

# 陰イオンガスTPCのピクセル読み出し のためのエレクトロニクス開発

神戸大 東野 聡

2022年 11月 23日



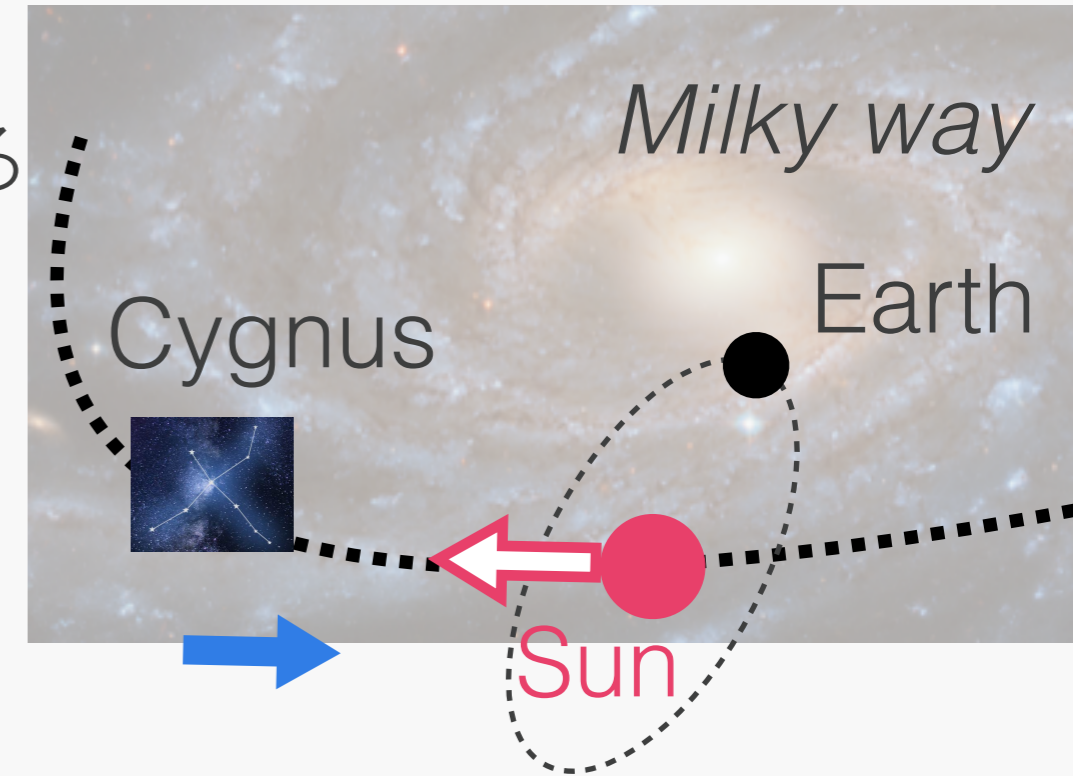
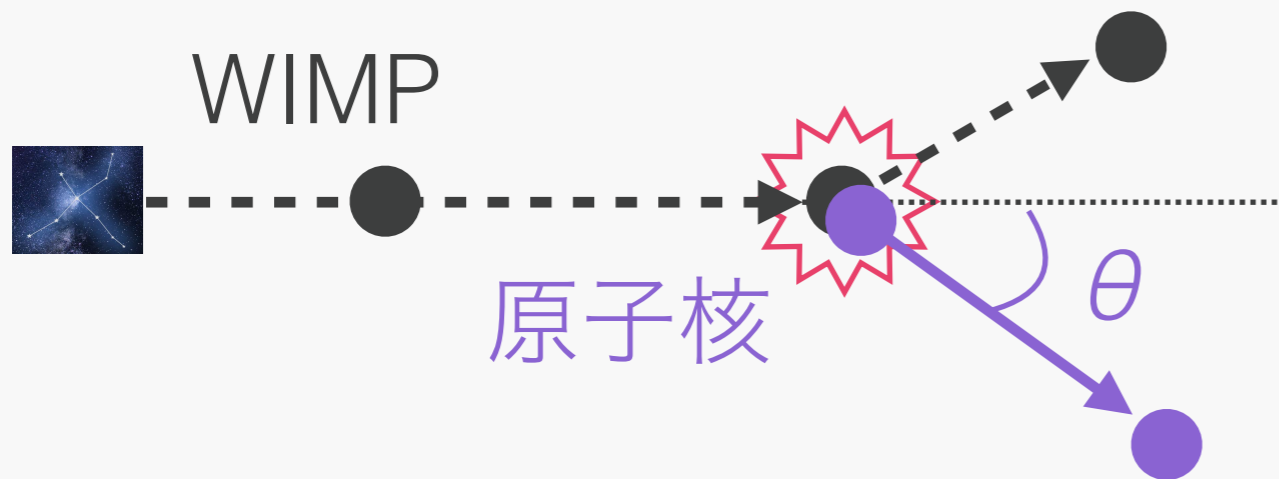
# Introduction



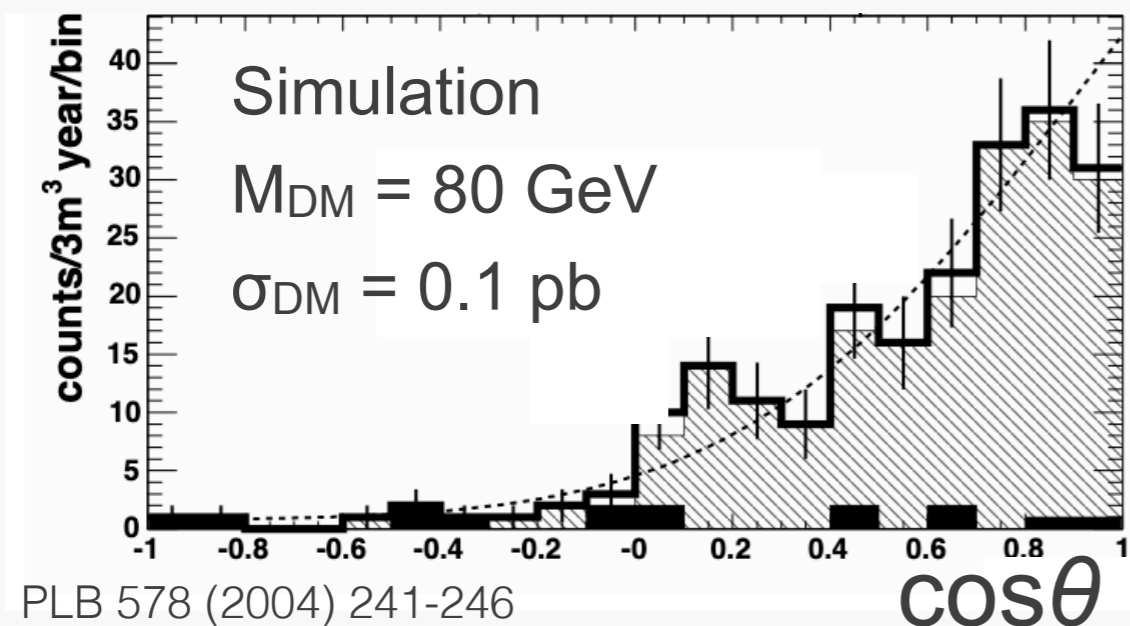
# 方向に感度を持つ暗黒物質 (DM) 直接探索

● 原子核反跳からDM (WIMP) 到来方向を知る

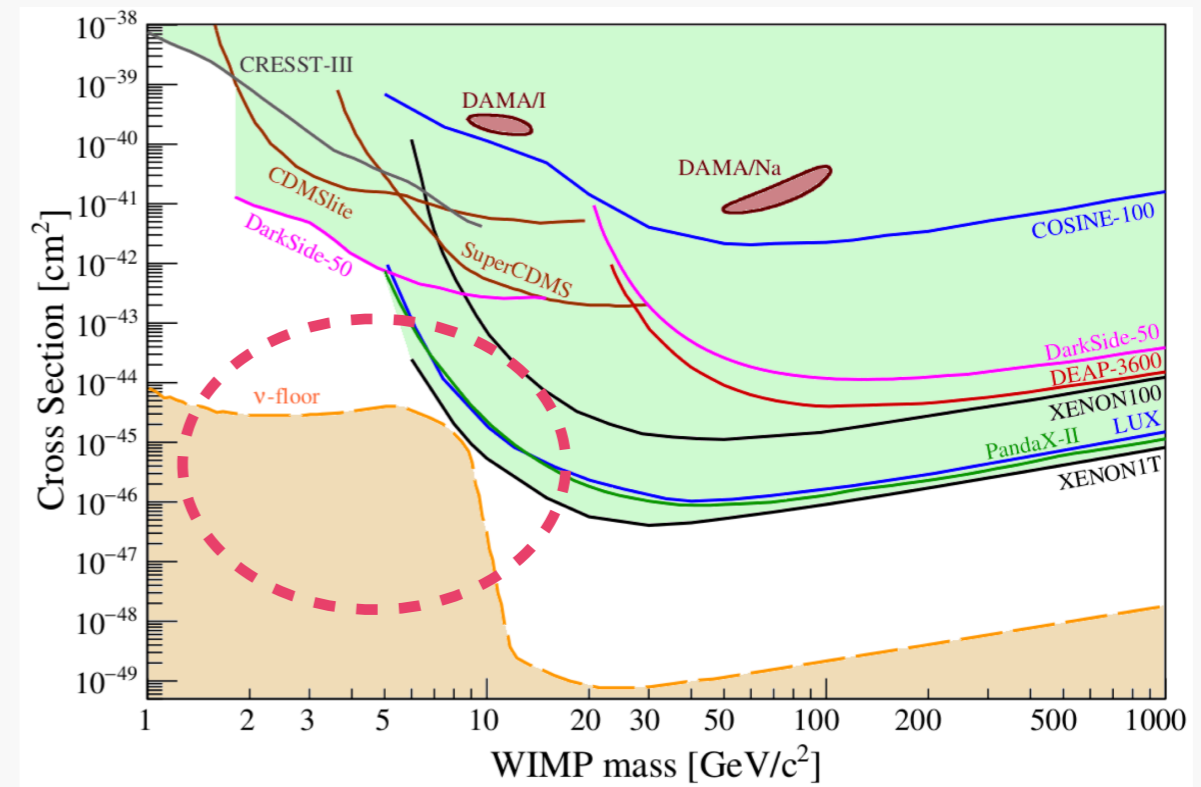
- 異方性がDMの強い証拠に
- ニュートリノ/BGとの分離も可能



WIMP wind from Cygnus!



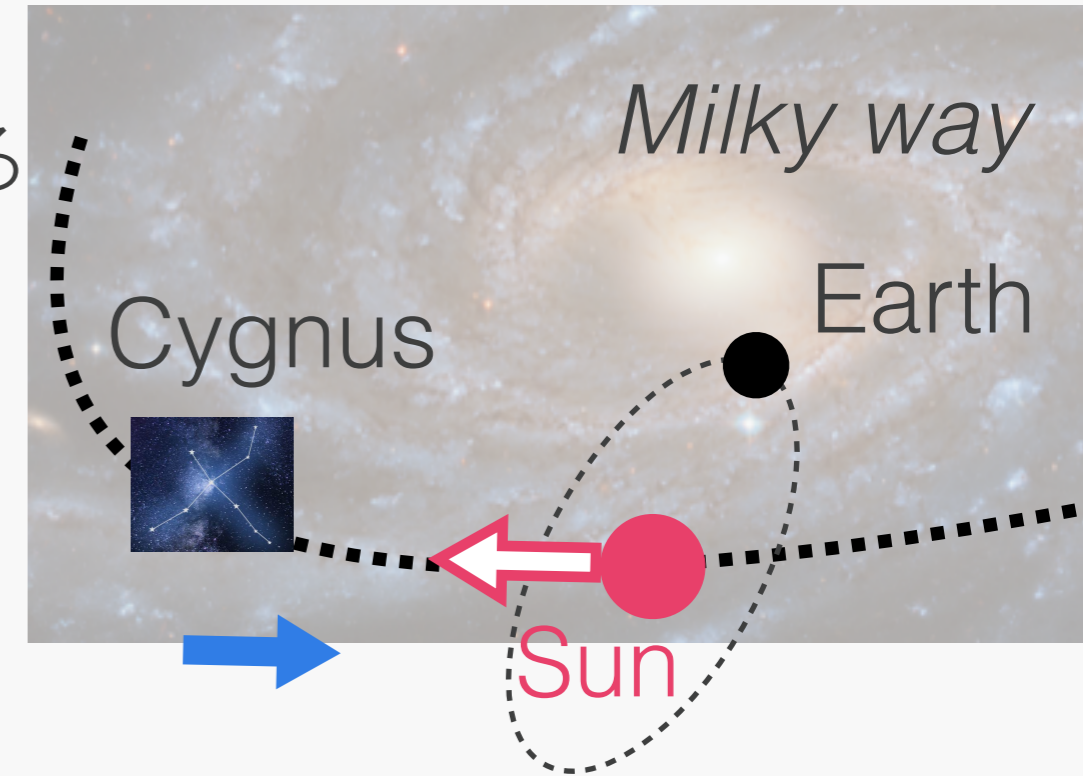
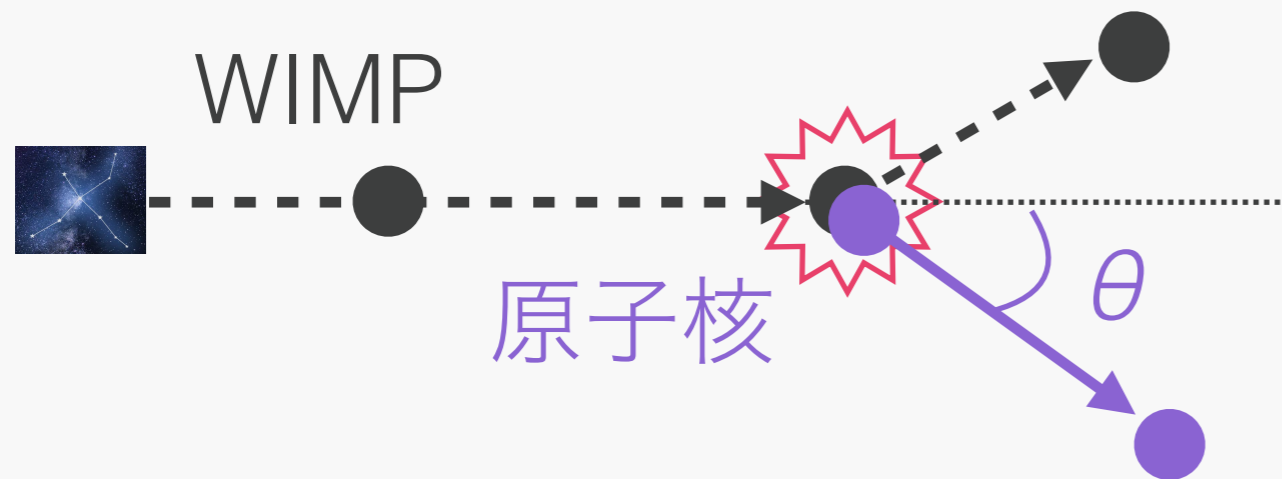
PLB 578 (2004) 241-246



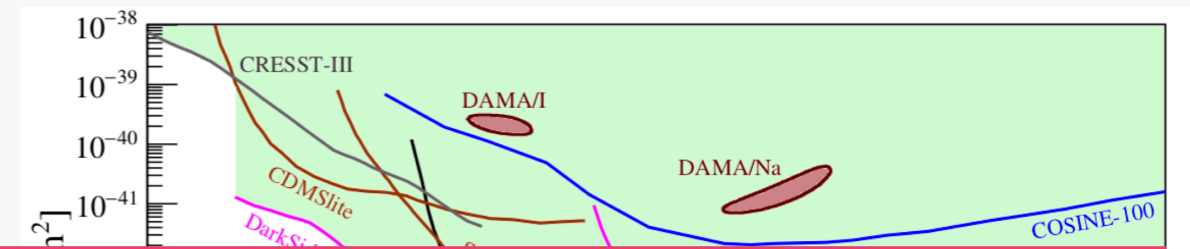
# 方向に感度を持つ暗黒物質 (DM) 直接探索

● 原子核反跳からDM (WIMP) 到来方向を知る

- 異方性がDMの強い証拠に
- ニュートリノ/BGとの分離も可能



WIMP wind from Cygnus!

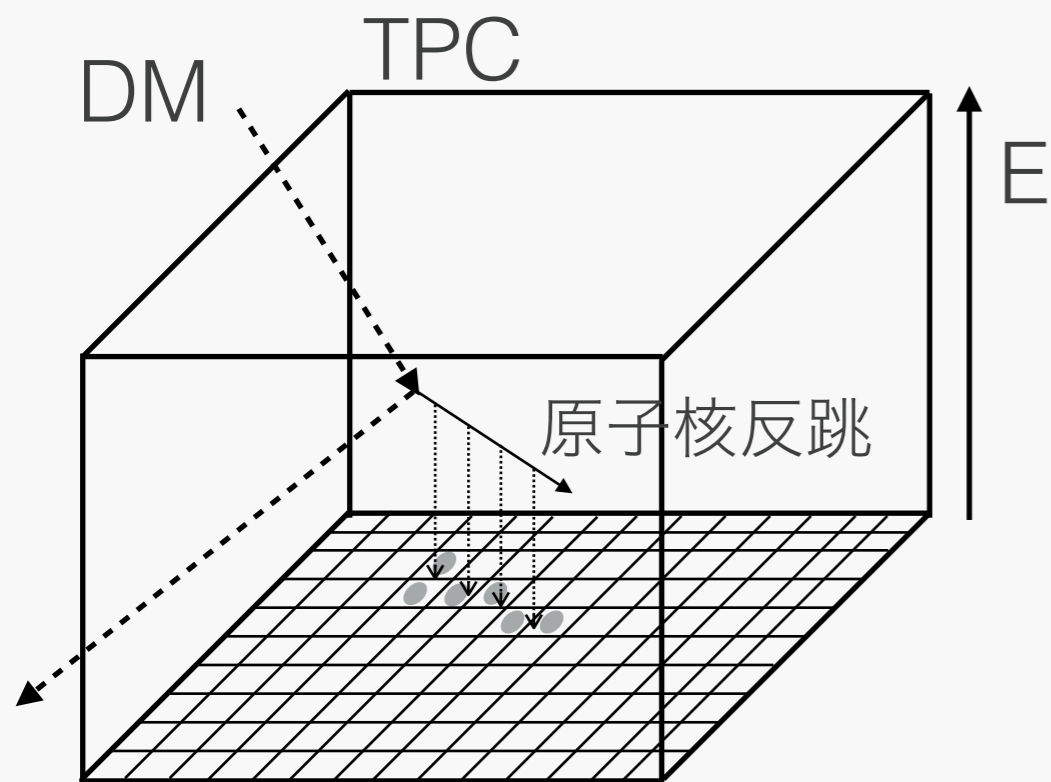


## 明後日話します

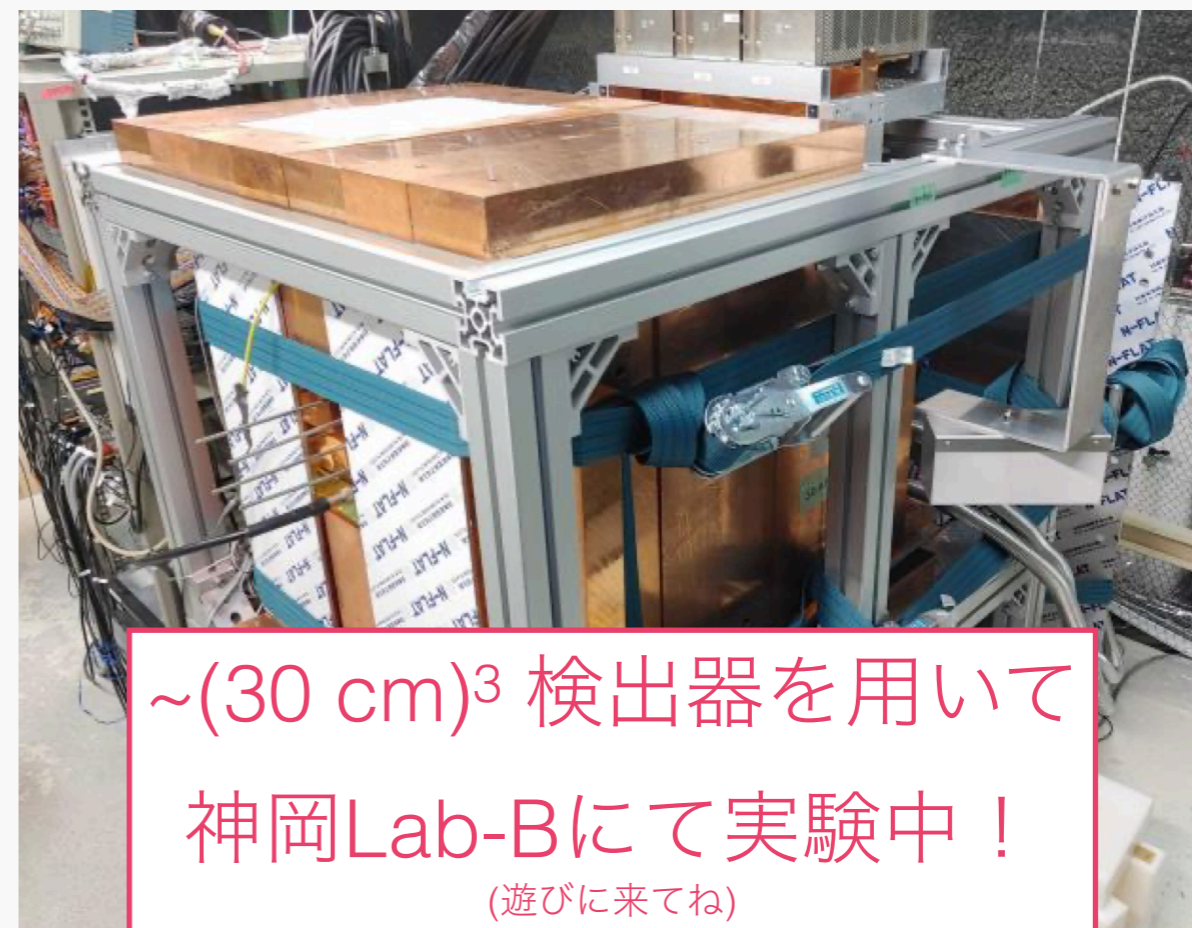
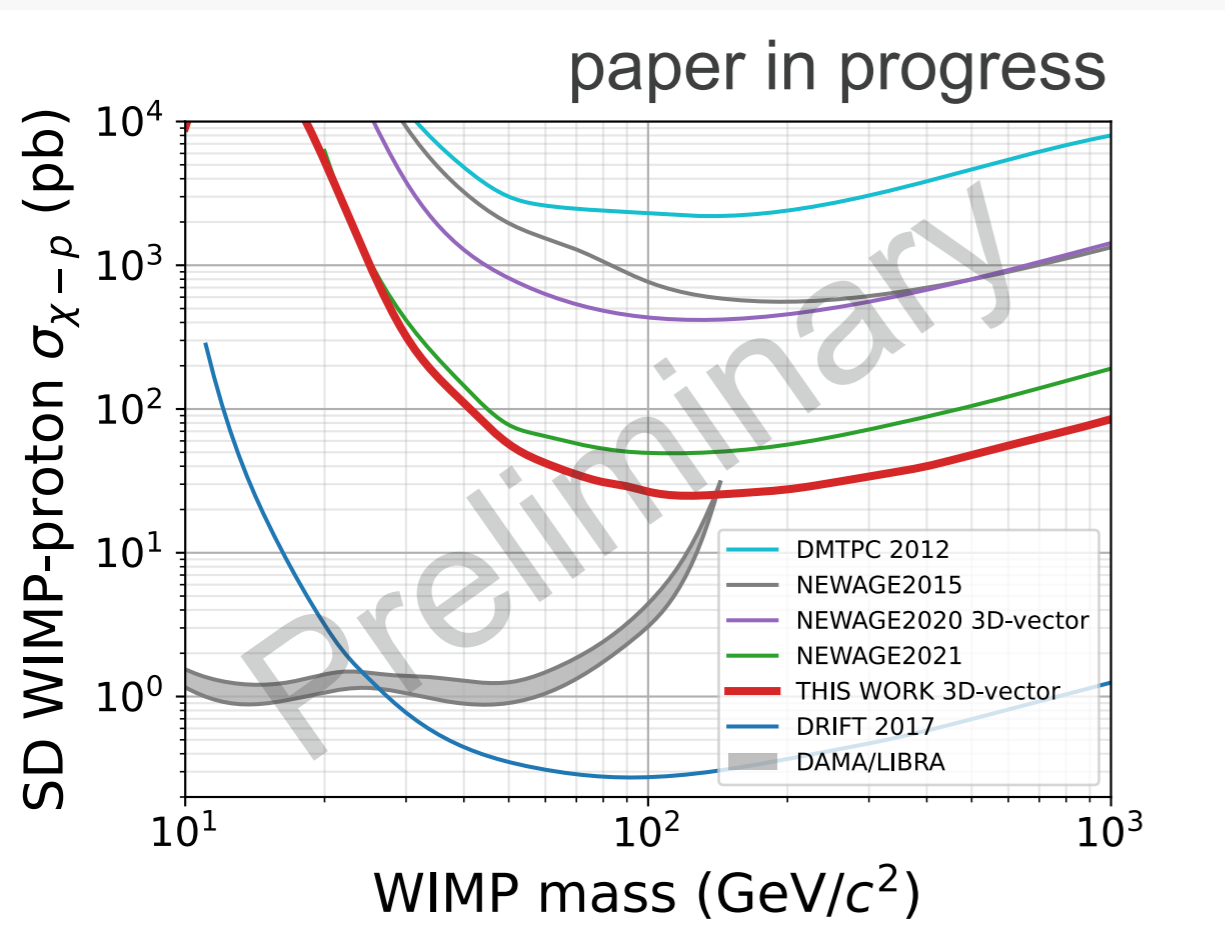
「B02班: ガスTPCを用いた暗黒物質探索における低BG検出器開発状況」



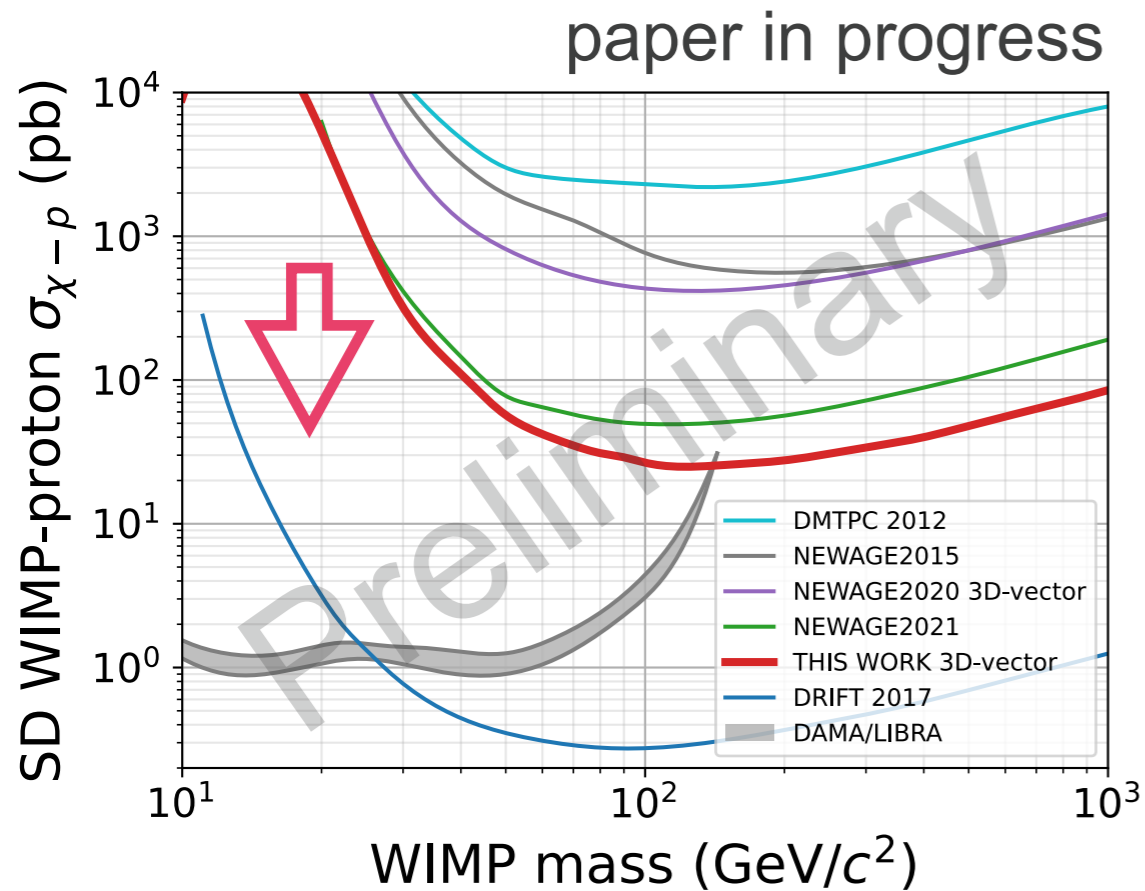
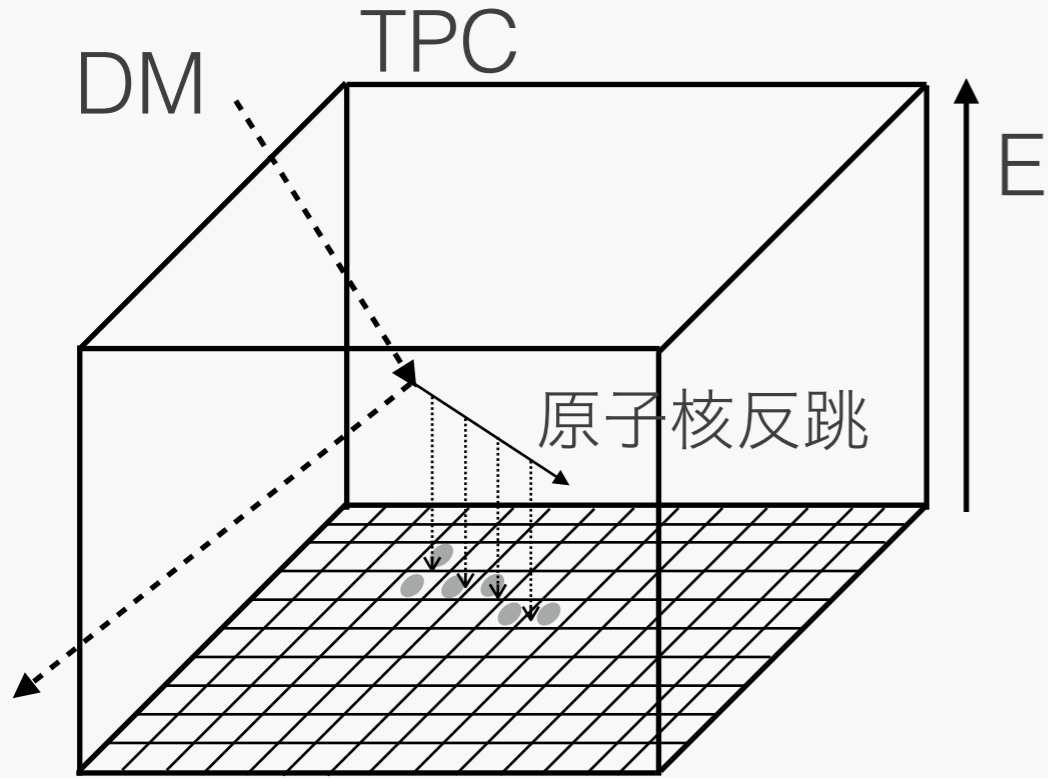
# NEWAGE: ガスTPCで原子核反跳の3次元飛跡検出



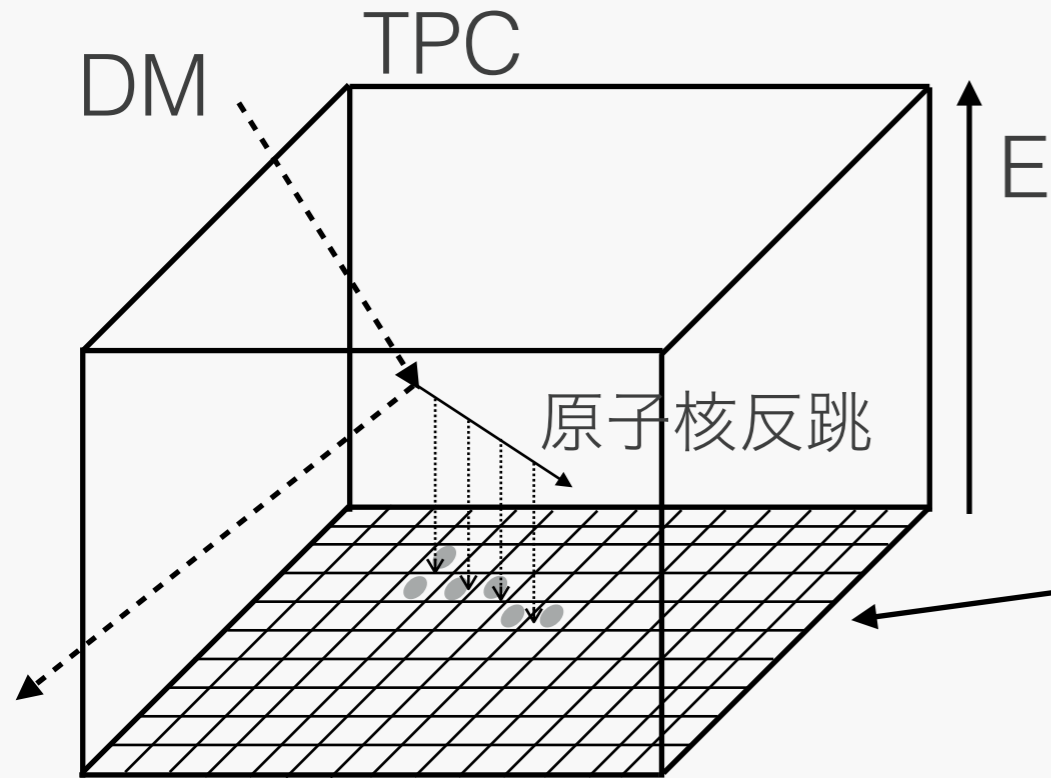
- TPC中のガス (現状CF<sub>4</sub>) がターゲット
  - 飛跡から原子核反跳方向測定
- 2次元位置検出器 + ドリフト時間  
 → 3次元飛跡でWIMP探索 (世界唯一)



# 400 $\mu\text{m}$ 間隔ストリップ → 微細ピクセルへ



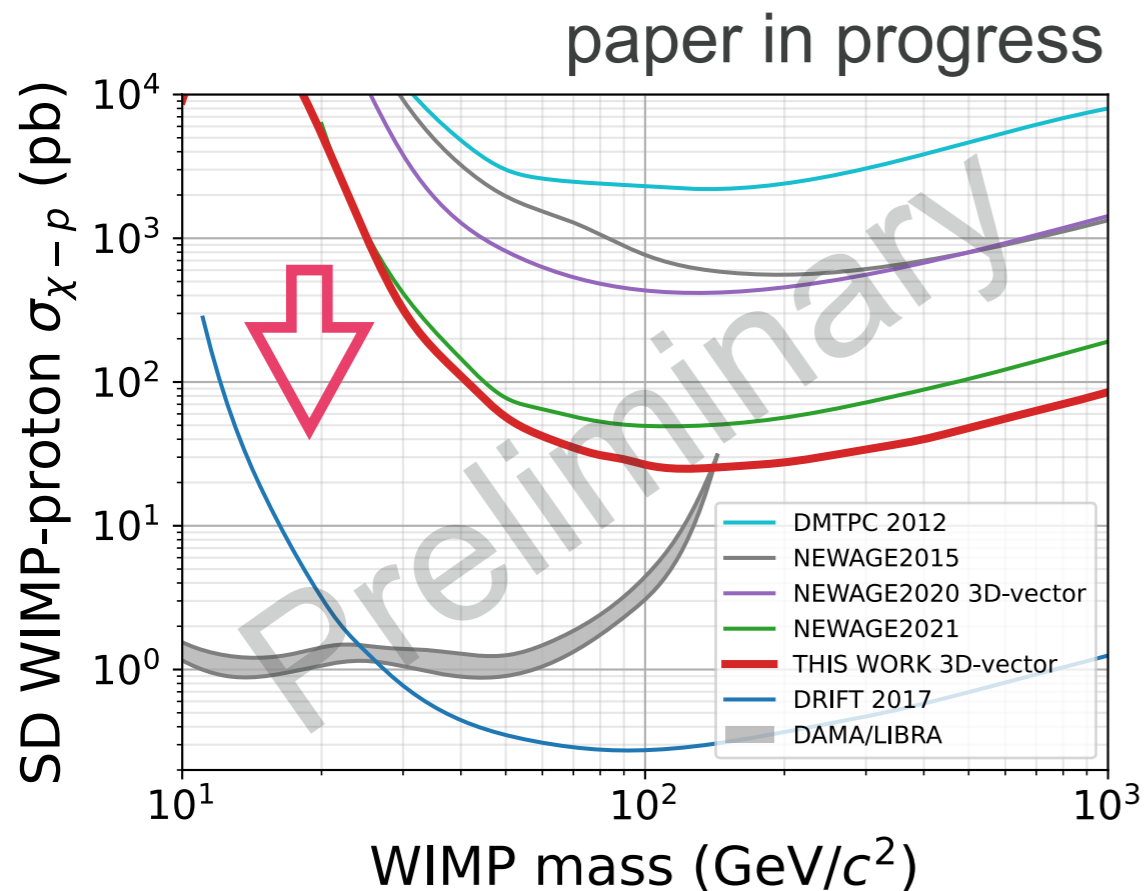
# 400 $\mu\text{m}$ 間隔ストリップ → 微細ピクセルへ



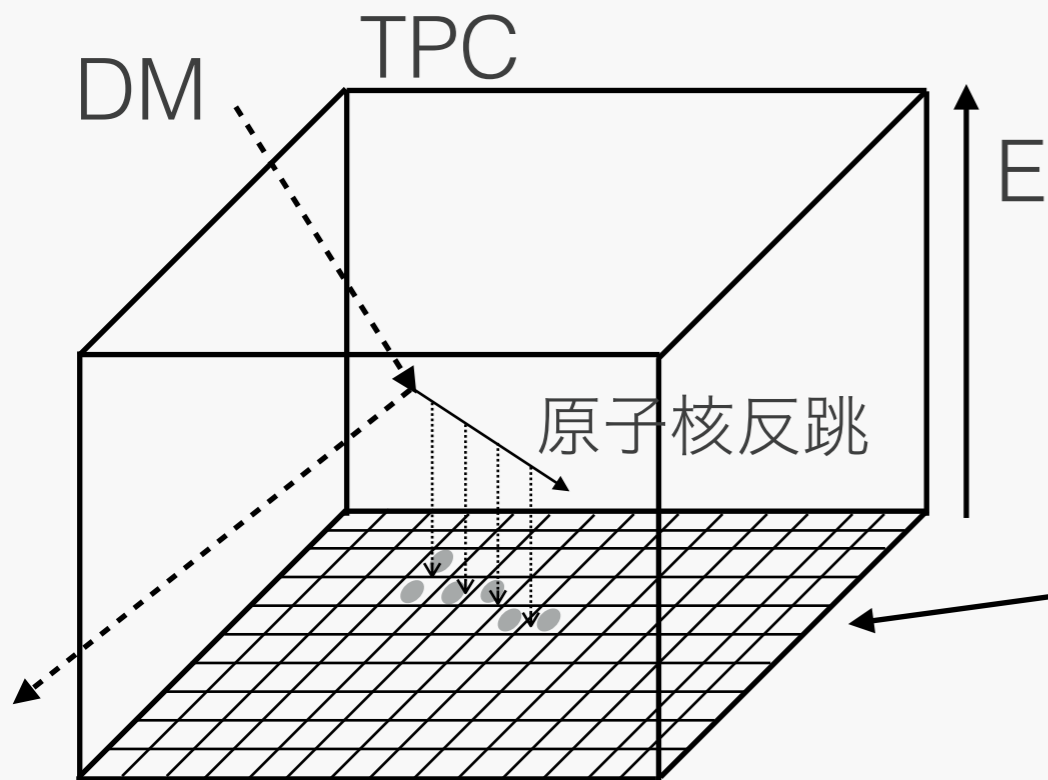
- 暗黒物質が軽いと低反跳エネルギー
- 低エネルギー反跳は**短飛跡**



読み出しピッチで検出可能な最短飛跡きまる



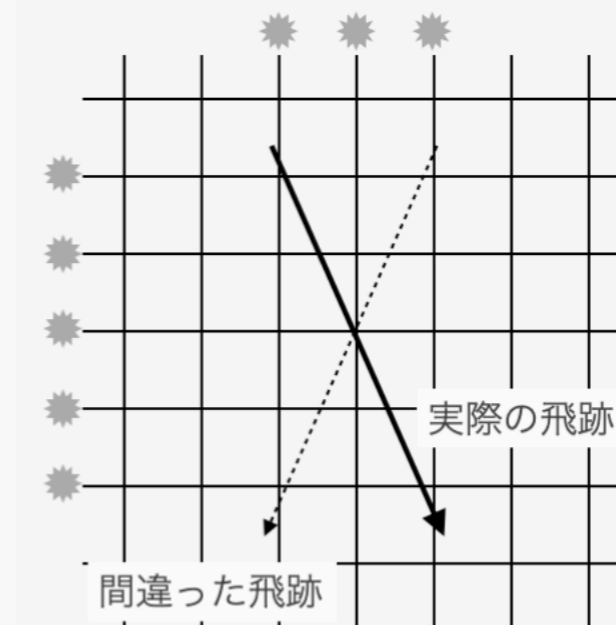
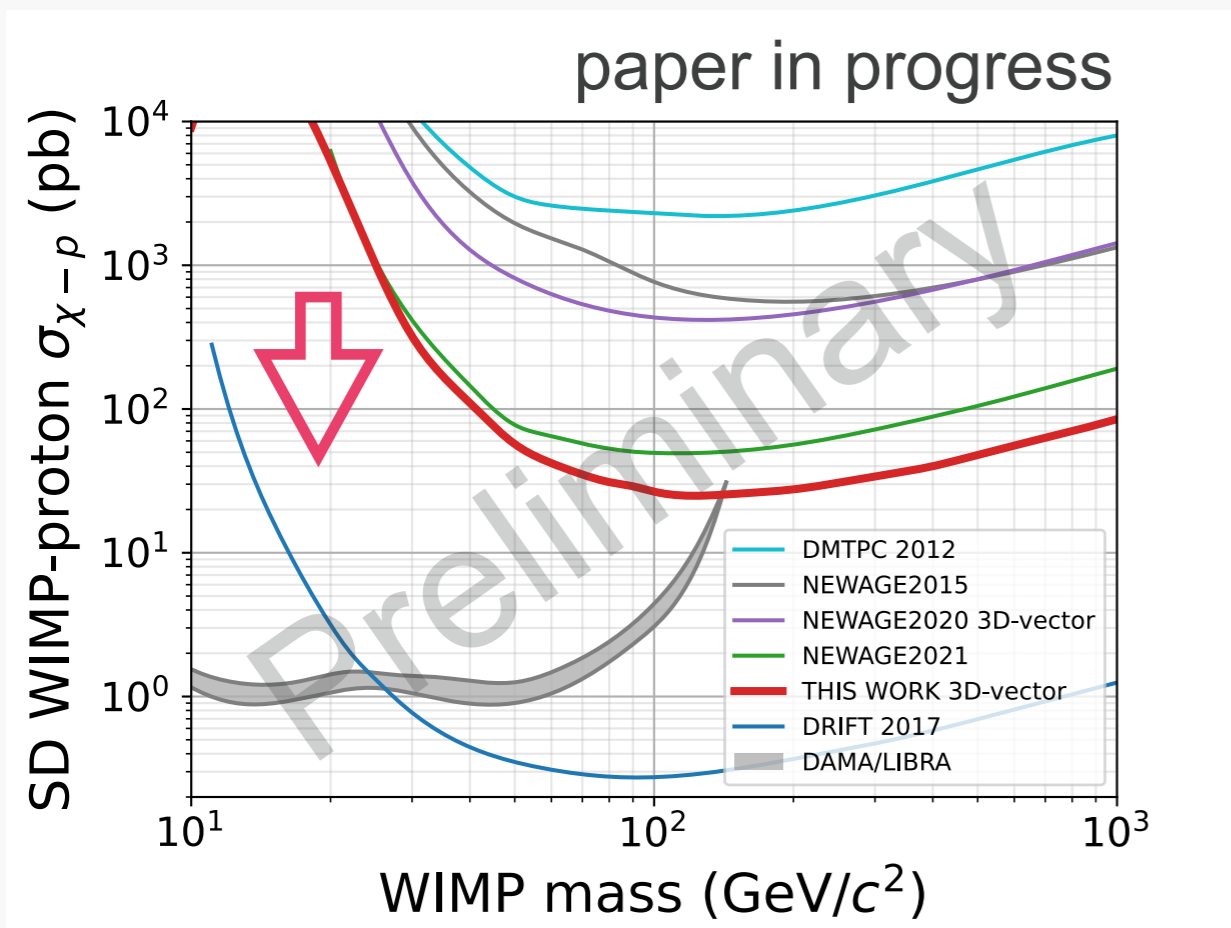
# 400 $\mu\text{m}$ 間隔ストリップ → 微細ピクセルへ



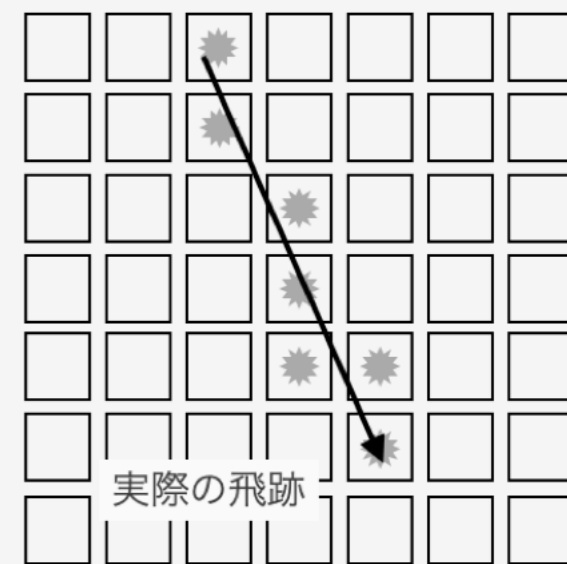
- 暗黒物質が軽いと低反跳エネルギー
- 低エネルギー反跳は**短飛跡**



読み出しピッチで検出可能な最短飛跡きまる

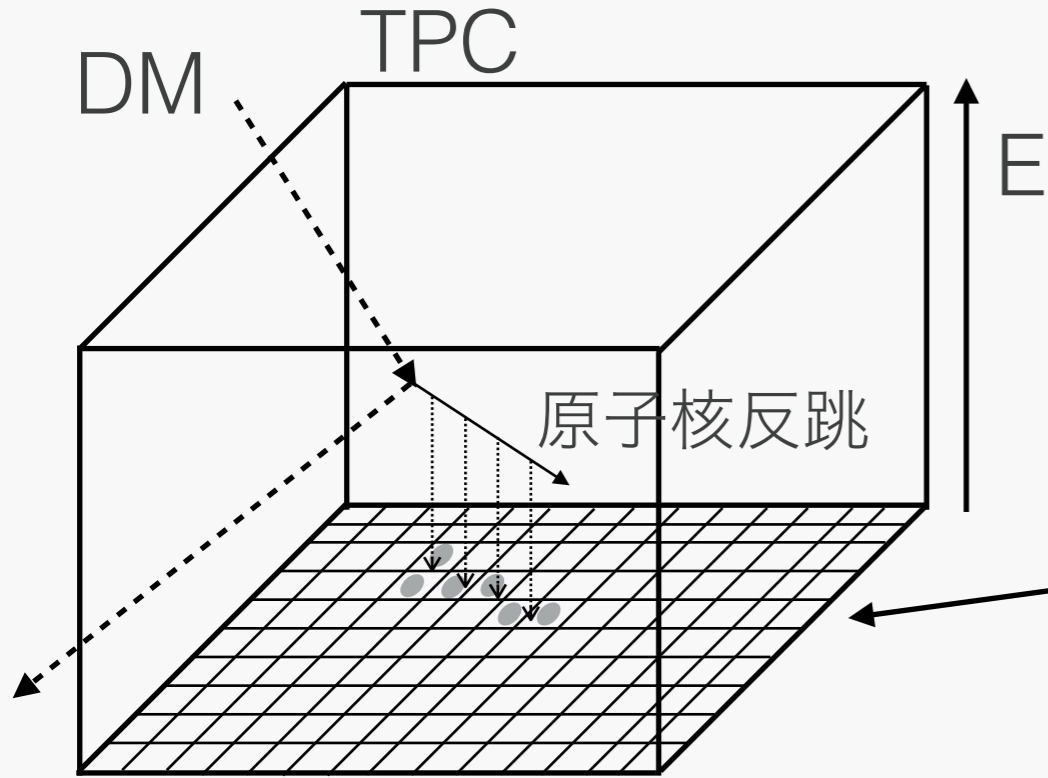


ストリップ読み出し  
(現行NEWAGE)



ピクセル読み出し

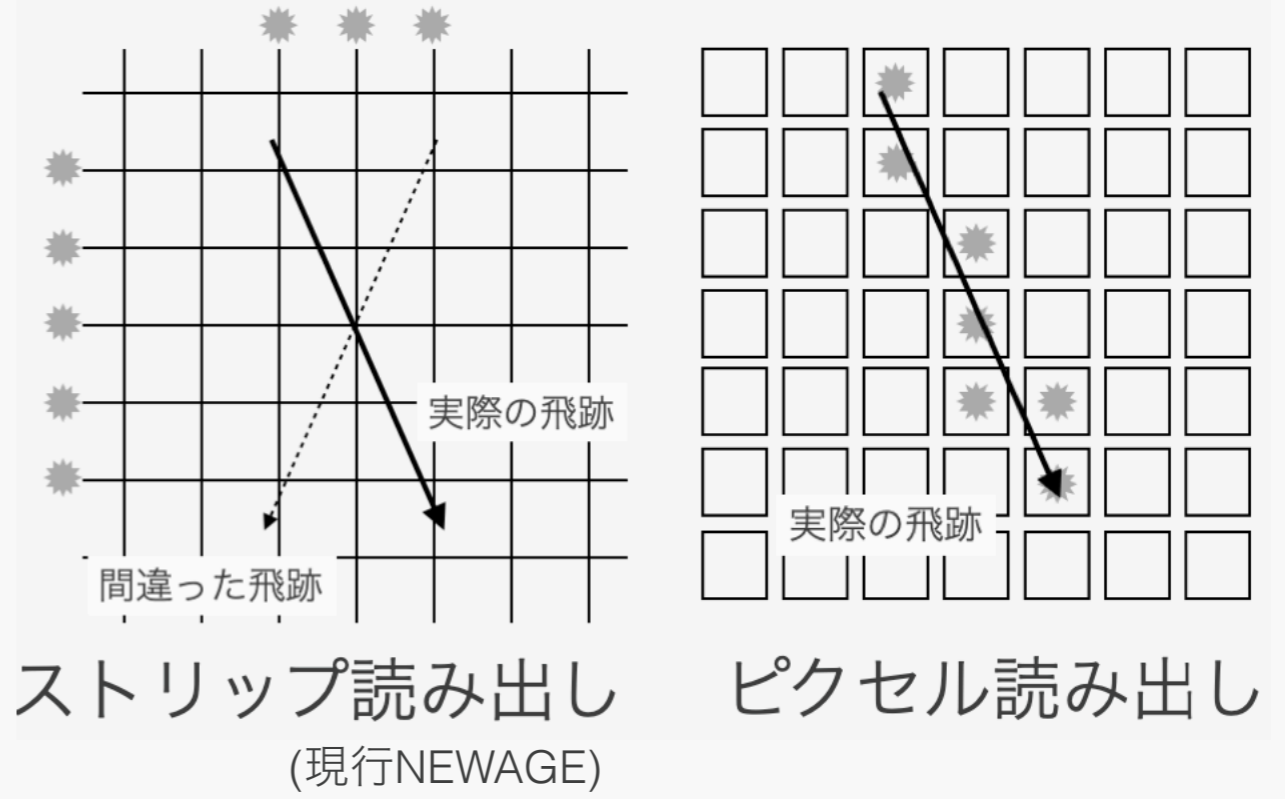
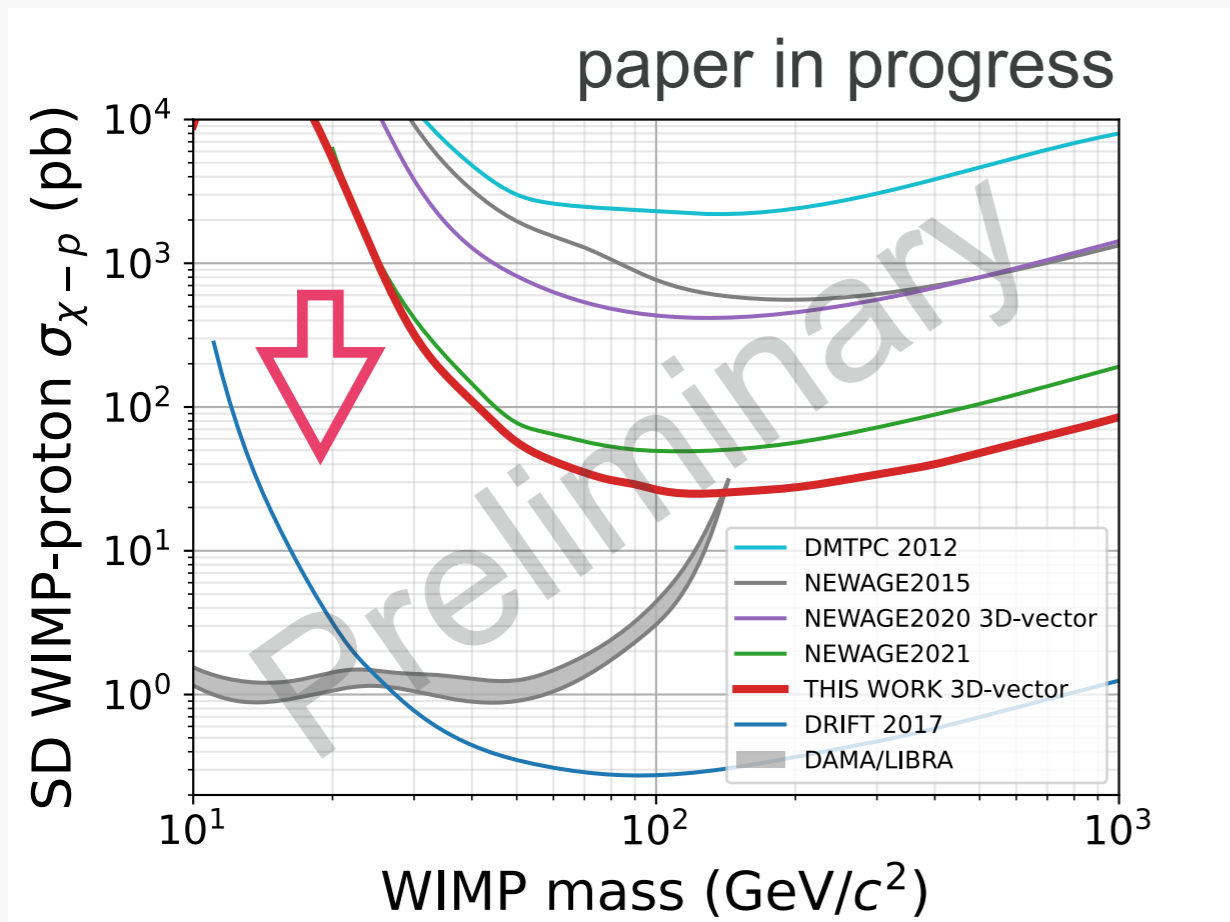
# 400 $\mu\text{m}$ 間隔ストリップ → 微細ピクセルへ



- 暗黒物質が軽いと低反跳エネルギー
- 低エネルギー反跳は**短飛跡**



読み出しピッチで検出可能な最短飛跡きまる



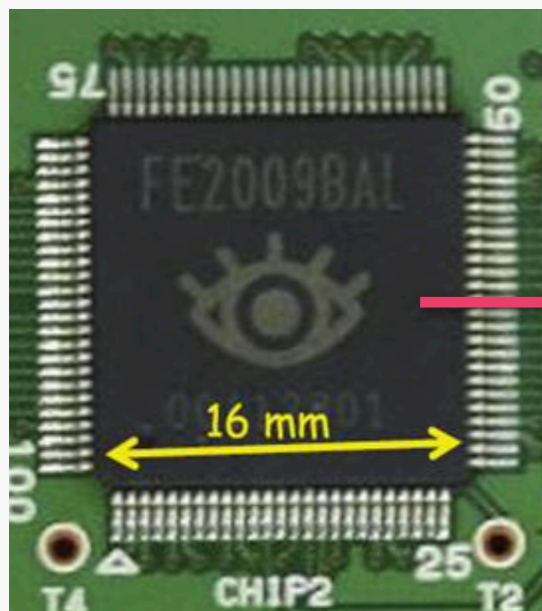
微細ピクセル検出器作ろう



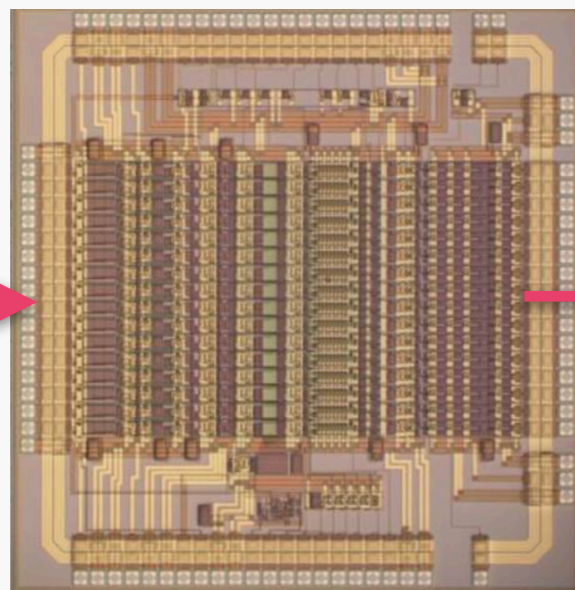
# 難点その1：読み出しチャンネル

- 現行NEWAGEの検出面は30 × 30 cm<sup>2</sup>
- 100 μm角サイズのピクセルを並べてみる
  - ➔ 9,000,000 ch (!!!!!!!!)
- 複数チャンネル読み出しの回路はASIC (ICチップ) で行う

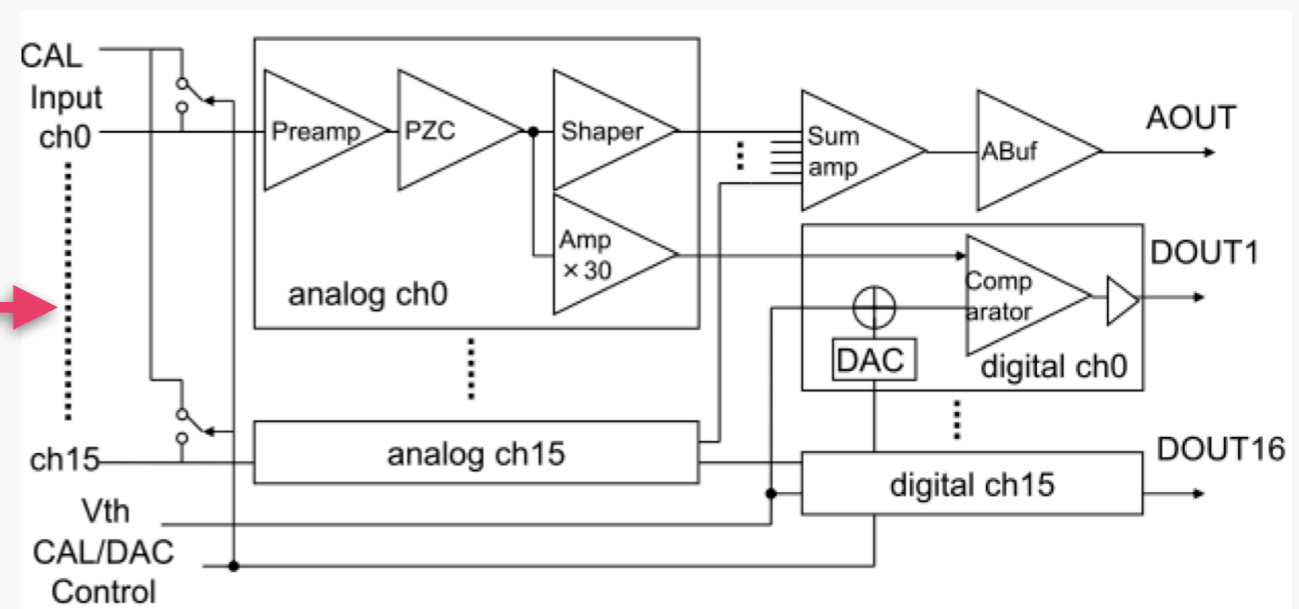
例：FE2009-balというIC



ICパッケージ



中身はこういう  
半導体

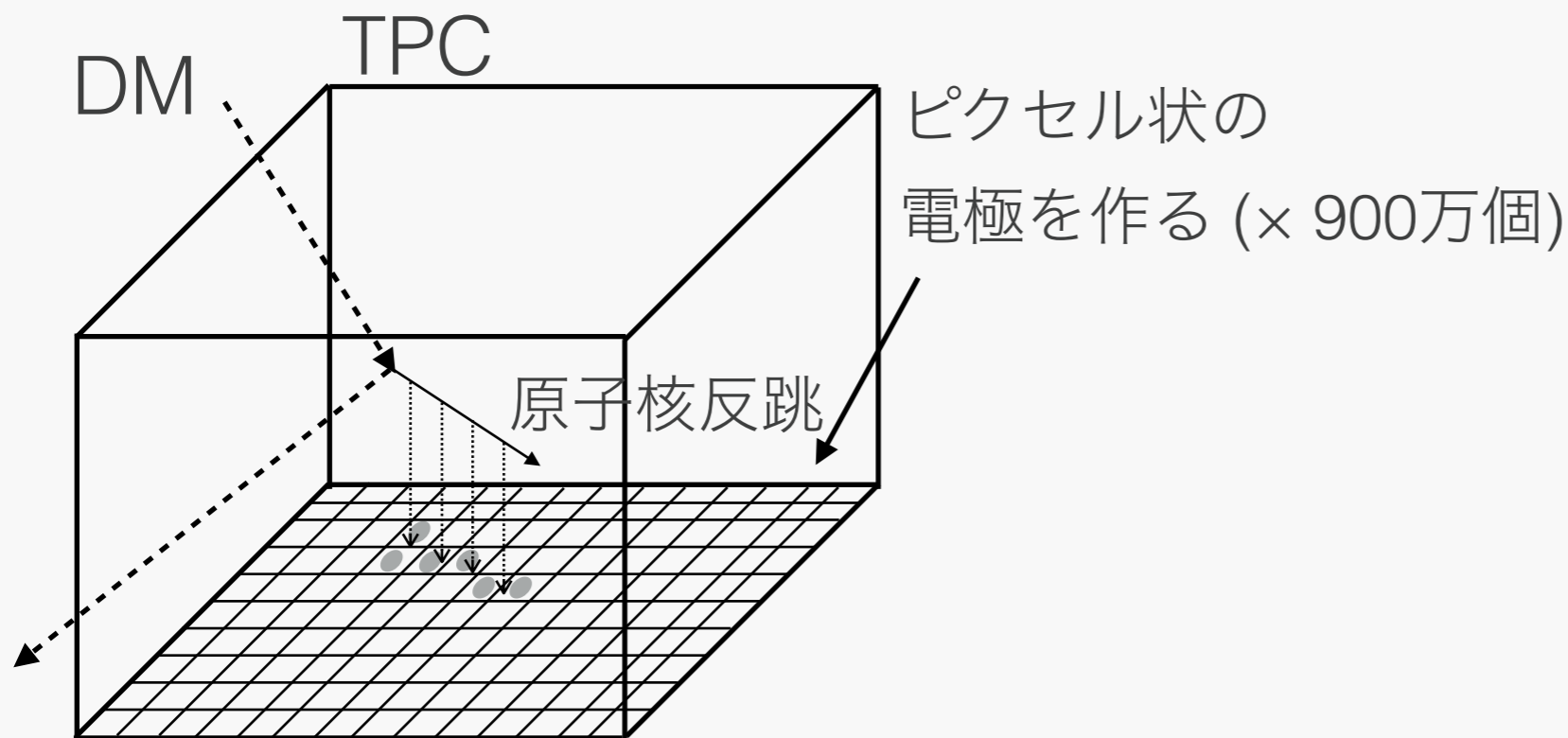


これで**16**チャンネル読み出せる



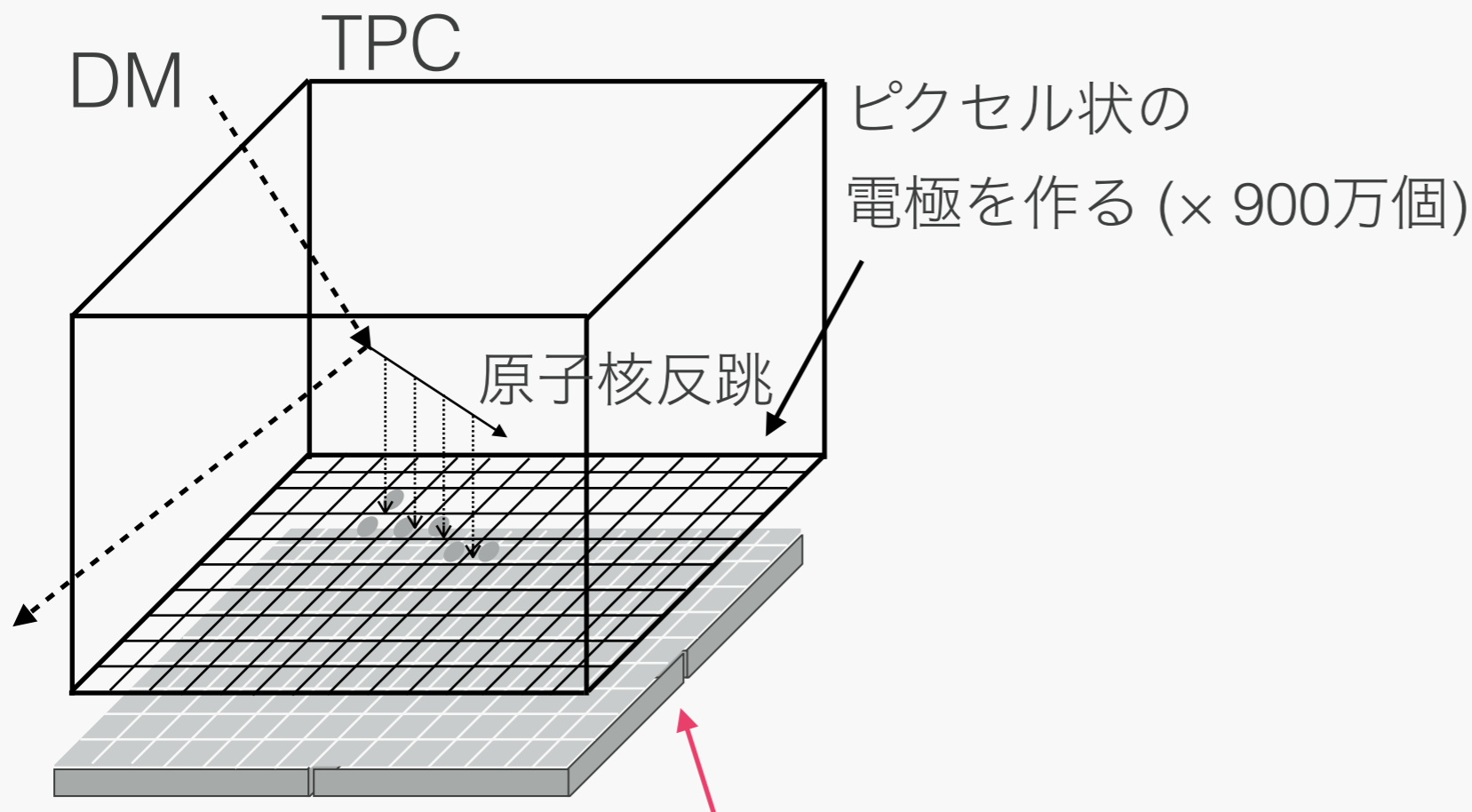
# 難点その2：微細ピクセル

- ひとまず100  $\mu\text{m}$ ピッチ目指そう
  - ➔ 100  $\mu\text{m}$ ピッチのピクセル電極とASICどう繋ぐ？



# 難点その2：微細ピクセル

- ひとまず100  $\mu\text{m}$ ピッチ目指そう
  - ➔ 100  $\mu\text{m}$ ピッチのピクセル電極とASICどう繋ぐ？

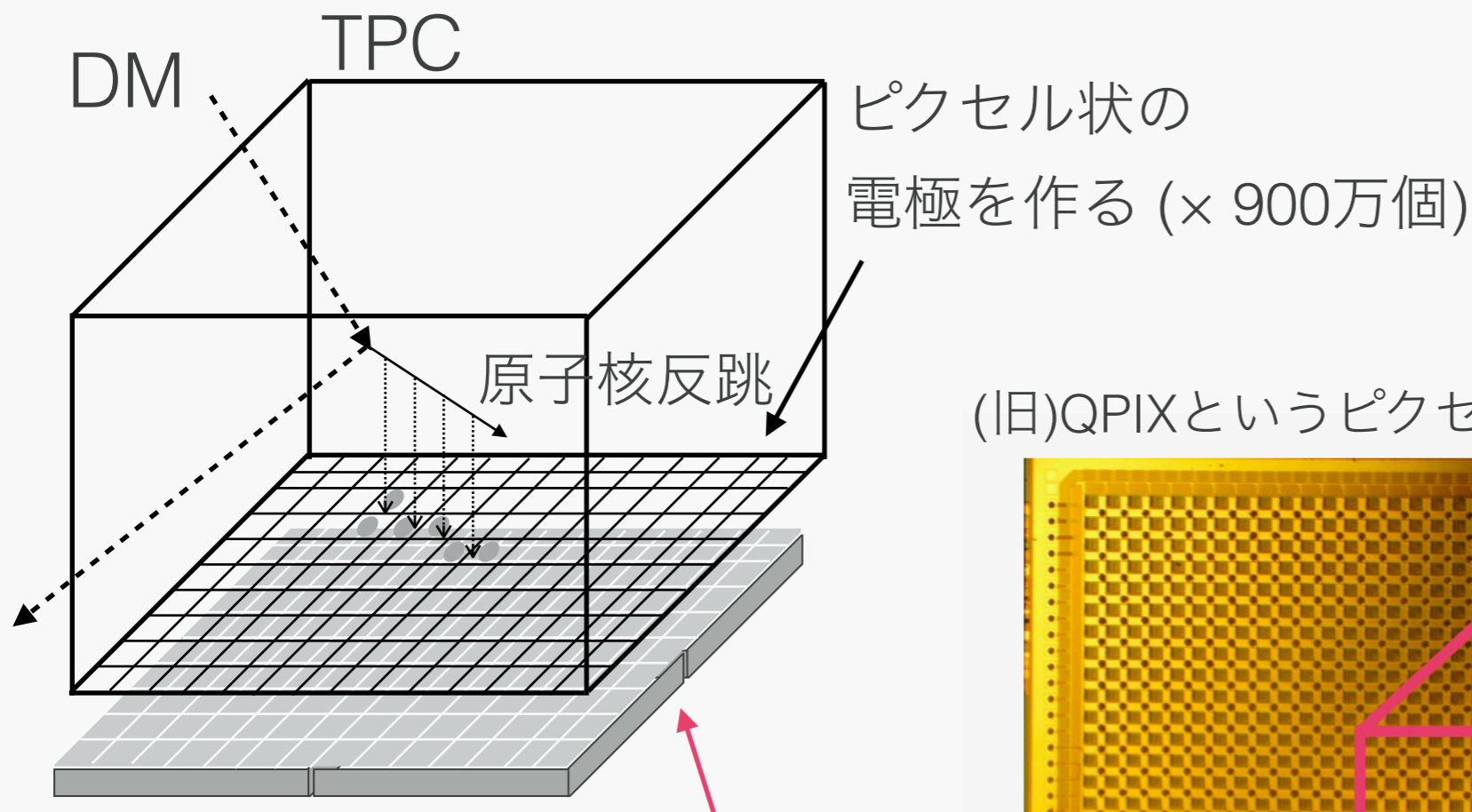


**ASICを電極につなぐ  
(表面に接続パッド搭載)**

# 難点その2：微細ピクセル

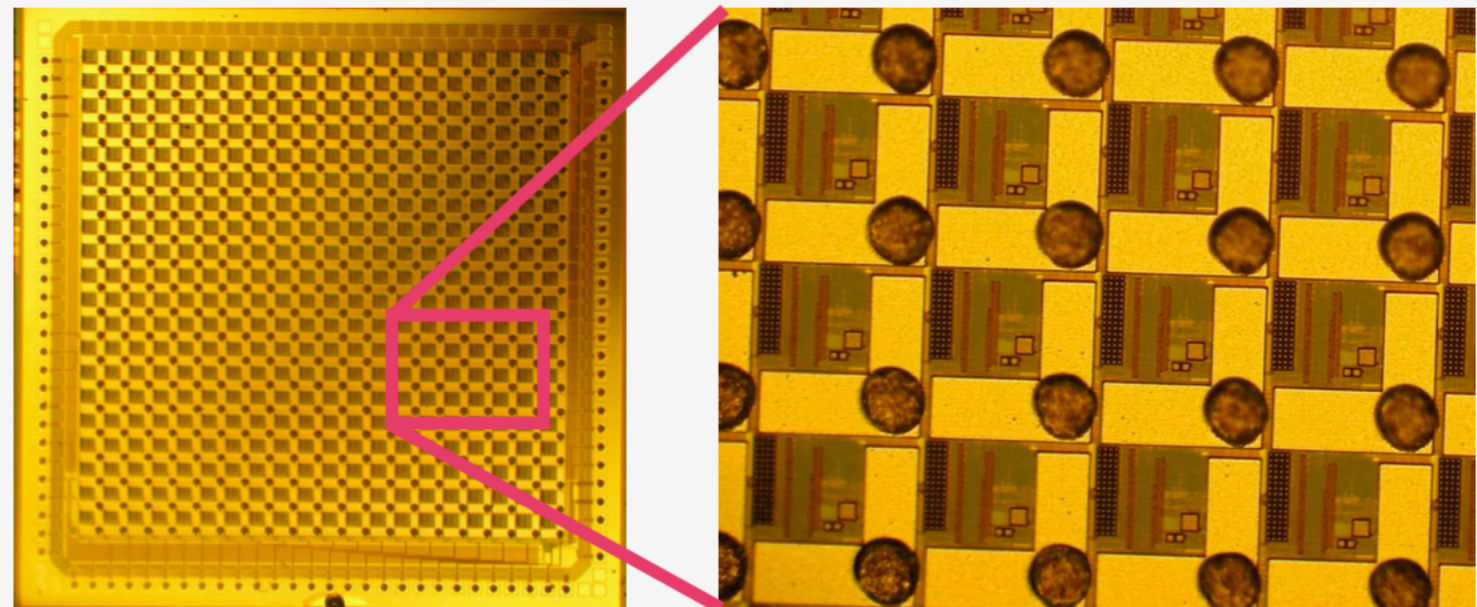
- ひとまず100  $\mu\text{m}$ ピッチ目指そう

→ 100  $\mu\text{m}$ ピッチのピクセル電極とASICどう繋ぐ？



ASICを電極につなぐ  
(表面に接続パッド搭載)

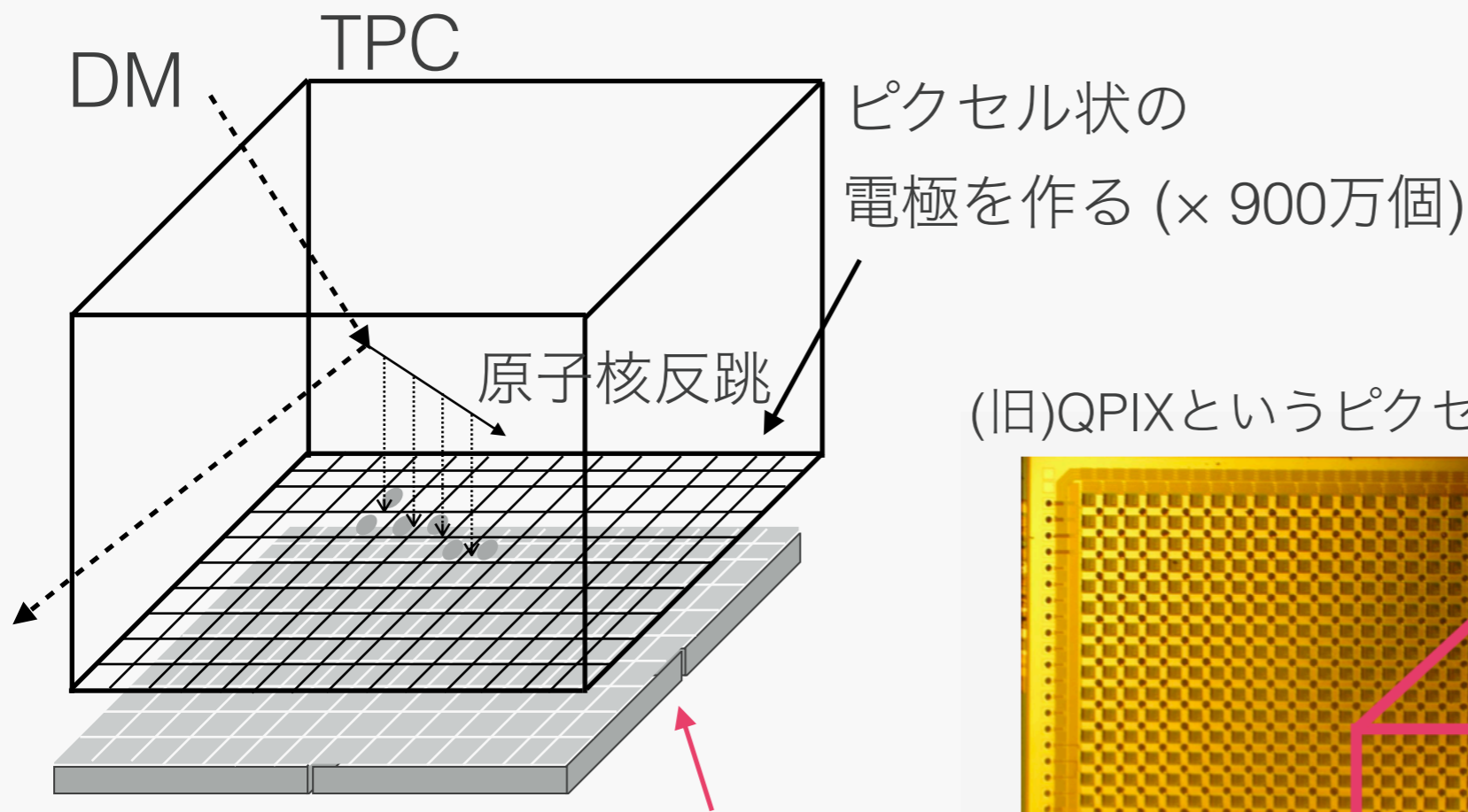
(旧)QPIXというピクセル型ASIC



# 難点その2：微細ピクセル

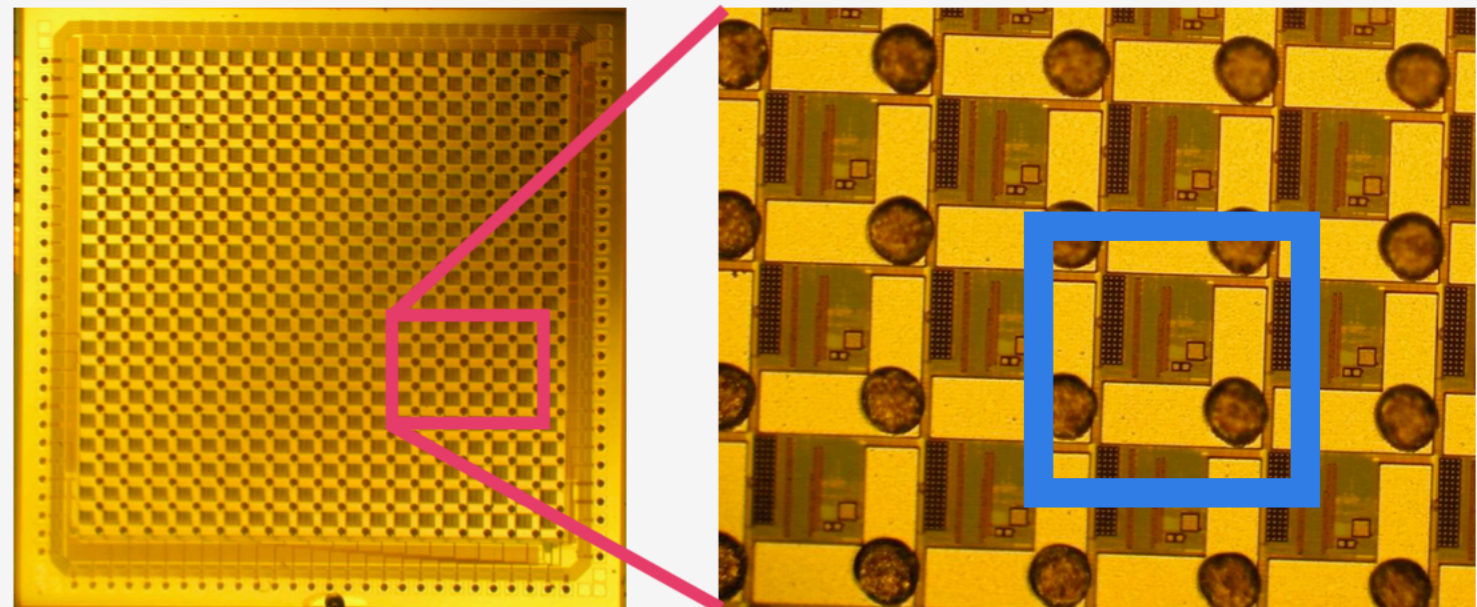
- ひとまず100  $\mu\text{m}$ ピッチ目指そう

➔ 100  $\mu\text{m}$ ピッチのピクセル電極とASICどう繋ぐ？



アンプやデジタル回路  
などを1ピクセルに集約  
(100 × 100  $\mu\text{m}^2$ の中に！)

(旧)QPIXというピクセル型ASIC

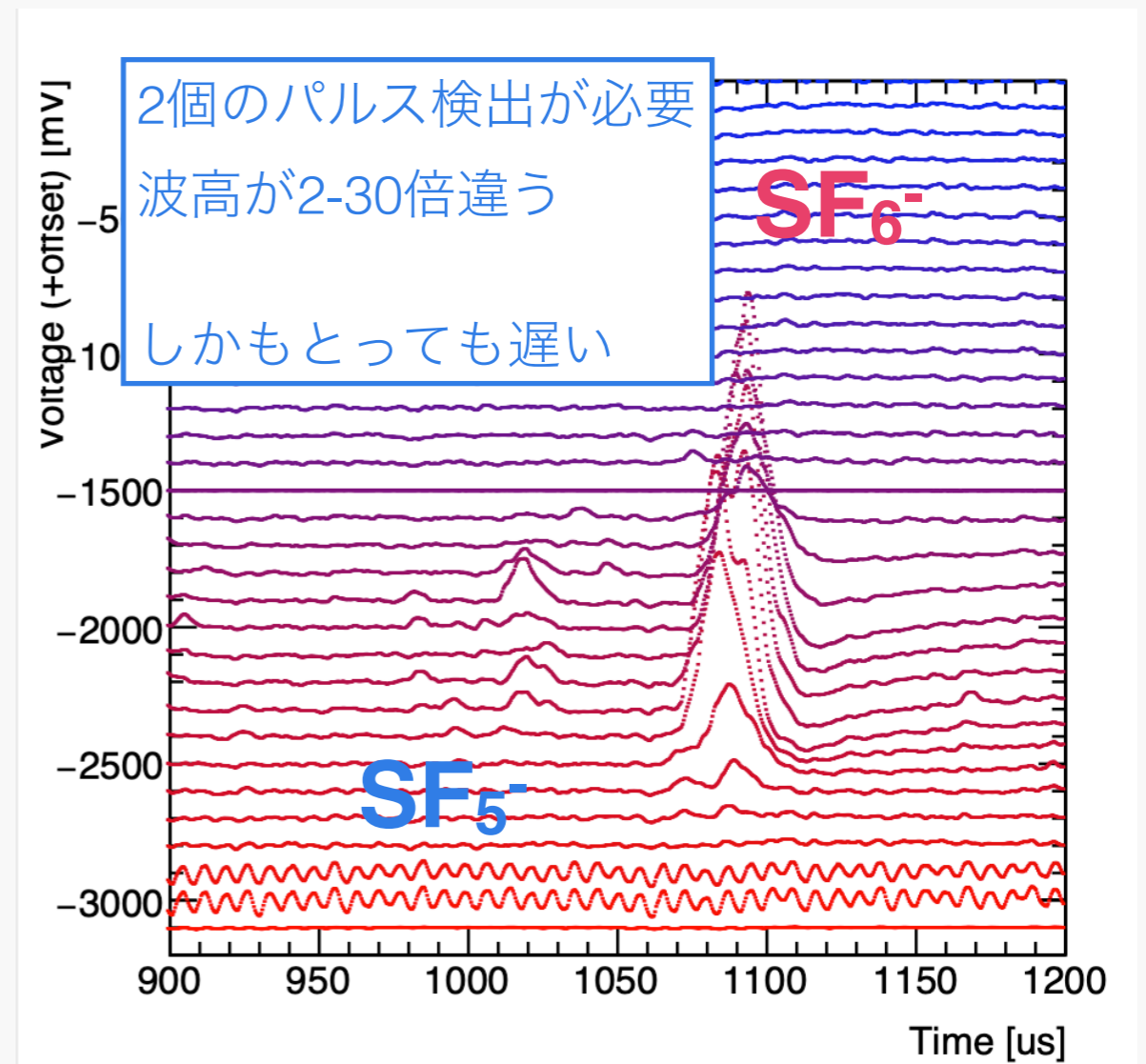
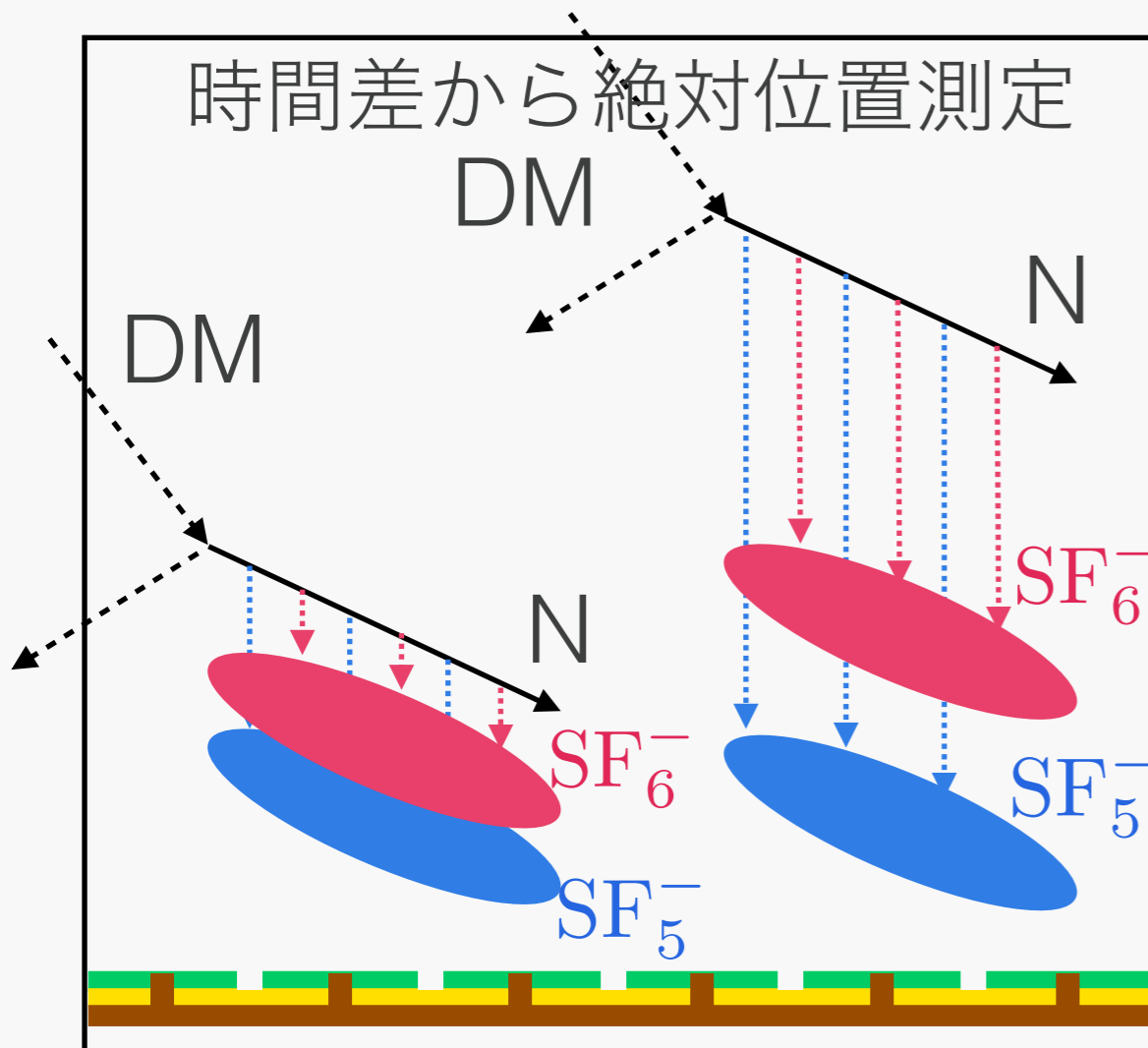


ASICを電極につなぐ  
(表面に接続パッド搭載)



# 難点その3：陰イオンガスTPC

- どういう信号を読み出す？→かなり特徴的

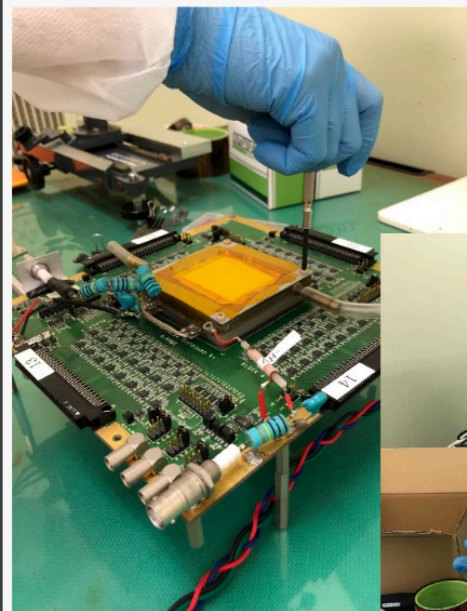


## まとめると...

- 特徴的な信号を
- 膨大なチャンネル数を
- 微細なスペースで

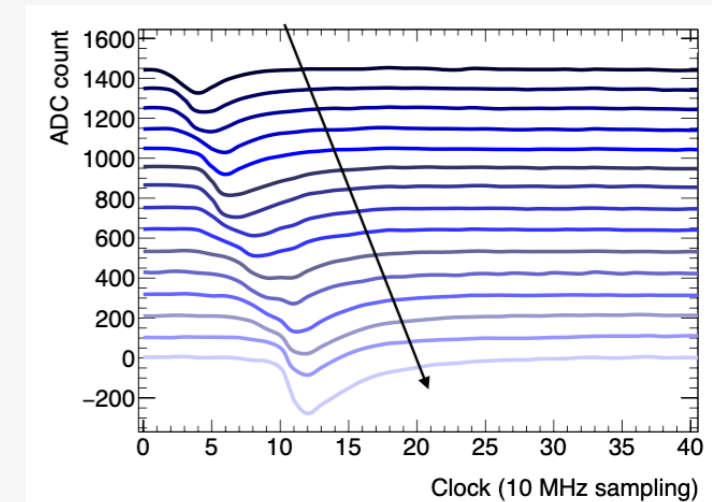
読み出す都合のよいASICがほしい

# チェンバー試験 @ 佐賀大



# チェンバー試験 @ 佐賀大

- 今度はシンチでトリガーかけてちゃんと宇宙線データを収集

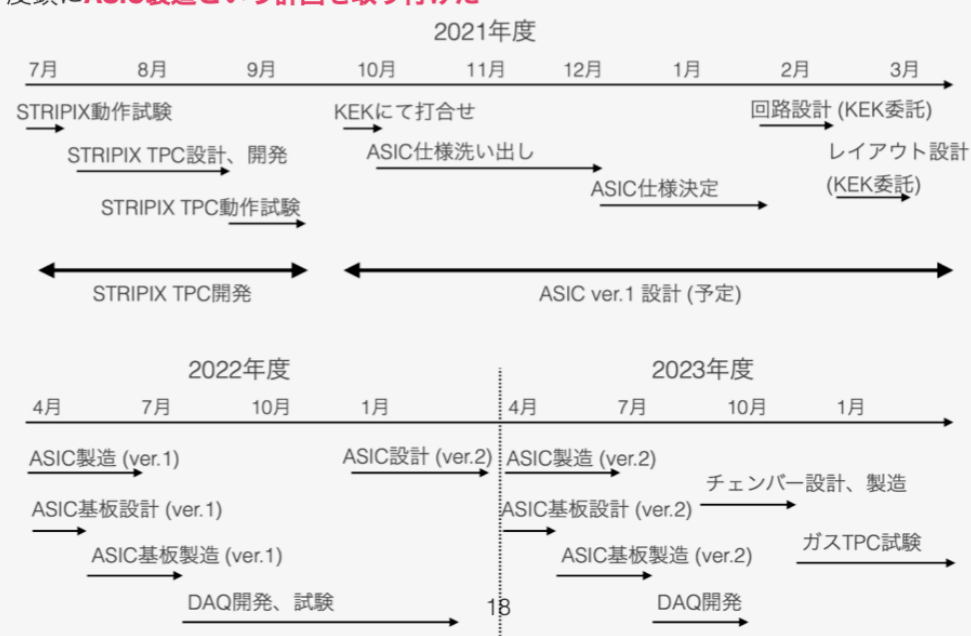
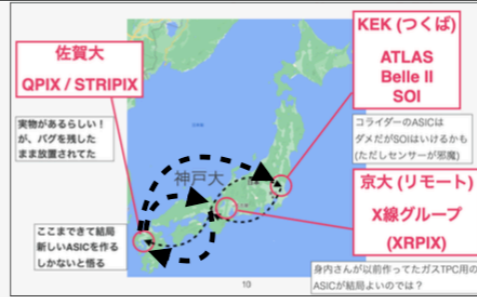


TPCとして機能している！  
原理実証OK、いざ新ASIC開発へ！

17

# 新ASIC開発相談 @ KEK

- E-SysのASIC設計者に突撃 (KEK 宮原氏、田中氏)
- ひとまずASIC作りたい熱意を伝えに行った
- が、QPIXが古すぎる(10年前)ので結局最初から作り直すことに
- 2022年度頭にASIC製造という計画を取り付けた



# 去年の若手研究会のダイジェスト

既製品のASICさがし→ダメ  
昔に開発したASICを試験



観念して新しいICを  
自作することにした



# ASIC開発

～エレキ開発の泥臭い話～



# 開発体制



- ASIC設計はKEK宮原さん中心で実施
  - ➔仕様は東野が提案
- その他基板、ファームウェア、ソフトウェア開発は東野
  - ➔学生にもちょっと(だいぶ?)手伝ってもらっている

## ピクセルガスTPC開発

作者: [New Project Proposer](#) — 最終変更 2022年08月30日 16時45分 — [履歴](#)

### 概要

方向に感度を持つ暗黒物質探索を目的としたガスTPCにおいて、近年注目されている陰イオンガスと呼ばれるガスの性能をより発揮するために、100 umピッチのピクセル読み出しかつ複数ヒット検出を目指している。本プロジェクトではそれを実現すべく、各チャンネルに高ダイナミックレンジ、高ゲインアナログ回路とdigitizerを搭載したASICとその搭載基板を開発することを目的とする。

### メンバー

- 東野聡, Higashino Satoshi(代表:神戸大学・研究員)
- 宮原正也, Masaya Miyahara (KEK 准教授)
- 田中真伸, Tanaka Manobu (KEK 教授)
- 庄子正剛, Shoji Masayoshi (KEK 技師)
- 房安貴弘, Fusayasu Takahiro (佐賀大 准教授)
- 身内賢太郎, Kentaro Miuchi (神戸大 准教授)
- 中山郁香, Nakayama Ayaka\* (神戸大 M2)

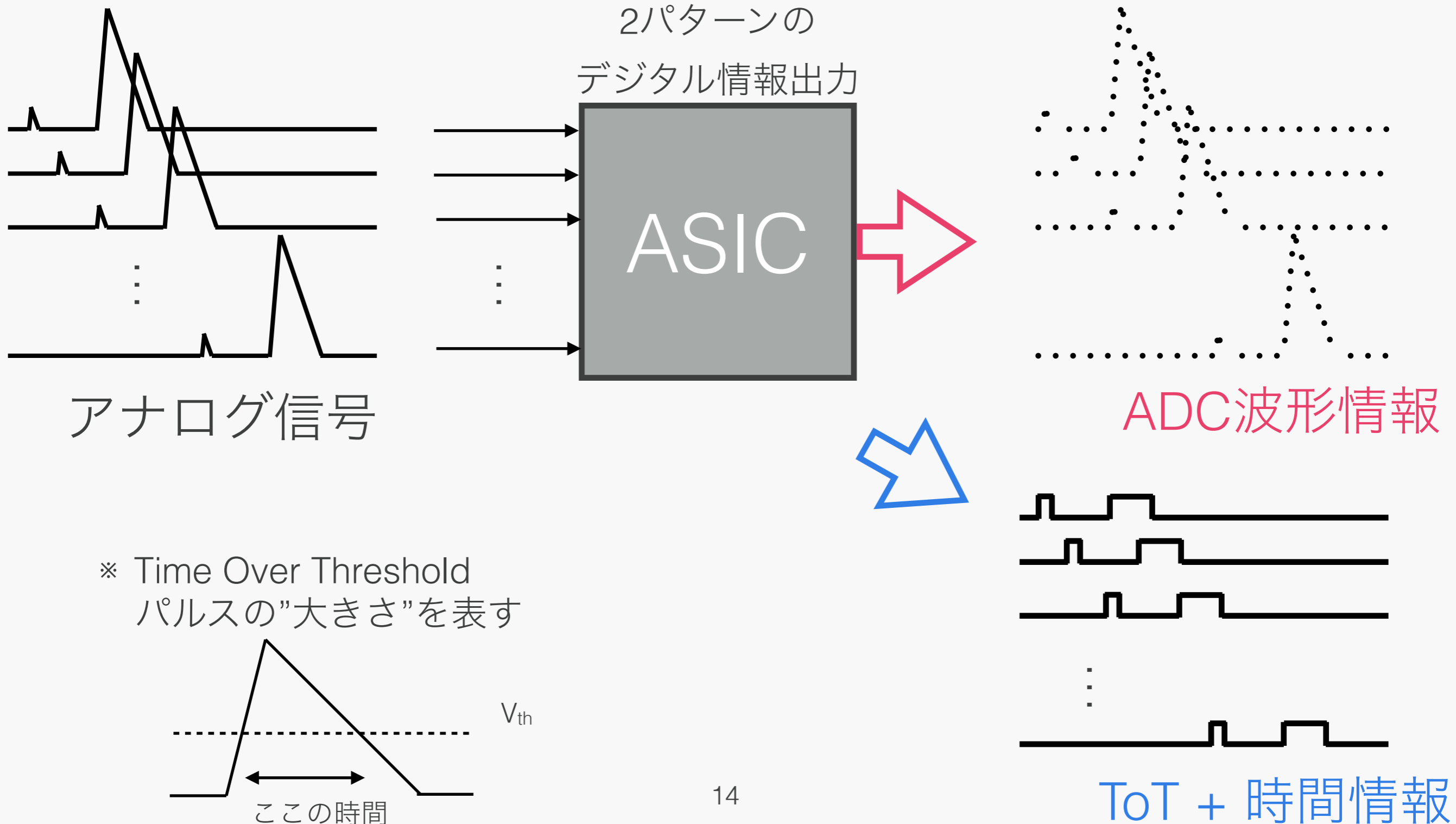
KEKのOpen-itプロジェクト始動  
開発チーム組んで舵をとっていく

### 機能・特徴

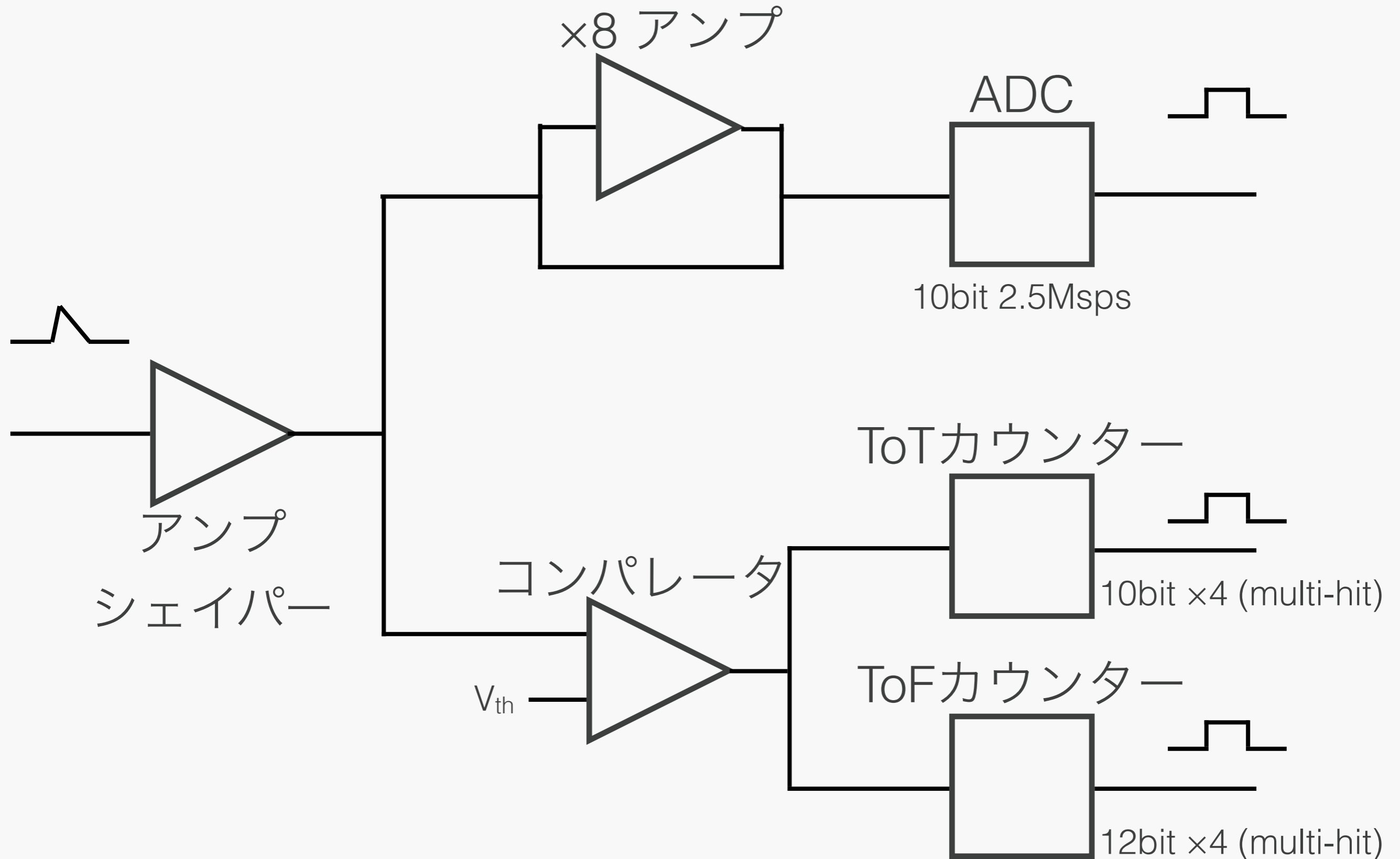
ガスTPCのピクセル読み出し、マルチヒット対応

# 取得したいデータ

- まずはプロトタイプを作るのでやや冗長に情報取得



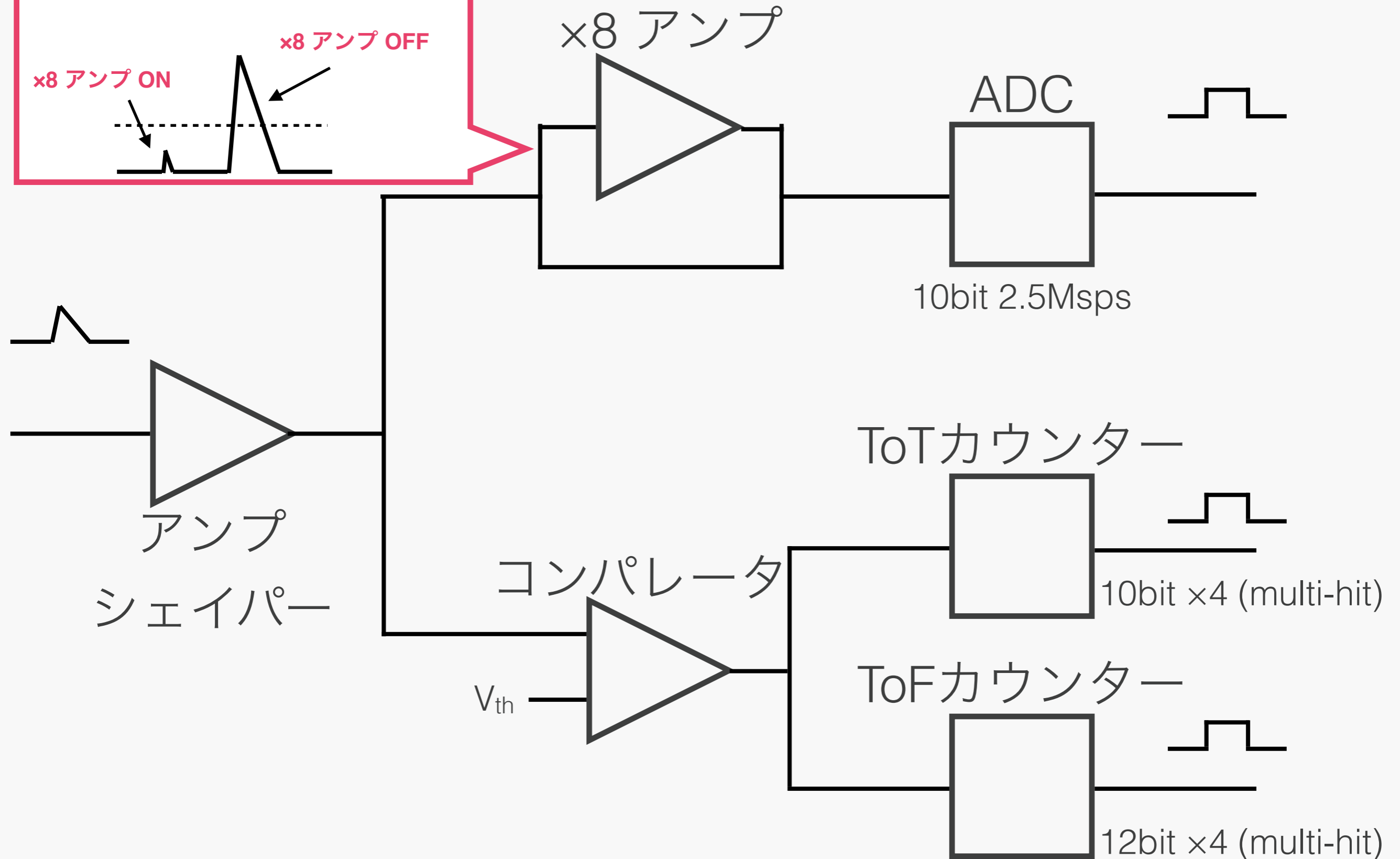
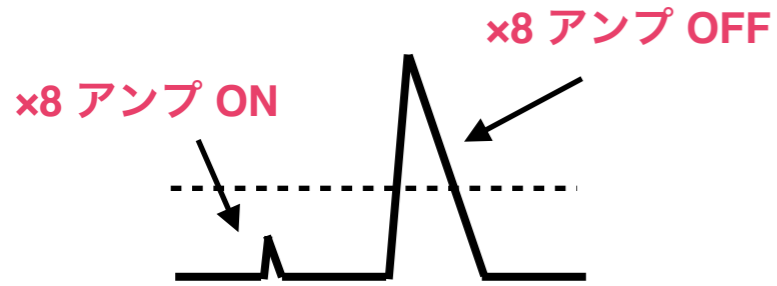
# 1ピクセルごとの回路



厳密には等価回路でもない。イメージ図に近い。

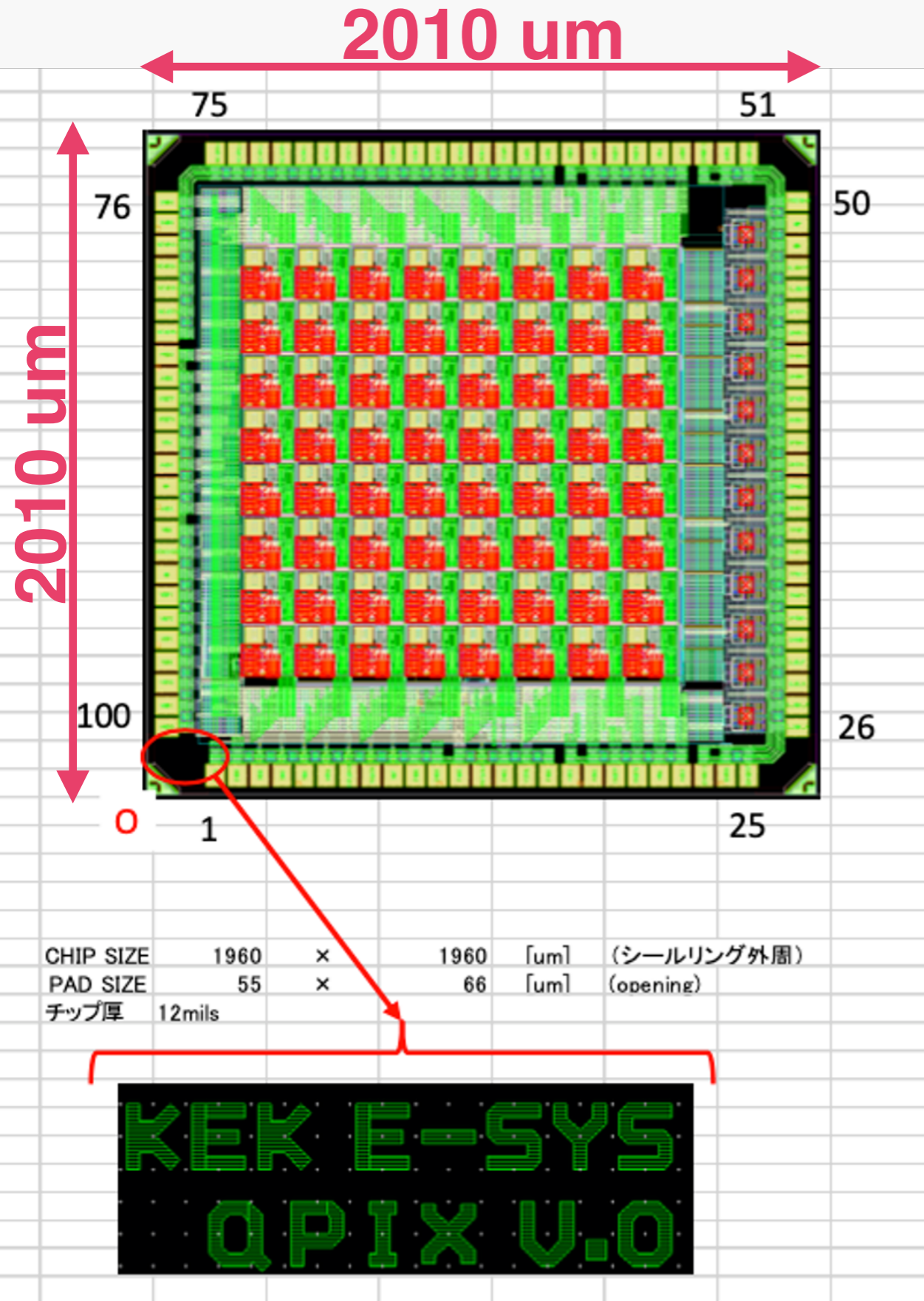
# 1ピクセルごとの回路

## 高ダイナミックレンジ実現



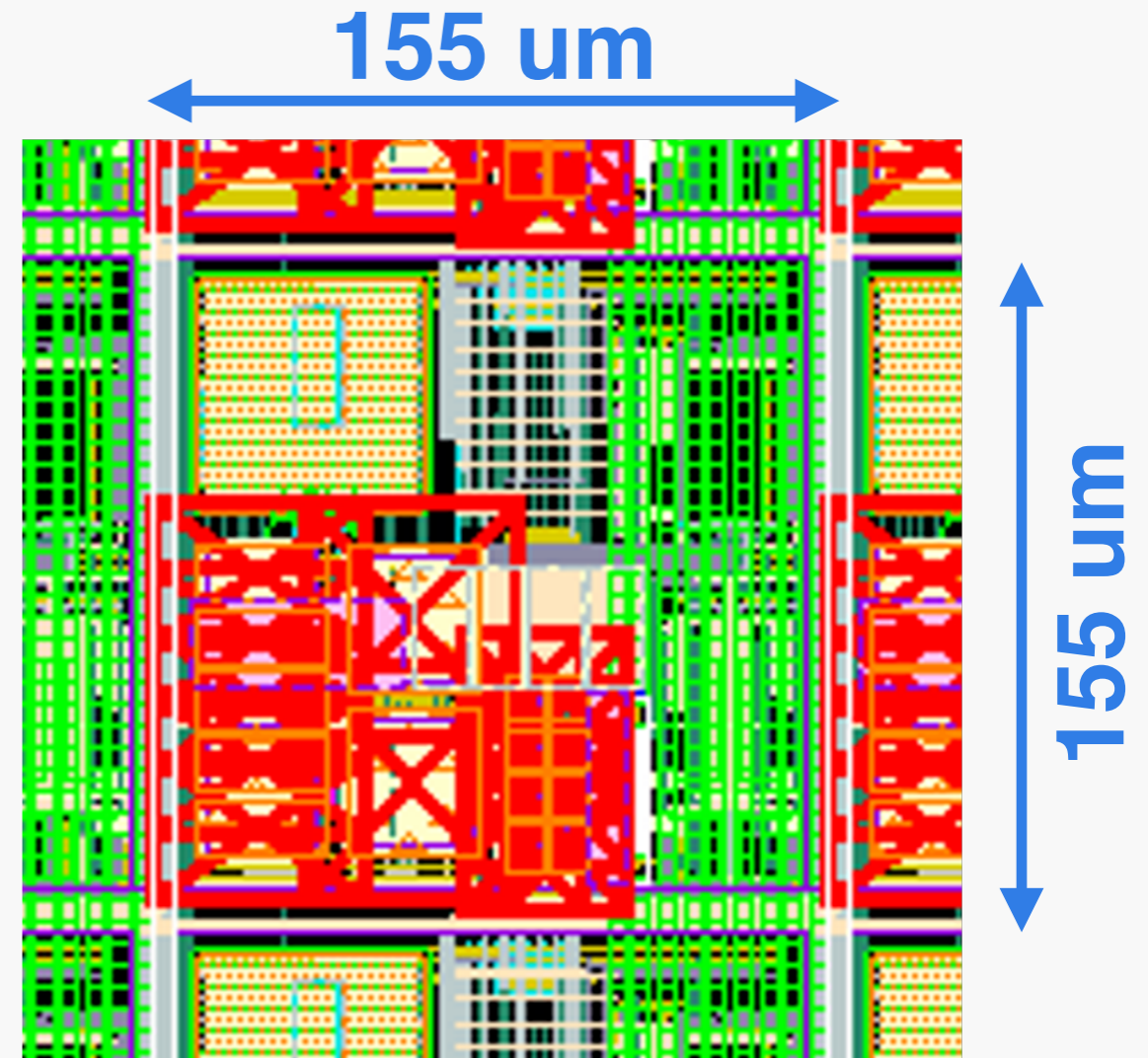
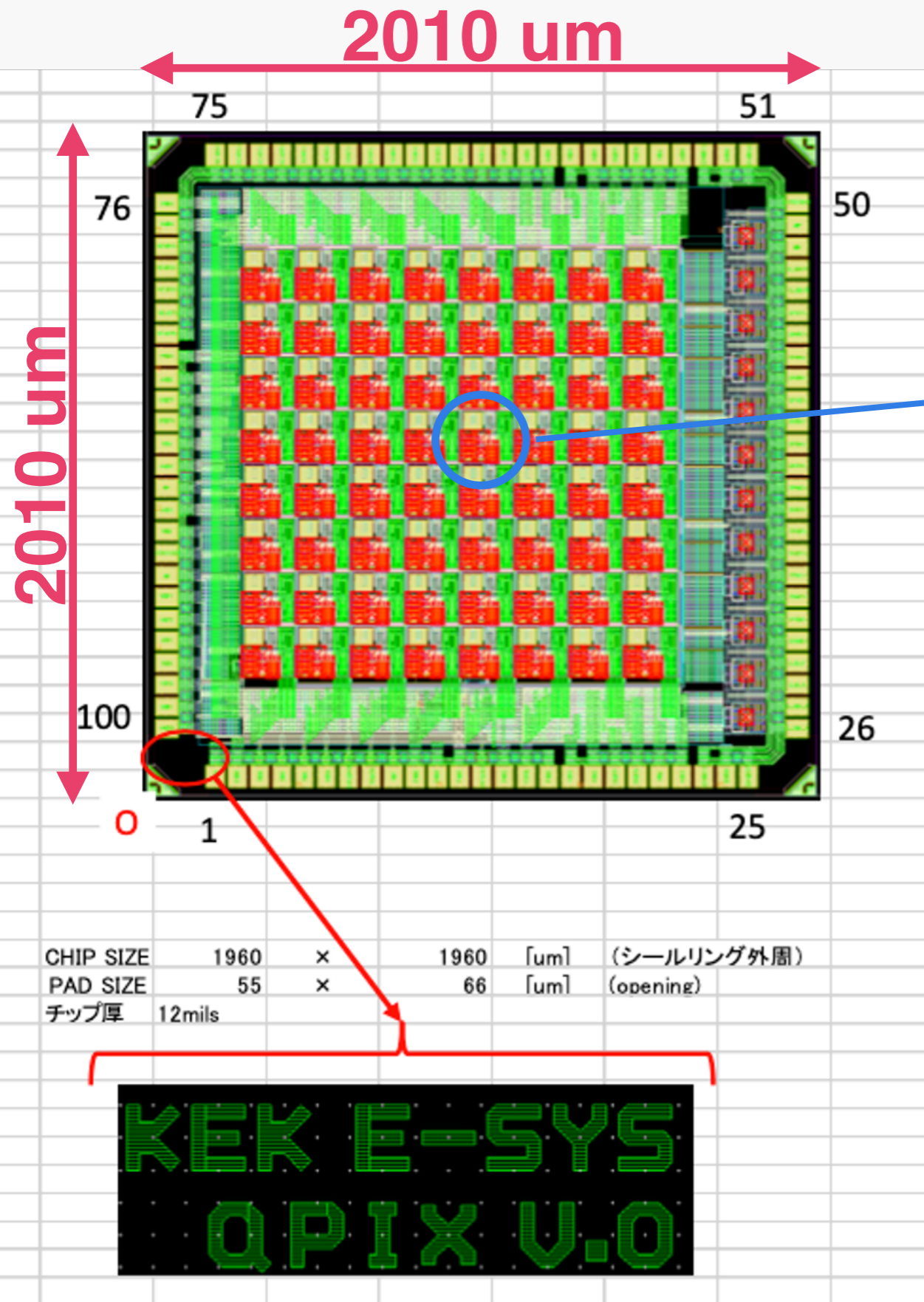
厳密には等価回路でもない。イメージ図に近い。

# ASIC設計図





# ASIC設計図



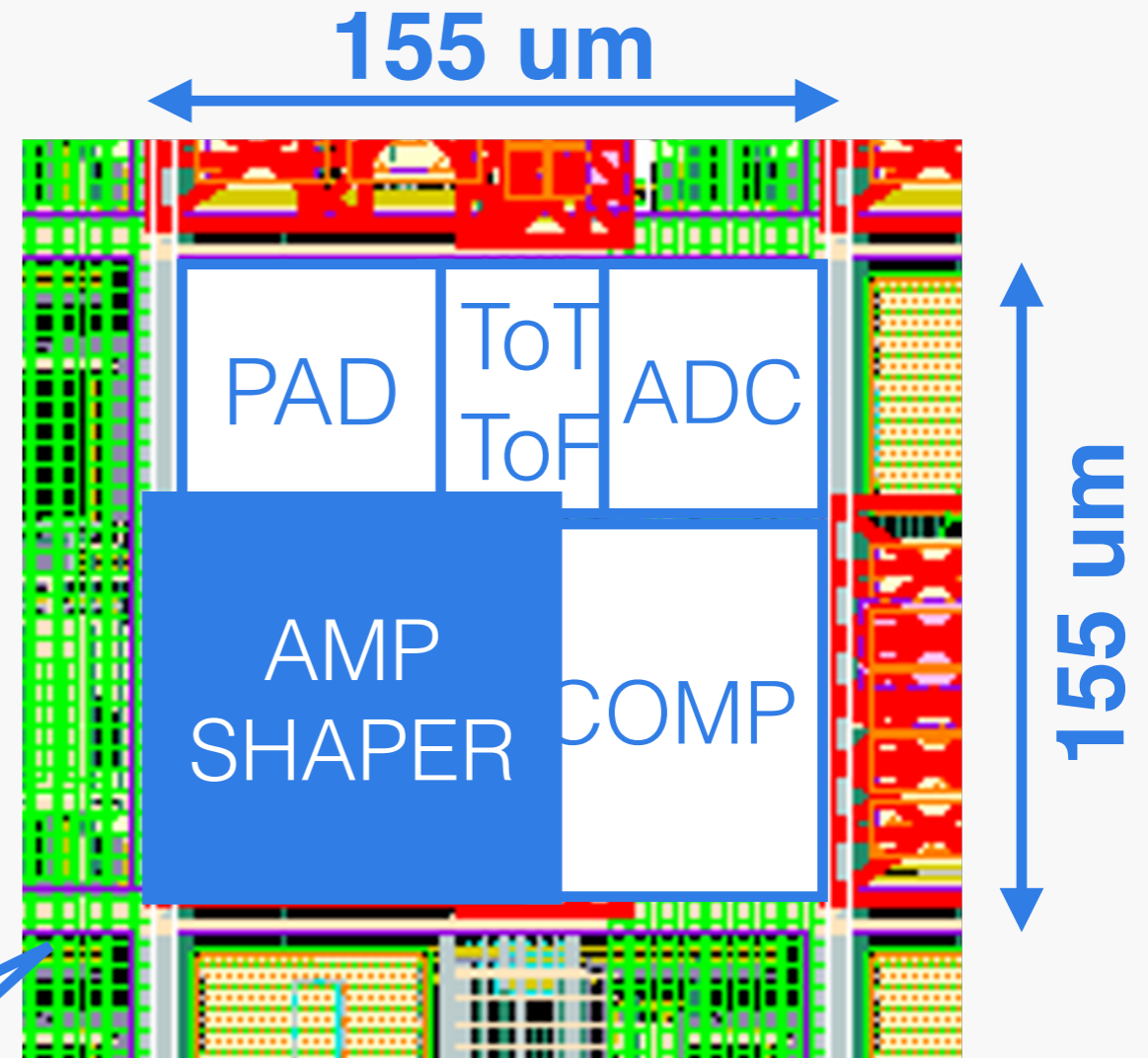
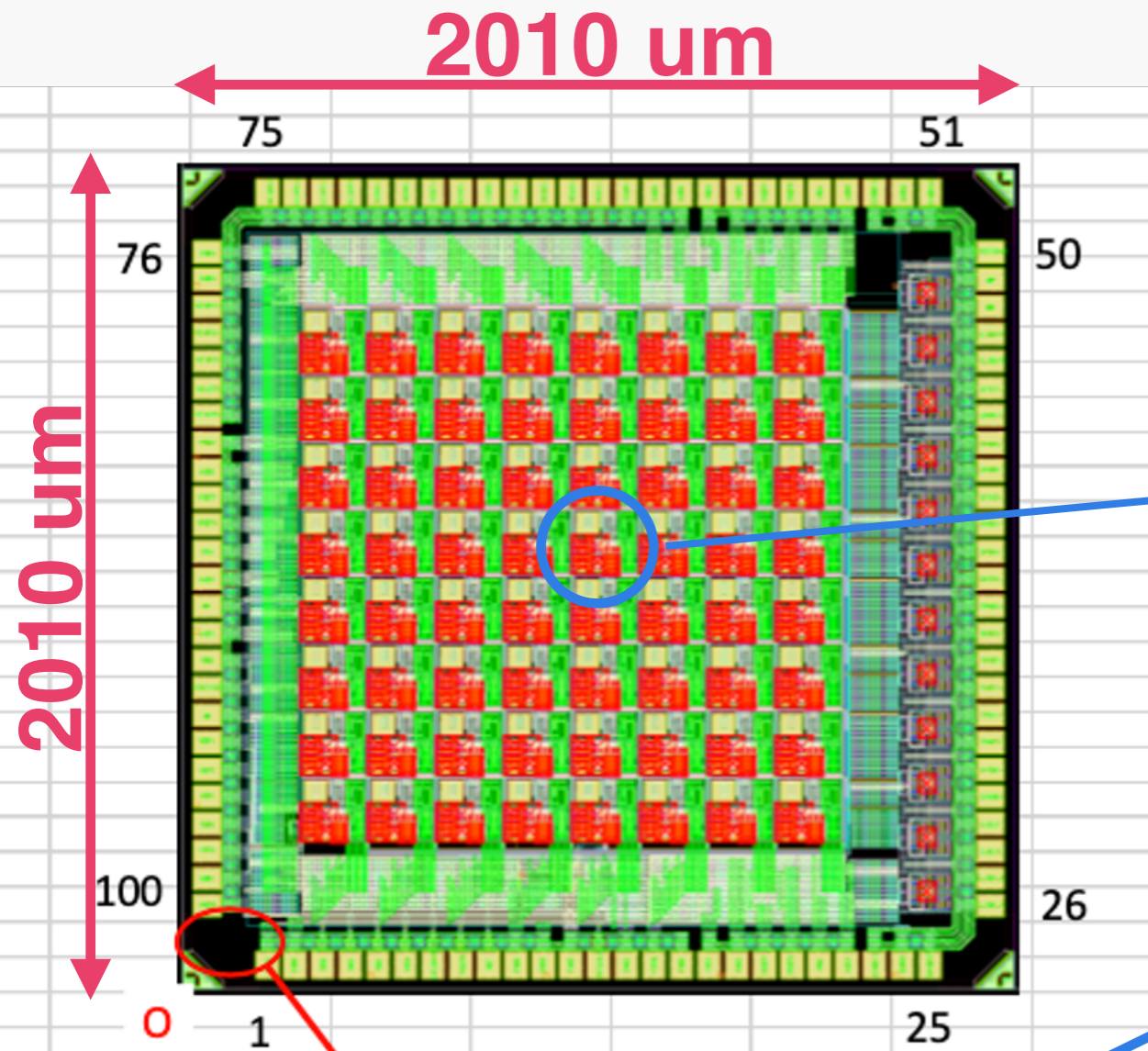
100 um角は夢だったか...

実際の読み出しパッドは  
もっと大きい (詳細は割愛)

16 が、**原理検証のためにこれ作るぞ!**



# ASIC設計図



アナログ回路が大面積  
(コンデンサーを  
小さくできない)

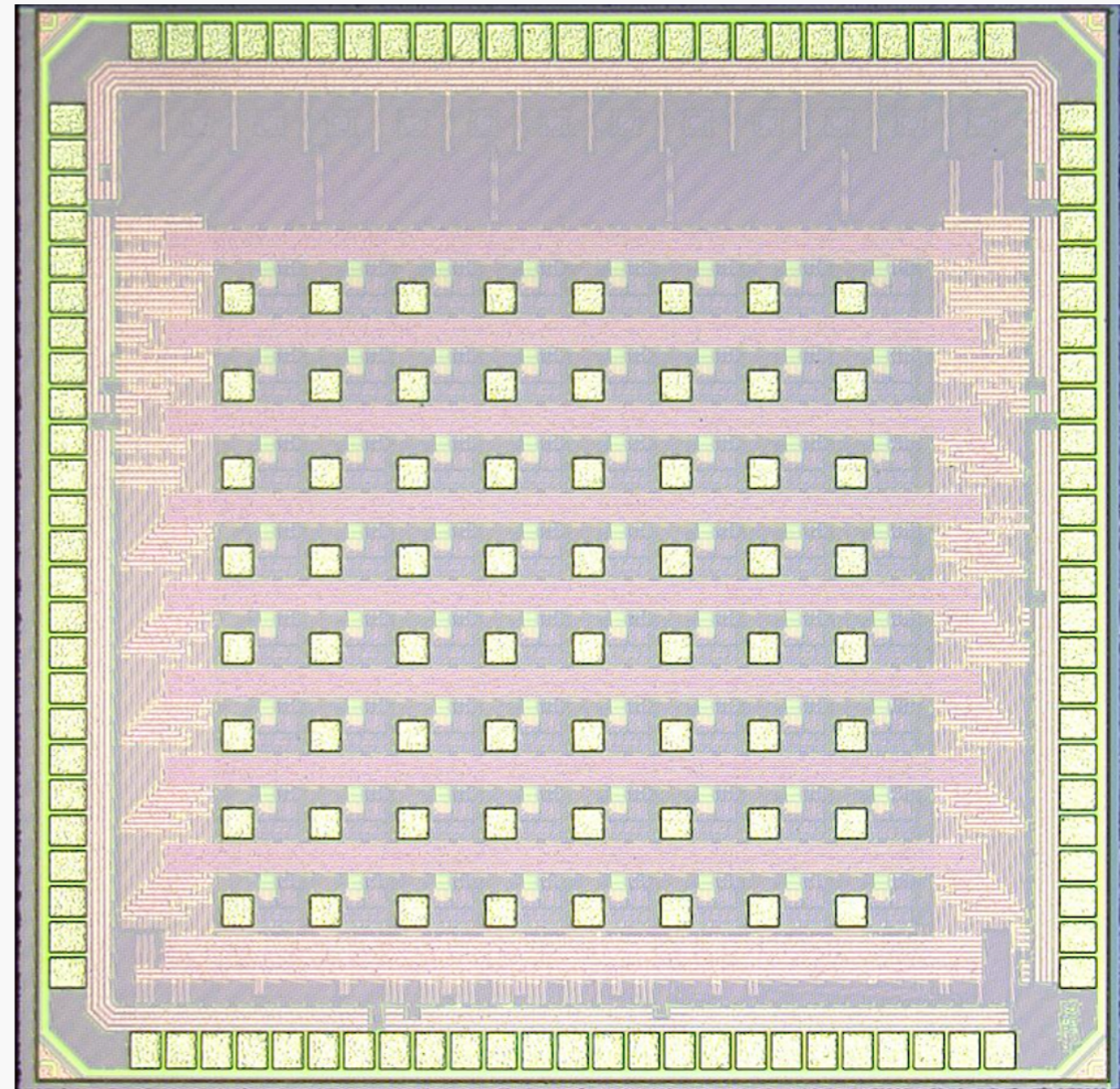
100 um角は夢だったか...

実際の読み出しパッドは  
もっと大きい (詳細は割愛)

16 が、**原理検証のためにこれ作るぞ!**



# 納品: QPIX NEO v1

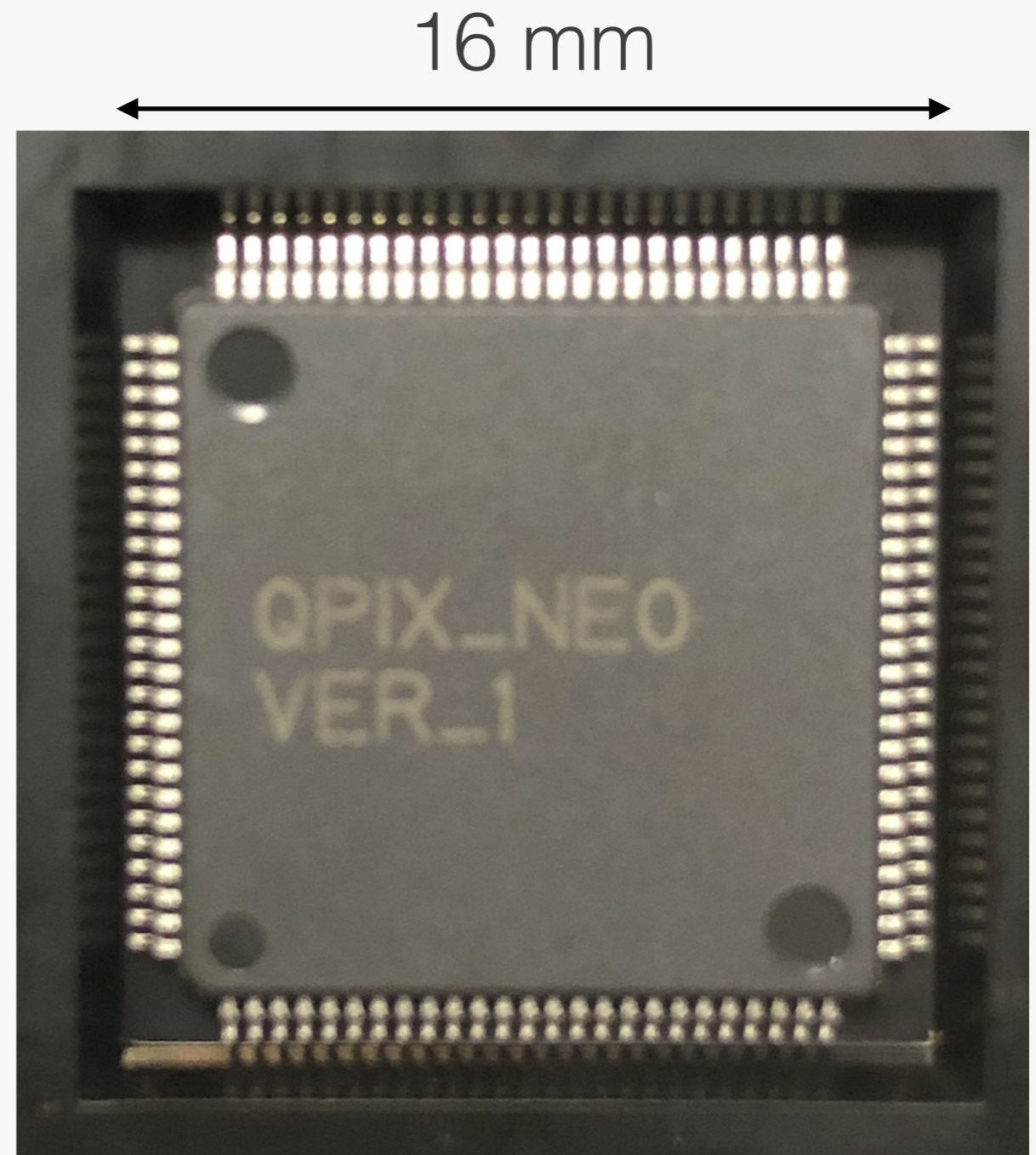


このサイズで64 ch読み出し (ADC + ToT/ToF) ができる



# パッケージジニング

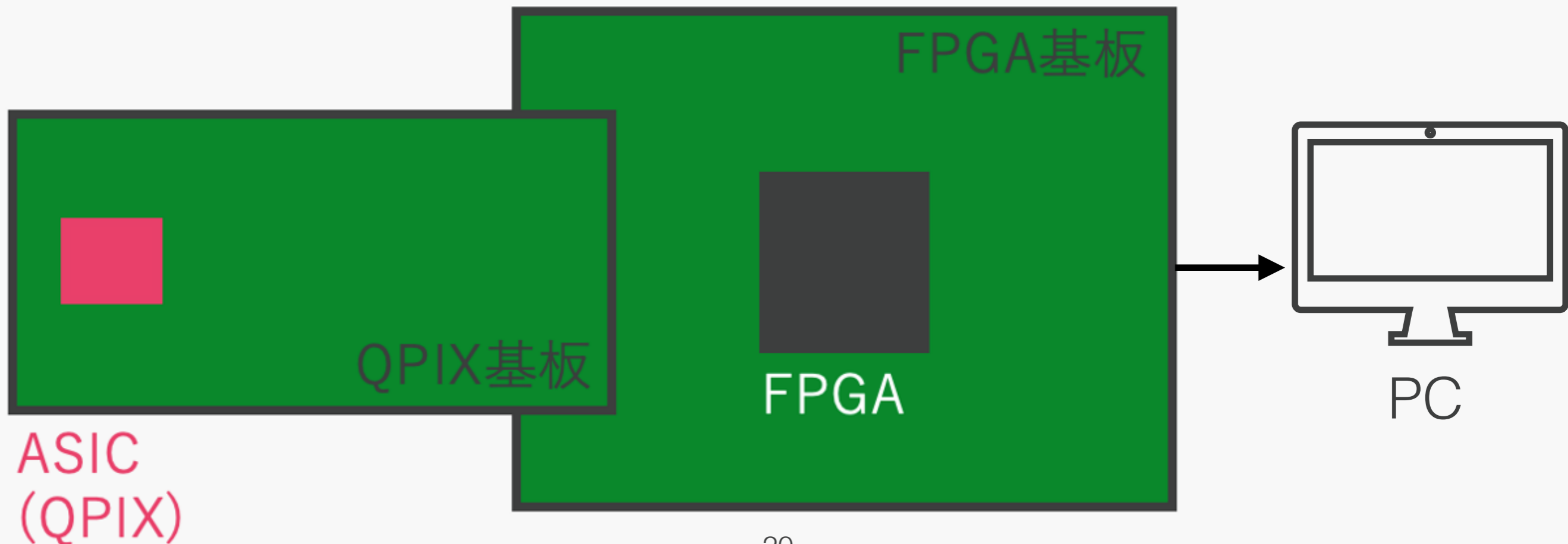
- プロトタイプ版はエレキ検証用なので思い切ってパッケージジニング



# ASIC搭載基板開発

# DAQイメージ図

- ざっくりこんな感じで作りたい
  - QPIX NEO搭載基板を作らなければ
  - FPGA基板は市販の評価ボードを使ってなんとかすればいいや
    - ▶ FPGA (プログラミングで書き換え可能なデジタル回路チップ)
- 以下のシステムでまずはQPIX NEOの性能評価を行うことが目的 (TPCはナシ)



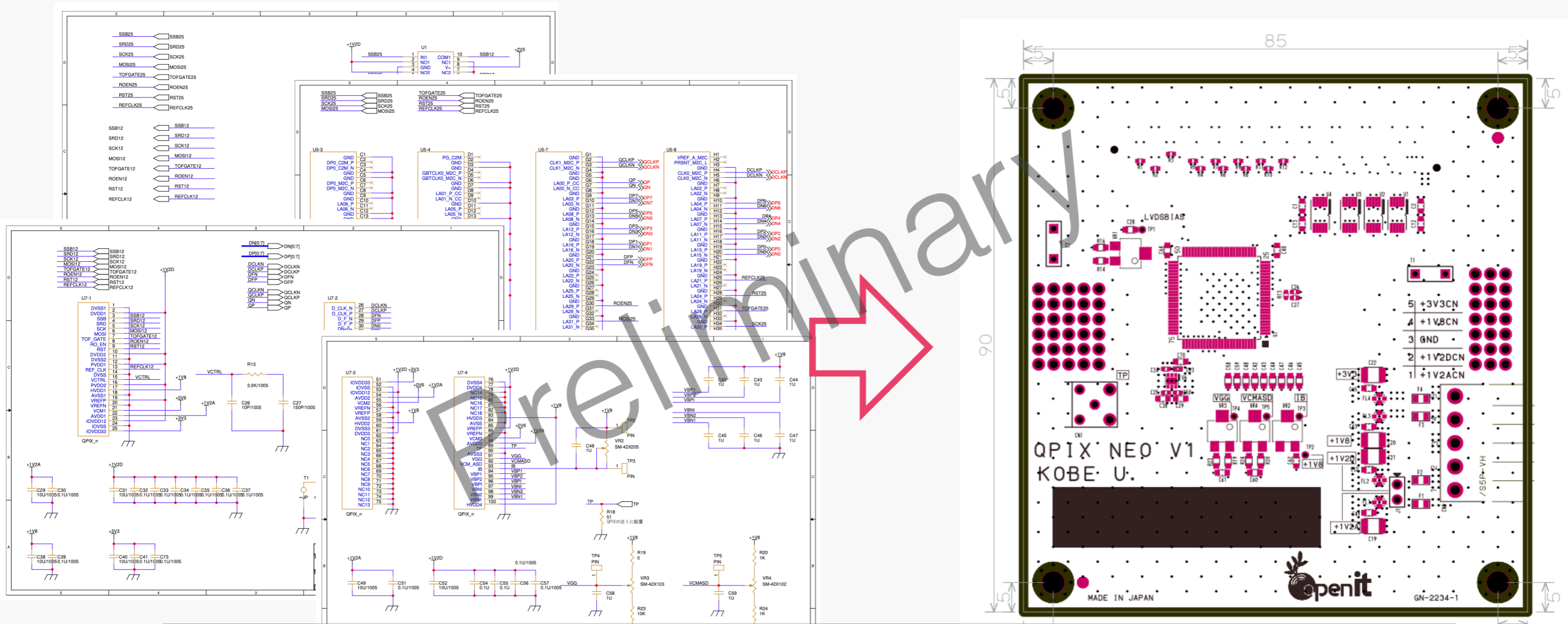


# 基板づくり (MIQAN v1)

- Multi-hit readout board using QPIX NEO for dArk matter experiment

➔ 回路図を自分で書く

➔ 基板設計図 (レイアウト) は業者 (ジーエヌディー) へ依頼



現在レイアウト微調整中 (年始ごろ納品を目指す)



# FPGAボード

- 市販のZynqボード (SoC: 雑にはOS + FPGA) を購入

ボード / ザイリンクス Zynq-7000 SoC ZC702 評価キット

## ザイリンクス Zynq-7000 SoC ZC702 評価キット

作成者: Xilinx, Inc  
**XILINX.**

Zynq-7000 SoC ZC702 評価キットは、ハードウェア、デザイン ツール、IP、検証済みリファレンス デザイン (ターゲット デザインを含む) の基本コンポーネントをすべて揃えた完全なエンベデッド プロセッシング プラットフォームです。

価格: \$1,074.00  
 パーツ番号: EK-Z7-ZC702-G  
 リードタイム: 23 週間  
 デバイス サポート: Zynq-7000

Buy

クリックして拡大



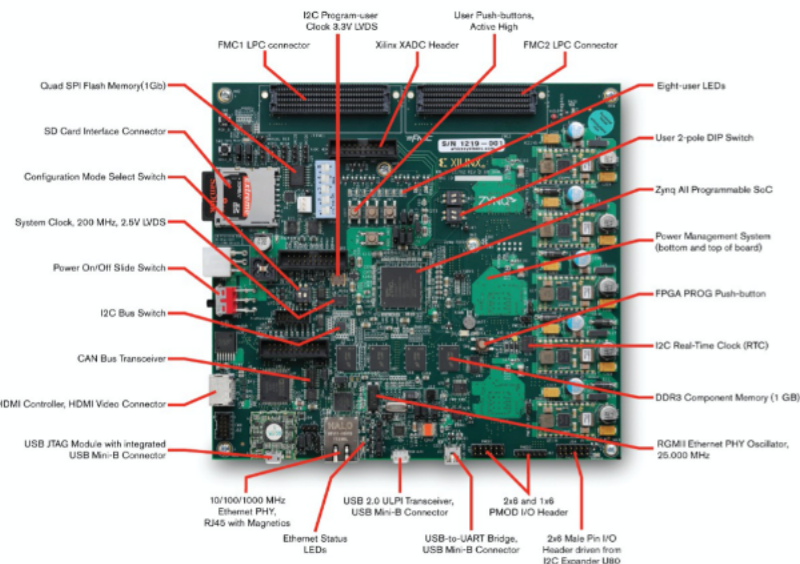
## ザイリンクス デバイス

XC7Z020-CLG484-1 搭載 ROHS 準拠の ZC702 キットの特長

ロジックセル (K)	85
ブロック RAM (Mb)	4.9
DSP スライス	220
最大 I/O ピン数	200



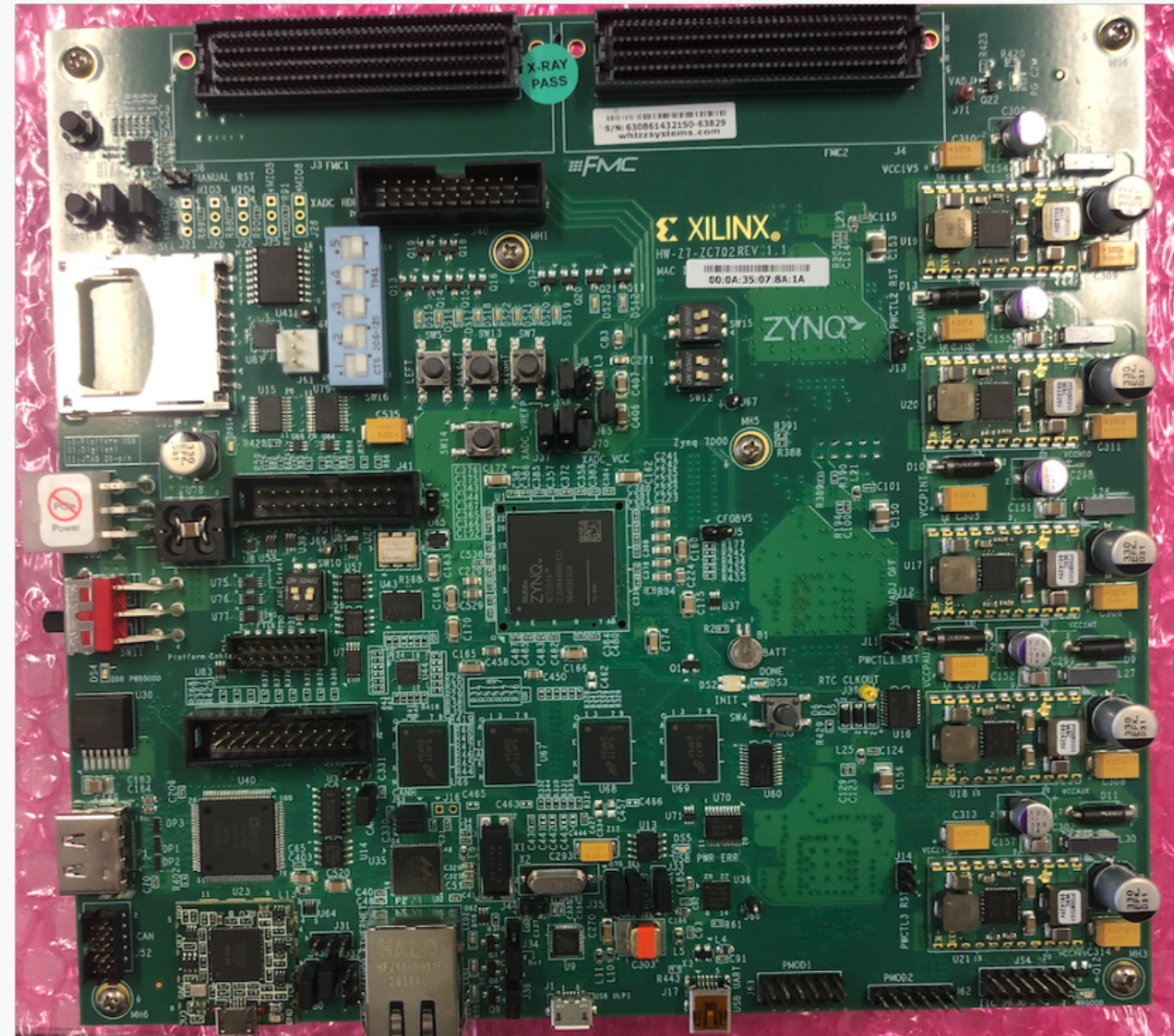
ZC702 ベースボードの特長



## 拡張コネクタ

- FMC #1-LPC コネクタ (0 GTX トランシーバー、68 シングルエンドまたは 34 差動のユーザー定義信号)
- FMC #2-LPC コネクタ (0 GTX トランシーバー、68 シングルエンドまたは 34 差動のユーザー指定信号)
- IIC ハブ/エキスパンダ
- デュアル Pmod (8 個の I/O を LED と共有)
- シングル Pmod (4 個の I/O を PJTAG と共有)

↓ ↑ MIQANをここに接続



22 MIQANができたならモノは揃う!

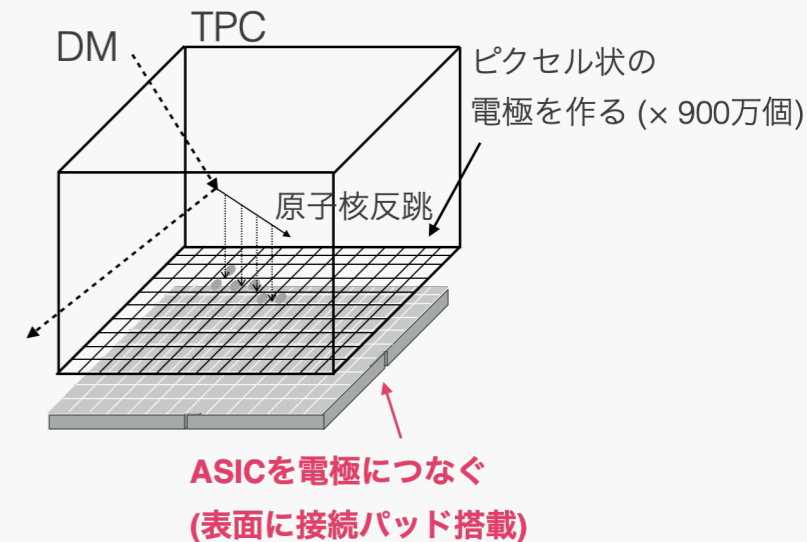


# 今後

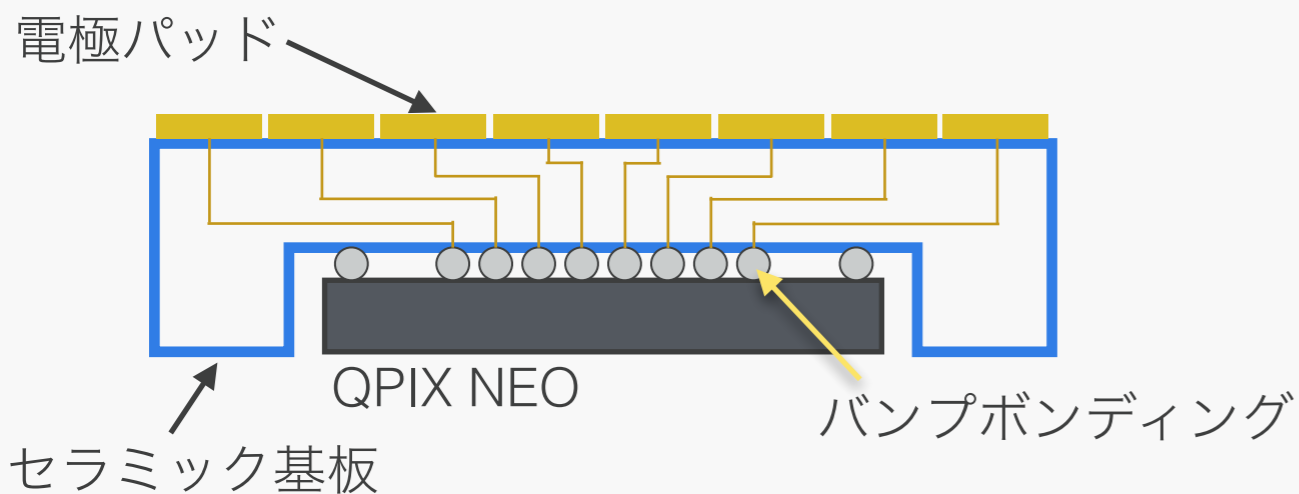
- 1月納品、年度内 - 来年度頭で性能評価

→ うまくいってそうな場合、電極つける

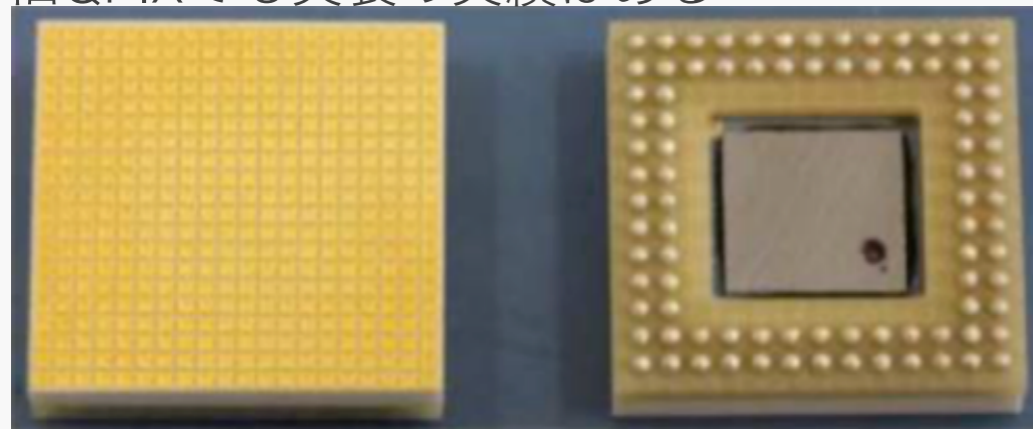
→ うまくいってない場合、ASIC ver2設計 (元々の計画)



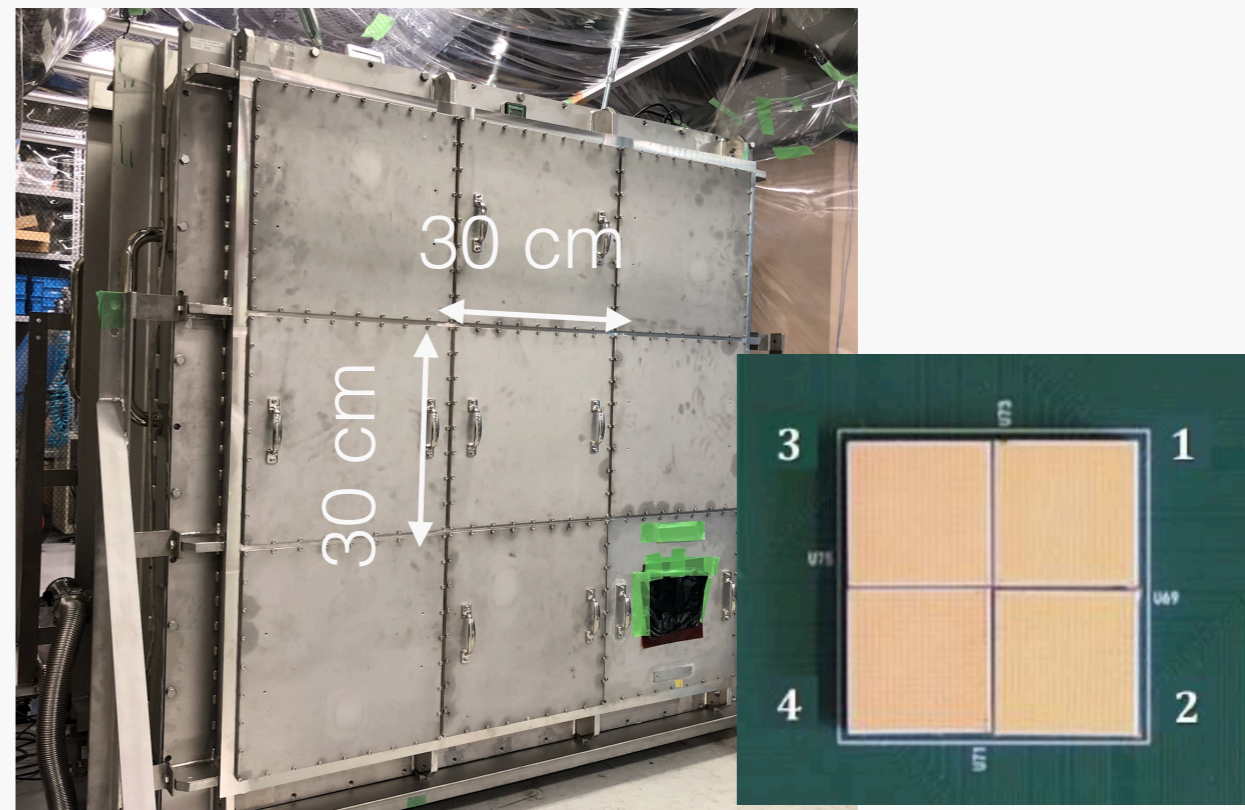
- 電極取り付けが大きなヤマ



旧QPIXでも実装の実績はある



C/N-1.0 への実装が将来の夢



# もっとgeneralな話

- あえてややテクニカルに絞って話をしてみた

➔モチベーションなどの詳しい話はこちら

## 「第8回極低放射能技術」研究会

日時：2022年11月24日午後～11月26日午前

対面（つくば国際会議場 中会議室202）とZoomのハイブリッド開催

新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」

計画研究D01「極低放射能技術の最先端宇宙素粒子研究への応用」主催



Home



Program



Registration

11月25日 (金)

14:45	0:30	休憩	
15:15	0:20	B02班: ガスTPCを用いた暗黒物質探索における低BG検出器開発状況	東野聡 (神戸大)



今後もNEWAGEをよろしくおねがいします





# Backup