

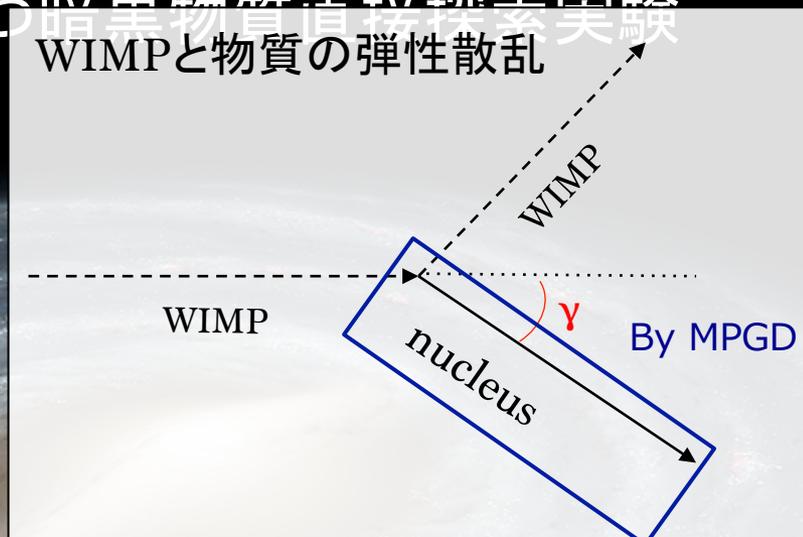
陰イオンを用いた μ TPCの基礎試験

池田智法
神戸大学(NEWAGE)

22nd ICEPP シンポジウム
2016.3.2

MPGDと方向に感度を持つ暗黒物質直接探索実験

WIMPと物質の弾性散乱



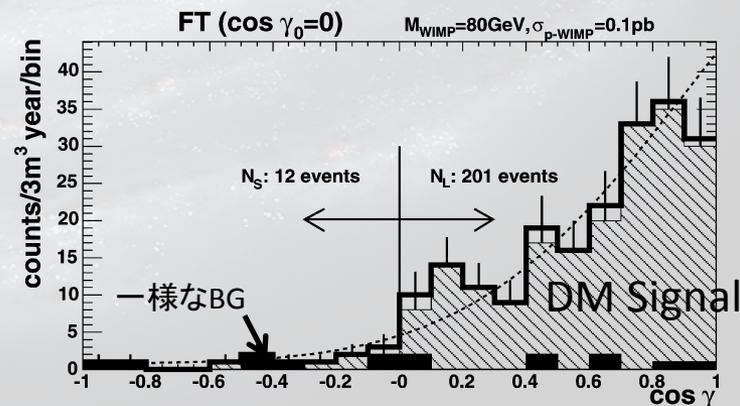
Cygnus



X



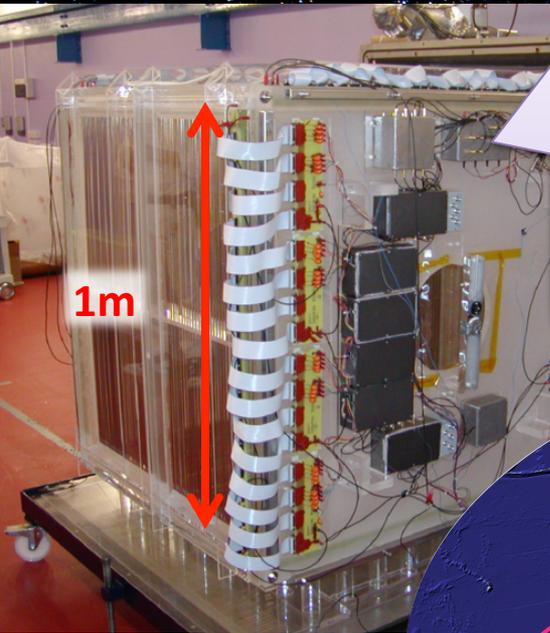
反跳原子核の散乱角 γ の分布



PLB578 (2004) 241-246

➡ 暗黒物質の強い証拠

ガス検出器と暗黒物質実験の世界情勢

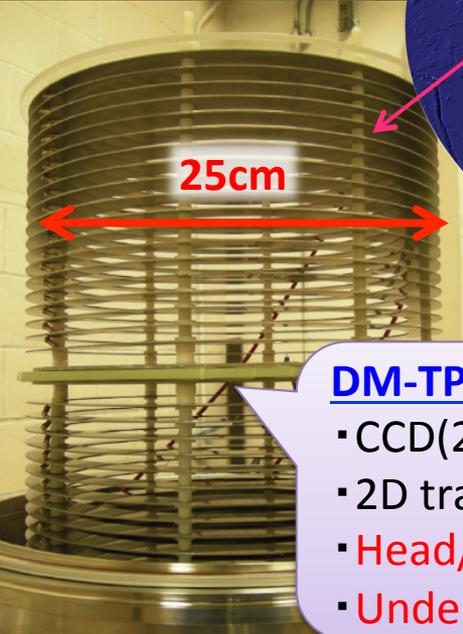


DRIFT

- MWPC(2mm pitch)
- First started gas detector
- **Underground**
- **Low background**
- **Large size(~1m³)**

MIMAC

- MicroMegas(~424um pitch)
- **Underground**
- **10×10×25 cm³**

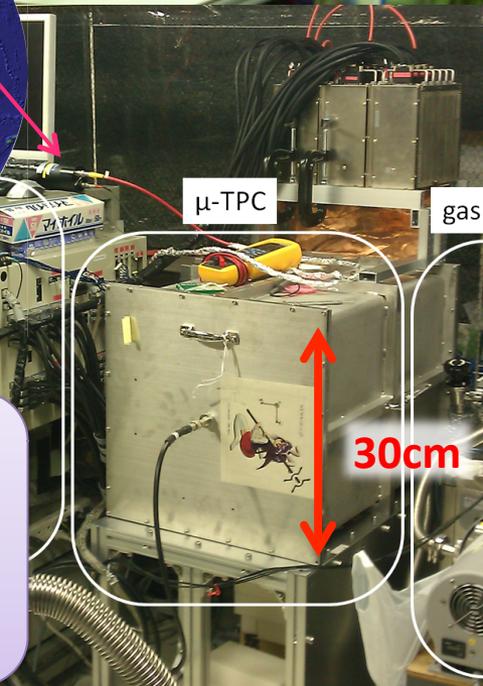


DM-TPC

- CCD(256um pitch)
- 2D track
- **Head/tail recognition**
- **Underground**

NEWAGE

- μ-PIC(400um pitch)
- **3D track**
- **Direction-sensitive limit**
- **Underground**



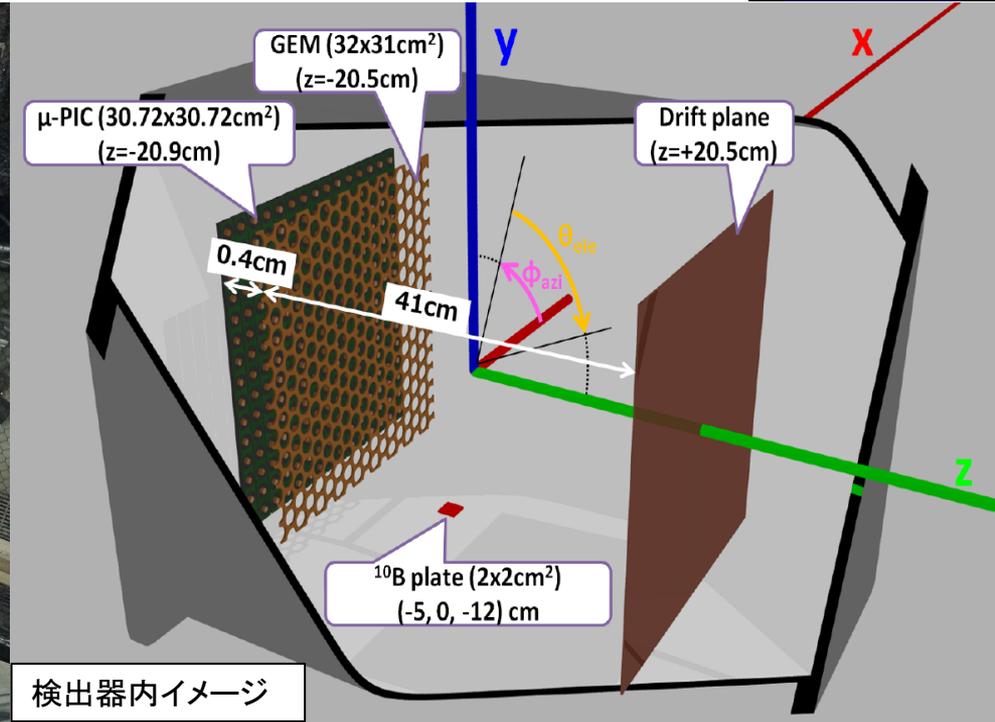
30cm

New Generation WIMP Search with an Advanced Gaseous Tracker Experiment

- μ TPCを用いた方向に感度を持つ暗黒物質探索実験



NEWAGE0.3b'検出器外観

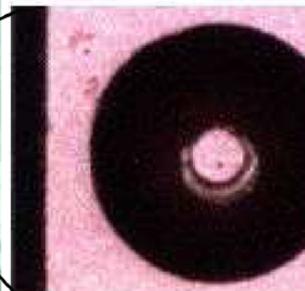
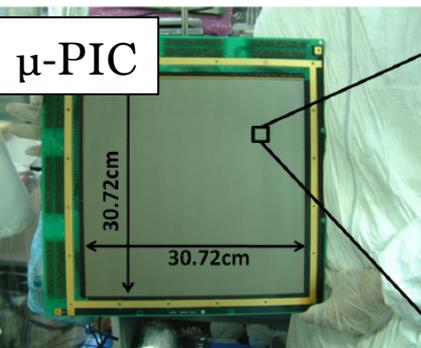


検出器内イメージ

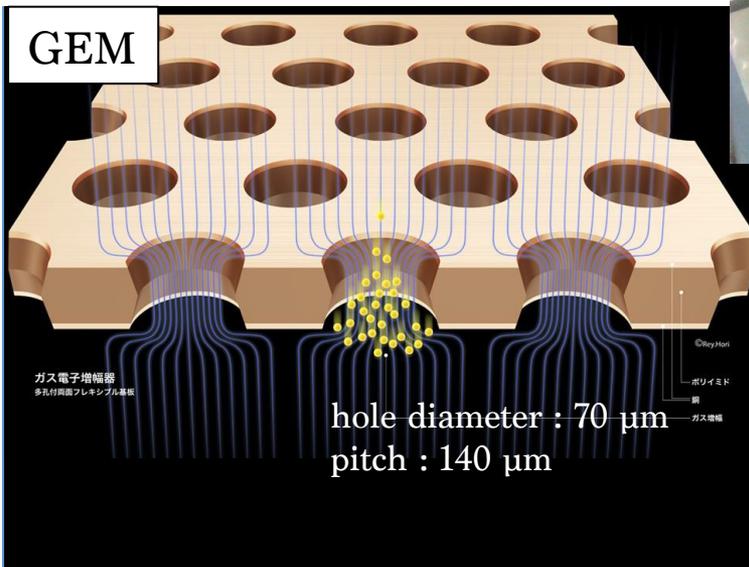
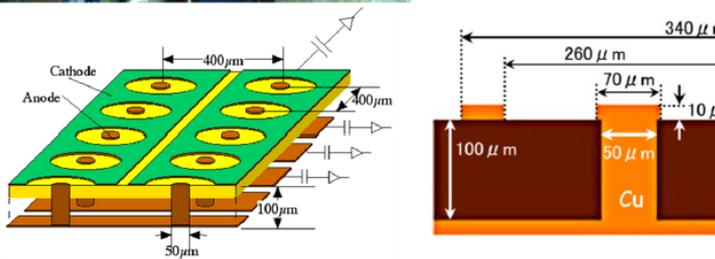
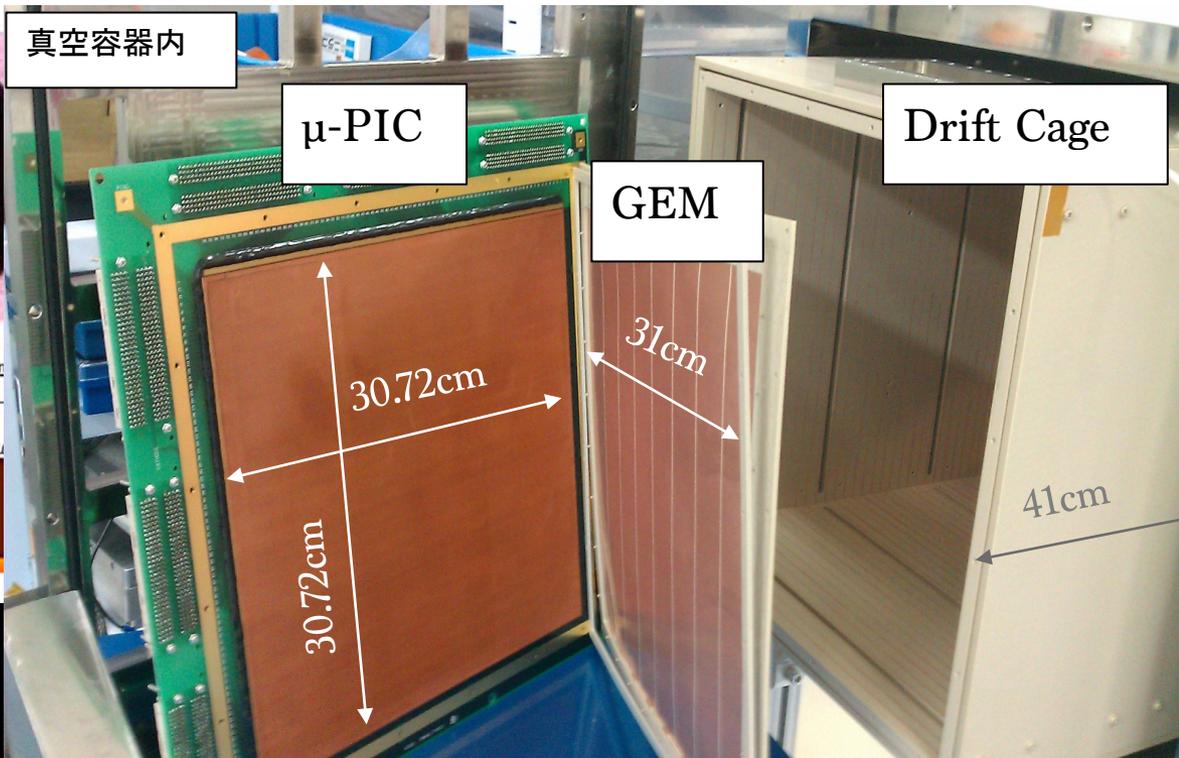
μ TPC: μ -PIC + GEM system

- 体積 : $30 \times 30 \times 41 \text{ cm}^3$
- 使用ガス : CF_4 (76 torr)

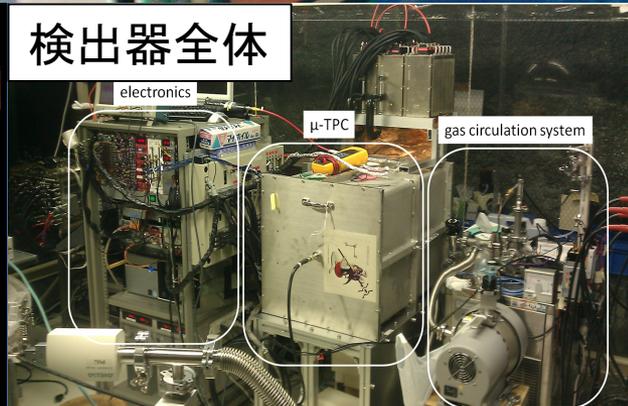
NEWAGE0.3b'



真空容器内



検出器全体

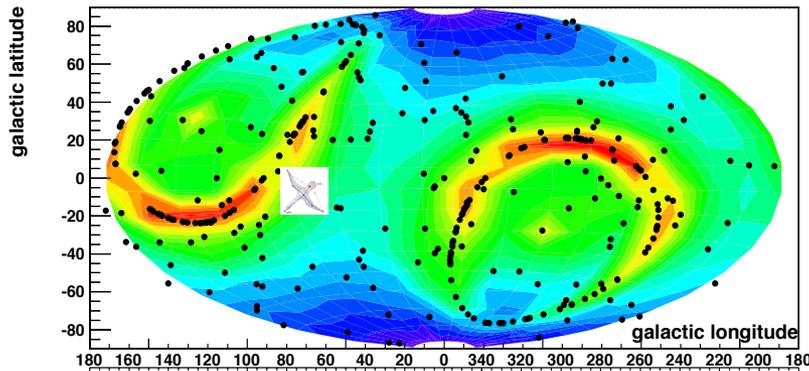


最新結果

Conditions **RUN14**

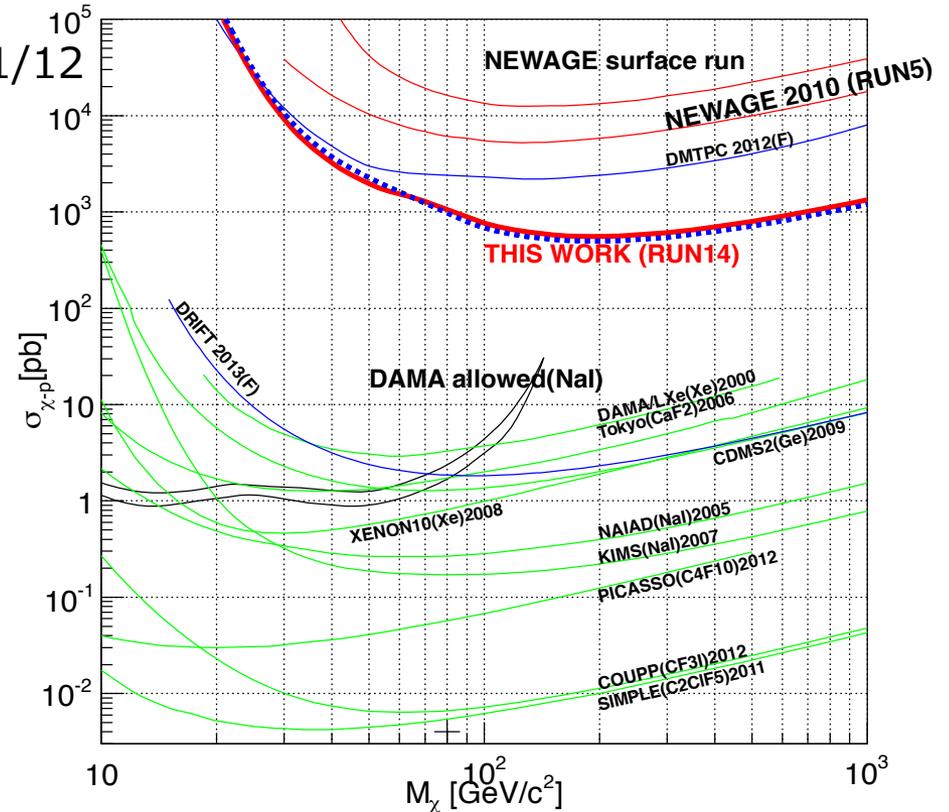
- period : 2013/7/20~8/11, 10/19~11/12
- live time : 31.6 days
- fiducial volume : $28 \times 24 \times 41 \text{ cm}^3$
- CF₄ gas(76Torr)
- mass : 10.36 g
- exposure : 0.327 kg · days

Skymap in galactic coordinate



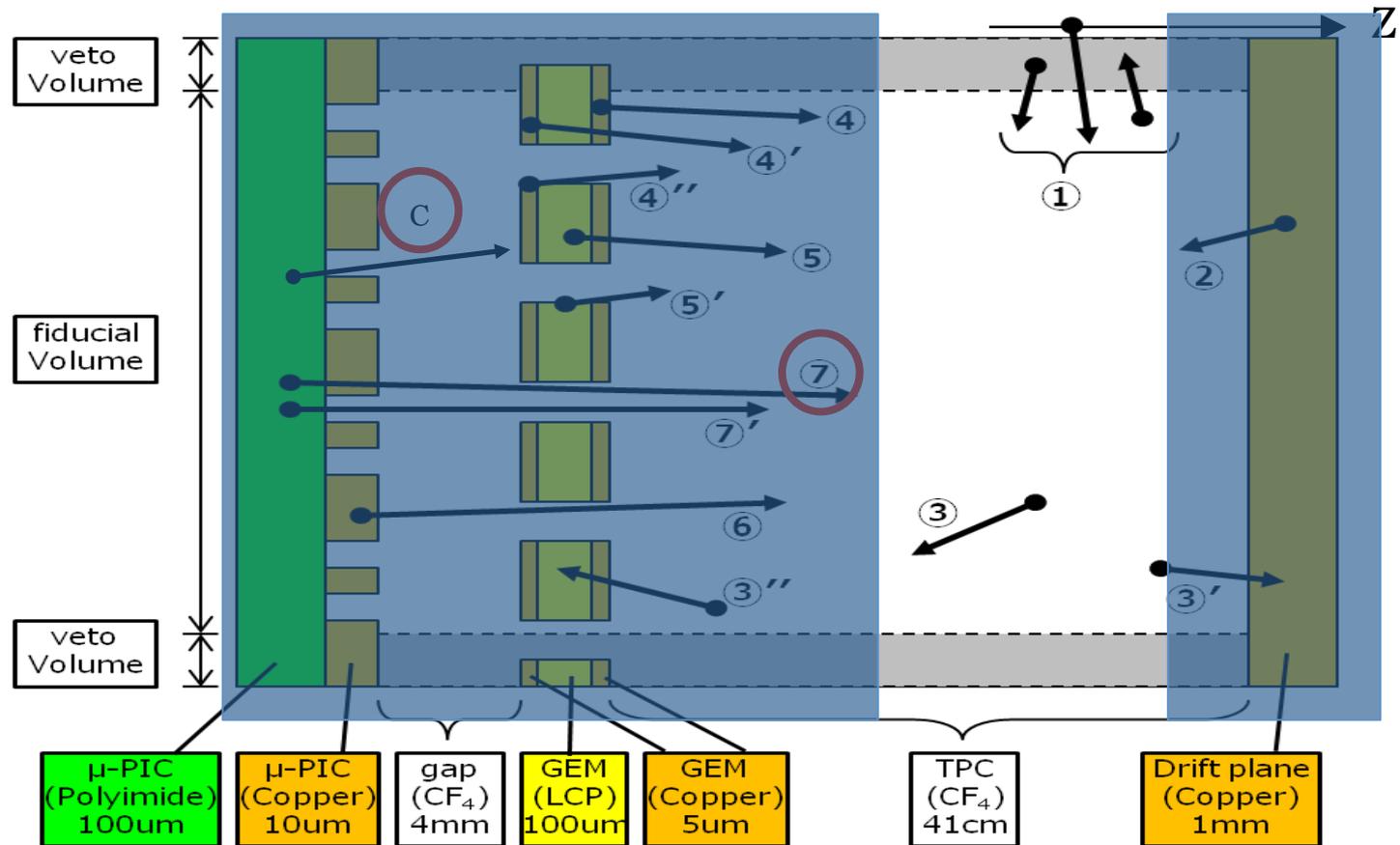
- Black point is nuclear recoil event
- Gradation color: detection efficiency

SD 90% C.L. upper limits and allowed region



- the best direction-sensitive limit
(K.Nakamura et.al, PTEP(2015)043F01s)

μTPCのバックグラウンドイベント

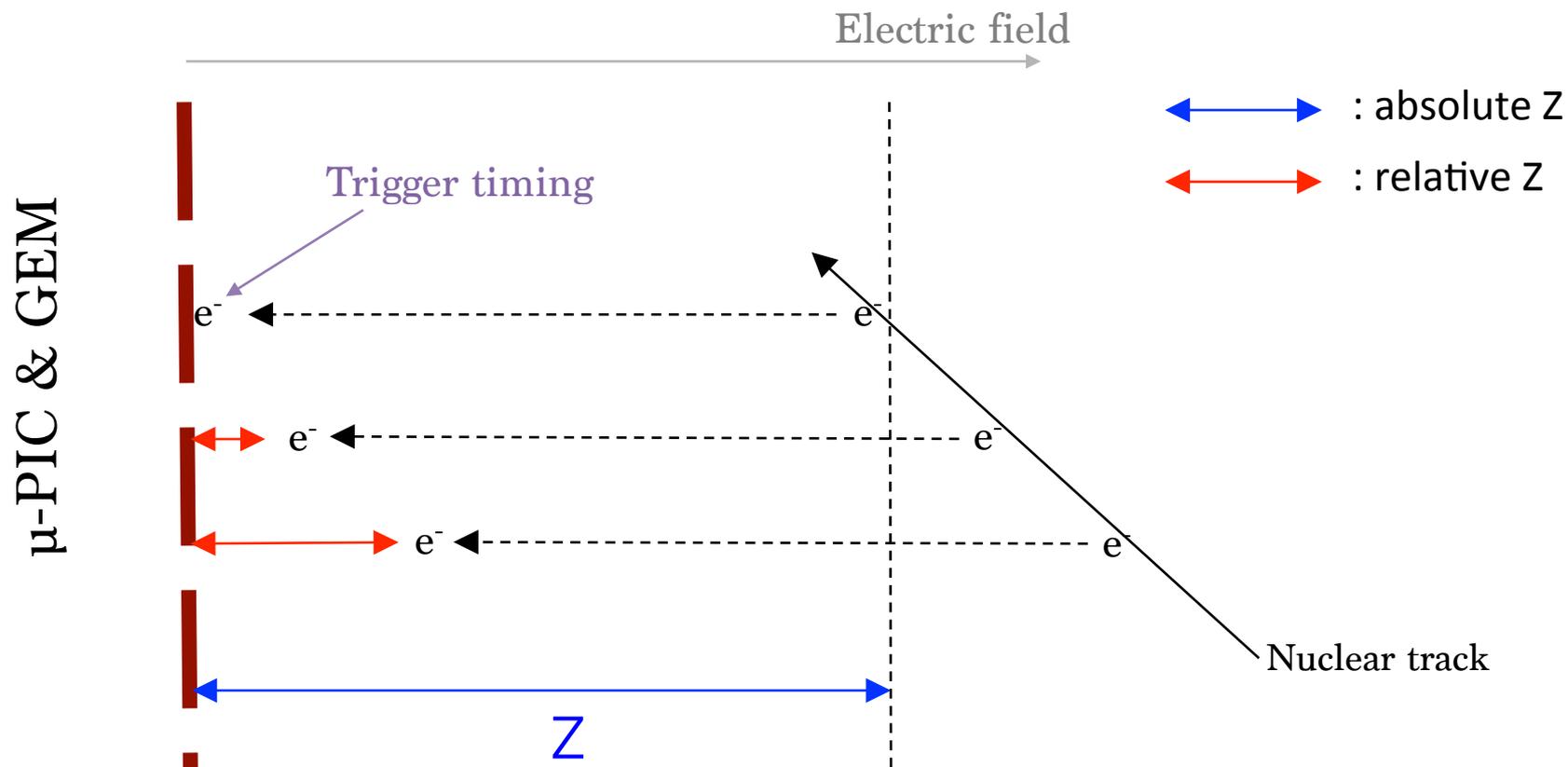


μTPC断面図

□ μTPCの主なバックグラウンド

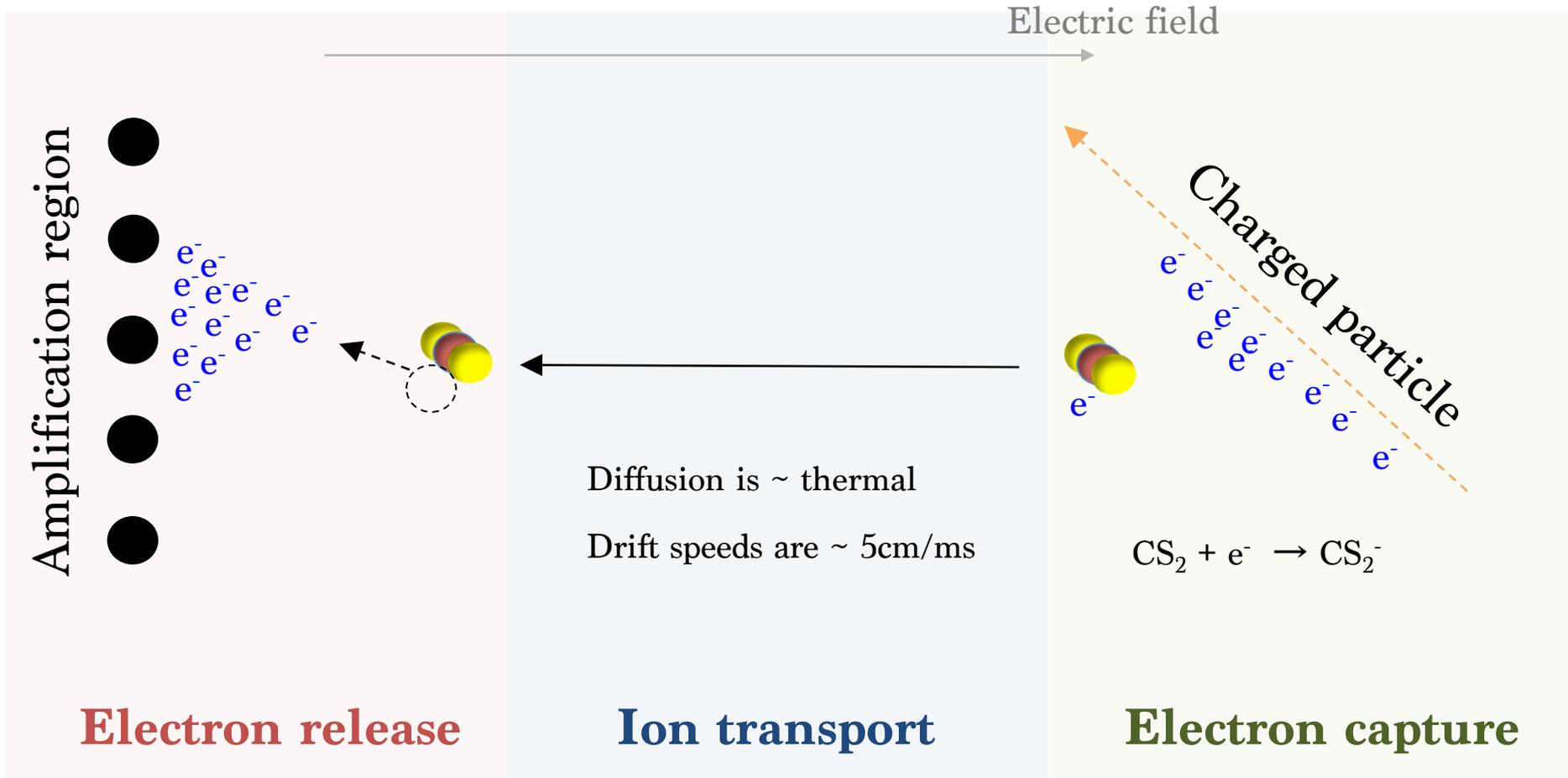
- 高エネルギー領域では⑦
 - 低エネルギー領域ではC
- μ-PICのガラス繊維からくるα線 (U/Th系列)

Self Triggering TPC



セルフトリガーモードのTPCではZの絶対位置は決定できない

陰イオンTPCの原理



Martoff et al., NIMA, 440 (2000)

Snowden-Ifft, et al., PRD, 61, 101301 (2000)

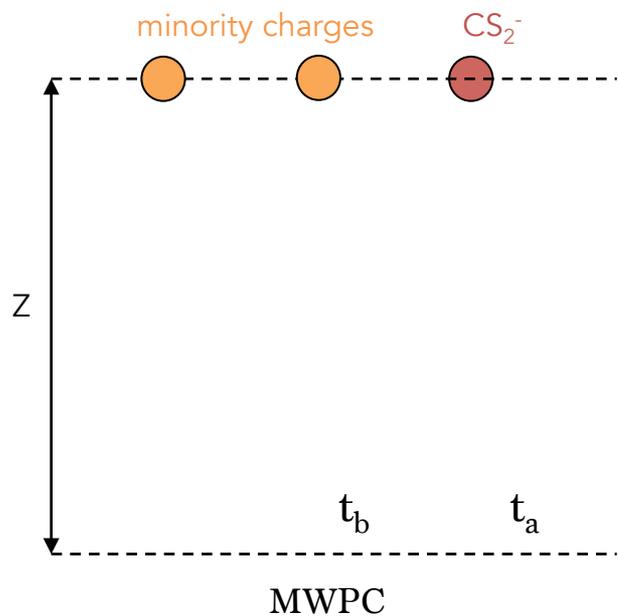
Snowden-Ifft & Gauvreau, Rev. Sci. Instrum., 84, 053304 (2013)

陰イオンを用いたTPCのZの絶対位置決定

- DRIFTグループがMWPC-TPCでのZの絶対位置決定に成功

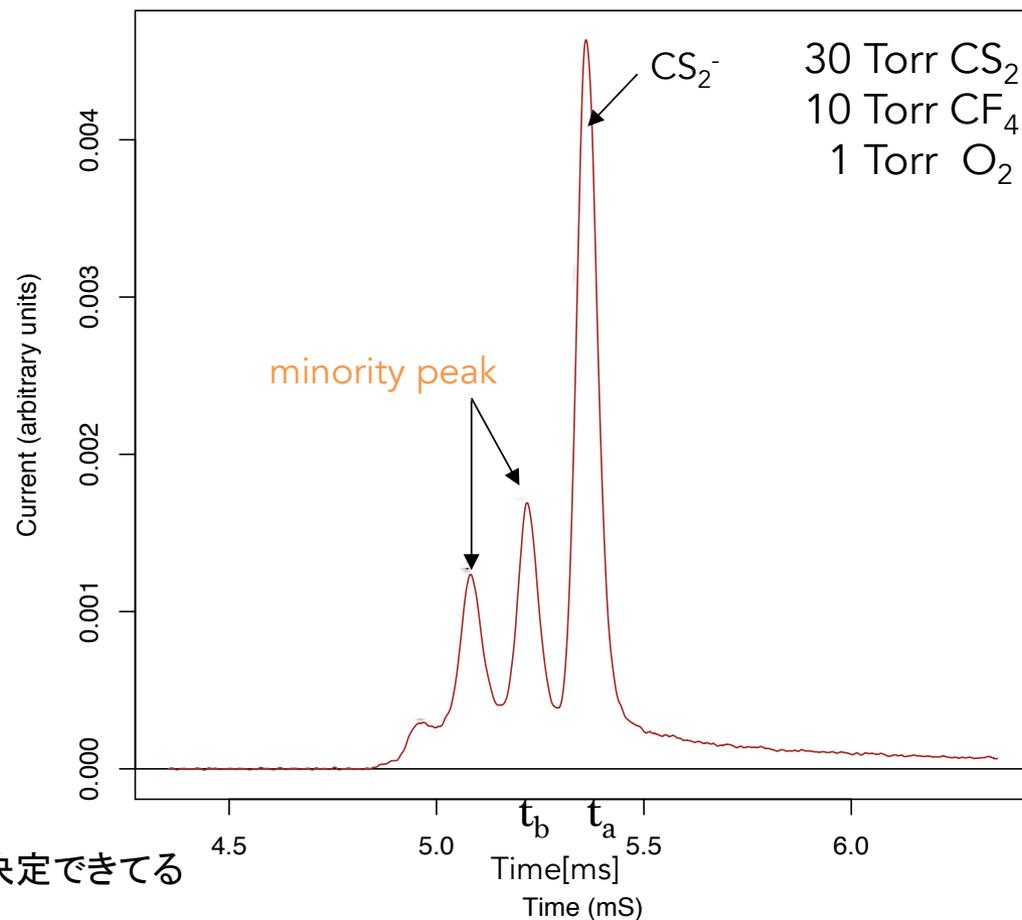
[Physics of the Dark Universe 9-10(2015)1-7]

- 陰イオンガスCS₂にO₂加えることでドリフト速度の異なる陰イオンが複数生成される



$$z = (t_a - t_b) \frac{v_a v_b}{(v_b - v_a)}$$

DRIFTグループは $\sigma_z \sim 2\text{mm}$ の精度でZを決定できる



陰イオンガスの候補

CF₄(electron drift(normal) gas)

- DM実験でターゲットとしても使用
- 典型的なドリフト速度：~cm/ μ s
- ガスゲイン 3000 (76Torr)
- プリアンプ 160mV/pC(ASDchip)

Negative Ion Gas

CS₂

- 有毒、揮発性、可燃性
- 電子親和力0.89eV
- MWPCでの実績がある
- DM実験ではCF₄ガスを加える必要あり
- ガスゲインの要請

$$\sim 480 \cdot \frac{76\text{Torr}}{P}$$

with amplifier(1V/pC)

SF₆

- 無毒、不揮発性、不燃性
- 電子親和力1.1eV
- 絶縁ガスとして用いられる
- THGEMでの実績がある

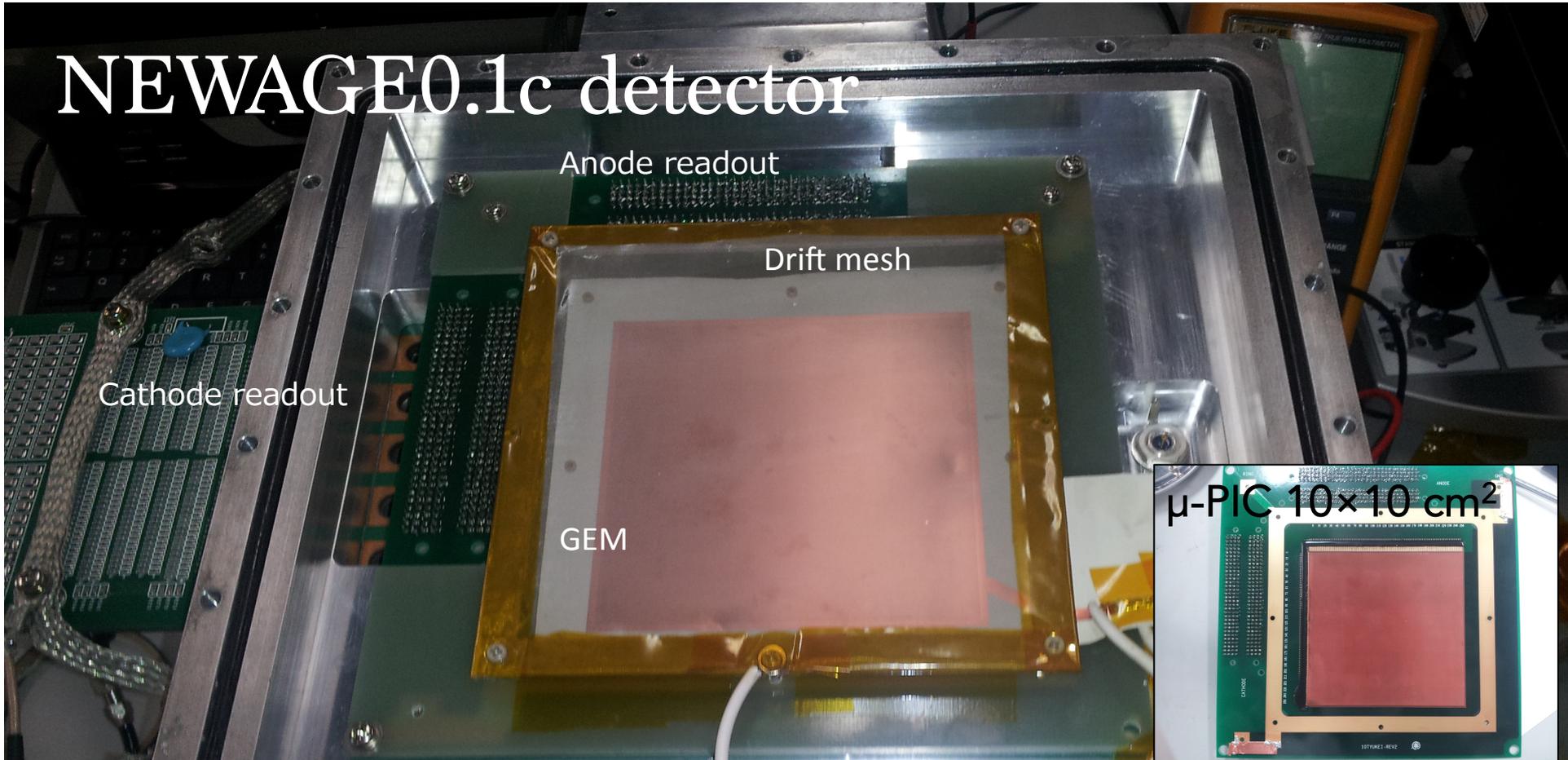
[N.Phan talk at CYGNUS2015 , June 2015]

- ガスゲインの要請

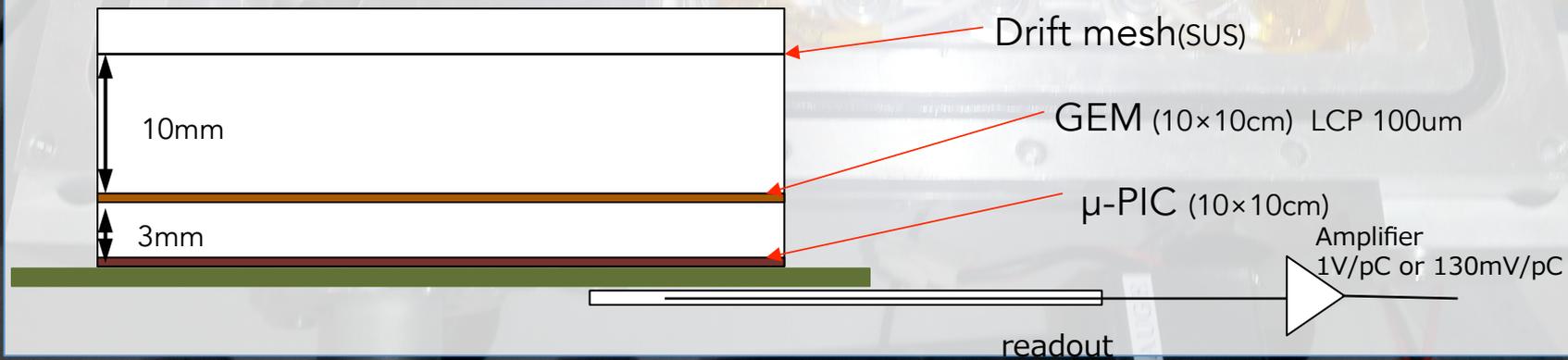
$$\sim 980 \cdot \frac{76\text{Torr}}{P}$$

典型的なドリフト速度: 10⁻²cm/ μ s

NEWAGE0.1c detector

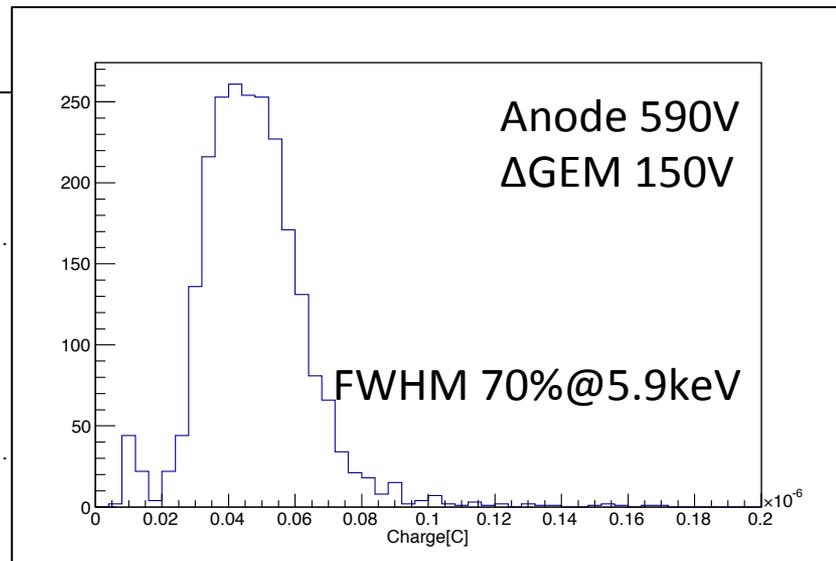
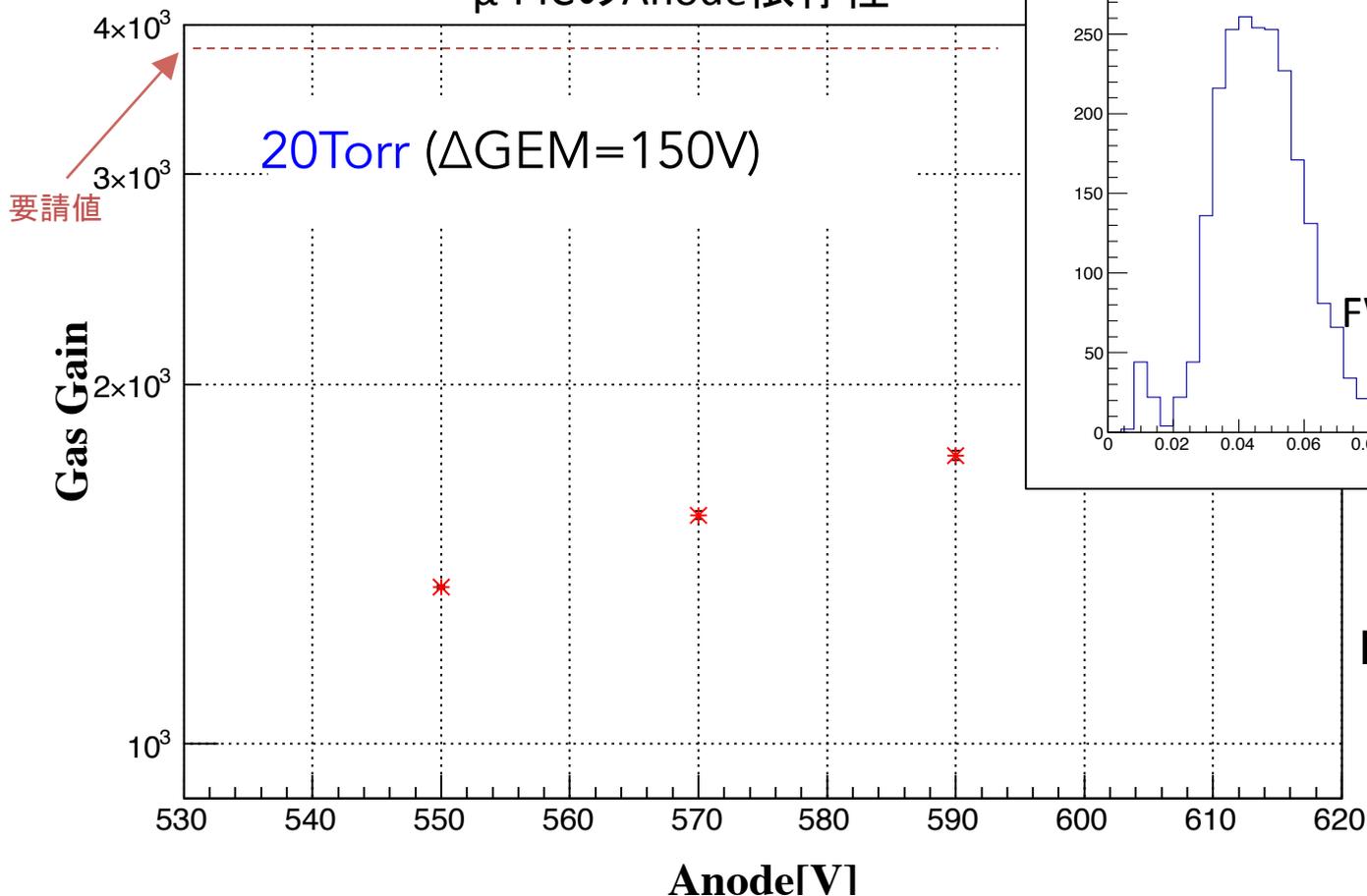


断面図



ガスゲイン

μ-PICのAnode依存性

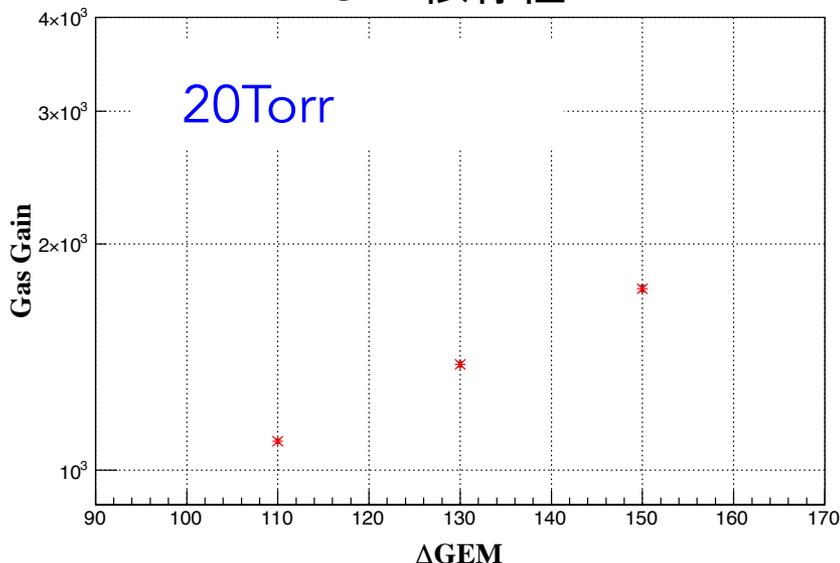


- 最大到達ガスゲイン
- <1000 (50Torr)
 - <300 (152Torr)

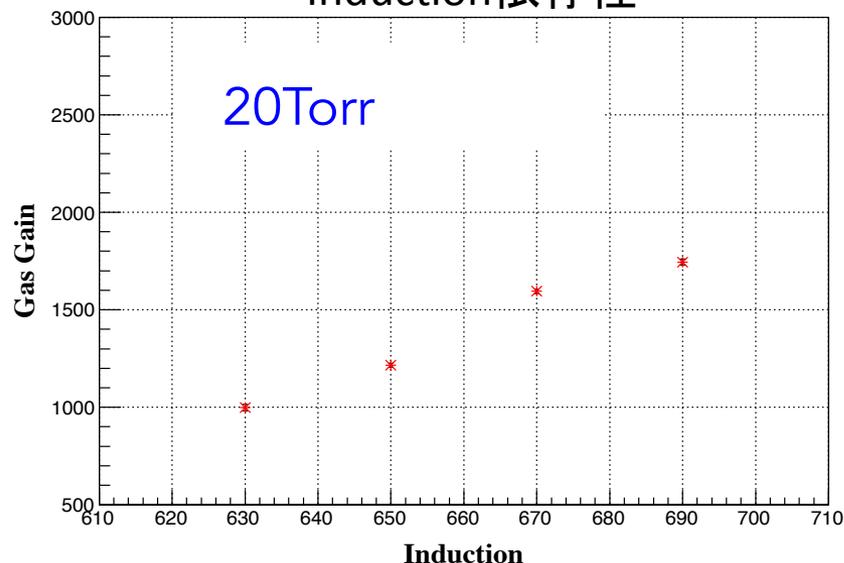
□ 20Torr で最大到達ガスゲイン ~2000

GEM & Induction依存

GEM依存性



Induction依存性

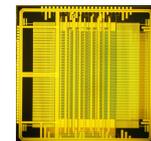


□ ガスゲイン ~2000(20Torr)

- エネルギー閾値は約2倍悪化 → 後段のアンプを改良することで解消

LTARS2014 ASIC chip for LArTPC developed with KEK e-sys group

LTARS2014 ASIC chip (5mm x 5mm)

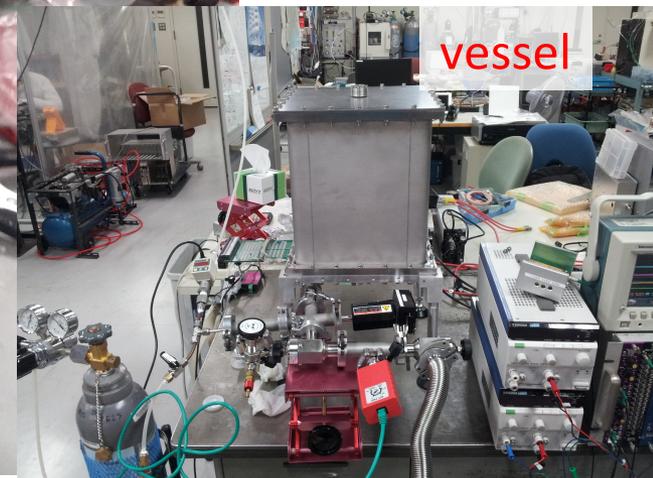
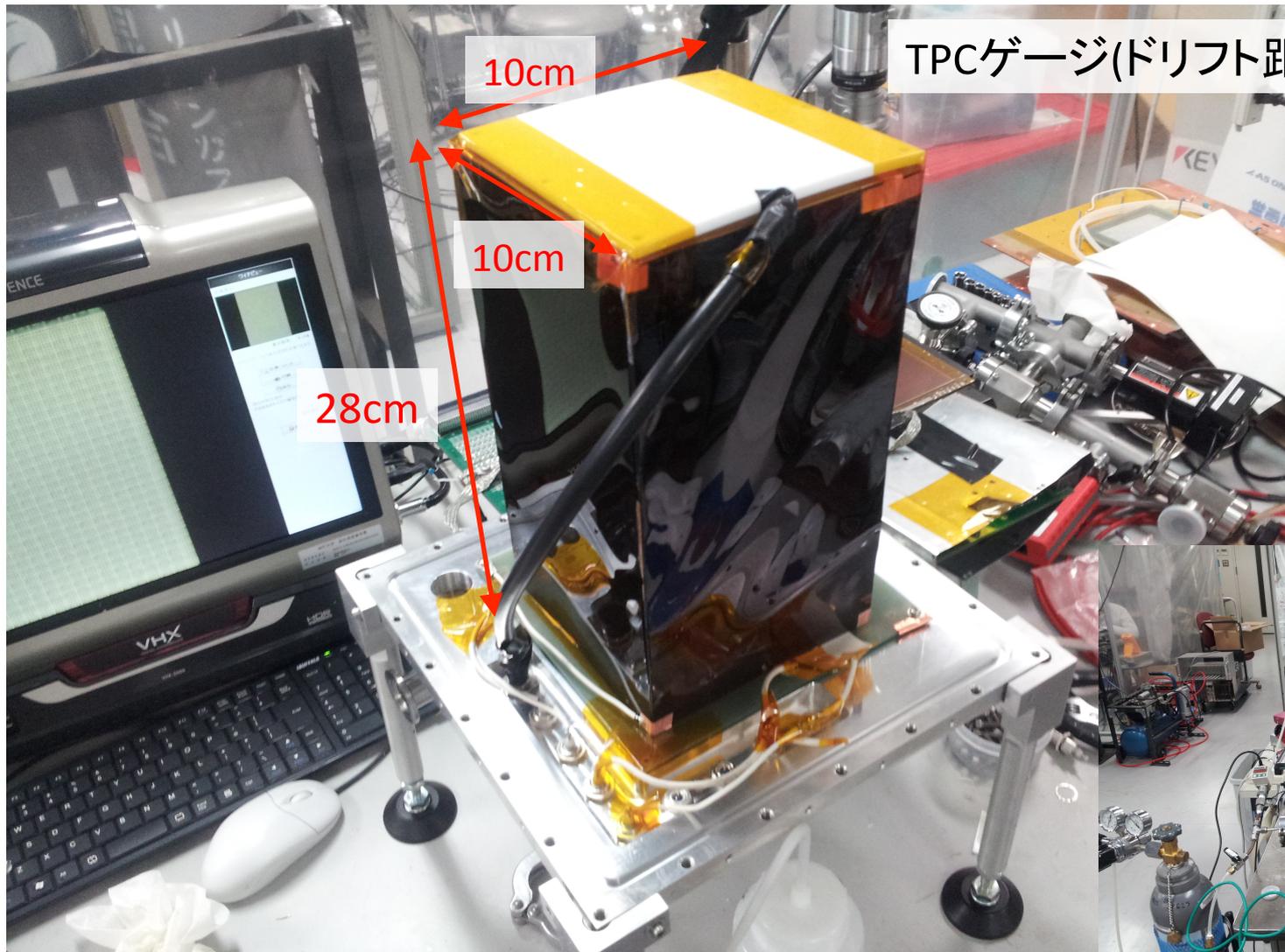


□ 20Torrでも十分なガスゲイン

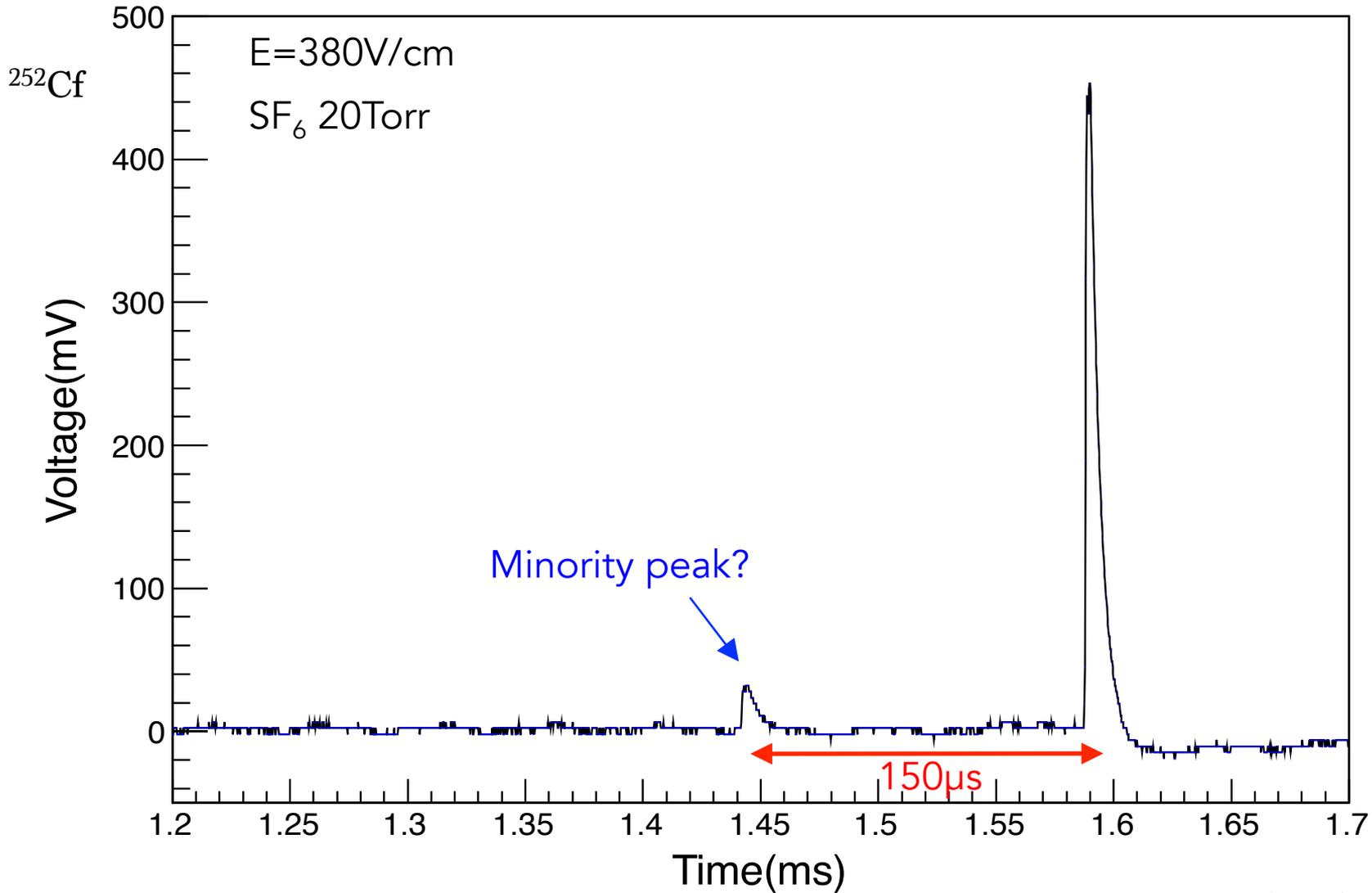
- 原子核の飛跡距離が増加(CF_4 76Torrで100keVの原子核で約2mm)
→ 低エネルギー領域での角度分解能の向上

□ 現在の測定環境でも100keV程度の原子核反跳イベントならマイノリティピークは観測可能

Prototype μ TPC(28cm Drift)



Waveform Feature



※10cmTPCゲージ

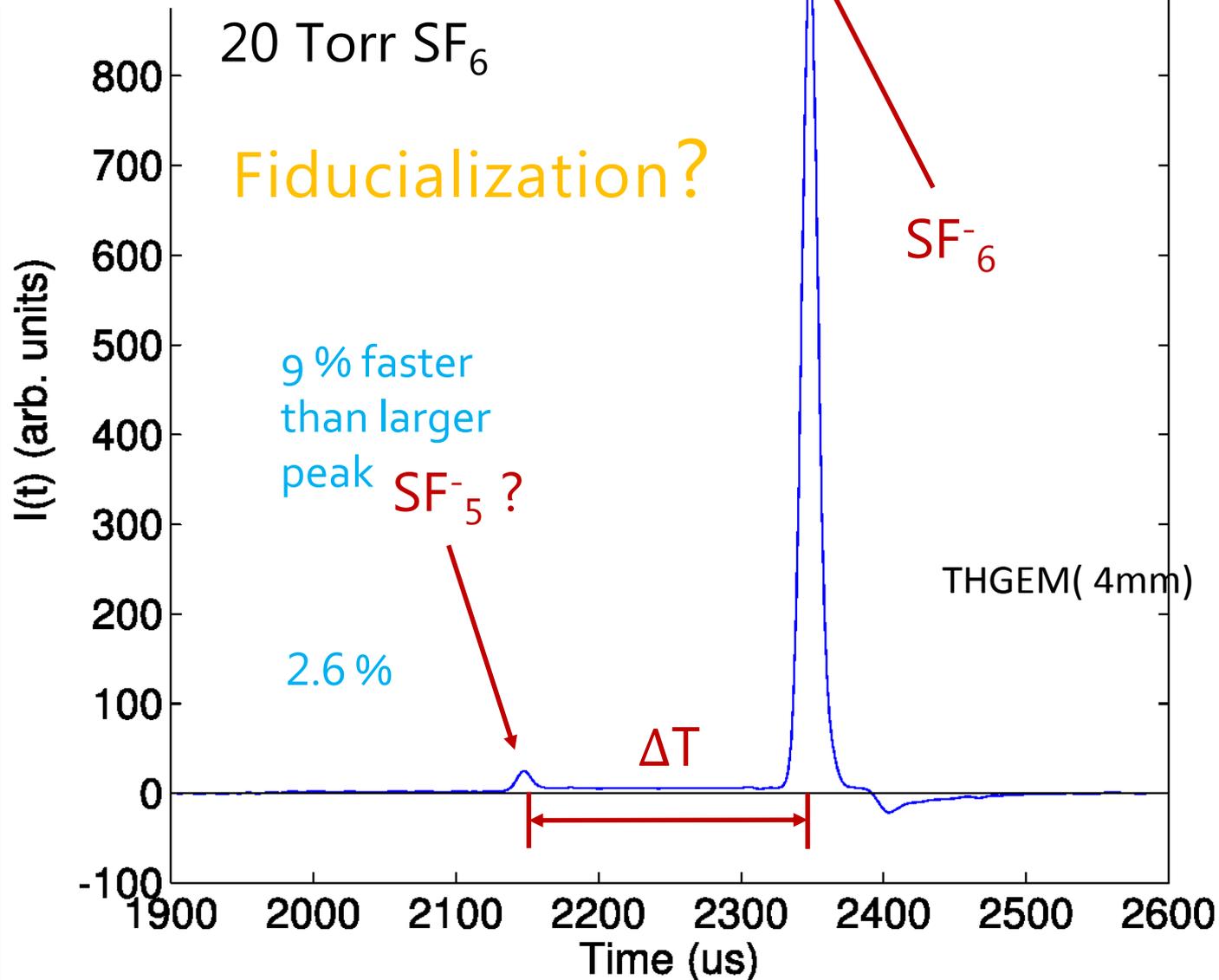
Summary

- NEWAGEでは更なる感度向上のためにバックグラウンド除去の研究が行われている
- 陰イオンガスSF₆を用いたμ-PIC+GEMの試験を行った
- 20Torrでガスゲイン2000を達成した(100keV以上の原子核でマイノリティピークが観測できる)
- 低気圧下での稼働が可能のため、角度分解能の向上が期待できる
- 今後SF₆を用いたμTPCでマイノリティピークの観測へ

Back up

Minority Peak of SF₆

From N. Phan, Cygnus 2015

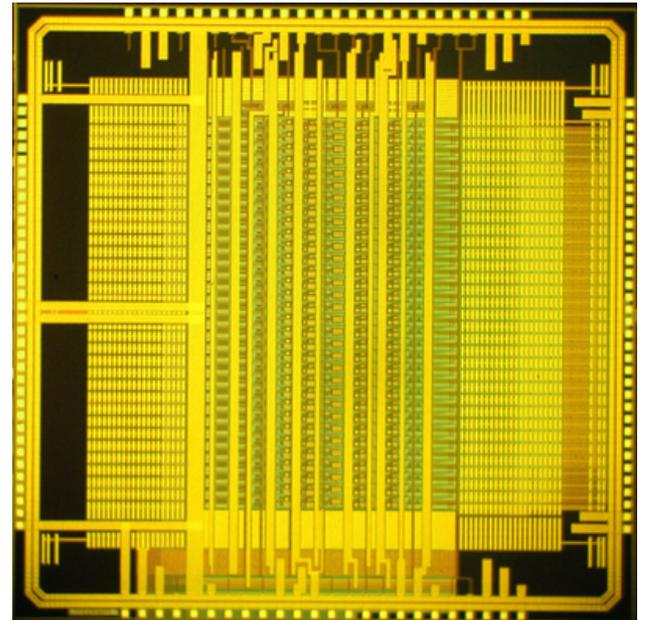


Amplifier for liquid Argon TPC

- Development of LTARS ASIC
 - pre-amp. & shapers in a chip
 - high density (32ch I n a chip)
 - power supply voltage $\pm 0.9V$
 - ENC $\sim 2000@300pF$
 - conv.gain $\sim 9V/pC$

LTARS2014 ASIC chip (5mm x 5mm)

(developed with KEK e-sys group,
one of Open-it projects [http://openit.kek.jp/
project/LTARS2014/LTARS2014](http://openit.kek.jp/project/LTARS2014/LTARS2014))



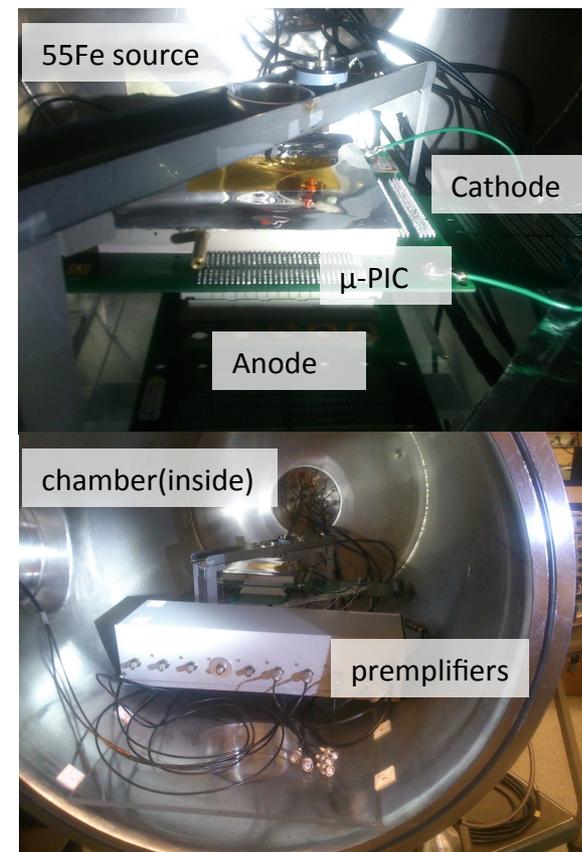
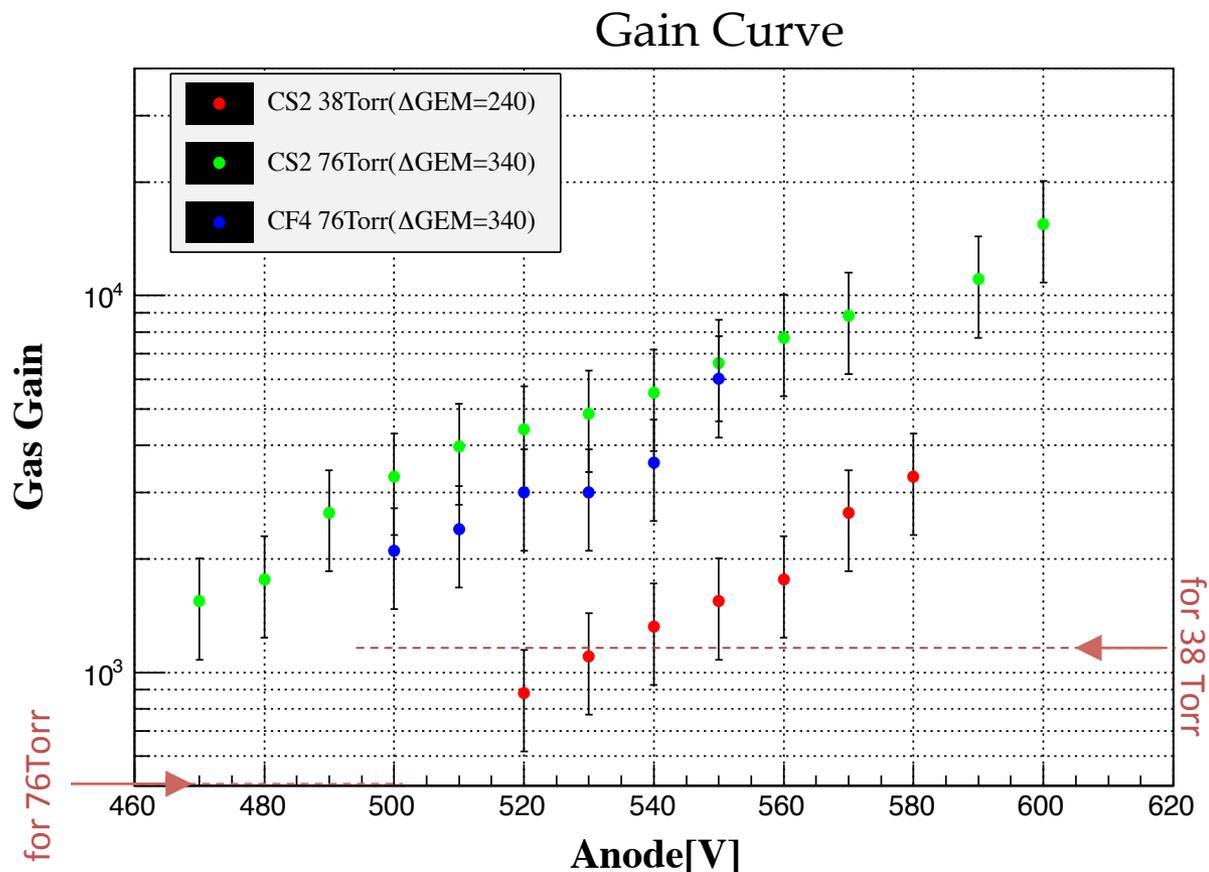
Spin dependent(SD) cross section

- The SD cross section is written using σ_{SD} as

$$\sigma_{\chi-N}^{SD} = \sigma_{\chi-p}^{SD} \frac{\mu_{\chi-N}^2}{\mu_{\chi-p}^2} \frac{\lambda^2 J(J+1)}{0.75}.$$

Isotope	J	Abundance(%)	μ_{mag}	$\lambda^2 J(J+1)$	unpaired nucleon
^1H	1/2	100	2.793	0.750	proton
^7Li	3/2	92.5	3.256	0.244	proton
^{11}B	3/2	80.1	2.689	0.112	proton
^{15}N	1/2	0.4	-0.283	0.087	proton
^{19}F	1/2	100	2.629	0.647	proton
^{23}Na	3/2	100	2.218	0.041	proton
^{127}I	5/2	100	2.813	0.007	proton
^{133}Cs	7/2	100	2.582	0.052	proton
^3He	1/2	1.0×10^{-4}	-2.128	0.928	neutron
^{17}O	5/2	0.0	-1.890	0.342	neutron
^{29}Si	1/2	4.7	-0.555	0.063	neutron
^{73}Ge	9/2	7.8	-0.879	0.065	neutron
^{129}Xe	1/2	26.4	-0.778	0.124	neutron
^{131}Xe	3/2	21.2	0.692	0.055	neutron
^{183}W	1/2	14.3	0.118	0.003	neutron

CS₂試験 @Occidental collage



□ 最大到達ゲイン10000以上

□ さらに低気圧38Torrでも十分なゲインを得られた → 角度分解能の向上

Δ GEM 依存

