

第 17 回加速器と大規模物理実験制御システムに関する国際会議 (ICALEPCS2019) 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 清道 明男

1. はじめに

ICALEPCS2019 (17th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems) が、2019年10月7日から11日まで、米国ニューヨーク・ブルックリンにて開催された(図1)。ICALEPCSは加速器施設と大規模物理実験の制御システムに関する国際会議である。隔年開催でヨーロッパ、アメリカ、アジア(含むオセアニア)地域を巡回しており、今回は米国の Brookhaven National Laboratory (BNL) 主催で行われた。

本会議には507名の参加があり、素粒子原子核物理学実験や放射光、中性子源の加速器施設からの参加のみならず、大強度レーザー、核融合、電波天文台、重力波といった大規模実験から参加があった。SPring-8/SACLAからは5名(理研:福井、JASRI:増田、杉本、松本、清道)が出席した。その他、日本からは理研 RIBF、KEK、J-PARC といった施設や京都大、広島大などの参加があった。

2. 会期前ワークショップ

会議に先立って10月5、6日の2日間は特定の話題について集中して議論するためのワークショップが開催された。テーマはEPICS、TANGO、Jupyter、



図1 会場となった NY Marriott at The Brooklyn Bridge。ホテル前の道を歩くと、数々の映画の舞台となったブルックリン橋にたどり着く。

FPGA、PLC、Motion Control、Machine Learning、Sardana、Timing、MicroTCA、Cyber Security、Container と全部で12件あり320名の参加があった。SPring-8/SACLAからの参加者も分担してワークショップに参加したので、幾つか紹介する。

・Data Science and Machine Learning

今回のワークショップの中では最も盛況で、他のテーマの3倍の部屋を使用して立ち見ができるほどであった。最近の機械学習の流行が垣間見られる。画像認識を題材としたチュートリアルの開講と各施設の利用事例の紹介があった。利用事例では Beam Steering の調整 (BNL) や Collimator アライメント (CERN) に機械学習を適用することで、調整時間の短縮に繋がる可能性が示された。各国で大型の予算が付けられている様子であり、様々な試行が行われている。

・MicroTCA

高速シリアルインターフェースを持つモジュール型プラットフォームの1つである MicroTCA は、加速器・物理実験向けの拡張規格(4番目の拡張規格で、通称 MTCA.4)を策定していることから多くの加速器施設で採用されている。ワークショップでは DESY、CERN、ESS、KEK といった施設での利用状況が報告された。加速器コンポーネントにおいて、主に高速・広帯域処理が必要な Low Level RF (LLRF)、ビーム位置モニタ (BPM)、タイミング系機器で使用され、利用可能なモジュールの種類も増えた。拡張規格の話題では RF バックプレーンを追加した MTCA.4.1 が策定されたことに加えて、PCI Express (PCIe) の次世代規格に対応したより広帯域のサポートやスロットの電力増強を行った次世代拡張規格 (MTCA.4.x) の策定計画について報告があった。

・Cyber Security

加速器や大規模実験の制御システムのセキュリティ

イについて知見を共有することがワークショップの開催趣旨である。ネットワークの分離が重要であるが、Internet of Things (IoT) の普及によりネットワーク接続デバイスが増え単純に分離できなくなってきた。セキュリティにより一層の注意が必要になった。BNL や LLNL などの米国 DoE 研究所は NIST SP800 シリーズ (セキュリティ規格) 準拠が要求され、欧州でも GDPR (General Data Protection Regulation : 一般データ保護規則) があり、各施設の対応状況が報告された。また、最近の侵入事例として LLNL で起きたセキュリティ事案の発生とその対応について紹介があった。

3. 本会議

ICALEPCS2019 会議は以下に示す 14 のプログラムトラックで構成され、全部で 119 の口頭発表と 249 のポスター発表が行われた。図 2 に集合写真を示す。

General

- Project Status Reports
- Control System Upgrades
- Device Control and Integrating Diverse Systems
- Experiment Control

Hardware

- Hardware Technology
- Timing and Synchronization
- Control System Infrastructure

Software

- Software Technology Evolution
- User Interfaces, User Perspective, and User Experience (UX)
- Data Management
- Data Analytics

Subsystems

- Systems Engineering, Collaborations, Project Management
- Functional Safety Systems for Machine Protection, Personnel Safety
- Feedback Control and Process Tuning

SPring-8/SACLA からは 4 件の口頭発表 (福井、杉本、松本、清道) と 3 件のポスター発表 (増田、岡田、石井) があった。会議の内容は多岐にわたるため、こ

こではハードウェア、ソフトウェアに大別して報告する。会議の Web サイト^[1]には発表資料が公開されているので、さらに詳しい内容を知りたい方はそちらを参照していただきたい。

• 制御ハードウェア関連

加速器制御のハードウェアプラットフォームは、高速・広帯域が必要な機器は MicroTCA、遅くてもよいものは EtherCAT や PLC を採用するといった棲み分けが進んでいる。全体として PLC の利用が多く、PLC に EPICS を載せて制御系を作った、という発表が多かった。PLC のロジック開発はラダー言語ではなく Open PLC で Structured Text 言語を使用して開発環境の共通化を進めている。EtherCAT の発表も増えており、その殆どは PLC ベースであった。

高速・広帯域が必要な機器は MicroTCA の採用が増えている。ワークショップでも報告があった LLRF、BPM、タイミングといった機器に加えて Machine Protection System (MPS) での使用例や、新規開発モジュールの発表があった。Hardware Technology のトラックにおいて、福井が SACLA の低エミッタンス電子ビームを SPring-8 蓄積リングへ入射するアップグレード計画での MTCA.4 モジュール開発について報告し、ポスターでは石井の EtherCAT を使用した制御システムの報告を行った。Device Control のトラックでは清道が SACLA-SPring-8 蓄積リングビームトランスポートラインにおける BPM 読み出し系更新や新規の GigE カメラシステムの導入などのモニター制御系構築について報告した。

Timing and Synchronization トラックでは加速器や実験におけるタイミングと同期の課題に焦点を当てている。加速器のタイミングシステムは Micro Research



図 2 本会議の集合写真

Finland (MRF) 社製のタイミングモジュールが SuperKEKB を始めとした多くの施設で使われている。会期前ワークショップのなかでも MRF ユーザワークショップが開催されており、各施設での利用や開発モジュールの報告があった。元々 PCIe や VME をサポートしていたが、MTCA.4 ベースのイベントジェネレータを開発したことが報告された。これにより既に開発済のイベントレシーバーと合わせて、MicroTCA システムで MRF が利用可能となった。

ネットワークを介したタイミングシステムの発表もあり、CERN が進めている White Rabbit を用いたトリガ信号分配や、現在 IEEE で規格の制定が進んでいる“Time-sensitive Networking (TSN)”を利用したトリガ信号分配の開発についての発表があった。後者はドイツのメーカー HIT が、策定前の TSN に代えて PTP (Precision Time Protocol) を用いた試験で PPS (Pulse Per Second) 信号出力のジッター ± 25 ns を達成したことを報告した。

ソフトウェアにおける“Open Source”の考え方をハードウェアに広げた“Open Hardware”があり、CERN を中心にコラボレーションが進められている。各種 I/O ボードを始めとするハードウェアの開発に必要なデータを全て公開する取り組みで、成果の代表例が White Rabbit である。増田がポスターで発表したタイミング分配システムも White Rabbit を利用したものである。他にも、長く運用している施設の古い機器の更新や低コストでシステムを組む目的で、VME や CompactPCI-Serial プラットフォーム用の高速 I/O モジュールを Open Hardware で開発する事例も報告された。

・制御ソフトウェア関連

制御システムはハードウェアを組み合わせれば動くものではなく、ソフトウェアによる橋渡しを行う制御フレームワークが重要な役割を担っている。SPring-8/SACLA で開発・運用している MADOCA およびその発展系も制御フレームワークの 1 つである。Control System Upgrades のトラックで杉本が SACLA/SPring-8 および新 3 GeV 放射光計画の制御システムのステータス報告を行い、ポスターでは岡田のオンデマンド振り分け用データベースシステムについて報告した。

大規模施設において採用が多い制御フレームワークは、米国 Argonne National Laboratory を中心に開発された EPICS と、欧州の ESRF、ELETTRA などの施設が協力して開発している TANGO であるが、これらは会期前ワークショップでそれぞれ User Meeting を開いた。本会議では米国開催ということもあるためか、EPICS の利用を前提とした開発・整備の発表が多かった。例えば PLC に EPICS の IOC を載せて制御システムを構築する、といった報告が多くあったが、各施設において似たようなツールをバラバラに開発して制御フレームワークとしての統一感が欠ける印象であった。

前回の ICALEPCS2017 で Data Analysis のトラックが新設されたが、今回は主に機械学習の話題が増加しており、特に加速器の調整時間の短縮に繋がることを期待して進められている。ワークショップも盛況であったが、試行してみたという発表が多く必ずしも機械学習である必要性を感じられないものも散見された。まだ実用には至っておらず様々な試行を行っている段階であるが、今後の発展が期待される。

Data Management では所外からの実験データアクセスを行いたいユーザの要望に応える形での取り組みが議論された。主に放射光施設・中性子施設での需要が高い。SPring-8 の例では松本が実験データ転送システム BENTEN について発表した。欧州では施設間でコラボレーションを結成して、自前のクラウドを用いたオープンサイエンス基盤を構築している。また、J-PARC ではアマゾンの AWS Cloud を用いた遠隔モニタリング・データアクセス環境を構築した。J-PARC は原子力施設である JAEA の敷地にあるため、外部から施設内計算機への直接アクセスの制約が厳しい。そこで、外部のクラウド環境を積極的に活用したとのことである。

ソフトの開発環境をハードウェアに左右されないよう固定化する目的や、様々なソフトウェアを効率的に稼働させるために、仮想化技術 (Virtual Machine、Container) を使用した例が数多くあった。

4. BNL ツアー

会議の最終日には BNL の施設見学が行われた。ブルックリンから東へ 65 マイル (100 km)、片道 2 時

間のバスの旅であった。ここでは相対論的重イオン衝突型加速器 RHIC、加速器部門 (Collider-Accelerator Department: C-AD)、そして放射光施設の NSLS-II を見学した。

RHIC では STAR 実験の制御室及び検出器を見学した。RHIC は稼働から 20 年で、STAR 実験は 200 GeV 金金衝突および 500 GeV 偏極陽子陽子衝突の実験を行っている。原子核同士を衝突させることで、ビッグバン直後の宇宙に存在していたとされるクォークグルオンプラズマ (QGP) の存在やその物性の解明に向けた研究を進めている。その検出器は図 3 にもありおり巨大なものである。実験開始から 20 年ということもあり、制御機器は VME と NIM を中心とした構成で、一部に新しい機器が混在していた。制御室には Windows 2000 が稼働している古い PC もあった。

加速器群は、陽子は LINAC から、重イオンは Tandem または EBIS から、Booster と AGS を経由して RHIC に入射する。C-AD の中央制御室では稼働から 40 年になる Tandem から最新の EBIS まで 6 つの加速器を一括して制御している。中央制御室は数年前に大幅な改修が行われており、整然としていた。



図 3 RHIC-STAR 実験検出器 (左) と C-AD 中央制御室 (右)。筆者は約 20 年前に STAR と双壁をなす RHIC-PHENIX 実験で博士課程の研究を進めており、BNL は懐かしいものであった。



図 4 NSLS-II のビームライン (左) と加速器の中央制御室 (右)。

NSLS-II は 2014 年から稼働している新しい放射光施設で、C-AD とは独立に運転している。図 4 に写真を示す。ビームラインは約 60 のうち 28 ラインが運用を開始しており、そのうち Coherent Hard X-ray のビームラインを見学した。リング内の移動用に自転車が用意されているなど、SPring-8 のビームラインと似ている部分が多々見受けられた。また、管理区域外には議論できるスペースなどが十分広く取られている。加速器制御室はコンパクトにまとまっており、少人数でのオペレーションも行いやすい様子であった。

5. おわりに

次回 2021 年は SSRF 主催で中国・上海において開催予定である。そして次々回 2023 年は南アフリカ・ケープタウンでの開催が発表された。アフリカ大陸での ICALEPCS 会議は初の開催とのことである。

会議が終了して、帰国便は 10 月 12 日に出発の予定であったが、ちょうど日本に台風 19 号が直撃した日であり、成田・羽田に向かう便は全て欠航、日本からの参加者の多くが影響を受けた。我々も多くが成田か羽田経由伊丹行きで復路で、しかも当日未明に欠航が決まったことから JFK 空港でチケット変更の列に並ぶこと 10 時間。その後、翌朝まで空港のターミナルで過ごし 20 時間かけて中国経由で関空に到着と、なかなか厳しい帰路であった。空港ターミナルでの一晩のサバイバルは 24 時間営業のドーナツ屋やフリーの充電スポットの存在、そして KEK や広島大の仲間がいたことが救いであった。

参考文献

[1] <https://icalepcs2019.bnl.gov>

清道 明男 KIYOMICHI Akiyo

(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 : kiyomichi@spring8.or.jp