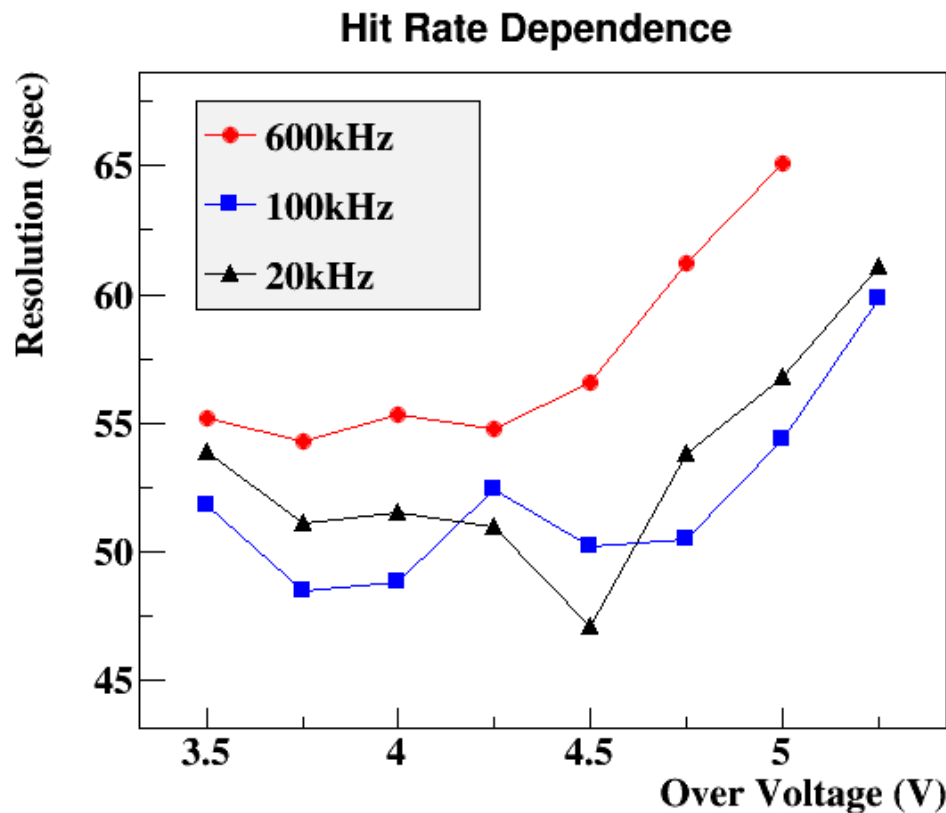
分解能を悪くする
or
Inefficiencyになる。



パイルアップ

Hit rate of Michel positron from MC

	highest	average
9 cm	97 kHz	48 kHz
12 cm	122 kHz	64 kHz
15 cm	150 kHz	79 kHz

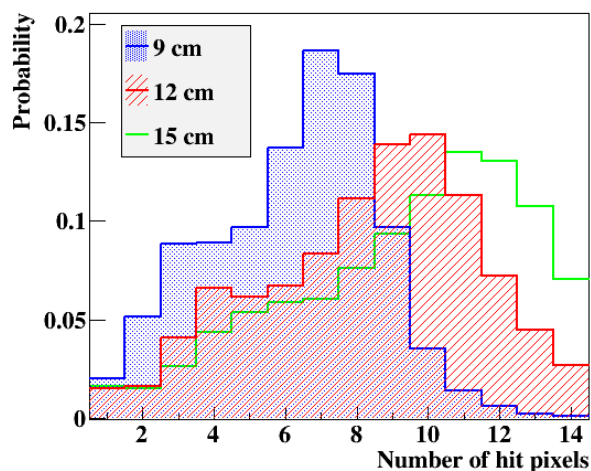


長いカウンターでは、レートは増えるが小さい。

予想される100 kHzほどのレートでは、時間分解能は悪化しない。

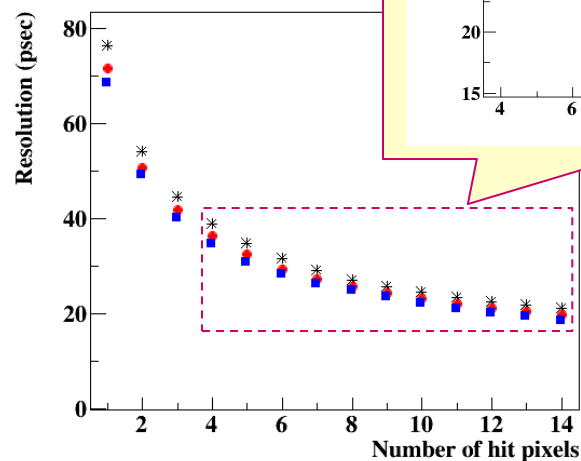
Resolution

Number of hit pixels (MC)



Average 9 cm, 6.2
12 cm, 8.4
15 cm, 9.4

resolution



9 cm, 31.4 ps
12 cm, 28.3 ps
15 cm, 28.1 ps

9 cmから12 cmでは数psは向上がみられる。
15 cmではほとんど向上しない。

9-12 cmが適切。

まとめと今後

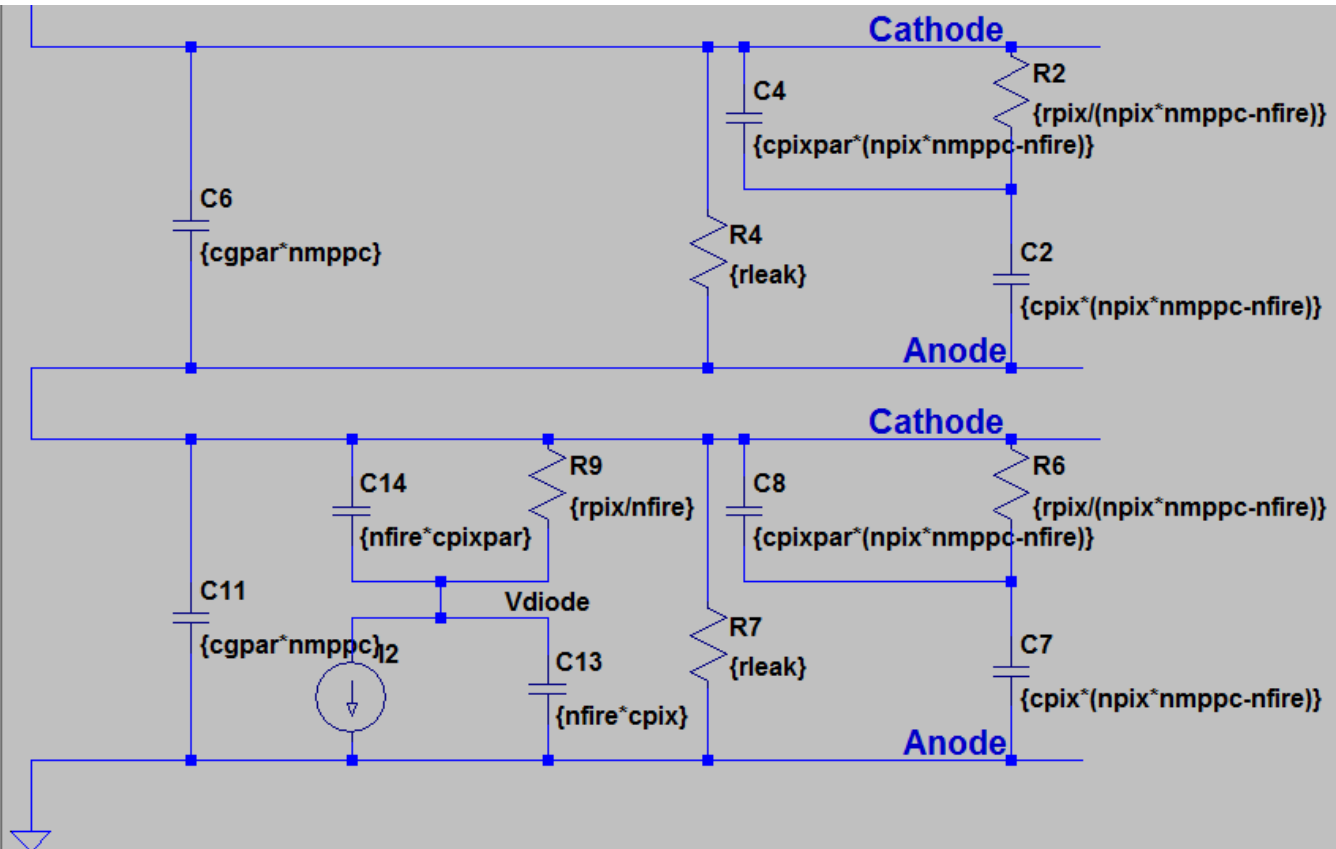
MEG IIのための新しいポジトロン時間測定器のカウンター最適化の研究を行った。

- SiPM
 - SiPMの数を増やすことによって時間分解能向上
 - 安価なAdvanSiD SiPMを6つ直列に配置することによって50 ps以下の時間分解能を達成。
 - 6500個発注
- 長さ
 - 9 cm、12 cm、(シミュレーションでは15 cm)の長さで比較を行った。
 - 9 cmと12 cmでは、大きな違いは見られず、どちらでも必要な性能 (~30 ps)を得られる。
 - 15 cm以上だと、複数カウンターヒットでの良くなり具合が少なくなる。
 - 9-12 cmが良い。

今後、ビームテストを経て、今年中に建設開始。

BACK UP

SiPM Model

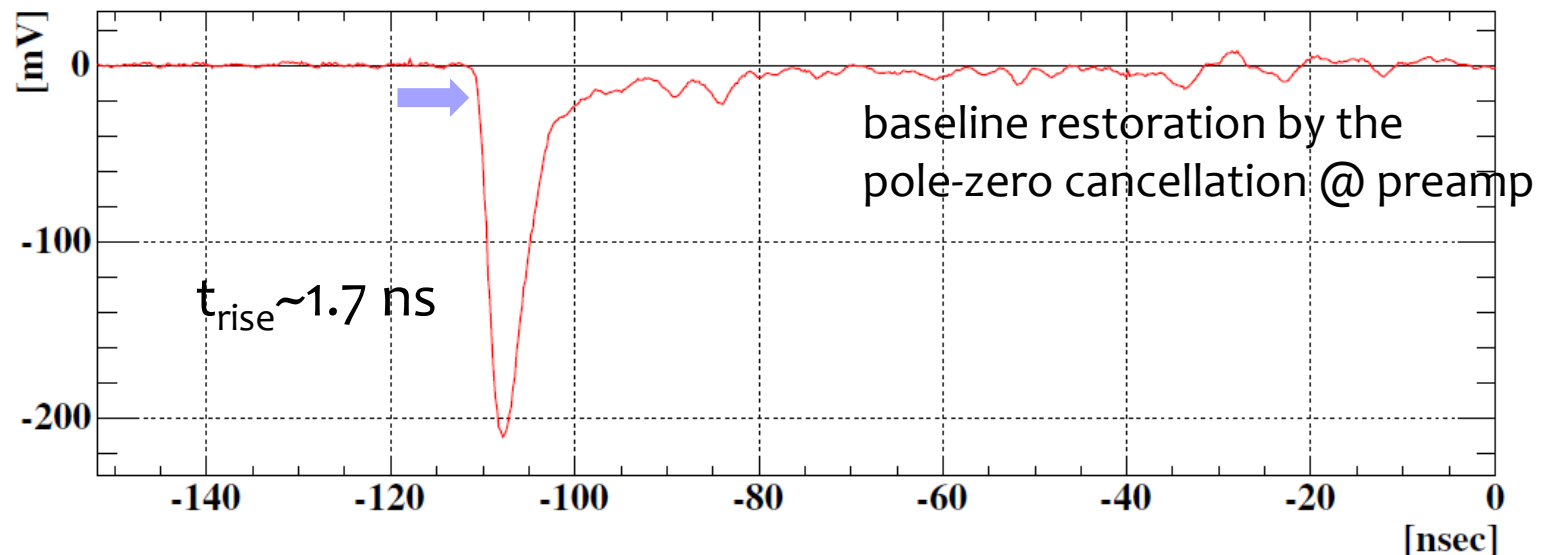


```
.tran 0 500e-9 0e-9 1e-9
```

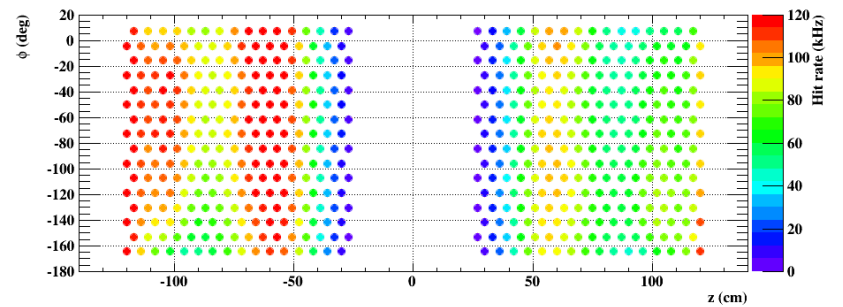
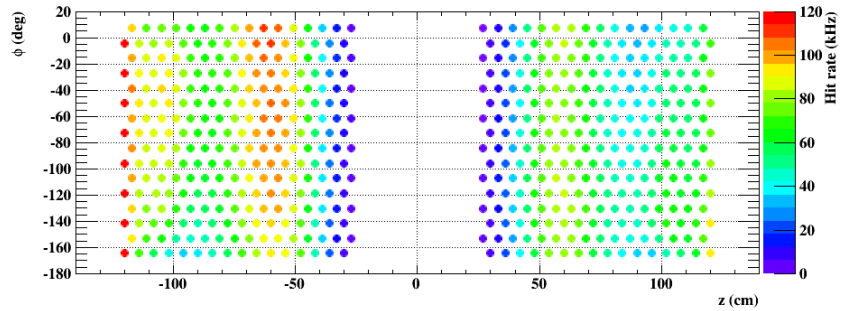
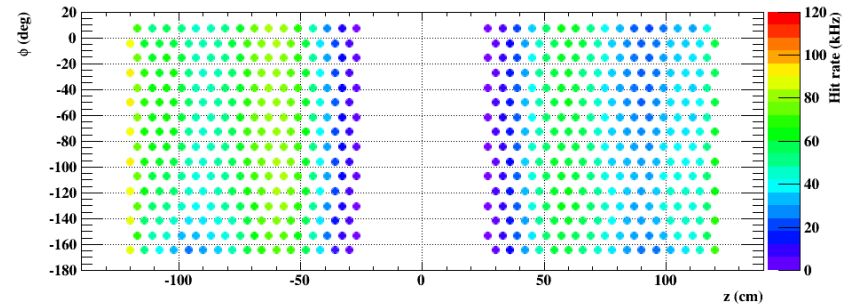
```
.param nmppc 1
.param igen 540u
.param npix 3600
.param cpix 100f
.param rpix 150k
.param cpixpar 2f
.param cgpar 300p
.param trise 0.5n
.param nfire 1
.param rleak 10000k
.param RH 10k
.param CH 10n
```

Analysis

- Signal time is picked-off by **Constant-Fraction** method ($\sim 10\%$)
 - very leading-edge is relevant to precise timing
- e hit time is reconstructed by the average of times measured at the both ends
- Resolution of test counter is evaluated from $(t_0 + t_1)/2 - t_{ref}$
- Reconstruct hit position by $v \times (t_1 - t_0)/2$ (v ; scintillation light speed)

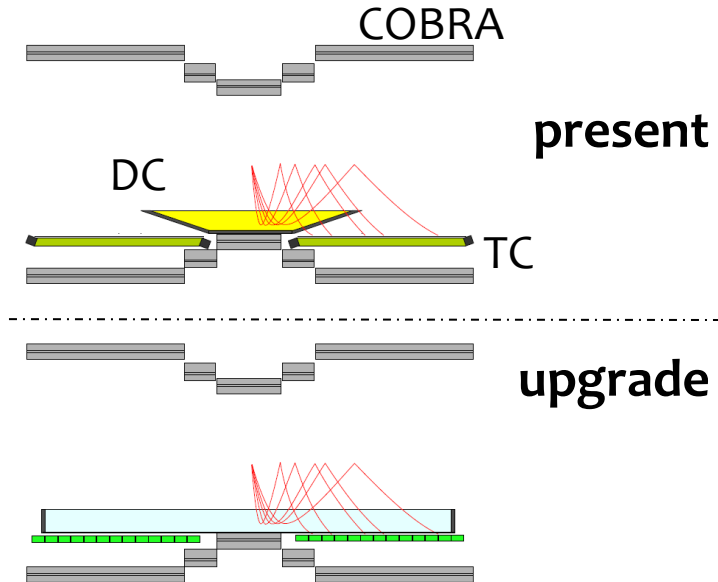


Michel positron



$t_{e\gamma}$ resolution

track length: 75 ps \rightarrow 11 ps
 gamma side: 67 ps \rightarrow 76 ps
 Timing counter: 76ps \rightarrow 30-35ps

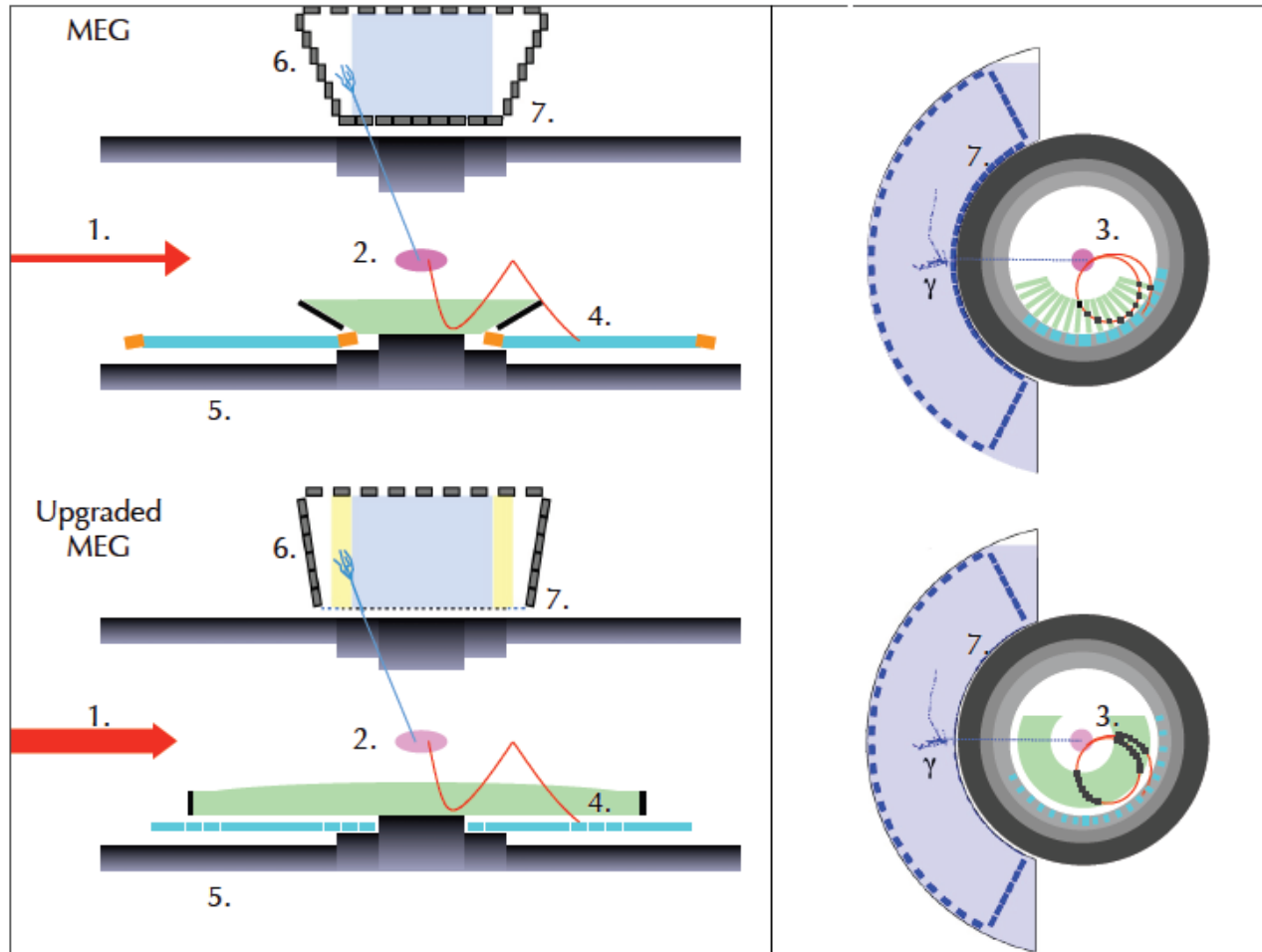


$$\sigma_{e\gamma} = 130 \text{ ps} \rightarrow 84 \text{ ps (35\% } \downarrow \text{)}$$

Resolution and efficiencies for MEG upgrade

PDF parameters	Present MEG	Upgrade scenario
e^+ energy (keV)	320	110-140
e^+ θ (mrad)	11	5-7
e^+ ϕ (mrad)	7.2	5-7
e^+ vertex Z/Y(core) (mm)	2.0/1.1	1.5/1.0
γ energy (%) ($w > 2$ cm)	1.9	1.0
γ position (u, v, w) (mm)	5(u, v), 6(w)	2
γ - e^+ timing (ps)	122	75-90
Efficiency (%)		
trigger	≈ 99	≈ 99
γ reconstruction	59	59
e^+ reconstruction	40	85-90
event selection	80	85

Upgrade summary



Parameter	Requirement	Ha. no Trench	Ha. Trench *	Advansid
Overall Res (6 pix) ps	~30 ps	➔ 30	● expected better	32,8
Res Single Pixel Sr-90 ps		➔ 42	48	55
Res Single Pixel BTF ps		➔ 75		85
BV vs T	<10 mV / C			➔ 24 mV/C
Transit time vs T	<0.2-0.3ps/C	5.5 ps/C [20-30 C](slope)	● 0.1-0.2 ps/C	➔ 0.1-0.7 ps/C [20-30 C] (plateau)
Transit time vs OV	<2-3 ps / V	-10 ps/V @ 30C (slope)	● <+-1ps/V @ 30C (plateau > 4 V ov)	➔ <+-1 ps/V @30C (plateau)
Amplitude vs OV	Highest	➔ +36mV/V		+27mV/V
Dark Count MHz	Lowest	1 @4V ov 0.25 MHzV	● 0.5 @ 4V ov 0.1 MHz/V	3@4V ov 1MHz/V
Risetime		➔ 1.6-1.9 (2-4Vov)	2.2ns (plateau)	➔ 1.6 ns(plateau)
PDE(effective same Vov))	Highest	➔ 1.2	0.9	0.55
Gain vs T	Lowest			1%/ C
Vbd	lowest	72V	55 V	➔ 25V
Vbd spread	<1 V	1V	1 V	➔ 70 mV (1000 pcs)
Cross talk		0.7@4V ov	● 0.15@4V ov	➔ 0.15@4V ov

SiPMのメーカーによる時間分解能の違い

