

高エネルギー加速器研究科・加速器科学専攻

6月5日 13:00からの大学院説明会の中で、惠郷博文教授による「新世界を拓く高エネルギー加速器」という加速器科学及びご自身の研究についてのご紹介の講演があります。また加速器科学専攻の各専門分野(下記リスト)についてのご紹介を次ページ以降に用意しましたのでご覧下さい。同日 14:30からは各専攻別のzoom会議室を用意しています。個別の研究テーマに興味をお持ちの方や、加速器科学専攻についてお聞きになりたいことをお持ちの方は、ぜひお気軽にご参加いただき、お話しさせて下さい。

- 大強度陽子加速器施設J-PARC (大谷 将士)
- SuperKEKB加速器 (石橋 拓弥)
- 放射光源加速器 (東 直)
- 電子陽電子線形加速器 (宮原 房史)
- 国際リニアコライダー加速器ILC開発 (奥木 敏行)
- 超伝導加速器開発 (阪井 寛志)
- レーザーを利用した加速器技術 (吉田 光宏)
- 放射線科学 (岸本 祐二)
- 超伝導低温工学センター (菅野 未知央)
- 計算科学センター (岡田 勝吾)
- 機械工学センター (平木 雅彦)

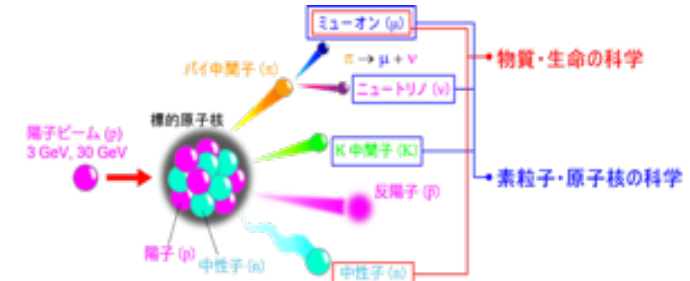
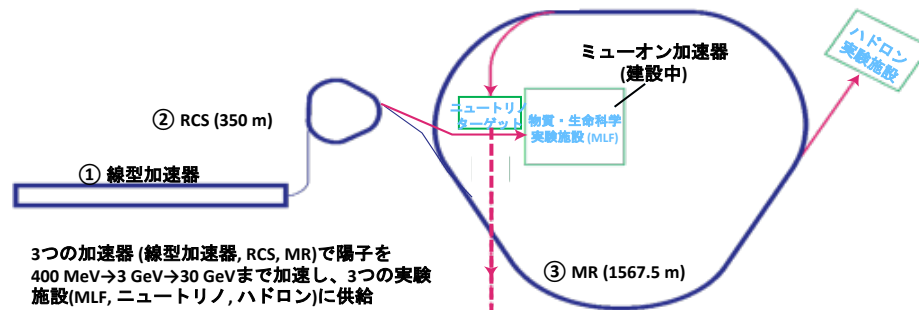
連絡先

高エネルギー加速器研究機構 大学院教育係 (kyodo2@mail.kek.jp)

加速器科学専攻長: 紙谷 琢哉 (takuya.kamitani@kek.jp)

大強度陽子加速器施設J-PARC

担当：魚田 雅彦 (masahiko.uota@kek.jp)
大谷 将士 (masashio@post.kek.jp)

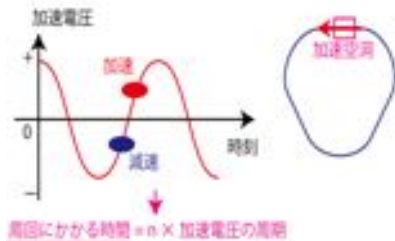


二次粒子を用いて物質科学・生命科学から自然科学に至るまで幅広い分野で最先端研究を展開

J-PARCメインリング(MR)

シンクロトロン加速器

- 1 加速電圧は交流のため加速電圧がちょうど+になる時しか加速できない。
- 2 ビームは加速するため、周回にかかる時間がどんどん短くなっていく。



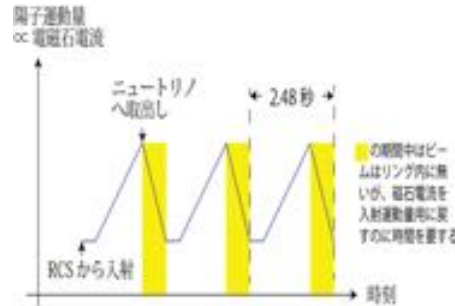
繰り返し時間の短縮

周期を2.48秒 → 1.3秒以下にしたい

$$V(\text{磁石に印可する電圧}) \\ = L \frac{\Delta I(\text{電流の変化量})}{\Delta T(\text{変化にかかる時間})}$$

ΔT を半分にするには、 V を2倍にする必要がある。

ニュートリノ標的への陽子供給パターン

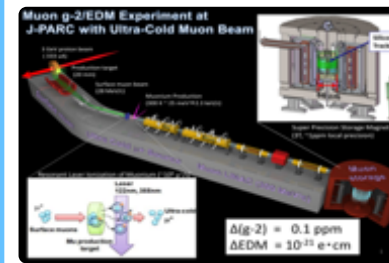


一度に加速できる陽子数を増やす
→バンチ内粒子数の増加
供給頻度を上げる。
→加速時間(繰り返し時間)の短縮

電磁石用電力変換器の開発

電磁石用電力変換器の更新はビーム強度倍増に向けた最大のプロジェクト！

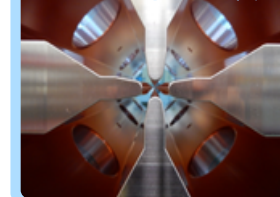
ミューオン加速器の開発



受入教員：大谷将士 (masashio@post.kek.jp)
受入大学院生：総研大(素核ミューオン精密測定) 3名
東大(学際理学) 2名
九大1名、茨大1名 (特別共同利用研究員)
他、名大院生も参加

- ・ ミューオンの冷却と加速による低エミッタンスビームを使ったミューオン異常磁気能率(g-2)精密測定をMLFで準備中 (J-PARC E34実験)
- ・ 専門委員審査に合格 (J-PARC PAC stage 2)、世界初のミューオン加速器の建設と実験開始までもうすぐ。
- ・ 検出器開発などは素核専攻ミューオン精密測定研究を参照

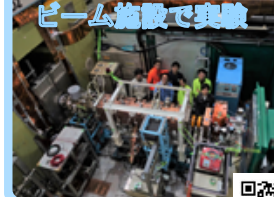
加速空洞の開発・製作



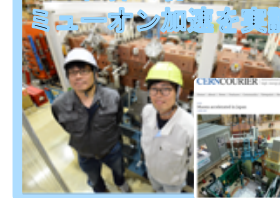
エキスパードと試験・議論



世界最大ミューオンビーム施設で実験



世界で初めてミューオン加速を実現



国内外の学会で発表。論文・受賞、多数。



研究の特徴: バンチあたり世界最大の陽子数→最先端の研究!
ニュートリノ実験における国際競争→新機器導入のチャンス!
ユーザー供給マシン→研究成果を短いスパンで実感

世界初のミューオン加速器で素粒子・宇宙の謎に迫る！

SuperKEKB加速器

宇宙創成の謎に迫る電子・陽電子衝突型蓄積リング

SuperKEKBの目標は世界最高衝突性能の約40倍

ルミノシティ $L = 8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

単位時間当たりのB中間子ペア生成数 $= L \times \sigma(\text{BB})$

B中間子ペアの生成断面積 $\sigma(\text{BB}) = 1.1 \times 10^{-33} \text{ cm}^2$



<http://www-superkekb.kek.jp>



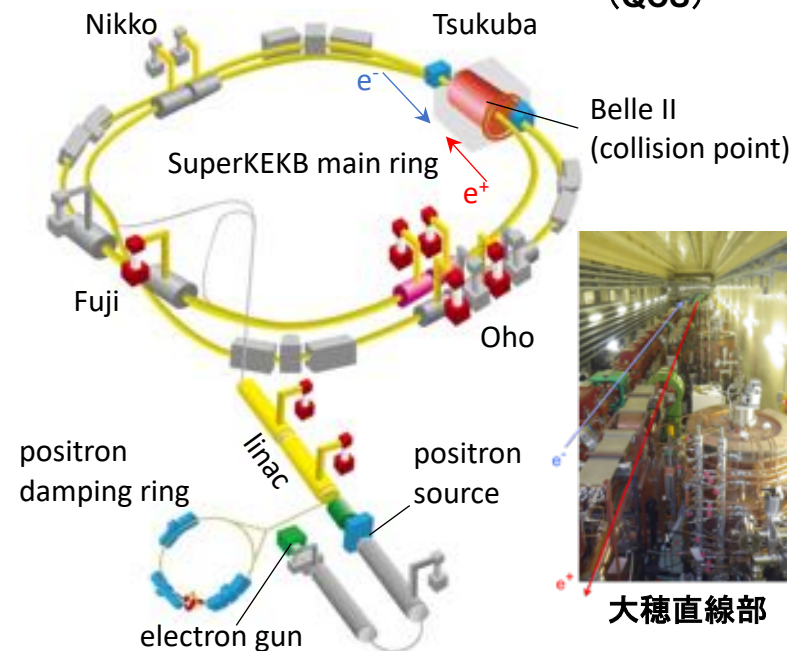
Belle II検出器



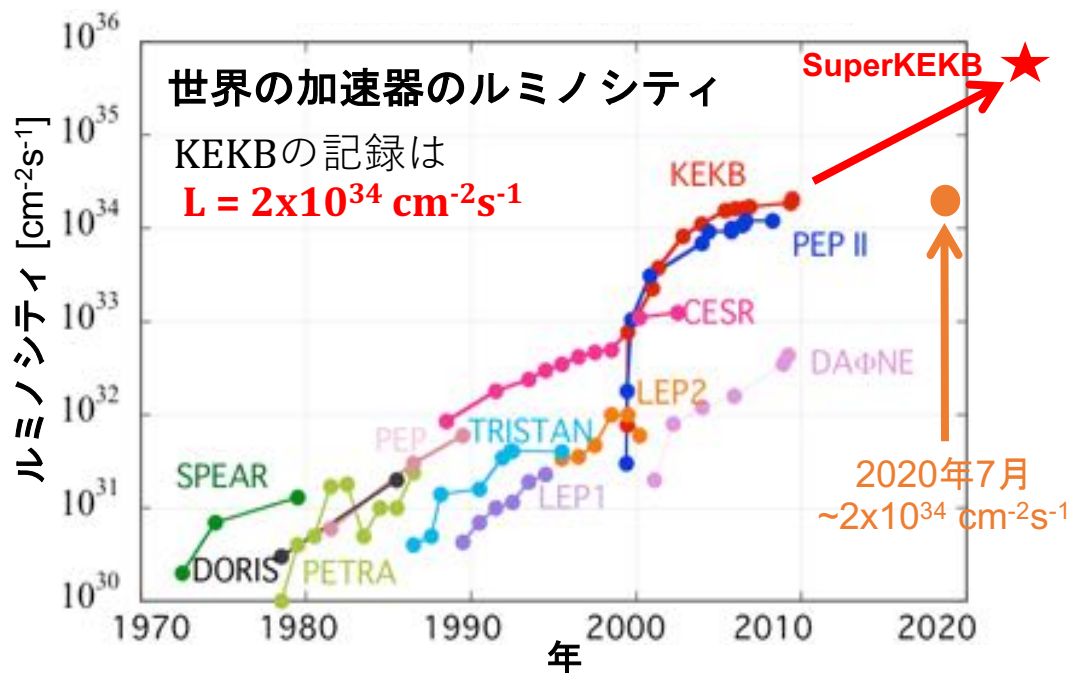
最終収束超伝導電磁石 (QCS)

「運転電流を2倍に**大電流化**」、
「衝突点でビームを1/20に**小サイズ化**」
の2つの改良により40倍のルミノシティを実現する

2019年3月より衝突実験を開始。
加速器の調整を進めつつ、衝突実験のデータを蓄積している。



SuperKEKB概略



放射光源加速器

放射光源加速器とは

放射光源加速器はプローブとしての放射光を生成し、材料科学や医療などの発展を通じて直接社会を支える加速器である。

世界への理解を深める

人類社会を直接支える

素粒子実験

材料や生体試料の
構造解析

高エネルギー加速器
(SuperKEKB, LHCなど)

放射光やミュオン, 中性子など
プローブを生成する加速器
(Photon Factory, J-PARCなど)

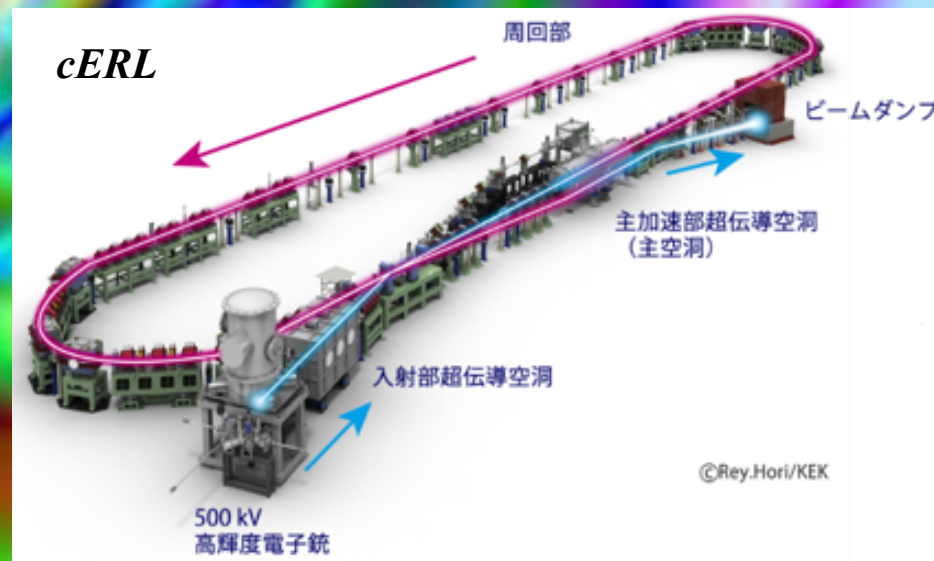
放射光源加速器

加速器

KEKにはリング型放射光源加速器が2つ (PF, PF-AR),
線形型放射光源加速器が1つある (cERL)。

どんな研究ができるのか, 放射光源加速器の分野としての将来見通しはどうか, など, 様々な質問にお答え致します。

問い合わせ先: 東 直 (nao.higashi@kek.jp)

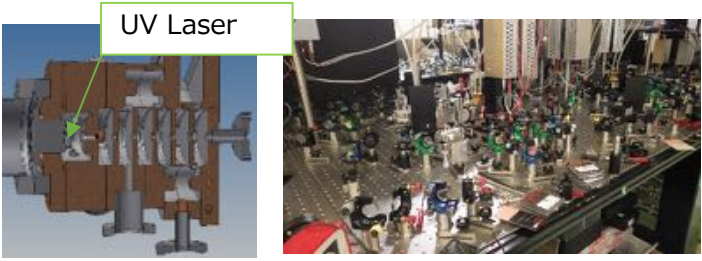


電子陽電子線形加速器 (KEK e+/e- Linac)

KEK電子陽電子入射器は電子、陽電子のビームを生成し、直線的に加速して、異なる5つの蓄積リングへ入射します。SuperKEKB計画に向けて性能向上を続けており、世界的に類のない大電流低エミッタンスの電子ビームの生成に挑んでいます。

大電流・低エミッタンス#1電子ビーム生成

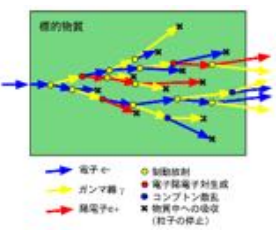
金属カソードにハイパワーの紫外レーザーを照射し、光電効果により大量の電子を引き出し、加速空洞の強い電場でいっきに光速近くまで加速



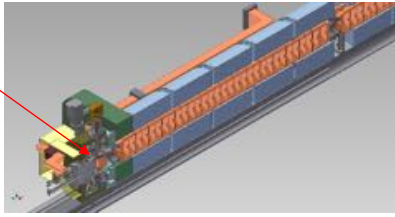
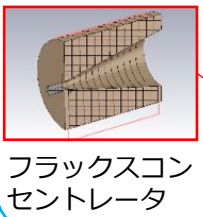
- 電子銃（空洞）開発
- ハイパワーUVレーザー開発
 - ・レーザーの時間方向、空間方向の構造制御
 - ・ハイパワー、高安定化

#1) エミッタンス：粒子の集団の運動の秩序、そろい方を表す量

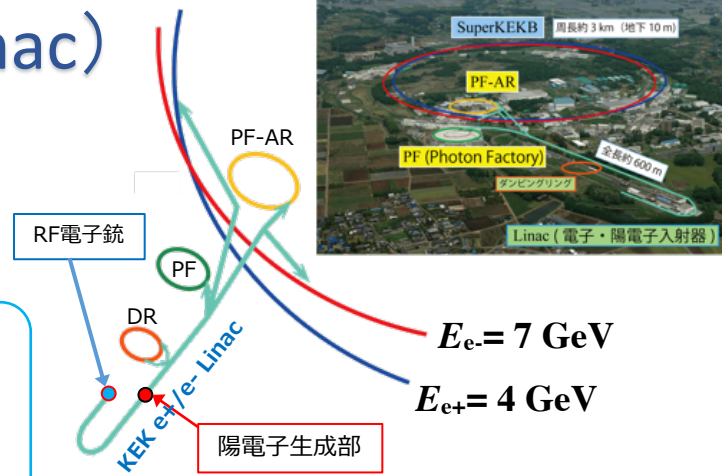
大電流陽電子ビーム生成



陽電子の生成
・3.5 GeV の電子ビームをタンゲステン標的に照射
→ 制動放射、電子・陽電子対生成反応の繰り返し
陽電子の捕獲、陽電子ビーム生成
陽電子のエネルギー、運動方向はバラバラ
→ 強力なソレノイド磁場で捕獲しながら(螺旋運動)加速



高効率の生成、捕獲
・ソレノイドの形状の最適化、機械設計
・効率良く捕獲するための条件の最適化



KEK e+/e- linac：全長約600 m で世界的にトップクラス
電子ビーム：電荷量 最大 4 nC/bunch#2
陽電子ビーム：電荷量 最大 4 nC/bunch

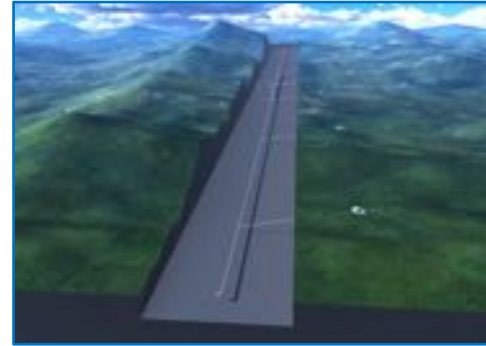
#2) bunch：粒子の一つの塊

ビーム制御、診断

輸送中のビームのエミッタンスの悪化の抑制
・ビーム自身と加速管などの構造物が作る電場によって、ビームが力を受けるなどの物理的要因
→ 高精度なビーム軌道制御
・制御機器（RF Power, 電磁石電流）の不安定性
→ 不安定要因の特定、安定化
膨大なデータから原因を特定
高精度なビーム制御をするためのモニター開発
・高精度ビーム位置実現モニター
・空間方向、時間方向の構造測定
・ビームと干渉しない非破壊モニターの開発

入射器では各グループが横断的に協力し合い研究、開発を進めています。研究の基礎となるのは物理だけでなく、機械的、電氣的設計や計算機など多岐に及びます。

最先端加速器の設計、製作、性能開発にチャレンジしよう。



KEK
東北大
東京理科大
早稲田大
産総研 など

KEKでの超伝導加速空洞の開発



次世代を担う超伝導加速空洞の開発

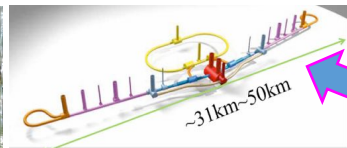
-- 新粒子・新物質探索を可能にする
次世代最先端加速器 --

空洞の表面抵抗を超伝導にすることでほぼ0にすれば空洞内に大きな電場を立てることができる。最終的には、超伝導加速空洞を用いて、**より高加速、より大電流のビームを安定に加速し、前人未到のサイエンス**に向けて、さらに小型汎用加速器などへ応用が可能です？

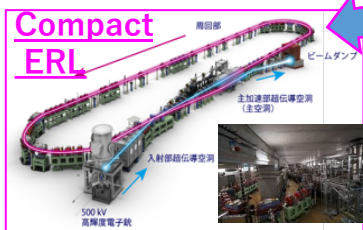
KEKでの超伝導空洞開発拠点

STF
for ILC

ILC (国際リニアコライダー)
(高勾配の次世代加速器)



エネルギー回収型ライナック (大電流ビームの次世代加速器)



高加速・大電流ビーム加速の実現

この中でビームが加速

どういふ次世代
加速器に使う？



1.3 GHzニオブ(Nb)製超伝導空洞

超伝導加速空洞

さらに
将来は？

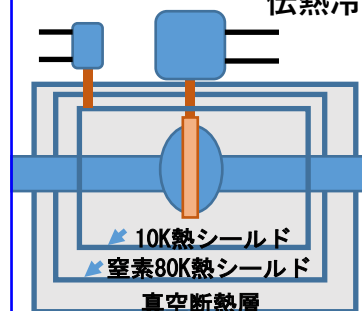
汎用性 (新たな材料で次世代加速器)

伝熱冷却による超伝導空洞

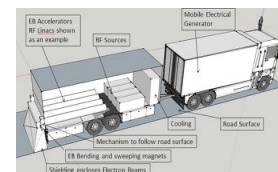
4. 2K小型冷凍機

Nb₃Snなどの
新たな材料での
小型加速器

総研大学生
が開発中。



車載可能な加速器 (アスファルト硬化などに利用可能)
小型化→汎用化での産業応用



我々の施設では超伝導を使ったロスの無い加速器の開発を行っている。

- Nbを用いたSTFでの国際リニアコライダー用の超伝導加速器開発、
- エネルギー回収型加速器という次世代加速器での産業応用利用実験
- Nb以外の材料(Nb₃Snなど)を用いた新たな汎用的小型加速器の開発

我々が培ってきた超伝導加速空洞加速器(技術)が次世代加速器として世界中で活躍します。

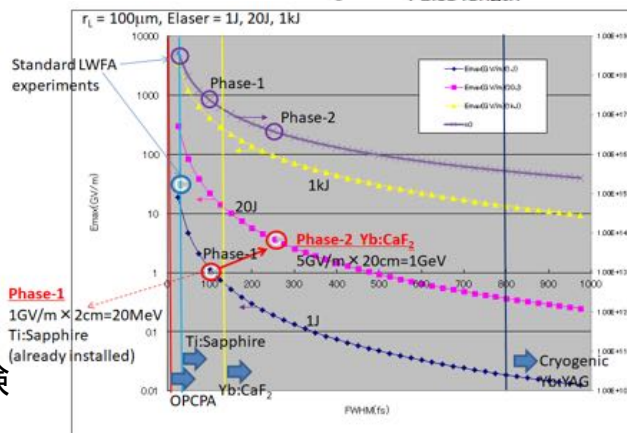
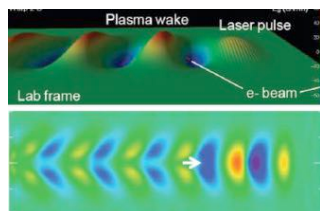
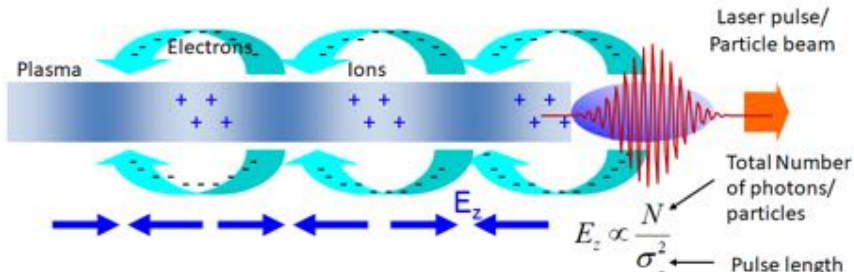
「レーザーを利用した加速器の高度化/新しい加速技術」

▶ **高強度レーザーの加速器における応用**
粒子ビーム源、ビーム診断

▶ **超高電界加速(レーザー・プラズマ/THz加速)**
超高強度レーザー場による高エネルギー加速器創出
新しい小型放射光源の開発を目指す世界的な動き。

▶ **幅広い科学への応用**
超高エネルギー加速器への挑戦
テーブルトップのビッグサイエンスへの道のり

レーザープラズマ加速 ($\sim 100 \text{ GV/m}$)

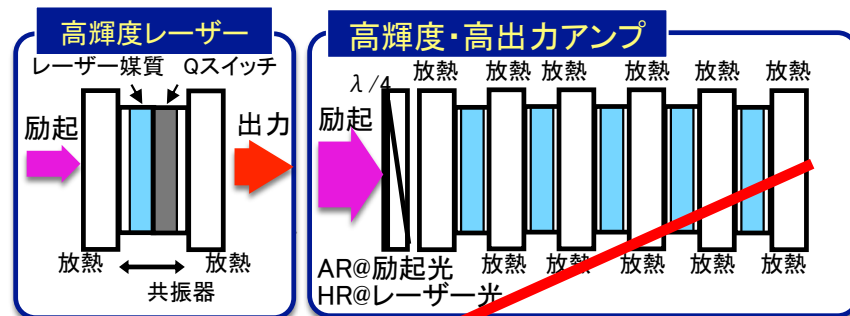


KEKにおいて
アフターバーナー
(追加速)の実証実験

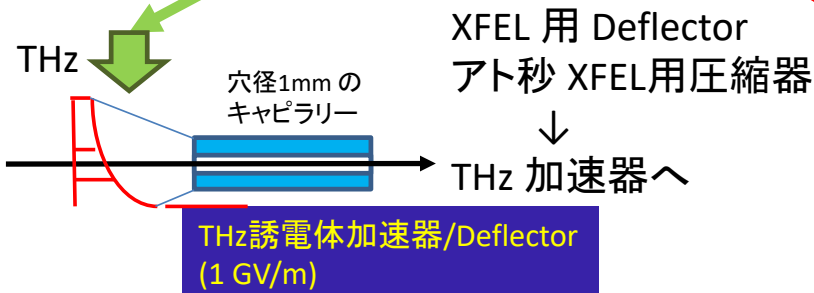
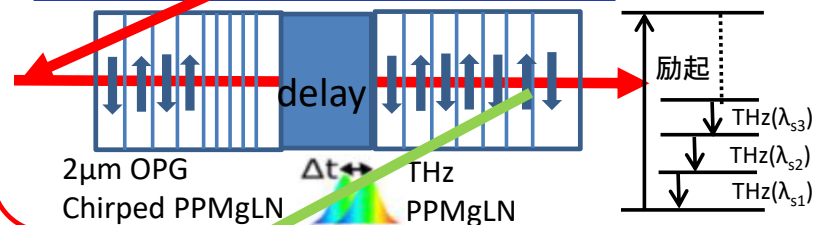
THz加速 ($\sim 1 \text{ GV/m}$)

安定な真空中での追加速が可能

KEKにおいてレーザー駆動とビーム駆動の
双方の実証試験を行っています



PPMgLNを用いた多波長励起光発生
(マンリー・ロー限界以上の変換効率)





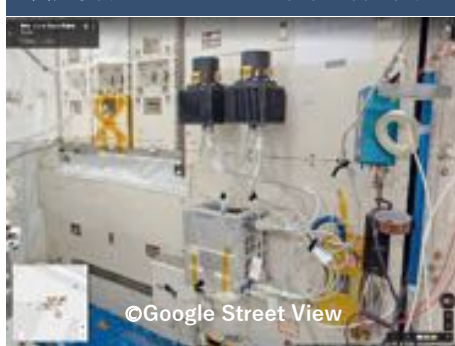
- 先端加速器を支える共通基盤技術の研究開発 -

放射線物理グループ

放射線と物質の相互作用とその検出・応用に関する実験的研究

放射線と物質の相互作用には電離・蛍光・核反応など多様なものがあります。これらの相互作用を表す基礎データの取得を目的に、検出器の開発を行い測定をしています。放射線検出器はその目的に応じて多様なものが必要とされます。加速器・宇宙などの高エネルギー放射線場において有用な線量測定機器などの基礎開発を行っています。

国際宇宙ステーション用空間線量計の開発



2016.12.9 国際宇宙ステーションへ打ち上げ
2016.12.28～2018.4.2 軌道上試験

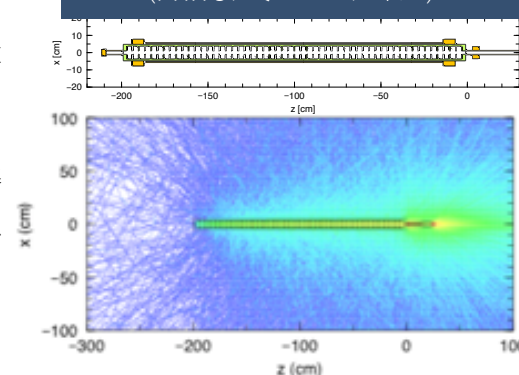
放射線遮へいグループ

高エネルギー加速器遮蔽、物質中での放射線挙動に関する実験的研究や理論的研究

KEK, スタンフォード大学線型加速器センター, ミシガン大学で共同で開発した電磁カスケードモンテカルロ計算コードEGSの改良や、EGSを使用した様々な研究を行っています。

また、放射線防護に関わる基礎データの測定や、あらゆる放射線をマクロ体系で計算できる汎用モンテカルロコードPHITSの開発やそれを利用した研究を行っています。

加速管暗電流による2次放射線
(PHITSシミュレーション)



放射化学グループ

「加速器」と「放射化」をキーワードに、加速器本体、周辺設備、空気、水にかかわる諸課題に取り組む

加速器施設の電磁石、コンクリート壁床、冷却水などの加速器に関連したあらゆるものの放射化に関する研究を行っています。

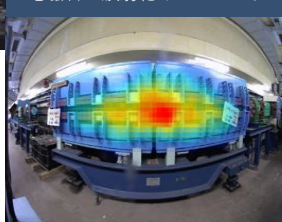
加速器施設の放射化調査



放射化を直接計測したり、放射化の原因となる加速器運転中に生じる中性子を計測したりして、放射化の研究を行います。

放射線被ばくの防止や安全な施設廃止に役立ちます。

電磁石の放射化イメージング



環境計測グループ

化学的な側面から、加速器の開発と安定運用のための基盤技術进行研究

加速器施設の冷却水中における金属材料の腐食、放射性核種が存在状態、化学挙動について研究しています。放射線照射が水中での金属の腐食やコロイド生成に与える影響、コロイドへの放射性核種の取り込み機構について照射実験などを行い、研究を進めています。

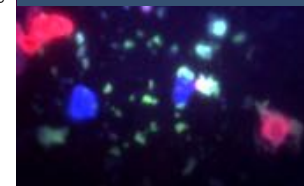
ニオブ製超伝導加速空洞



超伝導高周波加速空洞の研磨には、硫酸とフッ化水素酸の混酸を用いた電解研磨法が用いられています。最適な研磨条件の確立のため、化学分析や分光学的な手法を用いて、電解液の組成の変化を評価しています。

更に、新しい表面分析装置を開発し、電解研磨の反応機構の研究、表面異物の分析、洗浄方法等の開発を行っています。

ニオブ金属表面異物のラマンイメージング



超伝導・極低温を中核とする先進超伝導磁石技術は、最先端科学を切り拓く原動力になっています。超伝導低温工学センターでは、このような**先進テクノロジー研究**に意欲のある大学院生を募集します。

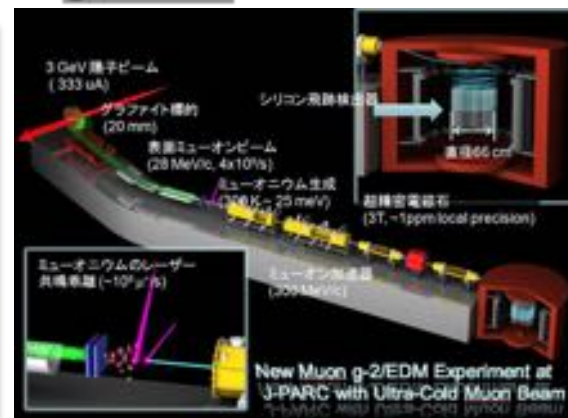
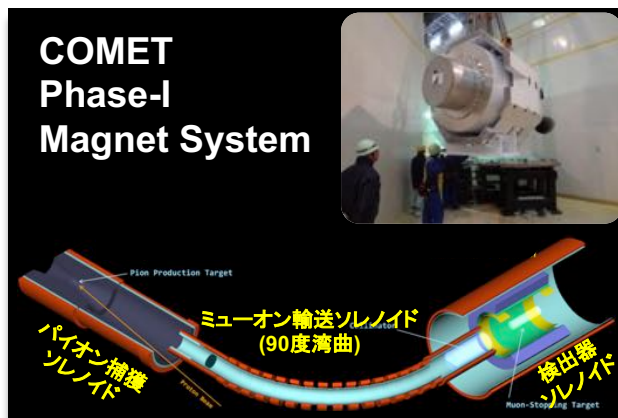
担当教員：荻津・中本・佐々木・菅野・飯尾・鈴木

現在、超伝導低温工学センターが研究開発に参加している主なプロジェクト

CERN-LHC加速器高輝度化 アップグレード用超伝導磁石 (HiLumi-LHC)

μ -e転換過程探索実験用超伝導 ソレノイドビームライン(COMET)

ミュオン精密測定実験用 超高磁場均一度超伝導磁石 (g-2/EDM)



CERNとの国際研究協力のもと、**大口徑ビーム分離双極超伝導磁石**の開発を進めています。

高放射線環境下で動作するアルミ安定化超伝導線材を用いた**間接冷却型超伝導ソレノイド磁石システム**です。

目標磁場均一度1 ppm以下のミュオン蓄積超伝導ソレノイド磁石です。

計算科学センターで行われている研究活動

KEKの実験を支える計算機

高エネルギー物理学実験を支える3つのキーテクノロジー



Belle II実験やJ-Parc実験などでは年間100PBを超える実験データを生成すると予測しています。実験データを安全に保存し、高速にアクセスできる大規模ストレージが必要となります。膨大な実験データを解析したり、検出器・物理シミュレーションを実行するための大型計算機も必要です。Belle IIなどの大型実験では一つの研究所の計算機資源だけでは不十分です。世界各地の研究所の計算サーバと接続した広域分散処理システムを利用して研究を進めています。

計算科学センターでは、広域分散処理システムのソフトウェアや素粒子実験用途の放射線シミュレータの研究開発を行っています。また、並列計算機技術を使ったシミュレーションの高速化、スパコンを利用した格子QCDなどの理論計算の研究も進めています。



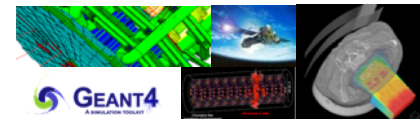
グリッド・コンピューティング技術の応用研究

- 大型実験では1サイトの計算機資源だけでは不十分
- 世界各地の研究所の計算サーバと接続し、国際協力による広域分散処理システムを構築
- グリッド計算インフラの高信頼・高効率利用ソフトウェアの研究開発



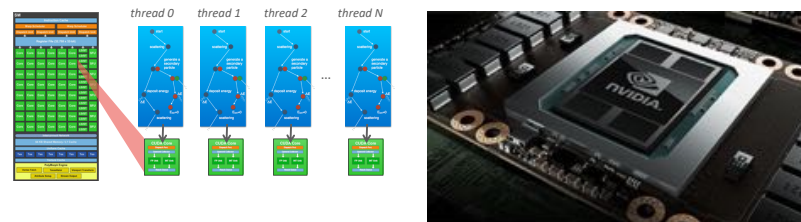
放射線シミュレータGeant4の開発と学際分野への応用研究

- KEK, CERNなどが中心となり、国際協力のもと開発が行われています
- 素粒子実験における検出器・物理シミュレーションで利用
- 他分野（特に医学・生物学分野）への技術移転



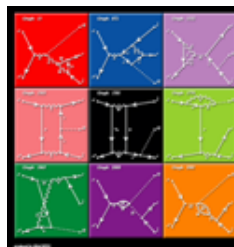
GPGPUによる放射線シミュレーションの高速化

- GPUを利用したシミュレーションの高速化に取り組んでいます
 - GPUで数十万以上の粒子の並列処理が可能
 - CPUを使ったシミュレーションと比較して数百倍以上の高速化を実現
 - 検出器・物理シミュレーションの高速化やモンテカルロ法による放射線治療計画装置への応用などが期待されます



スーパーコンピュータを利用した大型シミュレーション研究

GRACE:
散乱断面積の自動計算ソフトウェアシステムの開発



スパコンを利用した素粒子・原子核・宇宙物理学分野における大規模実験と関連するシミュレーション研究を進めています

最先端の加速器科学に機械工学の立場から挑戦しよう 最先端の研究成果は、最先端の実験装置から

超伝導加速空洞製造技術開発研究

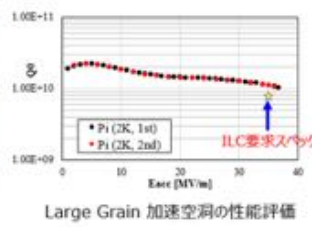
ILCに向けた開発研究



低コストLGニオブによる超伝導加速空洞の開発



Large Grain (LG)材
φ260mm



Large Grain 加速空洞の性能評価



液圧成型によるシームレス空洞

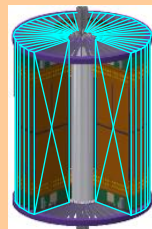
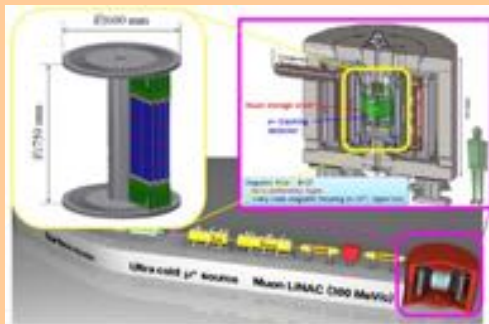


極低温引張試験機の
開発

加速器研究施設の応用超伝導加速器センターと協力して、国際リニアコライダー（ILC）に向けた空洞製造技術に関する様々な開発研究を行っています。

担当：山中将（masashi.yamanaka@kek.jp）

精密計測/組立技術



ファイバ導入型の絶対測長干渉計を用いた測長網（左）
基準干渉計を用いた光周波数コムパルス間隔校正（右）

素粒子原子核研究所のミュオン精密測定研究グループと協力して、g-2/EDM実験用陽電子飛跡検出器のアライメントモニターの開発を行っています。また、シリコン飛跡検出器の精密位置決め組立装置の開発も行っています。

担当：久米達也（tatsuya.kume@kek.jp）

ロボティクス

タンパク質結晶交換ロボットの開発・高度化

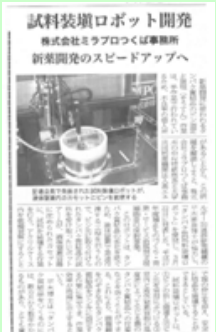


Heチャンバーに対応した
試料交換システムの開発

RFIDタグを用いた試料の識別



DXAFS実験用
試料交換システムの開発



企業との共同研究により 試料装填ロボットを開発

物質構造科学研究所と協力して、放射光実験施設における実験の効率化・自動化を目指してロボットを用いた実験装置の開発を行っています。また、加速器研究施設と協力して、加速空洞の組立の自動化にも取り組んでいます。

担当：平木雅彦
（masahiko.hiraki@kek.jp）