

CERN Summer Student Programme 2019 参加報告

京都大学 理学研究科

延 與 紫 世

enyo.shiyo.77z@st.kyoto-u.ac.jp

2019 年 (令和元年) 9 月 24 日

1 はじめに

6 月 24 日から 8 月 30 日までの 10 週間, CERN Summer Student Programme 2019 に参加させていただいた。このレポートではその活動について報告する。

この夏, 300 人を超える世界中の学生が CERN(欧州原子核研究機構) に集まり, インターンシップという形で各実験グループで研究活動を行った (図 1)。私は ATLAS 実験の ITk (Inner Tracker) グループでピクセル検出器のテストをした。また, 前半の 5 週間には素粒子・原子核物理学の実験・理論に関する講義が行われた他, 様々な専攻の人たちと物理について議論するという貴重な経験もすることができた。



図 1: Summer student 2019 の集合写真

2 活動・研究内容

2.1 Visit & Workshop

プログラムの間, CERN の様々な施設を間近で見ながら, 実験に参加している研究者から装置の説明を受けるという機会に恵まれた。現在 LHC が閉鎖期間にあるため, 地上にある ISOLDE などの実験施設の他に, 地下にある ATLAS, ALICE, CMS を訪れることができた。さらには DSF と呼ばれる, シリコン検出器を実際に製造す

る場所を見学できたことは, 今でも一番印象に残っている。実験に携わる者として全てが素晴らしい経験であった。また素粒子物理学実験に関わる実験や検出器についてのワークショップも頻繁に開催されており, これらも期待以上の価値があった。

2.2 Project

2.2.1 概要

ATLAS ITk は最も内側に位置する飛跡検出器であり, LHC の Phase-II (High Luminosity) アップグレードの際に全てがシリコン検出器に変更される。図 2 にアップグレード後の ITk の模式図を示す。内側から 5 層目までがピクセル検出器, その外側 4 層がストリップ検出器となるが, 放射線損傷に強く, かつ物質量を抑えた新たな検出器を開発することが不可欠である。私が参加したのは, そのピクセル検出器の層のうち最外層 (5 層目) に使われる MALTA というシリコンピクセル検出器の開発を行っているグループである。私に与えられた課題は, 現在試作段階にある MALTA のテスト実験に使うソフトウェアの改良, および詳細な threshold の試験を実施することであった。特に, threshold に関する包括的な試験は今回が初めてであり, それによって MALTA の性能評価とノイズ軽減など, 今後の改良にも繋がる基礎データを提供することができた。ここでは実際に行ったテスト結果のうち主要なものに絞って紹介したい。

2.2.2 MALTA Threshold scan

MALTA (Monolithic pixel sensor from ALICE to ATLAS) は CMOS 技術を使った monolithic silicon pixel detector であり, readout 回路とシリコンピクセルセンサーが一つになった検出器である。1 つの MALTA チップには $36.4 \mu\text{m}$ 角のピクセルが 512×512 個配置されている。図 3 にピクセルの断面模式図を示す。荷電粒子に

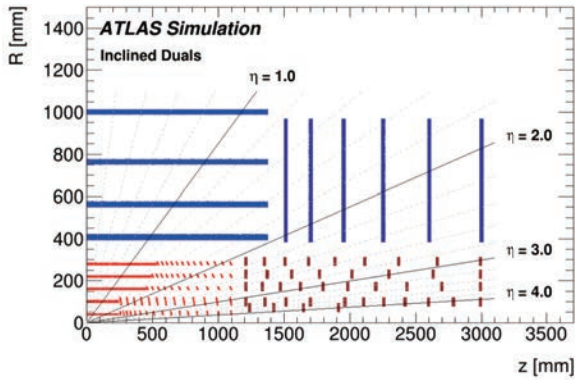


図 2: Phase-II アップグレードでの ITk の模式図 [1]

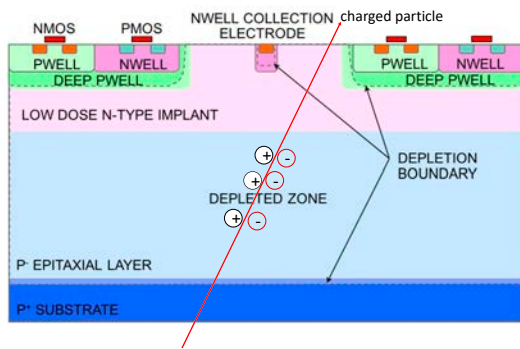


図 3: MALTA ピクセルの断面模式図 [2][3]

よって誘起された電荷が、図 3 の n well collection electrode(n 極)に集められることによって検出される。この電極を $3 \mu\text{m}^2$ と小さくすることにより容量性ノイズを軽減している。それぞれのピクセルが shaper-amplifier と discriminator を含むアナログ front-end を持っており、threshold を超える信号が検出されるとデジタル信号として読みだされる。しかし、その設定を各ピクセル毎ではなくチップ全体の制御として一括で行っているため、ピクセル間の均一性が実用化する上で重要な問題となる。これまで、この threshold の均一性やピクセル毎の振る舞いを MALTA 全体に対して精査したことはほとんどなかったが、今回のテストによって詳細なデータが得られたことは、今後の開発に役立つ重要な成果である。

今回のテストでは、各ピクセルに波高を変えながらアナログテストパルスを入れていき、threshold を越えデジタル信号として読みだされる効率の変化を調べた。これをガウス誤差関数でフィットした際の平均と標準偏差をそれぞれ threshold, noise として用いた。図 4 に、あるチップに対して行った threshold スキャンの結果を示す。今回テストを行ったすべてのチップが似た結果を示しており、threshold は各ピクセル毎のばらつきが少ないが、ノイズにはチップの左右で大きな差があることがわかった。

チップのノイズの左右差は、右側と左側での front-end の回路構造の違いによると予想される。実際、現在の

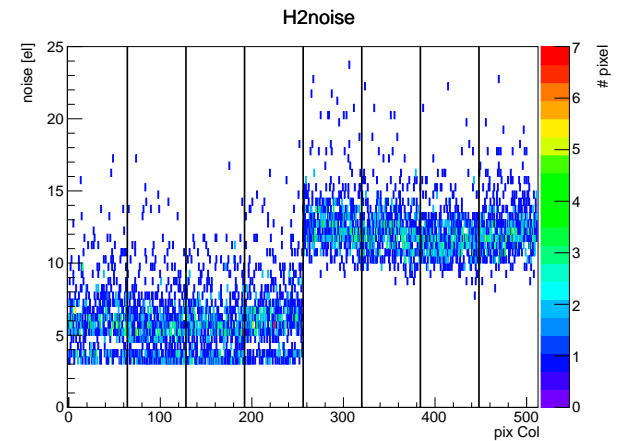
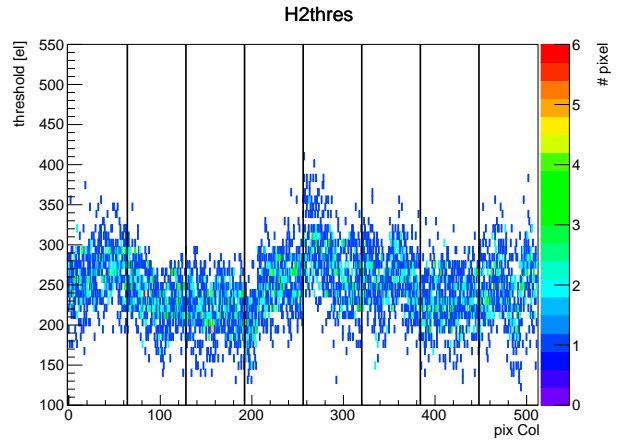


図 4: threshold スキャンを横 512 列、縦 10 列に対して行った結果。縦軸の単位 el は電子ホール対の数を表す。(上) 横のピクセル No. に対する threshold の値と (下) ノイズの値。

MALTA プロトタイプでは右側の front-end のみ p 型トランジスタが追加されており、ここを流れるベース電流 I_{reset} が右側のノイズを増大していると考えられた。そこで、 I_{reset} を変化させたときにチップ右側のノイズ値がどう変化するかを調べた。図 5 にノイズの I_{reset} に対する依存性を示す。ノイズ値は I_{reset} に明らかに相関しており、ノイズの左右差は、p 型トランジスタを流れる I_{reset} に起因した回路特性であることが明らかになった。

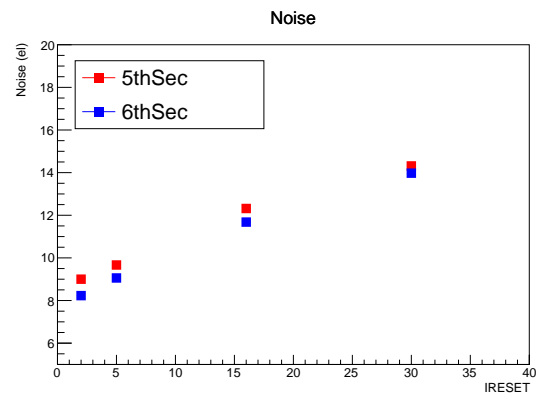


図 5: I_{reset} を変化させたときのノイズの値。5th, 6th セクターとはチップ全体を 8 つのセクターに分けたときの 5 丁目、6 丁目に対応する。

2.2.3 結論とまとめ

10 週間を通して MALTA に関する様々なテストを実施した。その中でも、threshold に関する初めての精密測定から、MALTA は threshold のピクセル毎の一様性に関して信頼できる検出器であることが明らかになった。また、1 つのピクセルをスキャンする時間が 90 秒と非常に長くチップ全体を簡単に精査できないことが課題であったが、実験中もコードの改善を続けることで高速化を行い、スキャン時間を半分に短縮することに成功した。この改良版のコードが今後の検出器テストにも活用されていくと期待され、価値のある貢献ができたと考える。

2.3 Student poster session など

プログラム中に開催されたポスターセッションに積極的に参加したことも、自分の研究について理解を深めるとともに、他の summer student と意見交換できるとても良い機会であった。またこの場で発表したことで、研究内容について友人と話すことが増え、自分の研究だけでなく実験グループについて周知できることをうれしく思った。さらに毎週のグループミーティングでは進捗をプレゼンする機会が多くあり、実験方法の提案や研究について活発に議論し、有用なフィードバックを得られたことが非常に助けになった。

3 生活

私はフランス側の St. Genis にあるホステルに滞在し、平日は毎日研究室で研究に取り組む他、lecture, visit などにも参加していた。休日は友人と外に出かけることもあった。それぞれの国の文化や教育について互いに話したり、将来のことや世間一般に取り上げられる様々な問題に関して意見交換したりと大変刺激的であった。自分の考えを持つこと、それを外にしっかりと発信すること、また他者の意見から新たな考えを得ること、これらが日常の会話レベルでさえ徹底して行われていることを実感した。それと同時に、今の自分に足りないものが多くあるというも身に染みて感じた。すべてが楽しい経験であったが、積極性、主体性、自分の立ち位置に対する理解など、国際的な競争力を持つために必要な力を今後は養っていきたい。

4 今後の抱負と summer student programme に望むこと

世界最先端の研究所での 10 週間を通して、素粒子・原子核の理論や実験を学ぶと同時に、文化・言語などの交

流をする機会にも多く恵まれた。しかし最も重要なことは、様々なものの見方を知り私自身の視野を広げた上で、今後どのように活動していくかということだと思う。このプログラムでの経験がこれからの研究を豊かにしたと言えるように、楽しみながら頑張りたい。

また、CERN や CERN での実験は一般の人にも広く認知されていることを実感した。今後は日本国内でのアウトリーチ活動にも積極的に取り組み、科学の面白さを共有していきたいと考えている。

CERN では、昔 summer student だった人が、後に研究者として再び CERN に戻ってきたという話を数多く聞いた。私の supervisor も 10 年前の summer student だったそうだ。そのようなプログラムに日本人として参加できたことを誇らしく思っている。また、今後ともぜひ継続していただきたいと思う。

5 謝辞

花垣和則教授、野村恭子さまをはじめとする KEK の皆さまのおかげで、このプログラムに参加することができました。まず最初に、素晴らしい経験をする機会を与えてくださったこと、また細かなところまでサポートをしていただいたことにお礼申し上げます。また、阪大・川崎貴裕教授、京大・吉田賢市助教、そして京大・原子核・ハドロン研究室のみなさまには、応募書類の準備から渡航に関する情報まで大変お世話になりました。現地では、一緒に研究を行った 3 人の supervisor (Dr. Carlos Solans Sanchez, Dr. Valerio Dao, Dr. Enrico Junior Schioppa) や ATLAS Pixel Group の皆さま、summer student team の皆さま、また CERN で働いている多くの研究者の方々に様々な面で助言、励ましをしていただきました。また、ともに参加した summer student 全員に感謝を述べたいと思います。関わってくださったすべての皆さま、本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] ATLAS Collaboration, *Technical Design Report for the ATLAS Inner Tracker Strip Detector*, Tech. Rep., CERN-LHCC-2017-005, ATLAS-TDR-025, CERN, Geneva, 2017.
- [2] I. Berdalovic, *et al.*, 2018, *JINST*, **13**, C01023.
- [3] R. Cardella *et al.*, 2019, *JINST*, **14**, C06019.