

加速器分野への機械学習・仮想現実の応用を通じた人材育成の試み

HUMAN RESOURCE DEVELOPMENT THROUGH APPLICATIONS OF MACHINE LEARNING AND VIRTUAL REALITY TO PARTICLE ACCELERATORS

大山博史^{A)}, 池上壮^{A)}, 長谷望叶^{A)}, 笠井聖二^{B)}, 澤田康輔^{B)}, 加藤政博^{C)}, 神尾彬^{C)}, 浅井佑哉^{C)}, 西原佑^{C)},
LU Yao^{C)}, 島田美帆^{C,D)}, 宮内洋司^{C,D)}, 広田克也^{D)}, 帯名崇^{D)}, 本田融^{D)}
Hiroshi Ohyama^{A)}, So Ikegami^{A)}, Haruto Nagatani^{A)}, Seiji Kasai^{B)}, Kousuke Sawada^{B)}, Masahiro Katoh^{C)},
Akira Kano^{C)}, Yuya Asai^{C)}, Yu Nishihara^{C)}, Yao Lu^{C)}, Miho Shimada^{D,C)}, Hiroshi Miyuchi^{D,C)}, Katsuya Hirota^{D)},
Takashi Obina^{D)}, Tohru Honda^{D)}

^{A)}KOSEN Hiroshima College, ^{B)}KOSEN Kure College, ^{C)}Hiroshima Univ., ^{D)}KEK

Abstract

Kosen Hiroshima College, Kure College, Hiroshima University and KEK continue a collaborative activity on development of human resources for the particle accelerator field through applications of advanced digital technologies to particle accelerators under the support of International and Inter-institution Network for Accelerator Science to Next Generation (IINAS-NX) by KEK. Among various digital technologies, virtual reality and machine learning, whose applications are rapidly expanding in various areas of society including the field of particle acceleration database from the colleges and the university. We are exploring possibilities on detecting anomalies and failures of accelerators using the data from the beam position monitors. We carried out a study on applying machine learning to the accelerator tuning of the compact ERL test facility at KEK. We are developing educational contents on the accelerator science using virtual reality. Students from various grades participate in these studies and developments.

1. はじめに

広島大学、呉工業高専、広島商船高専は共同で「大学・高専連携による加速器分野での人材育成・技術開発・分野融合の加速」という課題で KEK の加速器総合育成事業に申請を行い、2021、2022 年度と採択され活動を続けてきた。2023 年度から事業名は加速器科学国際育成事業 (IINAS-NX) と変わったが、幸いにも引き続き採択され、DX (Digital Transformation) をキーワードに、オンライン化、VR の活用などによる加速器教育・啓蒙活動の高度化、マルチフィジックスシミュレーションや AI・機械学習などのデジタル技術の加速器分野への応用とそれを通じた人材育成・技術開発、遠隔制御・監視による大学加速器施設運用の効率化・省力化を目指した技術開発などを通じて、加速器分野への即戦力的人材の送り出し、大学加速器施設の高度化・競争力向上による多角的な量子ビーム利用の展開により、加速器分野の活性化に貢献し、また、異分野との連携を加速することを目指し活動を継続している。

具体的な活動の中心となっているのは毎週定例の打合せ兼勉強会であり、高専、大学、KEK の教員らに加え、各機関の学生が参加して、活動内容に関する打ち合わせや機械学習に関する勉強や研究の経過報告などを行っている。活動の拠点となる WEB ページの立ち上げ、KEK と連携した講演会 KEK-day「加速器という仕事」や機械学習に関するセミナーのオンライン開催を、高専生が運営の中心を担う形で進め、デジタル技術への習熟の機会としてきた。大学などの小規模な加速器施設の運用に KEK の豊富な人材を活用することを最終的な目標に、加速器の遠隔監視に関する勉強会を KEK が主導し

立ち上げ複数の大学や機関から有志が参加しており、広島大学放射光センターもこれに参加している。

高専生や大学生・大学院生が参加する研究活動の中で、現在、最も力を入れて取り組んでいるのが、加速器分野への機械学習の応用である。近年、社会の様々な領域で利用が急速に拡大している AI・機械学習に関心を持つ学生は多いことから、その加速器分野への応用を通じて関連する知識を身に着ける機会を創出し、合わせて加速器分野への興味を高めることを目指している。また、研究活動のもう一つの柱は仮想現実 (VR) 技術である。これも社会の様々な分野で実装が進み、また、用いられる機器類の価格も低下しており、今後急速に普及する可能性がある。これらの技術については学生の関心も高い。

機械学習については 2021 年度に、KEK Photon Factory の運転データベースにアクセスできる環境を整えた[1]。2022 年度から、加速器の運転データをビッグデータとして使い、機械学習の手法でビームの異常や検出系の故障の検出を行うことを目指して研究を進めている。これらの研究は高専における卒業研究として実施している。また、KEK で開発が進められている compact ERL 試験加速器[2]における加速器調整への機械学習の応用に関する共同研究も行った[3]。こちらは大学院生が参加し修士論文の研究として実施した。本稿では、これら活動の最新の状況を報告する。

2. 機械学習に関する取り組み

KEK においておよそ 40 年にわたり稼働を続けている放射光加速器 Photon Factory ストレージリング (PF リング) の過去 20 年程度の運転データは EPICS システムでアーカイブ化されている。大学・高専の各機関から VPN

#mkatoh@hiroshima-u.ac.jp

(Virtual Private Network)でKEKに接続し、EPICSサーバからPythonプログラムでデータを呼出しJSON形式で各機関のディスク上に保存する仕組みを整えた[1]。様々なデータのうち、ビーム位置検出器(BPM)のデータが運転中切れ目なく長期間保存されている。また、PFリングではリアルタイムで軌道の安定化制御が行われており、これに用いられるステアリング電磁石の電流も保存されている。これらのデータを用いて、機械学習の応用の可能性を探っている。

機械学習による故障診断では、深層ニューラルネットワークを利用したオートエンコーダー(AE)モデルがよく利用されていることから、これをBPMデータに適用することを試みた。AEを用いた異常診断では、正常時のデータを使い入力データをそのまま出力するようにネットワークの学習をおこない、そのネットワークで上手く再現できないデータ(正常時のデータと同じような値には再現できないデータ)を異常データと考えるのが基本的な方法である。4時間程度のBPMデータを使いデータの再現性の確認をおこなった。BPMによっては良く復元できるものもあり、AE適用の可能性を示している。一方、復元がうまくいかないものもあり、その違いが生じる理由を今後調べていきたいと考えている。

PFリングでは、通常のユーザー運転時には、電子ビーム軌道があらかじめ設定した基準軌道からずれた場合にこれを補正するフィードバックシステムが動作している。これが正常に機能している場合、BPMデータそのものよりも軌道補正用ステアリング電磁石の励磁電流が軌道変動の状態をよく反映していることになる。軌道変動には気温変化などに起因して起きる日常的なもの、加速器の誤動作・異常に起因するものがある。機械学習を用いることで非日常的な軌道変動の発生を検出することを目指して、ステアリング電磁石励磁電流値の変化を可視化することを試みている。2台のステアリング磁石の時間変化を2次的にプロットするとゆっくりとした変動と突然の不連続な変動の様子が可視化することができた(Fig. 1)。数10台のステアリング電磁石の電流値をAEを用いて次元削減することで同様な可視化とそれをもとにした異常診断の可能性を探っている。

KEKのcERL(compact ERL)試験加速器は、新しいタイプの電子加速器であるERL(Energy Recovery Linac)の実証機であるとともに、電子線照射や自由電子レーザー駆動など、様々な応用へ向けた研究開発が行われている。cERLでは限られた運転時間の中で、様々な開

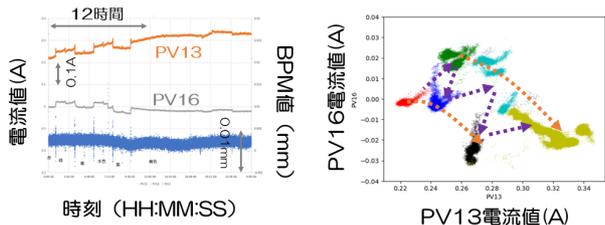


Figure 1: BPM data and excitation current of steering magnets for orbit stabilization. Slow drift and sudden change of the orbit can be visualized on a 2-D plane.

発目的に応じて運転モードを迅速に切り替えることが求められており、運転調整の高速化・省力化さらには自動化が重要な開発課題となっている。そこでベイズ最適化によるビームオプティクス自動調整を試みた[3]。まず四極電磁石2台で下流側の1台のスクリーンモニターでのビームサイズ最適化に成功し(Fig. 2)、その拡張として、四極電磁石4台によりスクリーン3か所での最適化にも成功した。この手法の高速化を進める上で、電磁石のヒステリシスの影響の除去が重要であることがわかり、Preisachモデルを用いた先行研究[4]を参考に、cERL四極電磁石でのヒステリシスの効果の予測を試みた結果、この手法が有効であることが実証できた。この手法の運転調整への取り込みを今後試みたい。

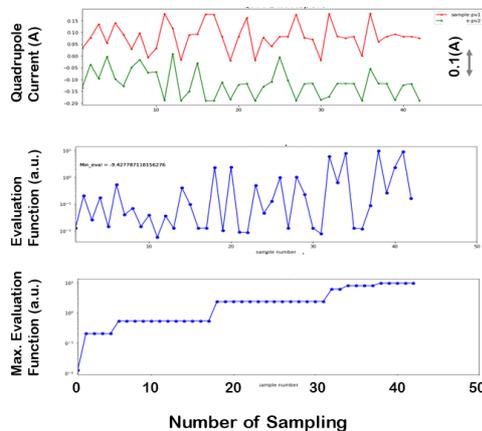


Figure 2: Optics tuning by Bayesian optimization at cERL.

3. 仮想現実に関する取り組み

加速器のような大型施設に関心を引き寄せるには、その大きさの実感できる現地見学が非常に効果的である。コロナ禍で現地での見学が不可能となったことから、仮想現実(VR)を用いたオンライン見学用コンテンツの作成の試みがいくつかの加速器施設で行われた。広島大学の放射光施設でも全方位カメラによる施設撮影とその画像を用いたVR見学コンテンツの作成を、広島大学や呉高専の学生の参加を得て進めた。

その後、さらに高度な教育用コンテンツの作成を目指して、3D-CADのデータをもとにしたコンテンツの作成を進めている。このために、KEK職員による講習会を広島大で実施し、大学および高専の教員、大学生、大学院生などが参加した。2023年度からは、LiDAR技術を用いた施設の3Dデータ化の試みを高専の卒業研究として進めている。

4. まとめと今後の展望

KEKの支援を受けて、加速器分野への機械学習や仮想現実などの最新デジタル技術の導入とそれに絡めた人材育成に取り組んでいる。教員も含め機械学習の専門家はおらず、KEKなどの専門家によるセミナーなど

PASJ2023 WEP10

を通して、学生と共に学びながら、ゆっくりとであるが、研究・技術開発を進めている。このような活動を通じて、学生の加速器分野への関心を高め、関連研究機関や企業への人材供給を促進したい。

謝辞

本研究は KEK の加速器科学国際育成事業 (IINAS-NX) の支援を受けて実施したものである。研究の遂行においては KEK の数多くの研究者の皆さんから様々な形でご協力・ご支援いただいている。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] H. Ohyama *et al.*, Proc. 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2022), pp. 591-593 (2022).
- [2] R. Kato *et al.*, Proc. 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2019), pp. 1257-1259 (2019).
- [3] A. Kano *et al.*, Proc. 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2022), pp. 454-455 (2022).
- [4] R. Roussel *et al.*, Phys. Rev. Lett. 128, 204801 (2022).