# μ-PIC基礎開発と コンプトンカメラへの応用

京大理, 理研1), 京大生存研2), 高工研3)

**澤野達哉**

谷森達, 窪秀利, 身内賢太朗, 株木重人, Parker Joseph,
黒澤俊介, 岩城智, 谷上幸次郎, 中村輝石, 東直樹, 青野正行, 松岡佳大,
上野一樹1) , 高田淳史2), 田中真伸3), 内田智久3)

第7回 Micro Pattern Gas Detector 研究会 2010-11-26 於 山形大学 小白川キャンパス

# 目次

**序**

京大μ-PICチーム

電子飛跡検出型コンプトンカメラ

**基礎開発**

μ-PIC大面積化

読み出し回路の省電力化

**応用**

気球実験用ETCC基礎開発

医療応用

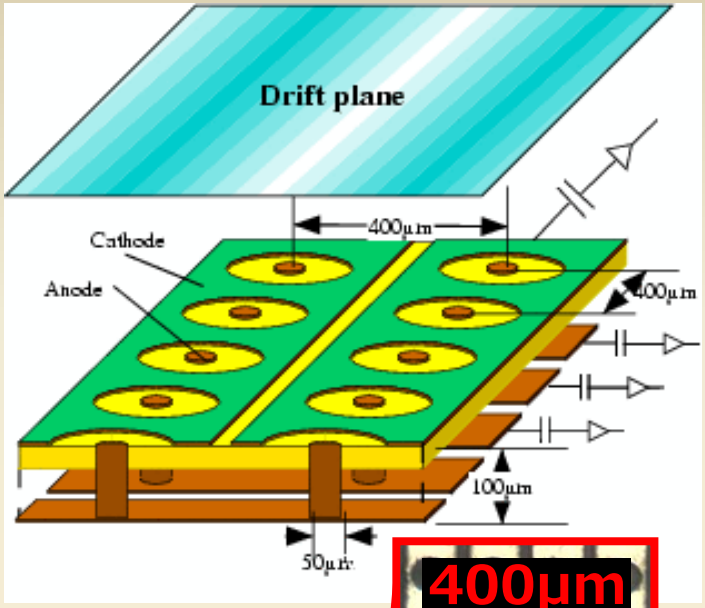
**結**

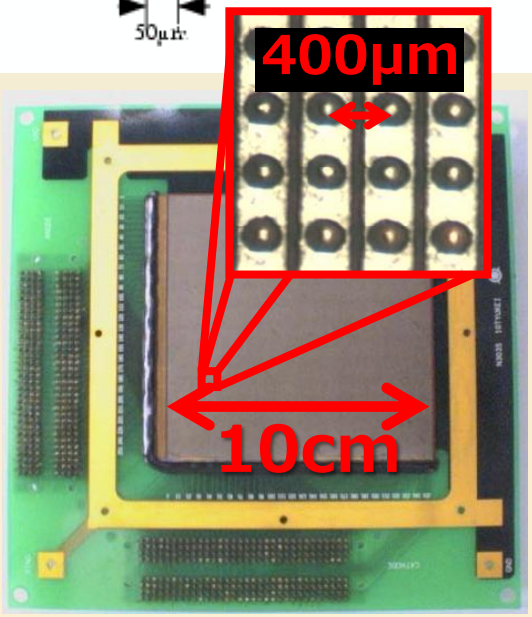
まとめ

# Micro Pixel Chamber (μ-PIC)

**Printed Circuit Board技術を利用したMPGD**

**読み出し方式**
　ストリップ読み出し
**ピクセルピッチ**
　400 μm
**ピクセル数**
　65536 pixels @ 10cm角μ-PIC
**典型的ガス利得**
　~ 1000 to 6000
**ガス利得安定性 (ガス交換なし)**
　> 1か月 @ ガス利得 ~ 6000
**最大ガス利得**
　> 10000

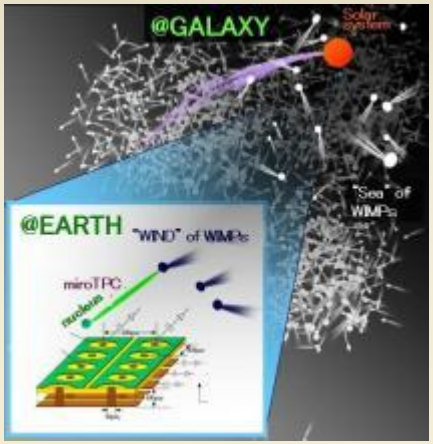


# 京大μ-PICチームの活動

宇宙ガンマ線気球観測
SMILE

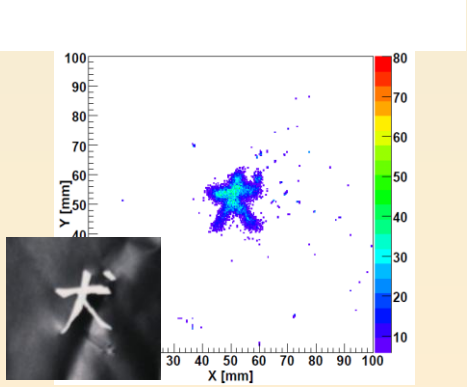
方向に感度をもつ
暗黒物質の直接探索
NEWAGE



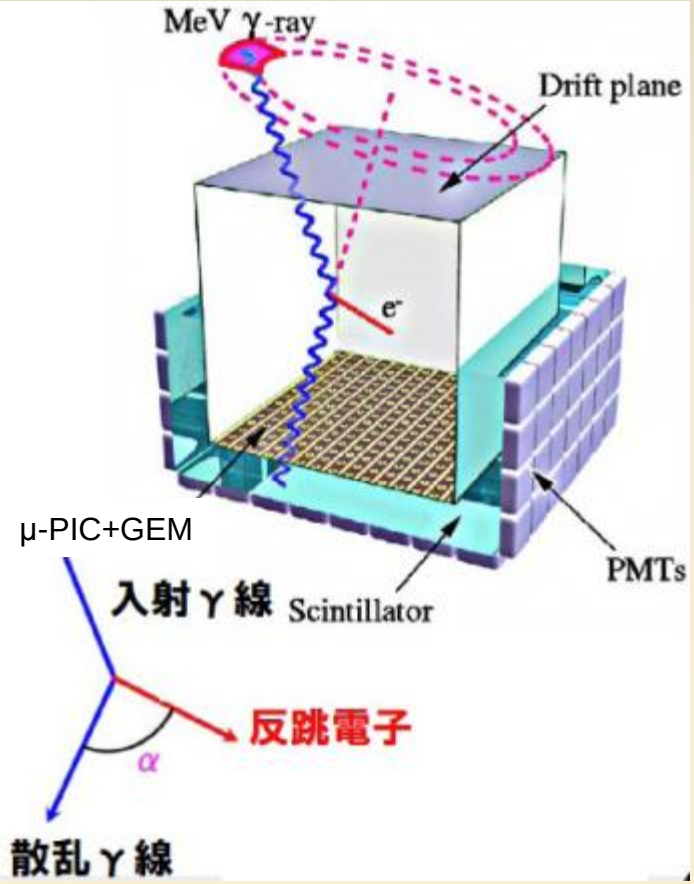

医療応用

中性子イメージング
（パーカー講演）

真空紫外線イメージング
(関谷講演)



# 電子飛跡検出型コンプトンカメラ
# Electron Tracking Compton Camera (ETCC)




## ①μ-TPC(Time Projection Chamber)

GEM (F.Sauli(1997), Inuzuka et al. (2004), Tamagawa et al. (2005)) + μPIC

反跳電子の３次元飛跡とエネルギー

## ②シンチレーションカメラ

シンチレータピクセルアレイ(GSO or LaBr3) + マルチアノードPMT(H8500,HPKK)

散乱ガンマ線の吸収点とエネルギー

## ①＋② = ETCC

入射ガンマ線の到来方向とエネルギー

事象ごとに再構成

運動学を用いたバックグラウンド除去

広視野　~3str

# MeVガンマ線カメラの利用

## 宇宙ガンマ線観測

Sub-MeVγ-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment(SMILE)

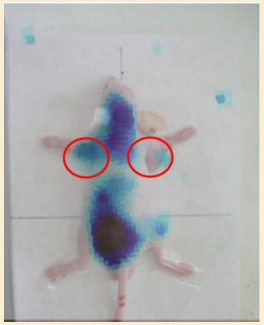
**SMILE-I**　10 × 10 × 15cm3 μ-TPC ETCC

- 2006年9月1日放球
- 約33kmで4時間の水平フライト
- 水平フライト中400光子を検出(0.1 –1 MeV, Live time 3h)

**SMILE-II**　30 × 30 × 30cm3 μ-TPC ETCC

- 2013年予定
- Crab, CygX-1または
- 地球磁気圏の相対論的電子がつくる制動放射の観測を目標

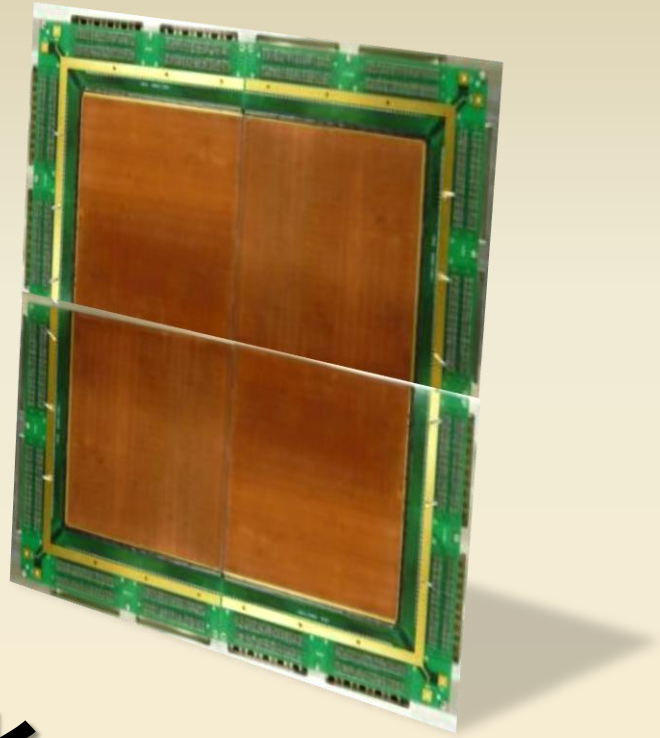
## 医療用ガンマ線カメラ



陽子線治療モニター用ガンマ線カメラ

核医学、創薬用ガンマ線カメラ

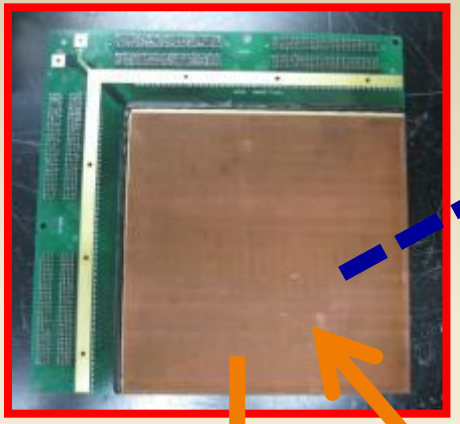
**より高感度に！　より省電力に！**

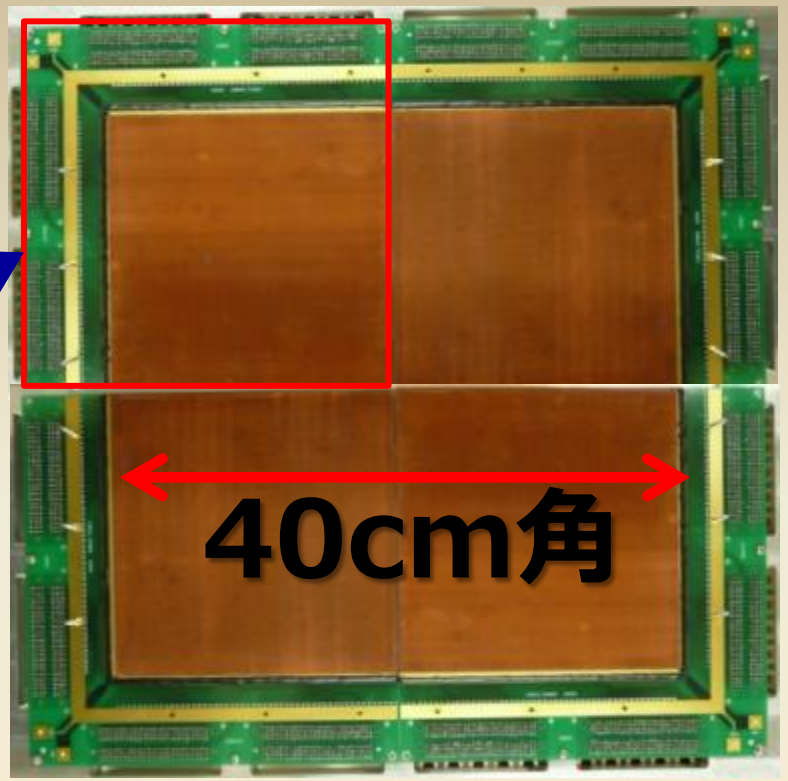


# 開発（１）　大面積化

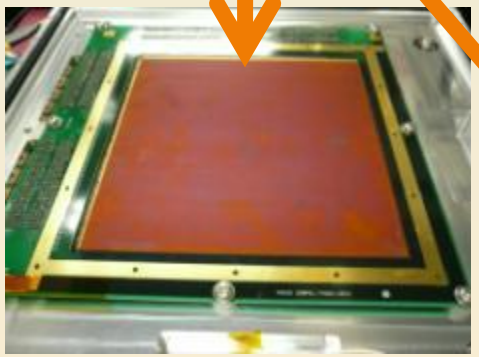
# 大きさでみるμ-PIC

20cm角
連結型

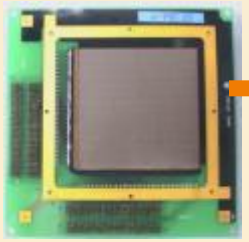


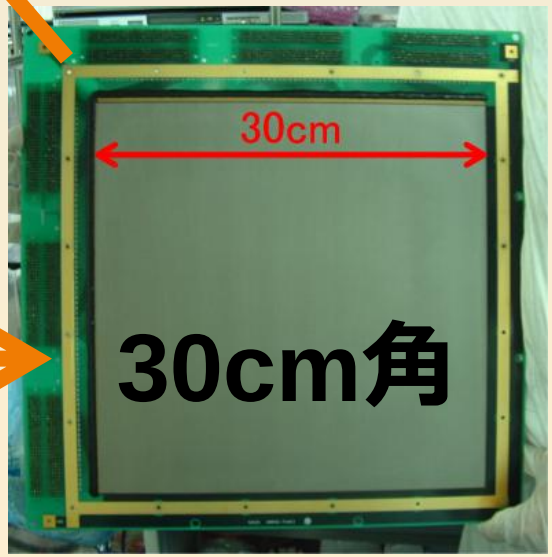



20cm角



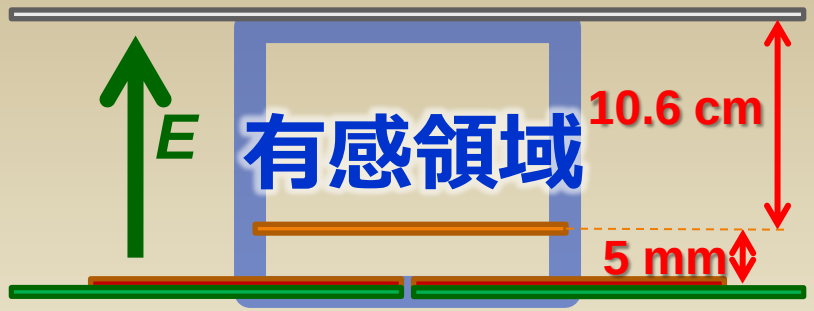
10cm角






DNP製

# μ-PIC２枚連結




**GEM １枚（μ-PICをまたぐ位置）**

サイズ：20cm x 20cm

孔径90μm ピッチ140μm 厚さ50μm

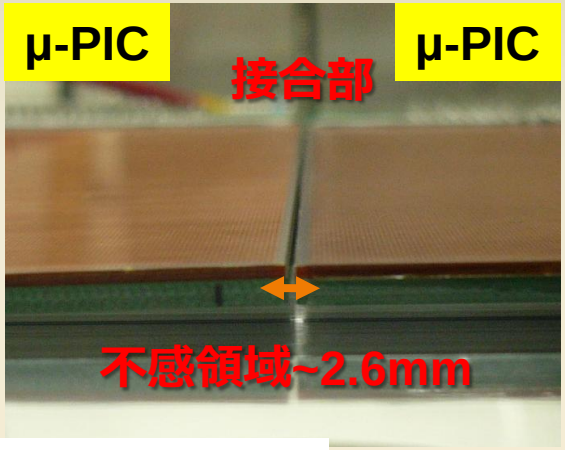
材質：Cu/LCP/Cu

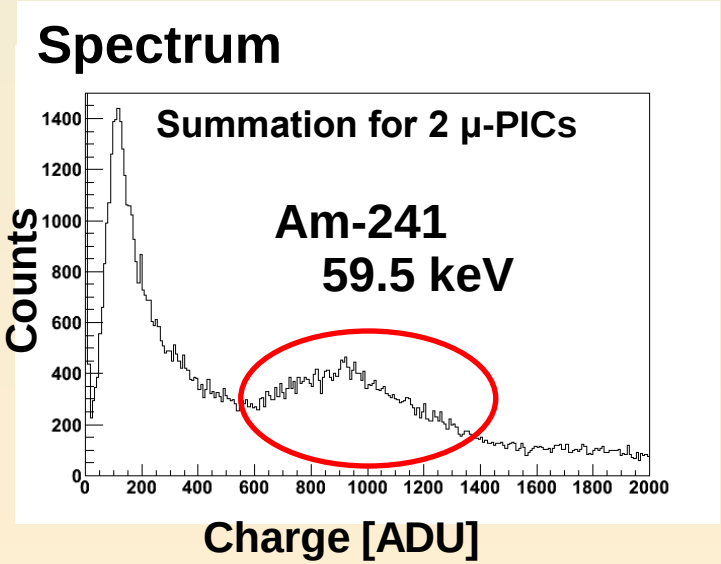
**μ-PIC 2枚**

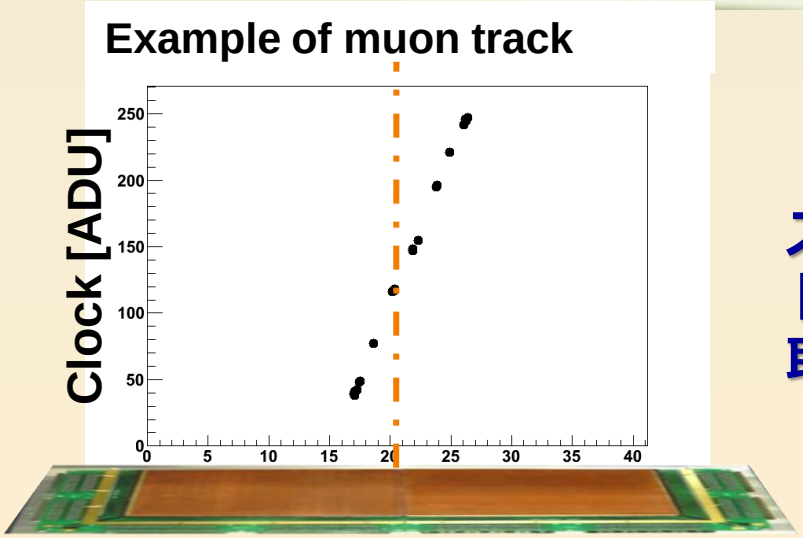
$(20cm)^2$分割μ-PIC

**ガス**

Ar:$C_2H_6$（90:10）1 atm 封じ切り



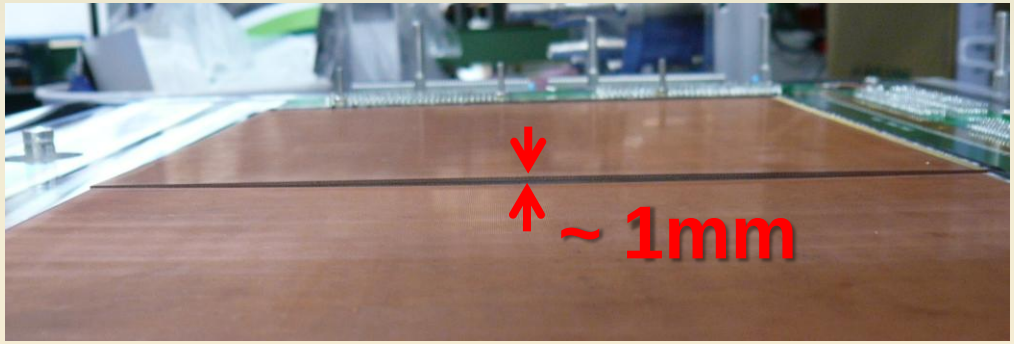



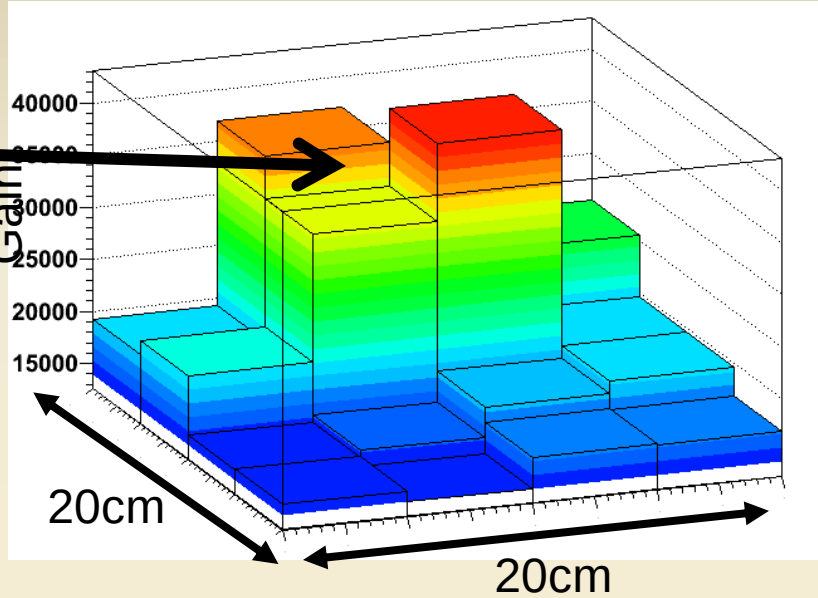

**スペクトルとトラックの取得に成功**

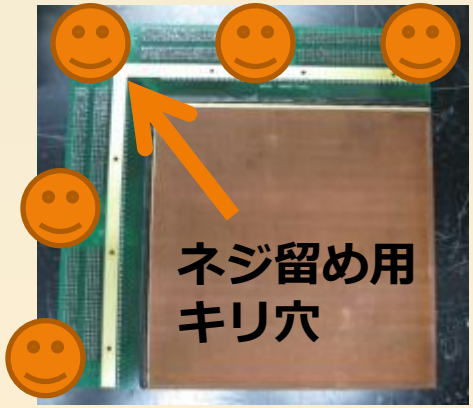
# 検出面表面の「そり」の発見

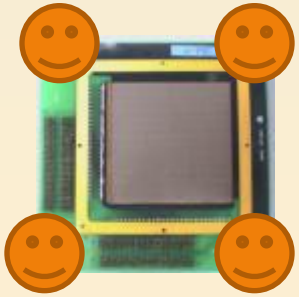
μ-PIC＋GEMのガス利得の不均一

**接合端の中央部が1mm程度盛り上がっている**
GEMとμ-PICの間の引込み電場が強くなり
ガス利得が不均一に大きくなってしまう



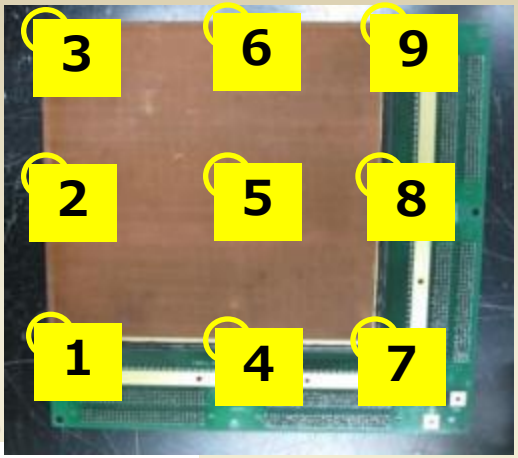



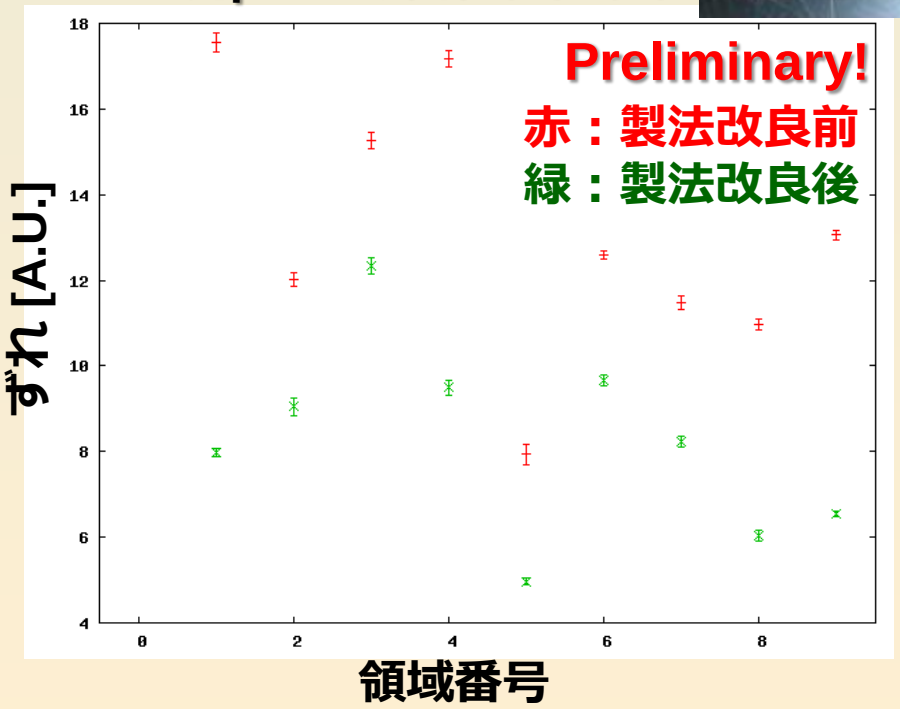
**納品時には顕著なそりはない**
**そりをつくる力の原因は不明**
・μ-PICネジ留め箇所が非対称？
・信号読み出しコネクタの着脱時？
**今後：**
**中継基板の裏に堅い素材を接着して**
**「そる」前に予防策を講じたい**

# μ-PIC表面の画像解析

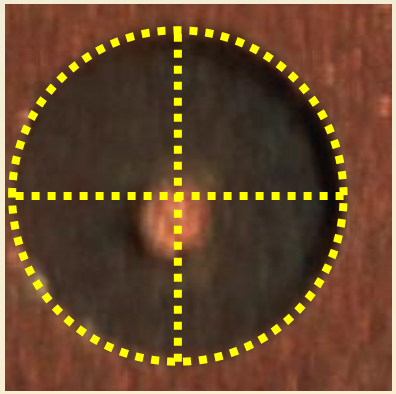
μ-PICを９領域に分け
各々で20電極について
陽極ビア中心と陰極円の中心
のずれを調べた



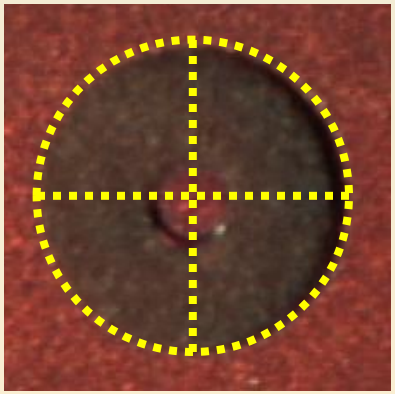
20cm角μ-PICの陽極位置ずれ




改良前



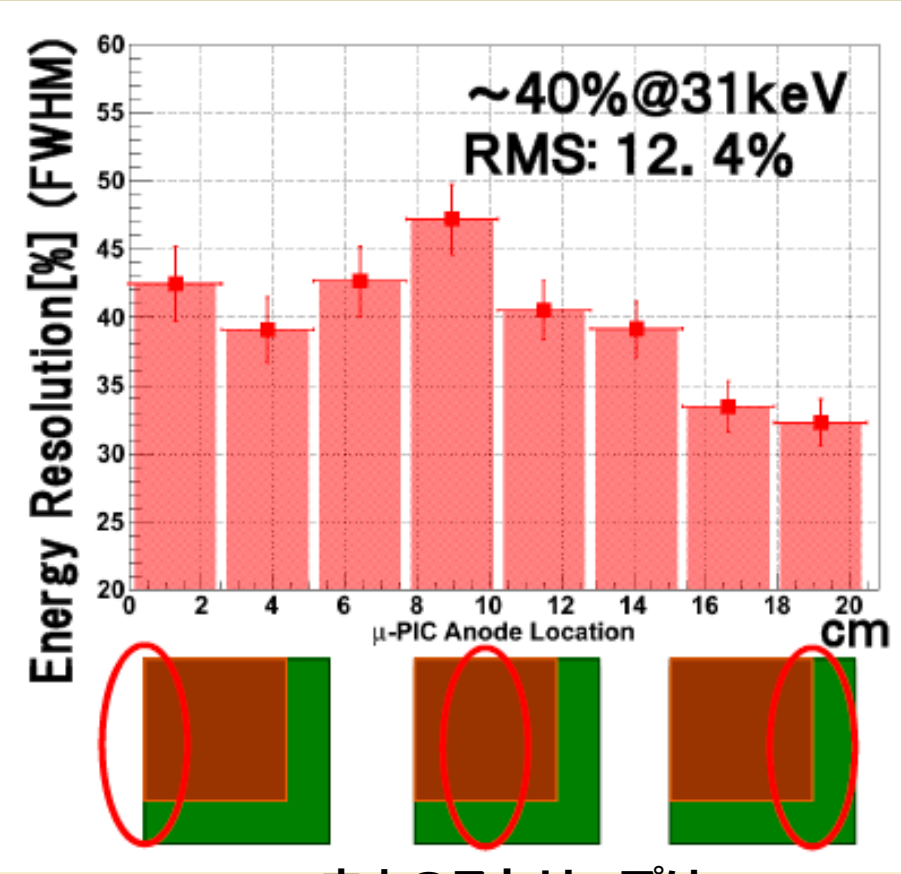
改良後



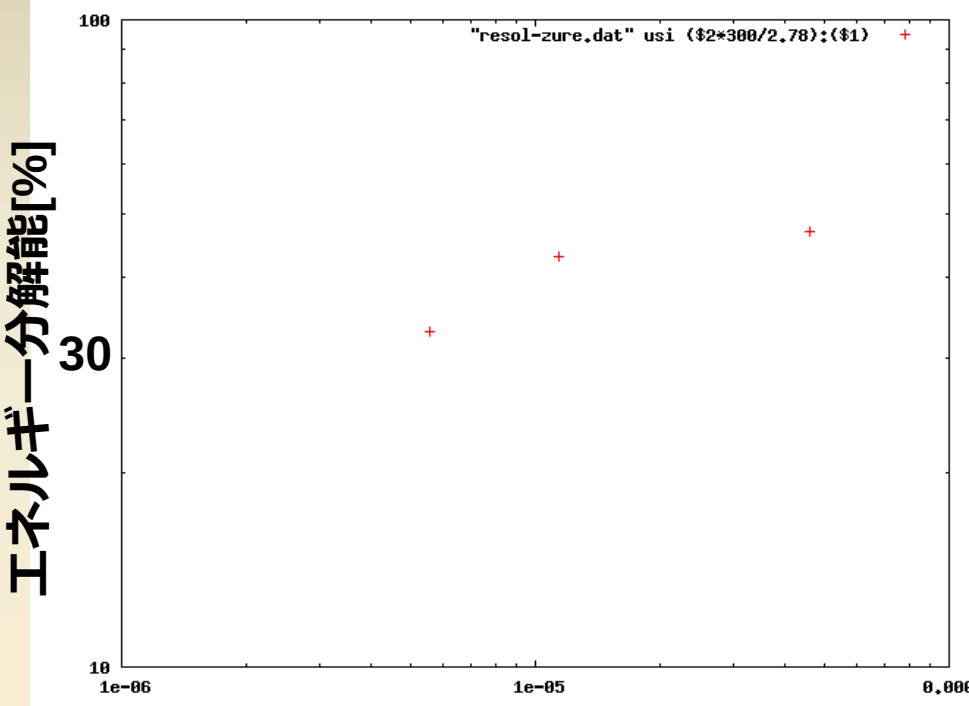
250μm

製法改良でずれは約２倍改善
今後は高利得・高分解能が期待できる

# 電極ずれのエネルギー分解能への影響

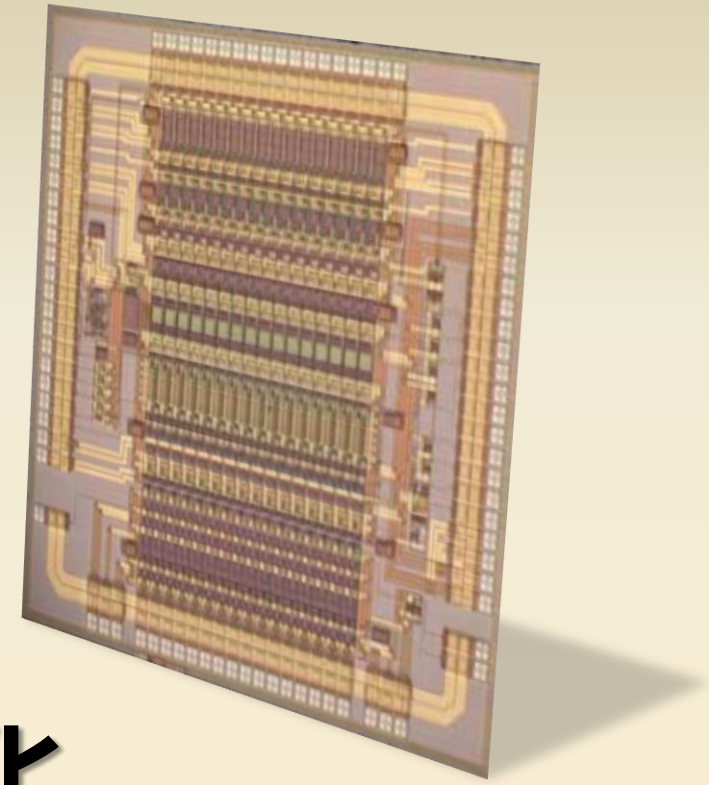



中央のストリップは
電極ずれの分散が大きい




ストリップ内でのずれの分散[A.U.]

**均一な電極構造でエネルギー分解能は改善する**



# 開発（２）　省電力化

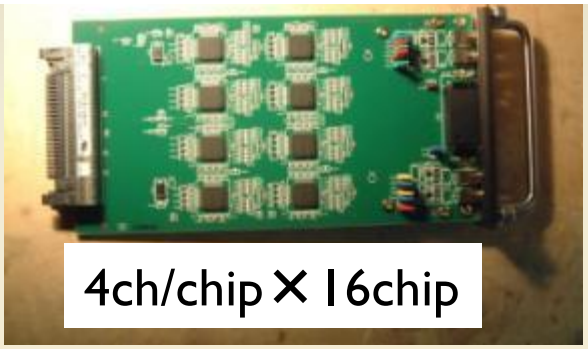
# 読み出し回路の開発

**ATLAS TGC ASD (Bipolar Process)**

SMILE-Ⅰで使用 (読み出しch数:512ch)
4ch/chip
59mW/ch

気球搭載へ向けた省電力化
のため**読み出しCMOS ASICを**
**KEK測定器開発室と共同開発**

**ATLAS TGC ASD 64ch board**

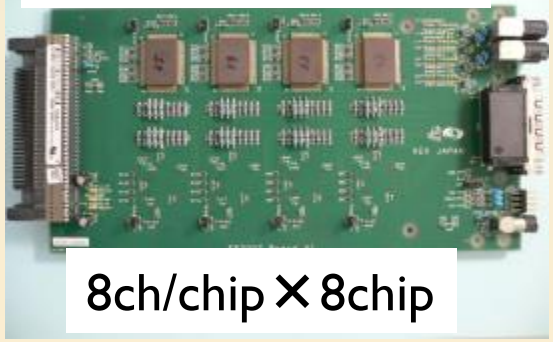



**FE2006, FE2007 (TSMC CMOS 0.5μm)**

8ch/chip
30mW/ch

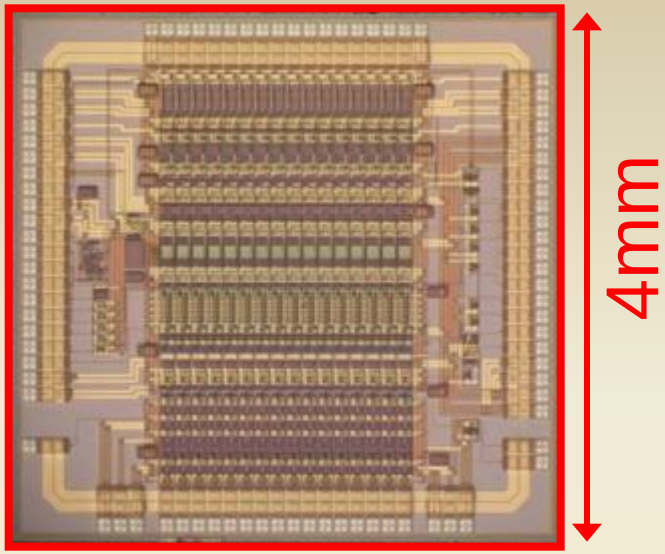
さらなる省電力化
高集積化

**FE2007 64ch board**



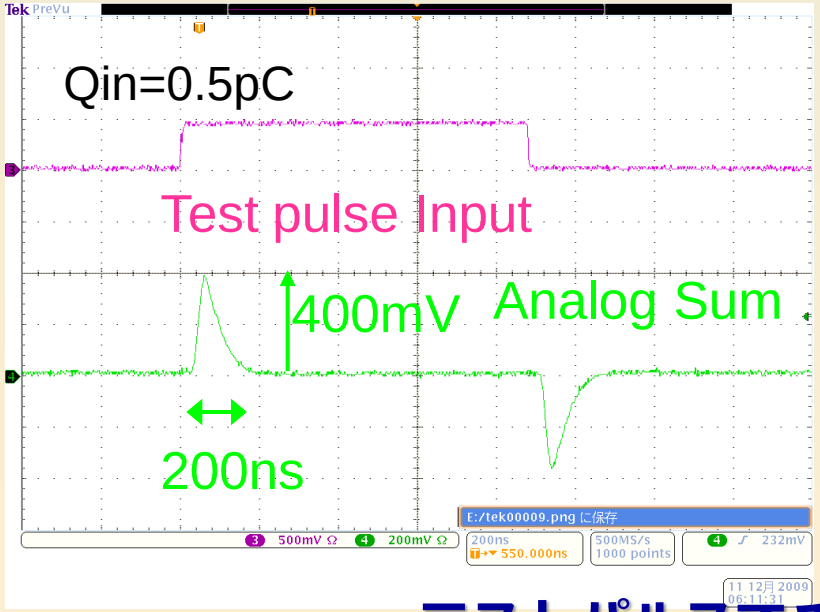

**FE2009bal　(TSMC CMOS 0.5μm)**

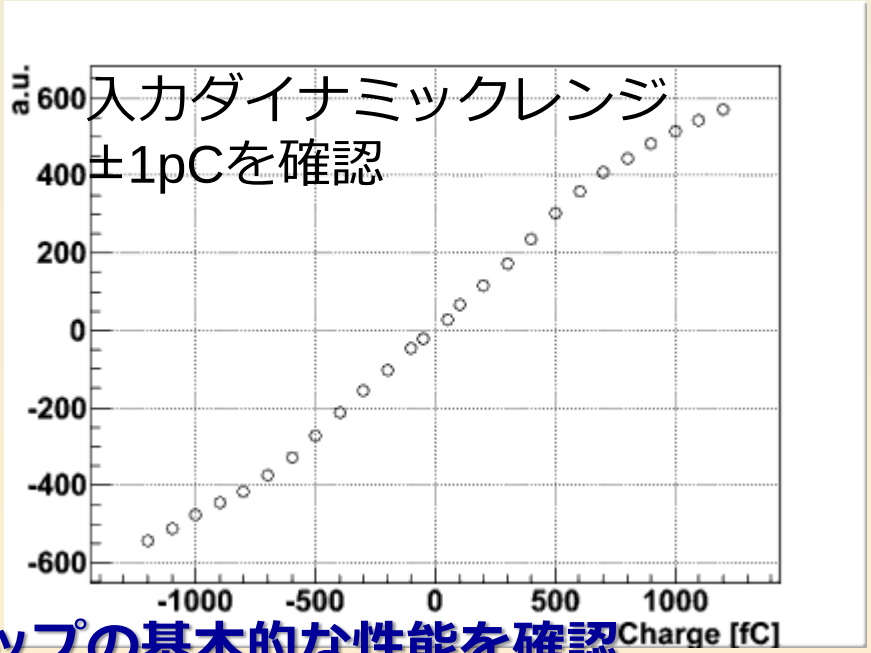
# FE2009bal




**TSMC 0.5μm CMOS process**

- ch数 ： 16 ch
- 電荷積分型Preamp : 0.6V/pC
- 16ch sum amp
- CMOS 2.5V デジタル出力
- threshold調整：6bit DAC
- 両極性対応
- 入力ダイナミックレンジ : ±1pC
- ENC ~ 6000 electrons at Cd= 100pF
- 電源電圧 : +/-2.5V
- 消費電力 : 18mW/ch




**テストパルスでチップの基本的な性能を確認**

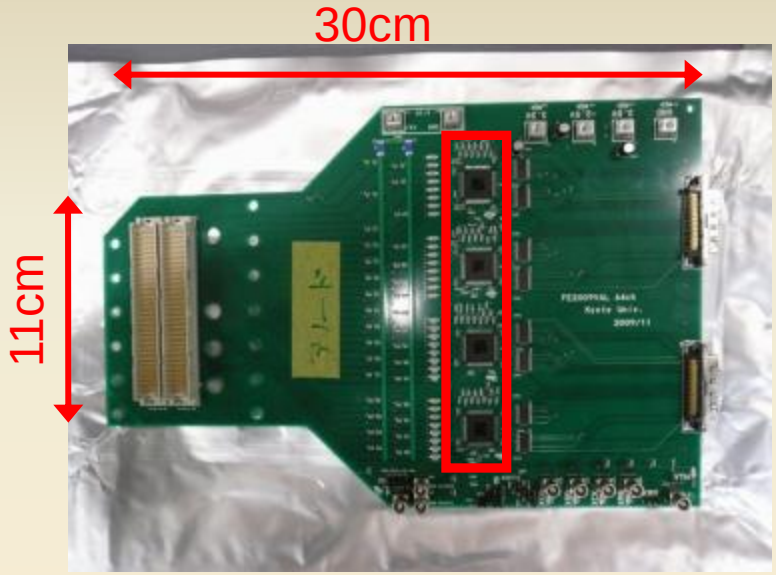
# 仕様の比較

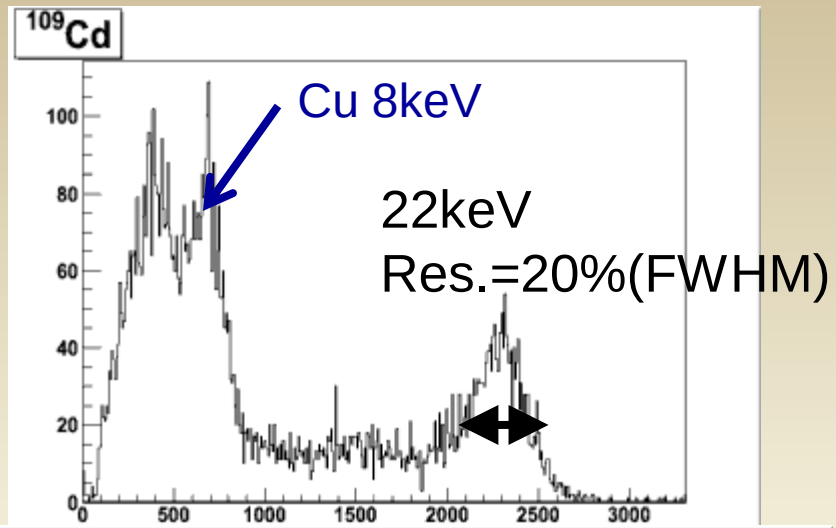
ASDはカタログ値、FEは実測値

| | ASD | FE2007 | FE2009bal |
|---|---|---|---|
| Ch数 | 4 | 8 | 16 |
| ピーキングタイム | 20ns | 20ns | 30ns |
| ダイナミックレンジ | -1.2～2.0pC | ±1.5pC | ±1pC |
| ノイズ | ～3000e | ~6000e | ~6000e |
| クロストーク | 0.5%以下 | 0.6%<br>(隣接chは1~3%) | ≪0.5%<br>(全ch) |
| タイムウォーク | ～6.5ns<br>(20fC-1pC) | ～6ns<br>(10fC-1pC) | <～6ns<br>(10fC-1pC) |
| Vth ばらつき補償 | – | 5-bit DAC | 6-bit DAC |
| 消費電力 | 59mW/ch | 30mW/ch | 18mW/ch |

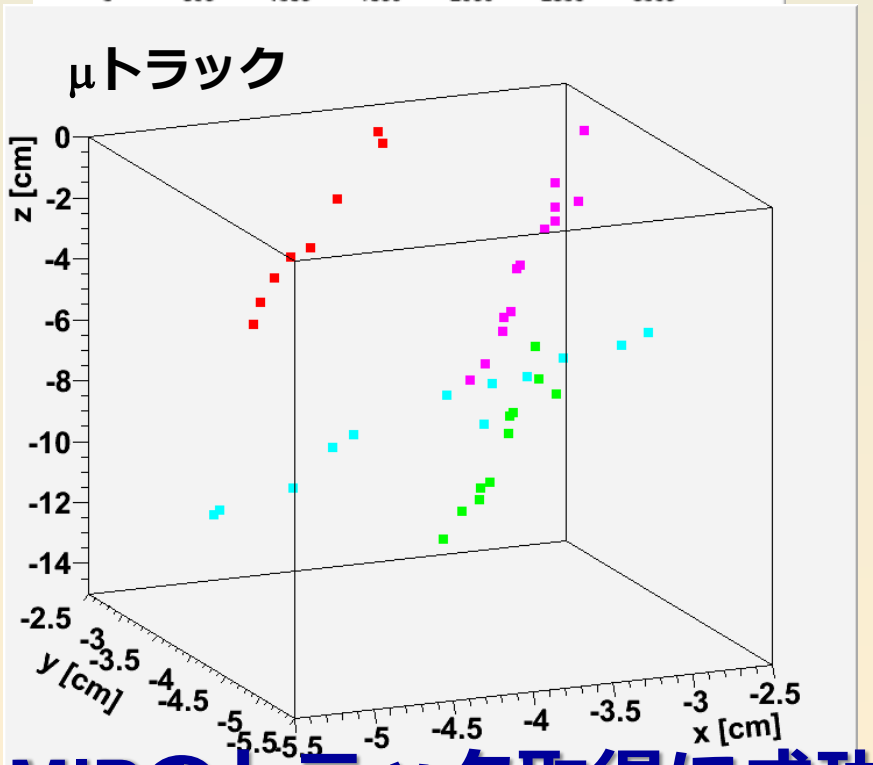
# μ-PICとの接続試験

FE2009bal 64chボードを作成
μ-PICからの信号を読み出す




- データ取得条件
  Gas ：Ar 90%　$C_2H_6$ 10%　1atm
  有感領域：2.5×2.5×14cm$^3$
  Drift Top : -4.5kV　(0.25kV/cm)
  ⊿GEM : 300V
  Anode ：+450V
  Gain : ~40000 (ASDで取得)

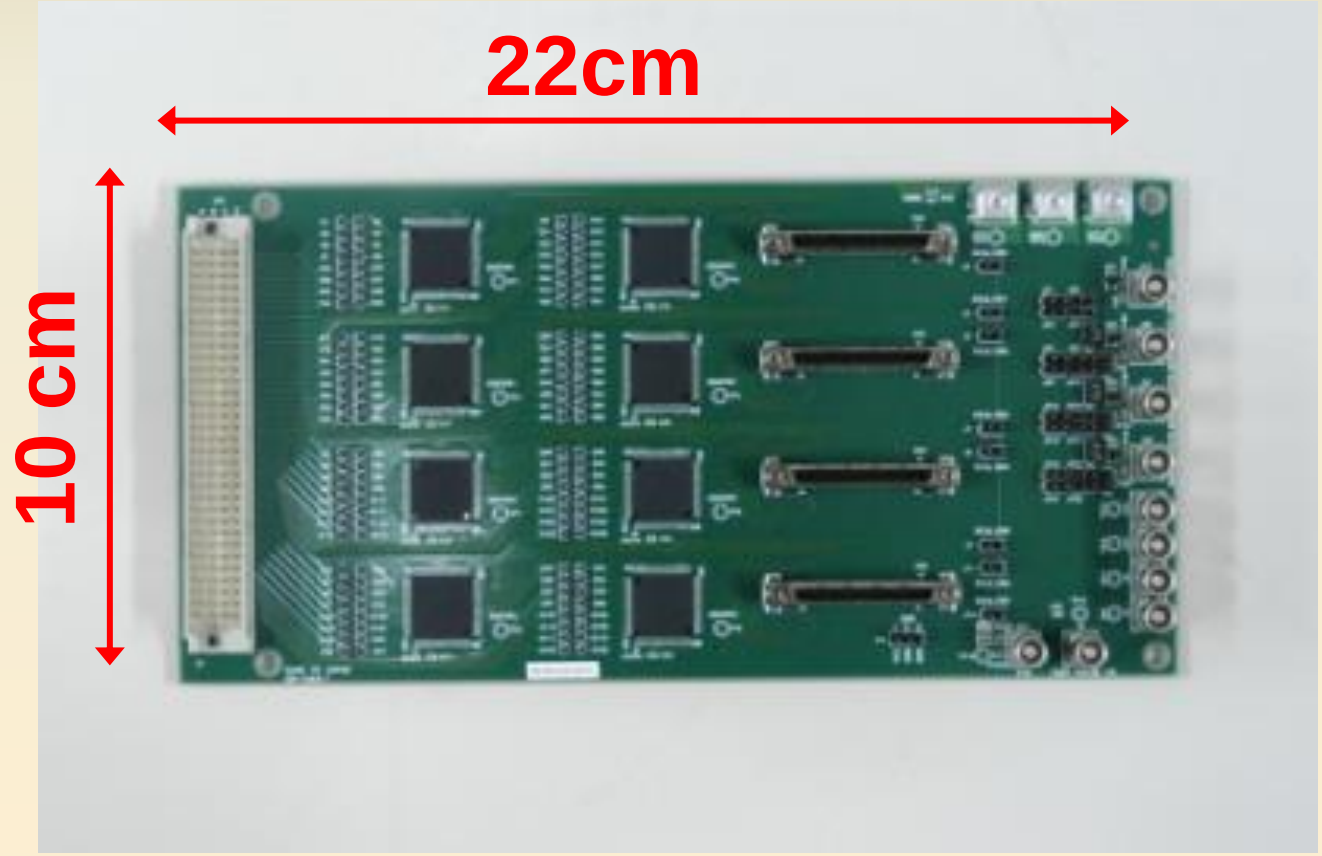



**MIPのトラック取得に成功**

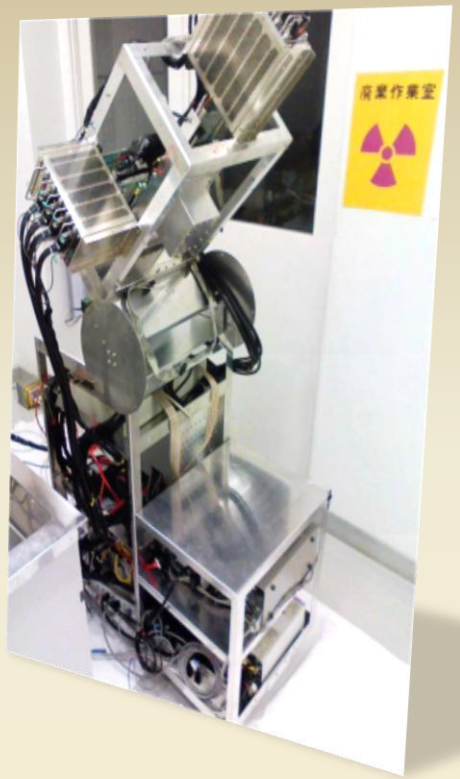
# FE2009bal 128chボード

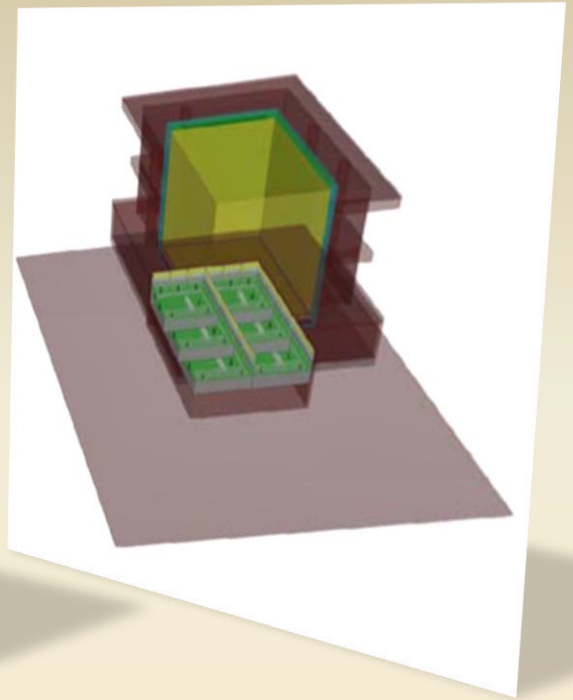
気球実験では２ストリップずつ束ねて800μmピッチで読み出す

| | 陽極 | 陰極 | | |
|---|---|---|---|---|
| 10cm角 | (256 + 256) | / 2 | = 256 ch | ⇒ ボード 2枚 |
| 30cm角 | (768 + 768) | / 2 | = 768 ch | ⇒ ボード 6枚 |




**できたて。　読み出し試験はこれから**

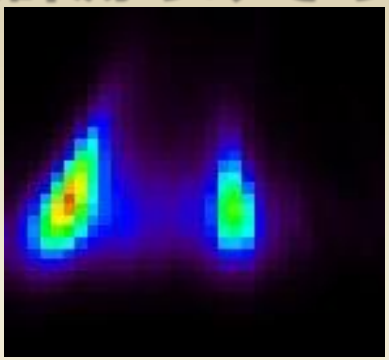


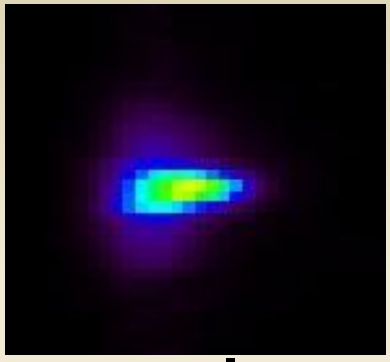
# 応用　　緒言

# 医療応用

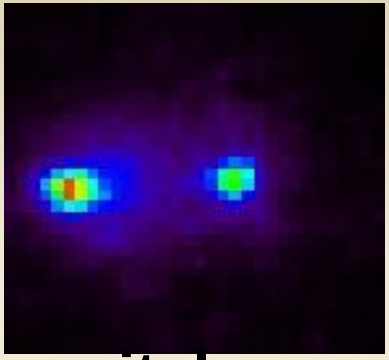
## １方向計測のみでの3次元再構成アルゴリズム開発



transverse

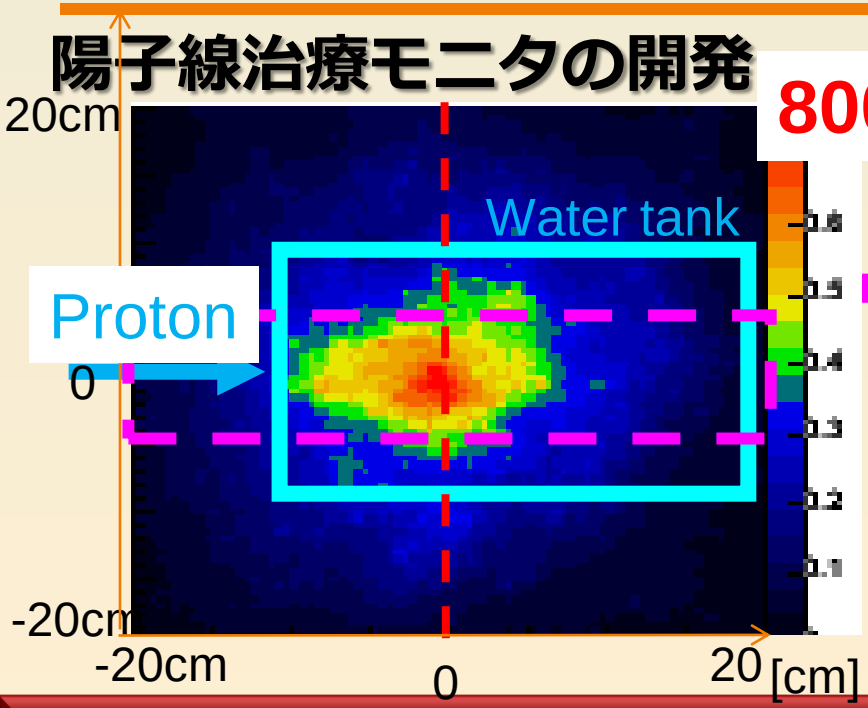


coronal

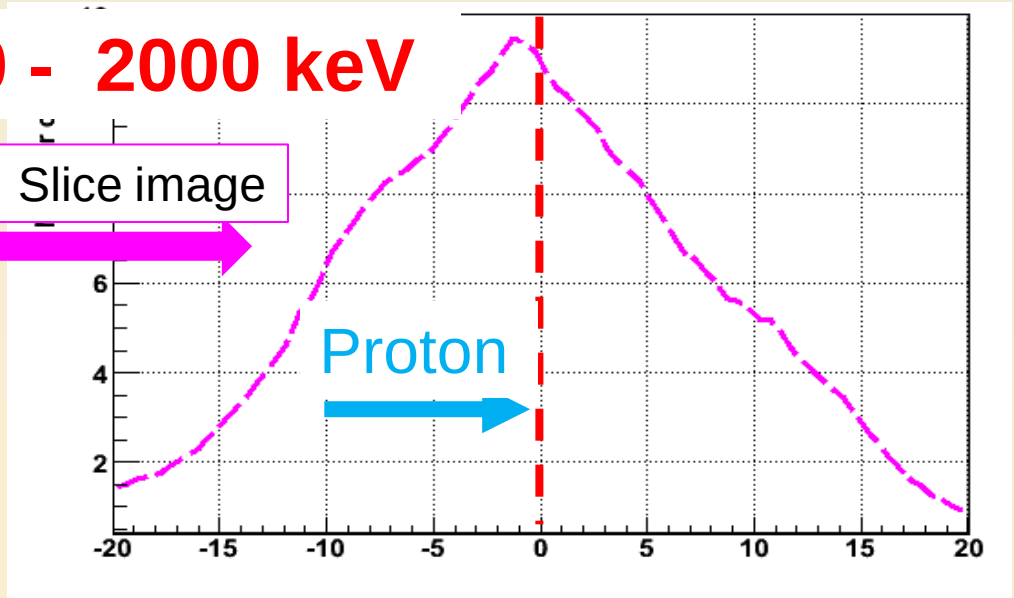


sagital

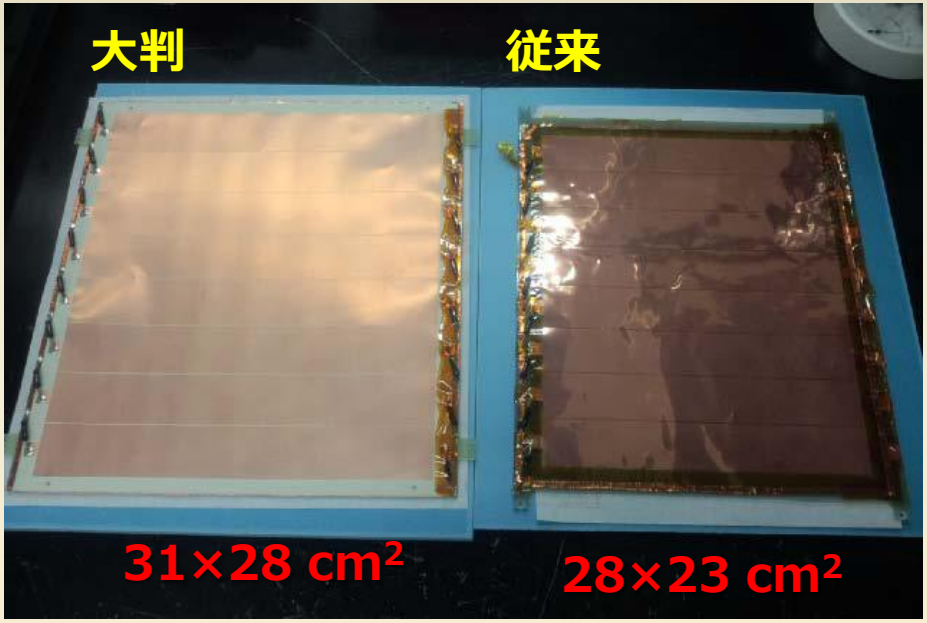
## 陽子線治療モニタの開発




800 - 2000 keV



# 気球用ETCC基礎開発
# 30×30×30 cm$^3$ μ-TPC ETCC




サイズ: 30×30×30 cm3
ガス: Ar 90% + C2H610% 1atm 封切
ドリフト電場: ～250 V/cm
ドリフト速度: ～4 cm/μ sec
gain : ～50000
エネルギー分解能: 36%@31keV(FWHM)
位置分解能(3次元) : ～500μm

**30cm角μ-PICを活かす**
**大判GEMの開発**

LCP
P140μm　Φ70μm　50μmt
31×28 cm$^2$

# まとめ

## 基礎開発

**大面積化** 連結型20cm角μ-PIC2枚連結の動作実証

**性能分析** 画像解析からμ-PICの性能を評価

μ-PICの高精度化の維持が可能 → より高利得、高分解能へ

**省電力化** 従来より消費電力1/3の読み出しASIC＋128chボード開発

## 応用

### 医療応用

３次元再構成アルゴリズムの開発

陽子線治療モニタ　連続放射成分の画像化

### 気球用ETCC基礎開発

30cm角μ-PICを活かす31×28 $cm^2$ 大判GEMの開発

有感領域が1.35倍