

## 高専における加速器制作活動 AxeLatoon と活動内容

### AxeLatoon: ACCELERATOR CONSTRUCTION ACTIVITIES AT KOSEN AND THEIR OVERVIEW

大谷将士<sup>#A)</sup>, 熊谷勇喜<sup>B)</sup>, 神永真帆<sup>B)</sup>, 谷敷怜空<sup>B)</sup>, 岡本恵太<sup>B)</sup>, 柳澤奏太<sup>C)</sup>, 奥村紀浩<sup>C)</sup>, 斎藤栄輔<sup>C)</sup>, 吉原郁<sup>D)</sup>, 中村蓮太郎<sup>D)</sup>, 熊井悠太<sup>D)</sup>, 宮島智宏<sup>D)</sup>, 深澤永里香<sup>D)</sup>, 新城樹貴<sup>E)</sup>, 武恵礼奈<sup>E)</sup>, 松井咲希<sup>E)</sup>, 中平勝也<sup>E)</sup>, 長尾和樹<sup>F)</sup>, 小暮聡<sup>F)</sup>, 五味淵陸<sup>F)</sup>, 塚原龍彦<sup>F)</sup>, 成田賢心<sup>F)</sup>, 青木想弥<sup>F)</sup>, 福田蒼樹<sup>F)</sup>, 片山尋士<sup>F)</sup>, 長澤陽生<sup>F)</sup>, 平野進一<sup>F)</sup>

Masashi Otani<sup>#A)</sup>, Yuki Kumagai<sup>B)</sup>, Maho Kaminaga<sup>B)</sup>, Riku Yashiki<sup>B)</sup>, Keita Okamoto<sup>C)</sup>, Sota Yanagisawa<sup>C)</sup>, Norihiro Okumura<sup>C)</sup>, Eisuke Saito<sup>C)</sup>, Iku Yoshihara<sup>D)</sup>, Rentaro Nakamura<sup>D)</sup>, Yuta Kumai<sup>D)</sup>, Tomohiro Miyajima<sup>D)</sup>, Erika Fukasawa<sup>D)</sup>, Itsuki Shinjo<sup>E)</sup>, Erena Take<sup>E)</sup>, Saki Matsui<sup>E)</sup>, Katsuya Nakahira<sup>E)</sup>,

Kazuki Nagao<sup>F)</sup>, Satoshi Kogure<sup>F)</sup>, Riku Gomibuchi<sup>F)</sup>, Ryuhi Tsukahara<sup>F)</sup>, Kenshin Narita<sup>F)</sup>, Souya Aoki<sup>F)</sup>, Sojyu Fukuda<sup>F)</sup>, Hiroto Katayama<sup>F)</sup>, Haruki Nagasawa<sup>F)</sup>, Shinichi Hirano<sup>F)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

<sup>B)</sup> NIT, Toyota College

<sup>C)</sup> NIT, Nagano College

<sup>D)</sup> NIT, Gunma College

<sup>E)</sup> NIT, Okinawa College

<sup>F)</sup> NIT, Oyama College

#### Abstract

“AxeLatoon” is a new educational initiative led by researchers at KEK and RIKEN to support accelerator-related education at Japanese National Colleges of Technology (KOSEN). The program focuses on student-driven construction of accelerators—a globally rare hands-on approach that has already begun at several colleges. By strengthening ties between KOSEN and research institutes, AxeLatoon promotes advanced technical education and fosters Project-Based Learning (PBL). This paper introduces ongoing activities at Oyama and Nagano Colleges of Technology as examples of this initiative.

#### 1. はじめに

近年、KEK や理研の加速器研究者を中心として、高等専門学校(以下、高専)における加速器教育活動を支援する取り組み「AxeLatoon(アクセラトゥーン)」が発足した[1, 2](図 1 に本活動のロゴマークを示す)。本活動では、加速器分野の研究者・技術者が高専と協力し、加速器周辺分野の人材育成および加速器の知名度向上を目指している。

活動の中心は、高専生が自ら加速器を製作することであり、既にいくつかの高専においてその取り組みが始まっている。加速器や加速器実験データを用いた演習、あるいは既存の加速器を用いた演習については、これまでもいくつかの実例がある。一方で、学生が自ら加速器を製作するという取り組みは、世界的にも例がなく、極めて稀有な活動として注目を集めている。

本活動を通じて、高専が KEK などの研究機関と連携を深めることは、第四期中期計画にも掲げられている大学や研究所との有機的な連携を実現し、高専教育のさらなる高度化に資するものである。これは高専の全体計画に貢献するのみならず、加速器を通じて高専型の PBL (Project-Based Learning) を促進し、高専における教育の

質をさらに高めることができると期待される。

本稿では、既に活動を行っている豊田高専と、2024年度末から活動を開始した群馬高専・沖縄高専の活動について紹介する。

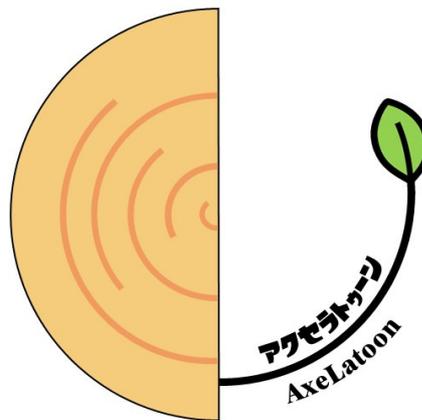


図 1: AxeLatoon のロゴマーク。AxeLatoon という名前は Accelerator と Ratoon に由来する。ロゴはこの名前に基づいており、高専で製作しているサイクロトロンのでー電極と、サイクロトロンの粒子軌道を模したものになっている。

<sup>#</sup> masashio@post.kek.jp

## 2. 豊田高専における活動

豊田高専では、2023年3月からアクセラトウンの活動に参加している。機械工学科、電気・電子システム工学科、情報工学科の学生からなる10人程度のメンバーが、同好会の形で放課後に課外活動として週に(多いときは)8時間程度活動している、学生主体の活動である。

開始した2023年当初、実物の加速器施設見学として豊田高専近隣にある、あいちシンクロtron光センターと名古屋大学のダイナミロン加速器施設を訪問し見学を行った。実物の加速器に使われている配管や継ぎ手などの真空部品や、超高真空、応用研究について知り、加速器のイメージを持つことができた。

実際に小型加速器を製作するにあたり、KEKから真空チャンバー、ロータリーポンプ、ターボ分子ポンプ、真空計、フランジなどの真空部品を借りて、参考書やWebの他、先行して活動している小山高専の学生から、またはKEKの研究者からのアドバイスも得ながら学んでいった。例えば真空技術について述べる。大気圧から真空引きする、いわゆる粗引き段階の方式として、ロータリーポンプとターボ分子ポンプを、チャンバーに対し直列、または並列につなげる2つの接続方式があることがわかり、議論を重ねた結果、配管や継ぎ手の個数が少ない直列方式を選択した。

実際に実験に着手すると大小様々なトラブル・課題が発生し、それらを解決しながら真空技術を学んでいった。例えばターボ分子ポンプが運転開始から30分程度で過熱する問題が起り、冷却ファンを接続する治具を設計・製作し冷却機能を実現させた。また、真空引きをしてみると、真空度の目標値である $10^{-3}$  Pa 台に到達せず一桁以上悪いことがわかった。この原因を特定するために、まずは配管や真空チャンバーをすべて取り払い、真空ポンプと真空計を直結して真空引きをしたところ、約 $1 \times 10^{-4}$  Pa の真空度を達成したことから、ポンプと真空計には問題がないことを確認した。次に、ポンプと真空計の間にチャンバーを直接挿入して真空引きすると、約 $1 \times 10^{-3}$  Pa に到達するものの、さらに間にフレキシブル配管を挿入した場合は $10^{-2}$  Pa 台と悪化することから、フレキシブル配管にリーク箇所があるとわかった。

次に、部員勧誘用の実験装置の製作について述べる。加速器や真空装置になじみのない高専生や中学生に訴求するため、見た目のインパクトを重視し、調理用の鍋を真空容器として用いている。鍋の中を真空にし、フィラメントを加熱させて発生した電子を電界により加速させ、数 cm 離れた電極に衝突させて到達した電子の電流によりLEDを発光させる様子を、透明な鍋蓋を通して観察する装置である。鍋と真空系配管との接続は、浴室用コーキング材でシールすることを検討した。実験した様子を図2に示す。この実験により、到達真空度は $2.4 \times 10^{-2}$  Pa に到達することが確認できた。このときの平均自由行程は約27 cmであり、フィラメントとLEDの間隔をこれ以下にすれば真空度は十分である。

最後に、サイクロtron加速器模型製作について述べる。陽子に見立てた鉄球を、コイル中の磁場で加速し、円形軌道を模した透明なビニールハウス内を周回させる。ちょうど一周するごとにタイミングよくスイッチを押してコイルに電流を流し磁場を発生させると、鉄球が加速する。

この様子がサイクロtron運動の共振に似ていることから、加速器初心者にもわかりやすいとの評価を得ている。

以上述べたように、学生主体の自由なアイデアで自発的な開発や設計、製作を通じて、得難い経験を積むことができています。



図2: 市販の鍋を用いた真空装置。

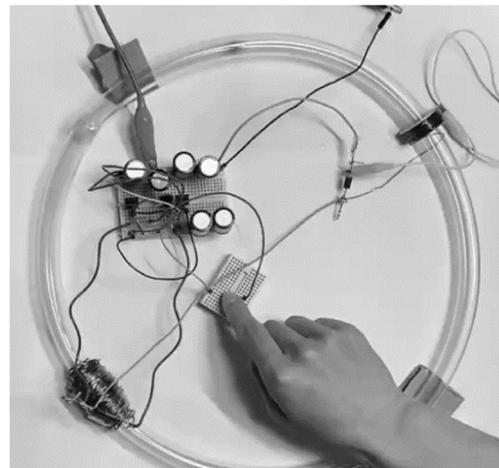


図3: サイクロtron運動を模した模型。

## 3. 群馬高専における活動

本活動に群馬高専チームが参画したのは2025年2月の交流会からであり、現在でおよそ半年がたった。目標を小型サイクロtron用、電磁石の作製およびそれを用いたプロトン加速を実現することに定め、3年生4名(電子メディア科2名、物質工学科2名)で活動を始めた。本章ではチーム立ち上げから目標設定までの梗概、さらに学外との連携の取り組みを説明する。

きっかけは2024年7月、群馬高専で大谷氏によるアクセラトウンの説明会が開催されたことであった。活動に興味を持った学生がスタートアップメンバーになり、同年11月に小山高専が開発を進める小型加速器の見学のため現地に向かった。その際の一番の収穫は小型加速器のサイズ感と必要な機器、モジュール部品を具体的に知ることができた点である。これにより自分達が目指す加速器をイメージしやすくなり、目標と優先事項の決定に繋がった。電磁石をターゲットにした理由としては、既に活動を先行している高専は真空チャンバーとDee電極の開発を進めていたこと、他のユニットでDIYできそうな機器を検討したところ、電磁石が候補に挙がった。電

磁石をDIYできれば、チェンバーと電極のサイズの自由度が高くなることもメリットとしてあげられ、現在は高知工科大の電磁石制作に関する卒業論文等を参考にラボレベルで実現可能な電磁石の設計を行っている。

更に2025年7月には群馬県にある加速器施設、高崎量子基盤研究所(QST)の見学および活動に関する意見交換会が実現できた。QSTが所有するサイクロトロン(TIARA)[3]の運転・管理を行う倉島氏より、電磁石、チェンバーの設計やサイズの決定について助言をいただき、今後の活動についてもご協力いただけることとなった。学内の制作作業だけでなく、学外の交流をもつことは視野を広げられること、なによりモチベーションの向上に大きく寄与する。群馬県にはQSTの他に、重粒子線治療のための医療用加速器も存在する。このような立地環境を活用した、群馬高専での加速器制作活動および加速器教育活動の発展を視野にいれつつ、まずは電磁石を完成させるため引き続き放課後の制作活動に注力していく。

#### 4. 沖縄高専における活動

最終的に高度な加速器装置を製作する前段階として、基礎的な物理原理の理解のため、段階的にステップアップしていくアプローチを取った。よって、活動の中心は、加速器の根幹をなす電磁気学の理論を学ぶ勉強会、及び得た知識を実践するための具体的な装置製作とした。

2つの異なるタイプの装置開発に同時に取り組んでいる。一つは、加速の基礎原理を直感的に理解することを目的とした「疑似加速器」の開発である。これは、コイルと磁石などを用いて電磁誘導やローレンツ力といった物理現象を体験的に学ぶための装置であり、本格的な加速器に必要な物理の基礎を固める上で重要な役割を担う。

二つ目は、より高度で挑戦的な「レールガン式加速器」の開発である(図1)[4]。レールガンは強力な電流によるローレンツ力を利用して物体を高速で射出する装置であ

り、その設計には大電流回路、高電圧制御、強磁場といった電気電子工学や機械工学の高度な専門知識が求められる。

現時点では、これら2つの装置開発プロジェクトはいずれも基本設計の段階まで終了している。今後は、実現の可能性や安全性を考慮した詳細設計を行い、最終的には9月までに完成を行う。

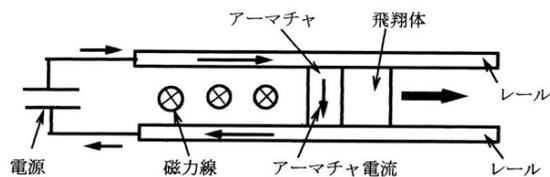


図4: レールガン式加速器の原理。

#### 謝辞

本活動は、令和2~4年度 KEK 一般寄附金事業、令和5~7年度 KEK 未来基金事業、2020~2025年度 SOKENDAI 社会連携事業、2021年度双葉電子記念財団青少年創造性開発育成事業、ちゅうでん教育振興助成高等専門学校の一部(2021年度助成分)、KEK 加速器科学総合育成事業(2021年度茨城高専)、KEK 加速器科学国際育成事業(IINAS-NX)(2022年度小山高専、2024~2025年度 KEK 大谷)、JSPS 科研費 25K21974の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] <https://www2.kek.jp/axltn/about/>
- [2] 熊谷 勇喜 他、「高専におけるサイクロトロンをはじめとした加速器製作活動」、加速器 20 巻(2023) 4 号, p.308-314.
- [3] 倉島 俊、「QST 高崎研の TIARA サイクロトロン」、加速器 20 巻(2023) 4 号, p.281-288.
- [4] 矢守章, 電磁飛翔体加速装置開発の歩み - (I), 宇宙科学研究所報告, 2001 年 2 月, 第 117 号, p.2.