

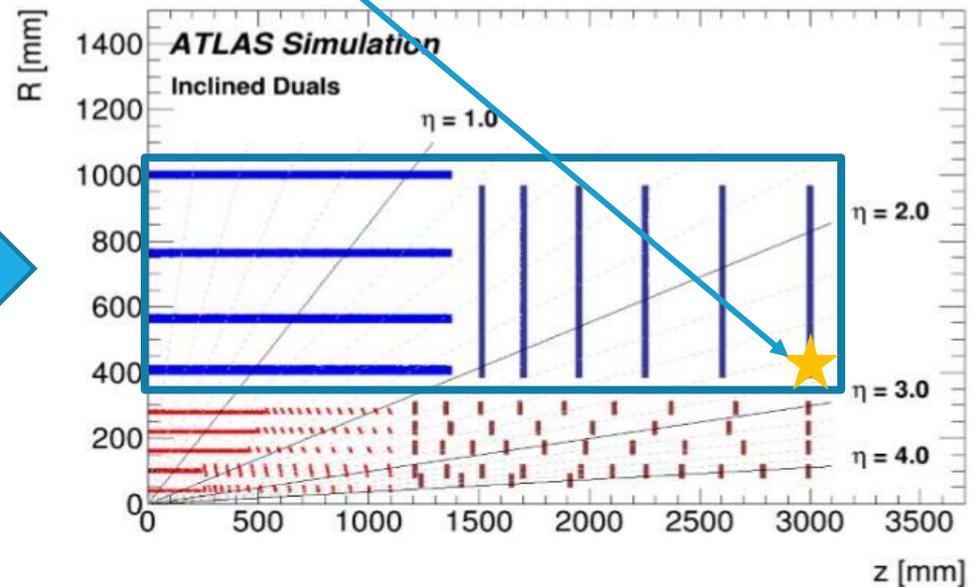
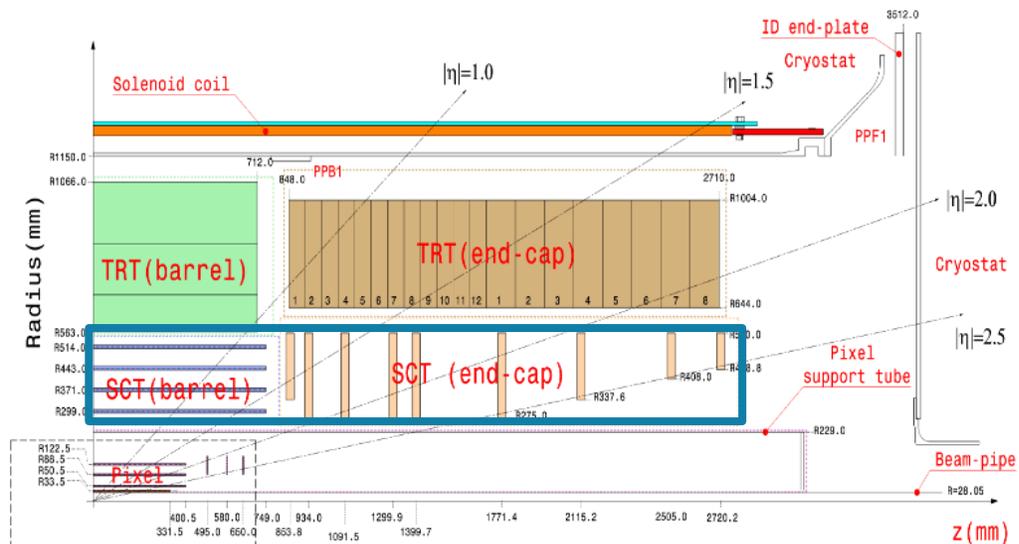
# HL-LHC ATLASで用いるストリップ型シリコンセンサー 本生産に向けた品質保証システムの改良

筑波大学理工情報生命学術院数理物質科学研究群物理学学位プログラム 博士前期課程1年

斉藤功太

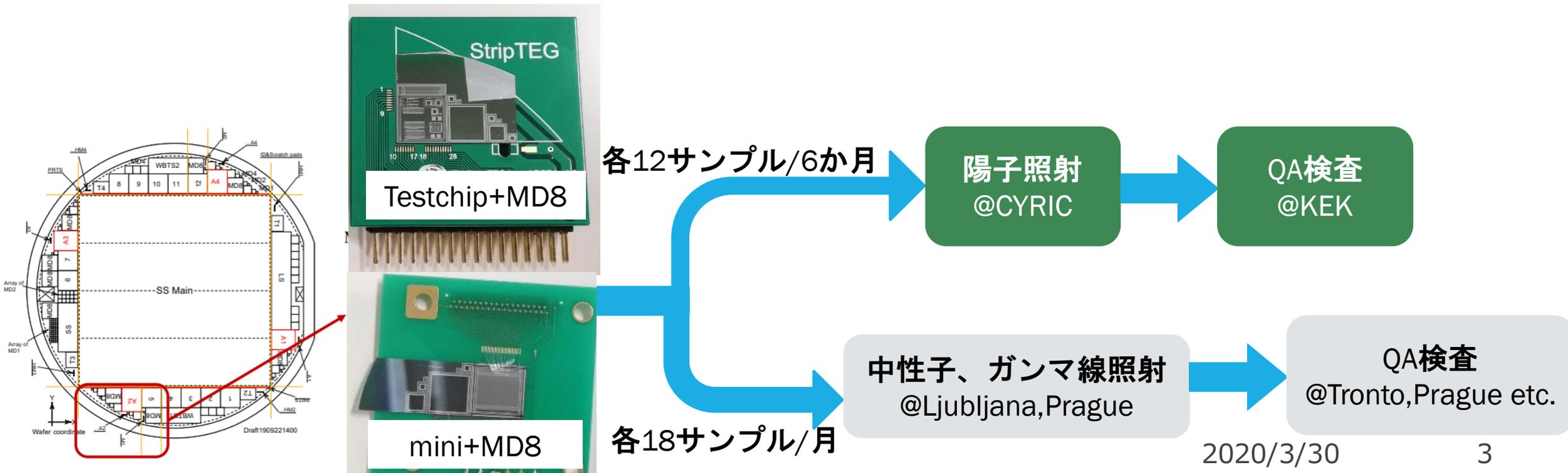
# ATLAS検出器とITk

- ATLAS検出器は、LHCに4つある検出器の一つ
- 2027年から運用開始予定のLHCの高輝度化にあわせ、ATLAS検出器がアップグレード
- 内部検出器はInner Tracker(ITk)に置き換わり、そのうちストリップは約21000枚生産される
- ITkストリップで予想される最大フルエンスは $1.6 \times 10^{15} n_{eq}/cm^2$ (安全率1.5)
- 本生産は今年の7月から開始予定(3.8カ年)



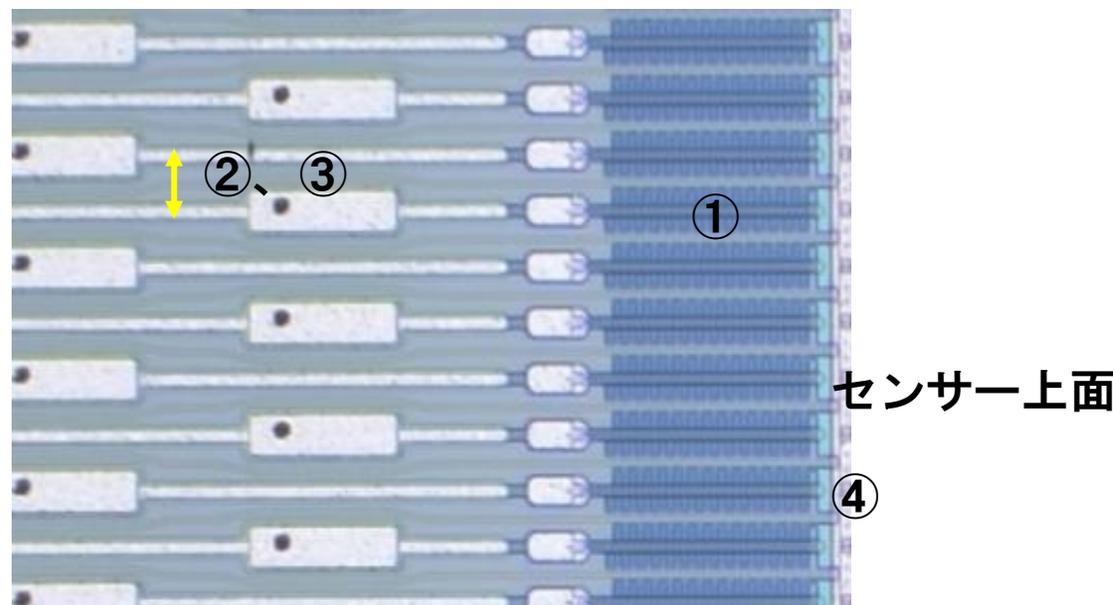
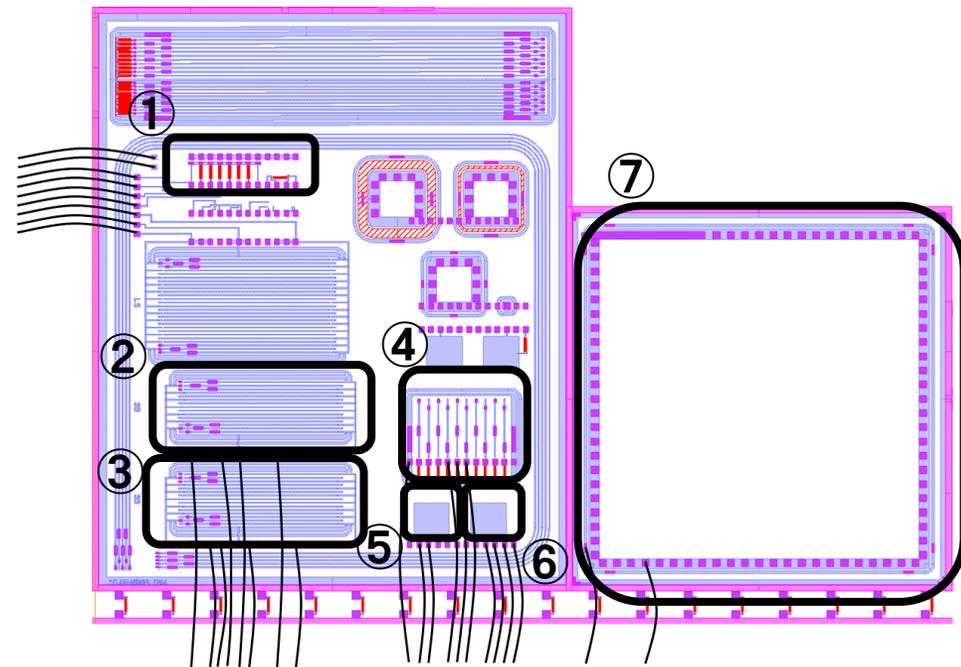
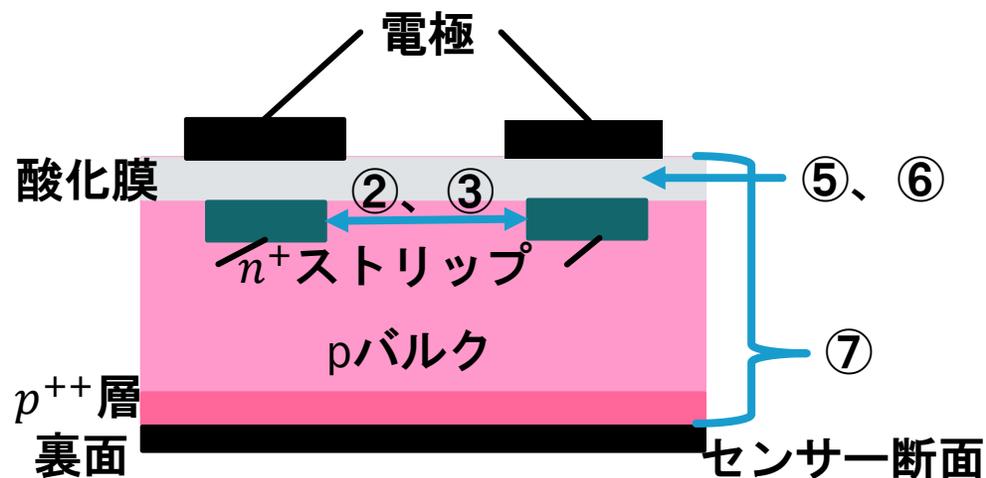
# ITk Strip品質保証(QA)の流れ

- 1バッチ(約40枚)につき1サンプルずつ放射線耐性を測る
- 日本グループ(KEK+筑波大)は陽子を照射したサンプルについて検査
  - 陽子の照射量は、 $5.1 \times 10^{14} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ 、 $1.6 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$  の二種類
- 残りのサンプルはLjubljana、Pragueにて中性子やガンマ線を照射し、放射線耐性を総合的に評価

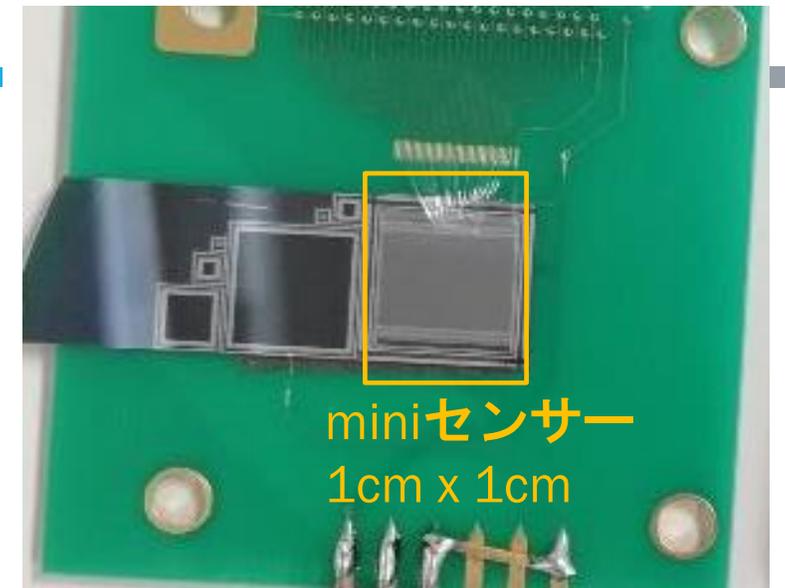


# Testchip+MD8 測定項目

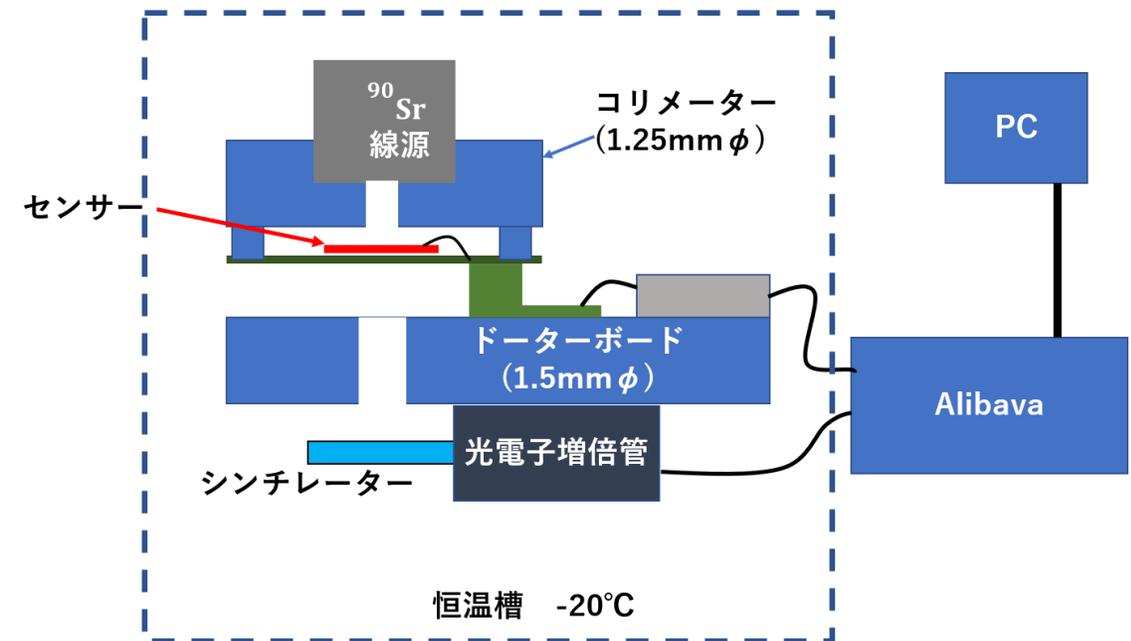
- ①バイアス抵抗
- ②ストリップ間容量
- ③ストリップ間抵抗
- ④PTP作動電圧：センサーの保護機構の動作確認
- ⑤酸化膜容量：酸化膜厚を計算
- ⑥結合容量、酸化膜リーク電流：酸化膜の絶縁性を確認
- ⑦MD8：ストリップや電極の影響を排したダイオードの特性を確認



# miniを用いた電荷収集量測定



- $^{90}\text{Sr}$  線源からの $\beta$ 線の通過による電荷収集量を測定する

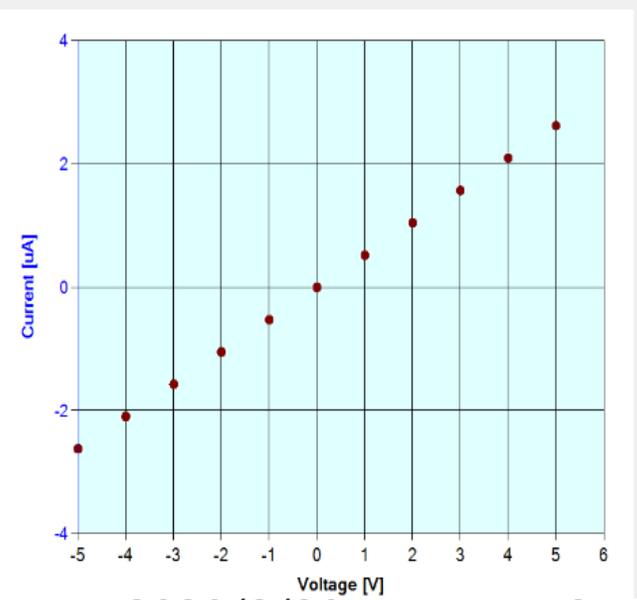
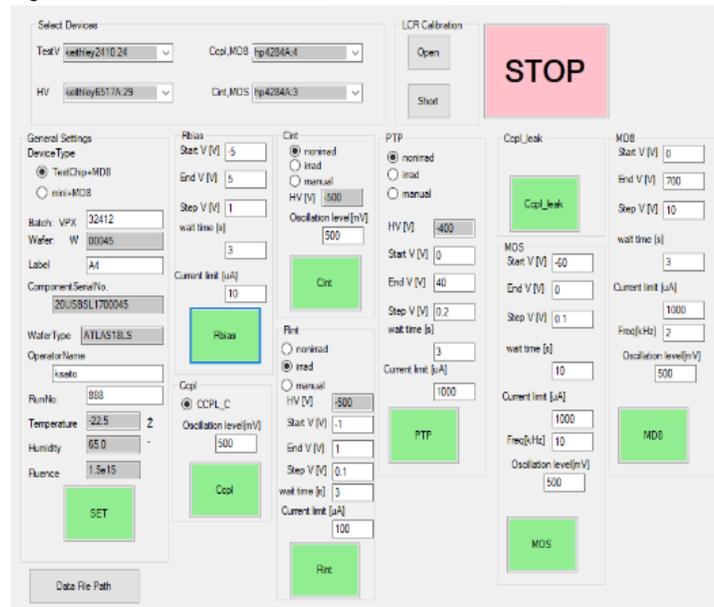
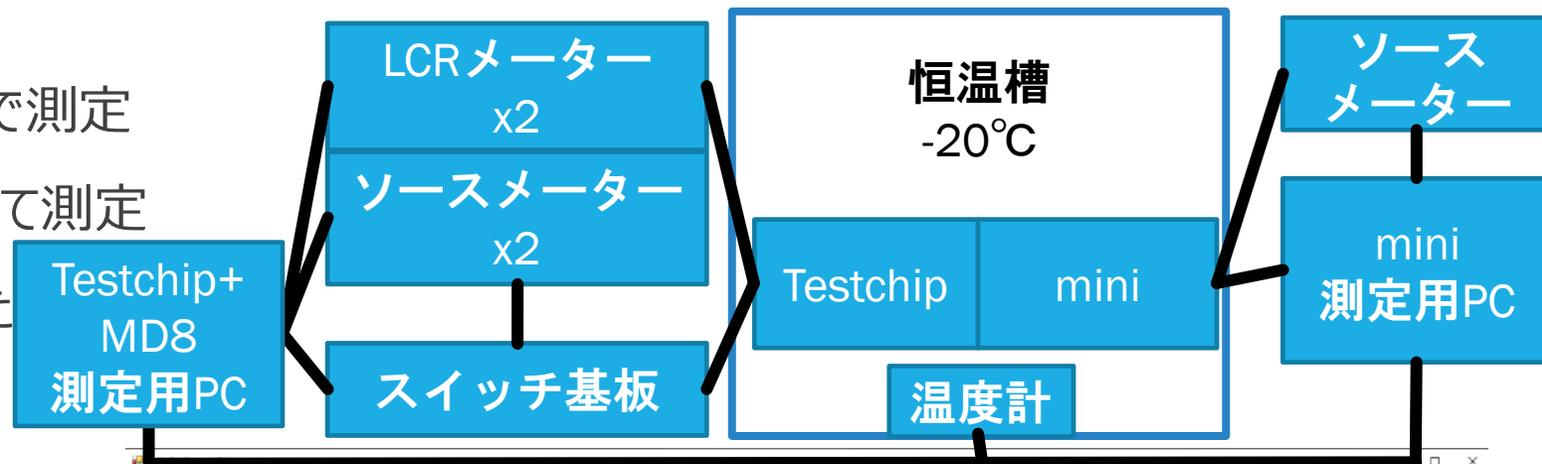


# 品質保証(QA)システムの概要

Testchipを用いた測定装置  
8つの測定項目を測定  
所要時間 4時間/1サンプル

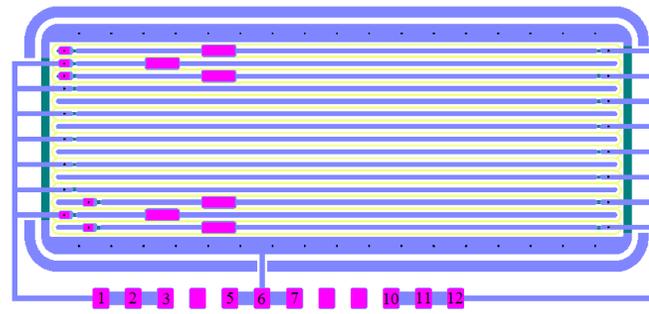
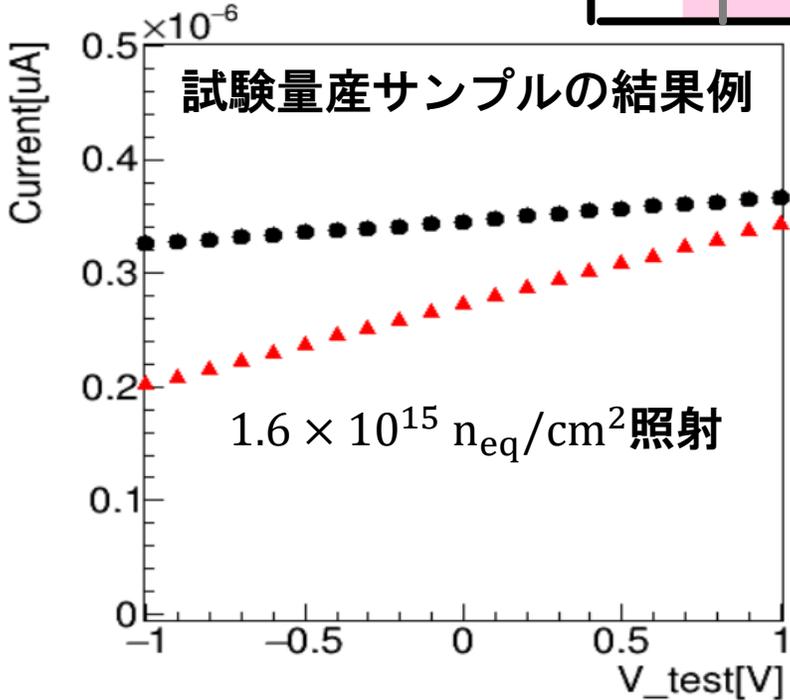
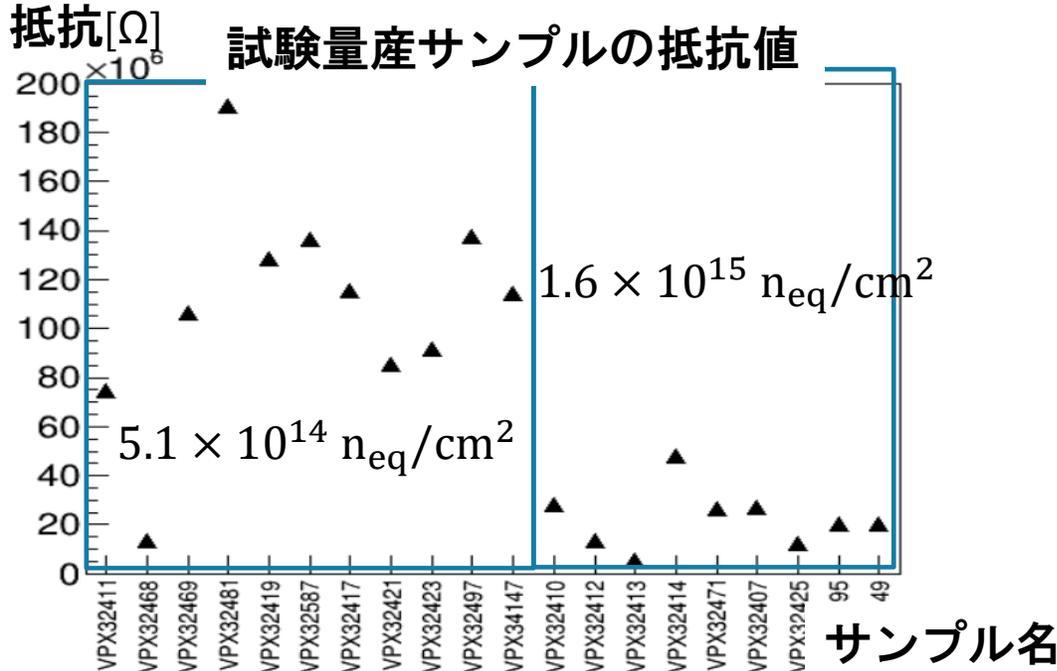
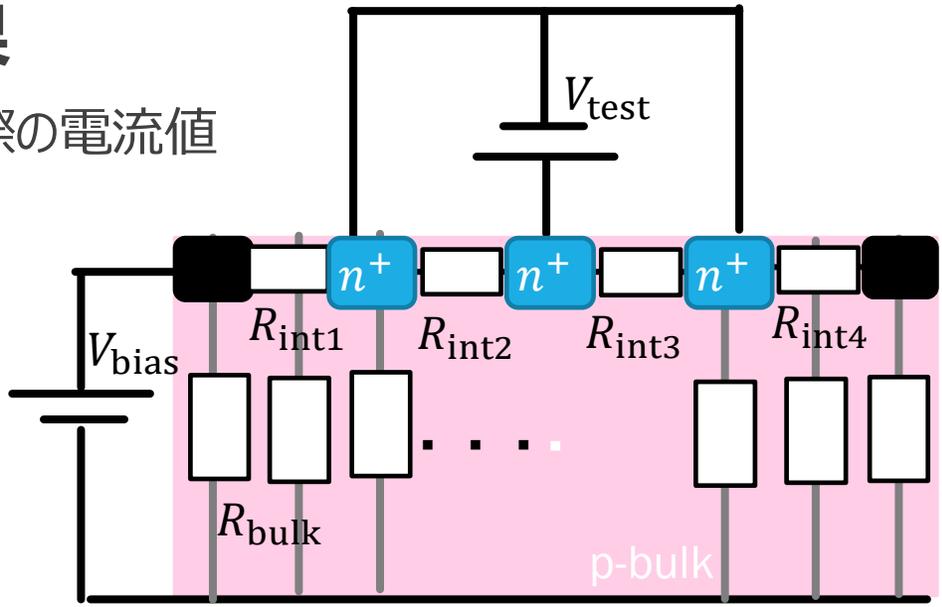
CCE測定  
センサーにバイアス電圧をかけ、 $\beta$ 線入射の際の電荷収集量を測定  
所要時間 2時間/1サンプル

- Testchip, miniともに、 $-20^{\circ}\text{C}$ の恒温槽内で測定
- この装置を用いて、試験量産サンプルについて測定
- より信頼性のある測定に向けた改良を行った
  - 電荷収集量(CCE)測定の自動化
  - GUIを改良し、逐次測定値をプロット
  - ストリップ間抵抗測定の測定法の改良
  - 本講演では特にこの事例について扱う



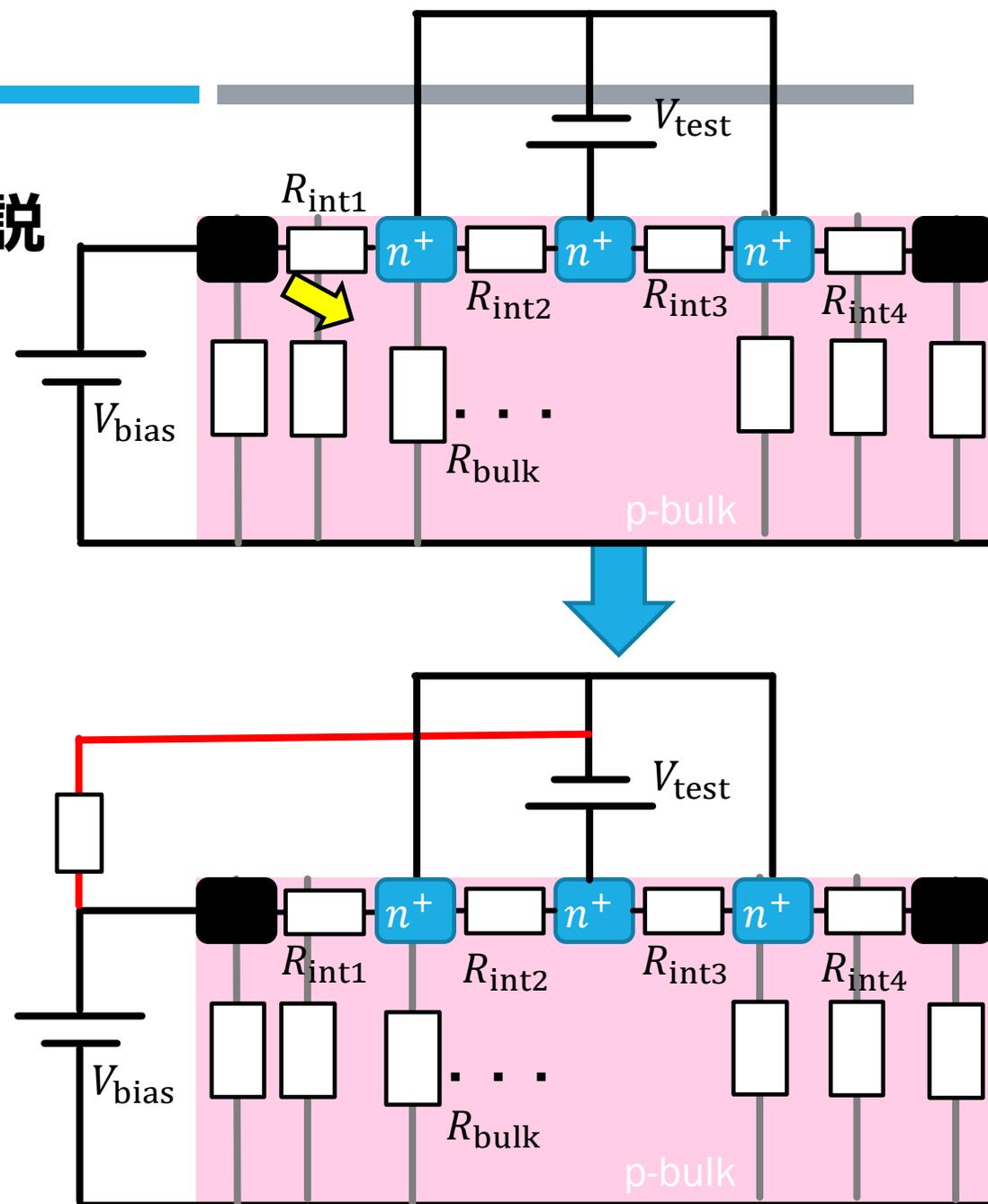
# 試験量産サンプルでのストリップ間抵抗測定の結果

- センサーに500Vのバイアス電圧を印加し、ストリップ間に電圧をかけた際の電流値を測定、傾きから抵抗値を求める
- 2.4cmのストリップ長に対応する構造
- 電極間分離のため、18MΩ以上の抵抗が要求される
- 複数のサンプルについて測定する中で、問題が見つかった
  - 抵抗値のばらつきが大きく、ものによっては2倍程度違っている



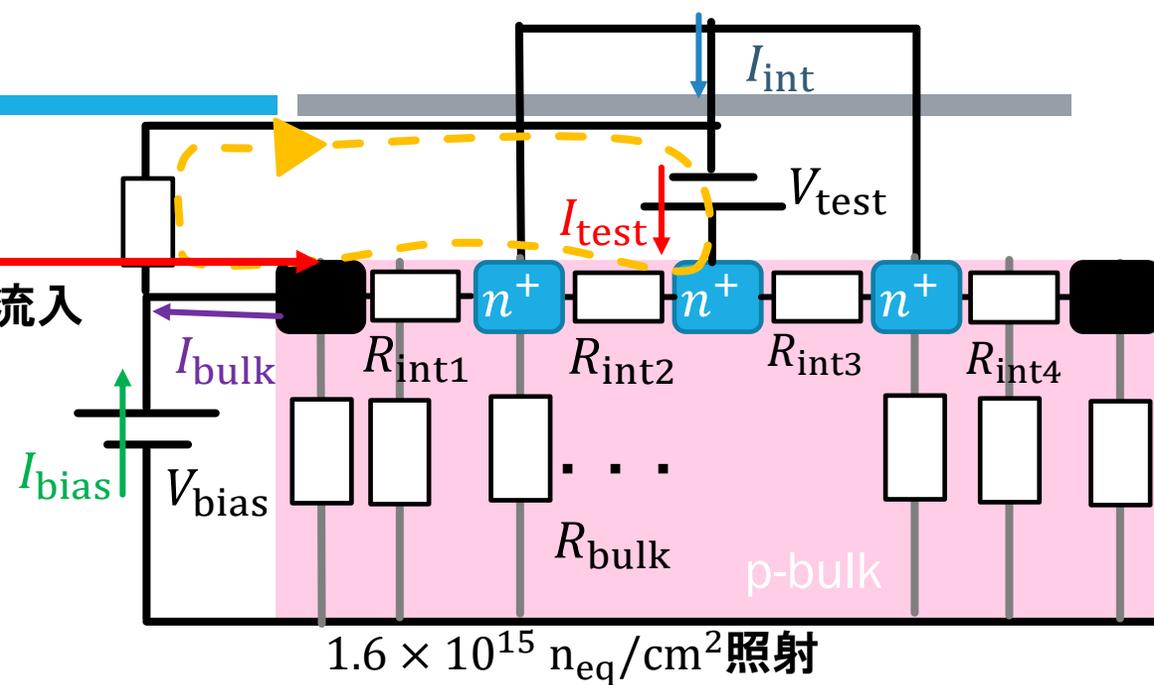
## ストリップ間抵抗が過小評価されることへの仮説

- 試験量産サンプルの測定では、バイアス電圧のグラウンドに対して、ストリップが浮いていた
  - センサーの暗電流の一部がストリップに流入することで、バイアスリングとストリップ間に電位差が生じ、実効的なバイアス電圧が変化している
  - 暗電流の流入が $V_{test}$ の関数であると、 $R_{int}$ の測定に影響を与える
- 暗電流の流入を制御するため、ストリップと $V_{test}$ のグラウンドを保護抵抗を介して接続



# 接続後の電流電圧特性

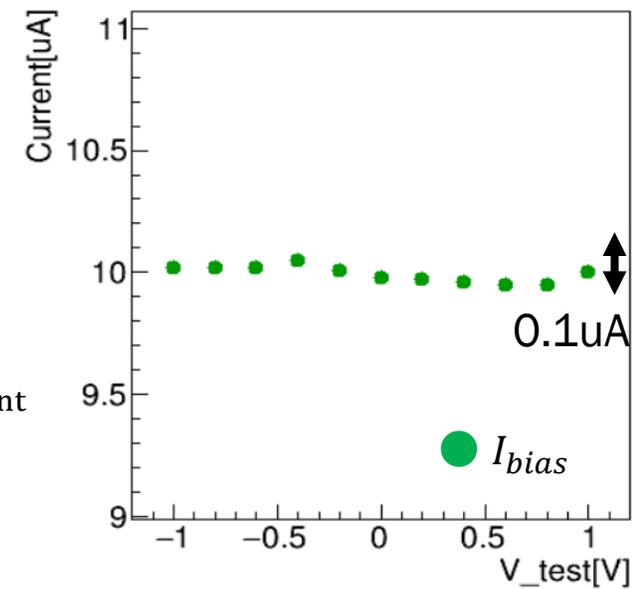
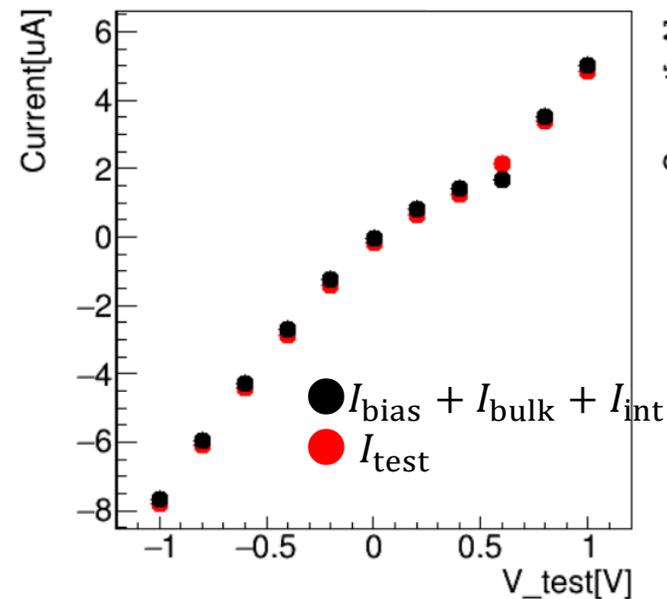
$R_{int}$  を通らず  
バイアスリングに流入



- グラウンドを共通にして測定を行ったところ、浮いていた測定に対して  $I_{test}$  の変化が急になった
- 電流の漏れがどこで起きているのかを確認するため、4カ所で電流電圧特性を調べた

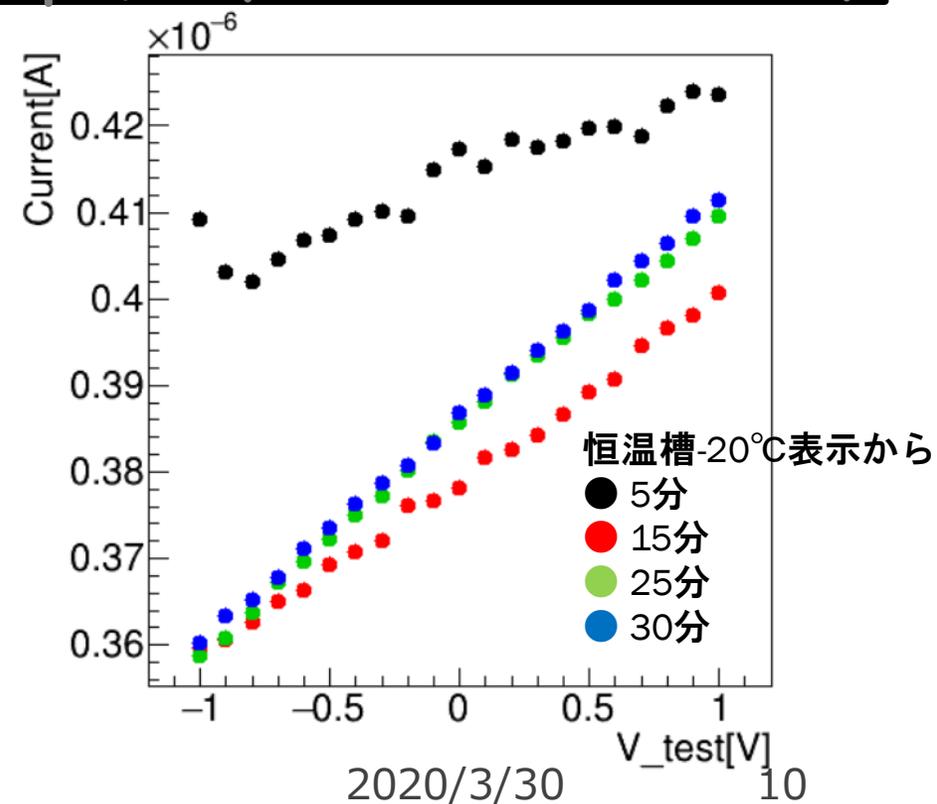
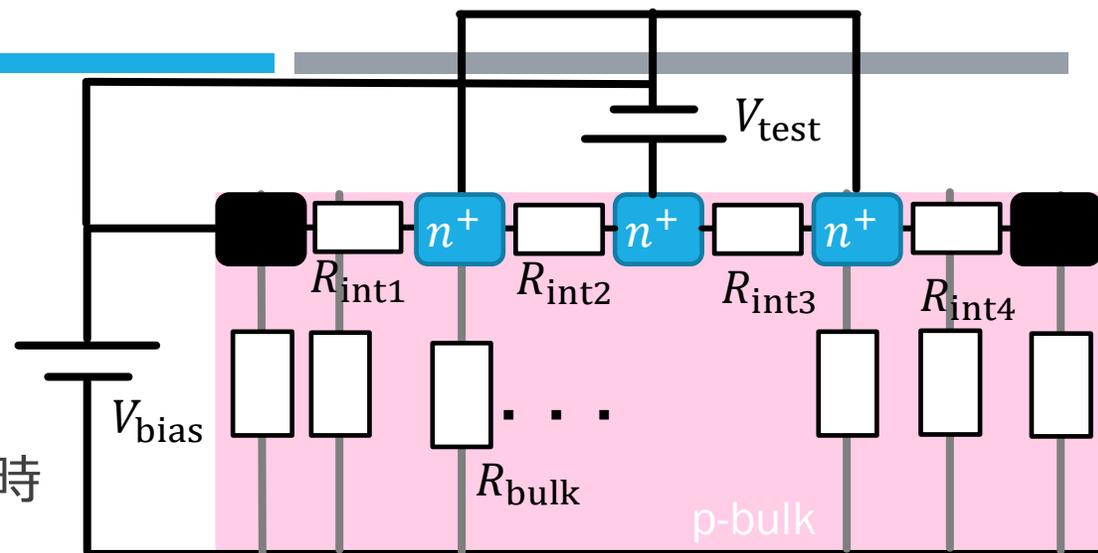
数100nA

- $I_{test}(V_{test}) \sim I_{bias} + I_{bulk}(V_{test}) + I_{int}(V_{test})$
- $I_{test}$  と  $I_{bias} + I_{bulk} + I_{int}$  には 0.2uA 程度のずれがあった
  - このずれは、 $V_{test}$  によらず一定で、ストリップから裏面への暗電流であると考えられる
- $I_{int}$  の測定には  $I_{test}$  と  $I_{bias} + I_{bulk} + I_{int}$  の差分が影響しない
- ストリップ間抵抗は、 $I_{int}$  の傾きから求められる



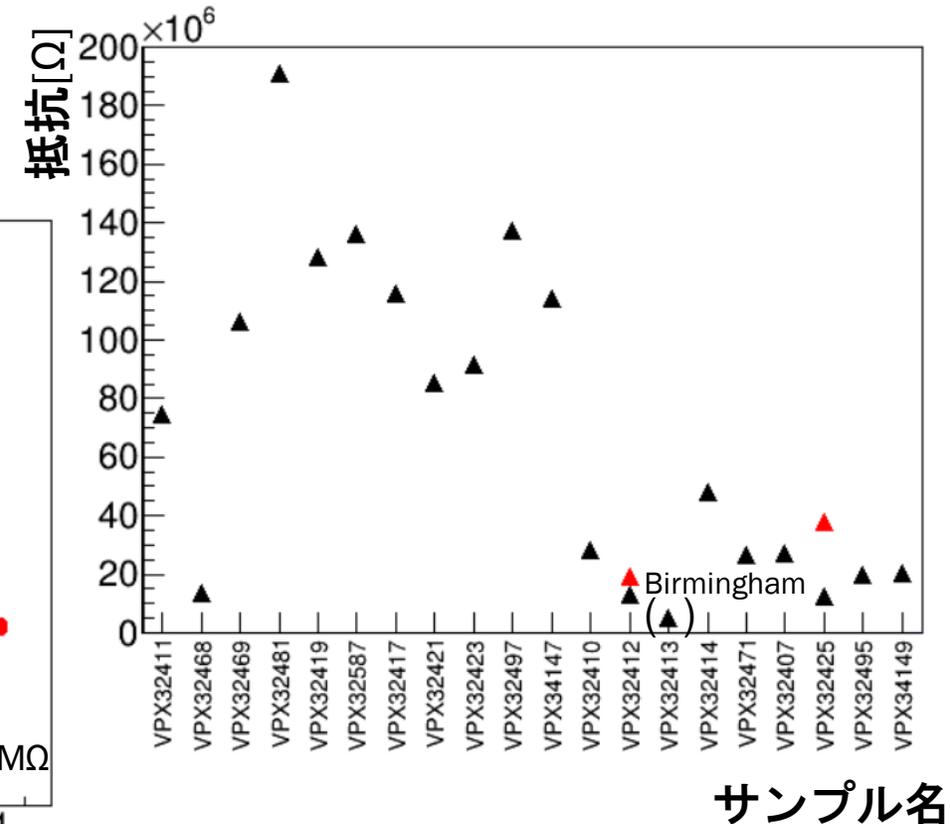
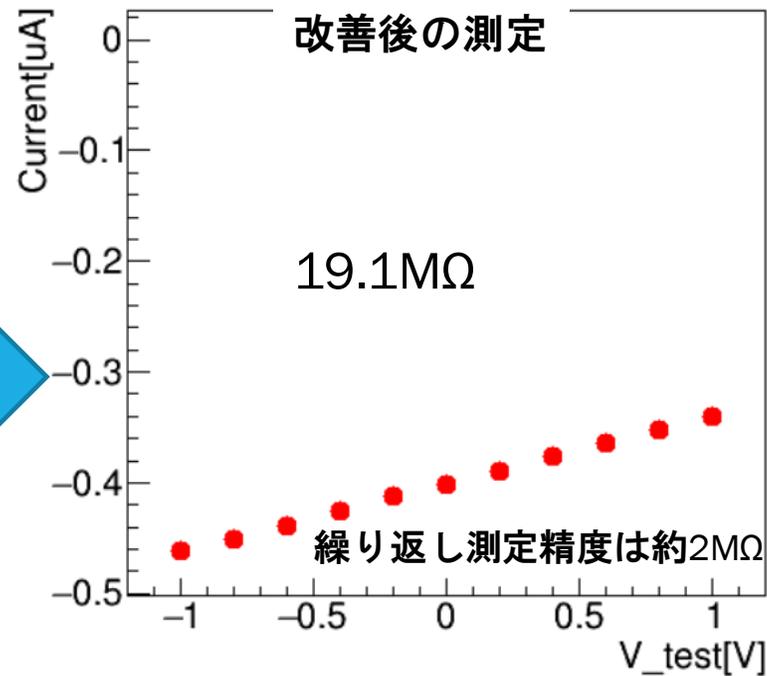
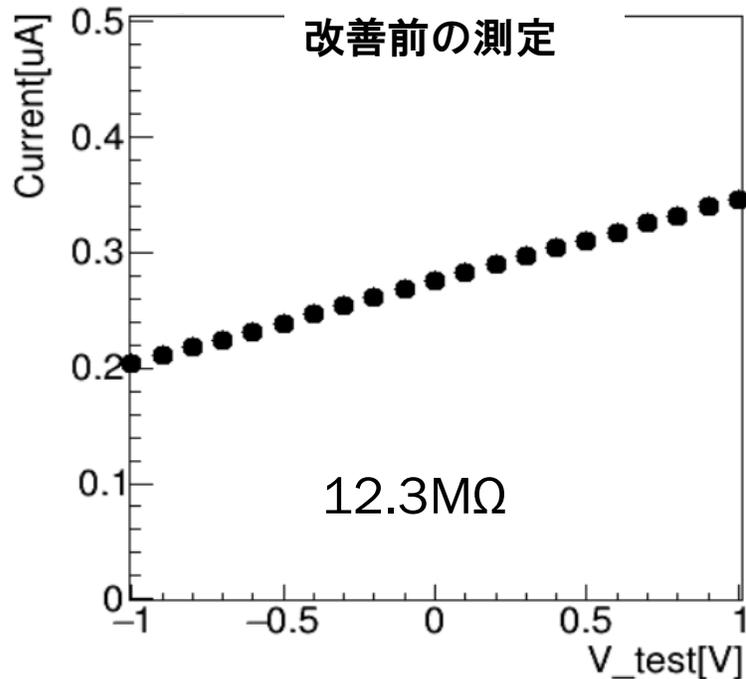
## 冷却時間による測定値の変化

- 今までの測定では、恒温槽にサンプルを入れてから測定までの時間にばらつきがあった
- 恒温槽の温度表示とサンプル自体の温度に差があった可能性がある
- 恒温槽の温度表示が $-20^{\circ}\text{C}$ になった直後は電流が不安定で、抵抗を過大評価することがわかった
- 今後は、恒温槽の温度表示が $-20^{\circ}\text{C}$ になってから、25~30分経過後に測定を行う



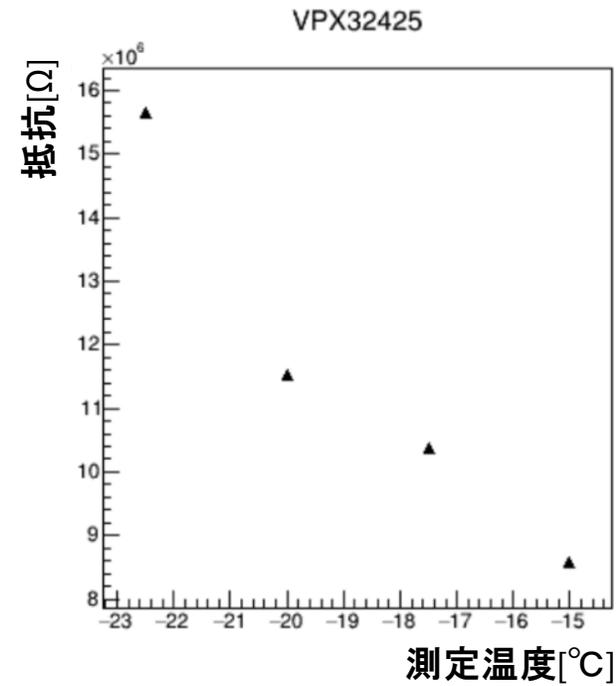
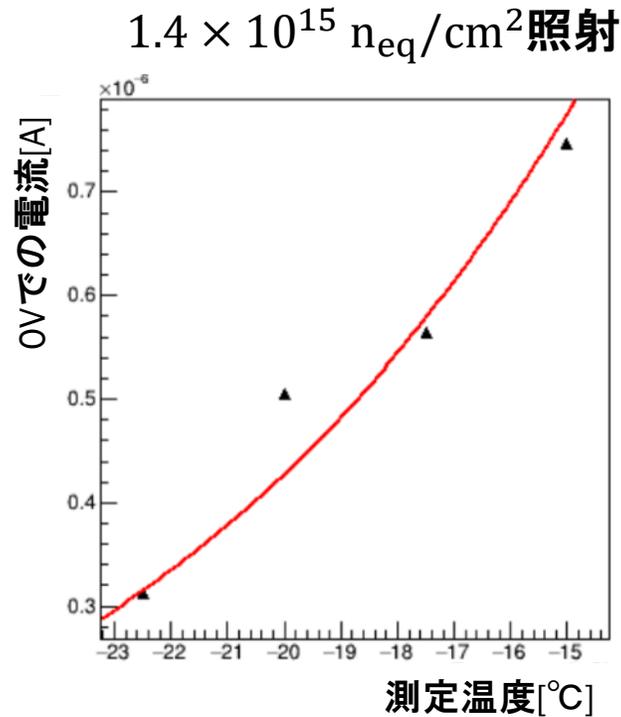
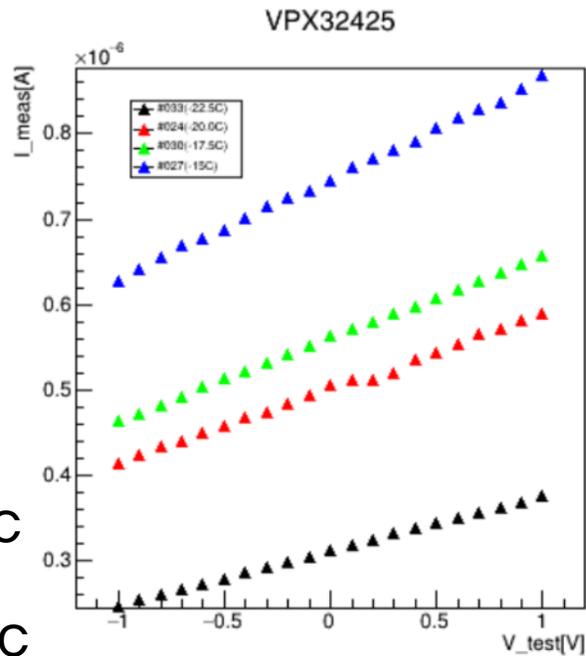
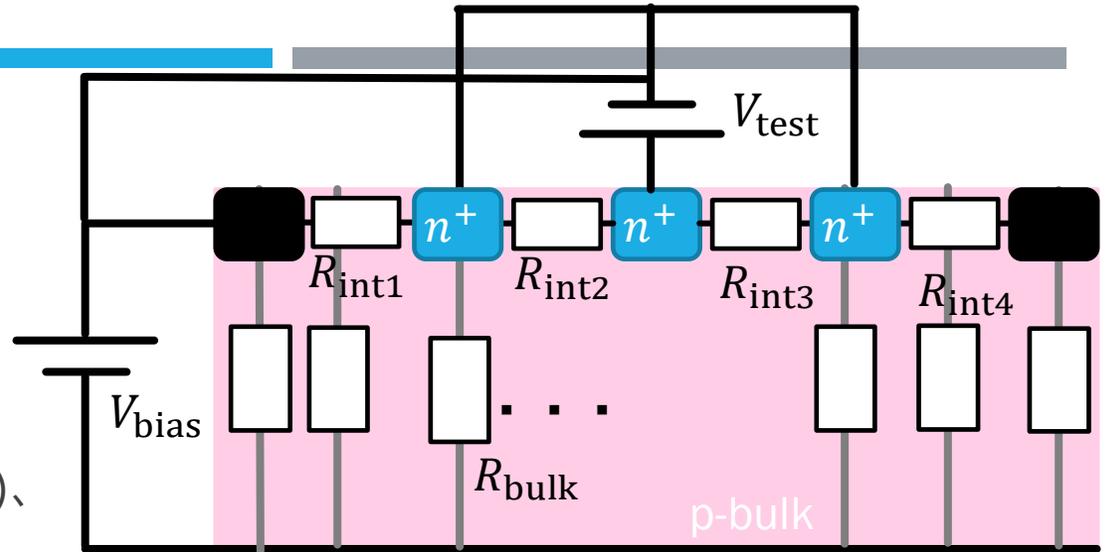
# 測定手法の改善による抵抗値の変化

- バイアス電圧と $V_{test}$ を保護抵抗を介して接続することで、改善前の測定に比べ、大きな抵抗を示すことを確認した
- 今後、改善した手法を用いてストリップ間抵抗測定を行う



# サンプルの温度の違いによる電流の変化

- さらなる測定値のばらつき要因として、電流の温度依存性について調べた
  - 温度が下がると電流が流れにくくなり ( $I(T) \propto T^2 \exp(-E/2kT)$ )、抵抗が大きくなることを確認



## まとめ

- ITkストリップセンサーの本生産に向け、QA測定システムの構築を行った
  - 1サンプル当たり、Testchipは4時間、miniは2時間と、時間に余裕のある測定が可能であることを確認した
- より正確な測定に向け、ストリップ間抵抗測定の見直しを行った
  - バイアス電圧をかける回路とストリップ間電圧をかける回路を保護抵抗を介して接続し、測定の安定性と装置の安全性を増した
  - サンプルの冷却時間を取る必要があることを確認した
- 恒温槽内の温度によって抵抗値が変化することを確認した
- 改善により、以前より正確なストリップ間抵抗の測定手法を確立した
- 7月から始まる本生産では、本装置を用いてQAの試験を行う(24ピース×2種類/年)

