

第 8 回国際粒子加速器会議 (IPAC'17) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター 光源基盤部門
早乙女 光一、大島 隆、近藤 力

第 8 回国際粒子加速器会議 (International Particle Accelerator Conference, IPAC) が 2017 年 5 月 14 日から 19 日にかけてデンマークのコペンハーゲンで開催された。主要ホストは放射光源施設の MAX IV と中性子源施設の ESS (European Spallation Source、建設中) であるが、両者ともにサイトはスウェーデンにある。開会式では、高等教育、科学、研究を担当するデンマークの大臣とスウェーデンの国務長官などの挨拶もあり、両国の科学技術への支援の様子が伝わった。世界 34 カ国から 1,588 名が参加し、加速器全般に関する発表・議論が行われた。会議で扱われた内容は幅広く、また専門的でもあるため、ここでは主に放射光と光源加速器に関する話題に絞って報告する。発表スライドやプロシーディングスなどは既に Web で公開されているので、詳細をお知りになりたい方はそちらを参照していただきたい¹⁾。

会議初日のプレナリーセッションは、W. Decking (DESY、ドイツ) による European X-ray Free Electron Laser (XFEL) のコミッショニング報告から始まった。超伝導加速空洞の 4 K への冷却は 2016 年 12 月までに終了し、翌 1 月より加速器のコミッショニングが開始された。ビーム診断系を使ったエミッタンス測定なども行いながら後段のアンジュレータまでビームを通し、ビームエネルギー 6.4 GeV、波長 0.9 nm で最初のレーザー発振を 5 月 2 日に観測した。

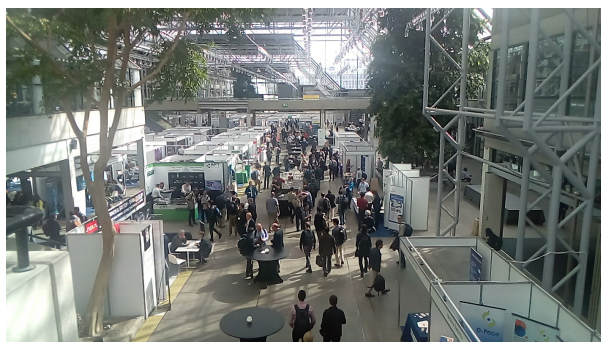


図 1 会場内の風景

今年 9 月にユーザー運転を開始できるよう調整を進めている。横方向のビームプロファイルに理解できない挙動が見られ、現在調査中とのことであった。2018 年には年間 2,000 時間、2019 年には年間 4,000 時間 (フル) のユーザー運転を計画している。FEL に関する口頭発表は、Swiss FEL について H.-H. Braun (PSI、スイス)、PAL-XFEL について H.-S. Kang (PAL、韓国)、SACLA について K. Togawa (理研) などからもあった。Swiss FEL は 2013 年に建設が始まった XFEL 施設である。2016 年からコミッショニングが開始されたが、12 月にビームエネルギー 345 MeV、波長 24 nm でのレーザー発振を観測した。さらに会議開催中の 5 月 14 日には、545 MeV、11.3 nm で、また 5 月 15 日には、0.91 GeV、4.1 nm での発振が観測されたとの報告があった。計画では今年のうちに 3 GeV まで加速し、0.4 nm での発振とユーザー利用を目指すそうである。また消費電力の少ないクライストロンを開発し、さらにはそこから廃エネルギーを回収する冷却設備を構築するなど、エネルギーを効率的に消費する工夫がされている。世界の硬 X 線 FEL 施設は、LCLS、SACLA、PAL-XFEL、European XFEL に Swiss FEL を加えて、これで 5 つになったと宣言していたが、世の中は FEL 施設の成熟期に入ったということであろうか。PAL-XFEL からは 2016 年 4 月から始まったコミッショニングの状況が報告された。ビームを使ったアンジュレータのアラインメントとアンジュレータ放射のスペクトル解析によるギャップ値の精密調整を行い、2016 年 10 月に波長 0.15 nm でのレーザー発振、11 月 27 日には飽和を達成した。また会期中の 5 月 16 日には波長 0.1 nm での飽和を観測したとの報告があった。SACLA からの今回の発表は、2016 年からユーザー利用が始まった Soft XFEL ビームライン (SACLA-BL1) の運転経験とビームエネルギー増強によるアップグレードの状況などについての報告であった。現在 8~62 nm (20~150 eV) の波長

領域において最大 60 Hz で運転しているが、エネルギーを 1.8 GeV に上げて 2~4 nm の波長域を目指す計画である。

リング型光源に関しては、SPring-8 を始め世界各施設で Multi-Bend Achromat (MBA) ラティスを採用する極低エミッタンス化の検討が盛んに行われている。今回は、“Towards Diffraction Limited Storage Ring Based Light Sources”と題して、L. Liu (LNLS、ブラジル) によるレビュートークがあった。世界各施設の計画を紹介し、MBA ラティスにまつわる問題点などを解説した。また Sirius 計画を例に取り、ラティス関数の最適化が重要であることなどを述べた。各地で行われている MBA ラティスの検討は、ESRF が、“Hybrid MBA”と名付けられたラティスを 5 年程前に発表してから本格化した感があるが、今回の会議を見る限り、ある程度一段落したようである。もちろん安定領域の狭いリングへの入射の問題など、解決すべき課題は多いのだが、MBA ラティスに関して特に目新しい報告はなかったように思う。なお、P. Raimondi (ESRF、フランス) が、“For the invention of the Hybrid Multi Bend Achromat HMBA-lattice ...”という理由で、“The Gersh Budker Prize”を受賞し、その記念講演があったことを書き添えておく。

トピックス的な話として、英国の Diamond が 1 セル分の磁石配置を局所的にアップグレード用の Double-DBA ラティスに入れ替えてビーム運転をしているとの報告があった。このような改造をするとリングの対称性が崩れるため、安定領域が狭くなることが懸念される。実際に入射効率の低下が見られ、ダイナミックアパーチャーが半分程度という予想以上の減少になったそうである。その他、永久磁石を使った偏向、4 極磁石の R&D や、クライオアンジュレータに関する発表が目立ったように思う。BESSY II など 3 GeV クラスの施設では、クライオアンジュレータの導入がさかんに検討されている印象を受けた。

高周波システムの制御に関連した話題として、ドイツの DESY が中心となって立ち上げた MicroTCA.4 という規格のモジュールに関連する報告があった。この規格は、元々は通信業界の規格であった Telecommunication Computer Architecture (TCA) に、アナログ信号処理モジュールを背面に設置できるように拡張したものである。European XFEL ではこ

の規格のモジュールが採用されていて、複数のモジュールで構成された約 200 台のユニットで、合計 700 万点のパラメータを制御しているとの報告があった。また、MicroTCA.4 のモジュールの活用を推進するために、メーカーが製作したモジュールのテスト、ユーザーのトレーニングなどを行う MicroTCA Technology Lab という組織を DESY 敷地内に立ち上げたそうである。SPring-8 の蓄積リングにおいても、老朽化したアナログ回路ベースの高周波制御システムを、MicroTCA モジュールをベースにしたシステムに移行する準備を進めており、これらの報告は参考になった。

大電力 RF 技術では、高電界下の放電現象と、加速管のコンディショニング時間の短縮について、W. Wuensch (CERN、スイス) の発表があった。氏の説明では、パルス的高電界の印加によって加速管表面には電界応力による微細な歪みが発生し、この歪みの発生頻度が放電頻度となる。そして、この歪みが発達し一様に広がると、放電の頻度が低くなる。加速管の製作では、機械加工後の、銅表面に予め機械的歪みが広がっている状態の方が、その後に加わる熱なまし処理による表面が滑らかな状態よりも、歪みの広がりが必要な高電圧印加は短時間で済む。試験結果では、非熱処理の試験空洞のコンディショニングに必要な期間は、熱処理空洞の 1/10 という結果であった。これが本当であれば、加速器の立ち上げ時間の多くを占める加速管のコンディショニングを、大幅に短縮できることになる。今後の検証が必要であるが、加速管の製作技術に一石を投じたと言える。

ビームモニタ技術では、Coherent Synchrotron Radiation (CSR) によるバンチ長モニタを用い、Micro-bunching Instability (MBI) のビーム電流依存性を、鮮明な二次元プロットで示した発表が、M. Brosi (KIT、ドイツ) からあった。MBI が発生するとバンチ長に変動が起こるが、そのバンチ長の変動を、全バンチ毎、ターン毎に測定し、かつ全データを収集できる高速なバンチ長モニタシステムにより、MBI の挙動や電流閾値の詳細を知ることができることを示した。このようなバンチ毎のバンチ長モニタは、MBI の測定以外でも、常時モニタとしてバンチ長変動などをより詳細に測定できると期待される。

Accelerator on a Chip International Program

(ACHIP)という計画を複数の加速器施設が共同で進める枠組みがあり、周期構造を持った誘電体にレーザーを照射し、そこに発生した電場で荷電粒子を加速する方式の検討が進められている。レーザーの分岐や遅延を行うチップ素子の開発や、将来的に3D printingを用いた素子の使用の検討などが報告されていた。加速器の建設費用を抑えるにはサイズを小さく抑えることは1つの選択肢だと思える。将来、成果が上がればradiotherapyや産業界などに展開されるかもしれない。

会議に合わせて実施された施設見学では、ESSとMAX IVを訪問した。MAX IVでは1.5 GeVの蓄積リングが真空の焼きだし運転中で、150 mA程度の蓄積電流でのトップアップ運転、3 GeVの蓄積リングは70 mA程度のdecay modeでの運転を見学の直前に行っていたようである。見学のためにビーム運転を中断したそうで、スケジュールに余裕はないとのことであったが、実験ホールで待機中のユーザー（らしき方々）の冷やかな視線を背中に受けながら実験ホールを歩いた。3 GeV蓄積リングのトンネルは広々とした通路、コンパクトな磁石ユニット、整然としたケーブリングが印象的であった。ESSは建屋の建設中で、地下の加速器のトンネルが仕上がり上部の建物を建設中であった。

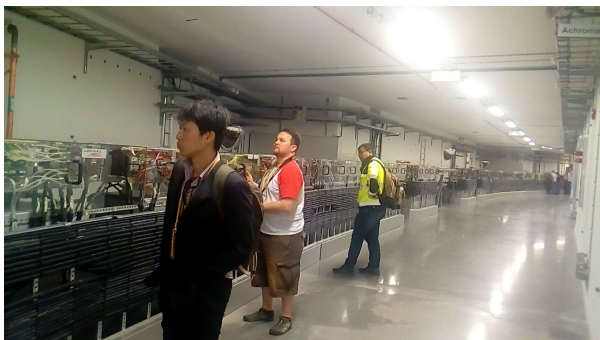


図2 MAX IV 見学

今回のIPACへの参加者を国別に見ると、多い順にドイツ、アメリカ、スウェーデン、スイス、中国、イギリス、日本、…となっている。中国と日本からはそれぞれ100名程度の参加者があったが、各国の施設から参加している中国系の研究者も多く、会場では躍進ぶりが目立っていた。中国勢には若手が多く、今後勢いを増していくことが予想される。次回の

IPAC'18は、2018年4月29日から5月4日にカナダのバンクーバーで開催される予定である。

参考文献

[1] 会議のホームページは、<https://ipac17.org>であり、プロシーディングスと発表スライドが公開されている。

早乙女 光一 SOUTOME Kouichi

(公財)高輝度光科学研究センター 光源基盤部門
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0831
e-mail : soutome@spring8.or.jp

大島 隆 OHSHIMA Takashi

(公財)高輝度光科学研究センター 光源基盤部門
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0831
e-mail : ohshima@spring8.or.jp

近藤 力 KONDO Chikara

(公財)高輝度光科学研究センター 光源基盤部門
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0831
e-mail : ckondo@spring8.or.jp