

CERN Summer Student Programme 2018

名古屋大学 大学院

江角 悠

esumi@hepl.phys.nagoya-u.ac.jp

2018年(平成30年)10月24日

1 はじめに

私は、6月25日から8月31日までの10週間、CERN Summer Student Programme 2018に参加した。本プログラムでは一流の研究者による講義を受けたり、CERNで行なわれている最前線の研究に参加することができた。これには物理、数学、計算機など各分野に関わる300名の学生が世界各国から参加していて、その交流を通して貴重な経験を得ることができた。ここでは普段の生活やプログラムでの活動内容について報告する。

2 活動内容 Lectures/Visit

プログラム前半の6月25日から7月27日までは午前中に講義が行われた。その内容は、素粒子物理学の基礎や高エネルギー実験において用いられる検出器についてなど馴染みのあるものから、宇宙論や加速器実験で用いられる技術の医学への応用など、多岐にわたっていた。また講義はその分野での一流の研究者によって英語で行われ、内容が興味深いということだけでなく、その話し方についても、魅力的に感じさせる講義をする研究者が多いと感じた。

また期間中にATLASのコントロールルームやLHCの初段の加速器であるSynchrocyclotron、またCERNのデータセンターなどの施設を見学することができた。

3 研究活動

3.1 Atlas Pixel Detector Upgrade

CERNの陽子陽子衝突型加速器Large Hadron Collider (LHC)は2010年に重心系エネルギー7 TeVで運転を始め、現在の重心系エネルギーは13 TeVである。LHCの設計値の2倍を超える $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の瞬間ルミ

ノシティを達成している。2026年から開始予定の高輝度LHCでは瞬間最高ルミノシティを $5-7 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ まで上昇させて運転し、 3000 fb^{-1} のデータを取得する予定である。

LHCには4ヶ所の陽子陽子衝突地点に、陽子同士の衝突から発生する粒子を検出するための検出器が置かれている。そのうちの 하나가 A Troidal LHC ApparatuS (ATLAS) 検出器である。ATLAS 検出器を用いて陽子陽子衝突事象を観測し、標準模型の枠組みを越える物理現象の発見を目指す実験がATLAS 実験である。

ATLAS 実験では高輝度LHCに向けて検出器をアップグレードする予定である。ATLAS 検出器には粒子を検出するために様々な検出器があり、その一つがピクセル検出器である。ピクセル検出器は荷電粒子の飛跡の検出に用いられる内部飛跡検出器の一つである。ピクセル検出器は半導体検出器であり、荷電粒子が半導体を通過したときに生成される電子・正孔対を信号として読み出す。ピクセル検出器はATLAS 検出器の最内層の陽子陽子衝突点にもっとも近いところに置かれているため、ほかの検出器と比べて放射線損傷による特性変化が顕著である。1 MeV 中性子等量で 10^{14} cm^{-2} が現在の検出器の放射線照射の上限であるが、 3000 fb^{-1} のデータを取得し終えた時には、ピクセル検出器は位置に依存して $10^{15} - 10^{16}$ の照射が見込まれている。そのため、2026年から開始予定の高輝度LHCに向けてすべてのピクセル検出器を交換する予定である。

現在、新しいピクセル検出器のモジュールの量産に向けた研究開発が行われており、私はこれに大きく関わった。用いられる予定のモジュールの一つをピクセル検出器の下側から見たものを図1に示した。高ルミノシティ化に対応させ占有率を低下させるため、1ピクセルあたり $50 \times 400 \mu\text{m}^2$ から $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ とする。ピクセルの細分化に伴い読み出しの電気回路の発熱が大きくなるため、高輝度LHCではモジュールの冷却がさらに重要となる。冷却は図1に示す熱伝導の良い炭素性のCooling blockを用いてモジュールの下側から行われる。

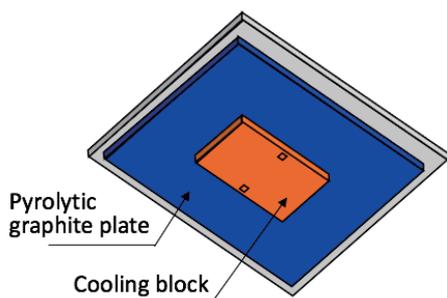


図 1: ピクセル検出器に用いられるモジュール。

現在 Cooling Block がモジュールに接着された段階である。それによりノイズが大きくなるか、信号波形に大きな変化がないか、モジュールの接着を行う工程で信号が出なくなるピクセルがないかなどを試験しなければならない。私は Cooling block とモジュールの熱伝導を確認し、モジュールの性能試験をすることができる新しいセットアップを製作した。

3.2 製作したセットアップの性能

以前のセットアップではモジュールに冷たい空気を当てることによりモジュールの冷却を行っていたため、このセットアップでは Cooling block とモジュールの熱伝導を試験することはできなかった。そのため私は図 2 のようなセットアップを製作した。このセットアップでは冷却器によって真鍮台が冷却され、その上のモジュールが吸引器によって真鍮台に吸着されるようにして Cooling block を用いてモジュールを冷却した。私は二つの試験によりこのセットアップでモジュールの試験を行うことができるか確かめた。

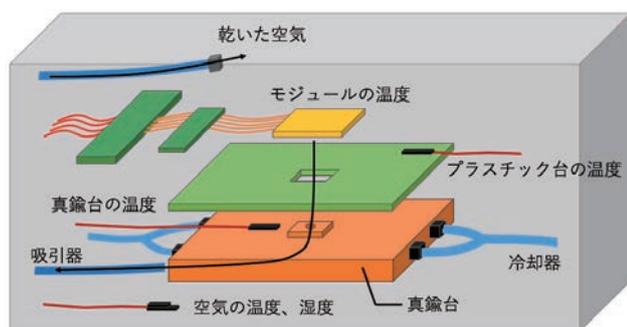


図 2: モジュールの試験のための新しいセットアップの概略図。

まず一つが熱伝達の試験であるモジュールの電源を入れない状態で冷却器の設定温度を様々な温度に設定し、真鍮台、プラスチック台、モジュール、箱内の空気の四つの温度を測定した。その結果を図 3 に示した。熱伝達の様子と、熱の損失を見ることができる。

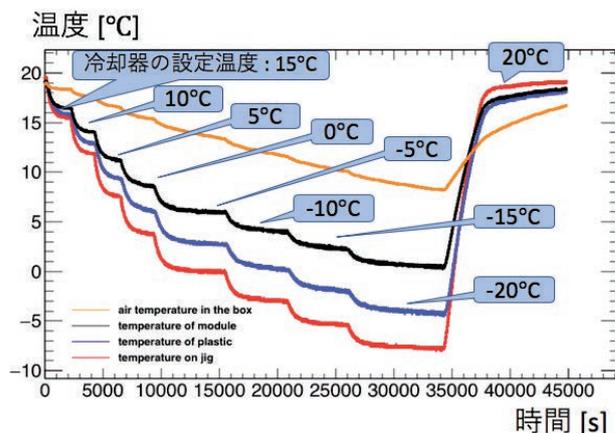


図 3: セットアップの熱伝達試験。様々な設定温度で熱伝導の様子を測定した。温度の低い順に真鍮台、プラスチック台、モジュール、箱内の空気を示す。

もう一つがノイズの試験である。このセットアップが元のセットアップと比較して読み出しにおけるノイズが大きくなっていないかどうか試験を行った。電荷 2900 個に当たる電荷を繰り返しモジュールに注入しながら、読み出しでかけられる閾値電圧を変化させて、閾値電圧を超えるイベント数を測定した。その結果が図 4 である。この曲線の鈍りはノイズによるものであり、鈍り具合を測定することによって各ピクセルにおけるノイズの測定を行う。このノイズの測定を二つのセットアップで

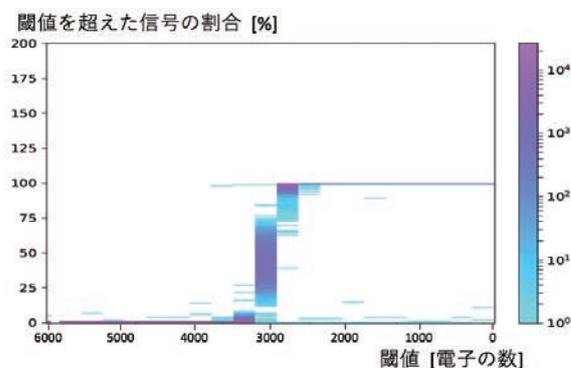


図 4: ノイズの測定の方法。この曲線の鈍り具合がノイズ。

行い、各ピクセルにおいてノイズの大きさの差の分布を求めた結果が図 5 である。およそ 2900 個の電子を注入したときの典型的なノイズの大きさは電子 130 個程度であるが、ノイズの差が中心値で電子 6 個であることを考え、新しいセットアップは以前のものと比較しノイズが大きくなっていないことがわかった。ノイズの大きさはまた電子数 80 付近の小さいピークは挙動が異なるピクセルによるもので、この理由については今後の課題となった。

これらの試験より、新しいセットアップはモジュール

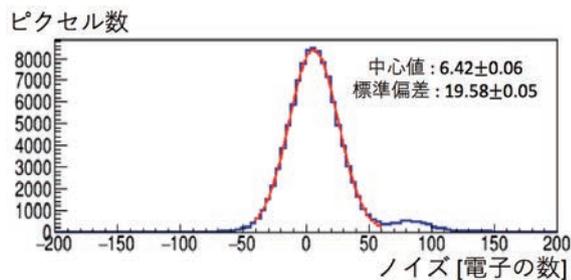


図 5: 各ピクセルでのノイズの大きさの差の分布。

の性能試験を行うのに十分用いることができることがわかった。

3.3 モジュールの熱伝達試験

Cooling Block の接着の個体差がモジュールの性能に影響を及ぼすことが予測されるため、将来的にこのセットアップを用いて Cooling block とモジュール間の熱伝達の試験を行う。そのためモジュールと真鍮台の間に厚さの異なる紙を挟むことで、熱伝導が悪いモジュールを再現し、試験を行った。図 6 がその結果であり、熱伝導と冷却の相関を見ることができた。今後、意図的に Cooling block とモジュールの間の接着が悪いものを作り、熱伝導のモジュールの性能への影響を調べる予定である。

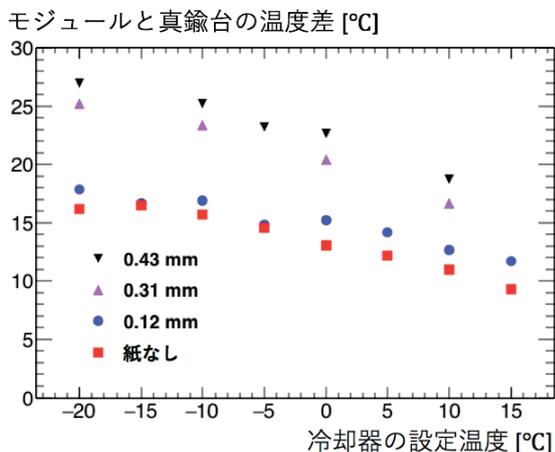


図 6: 紙を用いた熱伝導の悪いモジュールの再現。厚さの異なる紙を用いたときのモジュールと真鍮台の温度差を測定した結果。

4 CERN での生活

私は CERN に滞在中、講義のある前半は午前中は講義を受け、その後 Summer Student たちと一緒に昼食を食べた。前半にはその後、講義が終わった後半には午前中から研究室で研究活動を行った。そして夕方以降はほぼ毎日 CERN の Restaurant 1 で過ごした。

プログラムが始まってすぐの頃は、夕方一緒にいる友達も最初の Welcome Session で会った友達など数人だったが、CERN では誰もが気さくに積極的に様々な人に話しかけ、初対面でも躊躇なく話しかけられる雰囲気があった。私も授業で隣に座ったほかの Summer Student に積極的に話しかけたり、授業後の昼食をいろんな人と食べることで友達を増やしていった。夕方には世界各国から集まったほかの Summer Student たちと自分の国や文化について話したり、その日のこと、週末の予定などを話し合った。数週間たつと夕方一緒にいる友人も増え、週末と一緒にジュネーブ市内を散策したり、レマン湖で泳いだり、近くのサレーヴ山にハイキングに行くような友人を作ることもできた。

5 最後に

私がこのプログラムで学んだことで一番大きいことは、新しい環境に身を置くとき、恐れずにその環境に飛び込み、そこでのやり方に従うことである。今回私は初めて日本人がいない海外の環境で研究を行った。自分でもそのようなつもりはなかったが、最初の頃はよくスーパーバイザーの一人に “Don’t be afraid! Come and ask whatever you want!” と言われていた。確かに、この質問をしていいのだろうか、今この時間でいいのだろうかなどと考え話す時間が遅れたりすることが多々あった。また、私が所属していたグループで行われていたミーティングでは、ほかの誰もが分かっているような些細な質問でも、誰もが何も気にせず質問していた。私がそれを理解して質問を臆することなくするようにしたことで、スーパーバイザー含め一緒にやっていた研究仲間とも、お互いに気持ち良く研究を行うことができた気がした。また初対面の人でも恐れることなく躊躇なく話しかけたことで、たくさんの友人を作ることができた。

また、このプログラムで知り合った世界各国の友人を含め、CERN で作った人間関係や、このプログラムを通して得た経験はかけがえのないものであり、今後の自分の研究生活や人生において生かしていきたいと思っている。また、私がこのプログラムで多くを学んだように、来年以降参加する学生も自分で新しい環境に飛び込むことで多くを学ぶことができると思うので、来年以降も今年同様にこのプログラムに参加する機会を学生に与えて欲しいと思っている。

最後になりましたが、KEK の方々の援助をはじめ、多くの方のお力添えのおかげでこのプログラムに参加し多くを学び、かけがえのない経験を積むことができました。この場をお借りして、皆様に御礼を述べさせていただきます。