

SF₆ガスを用いたμTPCの基礎研究

池田 智法 (神戸大学)

身内 賢太郎 (神戸大学)

DANIEL, Snowden-iff (Occidental College)

JEAN-LUC, Gauvreau (Occidental College)

他NEWAGEグループ

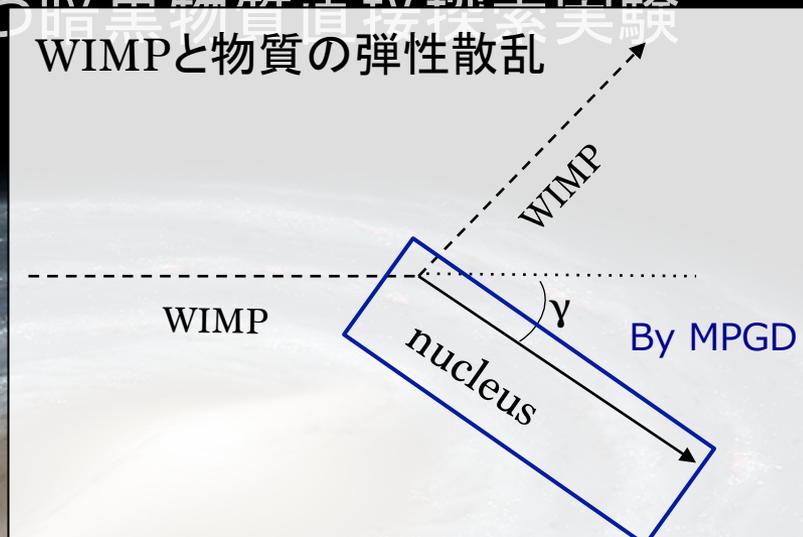
1. DM Experiments with MPGD
2. NEWAGE
3. Motivation
4. Measurement
5. Summary



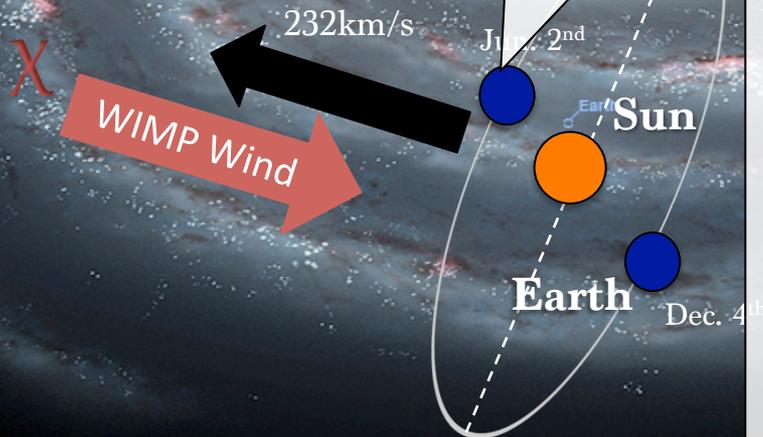
1. DM experiment with MPGD

MPGDと方向に感度を持つ暗黒物質直接探索実験

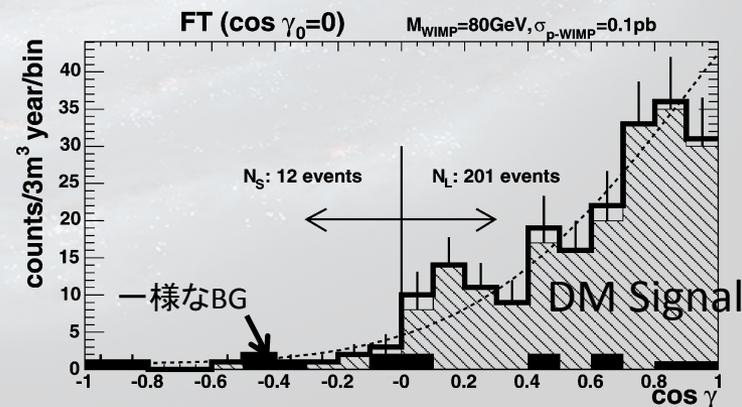
WIMPと物質の弾性散乱



Cygnus



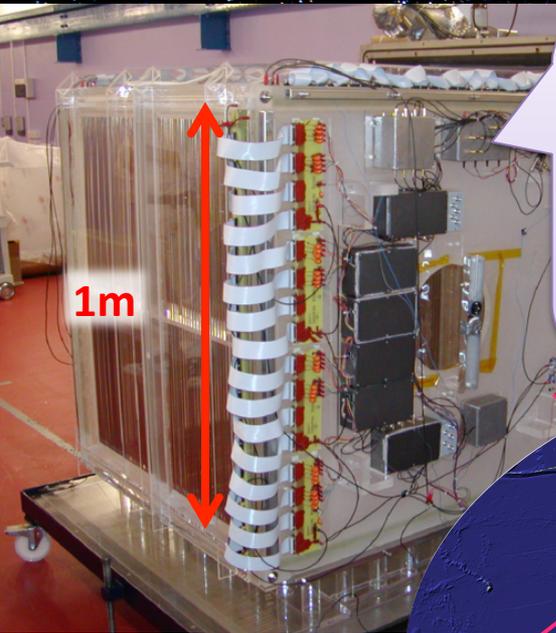
反跳原子核の散乱角 γ の分布



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

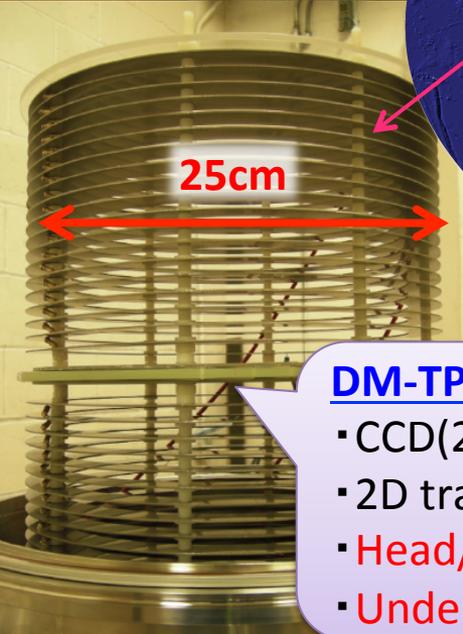


DRIFT

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

MIMAC

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

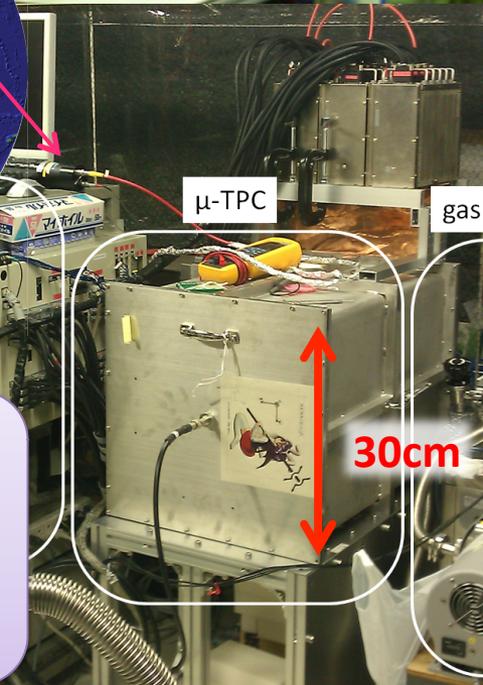


DM-TPC

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

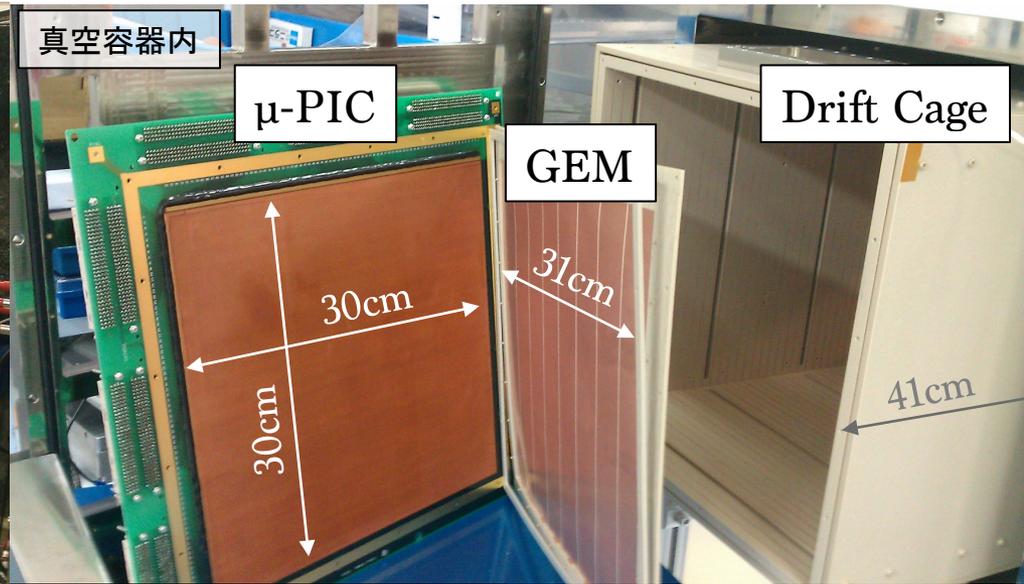
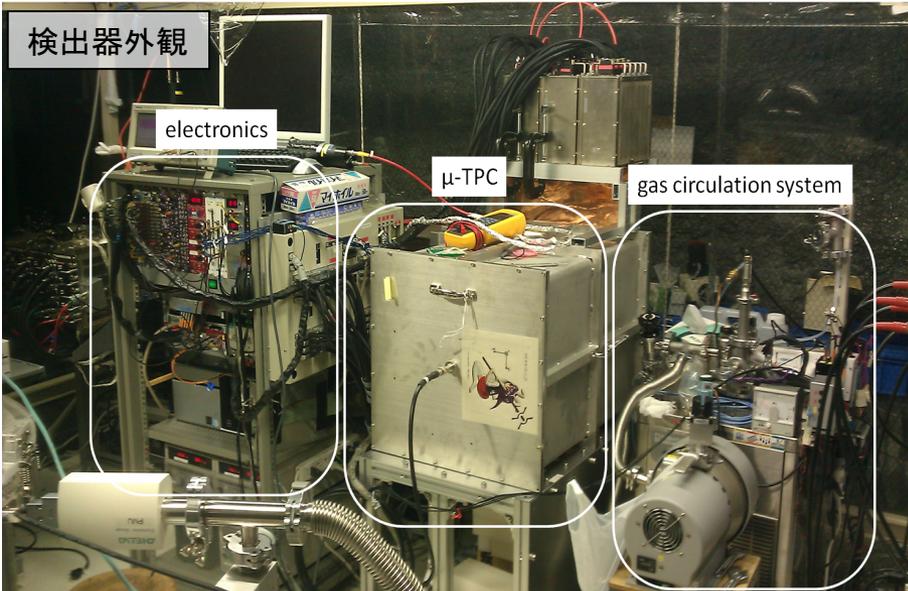
NEWAGE

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

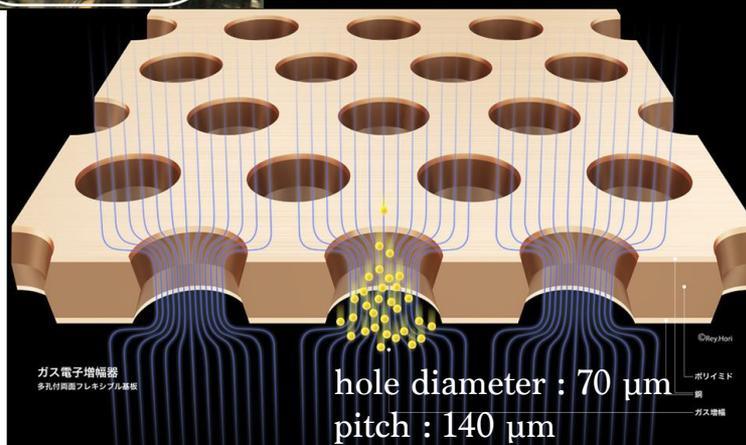
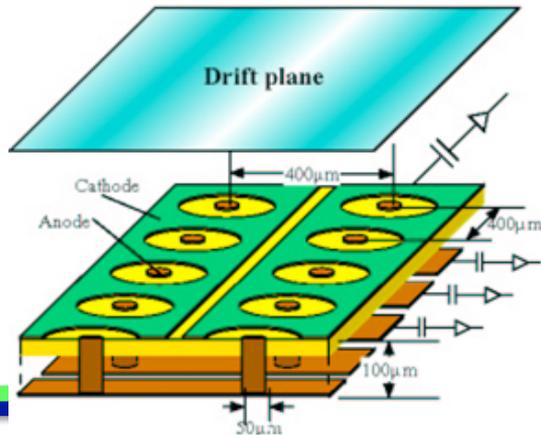


2. NEWAGE

NEWAGE0.3b'検出器 @神岡



μ -PIC: Anode pitch $400\ \mu\text{m}$
Gasgain $\sim 10^3$



GEM: Preamplifier (Gas gain ~ 10)
LCP $100\ \mu\text{m}$

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

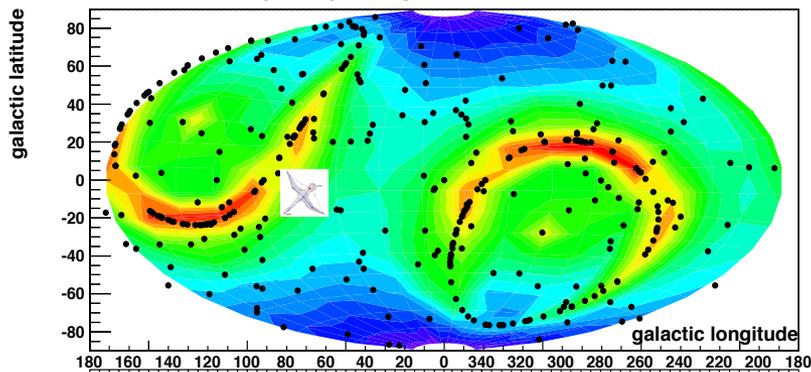
Good for spin dependent DM search

最新結果

Conditions **RUN14**

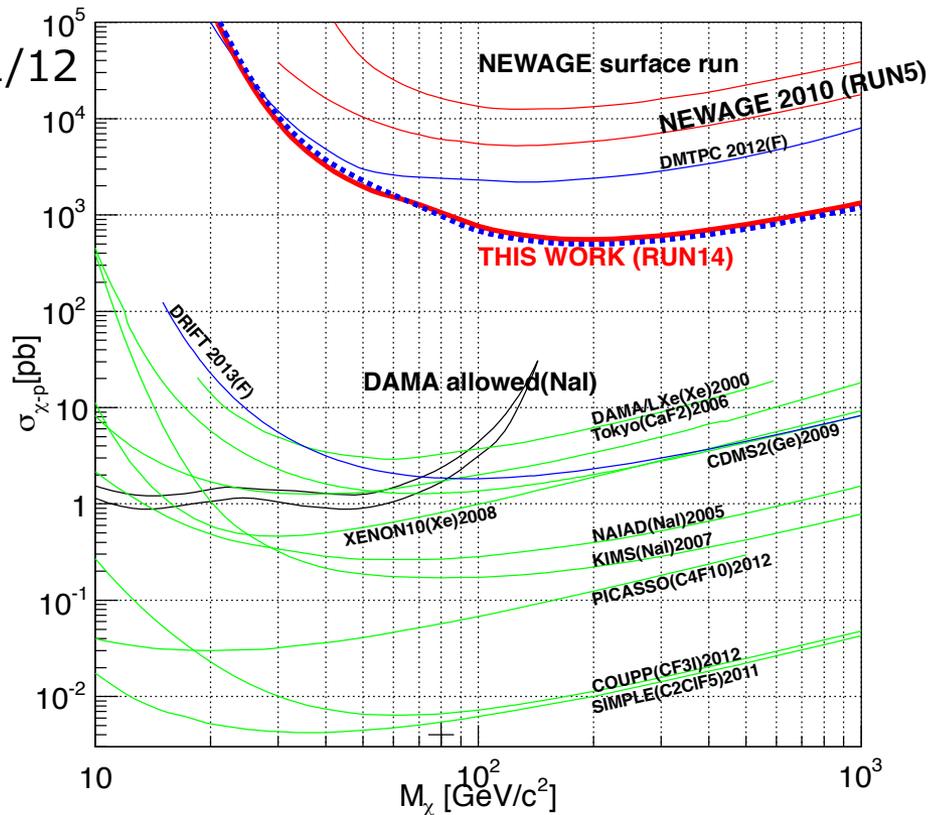
- period : 2013/7/20~8/11, 10/19~11/12
- live time : 31.6 days
- fiducial volume : $28 \times 24 \times 41 \text{ cm}^3$
- CF_4 gas(76Torr)
- mass : 10.36 g
- exposure : 0.327 kg · days

Skymap in galactic coordinate



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

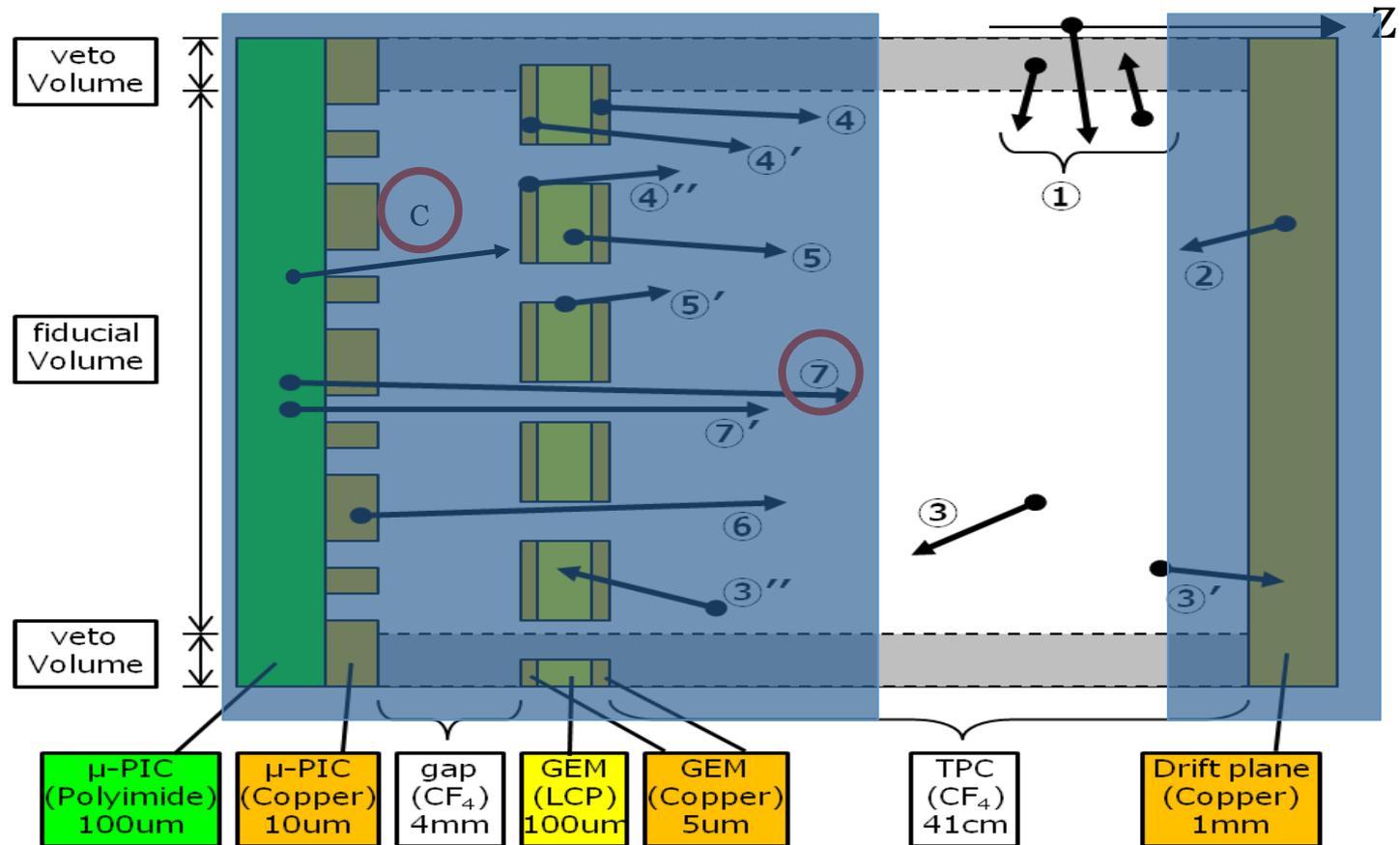
SD 90% C.L. upper limits and allowed region



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

3. Motivation

NEWAGE0.3b'のバックグラウンド

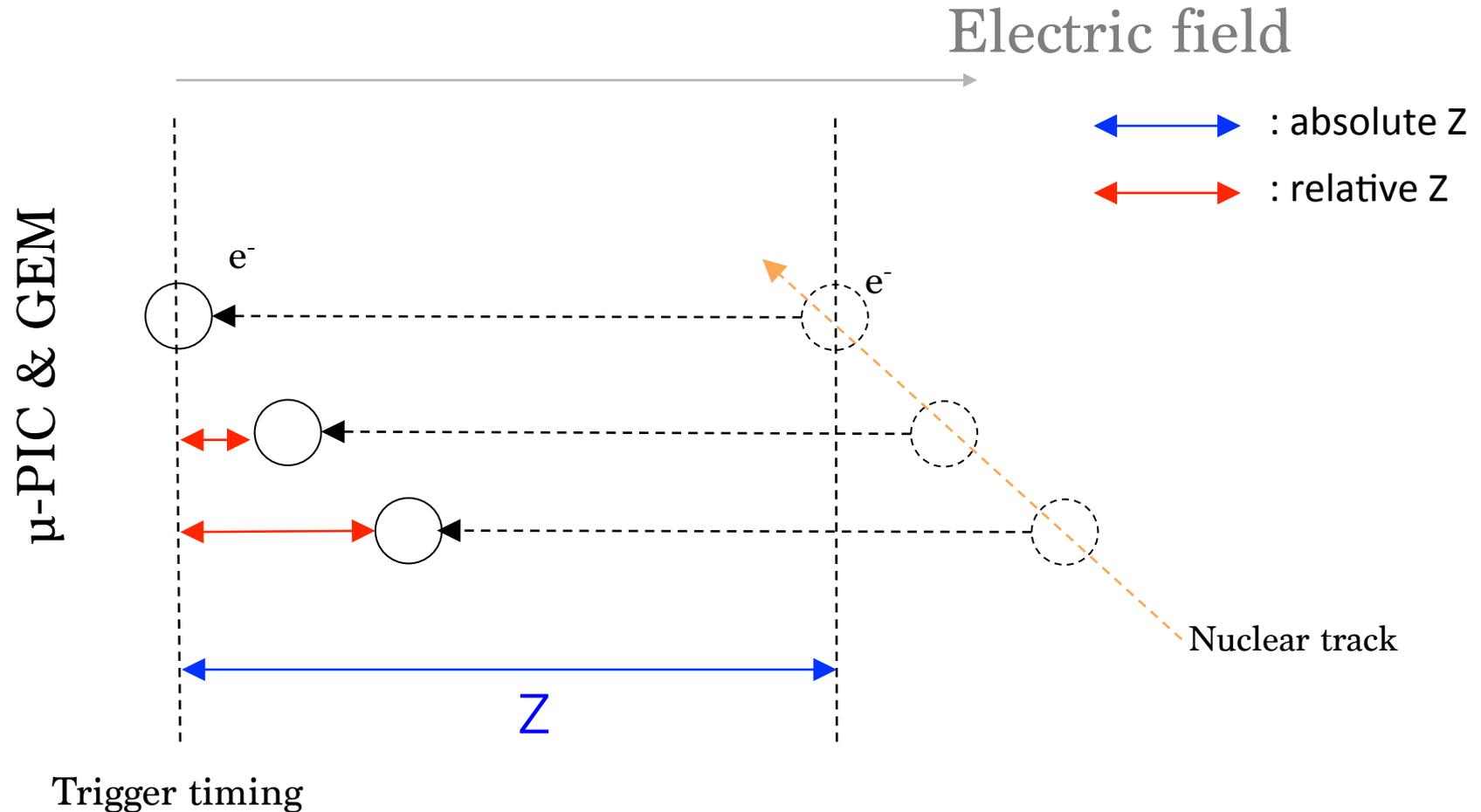


□ μTPCの主なバックグラウンド

- 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)

Z軸に対しても有効体積カットができれば....

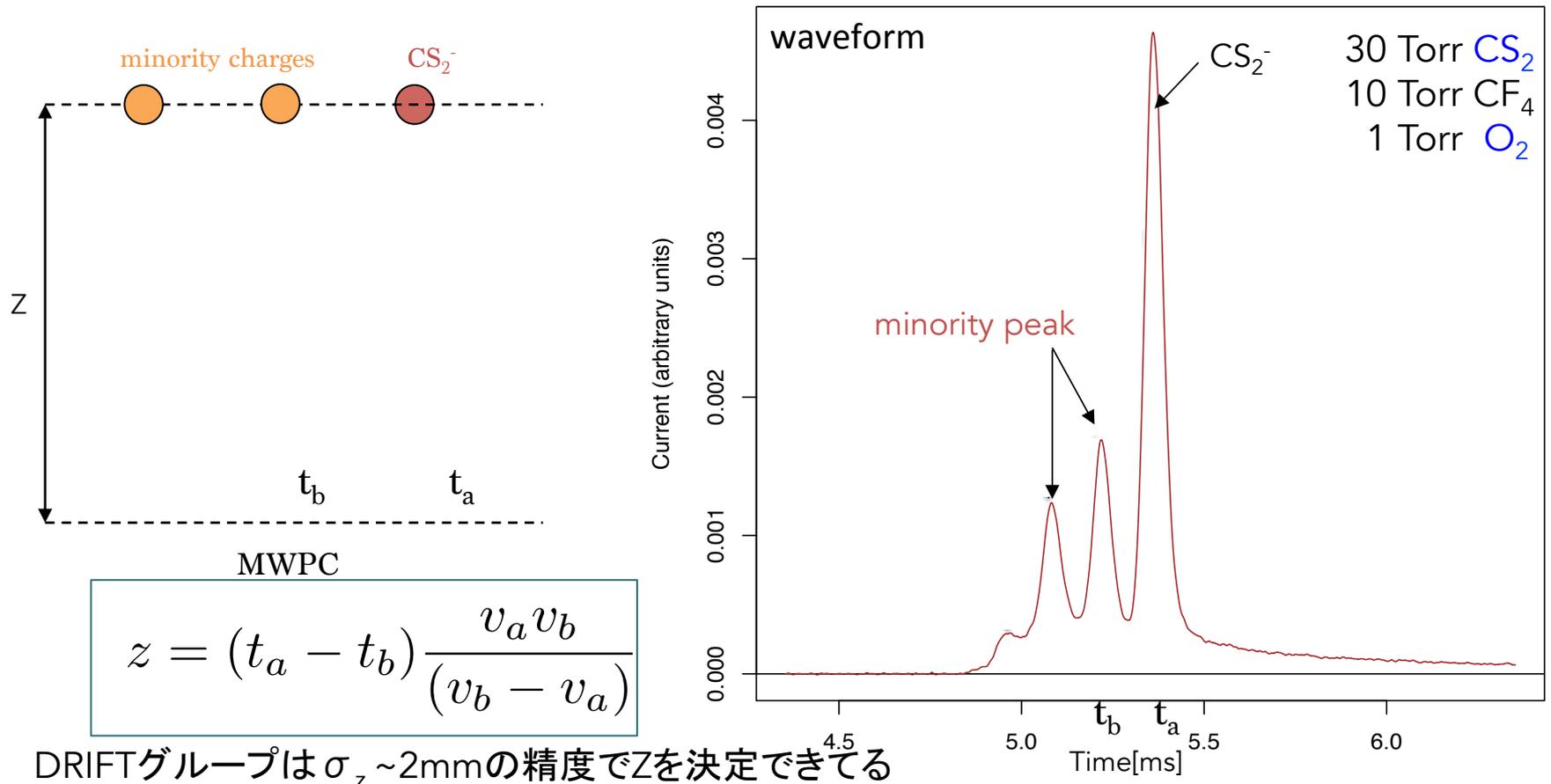
Self Triggering TPC



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

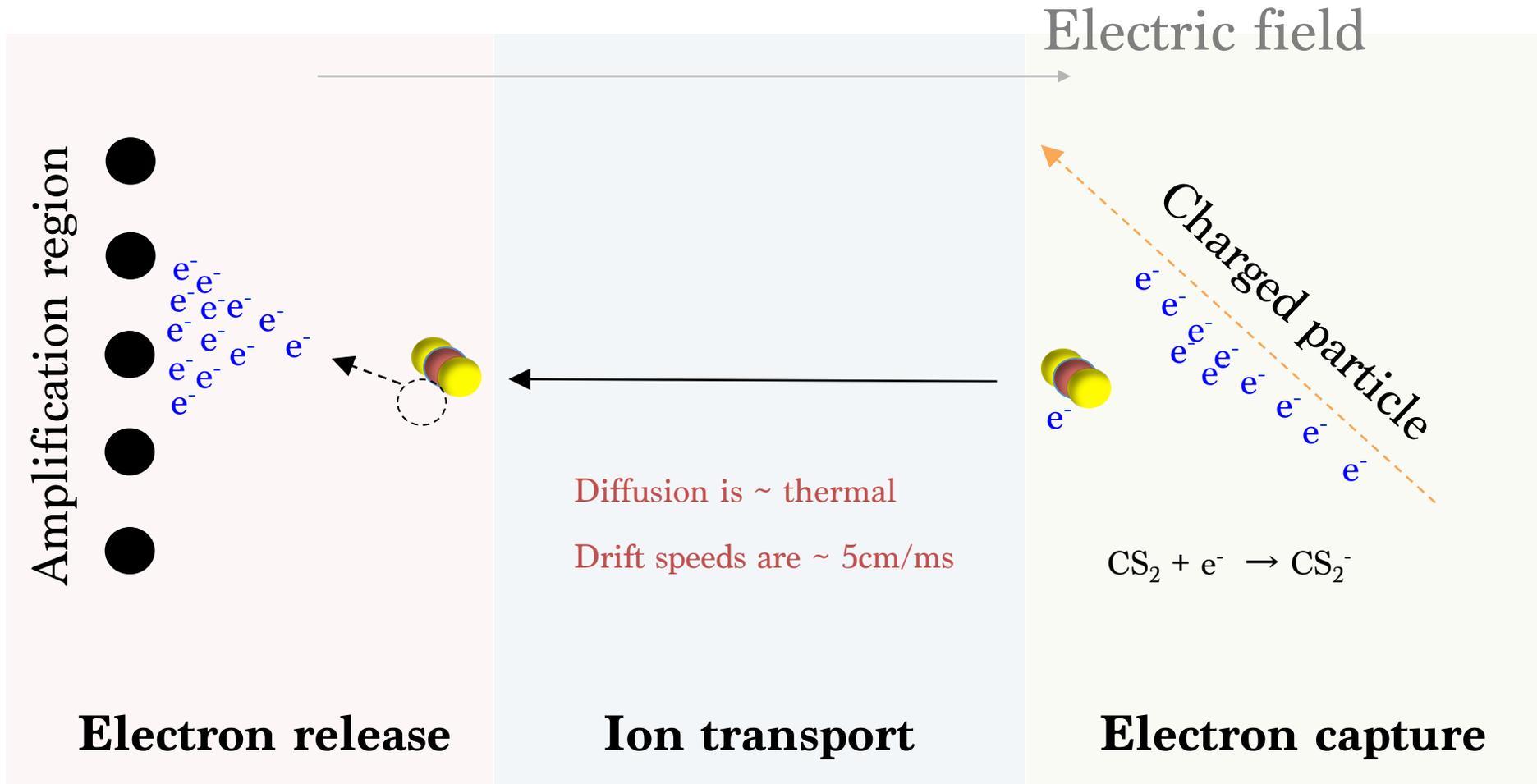
陰イオンを用いたTPCのZの絶対位置決定

- 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



DRIFTグループはσ_z ~ 2mmの精度でZを決定できる

陰イオンTPCの原理



三拍子そろって陰イオンガスはあまりない

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/μs
- 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

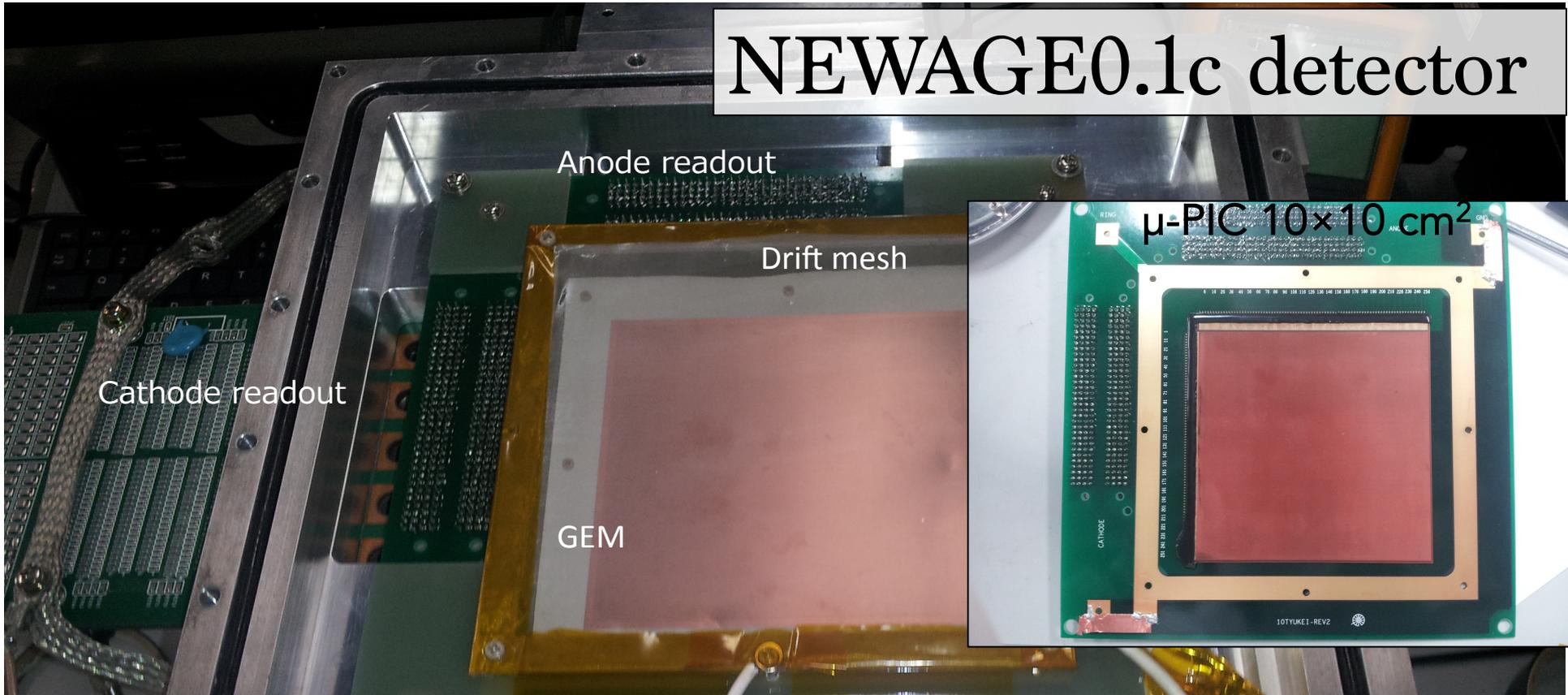
$$\sim 980 \cdot \frac{76\text{Torr}}{P}$$

典型的なドリフト速度: 10⁻²cm/μs

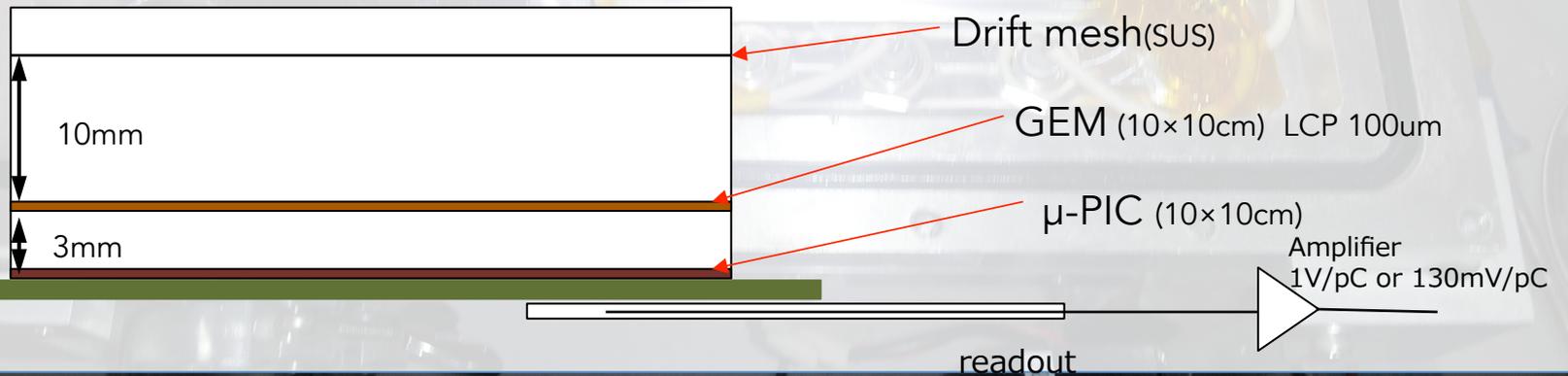
We can use slow shaping time amplifier(good S/N).

4. Measurement

NEWAGE0.1c detector

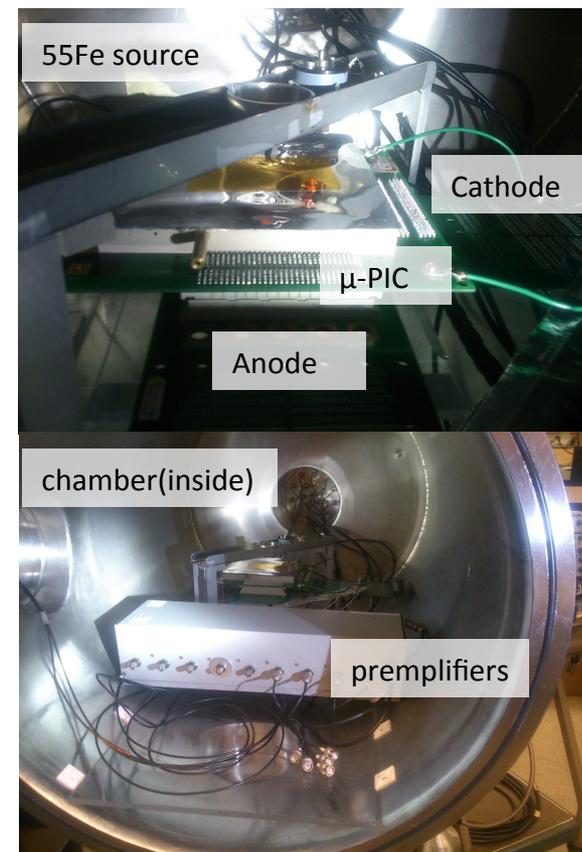
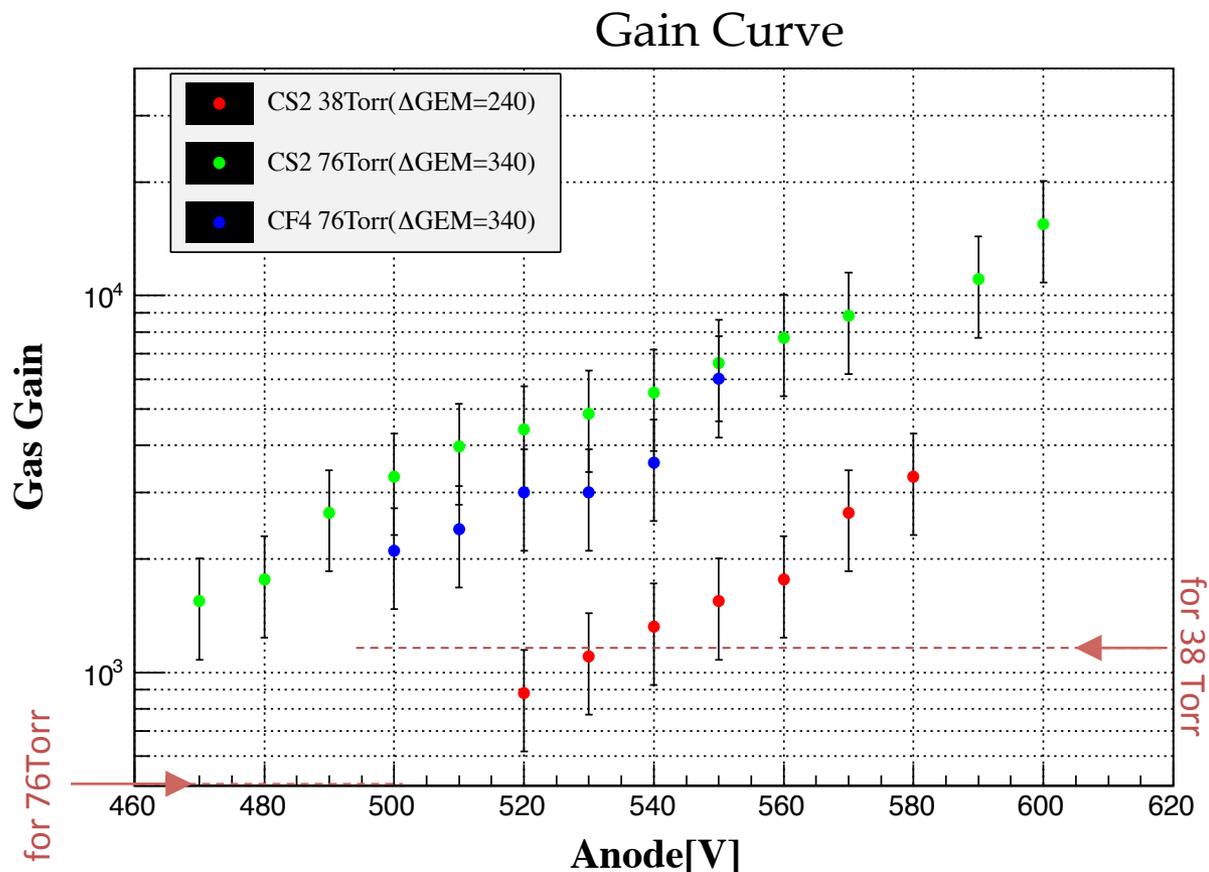


断面図



4.1 CS₂

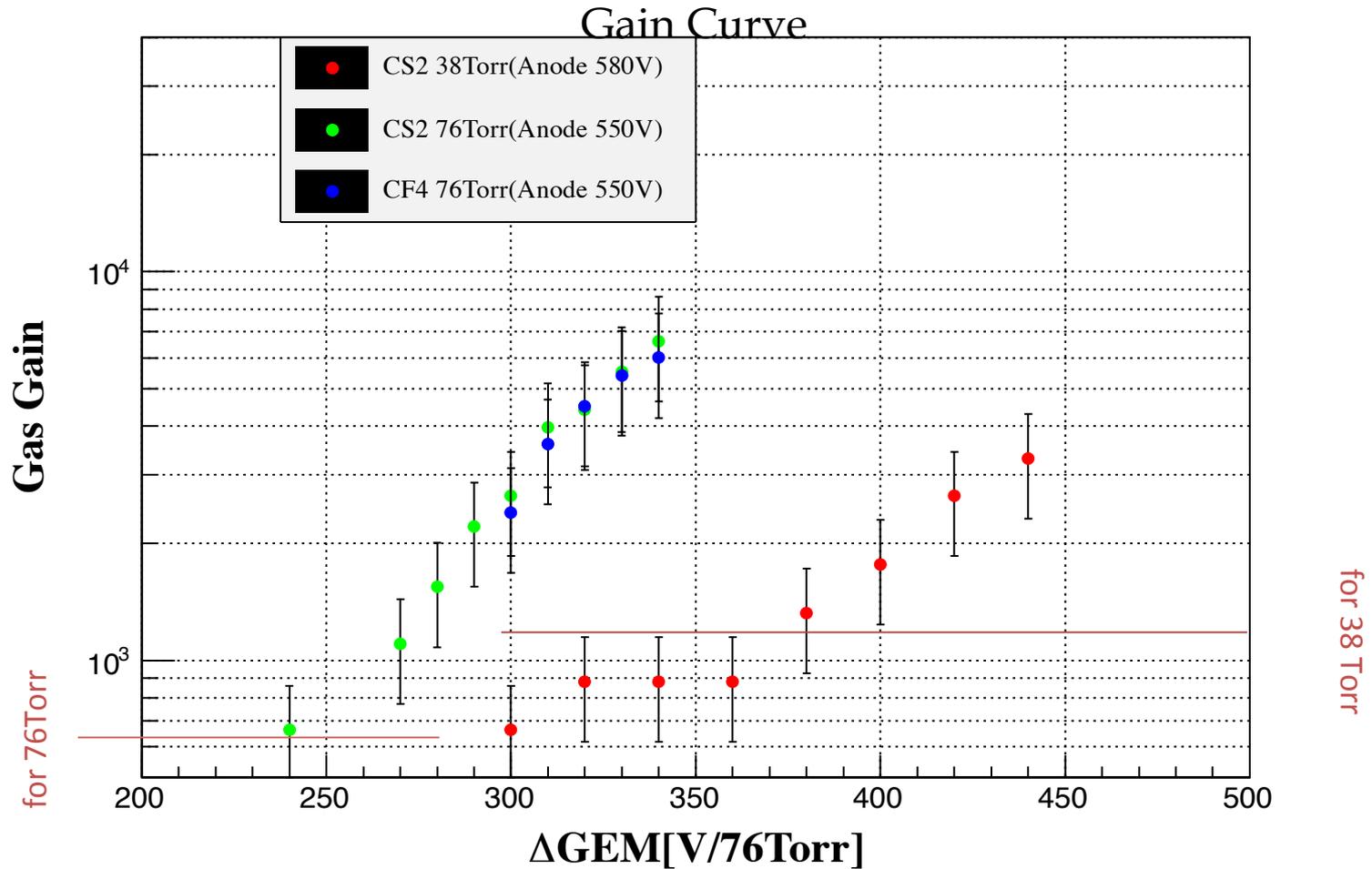
CS₂試験 @Occidental collage



□ 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

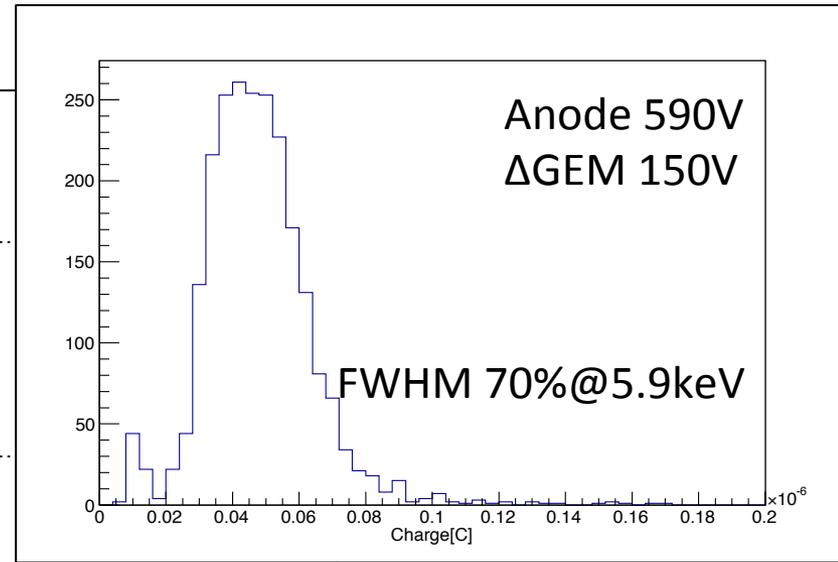
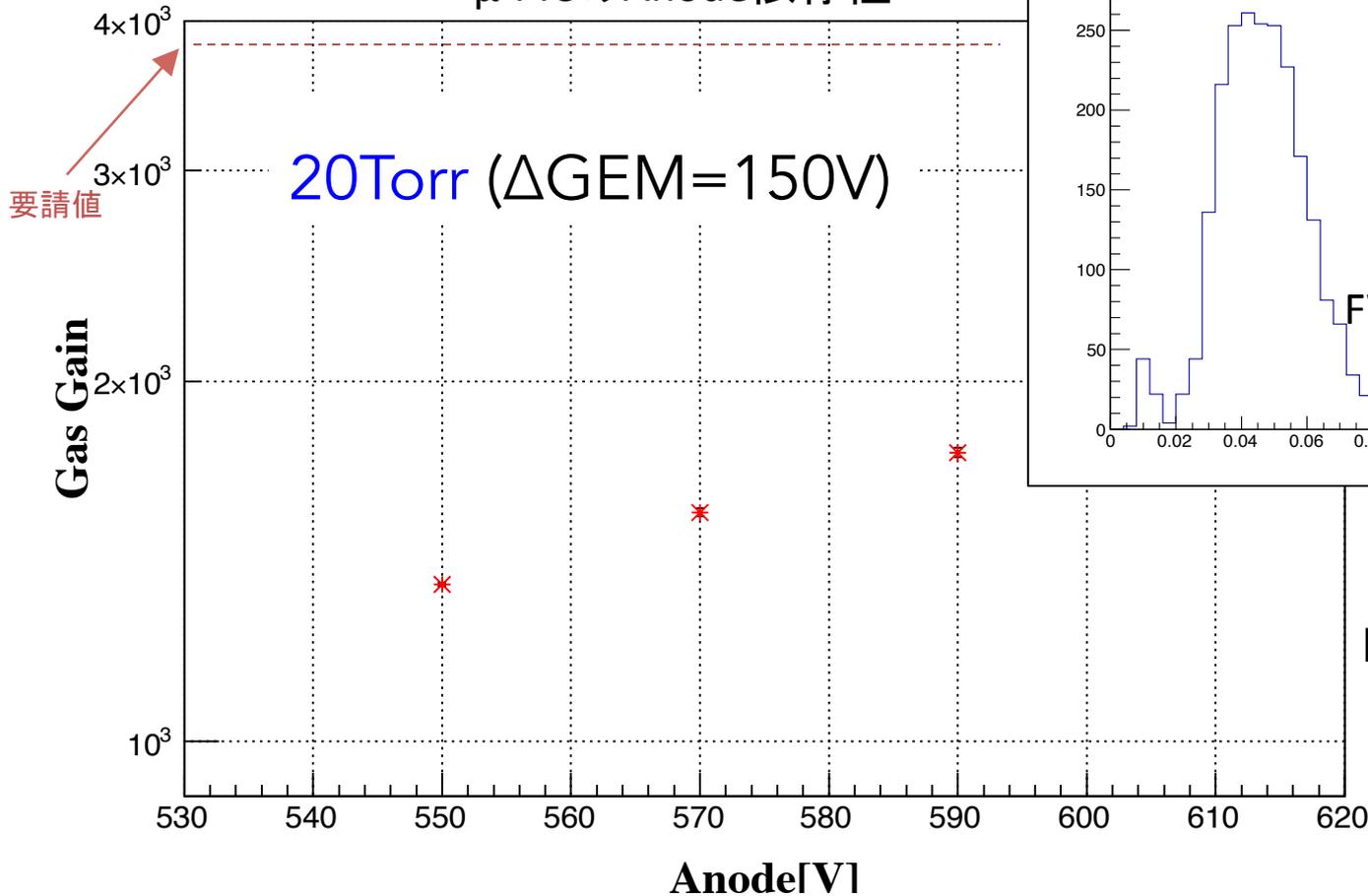
Δ GEM 依存



4.2 SF₆

SF₆試験 @神戸大学

μ-PICのAnode依存性

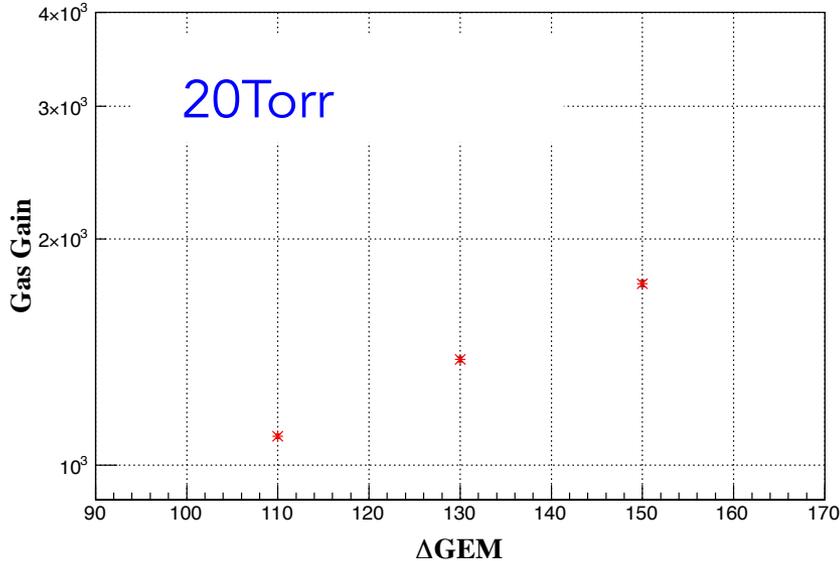


- 最大到達ガスゲイン
 - <1000 (50Torr)
 - <300 (152Torr)

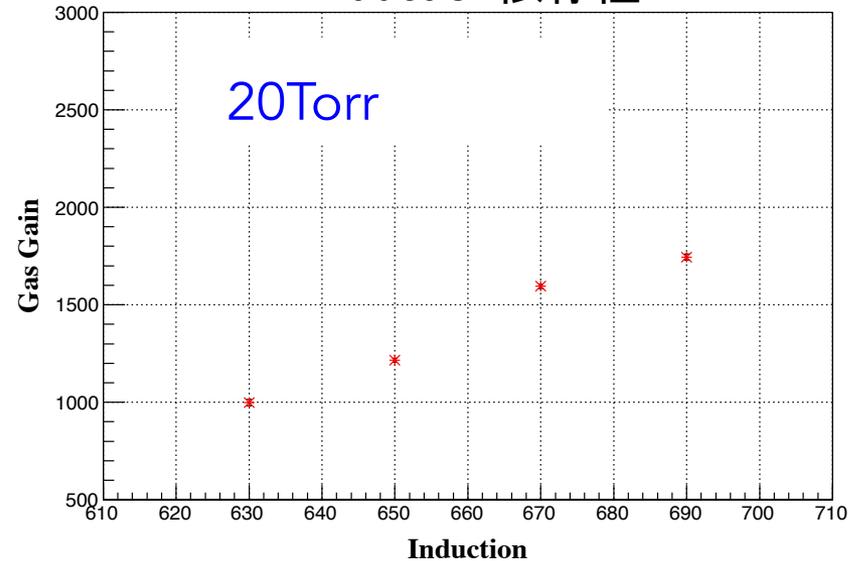
□ 20Torr で最大到達ガスゲイン ~2000

GEM & Induction依存

GEM依存性



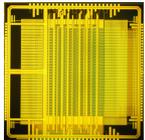
Induction依存性



□ 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)

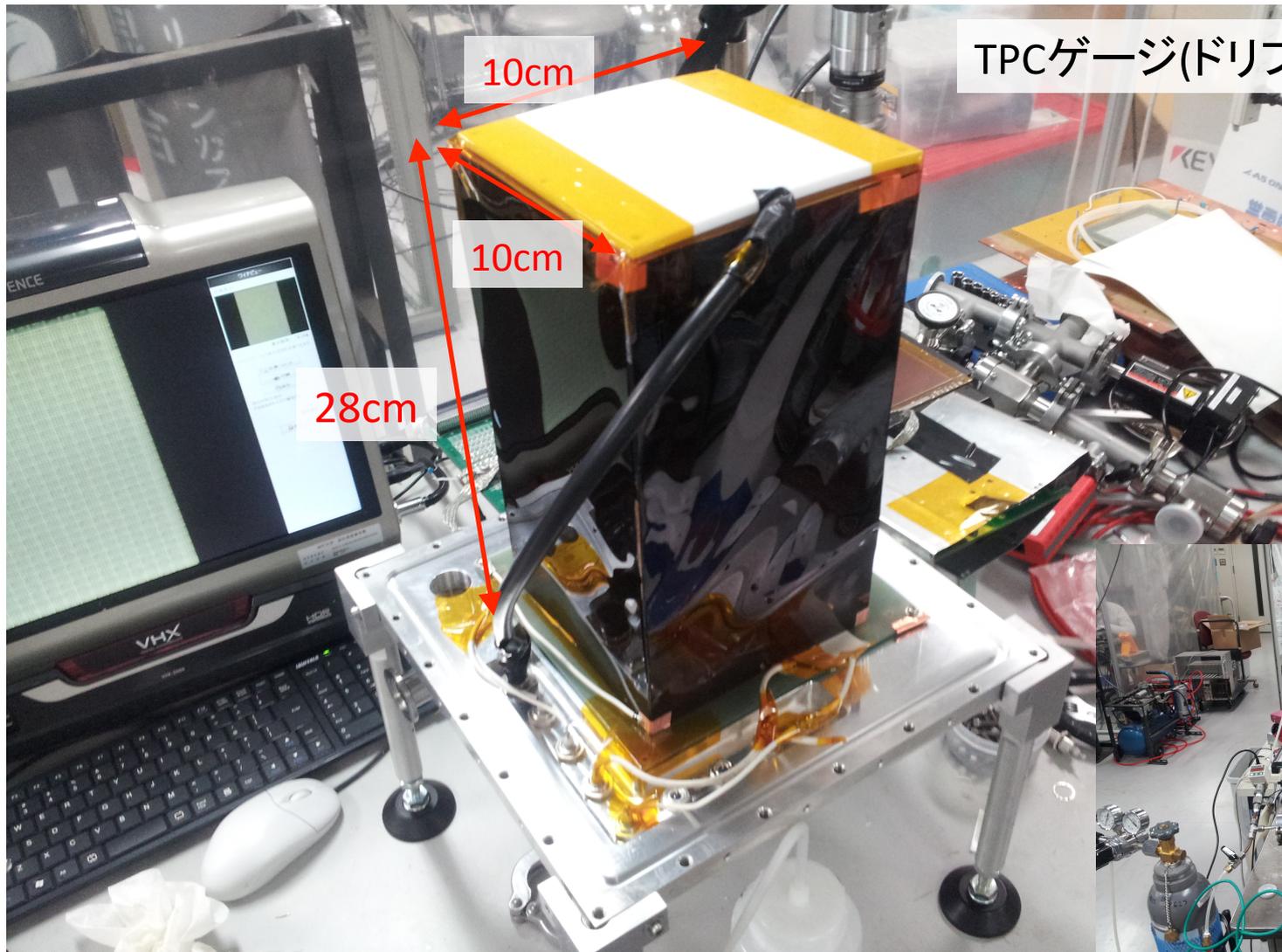


□ 20Torrでも十分なガスゲイン

- 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
→ 今後 SF_6 のマイノリティピークの観測

Prototype μ TPC(28cm Drift)



5. Summary

- 陰イオンガスを用いた μ -PIC+GEMの試験を行った
 - CS_2 ではガスゲイン10000程度
 - SF_6 ではガスゲイン2000程度
- CS_2 、 SF_6 のどちらも低気圧で稼働可能
 - 角度分解能の向上が期待できる
- CS_2 、 SF_6 のどちらでもマイノリティピークの観測が期待できる
- 今後 SF_6 を用いた μ TPCでマイノリティピーク観測へ

μ -PIC+GEM_{system} + Negative ion

||

High resolution & High removal BG Application

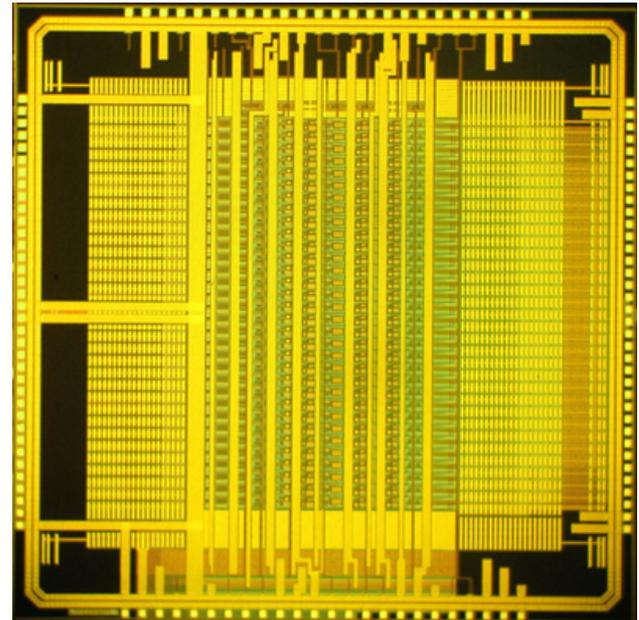
4. Back-up

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 $\sim 9V/pC$

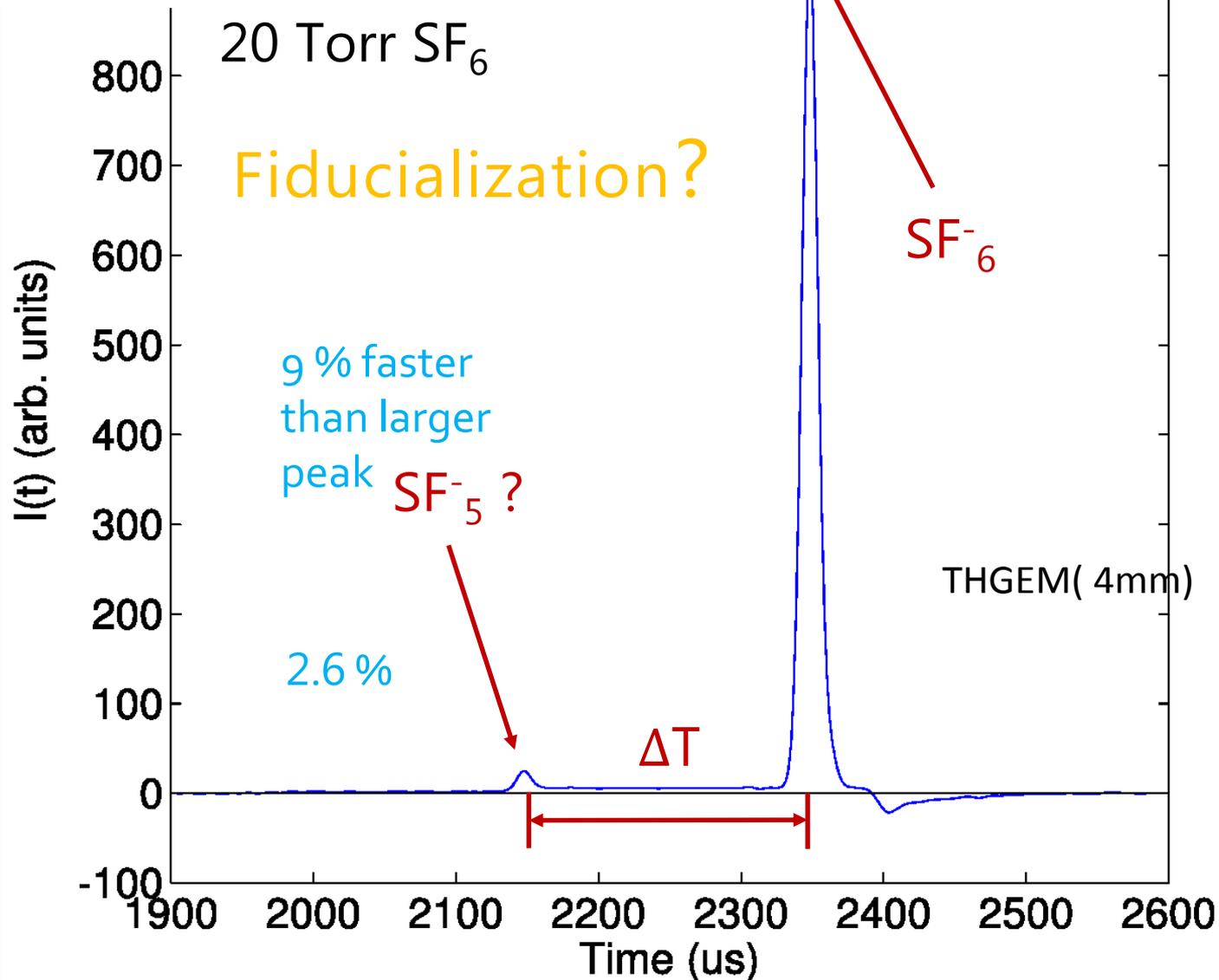
(developed with KEK e-sys group,
one of Open-it projects [http://openit.kek.jp/
project/LTARS2014/LTARS2014](http://openit.kek.jp/project/LTARS2014/LTARS2014))

LTARS2014 ASIC chip (5mm x 5mm)



Minority Peak of SF₆

From N. Phan, Cygnus 2015



Spin dependent(SD) cross section

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

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

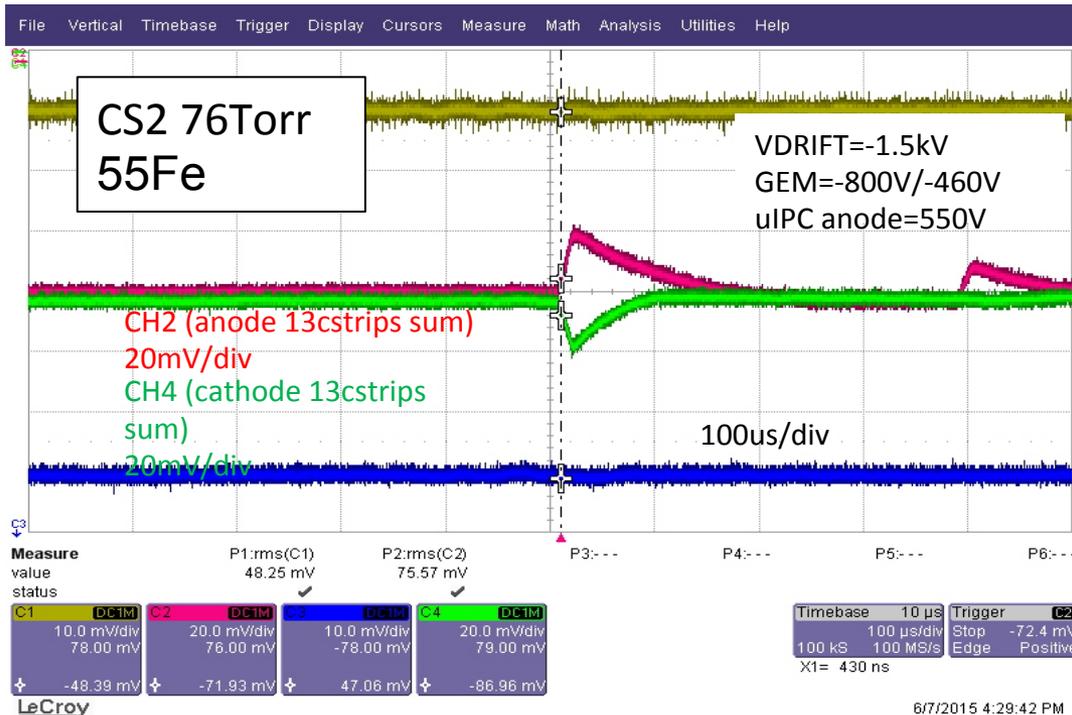
Isotope	J	Abundance(%)	μ_{mag}	$\lambda^2 J(J+1)$	unpaired nucleon
^1H	1/2	100	2.793	0.750	proton
^7Li	3/2	92.5	3.256	0.244	proton
^{11}B	3/2	80.1	2.689	0.112	proton
^{15}N	1/2	0.4	-0.283	0.087	proton
^{19}F	1/2	100	2.629	0.647	proton
^{23}Na	3/2	100	2.218	0.041	proton
^{127}I	5/2	100	2.813	0.007	proton
^{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

Electronics for CS₂

- We used CREMAT's CR-111 charge sensitive preamplifier.



Figure 1



Specifications

Assume temp = 20 °C, V_s = ±6.1V, unloaded output

	CR-111	units
Preamplification channels	1	
Equivalent noise charge (ENC)*		
ENC RMS	630	electrons
Equivalent noise in silicon	0.1	femtoCoul.
ENC slope	6	keV (FWHM)
Gain	3.7	elect. RMS / pF
Rise time **	0.13	volts / pC
Decay time constant	6.2	mV / MeV(Si)
Unsaturated output swing	3	ns
Maximum charge detectable per event	150	μs
Power supply voltage (V _s)	-3 to +3	volts
maximum	1.3 x 10 ⁸	electrons
minimum	21	pC
Power supply current (pos)	V _s = ±13	volts
Power supply current (neg)	V _s = ±6	volts
Power dissipation	7.5	mA
Operating temperature	3.5	mA
Output offset	70***	mW
Output impedance	-40 to +85	°C
	+0.2 to -0.2	volts
	50	ohms

