



ピクセル読み出し型 ガスTPC開発の現状

神戸大 東野 聡

2025年12月20日

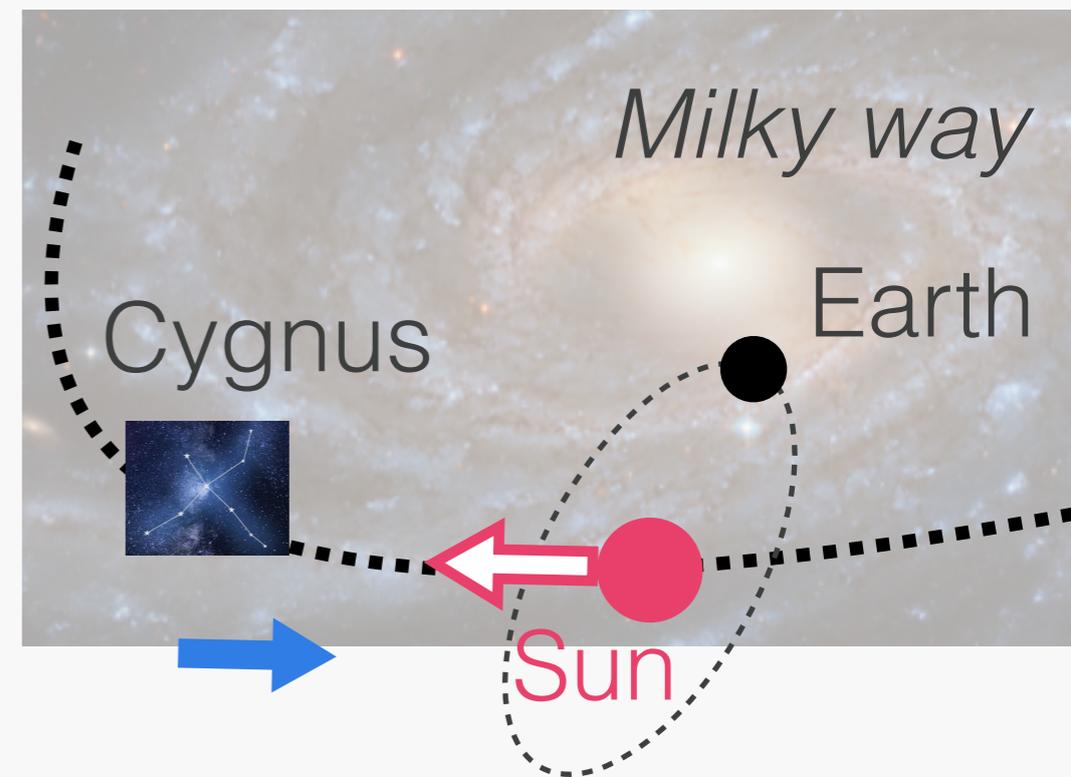
Introduction

方向に感度を持つ暗黒物質 (WIMP) 直接探索

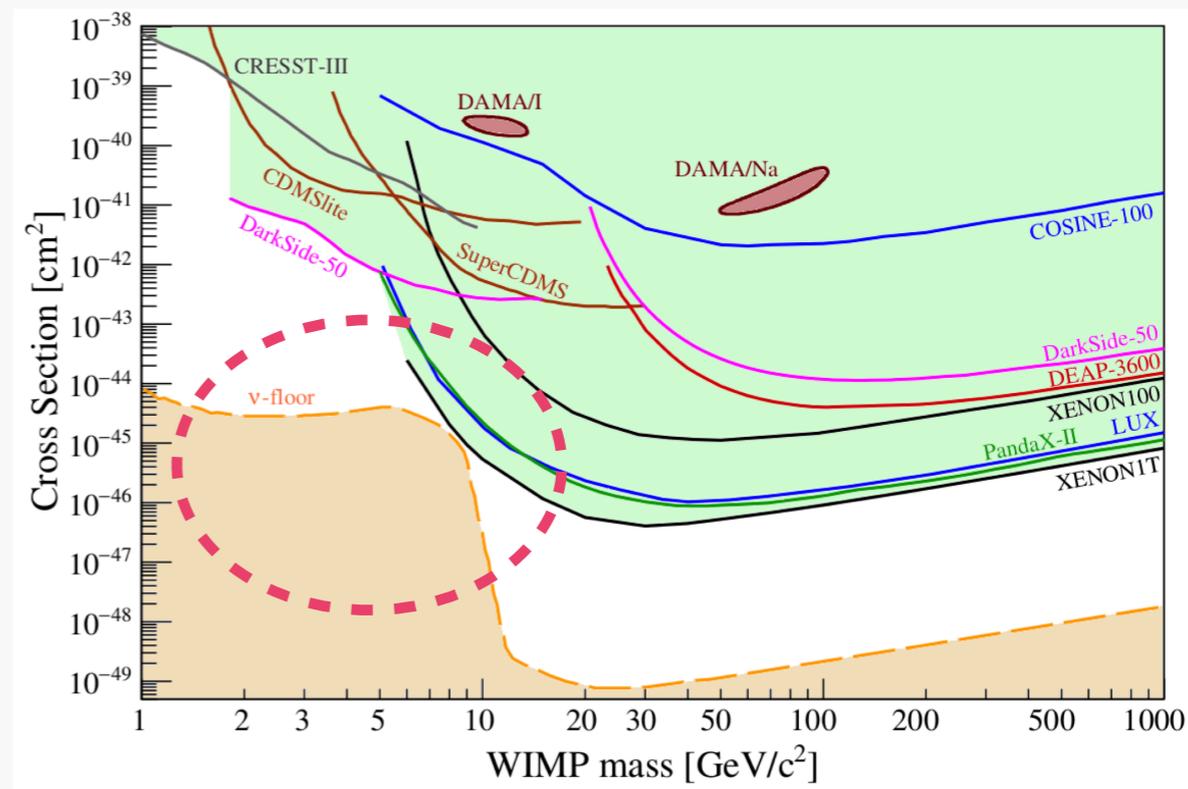
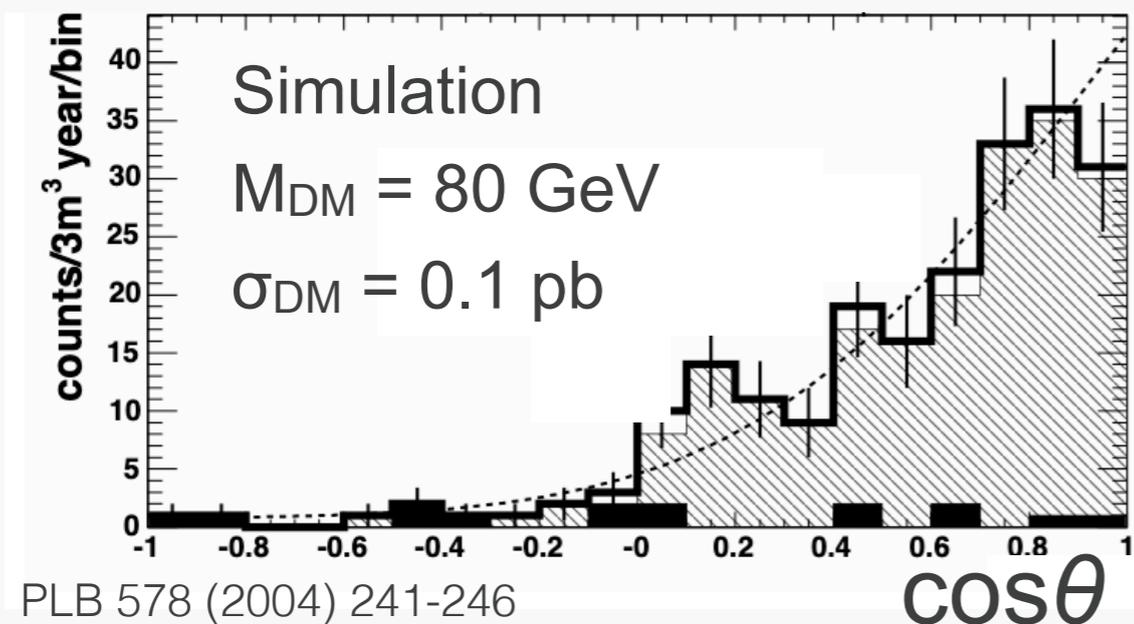
● 原子核反跳からWIMP到来方向を知る

→ DMの素性を明らかにする

→ ニュートリノBGとの分離も可能

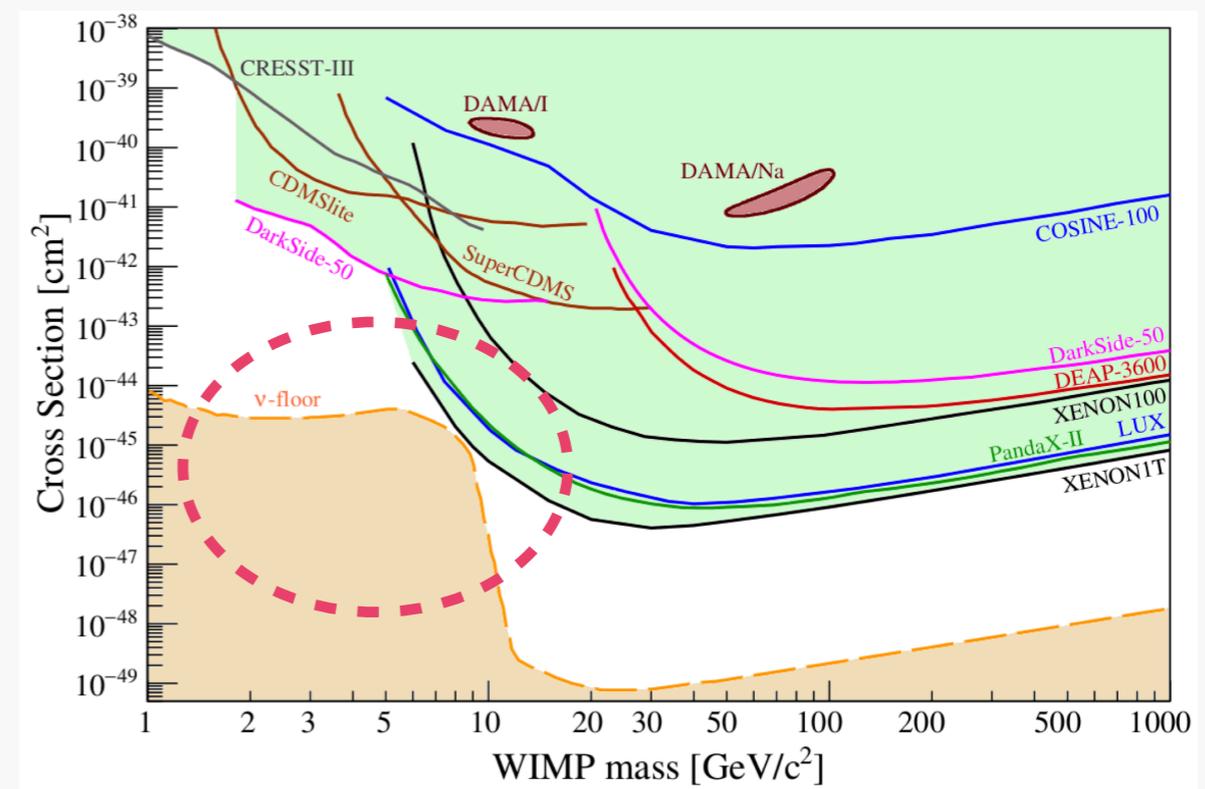
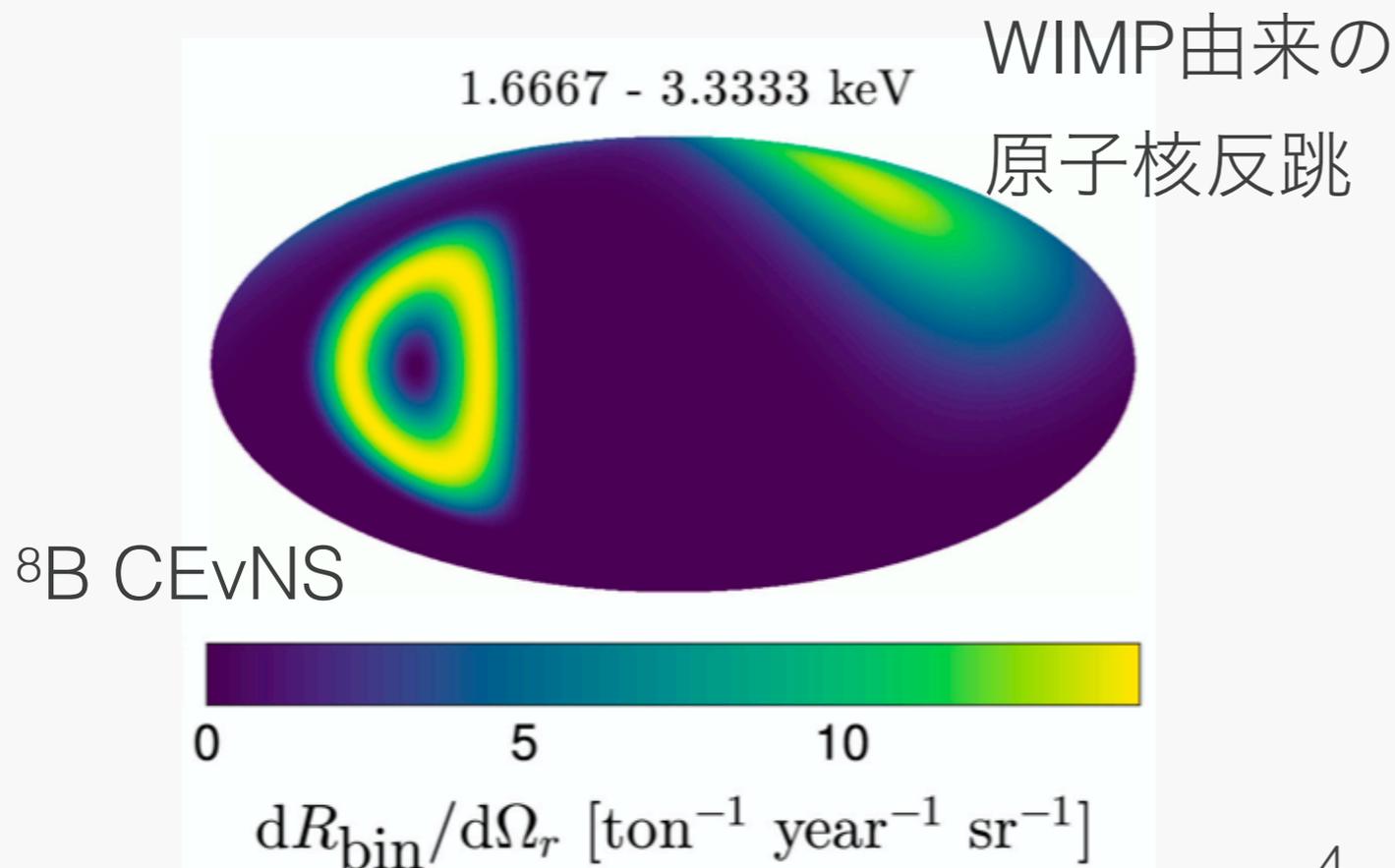


WIMP wind from Cygnus!



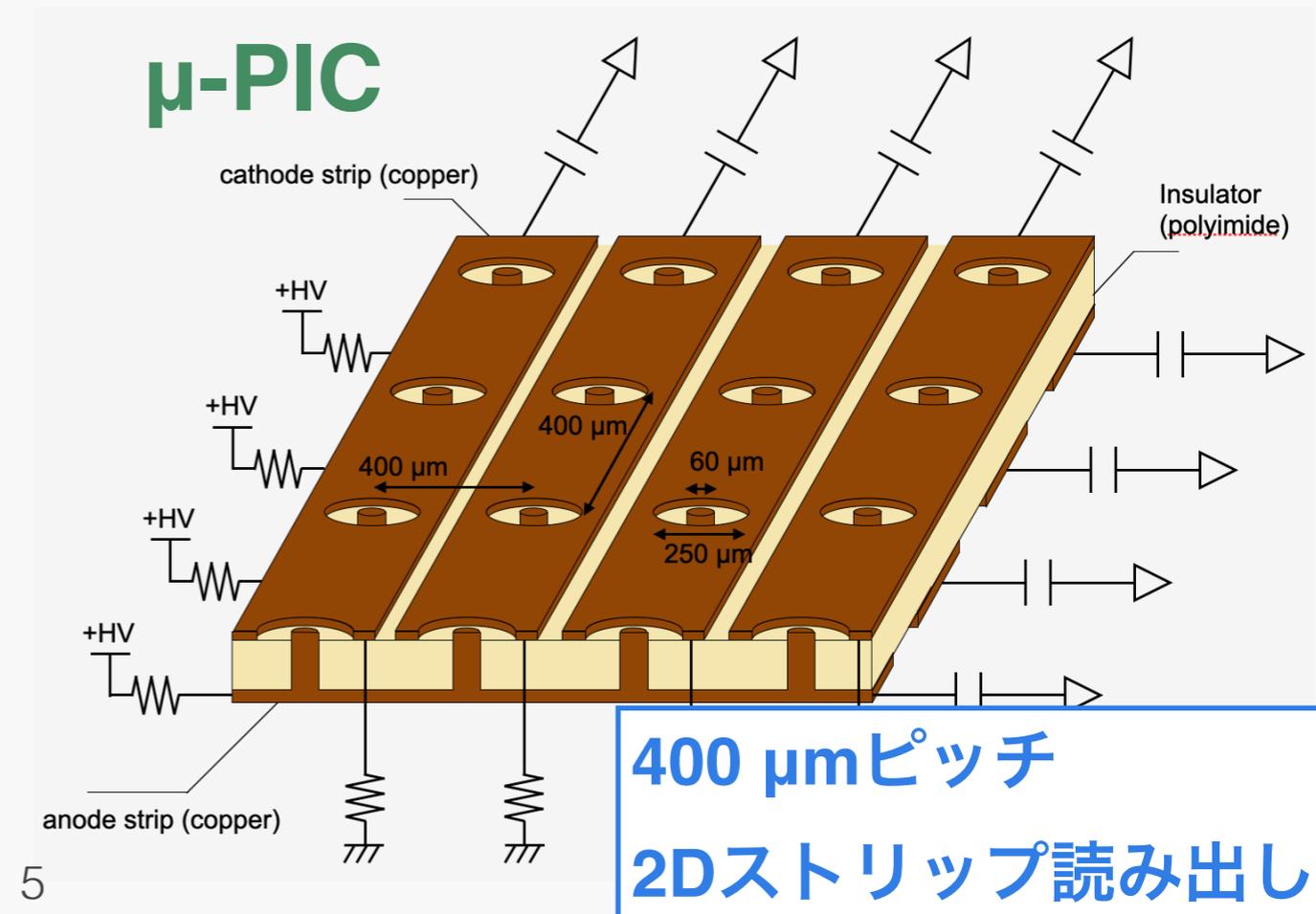
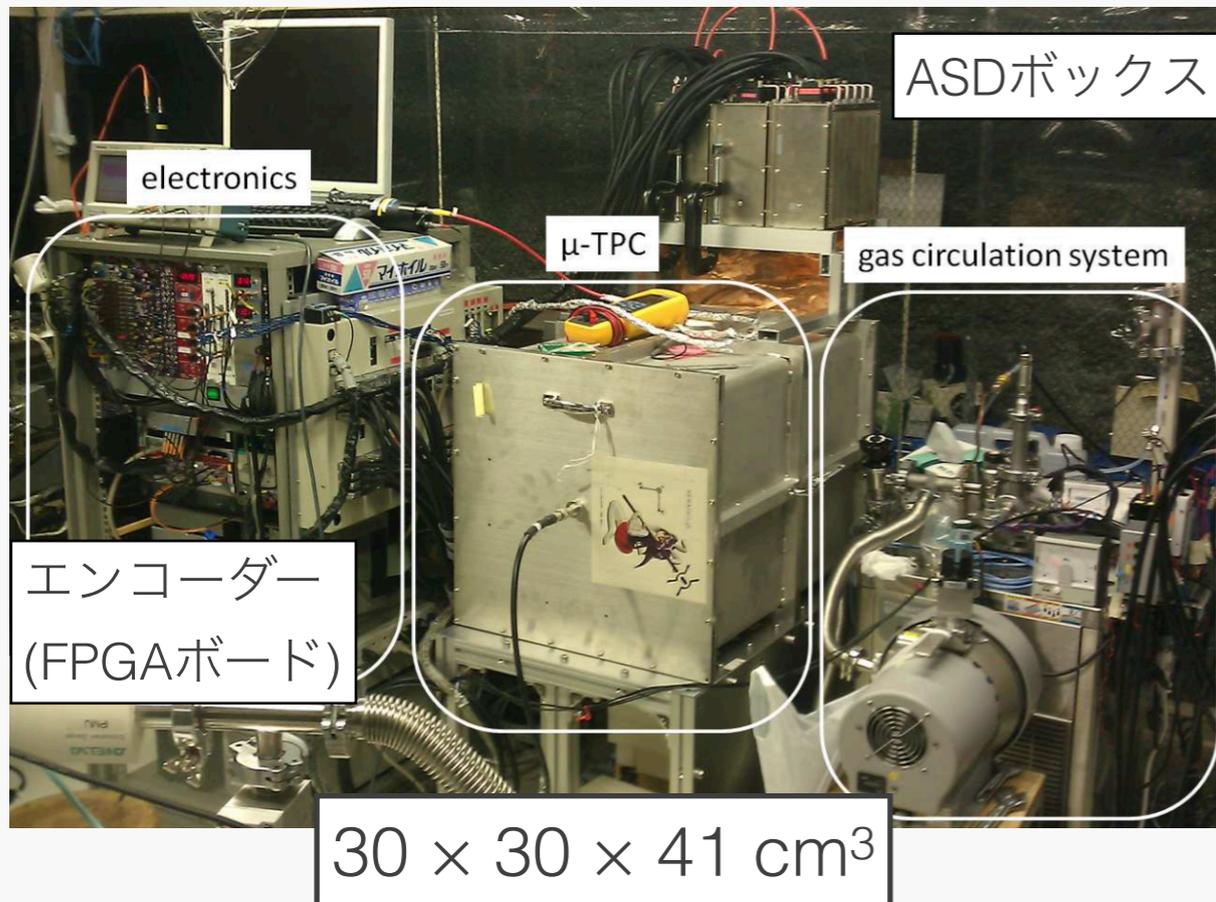
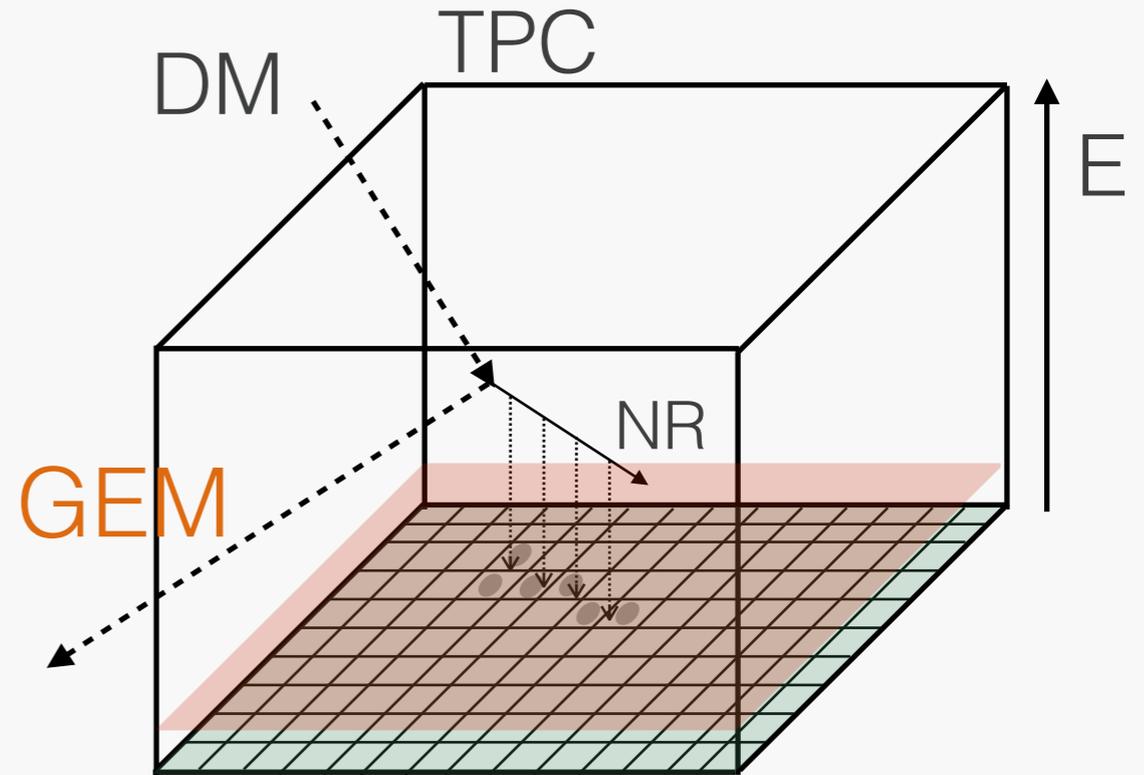
ニュートリノフォグ

- ニュートリノによるBGによって感度が制限される (ぼやっとした) 領域
 - ➔ 特に低質量領域が探索を制限し始めている (^8B によるCEvNS)
- Cygnus方向を見つめていれば散乱角からBG分離可能
 - ➔ 一方、現状の方向感度をもつ実験 (NEWAGE) は低質量領域が苦手



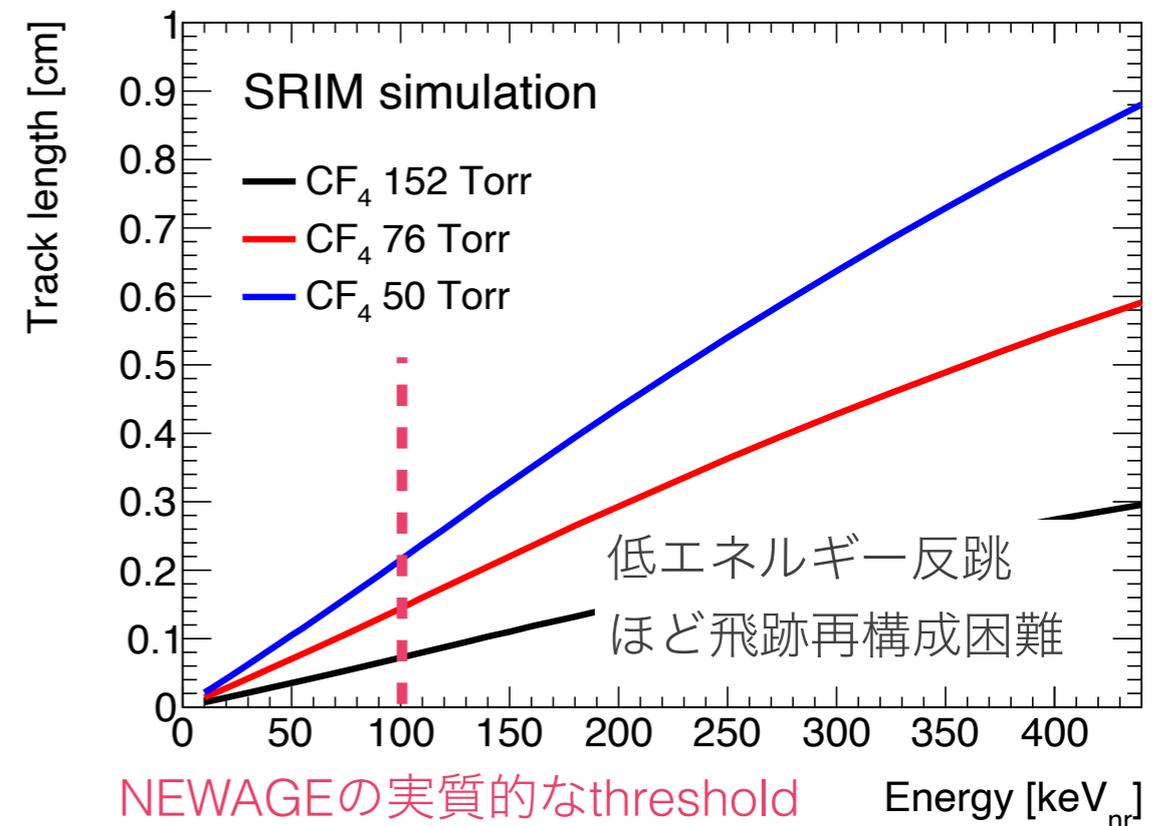
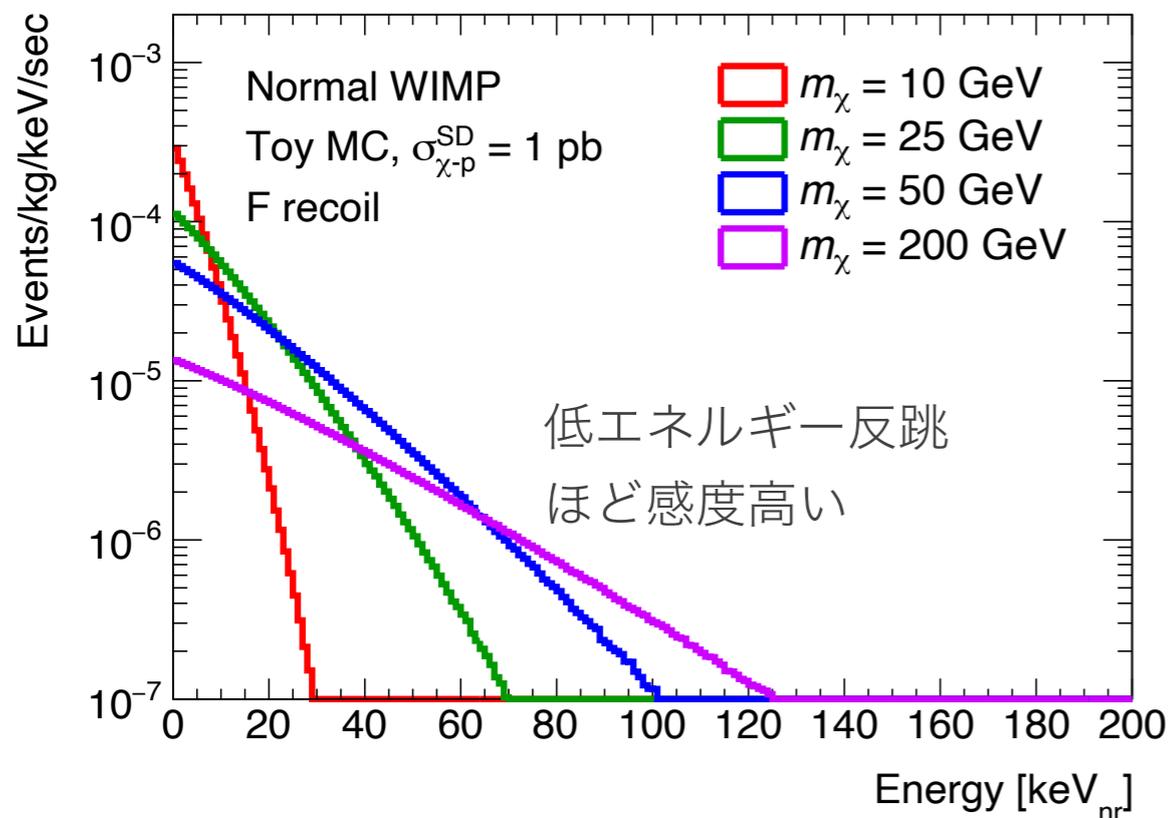
NEWAGE

- 神岡坑内での地下実験実施中
- 低圧ガスTPCで**飛跡再構成**
 - $30 \times 30 \times 41 \text{ cm}^3$ fiducial volume
 - 低圧 CF_4 ガス (0.1 atm)



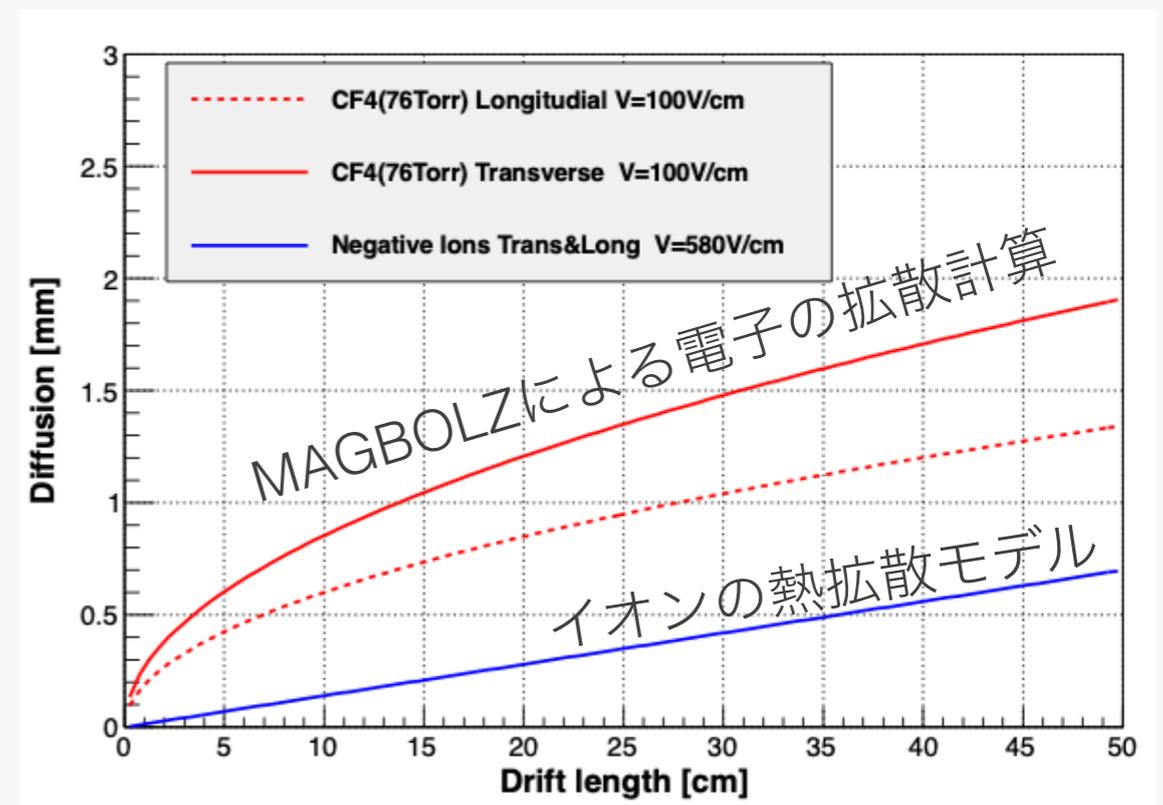
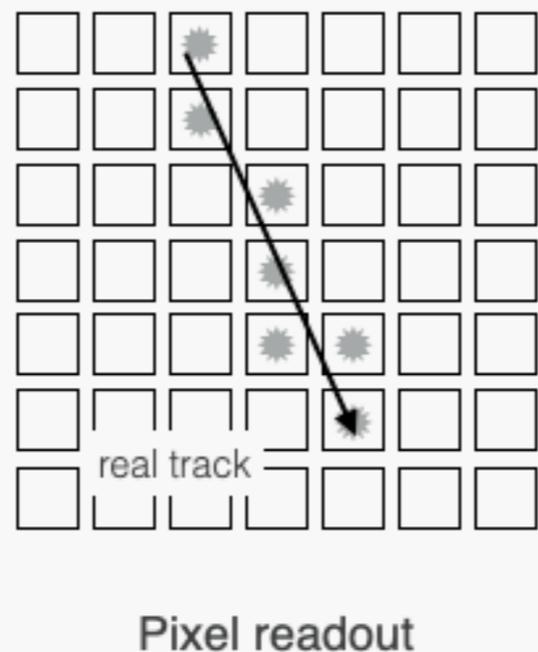
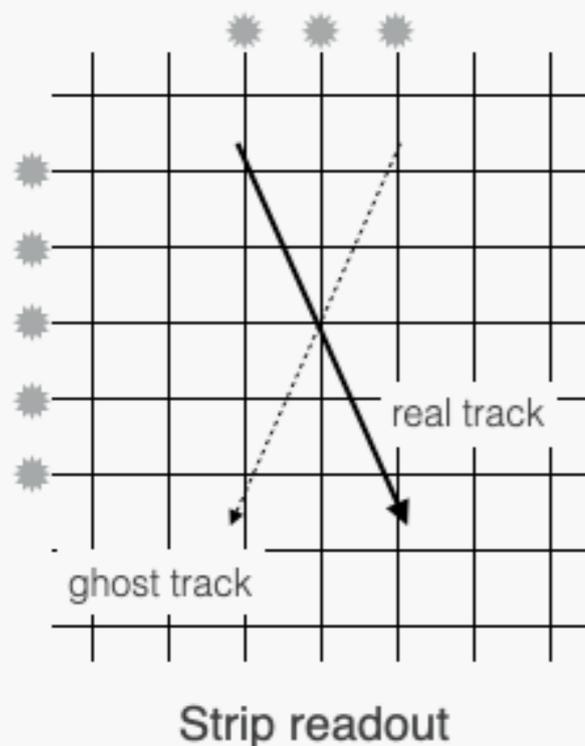
低質量暗黒物質探索に向けて

- 低質量 → 低エネルギー原子核反跳 → 短飛跡で検出困難
- 短飛跡事象を検出するための策
 - より低圧ガスを使う ... 簡単だが放電しやすい & ターゲット減る
 - より微細な読み出し検出器 ... 今回のテーマ

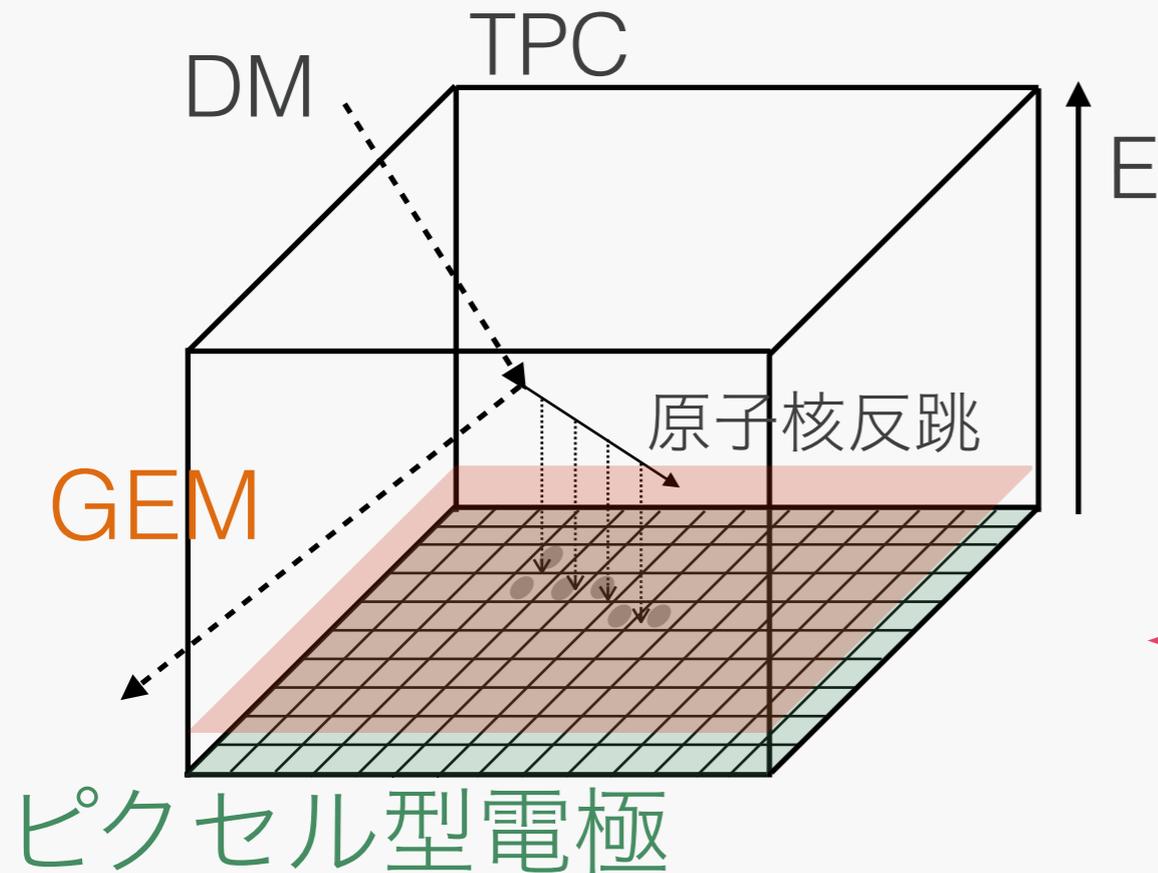


本研究のテーマ

- 低質量暗黒物質探索のための微細読み出しガスTPC開発
 - ➔ ストリップ読み出しからピクセル読み出しへ
 - ➔ “陰イオンガス”を用いてドリフト拡散を低減
 - ▶ という夢に向けた**原理実証**を行う！



考えること



陰イオンガスとは？
何にする？
→SF₆ (遠山講演)

多チャンネルの
読み出しどうする？

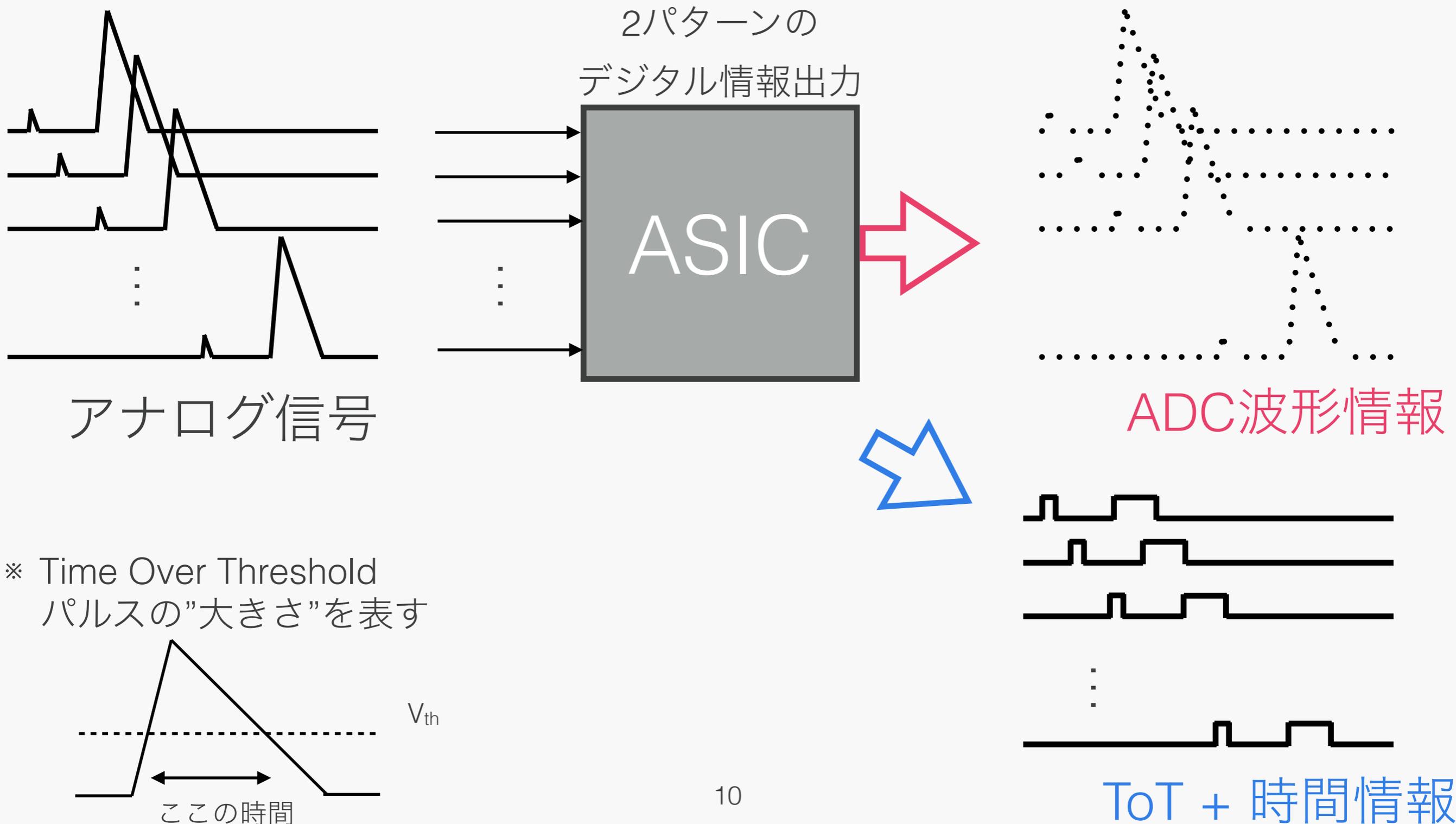
ピクセル電極を
どう取り付ける？

多チャンネル読み出し

“QPIX NEO”

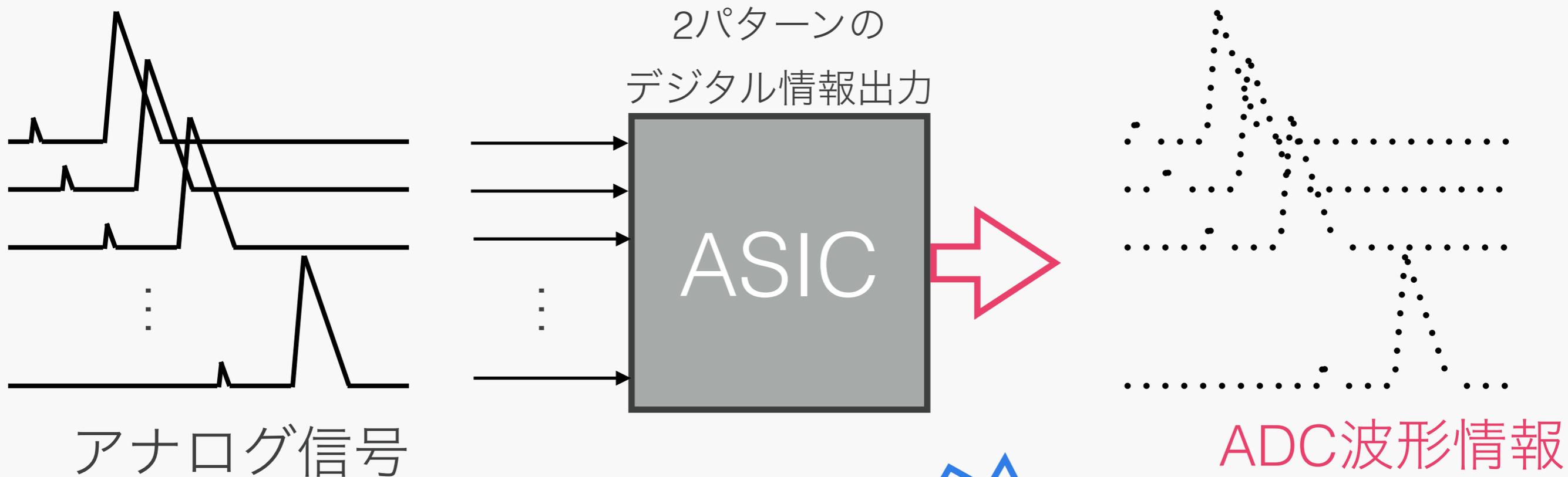
ASICの仕様

- プロトタイプなので冗長に情報取得



ASICの仕様

- プロトタイプなので冗長に情報取得



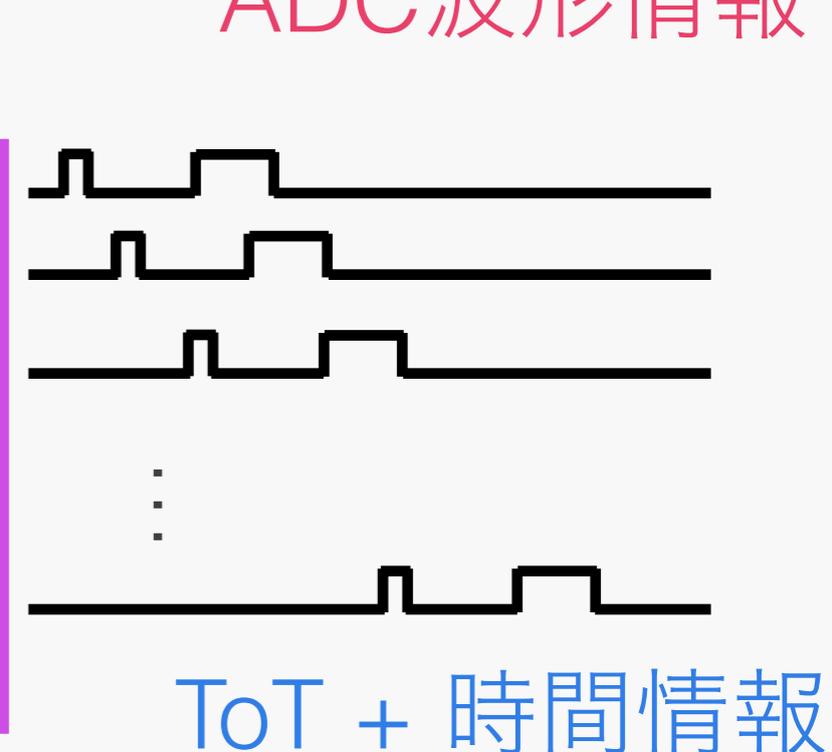
キーワード：マルチヒット対応

ADC波形取得→トリガーレスで垂れ流し

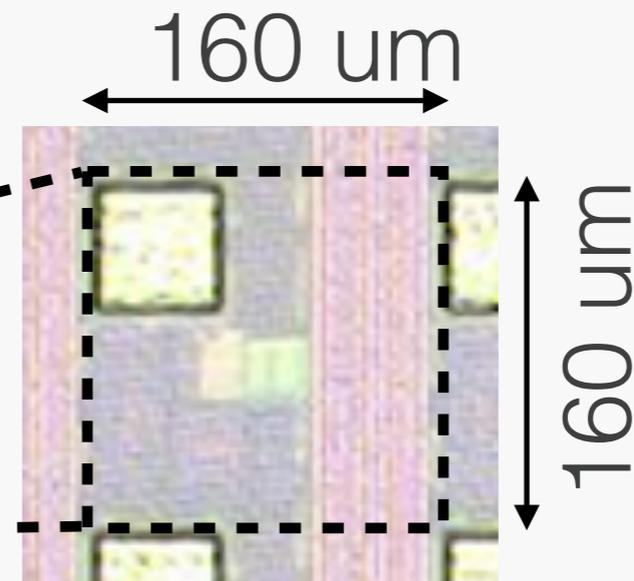
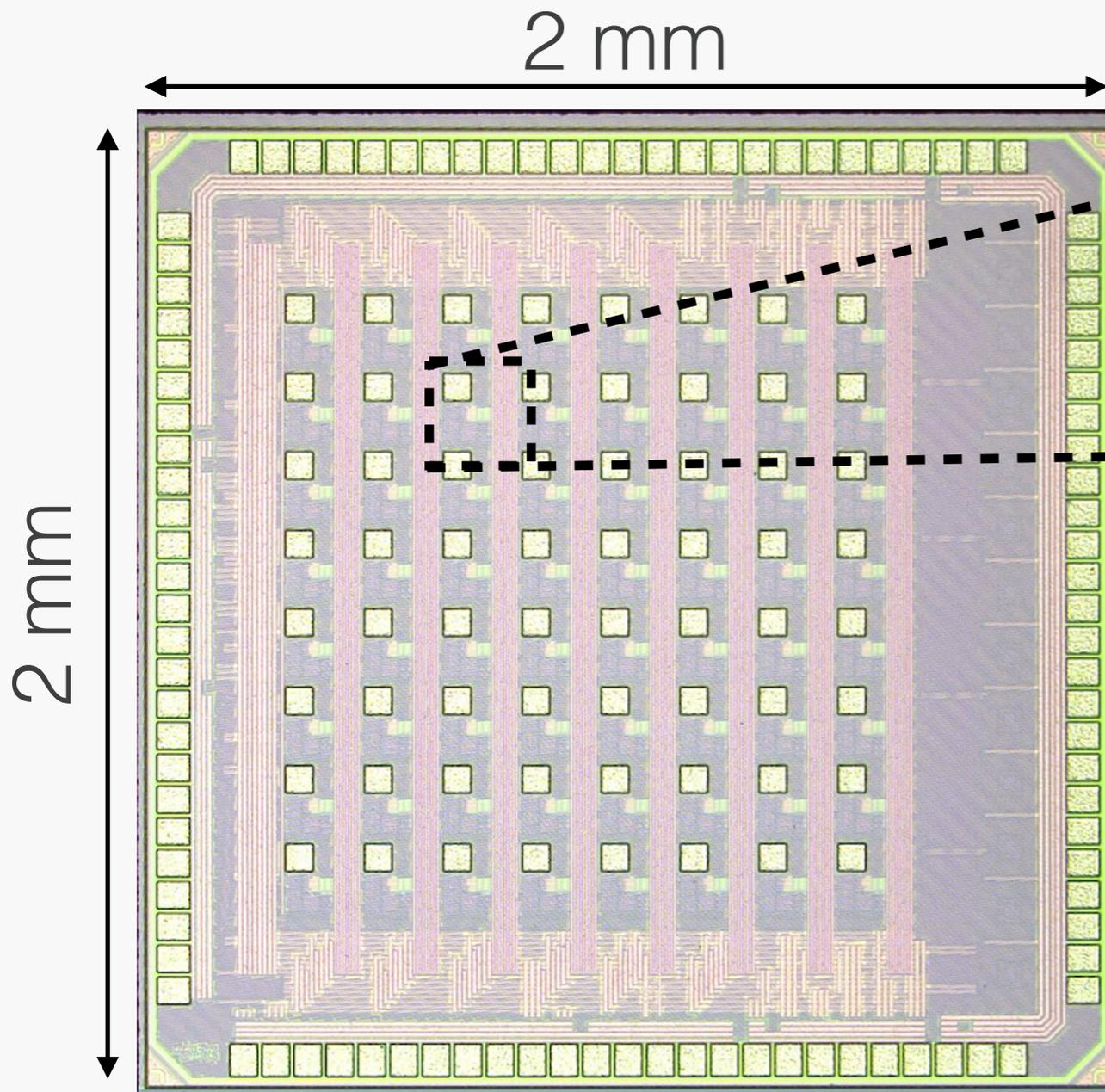
ToT+時間情報→ DAQ開始から最大4ヒットぶん取得

他の実験でも使えないか、アイデア募集中

この時間



QPIX NEO v1



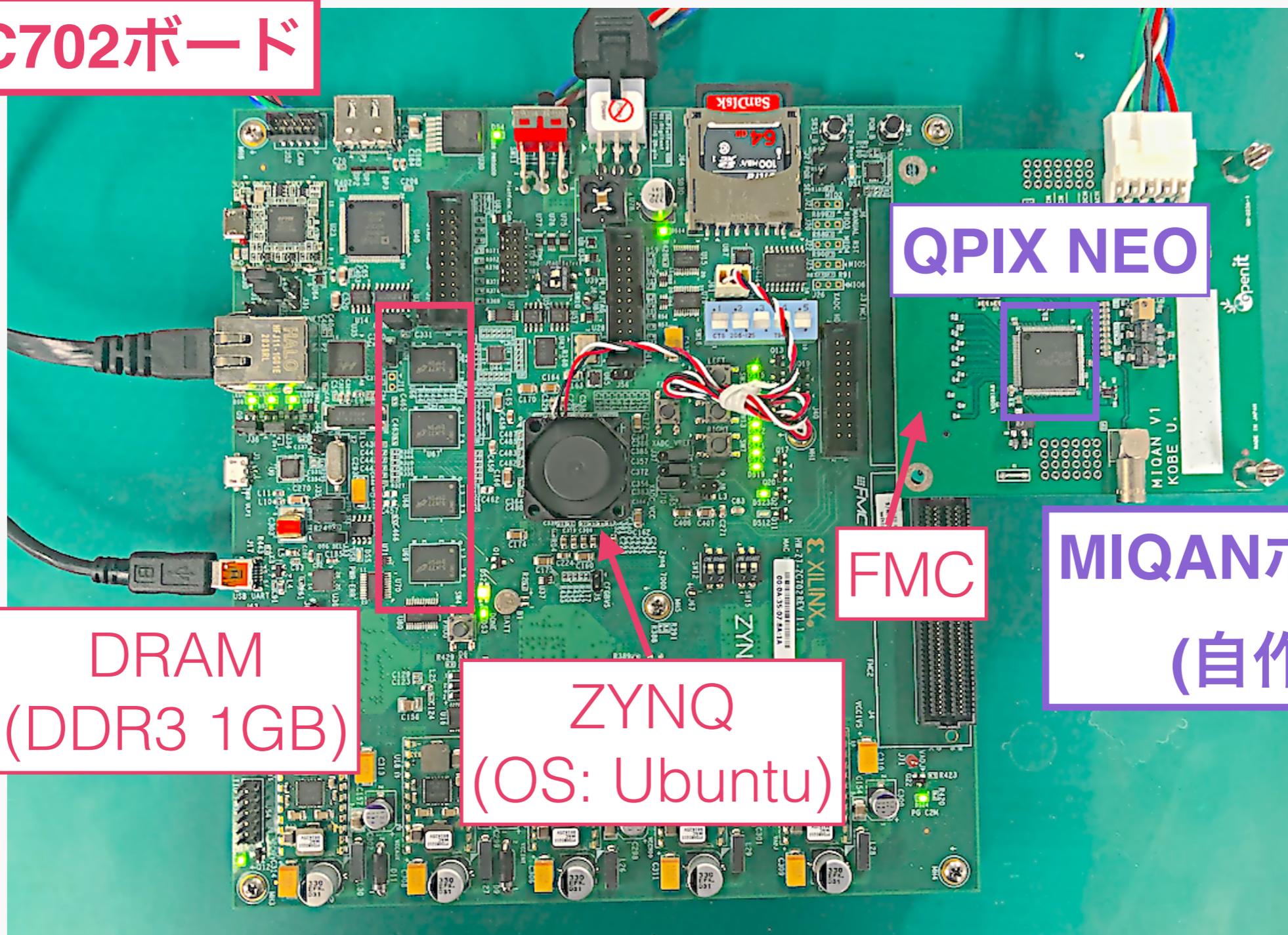
- 各chにADC 10bit 2.5MHz
- 各chToT/ToF 4ヒット分ストア
- ASD peaking time: 3~4 us
- 自動ゲイン切り替え
- ダイナミックレンジ 400 fC
- ...

プロトタイプのASIC version 1開発 (8×8 = 64 ch)

テスト用DAQシステム

- Xilinx ZYNQ (ZC702ボード) を用いてシステム構築

ZC702ボード



QPIX NEO

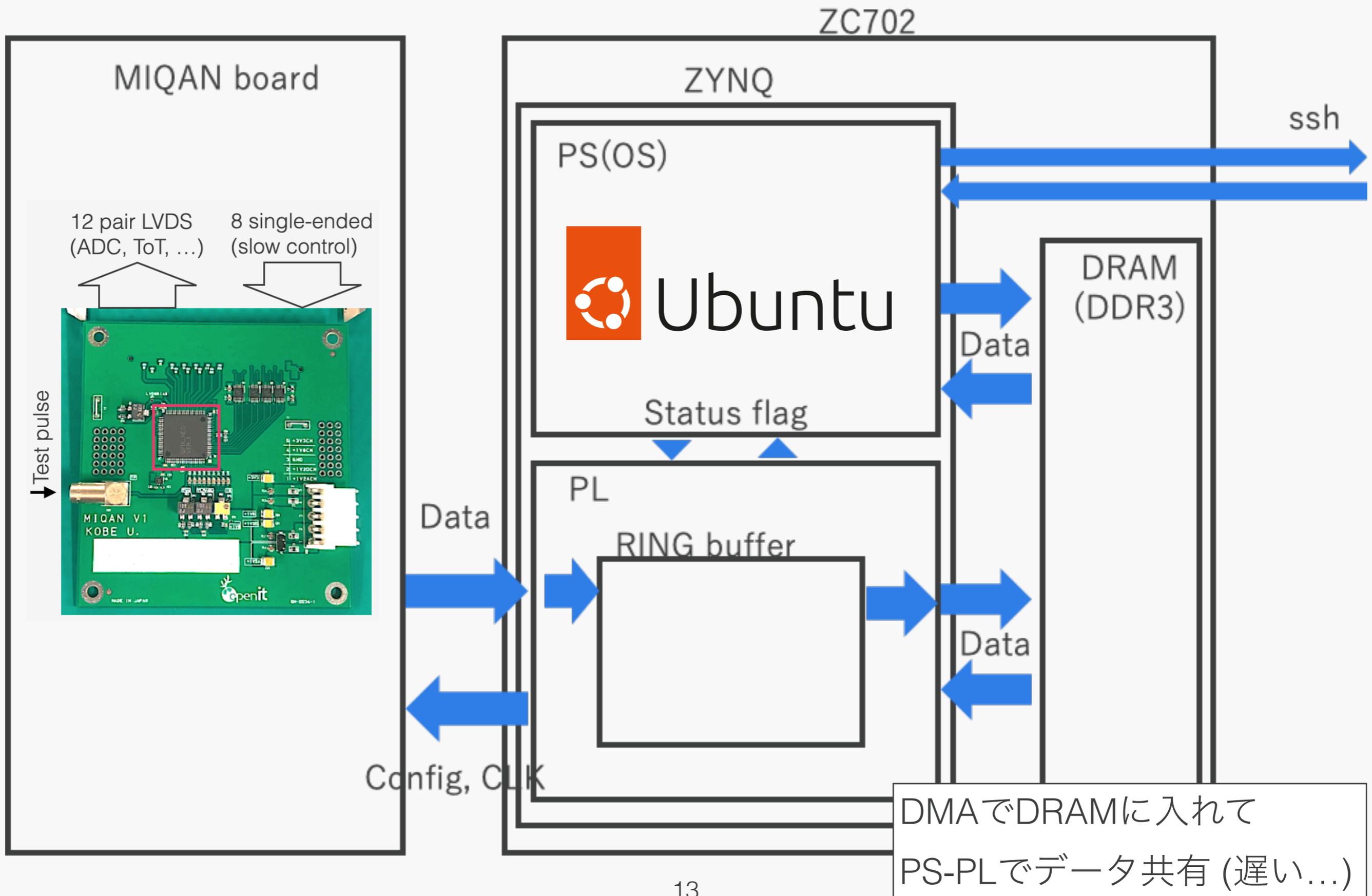
FMC

MIQANボード
(自作)

DRAM
(DDR3 1GB)

ZYNQ
(OS: Ubuntu)

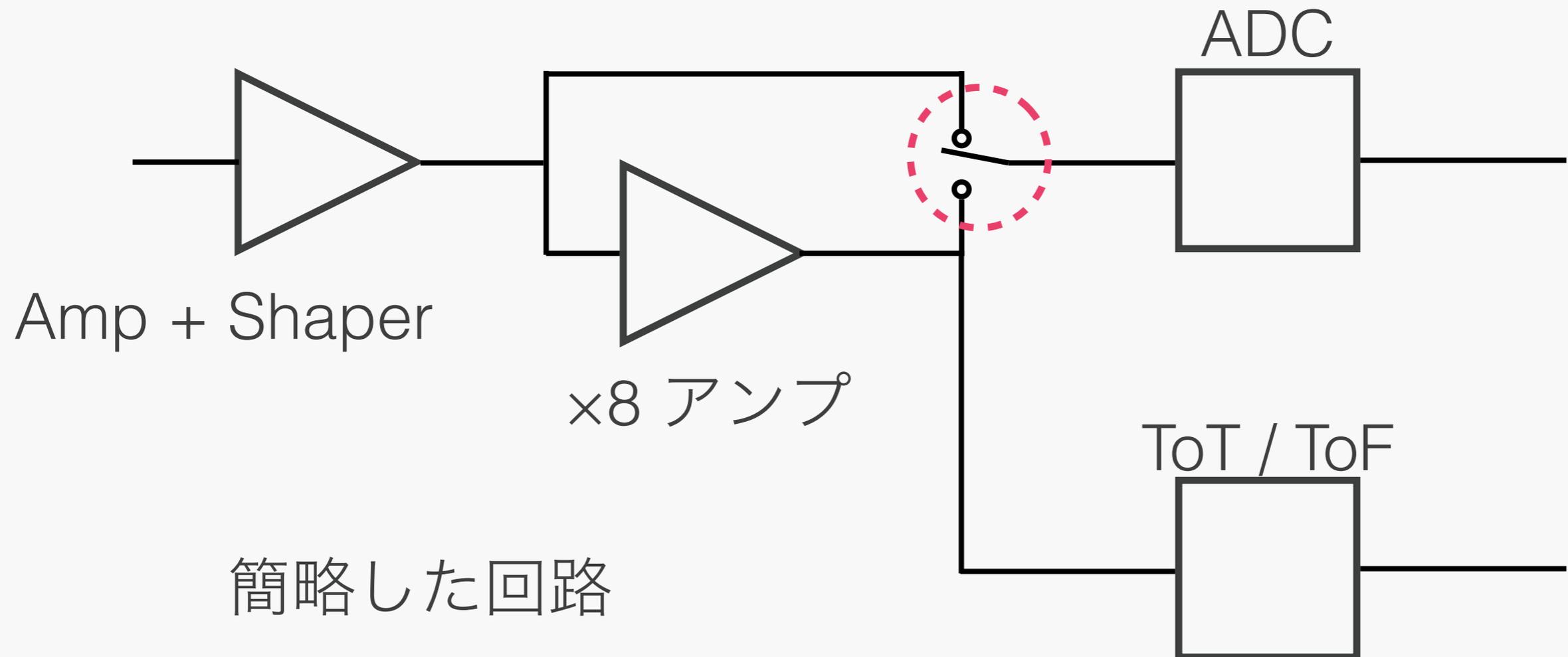
Block diagram



自動ゲイン切り替え

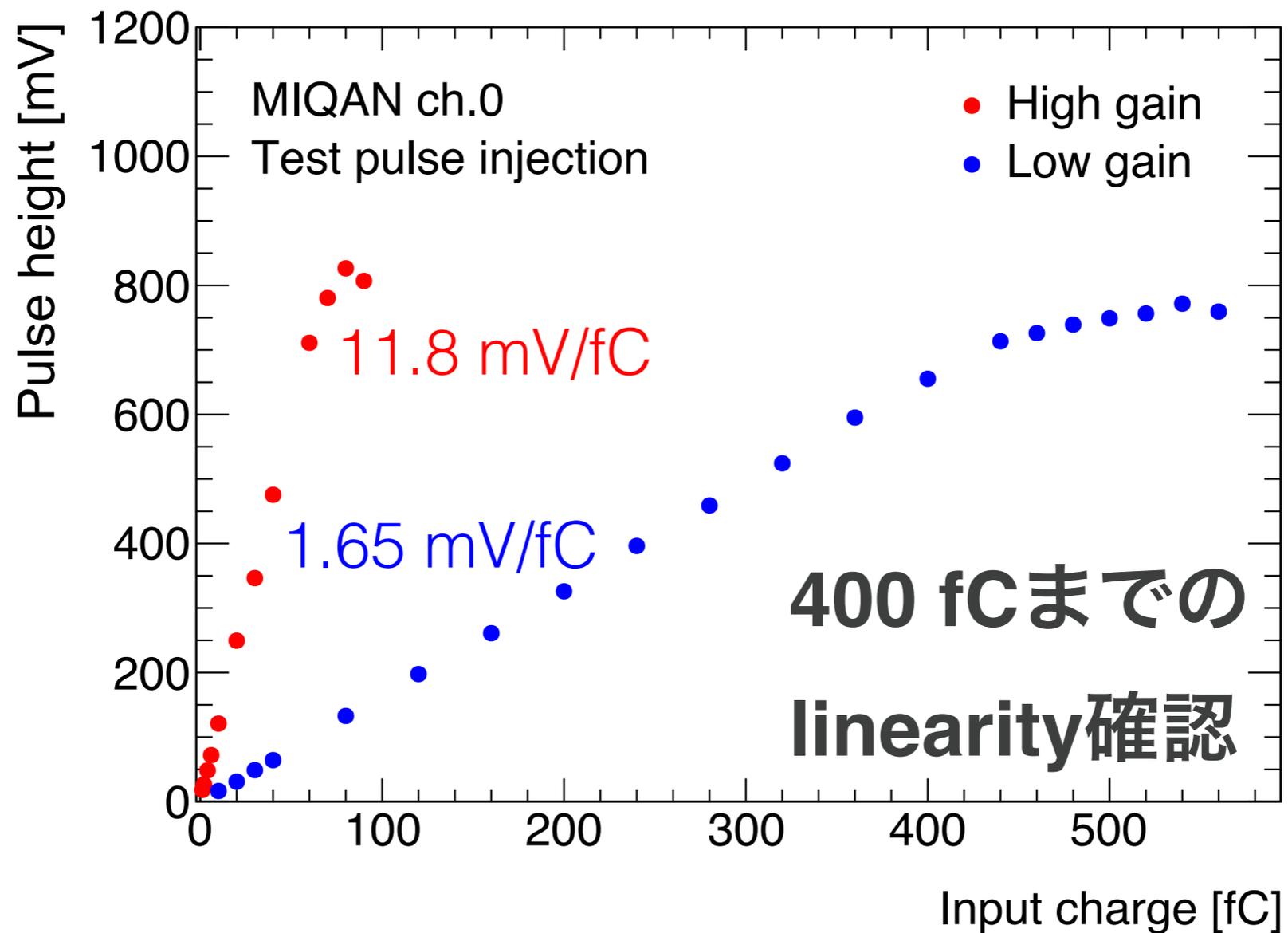
- 高ダイナミックレンジ実現のため2種類のアンプ搭載

➡ x1アンプとx8アンプがとある閾値で切り替わる

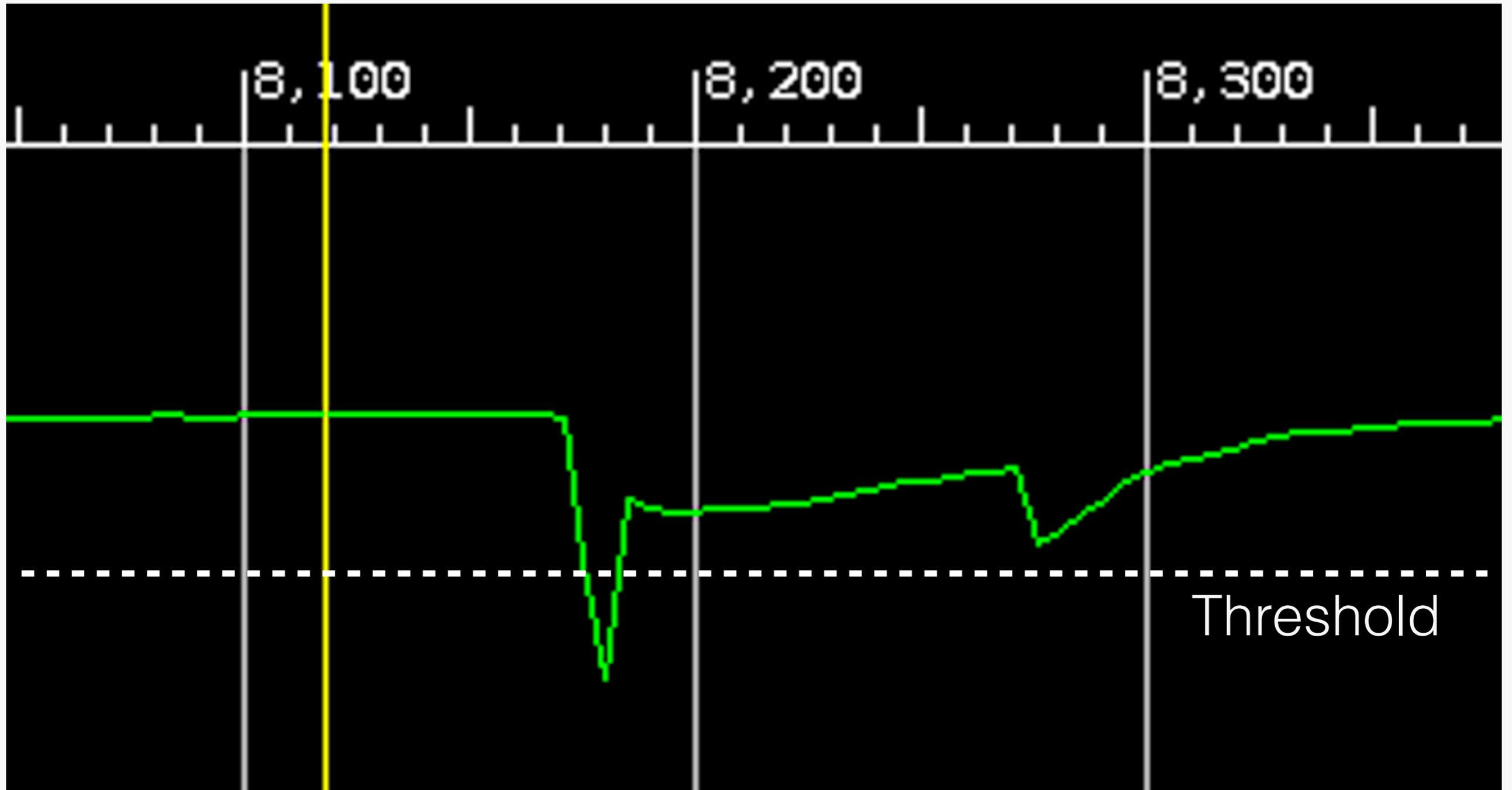


アンプのリニアリティ確認

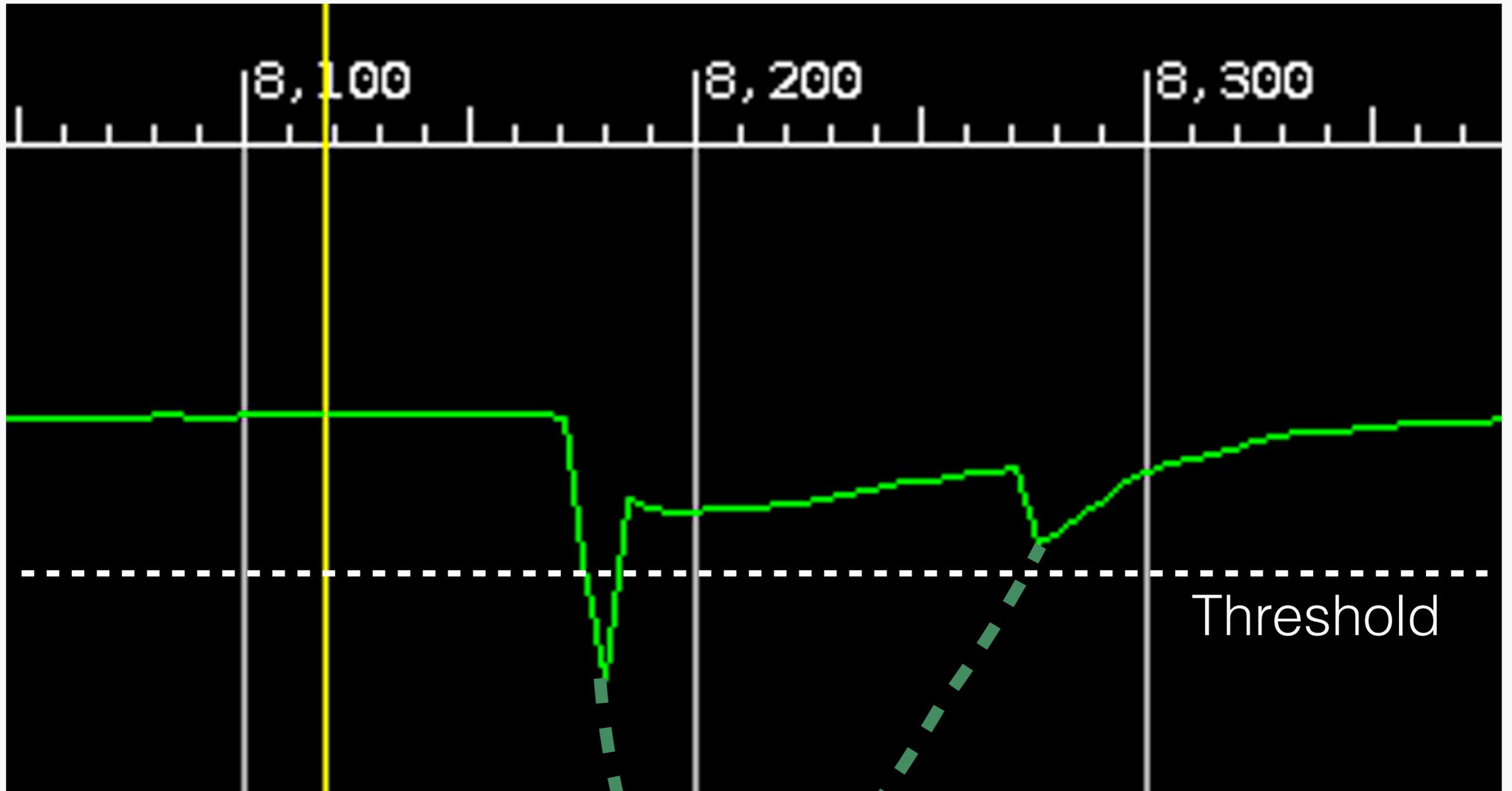
- まずはゲイン固定モードでそれぞれの性能評価
 - ➔ Configurationでゲイン設定可能
- テストパルス入力 (外部から矩形波入力→内部の0.4 pFコンデンサで電荷変換)



ゲイン自動切り替えの様子

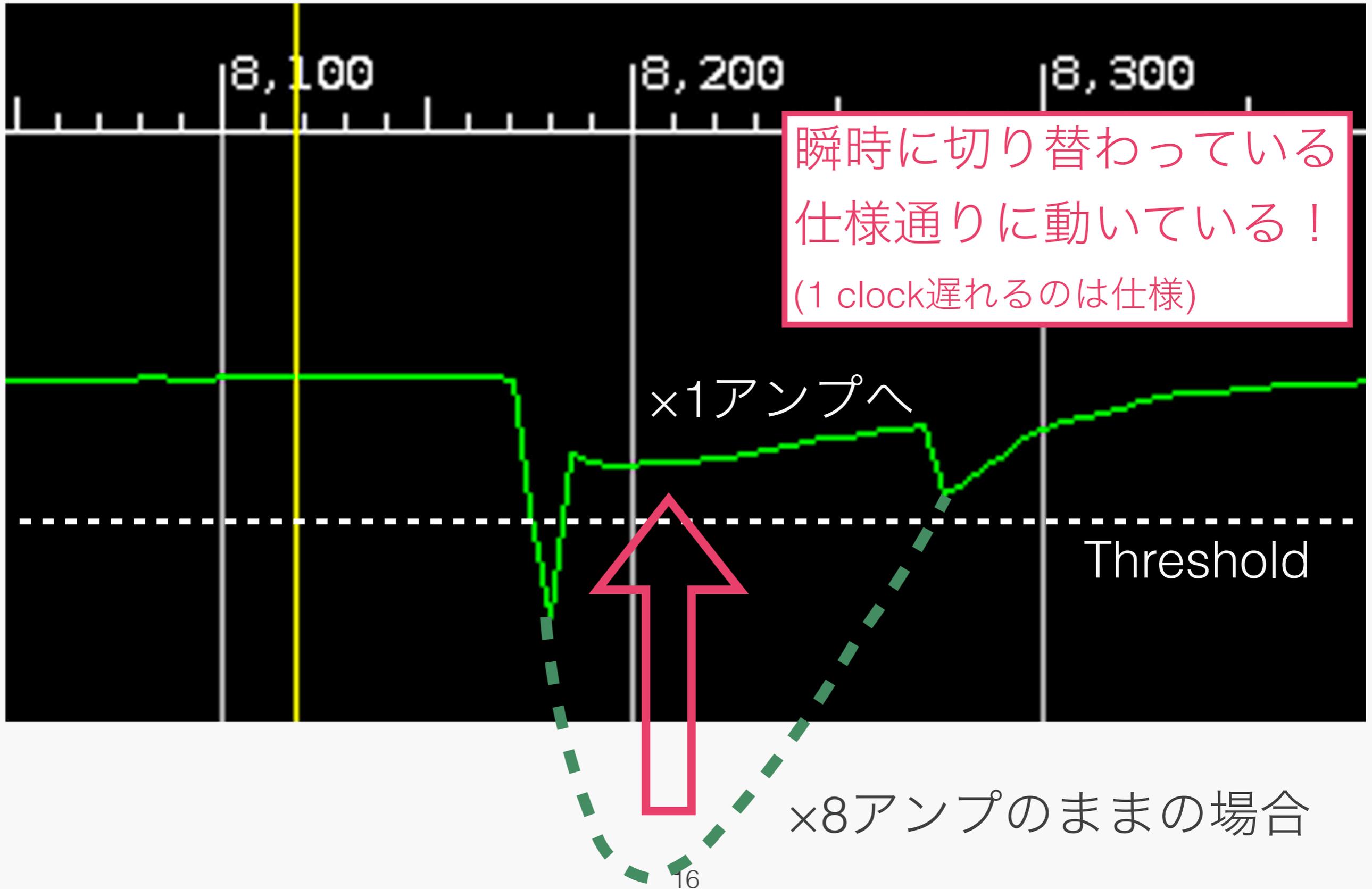


ゲイン自動切り替えの様子

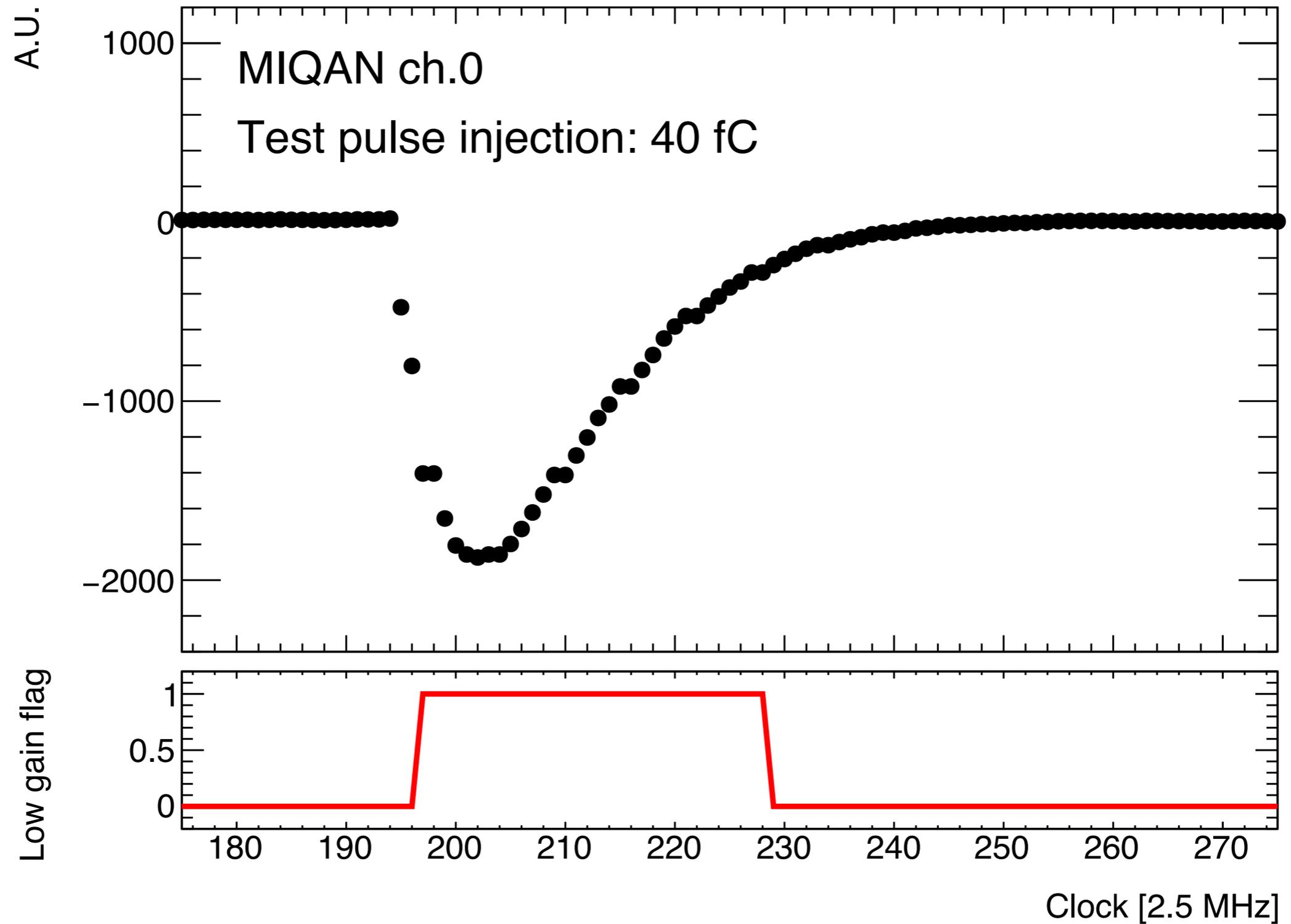


×8アンプのままの場合

ゲイン自動切り替えの様子



Waveform再構成



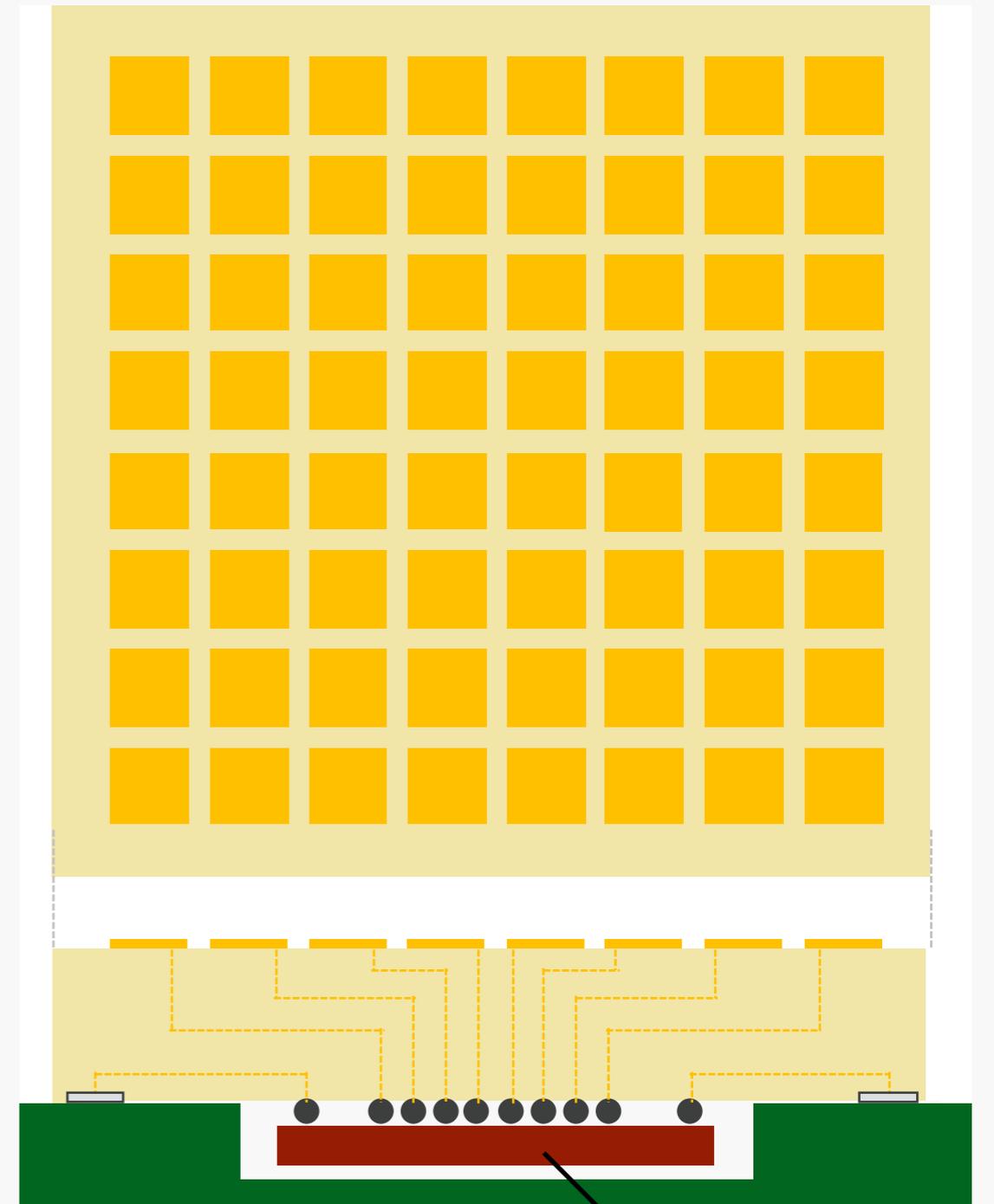
高ダイナミックレンジ実現、DM探索実験に利用可能

検出器開発

ASICに接続する電極の作成

- “インターポザー基板”開発
 - ASICと検出器基板接続
 - ASICには bumpsボンディング
- 非常に配線が細かい
 - コストもかかる
 - ピクセルピッチ400 μm が限度
- 過酷な条件のもとハヤシレピック社に設計、製造を依頼
 - ひとまずこれで**原理実証**を目指す

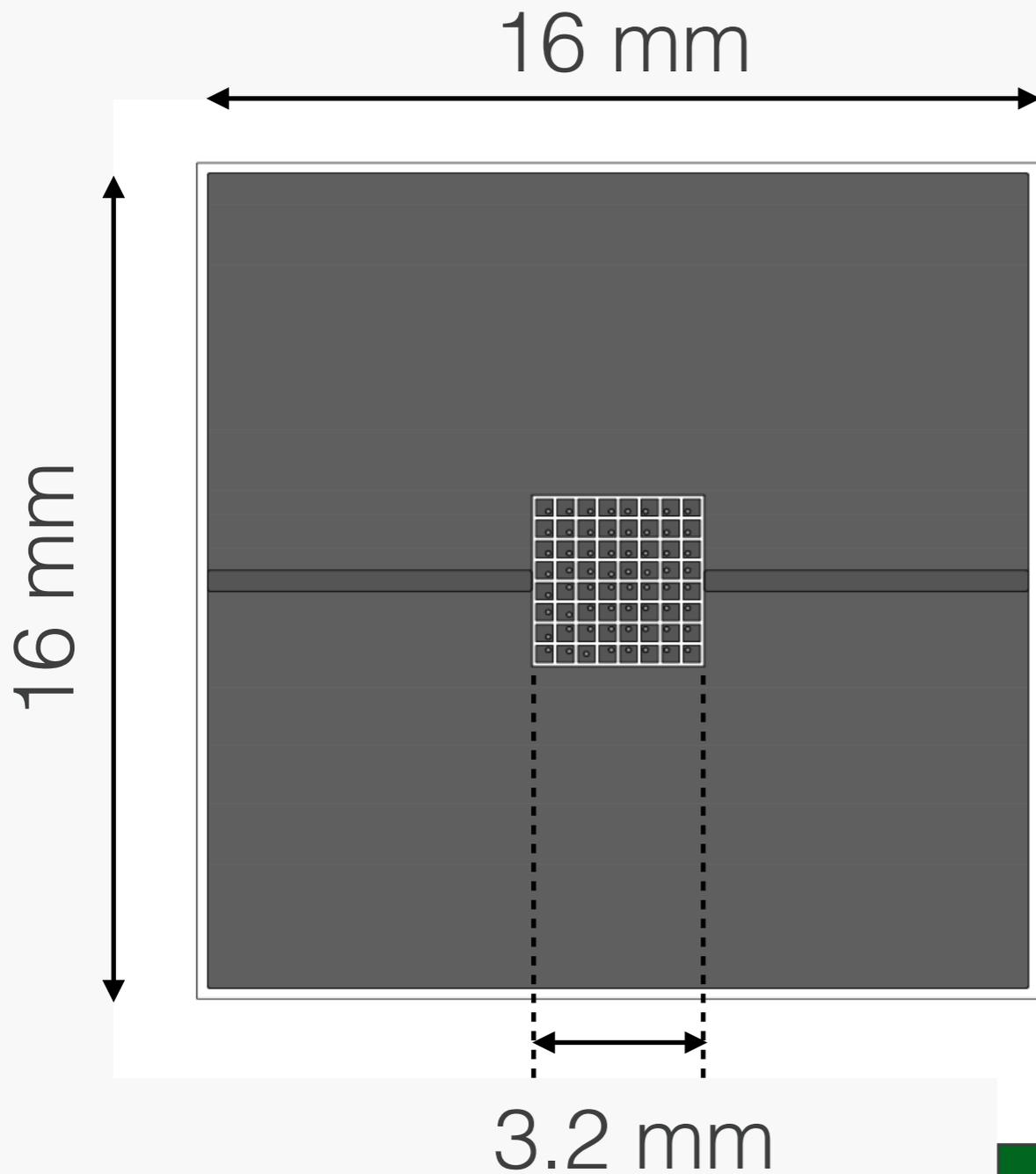
ピクセルピッチ: **400** μm



検出器基板

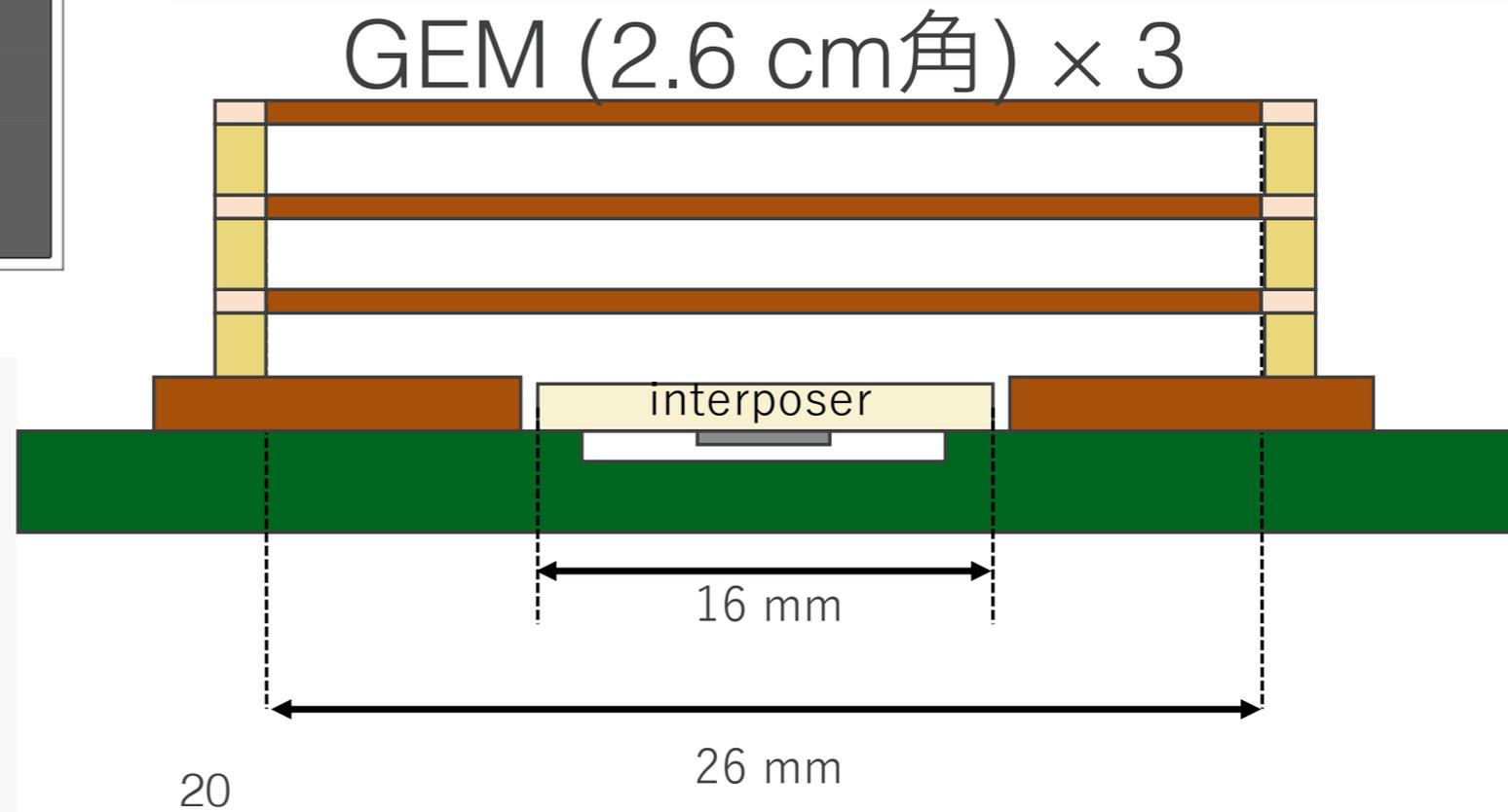
QPIX NEO

インターポージャー基板 w/ ハヤシレピック社



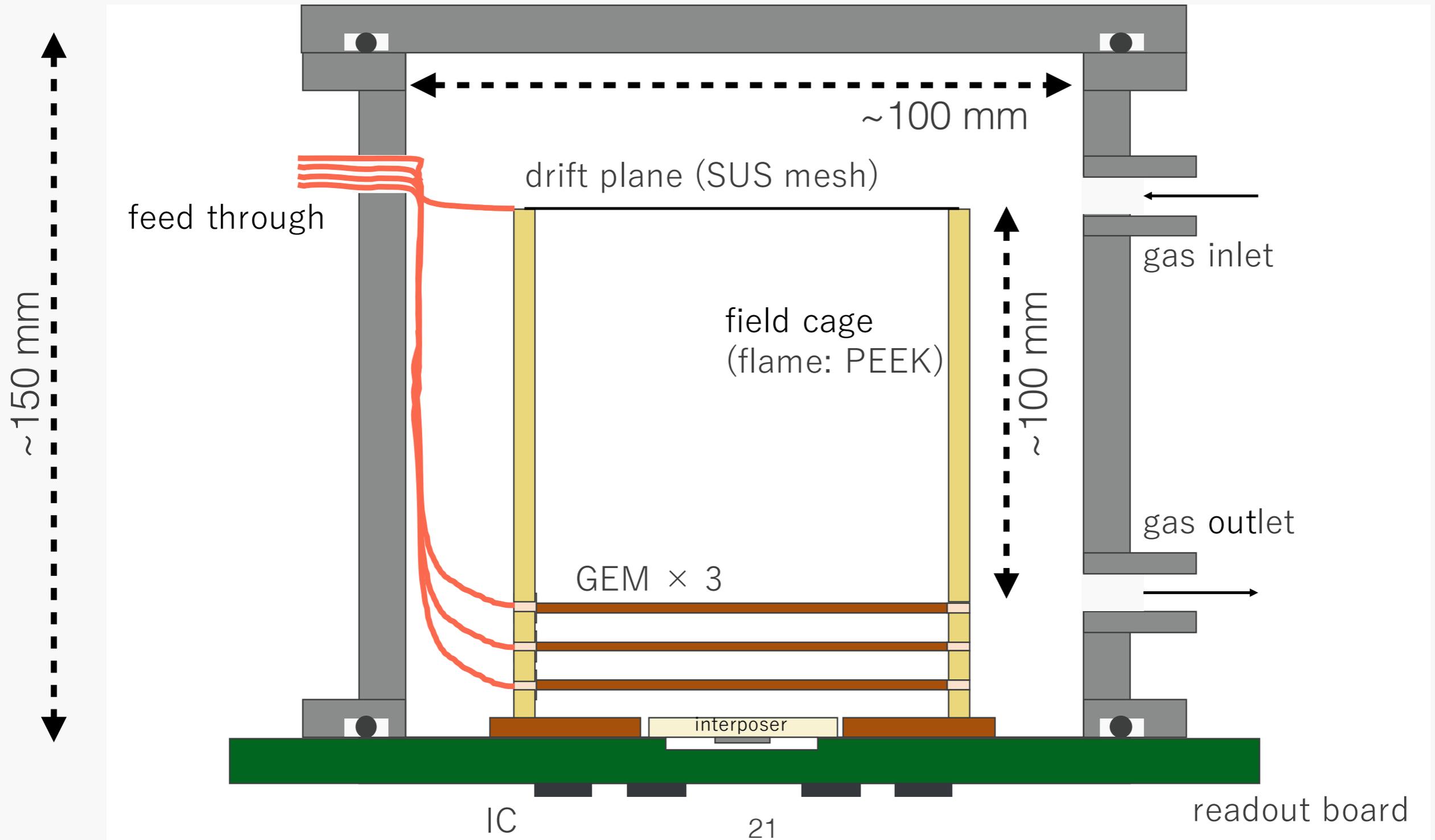
基板を大きくして配線の制限を緩和 (コスト削減)
ピクセルパッド部以外に余白となるGND面設置

GEM × 3 で読み出す機構を作る



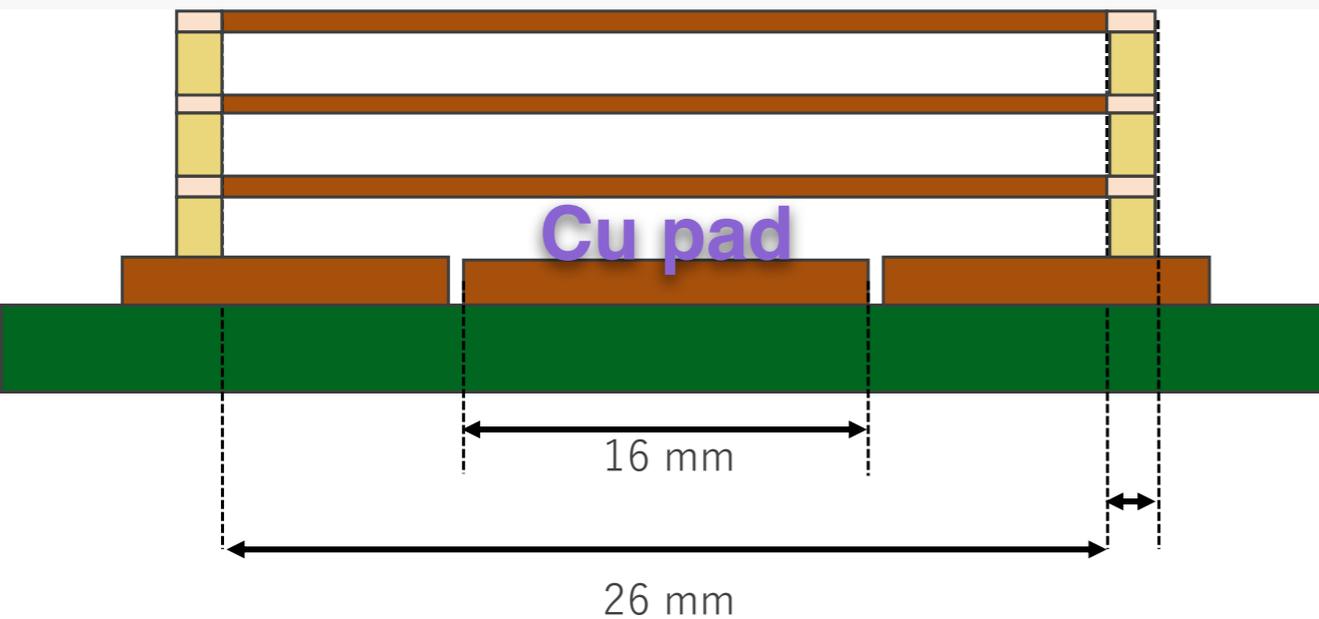
基板に乗るチェンバー

- 電極、ASIC、読み出し基板+チェンバー一体型の構造設計中

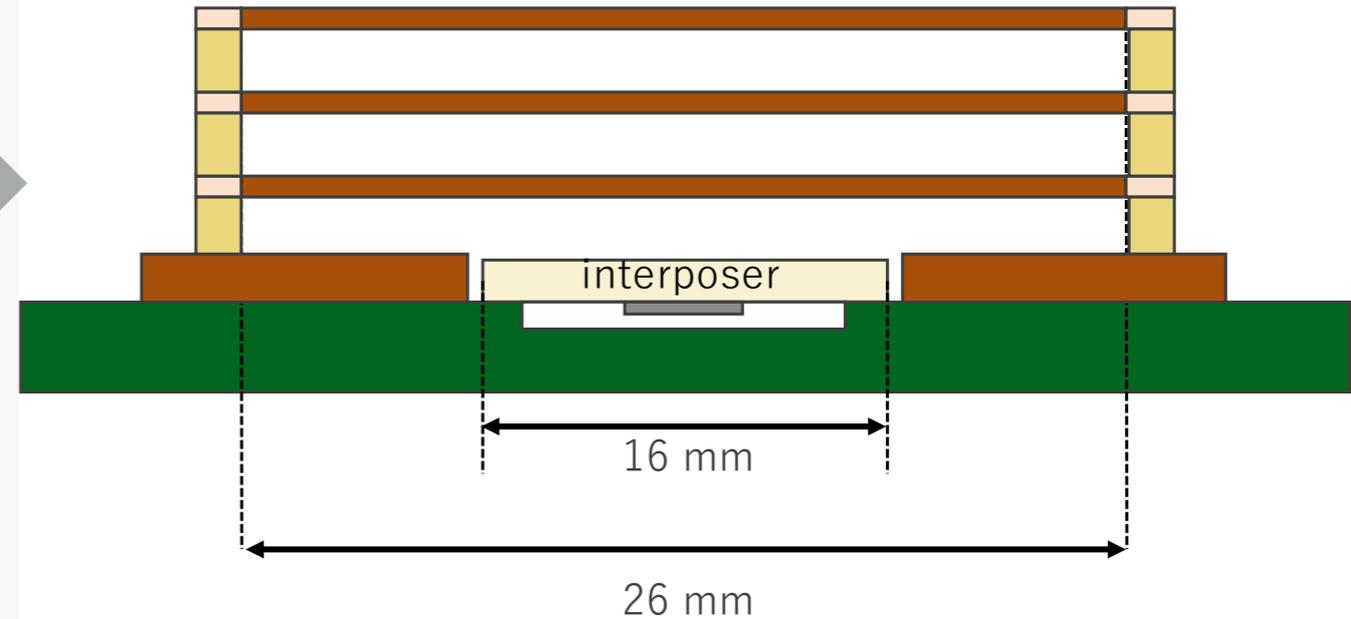


今後の予定

ver.0



ver.1



- インターポーターが1点もの、放電で逝く
 - ➔ 怖すぎるので**ver.0** (Cu padの1チャンネル) を作成
 - ➔ 安定にチェンバーが動くようなパラメータ見つける
- インターポーターは3月納品予定
 - ➔ ver.0と1を並行して設計しつつver.0を先行させて開発

結論

- ピクセル型のガスTPC開発中
 - ➔ 主なアプリケーションは暗黒物質探索
 - ▶ その他の用途も検討されている (募集中！)
- テストDAQを開発し動作確認
 - ➔ 自動ゲイン切り替え機能など正常に動作
- 現在検出器設計中
 - ➔ 基板にチェンバーを搭載するスタイル、来年度に完成予定！