

## CERN Summer Student Programme に参加して

東京大学理学系研究科物理学専攻修士1年

安達 俊介

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

2013年10月25日

### 1. はじめに

この夏、私は7月1日～9月6日の10週間にわたって CERN Summer Student Programme に参加しました。このプログラムは夏に世界中から物理学・工学・情報工学などを専攻する学生が一同に集まり、CERNでの研究に携わるとともに講義や実験施設の見学など多彩な活動をするプログラムです。CERNでの実際の私の活動内容とCERNでの生活について述べます。

### 2. 活動内容

#### 2.1 研究

私はCMSのミュオン検出器のR&Dや製作を行っている研究室に配属されました。この研究室では、今までもミュオン検出器として用いられてきている Resistive Plate Chamber (RPC) の製作と、次のアップグレードでCMSの前後方に挿入される Gas Electron Multiplier (GEM) の長期間使用での劣化に対する研究および実際のプロトタイプ製作を行っていました。

私はこの研究室で、この新しくCMSに導入されるGEM検出器の展示用の実物モデルの設計をおもに行いました。

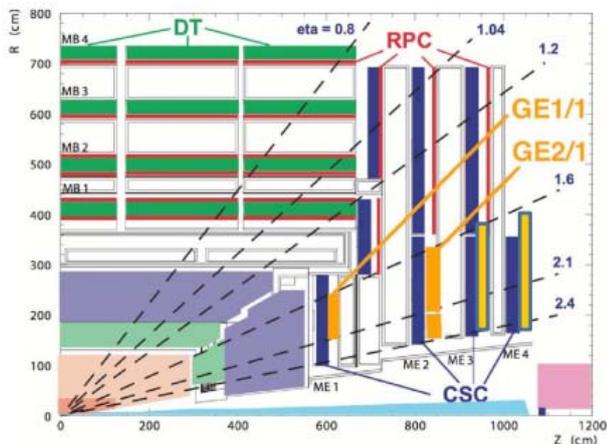


図1 アップグレード後のCMSの断面図。上下とエンドキャップの外側の部分はRPCを用いるが、エンドキャップの前方向(GE1/1とGE2/1の部分)にはGEMを用いる。

#### 2.1.1 CMSにおけるGEM

GEMは先ほど述べたように新しくCMSの前後方の領域に挿入されるミュオン検出器です。今後のLHCのアップグレードに伴うルミノシティの増加によって、前後方ではさらなる高レートでのデータ取得を必要とするために、CMSではこれまで用いられてきたRPCではなく、高位置分解能で高レートでのデータ取得が可能なGEMを利用することになっています。

具体的には、図1で示されているCMSの $\eta = 1.6 \sim 2.4$ の領域にGEMは挿入されます。

#### 2.1.2 GEMの構造と機能

GEMはmicro stripからなるreadoutを用いて高位置分解能を出すことのできるMicro-pattern Gas Detector (MPGD)の一種です。電子の増幅にはGEM foilと呼ばれる $50\mu\text{m}$ 厚のカプトンシートを $5\mu\text{m}$ 厚の銅シートではさんだ図2のようなシートを用いています。これには $70\mu\text{m}$ の穴が規則的に空いており、両側の銅シート間に電圧をかけることで穴を通る電子を増幅します。

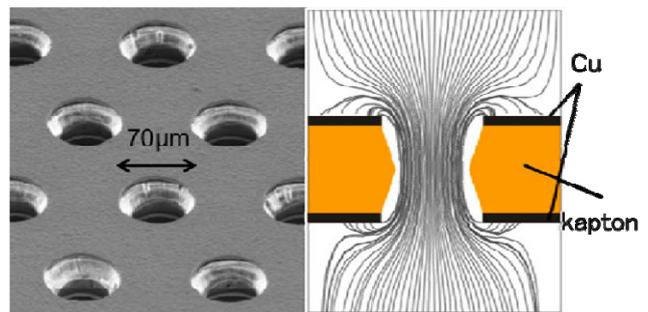


図2 GEM foilの電子顕微鏡写真(左図)とGEM foilの断面と電場の模式図(右図)

ミュオンを検出する際の具体的なプロセスとしては、まずGEM内部を満たしているガスAr 45% / CF<sub>4</sub> 40% / CO<sub>2</sub> 15%をミュオンが電離させてprimary electronとpositive ionを生成します。図3の上側から下側にかけてGEM内部全体にかかっている電圧によってionが図3で上側にあるdrift planeに、electronが図3の下側にあるreadout

に drift します。GEM では、drift plane と readout の間に GEM foil を挟むことで、ミューオンによるガス分子の電離によって生じた primary electron を約 8000 倍までに増幅します。一枚の GEM foil の両側の電位差は 400 V、または 320 V です。厚さが  $60\mu\text{m}$  しかないので電場としては  $80\text{kV/cm}$ 、または  $65\text{kV/cm}$  の大きさの電場がかかります。CMS で用いる GEM では MPGD で大きく問題視される放電現象を防ぐために 3 枚用いることで 1 枚 1 枚にかかる電圧を小さくしています。

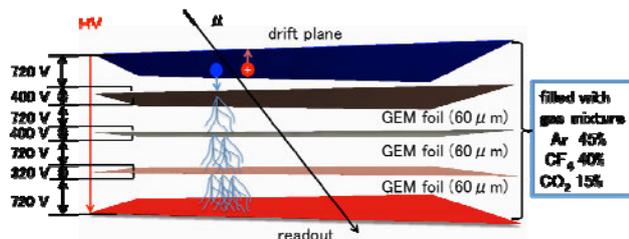


図3 GEMの内部構造とミューオン通過時の過程

### 2.1.3 GEMの設計と制作

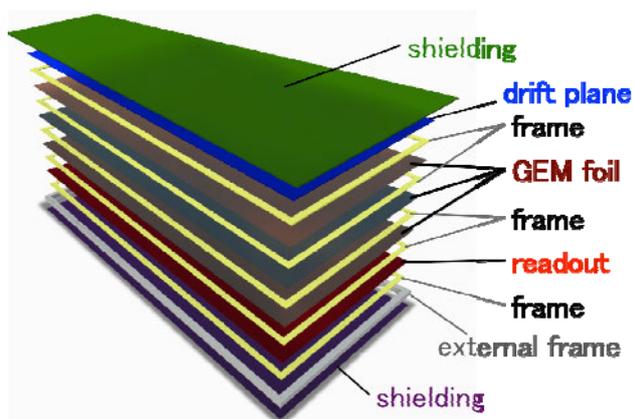


図4 GEM全体構造

私の仕事は、展示用のGEMの設計でした。図4から分かるようにGEMはGEM foil 3枚を用いるだけでなく、drift plane、readout、上下のshielding、またそれらを支えるためのframeといった多くの層からできており、完成したものを外から見ても中の構造や仕組みがわかりにくい構造となっています。そのため、展示用の設計をする際に内部構造が見えるようにデザインしました。様々なデザインのGEMを作った中から図5のデザインを選び3D-CADを用いて設計しました。

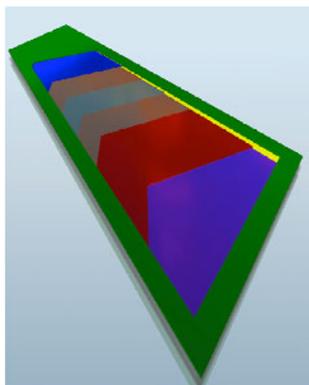


図5 GEMモデルの3D-CAD

今回の私の滞在期間中にはエンジニアの他の作業や休暇期間が重なってしまったこともあり、私の滞在中に製作までいたりませんでした。帰国後にも指導教官とコンタクトをとり製作していただきました（図6）。

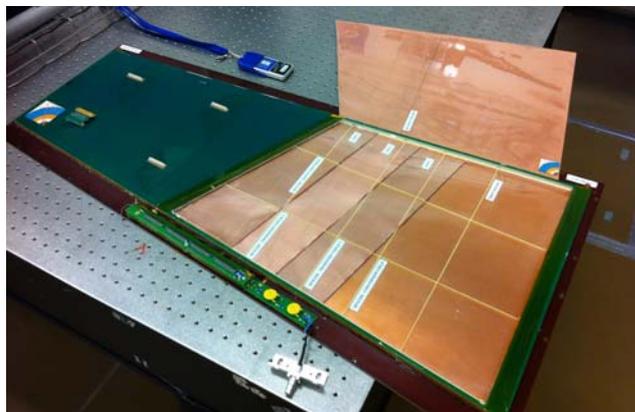


図6 GEMモデルの完成品。製作過程でいくつか設計を変更した。

## 2.2 その他の活動

このSummer Student Programmeでは通常の指導教官のもとでの研究の他に、7月3日～8月9日の午前中に開講されたSummer Studentのための講義や、CMS検出器の見学、workshopなどの幅広い活動がありました。

講義では、検出器や加速器、統計学といった加速器実験での基礎となる話や、実際のAtlasやCMSでのtriggerやdata acquisitionの実践的な話、Standard ModelやSUSYといった理論の話、宇宙論や原子核実験、医療への加速器の応用の話など本当に多岐にわたっていました。Summer Studentと一口に言っても、実際は素粒子実験を専攻としている学生の他に、原子核、素粒子理論、エンジニアリング、コンピュータサイエンスなど様々な分野の学生が参加しているので、そのために講義も多岐にわたっていました。私はこの様々な分野の講義のなかでも、Beyond Standard Modelの余剰次元に関する話に関心をもちました。実際理論を厳密に扱うのは難しいかもしれませんが、イメージを持ちやすいよう説明していましたのでとても興味をもちました。

今年はLHCが運転を停止していますので、CMS検出器の見学では幸運にも実際のCMSの地下にある検出器のそばまで見学に行くことができました。さらに、アップグレード中



図7 CMS検出器のRPCが敷き詰められたエンドキャップ

ということもあり、detector の中央部とエンドキャップが切り離されており、中の構造まで直接見ることができました (図7)。

Workshop では Si 検出器の研究室に訪問し、実際どのような研究が行われているのかを学びました。この研究室では、CMS の内部飛跡検出用ピクセル検出器に用いられている Si 検出器の R&D が行われていました。この研究室で行われている Si ダイオードの I-V 特性と Capacitance-V 特性の測定から空乏層の厚さと空乏層での空間電荷密度を求めました。内部飛跡検出器の研究においてどのような課題があり、どのように R&D が行われているのかを体験することができました。

### 3. CERN での生活

私自身海外が初めてということもあって CERN での生活はとても刺激的でした。

私の所属した研究室では毎週金曜日の夜に CERN 内のレストランでビアパーティをしていました。私もよく参加していましたが、私達がビールを飲んで楽しんでいるところからともなく誰かの知り合いやまったく知らない人などが参加してきて、大勢でテーブルを囲んで楽しむことがしばしばありました (図8)。この特にヨーロッパの方々の気さくで人見知りしないところが私の感覚としてはすごく新鮮なものに感じました。また、この機会を通して summer student だけでなく CERN の同世代の연구원など様々な人と知り合うことができました。



図8 ある金曜のレストランでのビアパーティの風景。参加していた一人が弾き語りをしているのを囲んで楽しんだ。

また、Summer Student はヨーロッパ出身の学生がもちろん多いのですが、アジアの各地から来ている学生も多かったです。そのため、ヨーロッパのみでなく、近いけれど知り合う機会の少なかったアジアの同世代学生とも親しくなれました。

### 4. 今後の抱負

この Summer Student Programme を通して本当に様々な背景を持つ人々と知り合うことができました。様々な人と交流し、様々な人の行動や思考を見聞きしまして、私は日

本で出会うことのできる人やその行動というものが世界の中では特別なく限られたものだと感じました。そのため、やはりこのプログラムの中でも世界の人々と協力していくのにコミュニケーションのとり方が容易でないことを感じましたし、そういう点でも今まで経験したことのない貴重な体験をすることができました。

今は小規模実験を通じて素粒子実験の基礎を学んでいるところですが、この Summer Student Programme の経験を活かすとともにこれからも多様な人々との関わりというのを大事にして、ゆくゆくはグローバルな大規模実験に貢献したいと思います。

### 5. 今後この Summer Student Programme に望むこと

KEK の方々には準備の際から帰国に至るまで十分すぎるほどに手厚いサポートをしていただきました。そのおかげもあり何不自由なくこのプログラムに参加することができました。

強いて望むことを述べるとすると、このプログラムは物理の学生だけでなく工学系の学生など様々な分野の学生が集まっていて、研究内容も物理とは限らず私のように工学系の研究内容となることもしばしばだと思います。そこで、Summer Student Programme の申請書を書く際にはその点にも注意してきちんとやりたい研究内容を書くよう応募した学生にはアドバイスして下さることを望みます。

### 6. 最後に

この Programme に参加する上の準備をしていただいた KEK の福田さんや現地でお世話をしていただいた KEK の吉田さんには本当に感謝の言葉しかありません。ありがとうございました。

また、現地でお会いした日本人연구원の方々にもお世話になりました。ありがとうございました。

最後に、今回 Summer Student Programme に一緒に参加した家城さん、関畑くん、山道くん、山口くん。この10週間はとてもかけがえのないものとなりました。ありがとう。これからも互いに切磋琢磨しあいましょう。