

会議報告

39th International Free Electron Laser Conference (FEL2019)

会議報告

全 炳俊*

Report on 39th International Free Electron Laser Conference (FEL2019)

Heishun ZEN*

1. はじめに

2019年8月26日から30日、ドイツのハンブルク大学において39回目となる自由電子レーザーに関する専門国際会議39th International Free Electron Laser Conference (FEL2019)が開催された。ホストは2017年に初発振を達成した European XFEL と FEL の分野では SASE-FEL の先駆けとなった FLASH という施設で知られるドイツ電子シンクロトロン (Deutsches Elektronen-Synchrotron; DESY) である。FEL Conference は2015年の第37回 (韓国太田市, PAL 主催) から隔年開催となっており, 2017年のアメリカ合衆国ニューメキシコ州サンタフェ (ロスアラモス国立研究所) での開催以来, 2年ぶりの開催となる。340名以上の研究者が参加し, 68%が欧州, 19%がアジア, 13%がアメリカからの参加者であった。発表は口頭59件 (欧州58%, アジア22%, アメリカ20%), ポスター265件 (欧州60%, アジア26%, アメリカ14%) であり, 企業展示は全部で28件であった。会場は1911年に建設された歴史ある建物であるハンブルク大学の Edmund-Siemers-Allee 1校の本館 (図1) であった。この建物内では飲食禁止のため, この建物の裏にテントが設営され, コーヒーブレイクやポスターセッション, 企業展示はそこで行われた (図2)。ただ, 会期中は最高気温が32度を超え, ポスターセッション・企業展示は暑さとの戦いとなった。

本会議開催前に会議報告執筆の打診を受けていたが, 正式な執筆依頼を受けたのは2020年4月であり, 半年以上前の会議報告を当時のメモを頼りに記憶を呼び覚ましなが執筆している。処々, 不正確な記述があると思われるが, ご容赦頂きたい。本稿を読み, FEL2019の内容に興味を持たれた方は Web¹⁾ 上で公開されている発表資料



図1 学会会場 (写真: 加藤龍好氏 (KEK) 提供)。



図2 会場裏のテント。

* 京都大学エネルギー理工学研究所 Institute of Advanced Energy, Kyoto University
(Heishun Zen E-mail: zen@iae.kyoto-u.ac.jp)

およびプロシーディングスをご覧いただきたい。

2. 会議報告

図3に口頭発表会場の写真を示す。FEL Conferenceは例年、会期を通してパラレルセッションは存在せず、1つのセッションがシリーズに続く構成をとっており、各参加者は全ての口頭発表を聞くことが可能であるという特徴がある。また、初日の開会宣言の後に、前回のFEL Conference以降に初発振(First Lasing)を達成した施設の報告が行われるFirst Lasing Sessionがあるのが恒例行事となっている。

今回はFirst Lasing Sessionに先立ち、2019年1月に亡くなったAlberto Renieri氏の追悼講演が行われた。Renieri氏はFEL黎明期にFELの理論構築に貢献すると共に、蓄積リング型FELの飽和パワーを制限する“Renieri Limit”やSuper-ACOでの蓄積リング型FELに関する研究で知られる。これらの功績により1994年にGiuseppe Dattoliと共にFEL Prizeを受賞した。

First Lasing Sessionでは合計6件の報告があった。講演順に列挙する。

- ① Soft X-ray EEHG-FEL@FERMI Elettra
- ② CW THz FEL@CAEP THz Facility
- ③ SASE2 and SASE3 @European XFEL
- ④ Soft X-ray FEL@SSRF
- ⑤ CW FEL Amplifier for CeC@BNL
- ⑥ FELiChEM@NSRL

このうち、①③④⑤はシングルパス型のFELであり、②⑥は共振器型のFELである。また、①④は軟X線領域、③は軟X線と硬X線、②⑤⑥は赤外領域である。①④⑥は常伝導加速器を用



図3 口頭発表会場。

いた装置であるが、②③⑤は超伝導加速器を用いた装置である。⑤は発生させたFELを利用するのではなく、FELにより増幅させた密度変調をハドロンビームの冷却に用いるものである。これらの報告から様々なタイプのFELが多様な手法・加速器を用いて開発されていることがお分かり頂けると思う。特筆すべきは新たに発振した6つのFELの内、半数が超伝導加速器を用いた装置であるということである。現在、建設中のFEL施設も多くが超伝導加速器を採用し始めており、超伝導加速器を用いたFELは増える傾向にある。

First Lasing Sessionに続いて、プロジェクトと施設の現状報告1セッションがあった。本セッションでは2件の講演があり、1件目は理研の田中均氏による常伝導加速器ベースのX線自由電子レーザー(XFEL)の運転状況と将来展望について、2件目はDESYのHans Weise氏による超伝導CW加速器を用いたXFELの概要と将来についてという対比的なセッション構成となった。田中氏の講演では、既存の常伝導加速器を用いたXFEL施設間の比較と常伝導と超伝導を用いたXFELの簡単な比較の後、既存の常伝導加速器を用いたXFEL施設であるLCLS, SACLA, PAL-XFEL, SwissFELの状況についてReviewがあった。その後、超伝導XFELに対抗する常伝導XFELの一つの方向性として、繰り返し周波数を数kHzまで向上させる手法として銅製の空洞を極低温まで冷却して使用するCryo-acceleratorと低損失の誘電体を利用したDielectric Assist Accelerating Structureについて紹介された。Weise氏の講演では超伝導加速器を用いたXFELについて、European XFEL, LCLS-II, SHINEを例にとり紹介した後、超伝導加速器を用いたFELの歴史に触れ、窒素ドープ技術やCryomodule技術、大量生産体制等に関する紹介がなされた。現在、超伝導加速器を用いて発振している硬X線領域のXFELはEuropean XFELのみであるが、European XFELの成功を受けて、超伝導加速器を用いたXFELが主流となりそうな予感がある。本セッションで議論に上ったのは1光子当たりのコストである。超伝導加速器を用いたXFELは確かに建設コストおよび運転コストは常伝導加速器を用いたXFELに比べて高いが、超伝導加速器では常伝導加速器の1000倍以上の光子(もしくは光パルス)を1秒間

に供給可能であり、建設コストおよび運転コストは流石に1000倍にはならないため、結果的には超伝導加速器の方が1光子当たりのコストが安くなるという議論であった。XFELが様々な科学研究に不可欠な存在となっている今日、こういった着眼点もこれから建設される施設において重要となるように思われる。

昼食を挟み、午後1つ目のセッションは前回のFEL ConferenceでFEL PrizeおよびYoung Scientist FEL Award受賞者の受賞講演セッションであった。FEL2017のFEL Prize受賞者はPhotocathode RF Gunの実現、エミッタンス補償の理論モデル構築、Photocathode RF GunのHigh-Gain Self-Amplified Spontaneous EmissionおよびRegenerative Amplifier FELへの応用の成果で、ロスアラモス国立研究所のDinh Nguyen, Richard Sheffield, Bruce Carlstenの三氏に授与されており、本セッションでは、Nguyen氏が赤外からX線までのRegenerative Amplifier FEL, Carlsten氏がロスアラモス国立研究所で計画中の42 keV発振を目指すMaRIE XFELについて講演を行った。FEL2017のYoung Scientist FEL AwardはFERMIにおける偏光特性測定、Seeded FELにおけるmulti-color pulse発生、micro-bunch instabilityとFEL特性の相互作用についての研究成果でÉcole Polytechnique Fédérale de LausanneのEugenio Ferrari氏とSOLEILのEleonore Roussel氏の二人に授与されており、レーザーヒーターがFELスペクトルに及ぼす影響やそれを用いたseeded FELの波長チューニングなどについての講演がなされた。加速器の上流側で強度変調レーザーヒーターにより生成したマイクロバンチが生き残り、最終的にFEL波長操作に使えるという興味深い内容であった。

これ以降は各トピックにフォーカスしたセッションが最終日前日まで続く。各セッションのトピックを下記に示す。

- FEL Theory
- SASE FEL
- Seeded FEL
- FEL Oscillators and Long Wavelength FEL
- Electron Sources
- Electron Diagnostics, Timing, Synchronization, and Controls
- Photon Beamline Instrumentation, Undulators
- FEL Applications
- Electron Beam Dynamics
- Novel Concepts and Techniques

各セッションには2~3件程度の招待講演と1~2件程度の一般口頭発表が企画されており、口頭発表中の招待講演の比率が高い。二日目と三日目の最後にはTutorialとして、それぞれ、Avi Gover氏による“Coherent Spontaneous Superradiance and Stimulated-Superradiant Emission of Bunched Electron Beams”およびHarald Sinn氏による“Photon Transport Beamline Design”についての講演があった。

最終日には初日に行われたStatus of Project and Facilitiesに関する2つ目のセッションが行われた。紙面の都合上、個々のセッションでの発表内容についての言及は控える。

隔年開催になったこともあり、全体的に新鮮な話が多かったように思う。1回参加をスキップすると4年に一度になってしまい、最先端から取り残される怖さも感じた。次回も可能な限り参加したいと思う。

3. ラボツアー、バンケット等

FEL2019のラボツアーはFLASHとEuropean XFELの選択制であった。図4に閉会の際に示されたスケジュール表を示す。FLASHツアーは1グループのみで、European XFELは4グループの並列運行となっている。FLASHツアーは約1時間半で終わる行程となっているが、European XFELのツアーは移動距離が長いこともあり、最長で6時間に及ぶ長丁場であった。こういった大規模な見学会を企画して下さった現地実行委員

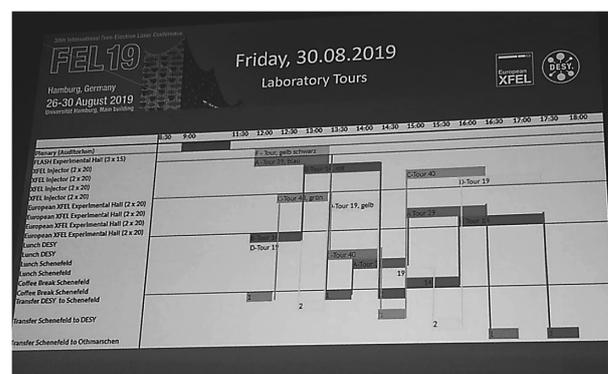


図4 ラボツアーのスケジュール表。



図5 左から Young Scientist FEL Award 受賞者の Chao Feng 氏, Joe Duris 氏, FEL Prize Committee Chair の Zhirong Huang 氏, FEL Prize 受賞者の Enrico Allaria 氏, Alex Lumpkin 氏, Gennady Stupakov 氏.

の方々, 見学会にて丁寧な説明をして下さった FLASH, European XFEL の方々に感謝したい。筆者は FLASH も European XFEL も見学したことがなく, European XFEL はまたいずれ見学する機会があるだろうと考え, FLASH のツアーに参加した。FLASH では加速器後段~アンジュレータ, エンドステーションを見学することができた。

初日の会議終了後には Welcome Reception が Strand Pauli というビーチクラブで行われた。特に運営側の挨拶もなく, 現地集合・現地解散という感じのラフな感じの Welcome Reception であった。4日目の会議終了後には Conference Dinner が Emporio Tower Panoramadeck で行われた。会場はその名の通り, 360度, ハンブルクの町を見渡すことができるロケーションで, アルスター湖やそこに浮かぶ沢山のヨット, 電波塔や教会, 気球等を見ることができた。宴もたけなわ中, まず, JACoW プロシーディングスエディターチームに感謝が示された後, 2023年にポーランドの PolFEL²⁾ が FEL2023 を主催することが発表され,

代表の Paweł Krawczyk 氏からの挨拶があった。PolFEL はポーランドに建設が予定されている最大エネルギー 190 MeV の CW 運転可能な超伝導加速器を用いた UV-THz 領域をカバーする FEL であり, 2023年の完成を予定している。続いて, FEL Prize の発表があった。今回の受賞者は Synchrotron Trieste の Enrico Allaria 氏 (受賞理由: FERMI@Elettra での HGHG FEL と EEHG FEL を含む seeded FEL に関する貢献), Argonne/Fermilab の Alex Lumpkin 氏 (受賞理由: 共振器型 FEL における時間分解ダイナミクス測定および相対論的電子ビームと SASE FEL のマイクロバンチングの解明に関する貢献) と SLAC の Gennady Stupakov 氏 (受賞理由: EEHG シード法の発明と高輝度加速器における数多くの CSR および航跡場に関する貢献) であった。近年の傾向として, 隔年になったこともあり, 一つのトピックに絞って授賞するという形ではなくなっているように思える。Young Scientist FEL Award は SLAC の Joe Duris 氏 (受賞理由: tapered FEL および inverse FEL における高効率エネルギー変換と current-enhanced X-ray FEL からのアト秒 X 線発生 of the first demonstration における貢献) と Shanghai Advanced Research Institute の Chao Feng 氏 (受賞理由: HGHG FEL, EEHG FEL, storage ring based FEL の性能向上に向けた seeding 技術開発に関する貢献) であった。図5に受賞者の写真を示す。

今回は記念すべき第40回であり, 2021年にイタリアのトリエステでの開催となる。日本からも多数の方が参加して頂ければと思う。

参考文献

- 1) <https://accelconf.web.cern.ch/fel2019/>.
- 2) <https://www.ncbj.gov.pl/en/polfel>.