

会議報告

IPAC'14 報告

藤田 貴弘^{*1}・木村 琢郎^{*2}・庄司 善彦^{*3}・谷内 努^{*4}・渡邊 環^{*5}

Reports on the 5th International Particle Accelerator Conference

Takahiro FUJITA^{*1}, Takuro KIMURA^{*2}, Yoshihiko SHOJI^{*3}, Tsutomu TANIUCHI^{*4} and Tamaki WATANABE^{*5}

1. 会議全般 (庄司)

去る6月14日から20日にかけて5th International Particle Accelerator Conference (IPAC) が開催された。本稿はこの会議報告で、5人が手分けして執筆した。章タイトルの括弧内が執筆者である。

京都から始まったIPACも今回で5回目となり、今回の開催地はドイツのドレスデンであった。地理的にはチェコ国境に近く、高級磁器で知られるマイセンも近い。文化都市の代名詞とも言われるドレスデンだが、工業都市として発展した一面も持つ。市の郊外には自由電子レーザーELBEを有するHZDRがあり、会議後の施設見学コースのひとつとなっていた。

ドレスデンという都市は歴史抜きには語れないだろう。18世紀にはザクセン選帝侯のもと、ヨーロッパ随一の文化都市として発展した。聖母教会(Dresdner Frauenkirche)ではJ.S. バッハがオルガン演奏をし、宮廷歌劇場(現在はザクセン州立で、通称Semperoper; 写真1)ではワグナーやR. シュトラウスのオペラが初演されるといった伝統をもつ。現在でも市内のミュージアムは100近いということだ。他方で第2次世界大戦時に最大級の爆撃被害を受けた都市としても知られる。美しいバロック様式の街並が再建されたのは東西ドイツ統合後である。再建には可能な範囲でオリジナル部材が再利用されたためか、同じ建築

に暗い色と明るい色の壁が混在する。特に聖母教会の再建にはコンピューターが使われ、「ヨーロッパ最大のジグソーパズル」と言われたそうである。その部材は市民が瓦礫から回収し、番号を付けて保管していたものだという。

会議場はエルベ川沿いのInternational Congress Center (写真2)であった。バロック



写真1 オペラ「トゥーランドット」終演直後のゼンパーオーパー。月曜日の午後10時近いが空はほの明るい。因に、金曜日のプログラムはこの劇場初演の「さまよえるオランダ人」であった。

*1 JASRI (E-mail: tfujita@spring8.or.jp)

*2 KEK (E-mail: kimurata@post.j-parc.jp)

*3 兵庫県立大 (E-mail: shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp)

*4 JASRI (E-mail: ihcuinat@spring8.or.jp)

*5 理研(和光) (E-mail: wtamaki@riken.jp)



写真2 会場となった International Congress Center (写真手前)。左はエルベ川、奥にバロック様式の歴史ある建築群が見える。

建築群のある中央へは徒歩で行ける距離である。斜めの床が基本構造という現代のかつ野心的な建築であり、写真2奥に見える古い建築群との好対称にドイツらしさを感じることができる。講演会場の椅子はパイプ椅子だったが、驚くほど座り心地がよかった。市内交通は使い勝手が良いバスと市電で、会議の名札がフリーパス券であったので自由に歩き回ることができた。

サッカーワールドカップと時期が重なり、市内各所でパブリックビューイングが行われていた。会議でも entertainment としてサッカー競技の物理学的、統計学的解析（と称するもの）が紹介された。1試合当たりの得点数がポアソン分布に従うモデルを提唱し、優勝確率の最も高いチームはドイツという結論を導きだした。的中である。

研究発表の内容は他の章を読んで頂くとして、新竹積氏（現；沖縄科学技術大学院大学）が The Gersch Budker Prize を受賞されたことを記しておく。氏の業績については、ここで改めて述べる必要も無いだろう。学生ポスター賞受賞者には日本人はいなかったが、Eléonore Roussel 氏（PhLAM, France）の研究は UVSOR を含む共同研究であった。受賞ポスターは UVSOR-III に於ける microwave instability のシミュレーションで、別発表の観測実験と併せてすばらしい研究であったと思う（写真3）。

2. 電子線形加速器関連（谷内）

電子線形加速器関連の発表について報告する。口頭発表は、プレナリーが5件、2つの会場に分



写真3 ポスターセッションは企業展示も一緒に広いつの会場で行われた。木曜夜はここがバンケット会場となり、窓外に見えるエルベ川対岸からは音楽に合わせて花火が打ち上げられた。

かれての平行セッションで行われた invited oral と contributed oral がそれぞれ 31 件と 51 件であった。その内、電子銃を含む電子線形加速器関連発表は 15 件ほどであった。Synchrotron Light Sources and FELs 分野のプレナリーでは、理研の原徹氏により、“Innovative Ideas for Single-pass FELs” と題したシングルパス FEL の性能及び利用性向上に関する講演があった。FLASH, LCLS, SACLA などの SASE FEL はその利用が拡大しており、ビーム性能、利用形態など様々な改良が進められている。Longitudinal coherence の改善を目的とした Seeded-FEL, HGHG, EEHG (echo-enabled harmonic generation) などの最新状況が紹介された。Particle Sources and Alternative Accelerating Techniques 分野の

invited oral では, “Superconducting RF Guns: Emerging Technology for Future Accelerators” と題して, HZDR の J. Teichert 氏により世界各地で進められている超伝導 RF 電子銃の開発状況や ELBE SRFGun1 による FEL 発振, CS_2TE などの高 QE カソードの実績などが紹介された. 続いて Cornell 大学の L. Cultrera 氏により, “Advances in Photocathodes for Accelerators” と題して, ここ数年における Photocathode の量子効率, 熱エミッタンス, 寿命, 応答時間などの性能向上についての報告があった. 金属カソードに長波長レーザを照射する plasmonic enhanced emission においてカソード面上に nm オーダーのパターンを作ることにより量子効率が向上することや, KBr, CsBr, CsIn などのコーティングによる仕事関数の減少, タングステンへの Cs 含浸, Ag (001)/MgO 多層膜, アルカリ・アンチモン陰極, CsAu, NEA-GaAs における熱エミッタンスの改善など様々なアイデアや実験結果が示された. ポスター発表でも関連する研究が多く, この分野のアクティビティの高さを感じた. Accelerator Technology 分野の contributed oral では, INFN-LNF の D. Alesini 氏により SPARC photoinjector test facility のエネルギー増強のために開発した 2 回対称導波管カプラー方式 C バンド加速管の設計・製作および大電力試験で加速勾配 35 MV/m が確認されたことなどが報告された. また, 建設中の ELI-NP Gamma Beam System (ルーマニア) に採用予定の HOM 減衰構造付き高繰り返し C バンド加速管の検討状況が紹介された. Synchrotron Light Sources and FELs 分野の contributed oral では, SLAC の J. N. Galayda 氏により LCLS-II 計画についての報告があった. LCLS-II は既存の LCLS トンネル内に 4 GeV 超伝導リナックを新たに建設し, 常伝導及び超伝導リナックからのビームをアンジュレータに入射して 1 ~ 25 keV の X 線を発生させる計画で, 2019 年に first light, 2021 年完成を目指している. その他電子線形加速器関連では, DESY の M. Vogt 氏による FLASH2 のコミッショニングを含む FLASH の状況, CEA/DSM/IRFU の W. Farabolini 氏による CTF3 の Two Beam Test Stand (TBTS) の最新結果などの発表があった.

3. 電子シンクロトロン (藤田)

まず, IPAC'14 初日のプレナリーセッションで SLAC の Hettel 氏により, “Challenges in the design of Diffraction-Limited Storage Rings” というタイトルの講演が行われ, 近年世界的に検討されている数 keV ~ 10 keV の X 線領域で回折限界またはそれに近いリングを第 4 世代の放射光源 (4GSR) とすること, 最近の NSLS-II, Max IV, Sirius が既に in construction であること, 他にも各地域で SPring-8-II 計画を含む 4GSR の計画があり, その実現までの課題等, 実現するための技術的な困難さや, 世界的な計画や動向が報告された. 取り立てて特筆すべき真新しい内容は報告されなかったと思うが, 国際会議の度に in study であった計画が funded になり, in construction を経て in commissioning になっていく過程をレビューすることに 1 つの意味はあると思う. また, 回折限界リングが世界的に注目されながら検討されていることのあらわれであったと思う.

回折限界リングの 1 つの困難さは, 必要な磁場勾配が得られたとしても, それらのアライメントエラー, 磁場の誤差がビームの安定領域を極端に狭くしてしまうことがあるため, ビーム寿命や入射に対策や工夫が必要である. その入射の問題に対する 1 つのアプローチとして PSI の相葉氏より “Longitudinal Top-up Injection for Small Aperture Storage Rings” という表題で, 動的アパーチャが狭いリングで top-up 運転を可能にする入射方法が報告された. これは, 回折限界リングではダイナミックアパーチャが極端に狭くなるため transverse には on-axis にビームを入射し, その代わりに入射ビームを longitudinal 方向にずらして入射してやろうというものである. これに似通ったアイデアで, 入射ビームの初期振幅をある程度 longitudinal 方向に振り分けてやろうという考えは以前から議論されていたように思うが, transverse 0% で longitudinal 100% という方法が低エミッタンスの光源加速器に提案されたのは初めてのケースであるように思う. この入射方法はまた, top-up injection とうたっており, 既に電子が蓄積されているバケットに継ぎ足し入射ができることが大きなメリットの 1 つである. ただし,

入射ビームは RF 位相で π 離れた位相に入射されて進行方向に大振幅でシンクロトロン振動を行うので、オフモーメントの粒子に対するダイナミックアパーチャが狭い加速器には適用困難であることには注意が必要である。いずれにせよ、発表では、現在建設中の MAX IV のラティスパラメータを用いて問題なく入射できることを示すトラッキング結果が示されていた。実現可能性を左右する機器として蓄積ビームを揺さぶらないように入射するための高速キッカーが挙げられていた。MAX IV の例では加速周波数が約 100 MHz であるので、高速キッカーに必要な時間幅は 5 ns 程度以下であれば良いが、500 MHz 近辺の加速周波数を採用している加速器ではキッカーの時間幅が 1 ns 程度以下である必要がある点も注意が必要だと思った。

Diamond が利用運転中の挿入光源の駆動により、軌道、ベータトロンチューン、垂直ビームサイズについて、フィードフォワードならびにフィードバックを行っているとのことで、これに関するポスターが数件見られた。挿入光源のギャップ駆動による入射効率の変化や垂直ビームサイズの変動をなくして欲しいと要望があったかどうかは分からないが、ユーザーにとってクリティカルだと判断して導入したのであろう。こういったビームパラメータの高頻度での常時モニタ化および調整は、回折限界リングでより重要になってくると考えられる。

ヨーロッパで開催された IPAC ということも手伝っているのであろうが、BPM 信号処理回路は大半の施設で I-tech 社のものを使用していた。10 kHz のループ速度でグローバルなフィードバックを行っているとのことであった。

4. ハドロンシンクロトロン (木村)

ハドロンシンクロトロン関連では、初日のプレナリーで J. Wei 氏による “The Very High Intensity Future” という講演があったが、その内容紹介は 5 章に譲る。その他には、R. Ferdinand 氏 (GANIL) による “Challenges of Radioactive Beam Facilities – Comparing Solutions at SPIRAL2 and FAIR”, P. J. Spiller 氏 (GSI) による “Status of the FAIR Synchrotron Projects SIS18 Upgrade and SIS100”, C. Carli 氏 (CERN) による

“Extra Low ENergy Antiproton ring ELENA: From the Conception to the Implementation Phase” などの講演が行われた。

今回の会議で最も印象に残っているのはニュートリノ実験に関連する発表である。まずはアメリカの I. Kourbanis 氏 (Fermilab) により “Progress Towards Doubling the Beam Power at Fermilab’s Accelerator Complex” の講演が行われ、16 ヶ月のシャットダウンをへて実験施設へのビーム供給の再開し、recycler を用いた 120 GeV、700 kW のビーム強度の実現について紹介された。続いて、V. Papadimitriou 氏 (Fermilab) により “Design of the LBNE Beamline” の講演が行われ、LBNE ビームラインの設計と大強度ビームを受け入れ可能とするための課題について紹介された。初期に期待されるビーム強度が 1.2 MW であり、実験施設は 2.3 MW のビーム強度を受け入れるアップグレードを可能とする設計がなされており、これらの動向が注視される。

J-PARC からは第 5 章で紹介される講演以外に “Transverse Intra-bunch Feedback in the J-PARC MR” があつた。更に MR の高繰り返しによるビーム増強計画、高繰り返しに対応した RF 空洞の開発や入射キッカーの性能改善など多数のポスター発表が行われた。

また CERN では、A. Alekou 氏による “Optics Design of the High-power Proton Synchrotron for LAGUNA-LBNO” をはじめとして、High-power Proton Synchrotron (HP-PS) のコリメータシステムや入射機器についてなどのポスター発表が行われた。これまでニュートリノ実験では J-PARC が先行してきたが、Fermilab や CERN などの追撃態勢が整い始める中、国際競争が激化してくることは容易に想像できる。今後の状況の推移に注目していきたいと思う。

5. その他ハドロン加速器 (渡邊)

“The Very High Intensity Future” と題した J. Wei 氏 (FRIB) による講演では、MW 級のビームパワーのハドロン加速器を実現するために重要となる主要技術やチャレンジングなデザインについての発表があつた。重イオン加速器に於いては、FRIB (Facility for Rare Isotope Beams) を例に挙げ、超伝導加速空洞、クライオモジュール、イ

オン源, ビームロスからのマシンプロテクション, 等の解説があった. 特に大強度重イオンビームに於いては, 荷電変換装置におけるストリッパーの材質が受けるダメージが深刻な問題だが, 理研の今尾氏らによって開発されたガス荷電変換装置と, ANLでテストが行われている液体リチウムフィルムは, これを解決する有力な候補となっている.

陽子ビームの荷電変換装置においては, S. M. Cousineau 氏より, レーザーを用いた 900 MeV H^- ビーム (6 ns) の荷電ストリッピングに成功した報告があり, 現在 SNS (Spallation Neutron Source) において, 1 GeV H^- (10 μs) ビームでの使用を目指して開発が続けられている.

D. McGinnis 氏 (ESS) は, 次世代の大強度加速器の建設には莫大な費用が必要となり, 単独の研究所だけで全ての建設資金を工面する事は困難であり, 他の研究所との協力が重要であることを説いた. 今回の講演では, 建設費用削減の成功例として ESS (European Spallation Source) 計画における設計変更の例が挙げられた. ESS においては, ビームの加速エネルギーを 2.5 GeV から 2.0 GeV に下げる一方で, 加速勾配とビーム電流を上げる事により同等なビームパワーを得る事を可能とした.

A. Noda 氏 (NIRS) からは, 京大 S-LSR リングにおける, リング中を周回する高速イオンビームの結晶化を目指した実験についての講演があった. 現在, このリングでは, レーザー冷却とシンクロ・ベータトロン共鳴結合を用いる事により, 超低エミッタンスビームを実現している. コンピューターシミュレーションでは, 三次元のビーム結晶化が可能であることが示唆されており, 今後の進展に期待が寄せられている.

H. Hochi 氏 (JAEA/J-PARC) からは, JPARC における RCS への入射エネルギーを 181 MeV から 400 MeV に上げるために, リニアックの増強が行われ, 最初のテストで, 0.5% という低いビームロス, 550 kW のビームエネルギーを得る事に成功した, という報告があった.

反陽子を 5.3 MeV から 100 keV まで減速させる減速蓄積リング ELENA は, 現在建設段階に入っており, 2016 年にはコミッショニングが開始される予定である, という報告が C. Carli 氏 (CERN) よりあった. また, R. Ferdinand 氏 (GANIL) からは, RI ビームを ISOL で発生させる GANIL の SPIRAL2 計画と, In-flight で発生させる GSI の FAIR 計画の詳細な報告があった. SPIRAL2 計画では, 2014 年末までに入射器のビームを加速するスケジュールとなっている.

医療用加速器においては, K. Noda 氏 (NIRS) から HIMAC におけるペンシルビームを用いた 3D スキャニングの成功報告があり, H. L. Owen 氏 (Cockcroft Institute) からは, ヨーロッパにおける原子炉の廃炉に伴って, 医療用 RI の Technetium-99m が不足しており, この問題解決のために加速器を導入する検討が始まったという報告があった.

参考資料

- 1) Proceedings は JACoW サイト (<http://www.jacow.org>) に公開済である. JACoW からのメールに, "16% of yellow dots were due to incomplete or wrongly formatted references—not so easy to fix as the above (単純なフォーマットミスを指す), but definitely worth getting right and in the interest of the author since accurate and complete citation and references increase the impact factor" と注意があったことを記しておく. いつもながら, JACoW team に感謝である.