

高専における小型加速器制作にかかわる活動報告

EDUCATIONAL CONSTRUCTION OF COMPACT ACCELERATORS AT MULTIPLE NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (KOSEN)

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

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

Kazuki Nagao^{F)}, Satoshi Kogure^{F)}, Riku Gomibuchi^{F)}, Ryuhi Tsukahara^{F)}, Kenshin Narita^{F)}, Souya Aoki^{F)}, Sojyu Fukuda^{F)}, Hiroto Katayama^{F)}, Haruki Nagasawa^{F)}, Shinichi Hirano^{F)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

^{B)} NIT, Toyota College

^{C)} NIT, Nagano College

^{D)} NIT, Gunma College

^{E)} NIT, Okinawa College

^{F)} 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小山高専と長野高専の活動について紹介する。

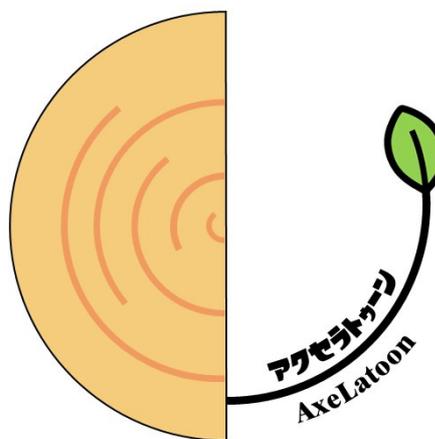


図 1: AxeLatoon のロゴマーク。AxeLatoon という名前は Accelerator と Ratoon に由来する。ロゴはこの名前に基づいており、高専で製作しているサイクロトロンのでー電極と、サイクロトロンの粒子軌道を模したものになっている。

[#] masashio@post.kek.jp

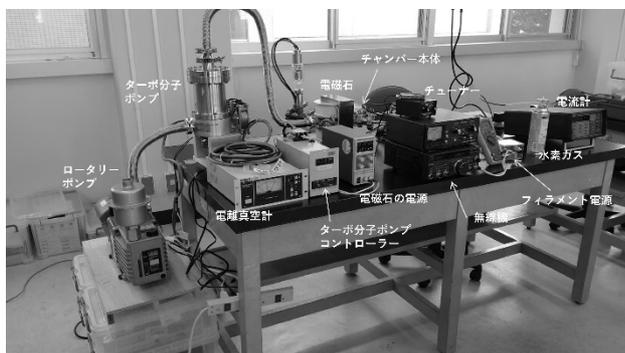


図 2: 小山高専で製作中のサイクロトロン加速器の(上)チャンパー内部の様子、(下)全体写真。3D プリンタでディー電極上下のメッシュ状の板を作製し、その板で電極とフィラメントを固定していたが、加速電界の加わり方を考慮して、今は別の形にしている。

2. 小山高専における活動

小山高専における加速器製作活動は、2021年7月から始まった。当時1年生の本科生12名(機械/電気電子/物質材料工学科)がAxeLatoonスタッフの協力を得て、サイクロトロン加速器製作に向けた設計を開始した。3D電磁界解析ソフトCST Studioによる磁場分布シミュレーションや粒子軌道計算を行い、製作に向けてチャンパーの設計を進めた。

2022年春からは加速器のチャンパー本体の製作を開始し、それと並行してフィラメントやその駆動回路、水素ガスなど、周辺機器の準備も進め、7月頃から真空ポンプやRF発振器をチャンパーに接続、真空引き試験やRFチューニングを確認、2023年1月に稼働を開始した。図2に加速器チャンパー内部の様子と関連機器の全体像を示す。加加速器の運転実験を繰り返し、チャンパー内部のディテクタが何らかの粒子をキャッチして電流として計測できはじめてきたが、所望のイオンビーム初観測にはまだまだ微調整と時間が必要ではあるが、確実に進んでいる状態である。学生らはイオン源である水素注入の有無やフィラメントへの電圧印加を変化させ、得られた結果に対する仮説を裏付ける実験を積み重ねながら加速されたビームの初観測にむけて取り組んでいる。なお、ビーム加速に成功すると、ビームは秒速430km、東京-



図 3: ガウス加速器を利用したボーリングゲームの様子。2024年度 KEK 一般公開において体験展示を行った。小さな子ども達に好評であった。

大阪間を1秒間で移動可能な速度まで加速される。

学生は3Dプリンタで治具を作成し、チャンパー内のフィラメントを固定するなど柔軟なアイデアで製作を行っている。また、3DプリンタとLEDで視覚的にサイクロトロン加速器の原理が理解できる教育教材の開発にも学生が主体で並行して取り組んでいる。図3は、KEKの一般公開の際に来場者に体験して貰った際の様子である。

これらの活動の成果は物理学会 Jr.セッション(2021/2022/2023年)や国際会議STI-Gigaku 2023(ベストポスター賞受賞)での発表を行ってきたほか、KEK dayにおける活動紹介や、Maker Fair Tokyo(2022/2024年)への出展(2024年は長野高専の加速器研究同好会と合同で出展)など積極的に校外へ広くアピールしている。これらの活動の成果もあり、2024年10月には愛好会から同好会へ昇格、ロボコン/プロコンと並び、本高専を象徴する学生活動として校内での認知が広まってきた。また中学生を対象とした高専説明会やオープンキャンパスでは本活動紹介で興味を持ってくれる中学生も多く(保護者も)、中には「この活動をやりたいから頑張って勉強して高専に入学する」と言う中学生も数名いた。さらに、東北大や東大の物理サークルの見学や、民間企業からの興味関心も高く、製品開発に使えないかと相談も複数件あった。現在は週1回の活動であるが、学生らは普段の講義や実験では体験できない(体験させられない)、予期せぬ失敗と成功を通じて様々な経験を深く積み重ねており、技術者教育として有益な活動となっているといえるだろう。

3. 長野高専における活動

長野高専においては、加速器活動をする学生団体「加速器研究同好会」の結成は2022年8月であった。結成までの流れとしては、前年12月にAxeLatoonスタッフによる学内講演会および2022年度当初に有志の学生による勉強会を経て、当時3年生を主とする13名の学生により活動開始した。加速器勉強会の初期においては、学内図書館の加速器に関する蔵書を用いてサイクロトロン加速器の原理や平均自由工程などの基本計算に関して学習を進めた。その後、学生の興味対象に合わせてチーム編成を行い、諸々の活動を行った(図4)。

機材班は、AxeLatoonスタッフが過去に製作した真空チャンパーとDee電極を借りて、それらのRLC特性の測

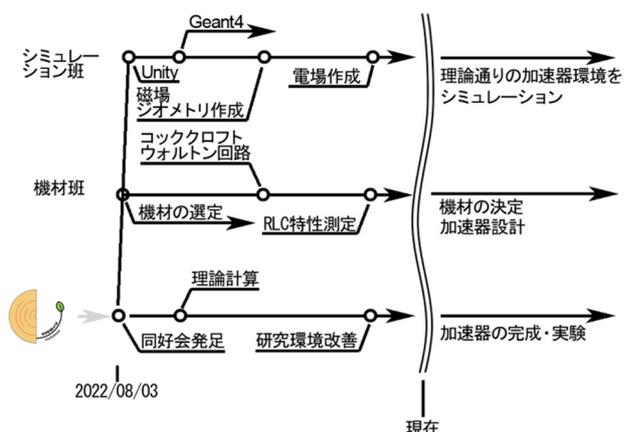


図 4: 長野高専 加速器研究同好会の活動内容。

定や、真空チャンバーの設計を行った。RLC 特性の測定においては、Dee 電極の共振周波数がサイクロトロン周波数と一致していることが望ましいと考え、試作 Dee 電極の共振周波数を測定した。結果として得られた共振周波数は、概ね 80 - 150 kHz 程度であったが、Dee 電極を複数の部品を組み合わせた場合、測定点により共振周波数が異なることが分かった。ここで、真空チャンバー内部に設置された Dee 電極内部の磁場の大きさを 20 mT と仮定すると、試作予定機のサイクロトロン周波数は数百 kHz 程度という試算を出しており、オーダーは合っているといえる。また、真空チャンバーの設計においては、より高い、真空度と一様磁場を獲得するための工夫をした。具体的には、真空チャンバーの蓋を締める際に、密閉度を向上させる二重の O リングの設置や、真空チャンバーの薄型化を行った(図 5)。

一方、シミュレーション班は「Unity を用いた陽子運動の計算シミュレーション」や「Geant4 を用いた時間変化する電場と一様磁場によるサイクロトロン運動」に取り組み、平均自由行程の真空度依存性についての計算シミュレーションの準備を進めることができた。

2025 年 3 月に活動を支えてきた主要メンバーが卒業し、後輩学生たちに活動が引き継がれた。現在、3 年生以下の高校生相当のメンバーを主として活動しており、AxeLatoon に参加する高専の中で初めて、立ち上げメンバーの卒業と後輩学生への引継ぎを完了した。現在は

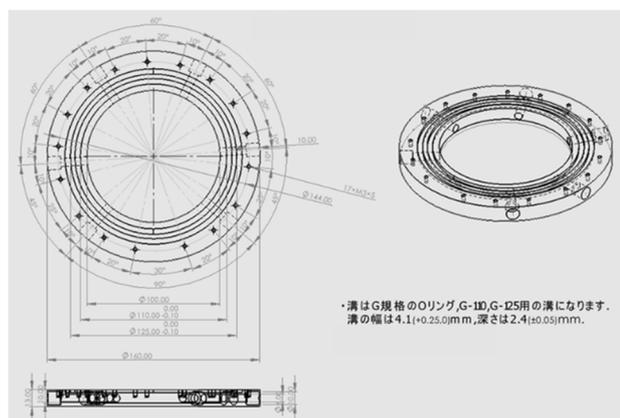


図 5: 設計された真空チャンバー図面。幾何公差は普通公差とした。

サイクロトロン加速器の組立や、小山高専と合同での Maker Fair Tokyo 2025 に向けた展示準備を進めている。

加速器活動には高周波、材料、電磁気、設計製図など多岐にわたる知見が求められ、加速器が応用される場面も多岐にわたるため、10 代からの加速器活動はサイエンスの入り口としての役割を果たしていくと期待できる。

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.