



崩壊点検出器の為の高精細CCDセンサー 及び読み出し回路の研究

2012.9.13 日本物理学会 13aSK1

東北大学 加藤恵里子

Jose Trevison^A, 佐藤比佐夫^D, 池田博一^C, 杉本康博^B, 田窪洋介^B, 宮本彰也^B,
石川明正^A, 板垣憲之助^A, 齋藤智之^A, 山本均^A

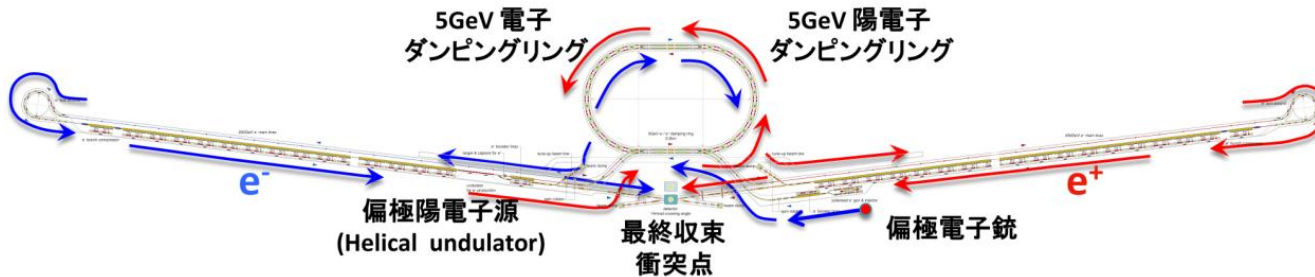
(A: 東北大学, B: KEK, C: JAXA, D: 信州大学)

国際線形加速器(ILC)

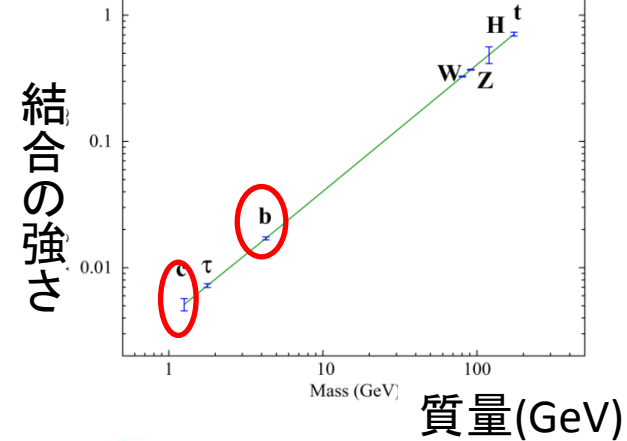
■次世代電子陽電子線形加速器

- 重心エネルギー: 250GeV~
- 積分ルミノシティ: 500fb⁻¹(4年間)

➤ヒッグス物理の精密測定及び新物理探索



質量と結合定数の関係



■崩壊点検出器への要求

- 高効率、高純度のフレーバー同定
- バートックスの再構成が重要

目標崩壊点分解能

$$\sigma = 5 \oplus \frac{10}{p\beta \sin^2 \theta} (\mu m)$$

FPCCD崩壊点検出器

■ 崩壊点検出器

- 高い崩壊点分解能 → 衝突点近傍に設置
- 正確な飛跡再構成 → ピクセル占有率~1%

➤ ピクセルを高精細にする

■ FPCCD(FinePixelCCD)崩壊点検出器

ピクセルサイズ $5 \times 5 \mu\text{m}^2$

厚さ,有感: $15 \mu\text{m}$, Si $50 \mu\text{m}$

全空乏化

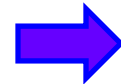
ダブルレイヤー3層構造

トレイン間読み出し

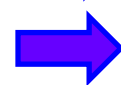
総ピクセル数: 1.6×10^{10}



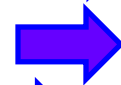
- 😊 高い位置分解能
- 😞 小信号



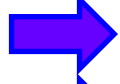
😊 多重散乱が少ない。



😊 高い2粒子分解能力



😊 バックグラウンド耐性

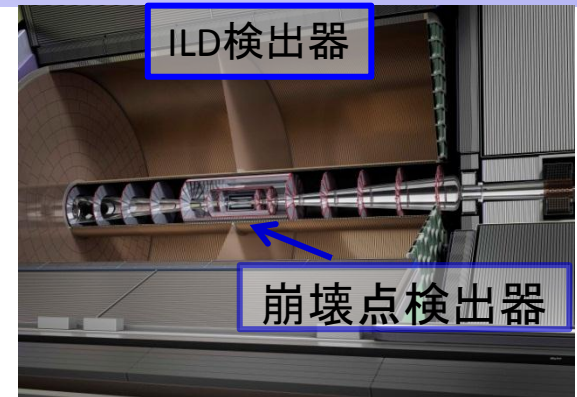


😊 ビーム由来高周波ノイズの影響ない

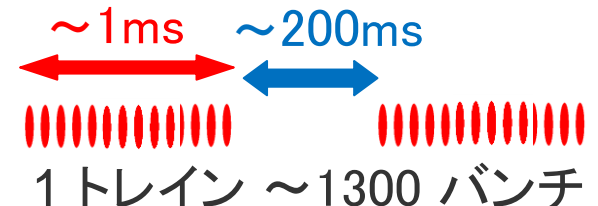


😞 高速読み出し

➤ FPCCD用読み出し回路及びCCDを開発



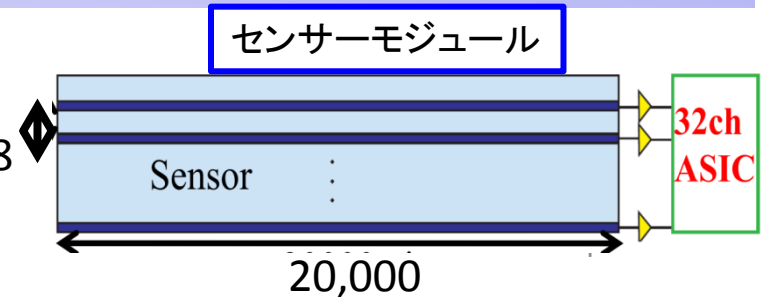
ビーム構造



CCDと読み出し回路への要求性能

■ 読み出し速度 > 10Mpix/sec

- トレイン間(200ms)で $1.6 \times 10^{10} \times 128$ pixelを6000ch並列読み出し
- $20,000 \times 128 / 200\text{ms}$



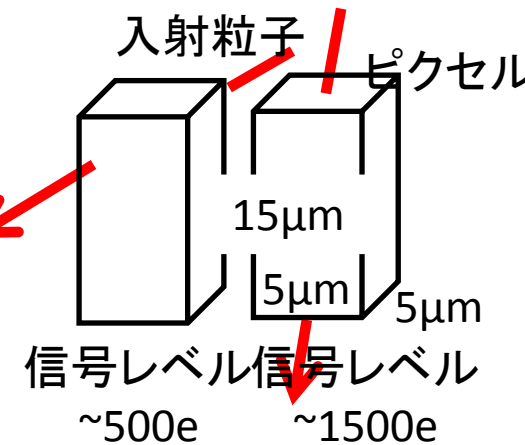
■ 信号測定精度 < 50電子相当

- 小さな信号レベル: ~500電子
- ノイズレベル + AD変換精度 < 50電子相当

■ 消費電力 < 6mW/ch (ASIC)

< 10mW/ch (CCD)

- クライオスタット(-40°C)内に設置。
- 総消費電力 < 100W



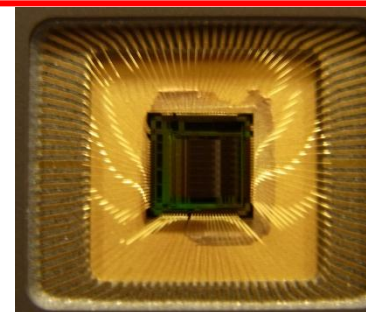
➤ 全ての要求を満たす読み出し回路及びCCDを開発

二次試作読み出し回路と CCD,ASIC評価セットアップ

■ 第二次試作完成品

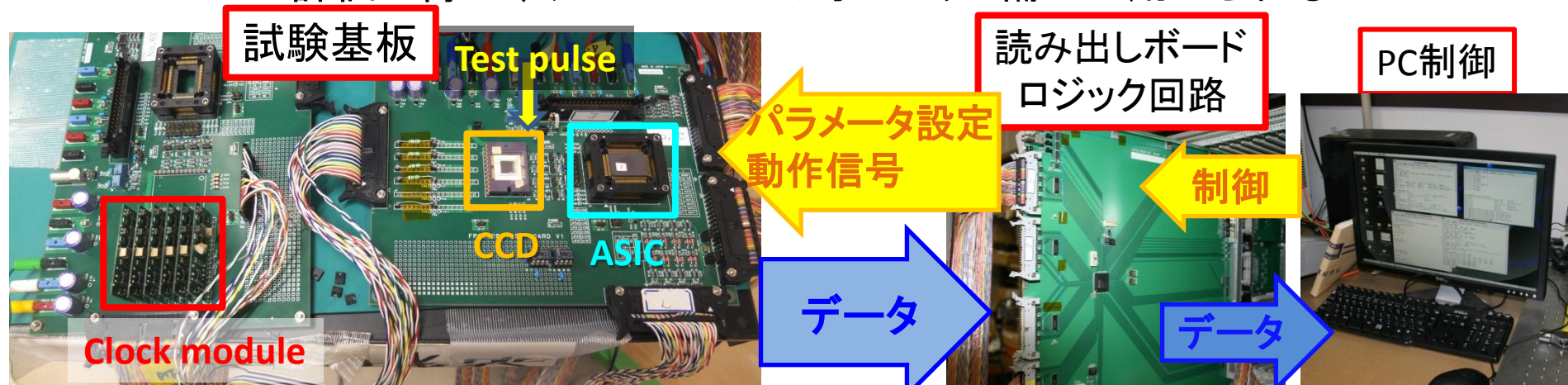
- 0.35umTSMCプロセス
- ASICチャンネル数: 8 ch
- チップサイズ: 4.3mm × 4.3mm
- 信号 8 ビット(10CK/conversion, 100MHz CK)

二次試作回路実機



■ CCD,ASIC評価のためのセットアップ

- VMEバス経由データ転送
- CCDの信号を模擬したテストパルス信号を送ってASICの評価
- CCD評価の際は、テストパルスはオフセット補正に用いられる



二次試作読み出し回路評価結果

■消費電力: 30.9 mW/ch

■読み出し速度 : 10Mpix/s の動作確認

■読み出し精度/ノイズ

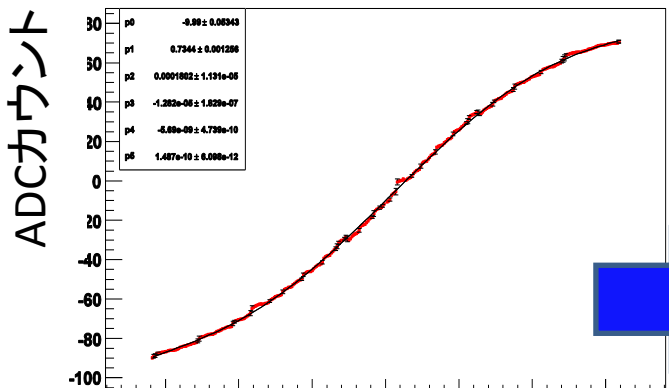
- ノイズ:ペDESTAL分布

- 出力→入力の変換精度: 微分非直線性 $\equiv f(x) - data(x)$

x : 入力電圧
 $f(x)$: フィット線
 $data(x)$: ADC出力

$\sqrt{\text{入力換算精度}^2 + \text{ノイズ}^2} = 16 \text{電子相当} < 30 \text{電子}$ 要求性能を満たす。

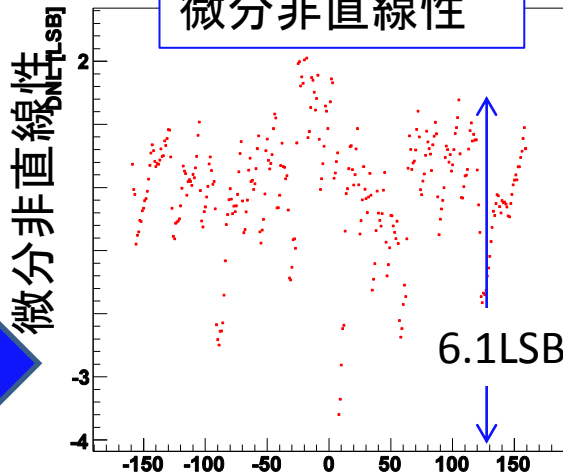
入力電圧vsADCカウント



テストパルス入力電圧(mV)

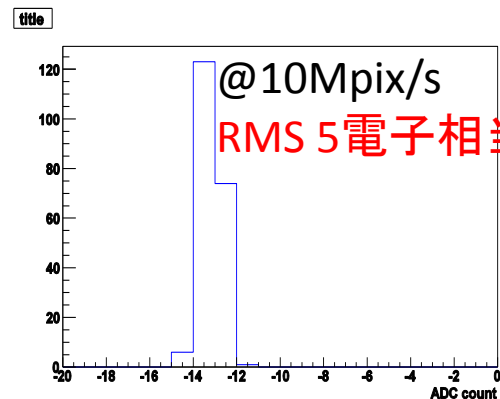
Graph

微分非直線性



テストパルス入力電圧(mV)

-40°CでのペDESTAL分布



ADCカウント

FPCCD + ASIC評価項目

■ FPCCD センサー試作プロトタイプ

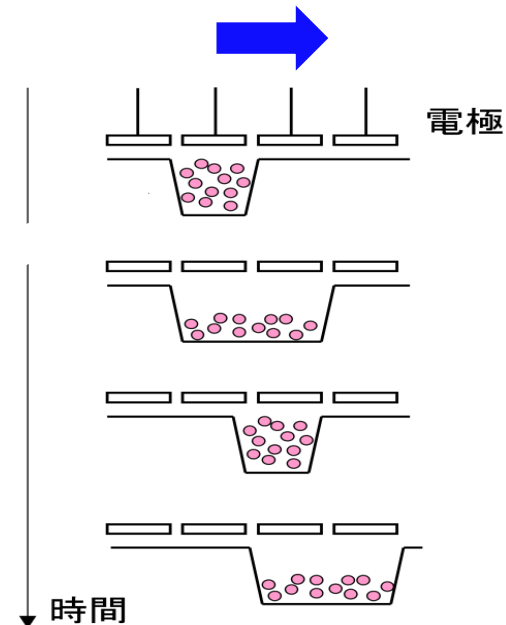
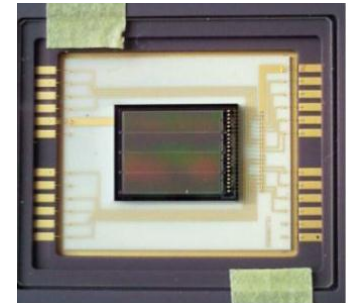
- 浜松ホトニクス製作 二相転送方式CCD
- チップサイズ: 8.2mm(H)x7.5mm(V)
- ピクセルサイズ: 12umx12um
- 厚さ: 有感領域 15um, Si層トータル 50um
- チャンネル数: 4 ch

■ FPCCD評価項目 (@2.5Mpix/s)

- ペDESTAL: ノイズ評価
- Sr90 β線源: 電荷分布の確認
- Fe55 X線源: S/N, エネルギー分解能

CTI(Charge Transfer Inefficiency)
1回の転送当たり損失する電荷量

FPCCD試作プロトタイプ



ペDESTAL分布によるノイズ評価

■ ダークカレント:

— hot pixel ($Q_{\text{hotpixel}} > 5\sigma_{\text{ccd}} + \langle Q_{\text{ccd}} \rangle$)の

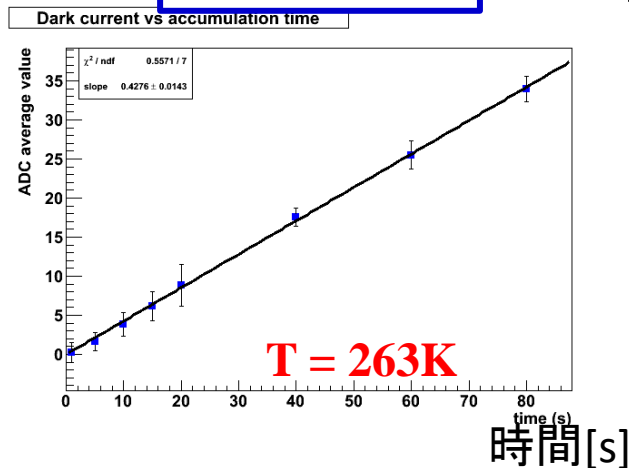
時間依存性、温度依存性がよく理解できている

— ILC稼働環境下(200ms, -40°C)で、ダークカレント抑えられている

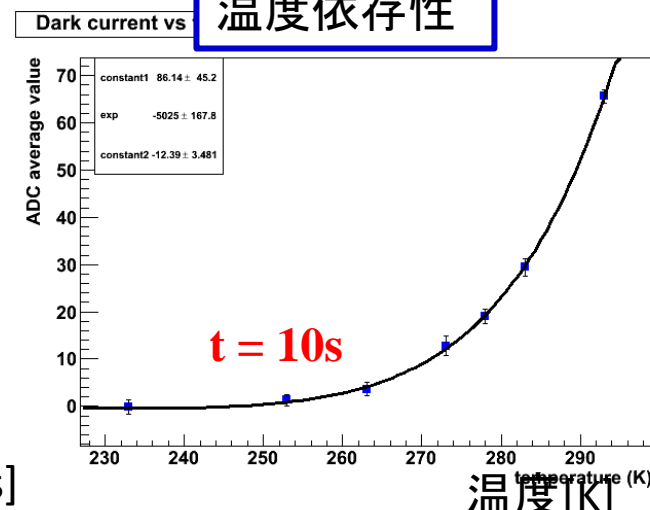
■ ペDESTAL分布: $\sigma_{(\text{dummy pixel})} \doteq \sigma_{(\text{active pixel})} @ -40^\circ\text{C}$

ノイズ: ~55電子(ASIC 単独テスト16電子)

時間依存性



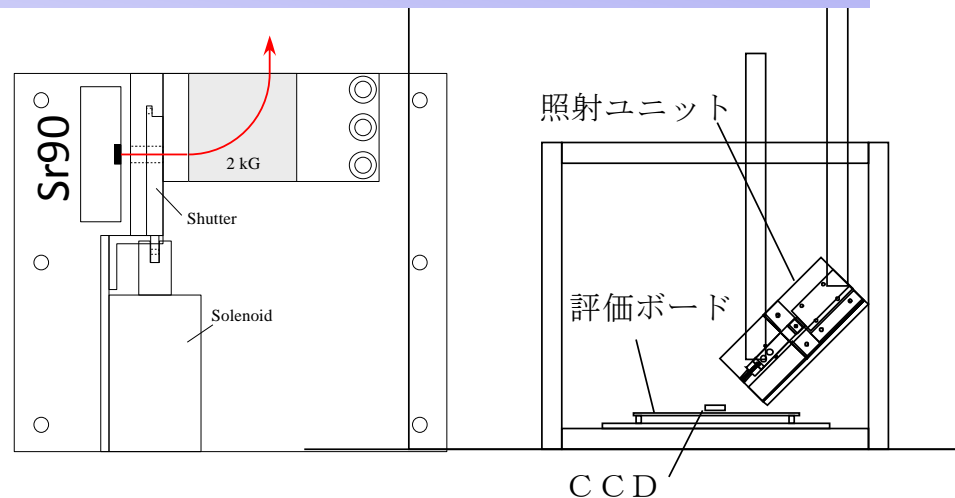
温度依存性



Sr90 β 線 測定

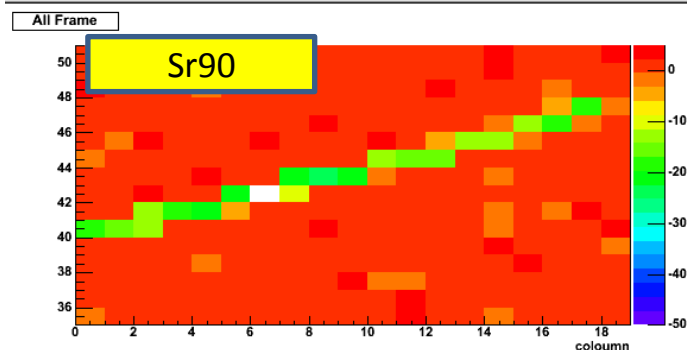
■ Setup

照射ユニット: 2MeV β 線を選択。



■ Sr90 (~10°C, 2.5Mpix/s)

- 2MeV β 線で電荷分布を調べた
- 隣のピクセルへの染み出しが少ない



Fe55 X線 測定

■ 環境

— 照射時間10秒、 -40°C , 3000 frame

■ S/N : 37

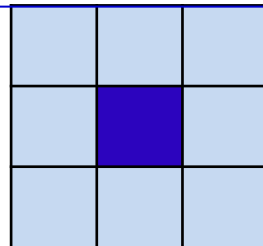
Single pixel hit 抽出時

■ エネルギー分解能: 120 eV

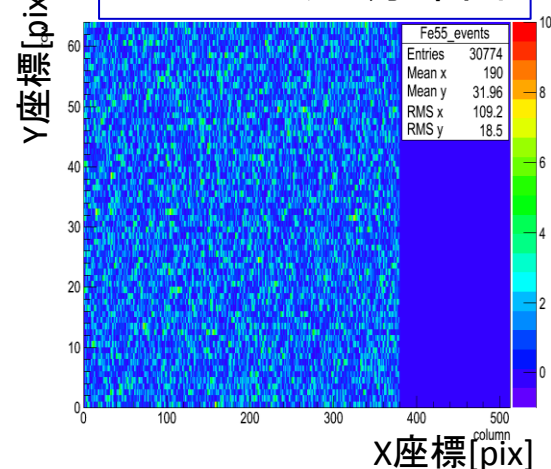
高いS/N, エネルギー分解能

➤ 高感度, 低雑音検出器

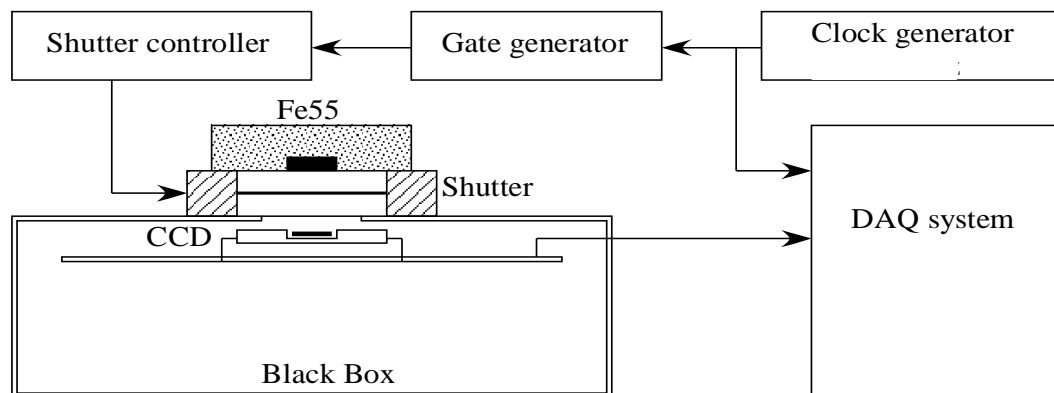
Single pixel hit



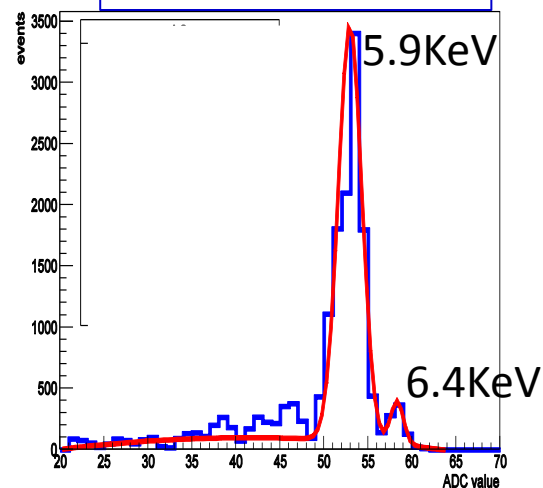
Fe55のヒット分布図



セットアップ



Fe55 スペクトラム



Fe55を用いたCTI測定方法

■ CTI(Charge Transfer Inefficiency)

高感度のためには、転送効率が高くなければならない。

転送効率が影響される放射線耐性の評価で基準としても利用。

$$CTI \equiv -\frac{1}{Q_0} \frac{dQ_n}{dn_x}$$

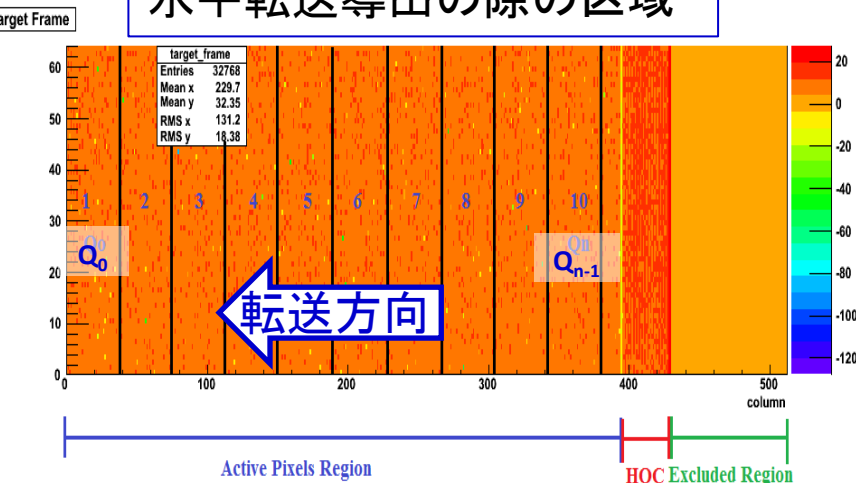
Q_n : 区域別の測定信号量

Q_0 : 最もampに近い区域の信号

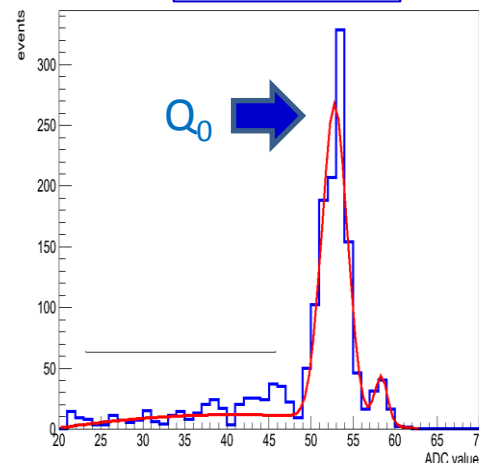
CTI : 転送1回当りの信号損失量

$$Q_n = Q_0 - CTI * n_x$$

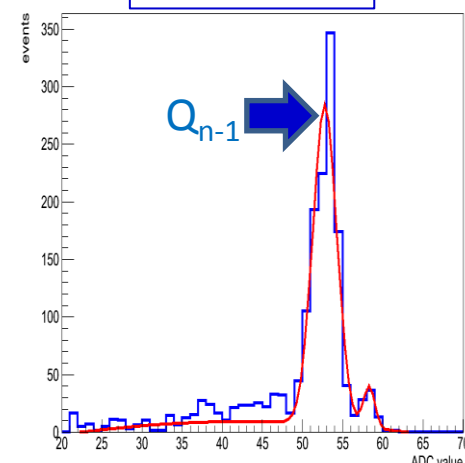
水平転送導出の際の区域



Section 1



Section 10



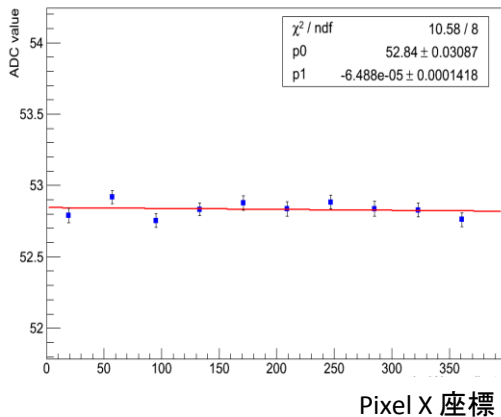
Fe55を用いたCTI測定結果

■ 転送効率

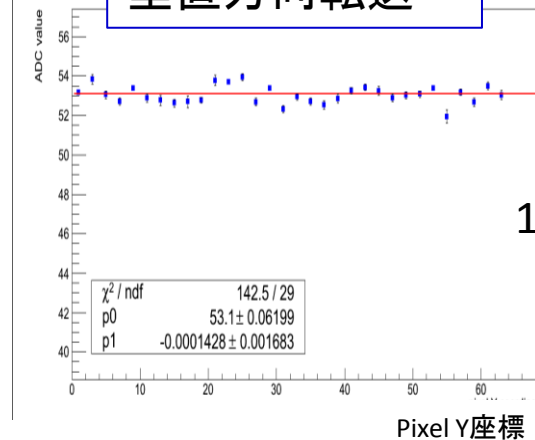
有為なinefficiencyは見られなかった。

ILC実機センサーモジュール1ch内で最も転送の多い末端pixelの

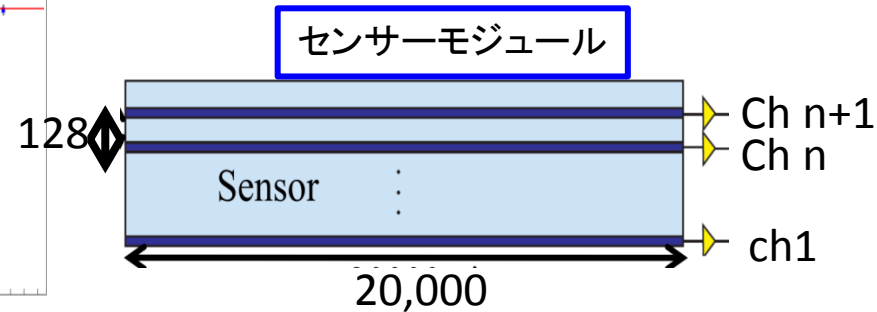
水平方向転送



垂直方向転送



転送効率は97.9 %



転送方式	CTI	CTE (%)
水平	$(1.2 \pm 2.7) \times 10^{-6}$	98.0 \pm 6.0 20,000回転送
垂直	$(0.3 \pm 3.1) \times 10^{-5}$	99.9 \pm 0.4 128回転送

1ch末端pixelの転送効率
97.9 %

まとめと今後の予定

■二次試作読み出し回路,12um角試作CCDの評価結果

ASIC: 😊 ノイズ16電子相当, 10Mpix/s

😞 消費電力30.9mW/ch

ASIC+CCD (pedestal): 😊 ノイズ、ダークカレント抑えられている

(Sr90): 😊 電荷の染み出し少ない

(Fe55): 😊 高いS/N, 低いCTI

■今後

—新しい三次試作回路の評価(現在、評価中)

低消費電力、高速安定化、積分非直線性の改善etc..

—8um角CCD,大型ウエハ-CCDの評価

—ビームテストによる放射線耐性試験

—ビームテストによる位置分解能の導出

第三次試作回路

