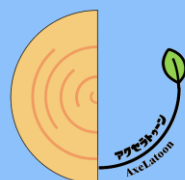




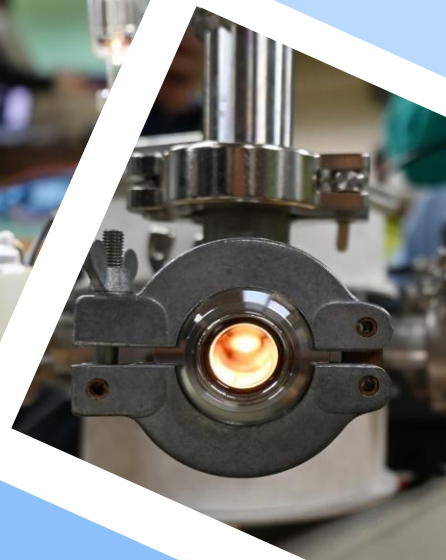
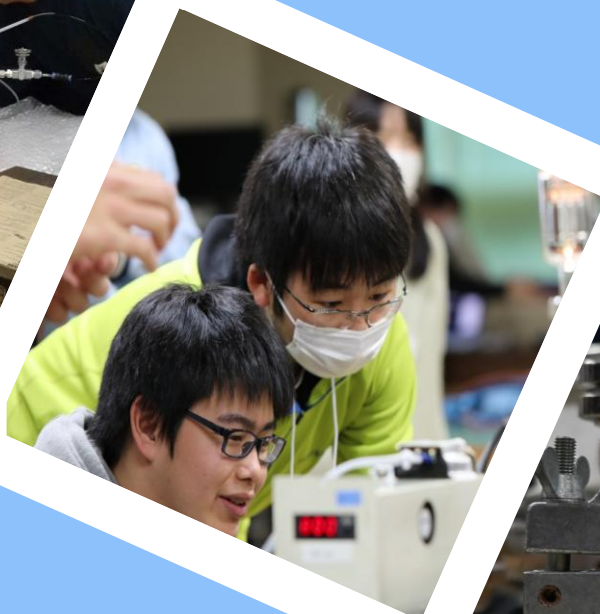
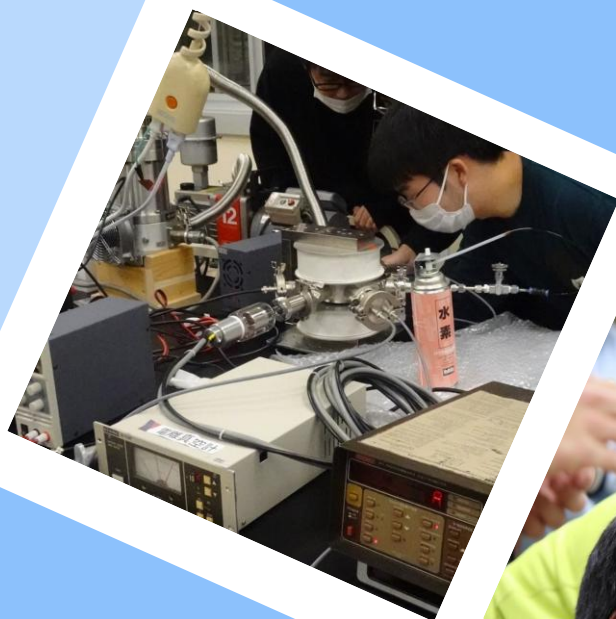
アクセラトーン

AxeLatoon



学校で加速器を 作っちゃおう

DIY particle accelerator at school



AxeLatoonとは？

ミッション

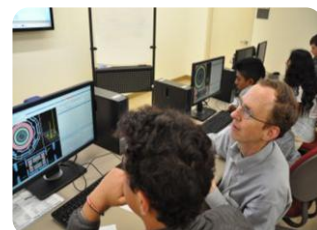
加速器を知らない人ゼロを目指します。その一環として、高等専門学校(高専)で**実際に加速器を製作**する活動を全国展開します。最終的に高専生自らが製作した加速器の性能を競う加速器コンテストの開催を目指します。また、高専生が作った**加速器に触れて学べるワークショップを開催**します。

関連分野では小型の放射線検出器など用いた実習が行われています。一方で、加速器科学分野では大型加速器実験のデータ解析などの情報処理演習がほとんどで、**実際に加速器に触れたり作ったりする活動**はほとんどありません。実際に加速器を作る活動・触れて学べるワークショップの樹立は、本分野において革新をもたらします。

本活動は日本が世界に誇る加速器施設で世界最先端の研究を行う研究者が行う、次世代教育事業です。



放射線観測分野では装置を使って演習が行われています。



加速器分野ではデータ処理演習がメインで、実際に加速器に触れる本活動は前例のない試みです。

活動計画

Step 1

高専の学生が自らの手で加速器を製作し、全国に展開するためのモデルケースを作ります。既に茨城・小山・長野・豊田・群馬・沖縄高専で活動が展開されており、小山高専では小型サイクロトン加速器が完成、陽子ビーム観測において調整が進められています。



研究所・大学の加速器専門家がサポートしながら、高専スタッフと協力して、小型加速器の設計・製作を進めています。



物理学会や国際学会で報告し、発表賞を受賞しています。



リモートに加え、年に一度は活動メンバーが集まり交流会を実施することで、高専間の横のつながりの強化にも貢献しています。

Step 2

モデルケースをベースにワークショップを展開し、全国の高専で加速器製作を行います。全国に40か所ある大型加速器施設のスタッフが各高専のメンターとして協力できる体制をつくり、地域社会に根差した学校教育と相補的な教育の場を提供します。既に、全国の加速器施設をまとめる大学加速器連携協議会や日本加速器学会と協力に向けた議論を進めています。

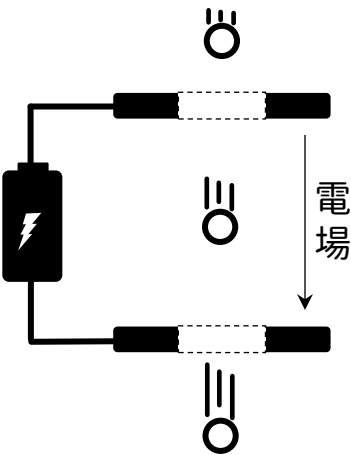
Step 3

加速器コンテストを開催します。また、高専で作った加速器を活用し、加速器に触れて学べるワークショップにより放射線教育にも貢献します。

加速器とは？

原理

加速器は粒子に運動エネルギーを与えて、速度を上げる(加速する)ための装置です。粒子の加速には電場を用います。電荷をもった粒子は電場による力を受け、エネルギーをもらい、速度が高くなります。例えば右の図のように、二つの正負に帯電した電極板により電場が形成されます。正の電荷をもった陽子が正に帯電した穴から電場に入ると、負の電極板に向かって引き寄せられます。この時、陽子は加速され、速度を上げて負の電極板に向かいます。この時の陽子の運動エネルギーは、電場の中での位置エネルギーが運動エネルギーに変えられたものです。電極間の電圧が1ボルトの時、陽子の得るエネルギーを1電子ボルト(1 eV)と言います。



種類



コッククロフト・ウォルトン型加速器 (KEK, 茨城県つくば市)



高周波線型加速器 (J-PARC, 茨城県東海村)



シンクロトロン (SPring-8, 兵庫県佐用町)

加速器の歴史は、1932年のコッククロフトとウォルトンによる多段の倍電圧整流回路によって作られた800 kVの高電圧発生装置から始まります。この時、粒子は800 keV (1 keV = 1,000 eV)のエネルギーにまで加速されます。ほぼ同時期にバンデグラフによって帯電ベルト方式の加速器が開発されましたが、いずれも静電型の加速器で、絶縁破壊によって到達可能なエネルギーが制限されていました。

1927年、ヴィデレーはプラスとマイナスが高速で切り替わる高周波電場による多段加速を実証し、1931年には同じ原理で1 MeV (1 MeV = 1,000,000 eV)まで加速が行われています。1932年には円形加速器であるサイクロトロンが開発されました。現在では欧州原子核研究機構 (CERN)に円形加速器シンクロトロンで周長27 kmのLHCと呼ばれる加速器が、陽子を6.8 TeV (1 TeV = 1,000,000,000,000 eV)まで加速しています。

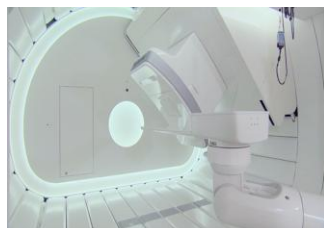
種類	電場	粒子軌道
コッククロフト・ウォルトン型加速器	静電場	直線
バンデグラフ型加速器	静電場	直線
高周波線型加速器	高周波	直線
サイクロトロン	高周波	円
シンクロトロン	高周波	円

加速器の利用



医療

重イオンビームを体に照射してがん細胞だけを殺す重粒子線がん治療は、外科手術と比較して圧倒的に負担の少ない治療法を提供します。同様に人体に負担の少ないホウ素中性子捕獲療法(BNCT)も加速器ベースの開発が進んでいます。近年では医療用RIの原料となるモリブデン99が加速器によって国内生産されています。



重粒子線回転ガントリー



BNCTの加速器装置



加速器による99Mo製造



産業

理化学研究所RANS・RANS-IIや産総研AISTANSでは加速器による小型中性子源を開発し、自動車等軽量化に資する革新的構造材料の組織分析、ミセルなどの評価解析など様々な物質に対する評価分析解析利用を提供しています。工場にもフラットパネルディスプレイ製造用イオン注入加速器、滅菌用電子加速器などが配備されています。



理研加速器小型
中性子源RANS



現場導入モデル
RANS-II



産総研AISTANS



左: イオン注入用加速器
右: 滅菌用電子加速器 (金属技研)



科学

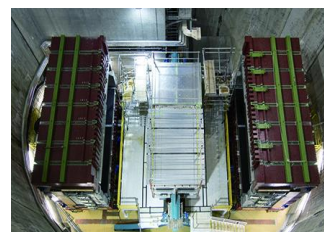
つくば市のSuperKEKB (電子・陽電子衝突型加速器) 実験で1973年に提唱された小林・益川理論が証明され両氏は2008年ノーベル賞を受賞。理化学研究所のRIビームファクトリーで第113番元素ニホウムが発見。大強度陽子加速器施設J-PARCではニュートリノ振動現象(2015年ノーベル賞)による宇宙創成の謎の解明実験。



SuperKEKB



RIビームファクトリー



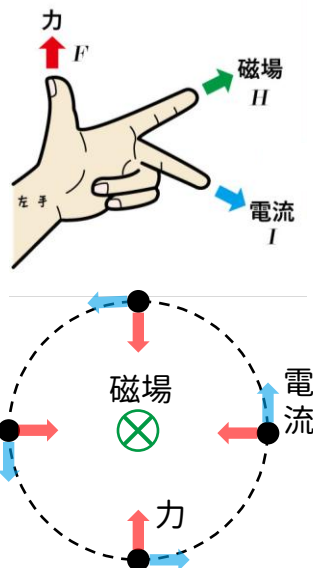
J-PARC ニュートリノ検出器

サイクロトロン

フレミング左手の法則

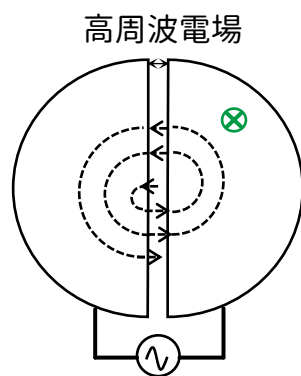
サイクロトロン加速器は高周波電場と磁場を組み合わせた加速器です。その原理を理解するのに必要なのが、フレミング左手の法則です。右上図にフレミング左手の法則を示しました。磁場中を陽子が運動するとき、陽子の流れと磁場それぞれに直行する方向に力が働きます(負電荷をもつ電子の場合は電流の向きと電子の動く方向は反対となります)。

フレミング左手の法則を使って、右下図のように紙面手前から奥にむかう向きに磁場がある場合、正電荷をもつ陽子がどう動くか考えてみます。フレミング左手の法則から陽子は常に進行方向に直行した力が働きます。すると、重力によって地球が太陽の周りをまわるように、陽子は回転運動を行います。以上をニュートン力学及び電磁気学を使って数式で表すと、回転運動の角振動数 ω は、陽子の質量 m 、電荷 e 、磁場 B を用いて $\omega = \frac{eB}{m}$ と表せます。



サイクロトロンの原理

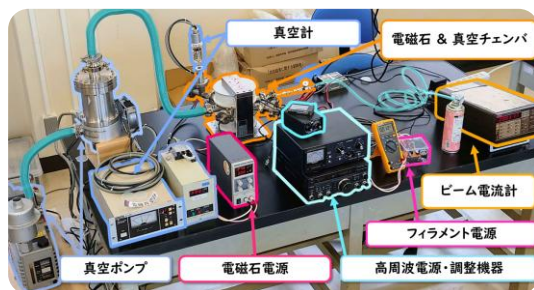
右図のように磁場中に交流電源に接続した左右の電極2個を考えます。電極間のギャップには交流電源の角振動数と同じように変化する、つまりプラスマイナスが交番するような高周波電場が生じます。ここで交流電源を調整し、高周波電場の角振動数を $\omega = \frac{eB}{m}$ にすると、陽子は渦巻き状の軌道を描き、どんどん加速されていきます。これは加速されてエネルギー(速度)が大きくなった分だけ軌道半径(軌道距離)が大きくなり、陽子が加速部(ギャップ)に到達する際には必ず電場が正になり必ず加速されるからです。つまり、エネルギーが小さい(軌道半径が小さい)ときでも、逆に大きい時でも、必ずおなじタイミングで加速部を通過する、これをサイクロトロンの等時性と言います。



小型サイクロトロンの製作

本活動の第一段階として、モデルケースとなるいくつかの高専で小型サイクロトロンを作っています。

右の写真は、小山高専で完成した小型サイクロトロンです。加速に伴って軌道半径が大きくなると、ビームが真空チェンバ内の導体に衝突し、その際のビーム電流を観測することで加速を検証できる仕組みになっています。現在は、陽子ビームの観測を目指して調整が進められています。



活動 Activity

全国どこでも加速器製作活動が続けられるように、Zoomやslackなどのオンライン・コミュニケーションツールを用いて活動指導・打ち合わせ・情報共有を行っています。

zoom

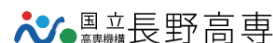
slack



スタッフ Staff

所属	氏名
高エネルギー加速器研究機構	大谷 将士
高エネルギー加速器研究機構	内藤 富士雄
高エネルギー加速器研究機構	高橋 将太
高エネルギー加速器研究機構	広田 克也
高エネルギー加速器研究機構	岡田 貴文
高エネルギー加速器研究機構	阿部 優樹
高エネルギー加速器研究機構	山口 孝明
高エネルギー加速器研究機構	古坂 道弘
高エネルギー加速器研究機構	小笠原 舜斗
高エネルギー加速器研究機構	清矢 紀世美
高エネルギー加速器研究機構 /兵庫県立大学	庄司 善彦
理化学研究所	高梨 宇宙
理化学研究所	渡邊 康
理化学研究所	奥野 広樹
名古屋大学	北口 雅暁
大阪大学	岩下 芳久
大阪大学	神田 浩樹
宇都宮大学	大塚 崇光
長岡技術科学大学	菊池 崇志
九州大学	吉岡 瑞樹
総合研究大学院大学	坂東 佑星

所属	氏名
茨城工業高等専門学校	服部 綾佳
茨城工業高等専門学校	小野寺 礼尚
小山工業高等専門学校	加藤 清考
小山工業高等専門学校	長尾 和樹
小山工業高等専門学校	平野 進一
長野工業高等専門学校	奥村 紀浩
長野工業高等専門学校	斎藤 栄輔
長岡工業高等専門学校	田村 文裕
呉工業高等専門学校	笠井 聖二
豊田工業高等専門学校	熊谷 勇喜
群馬工業高等専門学校	深澤 永里香
沖縄工業高等専門学校	中平 勝也
香川工業高等専門学校	岡野 寛
香川工業高等専門学校	野田 数人
香川工業高等専門学校	上床 隆裕



本活動はちゅうでん教育振興助成、双葉電気記念財団青少年創造性開発育成事業、KEK加速器科学総合育成事業(2021年度:茨城高専、2022年度:小山高専)、KEK一般寄附金事業(2020~2025)、SOKENDAI社会連携事業(2020~2025)、IINAS-NX加速科学及び関連分野の人材育成のための取り組み(2024~2025) 科研費挑戦的萌芽(2025~2027)の支援を受けております。

お問い合わせ先

高エネルギー加速器研究機構
加速器研究施設・准教授
大谷将士 masashio@post.kek.jp

