

低BG実験のための陰イオンガスTPC

神戸大学
身内賢太郎

シンポジウム「素粒子・宇宙線・原子核・応用研究の
ためのユニークなTPC開発」

日本物理学会 第73回年次大会（2018年）
@東京理科大野田キャンパス

24pL401-3

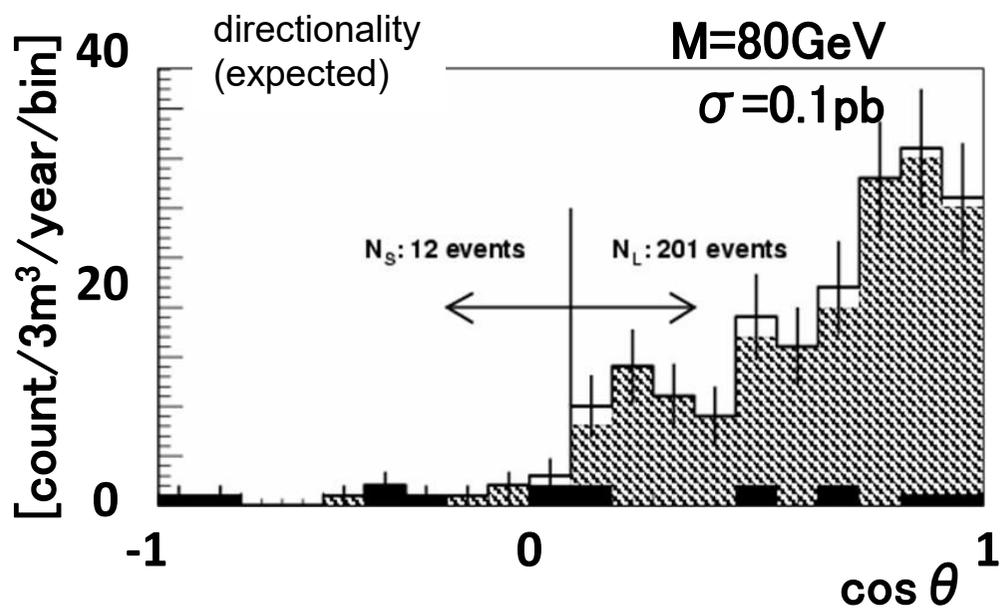
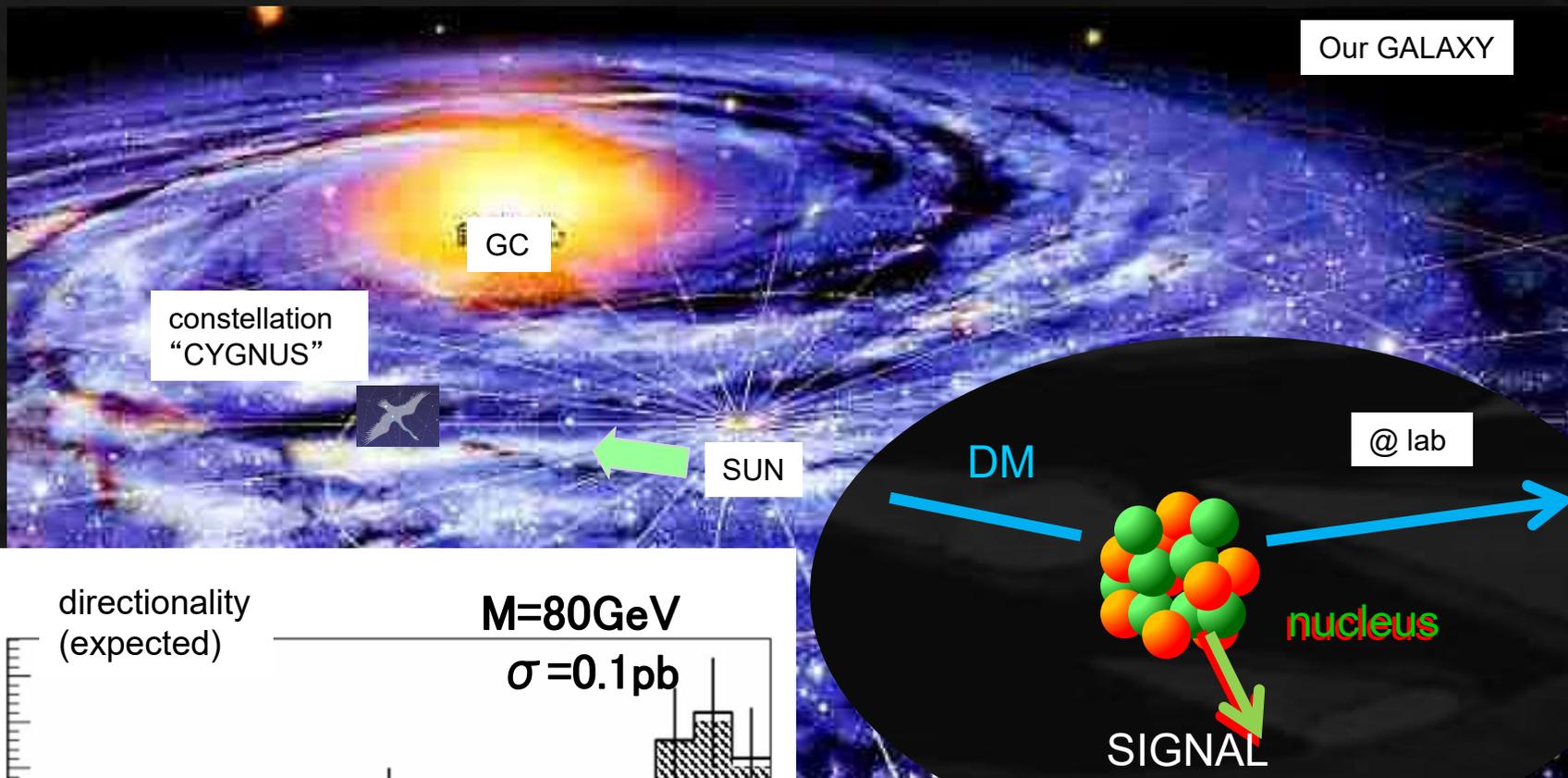


2018年3月24日



イントロ

物理目的：方向に感度をもった暗黒物質直接探索



反跳原子核を検出
太陽系の進行方向からの事象に偏る

■ 陰歴史

- 1960年代 $\text{CO}_2 + \text{CS}_2$ ガイガーカウンター
セルフクエンチ性が良い

CO₂-CS₂ Geiger Counter

H. R. Crane

Citation: *Review of Scientific Instruments* 32, 953 (1961); doi: 10.1063/1.1717573

- 1990年代 CS_2 (ArやXe + CS_2 も) TPC
ガス拡散小 ⇒ DRIFT 実験 (英・米) へ

PHYSICAL REVIEW D, VOLUME 61, 101301(R)

Low pressure negative ion time projection chamber for dark matter search

- 2010年代 $\text{CS}_2 + \text{O}_2$ TPC
z-fiducialization ⇒ 広く研究される

Physics of the Dark Universe 9–10 (2015) 1–7



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Physics of the Dark Universe

journal homepage: www.elsevier.com/locate/dark



First background-free limit from a directional dark matter experiment: Results from a fully fiducialised DRIFT detector

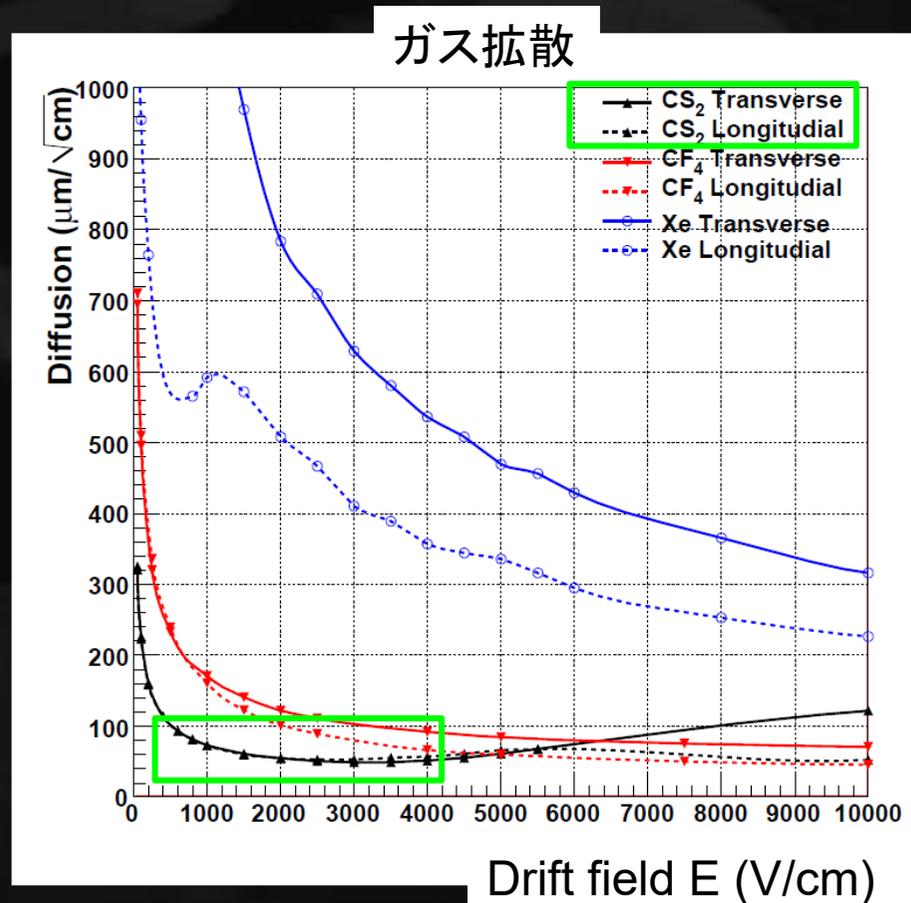
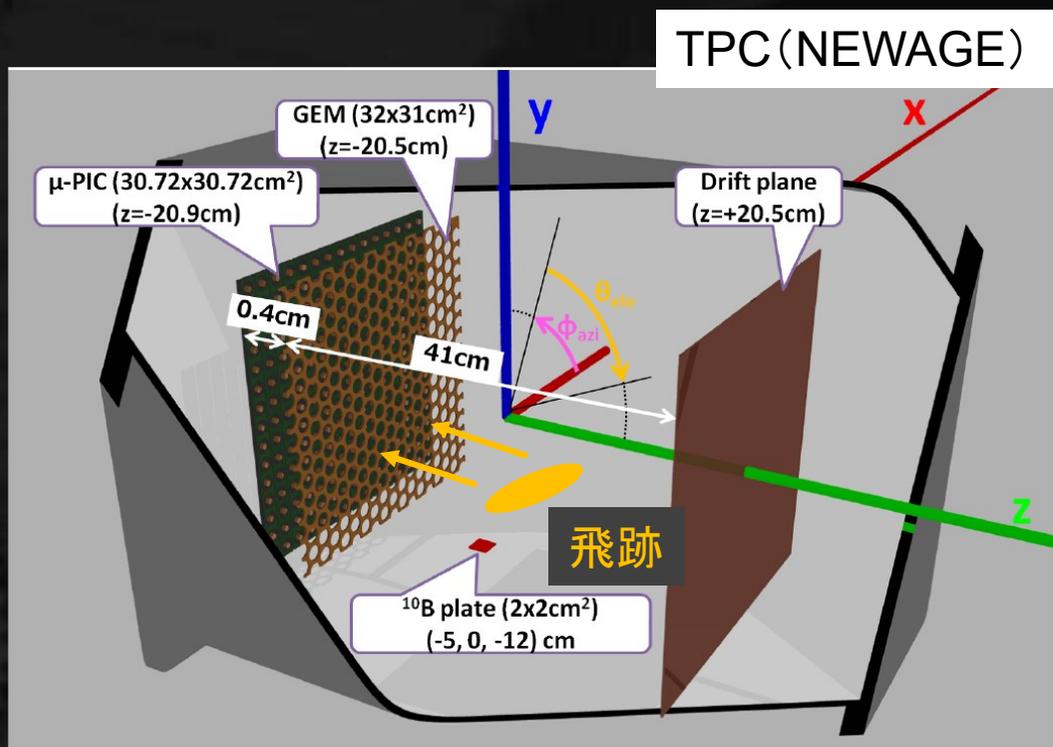


利点① 位置分解能

ガスTPCの弱点：

ガス拡散による 位置分解能の悪化 / 大型化の制限

陰イオンをドリフト → 電子ドリフトに比べて拡散小
(～熱限界)



CF₄ 1kV/cm → 拡散1mm@40cm

⇔ 100keV F 原子核の飛程 ~1mm 0.1気圧CF₄

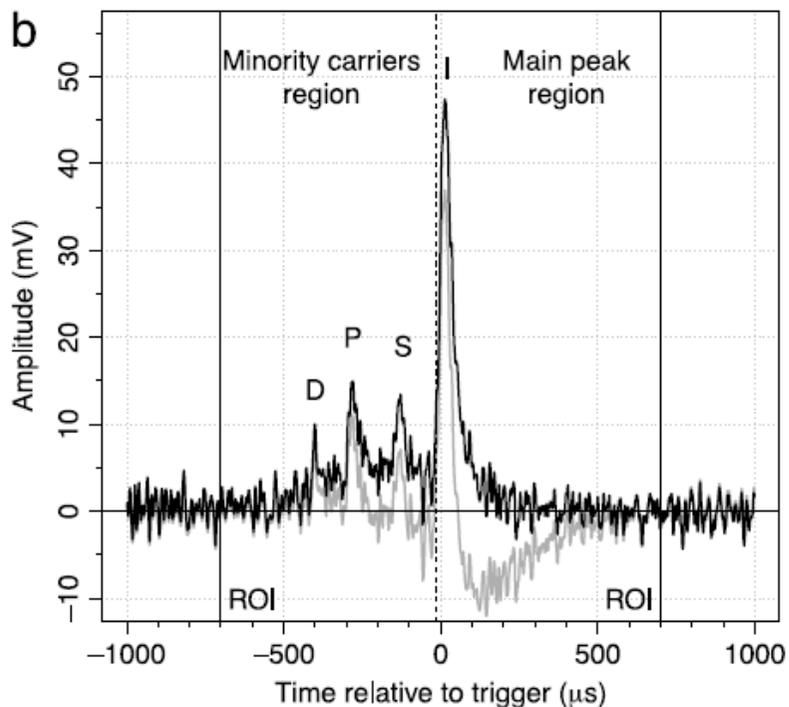
利点② z-fiducialization

セルフトリガーガスTPCの弱点：

zの絶対位置が測定不能 検出面からのBDを除去できない

マイノリティーチャージ → ドリフト方向の絶対位置検出が可能

マイノリティーチャージ



J.B.R. Battat et al. / Physics of the Dark Universe 9-10 (2015) 1-7

ドリフト速度の違う複数の種類の陰イオン
→ 時間差によりドリフト方向の絶対位置決定可能

DRIFTグループ (Dan Snowden-Ifft)

2014年 CS₂ に O₂ を誤って混入

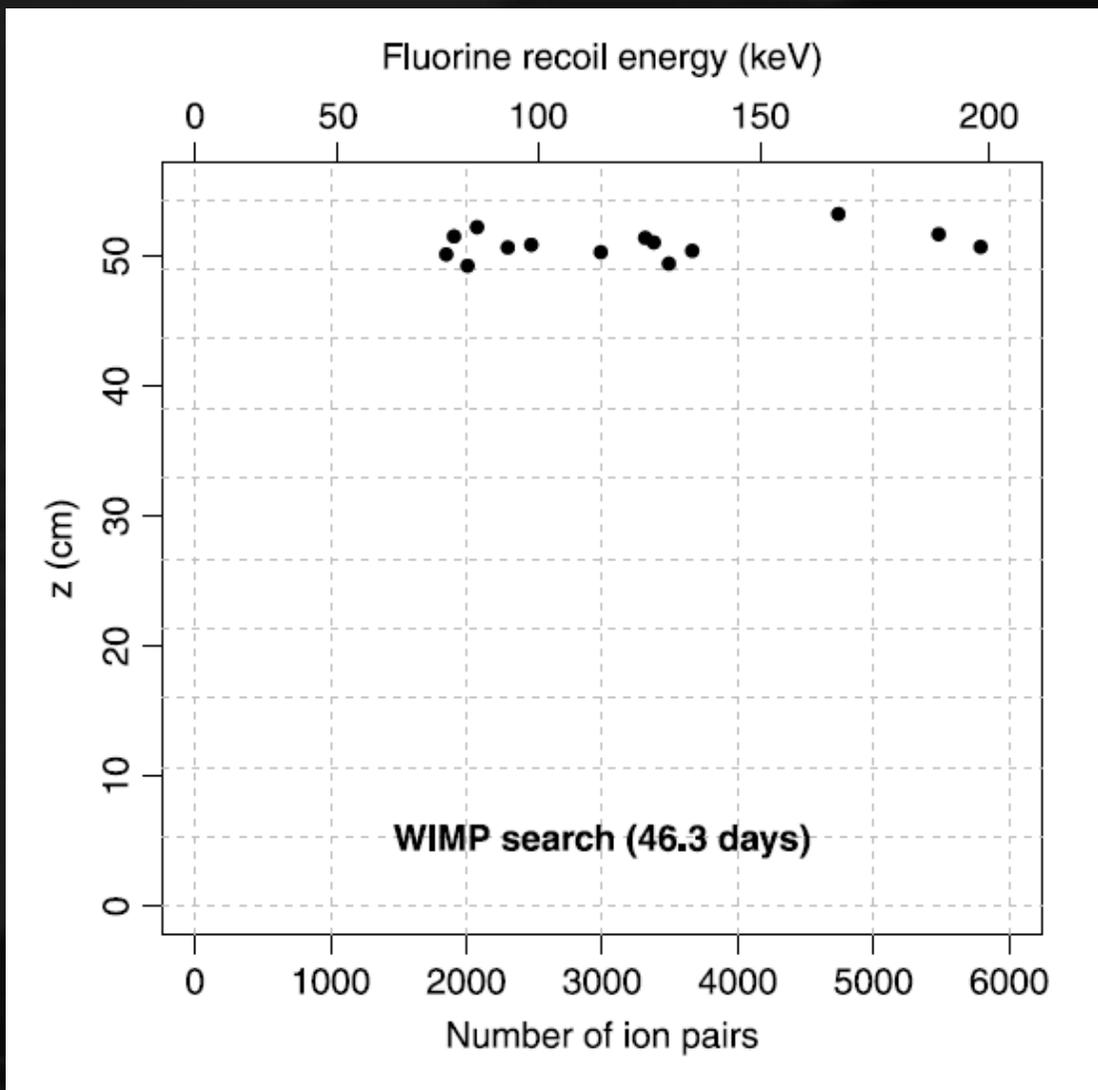
⇒ 波形が乱れた

⇒ よく見ると前にピークが！

Direction Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

- $\text{CS}_2:\text{CF}_4:\text{O}_2$ 30:10:1 (Torr) ガス
- 1.6mm程度の分解能でDRIFT面の事象をID

J.B.R. Battat et al. / Physics of the Dark Universe 9-10 (2015) 1-7



CS_2 は燃えるし 毒だし

利点① だけ 黙視

利点② 試す価値ありか



■ μ -PIC + CS₂ test @ Occidental college (2015)

■ CS₂ (Occi.) +MPGD (神戸) で試験

EPJ Web of Conferences **174**, 02006 (2018)
MPGD 2015

<https://doi.org/10.1051/epjconf/201817402006>

Study of Negative-Ion TPC Using μ -PIC for Directional Dark Matter Search

Tomonori Ikeda^{1,a}, Kentaro Miuchi¹, Atsuhiko Ochi¹, Ryota Yakabe¹, Takashi Hashimoto¹, Ryosuke Taishaku¹, Daniel P. Snowden-Ifft², Jean-Luc Gauvreau², Toru Tanimori³, Atsushi Takada³, and Kiseki Nakamura³

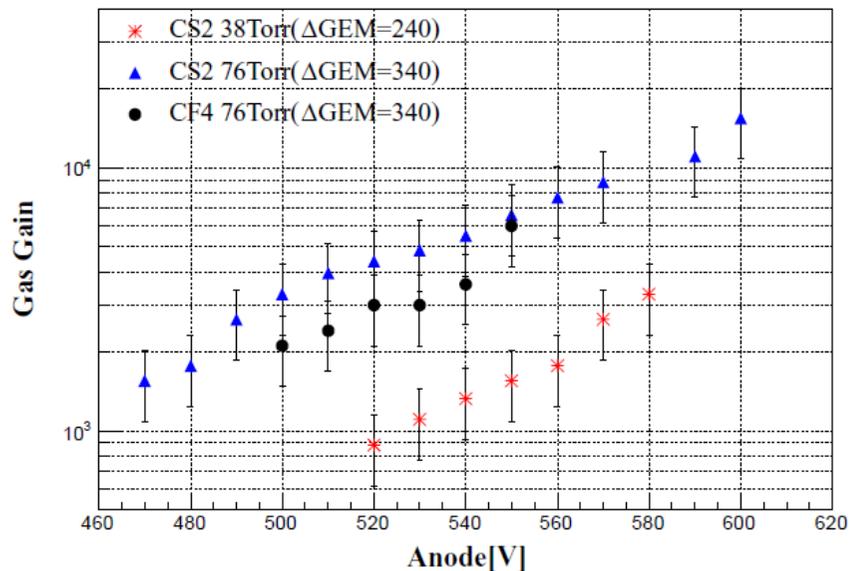


Figure 3. Total gas gains as a function of the voltage supplied at the anode electrodes of the μ -PIC. Circles, triangles and crosses show CF₄ at 76 Torr, CS₂ at 76 Torr and CS₂ at 38 Torr, respectively.

■ NEWAGEシステム
でもCS₂ガス使える



“SF6 shock” (2015)

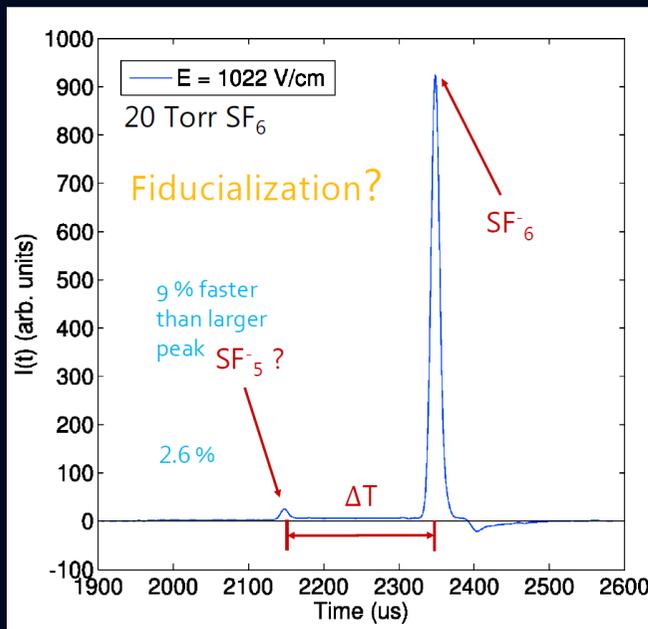


First Studies of SF₆ in a TPC

NGUYEN PHAN, ERIC LEE
UNIVERSITY OF NEW MEXICO

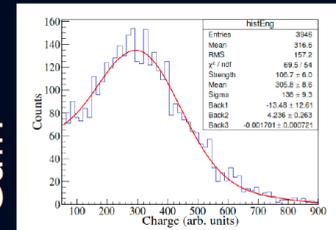
「絶縁ガス」SF6で
増幅した！
しかもマイノリティーピークも見えた！！

2017 JINST 12 P02012



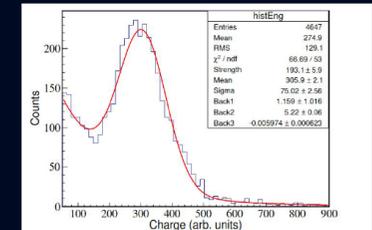
SF₆ Gas Gain

30 Torr SF₆ (1.0 mm THGEM)



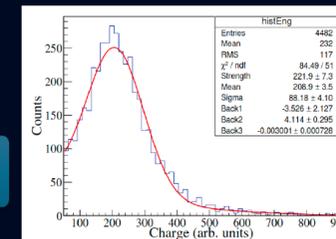
(a) ⁵⁵Fe energy spectrum in 30 Torr SF₆ using 1 mm THGEM

30 Torr SF₆ (0.4 mm THGEM)



(a) ⁵⁵Fe energy spectrum in 30 Torr SF₆ using 0.4 mm THGEM

40 Torr SF₆ (0.4 mm THGEM)



(a) ⁵⁵Fe energy spectrum in 40 Torr SF₆ using 0.4 mm THGEM

First Fe-55 spectrum in SF₆ bulk gas TPC??

Gain ~ few 1000's

N. Phan, Cygnus 2015

June 4, 2015

10

⇒ SF6 rush



ユニークネス in SF₆ RUSH

From: Kentaro Miuchi <miuchi@phys.sci.kobe-u.ac.jp>
To: fsci-newage@research.kobe-u.ac.jp
Cc: yamazaki yuji <yamazaki@phys.sci.kobe-u.ac.jp>, 越智 敦彦 <ochi@phys.sci.kobe-u.ac.jp>, takada@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp, Hiroyuki Sekiya <sekiya@km.icrr.u-tokyo.ac.jp>
Subject: CYGNUS and more
Date: Tue, 9 Jun 2015 14:38:34 +0900
X-Mailer: Sylpheed 3.4.0 (GTK+ 2.10.14; i686-pc-mingw32)

uPIC_CS2atOXY_miuchi201506008.pdf application/pdf (1.42MB)

NEWAGEのみなさま

山崎さま
越智さま
高田さま
関谷さま

添付で米国オクシデンタルカレッジのDaniel Snowdenn-Ifft氏のところにuPICを持って行って行なった陰イオンCS₂ガスでの試験レポートを送ります。

結論から言うと、CF₄とほぼ同じ感じで動きます。
ドリフト距離が短かったのでマイノリティーキャリアの試験はしていません。
使うことになるのかな、でも扱いが、という僕たちに朗報がありました。

CYGNUSでDaniel Lombardi達がSF₆を動かした話していました。

<http://www.phys.sci.kobe-u.ac.jp/~miuchi/wp-content/uploads/2015/06/SF6-Studies-Cygnus-2015-Phan-final.pdf>



身内: スタートダッシュ

これからはSF₆の時代です。セッション中に早速見積もりを依頼しました。のにまだ来ない。

池田君、まずは上記スライドを見て、あと僕のレポートをみて予習しておいてください。

10月までに何とかかなりそうであれば、MPGD2015出してみないかい？

SF₆がうまく行かないとしても、CS₂をGarfieldと合わせるだけでも面白い仕事になると思うけど、

神戸大: 大学院生

強みはtracking

回路も必要

基礎を握れ

池田: 「NEWAGE実験49:
小型の陰イオンμTPCを用いた3
次元飛跡検出とZの位置決定」
23pK301-9

中澤: 「陰イオンガスμTPC/液体
アルゴンTPC用ASIC
(LTARS2016_{K01})の性能評価」
22aK205-9

石浦: 「陰イオンガス中における
MPGDの理解」
25pK205-3

■ 先んずるものは、、、

■ 身内：CYGNUS GAS working group convener として、議論を先導

世界の動向リスト 身内・石浦

	Gain Device	Pressure(Torr)	Max gain	⁵⁵ Fe Eres(σ)	Ref
New Mexico,US	1mm, 400um GEM(CERN)	20-100	3000	25%	JINST12(2017)P0201 2
Frascati, Italy	3x 50um GEM (Kapton, CERN)	150-370 610(mixture)	5000	Landau	arXiv: 1710.01994
Hawai, US	Thick GEM	40Torr	3500		
Kobe, Japan	u-PIC + 100um GEM(LCP, Scienergy) , 2 or 3x 100um GEM(LCP, Scienergy)	20-152	2000 @ uPIC+GEM 20torr / 10000 @ 3xGEM 120torr	30% / 50%	EPJ Web of Conferences 174, 02006 (2018)
Welleseley, US	128, 256um MicroMegas(CERN)	30-50	300	~40%	
Sheffield, UK	400um GEM(UK)	30, 40, 50,(100)	6000 @30,40torr		

ユニークなTPC開発



強みtracking

池田:「NEWAGE実験49:
小型の陰イオン μ TPCを用いた3
次元飛跡検出とZの位置決定」
23pK301-9



回路も必要

中澤:「陰イオンガス μ TPC/液体
アルゴンTPC用ASIC
(LTARS2016_{K01})の性能評価」
22aK205-9



基礎を握れ

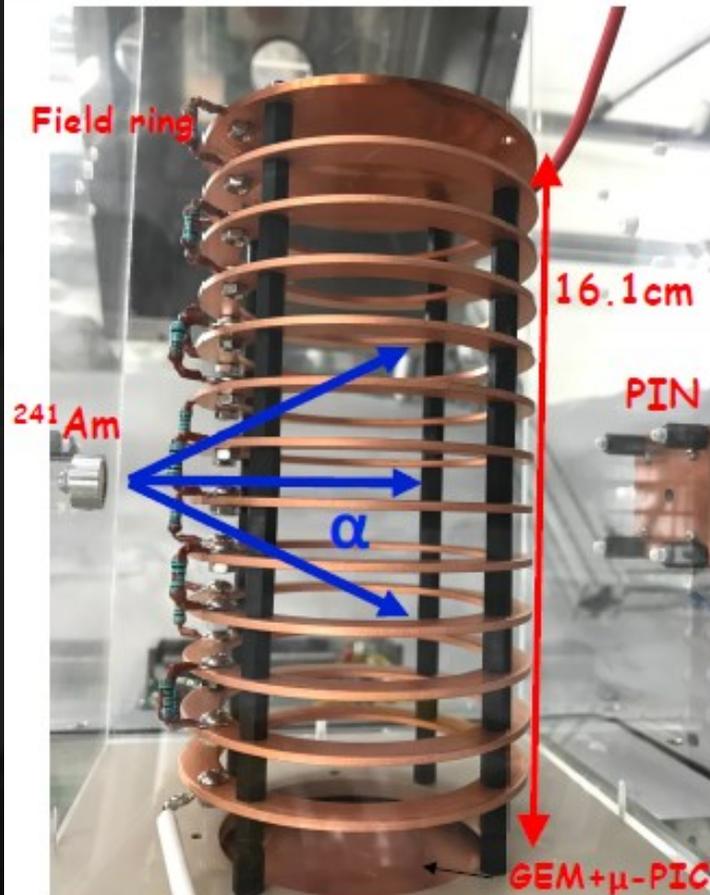
石浦:「陰イオンガス中における
MPGDの理解」
25pK205-3



俺たちの強み
はtracking

池田:「NEWAGE実験49:
小型の陰イオン μ TPCを用いた3
次元飛跡検出とZの位置決定」
23pK301-9

セットアップ



- KEK・岩手大学で共同開発された液体アルゴンTPC用の読み出しエレキ
- 64ch × 4000 sampling
- サンプリング周波数<20MHz以下

まず、
借り物で

✓ 検出容量 : 1.28cm × 1.28cm × 16.1cm

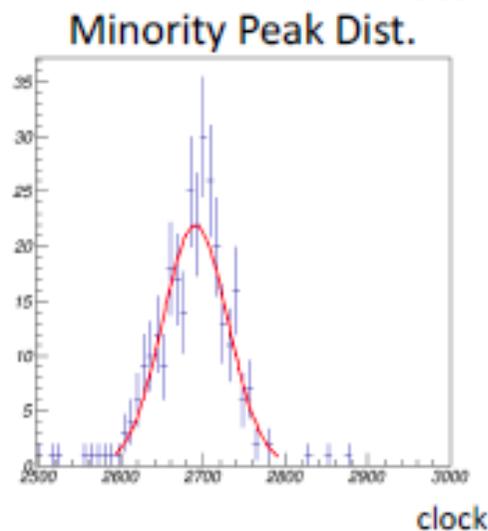
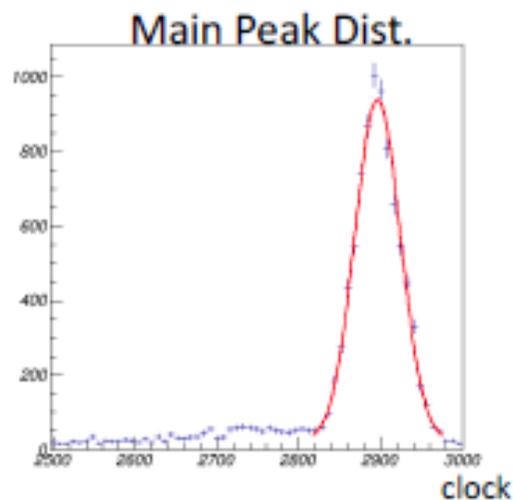
Anode 32ch

Cathode 32ch

Drift

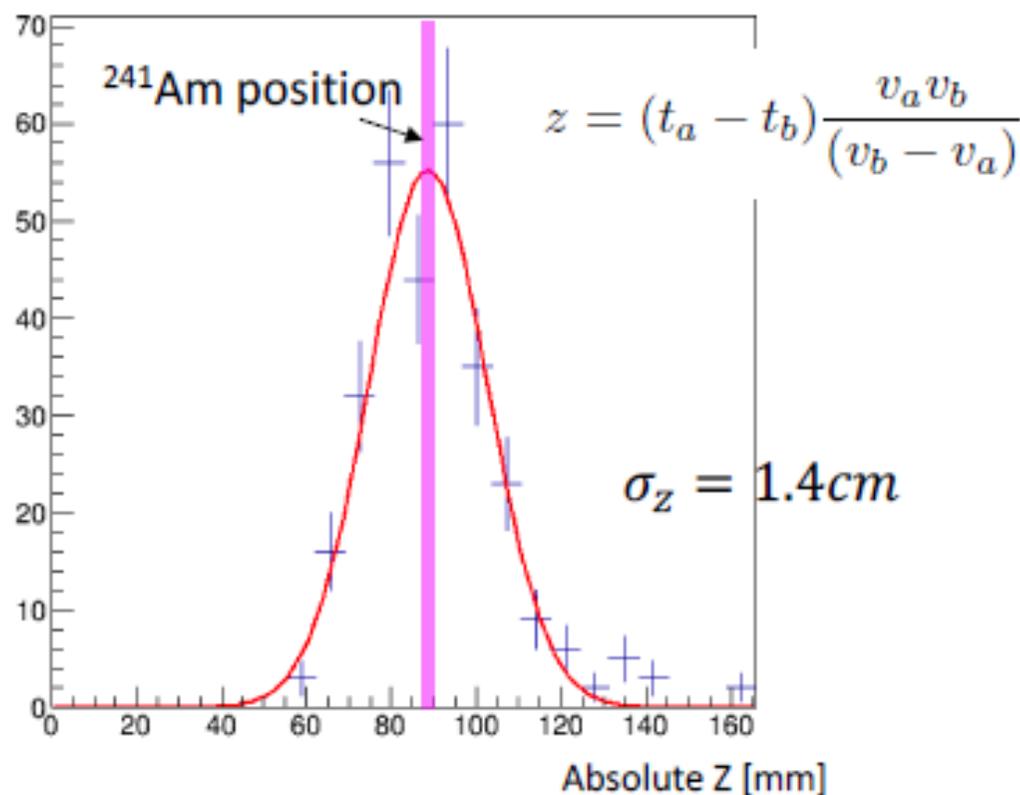


- PINフォトリガーイベントからZの絶対位置を較正する



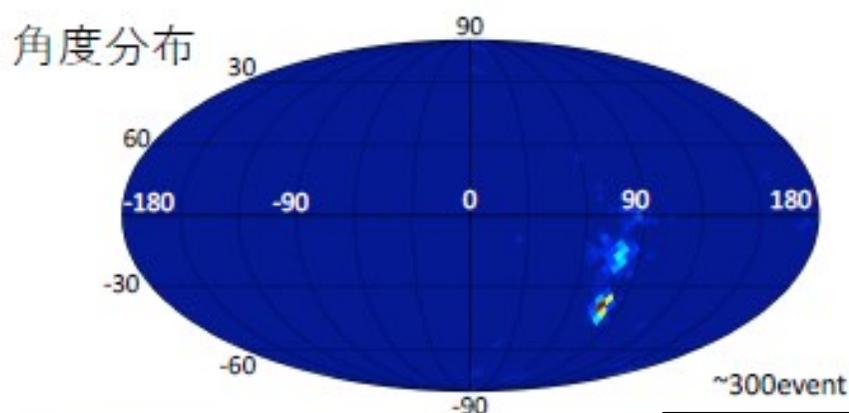
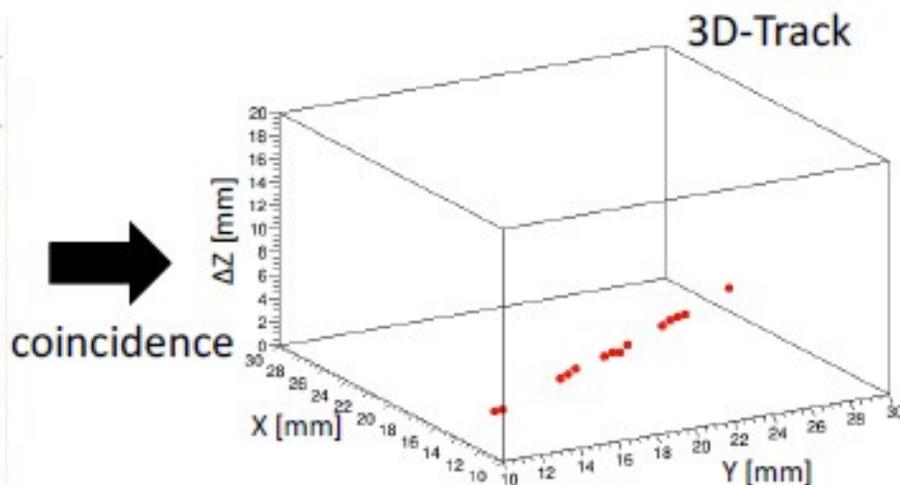
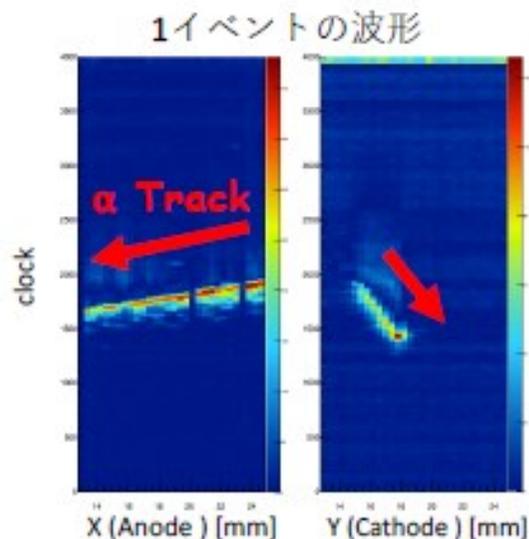
SF₆ (Main charge) Drift V : 8.0 [cm/ms]

SF₅ (Minority charge) Drift V : 8.6 [cm/ms]



3次元の飛跡再構成

- セルフトリガーモードでの3次元の飛跡再構成



241Am配置図



原理実証はOK。実際に使うためにはダイナミックレンジ拡大が必要。



回路も必要

中澤:「陰イオンガス μ TPC/液体アルゴンTPC用ASIC (LTARS2016_{K01})の性能評価」
22aK205-9

2. $\text{Ni}\mu\text{TPC}$ 用ASIC(LTARS2016_K01)の開発

中澤美季:22aK205-9

検出器からの主な要請と開発方針

	要請	従来の ガス検出器用回路	開発方針
時定数	4 μ s	100ns程度	液体アルゴン検出器用回路(1 μ s)を改変
検出器容量	300pF	数pF~数100pF	検出器容量に配慮した設計
ダイナミックレンジ	3fC~1600fC	~数10fC	2種類のゲイン(High Gain/Low Gain)を持つ回路

上表の開発方針のもとLTARSの開発を進めた。

2018/3/22

会@東京理科大

tion Sensitive
VIMP-search
NAGE

2.LTARS設計思想

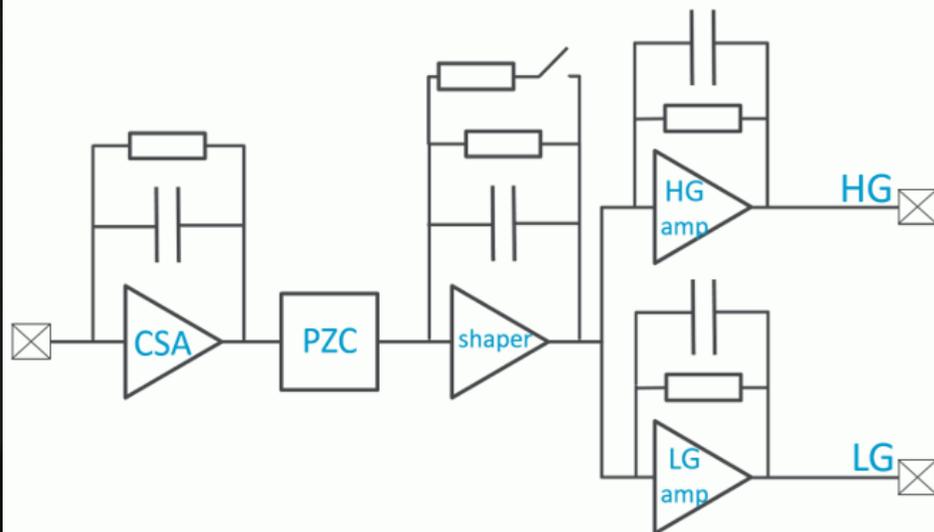
大ダイナミックレンジ達成のために...

「MT回路」 「TK回路」
2つのアプローチで臨む

基本設計：KEKの専門家
設計段階での**中澤担当部分**：
パラメータ設定⇔シミュレーションによる性能評価(主に新設計のTK回路)

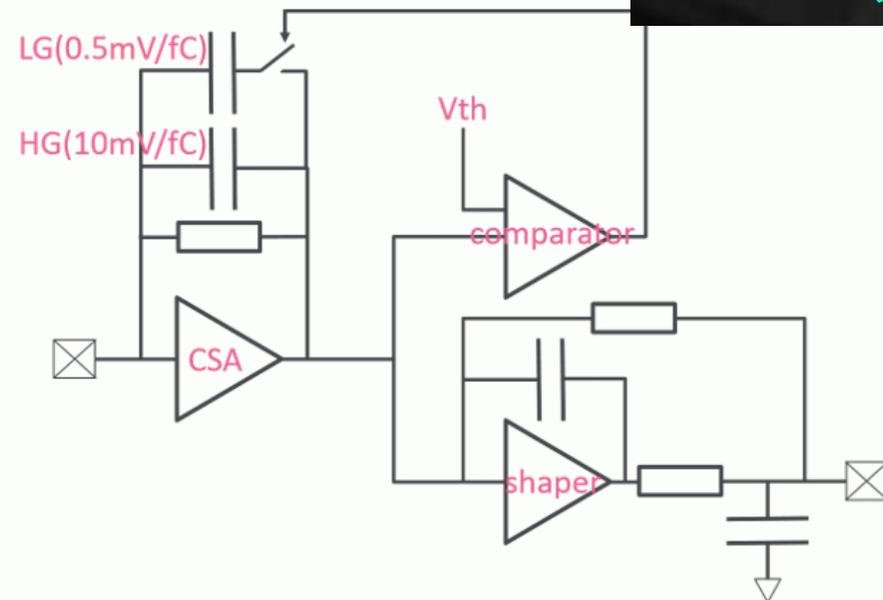
MT回路(既存回路の改良)

- 実績ある回路
- △ 後段にアンプを2種類(HG/LG)用意
→出力CHが2倍に...



TK回路(新設計)

- △ 「ゲインの自動切換え」という新たな試み→動くか分からない...
- 出力CH数が減らせる



なにこれ？ 感
ユニークネス!?

3.LTARS性能評価 (TK回路/ゲイン自動切換え)

中澤美季:22aK205-9

入力信号
変化させる

出力信号F

COMP_BIN
"L" HG
"H" LG



原理実証OK 閾値を超えるとCOMP_FBINが”H”になり出力信号が小さくなる

TO DO 切り替え付近での応答の詳細調査

マイノリティー → メインの連続波形に対する応答

回路はOK。基本に立ち返って、素過程はどうだ？

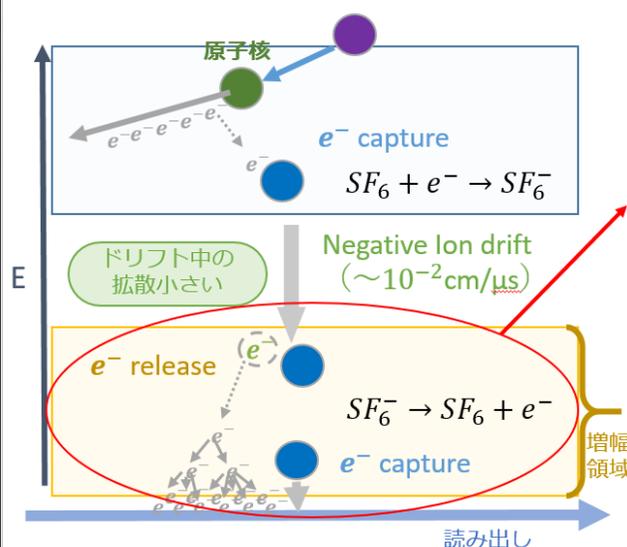


基礎を握れ

石浦:「陰イオンガス中におけるMPGDの理解」
25pK205-3

NEWAGE

陰イオンガス中におけるMPGD



理解したいこと

- SF₆電子捕獲(attachment)平均自由行程
電場依存
- SF₆電子放出(detachment)平均自由行程
電場依存
→増幅領域の大きさと比較
- 増幅領域内での電場&領域ジオメトリ依存
- 圧力依存

+

先行研究・実験・シミュレーション



陰イオンガス中でのMPGDの特性理解へ

各パラメータを変えやすいGEMを用いて実験、統一的理解へ

SF₆を使うとエネルギー分解能が悪い (経験的共通認識)

→ GEM2枚と3枚を比較してみる。詳しくは ↓ ↓ ↓

SF₆ 中 Triple-GEM 動作

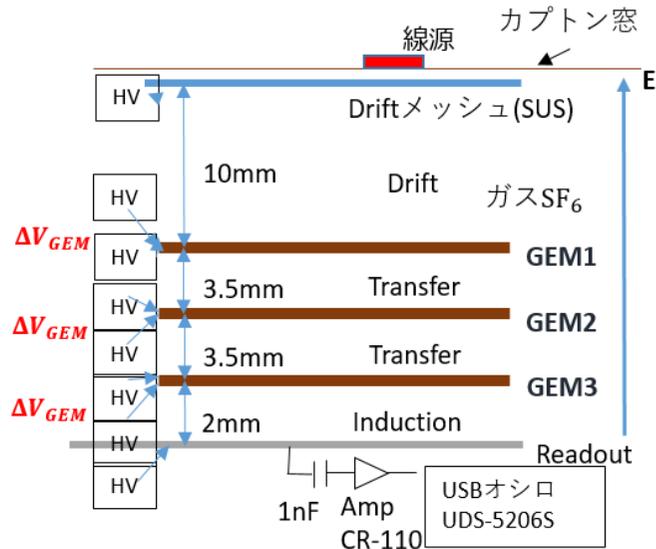
- Ar + C₂H₆ 90:10 1気圧で動作確認
- pure SF₆ 20~120 Torr 5.9keV X線の信号確認

■ ゲイン等測定方法

取得波形(USBオシロより) → 積分してガスゲイン計算

■ 測定内容

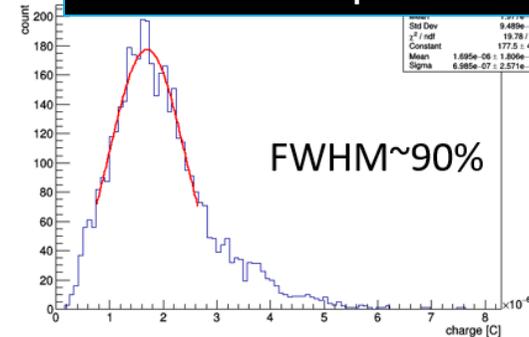
- Gas gainおよびエネルギー分解能とガス圧、 ΔV_{GEM} 、各電場の依存性



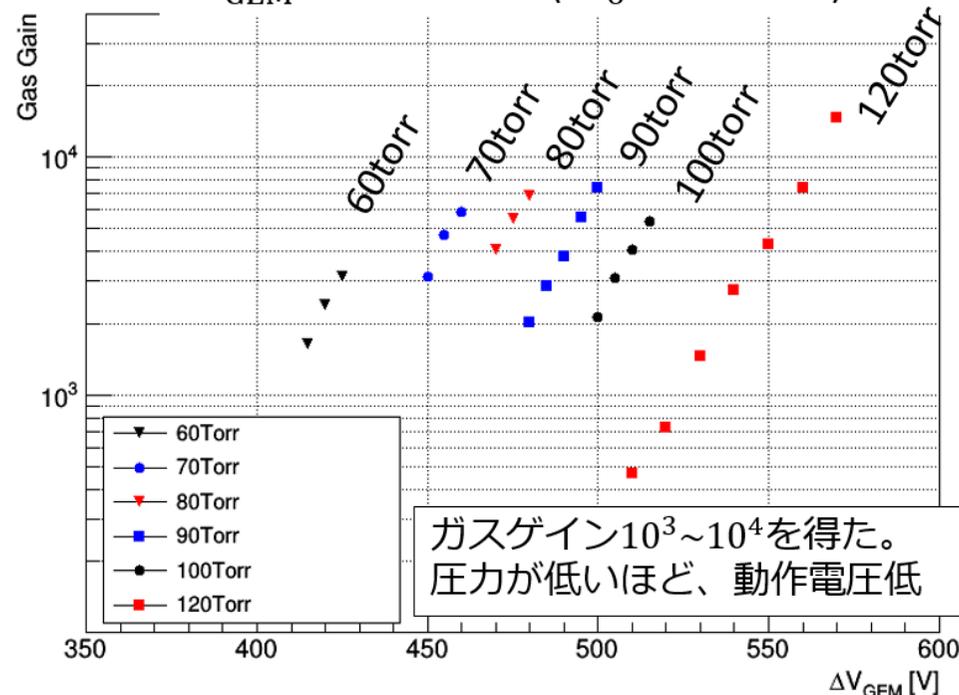
2018/3/25

物理学会 第73回年次大会@理科大(野田)

石浦宏尚: 25pK205-3



ΔV_{GEM} とガスゲイン (SF₆ 60~120torr)



ction Sensitive
WIMP-search

→ Garfield++などへの応用も合わせて根っこを握る

ユニークなTPC開発



強みtracking

池田:「NEWAGE実験49:
小型の陰イオン μ TPCを用いた3
次元飛跡検出とZの位置決定」
23pK301-9



回路も必要

中澤:「陰イオンガス μ TPC/液体
アルゴンTPC用ASIC
(LTARS2016_{K01})の性能評価」
22aK205-9



基礎を握れ

石浦:「陰イオンガス中における
MPGDの理解」
25pK205-3

絶賛 開発 中

だけじゃない。(陰イオンじゃないけど。)

低バックグラウンドなTPCの開発

2017年12月2日
神戸大学 身内賢太郎

第14回MPGD研究会 @岩手大学

動機
低 α /BG μ PIC
低BGTPC



やりたいこと

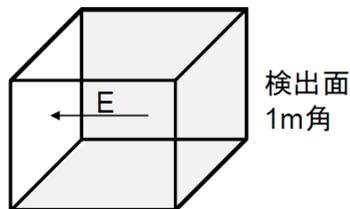
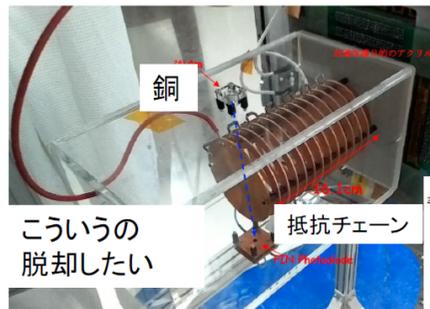
- フィールドケージ でかいものを 安く 簡単に 低BGで 作りたい。

アイディア

第10回MPGD研究会

炭素スパッタリングを用いた
抵抗電極をもつ
MicroMEGASの開発

神戸大理, 東大素セ^A, 東大理^B
越智敦彦, 本間康浩, 山崎祐司, 竹本強志, 山根史弥,
川本辰男^A, 片岡洋介^A, 増淵達也^A, 川西裕基^B, 寺尾伸吾^B



1mサイズのシートが 掃いて捨てるほどある

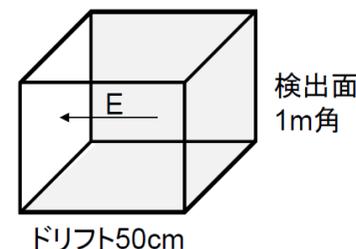
ドリフト50cm

⇒ 面抵抗でペロツと作れないか?

大型・量産可能(安価)
放射性BG低
一様電場

身内2017年
MPGD研究会

抵抗値要請(主にHV電流が制限)



- 電源50kV せいぜい50 μ Aくらい → 1G Ω くらい

上の絵で考えると 10G Ω /□ くらいの抵抗値がほしい。

越智さんのresistiveはちと小さかった。

1.E+07
竹本修論(2015年 神戸大)

10¹⁰Ω/□ とつぶやきながらいろいろ探す

- 安く: 開発はNG
- 低BG: ガラスや金属はNG

ESDマーク付き クリーン導電性パウチ・ラミネートフィルム(透明) TW-CLF-CL
(超導電防止クリーンルーム用 静電気対策パウチ/AA-A3)

特徴

- 電性PETフィルムの使用で静電気を帯電させません。パウチの取替作業時に便利です。
- 透明なフィルムと不透明なフィルムとの区別が可能です。
- ESDマークが印刷されています。
- ESDマークが印刷されているパウチのみが使用できます。

用途

- クリーンルーム内で使用するパウチラミネートフィルムに、カラー印刷や文字の印刷を施すことができます。
- 静電気を帯電させない静電防止フィルムとして、精密機器作業での使用に、静電防止対策として幅広い品質管理を行うとき、静電気が発生する作業で表面へのゴミ付着防止、黄色のラミネートフィルムはこちら。

抵抗値低すぎ

フィルム事業部とは

トークロスフィルム 帯電防止コート品

汎用タイプ

開発品のため
相手にされず

「トークロスフィルム」は主に工業用ポリエステルフィルム表面に界面活性剤系、樹脂系帯電防止処方をコーティングした帯電防止フィルムです。表面固有抵抗値(20℃, 65%RH 雰囲気下) 10⁷~10¹²Ω/□(トークロスへの対応が可能です。

特徴・Feature

- ①表面固有抵抗値 10⁷~10¹²Ω/□(トークロスまで対応可能) (20℃×65%RH 雰囲気下)
- ②耐温度依存性に優れる。(開発品)
- ③透明性に優れる。(基材変更により不透明も対応可能)
- ④塗膜の均一性に優れる。
- ⑤平面性に優れる。
- ⑥フィルムサイズ(厚み・幅・長さ)の調整が容易

アキレス
透明導電性フィルム(ST-PETシート)

4日
出荷
可能
※送料
別

注文コード 06898762
品番 ST-8
内容量 1巻
参考基準価格 オープン
税込価格 ¥74,412

販売価格(税別)
¥68,900

数量: 1

抵抗値低すぎ

First studies with the Resistive-Plate WELL gaseous multiplier

arXiv:1308.6152v1 [physics.ins-det] 28 Aug 2013

A. Rubin¹, L. Arazi, S. Bressler, L. Moleri, M. Pitt, and A. Breskin
¹Department of Particle Physics and Astrophysics, Weizmann Institute of Science, 76100 Rehovot, Israel
E-mail: adam.rubin@weizmann.ac.il

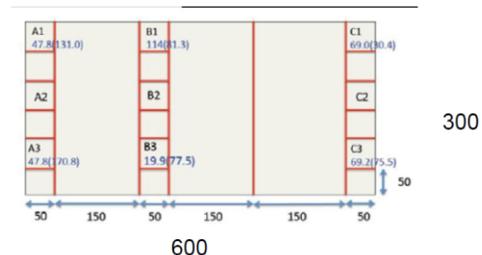
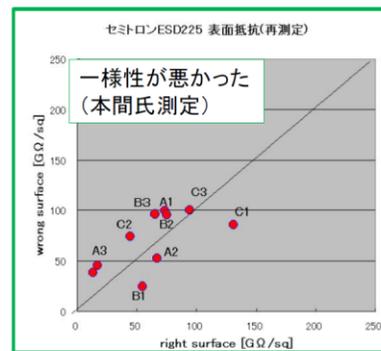
Table 1. The resistive materials used in this work.

Material	Dimensions [mm]	Resistivity
VERTEC 400 glass	36 × 31 × 0.4	8 × 10 ¹² Ωcm
HPL Bakelite	29 × 29 × 2	2 × 10 ¹⁰ Ωcm
Semitron ESD 225	30 × 30 × 0.6-4	2 × 10 ⁹ Ωcm
Epoxy/carbon film	30 × 30 × 0.1	1 MΩ/sq

セミトロン® ESD (Semitron® ESD)

ESd225 POM-C (ポリアセタール樹脂ベース)
(Semitron® ESD225 POM-C)

幅×長さ mm	300×600	300×1200	600×1200
厚さ mm	0.6	0.6	0.6
質量 kg/枚	1.4	2.9	5.7
質量 kg/枚	2.2	4.3	8.6
質量 kg/枚	2.9	5.7	11.5
質量 kg/枚	4.5	9.1	18.2
質量 kg/枚	6.0	12.0	23.9
質量 kg/枚	7.4	14.8	29.7
質量 kg/枚	9.1	18.2	36.4
質量 kg/枚	10.5	21.1	42.1
質量 kg/枚	12.0		



ASONE通販

静電対策マット・シート・フィルム

AXEL 取扱点数 3,000以上 140万点 送料無料で 16時まで注文 当日出荷

静電対策マット・シート・フィルム

23シリーズが該当します

静電対策品

23シリーズが該当します

【研究用総合機器カタログ2017 新商品】

▶ 電磁波シールドクロス 960mm×1m

電磁波対策にご使用ください。
ハサミで自由にカットすることも可能です。

1種類の製品があります 標準価格: 9,700円

【研究用総合機器カタログ2017 新商品】

▶ 導電性フィルム (基材レス)

単層からなる導電フィルムで、フレキシブル性があります。
片面に導電性粘着剤付きです。

1種類の製品があります 標準価格: 14,200円

アズワン

▶ 帯電防止PVCシート

2種類の製品があります 標準価格: 60,600円~

ASONE通販

静電対策マット・シート・フィルム

AXEL 取扱点数 3,000以上 140万点 送料無料で 16時まで注文 当日出荷

静電対策マット・シート・フィルム

23シリーズが該当します

静電 しばりこみ

23シリーズが該当します

メーカー	商品名	材質	抵抗値	色	厚み	定尺	価格	備考
アズワン	帯電防止PVCシート 透明	PVC	1e10~1e11	透明	0.3mm	1.37 × 30m	54,000	
アキレス	セイデンクリスタル	PVC	1e10	透明	0.3mm	1.37 × 20m	60,000	
アキレス	ピニラス (帯電防止・紫外線遮蔽フィルム)	PVC	1e11	透明	0.2mm	1 × 10m	40,000	粘着剤不要
三菱化学	アルトロン	PVC	5.1e11	透明	0.1	1.83 × 50m	18,000	
	非帯電フィルム	ポリオレフィン系樹脂	1e11以下	水色	0.05	1m × 200m	20,000	

1種類の製品があります 標準価格: 14,200円

4つを購入、試験

アズワン

▶ 帯電防止PVCシート

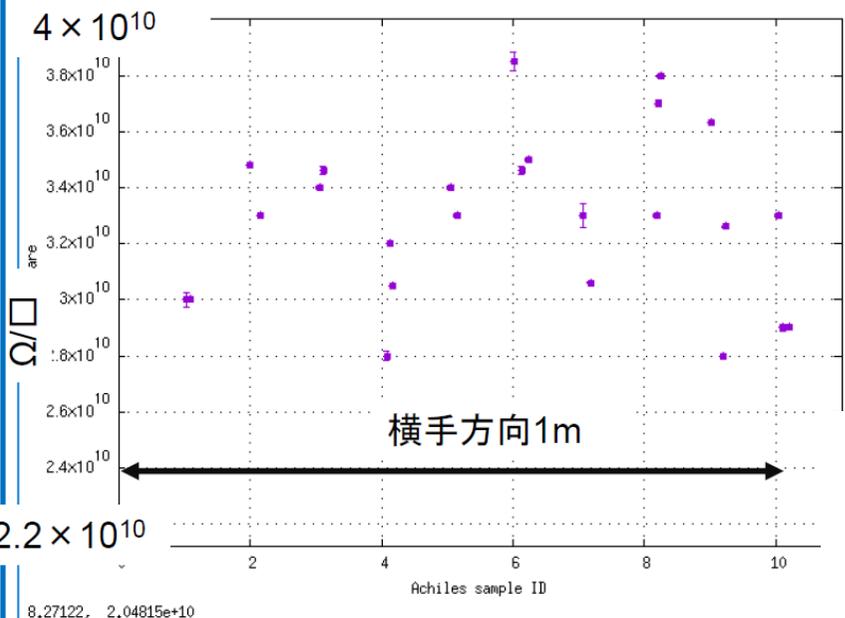
2種類の製品があります

いろいろさがして



最終候補: アキレスビニラス

抵抗値の位置依存

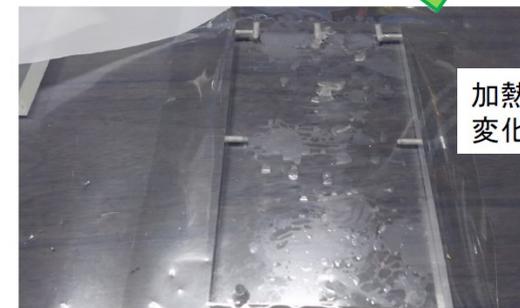
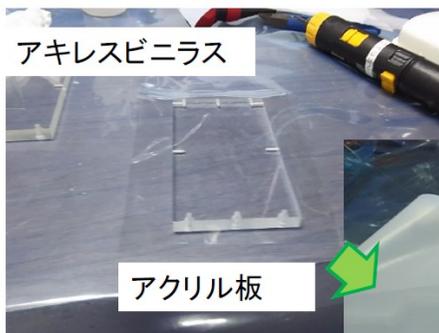


選んで

ばらつきはあるが
横手方向に傾向がないことが重要

TPCとするときの一つの方向で一様であれば電場は整形できる

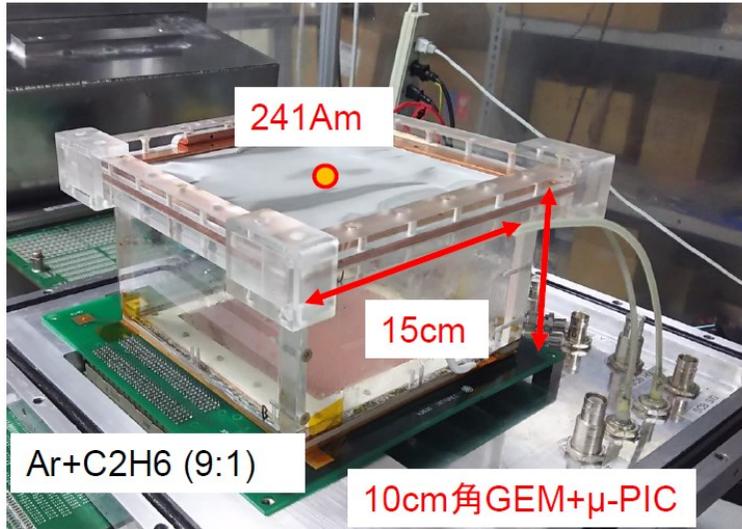
工作



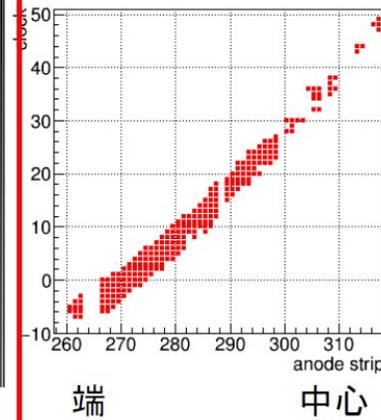
くっついた
(アクリルが溶けてついた様だ)

作った。

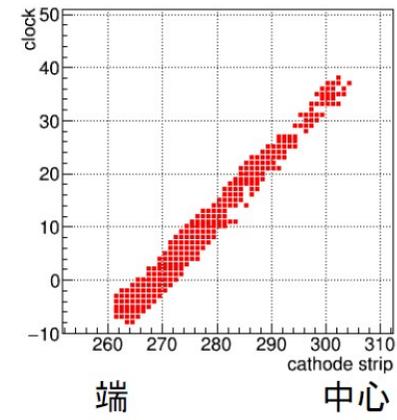
TPCとして試験



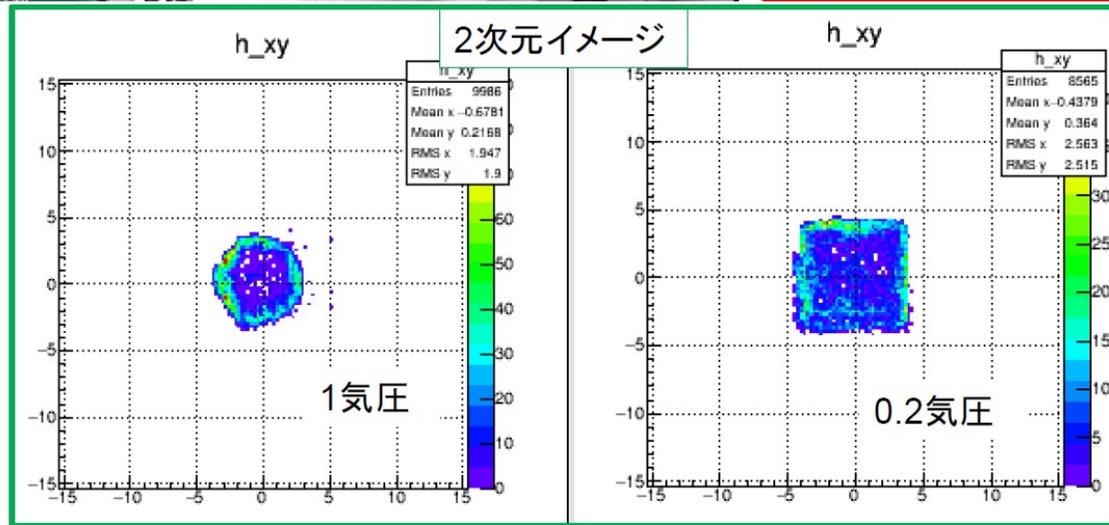
α線飛跡 (raw data)



そして動かした。



飛跡がちゃんととれている。

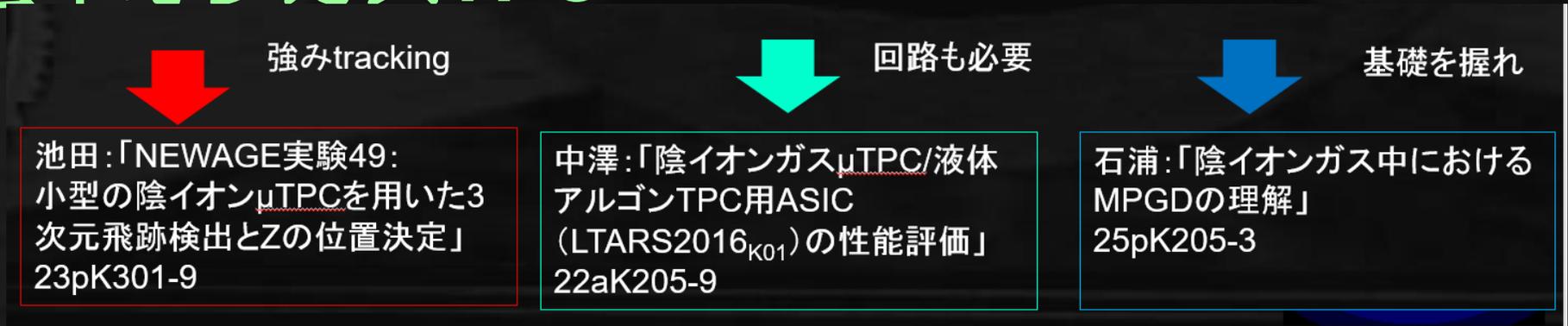


動いている。
今後: 定量評価・命名

▣ 定量的な評価を進めている。

まとめ

■ 陰イオンガスTPC



絶賛

開発

中

■ お手軽TPC

■ 開発中