

技術職員仕事体験のしおり

高エネルギー加速器研究機構

KEK 仕事体験実行委員会

開催日時：令和3年8月31日 10:00～17:00

令和3年9月1日 10:00～17:00

令和3年9月2日 10:00～17:00

1. はじめに

私たち「高エネルギー加速器研究機構(KEK)」は、加速器と呼ばれる装置群を使った研究を推進する研究所です。国内外の研究者に対して研究の場を提供すると共に、個別の大学では設置できない大型加速器による共同利用の場を提供する「大学共同利用機関法人」として、加速器科学の先端研究や関連分野の研究に大きく貢献しています。

私たちの研究には、これまで誰も知らなかった現象や考え方など、未知の世界に挑戦するやりがいと、それを見つけて広く共有することが次の発見の引き金になり、知識の限界をどんどん広げていく...そんな面白さがつまっています。是非、私たちの職場の楽しさを体験して下さい。

2. プログラム

Zoomを使用し、オンライン形式で実施します。

体験参加者は、メールにてお知らせするミーティング ID およびパスコードを

用いてミーティングに参加して下さい。

日程：令和2年8月31日（火） - 令和2年9月2日（木）

時間：9:30 ミーティングルーム開場（待機室にてお待ちください。）

9:50 入室開始（ホストより、入室許可を開始します。）

10:00 高エネルギー加速器研究機構紹介、技術職員の仕事について

10:30 参加者自己紹介と先輩職員から職場紹介（質疑応答を含む）

12:00 昼食休憩

13:25 体験コース別のミーティングルームへ接続開始

13:30 体験コース 1-1 開始

『極小世界が見たい!』を支える技術 ビームライン（物構研）

世界最高強度の加速器用イオン源を組み立てる（加速器）

15:00 休憩

15:10 体験コース別のミーティングルームへ接続開始

15:15 体験コース 1-2 開始

『極小世界が見たい!』を支える技術 ビームライン（物構研）

低温維持のための技術（素核研）

16:45 1日目体験コース終了

9:55 体験コース別のミーティングルームへ接続開始

10:00 体験コース 2-1 開始

電磁石 磁場で曲げた粒子を測定（素核研）

SuperKEKB 加速器の制御技術（加速器）

11:30 昼食休憩

13:25 体験コース別のミーティングルームへ接続開始

13:30 体験コース 2-2 開始

熱解析 ラズベリーパイを使用した制御と手計算と実験の比較

（素核研）

超伝導加速空洞の製造技術開発（加速器）

15:00 休憩

15:10 体験コース別のミーティングルームへ接続開始

15:15 体験コース 2-3 開始

熱解析 ラズベリーパイを使用した制御と手計算と実験の比較

（素核研）

16:45 2日目体験コース終了

9:55 体験コース別のミーティングルームへ接続開始

10:00 体験コース 3-1 開始

J-PARC MR 速い取り出し用セプタム電磁石（加速器）

加速器の放射化測定とイメージング（共通）

11:30 昼食休憩

13:25 体験コース別のミーティングルームへ接続開始

13:30 体験コース 3-2 開始

ビームライン機器（物構研）

大強度陽子ビームの診断技術～世界最高の加速粒子数 J-PARC メイ

ンリングの陽子ビームを体験してみよう～（加速器）

15:00 休憩

- 15:10 体験コース別のミーティングルームへ接続開始
- 15:15 体験コース 3-3 開始
- 運用 39 年の電子・陽電子 LINAC をフル稼働～加速器を支えるアーカイバシステム・安全管理システム・高周波の技術～（加速器）
- NC プログラム実習（共通）
- 16:45 3 日目体験コース終了

3. その他

1. 本仕事体験は、Zoom によるリモート形式で行います。参加に必要な端末、ネットワーク環境等は、各自ご用意下さい。また、Zoom（参加者）の使用方法も、各自あらかじめご確認ください。
2. 接続に必要なミーティング ID とパスコードは、別途メールにてお知らせいたします。
3. 接続テスト用に 8/27（火）の 9:30～16:30 の間でミーティングを開設可能です。ご希望の方は、体験コース希望調査票にてお知らせください。（最下段に記入欄があります。ご希望の時間がありましたら、それもお書きください）
4. Zoom 接続の際の参加者名は、座談会および体験コース時の便宜のため、本名をお使い下さい。（名字だけでも結構です）
5. Zoom ミーティングには、開始時間の 30 分前以降に接続して下さい。待機室に接続され、「ミーティングのホストは間もなくミーティングへの参加を許可します、もうしばらくお待ちください」とメッセージが表示されますので、そのままお待ち下さい。開始 10 分前より順次参加許可をします。
6. 本機構の概要説明の後、司会が順次指名致しますので、氏名、在籍校、専攻、KEK に興味を持たれた理由等を、各自 1 分程度でご紹介ください。
7. 昼食休憩時間中は、一度ミーティングより退出して頂きます。
8. 体験コースに参加される際は、体験開始 5 分前にコース別のミーティングルームに接続して下さい。
9. 体験コース了後は一旦ミーティングルームを退出して下さい。
10. 2 つ目以降の体験コースにつきましても、同様に接続、退出を行ってください。

11. 各体験コースの終了後に全体の集合はありません。コース毎に解散となります。

体験コースの紹介

- 実施時間が重複していない限り、何コースでも体験頂けます。
- 次ページ以降の各コースの説明をお読み頂き、体験を希望されるコース及び時間を別紙の「体験コース希望調査票」に記入して、8/20（金）17時までに、電子メールにてお送り下さい。8/25（水）までに、体験頂くコースを通知致します。

熱流体解析/実際に冷却システムと制御系を作って手計算と実験で検証

9月1日(2日目) 13:30~16:45 (2コマ)

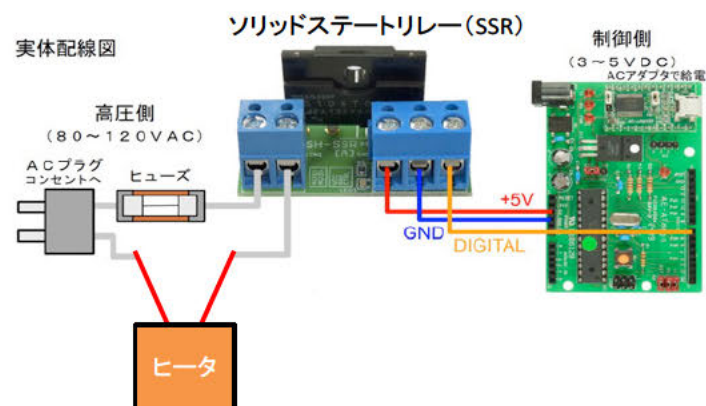
担当者：亀井、鈴木

概要

KEKでは科学実験の限界性能に挑戦することが多いため、発熱量の大きい電子機器や、大電流を用いる大規模装置などが多数存在し、随所で正確な温度評価や適切な冷却手法を提案することが要求されます。このような背景を踏まえて、職場でもよく使われるような汎用的な熱試験装置として、小型PCのラズベリーパイを用いてヒータの発熱量を制御した模擬発熱体を作成し、手計算による温度評価を行うことで試験と手計算の結果を比較して考察します。

内容：

1. 小型PCラズベリーパイを用いてヒータを制御する手法について紹介する。
2. 伝熱の三形態である熱伝導、対流熱伝達、輻射について簡単に講義を行い、ヒータの出力を一定にした状態でヒータの表面温度が何度になるか計算する。
3. 冷却手法の例として、ヒータに金属板をつけた場合にヒータや金属板の表面温度は何度になるかについて手計算と実験で比較検証する。



ここがポイント：

- 科学実験の現場で実際に頻出するような伝熱問題の例題を実体験できる。
- 熱に関する問題ならどんなものでも共通する伝熱の三形態に対する理解を深めて、簡易的な温度評価ならできるようになれる。
- 伝熱の体験実習を通じて、汎用的な電子工作やプログラミングスキルも学べる。

電磁石設計

9月1日(2日目) 10:00~11:30

担当者：広瀬 恵理奈 (ハドロン)

概要

ハドロンビームライングループでは、J-PARCの加速された30GeV陽子ビームを実験室まで導き、実験に係るビームラインや装置を作っています。30GeV陽子ビームを曲げるには、どんな電磁石が必要でしょうか。今回は、陽子ビームをハンドリングするための基本中の基本である電磁石の設計を、どのように行っているかをダイジェストで体験します。

内容：

1. 30GeV陽子ビームを曲げるための磁場を計算
2. その磁場が出る電磁石の設計実習を行う
3. 簡単な電磁石のコイルの銅線を選んで、その銅線に電流を流したときに発生するジュール熱と、水冷での除熱を計算するExcelグラフを作ってみる。



ここがポイント：

加速器には欠かせないビームをハンドリングするための電磁石の造り方が分かる。

超電導電磁石の冷却技術 —低温維持のための技術—

8月31日（1日目）15:15～16:45

担当者：川井 正徳

概要

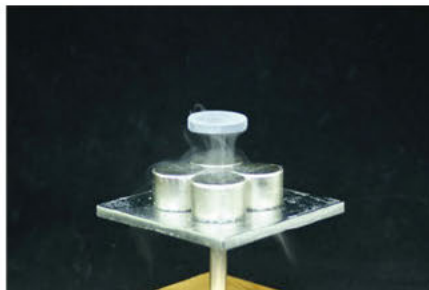
KEKでは、粒子検出器や加速器・ビームラインに超電導電磁石が多数使用されています。超電導電磁石は -269°C の極低温に冷却しますが、その温度まで冷却し、低温状態を維持するためには高度な断熱技術が駆使されます。今回、断熱技術の解説と製作時の注意事項、熱伝導に対する断熱設計の実習を中心に行います。

内容：

1. 超電導電磁石の冷却方法の解説
2. クライオスタットの解説と断熱技術の解説
3. 熱計算の実習（ -269°C に冷却される超電導電磁石を支える支持材等を通して流入する熱侵入量の計算と低減させるノウハウの実習）
4. 極低温用温度センサー実装や断熱技術の動画紹介
5. 低温や超電導現象のおもしろ動画紹介



積層断熱材（輻射熱抑制フィルム）



マイスナー効果



液化窒素

ここがポイント：

クライオスタット（極低温状態を実現し、維持するための恒温容器の総称）を設計する場合、高い断熱性能が最も重要なポイントになる。室温から極低温部への侵入熱量を十分把握し、対策することはとても重要な要素となる。

『極小世界が見たい!』を支える技術

～ビームライン、洗練された技術が物質、生命の起源に迫る～

8月31日(1日目) 13:30～16:45

担当者：丹羽 尉博、内田 佳伯、森 丈晴、小山 篤、小菅隆、石井晴乃

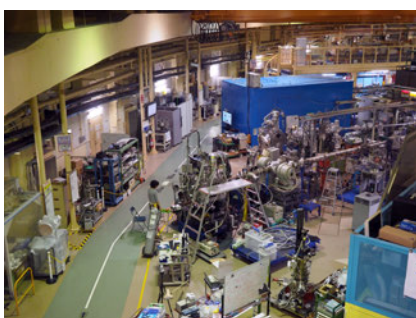
概要

物質構造科学研究所の放射光実験施設では、加速器で発生させた放射光とその光を導くビームラインと呼ばれる実験装置を利用して、タンパク質の構造解析やリュウグウで採取された石の分析のような『小さいものをみる』様々な実験が行われています。

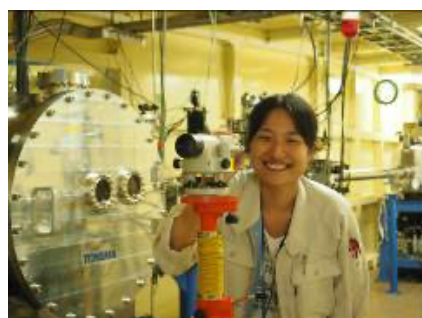
ビームラインとは実験に合わせた光を成形し、かつ安全に実験を行うための装置で、光や熱、機械や材料、電気など様々な分野の技術が詰まっています。ここでは、ビームライン技術の紹介とリモートでビームラインを動かす体験を通してより興味と理解を深めていただきます。

内容：

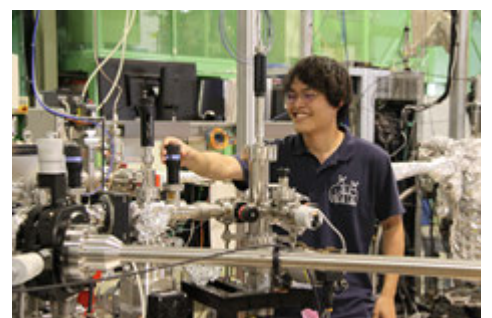
1. 放射光実験施設について
2. ビームラインの構成と光学設計
3. 光学素子の熱・歪計算
4. ビームラインを操作する
5. 職場紹介・若手職員との座談会



放射光施設ビームライン



測量機を用いた光学素子設置作業



ビームラインの調整作業

ここがポイント：

- 物質解析装置として加速器といくつものビームラインからなる大型実験施設を利用しています。
- 様々な実験手法に合わせた光ビームを出すための技術や知識を得ることができます。

ミュオンビームラインを構成する機器

9月2日（3日目）15:15～16:45

担当者：池戸 豊

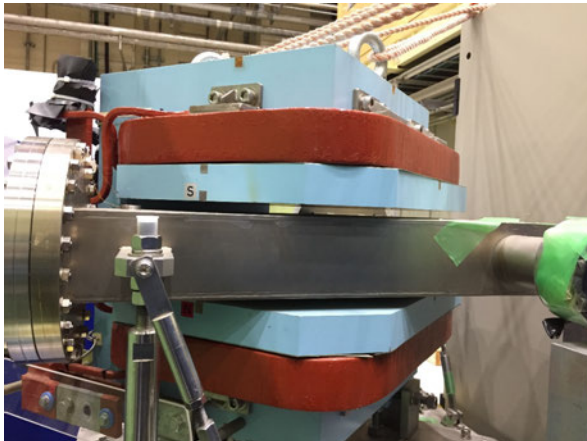
概要

物質構造科学研究所ミュオン科学研究系では、J-PARCの物質・生命科学実験施設（MLF）において、ミュオン（電子とほぼ同じ性質をもつ素粒子）を用いた実験を行うための装置開発・運用・保守・ユーザー実験のサポート等を行っています。黒鉛標的に陽子ビームを照射することでミュオンは生成されます。ミュオンは様々な運動量で放出されますが、ある特定の運動量をもつミュオンを選択し、実験ホールまで輸送してユーザー実験に供与します。

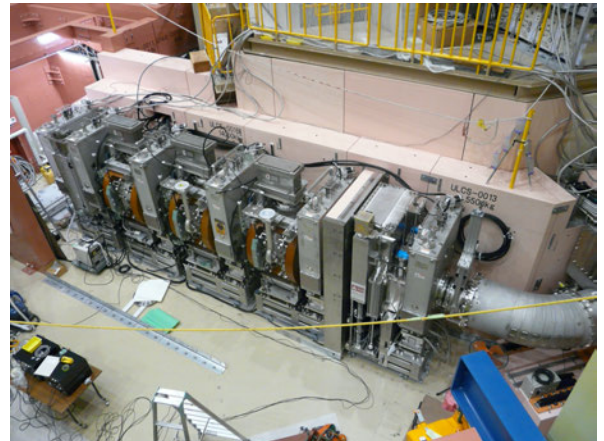
ミュオンは電子とほぼ同じ性質をもつ荷電粒子ですので、その輸送には電磁石を使用します。ここでは、ビーム輸送に必要な軌道計算を行い、電場と磁場を直交して印加することによる粒子選択を体験していただきます。

内容：

1. J-PARC MLF の紹介
2. ミュオンビームライン構成機器
3. 粒子選択フィルターによるビーム軌道計算



偏向電磁石



ミュオンビームライン

ここがポイント：

- 高エネルギー荷電粒子の輸送にはなぜ電磁石を使用するのか
- 加速器施設で物性研究に使用されるビームの概要

「世界最高強度の加速器用イオン源を組み立てる」

8月31日（1日目）13:30～15:00

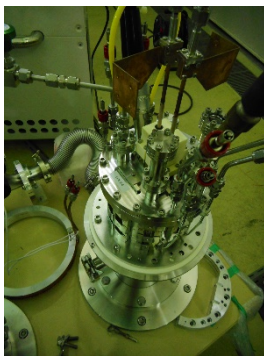
担当： 柴田崇統、南茂今朝雄（加速器研究施設）

概要： 大型加速器内で加速され、実験施設で用いられる全ての粒子は、元を辿るとイオン源と呼ばれる粒子源で生成されます。J-PARC 全体のアップグレードのためには、イオン源からの供給ビーム大強度化が重要であり、そのための研究開発・試験が日々進められています。特に、J-PARC のイオン源は高周波放電型（Radio Frequency）と呼ばれる方式で高密度プラズマを生成し、そこから効率よくビーム粒子を引き出すことに成功しており、同目的のイオン源としては世界最大強度・最長連続運転時間を記録しています。

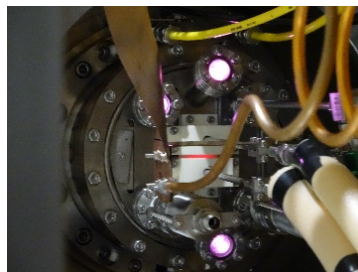
本実習では、実際に J-PARC イオン源を分解し、ビーム粒子がイオン源の内部でどのようにして作られ、加速器に供給されるのかを解説します。

実習：講義（動画）：80分、質問：10分

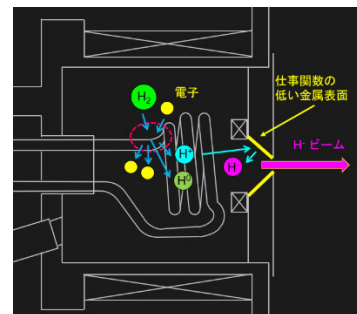
- ・イオン源の概要
- ・イオン源各部の説明：
アンテナコイル、マルチカスプチェンバ、プラズマ電極、Cs オープン
- ・まとめと質疑応答



J-PARC イオン源



イオン源からの発光



イオン源内部のプラズマ・
ビーム生成

ここがポイント

- ・J-PARC イオン源では、高周波を用いて水素の「**プラズマ**」を発生させる。
- ・プラズマに効率よくパワーを伝えるため、アンテナコイルが取り付けられる。
- ・プラズマを閉じ込めて高密度にするため、強力磁石を格納したマルチカスプチャンバが使用される。
- ・負水素イオン (H-) を作るため、プラズマ電極にセシウム (Cs) 高温蒸気を導入する。
- ・J-PARC イオン源は、世界最高強度（ピーク電流 85mA）および最長寿命（3600 時間）のビーム運転を 2020 年に達成した。今後も記録更新を狙う。

「J-PARC MR 速い取り出し用セプタム電磁石」

9月2日（3日目）10:00～11:30

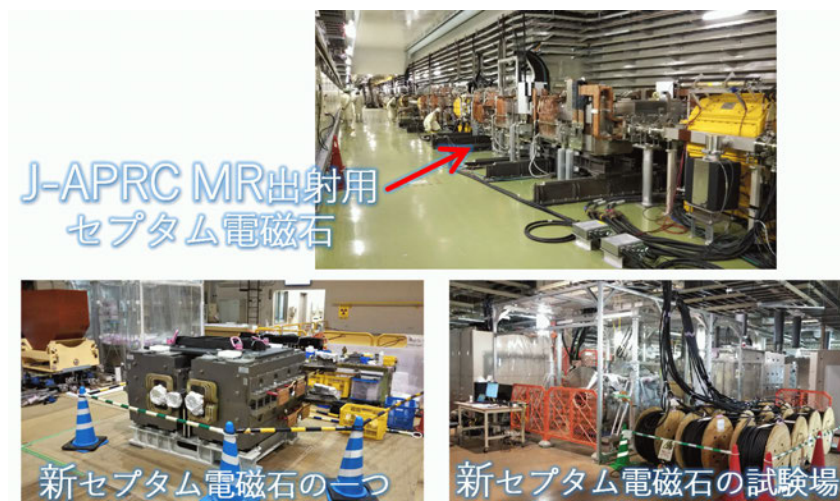
担当者：芝田達伸 岩田宗磨

概要

本コースでは電磁石や磁性の基礎を含め J-PARC メインリング(MR)で使用されている入射電磁石の解説を行い、現技術職員の業務内容の紹介も行います。セプタム電磁石という全く聞きなれない電磁石ですが、非常に重要な役割を持っているこの電磁石に焦点を当てて J-PARC 加速器の最前線に触れて頂く事ができます。

内容：

1. 電磁石と磁性体の基礎を踏まえながら J-PARC MR で稼働している入射電磁石についてセプタム電磁石を中心に紹介します。（担当 芝田達伸 60 分程度）
2. 入射電磁石を担当しているグループに所属する技術職員が取り組んでいる業務内容の紹介を行います。日常の様子も含めて J-PARC MR アップグレードの最前線について解説します。（担当 岩田宗磨 30 分程度）



ここがポイント：

- ・大型加速器施設の現場の声を聴き、電磁石の技術を理解できます。
- ・磁石という身近な物が加速器実験を支える重要な要素です。
- ・電磁石の原理は単純、そこに込められた高度で精密な技術を感じよう。

「大強度陽子ビームの診断技術（世界最高の加速粒子数を誇る J-PARC メインリングのビームを体験してみよう!）」

9月2日（3日目）13:30～15:00

担当： 橋本義徳、門脇琴美（加速器研究施設）

概要：J-PARC メインリングは、世界最高の周回加速粒子数をもつ大強度陽子シンクロトロンです。ニュートリノやミュオンなどの2次粒子を生成し、世界から注目を集める T2K 実験やハドロン実験にビームを供給しています。私達は、そのためのビーム診断装置を開発・製作することで、大強度陽子ビームの理解とその運転に貢献している技術者です。加速器の中で、その大強度陽子ビームはどんな姿でいるのかを、どのような技術で調べるのだろうか？ということを中心に体験していただきます。後半は、3年目の女性技術者が、仕事のおもしろさ、KEK と J-PARC のこと、職場の感じやワークライフバランスなどについて、みなさんと座談会のような感じで紹介してみたいと思います。

（前半 1時間～1.5時間：橋本）

みなさんと一緒に考えながら進めてみたいと思います。

- ・大強度陽子加速器とは⇒何で大強度ビームが必要なのか？どんな装置なのか？
- ・ビームの形は⇒ほぼ光の速度で走る微小な荷電粒子をどうやって見るのか？
- ・ビームを調べる物理現象は⇒電磁場、真空、光、2次粒子など

（簡単な物理で理解できるように）

- ・ビームの信号を捕まえる装置は⇒ビームの形状を測る装置の開発など

（後半 30程度：門脇）

座談会形式で、質疑応答しながら進めてみたいと思います。

- ・加速器技術者の仕事のおもしろさ、新人として体験してきたこと



ここがポイント

- ・加速器の装置の設計、開発、維持、運転、これらはみんな研究です。たゆまず、実験しながら進歩させていくものばかりです。
- ・原理はすべて物理です。大強度ビームを理解してやろう。そのためにどんな装置を作るか、なければ、考えて開発するか、チャレンジの連続でもあります。

「SuperKEKB 加速器の制御技術」

9月1日(2日目) 10:00~11:30

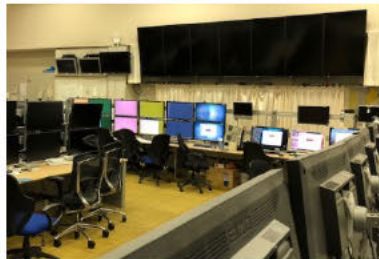
担当者：佐々木 信哉 (加速器研究施設)

概要

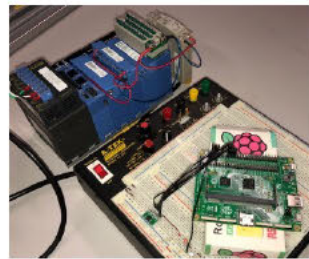
皆さんは日常生活の中で照明やテレビ、エアコンなど多くの機器をスイッチやリモコンで操作(=制御)していますよね。周長3 kmのSuperKEKB加速器は、約1万台の装置によって構成されています。このような多くの装置をスイッチやリモコンだけで操作することは難しいでしょう。そのため、多くの装置へ瞬時に指令を伝え、装置から測定データを受け取るための複雑な制御システムが必要になります。このような制御は計算機が得意とする分野で、数多くの計算機とEPICSと呼ばれるソフトウェアを使って制御しています。本コースでは、加速器をどのようにして制御しているのかについてSuperKEKB加速器の制御システムを例に説明します。また、加速器制御システムを構成するソフトウェアを操作する様子をオンライン上で見て頂きます。最後にSuperKEKB加速器の実際の制御室や計算機室などをオンライン見学します。

内容：

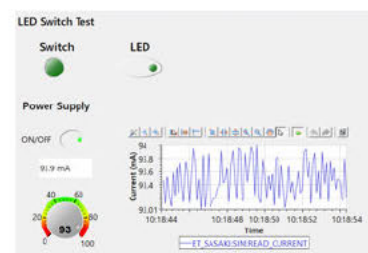
1. SuperKEKB 加速器の制御システムの説明 (30分程度)
2. 加速器制御システムの体験 (30分程度)
3. SuperKEKB 制御室のオンライン見学 (30分程度)



SuperKEKB 制御室



制御機器



制御 GUI 画面

ここがポイント：

- ・ 多数の機器で構成される SuperKEKB 加速器を制御している現場や私たちの仕事を見ていただきます
- ・ 加速器の制御システムで使われているソフトウェアが分かります
- ・ SuperKEKB 加速器の制御室をオンライン見学します

「運用 39 年の電子・陽電子 LINAC をフル稼働 ～加速器を支える高周波の技術・安全管理システム・アーカイブシステム～」

9月2日(3日目) 15:15～16:45

担当者：川村真人、佐武いつか（加速器研究施設）

概要

まず電子・陽電子 LINAC（KEK つくばキャンパス電子陽電子入射器）とそれを支える高周波（マイクロ波）の技術について紹介します。続いて先輩技術職員からの仕事紹介として、安全管理システムとアーカイブシステムを紹介し、これらのシステムが実際の高周波機器の運用に活用されている様子を紹介します。

体験および実習では、まず Google マップのストリートビュー機能を使ってバーチャル見学を体験していただきます。次にソフトウェア Excel の関数機能とグラフ表示機能を使ってクライストロン（真空管タイプの増幅器）が高周波を増幅する原理を実習し考察します。時間に余裕があればクライストロン電源の高電圧印加の様子などを体験していただきます。

内容：

1. 運用 39 年の電子・陽電子 LINAC をバーチャルで見学する
2. LINAC を支える高周波技術の紹介とクライストロンの原理の実習
3. 先輩技術職員の仕事紹介～安全管理システムとアーカイブシステム～



クライストロン



加速管と導波管



最新の制御パネルとコントロール室内

ここがポイント：

- ・ 電子・陽電子 LINAC は、電子と陽電子を作り出し高エネルギーまで加速する。
- ・ 粒子の加速は、ハイパワーの高周波を使い、高周波の増幅にクライストロンを使う。
- ・ 多数の機器をフル稼働するためにソフトウェアシステムを活用する。

「超伝導加速空洞の製造技術開発」

9月1日（2日目）13:30～15:00

概要

空洞製造技術開発施設（CFF）では国際リニアコライダー計画（ILC）で使用する超伝導加速空洞の製造技術の開発を行っています。

本コースでは ILC に向けた現在の我々の取り組みや、空洞製造方法などを説明します。

また、実際に空洞製造現場での作業（プレス加工や電子ビーム溶接など）をリモートで体験して頂きます。

内容：

1. ILC や超伝導空洞の説明（10 分程度）
2. CFF 概要の説明（10 分程度）
3. 空洞製造方法や我々の取り組みに関して説明（20 分程度）
4. 空洞製造現場を回って空洞製造を体験（50 分程度）



超伝導加速空洞



プレス加工の様子



電子ビーム溶接機

ここがポイント：

- ・ ILC は日本での建設が計画されている大規模な国際プロジェクトです
- ・ その ILC の肝となる技術を体験することができます
- ・ 超伝導空洞の製造技術の開発を行っている場所は世界でもほとんどありません
- ・ 普段めったに見ることの出来ない電子ビーム溶接を実際に見ることが出来ます

共通基盤研究施設：加速器の放射化測定とイメージング」

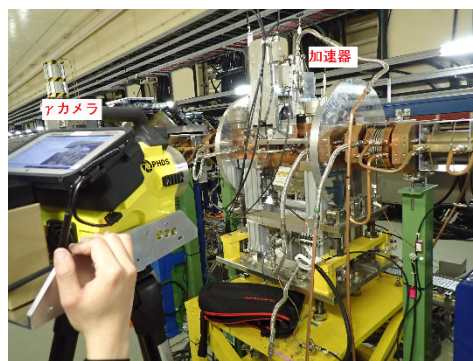
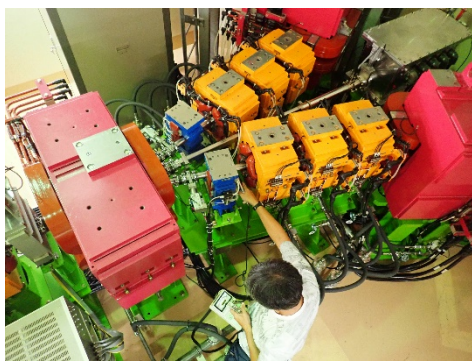
9月2日（3日目）10:00～11:30

概要

高エネルギーの加速器では運転に伴って加速器自身や周辺の物が放射能をもってしまう放射化と言う現象が起きる事があります。この放射化がどのような場所で、どれくらい強く起こっているかを把握する事は、加速器施設の放射線管理では非常に重要になってきます。放射化が強く起こっている個所では空間線量率も高くなるため、停止時のメンテナンス作業等を行う際、作業者の被曝の低減に必須の情報となります。また、継続して行う事により普段と違う放射化（位置や強度）の様子が見られた時、電磁石などの機器異常やオペレーションの異常の発見など各種トラブルに対するフィードバックにつながる場合もあります。このコースでは実際に放射化した機器を、線量率を測るためのサーベイメータ、どこにどのような核種があるか画像化するγカメラといった機器で測定を行い、結果について検討する体験をします。

内容

1. 放射化が起こる仕組みについて
2. 加速器施設の放射化測定について
3. 線量率測定結果による被曝線量の推定と軽減方法について
4. γカメラの測定結果による生成核種の同定について



ここがポイント

・γカメラは KEK の放射線科学センターでも導入したばかりの機器で、これから現場での応用を進めていく段階です。加速器施設の放射線管理の最前線の一部を体験できます。

マシニングセンターの NC プログラミング体験

9月2日(3日目) 15:15~16:45

概要

機械工学センターでは、機構が推進する計画や実験装置開発に対して主に製造面での支援を行っています。製造業の基本として必要不可欠な工作機械の中でも、世の中の多くはマシニングセンタが使われており、複雑な部品も高速かつ高精度に量産する事が可能です。

本コースではNC(数値制御)プログラムを使用してマシニングセンタを実際に動作させることで工作機械の基本を体験していただきます。

内容:

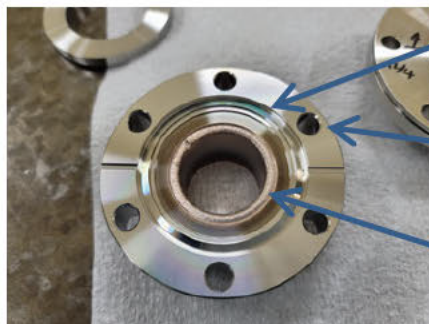
1. 機械工学センターの紹介 (15分程度)
2. マシニングセンタの概要説明と使用する機械の説明 (15分程度)
3. NCプログラミング体験 (40分程度)
4. 機械やビューアを使用したプログラムデバッグと動作確認 (20分程度)

※テキストファイルでのやり取りを行うので、ZOOMの参加にはPCを推奨します。

ビューア(フリーソフト)を御自身で使用される場合にはWindowsOSのPCが必要です。



使用するマシニングセンタ
(FANUC α-T14iD)



- 旋盤
→丸形状やOリング溝の加工
- フライス盤
→穴あけ等の加工
- 電子ビーム溶接
→中央部をパイプと溶接

製造支援で製作した部品例

ここがポイント:

- ・簡単なプログラム作成によって、マシニングセンタを操作出来ます。
- ・本コースは、厚生労働省が定める技能検定「マシニングセンタ3級」で行う内容の一部を模しています。資格等に興味のある方にもお勧めです。