

2018 年技術職員インターンシップ

技術職員インターンシップ  
5 日コース 仕事体験

しおり

高エネルギー加速器研究機構  
技術職員インターンシップ実行委員会

開催期間 2018 年 9 月 10 日－9 月 14 日

## 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. 5日間コース課題リスト

今回体験できる実習は以下の通りです。すべての希望に沿えなかった点もあると思いますが、先輩職員の紹介や懇親会でなんでも質問してみてください。

11-12A	ステンレス製真空容器の製作
11-12B	X線用ビームラインの設計
11-12C	X線用ビームシャッターの動作プログラム作成と動作テスト
12-13D	オンライン解析プログラムの作成
11E	高周波加速技術
11F	SuperKEKBの真空技術(中止)
12G	SuperKEKBのビーム診断技術/線形加速器の制御技術
12H	PFの磁場測定・解析と電磁石電源の制御技術
13I	大強度ビームのフィードバック技術
13J	大強度陽子シンクロトロンの新電源の技術
13K	大強度陽子ビームの遅い取り出し装置の技術

## 3. 連絡先

## 4. 日程表

			1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	
課題番号		実施場所	9月10日(月)	9月11日(火)	9月12日(水)	9月13日(木)	9月14日(金)	
11-12A	ステンレス製真空容器の製作	つくば	つくばCでの先輩職員 の紹介等・懇親会	11-12A			東海Cでの先輩職員 の紹介等・東海Cで解散	
11-12B	X線用ビームラインの設計	つくば		11-12B				
12-13D	オンライン解析プログラムの作成	東海			12-13D			
11E	高周波加速技術	つくば		11E				
12G	SuperKEKBのビーム診断技術／線形加速器の制御技術	つくば			12G			
12H	PFの磁場測定・解析と電磁石電源の制御技術	つくば			12H			
13I	大強度ビームのフィードバック技術	東海				13I		
13J	大強度陽子シンクロトロンの新電源の技術	東海				13J		
13K	大強度陽子ビームの遅い取り出し装置の技術	東海				13K		

### 【5日コースの日程】9月10日(月)～14日(金)

#### (1日目) 9月10日(月) 4号館2階輪講室1

- 10:00 つくばキャンパス集合 自己紹介、日程説明
- 10:10 高エネ研紹介。高エネ研の技術職員とは
- 10:40 先輩職員から(20分×3名+質疑)
- 12:00 昼食会 職員会館2階大集会室南
- 13:30 つくばキャンパス見学

#### グループA

- 13:40～ PF
- 15:10～ コッククロフト
- 15:50～ 筑波実験室

#### グループB

- 13:40～ 筑波実験室
- 14:40～ コッククロフト
- 15:30～ PF

- 16:50～ まとめ・質問
- 17:20 チェックイン
- 18:00 懇親会

#### (2日目) 9月11日(火) つくば(全員)

- 集合場所：つくばキャンパス 職員会館2階大集会室南
- 実習：つくばキャンパス 9:00～17:00
- 11-12A ステンレス製真空容器の製作
- 11-12B X線用ビームラインの設計
- 11E 高周波加速技術

(3日目) 9月12日(水) つくば、東海

集合場所：つくばキャンパス 職員会館2階大集会室南

実習：つくばキャンパス 9:00～17:00

11-12A ステンレス製真空容器の製作

11-12B X線用ビームラインの設計

12G SuperKEKBのビーム診断技術／線形加速器の制御技術

12H PFの磁場測定・解析と電磁石電源の制御技術

集合場所：東海キャンパス 1号館115号室

実習：東海キャンパス 9:30～17:00

12-13D オンライン解析プログラムの作成

(4日目) 9月13日(木) 東海

集合場所：東海キャンパス 1号館115号室

東海：東海キャンパス 9:00～17:00

12-13D オンライン解析プログラムの作成

13I 大強度ビームのフィードバック技術

13J 大強度陽子シンクロトロンの新電源の技術

13K 大強度陽子ビームの遅い取り出し装置の技術

17:00頃 実習終了

18:00頃 夕食会

(5日目) 9月14日(金) 東海

集合場所：東海キャンパス 1号館115号室

東海：東海キャンパス 9:00～17:00

9:00 東海キャンパス紹介

10:00 見学スタート MR、HD

11:30 昼食 (J-PARC 研究棟3階会議室)

12:30 見学スタート MLF、NU

14:00 東海キャンパス1号館115 質疑応答

15:00 終了

業務連絡バス 15:16 東海1号館→16:35 つくばキャンパス

高速バス 15:49 東海原研前→19:14 東京(最終バス)

路線バス 16:06 原研前→16:14 東海駅 16:40 特急→18:13 東京 →21:03 新大阪

## 5. 各コースの紹介

### 11-12A ステンレス製真空容器の製作

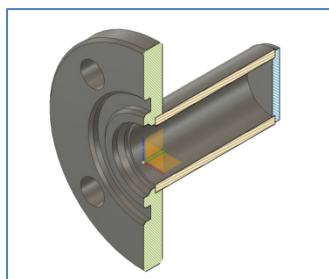
講師：

(共通基盤研究施設所属)

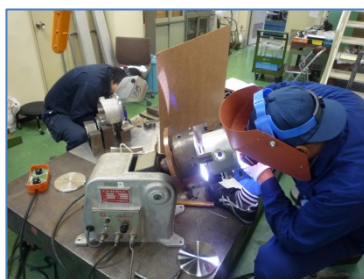
概要： 機械工学センターでは、機構が推進する計画や実験装置開発に対して、製造およびエンジニアリング支援を行っています。現在までに行ってきた仕事の紹介や実験機器等を製作する上で必要な技術の講義を行い、実際に実験機器の一例として「ステンレス製真空容器の製作」を実習します。

実習：(2日間)(つくば 第二工作棟)

1. 機械工学センターの概要 (9月11日午前)  
製造支援およびエンジニアリング支援での製作事例紹介とステンレス製真空容器の製作工程説明およびボール盤作業による穴加工などを行います。
2. 真空容器の部品製作1 (9月11日午後)  
旋盤作業によるフランジのOリング溝加工などを行います。
3. 真空容器の部品製作2 (9月12日午前)  
旋盤作業によるパイプの両端面加工などを行います。
4. 真空容器のTIG溶接組立・リークテスト (9月12日午後)  
TIG溶接機による本付け溶接作業およびリークレート測定などを行います。



3D-CAD



TIG 溶接



リークテスト

ここがポイント

- ・真空容器の溶接部品は、組立(溶接)し易さを考慮した設計が必要です。
- ・Oリング用溝加工は、仕上げ加工面の表面粗さ(JIS規格: Ra3.2 $\mu$ m)が重要です。
- ・TIG溶接組立作業における真空容器内部を清浄に保つ。到達真空度に影響します。

## 11-12B X線用ビームラインの設計

講師：

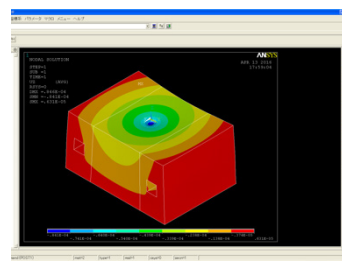
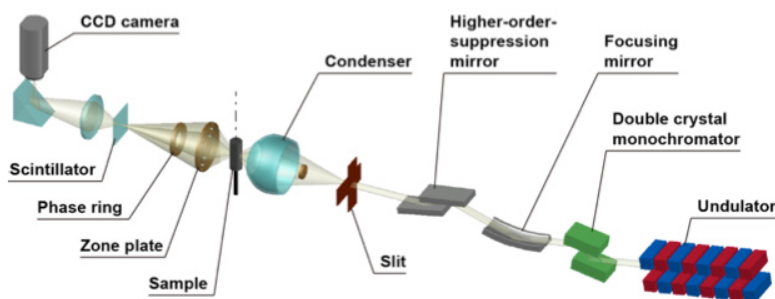
(物質構造科学研究所)

概要： 放射光科学研究施設には約 50 の実験ステーションがあり、それぞれ独立した実験が行われています。すべてのビームラインでは放射光によって放射線被曝を引き起こさないよう何重にも亘る安全装置が組み込まれています。これはインターロックシステムと呼ばれ、安全に実験を遂行するために不可欠な制御システムです。

本実習ではビームラインの設計、制御、安全に実験を行うためのインターロックシステムについて学びます。

実習：(2日間)(放射光実験準備棟講義室、PF光源棟実験ホールなど)

1. X線ビームラインの設計とは(1時間)
2. ビームラインの構成、光学設計(4時間)
3. 光学素子の熱・歪みの計算(2時間)
4. ビームラインの制御(3時間)
5. インターロックシステムについて。動作の体験(2時間)
6. ビームライン、実験装置の見学(1時間)



ここがポイント

- 実験に必要なX線の性能とはどんなものだろうか。  
波長、ビームサイズ、連続/パルス、他に何があるか考えます。
- 電子蓄積リングで発生する放射光を、実験試料まで効率よく導く方法をお教えします。
- 分光結晶の1度の温度上昇でも、ビーム性能は大きく劣化してしまいます。  
温度上昇を小さくするために、液体窒素で結晶を冷却しているところを見てください。
- 安全第一。実験者が誤ってビームラインを操作しても、被曝は絶対にさせない仕組みがここにはあります。

## 11E 高周波加速技術

講師： (加速器研究施設所属)


概要： 全ての加速器の心臓部は高周波加速装置です。加速器の基本であると同時に重要な技術です。前半は高周波加速の基本を学習し、後半で高周波測定の基礎、及び高周波加速空洞を模した空洞共振器の特性を測定します。

実習： (1日) (午前：4号館 2F 輪講室 1, 午後：COI 棟 1F ホール)

1. 高周波 (RF) は波動関数が基本です。波動関数を分かり易く説明します。
2. マクスウェル方程式のイメージを学びます。
3. RF システムの構成要素を紹介し、導波管内での電磁波の進行や空洞での共振状態について学びます。
4. LC 共振回路からスタートし、加速空洞も共振回路であることを学びます。空洞内でのモードや分散などの特性も紹介します。
5. 高周波測定でとても便利なネットワークアナライザ (NWA) の基本を説明します。
6. 高周波素子の測定を行い、素子の働きを理解します。
7. 最後に、高周波空洞を模した空洞共振器の諸特性を NWA で測定します。

### 空洞共振器のインピーダンス

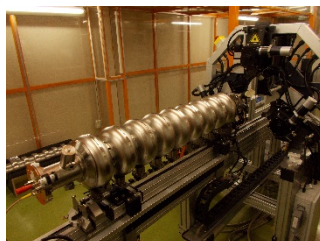
空洞にはインピーダンス "Z" が存在する


$$Z = R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$

空洞の長さ: 電流が流れる、電圧が降下する

空洞に電場が存在する、磁場が存在する

空洞に磁場が存在する、電場が存在する



### ここがポイント

- 現在の大型加速器は高周波加速が基本です。
- 高周波の基本は波動関数であり、調和振動です。簡単です。
- 高周波加速空洞はラジオと同じ !?

## 12-13D オンライン解析プログラムの作成

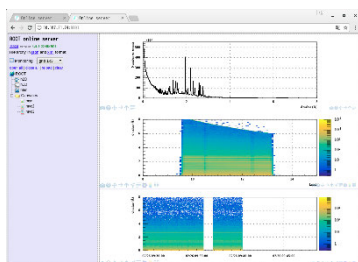
講師：

(物質構造科学研究所所属)

概要： 物質構造科学研究所、物質・生命科学実験施設では中性子、ミュオンなどの量子ビームを用いた物質構造科学を推進しています。測定中の構造変化を観察するオンライン解析システムは研究成果に直結するキーコンポーネントです。  
本実習は、コンピュータ言語である C++や Python で解析プログラムを作成した後、実際の実験データを使用したオンライン解析を体験します。

実習：(2日間)(東海1号館)

1. オンライン解析システムの概要説明 (9月12日午前)  
本実習の概要を説明した後、関連するソフトウェアを動作させます。
2. オフライン解析プログラムの作成 (9月12日午後)  
実際の実験データをデコードし、ヒストグラムなどの表示をおこないます。
3. エミュレータ環境の動作確認 (9月13日午前)  
エミュレータを起動させ、実際のデータ収集を擬似体験します。
4. オンライン解析プログラムの作成 (9月13日午後)  
前日のプログラムを元にオンライン解析プログラムを作成し、動作させます。



ここがポイント

- ・物質・生命科学実験施設における標準的なデータ収集ソフトウェアをベースに作成
- ・全データを活用した間引かないオンラインモニターの実現
- ・KVS ソフトウェアであるレディスを用いたオフライン解析とオンライン解析の融合
- ・高速ネットワークの整備と仮想マシンの導入による高度化も合わせて実現



## 12G SuperKEKB のビーム診断技術／線形加速器の制御技術

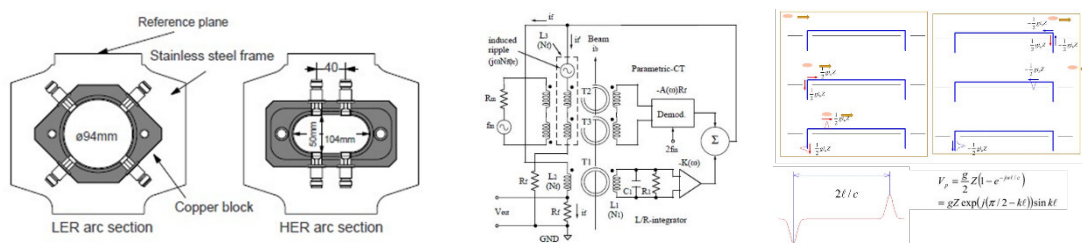
講師： (加速器研究施設所属)

概要： 世界最強だった KEKB 加速器のさらに 40 倍高いルミノシティーを目指して運転が開始された SuperKEKB 加速器におけるビーム診断技術について実習します。最初に電気・電子回路の基本と加速器における電気・電子回路について学習します。また SuperKEKB のビーム診断装置と回路について解説します。次に、実習としてトンネルで検出されたビーム信号を地上まで伝送する信号ケーブルの基礎を理解していただき、高周波同軸ケーブルの製作と信号の伝達特性の測定を行います。

\*ルミノシティー：衝突型加速器における素粒子同士の衝突頻度

実習：(午前半日) (加速器南実験室)

1. 電子回路の基礎として、アナログ回路、デジタル回路の特徴と、基本的な回路素子の特徴や回路の考え方について学習します。
2. SuperKEKB 加速器で用いられる基本的なビーム診断装置について学習します。
3. ビーム診断装置から信号処理回路までを結ぶケーブル内での伝搬特性は、信号処理の基本です。高周波同軸ケーブルとはどのようなものであるか学習します。
4. 高周波同軸ケーブルに、高周波同軸コネクタを接合します。細かな手作業となります。精度よく取り付けることができると高い信頼性をもつケーブルとなります。
5. 製作した高周波同軸ケーブルの高周波特性の測定を行います。TDR (Time Domain Reflectometry) という、極短パルスを用いてケーブル伝送と反射の特性からケーブル内の場所ごとの高周波特性を調べることのできる装置を使います。さて、みなさんの製作されたケーブルは、精度良くできていますでしょうか。



ここがポイント

- 基本的なビーム診断装置は、ビームの作る電磁場を検出するタイプ
- ビーム信号の伝送には、高周波同軸ケーブルを用いる
- 高周波同軸ケーブルの伝送特性は、ビーム信号処理を行う回路の基本

## 12G SuperKEKB のビーム診断技術／線形加速器の制御技術

講師：

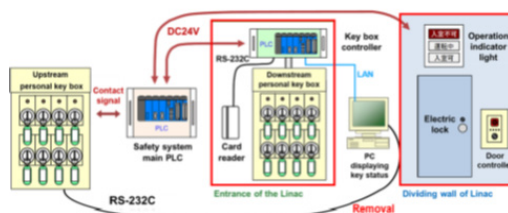
(加速器研究施設所属)

概要： 電子陽電子入射器は、世界最高のルミノシティーをもつ SuperKEKB には電子と陽電子を供給し、2つの放射光リング PF (Photon Factory) と AR (Advanced Ring) には電子を供給しています。それぞれの加速器からの要求に応じたビームエネルギーとビーム強度で、マルチにビームを供給する線形加速器です。この加速器を安全に運転するための制御技術について実習します。

\*ルミノシティー：衝突型加速器における素粒子同士の衝突頻度

実習：(午後半日) (入射器棟)

1. 電子陽電子入射器の運転について概略を紹介します。
2. 放射線発生装置である加速器の運転に関する様々な条件について学習します。
3. 加速器制御システムにおいて、実際の制御機器である PLC の使用方法について実習します。
4. 次に PLC を用いて、いくつかの運転条件を実際に構築していきます。さあ、設定した条件は、正しくシステムに組み込まれたでしょうか。



ここがポイント

- 電子陽電子入射器は、SuperKEKB、PF、AR にマルチにビーム供給する線形加速器
- 放射線発生装置である加速器は、高い信頼性をもつ制御システムが不可欠
- 安全を第一に考えた運転条件の構築

## 12H PF の磁場測定・解析と電磁石電源の制御技術

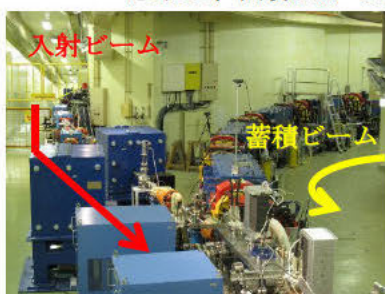
講師： (加速器研究施設所属)

概要： 放射光源用蓄積リング (PF リング) の電磁石と電源の実際について実習します。PF リングで長時間安定して電子ビームを蓄積するために重要な、電磁石と電磁石電源の基礎、そして制御の方法について学習します。また、加速器における電磁石を中心とした精密アラインメントの方法について学習します。

実習では、電源を制御してステアリング電磁石や四極電磁石を励磁し、ガウスメーターやハーモニックコイルを用いて磁場測定を行います。

実習：(1日) (PF 研究棟、PF 電源棟)

1. PF リングの電磁石と電磁石電源について学習し、簡単な磁場計算を実習します。
2. 磁場測定の基礎として、磁場測定の原理と解析方法について学習します。
3. 電磁石電源の基礎として、PF リングで使われている電磁石電源と EPICS (加速器で広く採用されている分散制御システム) による制御方式を学習します。
4. 加速器における電磁石の精密アラインメントの基礎と、アラインメントに使用するチルチングレベル (N3) やレーザートラッカー (LT) について学習します。
5. ステアリング電磁石の磁場測定を実習します。EPICS によるプログラミングを行い、製作したプログラムにより電磁石電源を制御して磁石を励磁します。ガウスメーターを用いて磁場測定を行い、簡易式から求めた磁場と比較します。
6. 四極電磁石の磁場測定を実習します。電磁石をアラインメントし、電力ケーブル、インターロック線、冷却水ホースを接続します。磁場の測定と解析から励磁曲線を求め、簡易式から求めた磁場と比較します。



PF リング (入射点)



PF 直線部用四極電磁石電源



精密アラインメント

ここがポイント：

- ・電磁石は加速器の主要要素の一つ：ビームのあるところ必ず電磁石あり
- ・加速器での電磁石の精密アラインメント：ビーム制御の高信頼性のために

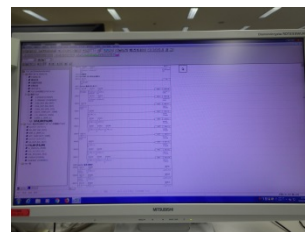
## 13I 大強度ビームのフィードバック技術

講師： (加速器研究施設所属)

概要： 大強度陽子シンクロトロンにおけるビームフィードバックシステムに関して紹介します。世界最大の加速粒子数を持つ大強度陽子シンクロトロンでは、ビーム不安定性を抑制することが極めて重要となり、それを行うのが横方向ビームフィードバックシステムです。まず、ビーム不安定性とその抑制方法、及びその装置であるビーム位置モニターとエキサイターについて学習します。次に現在の装置への改修の課題について理解します。実際に装置の改修作業を、技術職員と一緒にを行います。その後 PLC を用いたラダーのプログラミングと制御システムへの組み込み作業を行います。

実習：(1日)(中央制御棟・D3電源棟)

1. J-PARC メインリング(MR)で使われている横方向フィードバックシステムについての解説をします。(90分)
2. 作業をするにあたって、MRでの安全教育を受講していただきます。(60分)
3. D3電源棟にてPLCの組み換え、切り替え器の設置と配線などの作業の実習をします。(180分)
4. 設置した切り替え器の制御を運用中のシステムに組み込む手順について、説明と実習を行います。(90分)



ここがポイント

- ・ビームの大強度化実現のために絶えず多機能化し続ける装置の姿
- ・それを支える多彩な技術
- ・これも研究所のリアルだ。

## 13J 大強度陽子シンクロトロンの新電源の技術

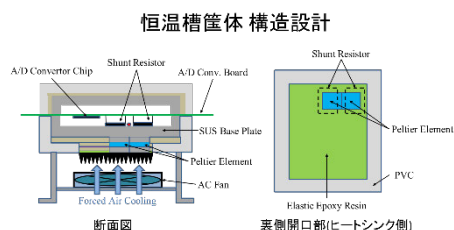
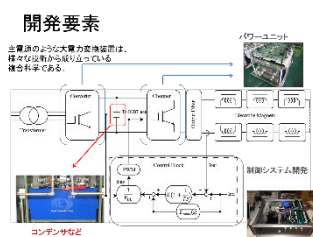
講師： (加速器研究施設所属)

概要： 大強度陽子シンクロトロンは、ビーム増強に向けた高繰り返し電磁石電源システムの開発を行っています。本実習では、大強度陽子シンクロトロンにおける電磁石の役割と、新たな電源の必要性とその具体的な開発内容について学習します。

まず、開発された新電源の見学を行い、電磁石電源の基本モデルの考察と製作の実習を行います。開発段階で製作した高繰り返し電磁石電源モデルの構成も実地に紹介します。

実習：(1日)(J-PARC リニアック棟、メインリング新電源棟)

1. J-PARC メインリング(MR)と電磁石及び電磁石電源の概要を説明します。
2. 大強度化における電磁石電源への要求内容と、必要な開発要素を説明します。
3. (仕事の実例) 電磁石電流の高精度制御における電流検出部の温度安定化のための恒温槽の開発を紹介します。
4. (仕事の実例) キャパシタバンク制御試験用小型電源の開発を紹介します。
5. (実習) AC アダプタ製作を通して主電磁石電源における AC/DC 変換の原理を学びます。AC アダプタ基板は、はんだ付けなどを行い製作します。製作した回路の実際の動作を試験しながら、各素子の役割を学習します。
6. (実習) AC アダプタでスイッチングの Duty と出力の相関を測定します。



### ここがポイント

- ・J-PARC メインリングのマルチメガワット化には高繰り返し電磁石電源が不可欠です
- ・パターン制御電源を  $10^{-6}$  台の精度での制御を目標にしています
- ・電磁石電源の基本は AC アダプタと同じです

## 13K 大強度陽子ビームの遅い取り出し装置の技術

講師： (加速器研究施設所属)

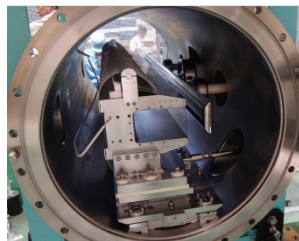
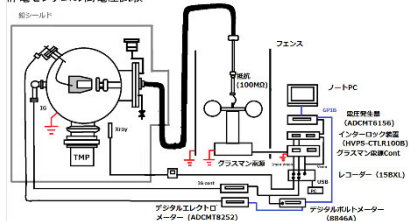
概要： 意外と知られていませんが、円形加速器で加速されたビームを円軌道から外側方向に、連続して取り出すことは難しい技術です。J-PARC 主リングの遅いビーム取り出しシステムは、99%以上という世界最高の取り出し効率を誇ります。今回体験する静電セプタムは、その主要な装置です。

まず、大強度陽子シンクロトロンから 2 秒間にわたり連続ビームを取り出す手法を学習します。次に、ESS の実機に高圧を印加して、電圧、電流、暗電流、X線、真空度などを測定します。これらの基本的な測定技術の習得も目標にします。

実習：(1日)(J-PARC リニアック棟)

1. J-PARC 主リング(MR)におけるビームの遅い取り出し方法について、ビームと装置のそれぞれの基礎を学習します。
2. 取り出し装置の主要機器である静電セプタム装置について学習します。静電セプタムの構造と仕様を説明し、電極への高圧フィード部の放電防止のためのフロリナート循環システムを放射線環境下で使用するための技術、及び 100kV 以上の直流高圧を印加するための技術を解説します。
3. 静電セプタムと組み合わせて使用する磁場セプタムについて学習します。取り出しビームの軌道だけを磁場で曲げる直流電磁石です。
4. 実習では、次期に実機として使用するチタン製の静電セプタムをテストベンチで使用します。実際に高圧を印加して電圧、電流、暗電流、X線、真空度などの特性を測定します。

静電セプタムの高電圧試験



### ここがポイント

- J-PARC の遅い取り出しは世界最高の取り出し効率、静電セプタムはその主要装置
- 周回するビームには影響を与えずに、取り出しビームだけを高圧電場でキックします
- 直流で 100 kV 以上の高圧を印加するための高レベルな技術力が自慢です