

# CERN Summer Student Programme 2015 参加報告

東京大学理学系研究科物理学専攻修士1年

樊星

xfan@icepp.s.u-tokyo.ac.jp

2015年9月16日

## 1 はじめに

CERN Summer Student Programme とはスイス・ジュネーブに位置する欧州原子核研究機構(CERN)の開催する夏の学校であり、物理、数学、計算、物質工学など幅広い分野から学部後期あるいは修士前期の学生を300名弱採用し、CERNでの研究に参加させるプログラムである。その2015年プログラムに参加した私の研究および生活について述べる。

## 2 活動について

### 2.1 講義

7月6日から8月7日までの平日は午前中に講義があった。講義では素粒子実験の基礎から加速器、検出器、統計、解析、さらには医療まで様々な内容を扱った。もちろんCERNということなのでLHC, FCC, CLIC, ISOLDE, ADなどCERNに関する内容を扱うことが多かったが、普段日本の講義を受けている身からすると、むしろ新鮮味が多く楽しめた。とくにFCCについての講義は鮮明に覚えており、2050年を目処に稼働、なんて数字が出ると一研究者として人生を捧げてみたい衝動に駆られ、ぞくぞくしたものだ。

### 2.2 Workshop

様々な研究現場を、実体験を通じて学べる Workshop が多岐にわたり開催された。特に印象深く残っている Micro Pattern Gas Detector Workshop について記す。その Workshop では GEM を自分の研究としている Summer Student の手伝いを行った。彼のプロジェクトは GEM の増幅度測定であったが、ドリフト電場によって増幅度が変わるという現象に悩まされていた。Workshop ではそれが物理的原因によるものだと特定したのち、ドリフト電場を掃引しながら増幅度を再測定した。増幅度のドリフト電場に対する依存性を定量的に示したところで時間切れとなったが、これらの結果は GEM グループに引き継がれ以後の研究に利用されている。

また、GEM について以前から関心があったので積極的に議論していたところ、Workshop の教員に目を付けられ、自分の研究である RPC (後述) について学生の前で講義をするように頼まれた。学生5名ほどと、GEM を専門にする教員の前でホワイトボードを用いて RPC について簡単に説明

した。学生たちはいろいろと質問をしてくれて、なんとかそれに答え、詰まるところは教員に助言をもらう、という形で20分ほど話した記憶が有る。GEM について学べた上大勢の前で話す貴重な経験もできた、収穫の多い Workshop であった。

### 2.3 研究

プログラムの全期間を通じて、各学生は指導教員のもと CERN でのプロジェクトを与えられる。私は PH-DT 部門の Beatrice Mandelli 氏の下で RPC というガス検出器の新たなガス配合の探索を行った。なお、基本的なガス検出器の原理と RPC の特性については[1],[2]などを参照いただきたい。

#### 2.3.1 RPC とガス配合

RPC とは Resistive Plate Chamber の略称であり、bakelite などの高抵抗プレート数を数 mm 離して平行に配置し、数~10kV/mm の電場をかけて動作させるガス検出器である(図1)。荷電粒子がガス領域を通過すると、ガス分子を電離させ、電離された電子は雪崩増幅により  $10^6$  以上増幅する。1m<sup>2</sup> 程度のプレート面積により広検出領域を確保でき、また平行電場がかかっているためほかのガス検出器と異なりドリフト領域が存在せず、時間分解能とレート耐性が非常に良い。

RPC には二種類の動作モードがあり、雪崩増幅度が  $10^6$  程度では読み出し電荷 1 pC, 時間分解能 1 ns 未満、レート耐性 1 kHz/cm 程度の avalanche モードで動作し、雪崩増幅度が  $10^8$  程度では読み出し電荷 10 pC, 時間分解能数 ns, レート耐性 100 Hz/cm<sup>2</sup> 以下の streamer モードで動作する。

Streamer mode は増幅度が Rather limit を超えたときに現

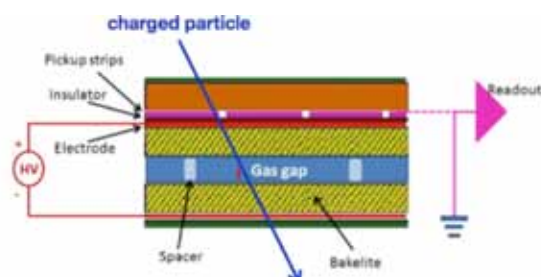


図1 RPC 検出器の概略図。二枚の平行プレート間にガスを封入し、数-10 kV/mm 程度の電場を印加して動作させる。

れるモードであり、avalanche モードとは異なる物理過程である(図2)。二つのモードのどちらで動作するかは印加電圧およびガスの電子親和力を調整し、増幅度を調整することで決定できる。時間分解能およびレート耐性を優先し、ATLAS や CMS の RPC は avalanche モードで使用されており、われわれもこのモードでの動作を追求した。

封入ガスとしては、イオン化されやすくある程度の電子親和力のある  $C_2H_2F_4$  を 95.2%，軟 X 線の吸収クエンチャである  $iC_4H_{10}$  を 4.5%，増幅度調整のための電子親和力の非常に高い  $SF_6$  を 0.3% 混ぜた「標準混合」と呼ばれるものが ATLAS, CMS で用いられている。この標準配合を用いれば avalanche モードで動作させることが可能であるが、環境への影響という観点から見ると、 $C_2H_2F_4$  および  $SF_6$  は  $CO_2$  の 1000 倍以上の温室効果を持ち決して優れたガスとは言えない。そこで、次世代の RPC のためのガス配合として、

- 1) 標準配合と同等の検出効率，時間分解能を持ち，
  - 2) 環境に悪いガスをなるべく含まない
- という条件を満たすものが求められている。

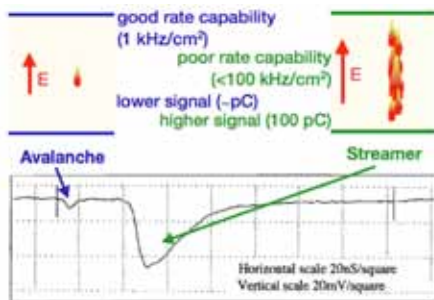


図2 streamer mode, avalanche mode の概略図と読み出し信号。

### 2.3.2 実験について

以上をもとに、新たなガス配合探索に向けた実験を行った。実験は探索のためのセットアップの立ち上げから始まった。RPC 自体はあったが、実験室の温度、圧力、湿度のモニター、内部ガスの流量測定、RPC への印加電圧および電流の記録、シグナル読み出しの電子学、解析方法の確立など、ガス配合探索に必要なセットアップは揃っておらず、すべての環境を一から構築した。期間中に標準配合のほかに様々なガスをテストしたが、ここでは標準配合についてのみ述べる。図3に今回用いたセットアップを示す。

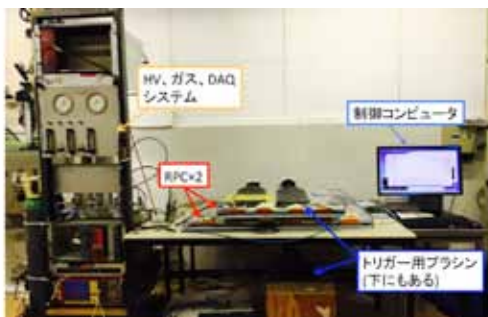


図3 本 RPC のセットアップ。RPC 上下のブラシンでコインシデンスをとり宇宙線をトリガーして DAQ を行った。

本実験ではギャップ 2 mm の RPC の上下に 2 枚のプラスチックシンチレータ (ブラシン) を配置し、宇宙線をトリガーすることで測定を行った。DAQ は CAEN の V1730 Digitizer で行われ、一つのガス配合・印加電圧セットに対し約 2 Hz の DAQ レートで 10 分程度データを取得した。解析には図3の上側の RPC のみを使用した。

解析について述べる。今回のデータ取得は CAEN の V1730 Digitizer で行ったため、そこから avalanche および streamer モードを判別し、時間情報、パルス波高、総電荷量を算出した。それらの物理量を抜き出した後、まずは電圧を変えることで streamer mode が増えることを確認した。図4に電圧を変えた時の総電荷量のヒストグラム変化を示す。電圧を上げるにつれ streamer モードが増えていることがわかる。

また、RPC の検出効率を算出するにあたり、ブラシンを鳴らす宇宙線のうち、どれほどの割合が RPC を通るかわかる必要がある。その計算についてもシミュレーションを用いて較正を行った。その補正をしたのち、電圧の関数として検出効率および信号中の streamer モード比率がどう変わるかを考察した。図5に標準混合の  $SF_6$  比率を変えた時の検出効率(実線)と streamer モード割合(破線)のプロットを示す。 $SF_6$  により streamer モードが抑えられ、標準混合において 9.6~9.8 kV で条件1)に合致する良い動作をすることがわかる。

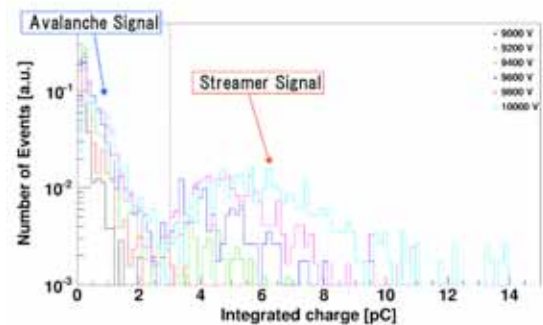


図4 標準混合において、様々な印加電圧に対する総電荷量の分布変化。高電圧において streamer モードが増えていることがわかる。

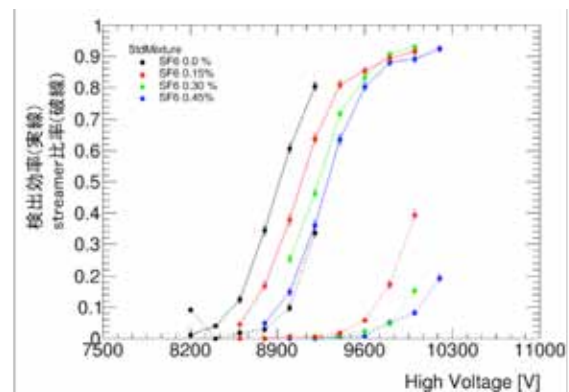


図5 標準混合および  $SF_6$  の量を変えた配合での、検出効率および streamer 比率の電圧依存性。 $SF_6$  が streamer を抑えること、標準混合 ( $SF_6$  0.3%) において、9.6~9.8 kV で良い動作をすることがわかる。

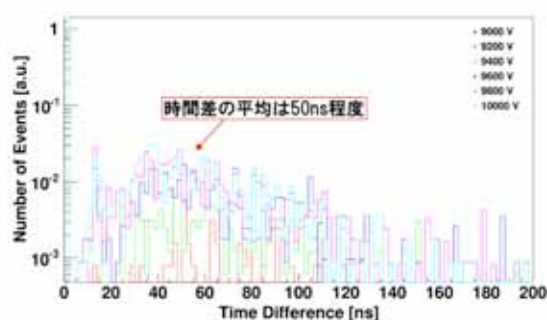


図6 標準混合において、様々な印加電圧に対する Avalanche Signal と Streamer Signal の時間差の分布。時間差平均は 50 ns 程度である。

さらに、図2のような avalanche・streamer signal 両方が来る場合について、その時間差を抜き出す解析を行った。モードを分離する解析は初めての試みであり、これからさらに改善が加えられる予定である。図6にその結果を示す。

### 2.3.3 これから

本 Summer Student 期間中に確立した実験手法および解析手法は、今後どのようなガス配合をテストする上でも応用可能なものである。また標準配合以外のガス配合についてのテスト結果は、本年後半に論文として出版される可能性があるためここには記さなかった。今後も指導教員とコンタクトを続けることでRPCの開発に携わるつもりである。

## 3 生活について

研究活動以外の時間は Summer Student Football Club の活動に専念していた。Summer Student Football Club は、Summer Student 参加学生内の有志者で構成され、週二回の match を通じて football を楽しむことを目的とした Club である。もちろん研究活動を最優先し、football はすべて研究活動終了に行われた。私はプログラム中の Football Club すべての match に参加した。

私は football 未経験であったため、初めこそはパスやドリブルがうまくできず、ゴール前で絶好機を外してしまうことや自分のミスから失点に繋がることも多く、ほかの選手に非常に申し訳なかった。しかし、次第に元からの足の速さとフィジカル、そして位置取りのセンスを見出されてセンターフォワードに抜擢されるようになり、それからは得点を量産できるようになった。とくにダイレクトシュートのうまかった私は、他選手との連携で得点を重ね、常に相手から警戒されるほどの選手になれた。

私が唯一のアジア学生だったこともあり、football の他学生はすぐに名前を覚えてくれた。この Football Club 活動を通じて出来た友人は非常に多く、CERN 内で遭遇した際には彼らの研究の話について聞き刺激を多くもらえた。Football Club での一枚を図7に示す。

## 4 今後の抱負・プログラムへ望むこと

普段日本でしか研究をしていない私にとって、このプログラムを通じて様々な研究環境を体験できたことは非常に有意義であった。検出器、解析、シミュレーションなど、幅広い環境を一度に体験し、議論を通じ自分の強みや弱みを洗い出すこともできた。ここで培ったことを自分だけでなく様々な研究に還元することが日本を代表して参加した私の義務の一つであると考えている。

一方で、このプログラムは学生同士の議論の場を増やす工夫をもっとすべきであると思う。学生同士でのポスター発表 Poster Session および講義形式で行われる Lecture Session は、1週間に1度程度まで増やしても良いと思う。もっと多く研究の話を知りたいし、自分の研究についてもっとアピールをしたかった。



図7 Summer Student Football Club での一枚。多いときは20人を越える人数で試合を行った。円模様のシャツを着ているのが筆者。ちなみにこのシャツは Summer Student 2015 オリジナルシャツである。

## 5 謝辞

このプログラムに参加するにあたり、KEK の皆様、とくに宮居美紗様には非常にお世話になりました。東京大学の浅井祥仁教授、難波俊雄助教には応募にあたり強く背中を押していただき、大変感謝しております。CERN の指導教員である Beatrice 様および検出器グループの皆様は、素人の私を丁寧に指導して頂き、おかげで一つのプロジェクトを遂行することができました。また、現地で働かれている日本人研究者の皆様には大変お世話になりました。とくにシカゴ大学の奥村恭幸様には日々の生活から研究まで、様々な助言をいただき大変感謝しております。

最後に、日本からの参加者である芦田さん、澤田さん、周さん、平本さんのおかげで楽しい時間を過ごすことができました。ありがとう。

## 参考文献

- [1] F. Sauli, Gaseous Radiation Detectors. Cambridge Univ. Press, 2010.
- [2] Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments; 2nd ed. Springer, 1994.