CMOS ASICを用いた気球実験用ガス検出器読み出しシステムの開発

京大理、高エ研[A]、ISAS/JAXA[B]

岩城　智

窪秀利, 田中真伸[A], 内田智久[A], 藤田陽一[A],
谷森達, 身内賢太朗, 株木重人, Parker Joseph, 上野一樹,
黒澤俊介, 高橋慶在, 澤野達哉, 谷上幸次郎, 中村輝石, 東直樹,
高田淳史[B]

2010年3月20日
日本物理学会第65回年次大会
@岡山大学津島キャンパス

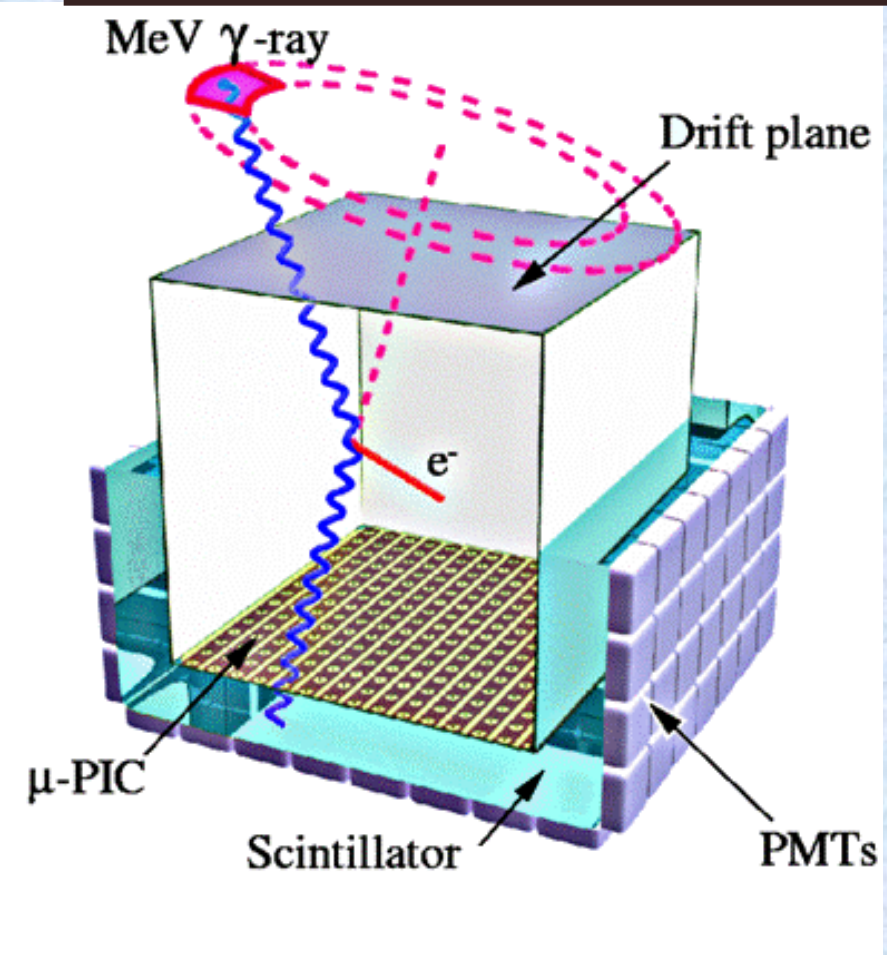
目次

- Introduction
  - Electron Tracking Compton Camera (ETCC)
  - これまでの読み出し回路
- CMOS-ASIC
  - FE2009bal
  - テストパルスによる性能評価
  - μ-PICとの接続試験
- Summary

Electron Tracking Compton Camera (ETCC)

Sub MeV~ MeV γ線による
イメージング

- γ線天文学(気球実験, SMILE)
- 核医療



- **micro-TPC**
  - ・μ-PICを用いた
    Time Projection Chamber
  - ・反跳電子の飛跡とエネルギーを測定

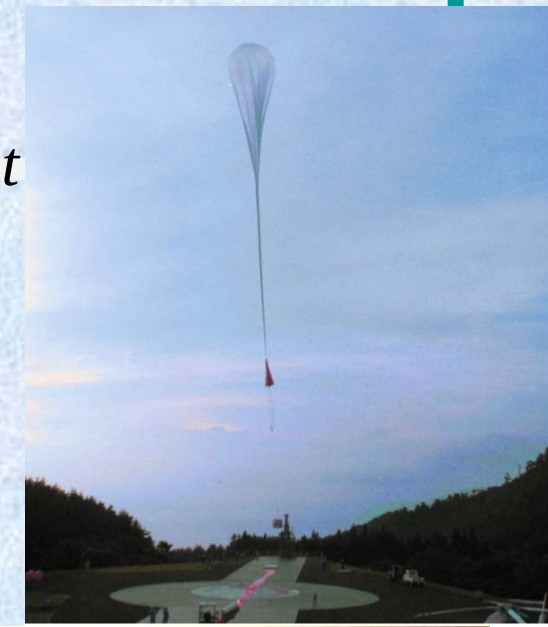
＋

- **シンチレーションカメラ**
  - ・Pixel Scintillator Array
    +Multi Anode PMT
  - ・散乱γ線の吸収位置とエネルギーを測定

1event毎にコンプトン散乱を再構成
エネルギーと到来方向を一意に決定

気球実験 SMILE

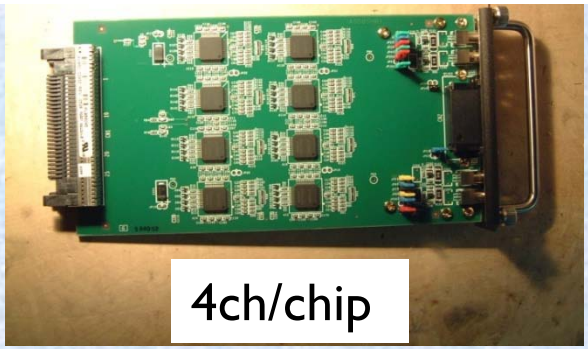
Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment



SMILE-Ⅰ実験（2006年9月1日）

- 10×10×15cm^{3}TPC (512ch読み出し) +33PMTs
- 読み出しにはATLAS TGC ASDを使用
  ASD(Bipolarプロセス) : 59mW/ch
  全体で30W

ATLAS TGC ASD 64ch board

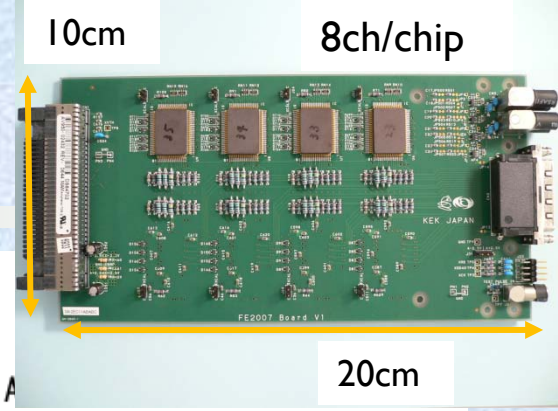


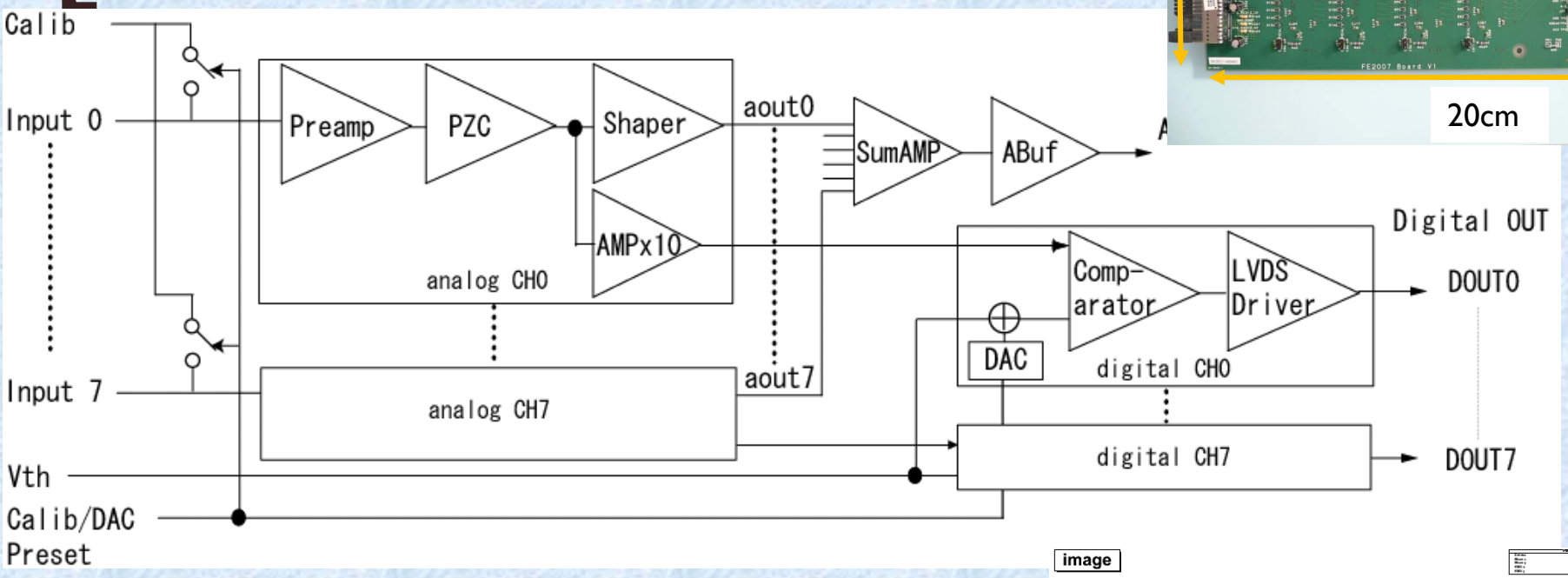
SMILE-Ⅱ実験（2011年予定）

- (30 cm)^3 TPC×2 (3000ch読み出し) +216PMTs（予定）
- 上空での電力は限られているため、省電力化した読み出しシステムが必要
  目標値:20mW/ch以下

⇒KEKと共同でCMOS-ASIC (FEシリーズ)を用いた読み出しシステムを開発してきた。(FE2006、2007)

FE2007 (2008春JPS　藤田講演)





構成

ー電荷有感型前置増幅器/波形整形回路/コンパレータ

主な仕様

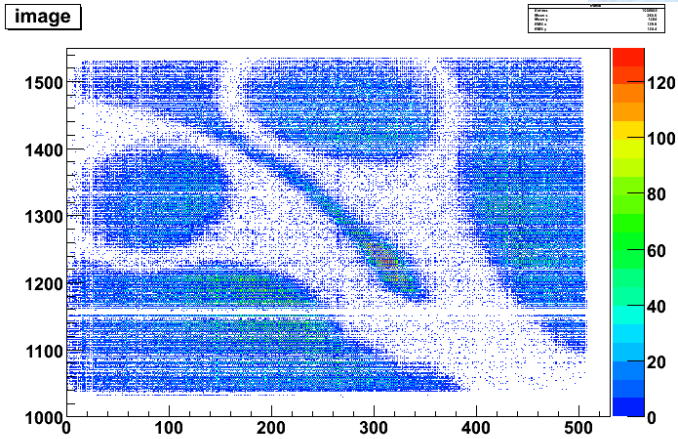
ー製造プロセス:0.5μmCMOS

ー電源:±2.5V

ーチャンネル数:8ch

ー出力:デジタルLVDS,アナログサム

ー消費電力:30mW/ch　⇒　さらに消費電力を抑える必要性

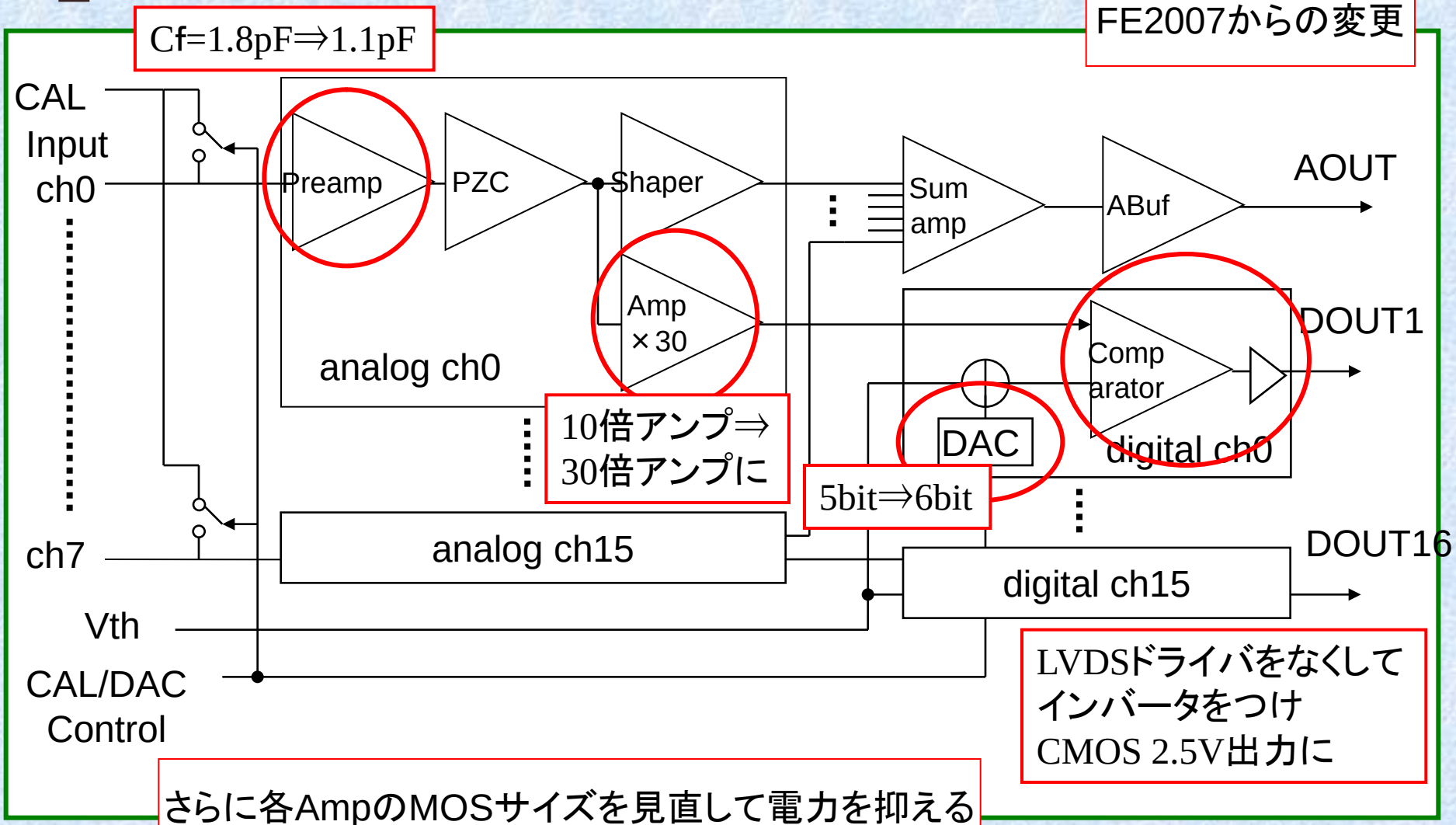


^{55}Feによる X線イメージ

新チップ(FE2009bal) 主な仕様

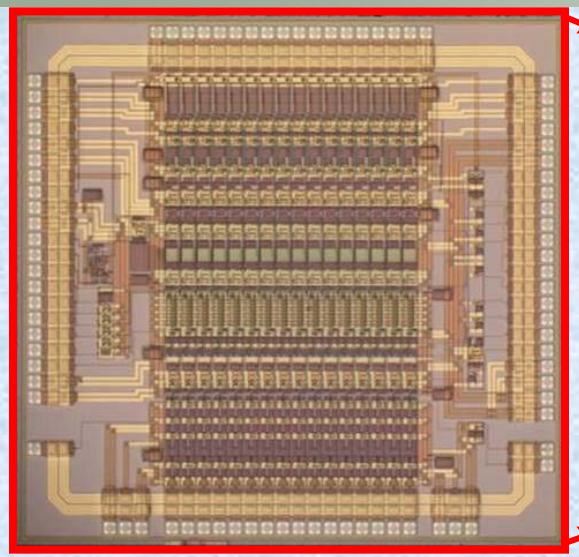
	FE2007(実測値)	FE2009bal(設計値)
Ch数	8	16
出力	アナログサム ＋デジタル(LVDS)	アナログサム ＋デジタル(2.5V)
ダイナミックレンジ	±1.5pC	±1pC
ピーキングタイム	20ns	30ns
ノイズ(C_{det}=100pF)	6000e	6000e
タイムウォーク (10fC-1pC)	< 6ns	< 6ns
Vth ばらつき補償	5-bit DAC	6-bit DAC
消費電力	30mW/ch	15mW/ch

FE2009bal　ブロック図

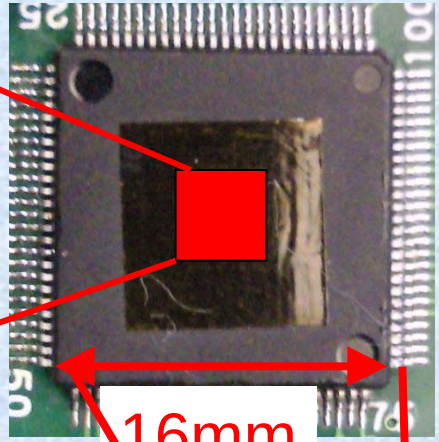


さらに各AmpのMOSサイズを見直して電力を抑える

Chip完成～パッケージング



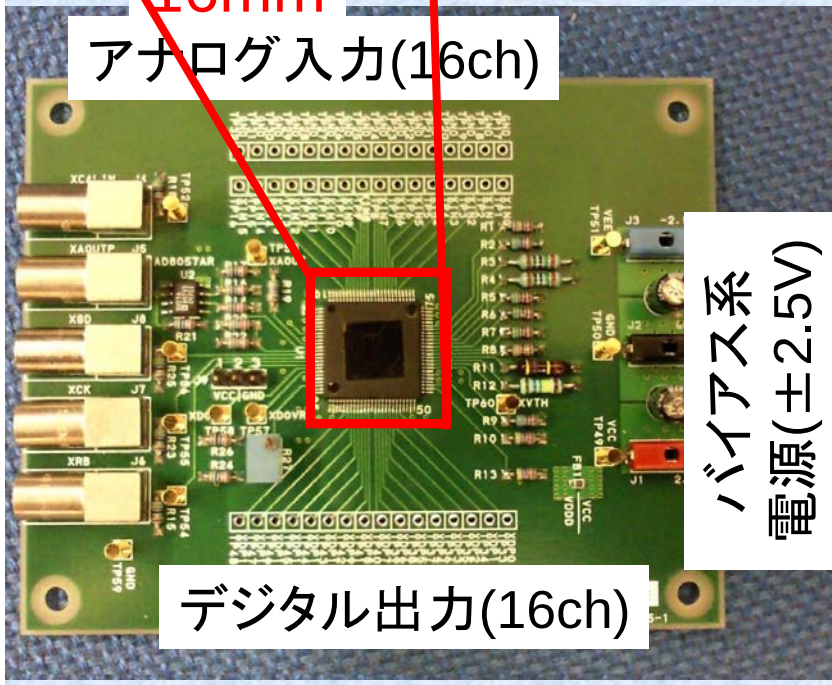
4mm



プラスチック
パッケージ
100pin

16mm

アナログ入力(16ch)



デジタル出力(16ch)

バイアス系
電源(±2.5V)

アナログSum出力、テスト入力
DAC補正用回路など

電源

+2.5V : 47mA

-2.5V : 66mA

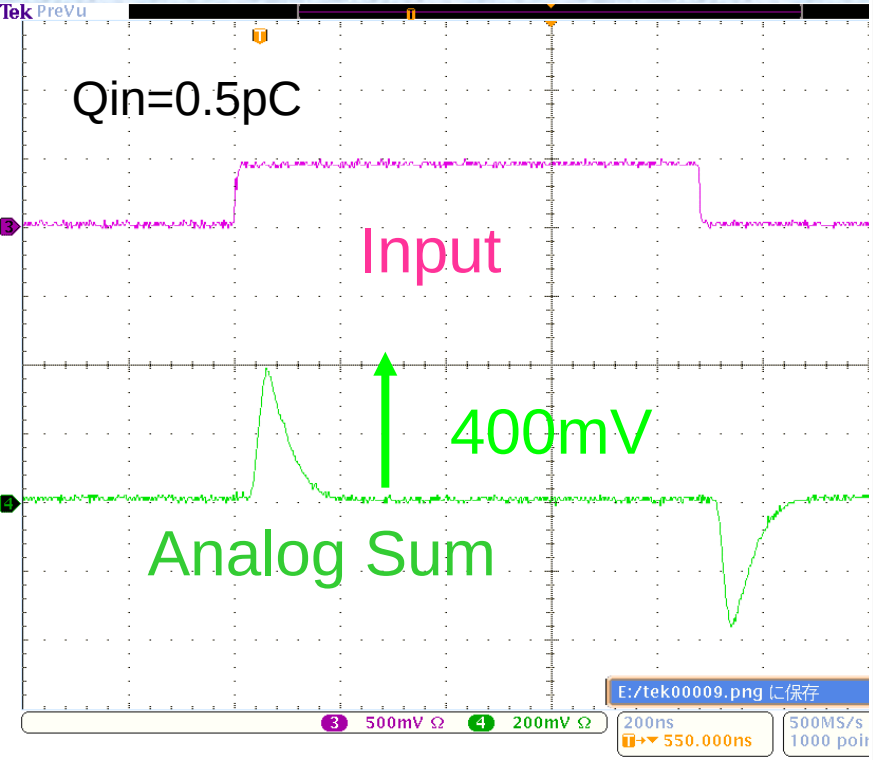
⇒17.5mW/ch

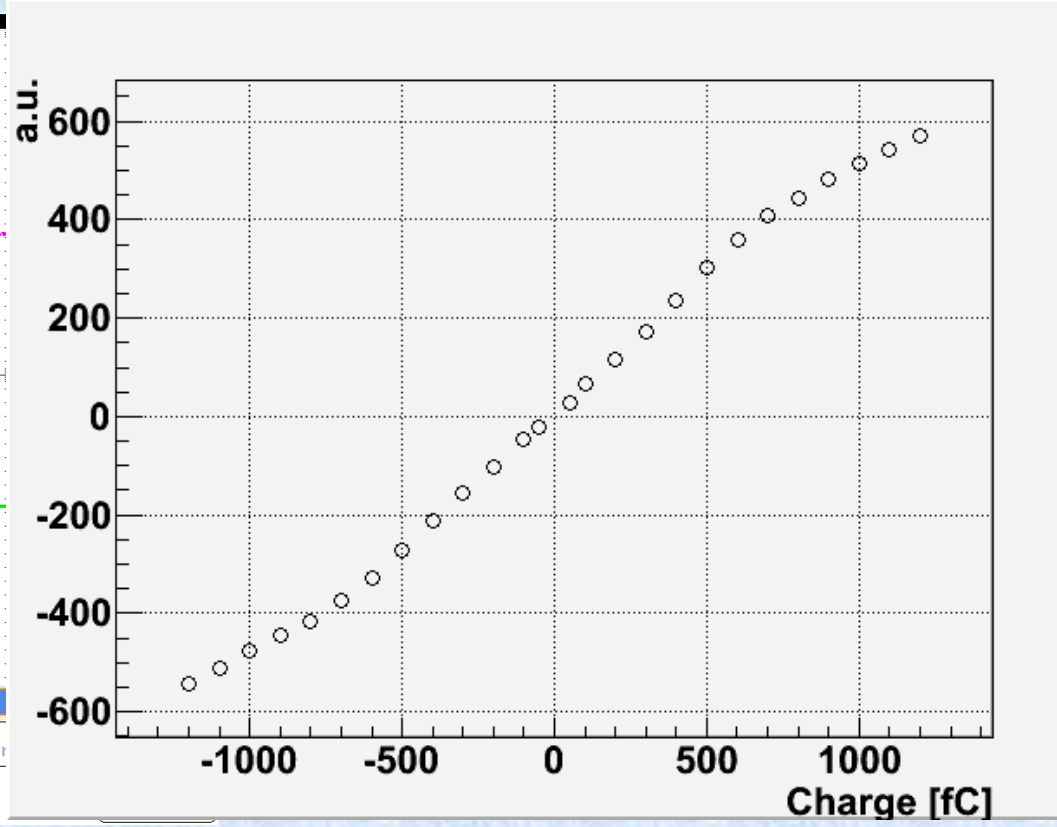
(シミュレーション:15mW/ch)

シミュレーションよりは大きいが

要請値(20mW以下)はクリア

テストパルスによる性能評価



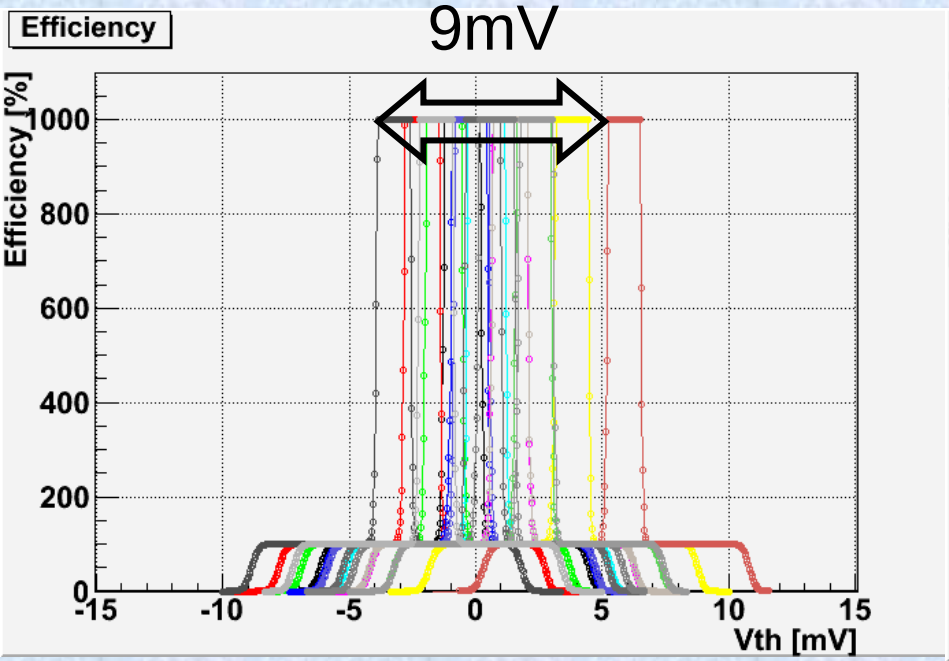


- 入力　-1pC～1pC
- Gain　～800mV/pC
- Peaking time ～30ns

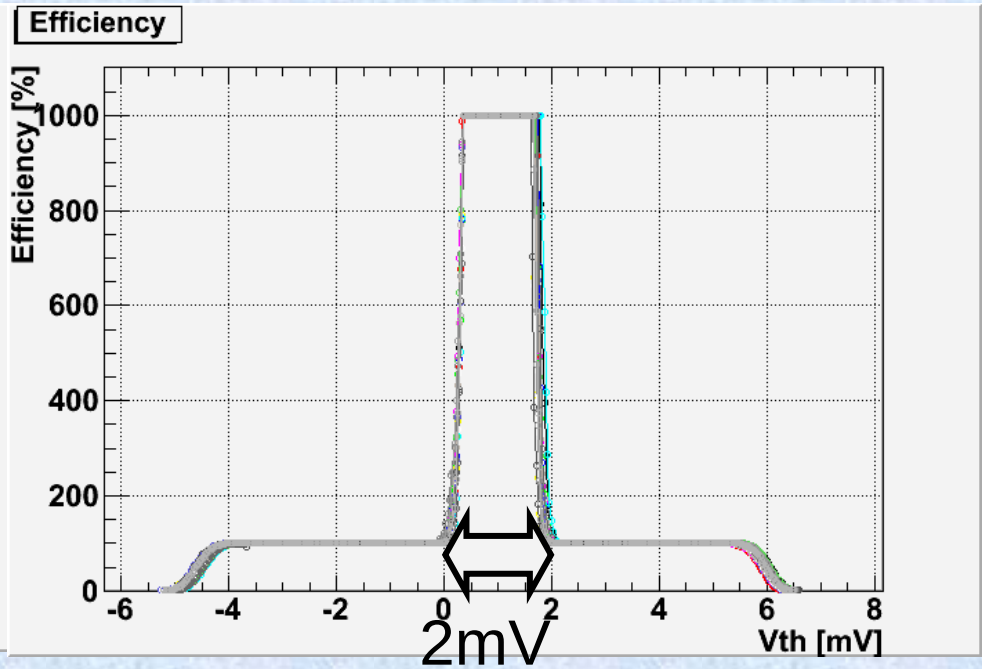
シミュレーションを再現

テストパルスによる性能評価

閾値ばらつき



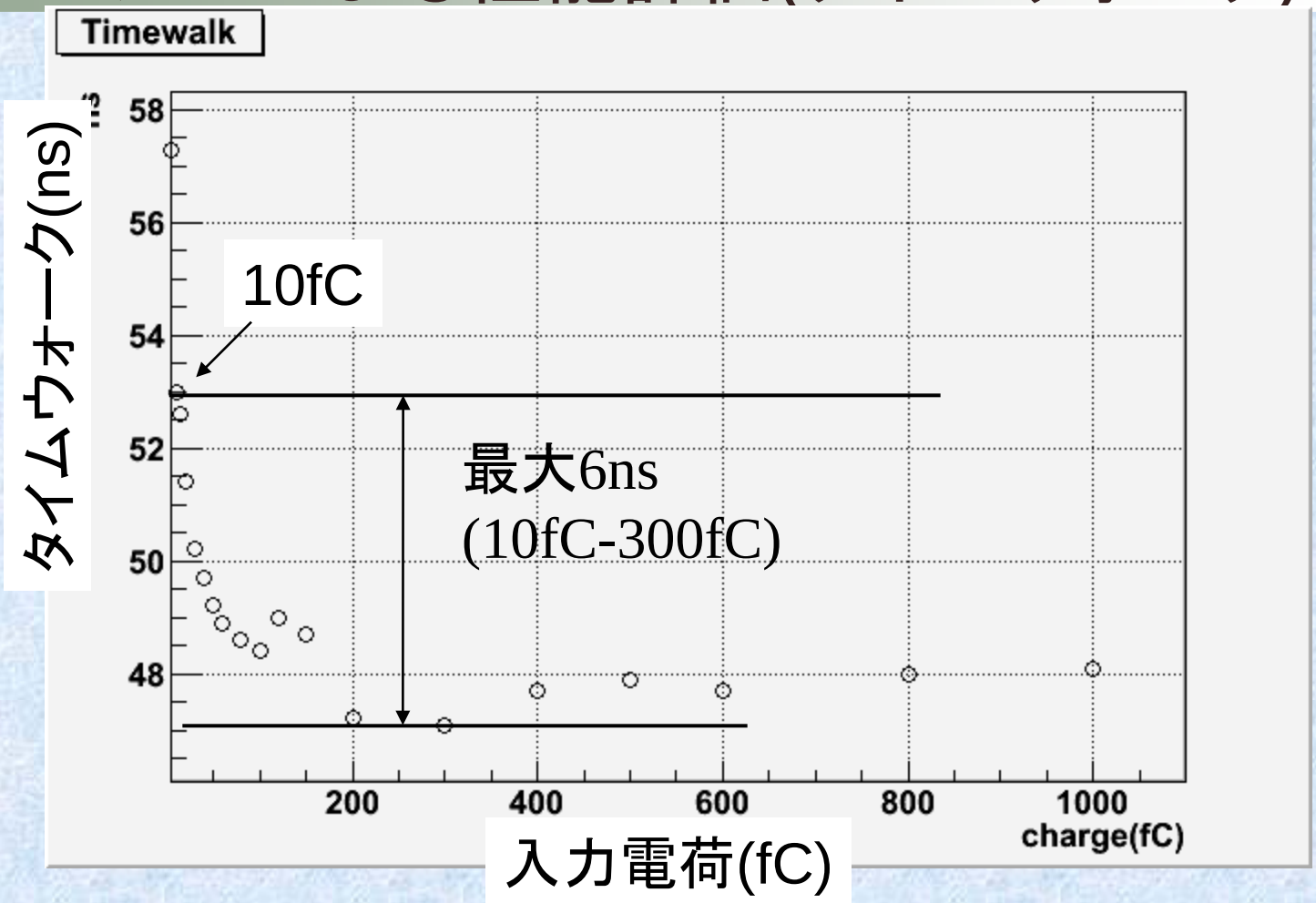
ノイズレベル



30倍アンプ入力前の
ばらつきは9mV
(FE2007とほぼ同じ)
⇒DAC補正可能範囲

ノイズは約2mV
(FE2007と同程度)
入力電荷~1fC相当

テストパルスによる性能評価(タイムウォーク)

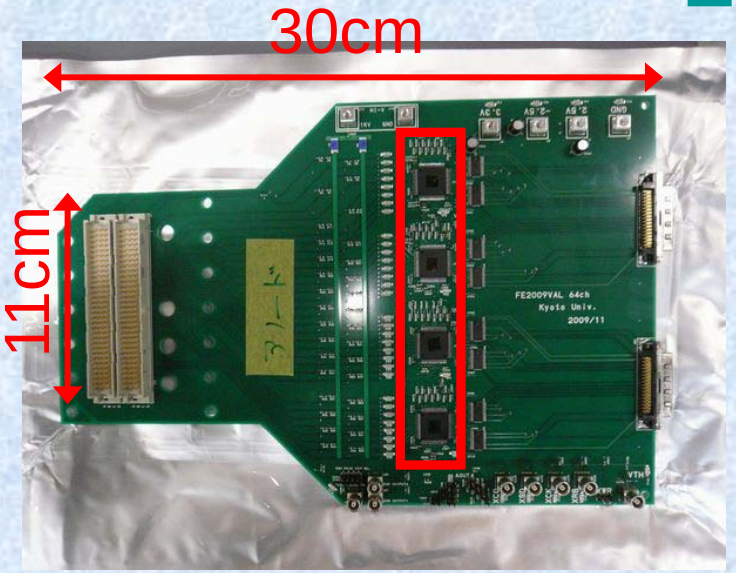


10fC~1pCまででタイムウォークは~6ns
シミュレーション(7ns)と同程度

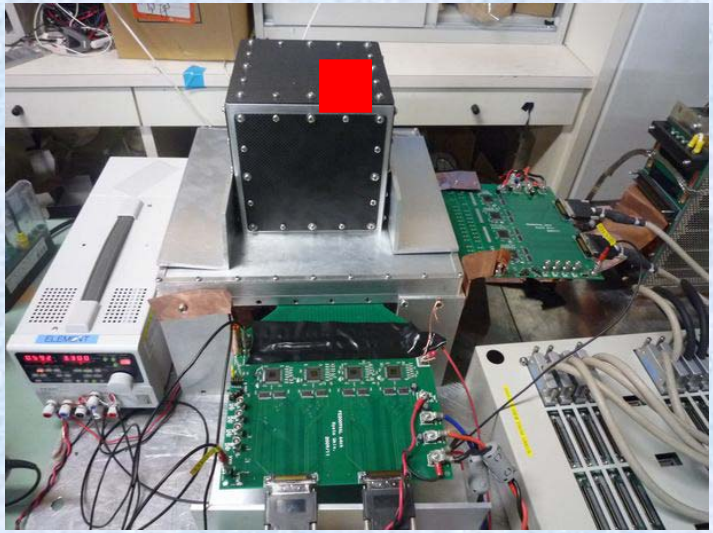
μ-PICと接続

- 64chボード作成
  (デジタルはLVDSに変換して出力)

FE2009bal×4つで64chのボードを作成
Anode、Cathodeとも10cm^2 μ-PIC
256chのうち、64chで読み出し
⇒2.5cm×2.5cmの領域

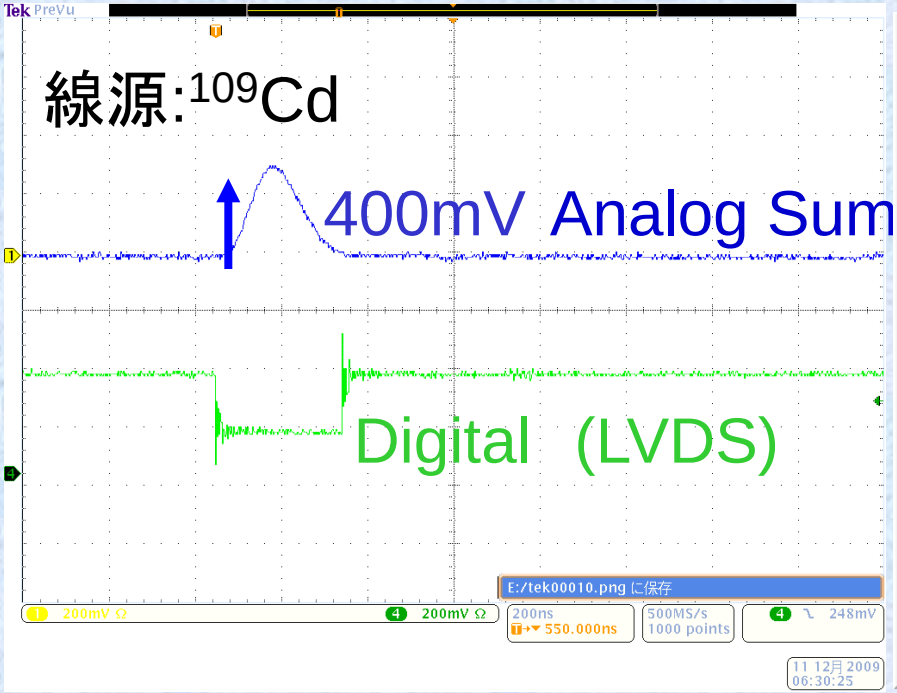


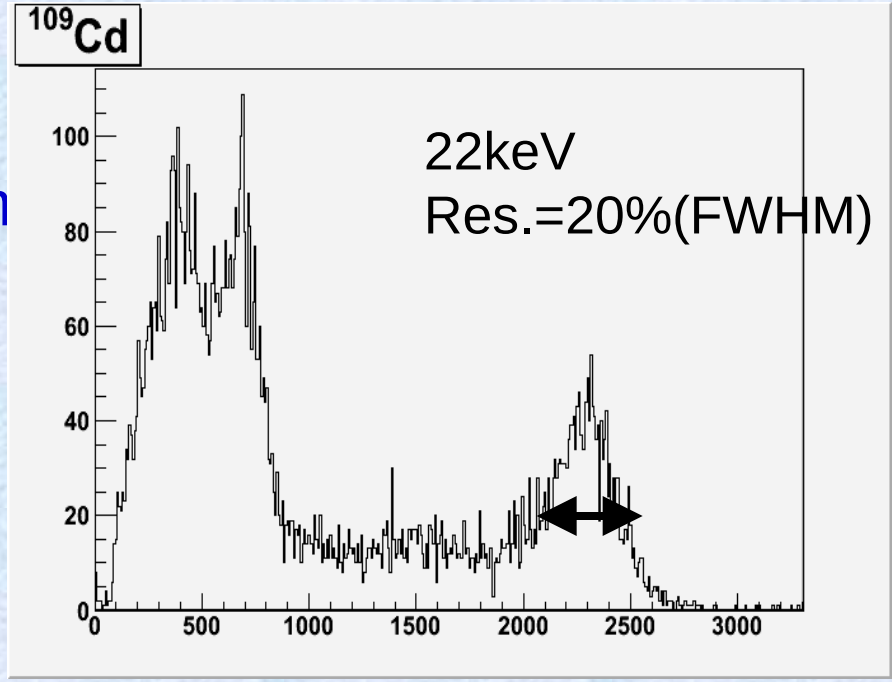
- データ取得条件
  - 使用ガス:
    Ar 90%　C_2H_6 10%　1atm
  - Drift Top -4.5kV　(0.25kV/cm)
  - ⊿GEM : 300V
  - Anode : +450V



ASDでの測定ではGain～50000

μ-PICからの信号





現在TPCによる荷電粒子のトラック取得中

まとめと今後

- μ-PICの読み出し用にKEKと共同で0.5μmプロセスCMOS-ASIC(FEシリーズ)を開発してきた。(FE2006,2007)
- 気球実験用μ-PIC読み出し専用省電力chip FE2009balを開発
- 消費電力：30mW/ch⇒18mW/chに省電力化
- FE2009bal 64chボードを使いμ-PICからの信号を確認

今後

- Chipを量産し10cmμ-PIC全面さらに30cmでデータを取得
- 気球実験に向けた読み出しシステムの製作

FE2009bal 主な仕様
(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% (隣接chは1~3%)	≪0.5% (全ch)
タイムウォーク	～6.5ns (20fC-1pC)	～ 6ns (10fC-1pC)	<～6ns (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