

CERN Summer Student Programme 2023 参加報告

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 修士1年

新居 智将

arai@hep.phys.s.u-tokyo.ac.jp

2023年(令和5年)10月18日

1 はじめに

2023年6月26日から8月25日までの9週間、スイス・ジュネーブ郊外に位置するCERN(欧州原子核研究機構)において行われたCERN Summer Student Programmeに参加した。約300人の学生が世界中から集まり、各々が配属されたグループにおいて研究を行いながら、講義や見学など様々なプログラムに参加し、交流を深めた。私は、FASER (ForwArd Search ExpeRiment) 実験において、TrackerのAlignmentに関する研究に主に従事した。以下では、活動内容及び感想を報告する。

2 活動内容

2.1 講義

プログラムの最初の5週間の午前中にはMain Auditoriumにおいて講義が行われた。プログラムには多様な背景を持つ学生が参加しており、素粒子や検出器についての基礎的な内容から標準理論を超えた物理についての発展的な内容に加えて、情報処理や機械学習などの技術の活用、医療などの様々な方面の応用をテーマとした講義も行われた。どの講義も非常に興味深い内容で、講義後の質疑応答も活発であった。

2.2 見学

プログラム中に2回、VisitsというCERN内の実験施設の見学ツアーが行われた。1回目は反陽子減速器とデータセンター、2回目はATLAS Visitor Centerとシンクロサイクロトロンを訪ねた。CERNの実験設備を見学する貴重な機会であった。

2.3 研究

2.3.1 FASER (ForwArd Search ExpeRiment) 実験

FASER 実験 [1] は Large Hadron Collider(LHC) を利用した新粒子探索実験である。LHC を用いた新粒子探索実験の中でも、FASER 実験では、”Intensity frontier” と呼ばれる領域で、弱い相互作用しかしない軽い新粒子を探索する。FASER の検出器は ATLAS 実験の衝突点から 480 m 下流に置かれており (図 1)、ATLAS 実験の陽子・陽子の衝突で発生した粒子のうち比較的長い寿命を持ち、検出器まで到達した上で検出器内で崩壊するような新粒子の発見を目標としている。



図 1: FASER 検出器の設置場所

FASER 検出器はシンチレータ、永久磁石、飛跡検出器、カロリメータからなる。永久磁石の生成する磁場で荷電粒子の飛跡を曲げ、飛跡検出器によって飛跡を検出する。この時の曲がった方向によって荷電粒子の電荷を、曲率によって運動量を特定することができる。ここで、飛跡検出器が対象とする荷電粒子の運動量は $O(10)$ GeV/c から $O(1)$ TeV/c 程度である。また、FASER 検出器のすぐ上流には FASER ν 実験のための原子核乾板検出器が配置されている。

2.3.2 FASER 実験における飛跡検出器のアライメント

FASER 検出器 (図 2) の中に飛跡検出器は 4 箇所に配置されている。各箇所に置かれている飛跡検出器は

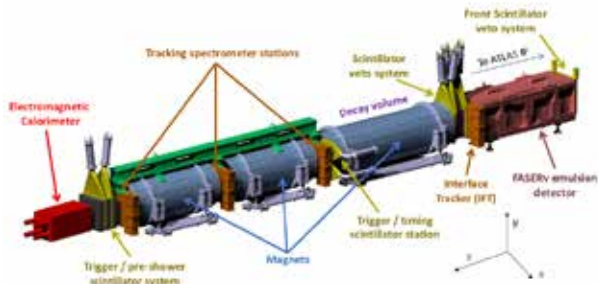


図 2: FASER 検出器 [1]。粒子は図において右奥から左手前に向かって入射する。

station と呼ばれる。1 つの station は 3 つの layer からなり、1 つの layer は 8 つの Semiconductor tracker (SCT) module からなる。1 つの module は 2 つのシリコンストリップ検出器 (SSD) が 40 mrad だけずらして貼り合わされている。また、4 つのうち最も上流にある station は FASER 検出器の中でシンチレータの次に上流側に配置されており、Interface Tracker (IFT) と呼ばれる。それ以外の 3 つの station は FASER 検出器の中央部～下流側にあり、backbone と呼ばれるフレームで固定されている。

SSD には 80 μm 間隔で帯状の電極が張られており、荷電粒子が電極の付近を通過すると信号を出すため、信号が検出された電極の位置から粒子の飛跡を再構築することができる。しかし、実際の検出器の配置には理想の配置からのズレが生じるため、飛跡を再構築するためにはそのズレを求め、補正する必要がある。このズレの値を求める作業を飛跡検出器のアライメントと呼び、ズレの値はアライメントパラメータと呼ばれる。

現在の FASER において試行されているアライメント手法は、各イベントに対して信号が出たストリップの集合からトラックを再構築し、そのトラックとの残差からカイ二乗値を計算して、全てのイベントにおけるその和が最小となるように動かすといったものであった。私が参加した 6 月までの時点で、その手法によって IFT を除いた 3 station のアライメントには成功していた。しかし、同様の方法で IFT を含む 4 station のアライメントを行おうという試みについては失敗していた。原因としては IFT は他の station と異なり、backbone による固定がないため、想定される位置からの差異が比較的大きいからであることが予想された。この問題を解決することが私のプログラム内での課題であった。

2.3.3 手法

現在のアライメントの手法は摂動的な手法であると捉えることができる。原因が IFT の大きなズレにあると

すれば、現在の手法によって適切な値を得ることができないのは初期値の問題であると予想した。そこで、適切な初期値を求め、その初期値を用いて 4 station のアライメントを行うことを提案した。

初期値は 3 station についてのアライメントの結果を用いる。各トラックについて、IFT の情報を無視して、アライメント後の 3 station におけるクラスターからトラックを再構築する。これを IFT まで外挿し、トラックの通過位置に対する IFT におけるクラスターの残差を調べる。各 module は平行でない 2 つの SSD からなることから、この 2 つにおける残差を合わせる事で、module の存在する平面内でのズレ方が分かる。

2.3.4 結果

図 3 は上記の結果で得られたアライメントパラメータを反映した時の、各イベントのトラックに対するカイ二乗値の分布である。アライメントが成功すれば 1 付近にピークを持つカイ二乗分布に従うと予想される。図の実線はヒストグラムをカイ二乗分布でフィットしたものであり、このことからピークが 0.857 程度のカイ二乗分布にしたがっていることがわかる。よって、アライメント後のクラスターのトラックに対する残差の分布は分解能から予想されるものにほぼ等しく、4 station のアライメントにおよそ成功していると考えられる。

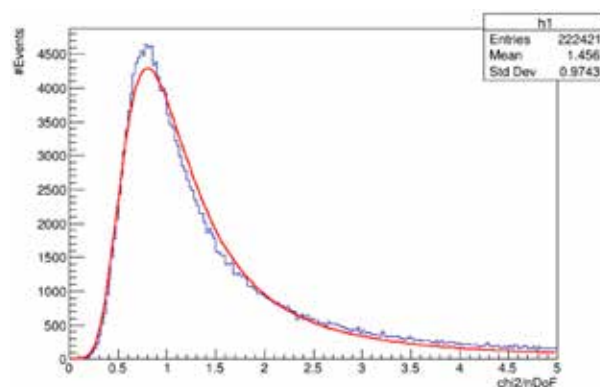


図 3: アライメント後のカイ二乗値の分布

2.3.5 議論

得られた結果から、4 station に対するアライメントは成功にかなり近づいたと言える。しかし、上記の分布のピークは 0.857 であることから、理想の分布に対して全体的にカイ二乗値が小さい方にズレており、やや over fitting の傾向が見える。実際、得られたパラメータを見ると同じ layer 内の module 同士が相対的に 1 mm 程度ズレていることがあり、これは layer の構造および製造過程の観点からは起こりにくい。よって、次の段階と

しては現実に即した制約の下で初期値を設定し、繰り返すを行うことが必要であると考えられる。

2.4 Student Session

プログラム中、8月9日から11日にかけて開催された Student Session において、自分の研究について発表する貴重な機会を得た。自分の研究や参加している実験について知ってもらえるだけでなく、聴衆からの質問を受け交流することができた。また、準備するにあたって実験の背景や立ち位置についても改めて理解を深めることができた。

3 CERN での生活

プログラム中、Meyrin 側の hostel に滞在した。シャワー・トイレが室内に完備されている部屋を選んだため、やや宿泊費は高かったが快適であった。また、普段研究を行った部屋や講義の行われた Main Auditorium から近く、Restaurant 1 から近かったため、利便性も高かった。食事は基本的に CERN 内のレストランを利用し、特に問題なかった。ただし、一度体調を崩した時日本から持って行った日本食が役に立った。

FASER group で研究を行うにあたって、FASER の検出器およびビームテストを見学する機会があった。FASER 検出器を見学する際に LHC トンネルに入ることもでき、非常に貴重な経験となった (図 4)。



図 4: LHC トンネル内において撮影した写真 (左が著者)

週末にはスイスおよびフランスの都市を観光したり、他の Summer Student Programme の学生と自炊したりした。観光はジュネーブの他にベルンやツェルマットに行き、他国から来た学生とも交流することができた。また、8月の初旬には Swiss National Day と呼ばれる祝日があり、FASER の実験メンバーとジュネーブ市内を見て回った。ATLAS グループや KEK の方々の協力もあり、CERN で研究を行っている研究者と交流する機会を得て、面白いお話を伺うことができた。平日の研究だけ

でなくそれ以外の時間においても、非常に楽しく、また有意義な時間を過ごすことができた。

4 今後の抱負とプログラムへ望むこと

今回のプログラムにおいて、講義や研究などの中で多くのことを学んだが、それ以外にも現地での研究者や他の参加者との交流の中で視野を広げることができた。研究者のキャリアが非常に多様であることについての実感や、また海外で働くことについても今回の経験によって具体的な想定ができるようになり、肯定的に選択肢に入れることができるようになったと思う。これを生かして自分が今後どのように物理、ひいては社会に関わっていくかよく考えて選択したい。

私がこのプログラムへ望むことは参加者数・参加期間の拡張である。もちろん限られた予算・枠の中で非常に困難な要望であることは承知している。それでも、私がこのプログラムの中で得られた様々な発見や刺激をより多くの人に少しでも長く経験してもらえたらと考える。

5 謝辞

今回のプログラムに参加するにあたって非常に多くの方々にお世話になりました。推薦状を書いていただいた花垣教授、渡航準備から帰国後にわたって多くの支援を頂いた有本様、現地での支援をいただいた橋本様をはじめとした KEK の皆さま、このプログラムについてお教えくださり、推薦状など様々な支援を頂いた横山将志教授をはじめとした東京大学 横山・中島研究室の皆さまには大変お世話になりました。また、現地における supervisor であった稲田知大様、Susanne Kühn 様には研究・生活面の両方において多大なる支援をいただき本当に感謝しております。Jamie Boyd 様、Brian Petersen 様、音野瑛俊様、Ke Li 様、Samuel Zahorec 様、Tobias Böckh 様、Ali Garabaglu 様をはじめとした FASER Tracker Team の皆様、また、有賀昭貴様、大橋健様、Jeremy Atkinson 様、奥井一暁様、奥村虎之介様、藤森春陽様、Yuxiao Wang 様、Shunliang Zhang 様をはじめとした FASER group の皆様にも様々な支援・助言をいただきました。その他、現地の CERN で働いていた日本人研究者の皆様にも大変お世話になりました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] H. Abreu *et al.* CERN-FASER-2022-001 (2022).