



第3回 加速器・ビーム物理の機械学習ワークショップ
アブストラクト集

The 3rd Workshop on Machine Learning Application to Accelerators and Beam Physics

Abstracts

Nov. 25th (Mon.) - 27th (Wed.), 2024

RIKEN SPring-8 Center

Date/Time: Nov. 25th (Mon.) 13:30 – 14:30, 14:50 – 15:20

Title: Tutorial (Bayesian Optimization, Anomaly Detection, and Convolutional Neural Network)

Presenter: Maesaka Hirokazu (RIKEN/JASRI)

Abstract:

ベイズ最適化の基礎や適用事例、異常検知の事例、畳み込みニューラルネットワークの基礎や例題について解説する。Google Colaboratory で動作する Jupyter Notebook を用意しているので、それを実演しながら実践的なことを身に付けていただくことを目指す。聴衆のみなさんもラップトップを開いて実際に動かしながら聞いてもらえると幸いである。

Date/Time: Nov. 25th (Mon.) 15:20 – 15:50

Title: Tutorial (Reinforcement Learning)

Presenter: Yasutome Kenji (RIKEN)

Abstract:

Applications of reinforcement learning (RL) based machine learning methods are widely applied to academic or industrial fields, as well as games applications nowadays. There are some accelerator facilities that utilize the RL algorithm for the accelerator machine tuning in the world. Apparently, the application of RL is very limited to the Japanese accelerator community compared to that of the Bayesian optimization algorithm.

In this workshop, we invite one speaker to overview the principle and application of the RL methods. In order to help the understanding of the talk, we make a tutorial to experience how the RL algorithm works using a few simple application examples to solve problems of cartpole, maze, and a stabilizer system.

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 9:20 – 9:50

Title: Introduction to Reinforcement Learning and Challenges in Real World

Presenter: Akatsuka Shunichi (Hitachi America)

Abstract:

AlphaGo などの成功で注目されている強化学習 (RL) は、環境との相互作用を通じて最適な行動方法を学習する枠組みである。

本講演では、その基本的な仕組みをわかりやすく解説するとともに、現実世界のシステムに応用する際の課題について議論する。

特に、安全性や環境の不確実性といった課題について考察し、RL の実システムへの応用可能性について展望する。

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 9:50 – 10:20

Title: 機械学習を用いたビームプロファイル画像からのビームパラメータ推定

Presenter: 北村 遼 (JAEA/J-PARC)

Authors: 北村 遼、野村 昌弘 (JAEA/J-PARC)

Abstract:

大強度ビームでは空間電荷効果により縦横方向の位相空間分布が相互に影響を及ぼし合うことが知られている。大強度陽子加速器施設 J-PARC リニアックでは、ビームプロファイルモニタにより空間電荷効果の寄与が大きな低エネルギー領域にて縦横プロファイルを測定できる。縦横プロファイル画像から畳み込みニューラルネットワークを用いてビームパラメータを推定する手法について開発を進めており、研究の現状について紹介する。

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 10:40 – 11:10

Title: Constrained Bayesian Optimization of Beam Optics to reduce beam losses

Presenter: De Franco Andrea (QST)

Authors: De Franco Andrea, Akagi Tomoya (QST), Cismondi Fabio, Dzitko Herve, Gex Dominique (F4E), Hirosawa Kouki, Itagaki Tomonobu, Hyun Jibong, Kondo Keitaro, Masuda Kai, Mizuno Akihiko (QST), Scantamburlo Francesco (F4E/INFN)

Abstract:

The Linear IFMIF Prototype Accelerator (LIPAc) is under commissioning in Rokkasho, Aomori under the EU-Japan Broader Approach collaboration agreement to fusion energy. The machine is designed to deliver 125mA of D+ at 9MeV in CW to a beam dump. The 2 accelerating stages are a RFQ (100keV-5MeV) and a SRF Linac (5MeV-9MeV), the latter is under installation and integration until 2026. Machine learning aided beam optics optimization supported the achievement of 8.75% duty cycle operation in the latest beam campaign. The strength of 4 quadrupoles and 4 steerers were tuned with Bayesian Optimization to reduce the vacuum pressure in a sector as indicator of beam losses. To minimize the risk of unacceptable high losses, the optimization was constrained to optics configurations for which simulations would predict low losses. The algorithm succeeded to reduce vacuum pressure by roughly a factor of 3 within few hours of operations.

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 11:10 – 11:40

Title: Bayesian optimization with safety function for beam optics tuning for heavy ion beam at RIBF

Presenter: Nishi Takahiro (RIKEN Nishina Center Accelerator Group)

Authors: Nishi Takahiro, Morita Yasuyuki (RIKEN Nishina Center Accelerator Group)

Abstract:

In general, accelerator facilities are controlled by a huge number of parameters. The RIKEN RI Beam Factory (RIBF), a heavy-ion accelerator complex consisting of several cyclotrons and Linacs, is controlled or influenced by more than 600 parameters, including environmental factors. To optimize these parameters more efficiently and accurately, we are attempting to implement Bayesian optimization (BO).

Given the importance of space charge effects and beam loading, it is desirable to adjust parameters at high beam intensity, making it crucial to develop an optimization system capable of handling high-intensity heavy ion beams.

We have been working on developing indices suitable for high-intensity beams and exploring methods for optimization while maintaining operational safety. In particular, for the latter, the use of line BO with safety features is being investigated for safe beam optimisation. Currently, we are preparing for simulations and tests using beam line. In this presentation, we will discuss our efforts toward automatic optimization at RIBF, especially about BO with safety function.

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 11:40 – 12:00

Title: 機械学習による放射光リングビーム入射の最適化

Presenter: Sakurai Rei (Hiroshima Univ.)

Authors: Shimada Miho, Miyauchi Hiroshi (Hiroshima Univ./KEK), Obina Takashi (KEK), Katoh Masahiro (Hiroshima Univ./KEK/HiSOR/UVSOR)

Abstract:

今日、社会のあらゆる分野で持続可能性が強く求められている。放射光源加速器に関しても、省エネルギー化や省資源化へ向けた様々な取り組みが行われている。機械学習の導入による運転調整の効率化や自動化も持続可能性実現へ向けた取り組みの一つと位置付けられる。特に、少数の要員で運転される小型放射光源では省力化は特に重要な課題であり、加速器調整の自動化の実現が強く求められている。放射光源では、近年、トップアップ運転が標準的な運転手法として定着しており、小型放射光源でも導入されるようになってきている[1]。トップアップ運転では、? 時間にわたる運転中、常時、入射効率を監視し、安定して維持することが求められる。

本研究では、入射器から光源加速器へのビーム輸送やエネルギー回収型ライナックでのビーム光学調整に機械学習の手法を導入し、これを効率化・自動化することを目指す。まずは、放射光源へのビーム入射効率調整を、入射用パルス電磁石強度を調整ノブとして、自動化することを試みる。学会では研究の最新の状況について報告する。

[1] M. Katoh et al., AIP Conf. Proc. 1234, 531 (2010)

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 13:30 – 14:00

Title: Prediction for Combustion States of Waste-to-Energy Plants with Fuzzy Relational Maps of Sensors

Presenter: Umano Motohide (Intelligent Machinery Research Center, Technical Research Institute, R&D Headquarter, Kanadevia Corporation)

Authors: Umano Motohide, Ise Akifumi (Intelligent Machinery Research Center, Technical Research Institute, R&D Headquarter, Kanadevia Corporation)

Abstract:

In waste-to-energy plants, keeping a stable combustion state is required to decrease hazardous gases and keep the steam volume appropriate for generating electricity. Since waste has various properties and many sensors in plants have complex relations each other, it is very difficult to find relations of many sensors for keeping a stable combustion state.

We have proposed a fuzzy relational map of sensors, FuRMS, as a method to represent relations of many sensors. For data of unknown state, we calculate evaluation values with the map. We apply FuRMS to a waste-to-energy plant. We construct a map using 14110 data of the stable state and evaluate other 390 data of unknown state. The result shows that the map can predict combustion states. The evaluation value begins to decrease 10 to 30 minutes earlier than beginnings of unstable states.

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 14:00 – 14:30

Title: 理研仁科センターでの NN の活用

Presenter: Morita Yasuyuki (RIKEN)

Authors: Morita Yasuyuki, Nishi Takahiro (RIKEN)

Abstract:

加速器において、大強度ビームを供給するためには正しくビームを診断し、適切な制御を行うことが重要である。

しかし、ビーム診断において、長時間にわたってビーム供給を妨げるような診断手法はビーム供給中にはしやうが困難である。

そこで我々は機械学習、特に深層学習を使用したビーム供給を妨げないビーム診断手法の開発を行っている。

本発表では理研仁科センターでの開発と現状について報告する。

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 14:30 – 14:50

Title: ベイズ最適化によるサイクロトロン運転調整

Presenter: Imura Tomoki (Osaka Univ. RCNP)

Authors: Imura Tomoki, Fukuda Mitsuhiro, Yorita Tetsuhiko, Kanda Hiroki, Saito Takane, Tamura Hitoshi, Yasuda Yusuke, Chong Tsun Him, Zhao Hang, Matsui Shotaro, Ahsani Hafizhu Shali, Watanabe Kaoru, Ishihata Sho, Itakura Nami (Osaka Univ. RCNP)

Abstract:

本研究はスパイラルセクター型 AVF サイクロトロンの自動運転手法を確立することが目的である。AVF サイクロトン運転には等時性磁場の形成が重要である。等時性磁場はメインコイルと 16 個のトリムコイルにより形成され、加速ギャップを通過するタイミングが常に一定となることで効率的に粒子を加速することが可能となる。今回は実機ではなくシミュレーションで AVF サイクロトロンの調整を模擬した。

シミュレーションに利用したソフトは OPAL-CYCL である。OPAL-CYCL は Particle In Cell 法によるサイクロトンに特化した空間電荷効果を含む軌道計算ソフトである。シミュレーションで使用する磁場は、先述の 17 個のそれぞれのコイルについて、磁場シミュレーションソフト OPERA3D で計算した。計算された磁場データはいくつかの離散的な電流値で用意されており、これらをスプライン補間と線形補間し重ね合わせることで、任意の 17 個のコイル電流値が形成するサイクロトロンの内部の磁場を得た。

運転調整の最適化はベイズ最適化を用いた。ベイズ最適化は Python のライブラリである PyToach を用いた。試行過程は PyToach から毎試行パラメーターを得て磁場生成し、OPAL-CYCL のシミュレーションを実施し、その結果を PyToach に返すということを繰り返した。試行パラメーターは先述の 1 個のメインコイルの電流値と 16 個のトリムコイルの電流値と、それらに加えて初期 RF 位相である。ここで初期 RF 位相を変化させるのはサイクロトン中心領域に磁場の隆起があり、あえて初期位相をずらした値が求められるためである。なお、この隆起は半径方向に磁場が下がる勾配により弱収束の役目を果たしている。

最適化を評価するための目的関数は RF 位相差、ターン数、加速粒子の最終半径と最終エネルギーから作った。RF 位相差とは RF 加速周期と粒子の運動周期との時間差であり、この値の小ささを等時性磁場の形成具合の指標とした。また加速位相に乗った効率の良い加速かどうかについては軌道計算が終了するまでのターン数を指標とした。さらに粒子取り出し機構であるデフレクターに到達したかどうかについて加速粒子の最終半径を指標とした。目標のエネルギーと軌道計算終了時のエネルギーまたはデフレクター位置でのエネルギーとの差も最適化の指標とした。これら複数の数値から滑らかな多目的関数を形成し、最適化が正しく収束する方法を探求した。

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 15:10 – 15:30

Title: GEANT4 を用いた ILC 電子ドライブ陽電子源のパラメータ特性の解析

Presenter: Sasaki Yodai (Hiroshima Univ.)

Authors: Sasaki Yodai, Kuriki Masao, Takahashi Tohru, Liptak Zachary, Kuroguchi Shunpei (Hiroshima Univ.)

Abstract:

国際リニアコライダー (International Linear Collider, ILC) は次世代の電子-陽電子衝突型加速器である。ILC 電子ドライブ陽電子源では、電磁シャワーとして陽電子が生成される。そこで、ドライブ電子ビームと標的の厚さをパラメータとして、ダンピングリングのアクセプタンスを満たしうる陽電子数を評価した。シミュレーションには GEANT4 を用い、標的出口での陽電子の位相空間分布を解析した。陽電子源の加速セクションは機械学習を用いて最適化されており、陽電子生成セクションの最適化とシームレスにつなげたいと考えている。

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 15:30 – 15:50

Title: ILC 電子ドライブ陽電子源の全体最適化に向けた機械学習の活用

Presenter: Kuroguchi Shunpei (Hiroshima Univ.)

Abstract:

国際リニアコライダー (International Linear Collider; ILC) は、重心系エネルギーが 250 GeV – 1 TeV の次世代の電子・陽電子衝突型線形加速器であり、ヒッグスファクトリーとしてヒッグスボソンの精密測定などから始まり、標準理論を超える物理の探索を目指す素粒子物理学において最も重要な施設となる。

現在、すでに建設するための技術はほとんど揃っているが、課題の一つとして電子・陽電子の大量生成技術がある。リニアコライダーでは、シンクロトロン放射によるエネルギー損失による円形加速器の実用的限界を超えて、高いエネルギーまで加速できるのが大きな利点である。一方で、生成した粒子は一度しか衝突しないために、単位時間あたりに必要な粒子数が円形コライダーに比べ桁違いに大きい。初めての大規模なリニアコライダーである ILC では、大量の陽電子生成技術が重要となる。

陽電子生成方法の一つである電子ドライブ方式では、高エネルギーの電子を金属標的の中に打ち込み、制動放射と対生成により陽電子を生成する。これまでの ILC 電子ドライブ陽電子源の設計においては、陽電子生成から加速までの一連の加速器シミュレーションにより、加速器の設計および最適化を行っていたが、逐次的な最適化を行っていたために、最適化とその効率が不十分であるという課題があった。私は、これに対し、陽電子源加速器全体のシミュレーションに機械学習手法を取り入れた手法を提案した。

今回の手法によって、陽電子捕獲率の改善、および最適化に必要な時間が減少が可能になった。

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 15:50 – 16:10

Title: 説明可能 AI を用いた KEK 電子陽電子入射器調整性能向上に寄与する重要パラメータの推定

Presenter: Uemura Kosuke (Osaka Metropolitan Univ.)

Authors: Uemura Kosuke (Osaka Metropolitan Univ.), Iwasaki Masako (Osaka Metropolitan Univ./Osaka Univ. RCNP/Osaka Univ. IDS), Nakashima Yuta (Osaka Univ. IDS), Takemura Noriko (Kyutech/Osaka Univ. IDS), Nagahara Hajime (Osaka Univ. IDS), Nakano Takashi (Osaka Univ. RCNP), Satoh Masanori, Satake Itsuka, Miyahara Fusashi (KEK Acc.), Suehara Taikan (Univ. Tokyo ICEPP)

Abstract:

本研究では、説明可能 AI(Explainable AI,XAI)を用いて KEK 電子陽電子入射器調整性能向上に寄与する重要パラメータの推定を行った。この研究の目的は、複雑な加速器運転調節機構を理解し、性能を向上させることである。そのために、機械学習を用いた入射効率向上に寄与するパラメータの推定を行った。具体的には、以下の手順で研究を進めた。1)環境を含む加速器データを入力し、透過率やビームロスを予測する機械学習モデルを回帰ニューラルネットワークで構築し、2)構築した回帰モデルに対して XAI の技術を使用し、透過率向上・ビームロス減少に寄与するパラメータを推測した。ここで XAI とは、機械学習による出力決定の判断根拠や機械学習モデル全体の振る舞いを人間が理解できるように説明する技術のことを指す。本研究では XAI のアルゴリズムとして SHAP を使用した。本発表では、KEK 電子陽電子入射器実運転データから構築された回帰モデルに SHAP を適用して得られた結果について報告する。

Date/Time: Nov. 26th (Tue.) 16:10 – 16:30

Title: Towards a practical ML-assisted injection tuning tool at SuperKEKB

Presenter: Kato Shinnosuke (Univ. Tokyo)

Authors: Kato Shinnosuke (Univ. Tokyo), Gaku Mitsuka (KEK Acc.)

Abstract:

With the world's highest peak luminosity record, the SuperKEKB accelerator is aiming to break further peak luminosity records. Achieving this goal requires sophisticated and sensitive injection tuning. If we continue to rely on experts to operate as before, more time and effort will be required to make the adjustments. To solve this problem, we have created a ML-assisted injection tuning tool. In this conference, we will report the results of injection tuning tests carried out in SuperKEKB operations in 2024.

Date/Time: Nov. 27th (Wed.) 9:00 – 9:30

Title: ニューラルネットワークを用いた J-PARC RCS ペイントバンブ電源の波形パターン制御

Presenter: 杉田 萌 (JAEA)

Authors: 杉田 萌、高柳 智弘 (JAEA)

Abstract:

J-PARC RCS では、大強度ビームを生成するペイント入射に、4 台の水平ペイントバンブ電磁石と 2 台の垂直ペイントバンブ電磁石を用いる。ペイントバンブ電磁石電源は IGBT 制御のチョッパ回路で構成され、指令電流と指令電圧の高周波スイッチング制御により、ビーム軌道を時間変化させる任意の出力電流波形(ペイントパターン)を作成する。ビーム軌道の制御精度は指令電流と出力電流の差(出力電流偏差)で決まり、 $\pm 1.0\%$ 以下の偏差が要求される。現在のペイントパターン調整では、電源制御の応答関数に応じて指令電圧を作成するソフトと、手動で指令電圧値を書き換える調整を組み合わせ、 $\pm 0.2\%$ 以下の偏差を達成している。しかし、1 つのペイントパターン調整に 1 時間程度を要しており、調整時間の短縮を行いたい。また、より最適な調整方法によりビームロスの低減を実現するために、従来の要求より 10 倍精密な出力電流偏差を実現したい。そのため、NN を用いたペイントパターン制御について検討を行った。本発表ではシステムの現状と今後の展望について報告する。

Date/Time: Nov. 27th (Wed.) 9:30 – 10:00

Title: 加速器での深層生成モデル CVAE の利用について

Presenter: 野村 昌弘 (J-PARC/JAEA)

Abstract:

最近話題となっている深層生成モデルの一つに CVAE(Conditional Variational Auto Encoder) がある。CVAE では、多くの手書き数字を学習することにより、筆跡はそのままで別の数字を生成することができている。今回この CVAE の特性を活かして、測定したマウンテンプロットの画像から一つの設定パラメータのみを変えた場合の画像の生成、加速器の各機器のパラメータセットからビームの状態を変えた場合のパラメータセットの生成を行ってみた。研究会では、画像生成の方法や結果、使用したニューラルネットワークについて議論したい。

Date/Time: Nov. 27th (Wed.) 10:00 – 10:20

Title: 機械学習を用いた加速器状態診断の試み：KEK PF BPM データを用いたオートエンコーダの再現性と説明可能性の探求

Presenter: 澤田 康輔 (呉高専)

Authors: 澤田 康輔、笠井 聖二、井上 浩孝、越間 龍之介 (呉高専)、加藤 政博 (広島大学)、帯名 崇 (KEK)

Abstract:

本発表では、加速器を専門としない学生・教員と加速器専門家が協力して進める、機械学習を用いた加速器状態診断に向けた取り組みの現状について報告する。データには KEK PF の運転データを活用し、特にデータ量が豊富で放射光加速器の状態を顕著に示す BPM (ビーム位置モニター) データに対し、オートエンコーダによるデータ再現性の検証を行った。加えて、一般的なデータ解析を通じてその再現性が説明可能であるかについても考察している。機械学習モデルの出力結果が「説明可能な結果」あることは、モデルの信頼性を高め、実用性を向上させるために重要である。本活動は、機械学習分野と加速器分野の共同活動の基盤構築を促進するものであり、さらなる発展が期待される。

Date/Time: Nov. 27th (Wed.) 10:40 – 11:00

Title: The Age of the Human Frame Problem

Presenter: Kuroguchi Shunpei (Hiroshima Univ.)

Abstract:

機械学習や AI の急速な発展、特に大規模言語モデル(LLM)の台頭により、人工知能が扱うデータ量と処理能力は人間の認知容量を大きく超えつつある。このような技術革新の時代において、我々は従来の AI のフレーム問題ではなく、むしろ人間側のフレーム問題、すなわち人間の認知の制約や限界について再考する必要に迫られている。本講演では、確証バイアスや利用可能性ヒューリスティクスといった認知バイアスを具体例として取り上げながら、人間の意思決定システムが持つ本質的な制約について議論する。特に、膨大なデータを基にした機械学習システムの判断と、限られた経験則に基づく人間の直観的判断との間にある本質的な差異に着目する。人類は果たして、自身の認知フレームの制約を理解し、AI との協調的な関係を構築できるのか。最先端技術を効果的に活用するためには、まず我々自身の認知の特性を深く理解することが不可欠ではないだろうか。

Date/Time: Nov. 27th (Wed.) 11:00 – 11:20

Title: 因果探索を用いた SuperKEKB 運転の高度化

Presenter: Arima Ryota (Univ. Tokyo)

Abstract:

SuperKEKB 加速器では様々な要因により高ルミノシティ運転が阻害され得る。要因とは例えば熱に由来するビームパイプの変形、軌道の経年ドリフトなどである。一方、様々な要因とルミノシティの関係は必ずしも 1 対 1 ではなく、むしろ多くは因果関係が不明確である。今回、我々は因果探索を用いてルミノシティに寄与する要因を素早く見つけ出すプログラム開発に着手した。

本研究の主な課題は因果探索の加速器運転への応用である。その第一段階として、我々は加速器を調整する各パラメータやモニター値とルミノシティの間に存在する相関関係を顕在化することとした。本発表では相関関係を探索するツールの現状と、それを用いた SuperKEKB における相関関係を紹介する。

Date/Time: Nov. 27th (Wed.) 11:20 – 11:50

Title: TBD

Presenter: Iwai Eito (JASRI/RIKEN)

Abstract: TBD