

## 高専における加速器製作活動～AxeLatoon～

### AXELATOON～ACTIVITIES FOR MAKING ACCELERATORS IN KOSEN

大谷将士<sup>\*A)</sup>、阿部 優樹<sup>B)</sup>、岩下 芳久<sup>C)</sup>、大塚 崇光<sup>D)</sup>、岡田 貴文<sup>A)</sup>、奥村 紀浩<sup>E)</sup>、小野寺 礼尚<sup>F)</sup>、  
高藤 清考<sup>G)</sup>、北口 雅暁<sup>H)</sup>、高橋 将太<sup>A)</sup>、高梨 宇宙<sup>I)</sup>、高橋 光太郎<sup>B)</sup>、竹谷 篤<sup>I)</sup>、内藤 富士雄<sup>A)</sup>、  
服部 綾佳<sup>F)</sup>、広田 克也<sup>A)</sup>、古坂 道弘<sup>A)</sup>、三宅 晶子<sup>F)</sup>、山口 孝明<sup>B)</sup>、渡邊 康<sup>I)</sup>

Masashi Otani<sup>\*A, B)</sup>, Yuki Abe<sup>B)</sup>, Yoshihisa Iwashita<sup>C)</sup>, Takamitsu Otsuka<sup>D)</sup>, Takafumi Okada<sup>A)</sup>, Norihiro Okumura<sup>E)</sup>,  
Reisho Onodera<sup>F)</sup>, Seikou Kato<sup>G)</sup>, Masaaki Kitaguchi<sup>H)</sup>, Shota Takahashi<sup>A)</sup>, Takaoki Takanashi<sup>I)</sup>,  
Kotaro Takahashi<sup>B)</sup>, Atsushi Taketani<sup>I)</sup>, Fujio Naito (KEK)<sup>A)</sup>, Ayaka Hattori<sup>F)</sup>, Katsuya Hirota<sup>A)</sup>,  
Michihiro Michihiro<sup>A)</sup>, Shoko Miyake<sup>F)</sup>, Takaaki Yamaguchi<sup>B)</sup>, Yasushi Watanabe<sup>I)</sup>

<sup>A)</sup>KEK, <sup>B)</sup>SOKENDAI, <sup>C)</sup>Kyoto University, <sup>D)</sup>Utsunomiya University, <sup>E)</sup>Nagano KOSEN, <sup>F)</sup>Ibaraki KOSEN,  
<sup>G)</sup>Oyama KOSEN, <sup>H)</sup>Nagoya University, <sup>I)</sup>RIKEN

#### Abstract

The evolution of accelerator science from the beginning of the 20th century to date has opened the wisdom of mankind, such as discovery of Higgs, particle beam therapy, etc. For sustainable growth despite a variety of social problems, educational and outreach programs for next generation of the field are required. For that purpose, we had launched the program named "AxeLatoon". In the program, a table-top accelerator will be made in KOSEN by the students themselves, using which the workshop to enlarge familiarity of accelerator will be held. This activity units will be expanded at KOSENs around Japan and, finally, our goal is to hold the accelerator contest. This paper presents our program and current activities that started in 2020.

#### 1. はじめに

20世紀初頭から現在に至る加速器科学の発展は種々の量子ビームの利用を可能にし、ヒッグス粒子の発見や量子線治療など人類の叡智を切り拓いてきた。現在においても、持ち運び可能な小型加速器によるインフラ検査や、カーボンニュートラルを目指した先端材料の開発や超伝導技術などによる加速器自体の高効率化など、様々な社会的問題の解決のために加速器技術は進化し続けている。一方で、加速器に対する世間の認知度は高いとは言えず、また、高等教育課程において関連する技術や科学に実際に触れる機会も多くない。そこで、持続可能な加速器科学の発展には、加速器科学の次世代を担う人材の育成・発掘を目指した教育・アウトリーチプログラムの樹立が急務である。

そこで我々は KEK・理研や名古屋大学などの研究者からなる加速器教育・アウトリーチを行う「AxeLatoon (アクセラトゥーン)」コラボレーションを結成した(図1は本活動のロゴマーク)。本コラボレーションの第一の活動として考えたのが、工業高等専門学校(以下、高専)で学生自らが加速器を作りコンテストを行うものである。高専は高校1年次相当から現場指向の高度な教育を行っており、これまでも様々な分野の優秀な技術者・研究者を輩出している。これは高専が高校・大学にはない特色ある優れた教育プログラムを持っていることの表れであり、そこに加速器研究を行う研究所・大学が加わることで、これまでにない高度な加速器人材育成を行いたいと考えた。本活動趣旨に共感していただいた高専スタッフが加わり、2020年度から実際の加速器製作

活動を開始している。

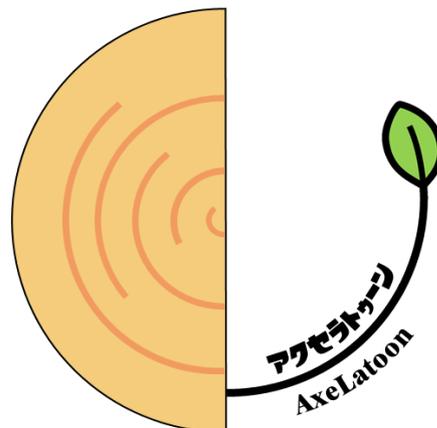


Figure 1: Logo of the AxeLatoon program. The name AxeLatoon comes from Accelerator and Ratoon. The logo is based on the name, a Dee in a cyclotron that is being made in KOSEN as a first step of the program, and particle trajectory of the cyclotron.

本稿の構成は以下の通りである。まず、AxeLatoonにおける高専加速器コンテストを目指した活動構想の詳細を2章で述べる。続いて3章で現在、高専で製作している加速器の詳細、4章でこれまでの活動内容について報告する。最後に今後の展望とまとめをそれぞれ5章、6章で述べる。

\* masashio@post.kek.jp

## 2. AXELATOONにおける高専での加速器製作活動

本活動では主に以下の2つの目的を達成するために、高専加速器コンテストの開催を目指している。

- A 加速器分野の次世代を担う技術者・研究者の発掘・育成
- B 加速器を知らない人ゼロを達成

これらの目的に対応して以下のような活動を行う。

- A' 高専生自らの手で加速器の製作を行う。

加速器は高周波や真空、機械工学、制御など様々な分野の技術が必要となる総合科学であるが、電気や機械などの学科を有する高専では、異なる学科の高専生・高専スタッフが集まり協力することで、加速器製作を行うことができると考えた。高専の立場からしても、高専で勉強した学問・技術を加速器に活かすことができ、加速器を通じた医療や産業などの社会貢献にも繋がることを知るなど、学生にとっては自身のキャリアパスを考える良い教材になる。また、高専教員にとっても、学生が勉強した内容を活用し、学生主導で設計・製作することで、思考力・コミュニケーション能力・応用力などモノづくりの素養を育てることができる。

- B' 加速器に触って遊べるワークショップを展開する。

放射線検出器による実習など、関連分野においては実際に物に触れて学べるワークショップが一般的に行われている。一方で、加速器に関するものはLHCやKEKBなどの大規模施設で既に取得されたデータを使った情報処理演習などがほとんどであり、実際に加速器に触れる機会は皆無と言って良い。そこで、高専生が作ったテーブルトップサイズの小型加速器を用いたワークショップを展開し、世界的にもユニークな実際に加速器に触って遊べるアウトリーチ活動を実現する。各高専が各地域でワークショップを展開して地域との連携を深めることで、人材育成の循環を生むとともに、高専の地域での存在感を高めることが出来ると考えている。

- C' 加速器コンテストの開催

上記の2つの活動を日本各地の高専で展開し、最終的には高専生が作った加速器を競うコンテストを開催する。持続的なコンテストの開催には、高専と研究所・大学との連携はもとより、企業との協力体制の樹立も必要不可欠である。

加速器コンテストの開催という最終目標に対して、以下のようなステージングアプローチで徐々に活動を拡大・展開しようと考えている。

- 1. KEKなどの研究所と高専が協力して加速器を製作し、実際に高専生が加速器を製作する上での問題点を特定・解決し、製作手順を確立する。
- 2. 実際に高専生自らが加速器を製作し、加速器製作のモデルケースを樹立する。

- 3. ワークショップを開催し、活動を全国の高専に展開する準備を進める
- 4. 全国の加速器施設・大学との協力体制を樹立し、加速器製作を全国の高専で展開する。
- 5. 加速器コンテストを開催する。

AxeLatoon コラボレーションは2019年度末に結成し、その中の加速器コンテストにむけた活動を2020年度から開始した。現在はステージ1から2に相当する活動を行っている。高専で製作している加速器の詳細は次の3章で、2019年度末からこれまでの活動に関しては4章で述べる。

## 3. 高専での小型加速器

本節では次の4章で説明する高専で製作している小型加速器の詳細について述べる。製作過程などはそちらを参照していただきたい。

図2は2020年度に製作した小型サイクロトロン加速器の真空チェンバーの写真である。真空チェンバーを含めDee電極なども全て高専で製作し、 $10^{-4}$ Paと加速に十分な真空度の達成まで確認している。チェンバー側面から6本のNW16配管が接続されているが、12時の方角から時計回りにそれぞれ、フィラメント、ビーム測定、真空、Dee電極、Dee電極カップリング、ガス配管(写真では取り外している)用のポートである。ビーム測定ポートは電流計(Keithley 614)に接続されており、ガス配管から導入した水素ガスをフィラメントでイオン化、加速した陽子の電流を計測することでビーム加速を確認する。Dee電極はバリアブルコンダクタ・インダクタとVSWRメータを有するアマチュア無線用のチューナー(MFJ16010, Comet CAT-300)を介して、こちらもアマチュア無線用機器であるFT-850でRFパワーを発生し、Dee電極に高周波電圧を直接印加する。アマチュア無線機器を用いることで中古品などを含めて安価に購入でき、ベクトルネットワークアナライザーなども昨今ではamazonなどで数千円の物が購入できるが、加速器製作にあたって予算面で最も深刻な問題となるのが真空ポンプであり、現在は研究所の再利用品を使用しているが、今後の活動展開においては解決すべき問題である。<sup>1</sup>

## 4. これまでの活動

活動を開始するにあたって、加速器を専門として本活動に共感していただいたスタッフがいる茨城高専で活動の準備を始めた。2020年度に入って茨城高専で加速器製作を進める予定であったが、COVID-19の影響で前期は現地での活動中止を余儀なくされた。そこで、2020年度は2章のステップ1である加速器製作手順の確立を行い、後期に入ってある程度の活動が可能になれば、ステップ2にむけた準備のために茨城高専生への活動説明会を行うことにした。加速器製作手順を確立するにあたって、数ある加

<sup>1</sup> 実は再利用品であるTMPが故障しており、試作器によるビーム加速には至っていない。

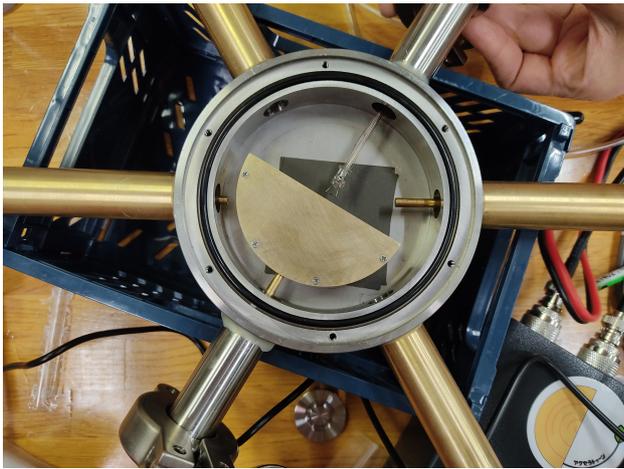


Figure 2: Photo of the small cyclotron accelerator prototype. The NW16 size vacuum pipe comes from the side of the chamber.

速器スキームの中でサイクロトロン加速器を試作することにした。これは、サイクロトロン加速器は高校物理の範囲内で理解可能で大学入試問題にも度々用いられる良い教材である事と、既にコラボレーションメンバーの一人が自宅で小型サイクロトロン加速器を製作し [1,2]、スタッフ間で製作手順がある程度共有できていたことが理由である。

小型サイクロトロン加速器を高専生自らが製作するうえで困難となる点を特定・解決するため、高専スタッフならびに本科卒研究生1名に製作を行ってもらった。高専で加速器製作を行うにあたってユニークな点の一つは、高専は機械加工が可能な工場ならびにスタッフを有し高専生も機械加工の教育を受けていることである。小型サイクロトロン加速器製作に関しても真空チェンバーなどを含めて、可能な限り高専生自らの手で加速器を製作することを目指している。2020年度は、まず、高専スタッフに茨城高専の加工工場において真空チェンバーの製作を行ってもらい、高専生が加工を行うにあたっての問題点を洗い出してもらったことにした。図3にチェンバー加工の様子を示す。真空チェンバーの加工に必要なNCフライス盤の詳細な取り扱いが授業の中で取り扱わないものの、追加の講習を行うことで学生自らの手で機械工作が可能な手ごたえを得ることができたと感じていただいた。

2021年度後期には、茨城高専において加速器製作活動や加速器の原理・利用などを紹介する説明会を計4回行った(2020年10月、12月、2021年1月、3月)。図4は2021年3月の説明会では、小型サイクロトロン加速器試作機を用いた磁場測定実習などを行った。各説明会には本科・専攻科の学生10~30名程度が参加した。コロナ禍で実施時期の変更や実施回数の制限を余儀なくされたものの、ZoomやGoogle classroomなどを用いたリモート体制を整備して計4回のうち2回をリモートで実施しており、コロナ禍においてもワークショップを開催する体制を樹立することができた。また、対面で説明会を開催できた



Figure 3: Processing of a vacuum chamber using a CNC milling machine at the Ibaraki KOSEN workshop.

回においては、磁場測定や高周波回路の調整など、加速器技術に関する実習も行い、実際に触って遊べるワークショップ樹立にむけた準備を進めることができた。



Figure 4: Photo of the workshop. A series of workshops included not only seminars by Axelatoon staff, but also short courses on accelerator technology such as magnetic field measurements and RF circuits.

これまでの活動状況は、KEK広報スタッフが中心に整備しているwebページ [3] のブログ記事などで詳しく紹介している。今後の活動状況も随時発信していく予定なので、興味を持っていただければぜひとも訪問して感想をいただきたい。

## 5. 今後の活動

前章で述べた通り、2021年度も茨城高専において18名の学生を中心に活動を継続している。今後1~2年かけて高専生自らの手で小型のサイクロトロン加速器を製作する予定である。

また、2021年度に入って、小山高専においても活動を開始した。小山高専において2021年6月15日にAxeLatoonの説明会を行い、本科1年から5年まで計15名が参加した。説明会では茨城高専での加速器製作などの活動を紹介したが、説明会後のアンケートでは「小山高専での製作活動開始はいつ頃になりそうでしょうか？」など多数の意欲的な声があった。小山高専では筆者が既に宇宙線検出器を用いた活動を行っていて[4]、現地スタッフとの協力体制も樹立しており、夏休みに入って加速器製作にむけたリモート説明会も開催している。

上記の通り、まずは茨城高専や小山高専において2章の活動ステップ2「高専生による加速器製作のモデルケース」の達成を目下の目標にしている。いずれの高専においても部活動と同様の活動形態で1年以上かけて加速器製作を進める予定であり、スタッフも含めて各高専で加速器製作のノウハウを蓄積していければと思っている。また、現在は謝辞で述べる資金で活動を行っているが、持続可能な加速器製作および将来的な加速器コンテストの開催には、本活動の高専での存在感を高めるとともに、研究所や企業との連携を深めることがより一層重要である。

さらに研究会などで活動を紹介したところ[5]、長野高専をはじめとした他高専にも興味をもっていただき、既に現地スタッフと今後の活動に関して相談を進めている。茨城高専・小山高専におけるモデルケース樹立と並行して、2章の活動ステップ3「他高専への展開」についても視野に活動を検討しているところである。全国の高専に活動を展開するにあたっては、各地域の大学・研究所との連携が必要不可欠である。

## 6. まとめ

2019年度末から本活動を開始し、茨城高専ならびに小山高専で加速器製作を進めるとともに、長野高専をはじめとした他高専においても活動の可能性を相談している。また、本活動はMaker Faire Tokyo2020でも好評を得たほか[6]、YouTubeにおける活動紹介[7]など反響が大きく、本活動に重要性を再認識しているところである。特に本活動のきっかけの一つである理研の研究者グループを中心とした自宅加速器愛好会の活動は、TwitterなどのSNSでも多数のコメントが寄せられるなど、加速器分野の社会的な普及活動の必要性を如実に表していると感じる。持続可能な加速器製作活動ならびに最終的な加速器コンテストの開催には、高専、大学、研究所、企業と産学を巻き込んだ活動展開が必要不可欠である。もし本原稿を読んで興味を持っていただければ、本活動のパンフレットとロゴマークのステッカーを

送付するので、お気軽に私<sup>2</sup>までご連絡いただきたい。本報告を通じて、加速器製作のメンターなど一緒に活動していただける仲間が増えることを願っている。

## 謝辞

茨城高専でのサイクロトロン加速器試作器製作は茨城高専技術教育支援センター職員にご支援いただきました。本活動は、令和2年度ならびに令和3年度KEK一般寄附金事業、2020年度ならびに2021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、令和3年度KEK加速器科学総合育成事業、ちゅうでん教育振興助成高等専門学校の部(2021年度助成分)の支援を受けたものです。

## 参考文献

- [1] <https://www.itmedia.co.jp/news/articles/1908/09/news063.html>
- [2] [https://makezine.jp/blog/2019/08/mft2019\\_report\\_01.html](https://makezine.jp/blog/2019/08/mft2019_report_01.html)
- [3] <https://www2.kek.jp/axltn/about/>
- [4] 宇宙線探求活動:探Q ; <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=%E6%8E%A2Q+>
- [5] ビーム物理研究会若手の会第3回企画研究会; <http://beam-physics.kek.jp/bpc/wakate/wakate/index.php?%E7%AC%AC3%E5%9B%9E%E4%BC%81%E7%94%BB%E7%A0%94%E7%A9%B6%E4%BC%9A>
- [6] [https://makezine.jp/blog/2020/10/mft2020\\_photoreport.html](https://makezine.jp/blog/2020/10/mft2020_photoreport.html)
- [7] <https://youtu.be/TJxLzUcqC3o>

<sup>2</sup> masashio@post.kek.jp