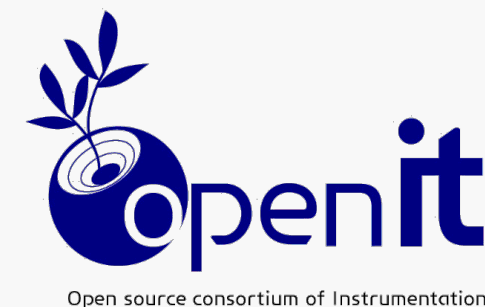




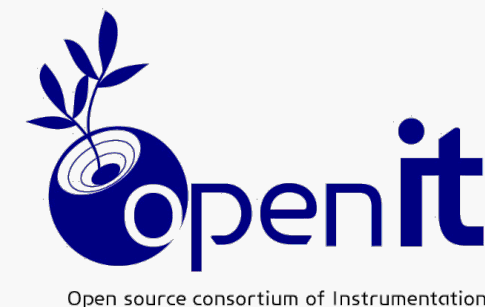
超微細ピクセル読み出し ガスTPC開発

神戸大 東野 聡

+手と口と金を
出してくれる人たち

神戸大	身内賢太朗	石浦宏尚	窪田諒	中山郁香
佐賀大	房安貴弘	杉山晃		
KEK	宮原正也	田中真伸		

2021年 11月 25日



超微細ピクセル読み出し ガスTPC開発

神戸大 東野 聡

+手と口と金を
出してくれる人たち

神戸大	身内賢太朗	石浦宏尚	窪田諒	中山郁香
佐賀大	房安貴弘	杉山晃		
KEK	宮原正也	田中真伸		

2021年 11月 25日

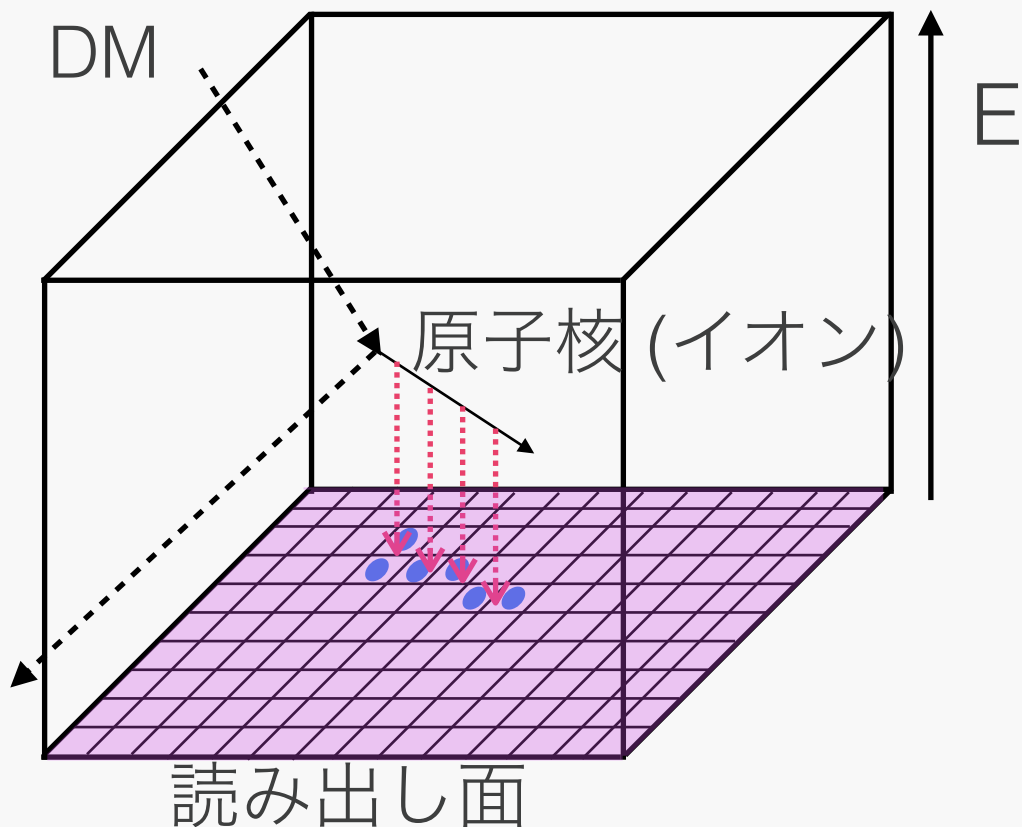
イントロダクション

Time Projection Chamber (TPC)

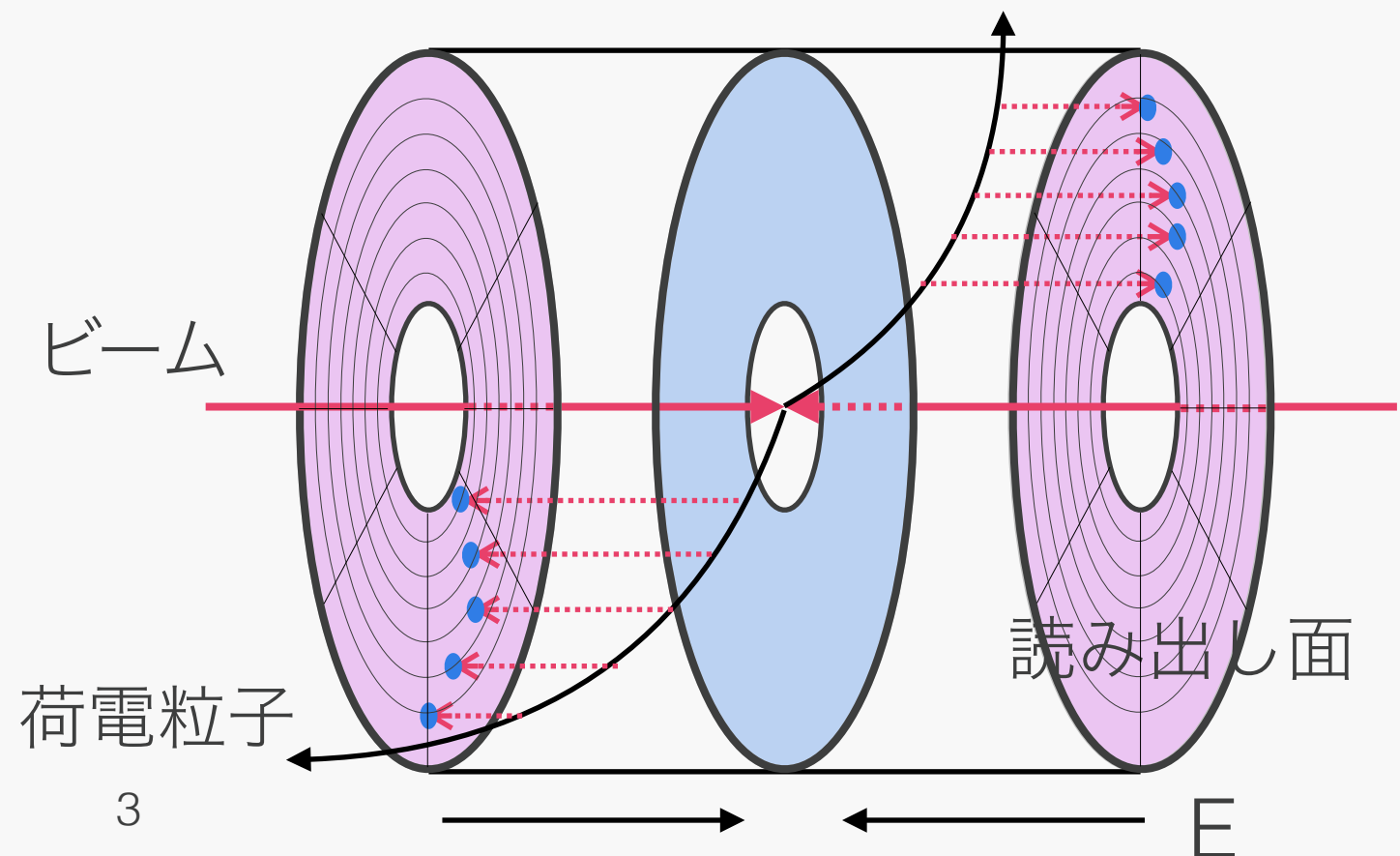
- 荷電粒子によるイオン化で生まれた電子が電場に沿ってドリフト
 - ➔ **読み出し位置** (2次元) + 信号到達時間 (1次元) = **3次元位置検出**
 - ➔ 荷電粒子の飛跡を再構成することができる
- ターゲットの主流はガス、最近は液体でも使われる

ダークマター

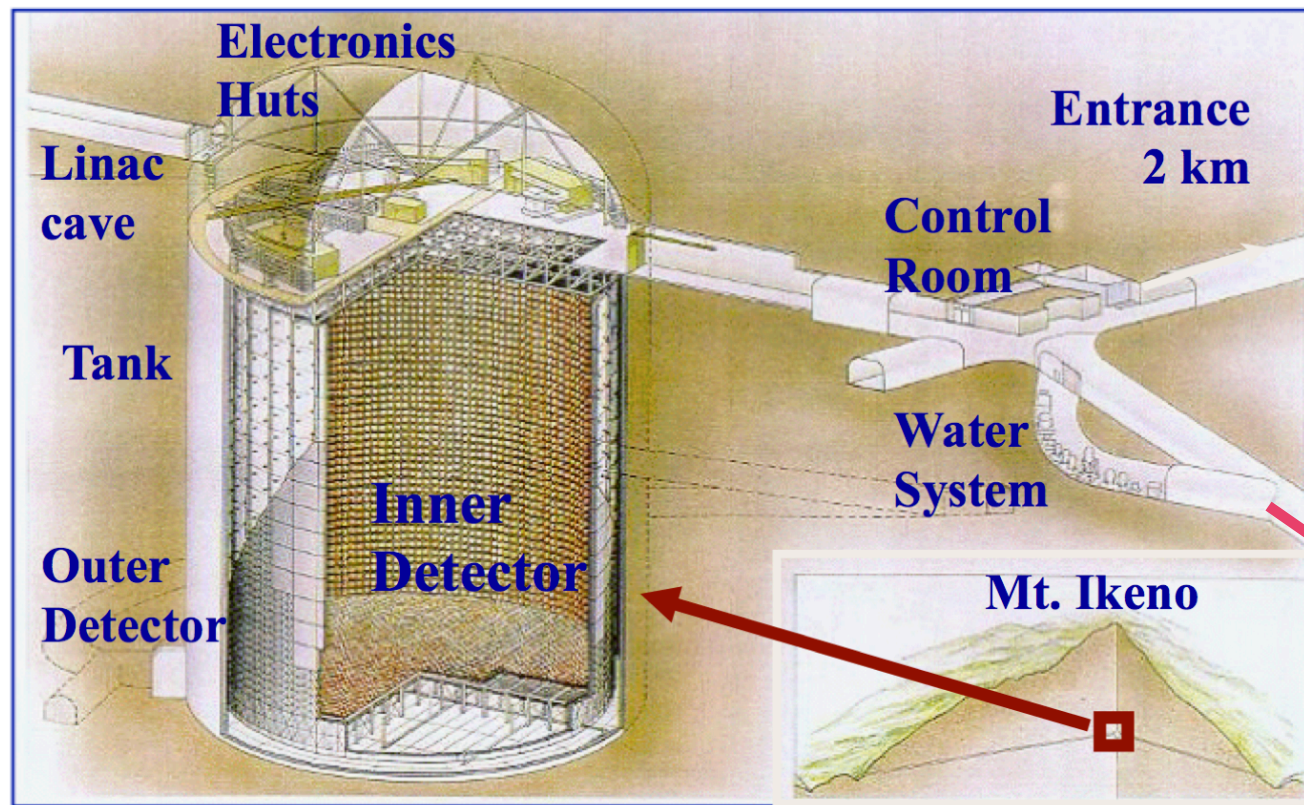
DM探索実験で使うTPC



コライダー実験で使うTPC



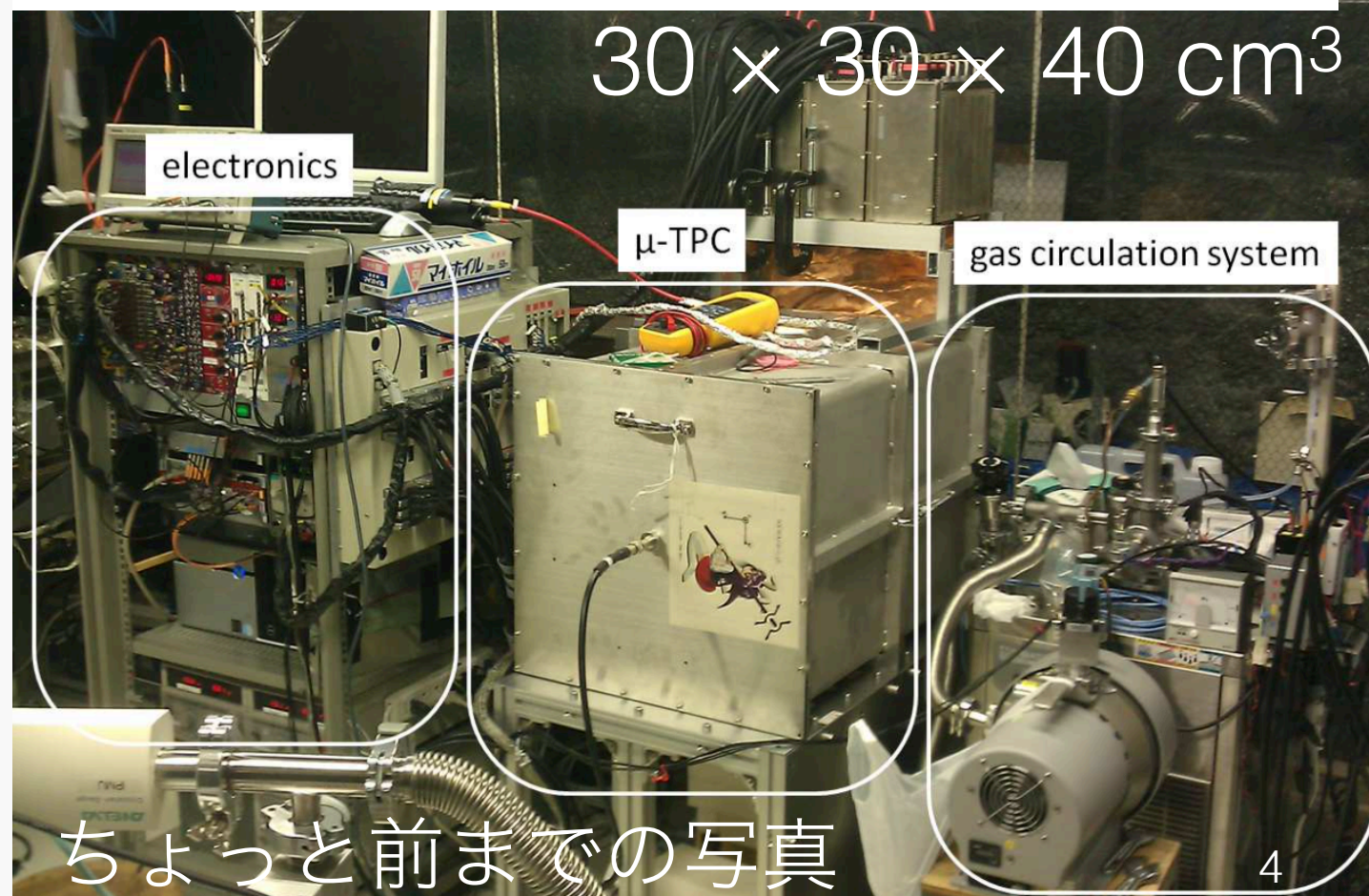
NEWAGE: 方向感度をもつDM探索



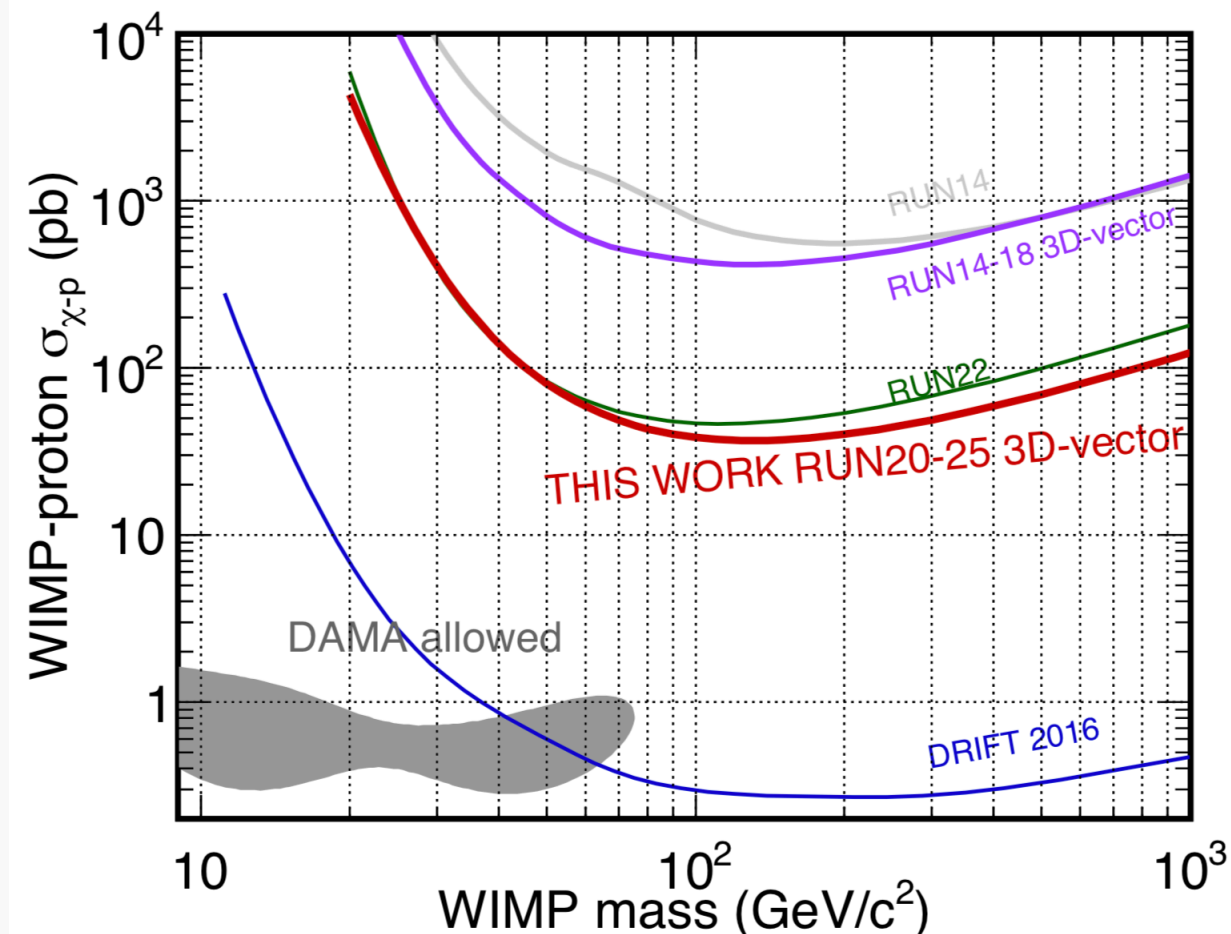
このへんにある
Lab-Bというところ

今度のぞきにきてください

島田拓弥 修士論文 神戸大 2021年2月 → 論文執筆中

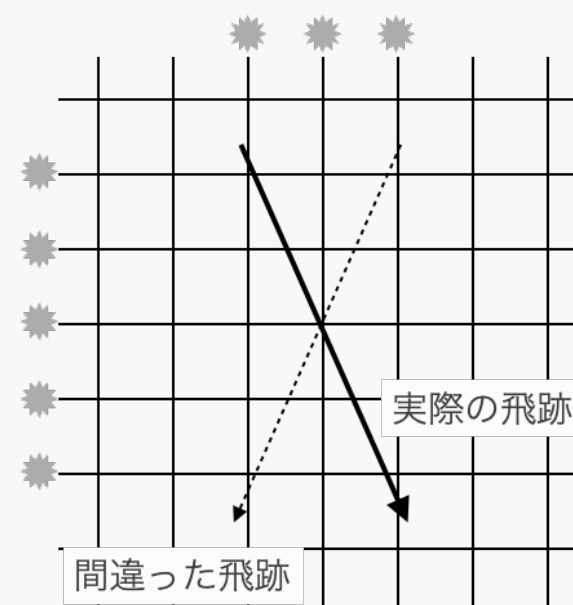
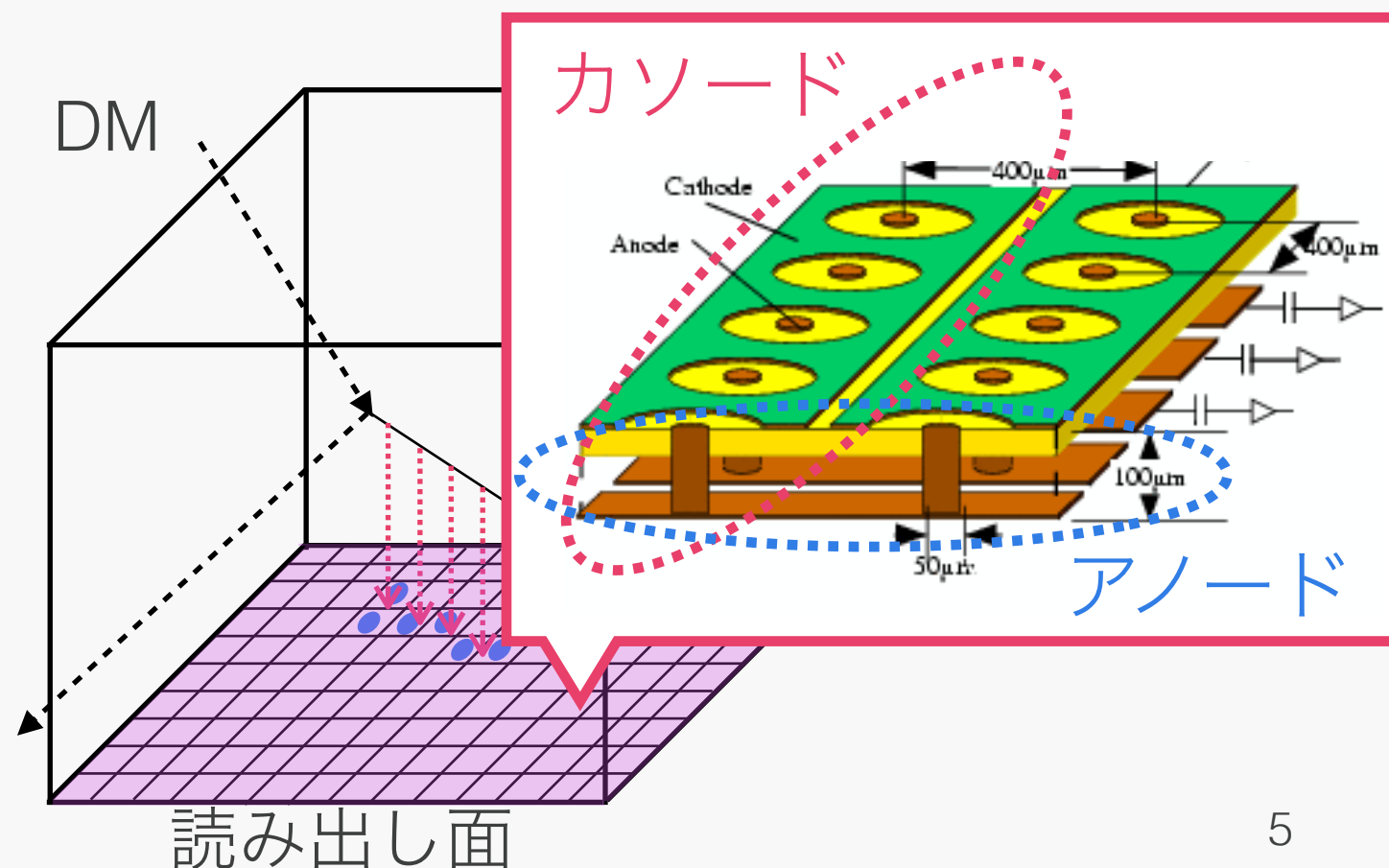
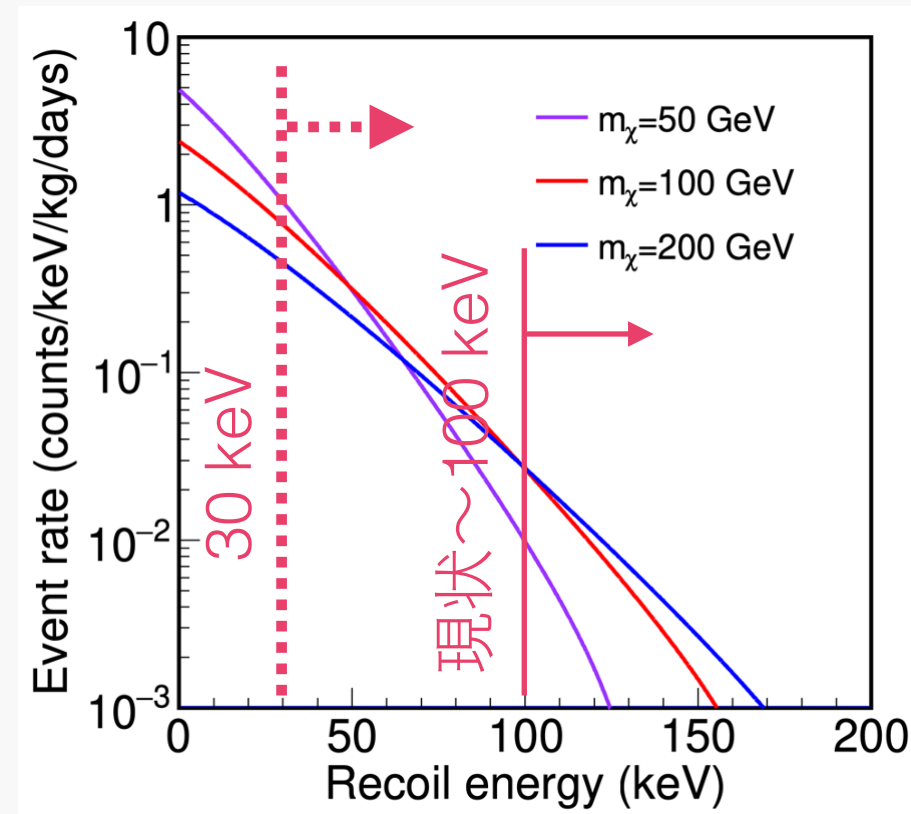


ちょっと前までの写真

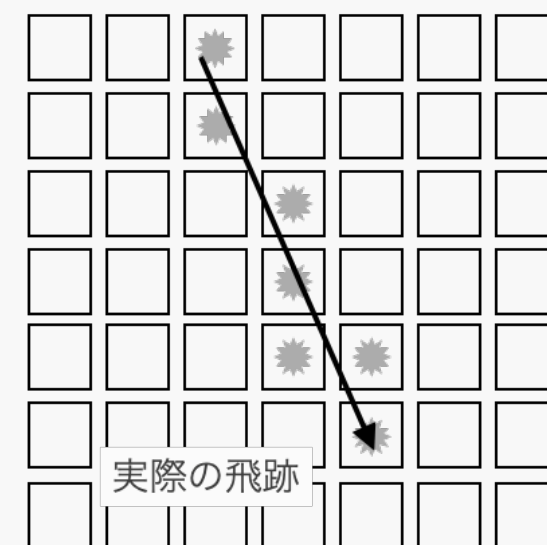


原子核反跳飛跡からDM到来方向を知る

- 特に低質量DMでは低エネルギーの原子核反跳が多い
 - ➔ でも低エネルギーすぎて飛程が短い
- 現状 μ -PICで400 μ mピッチの2Dストリップ読み出し
 - ➔ 1 mm以下の飛跡検出は無理、しかもゴースト作る
 - ➔ もっと粒度の細かいピクセル読み出しをしよう



ストリップ読み出し
(7 + 7 = 14 ch)



ピクセル読み出し
(7 × 7 = **49** ch)

ピクセルで超微細読み出し 検出器開発に向けて

以降、ほぼ研究ログ

ピクセル検出器で難しいところ

- なんととってもDAQ。超多チャンネル読み出し
 - ➔ NEWAGE検出器は $(30\text{ cm})^2$ 、 $(100\text{ }\mu\text{m})^2$ サイズのピクセルを使うと...
 - ▶ $3,000\text{ ch} \times 3,000\text{ ch} = 9,000,000\text{ ch}$
 - (余談) ATLAS実験のピクセル検出器のチャンネル数は $90,000,000\text{ ch}$ (2000 modules)
- シリコンピクセル検出器の例をしてみる

ピクセル検出器で難しいところ

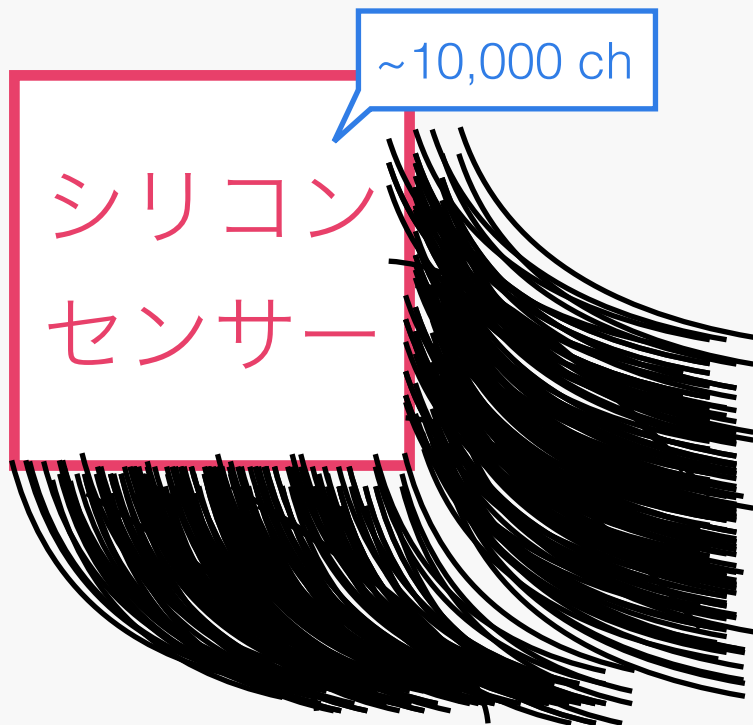
- なんといってもDAQ。超多チャンネル読み出し

→ NEWAGE検出器は $(30\text{ cm})^2$ 、 $(100\text{ }\mu\text{m})^2$ サイズのピクセルを使うと...

▶ $3,000\text{ ch} \times 3,000\text{ ch} = 9,000,000\text{ ch}$

- (余談) ATLAS実験のピクセル検出器のチャンネル数は90,000,000 ch (2000 modules)

- シリコンピクセル検出器の例をしてみる



こんなキモいケーブリングは無理

ピクセル検出器で難しいところ

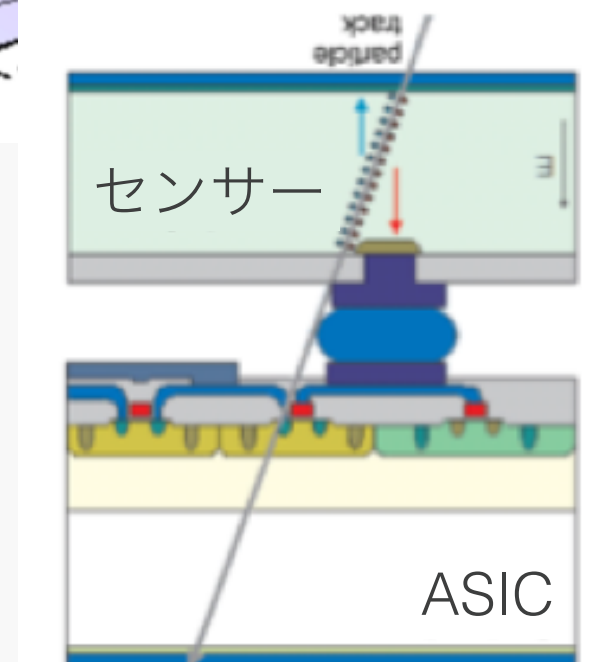
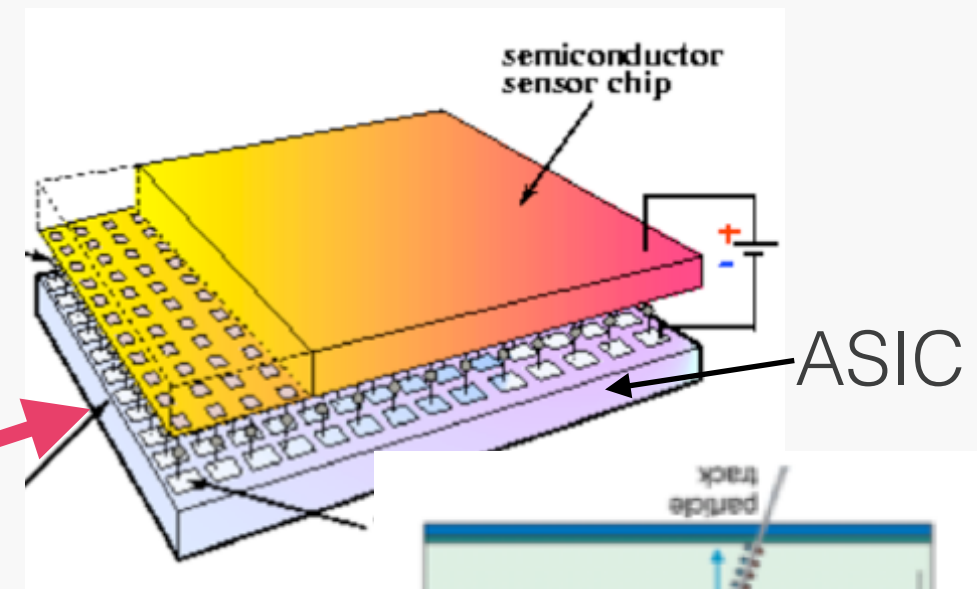
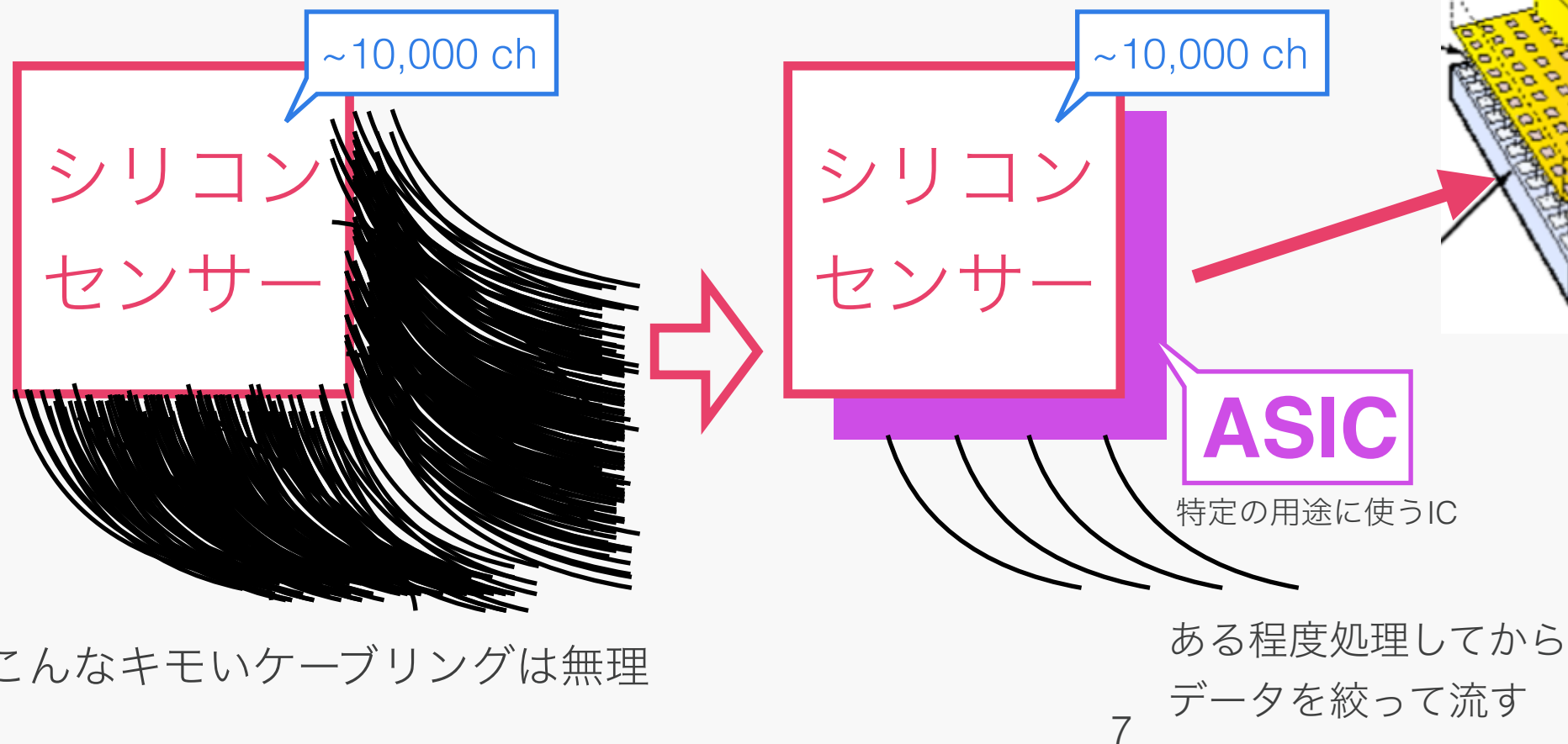
- なんといってもDAQ。超多チャンネル読み出し

➔ NEWAGE検出器は $(30\text{ cm})^2$ 、 $(100\text{ }\mu\text{m})^2$ サイズのピクセルを使うと...

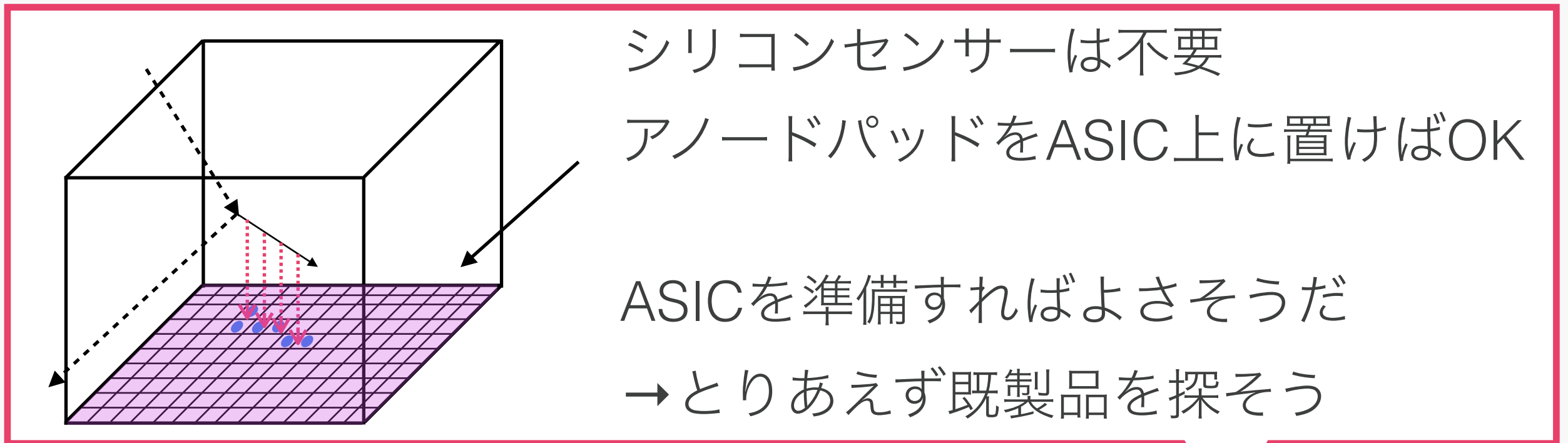
▶ $3,000\text{ ch} \times 3,000\text{ ch} = 9,000,000\text{ ch}$

- (余談) ATLAS実験のピクセル検出器のチャンネル数は90,000,000 ch (2000 modules)

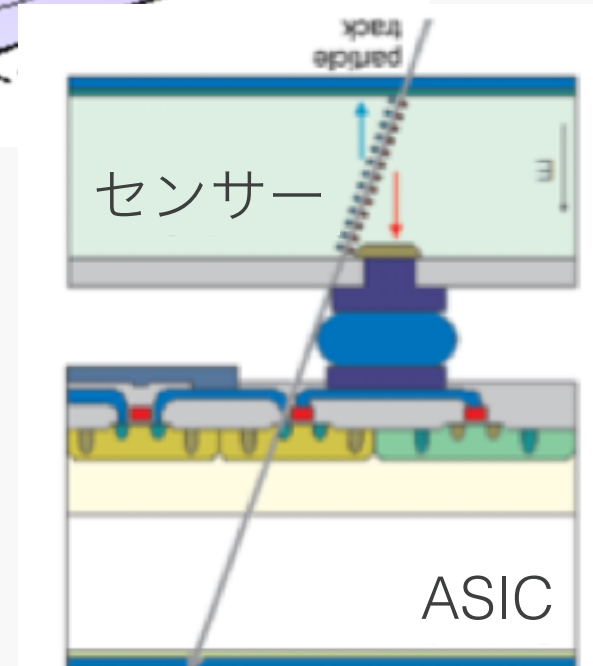
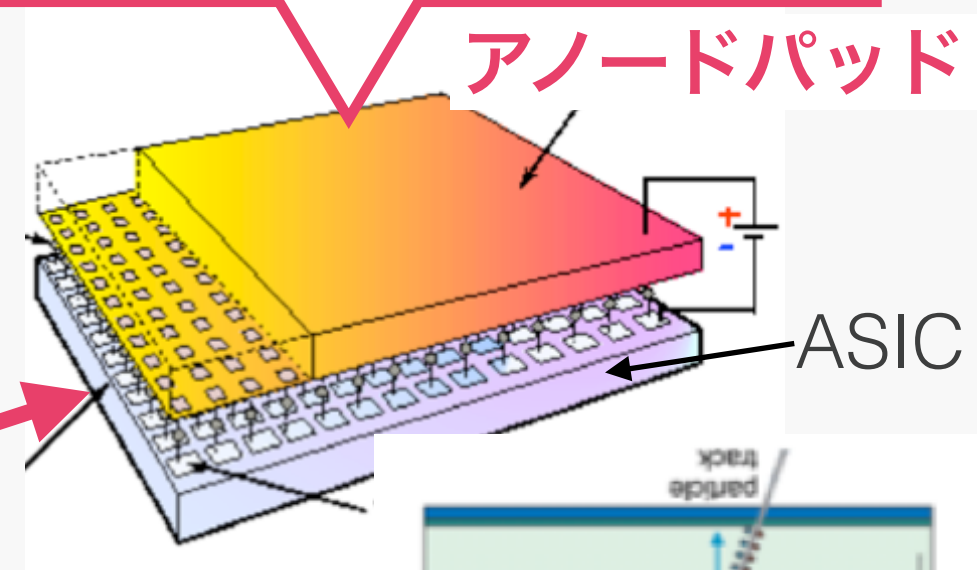
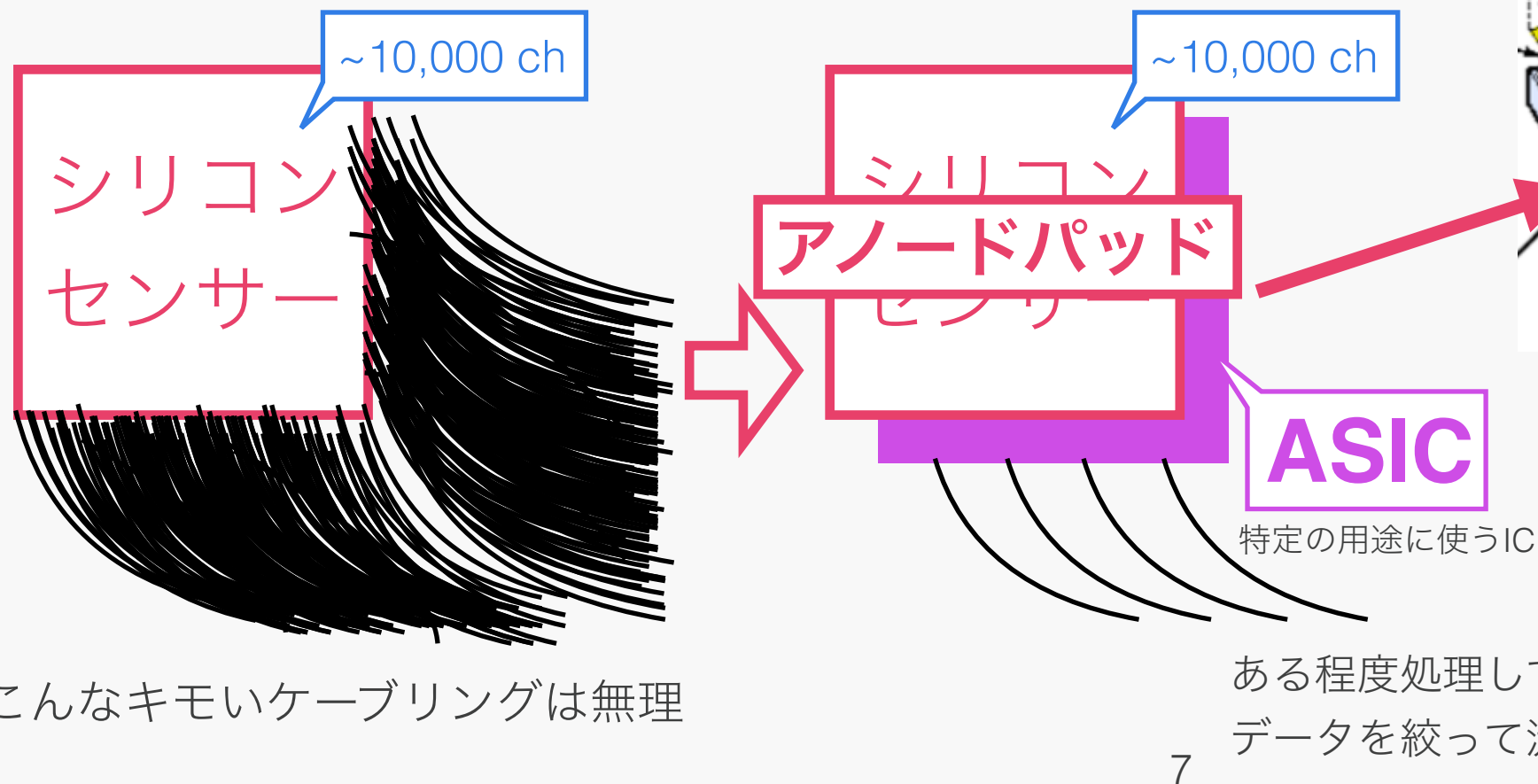
- シリコンピクセル検出器の例をしてみる



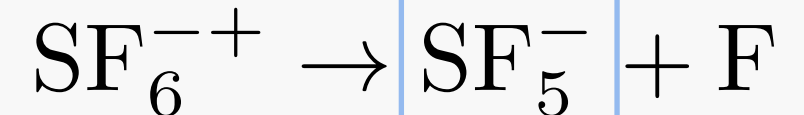
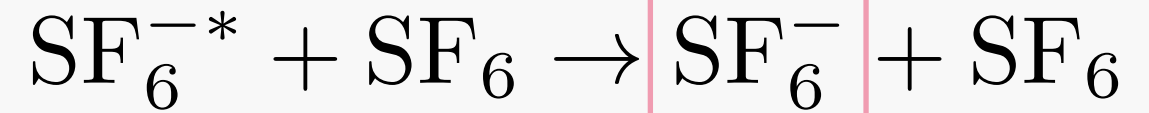
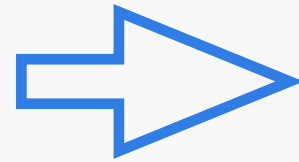
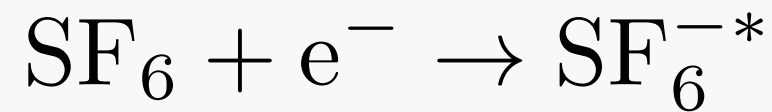
ピクセル検出器で難しいところ



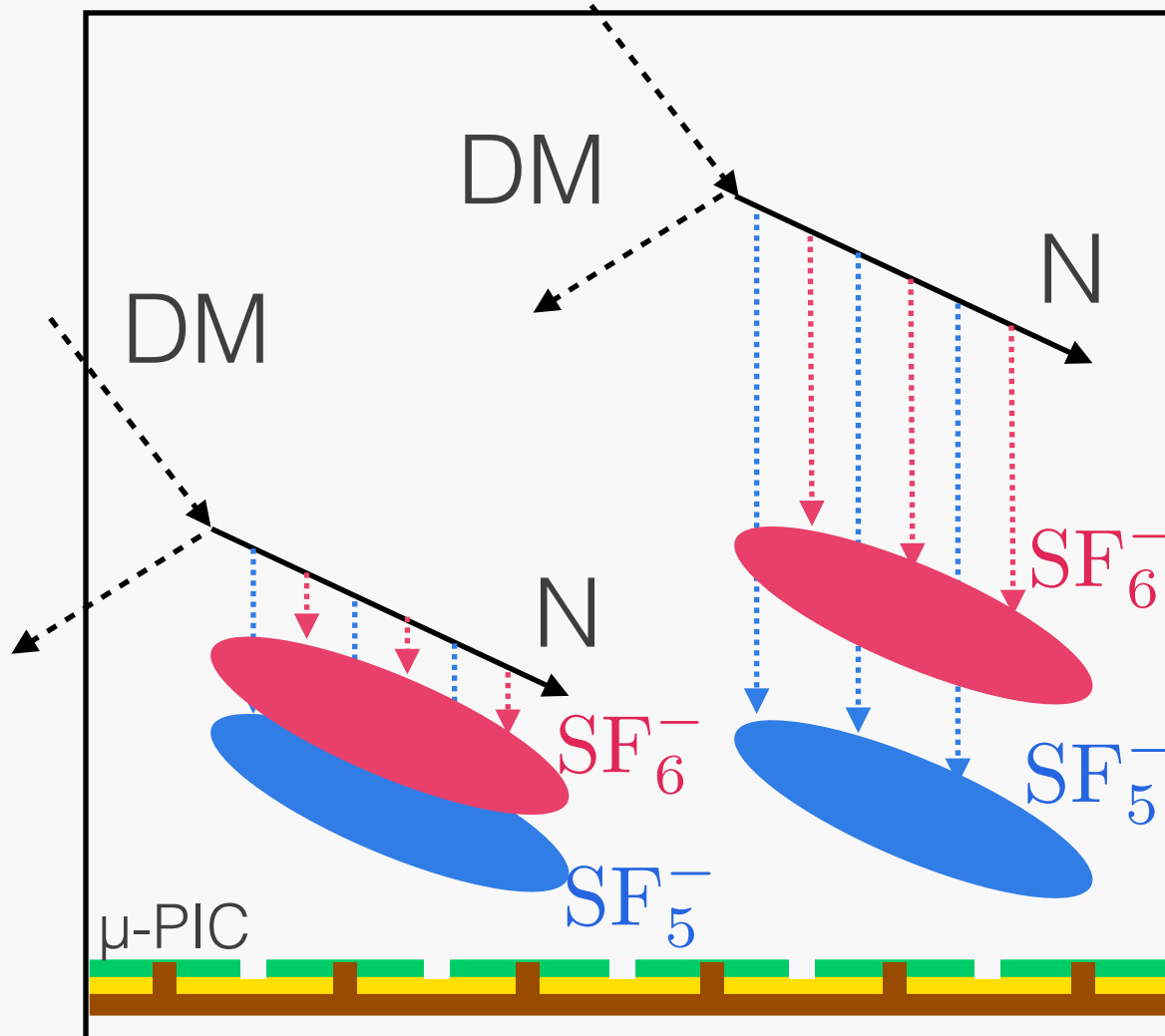
- シリコンピクセル検出器の例をしてみる



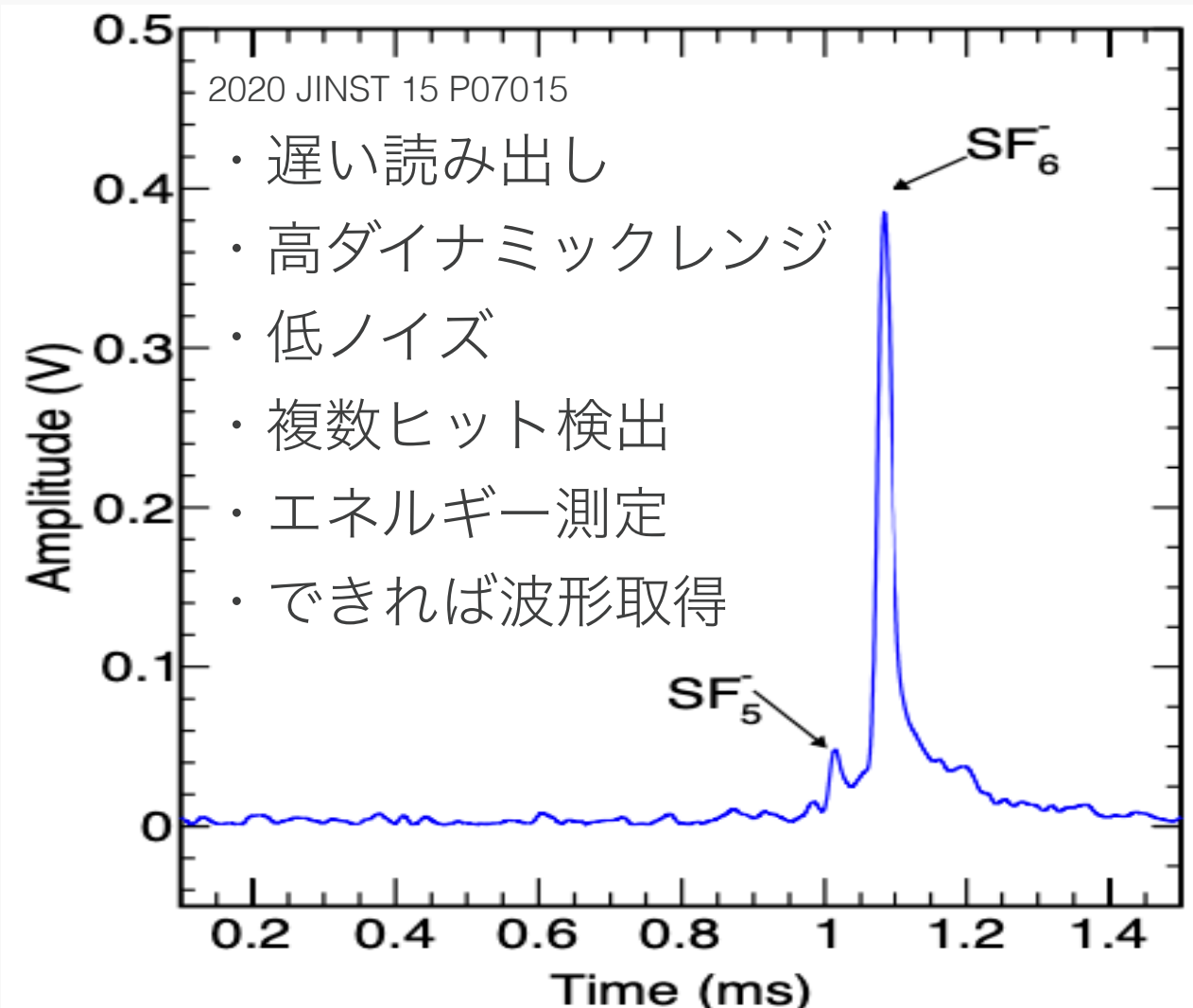
ASICへの要求1: 陰イオンガスを使いたい



時間差からドリフト方向の
絶対位置測定可、かつ低拡散



ただし特徴的な波形 (ダブルパルス)



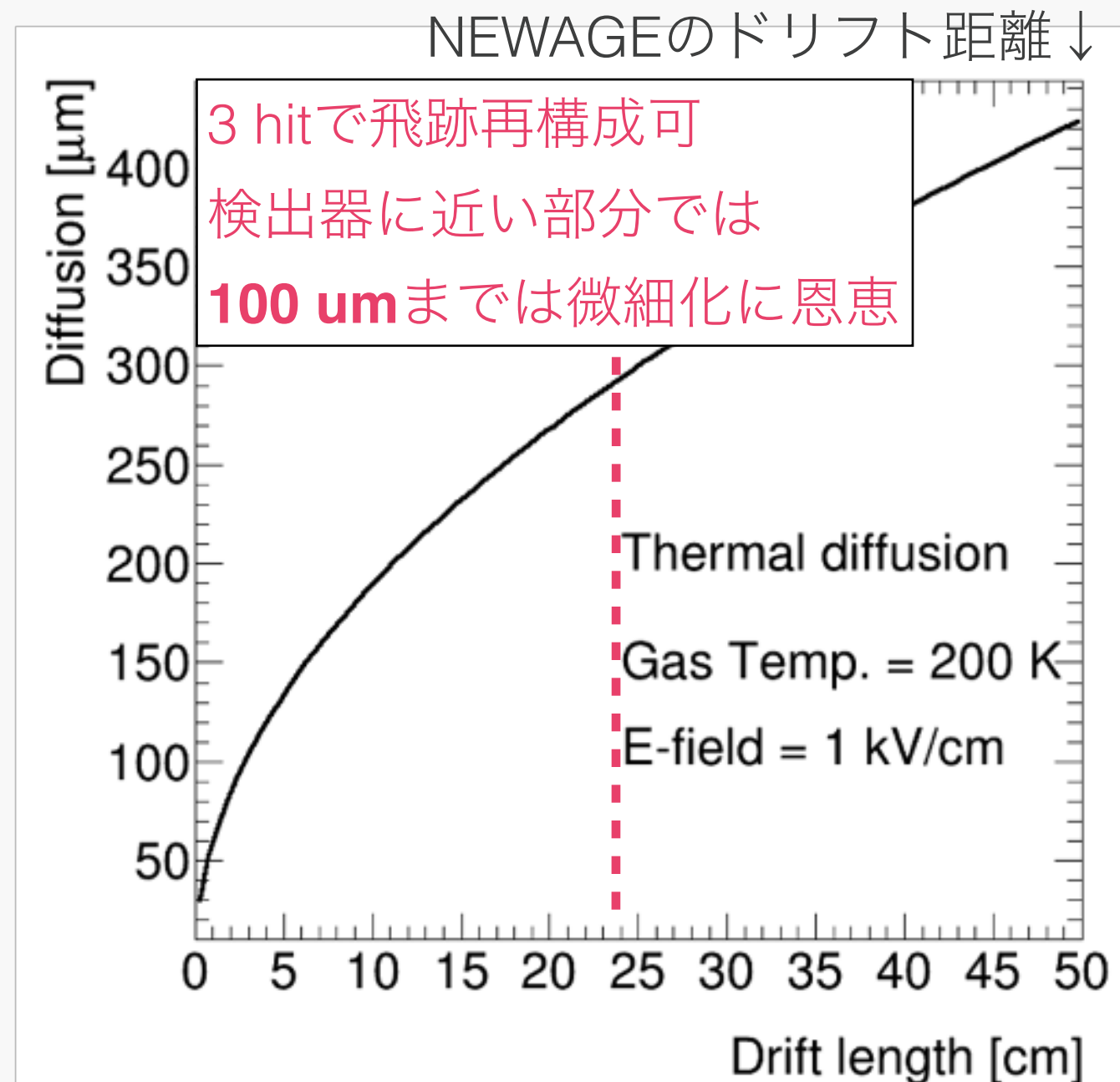
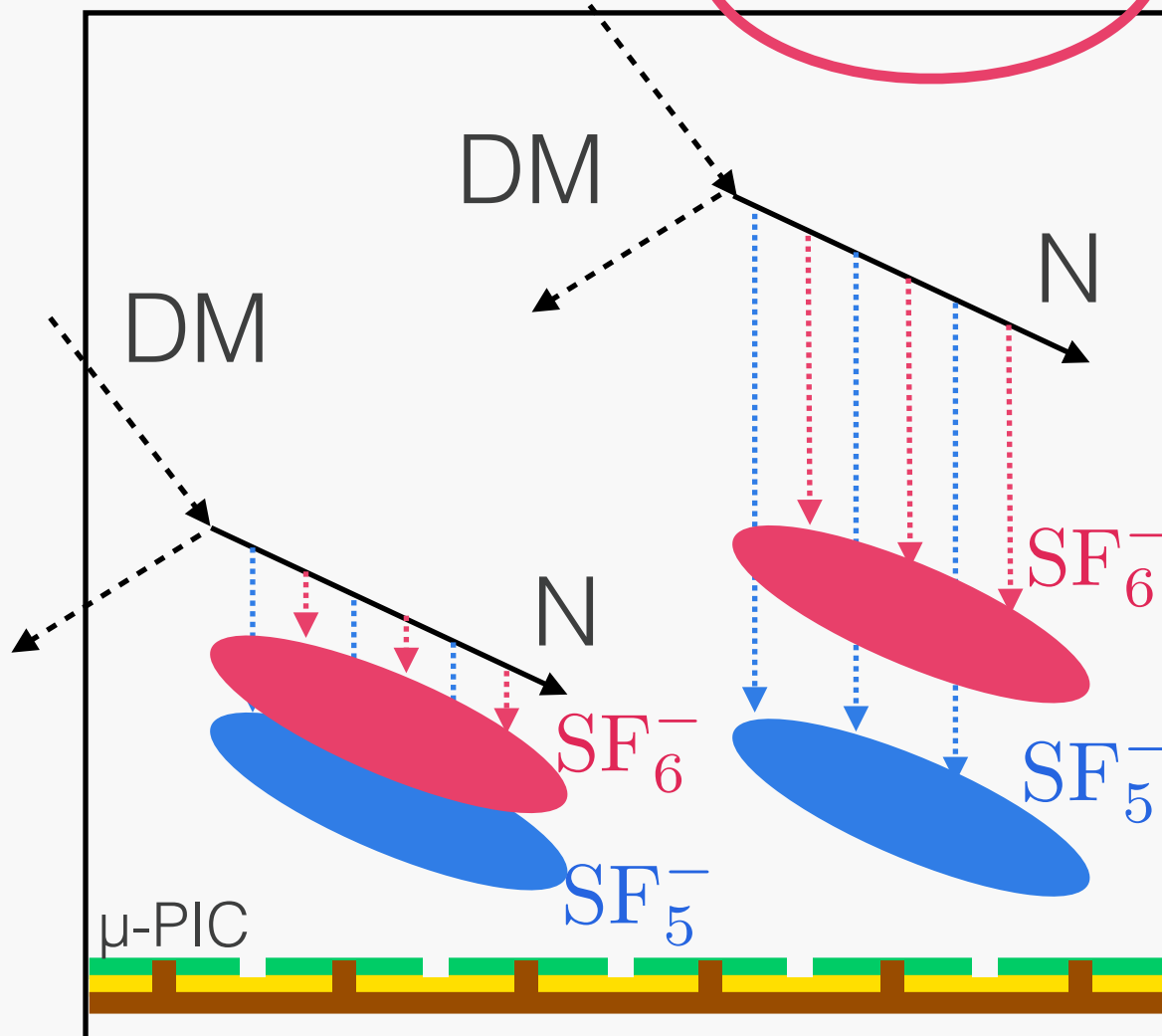
ASICへの要求2: 高位置分解能がほしい

- とは言うものの、実は電子はドリフト中に拡散
 - ➔ 横方向に数mm拡散してしまうので微細読み出しは無意味

ASICへの要求2: 高位置分解能がほしい

- とは言うものの、実は電子はドリフト中に拡散
 - ➡ 横方向に数mm拡散してしまうので微細読み出しは無意味

時間差からドリフト方向の
絶対位置測定可、かつ低拡散



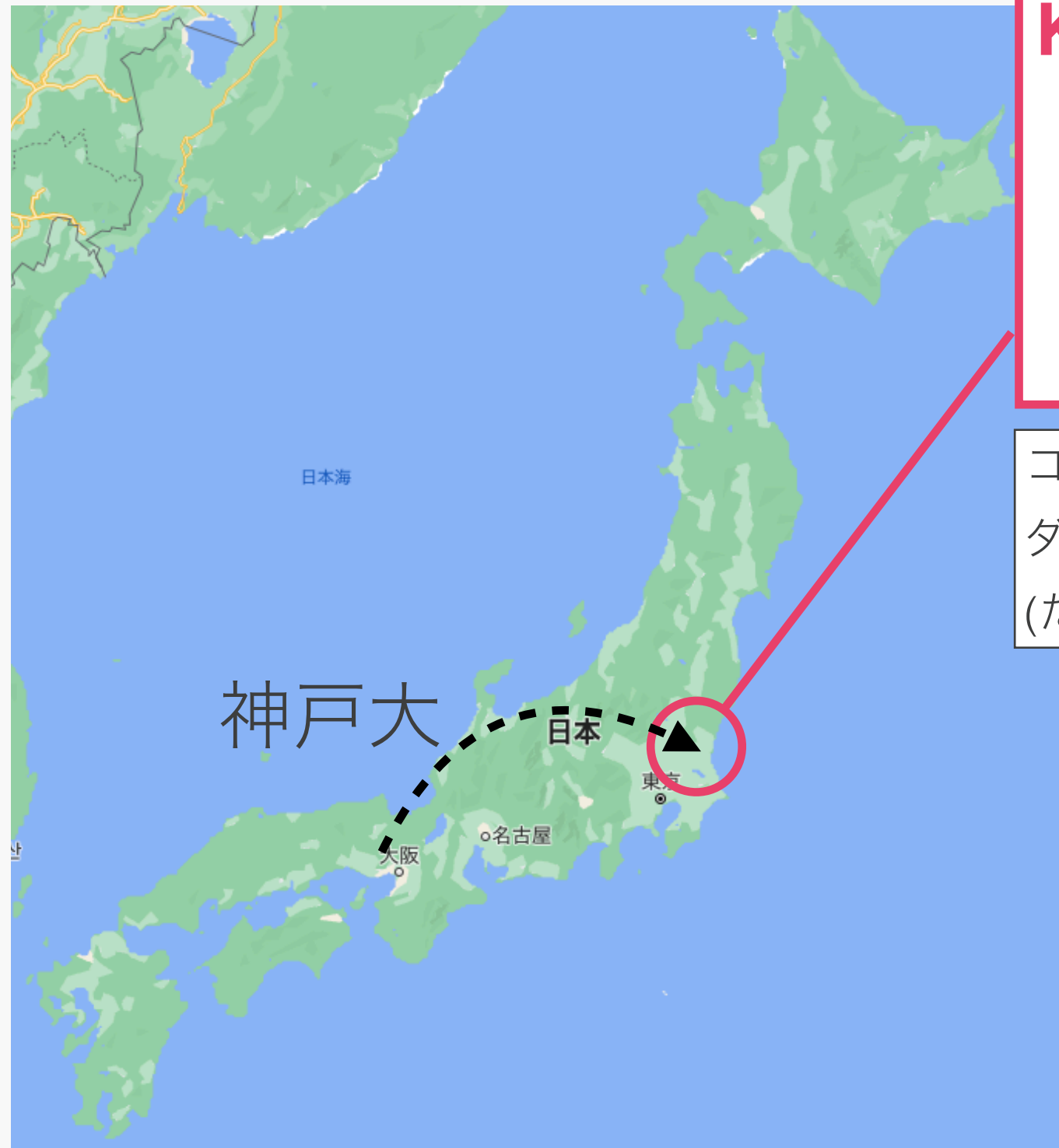
ASIC探しの旅

- どこにどんなASICがあるのか全然わからんが体を動かして情報集める



ASIC探しの旅

- どこにどんなASICがあるのか全然わからんが体を動かして情報集める



KEK (つくば)

**ATLAS
Belle II
SOI**

コライダーのASICは
ダメだがSOIはいけるかも
(ただしセンサーが邪魔)

ASIC探しの旅

- どこにどんなASICがあるのか全然わからんが体を動かして情報集める



KEK (つくば)

**ATLAS
Belle II
SOI**

コライダーのASICは
ダメだがSOIはいけるかも
(ただしセンサーが邪魔)

京大 (リモート)

**X線グループ
(XRPIX)**

身内さんが以前作ってたガスTPC用の
ASICが結局よいのでは？

ASIC探しの旅

- どこにどんなASICがあるのか全然わからんが体を動かして情報集める

佐賀大

QPIX / STRIPIX

実物があるらしい！
が、バグを残した
まま放置されてた

ここまできて結局
新しいASICを作る
しかないと悟る

KEK (つくば)

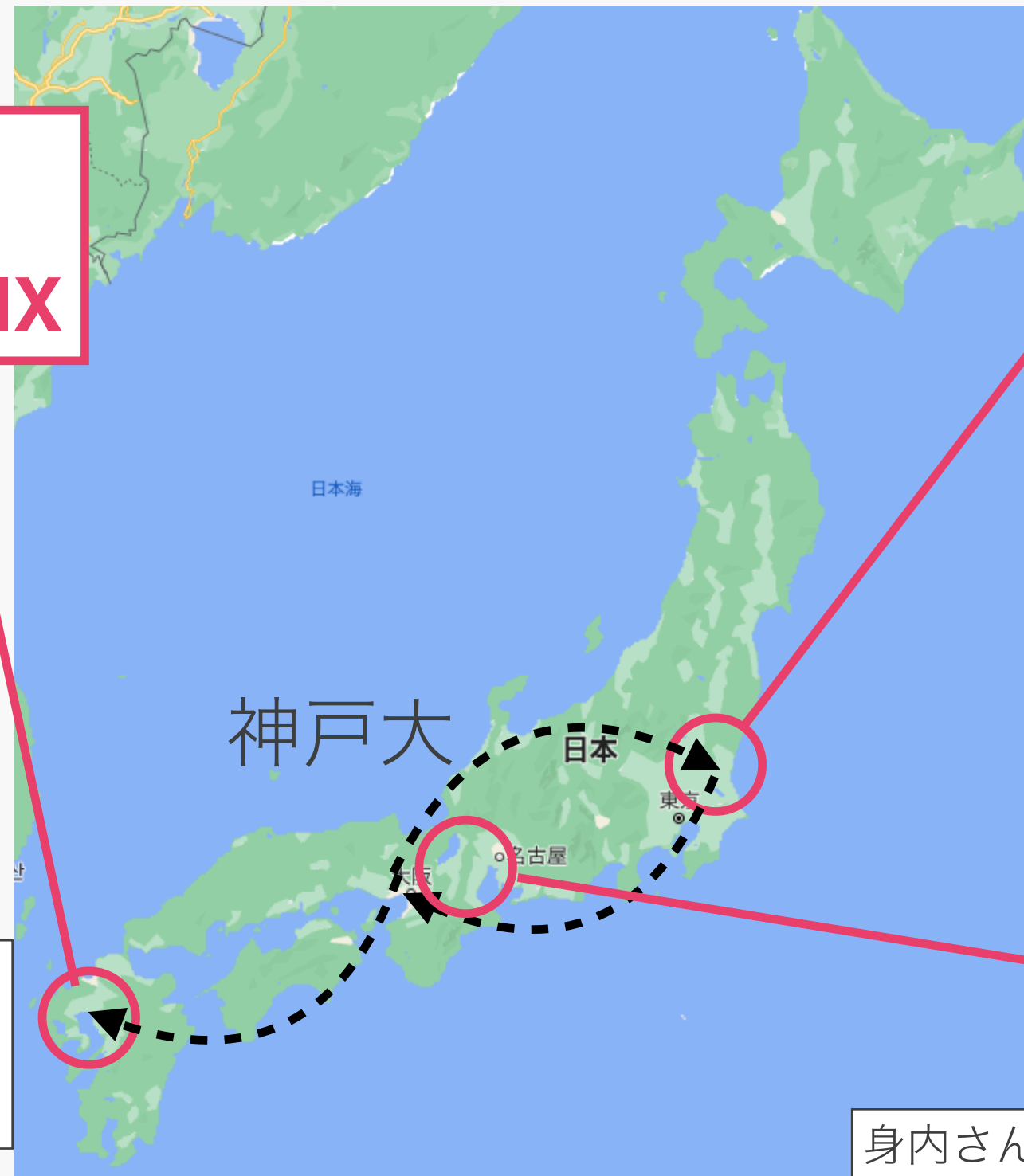
ATLAS
Belle II
SOI

コライダーのASICは
ダメだがSOIはいけるかも
(ただしセンサーが邪魔)

京大 (リモート)

X線グループ
(XRPIX)

身内さんが以前作ってたガスTPC用の
ASICが結局よいのでは？

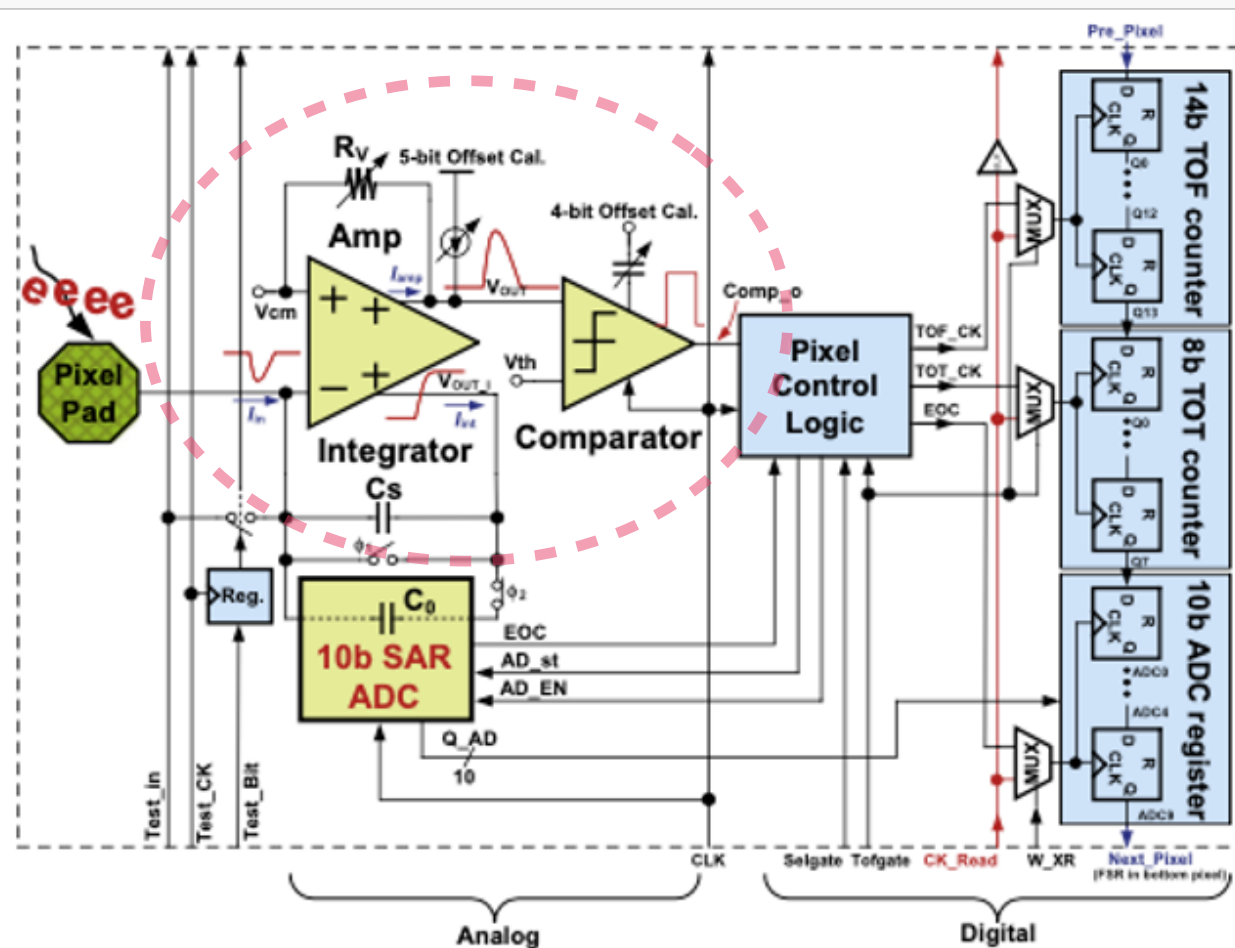


プロトタイプ試験 @佐賀大

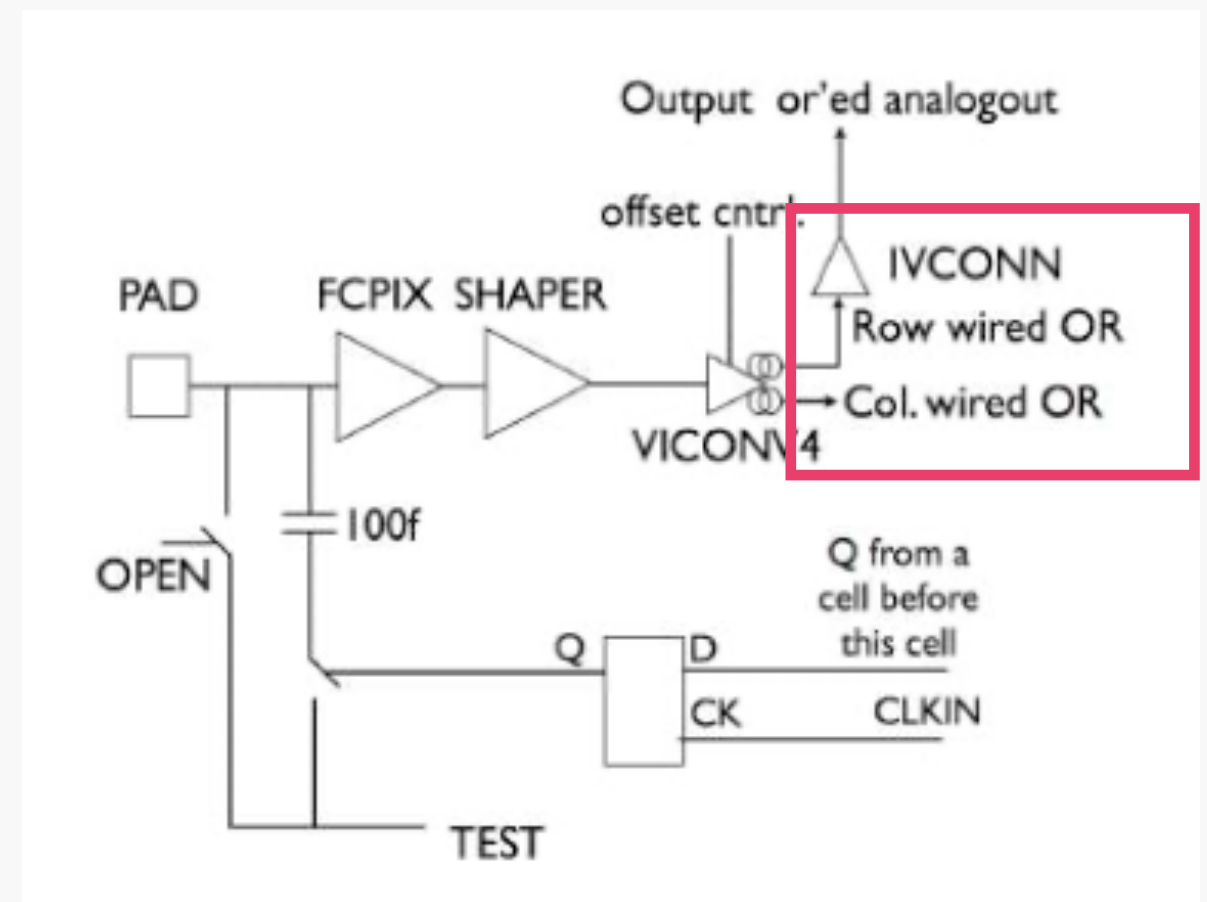
QPIX / STRIPIX

名前覚えなくていいです。
佐賀大にあったやつ

- QPIX: 電荷積分とToT, ToF (波形とタイミング) 情報得られる
 - ➡ が、アナログ信号のオフセットがばらつきすぎて使えなかった
- STRIPIX: その後修正したアナログ回路だけを搭載したピクセル型ストリップ(?)
 - ➡ こちらで原理検証してQPIXに反映するつもりだったがポシャった



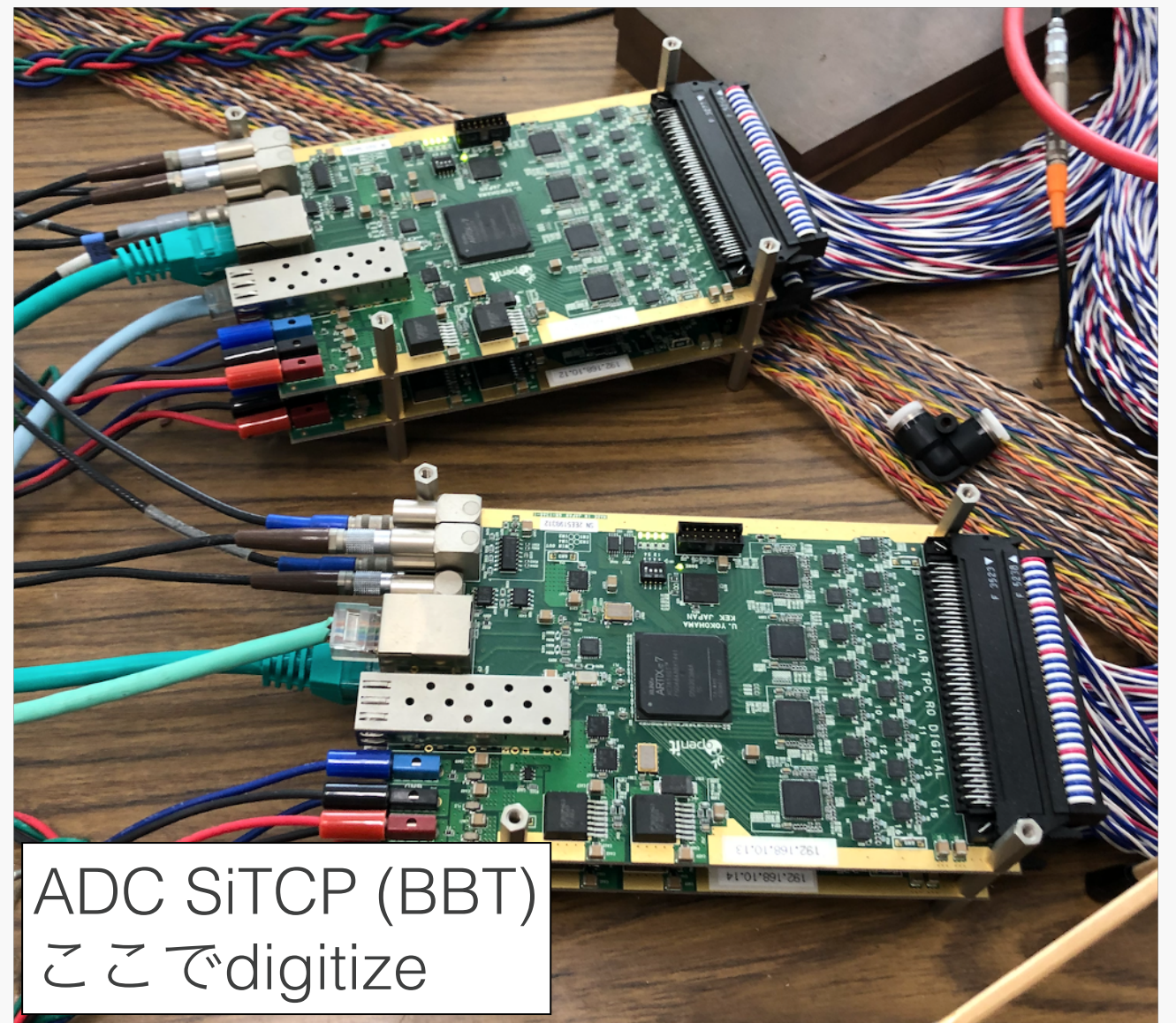
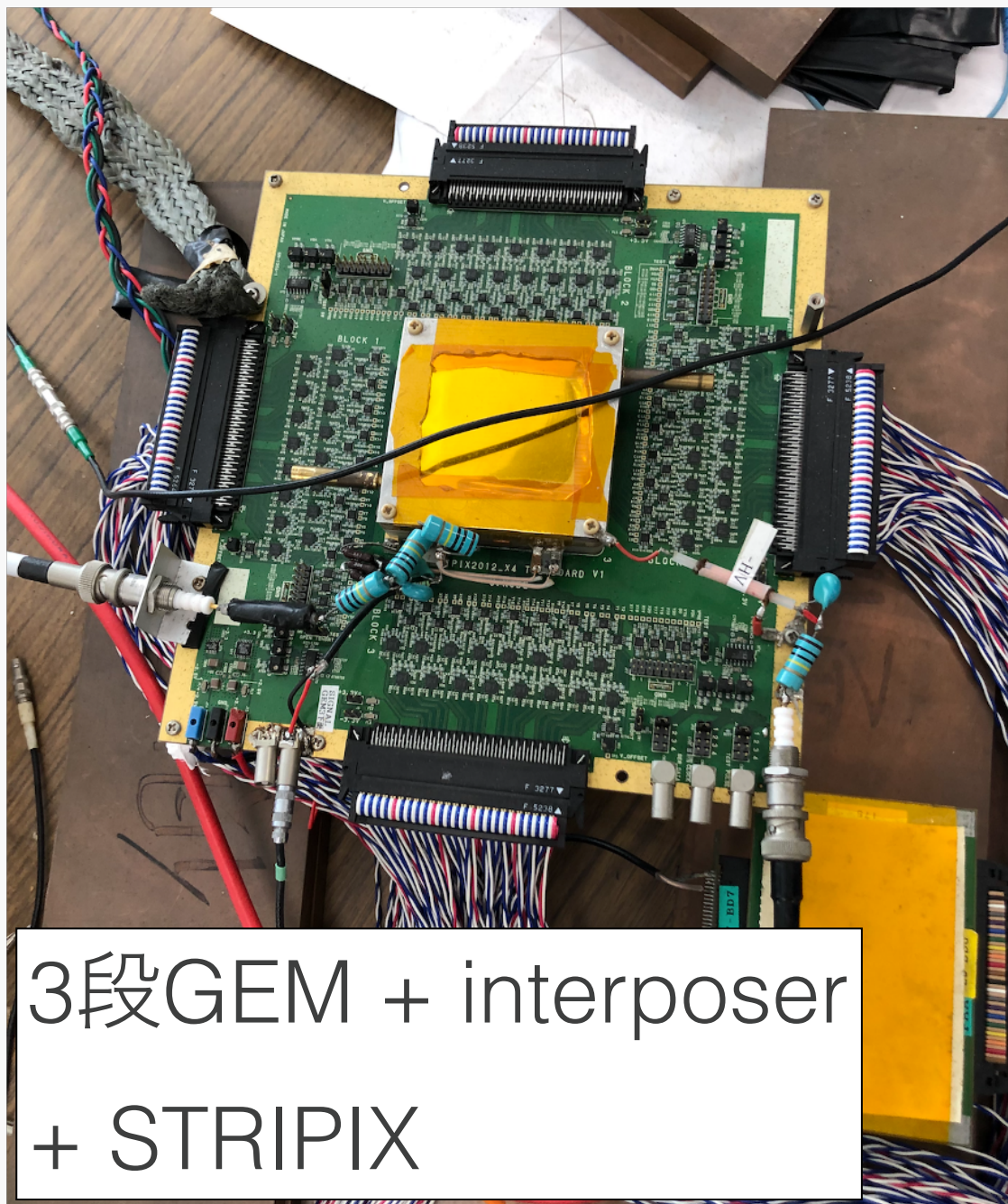
QPIX



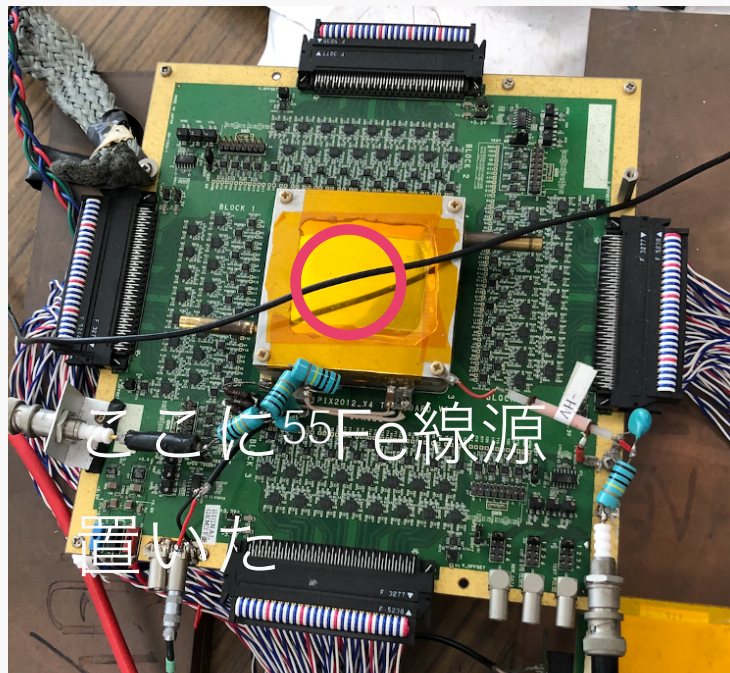
STRIPIX

STRIPIXが動けば勝ち？

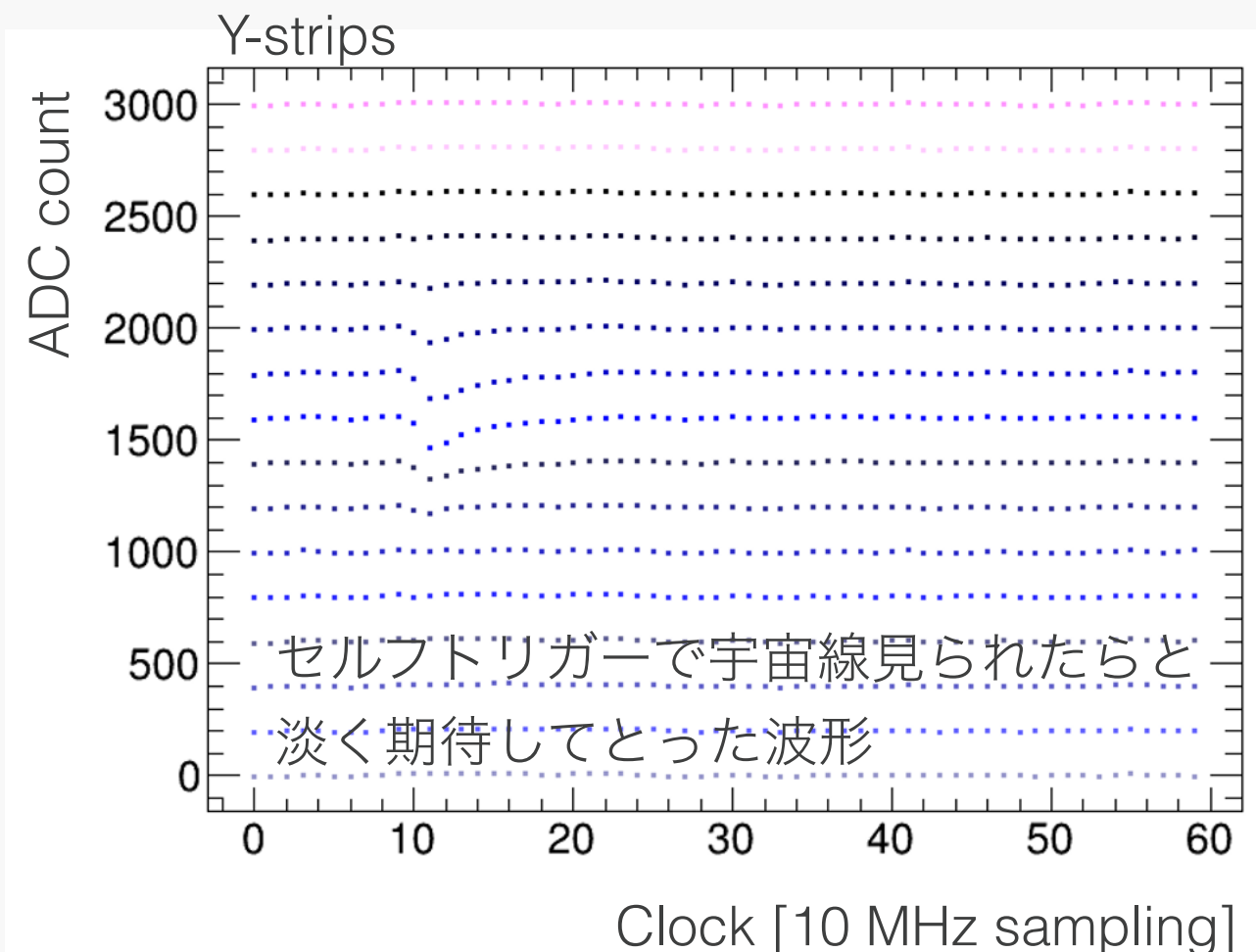
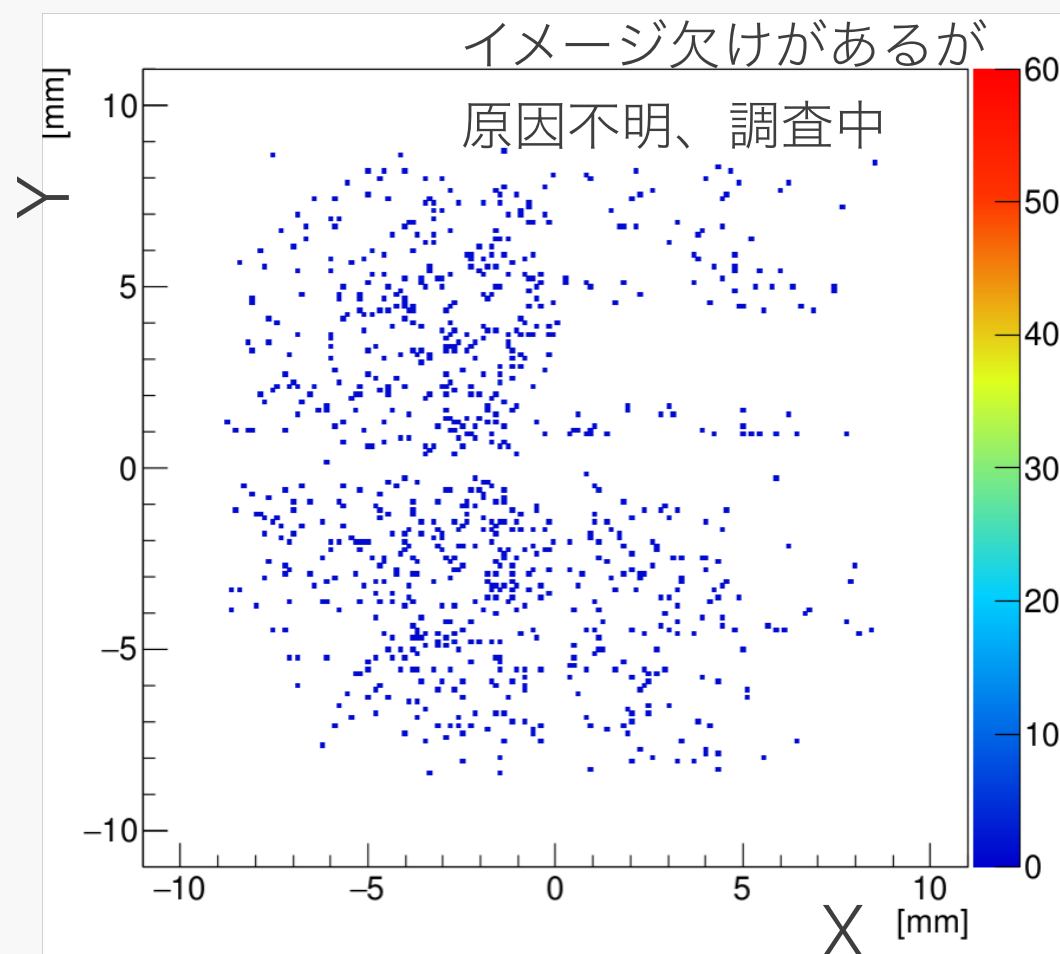
- じゃあアナログ部の動作検証してASIC作り直せばよい
 - ➔ SF₆のダブルパルス解析はできないが、初号機ではあきらめよう



成果いろいろ



- X線イメージや波形取得に成功
 - ➡ が、ドリフト領域が狭くてTPCとして機能するかは未実証
- いったん神戸に帰ってチェンバー作成、再び佐賀へ
 - ➡ ついでに新しいASICについての打ち合わせをしてくる



チェンバー作り @神戸

- 簡易チェンバー作成

- ➡ Ar-CH₄ガスをフローさせるので、漏れがなければ頑丈でなくてよい

- ➡ アウトガスなども一旦気にしない

- アクリルで作る

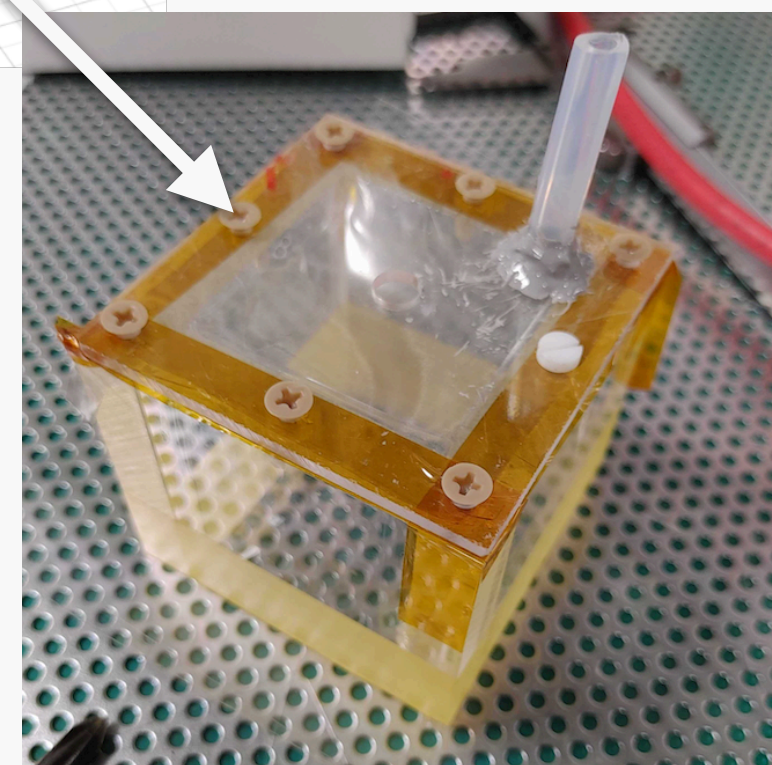
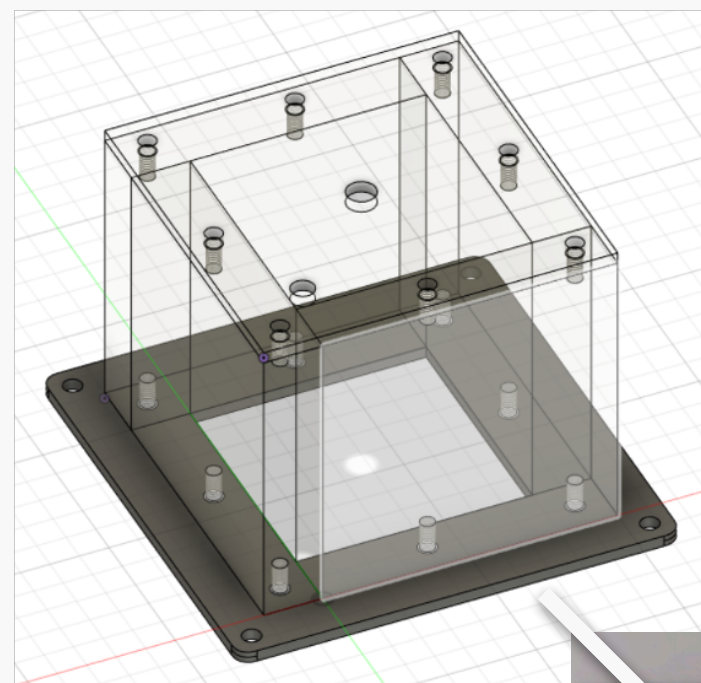
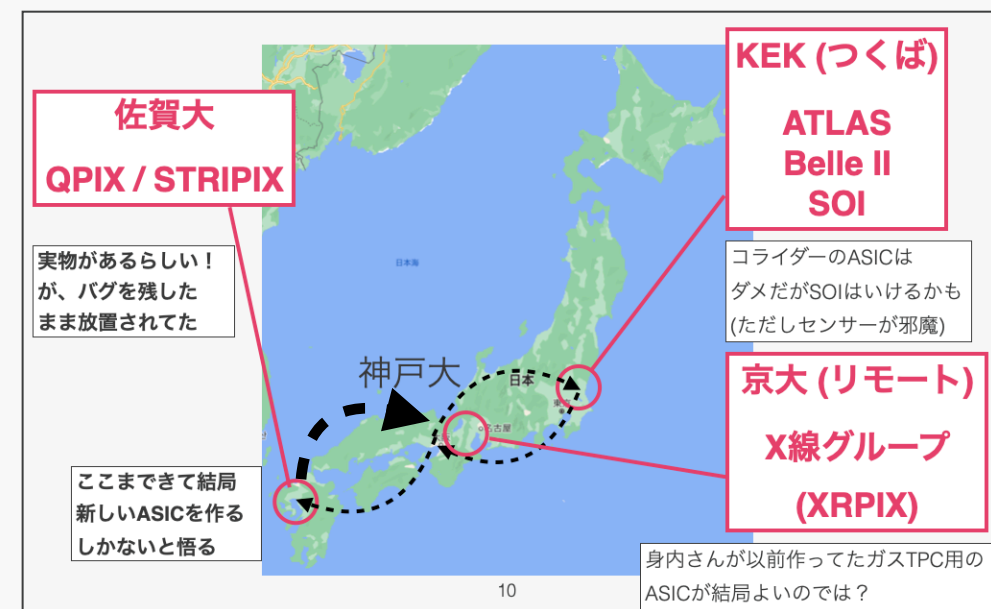
- ➡ 電場構造形成のため側面に

- ➡ 高抵抗シート設置

- ▶ PTEP Volume 2019, Issue 6, 063H01 (2019)

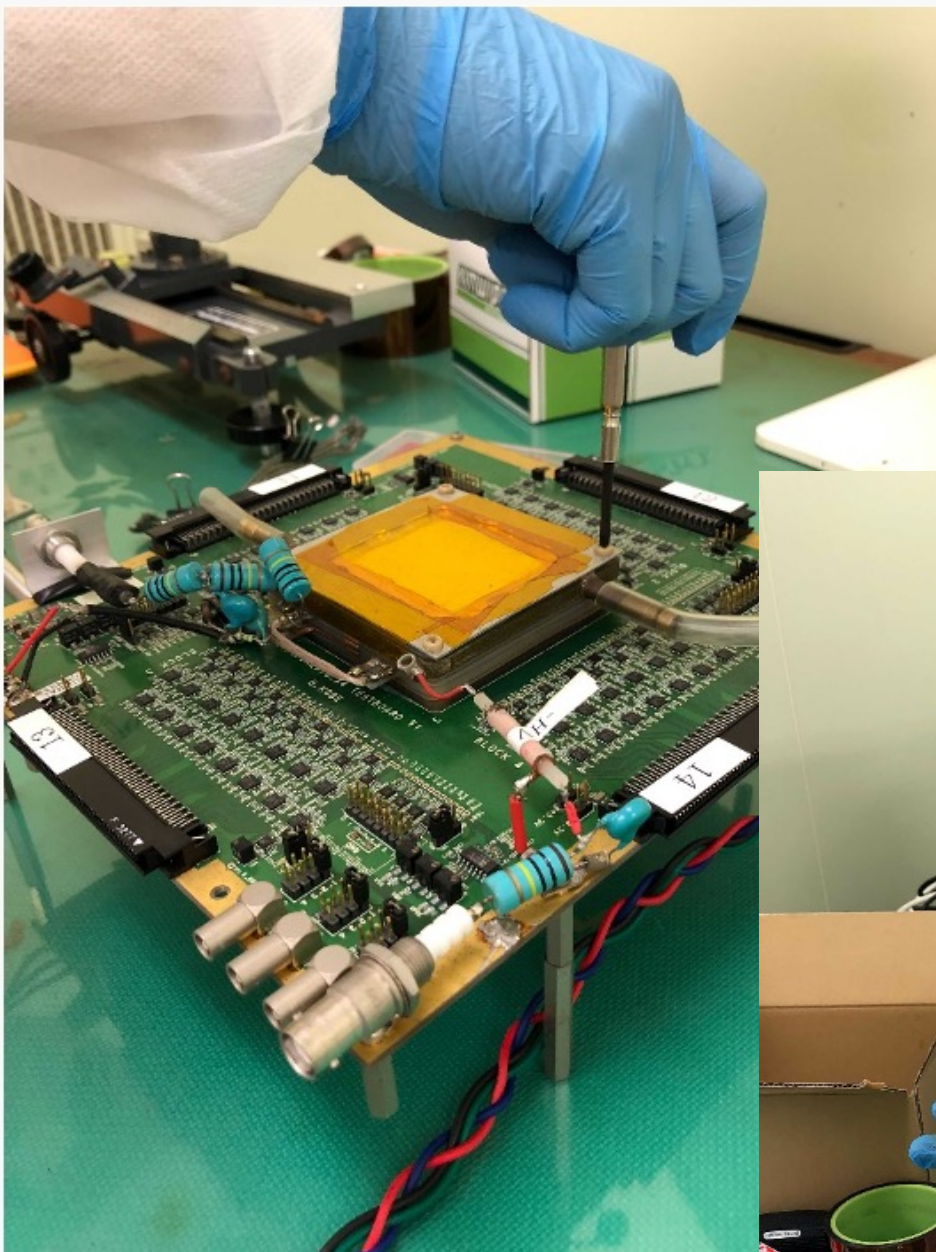
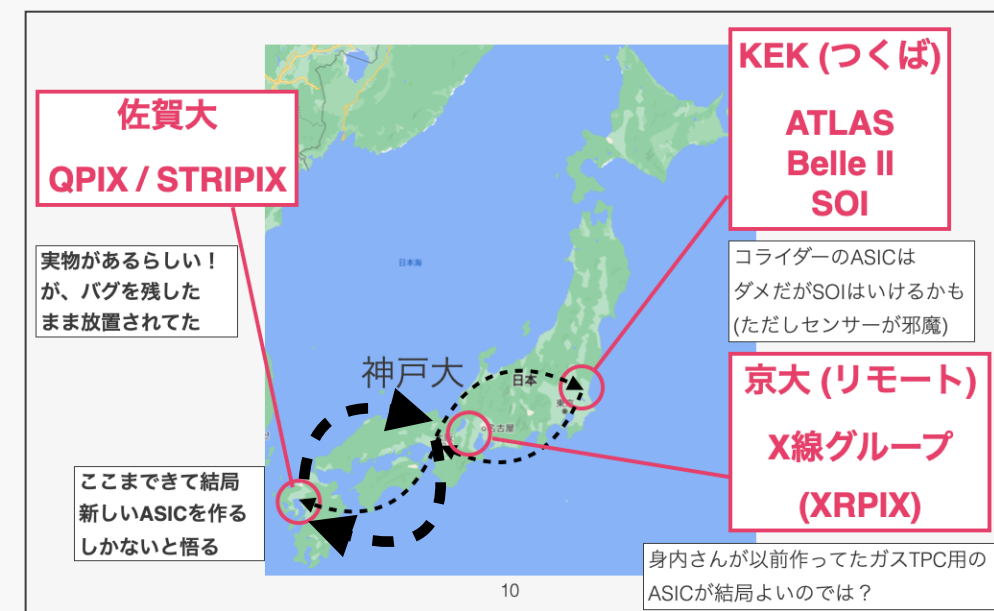
- ➡ すけすけチェンバー完成

- いざ、再び佐賀へ！

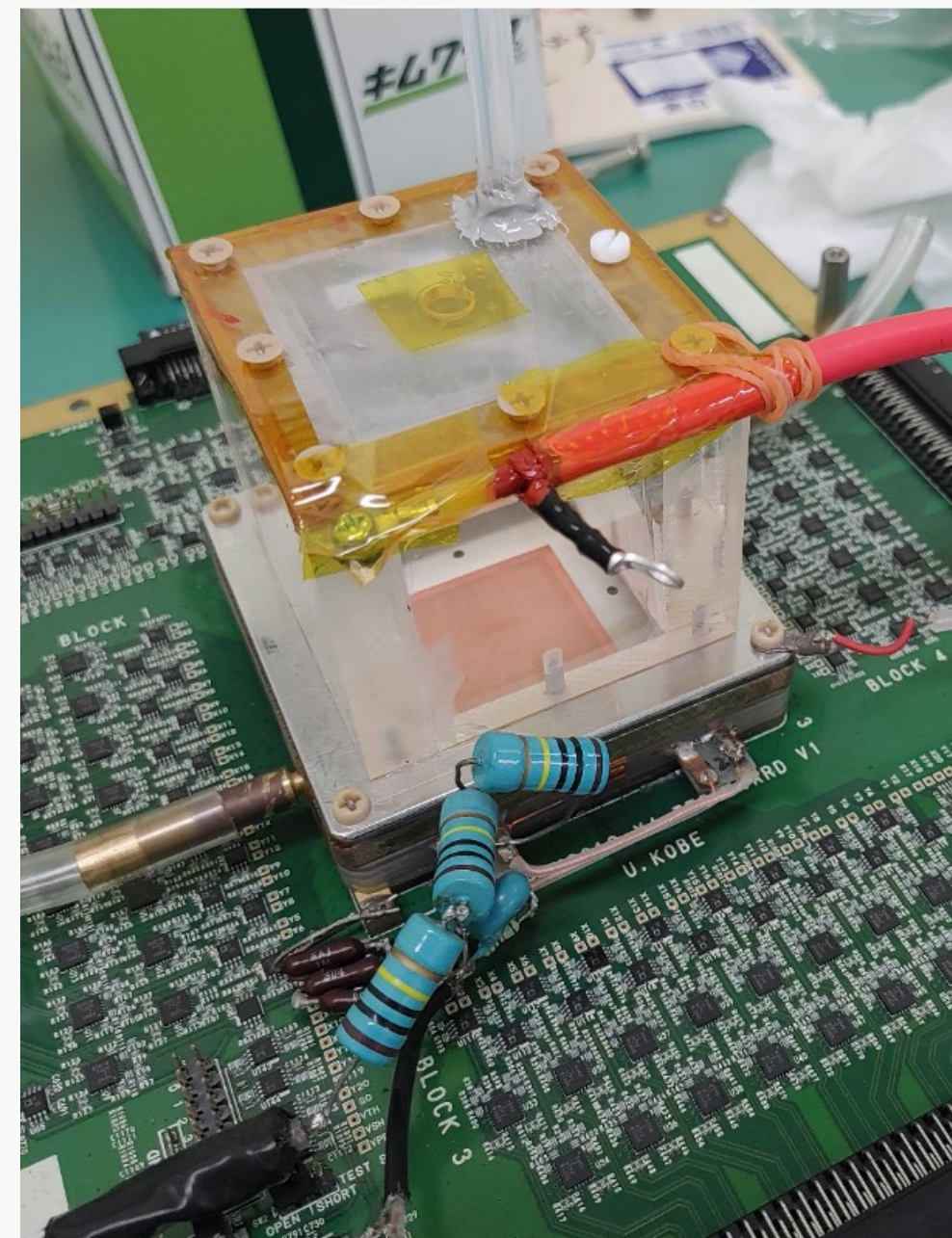


設計、製造：
神戸大 中山 (M1)

チェンバー試験 @ 佐賀大

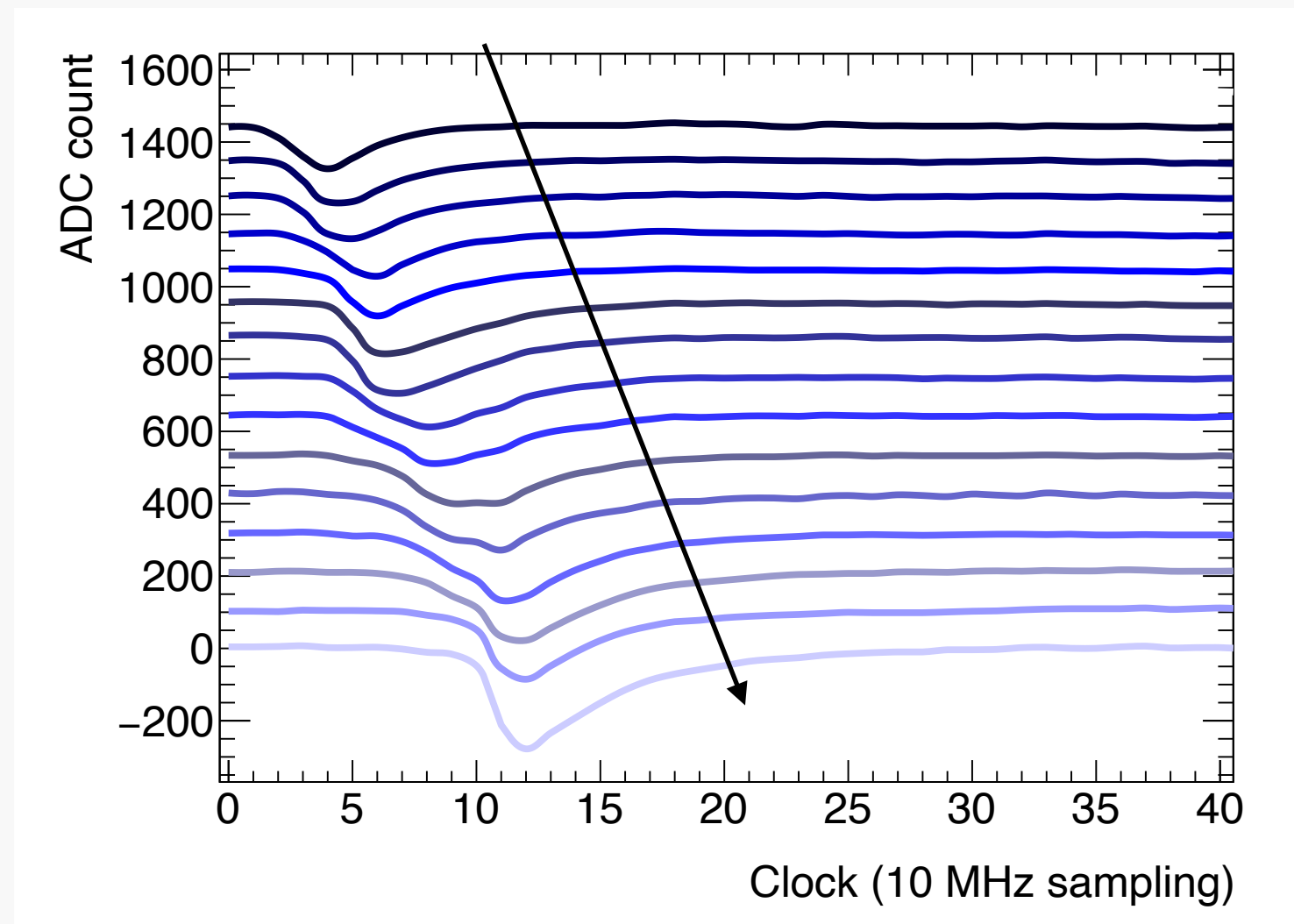
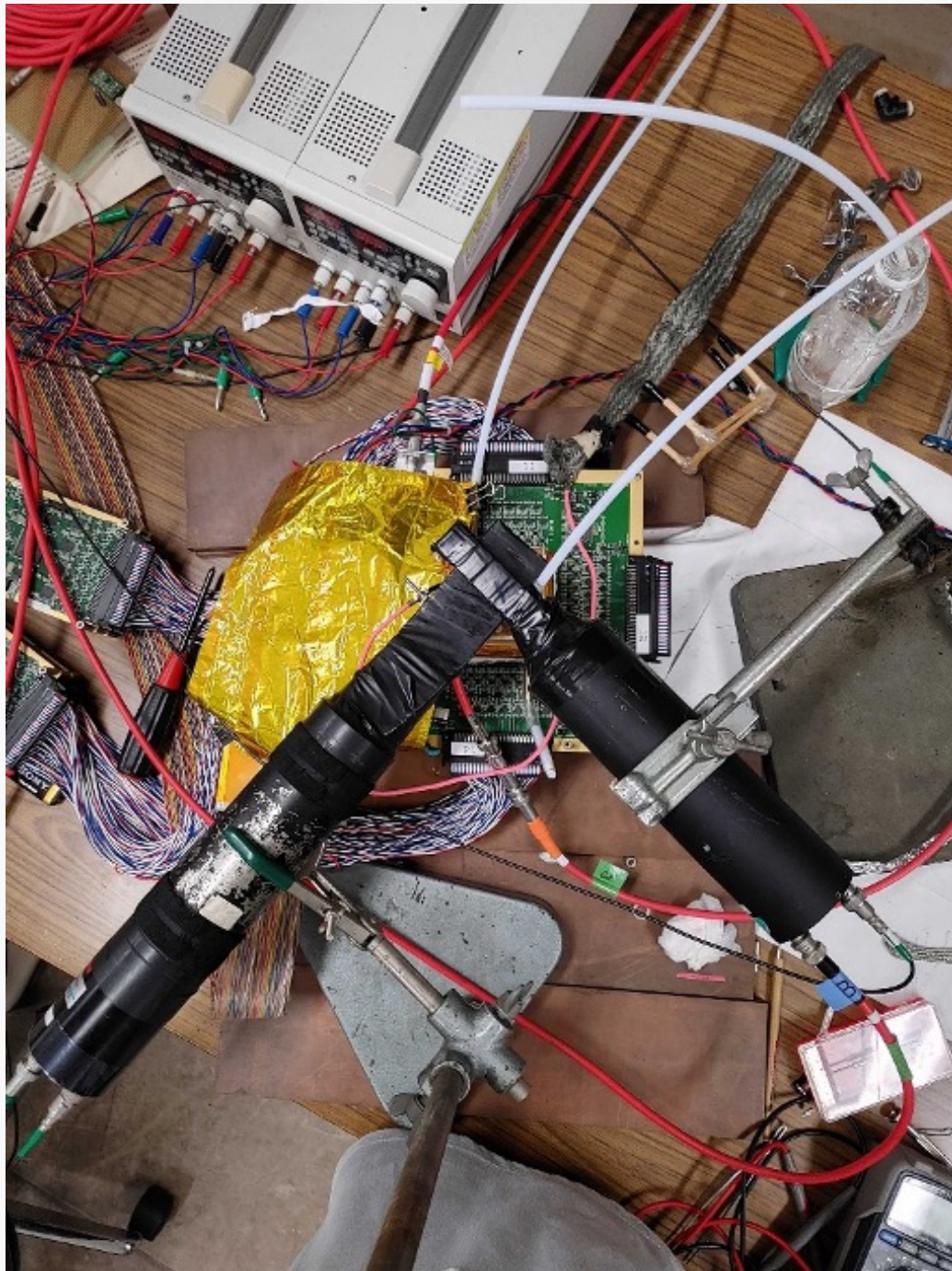
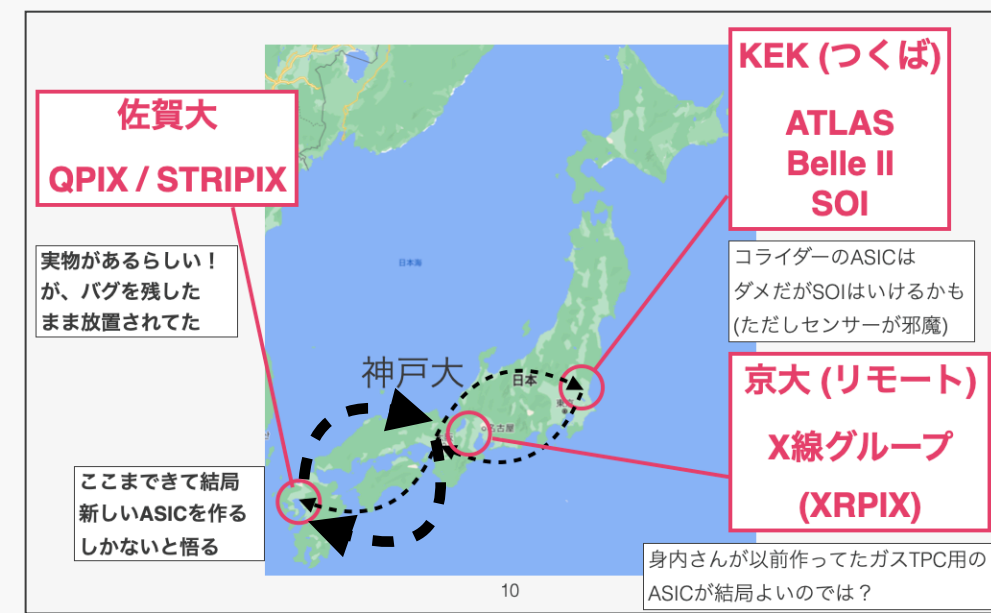


取り付け、試験準備：
神戸大 中山 (M1)



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！

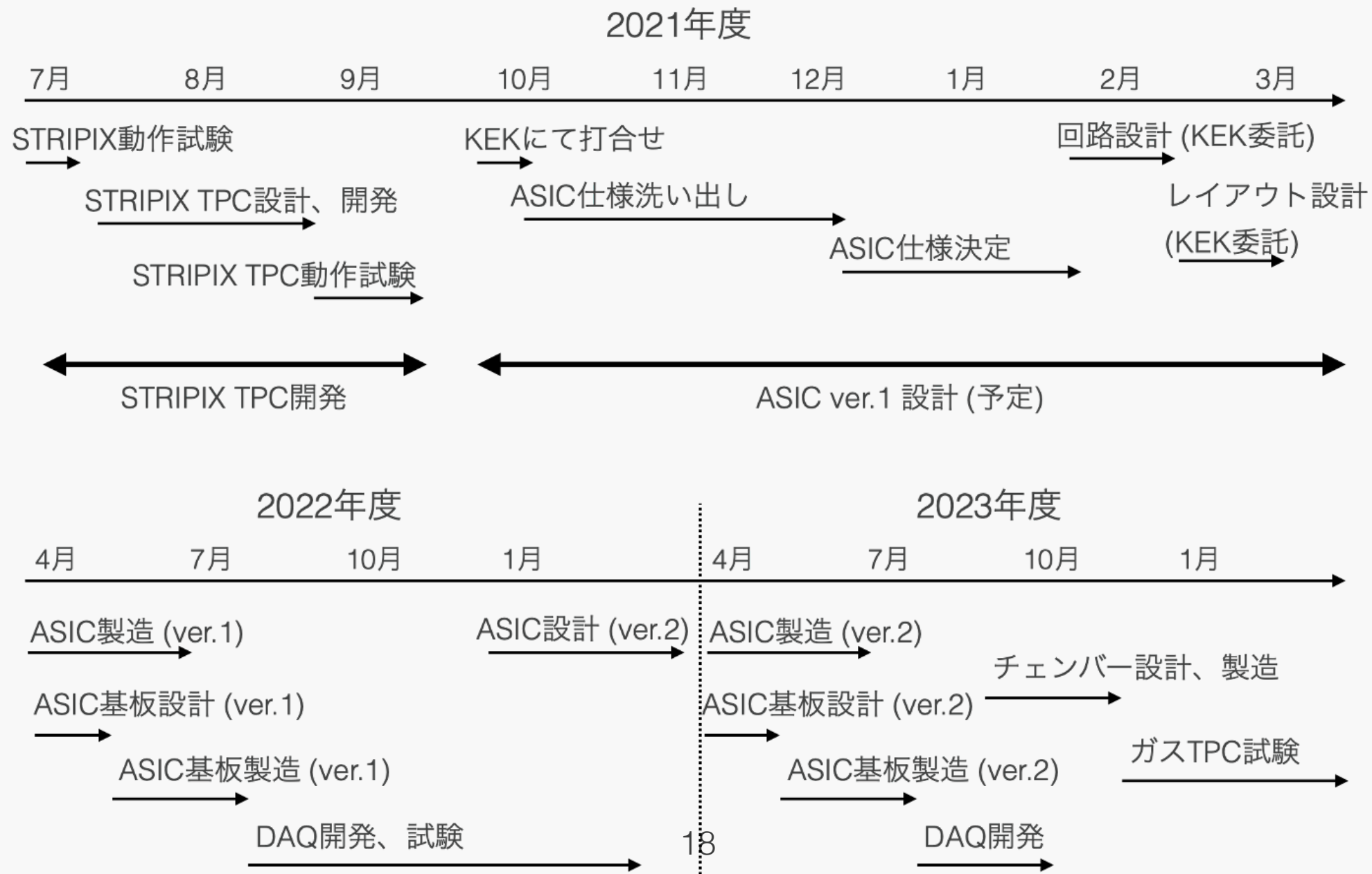
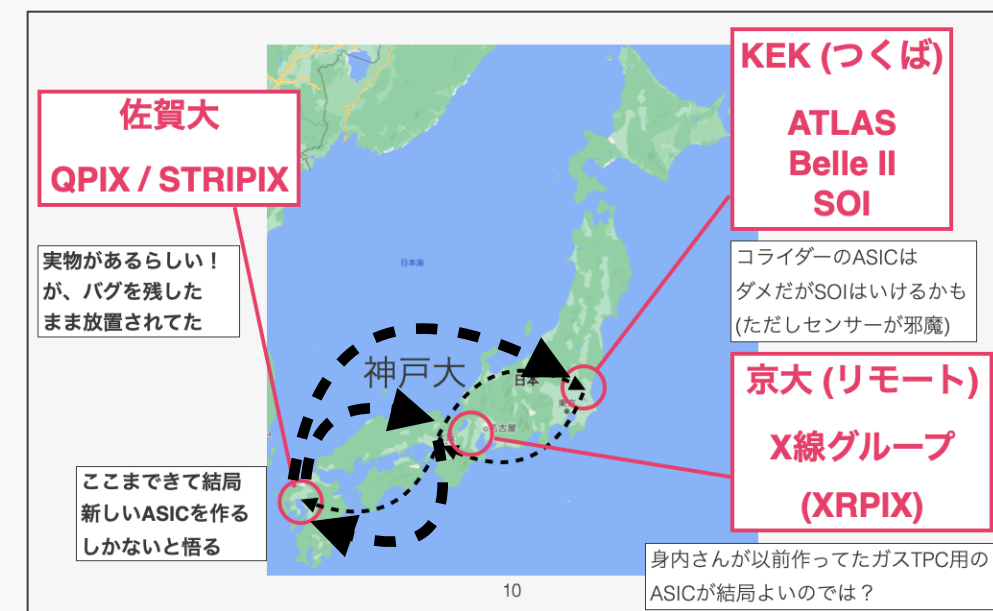
新ASIC開発相談 @ KEK

- 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

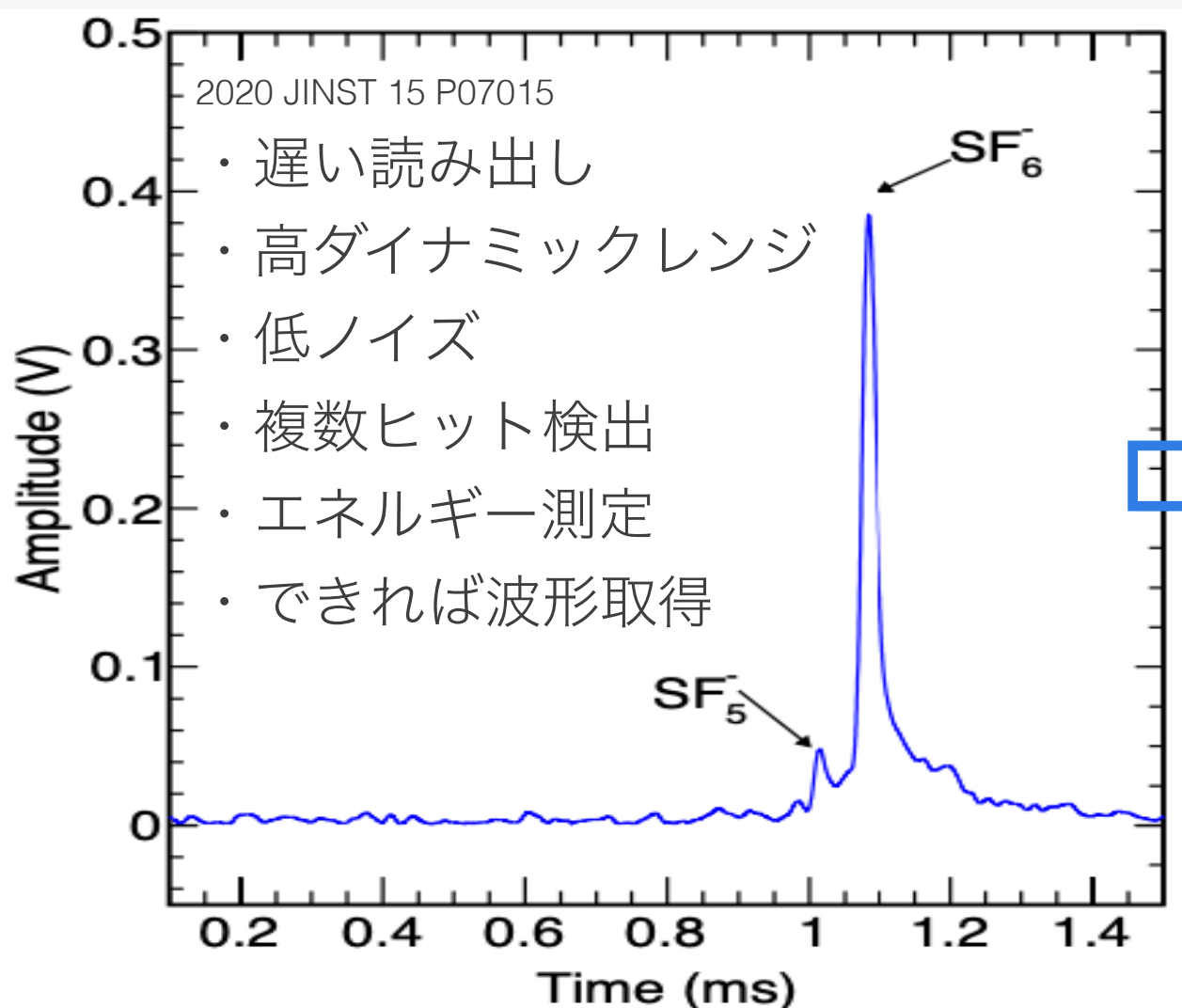
→ が、QPIXが古すぎる(10年前)ので**結局最初から作り直す**ことに

→ 2022年度頭に**ASIC製造という計画を取り付けた**



現在のステータス

- 神戸大、佐賀大、KEKで言いたいことを言って仕様の洗い出し中
 - ~~ダブルパルス~~ **マルチヒット**に対応できるようなASIC製造を計画
 - 汎用ASICとして使えるよう仕様を膨らませている途中

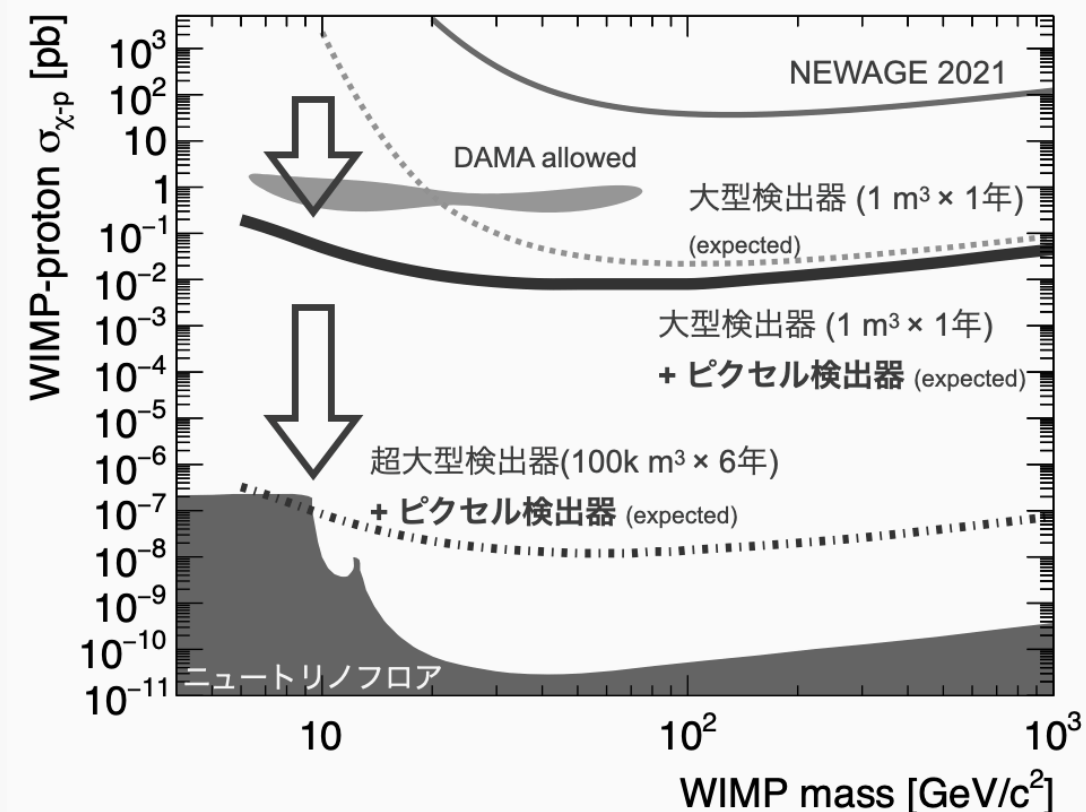
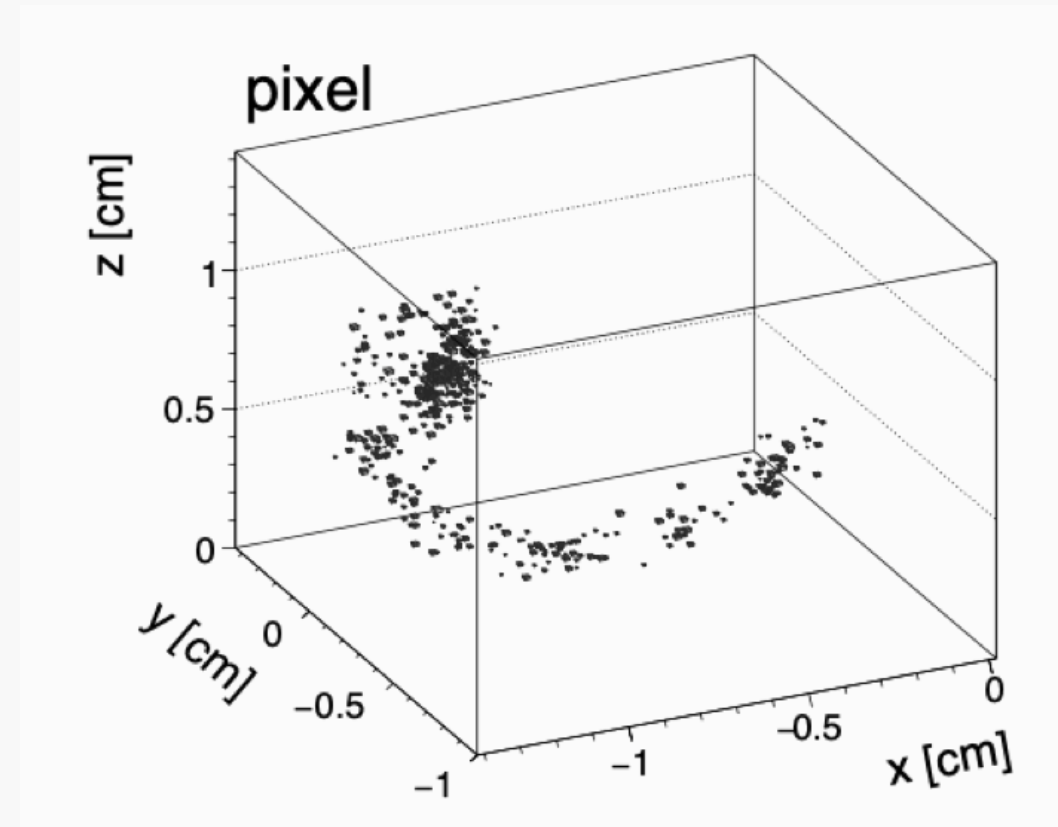


- “ピクセルガスTPC”
(50 - 100 um pitch)
- 波形情報取得
- マルチヒット検出

ほしくないですか？

言いたかったこと

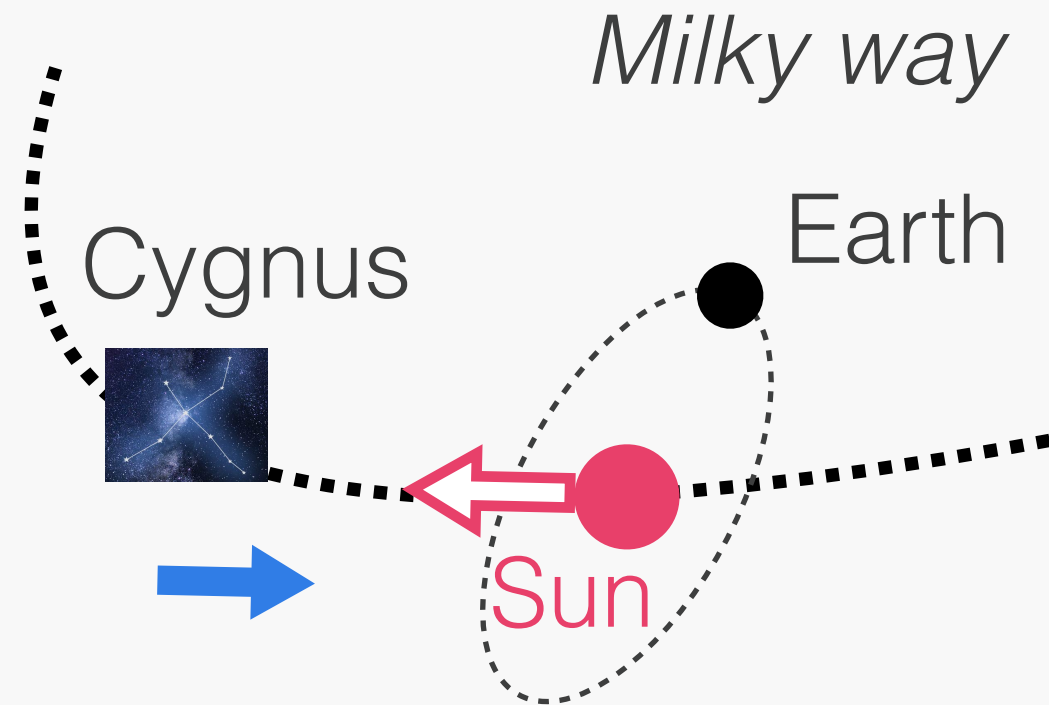
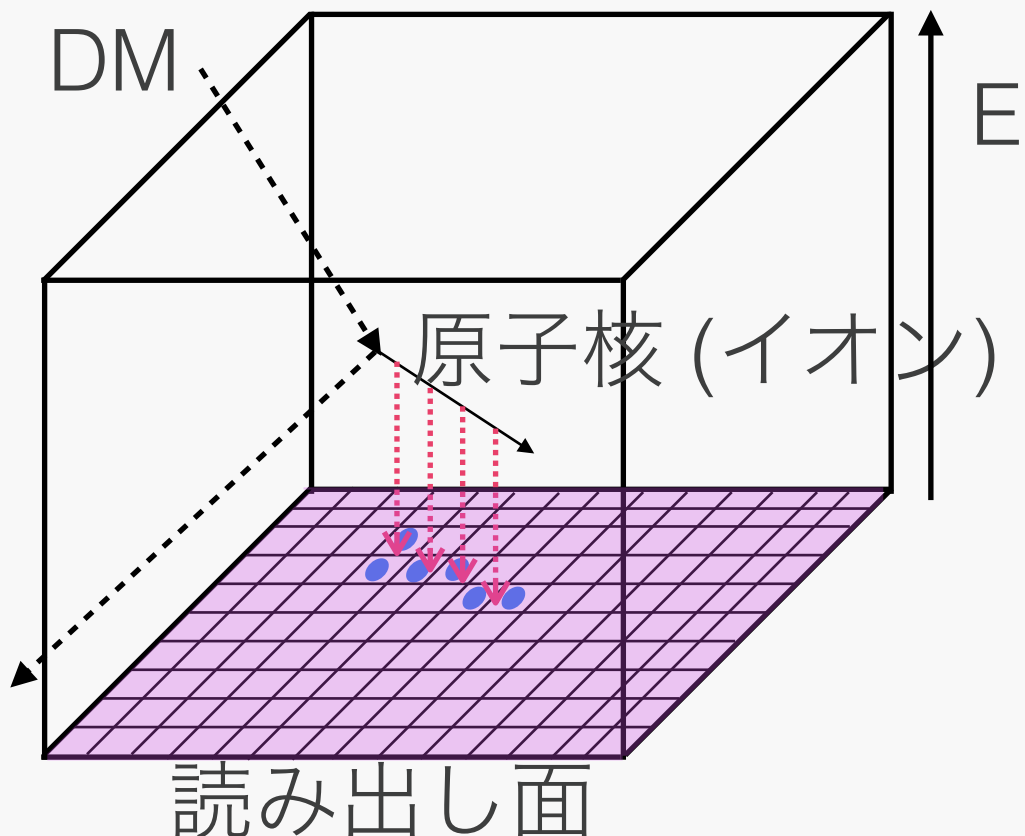
- ピクセルガスTPC開発に奔走中
 - ➡ 日本ではまだ開発されていない
 - ➡ 海外にはあるが要求を満たさない
- General purpose ASICを開発したい
 - ➡ どんな用途に使えるそうかアドバイスほしい
- 新型検出器のR&Dに協力してほしい
 - ➡ 実用化に絶望的なコストかかるが百も承知
 - ➡ 可能性に向かって一緒に走ってください！



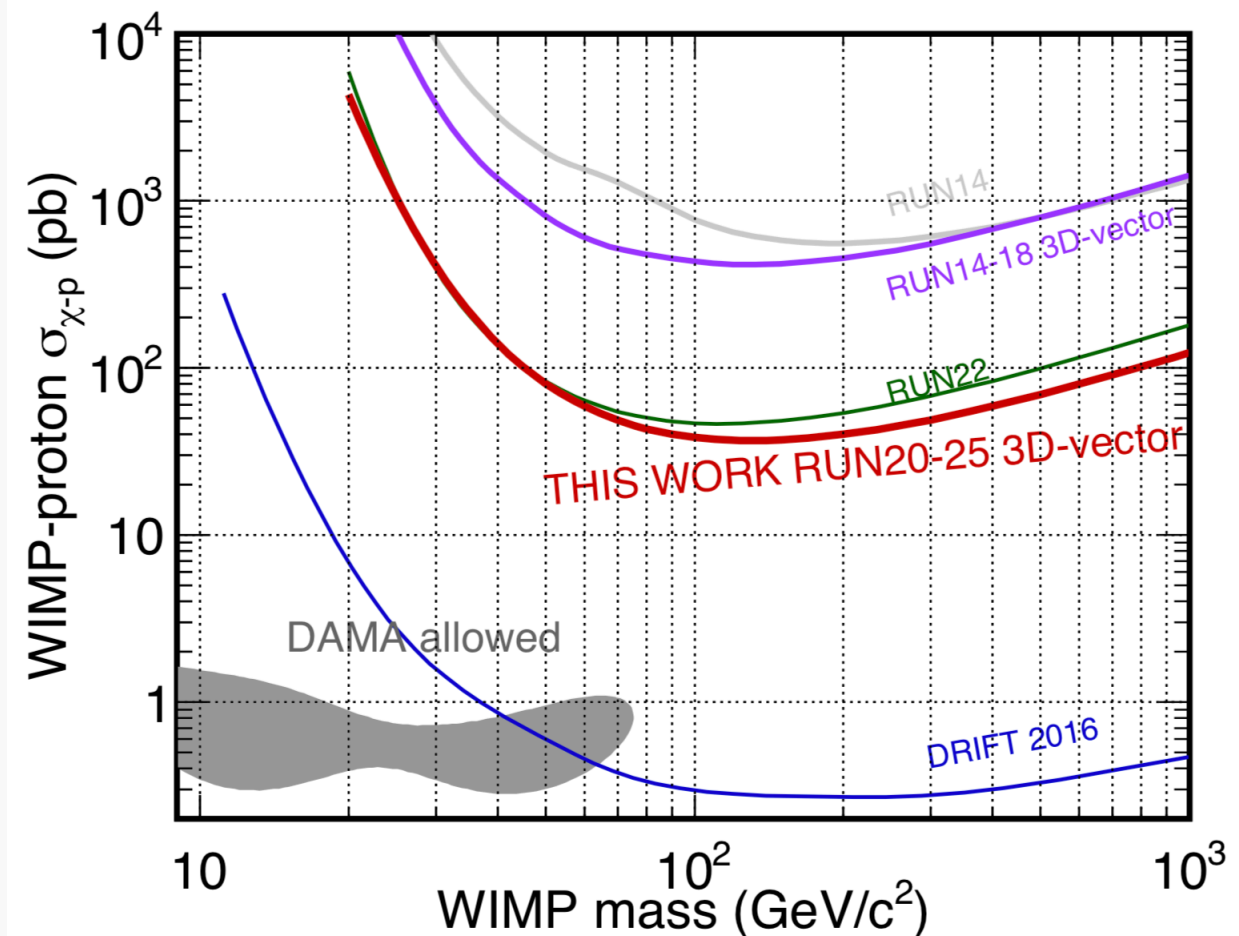
Backup

NEWAGE: 方向感度を持つDM探索

- 原子核反跳の指向性を調べたい
 - ➡ 太陽系は白鳥座方向に回転運動
 - ➡ 白鳥座からDMがやってくるように見える
- 神岡坑内で低BG環境下の実験
 - ➡ 現在もデータ収集中！



島田拓弥 修士論文 神戸大 2021年2月 → 論文執筆中



QPIX diagramと次期ASICの仕様

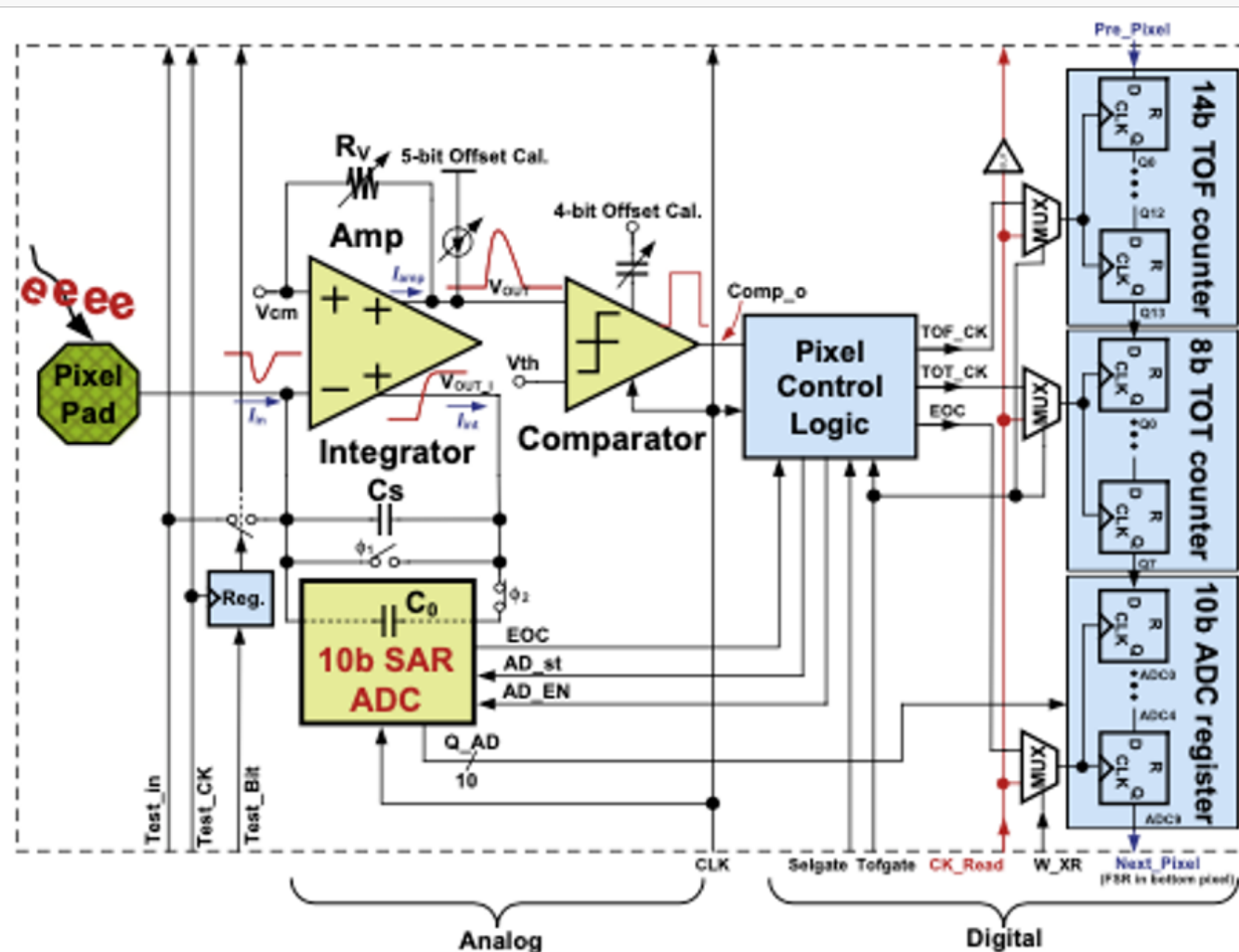


Fig. 2. Schematic of the pixel cell in Qpix v.1.

- トリガー (ゲート)をとある時間まで立てる

➡ ゲートが降りる時間とパルスがthresholdを超える時間差を見る

▶ thresholdを切るまでをToT

▶ そこからゲートが降りる時間をToF

- 次期ASICの仕様 (予定)

➡ 複数パルスの取り扱い

▶ このToTとToFのペアを複数個保持

➡ 波形情報の取り扱い

▶ 複数ピクセル束ねた信号をFADCでdigitize

▶ Multiplexingでやる

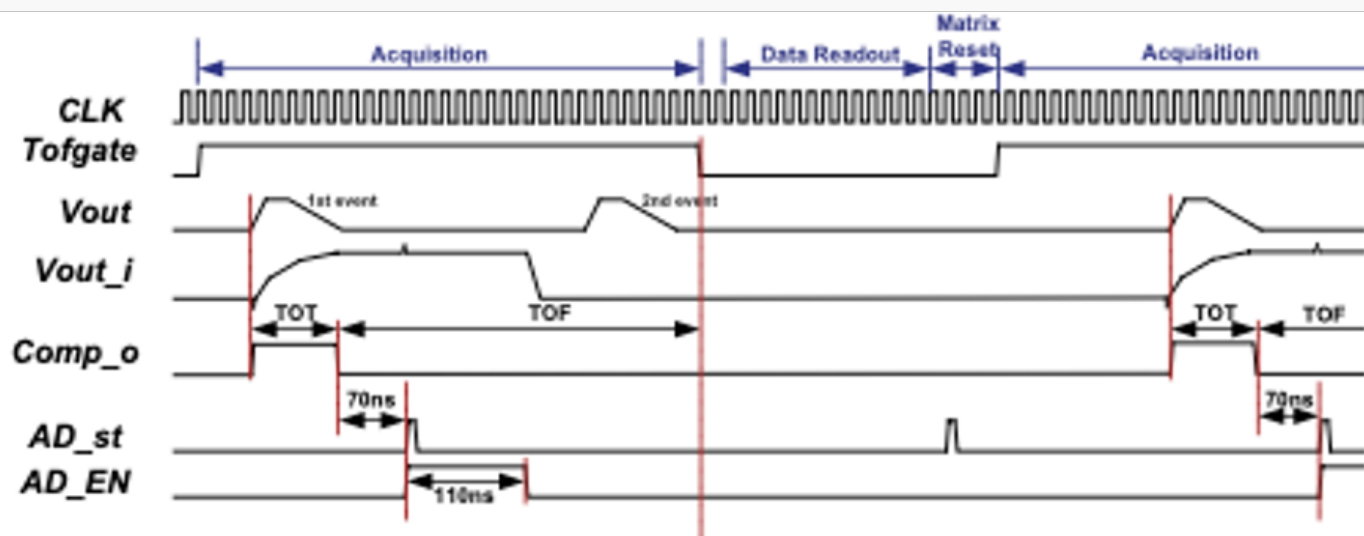
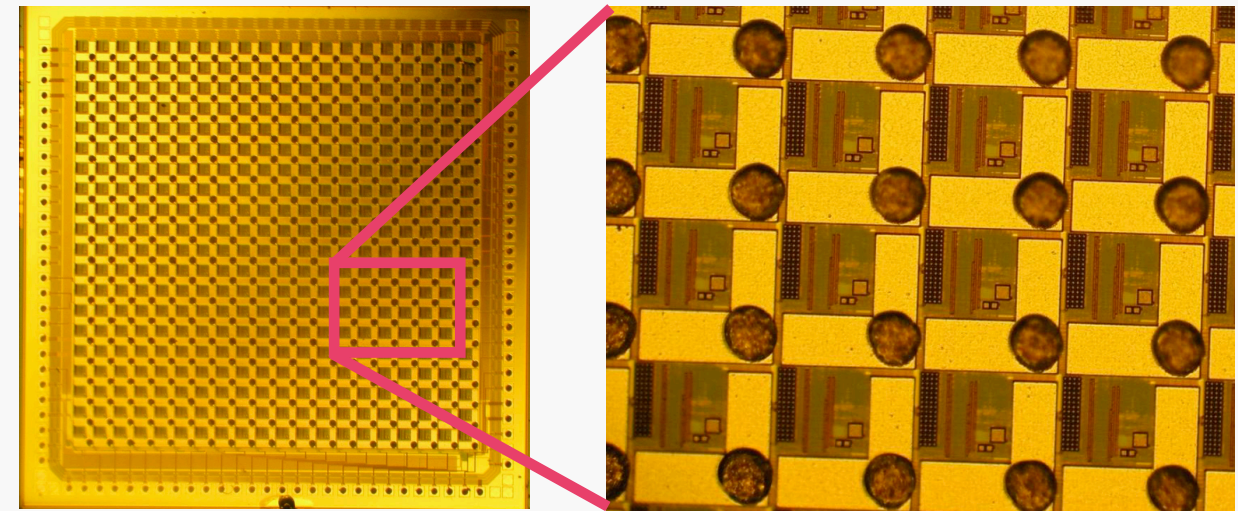
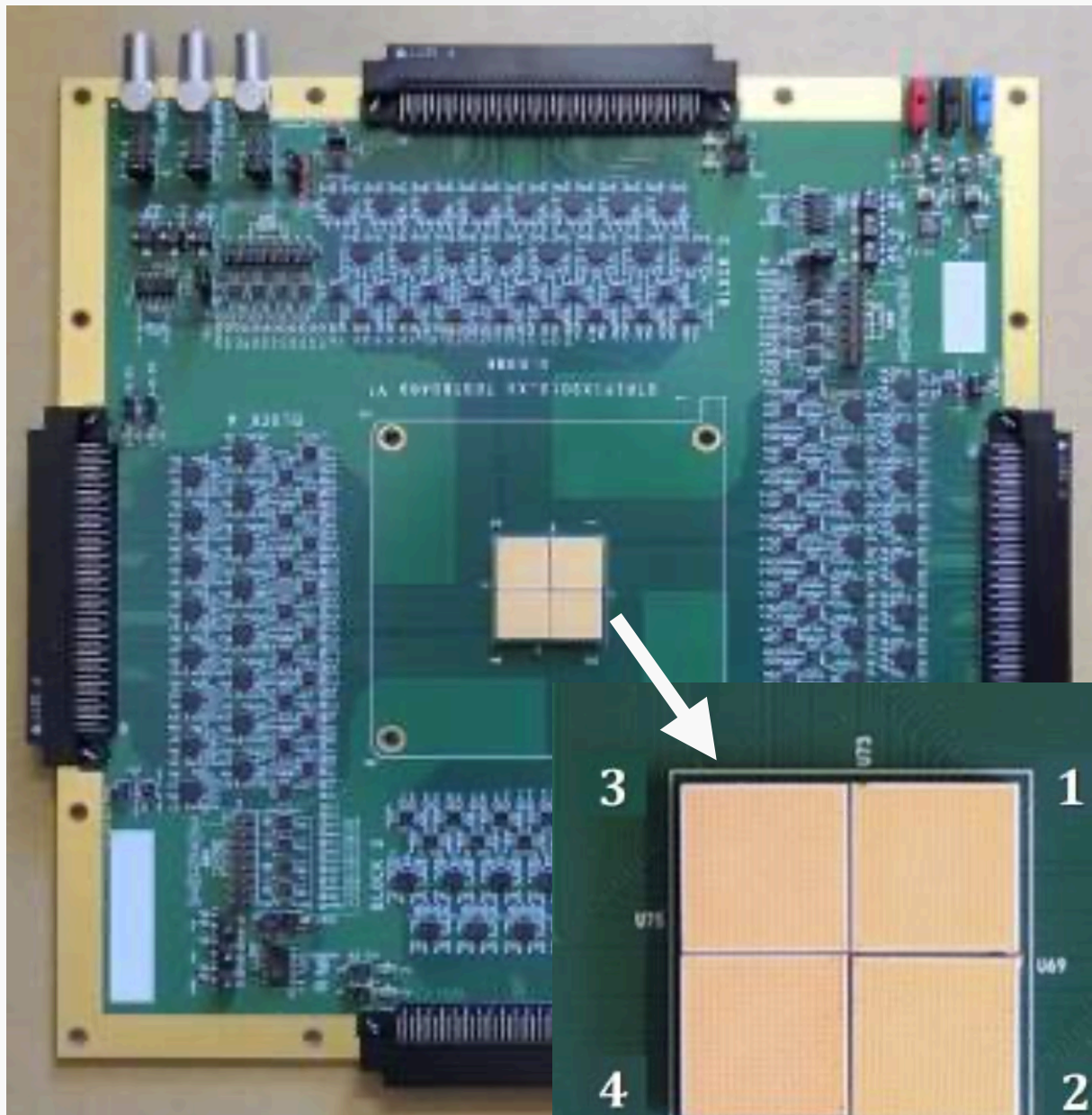


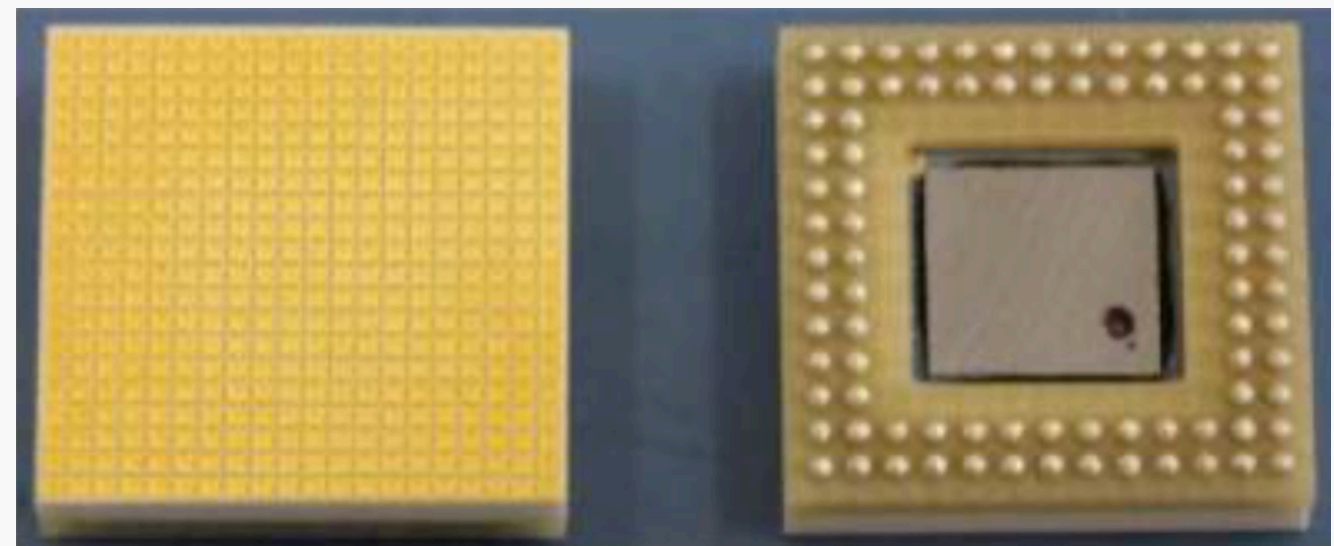
Fig. 3. Working timing chart of Qpix v.1.

LTCC interposer

- ASICをセラミック基板 (LTCC) に bumps bonding
 - ➔ LTCCに金属パッドをつける。ASICの不感領域を減らす
 - ➔ 新型ASICでは50 μm 角のパッドに bumps bondingして100 μm 角にのばす予定



ASIC



LTCC + ASIC