

世界におけるILC/TPCの開発状況

杉山 (佐賀大)

ILCのスケジュール

飛跡検出器 何故TPC？

TPC R&D

proof of principle

日本でのR&D

プロトタイプテスト

GEM/Micromegas/MWPC-TPC

simulation

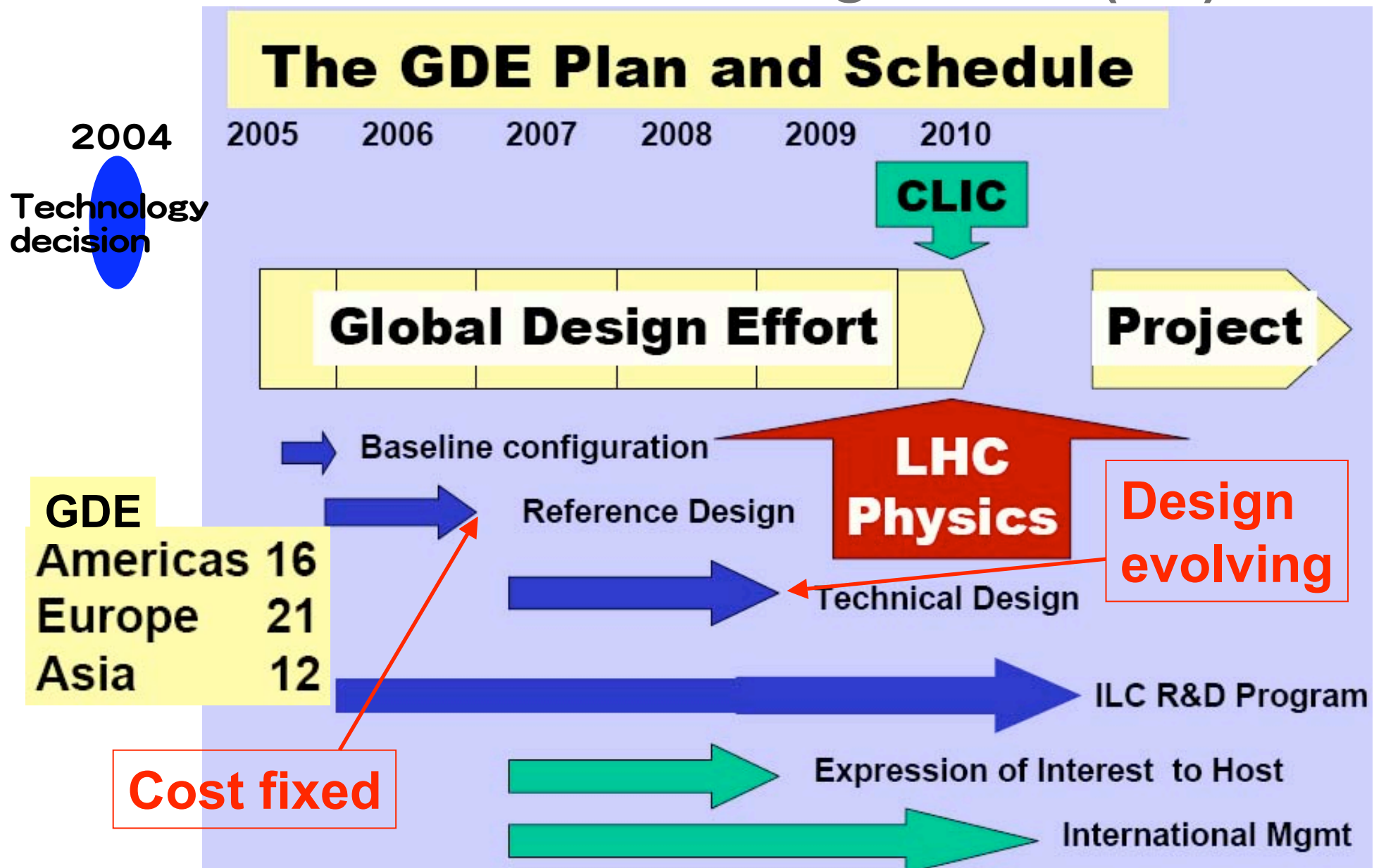
next step

Large Prototype TPC

Digital TPC

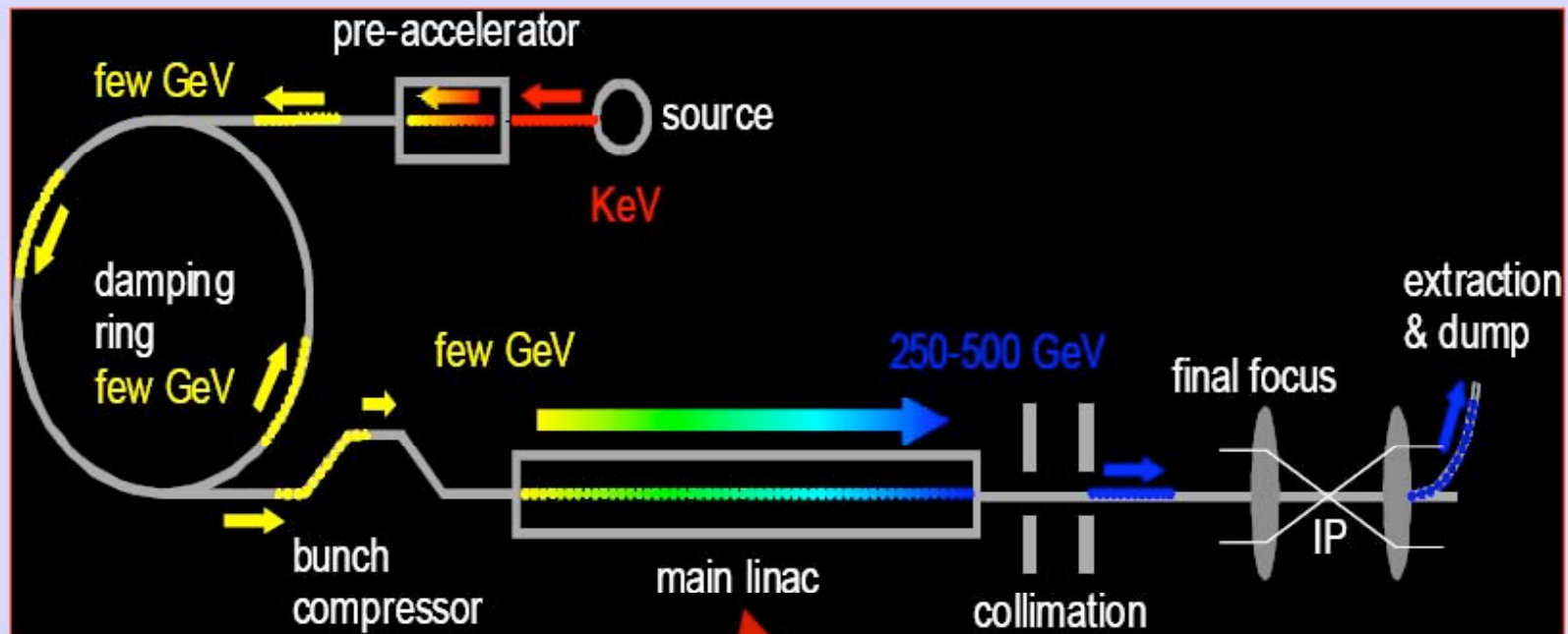
ILCのスケジュール

The Global Design Effort (1/5)



ILC加速器のコンポーネント

Starting Point for the GDE



27-Sept-05

Superconducting RF Main Linac

基本設計仕様の決定 (2005年12月、2006年3月)
候補地 (アジア、米国、欧州) に準拠した個別設計開始

ILCの測定器

“Particle Flow” アルゴリズム

ジェットの中に生成される個々の粒子を再構成
 → particle flowを見ることにより

$$\sigma_{jet}^2 = \underbrace{\sigma_{charged}^2}_{\text{tracker}} + \underbrace{\sigma_{\gamma}^2}_{\text{EM Cal}} + \underbrace{\sigma_{neutral\ had.}^2}_{\text{Had Cal}} + \underbrace{\sigma_{confusion}^2}_{\text{overlap}} + \underbrace{\sigma_{threshold}^2}_{\text{threshold}}$$

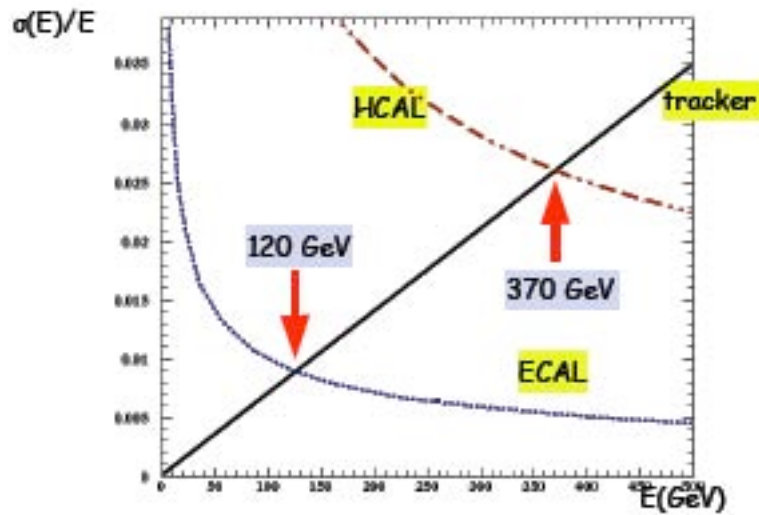
良いジェット質量分解能

荷電—中性粒子の重なりを低減

→ 大きなBR²

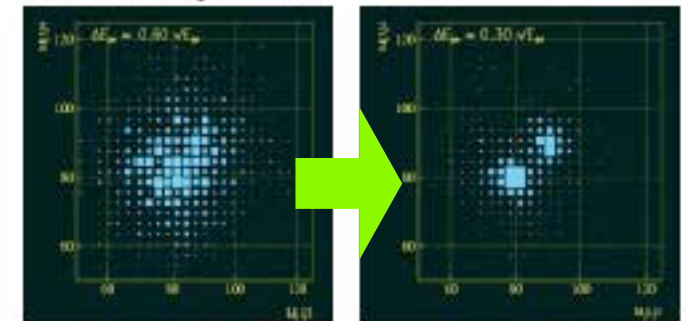
カロリメーターが重要

Resolution tracker - Calorimeter

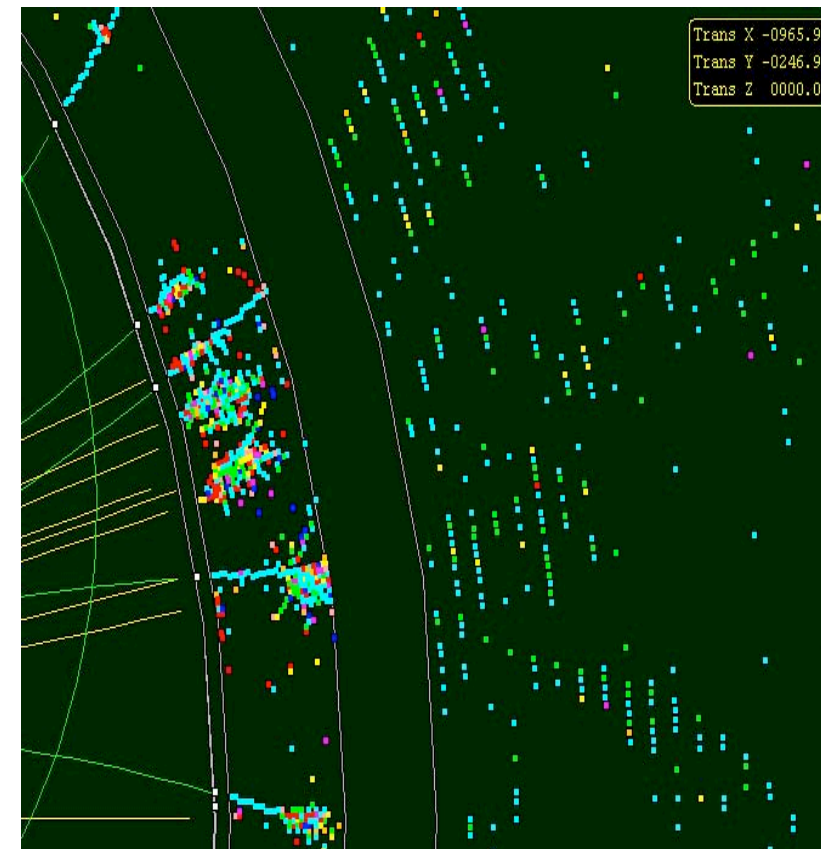


$M_{j_3j_4}$

WW-ZZ separation



$M_{j_1j_2}$



ILCの測定器案

大きなBR² : 3つの測定器コンセプト

Bを最大

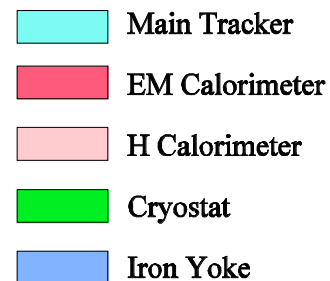
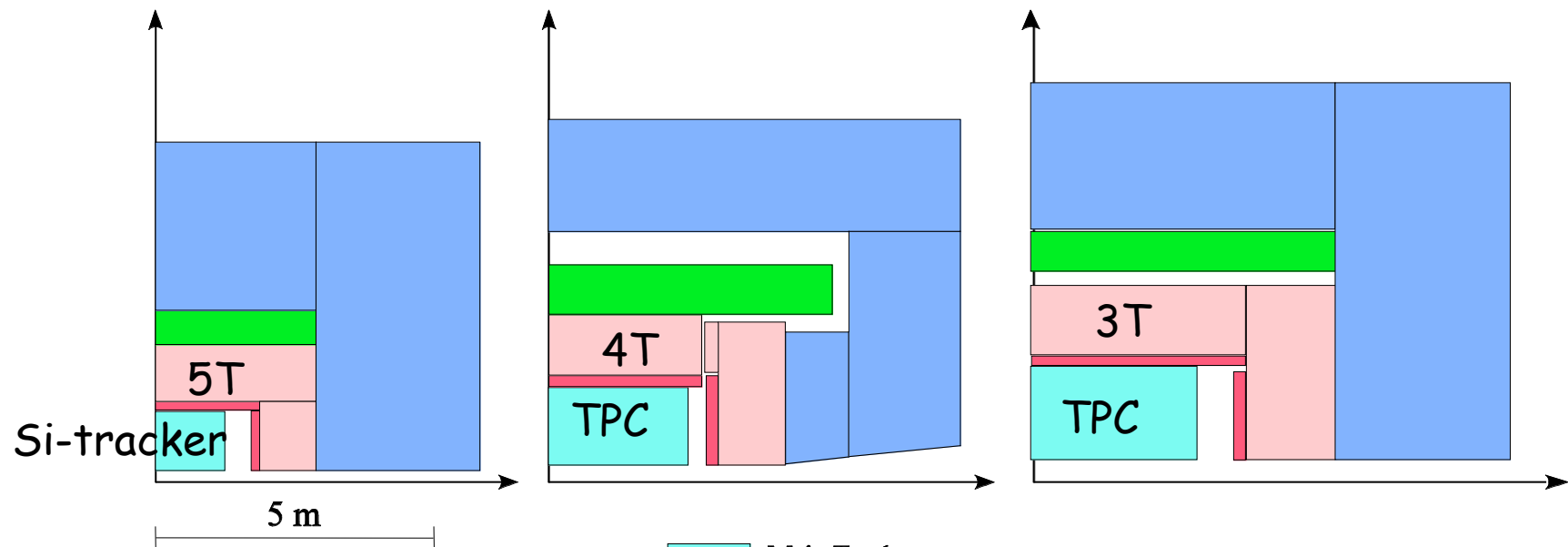


Rを最大

SD→SiD

Large/Medium?
TESLA → LDC

Huge → GLD



US

Euro

Asia

TPC 飛跡検出器

大きな体積を覆う (直径～4m 長さ～5m)

低物質質量 (カロリメータの性能)

DC型は困難：
エンドプレートが厚い

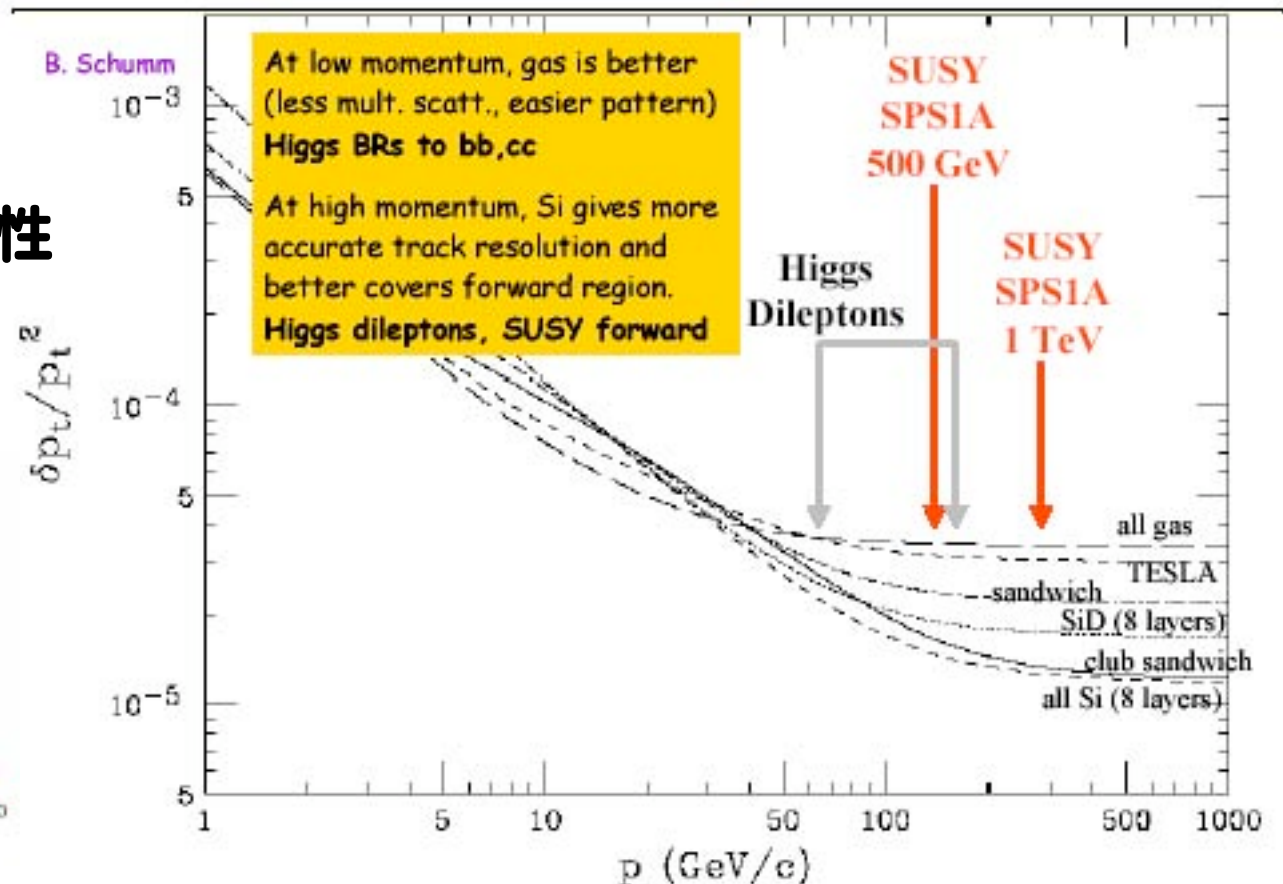
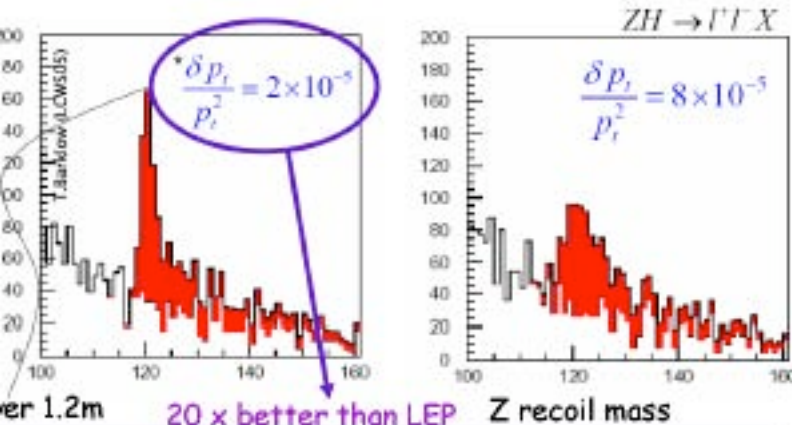
良い位置分解能

$$\sigma_{r\phi} < 150 \mu\text{m}$$

$$\frac{\sigma_{P_T}}{P_T^2} \sim 5 \times 10^{-5}$$

良い飛跡再構成効率
良い2粒子分離能

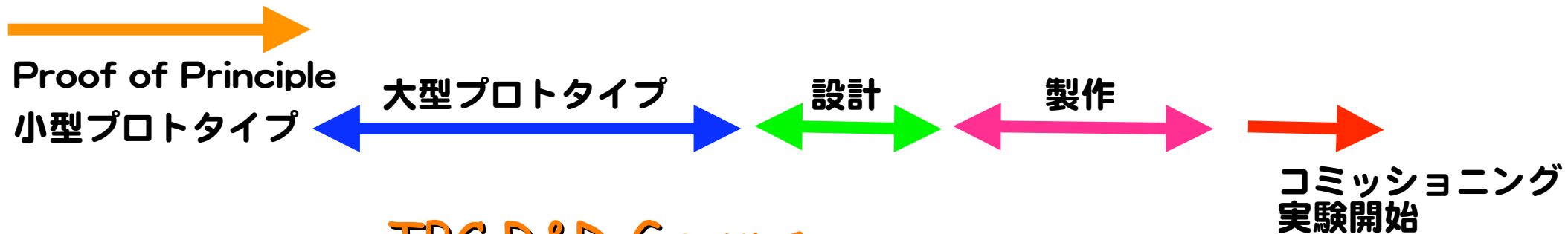
高いバックグラウンド耐性



ILC-TPC R&D

World Wide で組織されたLC-TPC共同実験のもとで進行中

2005 2006 2007 2008 2009 2010 ~ 2014 2015



TPC R&D Groups

Europe

RWTH Aachen
CERN
DESY
U Hamburg
U Freiburg
U Karlsruhe
UMM Krakow
Lund
MPI-Munich
NIKHEF
BINP Novosibirsk
LAL Orsay
IPN Orsay
U Rostock
CEA Saclay
PNPI StPetersburg

America

Carleton U
Cornell/Purdue
Indiana U
LBNL
MIT
U Montreal
U Victoria
Yale

Asia

Tsinghua U
XCDC:
Hiroshima U
Minadamo SU-IIT
Kinki U
U Osaka
Saga U
Tokyo UAT
U Tokyo
Kogakuin U Tokyo
KEK Tsukuba
U Tsukuba

Other

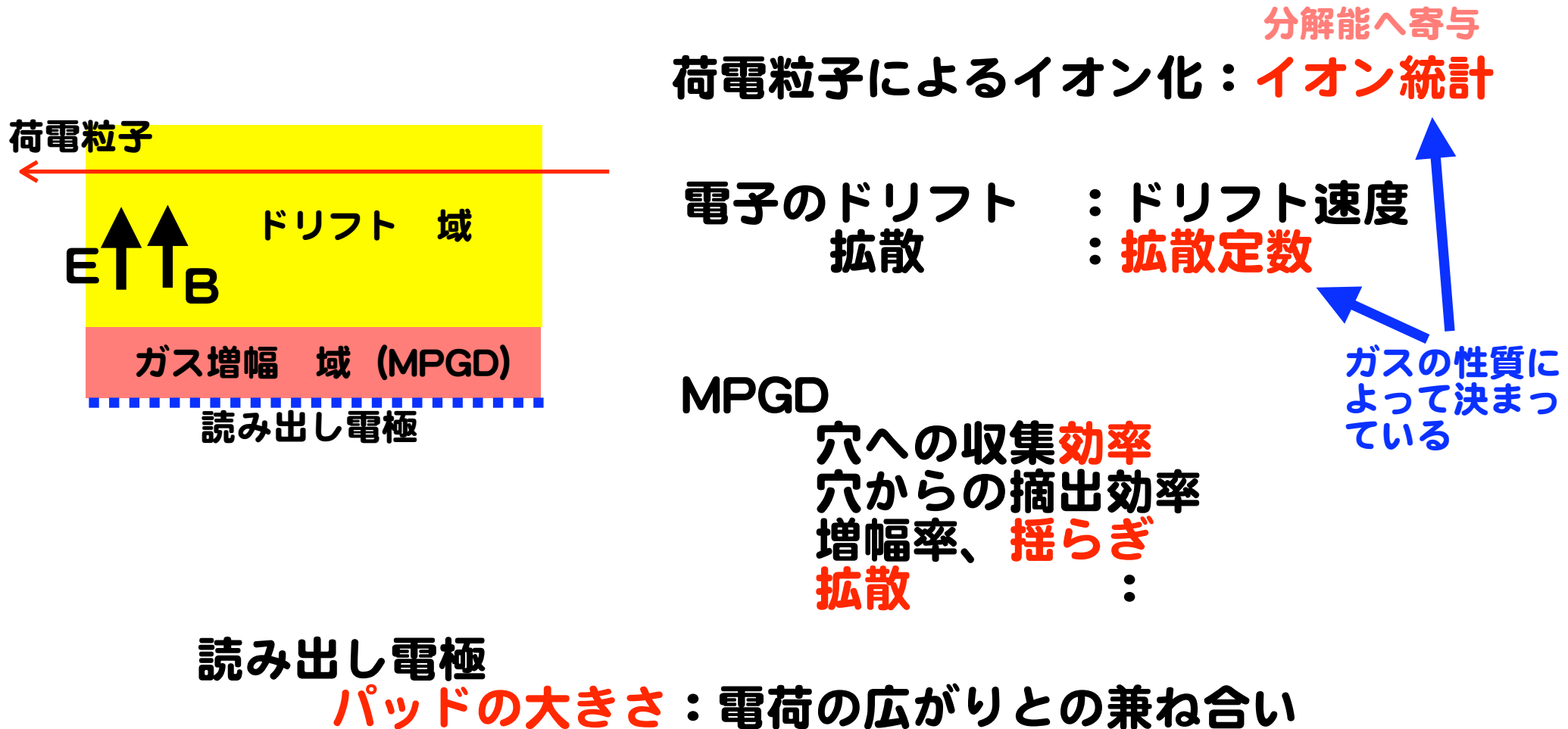
MIT (LCRD)
Temple/Wayne
State (UCLC)

アジアグループは2004年より参加

ILC-TPC R&D

必要な分解能を達成できるのか？

MPGD-TPCを理解できているか？



ガスの性質だけで性能が決まる状態にあるか？
MPGDによる違い？

読み出し電極で観測される

ナイーブな予想
(詳細は次の小 氏のトークで)

電荷の広がり

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_G^2 + C_D^2 z}$$

MPGD部の拡散
パッドの効果

位置分解能

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{C_D^2}{N_{eff}} z}$$

ゲインの揺らぎ
パッドの効果

MPGD部の効率

実験的には、
ドリフト距離に依存した電荷の広がり の測定

σ_G
 C_D

ドリフト距離に依存した位置分解能の測定

σ_0
 N_{eff}

または、Likelihoodにより分解能、広がり同時決定
の手法もある

Karlsruhe, DESY, CERN, LBL
STAR elec.
1.27x12.5

25cm

GEM

DESY

80 cm

Cathode

GEM tower (front)

GEM

GEM tower (back)

Aachen

GEM

MPI+Asia

MWPC, GEM, Micromegas
w/wo resistive foil

Orsay-Saclay

Micromegas

Victoria

GEM, Micromegas

30 cm di
2mm x

Carlton

GEM, Micromegas
with resistive foil

Micromegas

Orsay-Saclay-LBL

ビームを用いた磁場中での測定

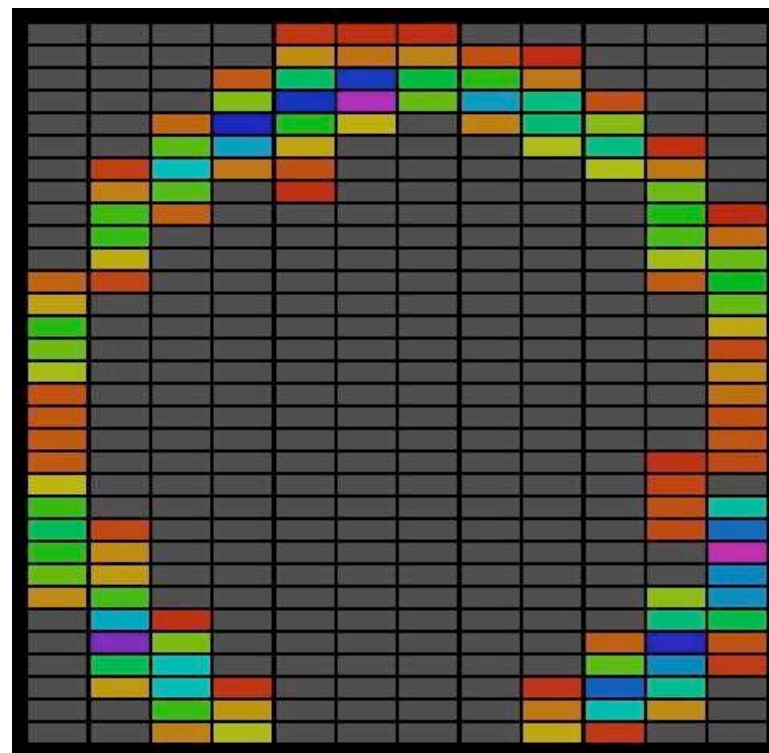
2004/5 はKEKが最良の場所であった

JACEE magnet 1.0 T

得意技術の売り込みの場



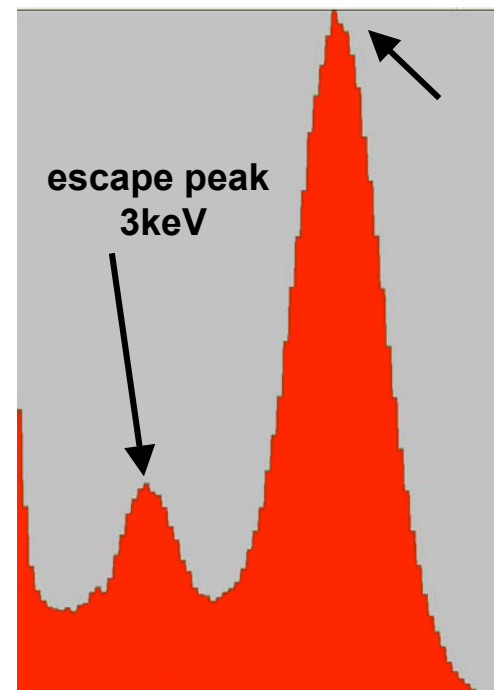
MPI-TPC Micromegas



π 2 ビームラインでおこなったビームテスト

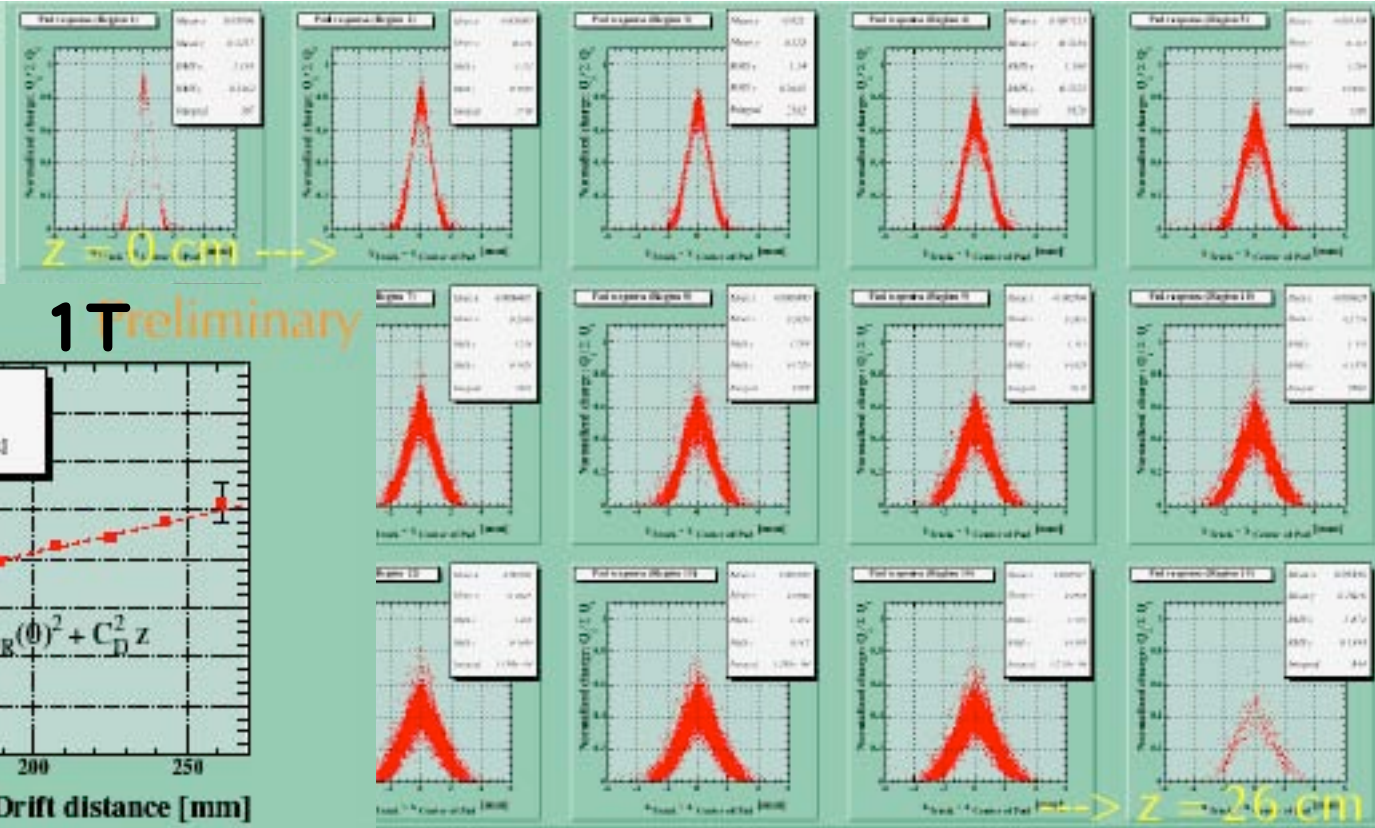
2004/6	MWPC-TPC	: Asia + MPI	2.3 mm pitch	TDR
2005/4	GEM-TPC	: Asia + MPI	1.27 mm pitch	TDR , P5
2005/6	MM-TPC	: Asia + MPI + France	2.3 mm pitch	Ar isobutane/ CF4
2005/10	MM-TPC w/resistive foil	: Asia + MPI + France+Canada	2.3 ptich	Ar:isobutane/Ar:CO2
	GEM-TPC	: Asia + MPI	1.17	P5

MPGD素人ユーザとしては、短期間に貴重な経験を蓄積した

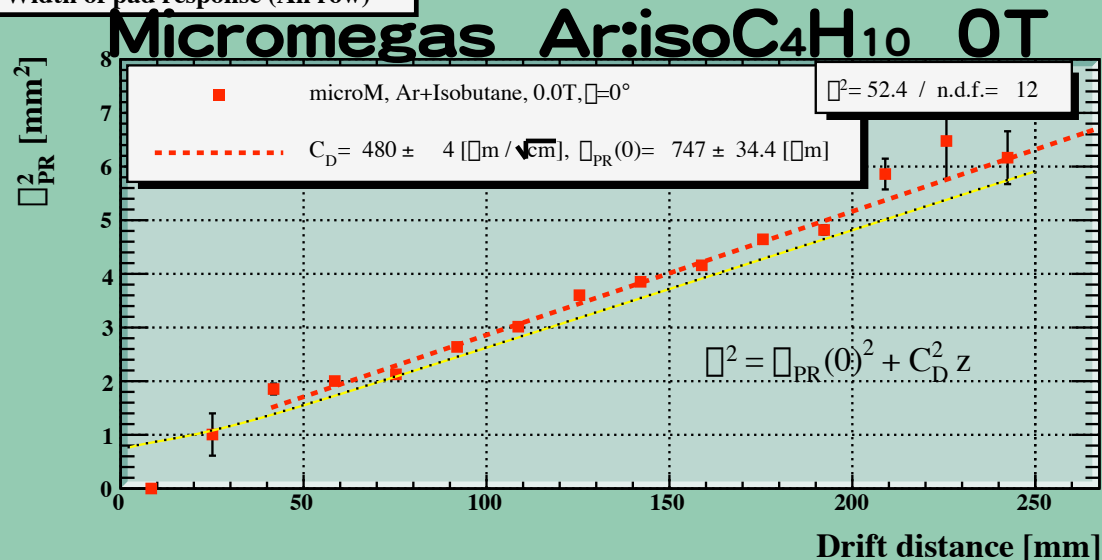


電荷の広がり

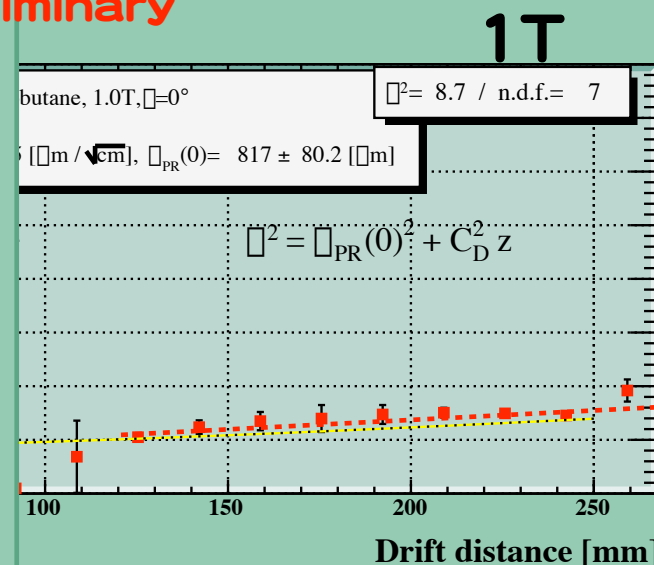
$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_G^2 + C_D^2 z}$$



Width of pad response (All row)



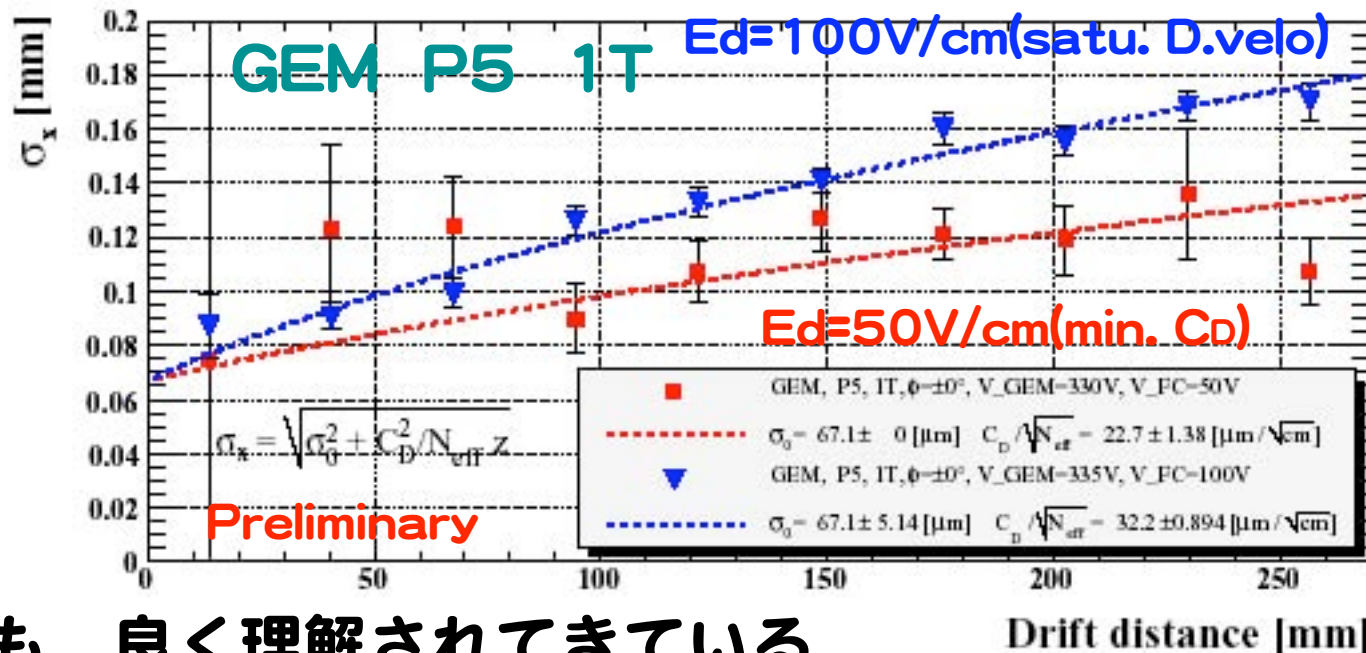
Preliminary



いずれの測定においても C_D は、Magboltzと一致する結果になる。

位置分解能

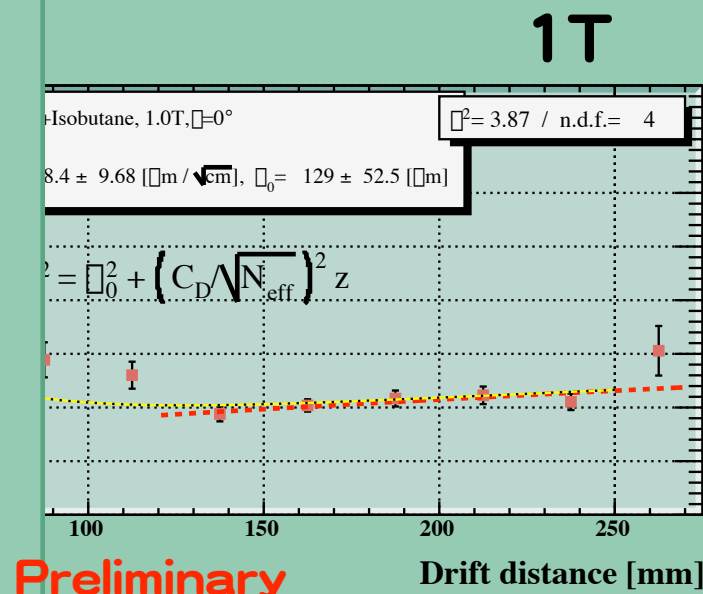
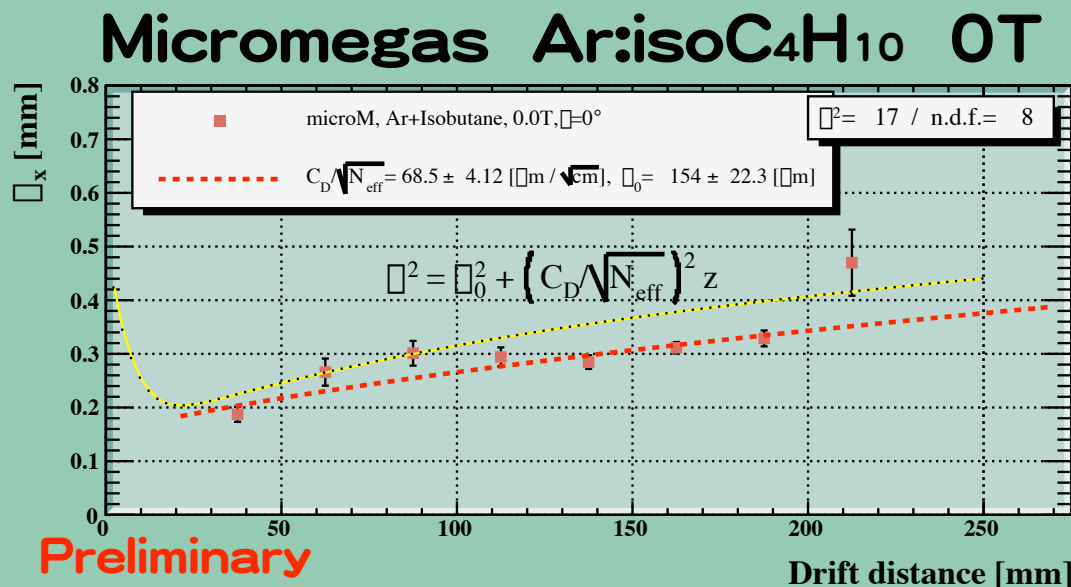
$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{C_D^2}{N_{eff}} z}$$



位置分解能についても、良く理解されてきている。
少なくとも

GEM P5 ガスではLCの要求する分解能は達成できる

Micromegasにおいても小さいパッドを使用すれば同様の結果が得られる



位置分解能

電荷の広がりに対応した大きさの読み出しパッドが必要

読み出しチャンネルの増大

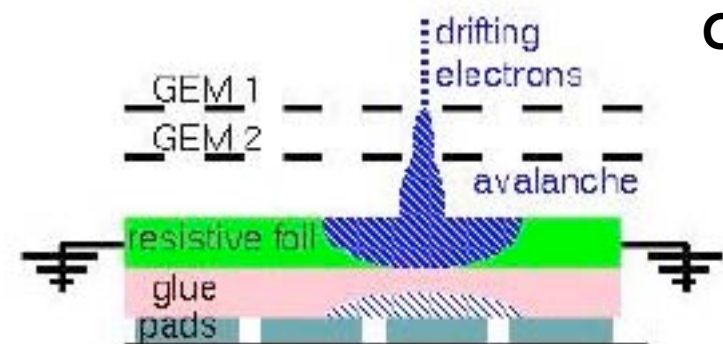
対策

defocusing by GEM

インダクション距離を増大 5mm

Resistive Foilによる電荷分散

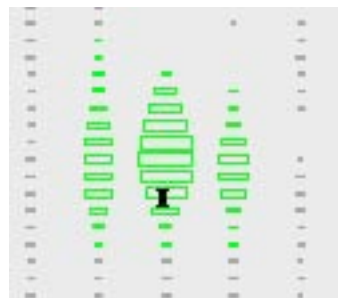
Carlton



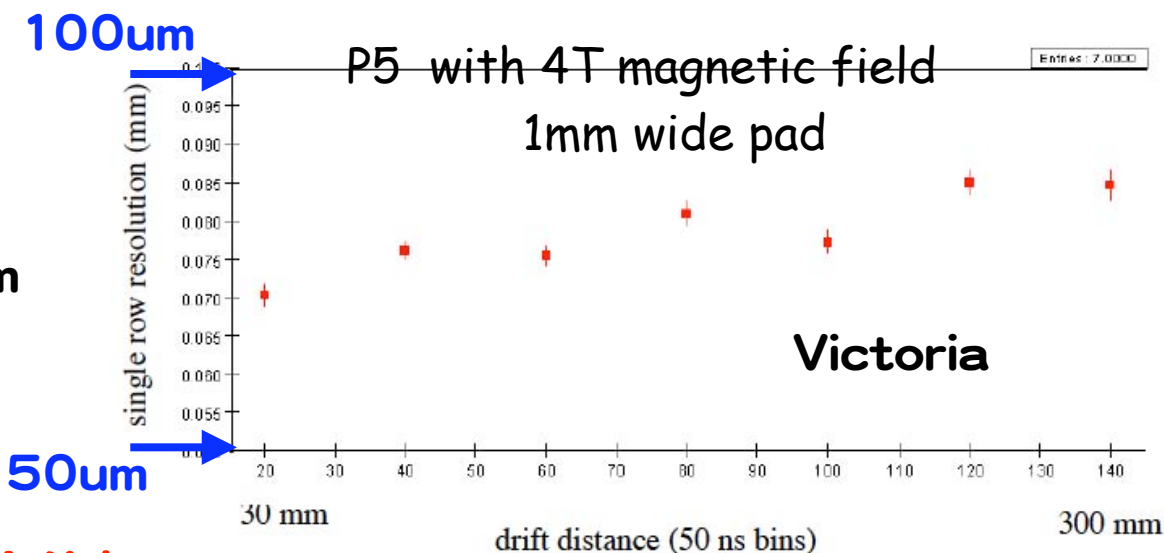
x (パッド方向)

t (時間方向)

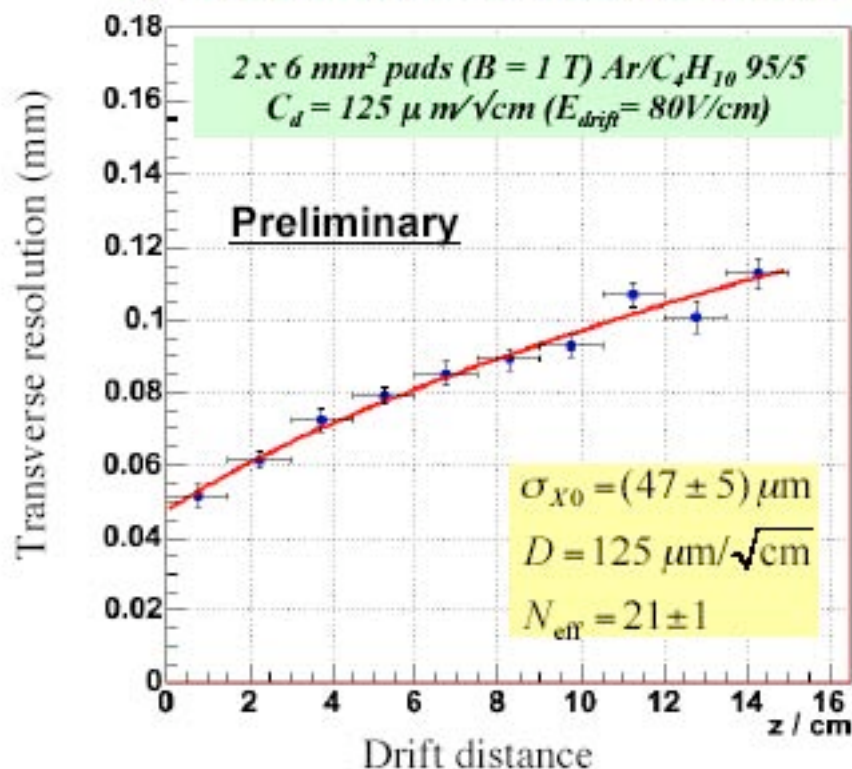
MM + resi.foil



GEM



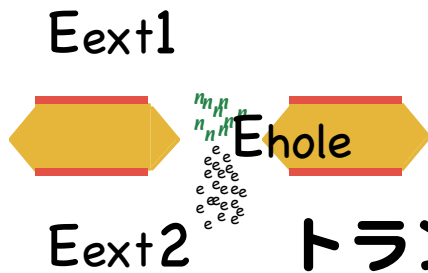
Micromegas-TPC with a resistive anode readout
ILC-TPC collaboration, KEK beam test (October 2005)



MPGD

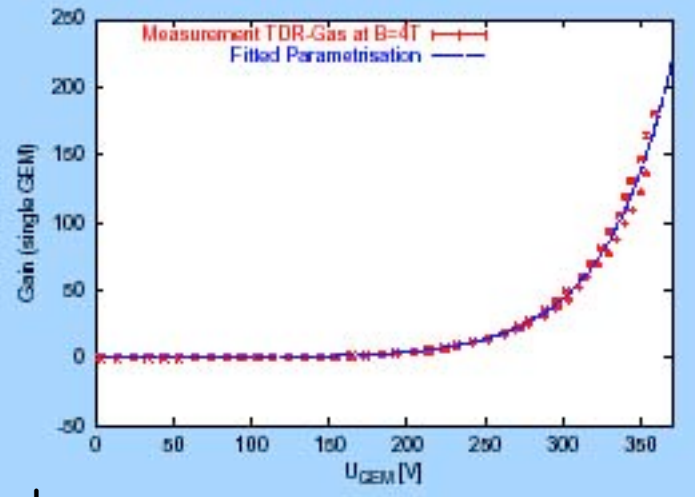
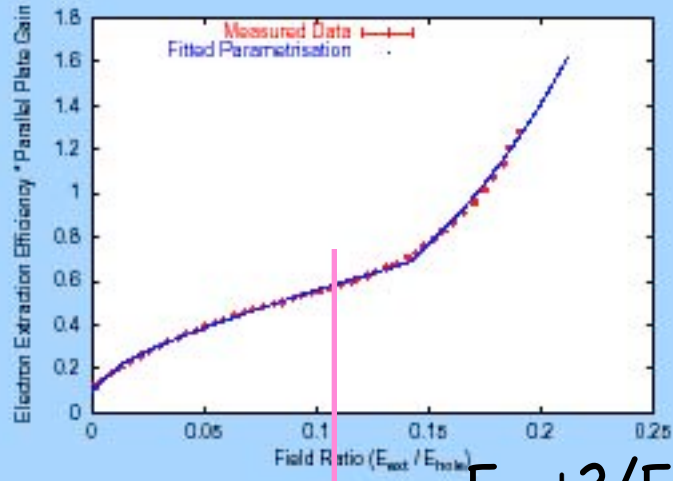
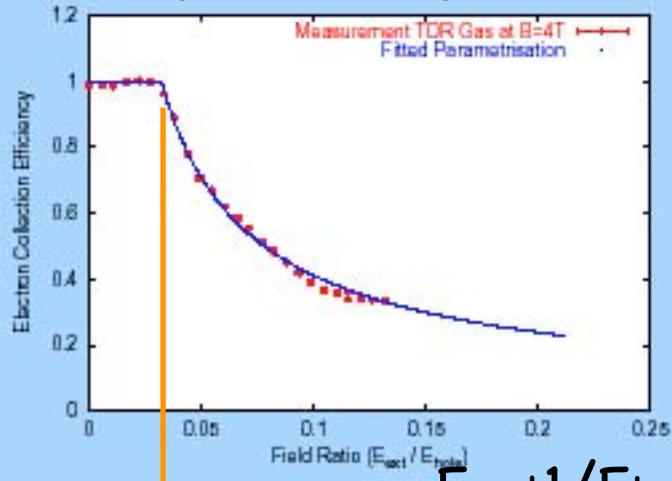
穴への収集効率
穴からの抽出効率
増幅率、揺らぎ
拡散
:

これらの事以外に関する理解は
飛躍的に深まった (当社比)



collection

extraction



E_{ext1}/E_{hole}

E_{ext2}/E_{hole}

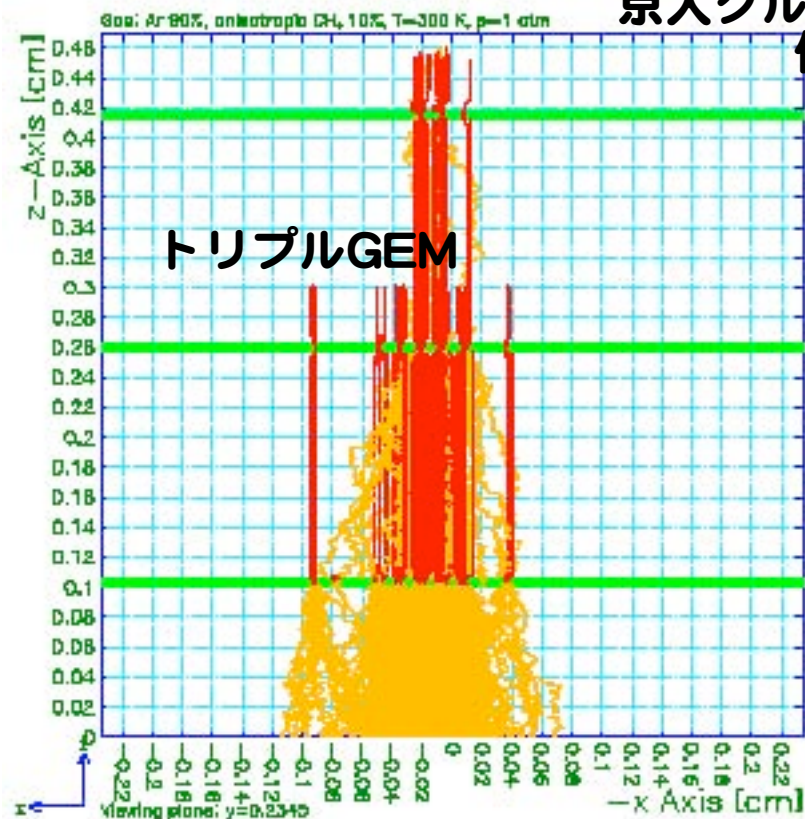
Drift Field

Aachen

これは本当なのか？
現在取組中

Maxwell 3D : 3次元電場計算 + Garfield : ガス検出器シミュレータ

Saclay/Orsayグループや
京大グループの助けを受け
何とか動作中



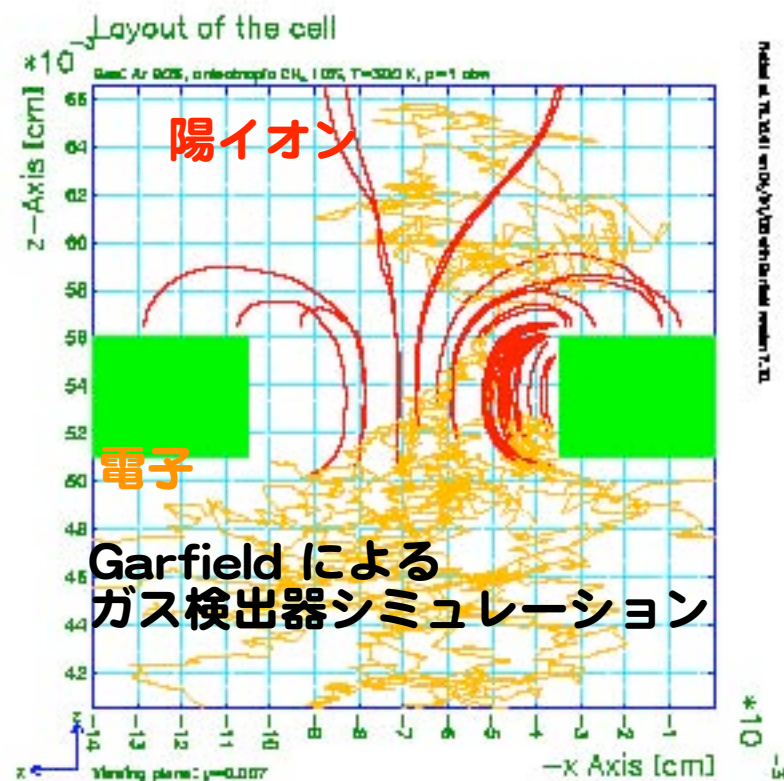
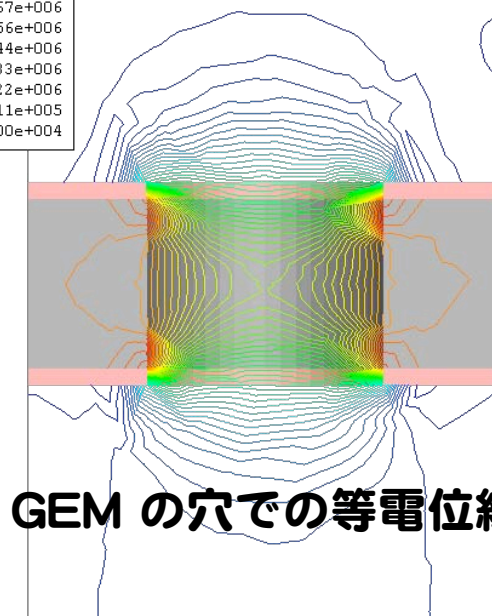
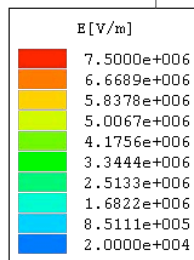
MPGDの開発、動作環境の最適化には有効

1電子 CPU時間 >30分

know-howの蓄積と公開
誰でも使えるような環境の整備
(たぶん KEKで?)

が必要

Maxwell3Dによる
3次元電場計算



Collection/Extraction eff.

Garfield で測定値の再現はできていない。
charge upの効果,陽イオンの効果などが必要か？

傾向は出るが
絶対値が....

ゲインについても合わないようだ。

詳細を調べるためには、それをチェックする実験も必要か！？

情報交換

GEM と Micromegas を使ってきて

GEM

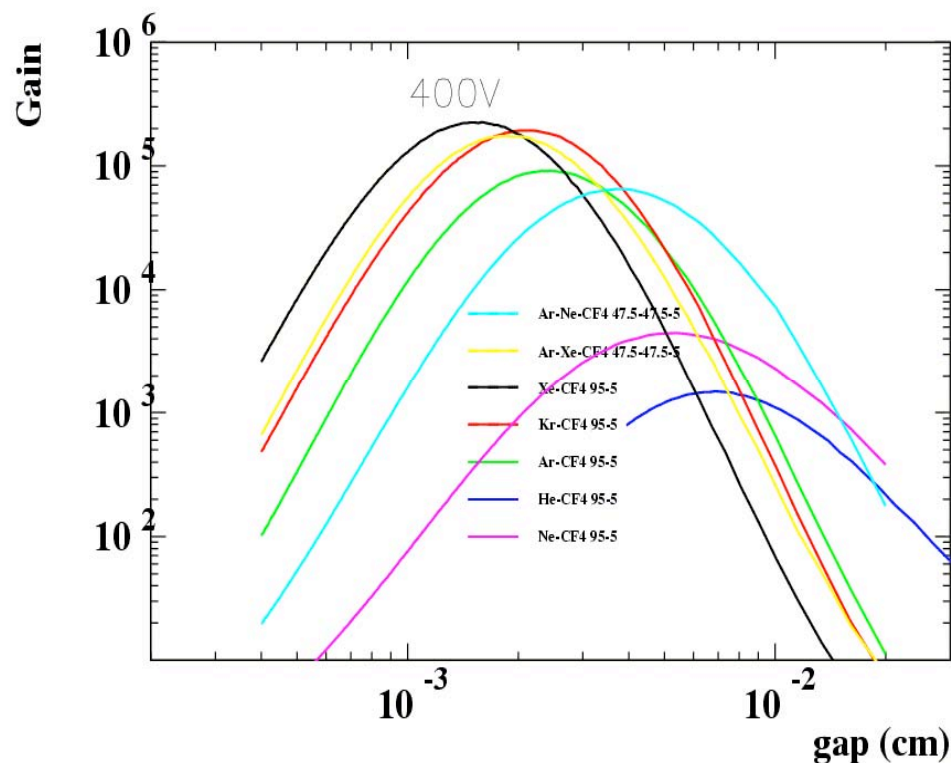
簡単に誰でも使える。 **ギャップが固定**

ある条件では簡単に壊れるが

Micromegas

思っていたより**強い**。
信号は**でかい**。
広がり**が小さい**

用途による使い分け！！



LC-TPC 界隈では
GEM, Micromegas とともに動いて当然
として使われている。 **COMPASSでの実績**
関心は既に応用面に向かっている

本当に基礎的な面は大丈夫なのか？

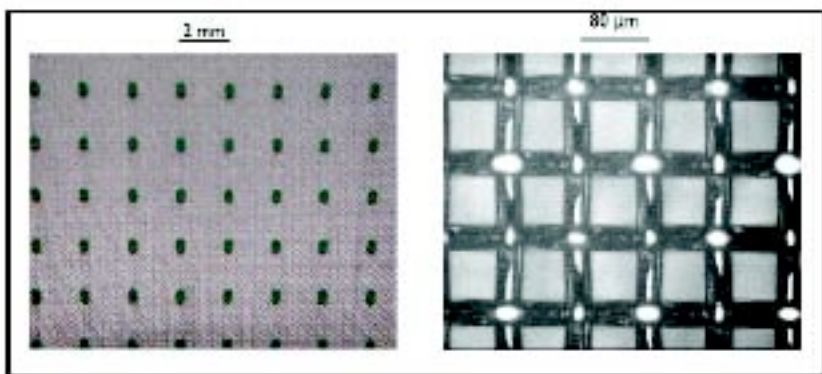
放電、高レート耐性

単に、壊れない使い方を覚えただけでは？

Micromegas の進展 Saclay

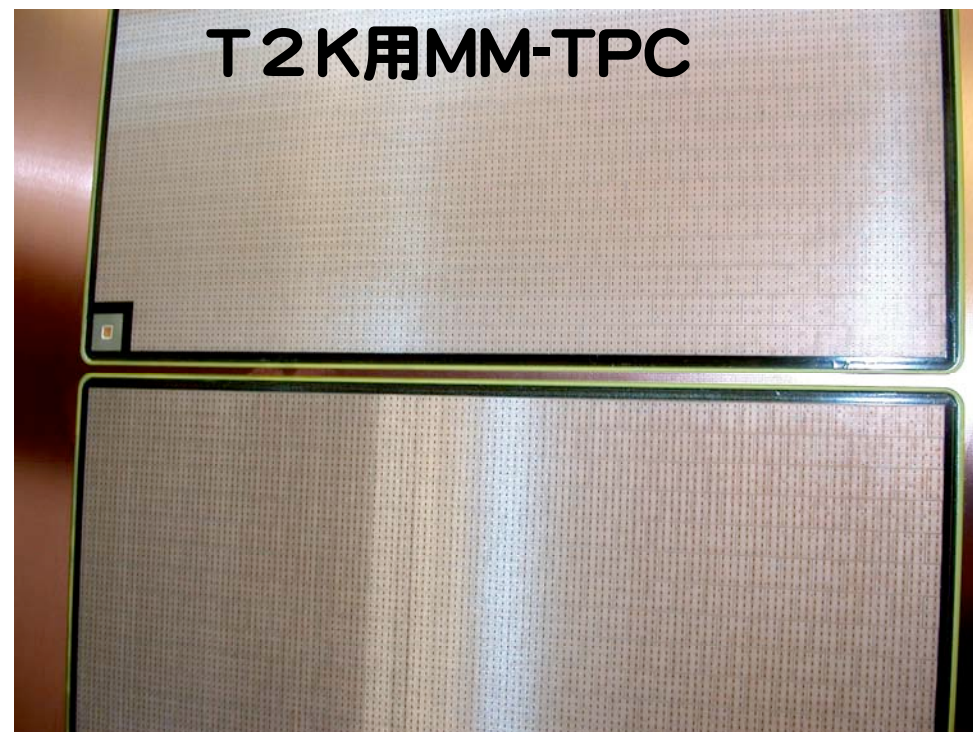
Bulk Micromegas : 編線メッシュ 低価格+大面積

製作手順

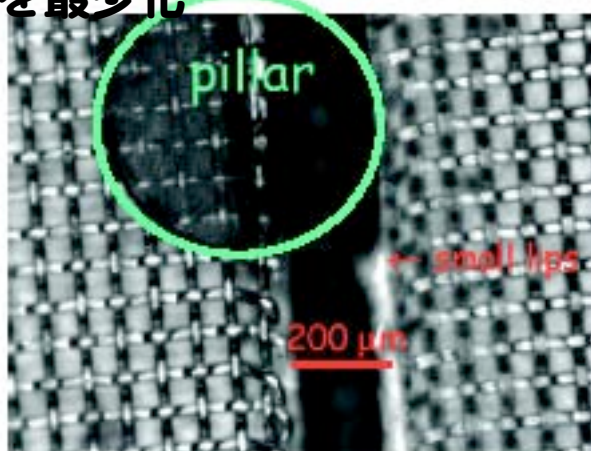


フレイム不要
セグメント化

: 不感 域を最少化



8mmx8mm 2048 pads



Large Prototype TPC

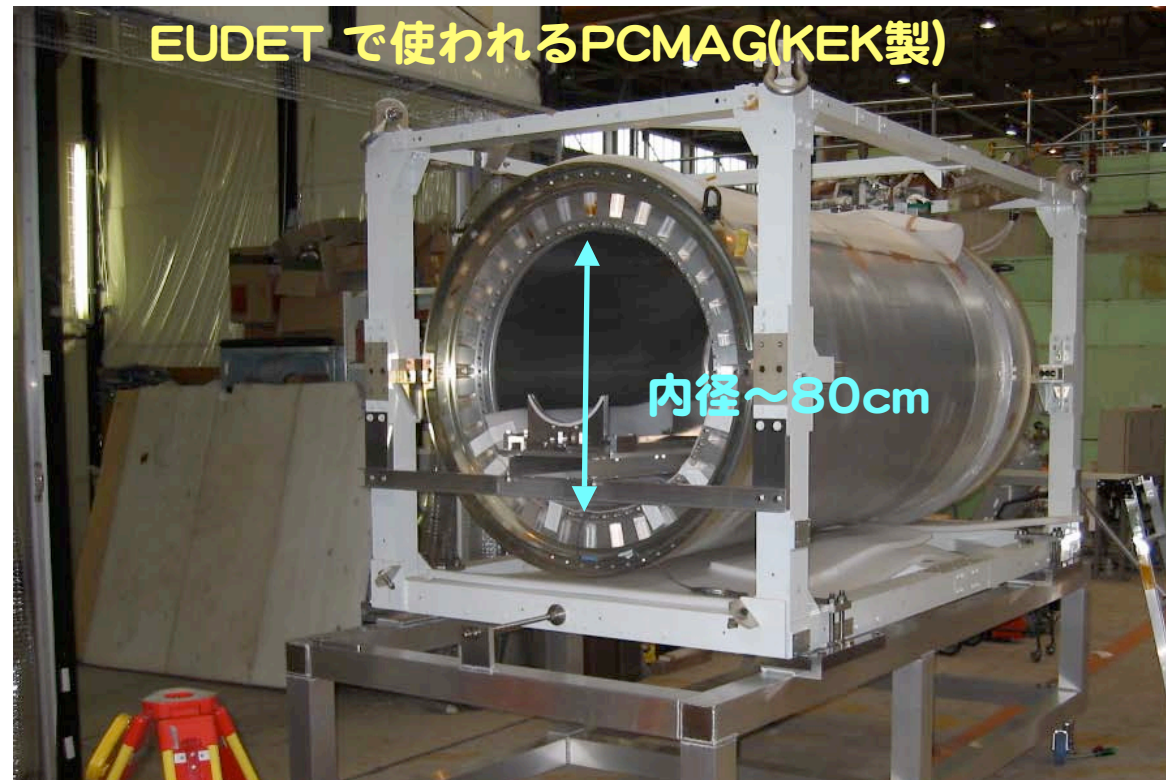
LC-TPC では大型プロトタイプ試験

外形 ～80cm 長さ～80cm

実機製作に必要なテクノロジーの検証
エンドプレート (MPGD+パッド)
各グループが製作して試験

ヨーロッパのテストファシリティ(EUDET)を使う

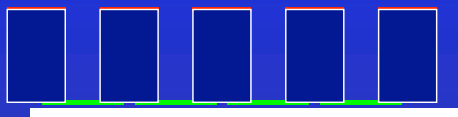
磁石
フィールドケージ
読み出しエレキ
beam



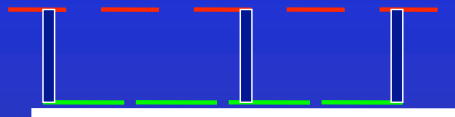
Digital TPC InGrid

Integrate GEM/Micromegas and pixel sensor

'GEM'



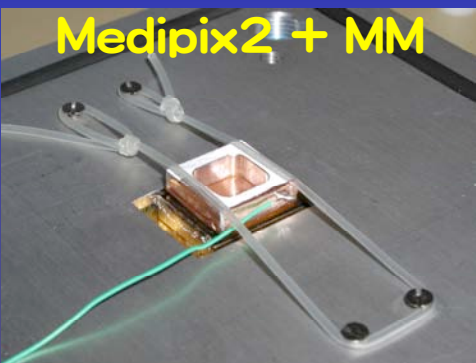
'Micromegas'



By 'wafer post processing'

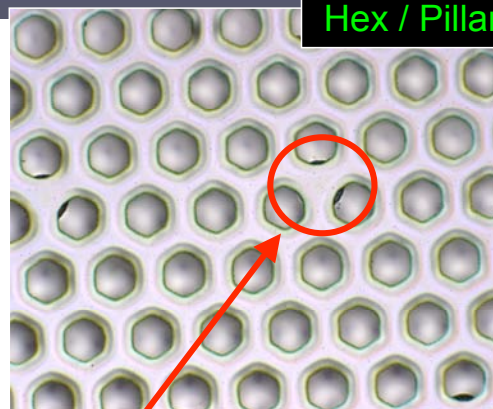
4" wafer

Medipix2 + MM



19 different fields of 15 mm Ø
2 bonding pads / fields

Hex / Pillars



Hidden pillars : No dead area

1. 0.2 μm Si wafer oxidation

2. 0.2 μm anode patterning

3. 50 μm SU-8 coating and exposure

4. 0.8 μm grid patterning

5. SU-8 development

Pixel sensor
Medipix2 $\rightarrow$ Timepix2

目指すは電子泡箱

NIKHEF

Harry van der Graaf
Jan Timmermans
Jan Visschers
Maximilien Chefdeville
Sipho van der Putten
Arno Aarts

Thanks to:
Wim Gotink
Joop Rovenkamp

Saclay CEA DAPNIA

Paul Colas
Yannis Giomataris

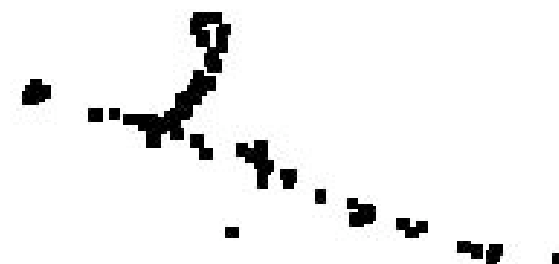
Univ. Twente/Mesa+

Jurriaan Schmitz
Cora Salm
Sander Smits

CERN

Erik Heine
Medipix Consortium

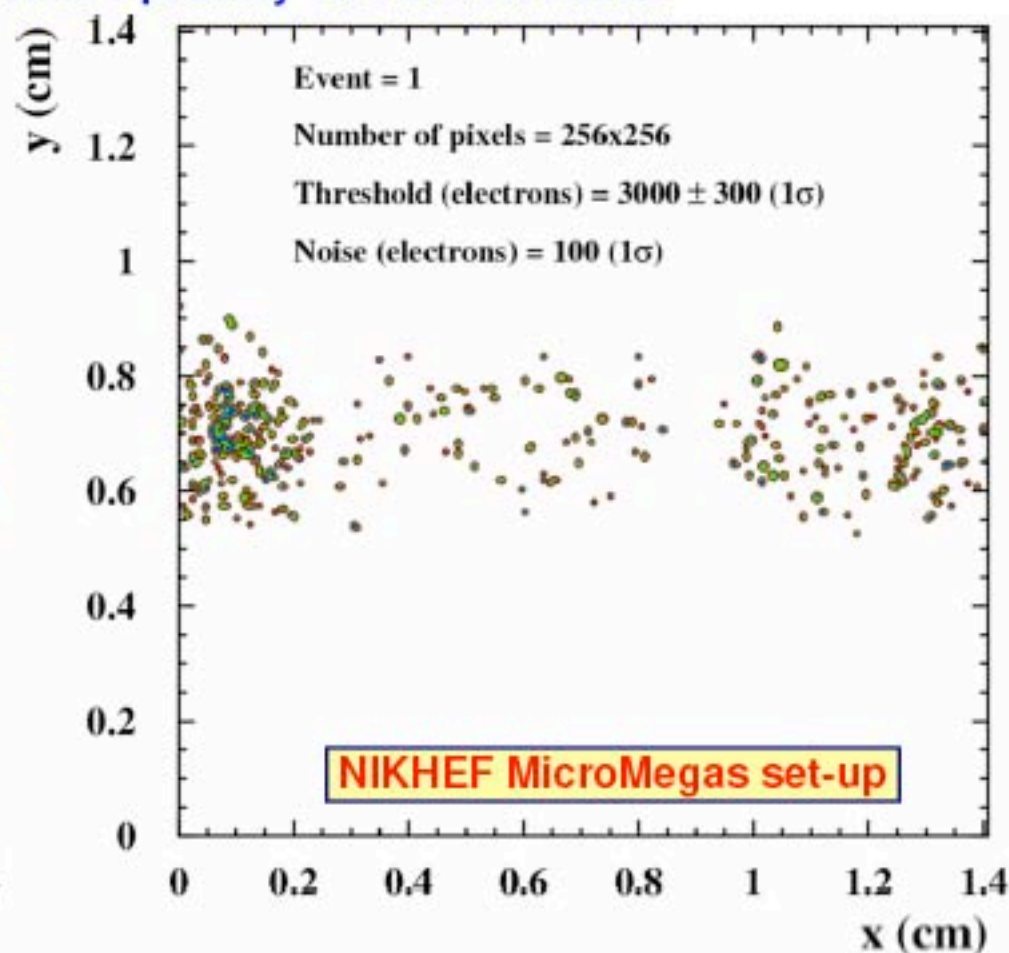
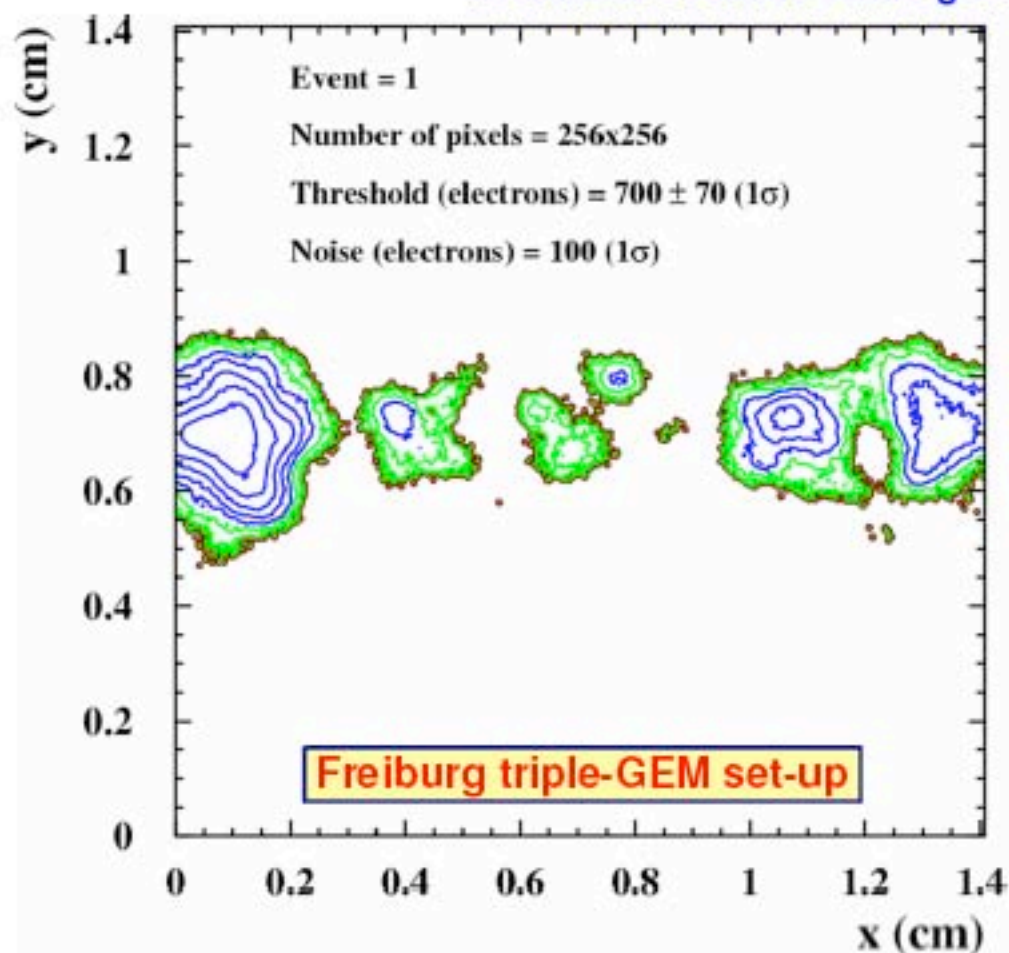
GridPix: the electronic bubble chamber



● ...at the ILC...

→ 100 GeV muon, $B = 4$ T, TESLA-TDR gas, 100 cm drift

identical events: same generated primary clusters/electrons



MPGD は実用段階へ ILC, T2K

大型化

ピクセル化

ともに読み出しが鍵

系統的な開発計画

独自開発がないと何も残らない！
LCのスケジュール

MPGDの基礎的な開発
より良いものの探求
技術の蓄積