

FPCCDのための試作CCD性能検査

東北大学 B4 泉谷義寿

A decorative graphic consisting of several horizontal lines of varying lengths and colors (teal and white) extending from the right side of the slide towards the center.

目次

- ILC 国際リニアコライダー
- FPCCD崩壊点検出器
- CCDイメージセンサ
 - 電荷の蓄積
 - 電荷の転送
 - 電荷の検出(電荷→電圧変換)
- CCD性能検査
 - 実験set up
 - CCD駆動試験
 - CCD消費電力
 - 2012年度試作CCD動作確認
- まとめ

ILC 国際リニアコライダー

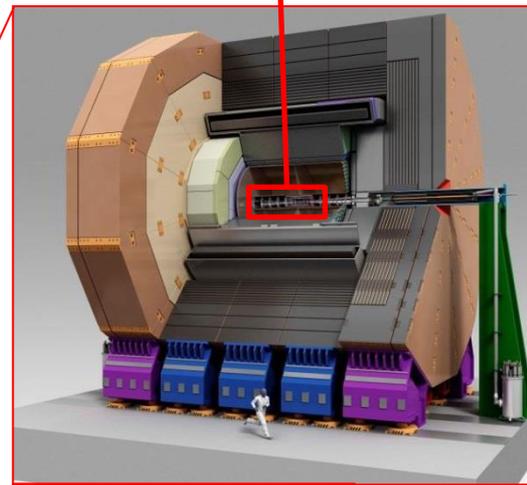
ILCとは

- 電子と陽電子を衝突させる線形の加速器
- 全長：約30 km
- 重心エネルギー：250～500GeV
- ルミノシティ： $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

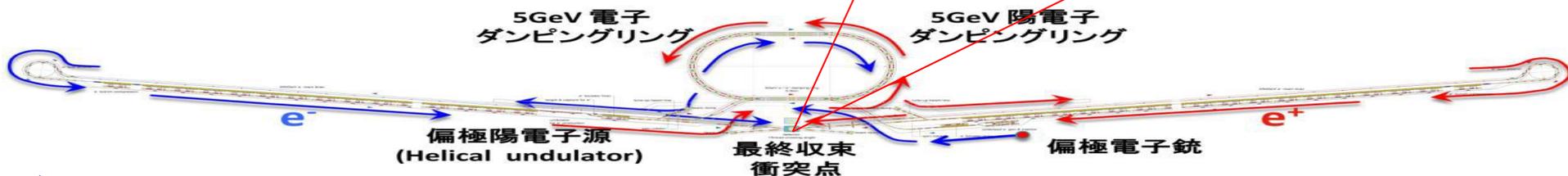
ILCの目的

- ヒッグス粒子の精密測定
- 超対称性模型・余剰次元・リトルヒッグスなどの新物理の検証

バーテックス検出器



ILC測定器



精密測定のために高精度なフレーバータグが必要

高精度な崩壊点検出器

FP(Fine Pixel)CCD崩壊点検出器

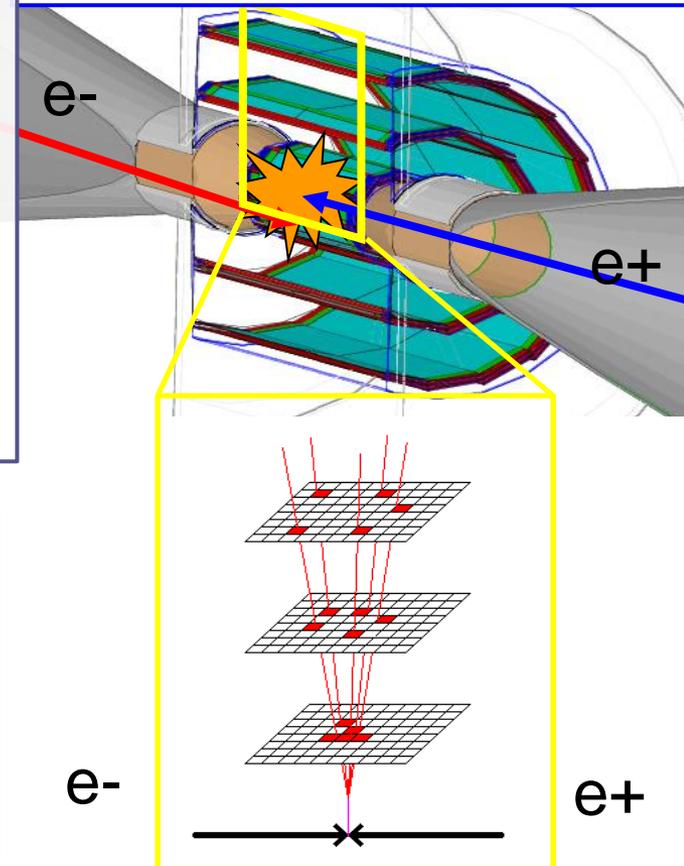
FPCCD崩壊点検出器とは

- ピクセルサイズ: $5 \times 5 \mu\text{m}^2$
- 有感領域の厚み: $15 \mu\text{m}$
- 総読み出しチャンネル数 6,080ch
- 総ピクセル数: 1.6×10^{10}

FPCCDの目的

- 小さいピクセルを利用することでピクセル占有率を下げ、飛跡を探しやすく崩壊点を精度よく求める
良い崩壊点検出器

FPCCD バーテックス検出器



but

ピクセルが小さいと信号も小さく、低ノイズでなければならない

so

微細なピクセル、低ノイズが長所のCCD技術を採用

CCDイメージセンサ

CCDイメージセンサ概要

撮像領域

CCDとは？

- **CCDイメージセンサ**は固体撮像素子のひとつで、ビデオカメラ、デジタルカメラなどに広く使用されている半導体素子

CCDの目的

- 光や荷電粒子を順次読み出し、転送・増幅・読み出しを一か所で行う

CCDの概要

- 信号電荷生成→電荷を溜める→垂直転送
→水平転送→信号電圧に変換→ASICによる信号を処理

垂直レジスタ

電荷検出

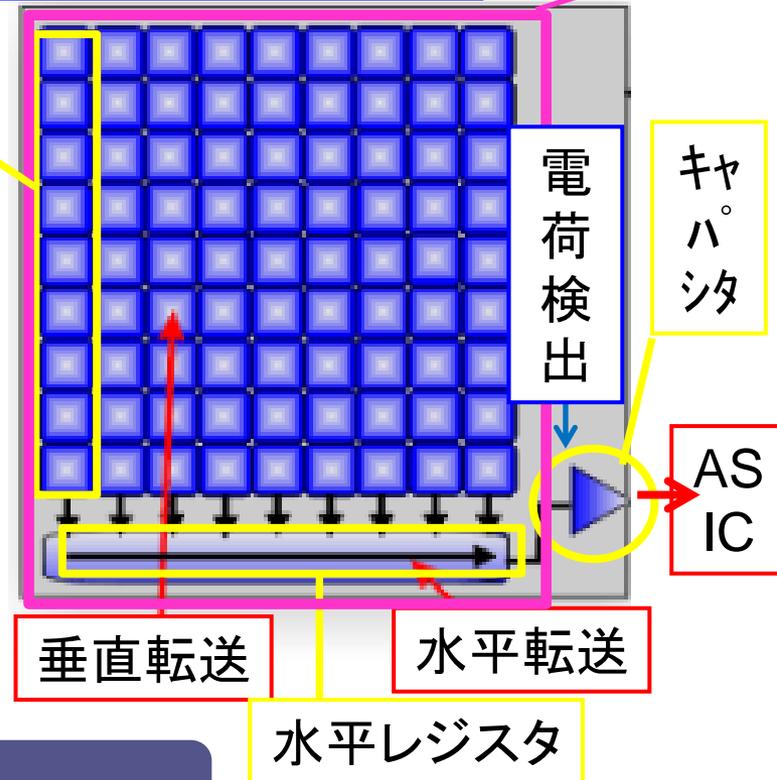
キャパシタ

ASIC

垂直転送

水平転送

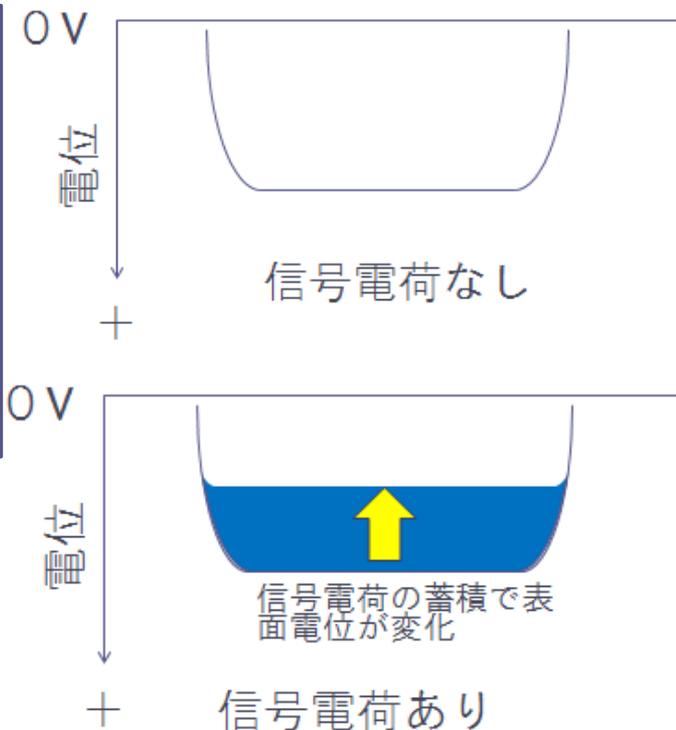
水平レジスタ



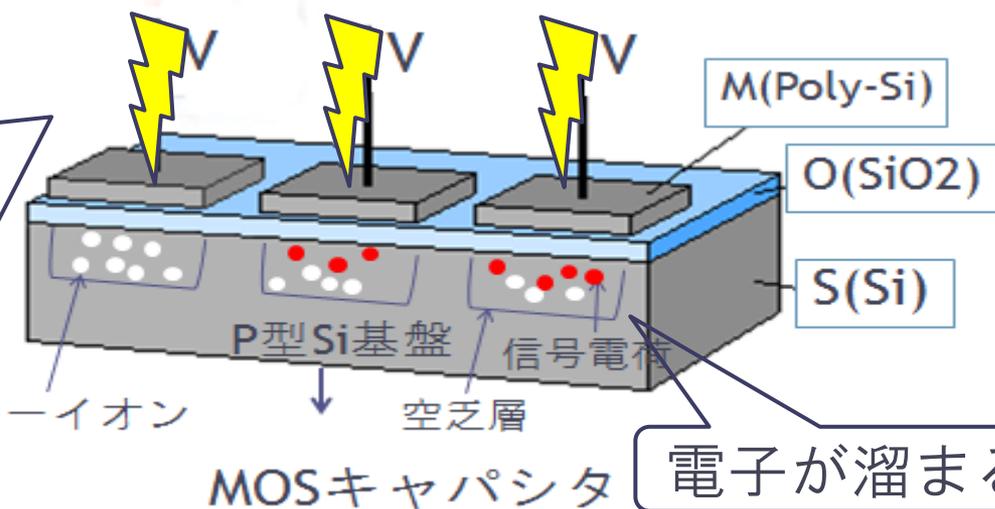
電荷の蓄積

電荷の蓄積

- 信号電荷を集めて出力するまで、溜めておくことが目的
- 基盤裏面を接地、電極に正の電圧をかける→電位の井戸で電子を蓄積可能



正の電圧かける



電子が溜まる

電子は高い電位に引き寄せられるので、高い電位から溜まる

電荷の転送

電荷の転送

- キャパシタにかける電圧をコントロールして電位の井戸を移動する

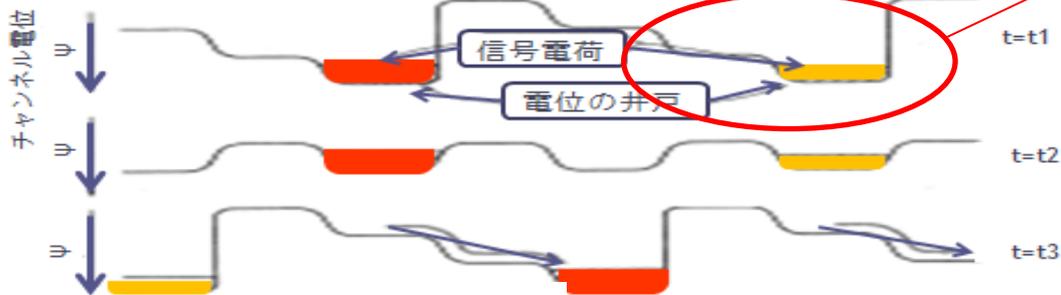
a) MOSキャパシタの構造

二つの端子に接続された電極が交互に配置



二つの電極が電氣的に接続

半導体中の不純物の濃度差によって右の電極が常に左の電極より高い電位を持つ



b) 電荷分布

この転送の制御を駆動パルスで行う

電荷の検出(電荷→電圧変換)

電荷の検出(電荷→電圧変換)

- キャパシタに電荷を送る
- キャパシタに送られてきた信号電荷が電圧の変化になる
- キャパシタの電荷をリセットする

信号電荷量

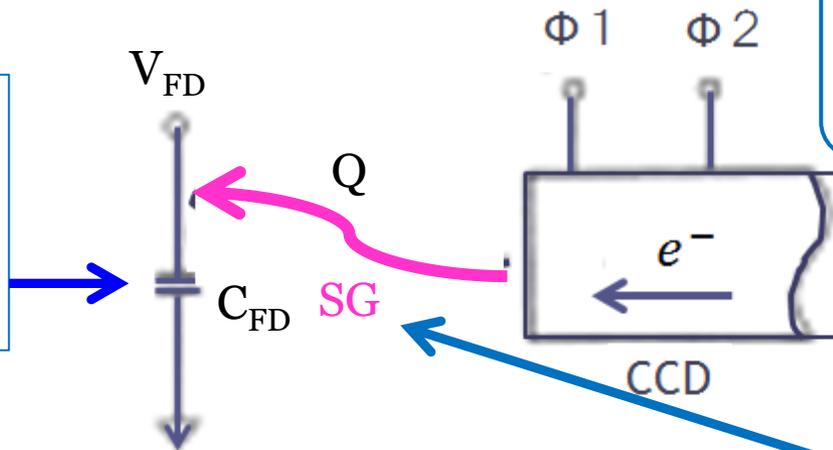
$$\Delta V_{FD} = \frac{Q}{C_{FD}}$$

電圧変化

キャパシタの容量

キャパシタの両端の電圧は、蓄積された電荷量に比例

キャパシタを
リセットする→
リセットゲート
(RG)

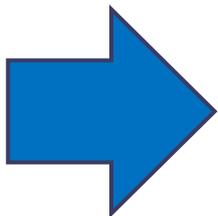


信号電荷を
キャパシタに入れる
→サミングゲート(SG)

CCD性能検査

実験

- FPCCDのための $6 \times 6 \mu\text{m}^2$ CCD試作品の性能検査
 - CCDの消費電力測定
 - 2012年度CCD試作品の動作チェック



少しずつ改良していずれは $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ のFPCCDを実現させたい

CCDと読み出し回路を動かすための新しいSET UP

インターフェースボード
→ノイズの影響を抑え、
高速信号のやり取りも
スムーズに行う

PC

Focus!!

CCD

ASIC

テストボード
→CCD,ASICをテスト
する為のボード

読み出しボード
→CCD,ASICからの信号
の送受信を行う。
さらにPCとのデータの
送受信を行う。

- ・テストボードと読み出しボードによりデータの送受信が行われ、高速かつ低ノイズ送受信のためにインターフェースボードがある

- ・テストボードとインターフェースボードは自作品、ノイズを抑えるために分離している

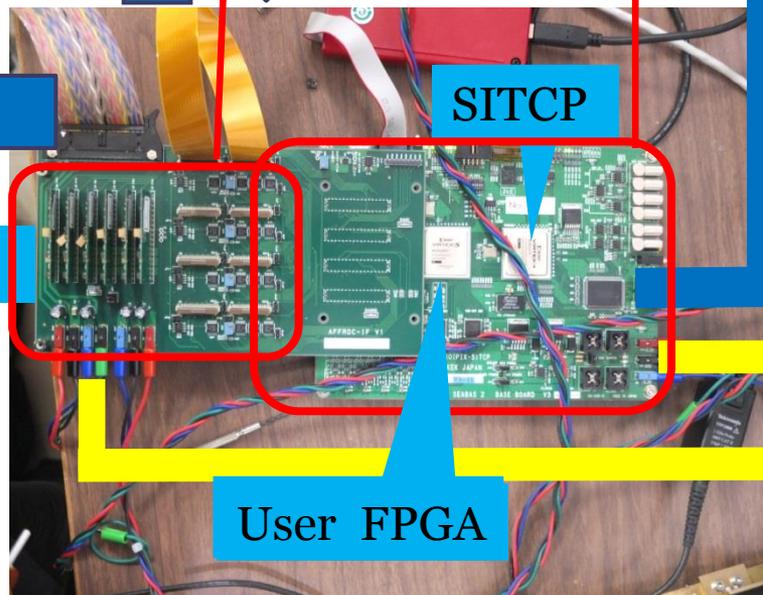
ドライバ

SITCP

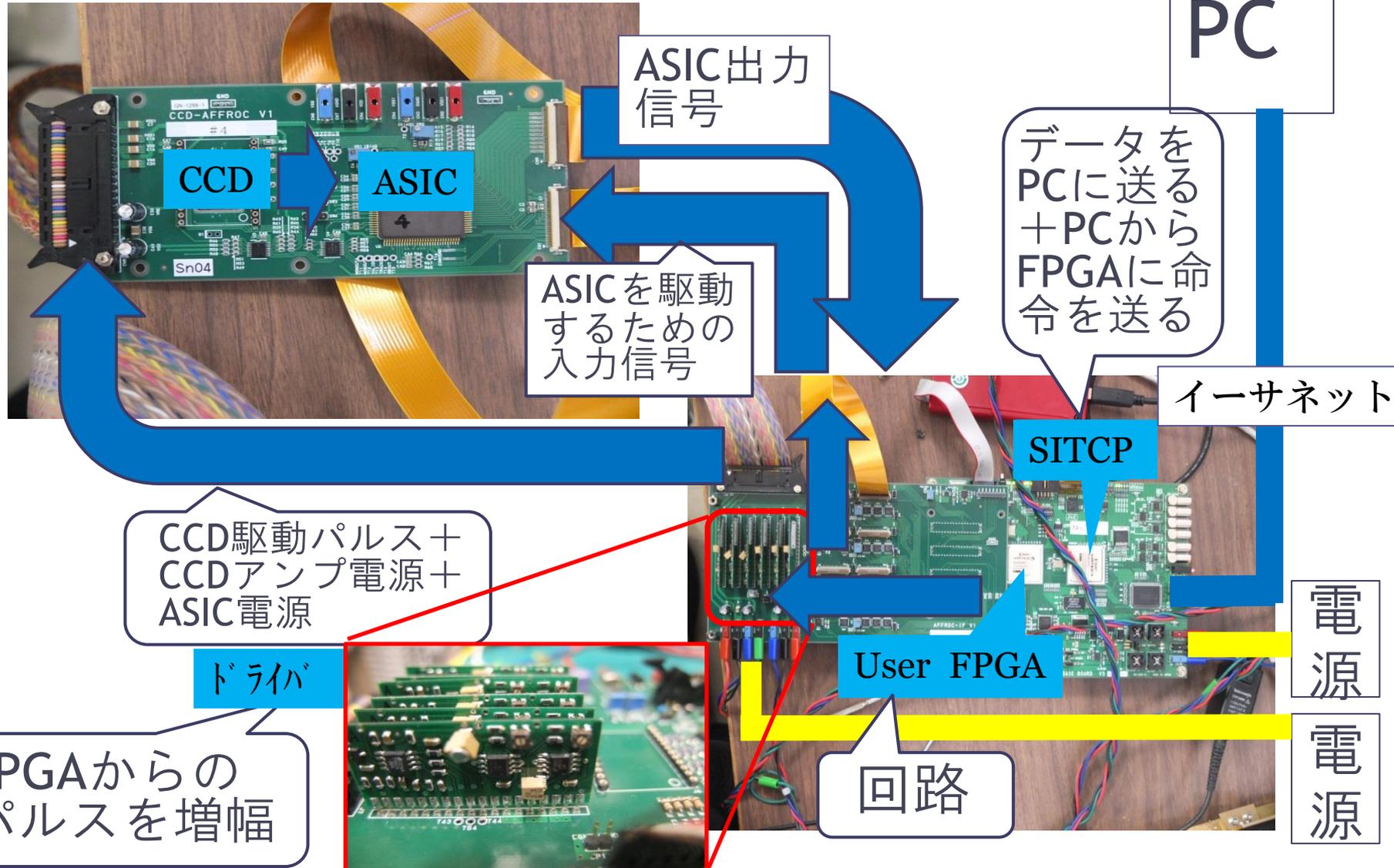
User FPGA

電源

電源



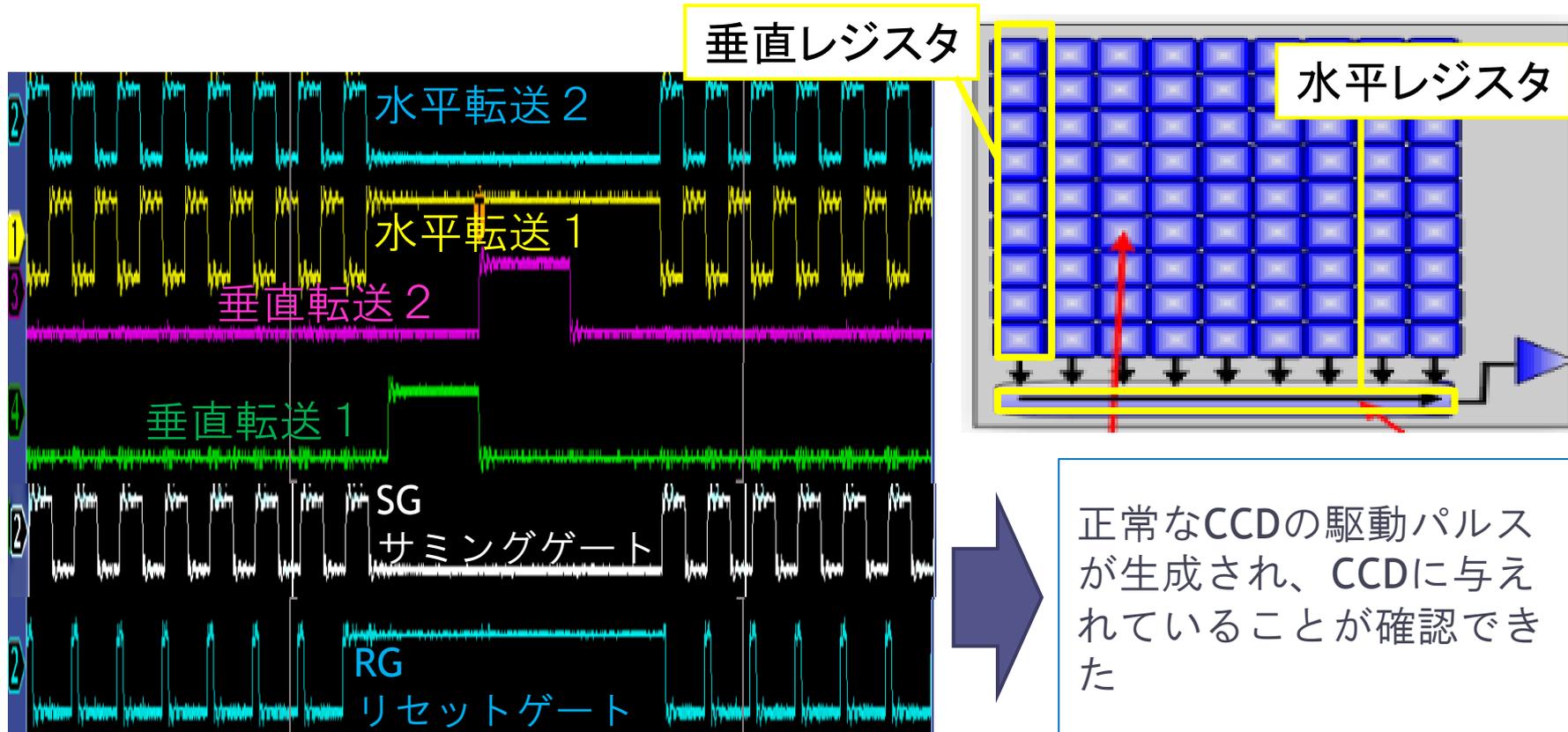
CCDと読み出し回路を動かすための新しいSET UP



CCD駆動パルス

CCD駆動パルス

- 実際にCCDを駆動するために送るパルスのタイミング



2012年度試作CCDの動作確認

方法

- オシロスコープでCCDの出力信号を光の有無について確認

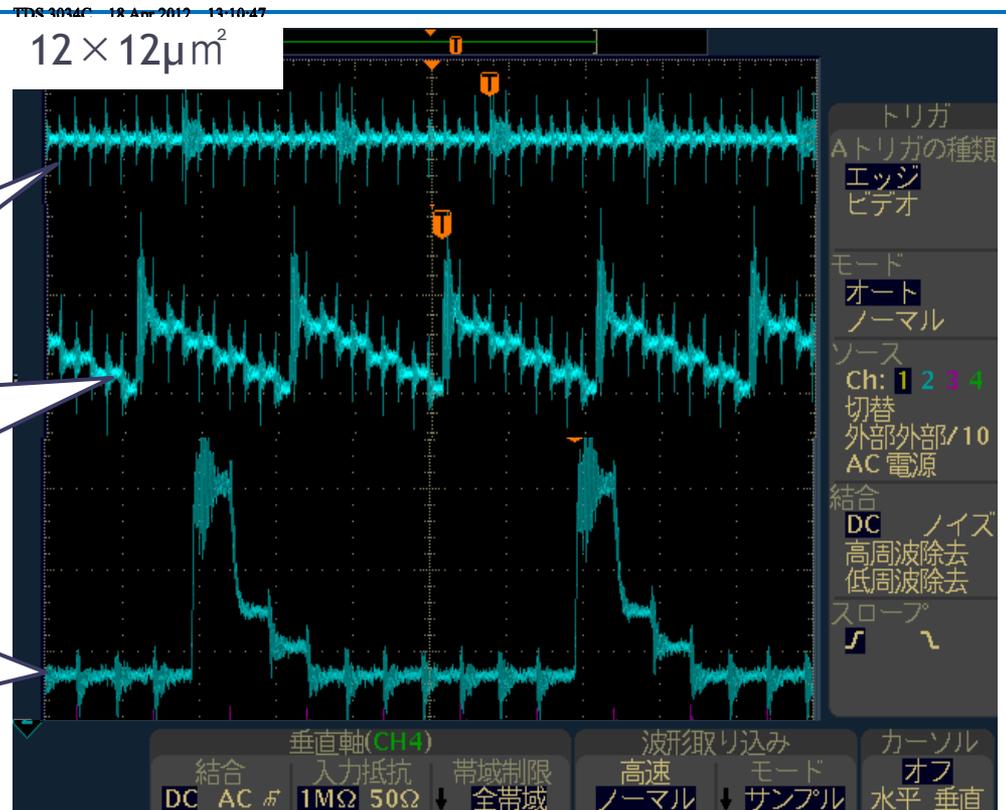
実際に欲しい結果

水平転送に対して5回
に1回のリセットの時

暗室：ノイズが見られるものの平坦

光弱：階段状のパルスで5転送分の信号を蓄積後にリセットがあったことを確認できる

光強：飽和が速くなり、5回の読み出しの前に飽和



2012年度試作CCDの動作確認

結果

- 新しいセットアップでCCDの受光・斜光の結果に変化が見られなかった。
- CCDの不具合なのか回路基板の不具合なのか判断できない

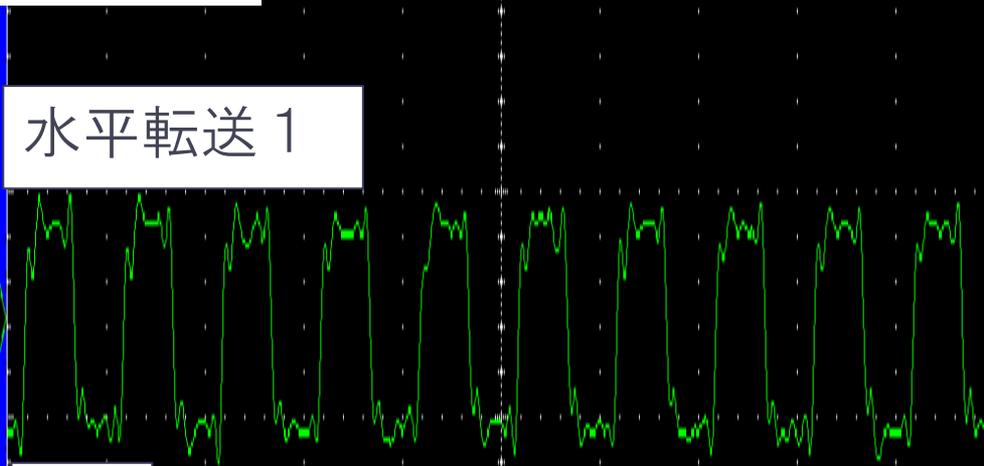
これから

- 過去に正常に動作を確認した回路基板でCCDの動作を確認し、不具合の原因追究する

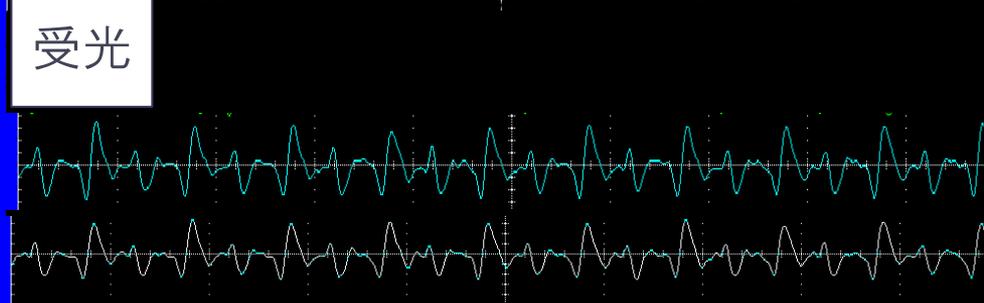
実際に得られた結果

$6 \times 6 \mu\text{m}^2$

水平転送 1



受光



斜光



CCDの消費電力測定

目的

- 要求消費電力に対しての
実際の使用消費電力を調べる

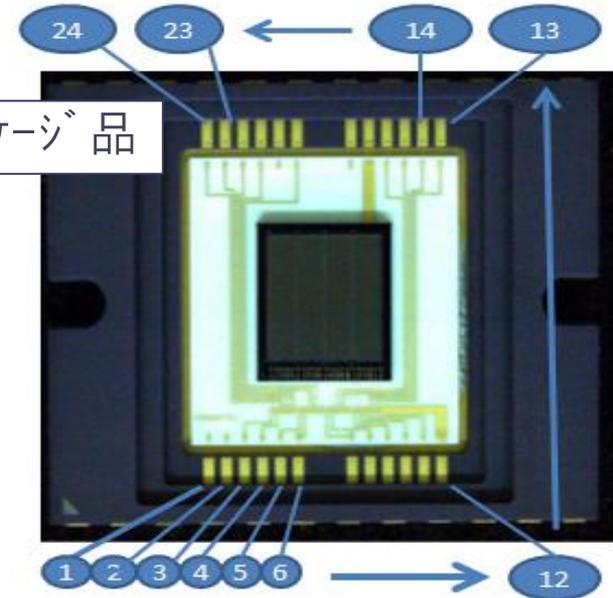
要求消費電力

- CCDは -40°C のクライオスタット内に設置
- 総消費電力 $<100\text{W}$ [6mW/ch (ASIC),
10mW/ch (CCD)]

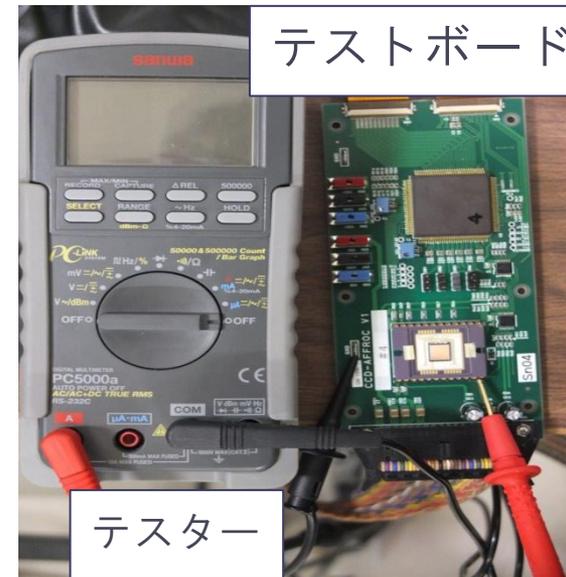
実際にやったこと

- 6つのCCDについてテスターで定常
電流・電圧を測定し、電力を求めた

CCDパッケージ品



テストボード



テスター

CCDの消費電力測定

結果

- 各chの読み出しアンプの消費電流が異なる
- アンプデザインがch毎に異なり、電流の流れないbad chを確認

問題

- 時間変化の激しい駆動パルスに依存する電流が測定できない

これから

- 定常電流だけでなく、クロックに依存する電流も合わせて測る必要がある
→オシロスコープの電流プローブを使って電流・電圧を同時に測定し、消費電力を求める

最終的には

消費電力の低い読み出しアンプを採用したい

まとめ

ILCでは精密測定のために高精度なフレーバータグが必要

高精度な崩壊点検出器として $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ のFPCCD

6×6 μm^2 CCD試作品の性能検査
→2012年度CCD試作品の動作check
→CCDの消費電力測定

→過去に正常に動作を確認した回路基板でCCDの動作を確認し、不具合の原因追究する

→オシロスコープの電流プローブを使って電流・電圧を同時に測定し、消費電力を求める

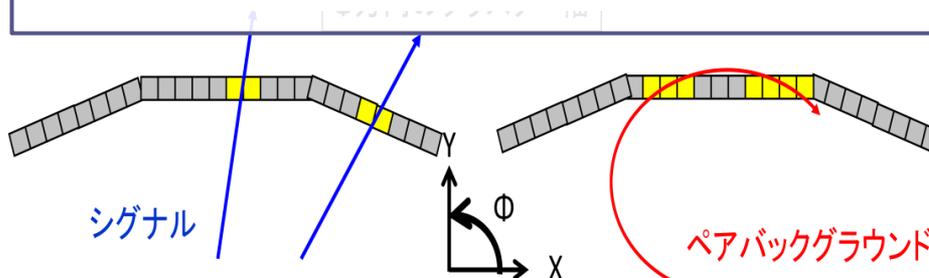
バックアップ

FPCCD崩壊点検出器

FPCCD崩壊点検出器の特徴

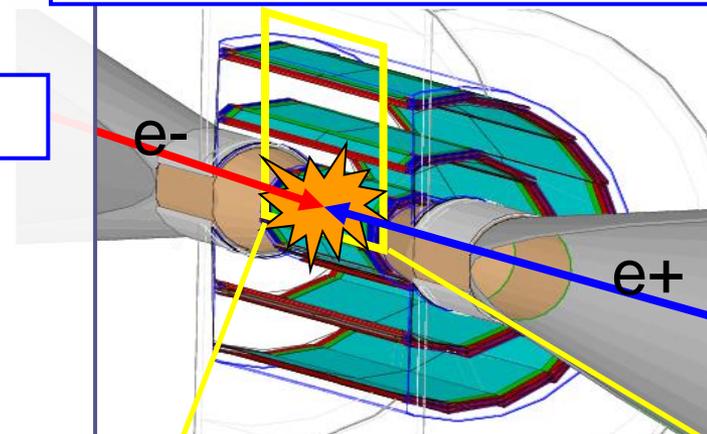
小ピクセルかつ低ノイズに抑えられる

- 高い位置分解能
- バックグラウンド耐性が強い。
→入射方向によるバックグラウンド除去
- 2粒子トラックの分解能力が高い
- 多重散乱が少ない。

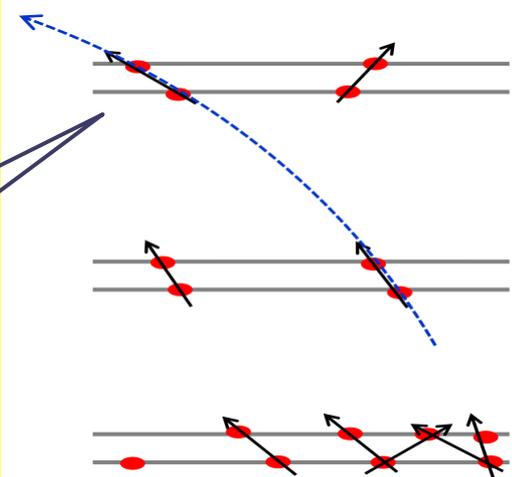


シグナルとバックグラウンド

FPCCD バーテックス検出器



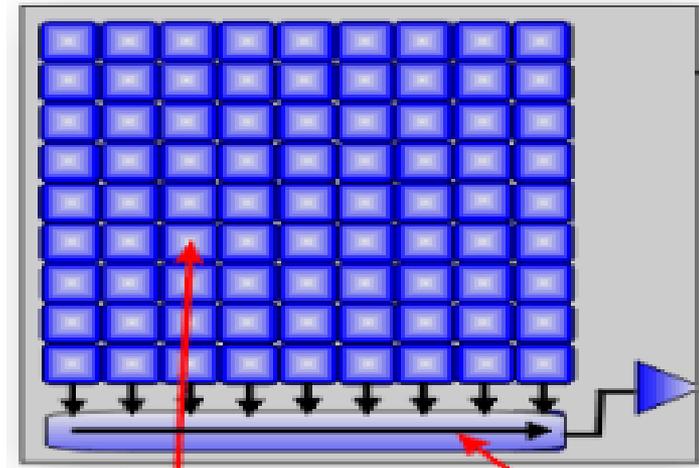
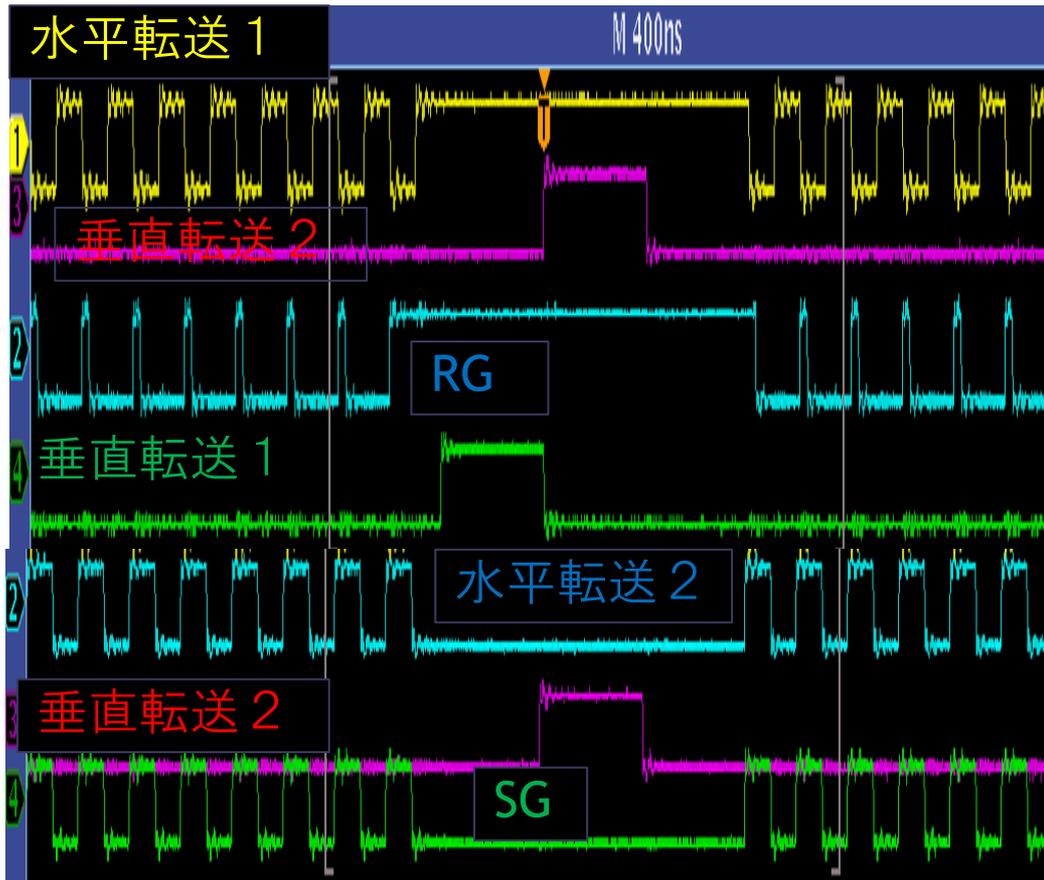
ダブルレイヤー3層構造



CCD駆動パルス

CCD駆動パルス

- 実際にCCDを駆動するために送るパルスのタイミング



正常なCCDの駆動パルスが生成され、CCDにちゃんと付与されていることが確認できた

