

CERN Online Summer Student Programme 2021 参加報告

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程 1 年

荒久田 周作

arakuta@champ.hep.sci.osaka-u.ac.jp

2021 年 (令和 3 年) 11 月 2 日

1 はじめに

6 月 7 日から 7 月 30 日までの 8 週間という契約で、CERN Online Summer Student Programme 2021 に参加した。ここではそのときの活動について報告する。

このプログラムは欧州原子核研究機構 (CERN) がインターンシップという形で開催し、オンラインではあるが 200 人以上の参加者が研究活動を行った。

2 活動内容

2.1 Lecture

6 月 29 日から約 1 か月かけて、CERN 内外の研究者による素粒子・原子核分野に関連した講義が行われた。内容としては標準理論、電子工学や将来の加速器計画など様々なものが扱われ、講義後の質問時間には講師の方々が丁寧に解説をなさっていた。また、同時期に開催された CERN openlab Online Summer Student Programme 2021 の講義も受講することができた。内容は機械学習や DAQ など実験で用いられる技術を扱っていた。大学で学んだ内容もあったが、技術的な話は知らないことが多かったためとても面白かった。

2.2 Virtual Visit

例年このプログラムでは CERN の実験施設の見学がある。オンラインではあるが今年も現地の研究者の方々に NA61, LHCb 等検出器の実物をカメラに映してもらいながらその解説を聴くことができた。実物をこの目で見るができなかったことは残念だったが、施設を歩き回りながら検出器やその周りの環境について説明を受けることは事前に考えていた以上に面白いものだった。また、実験によっては現地で説明する研究者の方とは別の研究者の方がチャットボックスで質問に答えてくれる

こともあり、疑問を感じたときにすぐ質問をすることができた (図:1)。

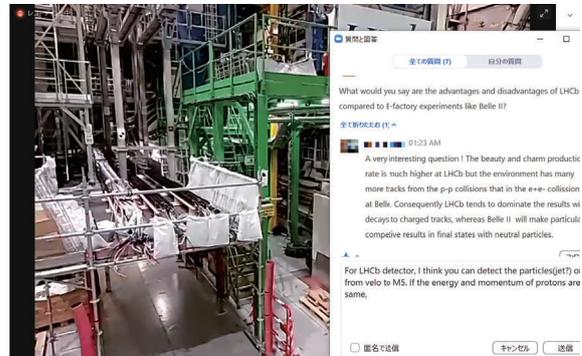


図 1: LHCb 実験の Virtual Visit。画面左側に現地の映像、右側に質問対応のチャットボックスを配置して質問も適宜行いながら話を聞いた。

2.3 研究

$K^+ \rightarrow \pi^+ \ell \bar{\nu}$ という稀崩壊を探索している NA62 実験のグループに配属され、Riccardo Fantechi 氏の指導のもと研究した。NA62 実験では検出器下流部に存在する液体クリプトンカロリメータ (以下 LKr) の出力信号を波形整形回路 (シェーパー) で処理している。現在このシェーパーを新しくして、より正確に背景事象の信号との区別をつけるために、より時間幅の小さい信号に整形することを計画している。私はそのシェーパーの出力する信号のシミュレーションと二つの信号が重なってやってきたときの信号の処理方法について検討した。

2.3.1 LKr とその読み出し回路

LKr は 120K に冷やされた液体クリプトンを用いた電離箱であり、光子 veto システムの一部である [1]。

LKr の読み出し回路を図:2 に示した。LKr での電離信号はカップリングコンデンサを通してまずフロント

エンド回路に入る。フロントエンド回路では信号をブリアンプで増幅し、差動信号としてデジタル化回路に送る。この差動信号は典型的には 20 ns の立ち上がり時間、2.7 μ s の長い立下り時間をもつ。この信号をシェーパーが短い立ち上がり、立下り時間を持った信号（半値全幅約 66 ns）に整形し、40 MHz のサンプリング周波数をもつ Flash ADC(FADC) がデジタル化する。これを FPGA 経由でトリガー信号に用いたり、データとして記録する [2]。

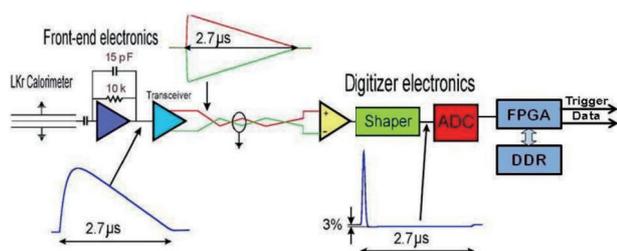


図 2: LKr 読み出し回路

探索事象と背景事象を判別するためにシェーパーの出力には以下の 2 つの要求がある。

1. 精確にイベントの起こった時間を得られること。
2. 二つあるいは複数の信号が短い間隔でやってきた時に正確に複数やってきたと判別できるものであること。

稀崩壊を探索する実験では、背景事象の削減のためにこれらの要求がとりわけ重要である。

また、これらの要求は、短い立ち上がり下がり時間を持つことと、その整形された波形を見逃すことがないように読み出しのサンプリング周波数を大きくすることで実現できる。この研究では、現在約 66 ns である半値全幅が約 20 ns になるようなシェーパー回路を目指し、160 MHz のサンプリング周波数を持つ FADC と組み合わせ要求を満たすのかシミュレートした。

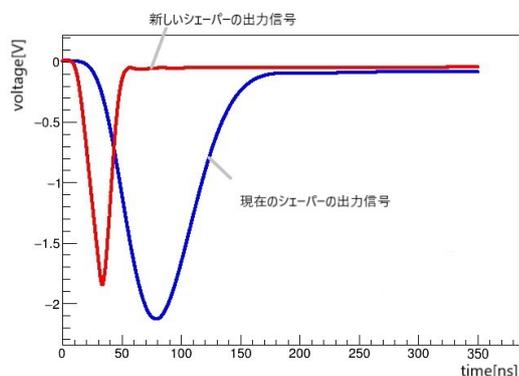


図 3: $t=0$ に信号が来た時の新しいシェーパーと現在のシェーパーの出力信号比較。

2.3.2 LTspice によるシミュレーションと信号の重ね合わせの分離

シェーパーの出力信号は、回路シミュレータである LTspice を用いてシミュレートした。現在のシェーパーを再現した回路から複数の部品の静電容量や抵抗値等を変更することによって、時定数を小さくして半値全幅が約 20 ns になるようにした。従来の信号との比較を図:3 に示す。現在のシェーパーの信号に比べて信号が立下るまでの時間が短くなっていることが分かる。

この出力信号が重なっているときに分離できるかどうか確かめるために、以下の条件で分離を試みた。

1. 入力信号は先発信号と後発信号の 2 つ。
2. $t=0$ s に先発信号を入力。
3. 後発信号を遅れ時間 (10, 20, 30 ns のいずれか) だけ先発信号から待って入力。振幅は先発信号の 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 倍のいずれか (計 12 通り)。

また、分離ができた場合分離できたそれぞれの信号がやってきた時間（今回であればピークの時間）とその振幅を求めることができるかということも確かめる必要がある。この研究では、ピーク付近で信号はほぼ放物線のように振る舞うと考えて、ピーク付近の 3 点あるいは 4 点を用いて信号がどのようなになっているのか解析的な解法あるいはフィットを用いることで求めた (図:4)。

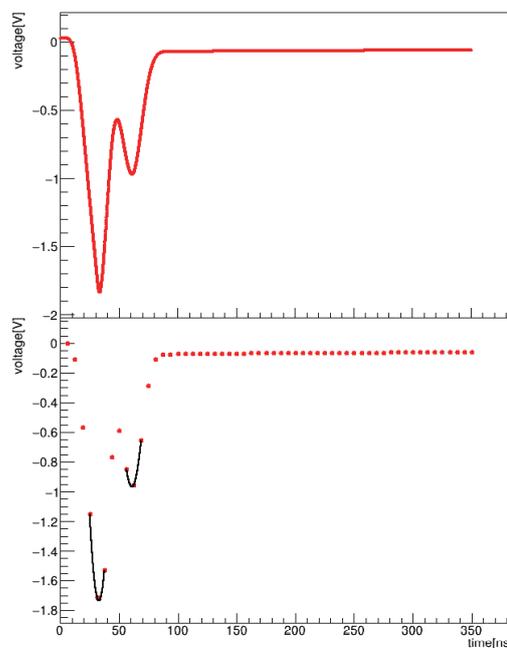


図 4: 後発信号が遅れ時間 30 ns で 0.5 倍の振幅をもつ時の信号とその分離。上が元の信号、下が 160 MHz (6.25 ns ごと) でサンプリングした信号に分離と、ピークの時間とその振幅の計算を試みたもの。

2.3.3 結果と結論

信号の分離は、後発信号の遅れ時間 10 ns のときはすべて分離することができず、遅れ時間 20 ns のときは振幅 1.0 倍の時のみ分離でき、遅れ時間 30 ns のときはすべての振幅の場合で分離することができた。また、その信号のピークの時間と振幅は $\pm 10\%$ の範囲内で求めることができた。この研究で試すことはできなかったが、遅れ時間 10 ns のときも分離はできなくとも複数の信号が来ていると判断できる可能性がある。方法はいくつか考えられるが、一つ目は半値全幅を用いることだ。基準の半値全幅が分かっているならばそこからのずれの大きさを判断できる。二つ目はサンプリングされた電圧間で傾きを計算することが挙げられる。後発信号がやってきている場合、この傾きは先発信号のみのときより大きくなるはずだ。

3 生活

オンラインによる参加のため大きく周りの環境が変わるということではなかった。しかし、平日の夕方以降はこのプログラムの活動を行うので同時に大学の研究活動や講義をこなしながら並行で進めるというのは想像していたより時間的制約のある生活だった。そのため、あまり得意ではなかった時間管理の能力を養うことができた。また、オンラインということで学生間の交流はほぼないのではないかと考えていたが、CERN 主導のイベントだけでなく学生主体で交流用の Discord¹のサーバーをたててその中で研究の最後に提出するレポートについて情報共有を行ったり、その他雑談や互いの興味のある分野について語り合うことができた。

4 今後の抱負とこのプログラムに望むこと

このプログラムを通して、自分の言語能力の不足や時間管理の甘さなどこれから研究活動を行っていくにあたって必要なことを認識、あるいは再認識することができた。また、今までの研究で触れることのなかった技術に触れることで新たに興味を持つことが増えた。これからも様々な経験を通して能力を伸ばしたり知識を増やしていきたい。

このプログラムには来年もしくは再来年こそは現地で開催してもらいたい。世界の情勢を考えるといつ現地で安全に開催できるようになるのか見当がつかないが、やはり現地で直接指導教員や他の参加者と交流を行うこと

や実際に研究施設の内部を見学できるというのはなにより代えがたいと思う。

5 謝辞

このプログラムの参加にあたって多くの方にお世話になりました。KEK 国際企画課の皆様には事務手続きを行ってくださり、こちらの質問にも丁寧に対応していただきました。花垣 和則教授には推薦書を書いていただき、山中 卓教授にはそれに加えて応募書類の添削や応募に関する相談をしていただきました。指導教員である NA62 実験の Riccardo Fantechi 氏には研究内容に関して様々な助言をしていただきました。CERN Summer Student Team の皆様、Visit および Lecture を担当してくださった研究者の方々には素晴らしい体験をさせていただきました。また、同じ日本人参加者と山中 卓研究室の方々にはプログラム期間中にも様々な面で助言、励ましをいただきました。家族には生活のサポートをしてもらいました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] V. Fanti et al., The beam and the detector for the neutral kaon CP violation experiment at CERN, Nucl. Instrum. Meth. A574 (2007) 433
- [2] A. Gianoli et al. - The NA48 LKr Calorimeter Readout Electronics, IEEE Trans. Nucl. Sci., 47 (2000) 136

¹オンラインのボイス・ビデオ・テキストコミュニケーション用無料ソフトウェア。:https://discord.com/