

KOTO実験の中性ビーム中に置かれる 荷電粒子検出器の開発・性能評価

中桐 洸太 (京都大学)
22nd ICEPP シンポジウム

KOTO実験

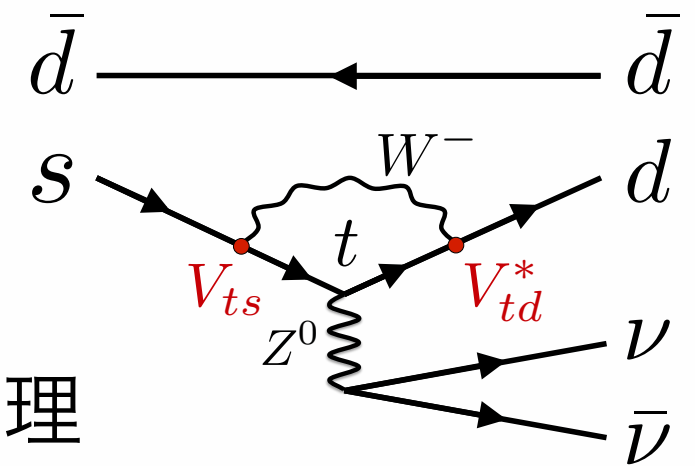
- ・ 中性K中間子稀崩壊探索実験(@J-PARC)

- ・ $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の世界初観測を目指す

- ・ 直接CPを破る崩壊
- ・ SMでの崩壊分岐比が小さい(2×10^{-11})
- ・ その理論的不定性も小さい(2%)



CPを破る新物理
に感度大



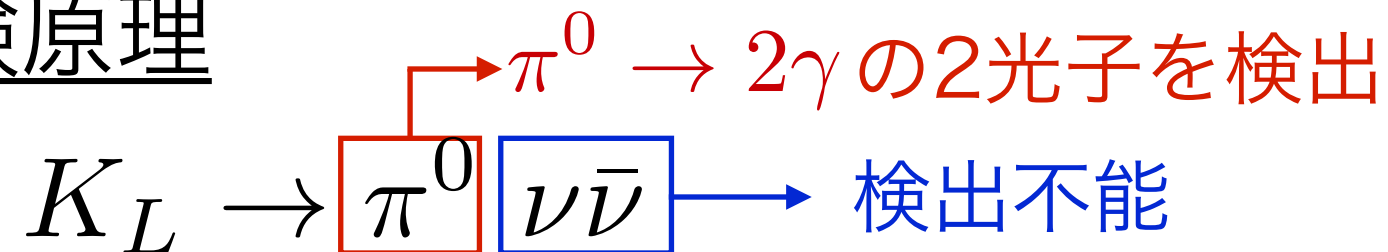
<崩壊ダイアグラムの1つ>

status

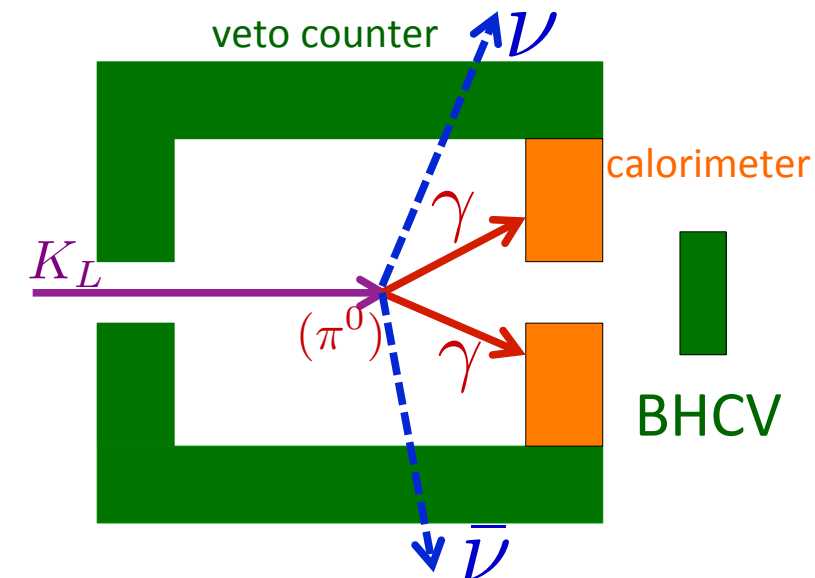
- ・ 2013年5月に初めての物理ランを行い、100時間のデータ取得で先行実験の感度を達成
- ・ 2015年4-6月、10-12月にもデータ取得、現在その解析が進行中

実験原理と Beam Hole Charged Veto

実験原理



- ・ カロリメータで2光子を観測
- ・ 全立体角を覆った検出器で他に何も検出されないことを保証

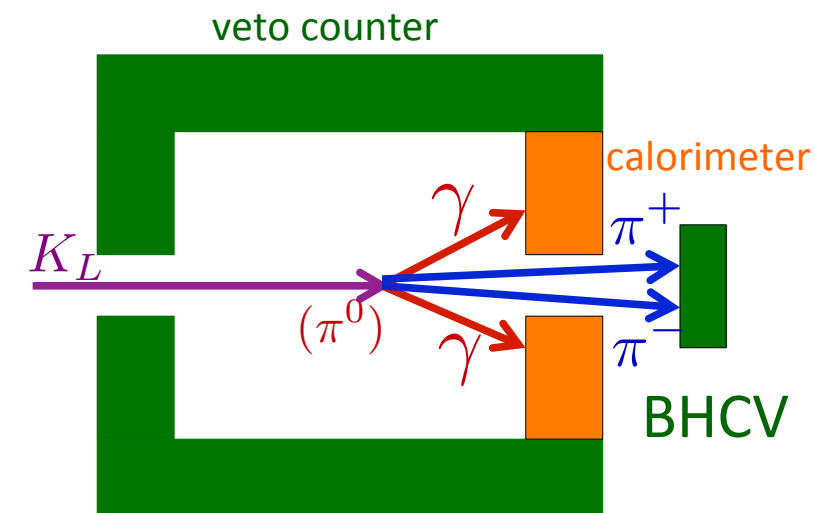


BHCV

- 下流ビーム軸方向をカバーする荷電粒子検出器



➡ 荷電粒子に対して99.5%以上の検出効率を要求



$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ BGの一例

BHCVの置かれる環境

<BHCV全面での入射レート>

	incident rate	mean energy
neutron	0.6 GHz	500 MeV
gamma	0.6 GHz	10 MeV

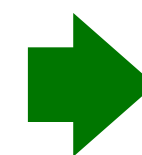
(threshold : 1 MeV)

BHCVは中性ビーム中に設置される

- ・ ビーム中に多量に残存する中性子・光子と反応を起こし、不要な veto信号を発行

➡ カロリメータで測定する π^0 と同タイミングで veto信号があると本物の信号であっても 検知できない (Accidental loss)

veto windowをcheckした時に
BHCVに粒子検出の信号がある確率



レートと veto window幅
で決まる

旧BHCVとアップグレードへの要請

旧版BHCV (2013.5)

- ・ 8枚の3mm厚プラスチックシンチレータ&PMT

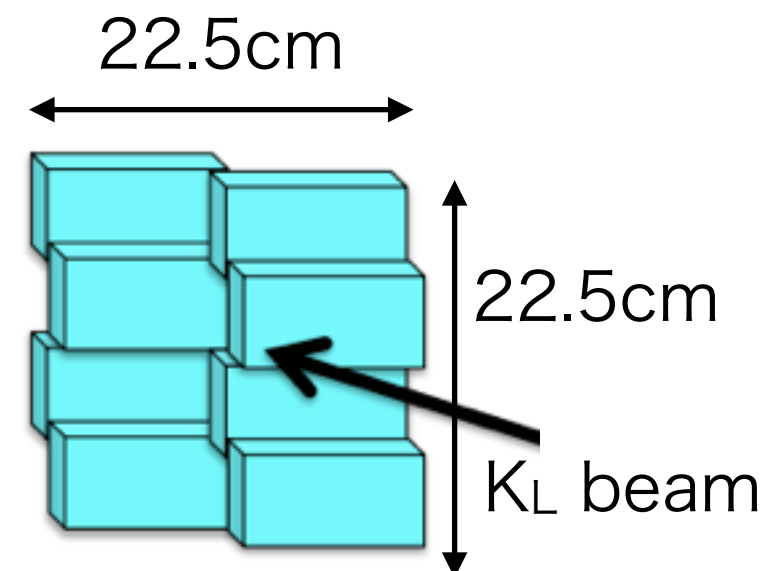
2013.5 (24kW)

- ・ ゲイン変動
- ・ Rate: 6.0MHz
- ・ Accidental loss: 9%



デザイン強度(300kW)

- ・ さらなるゲイン変動
- ・ Rate: 30MHz
- ・ Accidental loss: 36%



(レートは中性粒子由来が支配的)

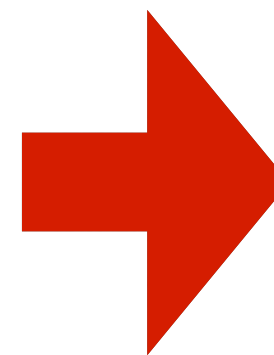
➡光子・中性子との反応を抑えるため、低物質量の検出器を開発

物質量を減らすことが重要➡ガス検出器

それでも高レート➡レート耐性必要

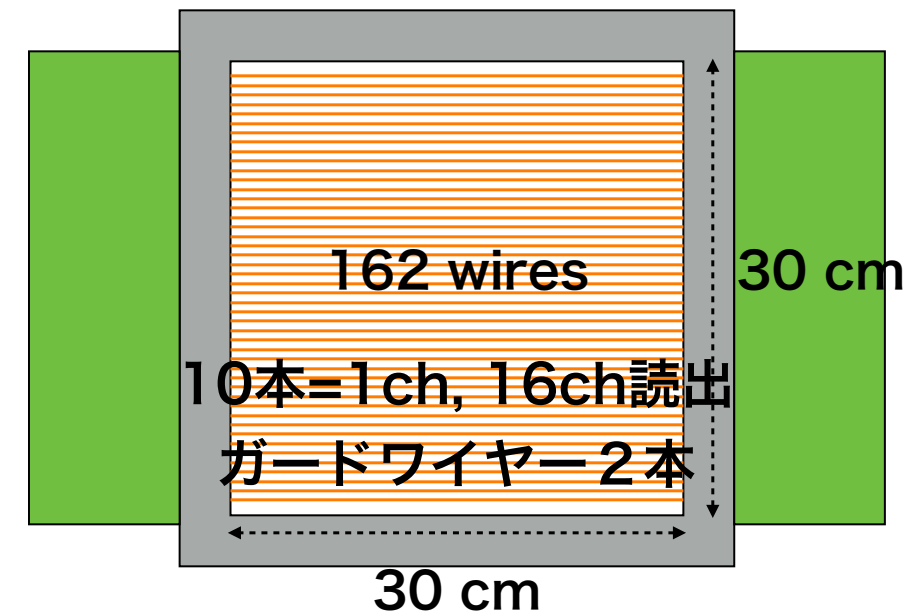
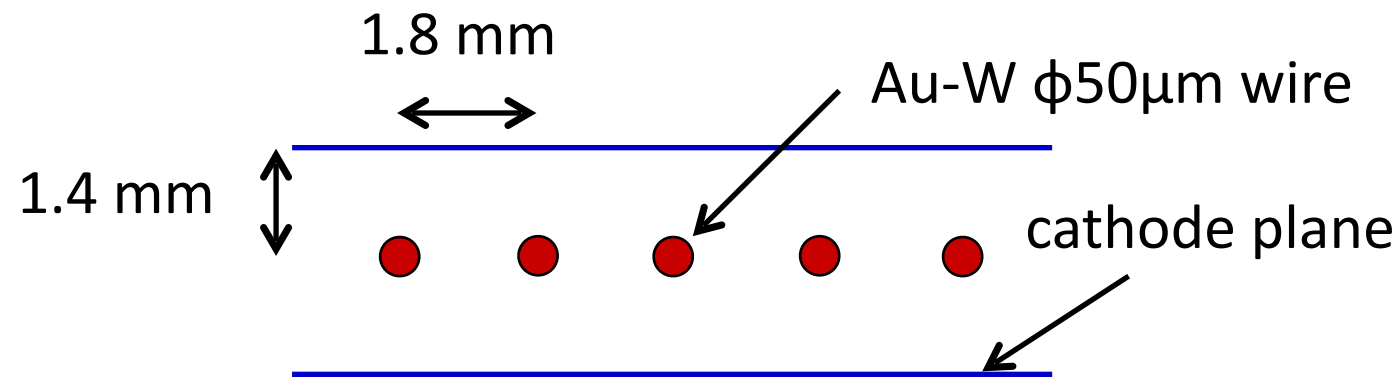
- ・ Accidental loss 削減

veto windowを短く➡短いTime jitter



Thin Gap Chamber

BHCVとしての Thin Gap Chamberのデザイン

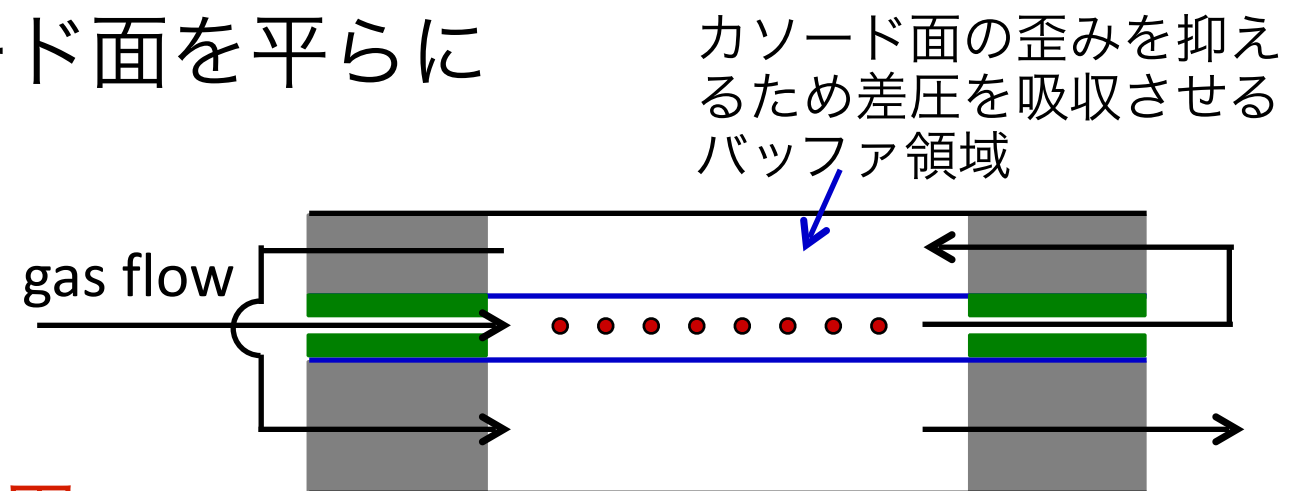


低物質質量のカソード面

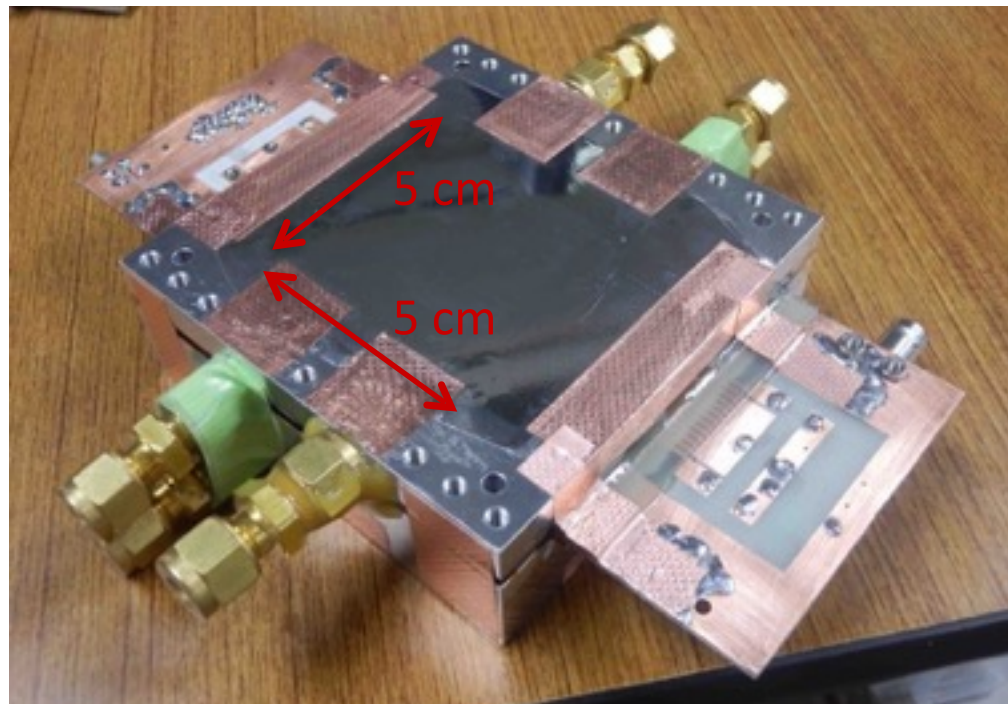
- ・ 50 μm 厚ポリイミドフィルム＋グラファイト塗料
- ・ バッファ領域で差圧を吸収、カソード面を平らに

“速い”ガス

- ・ Time jitter の短縮
- ・ 電子のドリフト速度が速いCF₄を使用
 - ・ 動作安定のためのクエンチガスとしてn-Pentaneを使用
(CF₄:nPentane = 55:45)



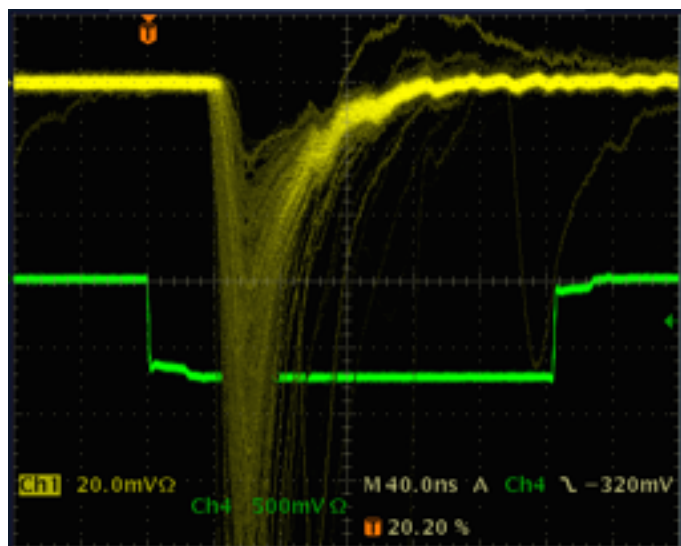
小型試作機ビームテスト



小型試作機を作り、性能を評価

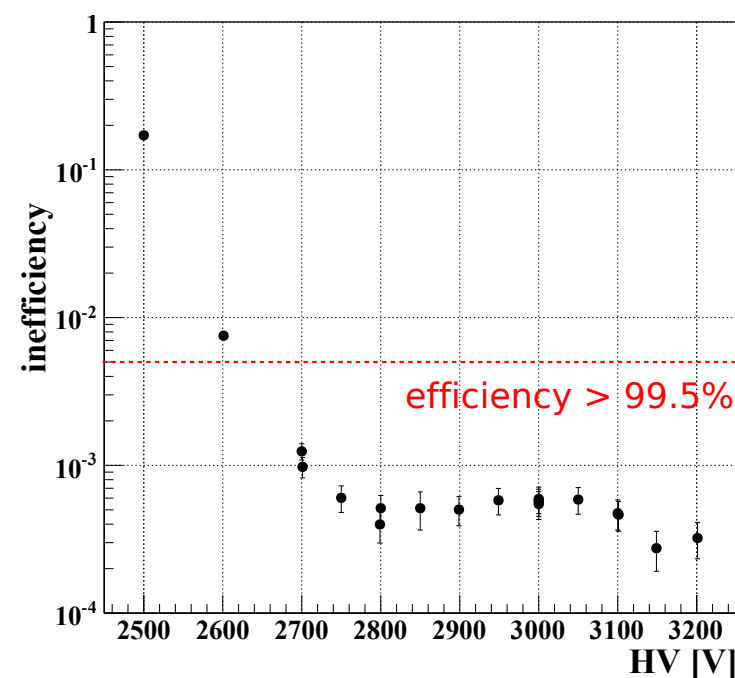
- ・ ガスボリューム 5 cm X 5 cm X 2.8 mm
- ・ ワイヤー長5cm
- ・ 11 wireまとめ読み出し + 両端にガードワイヤー
- ・ 東北大学電子光物理学研究センターにて電子ビーム(500MeV/c)を用いてビームテストを行った

Chamber波形(2.9kV)



波形はpre-amp出力

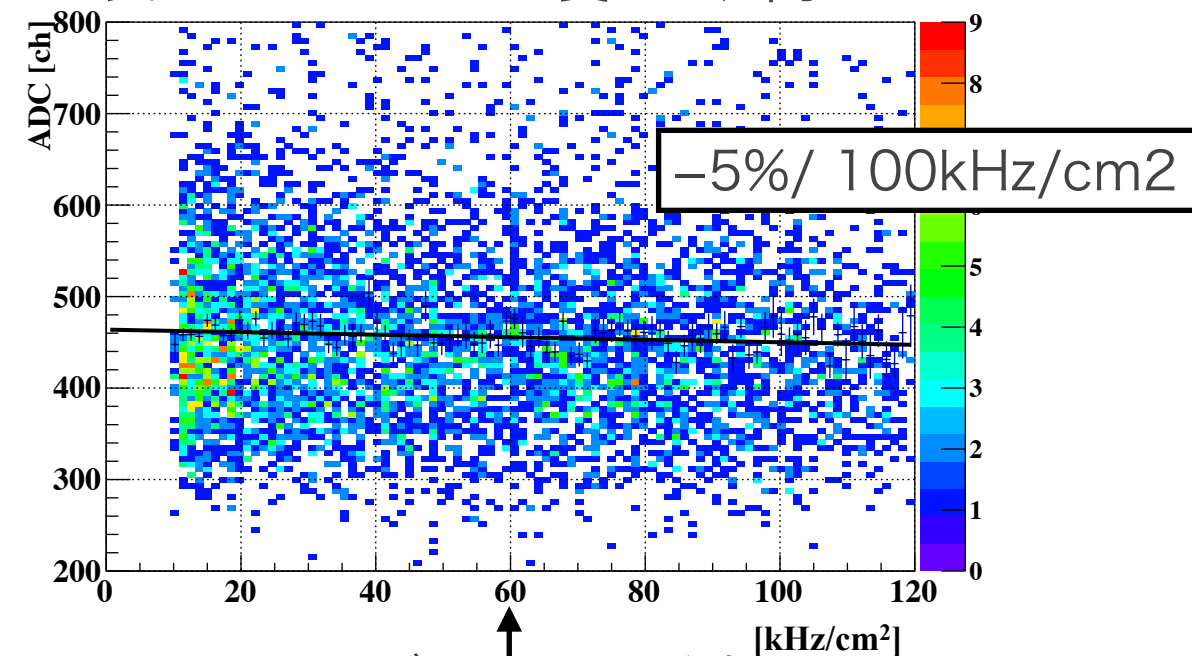
非検出率 v.s. HV



2.7kV以上で達成

レート耐性試験(2.9kV)

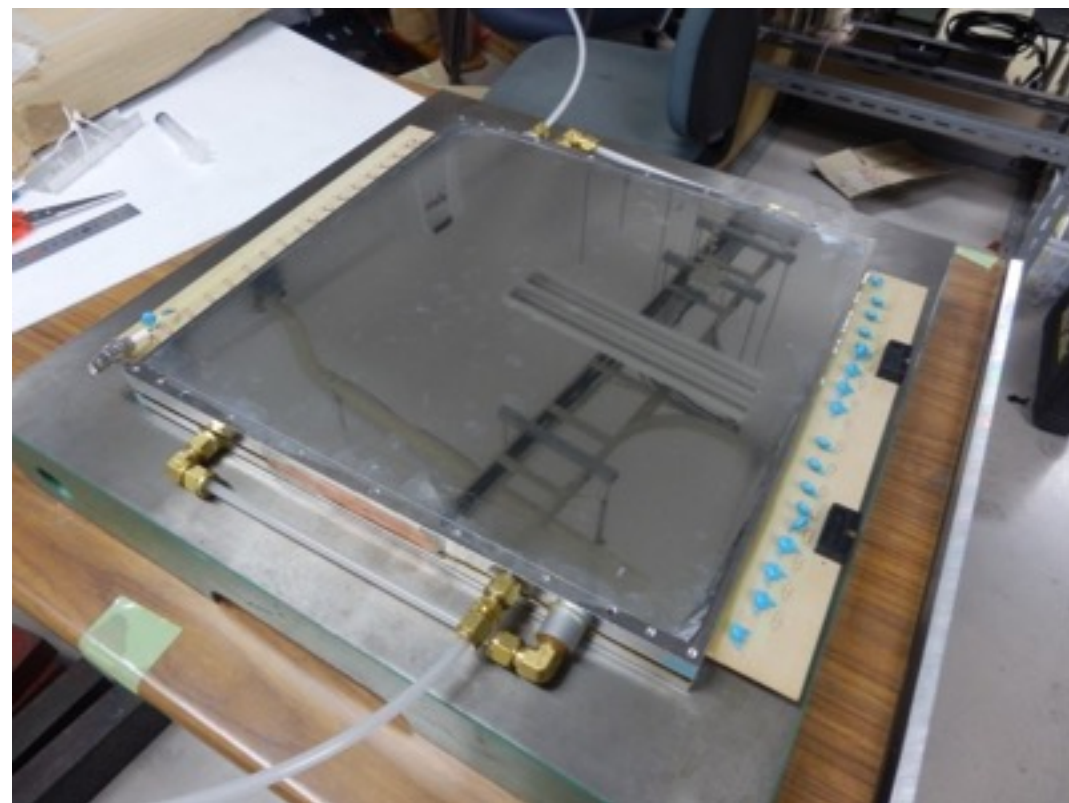
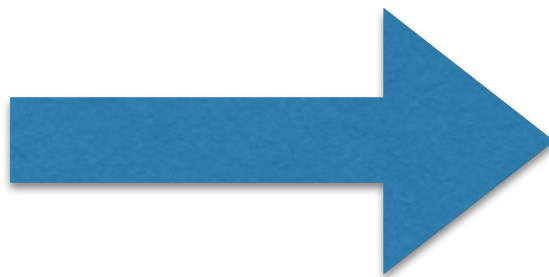
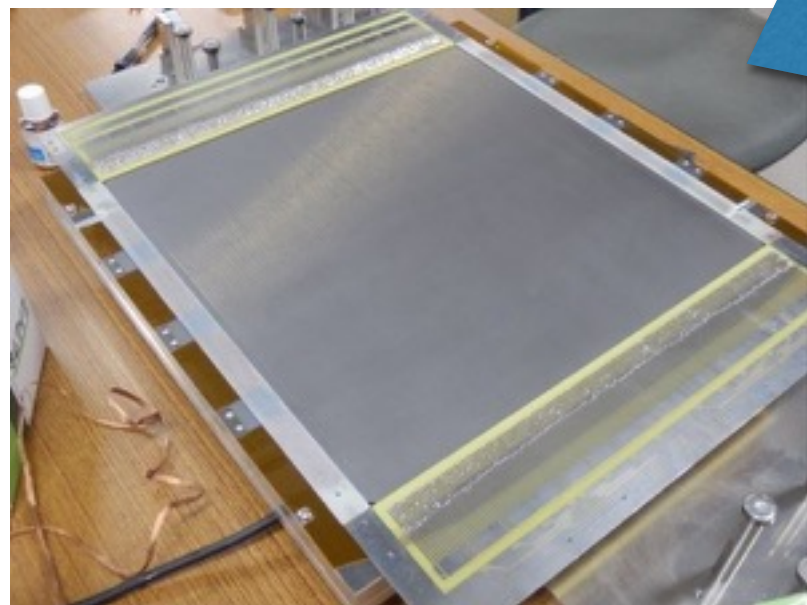
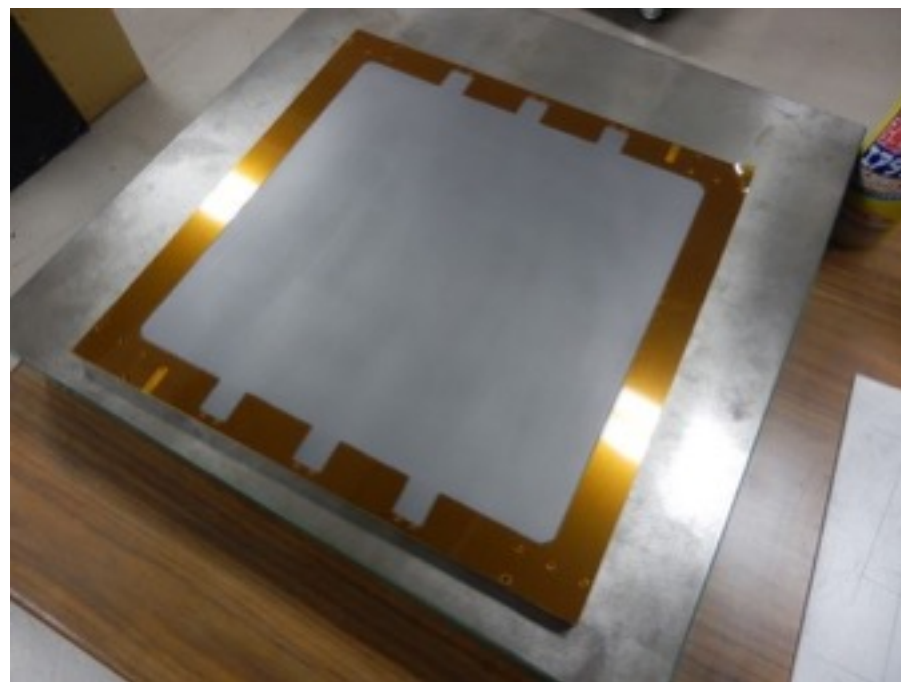
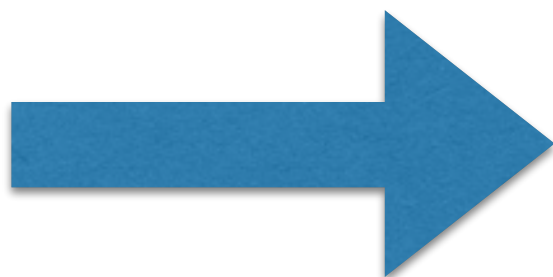
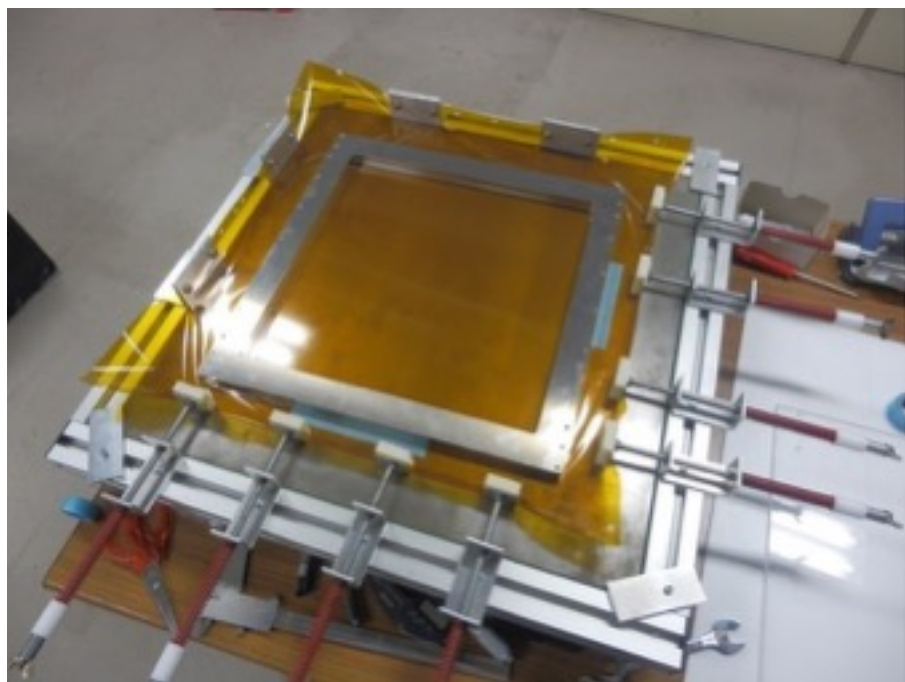
スピル長を6s -> 20msに変えて、高レートに



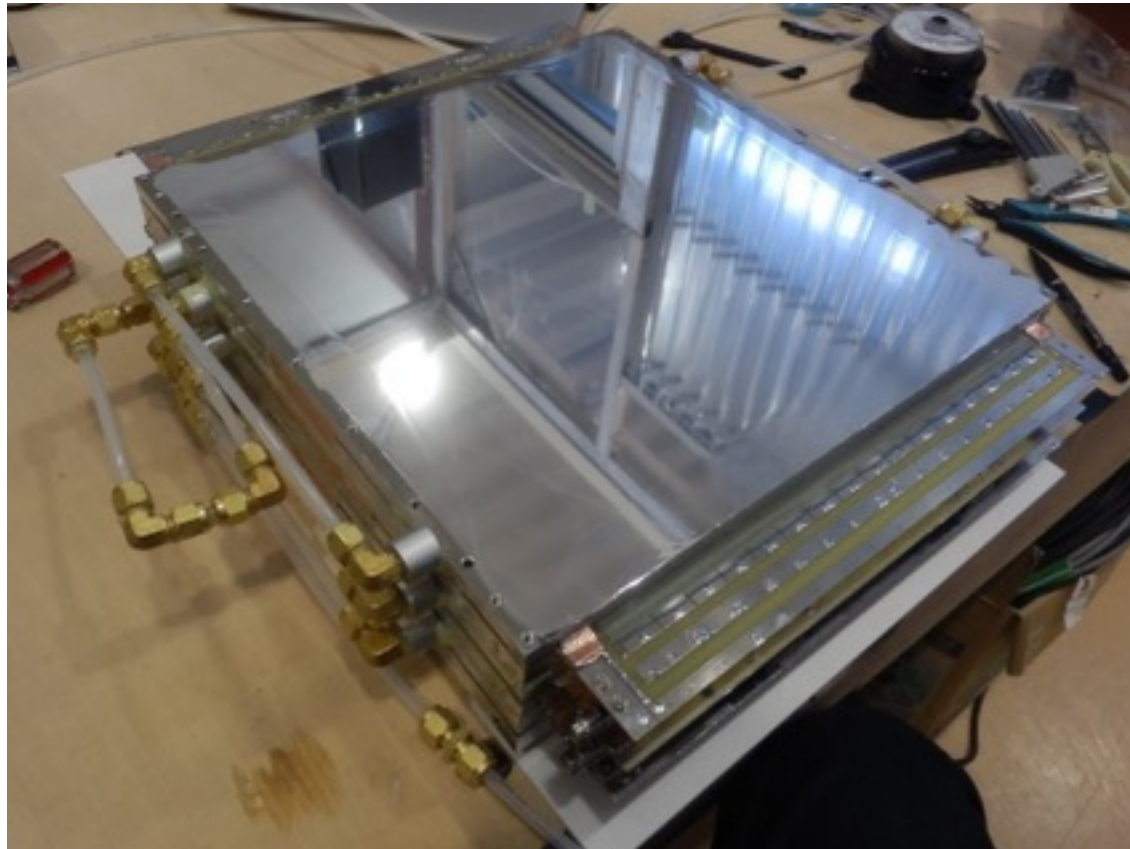
300kWビームでの予測値

→KOTO実験で運用時に予想されるレート (~60kHz/cm²) で十分動作する事を実証

実機製作



インストール



2014年10月~2015年1月に製作作業
2015年1~2月にインストール作業
同様のChamberを 3 台積層して設置

目的

- ・ 放電等によるdead timeの回避
- ・ 3 台中ドリフト距離の短い(早い)ものの時間を選ぶことでjitter短縮
- ・ 検出効率の向上



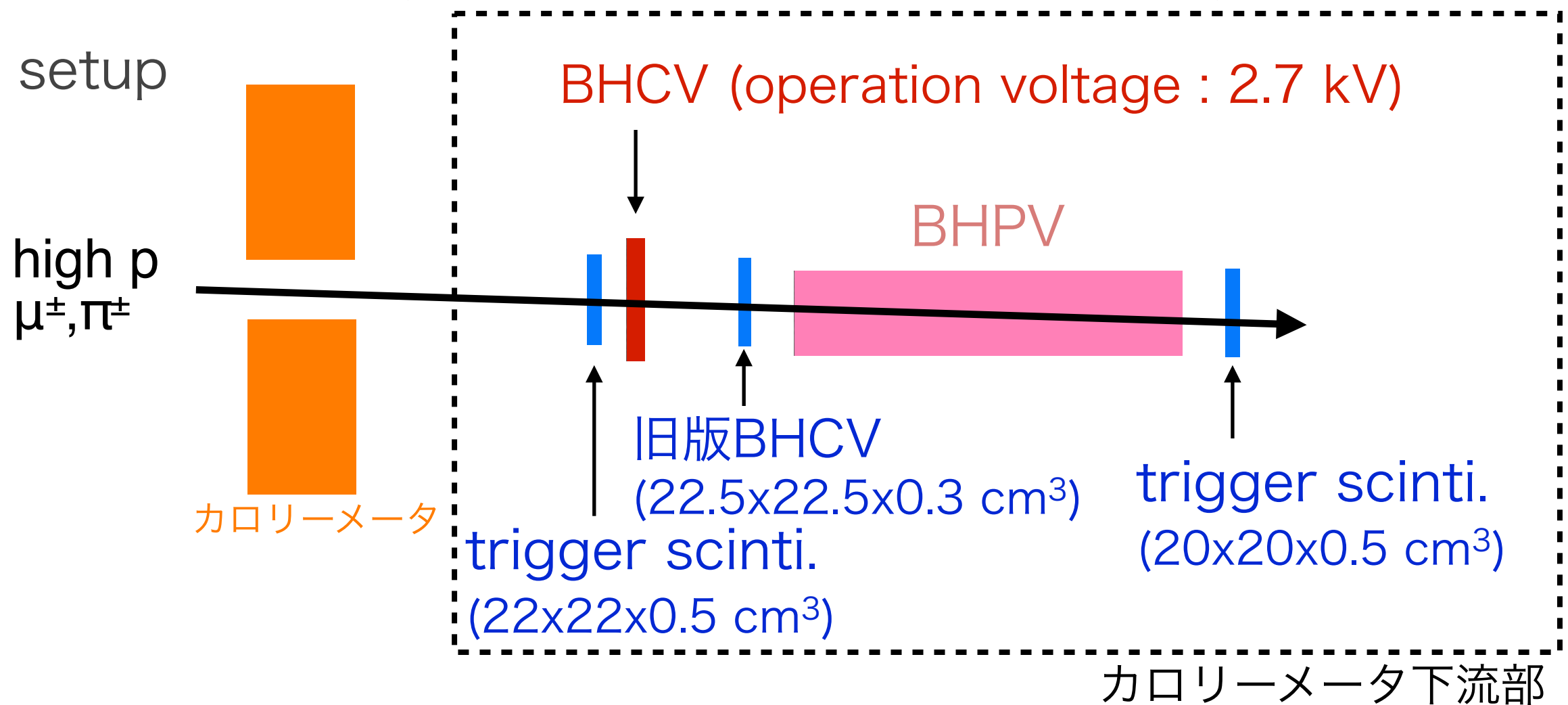
3台のうち 2 台以上にHitを要求

$$\begin{aligned}\text{非検出率 } \eta_{\text{total}} &= \eta^3 + {}_3C_2\eta^2(1 - \eta) \\ &= -2\eta^3 + 3\eta^2 \ll \eta_{1\text{台}}\end{aligned}$$

全体として99.5% 以上の検出効率を達成するためには、各moduleで95.9%以上の検出効率が必要

Special run (検出効率測定)

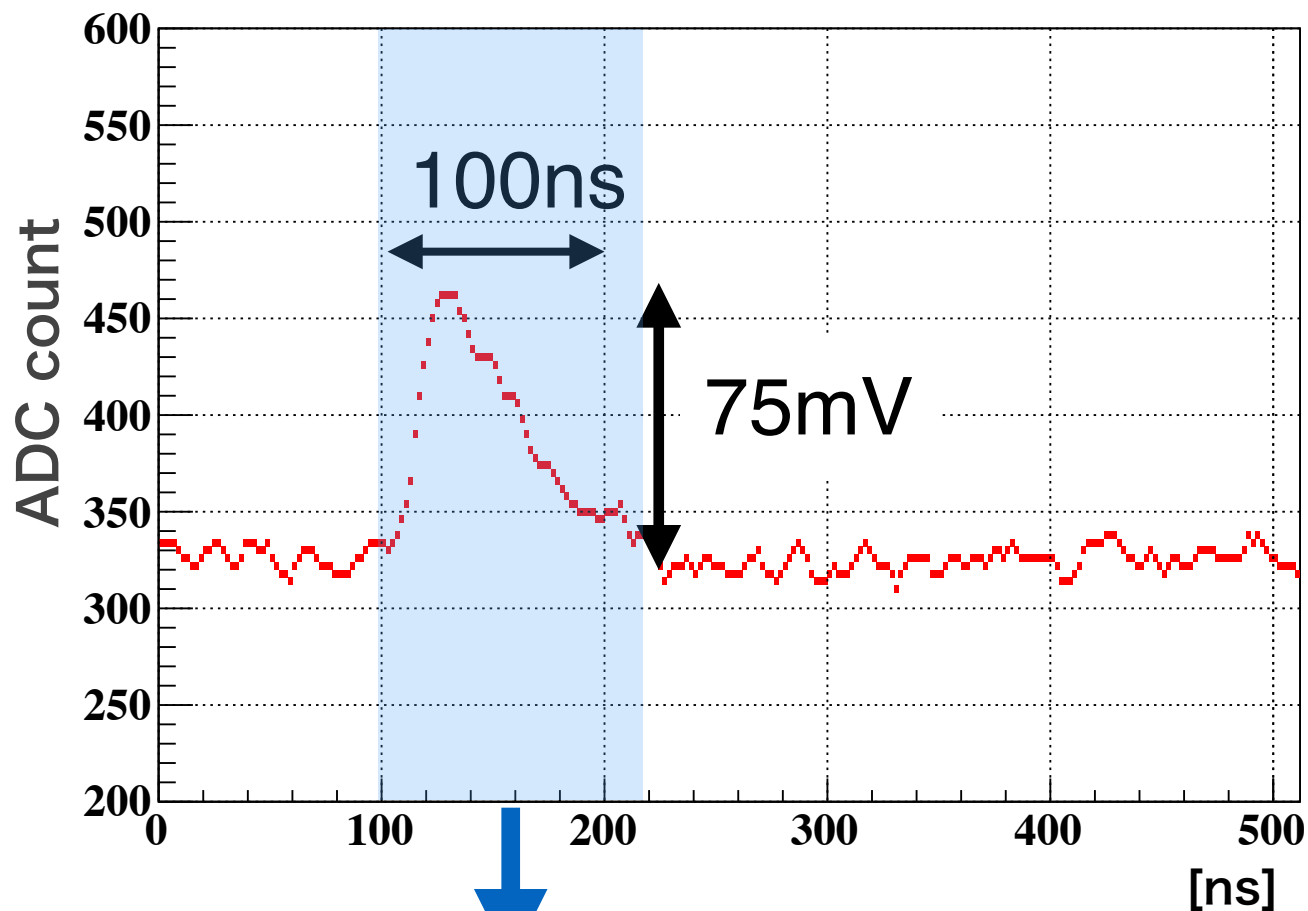
BHCVの検出効率測定のためにBHCV上流にtrigger scintillatorを挿入して special runを行った(上流ビームプラグ閉、低レート環境)



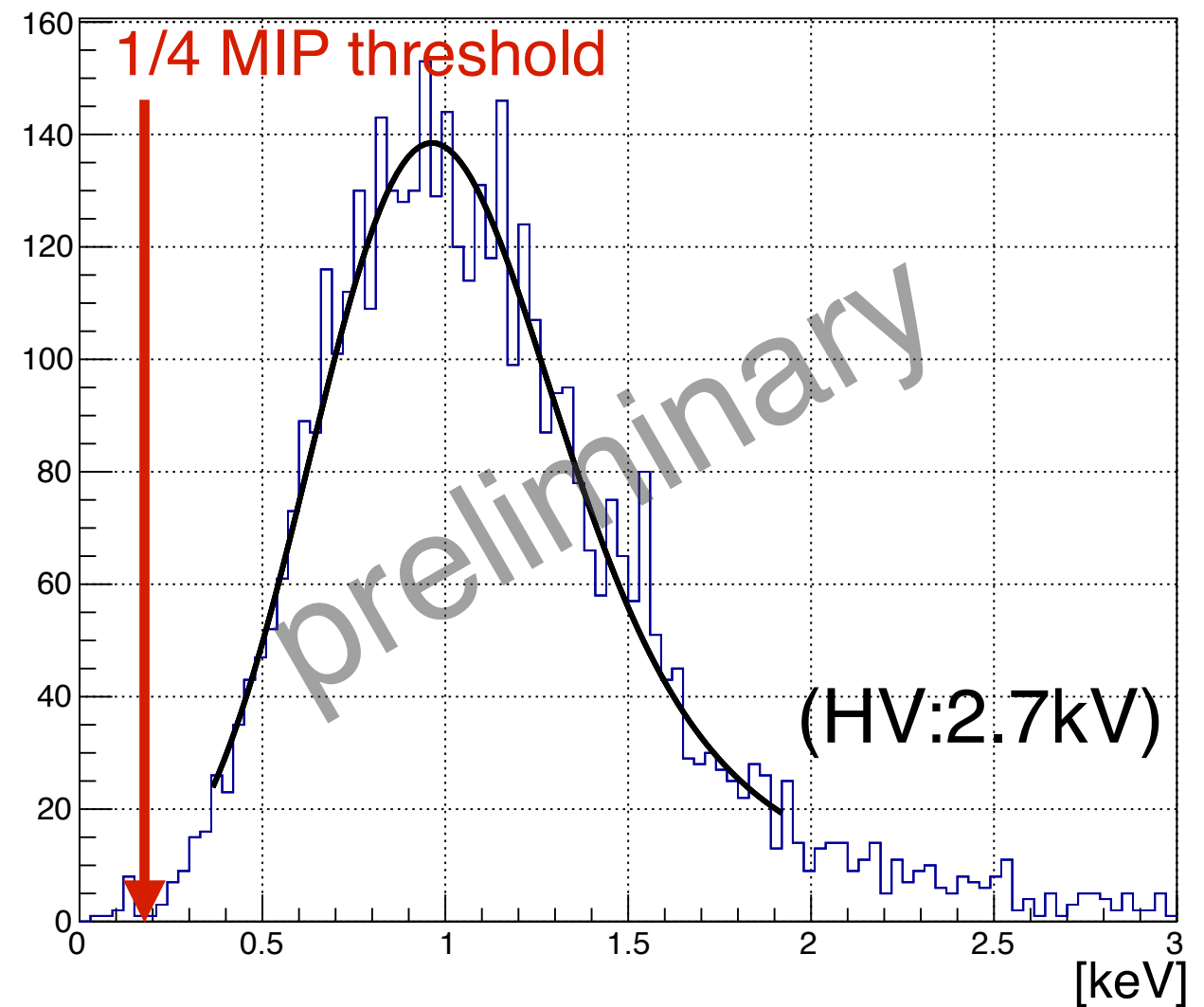
上流、下流のシンチレータと旧版BHCVの3つのコインシデンスを要求

BHPV : 鉛+エアロゲルの光子検出器 ($\sim 6.2 X_0$)

Special run 結果



ADC値をこの範囲で積分
→ Energyに変換

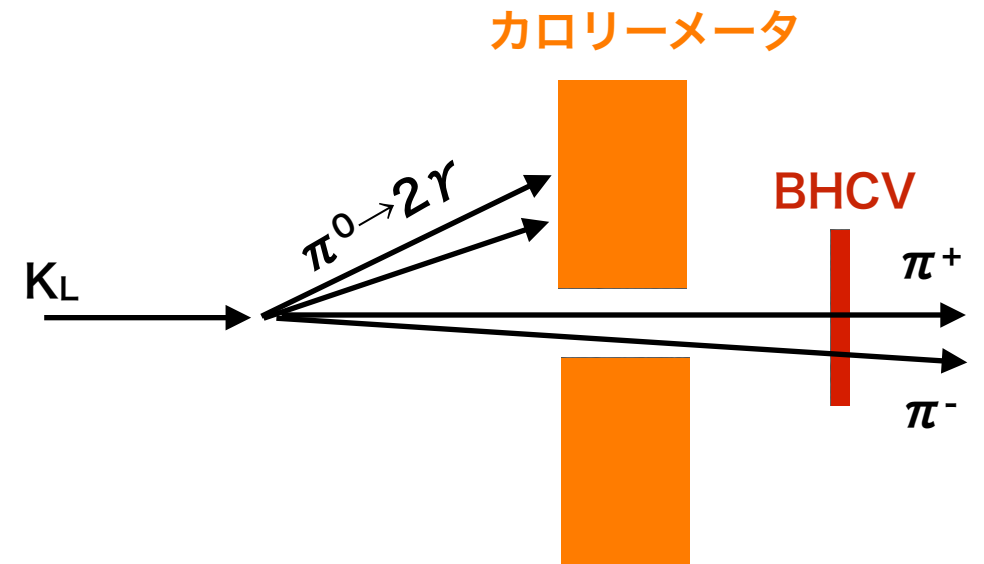
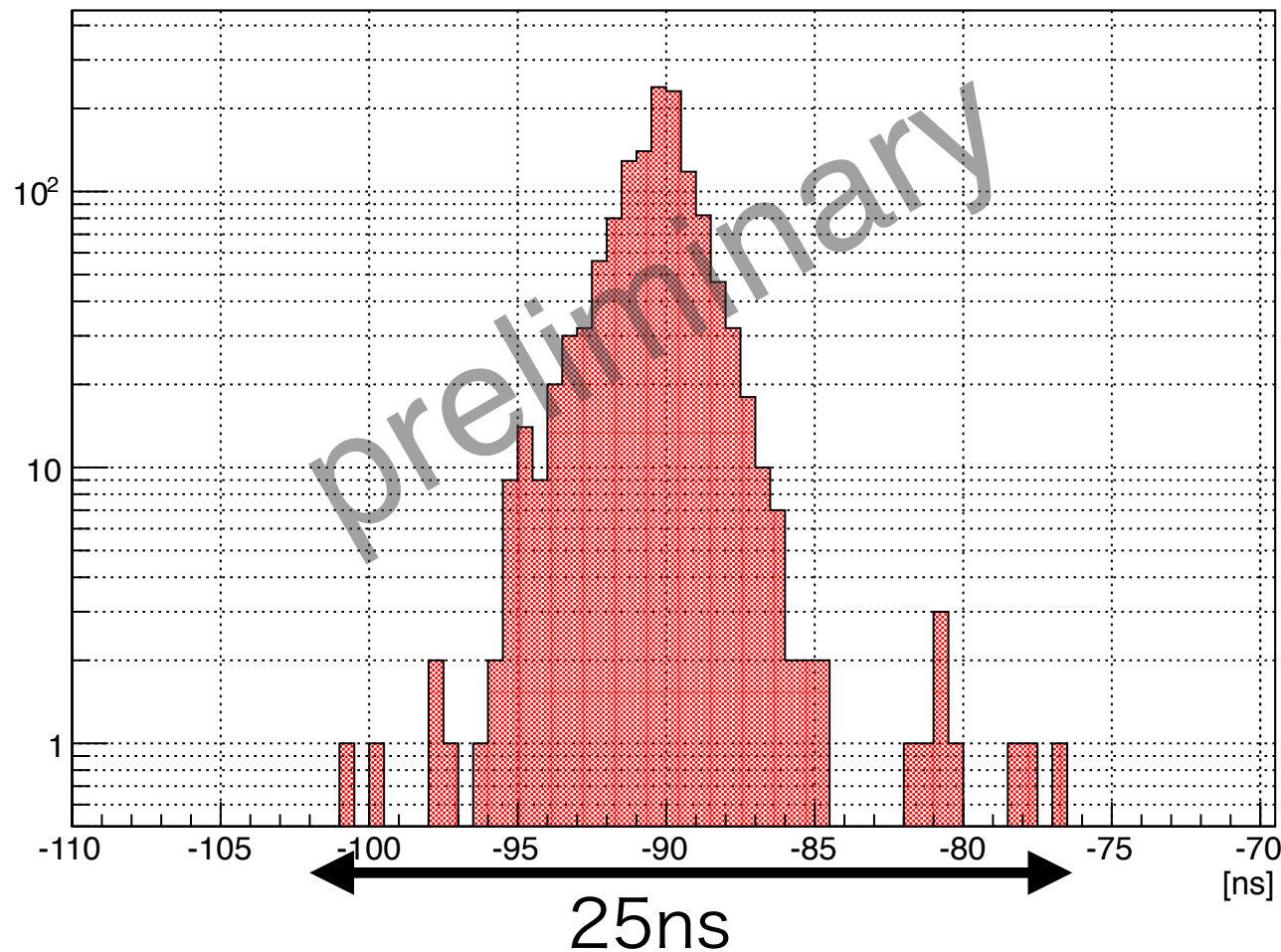


1 module(16ch)中の最大Energy
deposit 分布

→ 1 moduleで99.6%の検出効率
を達成

検出時間分布

RUN62 24kW でのデータ



カロリメータの情報から再構成した π^0 の崩壊時間と、BHCVの検出時間の時間差分布。BHCVの時間は3レイヤーある中で、検出時間が最も中心値に近いものを採用

➡実質的にtime jitterを短く=veto windowを狭くできる！

旧BHCVとのレート比較

※旧版BHCV : 3mm 厚プラスチックシンチレータ

RUN62: 24kW beam		Rate	Veto Window	
新BHCV		2.5 MHz	25ns	threshold: 1/4 MIP
旧BHCV		6.2 MHz	15ns	threshold: ~1/2 MIP (2013年5月ランと同じ)

veto windowは広がるも、レート削減によって
Accidental loss は9% -> 6% に減少

※ レート・Accidental lossはカロリメータで $KL \rightarrow 3\pi 0$ が観測された時、どの位の割合でそのイベントがBHCVによってvetoされるかで算出

まとめ

- ・ KOTO実験の中性ビーム中で用いる荷電粒子検出器(BHCV)として 30cm x 30cmをカバーするthin gap なMWPCを開発・インストールした
- ・ 1 moduleあたりの検出効率として99.6%を達成
- ・ 旧版のBHCVに比べ、レートを半分以上削減しBHCVによる Accidental loss を9%→6%に削減
- ・ 今後、4-6月及び10-11月に取得したデータを解析、 Accidental lossを抑えて高感度での $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊探索を行う