

## ■ 談話室

## CERN Summer Student Programme 2023 参加報告

京都大学 理学研究科

岡崎 凜 大 郎

okazaki.rintaro.47a@st.kyoto-u.ac.jp

2023 年（令和 5 年）10 月 18 日

## 1 はじめに

CERN Summer Student Programme は夏期の約二か月間、世界中から理学や工学を専攻する学生が CERN に滞在し、講義の聴講や配属先の supervisor の指導の下で研究を行うものである。

私は 2023 年 6 月 26 日から同年 8 月 25 日までの 9 週間にわたって滞在し、supervisor である Abhishek Sharma 氏の指導のもとで、ATLAS 実験の内部飛跡検出器に携わるプロジェクトに参加した。

## 2 活動内容

## 2.1 講義

私が Summer Student Programme に参加した 6 月末からの約一か月間、午前中は main building の講義室で summer student 全員を対象とした講義が毎日開かれた。内容は素粒子物理学の初歩から超弦理論の入門、更には CERN が将来的に建設する予定の次世代型円形加速器についてまで、非常に幅広い範囲の講義を聴講することができた。また、講義の終わりの 10 分程度は Q&A の時間が用意されていたのだが学生からの質問が非常に多く、司会者が止めないと予定の時間を超過してしまう程であった。

## 2.2 施設見学

滞在期間中には何度か実際の研究施設を見て回るツアーが開催され、ATLAS の control room や Anti-matter factory を見学することができた。参加者は実物を目の前にして実験の目的やその手法などを聞いた。他にも CERN で最初に作られた加速器である synchrocyclotron や実験データが保存されている data center を見学する機会もあり、素粒子物理の発展は技術的な進歩と共にあることを改めて実感できた。

## 2.3 研究

## 2.3.1 概要

ATLAS 検出器は LHC のビーム衝突点の一つにおいて陽子-陽子衝突によって生成された粒子を検出するための汎

用検出器である。様々な粒子を検出するために多様な種類の検出器が何層にも重ねられている。その中でも内部飛跡検出器は最も衝突点に近い検出器であり、これを用いることで衝突で生成された荷電粒子を追跡することができる。

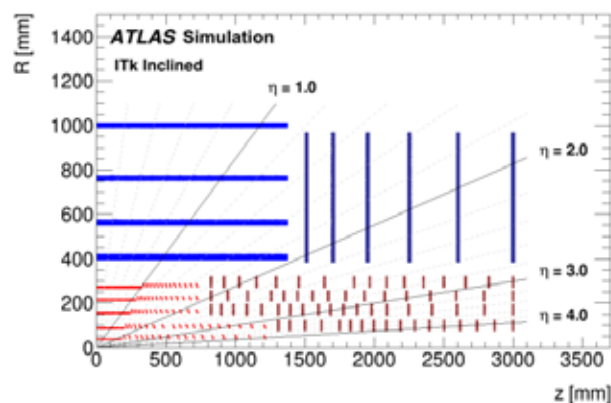


図 1 ATLAS 内部飛跡検出器の配置予定図[1]

今回私が担当したのはその中でもシリコンピクセル検出器である。図 1 の赤色の領域 ( $0 < z < 1250$ ,  $0 < R < 300$ ) に配置されており、荷電粒子の通過時に発生した電子-正孔対を高電圧によって検出する。

検出器は主に実際の検出部となるシリコンセンサー、信号処理をするフロントエンド回路の ASIC、データ送信や電力分配を行うフレキシブル基板の 3 種類のパーツから構成される。

LHC は 2025 年の終わりからビーム輝度の強化を目的とする改造がされる計画となっている。それに応じて ATLAS のアップグレードも行われ、シリコンピクセル検出器も高輝度に対応したものへと交換されることとなる。私は主にこの検出モジュールの組み立て、およびそれらを実装可能にするための調整を担当した。

## 2.3.2 Reception test

実際にモジュールを組み立てる前に、CERN に到着したパーツが規定を満たしているのかを確認する必要がある。したがって外傷の確認や 3 次元形状測定、電気的な測定を Reception test として行った。

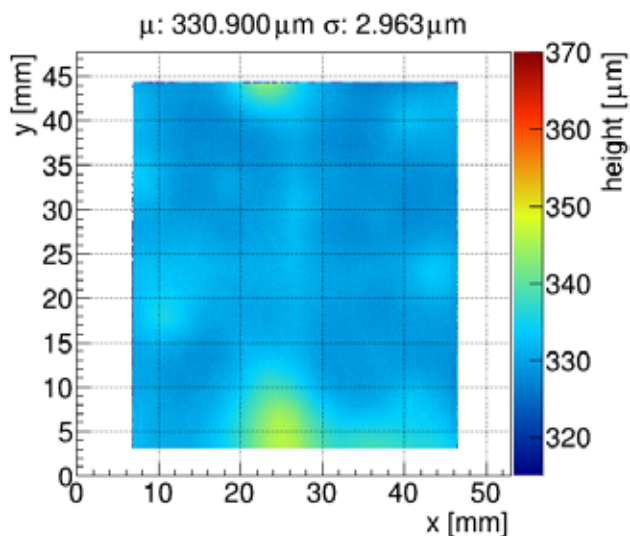


図 2 bare module の height mapping

形状測定は KEYENCE 社の VR-5000 を用い、各パーツの高さを計測し、マッピングすることで確認した。図 2 は bare module と呼ばれる、シリコンセンサーと ASIC のフロントエンド回路が接合されたパーツの測定結果である。上部と下部に約  $10\mu\text{m}$  だけ他の領域よりも高くなっている箇所があるが、これは許容範囲内であるため、そのまま続行となった。

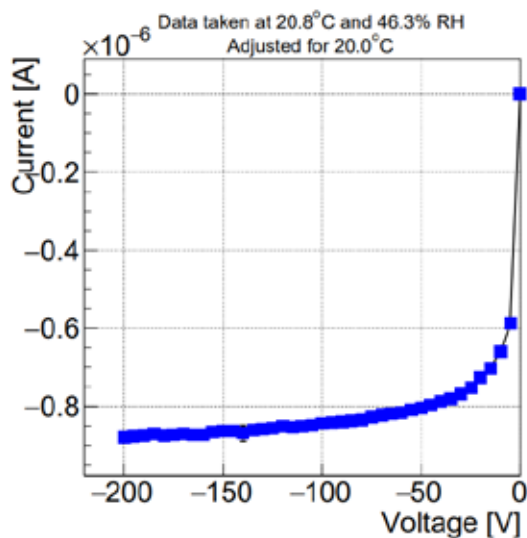


図 3 電圧別の暗電流の測定結果

最後に bare module に段階的に高電圧をかけ、その際に発生する暗電流を個別別に測定した。これは、シリコン検出器が使用時に高電圧をかけて信号を電流として発生させる仕組みであるので、反応が無い時でもどれほどの電流が流れているのかを知る必要があるためである。スキャン

結果は図 3 の通りであり、電圧をかけるにしたがって暗電流の非線形的な応答が見える。

### 2.3.3 モジュールの組み立て

Reception test 終了後の bare module とシリコンセンサーはそれぞれ専用の治具を用いて接着される。接着にはエポキシ樹脂である Araldite を用いる。治具に bare module と基板を固定した後ステンシルを用いてその上に Araldite を塗布し 2 つの治具を組み合わせ、事前に調整していた高さからねじを使って固定する。樹脂が硬化するには 8 時間程度待たなくてはならないため、その間は治具を用いて他のモジュールを組み立てることが不可能となる。この待機時間が大量製造という面では非常にボトルネックとなっており、これを改善させるために治具を複数台用意する必要があるだろう。

接着が完了した後、モジュールはフロントエンド回路と基板を電氣的に接続する wire bonding のために別室に預けられる。Wire bond されたモジュールは衝撃に対して非常に弱いため、bonding 後は外部とのデータと電力の送受信用のケーブルを装着したのちに専用の保護フレームに固定され、さらに運搬時には専用のキャリーケースに収納される。

### 2.3.4 性能テスト

モジュールの組み立てが完了した後は、モジュールが正常に動作するかを試験を行う。試験は図 4 のような装置に固定して実施され、各種スキャン及びチューニングによってモジュール内の各ピクセルが正常に動作しているかを確認できる。ピクセルに異常が見られた場合にも、フレキシブル基板の製造時の誤差に由来するものは各モジュールの設定を変更することによって正常に動作する可能性がある。それらの調整を行ったうえでも改善しない場合は 1 モジュール当たり 4 つあるフロントエンドの内の該当部が無効化される。

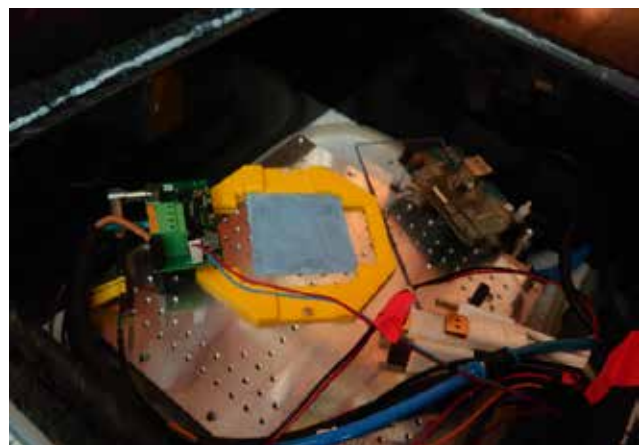


図 4 性能テストを行う装置

全ての工程が終了した後、実際にモジュールを ATLAS に設置する installation チームに引き渡される。今回製造されたモジュールは彼らの実装練習用の側面が強いようだ。

### 3 CERN での生活

CERN での日常は基本的に朝に作業場へ行き、昼や 15 時ごろに休憩を取りつつ 17 時半まで作業をし、その後はレストランへ行き夕食を取りつつ他の summer student 達と談話したりして寝るまでの時間を過ごすといったものであった。その中でも講義や visit がある場合は、そちらに出席していた。

特に最初の 3 週間は研究の進行方法や研究室での過ごし方を technical student として CERN に訪れていたノルウェー人の Marianne に教えてもらった。彼女は頼れる先輩であると同時に、良き友人であった。研究中の雑談で私が週末に訪れる場所を話せばお勧めのスポットを教えてくれたので、私の休日は非常に充実したものとなった。ある時にはそれぞれの出身国について、観光名所や文化だけでなく、政治的な話題など多少込み入った話題について意見を交換することさえあった。

### 4 今後の抱負

今回、このプログラムに参加して感じたことは英語によるコミュニケーションが如何に大切であるのかという点である。私は自分の英語力に自信がある方だったのだが、そのような幻想は滞在開始直後に打ち砕かれた。特に自分で文章をリアルタイムで一から作らなくてはならない speaking は他の国の summer student と比べて苦勞した。自分が伝えたい内容にちょうど当てはまる英語が出てこないのである。これからも海外の人との交流が頻繁に起こることが想定されるので、アウトプットの研鑽は怠るべきではないと改めて思った。

また、CERN での生活を通じて私が関わった学生は、自国の文化や歴史について詳しい者が多かった。高校の文理選択を境に歴史から距離を置いていた私にとっては驚くべきことであり、同時に自身の文化・歴史への無関心は恥ずべきことであることを思い知った。今後はもう少し歴史に触れる機会を作ってみようと思う。

### 5 今後このプログラムへ望むこと

日本人の本プログラムへの参加は素粒子・原子核分野の学生からのみであったが、他国の学生の中には工学を専攻する者も散見された。彼らとの交流は、私が今まで触れる

ことが無かった情報分野の技術などに興味を持つ良いきっかけになった。

今後は、他分野の学生も参加できるようにすることによって物理学専攻以外の学生にとっても実りのある体験を提供する場になって欲しいと思う。

### 6 謝辞

京都大学の田島治先生、KEK の花垣和則先生には本プログラムに応募する際に推薦状を書いていただきました。また、KEK 事務室の有本様、橋本様には渡航準備や滞在中にサポートいただきました。Supervisor の Sharma 氏には実験装置の使い方等の研究関連の事以外にも CERN での生活などのアドバイスを頂きました。多くの人々のご助力のおかげ CERN 滞在は私にとってとても有意義なものとなりました、本当にありがとうございました。

### 参考文献

[1] Technical design report for the atlas inner tracker pixel detector. technical report cern-lhcc2017-021. atlas-tdr-030, cern, geneva, sep 2017