

## 会議報告

## IPAC'17 会議報告

イーレンドン ブルース\*<sup>1</sup>・西脇 みちる\*<sup>2</sup>・阿達 正浩\*<sup>3</sup>Reports on the 8<sup>th</sup> International Particle Accelerator Conference (IPAC'17)Bruce YEE-RENDON\*<sup>1</sup>, Michiru NISHIWAKI\*<sup>2</sup> and Masahiro ADACHI\*<sup>3</sup>

## 概 要

IPAC'17 は、5月14日から19日にかけて、デンマーク・コペンハーゲンにて開催された。ProceedingsはIPAC'17のウェブページに掲載されている。会場は、写真1のBella Center Copenhagenである。14日は、Student Poster Sessionが開催された。15日は、午前中にAuditorium A2/A3にてXFEL, ESS, LHCの現状報告など5件のPlenary Oralが行われた。その後はAuditorium A2/A3とAuditorium 15でのパラレルセッションとなった。Auditorium A2/A3は非常に広く、スクリーンは遠かったが、どちらの会場もスライドと登壇者の両方が大きく映し出されており、後方の席でも見やすい工夫があった。ポスター発表は、Hall B2/B3にて、15日から18日の16時から18時に実施された。会場は全体としては広いが、連日400件以上のポスターが展示され、混雑した印象であった。2時間すべてがコアタイムとされ、また同じジャンルは同じ日に発表されるため、他のポスターを見る時間がほとんどなかったのは残念だった。

デンマークは北海とバルト海を隔てるユトランド半島と島嶼からなるが、会場となったコペンハーゲンはシェラン島にある。橋でつながれた隣国スウェーデンではESS (European Spallation neutron Source, 破碎中性子源) がスウェーデンとデンマークを宿主国として建設が進められている。冒頭の開会式にはデンマークからSøren Pind教育大臣が、スウェーデンからKarin

Röding 高等教育研究大臣の代理秘書官から挨拶があった。

続くPlenary Oralの冒頭は、DESYのDecking氏 (MOXAA1) から、European-XFEL (EXFEL) 発振成功の報であった。2017年9月にユーザー実験開始を、2019年までに6箇所の実験ステーションの運用開始を目指すとのことであり、世界最大のX線レーザーによる実験が間近に迫る期待感の高まりが感じられた。続いてLHCからの報告、超伝導加速器技術、常伝導加速器技術のレビューが行われ、現行計画と、二つの将来を担う加速器技術を見渡せる構成となっていた。超伝導技術のレビューを行ったKEK/CERNのA. Yamamoto氏の講演では、多くの超伝導RF空洞が世界各地のFEL施設で運用・建設中であり、超伝導技術の拡がりを感じられた。

## Hadron Accelerators

This year the IPAC program included ten oral presentations corresponding to the *Hadron Accelerator* section. The talks consisted of one plenary, three invited and six contributed orals. Additionally, about one hundred forty works in this area were submitted in the poster sessions. During the conference the commissioning, beam studies, research and development of particle accelerators such as the proton machines at CERN (Linac 4, SPS, LHC, etc), J-PARC (Linac, RCS and MR) were presented among others. Indeed, it was provided the

\*<sup>1</sup> 高エネルギー加速器研究機構 KEK (E-mail: byee@post.j-parc.jp)\*<sup>2</sup> 高エネルギー加速器研究機構 KEK (E-mail: michiru.nishiwaki@kek.jp)\*<sup>3</sup> 高エネルギー加速器研究機構 KEK (E-mail: masahiro.adachi@kek.jp)



写真 1 Bella Center Copenhagen. 低層部分の中央付近から右側が会場。左の高い建物は隣接したホテル。

latest status of the projects that will start operating in the next years (ESS and HL-LHC), in addition, discussion about the future high proton-proton accelerators FCC and CEPC were included too.

The problems related with high intensities beam performance (collective effects, beam loss, etc.) were relevant topics at the hadron facilities. Studies of the simulations and measurements of space charge, impedances were frequent subjects as well as the monitoring and reducing of the beam loss.

One important issue was Electron Cloud (EC), this phenomenon appears for high intensity positive charge accelerators. The EC is associated with detrimental effects in beam operation such as: pressure rise, beam loss, transverse instabilities, etc.

CERN presented the results of the EC effects in its beam operation for PS, SPS and LHC. Furthermore, the simulation results using the code PyEcloud and Synrad3D (similar studies were extended to the projects HL-LHC and FCC-hh). J-PARC showed the comparison of its EC measurements with simulations and Cornell University presented the dependence

of the coupling of dipole motion due to the EC.

The EC phenomenon has been studied extensively during the last decades, the sources and the condition of its formation is well understood, new computational codes were developed and countermeasures were applied in the current machines and it will take into account in the future projects to overcome this constraint.

The IPAC congregates larger numbers of the experts in the particle accelerator area, this environment produced interesting discussions, new study proposals and collaborations between several scientists from laboratories around the world. The results is a dynamic community which shares knowledge and push forward the frontiers of the performance of hadron machines.

### 電子加速器関連

電子加速器関連の発表としては、衝突実験よりも放射光源に関連するものの方が多勢であった。しかし、開催地がヨーロッパであったため、CERNからの参加者が多いせいか LHC や FCC, CLIC の話は多く、また ILC に関する発表もあり、衝突実験についての活発な議論もあった。 FCCee

のポスターでは、衝突点で各ビームの分散関数を逆に設定して重心エネルギーが一定になるように Optics を工夫するというような発表があり、皆が固定概念に縛られることなく、アイデアを自由に議論できるような空気が重要だと思った。

口頭、ポスター発表ともに、各要素開発についての発表が多数あった。いずれの分野でも、将来に向けた基礎研究が着実に進んでいると感じた。以下に、幾つかの分野に関して、感想を述べる。

電子源については、全体で 40 件程度の発表があり、盛況であった。電子源に関わる研究として、デジタルミラーデバイス (CMOS メモリセル上にマイクロミラーが設置してあり、メモリセルごとに 2 種類の角度を選択可能) を用いてフォトカソード RF 電子銃用のレーザープロファイルの精細な制御を実現し、レーザープロファイルの最適化で LCLS での FEL のパワーが増加することを実証した発表があり、他の施設でも応用が期待できると感じた。

SuperKEKB でも問題になっている現象について、電子加速器ではないが LHC から複数の有用な発表があった。例えば、アモルファスカーボンコーティングしたチェンバーをインストールしたという話があった。LHC ではコンディショニングで 2 次電子放出率が下がってきているのを in-situ 測定で確認している。会場では SuperKEKB で採用している TiN コーティングの SEY も話題に上がり、現在行っていない in-situ 測定を行った方がいいのではないかという提案もあった。また、同じく LHC でダストが原因と考えられるビームロス現象を Unidentified Falling Objects (UFO) と呼び、特定の場所ではなく全周で起きていることや、コンディショニングを行うことで発生頻度が減少していった等の説明があった。SuperKEKB Phase-1 運転でも似たような現象が発生していたので、測定方法やシミュレーション方法等、参考にしたい。

RF 関連では、ILC をはじめとした超伝導空洞やクライオモジュール開発についても多くの発表があった。Frank Sacherer Prize を受賞した Anna Grassellino 氏 (Fermilab) の発表は、これまでの超伝導空洞の性能向上の歴史や窒素ドーピングや冷却速度の工夫などの新たなブレイクスルーについての解説であり、専門外の方にもわか

りやすいものであった。また、新しい加速原理 (プラズマ加速, レーザー加速, ビームを使った加速等) を使った電子ビーム加速の発表が多かったことに驚かされた。将来的な Energy Frontier の電子・陽電子コライダーには、新しい加速原理を使ったものになるのでは、と考える研究者もいた。新しい加速原理をうまく利用すれば、従来と比べてコンパクトにもなるので、大電流が不要な医療用加速器等に応用されながら発展するのではないかと、という意見もあった。

電源分野では、特に電子加速器に限らないが、キッカーシステムや電磁石電源など多くの発表があった。例えばキッカーシステムやパルス電源については、LHC 入射器アップグレード計画、CERN SPS, CLIC の Damping rings, FCC, FAIR の HESR, SESAME, SACLA の XFEL ビームライン, J-PARC RCS などに関する報告があり、電磁石電源については、SuperKEKB, SESAME, Pohang Light Source での高安定度電源の開発や紹介、CERN の電力変換器の統合ロードマップについて報告があった。

KEK の SuperKEKB や LINAC に関しては、小磯氏による SuperKEKB の Phase-1 コミッショニングについての口頭発表をはじめ多数のポスター発表があったが、最終日のサマリートークでは一切触れられていなかった。今年度後半からは衝突実験 (Phase-2) が始まるので、次回の IPAC ではもっと SuperKEKB が参加者の印象に残ることを期待する。

## 光源加速器

現在建設が最終段階にいたっている European XFEL については、すでにプレナリーの部分で紹介したが、同じ DESY の PETRA-III のアップグレード計画 PETRA-IV の検討が始まっていることが Agapov 氏 (WEPIK065) のポスター発表で紹介されていた。リング全周に渡ってラティスを改造し、6 GeV で 130 pm rad を目指す ESRF-EBS, 同エネルギーで 40 ~ 60 pm rad を目指す APS Upgrade などと対比し、同エネルギーで水平エミッタンス 10 ~ 30 pm rad を目指して HX 領域で回折限界リングとする「Hybrid Multibend Achromat Lattice」および「Phase Space Exchange Lattice」の各ラティス案が紹介されていた。なお、

これらのラティスは後述する最適化法の一つである Multi Objective Genetic Algorithm (MOGA) で最適化する予定であるとのことだった。

KEK における放射光源加速器開発に関して、PF-AR 直接入射路建設に関する報告 (WEPAB044 など)、PF-AR 改造案 (WEPAB046)、次期リング型放射光源計画 KEK-LS (WEPAB043, WEPAB047 など) や cERL (MOPVA019) などの検討・開発状況などが報告された。

Karlsruhe Institute of Technology (KIT) の放射光リング ANKA からは、月曜日と木曜日の 2 回、Coherent Synchrotron Radiation に関する講演があった。月曜日の講演では Kehrer 氏 (MOOCB1) からバーストモードが起こるエネルギー拡がりの閾値に関して、木曜日の講演では Brosi 氏 (THOBA1) から蓄積電流値の閾値に関してそれぞれの計測結果が報告された。いずれの講演でも、KIT で開発された Galvo 駆動のミラーを介して結像した Fast-gated intensified camera を用いてシングルターンの時間分解能の電子ビームプロファイル撮影システム (KAPTURE と呼んでいた) を構築していた。このシステムを使い、エネルギー拡がりの時間発展を計測し、Schottky diode を用いて計測した同じくシングルターンの時間分解能を持つ THz 強度の時間発展の計測結果の時間軸を合わせることで各閾値を解析していた。

KIT の Casalbuoni 氏 (TUPAB035) のポスターでは、Super-conducting undulator (SCU) の開発状況が報告されていた。周期長 15 mm の SCU を ANKA リングで稼働させて 1 年が経過した現在、周期長 20 mm の SCU20 を開発中であるとのこと。磁場調整後の SCU20 と、SOLEIL の Cryogenic Permanent Magnet Undulator (CPMU) の光源特性を比較していた。10 keV 以上の高次成分で周期長 18 mm の CPMU18 に比べて高い光束・輝度が得られる結果が示されていた。

LNL の Lin 氏 (MOZA2) の講演では、調整運転が進む MAX-IV 3 GeV リングを皮切りに、Sirius および ESRF-U の建設が進んでおり、SPring-8-II を含めて世界各地で多くの低エミッタンス MBA リングへの改造あるいは新規建設計画があることが紹介された。これら低エミッタンス MBA リングでは高い Coherent flux が得られ

ることが特徴として挙げられていた。また、より高い輝度を得るためには、低エミッタンスであるだけでなく、位相空間における光の回折限界分布と電子の分布を可能な限り一致させることが必要であり、 $\beta$  関数はアンジュレータの長さ  $Lu$  を  $\pi$  で割った値程度で最適化されることが Kim 氏の文献を引用して説明していた。2018 年 9 月からの 20 mA 運転、2019 年 2 月からの 100 mA 運転を目指して建設が進む Sirius に関しては、2017 年 10 月からの加速器設置開始を目指して建屋の建設が進んでいるとの現状が紹介されるとともに、臨界エネルギー 19.2 keV の Superbend を備えることでウィグラーを必要としないことや、前述の  $\beta$  関数の最適化により MAX-IV に比べて約 2 倍程度高い輝度が得られることなど多くの特徴が紹介されていた。

SLAC の Hemsing 氏 (MOZA2) からは、FEL の Seeding 技術について講演がなされた。まずは Seeding 方法がレビューされ、HHG および HGHG, EEHG, H/SXRSS とそれらの混合についてその長所短所などとともに示され、ユーザー実験に合わせた選択の必要性が示された。また、SLAC の LCLS で行われた SXRSS の実験、SLAC や Trieste の FERMI や DESY の FLASH で行われた HGHG のシミュレーションおよび実験、SLAC や FERMI での EEHG のシミュレーションおよび実験計画などが紹介され、これまでに得られた知見のレビューとともに今後の実験から得られる知見の重要性が示された。

木曜日には、同研究所の Huang 氏 (THXA1) から Beam-Based Optimization についての講演があった。Linear Optics from Closed Orbits 法などの Beam-Based Correction との違いの概説から始まり、SPEAR3 の低エミッタンス化計画のために、様々なタイプの Optimization 法の中から Robust Conjugate Direction Search (RCDS) 法および Particle Swarm Optimization (PSO) 法を選択し、2014 年に SPEAR3 に 6 極電磁石電源の増設などを行った後、加速器で RCDS 法および PSO 法による最適化を実施した。結果、より広い Dynamic aperture が得られる解を見つけることに成功するとともに、EPU のギャップ変化による入射効率低下を抑制する解を見つけることにも成功するなど SPEAR3 では有効な最適化



写真2 会場内の企業展示ブースの様子。大きな吹き抜けの空間に緑が配置されている。

手段となっていることが紹介された。

PALのKang氏(TUOAA1)からは、PAL-XFELの現状に関する講演があった。2011年4月に計画が始まり、2014年12月に建屋の建設を、2016年1月に加速器の設置をそれぞれ終え、2016年4月から加速器調整運転を開始している。2016年6月には波長0.5 nmでのFEL発振を達成し、その後、2017年3月には0.1 nmにおいてFEL強度の飽和も確認しており、2017年6月からのユーザー供与開始に向けて順調に調整が進んでいる様子が示された。なお、挿入光源にはEXFELの大気型水平偏光アンジュレータを採用し、PAL-XFELのパラメータに合わせた磁気回路の設計変更を加えているとのことであった。

SPring-8のTogawa氏(TUOAA2)からは、SACLAの概要とともにBL1に関する報告がなされた。2012年からユーザー運転が開始されているSACLAでは、2014年に移設されたSCSSを用いたSXビームラインBL1を含め、現在3本のBLで安定したユーザー実験が実施されている。BL1は2015年に発振に成功して以降、2016年のビームエネルギーの増強を経て、2016年より20～150 eVの範囲のFELが安定してユーザーに供給されていることが、対称なガウス分布様FEL強度分布の計測結果などとともに示されていた。

PSIのBraun氏(WEZA1)からは、SLSとはAare川を挟んで対岸に位置するSwissFELにつ

いて講演がなされた。講演の冒頭では、SwissFEL建屋の地上部を跨ぐように設けられた野生動物用の橋を、野生動物が実際に渡っていく様子を撮ったムービーが紹介され、自然への配慮も怠らないPSIの姿勢に筆者自身感銘を受けた(聴衆からも歓声があがっていた)。2本のFELの建設が計画されているが、2016年までの第1建設フェーズで完成したAramisについて、多くのハイライトが紹介された。

École Polytechnique Fédérale de LausanneのFerrari氏からはFELの偏光に関するレビュー講演があった。一般的な偏光の話から始まり、アンジュレータをPlanarからHericalアンジュレータへと変更することで25%程度FEL装置が小型化できる話題や、様々なタイプのHericalアンジュレータや組み合わせによる偏光制御方法と得られるFELの偏光度の特徴などの話題が提供された。

ポーランドの電子蓄積リングSORARISについて、Wawrzyniak氏(WEOCA1)から現状が報告された。SORARISは、MAX-IVのS. C. Leeman氏によってデザインされた電子エネルギー1.5 GeV、設計蓄積電流500 mA、周長96 mの12セルDBAリングである。欧州各施設からの協力を得て調整を進めており、これまでに1.5 GeVで400 mAを超える蓄積電流値を達成しており、2018年からのユーザー運転を目指して2016年からはビームライン調整も進めていると

のことだった。

TPS の Liu 氏 (WEOCA2) による講演では、調整運転やこれまでのユーザー運転で得られた知見が紹介された。2014 年 12 月 31 日に初点を達成した TPS は、2016 年 3 月には 300 mA での Top-up 運転を、さらにその年の 9 月から一般ユーザー運転を開始したとのことである。提供された多くの話題の中で、真空封止アンジュレータで発生した銅フォイルのダメージのトピックでは、PF での同様の経験を思い出した。様々な経験が運転システムに反映され、安定した運転時間の確保に寄与しているとのことであったが、貴重な失敗談を拝聴できた。

APS の Ivanyushenkov 氏 (WEOCA3) からは、超伝導アンジュレータ (SCU) の開発・運転状況について話題が提供された。APS では Planar タイプの SCU18-1 および SCU18-2 が稼働しているが、SCU18-2 ではギャップ平行度の調整により位相誤差 2 度を達成していることである。さらに現在、X 線光子相関分光実験へ高輝度光を供給するための Herical タイプの HSCU の製作が最終段階にあるとのことであった。

UC Irvine の Hwang 氏 (THOAB1) から、小型レーザーコンプトン散乱を利用した小型 X・ $\gamma$  線源加速器の医学利用について紹介された。病院での利用を念頭に、シンクロトロン放射光施設に比べて小型化されたライナックベースのシステムが開発され、画像診断や治療への応用を目指した研究開発が進められているとのことであった。

ESRF の Chavanne 氏 (THYB1) からは、近年の加速器における永久磁石技術の展開について紹介があった。利点として、リングの低エミッタンス化が期待できることが紹介された。設計、磁場調整など、多くの課題が存在することが紹介された。可動機構を付加して磁場分布に可変性を備えた数種類の 4 極磁石の試作機や、ESRF や SPring-8, Sirius の Longitudinal Gradient Bend (LGB) 試作機が写真とともに紹介され、着実に前進している様子が感じられた。

IHEP の He 氏 (FRXAB1) からは、近年の低エミッタンス光源リングにおける真空技術について紹介があった。第 4 世代の低エミッタンスリングに共通する特徴として低いコンダクタンスが挙げられ、そのための真空技術として NEG コーティ

ング技術の紹介に始まり、各施設で採用されている真空ダクトや放射光アブソーバーなどが系統立てて紹介された。

同研究所の Zhang 氏のポスターでは、周期長 13.5 mm の PrFeB 磁石を用いた CPMU の試作機が製作中であることが紹介されており、CPMU 技術の世界的な拡がりを感じられた。

BNL の Chubar 氏 (TUPAB140) のポスター発表では、NSLS-II で行われている IVU の Spectrum-Based Alignment について紹介していた。IVU の放射光スペクルを測定し、計算と比較しながら磁石列の傾きや位置を調整し、調整によって 2 倍程度強度が改善している結果が示されていた。NSLS-II の IVU の約半数がこの手法を用いて調整され、性能が向上しているとのことであった。

## Prizes

The achievements of our colleagues are recognized in a special event at the IPAC. The prizes acknowledged the contributions of the persons who dedicates their lives in the progress of the particle accelerators, the ones who made a relevant contribution to the field, also for the young scientist who provided a remarkable achievement in the early career and the most outstanding work presented by students during the poster sections.

- **The Rolf Wideröe Prize** was to *Dr. Lyndon Evans* of CERN for his contributions in the SPS machines at CERN.
- **The Gersh Budker Prize** was to *Dr. Pantaleo Raimondi* of ESRF for the invention of the Hybrid Multi Bend Achromat HMBA-lattice.
- **The Frank Sacherer Prize** was to *Dr. Anna Grassellino* of Fermilab for her contribution to the improvement of the performance of the superconducting RF technology.
- **The Bruno Touschek Prize** was to *Fabrizio Guiseppe Bisesto* of INFN/LNF for his work related with plasma, in particular his experimental work on the single shot diagnostic systems.
- **Best students posters** were *Annalisa Romano*

of CERN for her work in Electron cloud and *Daniel Leslie Hall* of Cornell University for his work in Nb<sub>3</sub>Sn cavities.

- **Industrial Committee Student Poster Award** were to *Hiroaki Takeuchi* of University of Tokyo for his work in X-band Linacs, *Yumi Lee* of Korea University Sejong Campus for her contribution to the study of Drift Tube Linac for BNCT accelerator and *Jean-Michel Antoine Bereder* of University of Tokyo for his work in the X-Band Linac.

### おわりに

IPAC が開催されたコペンハーゲンにはシェラン島にある。島といってもドイツ側、スウェーデン

側ともに鉄道と道路で結ばれており、各国間の緊密な関係を感じることができる。一方、デンマークの通貨はクローネであり、ユーロではない。欧州統合を目指したマーストリヒト条約をデンマーク国民はそのままでは受け入れず、ユーロ通貨にも参加していない。一方で、デンマークは隣国のスウェーデンと協力して ESS をスウェーデンの Lund という町に建設している。Lund はスウェーデン・デンマーク国境から 30 分程度と近く、国際協力による加速器建設の適地なのだろう。国際協力とは地域が埋没することではなく、自主性を維持しつつ協力関係が進むことであることを、ESS の建設が進むこの地で少しばかり感じることができたような気がする。

## 「加速器」への投稿募集

「加速器」編集委員会

本学会「加速器」編集委員会では、積極的な投稿をお待ちしております。

「加速器」は一年度に 4 月末（原稿締切 2 月末）、7 月末（原稿締切 5 月末）、10 月末（原稿締切 8 月末）、1 月末（原稿締切 11 月 20 日）の 4 回発行されています。

原稿の分類（カテゴリー）と内容、原稿投稿の方法などは、”日本加速器学会誌「加速器」投稿の手引き”をご覧ください。

「賛助会員のページ」は、日頃から本学会にご支援を賜っております賛助会員の皆様が自由に投稿できる専用ページです。各企業、団体での加速器事業への取り組み、新しいプロジェクト、新製品、最新技術の紹介などにご利用いただきたいと思います。ただし、同一内容での複数回の掲載はいたしませんので、あらかじめご了承願います。

「新博士紹介」は、新しく博士になられた方が投稿できるページです。氏名・論文提出大学・学位種類・取得年月日・題目・使用施設・要旨について、図表も含めて 2 ページくらいにまとめてご投稿ください。

なお、すべての投稿の採否につきましては、編集委員会にご一任願います。投稿についての詳細、「加速器」へのご意見は、下記にご連絡ください。

### 連絡・問合せ先

日本加速器学会事務局 学会誌担当

〒116-0013 東京都荒川区西日暮里 5-9-8 三美印刷(株)内

TEL : 03-3805-7819 FAX : 03-3805-7688

E-mail : gakkai@kasokuki.com