

加速器分野への機械学習の応用を通じた人材育成の試み

HUMAN RESOURCE DEVELOPMENT THROUGH APPLICATION OF MACHINE LEARNING TO PARTICLE ACCELERATORS

大山博史^A、岩野成^A、小池隆太^A、原田直幸^A、丸山大洋^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、広田克也^D、帯名崇^D、本田融^D

Hiroshi Ohyama^A, Shigeru Iwano^A, Ryuuta Koike^A, Naoyuki Harada^A, Taiyou Maruyama^A, Seiji Kasai^B,
Kousuke Sawada^B, Masahiro Katoh^C, Akira Kano^C, Yuya Asai^C, Katsuya Hirota^D, Takashi Obina^D, Tohru Honda^D

^AKOSEN Hiroshima College, ^BKOSEN Kure College, ^CHiroshima Univ., ^DKEK

Abstract

Kosen Hiroshima College, Kure College, Hiroshima University and KEK have started 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 Comprehensive Growth Program for Accelerator Sciences by KEK. Among various digital technologies, AI and machine learning are attracting interests of students, whose applications are rapidly expanding in various areas of society including the field of particle accelerators. In FY2021, we prepared an environment that allows access to the KEK Photon Factory operation database. Also, we started a collaborative work on applying machine learning to the accelerator tuning of the compact ERL test facility at KEK. In FY2022, we have started studies exploring possibilities on detecting anomalies and failures of accelerators using the data from the beam position monitors. Students from various grades participate in these studies.

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、幸いにも 2021、2022 年度と採択され活動を続けている。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の人材の送り出し、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」(2022/9/10)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。

#mkatoh@hiroshima-u.ac.jp

これら様々な活動の中で、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つける機会を創出し、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。2021 年度には、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。また、compact ERL 試験加速器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開始した。2022 年度は、加速器運転中常時計測されているビーム位置検出器のデータをもとに、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。その最新の状況を報告する。

2. 環境整備

加速器分野への機械学習の応用開拓のためのビッグデータとしては、KEK で長年蓄積されている加速器運転データが最適である。その中で、およそ40年間にわかって安定に可動を続けてきた PF (Photon Factory) の運転データを活用することを考えた。PF 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。現時点では、各機関でデータを保存して解析に利用している。VPN (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 形式でディスク上に保存している (Fig. 1)。

現在、2019 年 10 月から 2022 年 7 月まで 4 年分のデータの保存を終えている。1 日のデータは、約 2.2GB となり、そのうち約 45% (約 1GB) が BPM のデータである。この BPM データを CSV 形式に変換して解析に利用している。2019 年 10 月に Epics のシステムが更新されており、それ以前のデータの読出しは別途プログラムを開

発する必要があり、今度対応予定である。

また、本格的な機械学習ではクラウドの利用を想定し、AWS[1]を利用できる環境の整備を試みている。

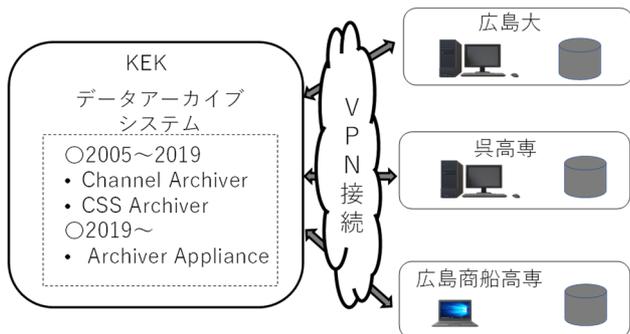


Figure 1: Access to the KEK-PF machine operation database.

3. これまでの取り組み

3.1 オートエンコーダー法による異常検出の試み

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 AE (Auto-Encoder, 自己符号化器) モデルがよく利用されており、BPM データに対する AE の適用の R&D を始めている。AE の異常診断では、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。そこで、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。Figure 2 上段は、BPM の x 方向と y 方向の位置をプロットしたものである。左が測定データであり、右が AE による復元データである。下段は、測定データと復元データの相関を表す図で

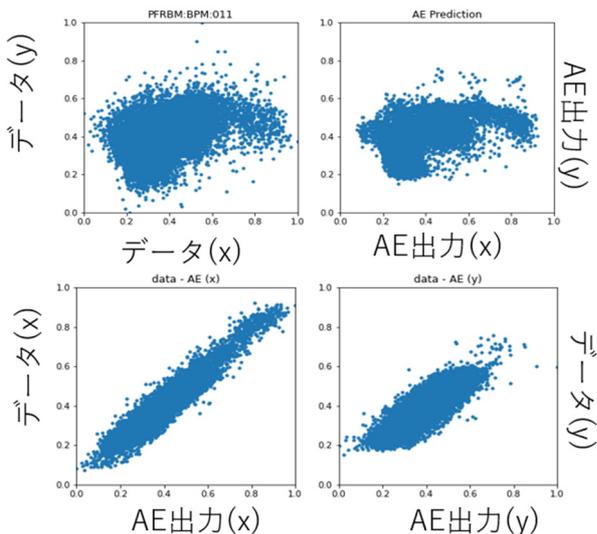


Figure 2: A design of new storage ring lattice.

ある。左がx方向、右がy方向である。比較的良く復元できており、AE 適用の可能性を示していると考えられる。

3.2 BPM データのクラスタリングや相関による異常検出の試み

Python k-means 法を用いて BPM データを約 5 分程度ごとに、クラスタリングを実施した。Figure 3 は多数あるクラスタリングデータの中で 2 つのクラスタに分かれた典型的なものである。多くのデータは 1 つのクラスタからなっており、意図的にビームを操作していないときに 2 クラスタが検出されれば、何らかの異常を検出できる可能性がある。

Figure 4 は異なる BPM 間の X 方向の相関をプロットしたものである。左から順に離れた位置の相関である。何らかの摂動によりビーム軌道が変動している場合には離れた BPM 間でも何らかの相関が見えるはずであり、一方、検出器の異常など、電子軌道に起因しない場合には、明確な相関が見えないことが予想される。これまでの予備的な解析では、近接する BPM 間では明瞭な相関が見えるが (Fig. 4 左)、距離が離れるに従い相関が劣化する結果が得られている (Fig. 4 中、右)。今後さらに系統的な解析を進めたい。

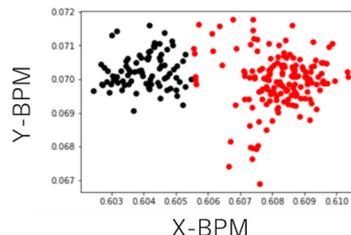


Figure 3: Clustering of BPM data.

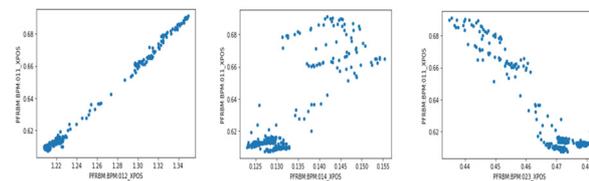


Figure 4: Correlation between BPM data.

3.3 cERL における機械学習の試み

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[2]。cERL では限られた運転時間の中で、様々な開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。広島大学では、大学院生の研究テーマとして cERL の運転調整への機械学習の導入を取り上げ、2021 年度にはビームオプティクス調整の自動化を試みた[3]。また、最近では電磁石制御への応用も試みている。

4. 今後の展望

KEKの支援を受けて、加速器分野への機械学習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、外部の専門家によるセミナーなどを通して、学生と共に学びながら少しずつ研究を遂行している。KEKで蓄積された加速器運転データにアクセスできる環境は整い、また、機械学習の手法で様々な試みができるようになってきた。機械学習で何ができるのか、とりわけ加速器分野においてどのような活用方法が有効であるのか、加速器の現場から少し距離を置き加速器の専門家とは違った発想で、これらの問題に取り組んでいきたいと考えている。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の加速器科学総合育成事業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る。

参考文献

- [1] <https://aws.amazon.com/jp/>
- [2] R. Kato *et al.*, Proc. PASJ2019, FSPI006 (2019).
- [3] A. Kano *et al.*, in these proceedings.