

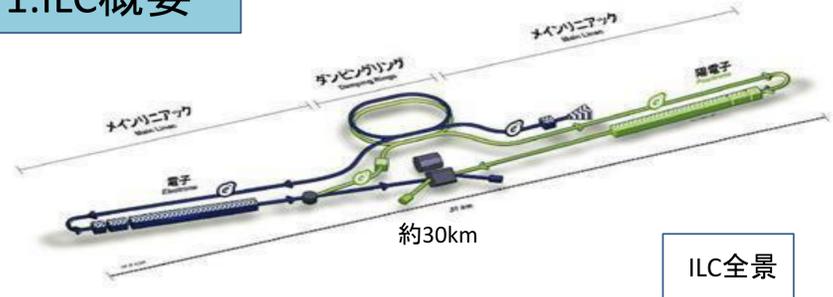
# 国際リニアコライダー(ILC)における崩壊点検出器FPCCDの研究

2013 三者若手夏の学校@愛知県蒲郡市 ホテルたつき

東北大学大学院 理学研究科 伊藤周平



## 1. ILC概要

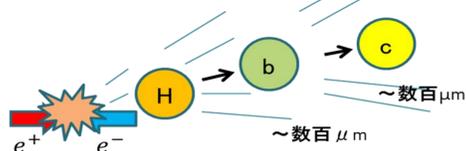
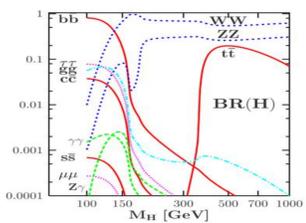


現在到達する最高エネルギーで、電子と陽電子を衝突させる線形型の加速器実験計画。主な目的はヒッグス粒子、トップクォークの性質の精密測定、また標準理論を超えた新粒子の探索などがある。LHCと比べ、レプトンコライダーのためよりクリーンな環境での解析が可能という特徴がある。ILC計画を進めるためにアジア、ヨーロッパ、米国など世界中の研究者が協力しながら研究が進められている。

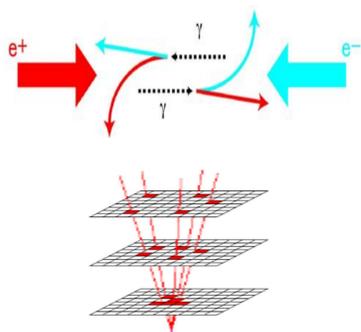
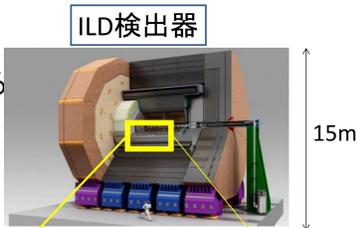
重心エネルギー: 250~500GeV(アップグレード後: 1TeV)  
 ルミノシティ:  $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$   
 全長: 31km (アップグレード後50km)  
 建設地: 未定(日本の東北地方の北上山地、九州地方の脊振山地が有力)

## 2. 崩壊点検出器

質量125GeVのヒッグス粒子はbクォーク、cクォークに多く崩壊する。そのためヒッグス粒子の精密測定のためには高精度でbクォーク、cクォークを同定する必要がある。崩壊点検出器には~数 $\mu\text{m}$ の精度が求められる。



- 高い位置分解能をめざすため崩壊点検出器はIPの近傍に設置される。次のようなジオメトリになる
- ILD検出器の最内層に置かれる
    - 第一層はIPから16mm
  - 多重クーロン散乱をおさえるためセンサー層サポート層をうすくする。
  - 2重層構造×3層
    - クラスター形状からBGをとりのぞくことができる



- 課題
- ⊙ IPに近いため大量の放射線にさらされる → 放射線耐性が重要になってくる
  - ⊙ IPに近いためバックグラウンド密度が高い → ピクセル占有率が高いと飛跡の再構成は難しい

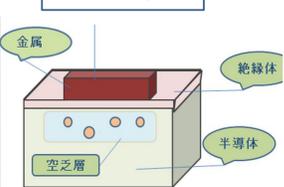
$$\text{ピクセル占有率} = \frac{\text{反応したピクセル数}}{\text{全ピクセル数}}$$

- 解決策
- ビームトレイン内で数十回の読み出し → ビーム由来のノイズが問題になる
  - ピクセルサイズを小さくして占有率を下げトレイン間隔での読み出し → **FPCCD検出器**

## 3. FPCCD検出器

Fine Pixel Charge Coupled Device  
 CCD転送技術を用いた高精細なピクセル検出器

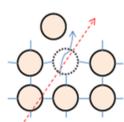
CCDの原理



- MOS構造 (Metal Oxide Semiconductor)
- バケツリレー方式で電荷を次々と転送していく

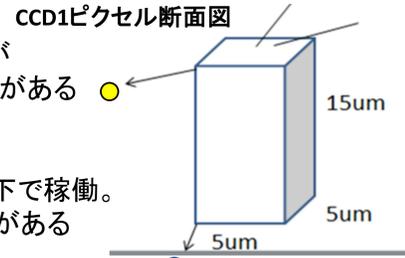
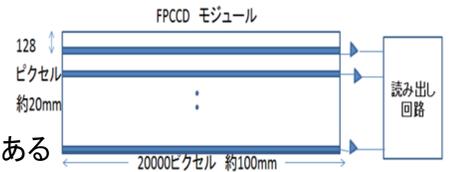
- ⊙ 位置分解能がよい(~1 $\mu\text{m}$ )
- ⊙ ピクセルに多くヒットするようなバックグラウンドを除去できる → 運動量の小さいBGはピクセルに浅く多数ヒットする
- ⊙ トレイン内で読み出す際のノイズの影響がない
- ⊙ 電荷を転送後アンプで増幅するため画素間の信号のバラつきを抑えられる
- ⊙ Si検出器は放射線ダメージに対して敏感 → 「格子欠陥」「トラップ準位」が発生してしまう
- ⊙ ピクセル数が多いので転送回数が増える → 電荷信号がトラップされる頻度が増えてしまう

- ピクセルサイズ: 5 $\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$
- 有感層の厚さ: 15 $\mu\text{m}$
- 総ピクセル数: 約  $10^{10}$ ピクセル

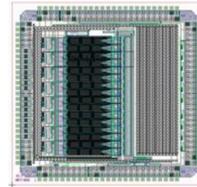


## 4. 要求性能

- 読み出し速度 > 10Mpixel/s(100MHz)  
 トレイン間隔約200msで1チャンネルあたり20000×128のピクセル読み出しする必要がある
- 検出器全体のノイズ < 50電子  
 読み出し回路のノイズ < 30電子  
 浅い角度で入射した粒子の場合、信号電荷が小さくなってしまいうためノイズを小さくする必要がある
- 全体の消費電力 < 100W  
 読み出し回路の消費電力 < 6mW/ch  
 CCD転送効率のため、FPCCD検出器を-40°Cの下で稼働。その温度を保つために消費電力を抑える必要がある



3次試作回路



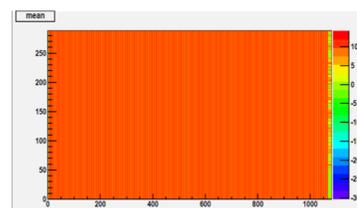
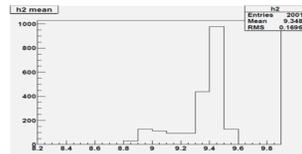
性能評価  
 読み出し速度: 120MHz  
 ノイズ: 12電子  
 消費電力: 5.8mW/ch

OK!

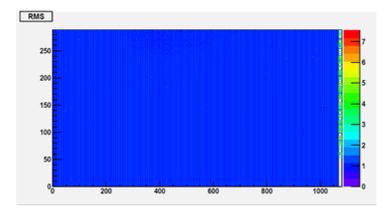
## 5. 信号読み出し

- 6 $\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ ピクセルの試作CCDが完成
- ベDESTAL信号の読み出しをおこなった

6 $\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$  FPCCDプロトタイプ



2000イベントまわした各ピクセルmean

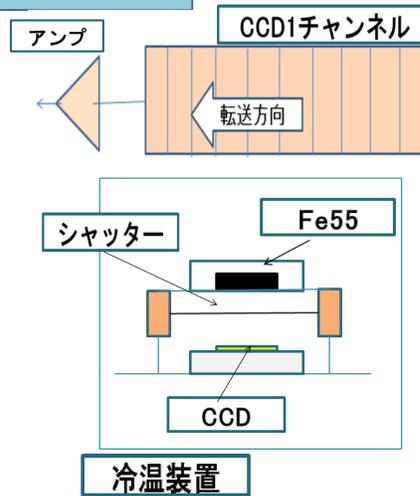


2000イベントまわした各ピクセルRMS

6 $\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ ピクセル試作CCDを用いてベDESTALを読み出すことができた信号は飽和することなくmean、RMSともすべてのピクセルでほぼ一樣なことがわかる

## 6. CTI測定

CTI (Charge Transfer Inefficiency)

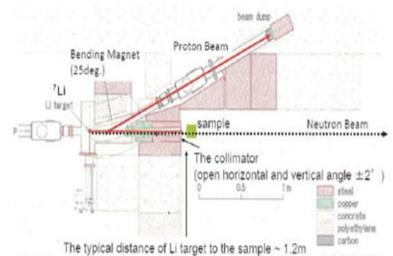


- 転送効率の指標
  - アンプから遠いほど転送回数が増える → そのため信号電荷がトラップ準位に捕まる頻度が増えると考えられる。
  - 1チャンネルを10チャンネルほどのセクションにわけて信号電荷を比較
- Fe55が $\gamma$ 線を放射、CCD内で約1600電子を生成する
  - 荷電粒子が入射する状況を再現する
  - 4秒照射し1秒読み出しのためにシャッターをとじる
  - CTIの温度依存性を測定していく

現在測定中

## 7. 中性子ダメージ耐性測定

- 目的
  - 放射線ダメージによるCTIの変化の測定
- セットアップ
  - プロトンビーム70MeVをLiターゲットに照射し  $0.9 \times 10^{10} \text{ n/sr}/\mu\text{A}/\text{sec}$  の中性子を生成、CCDに照射する。
- 今年10月に東北大学でおこなう予定



## 8. まとめ & 今後

- FPCCD検出器はILD検出器の崩壊点検出器として有力な候補
- それはピクセル数を多くすることでピクセル占有率を下げられるため
- 今後
  - ベDESTALが読み出せたので10月の予定される中性子ダメージ測定に向けてCTI、ホットピクセル、温度依存性などを測定していく