

# CERN Summer Student Programme 2022 参加報告

筑波大学理工情報生命学術院数理物質科学研究群物理学学位プログラム博士前期課程1年

今村 友香

imamura@hep.px.tsukuba.ac.jp

2022年(令和4年)11月24日

## 1 はじめに

私は2022年6月27日から9月9日までの11週間、CERN Summer Student Programme 2022に参加した。本レポートでは、その活動について報告する。CERN Summer Student Programmeでは、世界中から集まった学生が2~3か月ほどCERNに滞在し、講義の聴講や研究活動への参加の機会を与えられる。なお、物理を専攻する学生だけでなく、コンピューターサイエンスを学ぶ学生も参加している。図1は参加者全体での集合写真である。



図1: グローブ前での全体集合写真

## 2.2 施設見学

参加学生を対象に、複数グループに分けての施設見学会が行われた。1回目はATLASとSynchrocyclotron、2回目はAntiproton Decelerator(図2)とData Centreに案内していただいた。LHCはRun3のタイミングであったため、地下検出器の見学はできなかったが、様々な展示によりその規模の大きさを実感することができた。



図2: AD 見学時の集合写真

## 2 活動

### 2.1 講義

7月はじめから8月はじめまでの約1か月間、CERN内外の講師による講義が行われた。感染症対策等の観点よりすべての講義がオンラインで実施されたが、参加学生の中にはCERN内のホールを借りて集まって受講しているグループもいた。内容は素粒子物理や統計処理、加速器等多岐にわたり、参加は自由であるため、自らの興味に従って受講できる。

### 2.3 ワークショップ

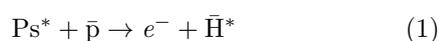
プログラム期間中には、ソフト・ハード問わず様々なワークショップが開催された。私はそのうち、ROOTワークショップとシリコン検出器ワークショップに参加した。参加人数が制限されていたこともあり、1つ1つの質問に丁寧に対応していただけた。いずれも実用的な内容で、今後の自らの研究に役立つと確信している。

## 2.4 研究

私は、CERN内のAntimatter Factoryにて行われている AEGIS 実験 (Antihydrogen Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy) に配属になった。指導教官の Benjamin Rienäcker 氏のもと、陽電子/ポジトロニウム変換ターゲットのベーキングシステムの自動化に取り組んだ。

### 2.4.1 AEGIS 実験

AEGIS 実験では、反水素の重力加速度測定を目的として実験に取り組んでいる。実験に用いられる反水素は、以下に示す荷電交換反応を経て生成される。



式中の  $\text{Ps}^*$  は Rydberg 状態に励起されたポジトロニウム、 $\bar{p}$  は反陽子、 $e^-$  は電子、 $\bar{\text{H}}^*$  は Rydberg 状態の反水素原子を表している。したがって、AEGIS 実験では、反水素生成にあたりポジトロニウムを生成する必要がある。

### 2.4.2 ターゲットベーキング

AEGIS 実験では、 $^{22}\text{Na}$  の  $\beta^+$  崩壊より得られた  $e^+$  をキッカーを通してパルスビームにしたのち、ナノ径の小さな穴を持つ Si ターゲットに打ち込むことでポジトロニウムを得ている。なお、Si ターゲットに打ち込まれた  $e^+$  のうち多くはターゲット中で対消滅を起こしてしまうが、約 10%はポジトロニウムとしてターゲット表面から放出される。

この Si ターゲットについて、 $e^+$  を打ち込む前に、ターゲットを熱することで表面の汚れを取り除いておく必要がある。表面の汚れが、ナノ径内で生成されたポジトロニウムの放出を蓋のように妨げてしまうためである。このプロセスをベーキングと呼び、ペルチェヒーターを用いて行われる。図 3 から、実際にベーキング前後で得られたポジトロニウムの量が変化していることが読み取れる。ベーキング中はペルチェに流す電流を調整する必要があるが、今回はそのプロセスを自動で行うプログラムの作成に取り組んだ。

### 2.4.3 プログラム

プログラムは LabVIEW を用いて作成した。図 4 に示すフロー<sup>1</sup>を実現するため、状態(この場合はターゲット温度)によって処理を変える、ステートマシンと呼ばれ

<sup>1</sup>電流値等のベーキングの詳細な過程は、指導教官の Benjamin Rienäcker 氏によって既に示されていたものである。

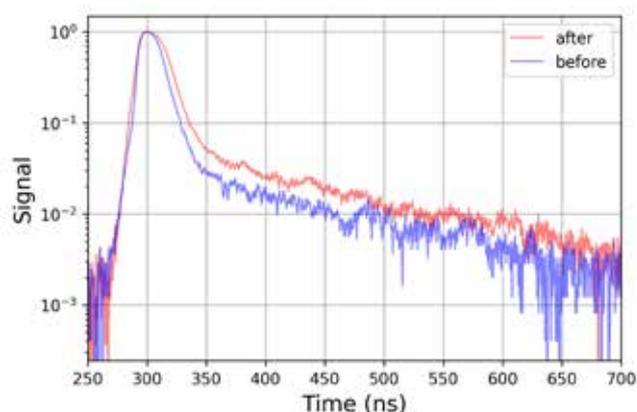


図 3: ベーキング前後の比較。Si ターゲット近くに設置した  $\text{PbWO}_4$  検出器より得られた  $\gamma$  線からの信号をプロットしたもの。はじめのピークは主にターゲット内の対消滅ないしは p-Ps の自己消滅に由来するもので、350ns から 500ns の線形的な減少が、主に今回目標としている o-Ps の自己消滅に由来するもの。この time-window で計算を行うと、ベーキングにより 45%の増加が得られた。

る仕組みを採用した。図 5 に作成したプログラムの UI 画面を示す。

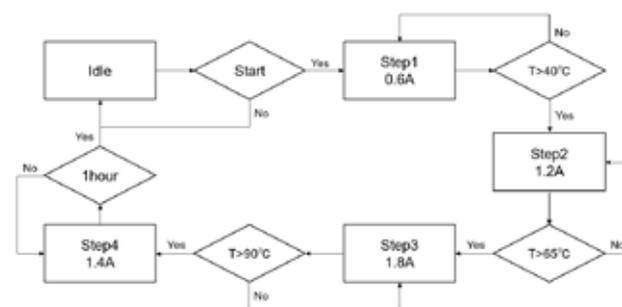


図 4: プログラムのフロー

### 2.4.4 PI 制御

作成したプログラムが正しく動作することを確認した後に、続いて PI 制御を導入したベーキングプログラムの改良に取り組んだ。PI 制御とは、フィードバック制御の一種で、制御量の入力値と目標値との差分から出力値を決める方法である。P は Proportional、I は Integral を指す。以下にその表式を示す。

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2)$$

$e(t)$  は制御量の入力値と目標値との差分、 $K_p$  と  $K_i$  は定数で、今回はジューグラニコルスの限界感度法を用いて決定した。

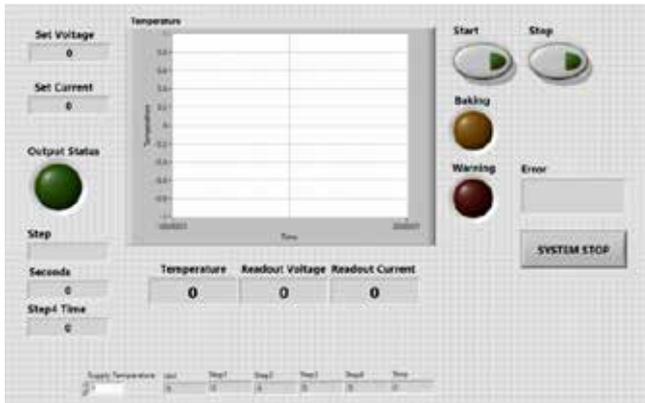


図 5: プログラムの UI。温度は常にグラフ表示され、右上の Start ボタンを押下するとベーキングが自動で実行される。

PI 制御を用いることで、より効率よく、つまり短時間でベーキングが進むことが期待される。しかし、いきなり目標値を  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  にしてしまうと、室温との差分  $e(t)$  が大きくなり、出力の電流が上限値のままベーキングが進む恐れがあるため、まずは先行プログラム同様にステートマシンを導入した。そのフローを図 6 に示す。また、このプログラムによるベーキング実行中の UI 画面を図 7 に示す。 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  付近での急激な落ち込みは、step3 での目標値を  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  未満にすることで解消される。PI 制御の導入により、約 3 時間のベーキングを 1.5 時間まで短縮することができた。

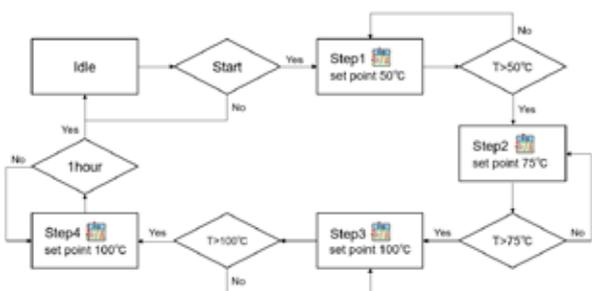


図 6: PI 制御プログラムのフロー

## 2.5 Poster Session と Student Session

プログラム期間中、参加学生向けにポスター発表を行う Poster Session と口頭発表を行う Student Session が開催された。私は両方に発表者として参加し、上述のプロジェクトについて発表を行った (図 7 および図 8)。多くの方に質問をいただき、大変良い経験になった。

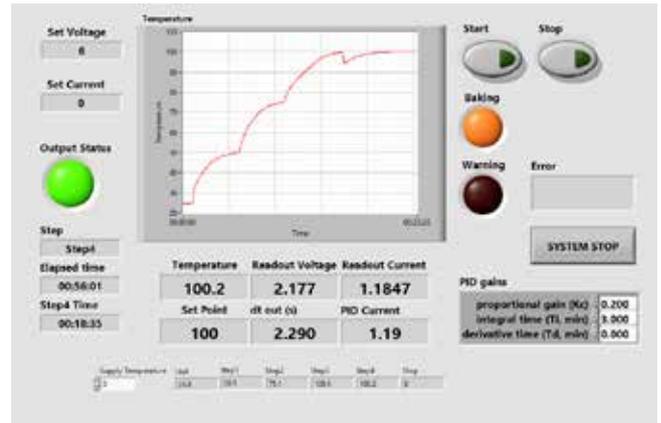


図 7: ベーキング実行中の UI 画面

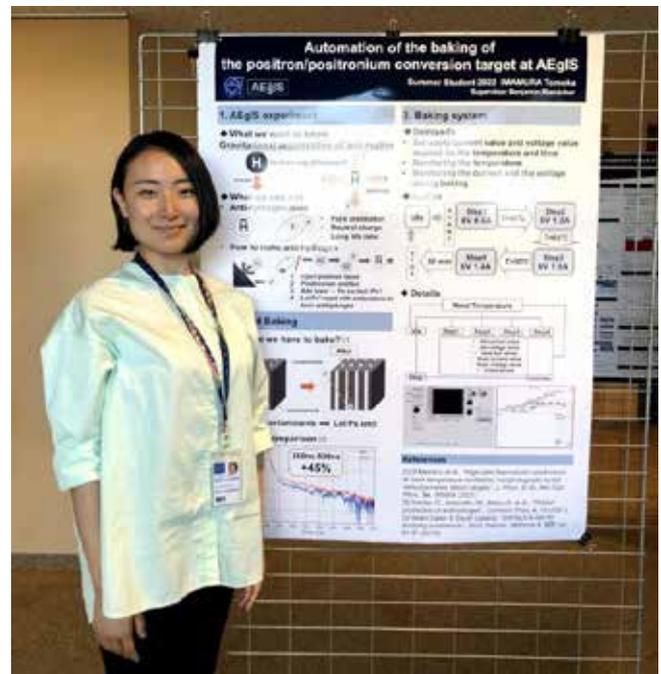


図 8: Poster Session にて

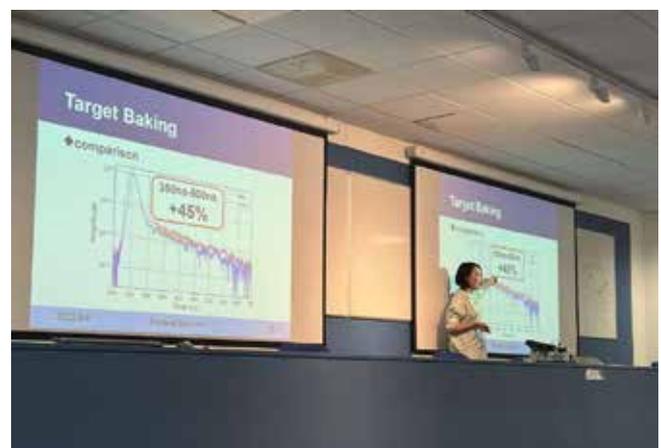


図 9: Student Session にて

### 3 生活

滞在期間中は、研究活動や講義だけでなく、休日やワーキング後も大変有意義な時間を過ごすことができました。宿泊先の CERN Hotel の共有スペースで声をかけたり、CERN 内外のイベントに参加したりと、積極的に友人の輪を広げるよう努めた。その甲斐もあり、休日を一人で過ごすことはほとんどなかった。また、研究グループの方々には、毎日の昼食以外にも、ワーキング後のレクリエーションや食事会にも混ぜていただいた。このような場面では、物理に関連しない話題があがる機会も多いため、英語でのコミュニケーションスキルを磨く良い機会になった。

### 4 今後の抱負とプログラムへ望むこと

物理や研究に関連した具体的な学びはもちろん、滞在中の国際交流から得た新たな視点や視野の広がりを活かせるよう、精進する所存である。また、プログラムそのもの、およびプログラム中の様々なイベント、特に学生同士の交流を図るイベントは今後もぜひ継続していただきたいと思う。

### 5 おわりに

本プログラムへの参加にあたり、多くの方にご協力・ご支援いただきました。この場を借りて、感謝を述べさせていただきます。推薦状を書いてくださった東京理科大学 長嶋泰之教授、KEK 花垣和則教授にお礼申し上げます。また、内定から滞在終了まで手厚くサポートしてくださった KEK 事務の皆様、大変お世話になりました。そして、Supervisor の Benjamin Rienäcker 氏をはじめとした AEgIS グループメンバーの皆様には温かく迎え入れていただき、研究についての的確な助言やプレゼンテーションのアドバイスをいただきました。特に Michael Doser 氏には、滞在延長の提案から手続きまで、お忙しい中迅速にご対応いただきました。心より感謝申し上げます。最後に、Summer Students のみんな、みんなのおかげで滞在を楽しめました。ありがとう！またいつか会いましょう。関わってくださったすべての皆様、ありがとうございました。