

低質量WIMP探索に向けた ピクセルガスTPC検出器開発

神戸大 東野 聡

2026年3月5日



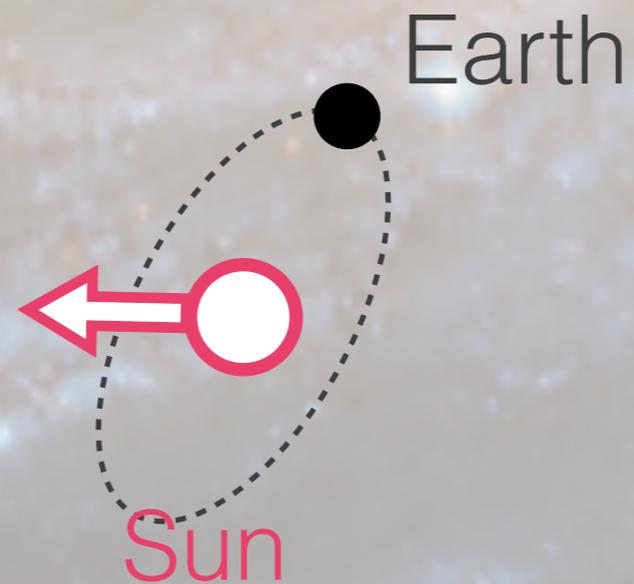
Introduction

Directionality

Milky way



Cygnus



Directionality

Milky way

CDM (WIMP)



Cygnus



Earth

Sun

Directionality

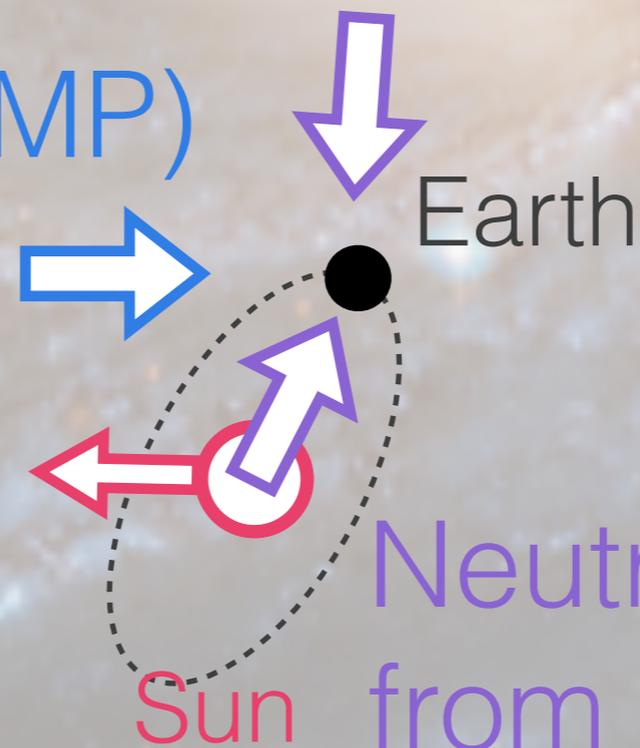
Milky way

Physics from G.C.

CDM (WIMP)



Cygnus

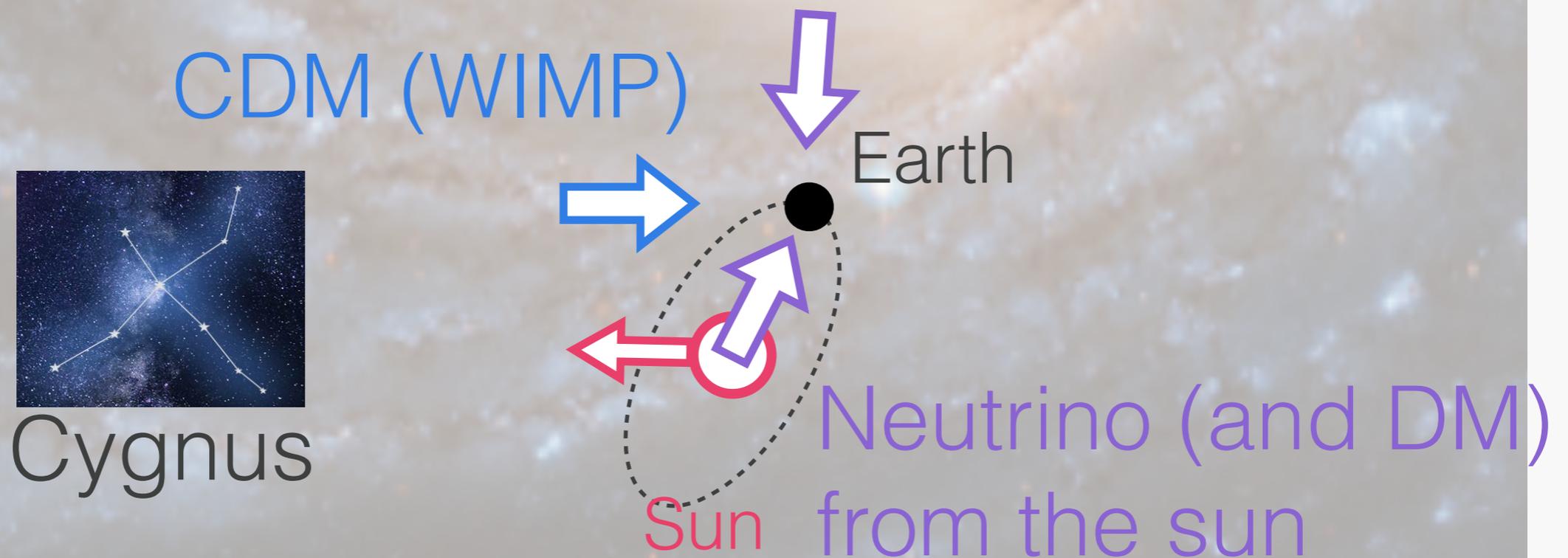


Neutrino (and DM)
from the sun

Directionality physics

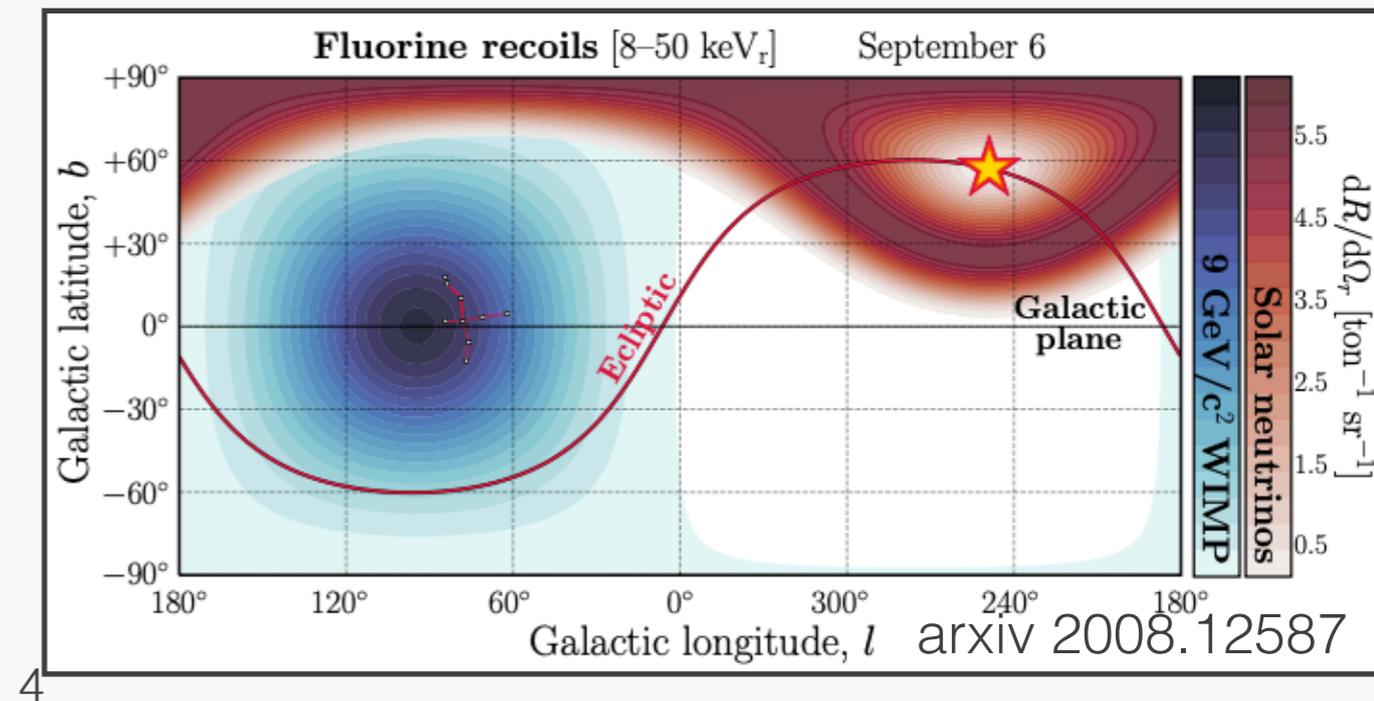
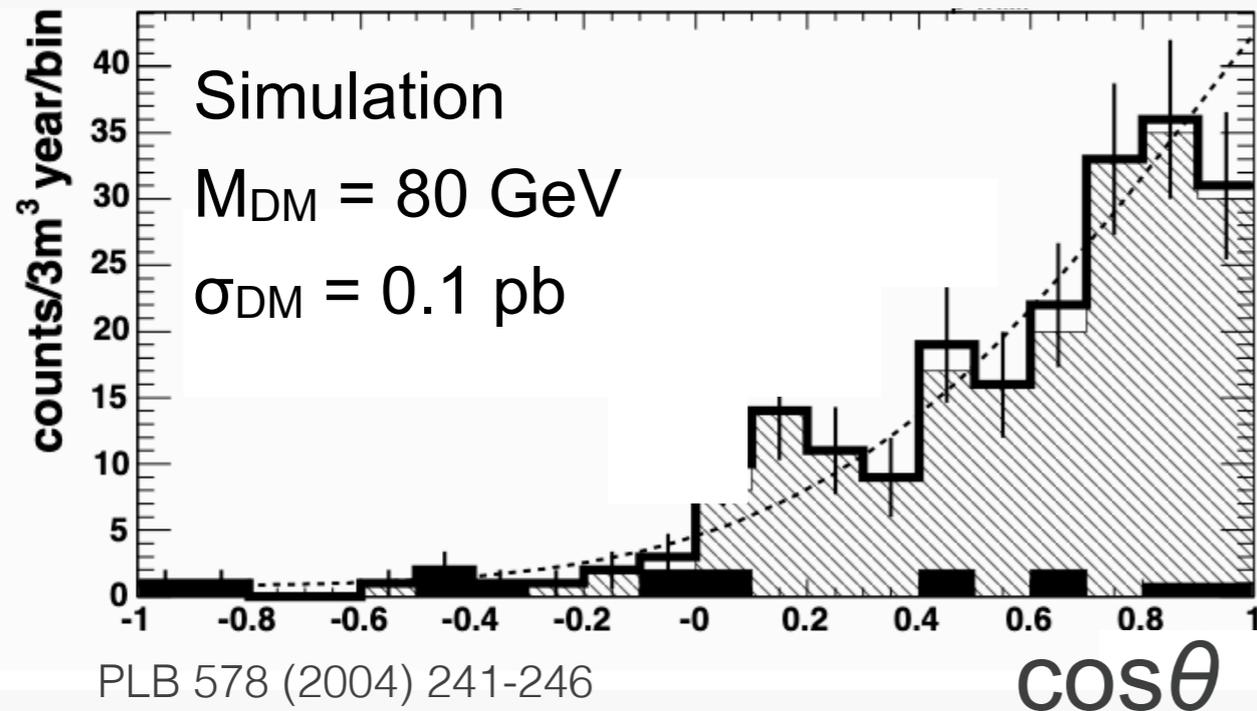
「どこから暗黒物質がくるか」
によってその性質解釈が異なる

Physics from G.C.



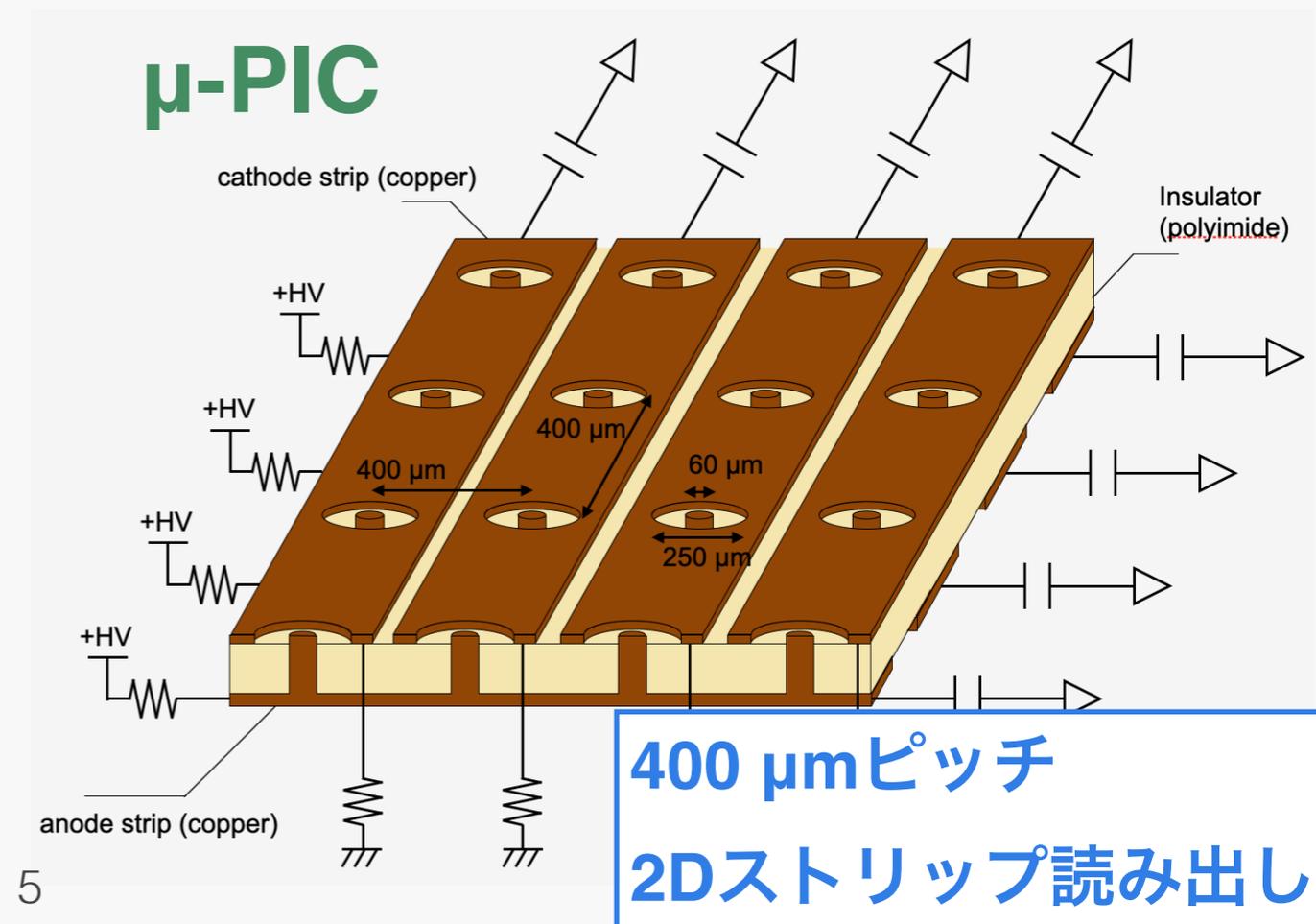
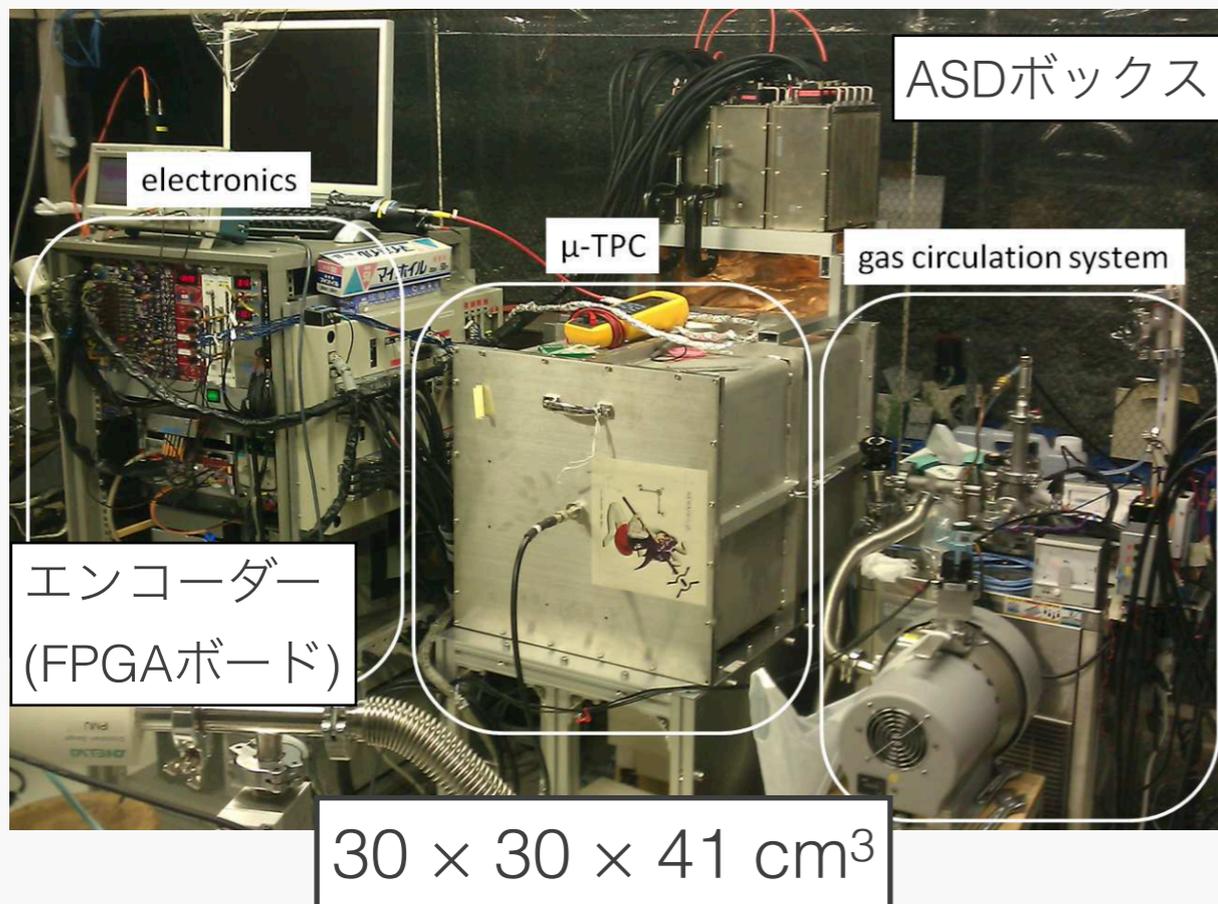
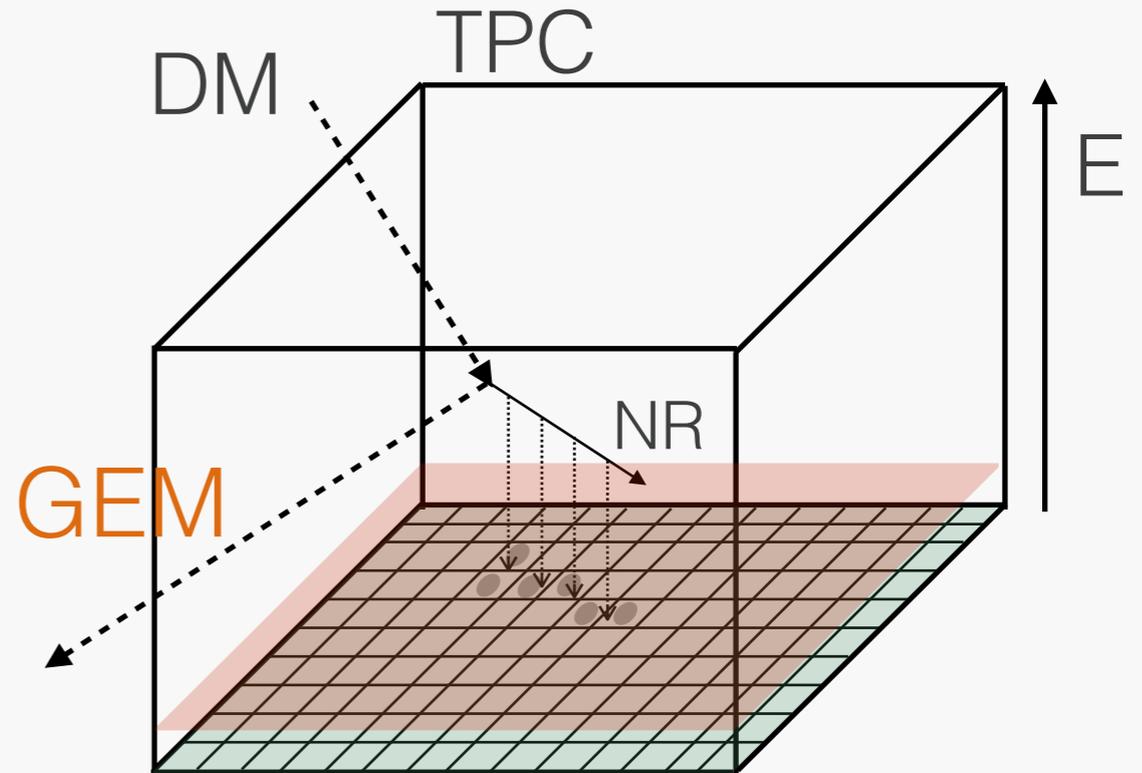
Directionality

- WIMPならばくちょう座 (Cygnus) からの散乱角に指向性
- 太陽ニュートリノ/BGとの分離も原理的には可能

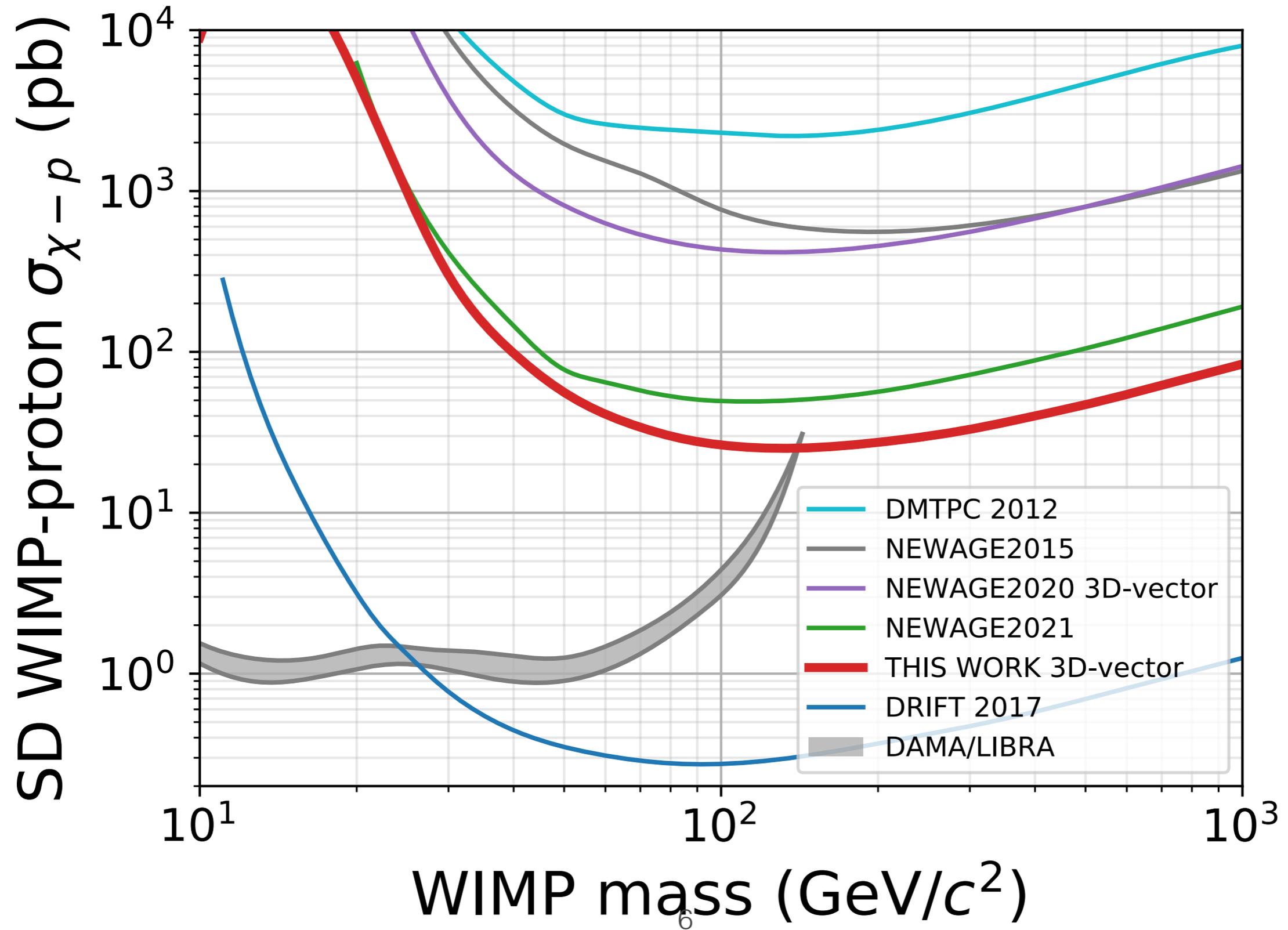


NEWAGE

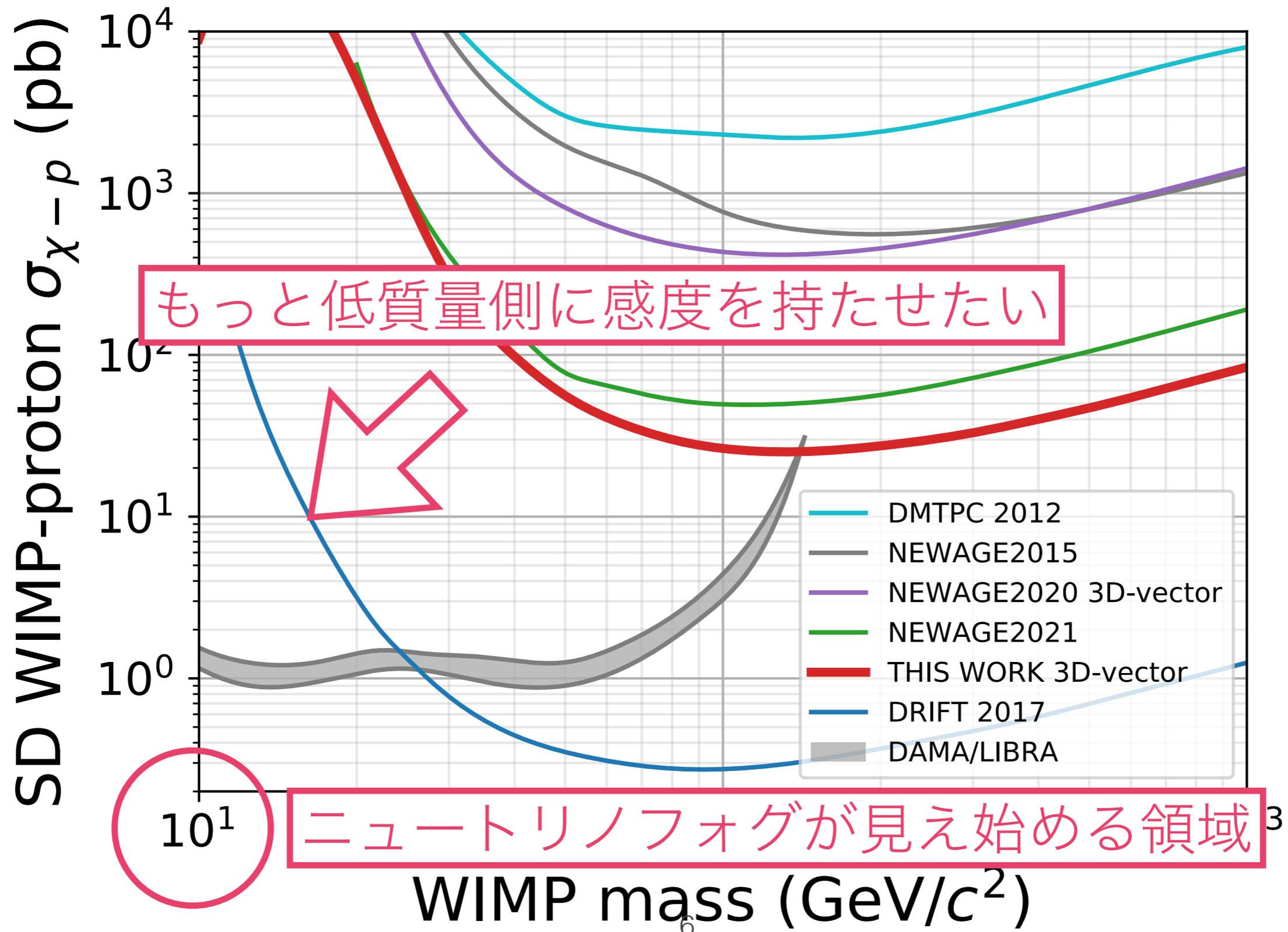
- 神岡坑内での地下実験実施中
- 低圧ガスTPCで**飛跡再構成**
 - $30 \times 30 \times 41 \text{ cm}^3$ fiducial volume
 - 低圧 CF_4 ガス (0.1 atm)



NEWAGE latest result

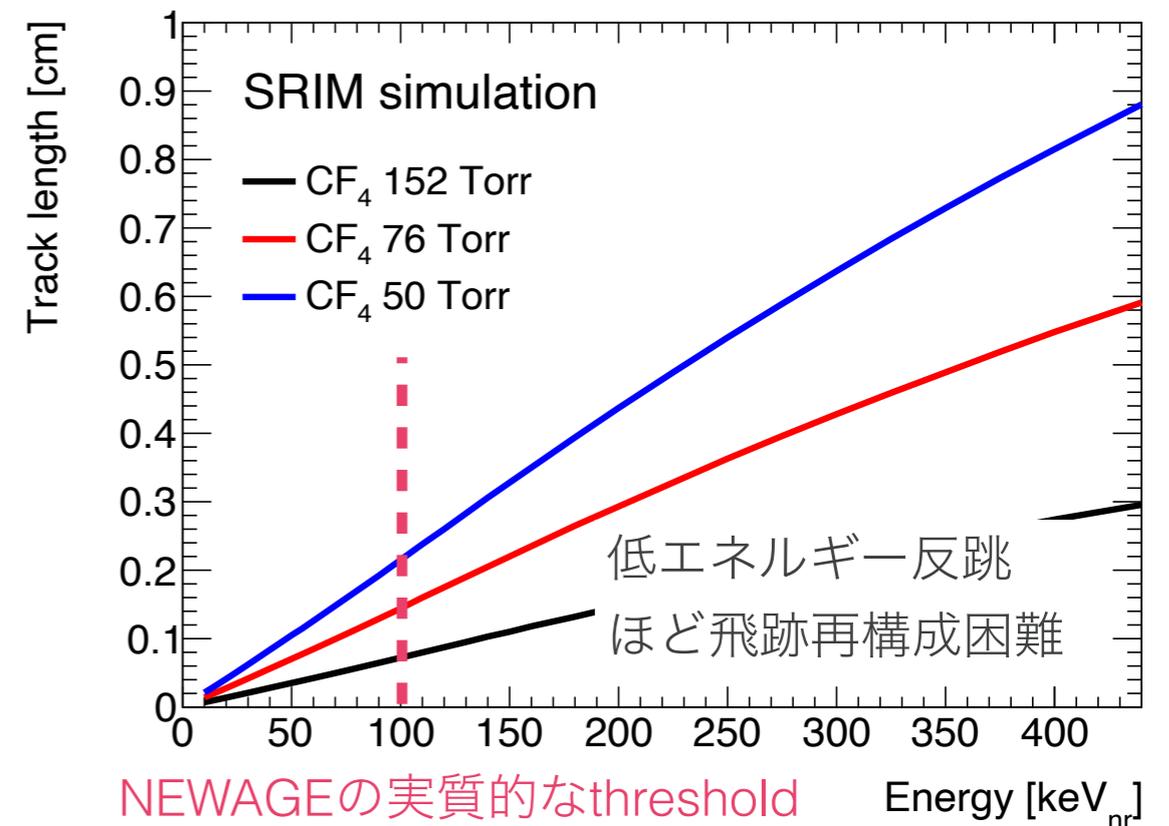
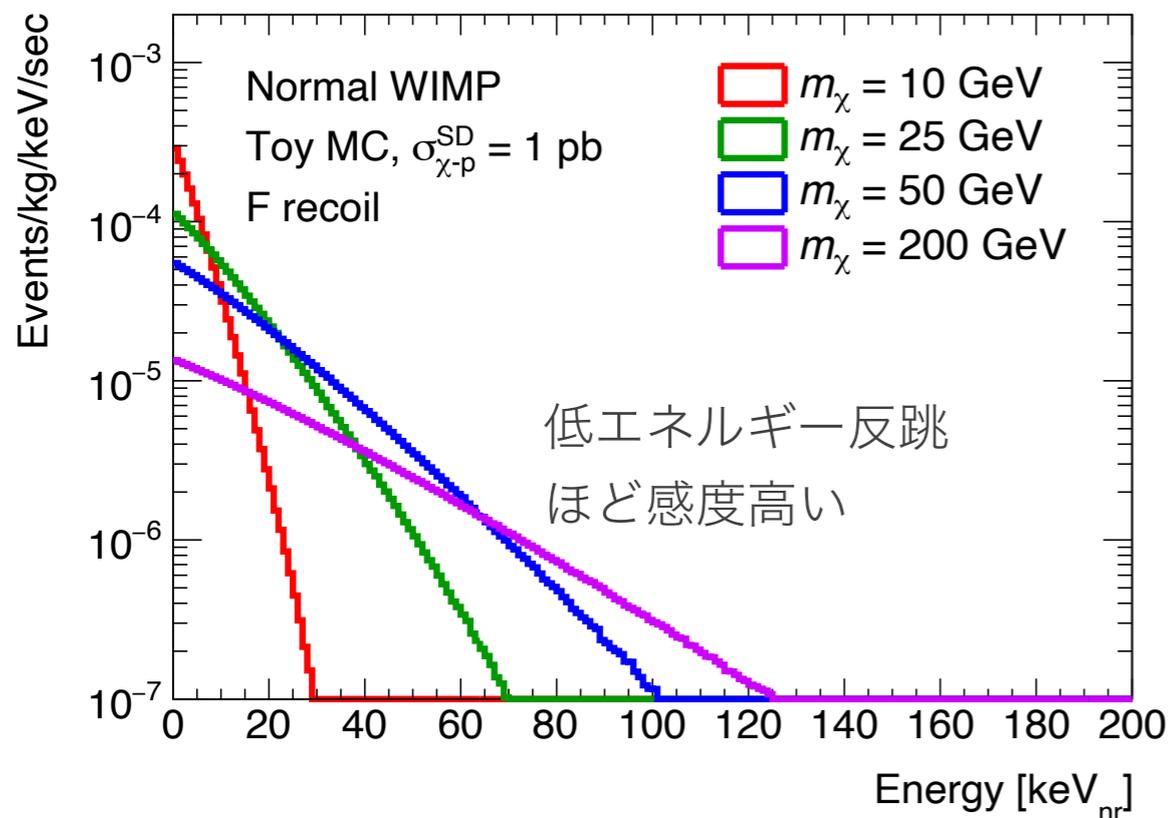


NEWAGE latest result



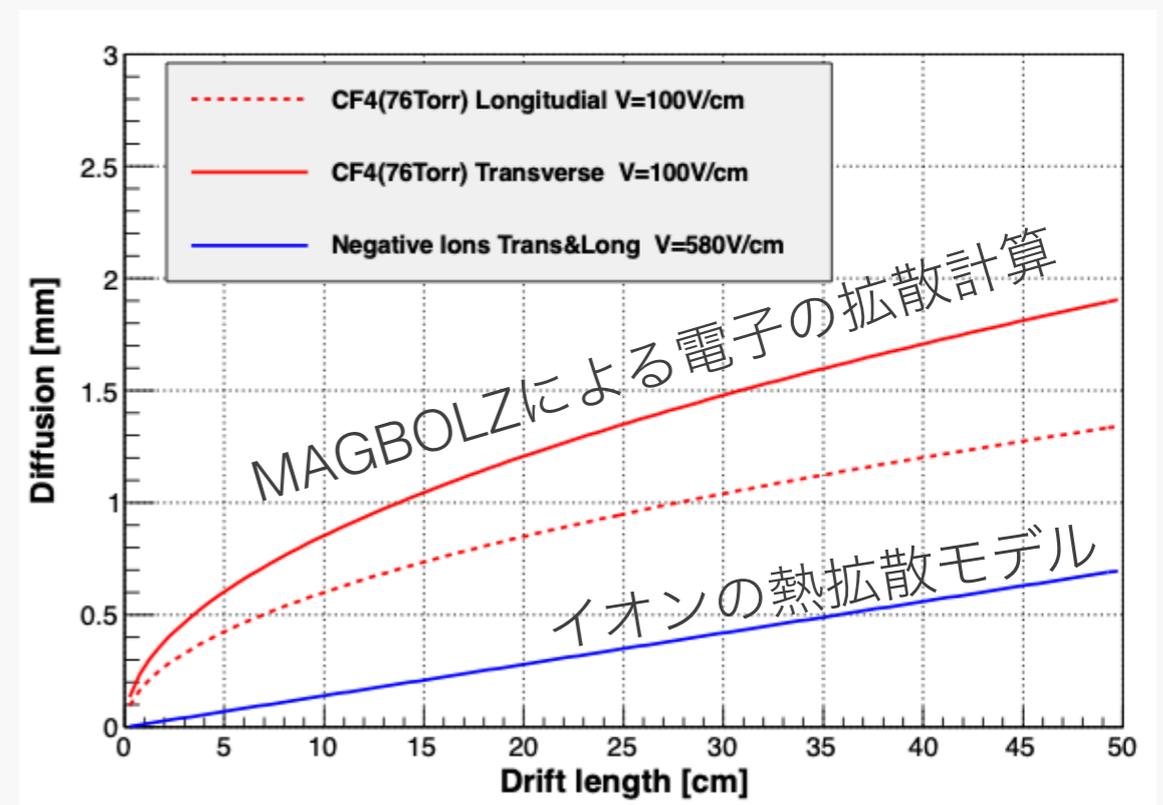
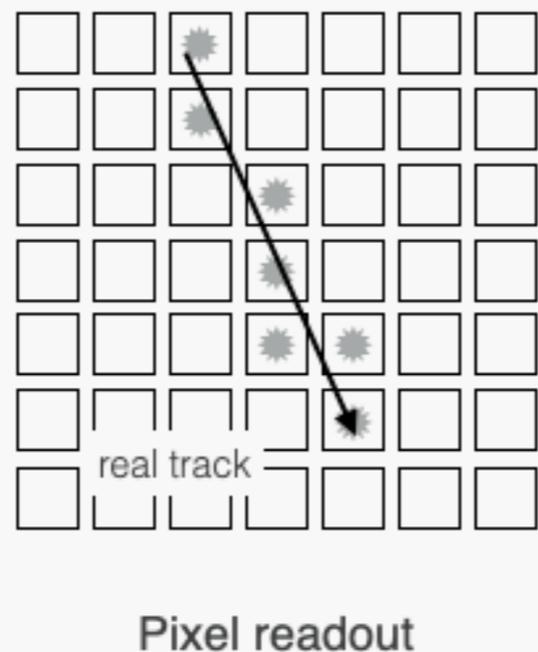
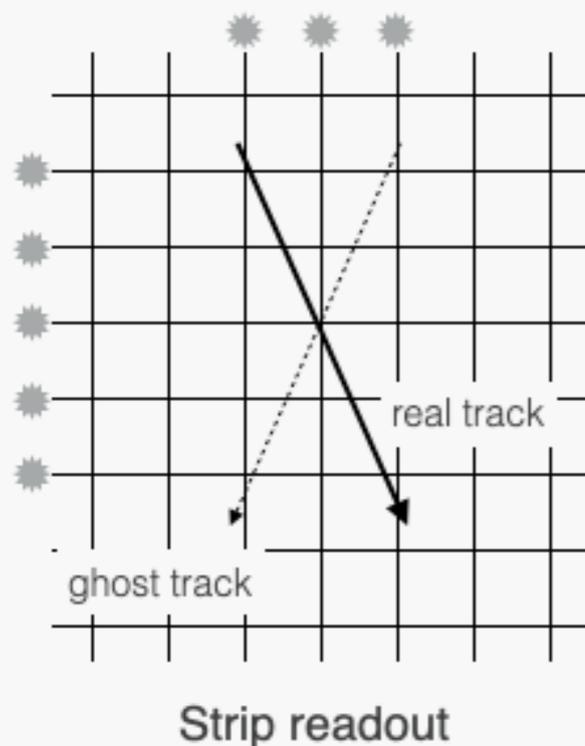
低質量暗黒物質探索に向けて

- 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

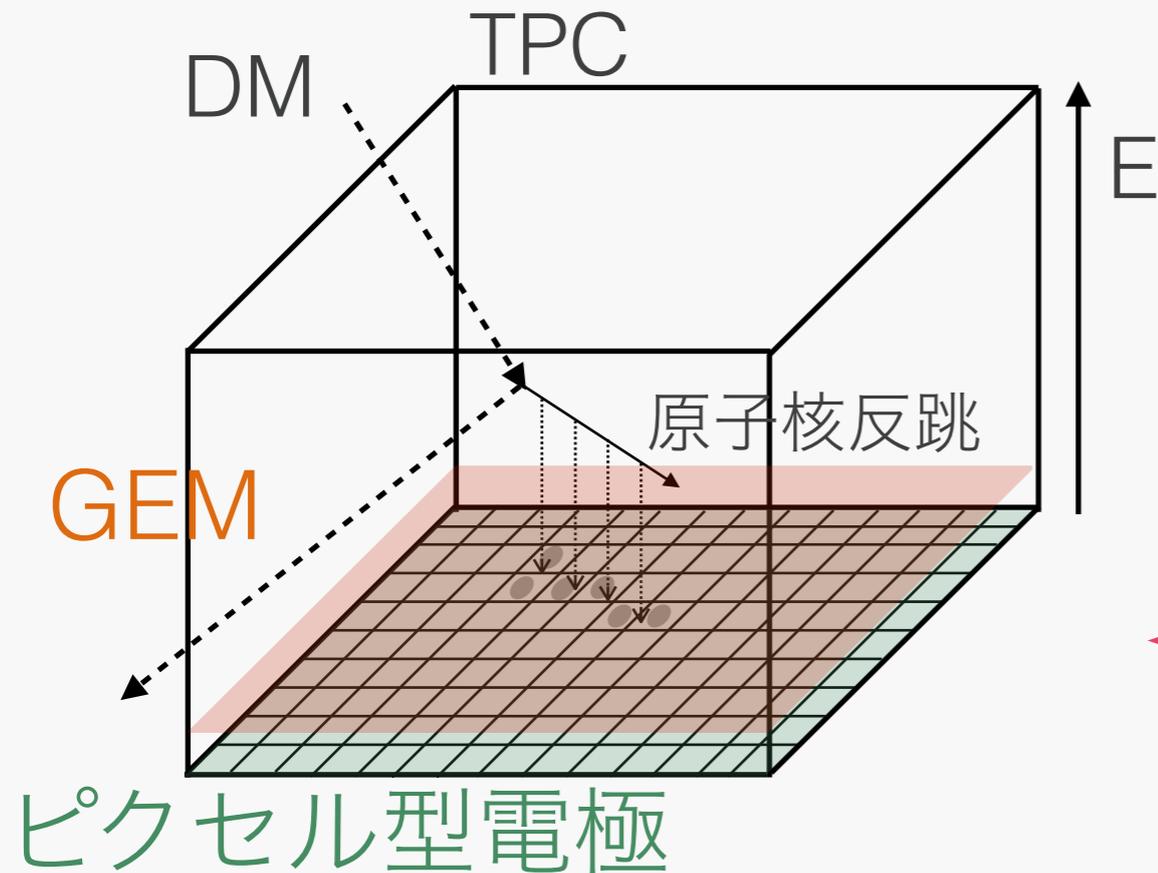


本研究のテーマ

- 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？

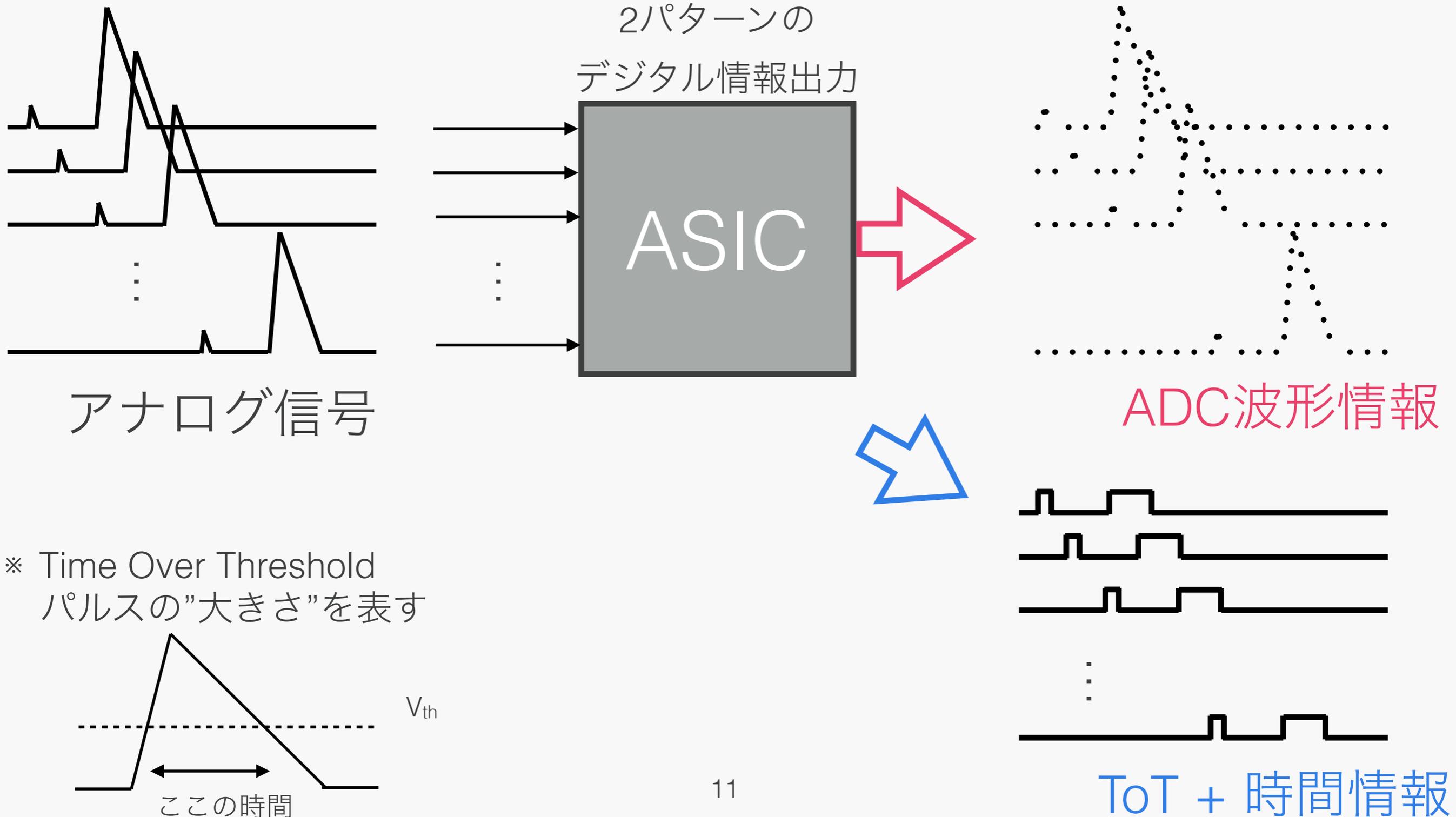
多チャンネル読み出し

“QPIX NEO”

ASICの仕様

※とばします

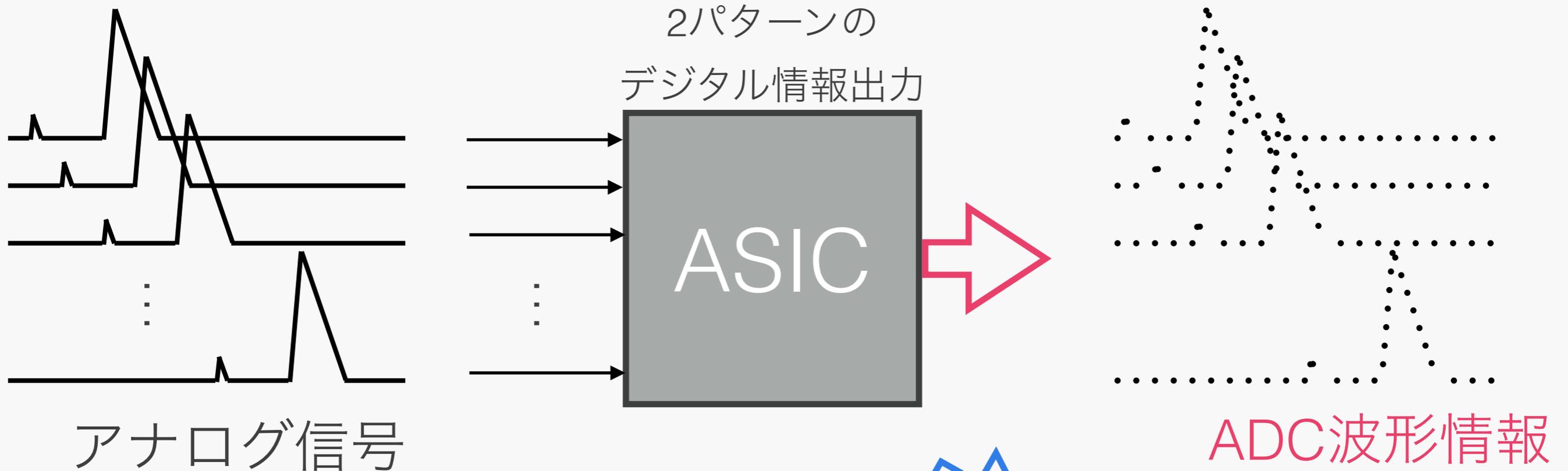
- プロトタイプなので冗長に情報取得



ASICの仕様

※とばします

- プロトタイプなので冗長に情報取得



アナログ信号

2パターンの
デジタル情報出力

ASIC

ADC波形情報

ToT + 時間情報

キーワード：マルチヒット対応

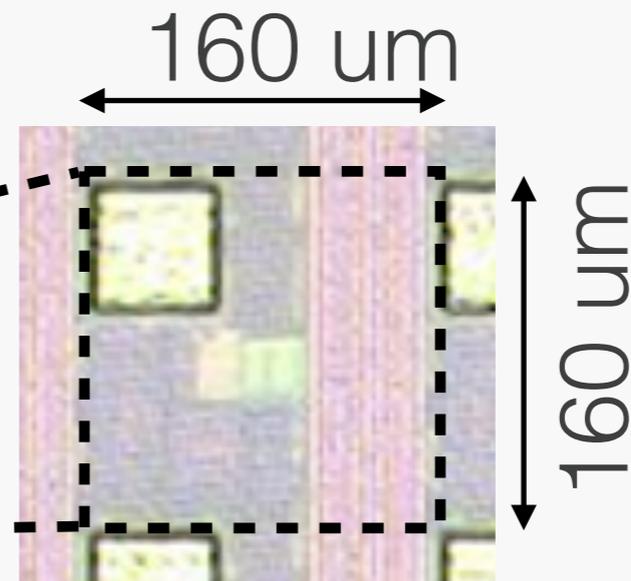
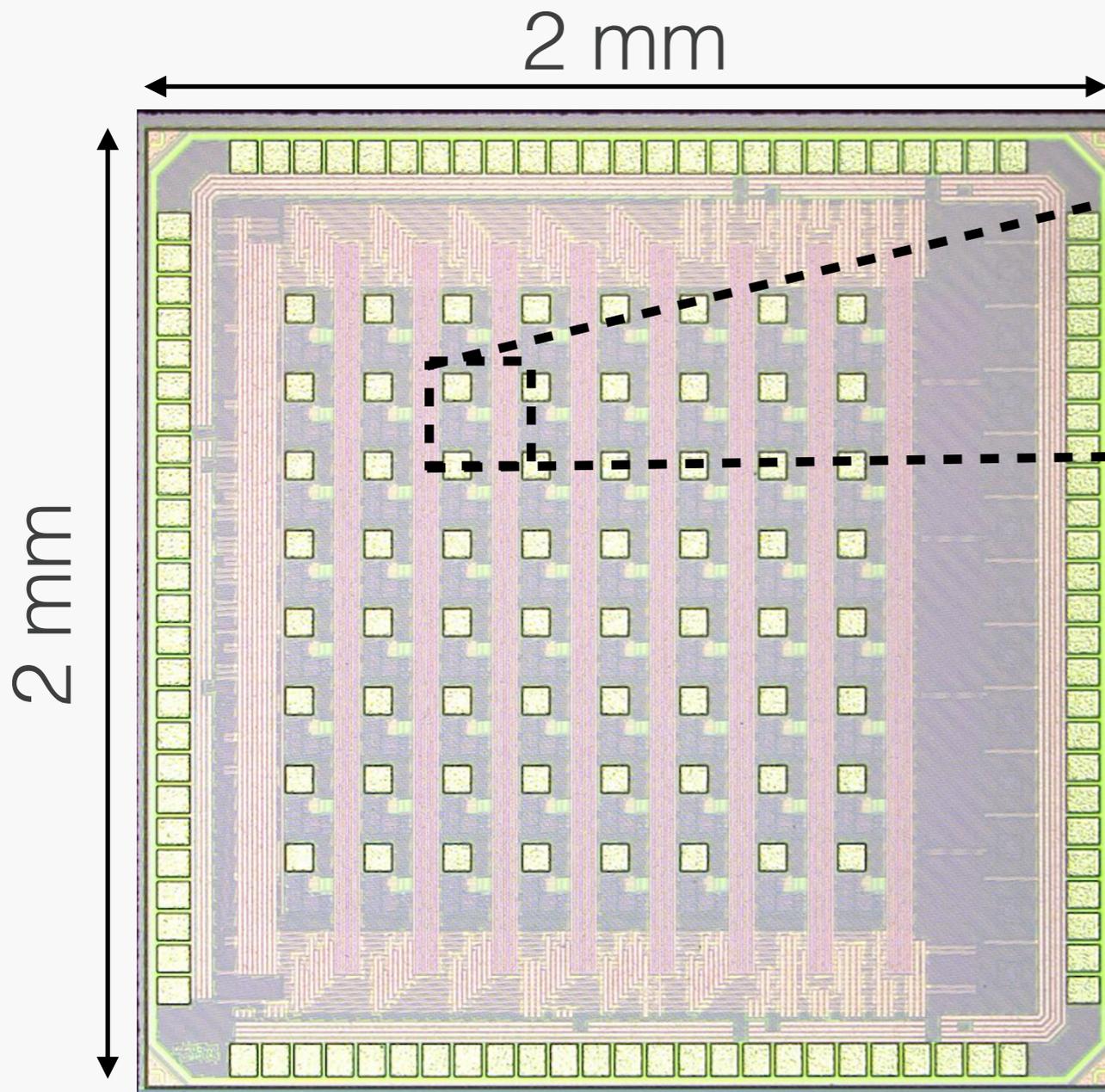
ADC波形取得→トリガーレスで垂れ流し

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



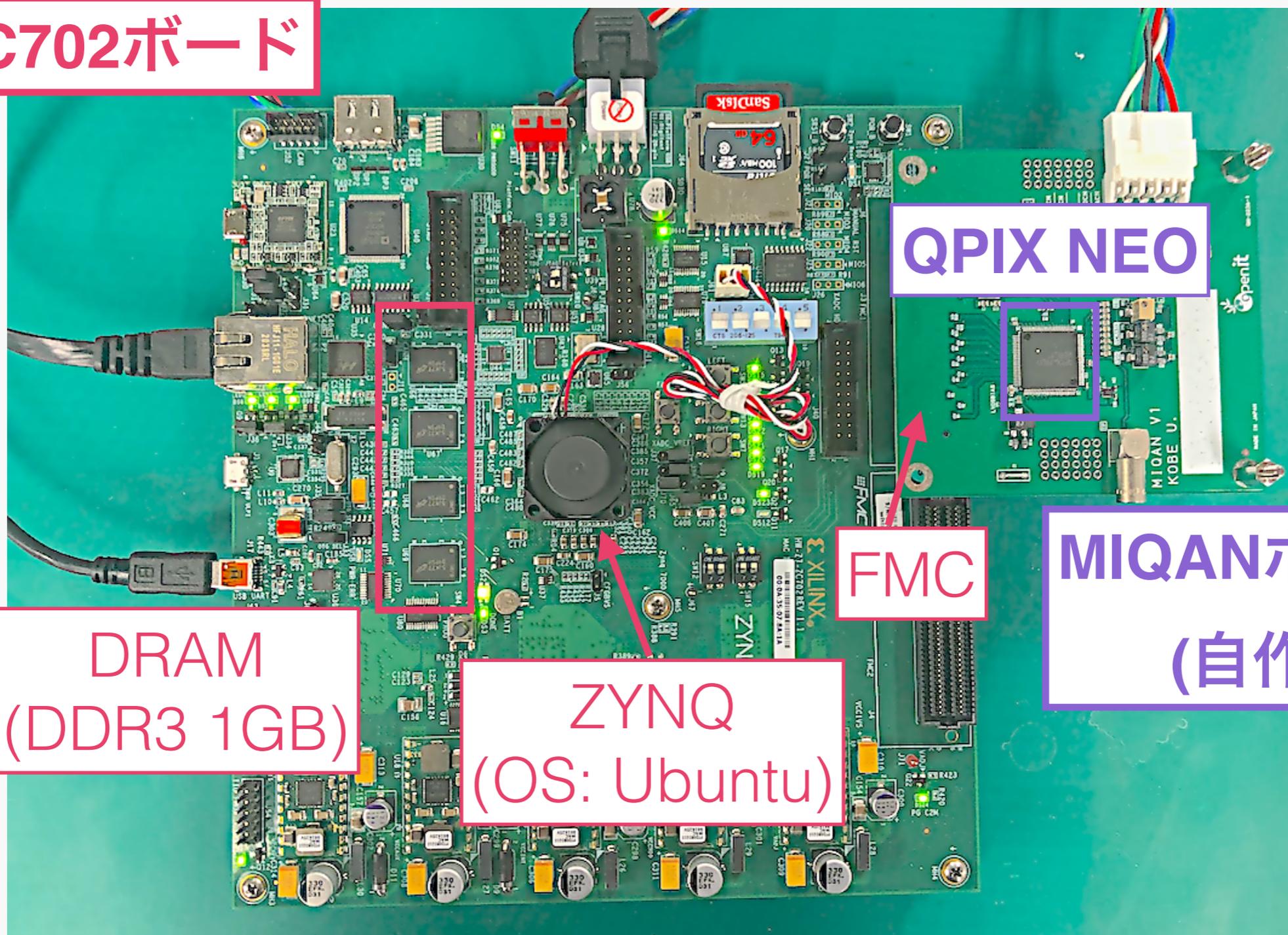
- 各chにADC 10bit 2.5MHz
- 各chToT/ToF 4ヒット分ストア
- ASD peaking time: 3~4 us
- 自動ゲイン切り替え
- ダイナミックレンジ 400 fC
- ...

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

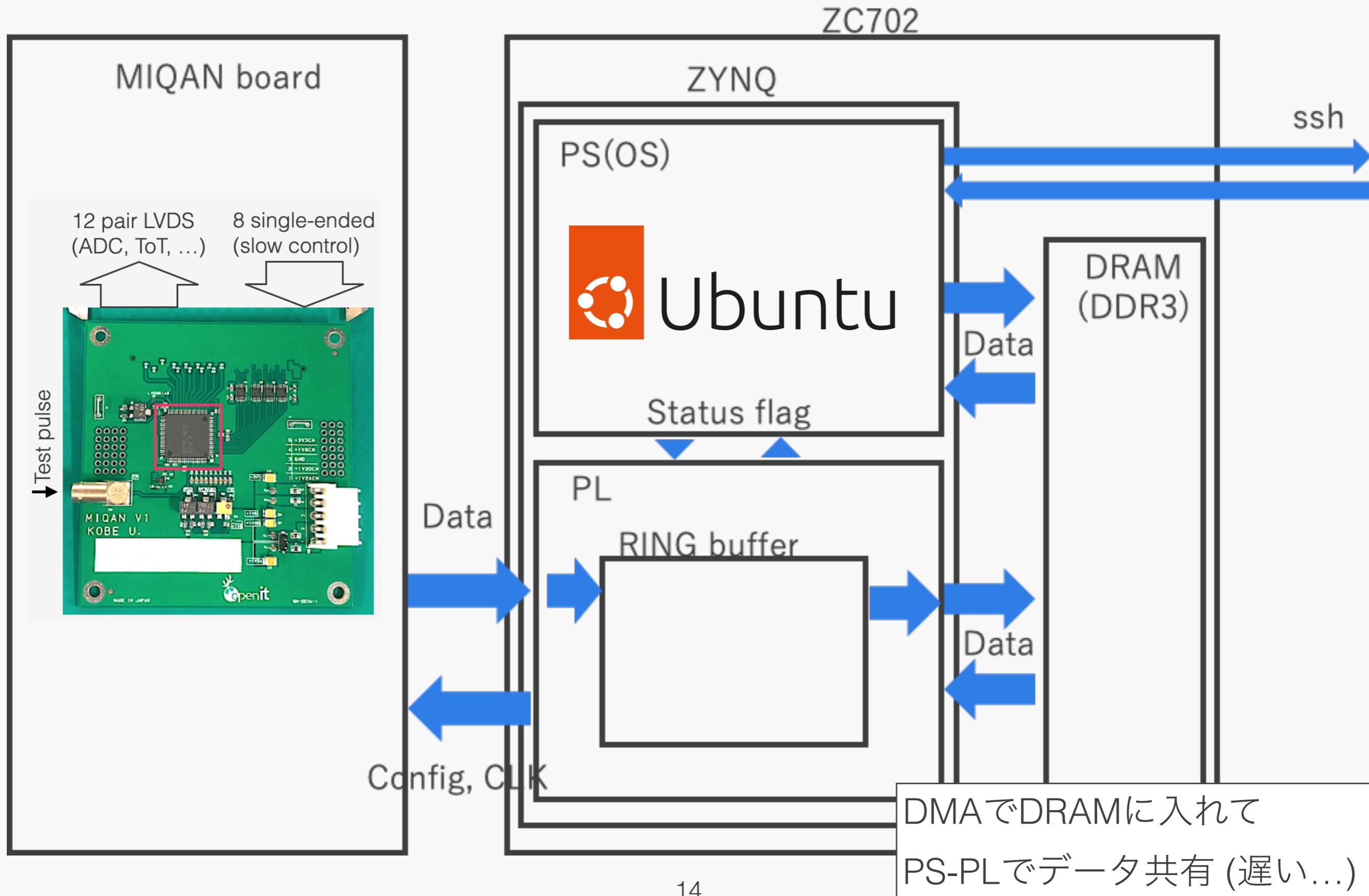
FMC

MIQANボード
(自作)

DRAM
(DDR3 1GB)

ZYNQ
(OS: Ubuntu)

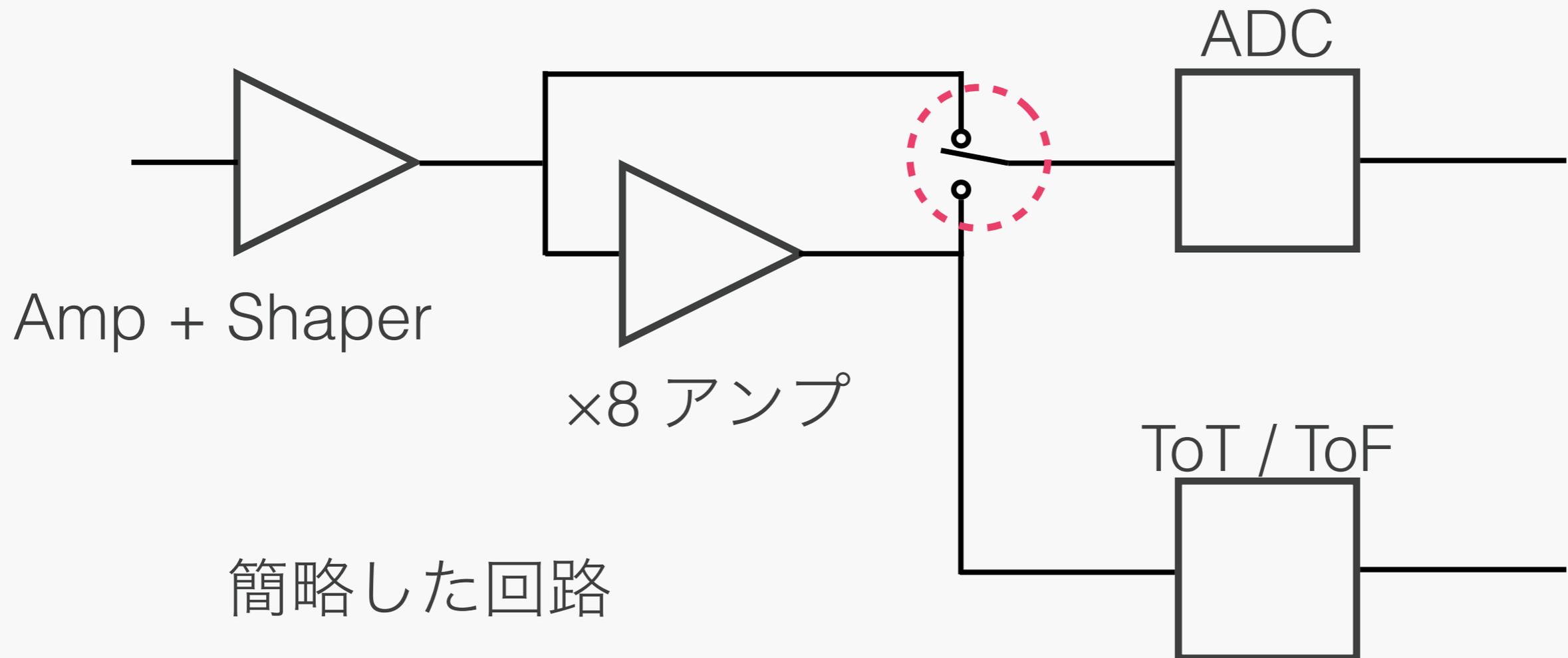
Block diagram



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



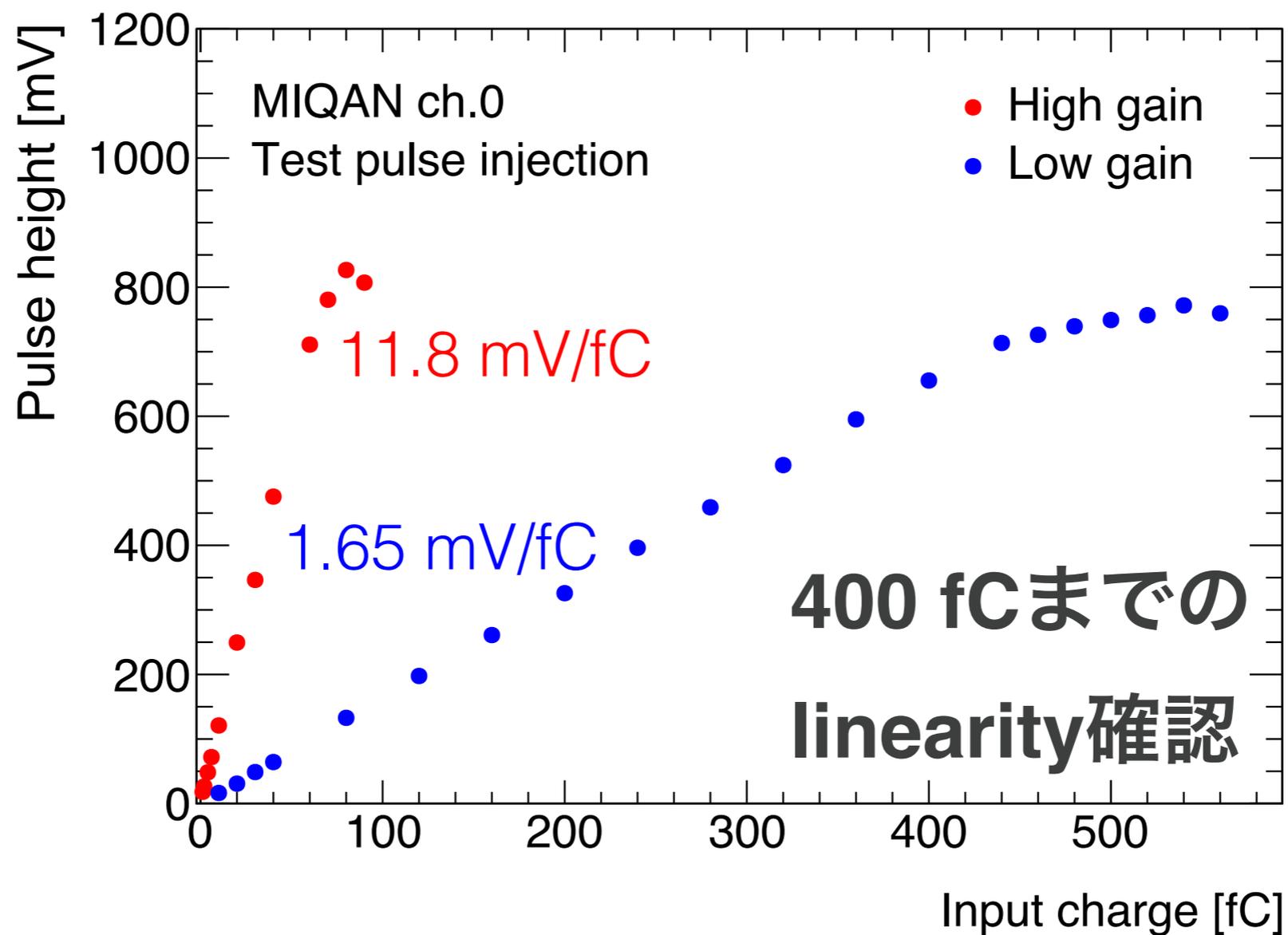
アンプのリニアリティ確認

- まずはゲイン固定モードでそれぞれの性能評価

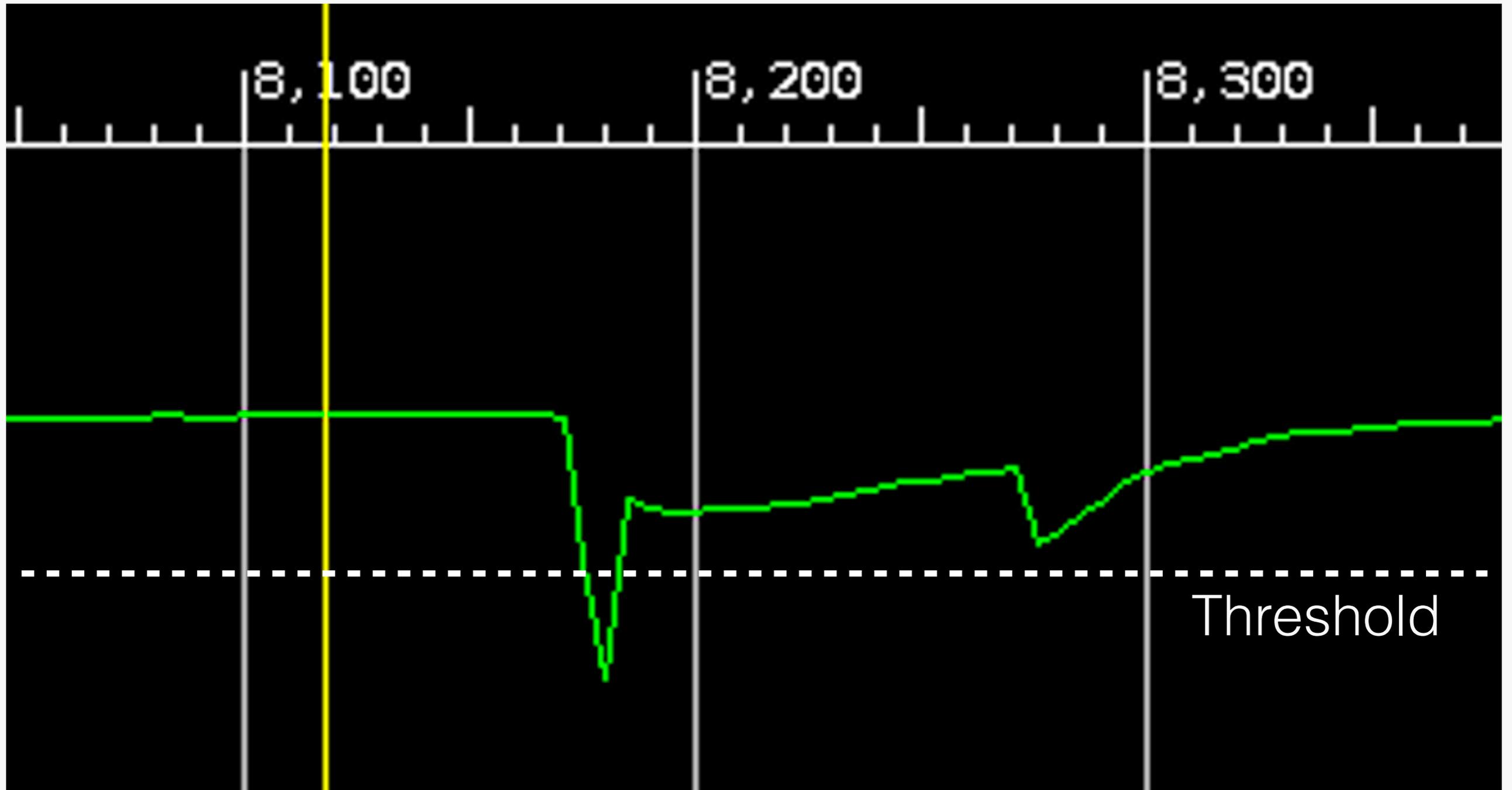
※とばします

→ Configurationでゲイン設定可能

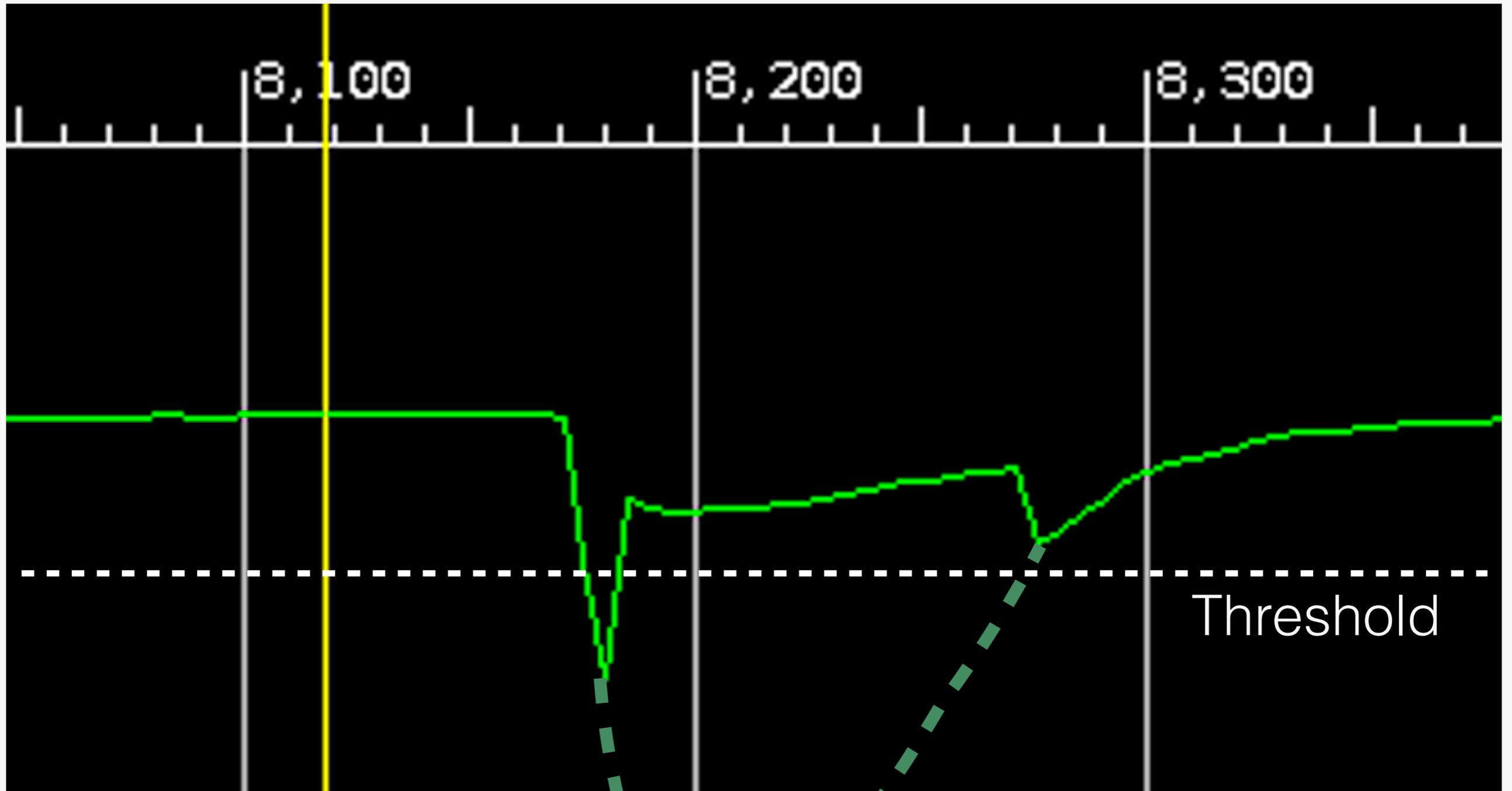
- テストパルス入力 (外部から矩形波入力→内部の0.4 pFコンデンサで電荷変換)



ゲイン自動切り替えの様子

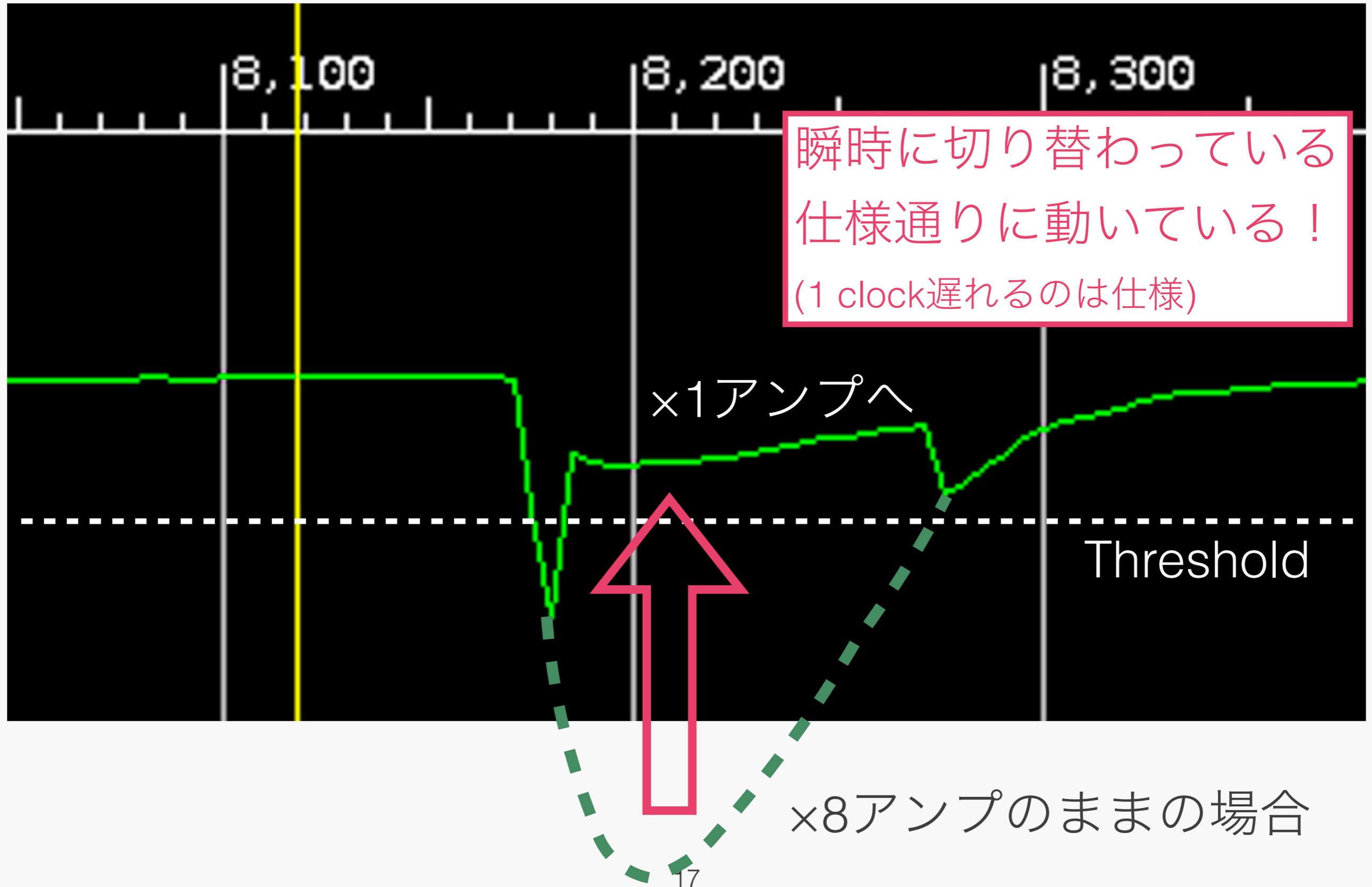


ゲイン自動切り替えの様子

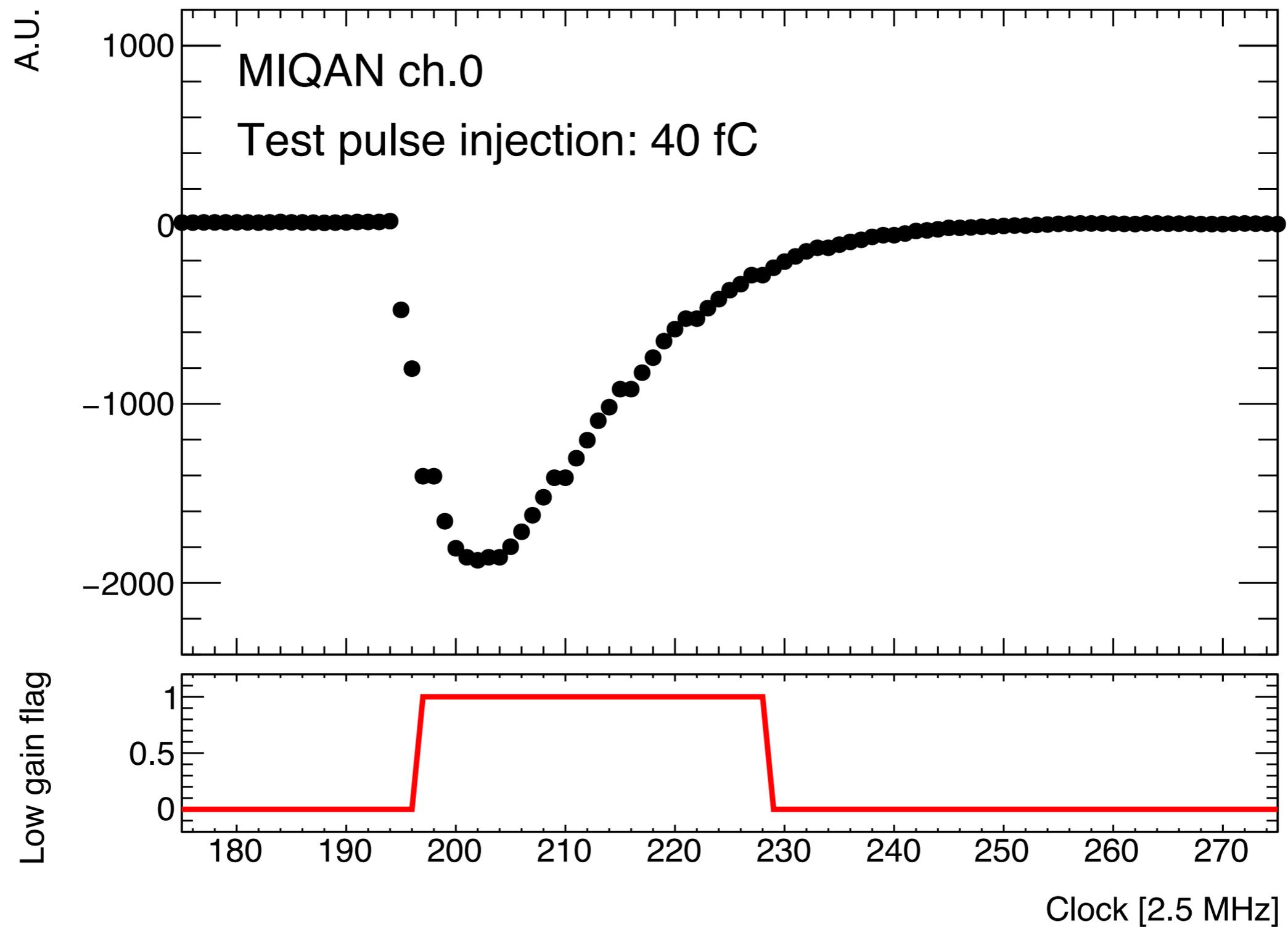


×8アンプのままの場合

ゲイン自動切り替えの様子



Waveform再構成



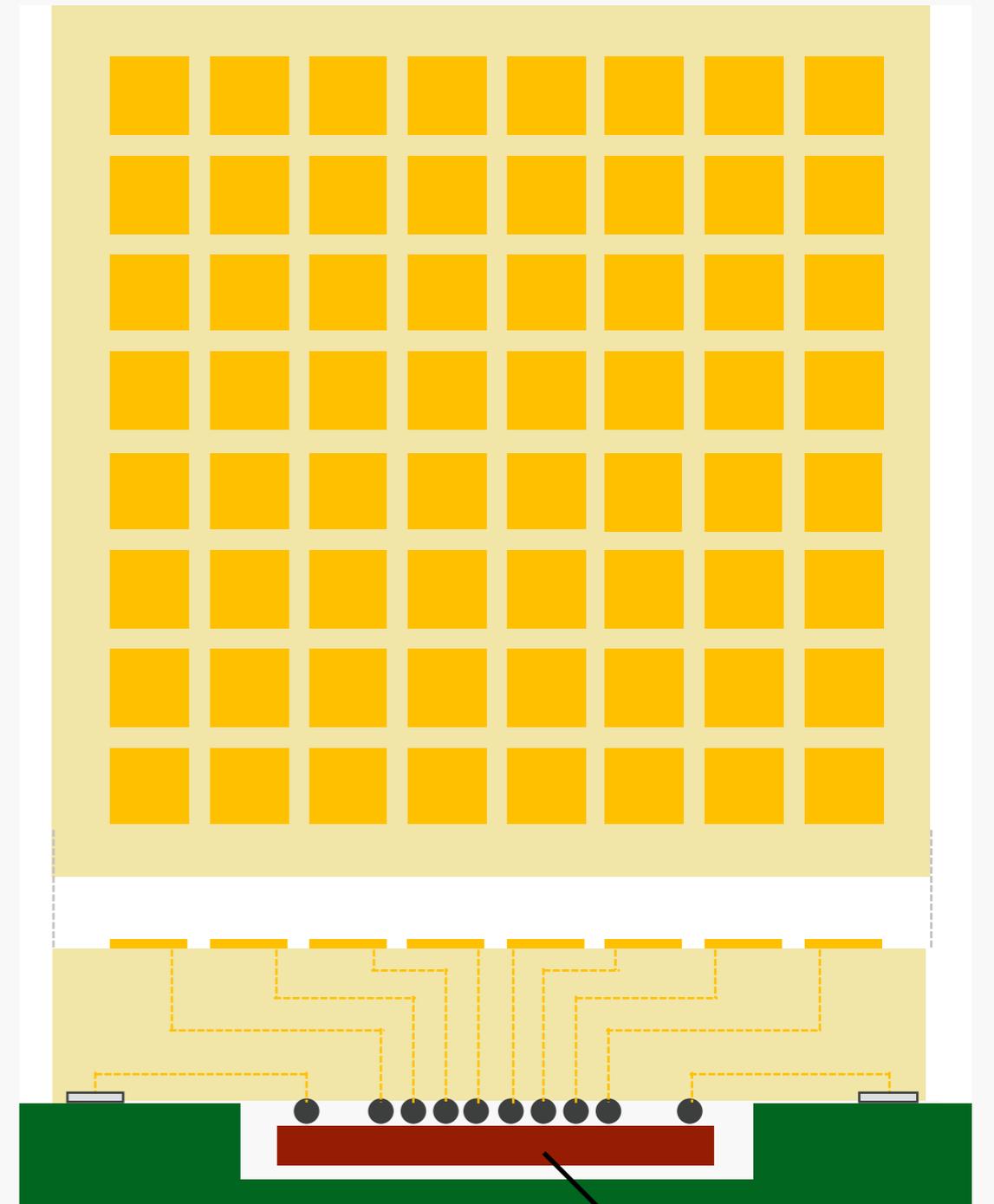
高ダイナミックレンジ実現、DM探索実験に利用可能

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

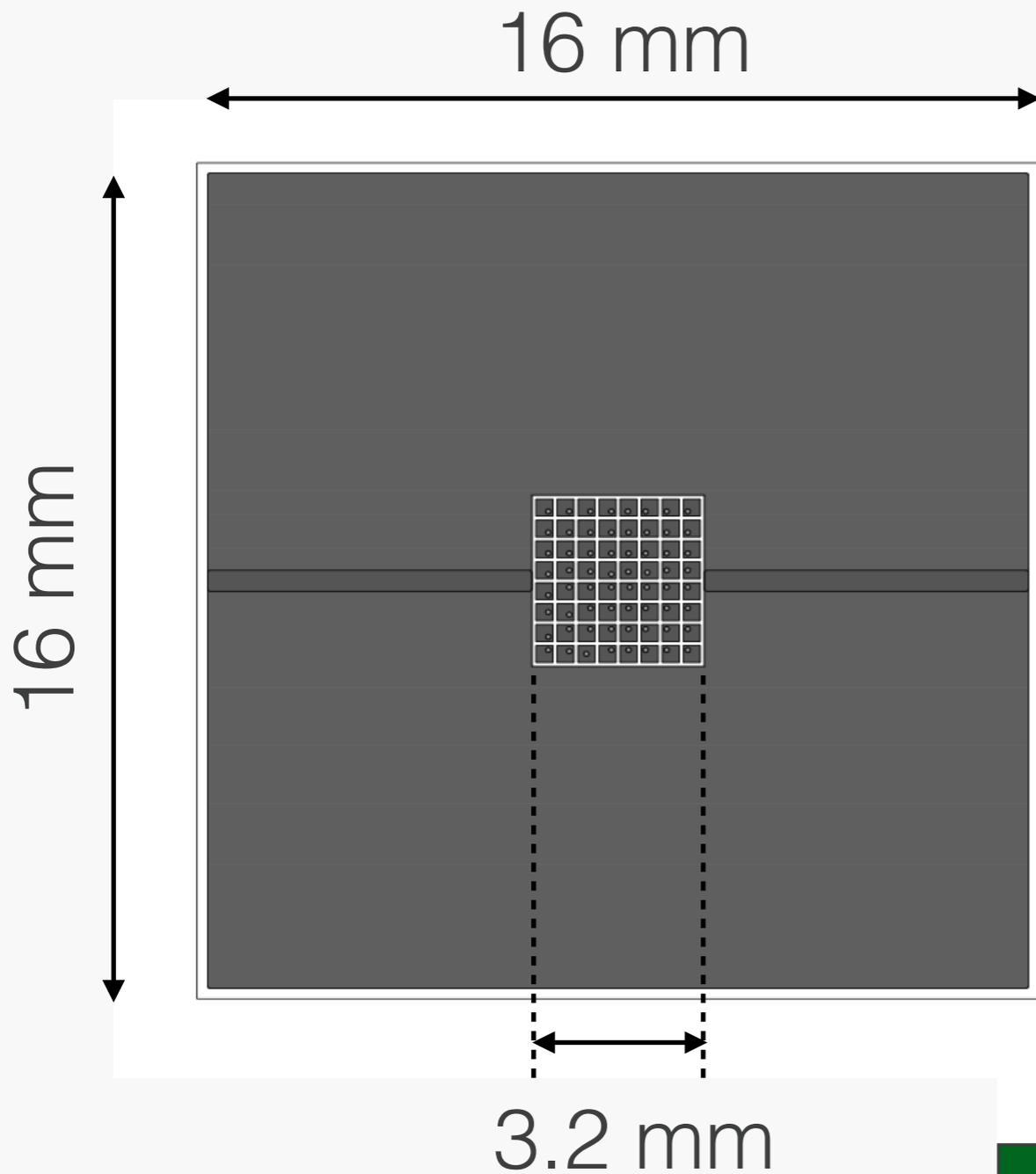
ピクセルピッチ: **400** μm



検出器基板

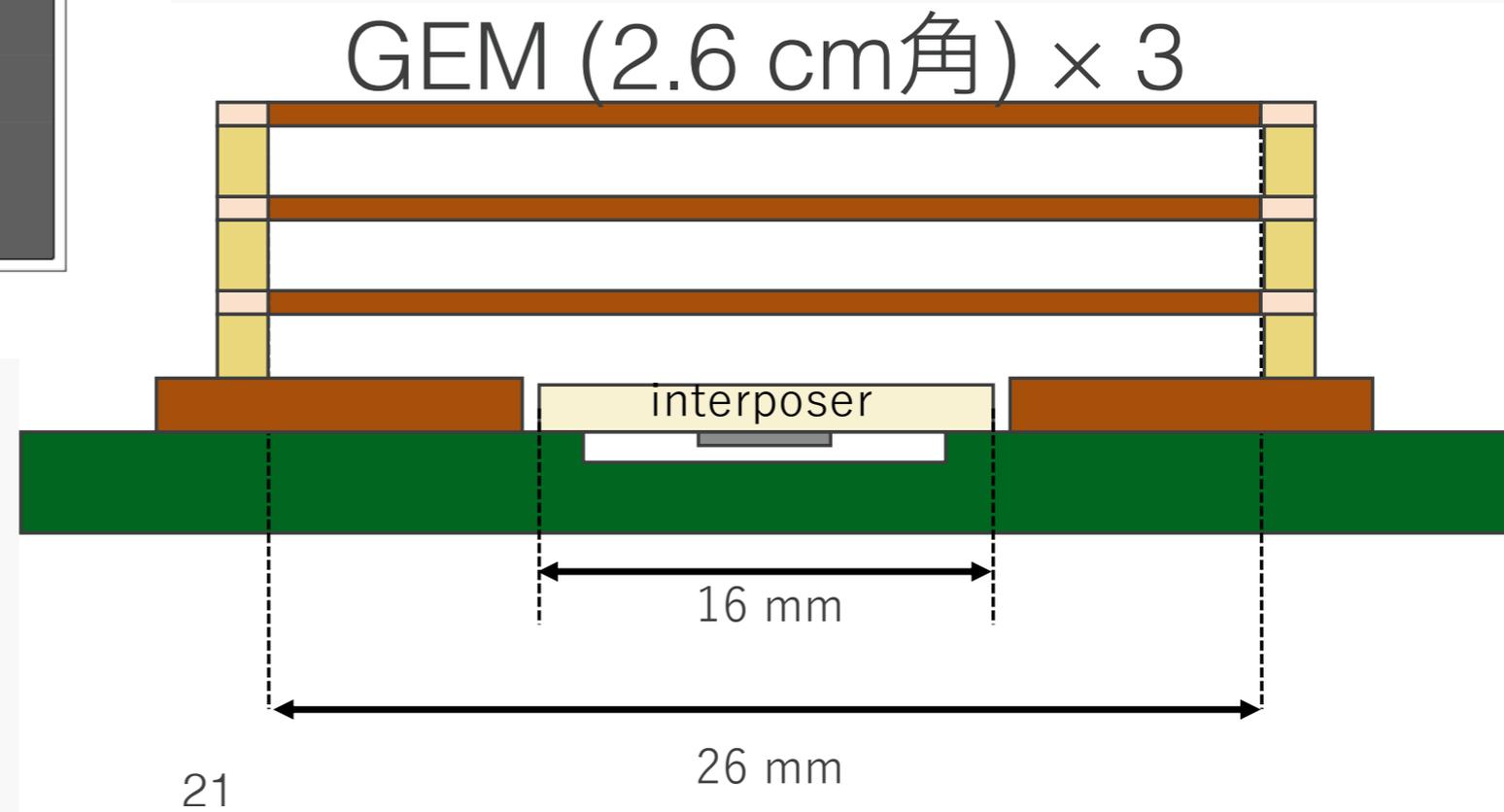
QPIX NEO

インターポージャー基板 w/ ハヤシレピック社



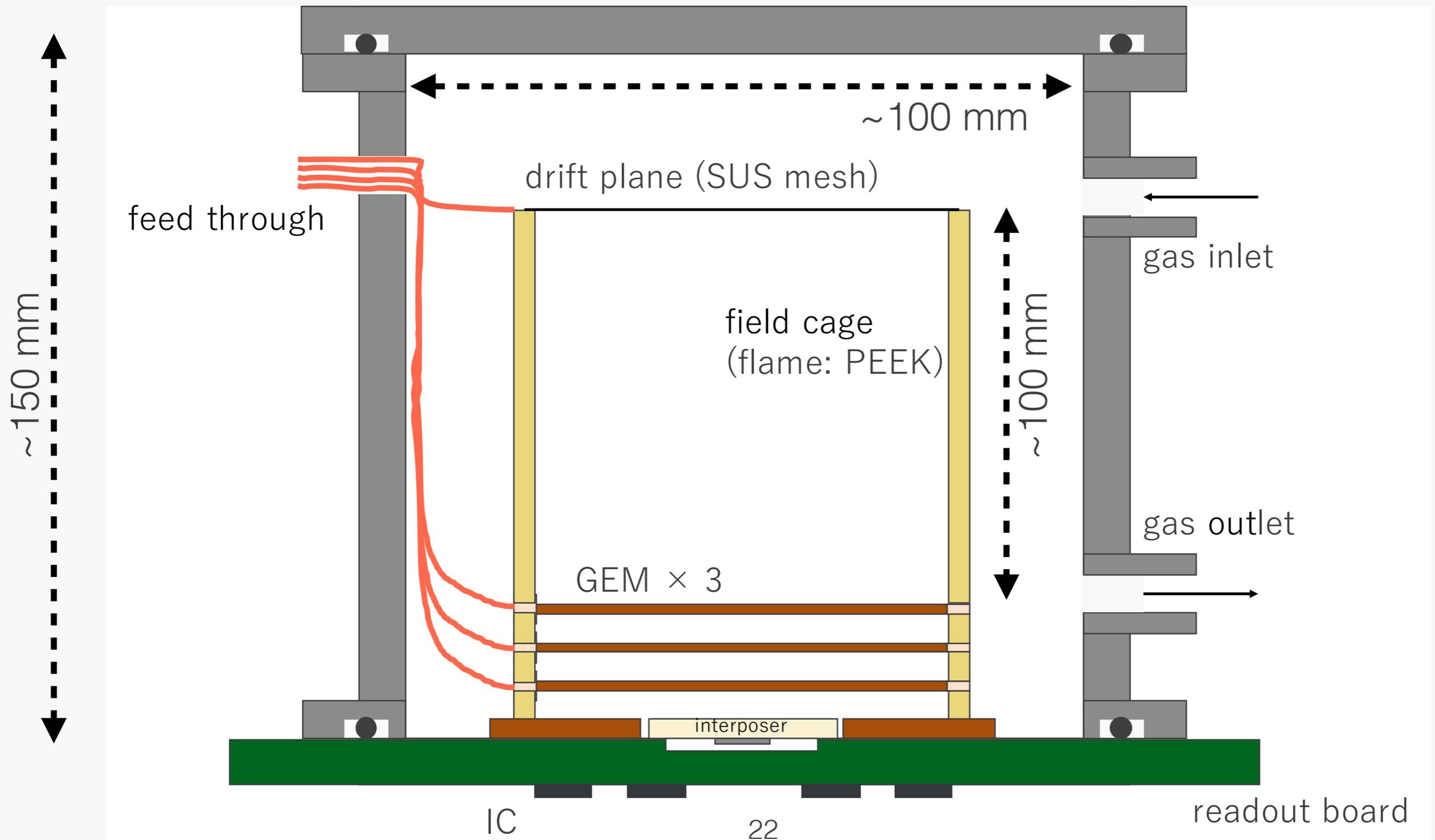
基板を大きくして配線の制限を緩和 (コスト削減)
ピクセルパッド部以外に余白となるGND面設置

GEM × 3 で読み出す機構を作る



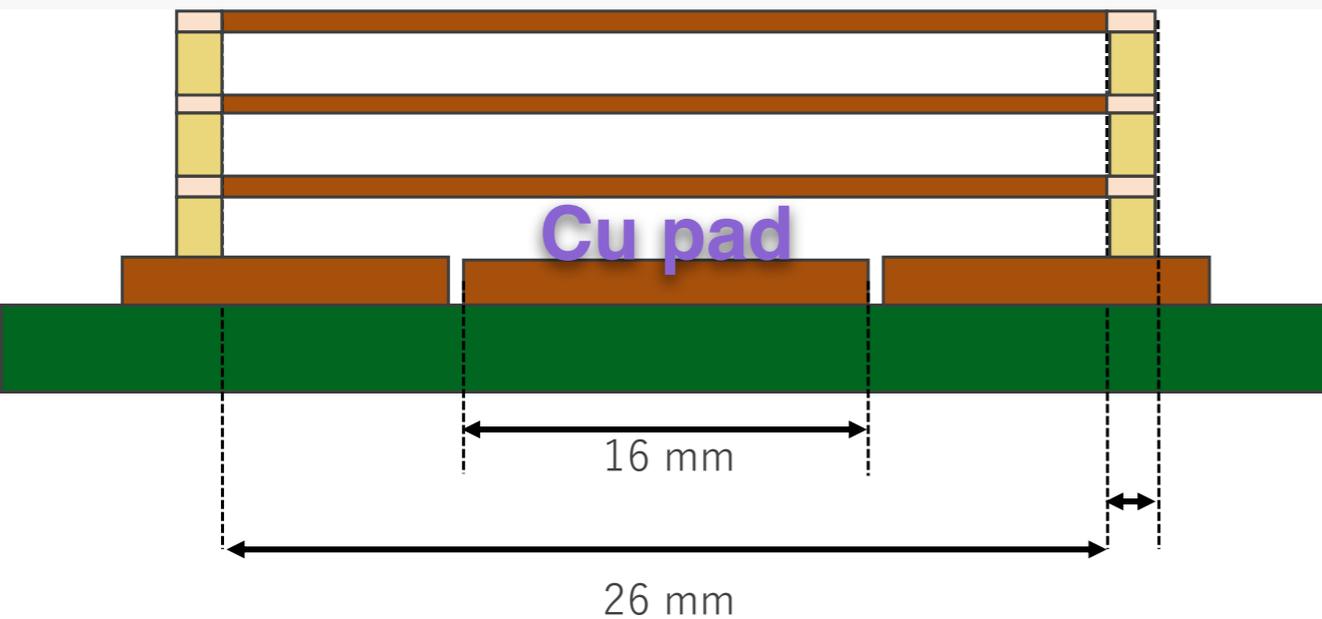
基板に乗るチェンバー

- 電極、ASIC、読み出し基板+チェンバー一体型の構造設計中

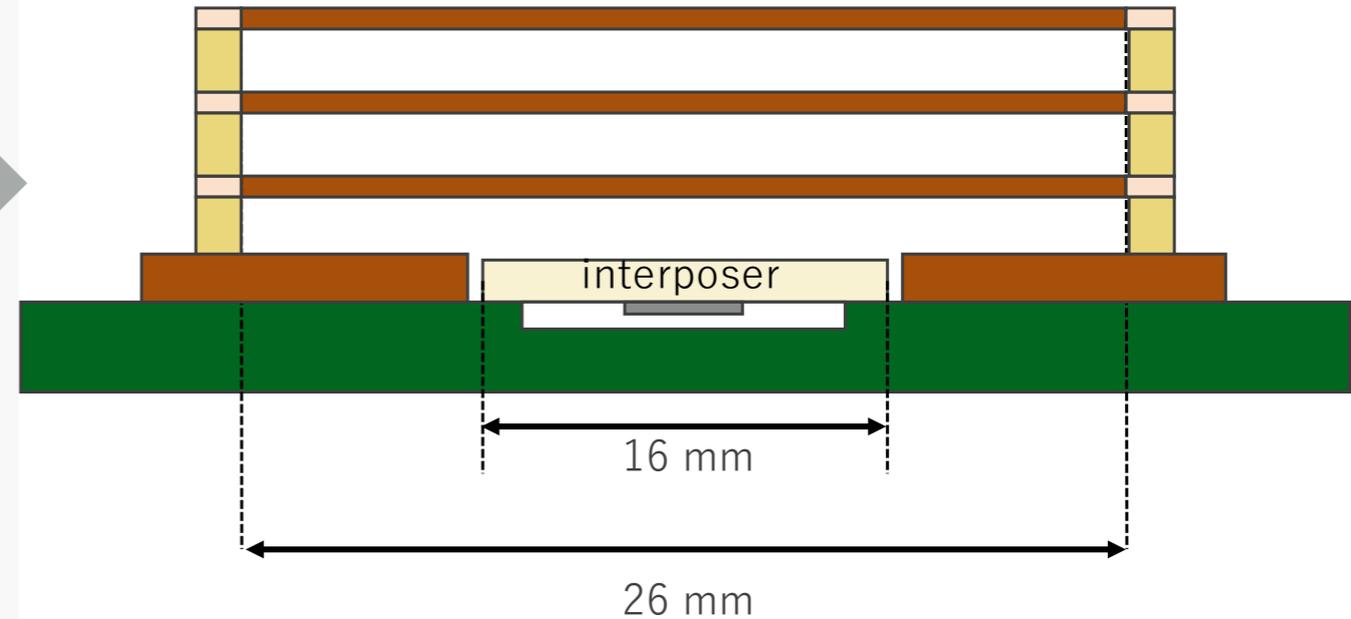


今後の予定

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~~4月か5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！

Backup