

## IPAC'23 に参加して

加速器第六研究系 東 直

2023年5月7日から12日まで、イタリアのヴェネツィアで開催された14th International Particle Accelerator Conference (IPAC'23)に参加、発表してきた。新型コロナウイルスの流行後初のオンサイト開催となった昨年度のIPAC'22(タイ・バンコク)に続き、今年も無事オンサイト開催となった。IPACは加速器に関する世界最大規模の国際会議で、放射光源だけでなくLHCやSuperKEKBなどの衝突型加速器、陽子加速器、新奇な加速器や産業利用など様々な分野について発表が行われる。今年の開催地であるヴェネツィアは言わずもがな世界有数の観光地であり、会場はヴェネツィア国際映画祭と同じThe Venice Convention Centerという複数の建物からなる会場であった(図1)。ヴェネツィアは本土から離れた複数の島からなり、観光名所の多いヴェネツィア本島とは異なる、リド島というところに学会会場はあった。著者が宿泊したホテルはさらに別のムラーノ島というところにあったため、毎日ヴェネツィア交通の要である水上バスに乗って会場まで通った。

今年の学会参加者は38ヶ国から1,660人と、昨年を大きく超えるだけにとどまらず、2010年から開催されてきたIPACの中でも最も多い参加者数となった。しかしロシアによるウクライナ侵攻のためにロシア及びベラルーシを拠点とする研究所からの参加が許可されなかったことについては、なんとも筆舌に尽くし難い感情を抱かざるを得ない。また、新鮮に感じたことといえば、ジェンダーに関するセッションが開催されたことであった。閉会式では参加者の割合として、男性が81%、女性が19%、その他が1%未満との紹介があった。



図1 IPAC'23の会場となったThe Venice Convention Center内、2つあった口頭発表会場のうちの1つの様子。

今回最も頻りに議論されたトピックの1つがサステナビリティである。ヨーロッパは特に電気代高騰の影響が大きく、これを抑制するためのアイデアに関する報告が目立った。放射光関連では偏向電磁石の永久磁石化が多くの将来計画で検討されている(THODB3<sup>1</sup>)。

開会式では開催ホスト機関である、イタリアの放射光施設、Elettraのアップグレード計画、Elettra 2.0に関する報告があった(MOXD2)。Elettraは周長249 m、DBAラティスを採用したリング型放射光源で、エネルギーとして2 GeVもしくは2.4 GeVで運転を行っており、それぞれエミッタンスは7 nm-rad、9.7 nm-radとなっている。1993年に運転が開始され、2010年よりtop-up運転を開始している。次期計画であるElettra 2.0は、加速器リングの最小構成単位である「セル」の中に6つの偏向電磁石を持つsymmetric six bend achromat enhanced (S6BA-E)ラティスを採用した設計となっており、212 pm-radというエミッタンスを目指している。偏向電磁石には四極電磁石の磁場成分を持った機能結合型偏向電磁石を採用し、エミッタンスの低減を図っている。シャットダウンは2025年、加速器の停止を1年間としていて、コミッション開始を2026年中としている。2027年以降に超伝導偏向電磁石のインストールを予定しており、また、一部のビームラインで短バンチが得られるように、偏向空洞導入のオプションを検討している。また、偏向電磁石の永久磁石化も将来導入のオプションとして検討されている。

SPring-8からは次期計画であるSPring-8-IIとSACLA-II、及びそれらに関する省エネ化についての講演があった(WEOGA3)。SPring-8は2021年に専有の入射器を廃止し、同じキャンパス内にあるFEL、SACLAを入射器として利用する運用を開始した。これにより、キャンパス全体の消費電力として、27 MWから22 MWまで削減することができたとのことであった。入射器の共有化はより複雑な運用が求められるが、昨今の電気代高騰などを鑑みれば検討すべきオプションであろう。現在のKEKつくばキャンパスもPF、PF-AR、SuperKEKBが1つの入射器を共有しているが、これもなるべくしてなったことであろう。

SPring-8-IIは2026-2028年に建設の予定である。このアップグレードで、エネルギーを8 GeVから6 GeVに下げ、またラティスをDBAから5BAにすることで、エミッタンスを2.4 nm-radから0.111 nm-radまで低減させるとのことであった。同時に消費電力削減のため、偏向電磁石の永久磁石化が予定されている。講演では「さらなるエミッタンスの低減を目指さないのか」との質問があったが、それに対して「エミッタンスをどこに設定するかは難しい問題で

<sup>1</sup>IPAC'23における発表IDを参考文献として明示しておく。興味がある方は合わせてご参照ください。

あるが、極低エミッタンスが必要なのはごく一部である」との回答があった。このようにリング型放射光源では、世界的に低エミッタンス化の熾烈な競争があり、そこから少しでも外れると質問攻めにあうような傾向がありそうである。

SACLA も同様に繰り返し周波数を上げた SACLA-II へのアップグレードが検討されており、SPring-8-II と合わせて消費電力を現在の 22 MW よりもさらに小さい 13.5 MW まで抑えることを目指すとのことであった。SACLA-II へのアップグレード時は入射器共有化のデメリットとして SPring-8-II の運転も止まってしまうという説明もあった。加速器の産業利用として、電子線照射による水質改善 (WEXD1) や核医学のための  $^{99}\text{Mo}$  の生成に関する発表 (THPL042) などがあったが、電子線回折や電子顕微鏡に関する発表が以前よりも増えたように感じた。主には MeV 級の電子線を利用し 100 fs 前後の時間分解能を持つ超高速電子線回折 (Ultrafast Electron Diffraction: UED) に関する発表で、既にアメリカでは BNL, SLAC, Cornell で実用化されているのに対し、今回の発表では中国やイギリスにおける新規計画に関する発表が目立っていた (WEPL193, TUPL142)。MeV 級電子線を発生させる RF 電子銃の技術は既に KEK 内でもある程度確立されているので、マルチプローブを謳う KEK 内でも UED が利用できるのではないかと感じた。一方、実空間観察のための電子顕微鏡開発については、まだどの施設でも大きな進展はなさそうであった。

例年 IPAC では開催ホスト施設などの施設見学が最終日に予定されている。今回は INFN - LNL (Laboratori Nazionali di Legnaro) と Elettra Sincrotrone Trieste の 2 箇所が用意されていたが、各見学とも 150 人のキャパシティとなっていて、著者が参加申し込みする際には既に満員となっていた (参加者が 1600 人余に対してそりゃないだろ、とも思ったが、これもコロナや軍事侵攻の影響なのかもしれない。これまでは定員で参加できなかった、ということはない)。施設見学は現地学会参加の醍醐味でもあったのがっかりしていたのだが、同じく学会参加予定だった中村典雄先生が Elettra 2.0 のプロジェクト・リーダーである Dr. Karantzoulis と旧知の仲であり、official な tour とは別に、private tour を設定していただけた (中村先生は 30 年ほど前に Elettra に滞在していて、その時からの関係とのこと)。

Elettra はイタリア東端、スロベニア国境に近いトリエステという街の郊外にある。トリエステまではヴェネツィアから電車を乗り継いでも行けるが、時間がかかりかかるので、我々はヴェネツィア空港からレンタカーを借りて移動した。

Elettra 自体は加速器運転中ということでトンネル内部を見ることはできなかったが、Elettra 2.0 の chief engineer である Ivan Cudin さんに、Elettra 2.0 の準備状況を電磁石架台や電磁石電源、真空ダクトのプロトタイプとともに説明していただいた (図 2)。



図 2 Elettra・FERMI の制御室にて。左から案内して下さった Elettra 2.0 chief engineer の Ivan Cudin さん、中村先生、著者。

第 4 世代のリング型放射光源ではこれまで以上にアライメントが重要となるが、Elettra 2.0 ではより高い安定度を実現するために架台の材料として花崗岩を選択している (MOPM052)。また、一部の電磁石は従来よりも進行方向に薄くなり、より振動しやすくなる。そのため、隣接する電磁石同士がお互いに上部で治具を通して繋がり支え合うような構造となっていた。Elettra がある土地は非常に硬い地盤であり、地震も皆無だそうで、現行の加速器でも一度アライメントをすれば基本的に再アライメントは必要ないそうだ。加速器が設置される岩盤は床面から 2 m 下にはあるらしく、この 1 枚岩の上に全加速器システムが固定されるようなイメージだそうだ。偏向電磁石以外の電磁石は共通架台に設置され、この共通架台単位でアライメントを実施してから加速器トンネル内へ輸送される手順となっている。加速器リングと実験ホールを隔てる遮蔽壁は建築物ではなくブロックなので一時的に崩してそこから入れるようなスキームとなっている。

Elettra 2.0 では偏向電磁石用電源は民生品 (OCEM & CAENels) を利用するが、四極電磁石や六極電磁石、補正電磁石用電源は内部で開発を行っている (WEPM076)。PF や PF-AR では偏向電磁石や四極電磁石などはファミリー単位で負荷である電磁石を直列に繋ぎ、1 台の電源で励磁するが、Elettra 2.0 では電磁石と電源は 1 対 1 の対応となっている (cERL がこの方針を選択している)。

真空ダクトについてはリングのおよそ 90% を NEG コーティングでカバーする設計となっており、NEG 活性化の温度 (180 - 200°C) に耐えうるため低 Ag 無酸素銅を主要な材質として選択しており、また異種材料接合には電子ビーム溶接 (EBW) を利用している。第 4 世代リング型放射光源では従来よりも電磁石の数が多くなり、またダクト径も小さくなるので、空間の使い方がより厳しくなるが、今回リング一周分の 3D-CAD を見せていただいた。PF の後継機を建設する際には同様のものが必要である、という認識はあったものの、実際に目の当たりにすると、この



3D-CAD を作るだけでも一仕事となるだろう、と痛感した。電気代については現時点で新型コロナウイルス流行前の2倍くらいとのこと、このためにユーザータイムもかつては年間8ヶ月程度だったのが今では5-6ヶ月と短縮しているとのことであった。Elettra 2.0 の建設費は既に予算が承認されており、全てイタリア政府からの拠出とのことであった。しかし、予算承認後に新型コロナウイルスの流行等が起きたため、建設コストが20-30%程度上がり、試作機やテストが元の希望通りできていない、とのことであった。

来年のIPAC'24はアメリカ、テネシー州・ナッシュビルでの開催予定である。今回、このような貴重な機会を与您いただき、関係者の皆様に改めて感謝申し上げます。

## AOFSRR School 2023 参加報告

放射光実験施設 西村龍太郎

Asia-Oceania Forum for Synchrotron Radiation Research (AOFSRR) School は、大学院生や若手研究者を対象とした、放射光科学を学ぶ場として開催されているスクールです。本スクールでは基礎から応用までの放射光科学に関連する講義と実習、施設見学が合宿形式で実施されるもので、2023年6月12日から6月16日にかけてタイのSynchrotron Light Research Institute (SLRI) で開催されたThe 4th AOFSRR School (AOFSRR School 2023) は、前回のAOFSRR School 2019 (台湾 NSRRC) から約3年半ぶりの開催となります。

### 開催地について

スクールの開催地であるSLRIはタイの首都バンコクから北東方向に約260km離れたナコーンラーチャシーマー県(通称コラート)にあります。スクール開催期間の6月中旬には日本は既に梅雨入りを迎えており、また台風の接近も重なっていたことから若干の蒸し暑さを感じる時期でしたが、タイは熱帯地域に属しており、またこちらも既に雨季に入っていたこともあって、バンコク・スワンナプーム空港のビルを出た瞬間から日本とは一味違う湿度・気温の高さを体感することができました。特に、スクール最終日のExcursionで訪れたアユタヤは別格で、現地スタッフの方々も「アユタヤの気候は暑いか非常に暑いかのどちらか」と仰っていたぐらいでした。ただ、スクール期間中のコラートは現地の学生が「珍しい」という程に天候には概ね恵まれ、また大雨に見舞われることもほぼなく、比較的過ごしやすい気候でした。

### スクールの状況について

スクールの参加者は59名(数名の欠席者含む)で、内12名がタイ国内からの参加者、次いで日本、韓国、オーストラリア、中国、インド、シンガポール、台湾、インド

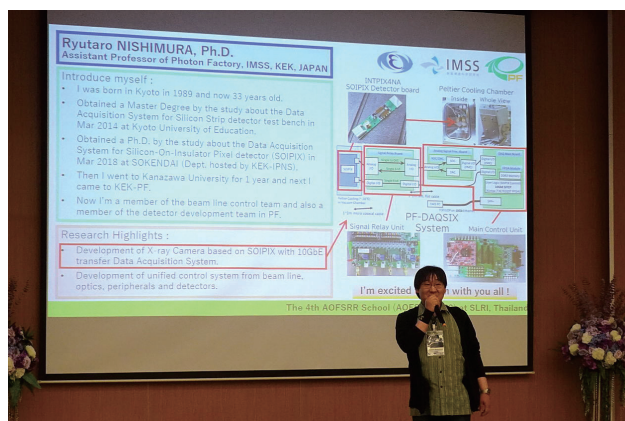


図1 フラッシュトークをする著者

ネシア、マレーシア、ニュージーランド、フィリピン、ベトナム(概ね参加人数順)と多数の国からの参加者が集う国際色豊かなメンバーでした。日本からは私を含めて8名の参加でしたが、スクール開始当初の時点で私はいずれとも面識がない状況であり、「国籍を問わず誰と話しても初対面」という若干心細くも新鮮な環境に心躍る日々を過ごすことが出来ました。

スクールの初日には1分間のフラッシュトークがあり、参加者全員が各自の研究分野等の自己紹介を行いました。図1は私のフラッシュトークの様子です。

### 講義・見学・実習について

講義はスクール期間中の前半3日間に実施されました。加速器の基礎的な知識からSLRIで行われている実験を中心とする各種実験手法、産業・農業や医学等の多分野における応用まで、縦横いずれにも幅広い内容に関するものが取り扱われており、多くの参加者にとって「必ずどこかの内容は未知の分野である」構成で大変勉強になりました。スクール2日目夕方にはSLRIの施設見学があり、加工・製作設備(KEKにおける機械工学センターに相当)、実験

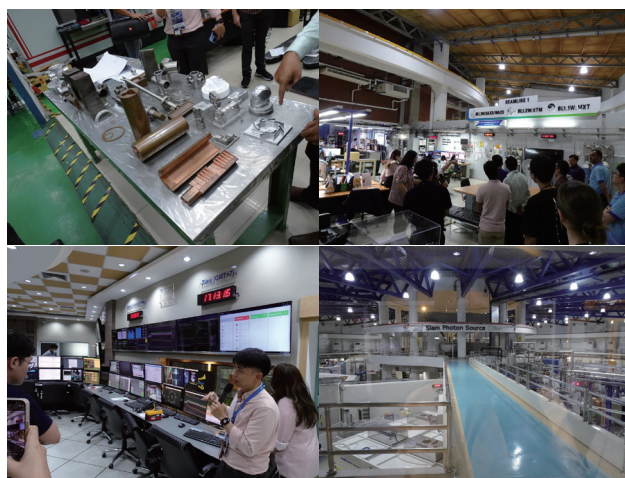


図2 SLRI 施設見学の様子(左上:加工・製作設備, 右上:ビームライン1, 左下:制御室, 右下:制御室から見た蓄積リング方面)



図3 実習の様子（左上：下流側から見た実験ステーションハッチ内，右上：試料作製，左下：解析作業，右下：実験メンバー集合写真）

ホール内各ビームライン，制御室を見学させていただくことができました（図2）。

実習はスクールの3日目の午後から4日目までの約1.5日間で実施されました。実習は実験手法・分野別に「XAS and XRF」「SAXS/WAXS」「PES/PEEM/XPS」「XTM」「Accelerator Magnet and Beam Measurement」の5つの実験グループに分かれて行われ，私は「SAXS/WAXS」グループの実験に参加しました。

「SAXS/WAXS」グループの実習内容は，化粧品（保湿剤）3種類をサンプルとして調製し，各サンプルから得られる回折環より保湿作用にかかわる分子構造の存在を確認するものでした。私自身は，放射光実験施設の職員として実験の手法についての一定の知識は持っているつもりですが，実際に実験を行った経験はほぼ無かったため，とても新鮮な気持ちで実験に参加することができ，大変勉強になりました。

実習の様子を図3に示します。

### 最後に

今回のスクールでは，放射光科学について基礎から産業・医学への応用まで幅広い分野について触れる機会を得ることができました。元々素粒子実験における半導体検出器・制御系分野の出身の私にとっては初学者に等しい分野も多く，講義の内容全てを十全に理解しているとは言えませんが，多分野・手法にまたがる形で知識・知見に触れた事は今後の放射光施設における研究開発の大きな助けになることと考えています。今回，このような貴重な機会を頂いた事について，関係諸氏には改めて厚く御礼申し上げます。

また，スクール期間中，講師・参加者の皆様，特にスクールのホテルで同室であった Davis 氏には大変親身にサポートをして頂きました。日本語の誌面上ではありますが，こちらでも厚く御礼申し上げます。



図4 Excursion での集合写真