

LC-TPCについて

なぜILDではTPCなのか？

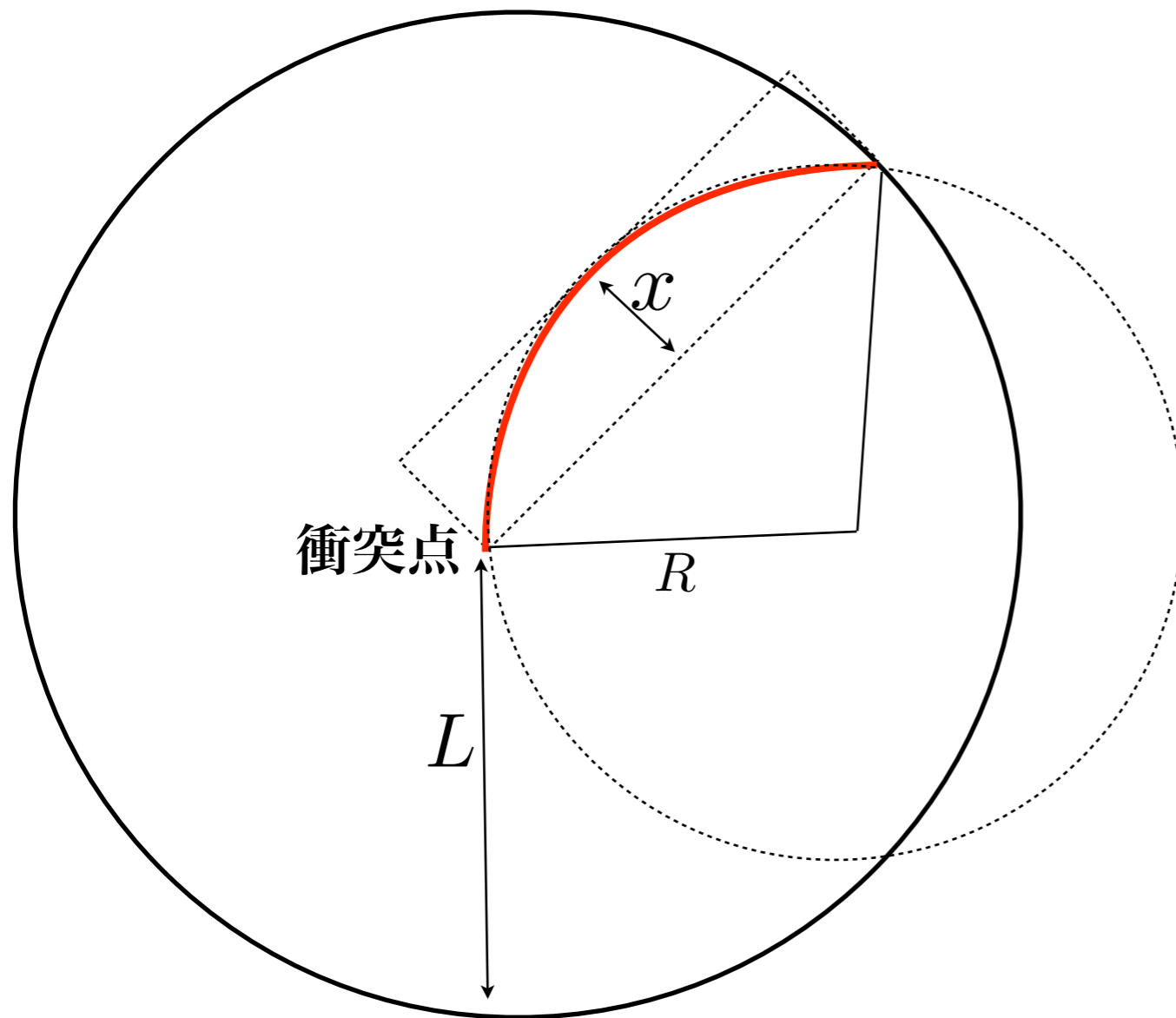
なぜMPGDなのか？

ゲートとは？

与那嶺 亮 (KEK)

飛跡検出器を運動量測定装置として使う

検出器断面



Lorentz力

$$f_{\mu} = j^{\nu} F_{\mu\nu}$$

$$\rightarrow F = e(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

運動方程式から

$$p = eBR$$

どうやって軌道半径を求めるか？

$$R^2 = (R - x)^2 + (L/2)^2$$

$$R \gg x \text{ とすると } R \approx \frac{L^2}{8x}$$

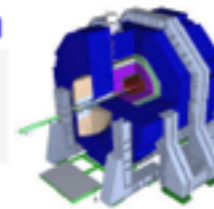
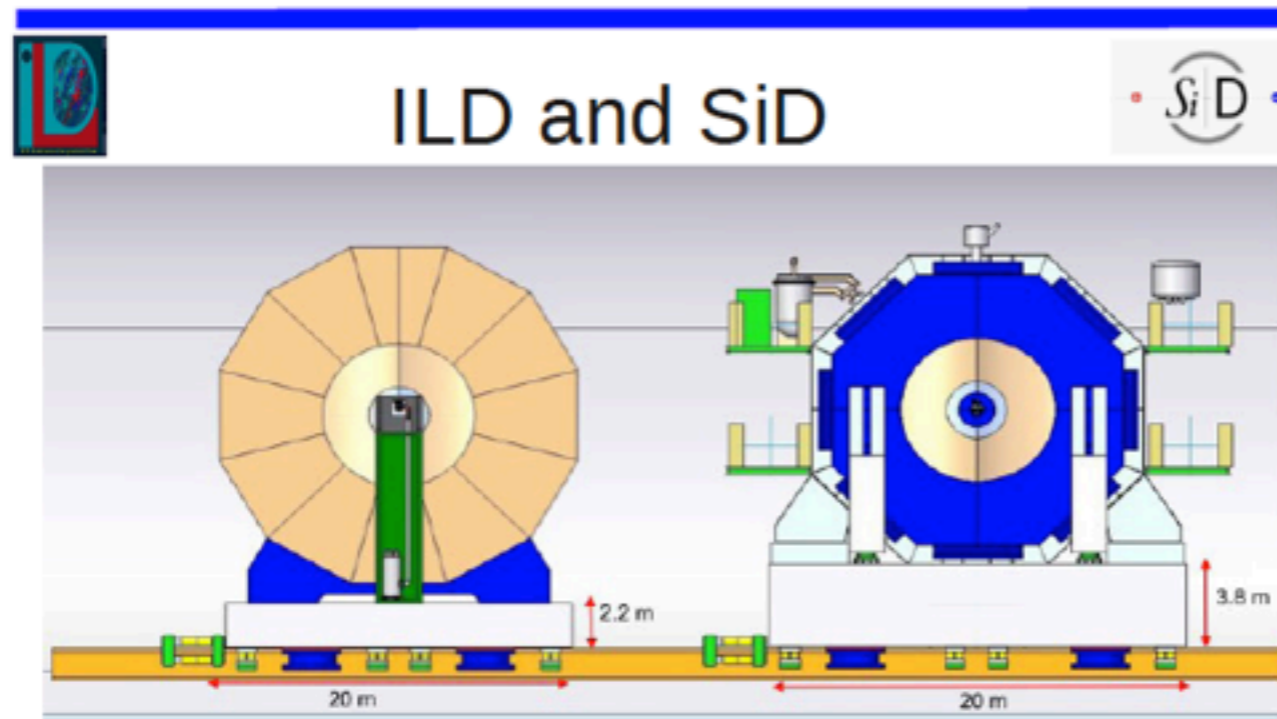
$$p \approx \frac{eBL^2}{8x}$$

実際には、飛跡を多数の測定点を検出することにより、もっと良い精度が出せる。

☆位置測定は、ガウス分布の誤差をもつので、運動量に関しては、 $1/p$ でプロットするとガウス分布になる。

☆ $\frac{\delta p}{p} \propto \frac{p}{BL^2} \delta x$ 運動量が大きくなってくると悪化する、 BL^2 に反比例して改善する。

TPC と 半導体飛跡検出器



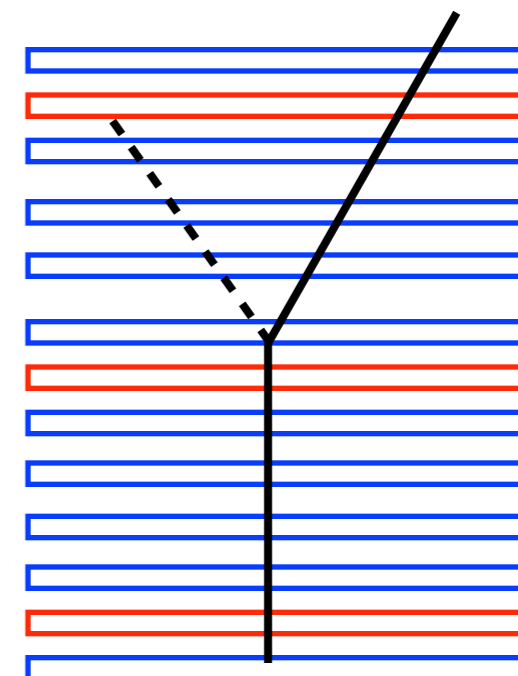
SiD : B と δ_x で勝負

ILD : L で勝負

運動量分解能は同程度の精度が達成可能であるが、飛跡再構成のしやすさでは測定点が連続的にあった方が有利。

2 different detector concepts: ILD and SiD – both standard HEP detectors with vertex detector, tracker, calorimeter, a solenoid and instrumented return yokes. The detector performance is optimized for particle flow analysis and Higgs-recoil measurement.

Both ILC and CLIC plan to switch between two detectors by push-pull operations.

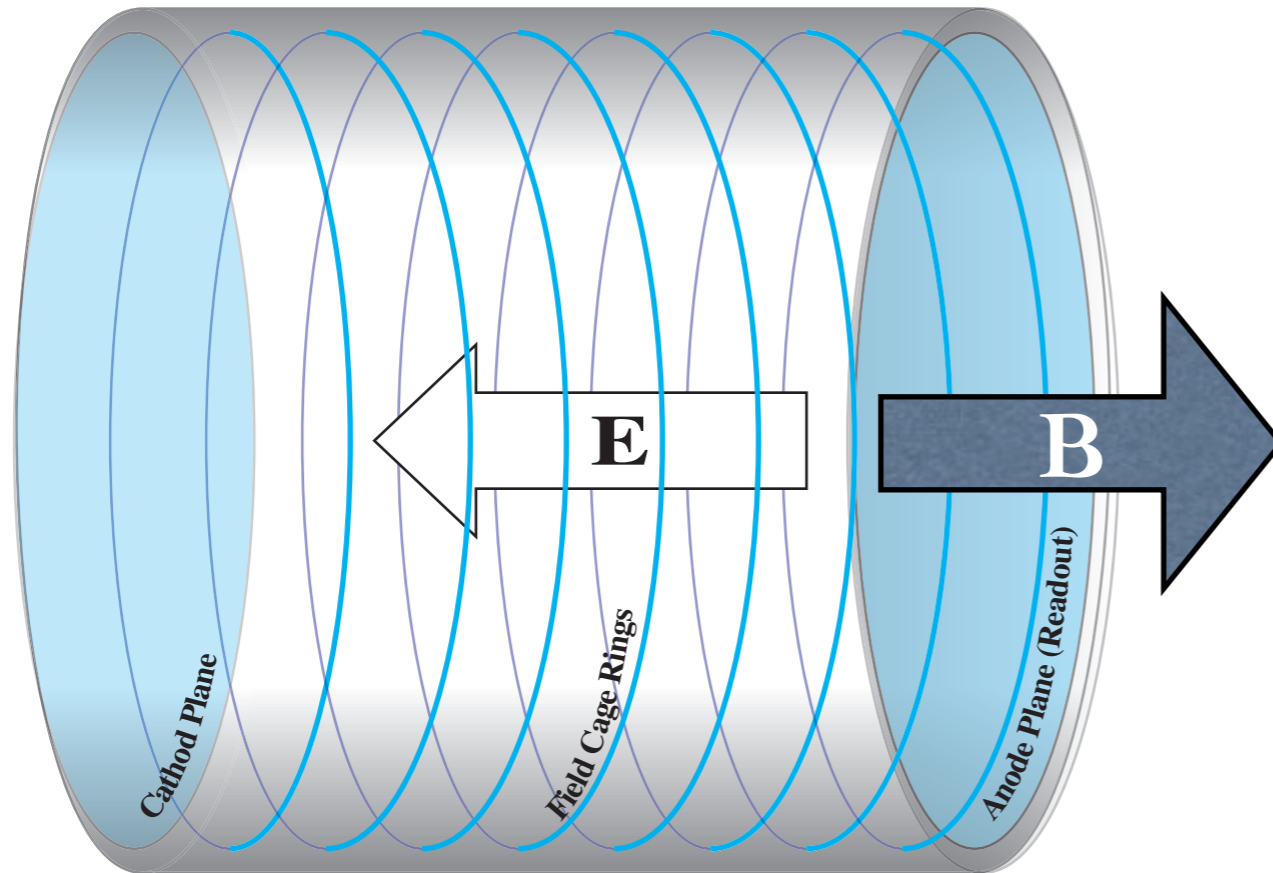


TPCを運動量測定装置として使う

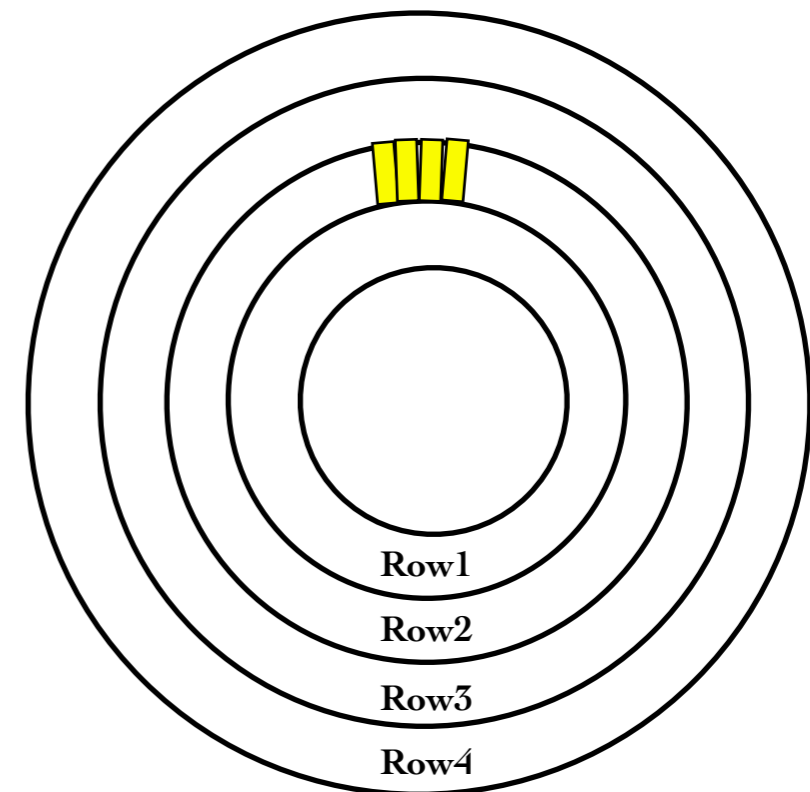
磁場をかけるとTPCには都合が良い。

信号電子のドリフトする際に起こる拡散を抑える役割を果たす。

-->2mドリフトさせても位置分解能を維持できる。

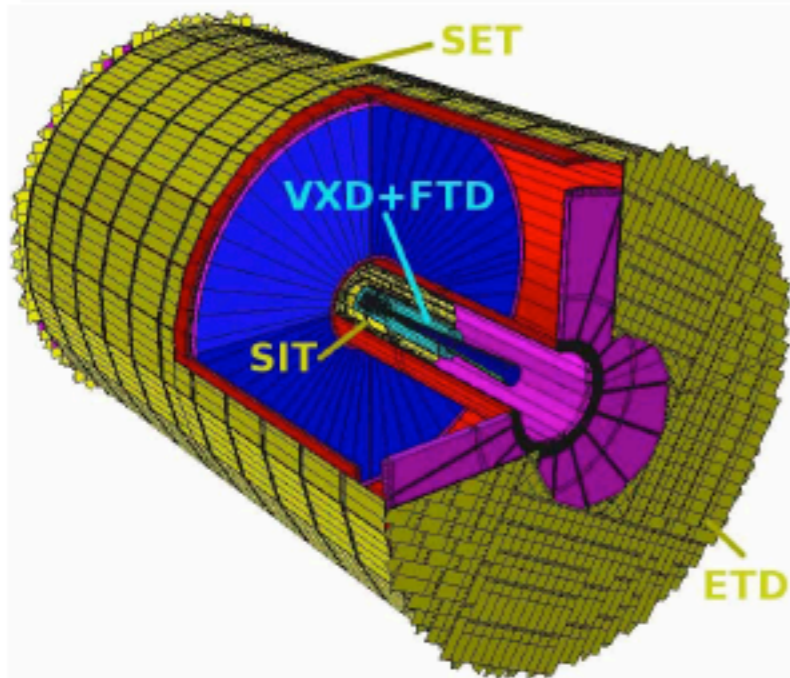
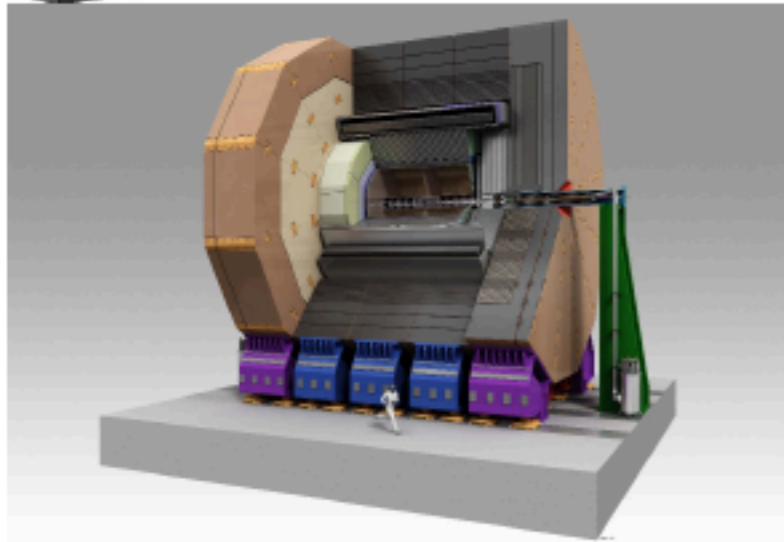


読み出しは、パッド(1mm×5mm)を層状に配列し、各層ごとに電荷重心を取ることによって複数点において位置測定を行う。



ILD-TPCでは、200点以上の測定点になる。
(SiDでは5点)

なぜTPCを使うか？



ILD

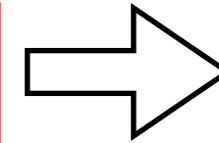
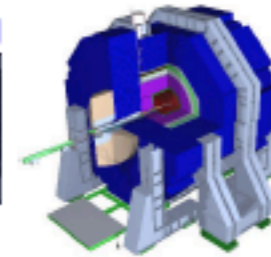
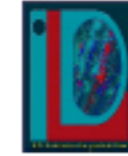
Design philosophy:

Lower B field ($B = 3.5 \text{ T}$), but larger lever arm ($R_{i,ECAL} = 1.85 \text{ m}$)

Goal: $\delta(1/p_T) \sim 2 \times 10^{-5} / \text{GeV}/c$, efficiency: $>99\%$

The tracking system consists of

- A large volume time projection chamber (224 space points)
- Silicon Inner Tracker (SIT)
2 double layers of Si-strip detectors to link tracks from VXD to tracks in the TPC
- Silicon External Tracker (SET)
1 double layer between TPC and ECAL to improve the momentum resolution
- Endcap tracker (ETD)
1 double layer of Si-strip detector in the Endcap between TPC and ECAL
- Forward Tracker (FTD)
7 discs of Si-pixel and Si-strip detectors around the beam pipe for forward tracks

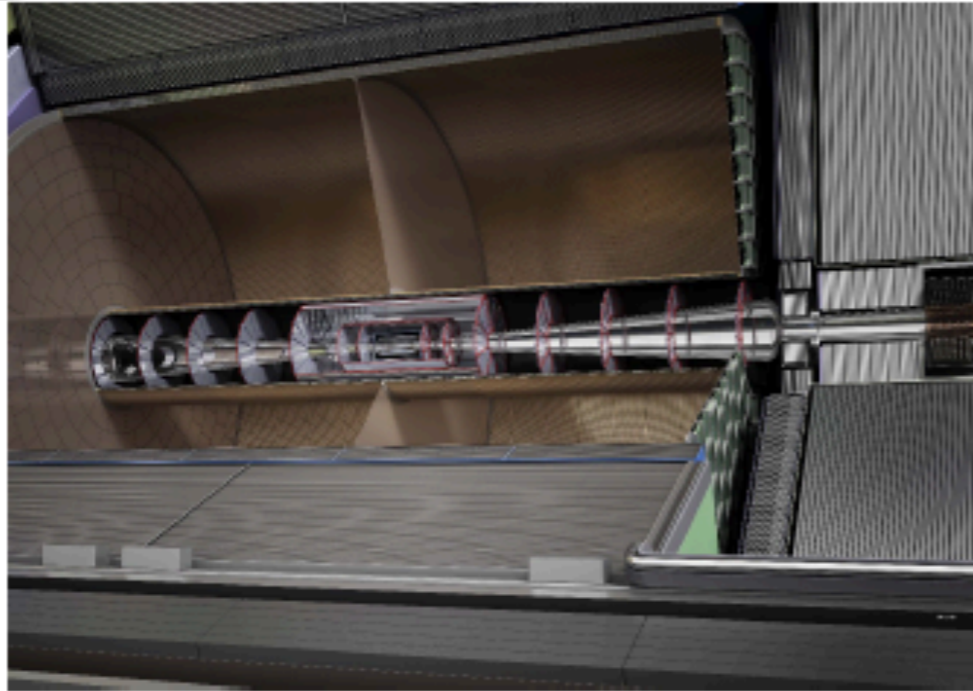
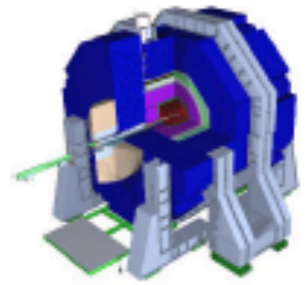


PFAのことを考えるとカロリメータの前にはなるべく物質をおきたくない。

TPCが最適



Time Projection Chamber



Properties of a TPC

- Good spatial resolution
- Large number of measurements
→ continuous tracking
- True 3-dimensional detector
(no ambiguities)
- High granularity
- Good energy resolution with dE/dx
- Low material budget

Requirements ILD TPC

Size: $l = 4.3$ m, $\varnothing = 3.6$ m

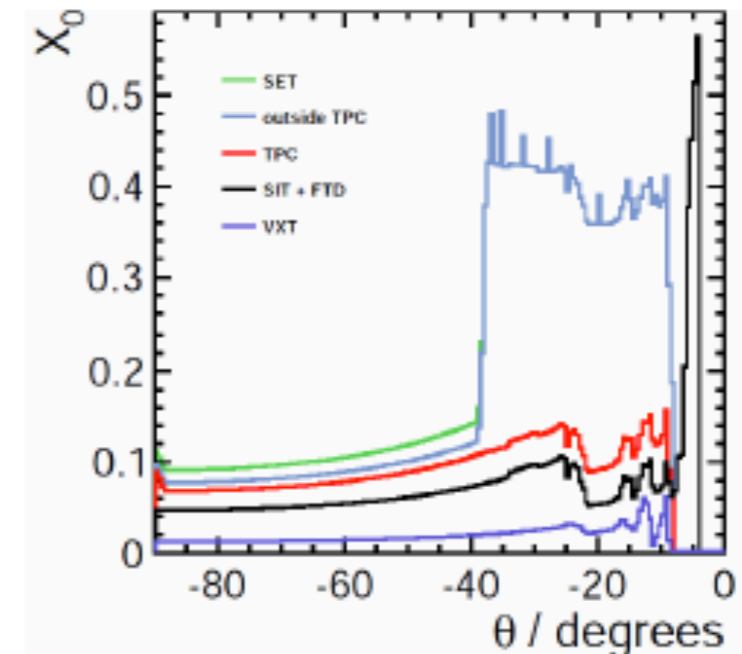
Momentum resolution: $\delta(1/p_t) \sim 9 \times 10^{-5} / \text{GeV}/c$

Spatial resolution: $\sigma_{r\phi} < 100 \mu\text{m}$, $\sigma_z < 0.5$ mm

dE/dx resolution: $\sim 5\%$

Efficiency: $> 97\%$ (for $p_t > 1$ GeV/c)

⇒ performance possible with MPGDs



しかしILDならではの問題も

これまでに実績のあるTPCではMWPCが使われていた。
 しかしILDでは磁場の強さが3.5Tになり、ワイヤー近傍で生じる
 $E \times B$ 成分による信号電子の広がりが無視できなくなってきた。

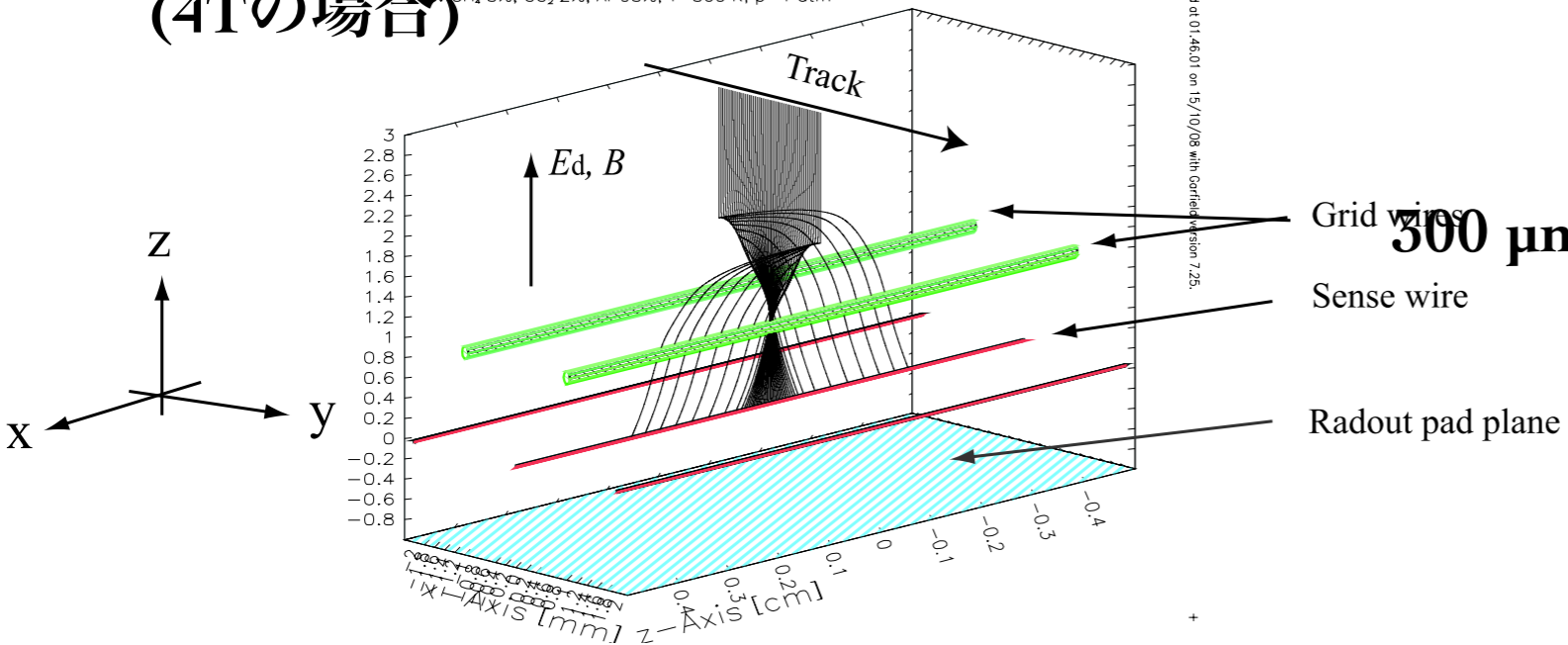
Large $E \times B$ effect

Garfieldシミュレーション

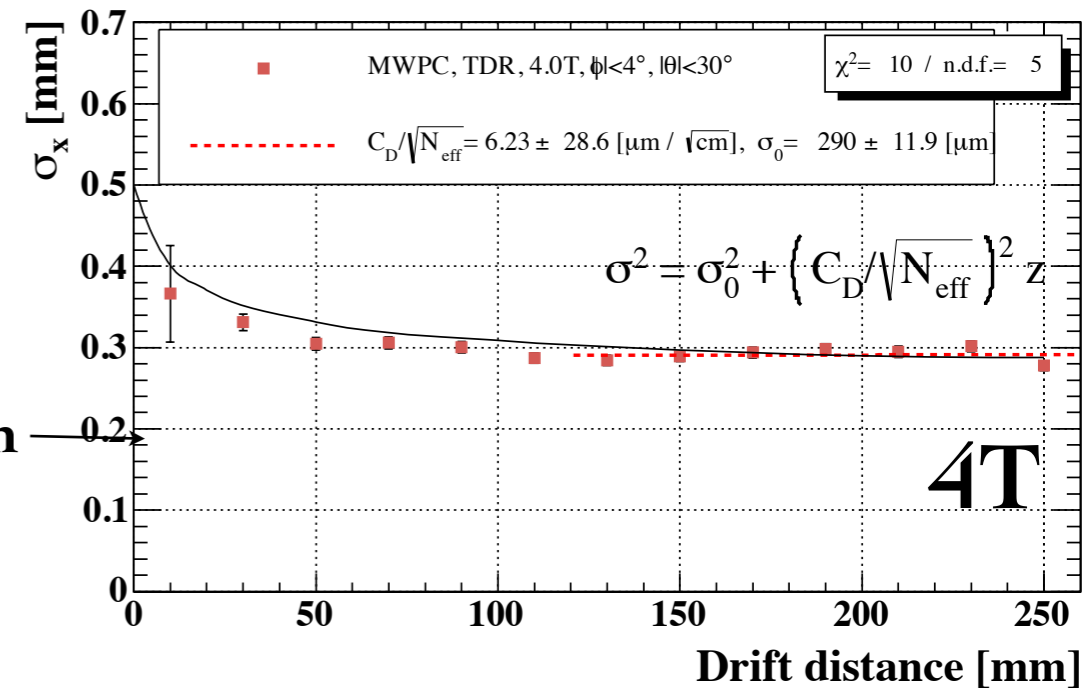
Layout of the cell

(4Tの場合)

Gas: CH₄ 5%, CO₂ 2%, Ar 93%, T=300 K, p=1 atm



飛跡にそってできた電子がワイヤー近傍で広がっている様子



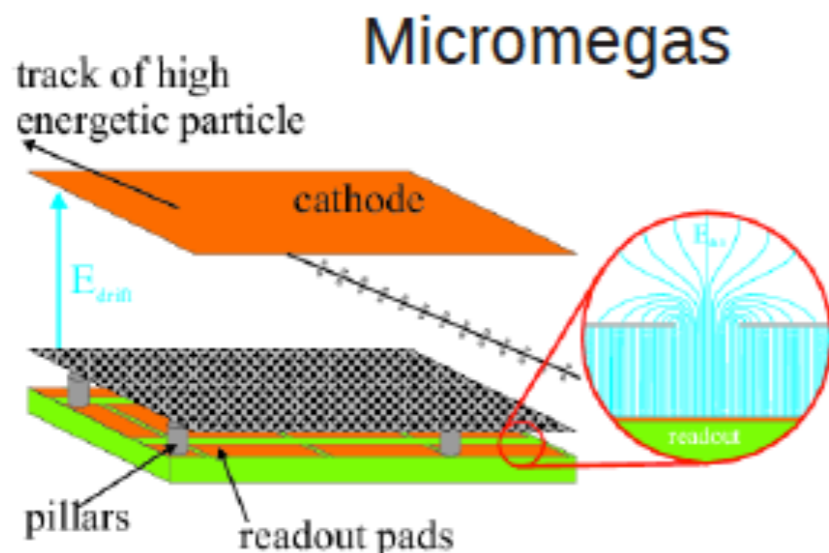
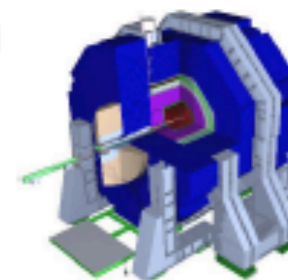
実際の測定結果(小型TPC)

位置分解能300 μm 程度のところで平らになっている($E \times B$ による広がりによる寄与が主となる)。

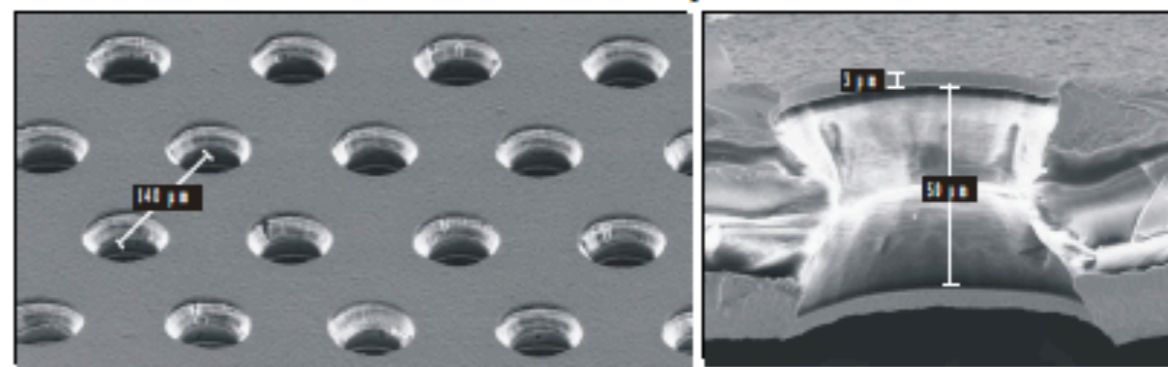
ILD-TPCでは100 μm が目標。



Micropattern Gas Amplification Stages



Gas Electron Amplifier / GEM



- **Small pitch** of gas amplification regions (i.e. holes)
=> improves spatial resolution, reduction of $E \times B$ -effects
- **No preference in direction** (as with wires)
=> all 2 dim. readout geometries can be used
- **No ion tail** => very fast signal ($O(10 \text{ ns})$)
=> good timing and double track resolution
- **Direct e^- -collection** on pads
=> small transverse width / good double track resolution
- **Ion back drift** can be reduced significantly
=> Gating planned between bunch trains

TPCの課題

TPCでは一様な電場と磁場が重要。

(1) フィールドケージ、カソード板の精度

(2) イオンフィードバックによるドリフト電場の乱れ

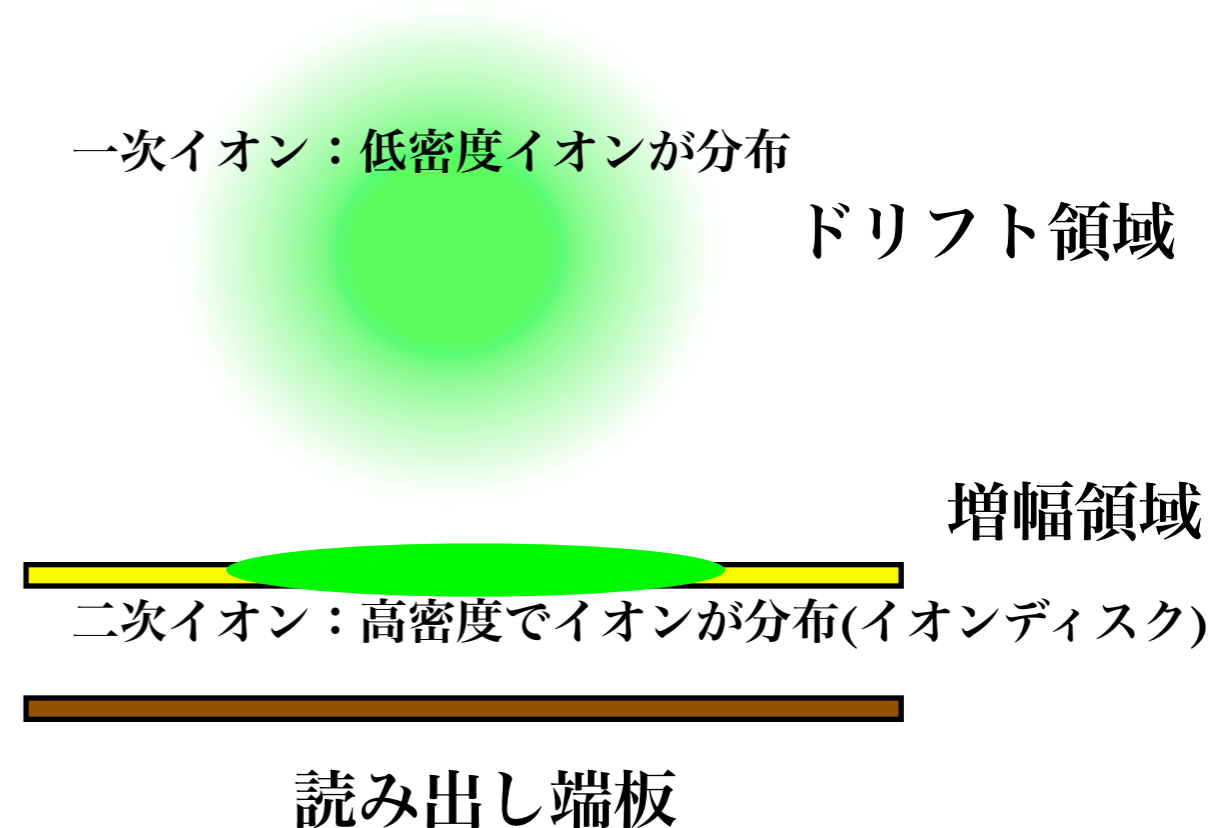
イオンは、荷電粒子がガス分子を電離させたときにできる

一次イオン

と、ガス増幅時に出てくる

二次イオン

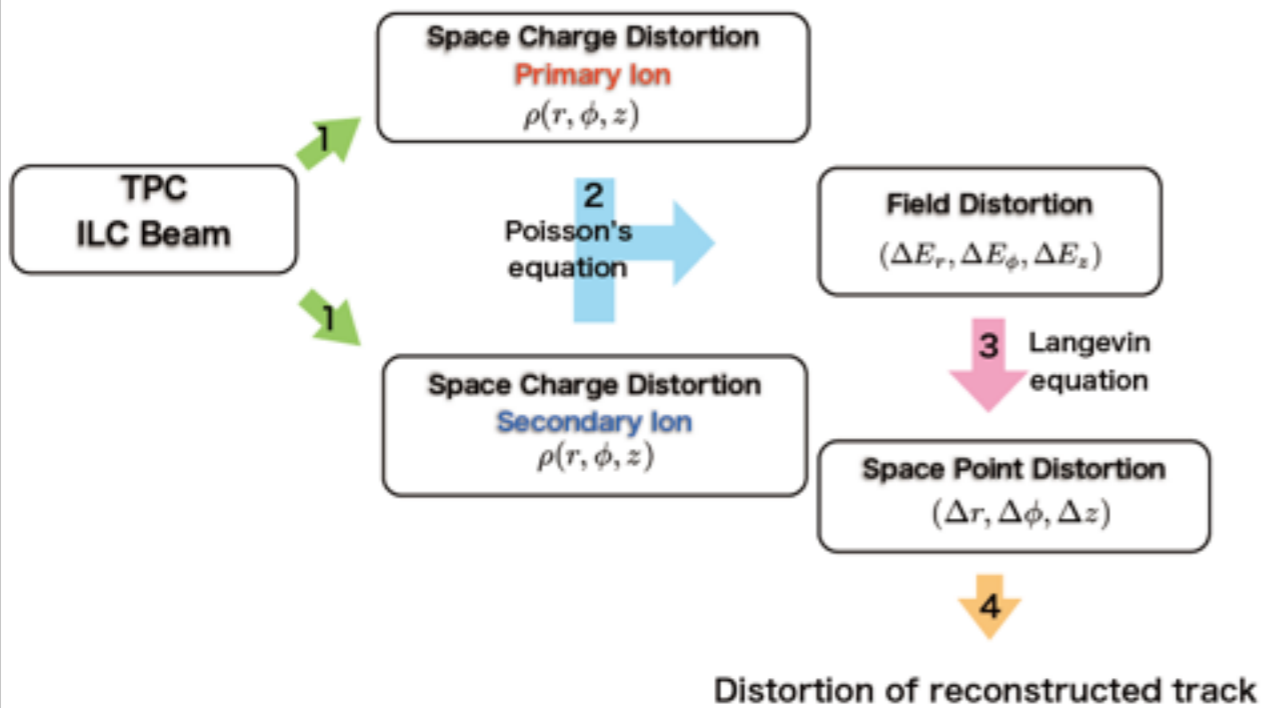
がある。



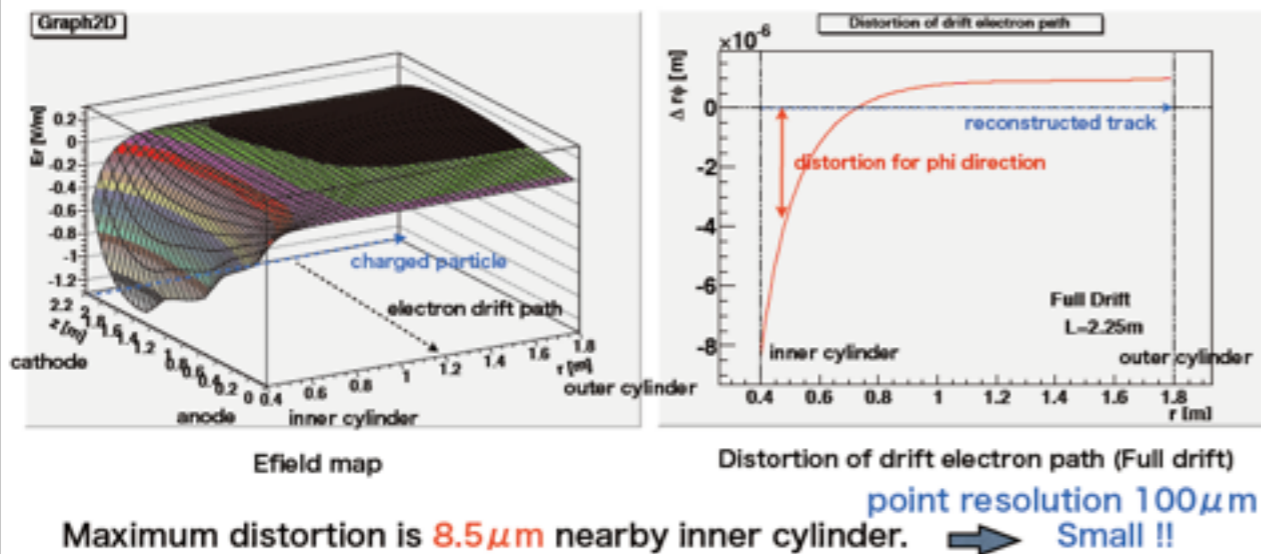
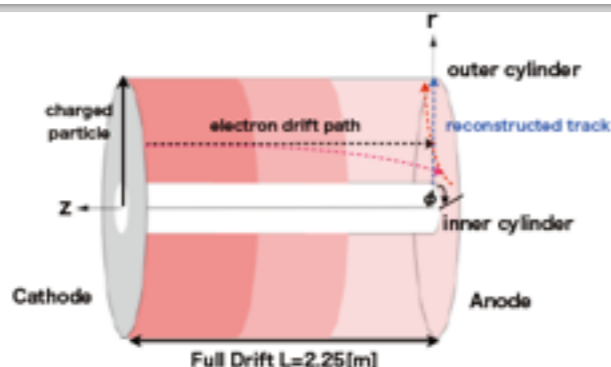
イオンの影響に関する研究

Calculation Method

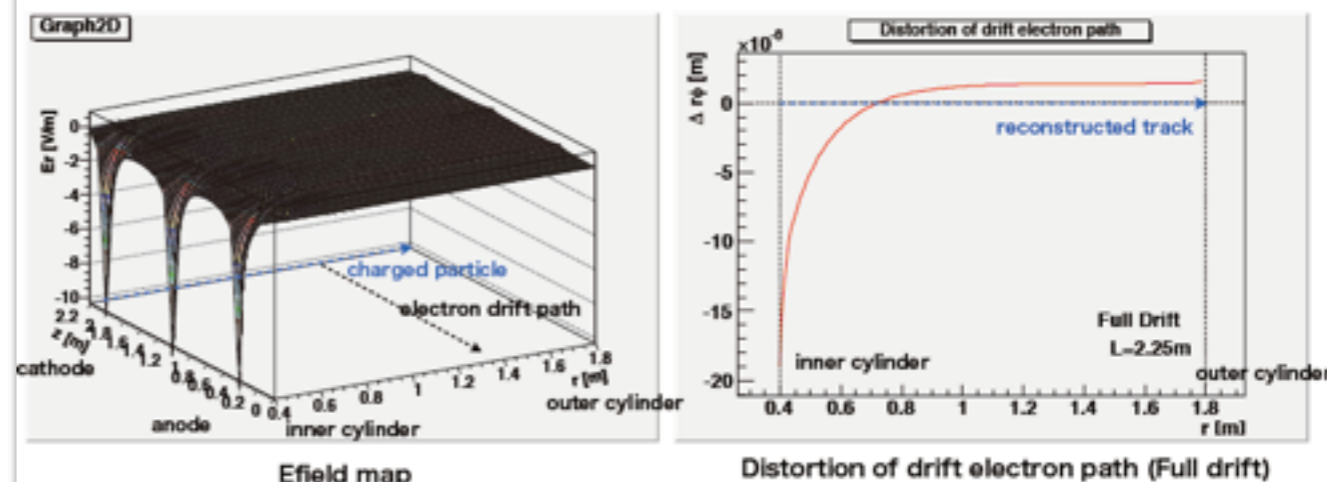
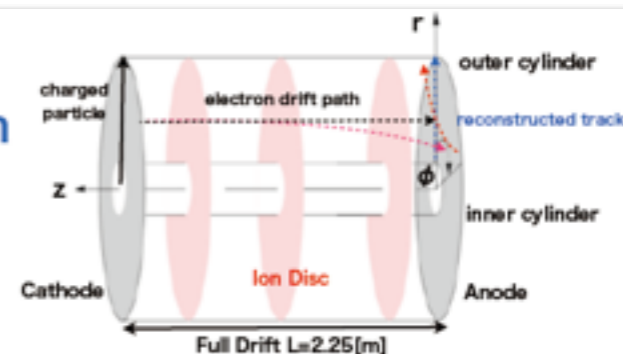
D. Arai



Result Primary Ion



Result Secondary Ion (without Gate)



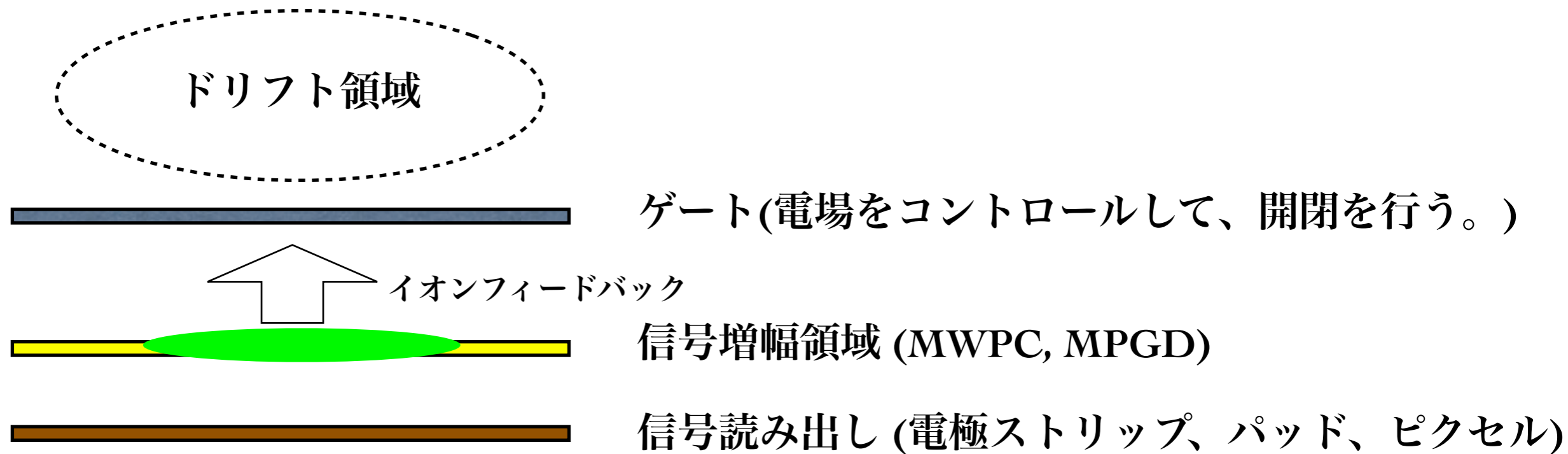
Ion Feedback Ratio = 1 → (GEM) Ion Feedback Ratio = 3
 Maximum of distortion is 60 μm. → We need Gating Device !!

結論:

- 1次イオンの影響は無視できる。
- 2次イオンは、無視できないほど影響を引き起こす可能性が高い。
- ゲートをつけると2次イオンの影響を抑えることができる。
- ゲート機構を準備しておくことが必要。

ゲート機構

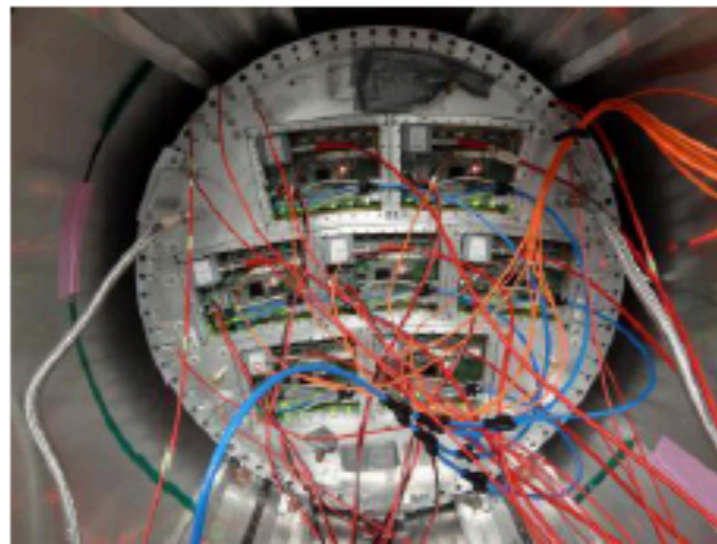
2次イオンがドリフト領域に逆流してくること(イオンフィードバック)を防ぐ。



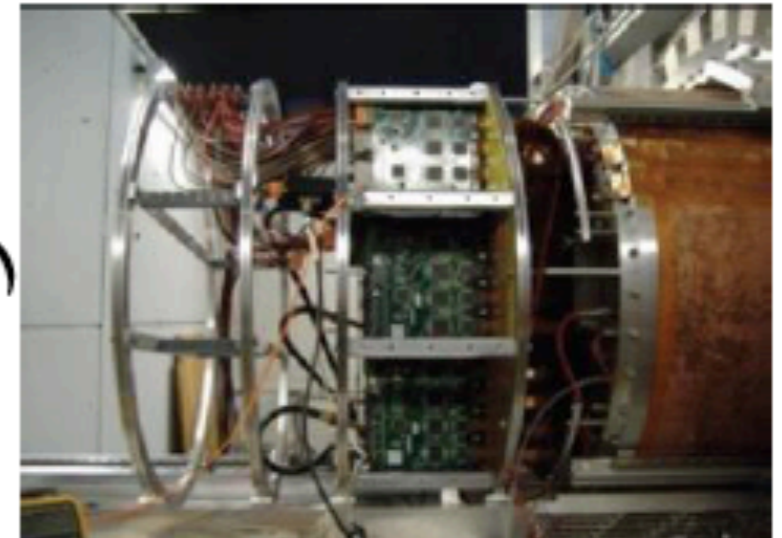
Several Micro-Pattern Gaseous Detectors types of readout modules are studied

	Readout	Pad Size	Electronics	Groups
MPGDs	Micromegas (Resistive anode)	($\sim 3 \times 7 \text{ mm}^2$ Pad)	AFTER	Saclay-Carleton
	Double GEMs (Laser-etched)	($\sim 1 \times 6 \text{ mm}^2$ Pad)	ALTRO	Asia
	Triple GEMs (wet- etched)			Desy

Micromegas
(test with 7
modules)
25% X⁰

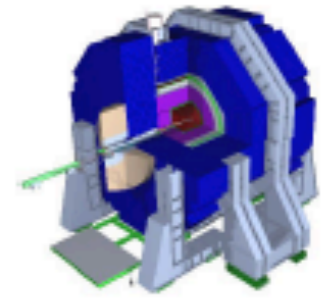


GEM
(test with 3
modules)





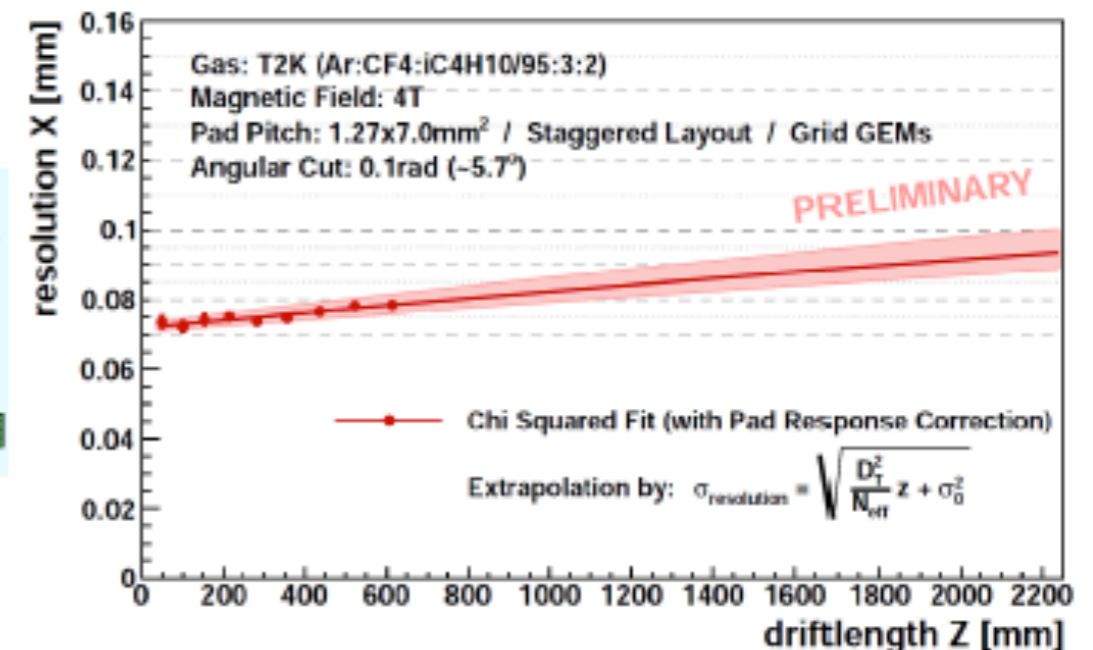
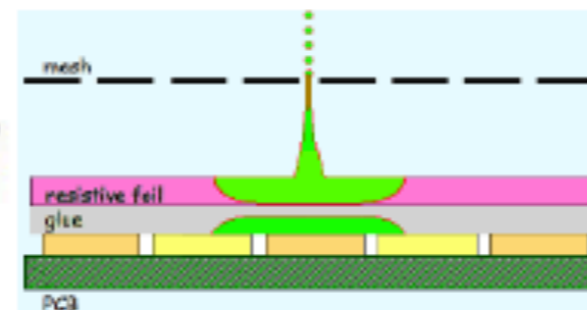
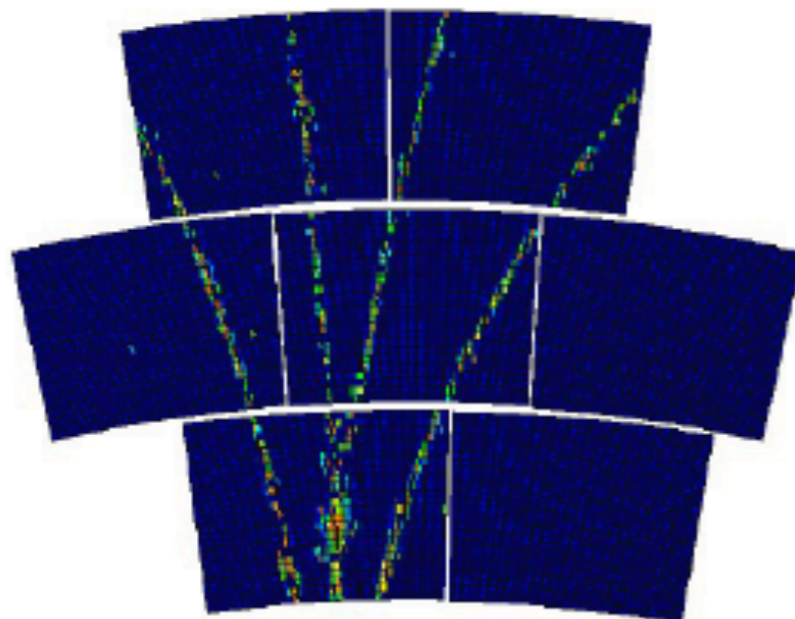
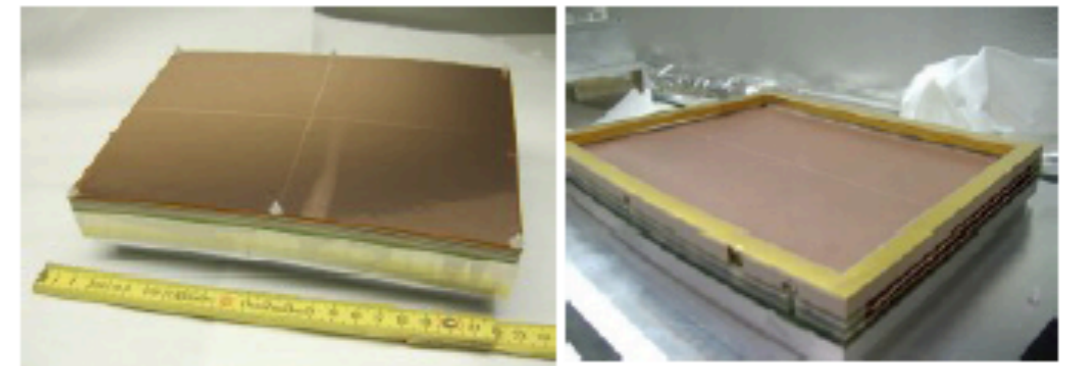
TPC with MPGD



First collaboration to examine TPC with MPGD – many fundamental measurements and developments were done.

- GEMs:
- First detailed study and minimization of ion backflow (IBF)
 - Development of new GEMs (100 μm thick of LCP)
 - New way of mounting GEMs

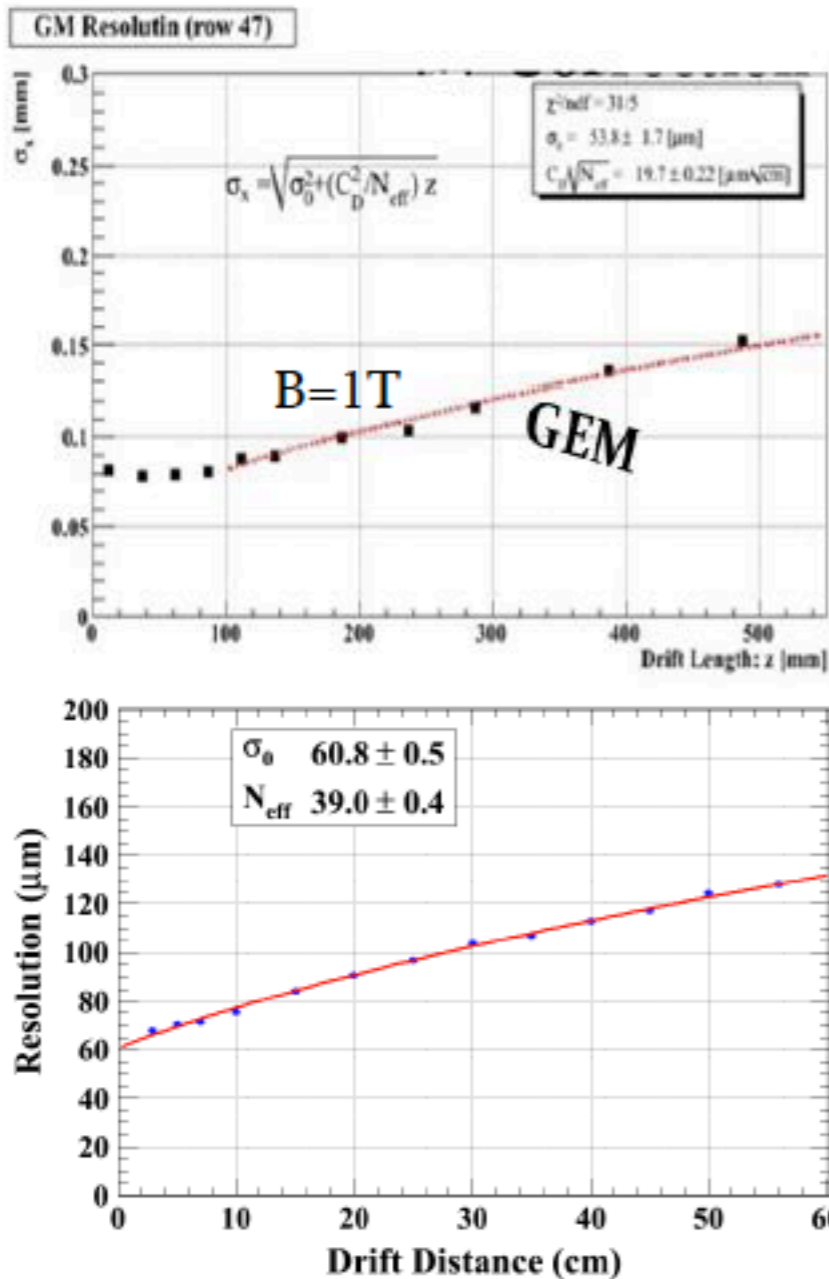
- Micromegas:
- First study of IBF
 - Development of resistive cover on readout pads to spread the charge.



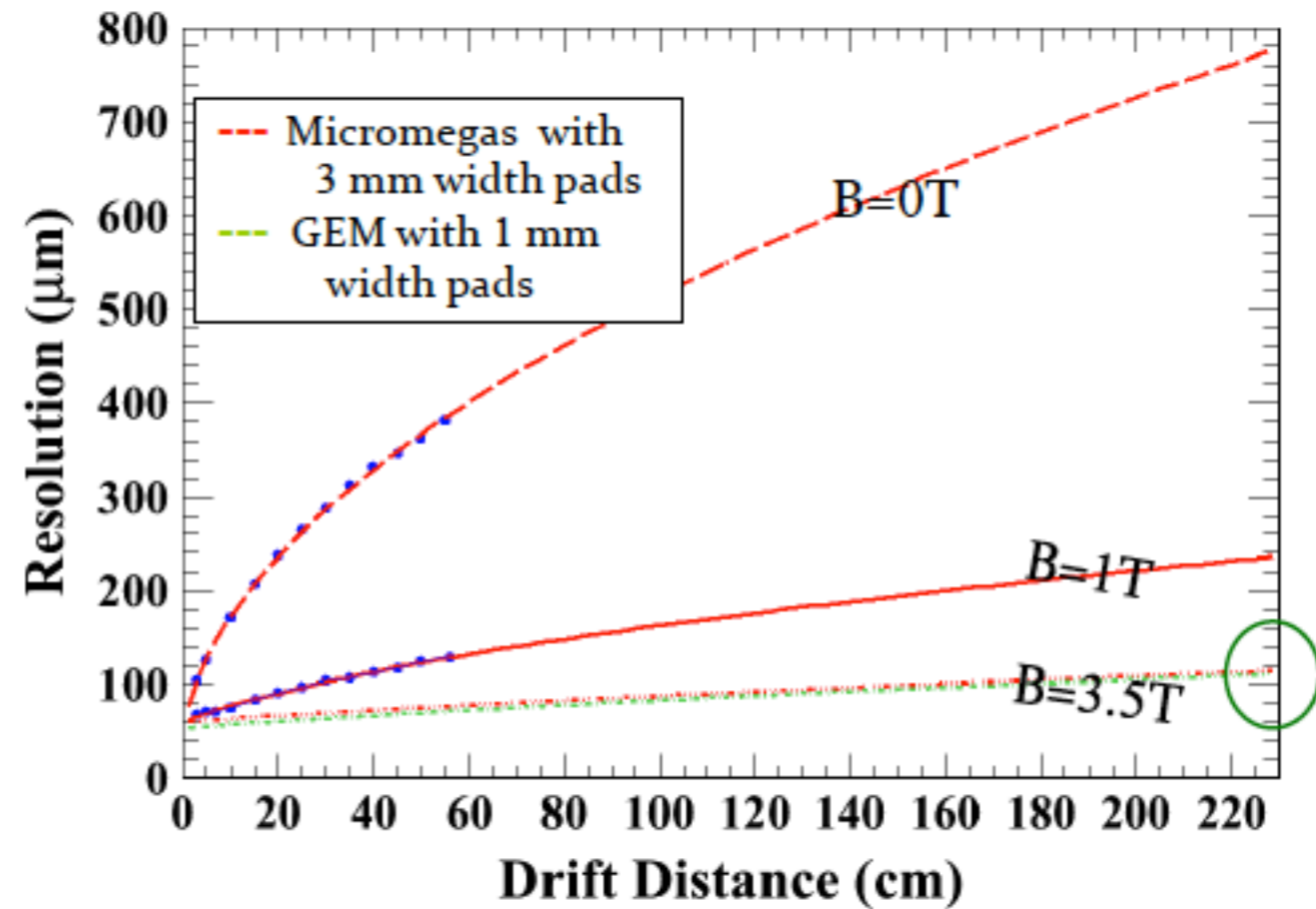
これまでの結果

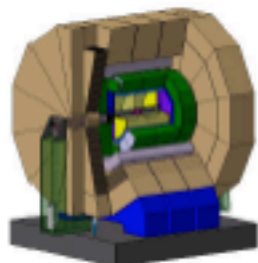
$$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{C_d^2 \cdot z}{N_{eff}}}$$

Extrapolation of the spatial resolution

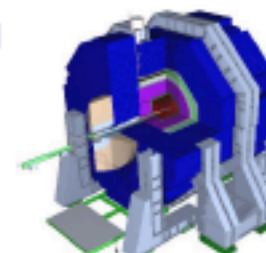


Extrapolate to 2.3m & B=3.5T

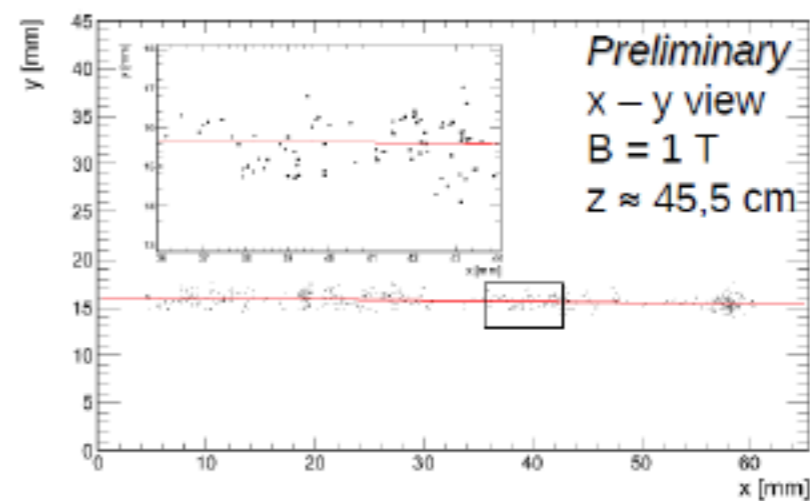
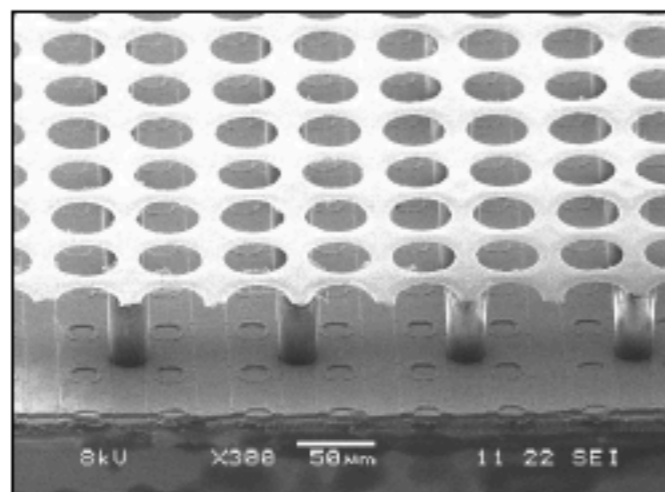




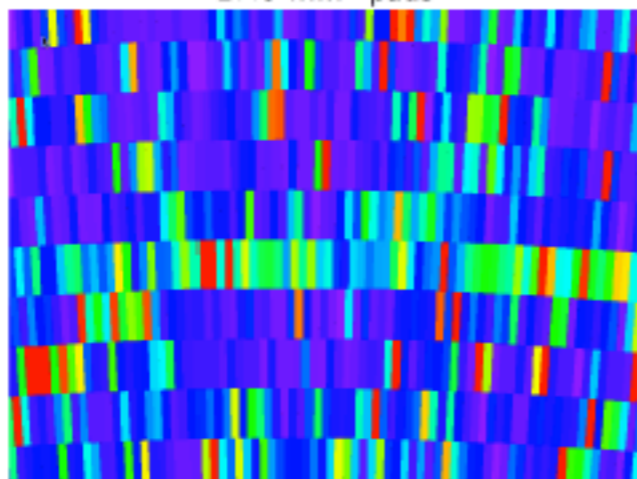
Pixelized Readout (InGrid)



Micromegas on top of a pixelized readout chip:
Bump bond pads for Si-pixel detectors serve as charge collection pads.



$1 \times 6 \text{ mm}^2$ pads



$100 \times 100 \text{ }\mu\text{m}^2$ pixels

