

## CERN n\_TOF 実験での四方山話

日本原子力研究開発機構  
原子力基礎工学研究センター  
核データ研究グループ  
木村 敦  
[kimura.atsushi04@jaea.go.jp](mailto:kimura.atsushi04@jaea.go.jp)

---

### 1. はじめに

n\_TOF 実験施設は欧州原子核研究機構(CERN)にある実験施設の一つでパルス状の陽子ビームをターゲットに入射し、核破碎反応で発生するパルス中性子を用いて実験を行う施設です。2001年に完成した飛行距離が約200mで中性子のエネルギー分解能が良い第一実験室(EAR-1)と2014年に完成した飛行距離約20mで中性子強度の高い第二実験室(EAR-2)が利用されています。筆者の所属するグループでは、Research Centre for Energy, Environment and Technology (CIMAT)と共同代表として Cm-244,246 の中性子捕獲断面積測定研究を進めており、5月20日~8月25日の3か月間 EAR-2 で3台の C6D6 検出器を用いた測定を、9月13日~9月20日の1週間 EAR-1 で42台の BaF 検出器で構成される Total Absorption Calorimeter (TAC)を用いた実験をそれぞれ行いました。

n\_TOF 実験施設の紹介につきましては既に詳細な報告が多数なされておりますし[1][2]、実験の目的や解析状況などの堅苦しい学術的な話はいずれ他の場所で報告する機会があるでしょうから、ここでは読者の広場だからこそ書ける実験の様子や訪問の際に知っていれば便利だと思うことを徒然なるままに披露します。

### 2. n\_TOF での実験の様子

#### 2.1 作業開始まで

CERN(Meyrin 地区)はジュネーブ近郊のスイスとフランスの国境地帯にあります。(地図→<https://maps.cern.ch/>) 食堂や User's Office、メインエントランスなどの主要施設はスイス側にありますが、n\_TOF の制御室や二つある実験室はフランス側にあります。そのため、毎朝スイスから国境を越えてフランスにある n\_TOF の制御室に出向くことになり

ます。User's Office で自転車を借りることができますので、そこで自転車を借りていくのもいいかもしれません。

正門から n\_TOF の制御室のほうに歩いていくと、ISOLDE 実験施設の脇を通り、加速器トンネルが下を通る丘を登っていくことになります。その丘の頂上に第2実験室が見えてきます。(図 1) EAR-2 は中性子源の真上に作られていますので、この建物の真下 20m に中性子源となる鉛ターゲットがあることになります。



図 1 加速器トンネルの上にある EAR-2 の建物。

EAR-2 を横目に見てさらに歩いていき、丘を下っていくと n\_TOF 制御室の入ったプレハブが見えてきますので、その建物に入ります。建物に入ったすぐの部屋が n\_TOF の制御室になります。n\_TOF の制御室は多くのコンソールが並んでおり、GUI で直感的にいろいろな操作ができるようになっております。

制御室についたら、最初に加速器の情報を見てビームが予定通り出ているのか、データ収集系(DAQ)が問題なく動いているのかなどをモニター及び LOG を見て確認します。次に TOF やガンマ線のスペクトルを確認することになるのですが、n\_TOF の DAQ は検出器からの波形を取り込み、それを CERN の共有のストレージにそのまま保管する形式になっております。この方式はすべての検出器の出力が保存され、データの解析条件を事後に任意に変更することが可能であるというメリットがある反面、TOF やガンマ線のスペクトルは測定した膨大なデータの処理を行わないと確認できないというデメリットがあります。実験を行っているグループは測定したデータの処理を前日に CERN の計算機にリクエストし、翌朝に処理をされたスペクトルを確認し、その結果を見て実験計画

を修正することになります。

n\_TOF では平日の朝 9 時半から毎日ミーティングを行います。ミーティングでは、当日 CERN にいるメンバー、実験を行っているグループのメンバー（Skype で参加することもあります。）、シフトの担当者（後述）が集まって、昨日発生した問題点、連絡事項、各実験室の実験計画が話し合われます。n\_TOF には EAR-1 と EAR-2 の二つの実験室がありますが、ビームシャッターがないため、別の実験室に入って作業を行う場合はもう一つの実験室の中性子ビームも止まってしまいます。そのため、各実験室の作業内容（実験室内に入ってビームを止めるか）と予想作業時間、作業に応援の人手が必要かなどが話し合われます。また、加速器の運転計画の変更（頻繁に変更されます。）もこのミーティングで報告されます。

## 2.2 実験

ミーティングが終わったら各実験室に行って作業を開始します。

### (1) EAR-1

EAR-1 は中性子源から水平方向に 200m 離れた位置にある実験室で、長い飛行距離を活かし飛行距離 185m での中性子エネルギー分解能は 1% と非常に良好な値を持ち、中性子エネルギー分解能の良い実験が 2001 年から行われています。EAR-1 は地下にあり、制御室からは下の図 2 にあるような下り坂のトンネルを 200m 程度下っていくことになります。地下にある実験室になりますので、EAR-1 に行くことを「地下に行ってきます。」という人もいます。



図 2 EAR-1 の入り口の写真。

右側にある金属の台を見るとわかるように下り坂になっています。

EAR-1 には TAC が設置されており、中性子捕獲反応断面積の測定に用いられており、我々も 9 月の中旬の 1 週間、EAR-1 で TAC を用いた測定を行いました。TAC は過去に多くのユーザーが利用しているため設定が固まっており、短時間でセットアップを終え実験できるようになっています。通常 TAC での測定では検出器の台数が多く、検出効率も高いことからデータサイズが極端に大きくなる傾向があります。我々の実験では、Cm 試料の崩壊  $\gamma$  線が強いバックグラウンドを作るため、データサイズはさらに大きくなり、1 週間の測定で約 300TByte (40TByte/日) となりました。

## (2) EAR-2

EAR-2 は中性子源の直上 20m の位置に作られており、制御室からは約 400m 離れた丘の上の建物 (図 1) の中にあります。歩いていくには少し遠いので、通常は CERN Car と呼ばれる公用車で行き来することになります (図 3)。n\_TOF には CERN Car が 1 台あり、実験者は自由に使用することができなかなか便利です。ただし、左ハンドルのマニュアル車しかなく、所内でもスピードを出す人が多いため運転には注意が必要です。(CERN 構内は 50km 規制です。)



図 3 n\_TOF 実験施設にある CERN Car。

後ろに見える平屋のプレハブが n\_TOF 制御室の入っている建物。

EAR-2 は EAR-1 と異なり、2015 年から利用が開始された新しい実験室です。そのため、検出器の配置や設置方法などの実験方法が確立していません。我々の実験でも実験の最初の 1 週間に、使用する 3 台の C6D6 検出器の設置位置や方法を何通りか試し最適な検出器の配置を確定させました。この作業では、様々な配置を試すためにいろいろな部品が必要となりましたが、n\_TOF の技術員の方と CERN にある工作工場の協力で順調

に作業を進めることができ、CERN のユーザーに対するサポート体制の手厚さを実感しました。

EAR-2 の中性子強度を J-PARC の ANNRI(300kW 運転)と比較した場合、1 Pulse 当たりの中性子強度はほぼ同じですが、ビームの繰り返し周波数が ANNRI の 25Hz に対し、n\_TOF は 0.3~0.8Hz 程度とかなり低くなっています。そのため、ANNRI で通常 1~2 週間で行われる捕獲反応断面積測定に、EAR-2 では数か月間のマシンタイムが必要となります。我々も、5月20日~8月25日の3か月間、実験を行いました。残念ながら、3か月もの間 CERN に出張するのは困難であったため、実験に参加するのは最初と最後の5週間程度となり、その他の部分は共同研究者である CIMAT の学生さんをお願いすることとなりました。このように、n\_TOF での実験は長期にわたるため、一緒に実験を行ってくれる学生さんとヨーロッパの共同研究者が必須となると感じました。

## 2.3 シフト

上にも書きました通り、通常 n\_TOF で行われる実験は実験期間が 1~3 ヶ月と長期間にわたります。このような長期間の実験を一つのグループですべて行うのは困難であるため、n\_TOF に関わる全ての研究者が実験に参加する義務が課せられています。具体的には少なくとも割り当てられた日数分（大体 1 週間程度）は毎年シフトとして実験に参加することとなります。シフトは朝 8:00-16:00、夕方 16:00-24:00、深夜 0:00-8:00 に分けられており、シフトの間は n\_TOF の制御室に常駐し、

- ① CCR (CERN の加速器のコントロールルーム) との調整を行い、中性子ビームの On/Off を行う。
- ② DAQ の RUN/STOP を行い、LOG を記録するとともに、測定が正常に行われているかを確認する。
- ③ 真空度や高圧電源の状況の確認を一定の時間ごとに行い、その内容を LOG に記載する。

等の作業をすることとなります。実験者以外にシフトとして常駐する人がいるので、状態の監視はシフトの人に任せ、実験者は実験に集中することができます。

## 3. 個人的に知っておいたら便利と思う話

### 空港からのアクセス

ジュネーブ空港から CERN に行く方法としては CERN のシャトルバスに乗る、公共の交通機関を利用する、タクシーに乗る、の 3 通りが考えられます。

- ① CERN のシャトルバス

CERN のシャトルバスは平日の 8 時半から 19 時半までほぼ 1 時間おきに動いております。乗車場所は、ホテルなどへ行くシャトルバスと同じ場所です。空港ビル

を出て真っすぐ行くと、ホテルのシャトルバスが止まっているところがありますので、その一帯となります。利用できる時間が限られますが、一番便利です。

② 公共の交通機関（TPG: Transports publics genevois）を利用する場合

公共の交通機関を利用する場合は、到着後、手荷物受取場所の出口付近に、バス停で見かける券売機と同じものが設置してあります。ボタンを押すと、80分間有効のチケットを無料で受け取ることができ、ジュネーブ近郊の公共交通機関（スイス国鉄含む）に乗ることができます。無料のバスチケットをもらい損ねた場合は、バス停にある券売機で乗車券を買います(Tout Geneve 3.00CHF)。乗車券は1時間有効で、乗り換えても買いなおす必要はありません。（機械によっては釣銭が出ないものがありますので、注意しましょう。）

1時間に1本程度ある「Y」バスの Val Thoiry 行きに乗ると（逆方向に行くものもあるので注意）CERNまで30分程度で到着します。途中でトラムに乗り換える方法もありますので、興味のある方はTPGのホームページで調べてみてください。

③ タクシー

乗ったことがありませんのでよくわかりませんが、30-40CHF程度らしいです。（距離の割に高いです。）

（2017年10月現在の情報です。詳細はCERNのホームページ及びTPGのホームページ等を必ずご確認ください。）

## CERNでの宿泊

CERNに滞在する場合の宿泊先としては、①CERN Hotel、②ジュネーブ市内のホテル、③フランス側のホテルの3パターンが主に考えられます。

① CERN Hotel は CERN の研究所内にある宿泊施設で食堂のすぐ近くにありま

す。CERN のユーザーであればインターネットからの予約も可能で、シングル1泊6000~7000円です。ただし、バスタブ、時計やテレビ、ポット、冷房などの設備はついておりません。また、加速器が動いている時期は他施設のユーザーも多数利用しようとするので、1月前には満室になってしまいます。（個人的には暑がり汗っかきなので、バスタブと冷房がないのはN.G.です。）

② ジュネーブ市内には数多くのホテルがあり、懐具合と相談して選択することが

できます。残念なことにスイスは物価の高い国ですので、安くても10000~15000円はすることとなります。ジュネーブ市内のホテルに宿泊した場合は滞在期間中に自由に乗り物を使える"Geneva Transport Card"をもらえますので、それを使ってCERNに行くことができます。個人的には市街に比べて安く、部屋も広い空港周辺のホテルをお勧めします。（筆者は空港近くでトラムの駅に歩いて行けるホテルに泊まる事が多いです。）

③ お金を節約するためにフランス側のサン・ジュニ プイイ (Saint-Genis-Pouilly) に宿泊する手もあります。この町なら 1 泊 5000 円程度で宿泊できますし、スーパーのカルフルもあり買い物も簡単にできます。(週末にはジュネーブからの買い物客でにぎわっています。) アクセスにつきましても、「Y」バスで空港や CERN に行けますし、CERN のメインエントランスからも 2km 程度ですので歩いて通うこともできます。(CERN の User's Office で自転車を貸りれば、もっと楽に通えます。) n\_TOF の方と話してみると、皆さん物価の安いフランス側に住み、毎日国境を越えてスイスに出勤し、スイスフランで給料をもらっておられるとのこと。

#### 4. 終わりに

とりとめのない話を最後までお読みいただき、ありがとうございました。読者の皆様が CERN を訪問されるときに参考にならば幸いです。最後に CERN 構内から見た雪のモンブラン (9月に撮影) の写真を載せておきます。



図4 CERN 構内から見えるモンブラン。

#### 参考文献

- [1] E. Chiaveri et. al., “The n\_TOF facility: Neutron beams for challenging future measurements at CERN”, EPJ Web of Conferences 146, 03001 (2017)
- [2] F. Mingrone et. al., “The CERN n\_TOF facility: a unique tool for nuclear data measurement”, EPJ Web of Conferences 122, 05001 (2016)