

©Rey. Hori/KEK



cERLでの加速器技術開発

エネルギー回収型線形加速器 (Energy Recovery Linac : ERL) は大強度かつ高品質の電子ビーム生成を目指した加速器です。コンパクト ERL (compact ERL : cERL) は、大型次世代放射光計画のために建設された、一周およそ 120 m の試験加速器です。2017 年からは産業応用利用を念頭に置いた研究開発を進めています。大強度ビーム加速に欠かせない超伝導加速空洞や高輝度電子銃などのハードウェアの開発の他、自由電子レーザー (Free Electron Laser : FEL) やビームダイナミクスなどの研究を行っています。

これまでのあゆみ

- 2009 年：建設開始
- 2013 年：ビーム運転開始
- 2014 年：エネルギー回収成功
- 2016 年：平均電流 1mA 運転に成功
- 2017 年：産業応用利用研究開始
- 2019 年：照射ビームライン建設
- 2020 年：FEL 用アンジュレータ設置
- 2021 年：赤外領域の FEL 光観測



compact ERL

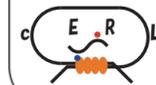
大電流・高密度電子ビームと高出力レーザーを目指す次世代型加速器

 **KEK** 大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1 高エネルギー加速器研究機構

 **iCASA** Innovation
Center for
Applied
Superconducting
Accelerators
応用超伝導加速器イノベーションセンター

check out! compact ERL 公式ホームページ

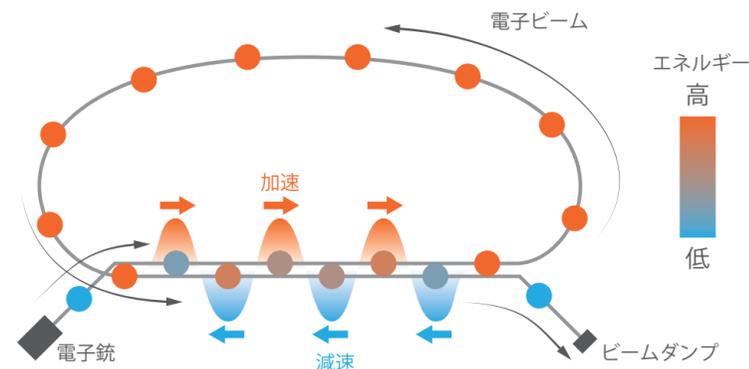
 <https://www2.kek.jp/casa/cERL/ja/index.html> (JP)
<https://www2.kek.jp/casa/cERL/en/index.html> (EN)



JP

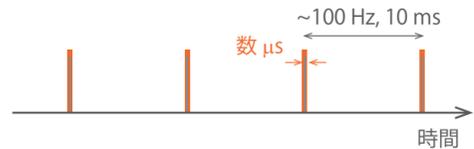
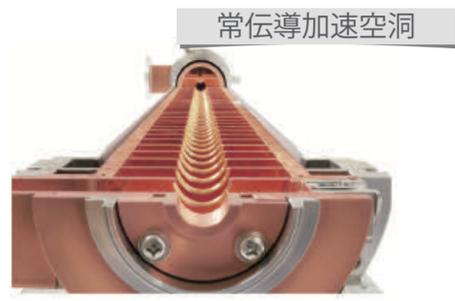
EN

エネルギー回収型線形加速器の原理



エネルギー回収型線形加速器 (ERL) は、実験に使用した電子ビームからエネルギーを回収することができる加速器です。電子銃で生成した電子ビームは加速空洞で加速され、種々の実験に利用されたのち、加速空洞に戻ります。加速空洞にエネルギーが回収されて減速した電子ビームは、ビームダンプに送られ廃棄されます。回収したエネルギーは次の新しい電子ビームを加速するために使用され、常に高品質で高い平均電流の電子ビームが実験に供給されます。エネルギーを再利用するため、地球環境にも優しい次世代加速器です。

超伝導加速器と大電流運転

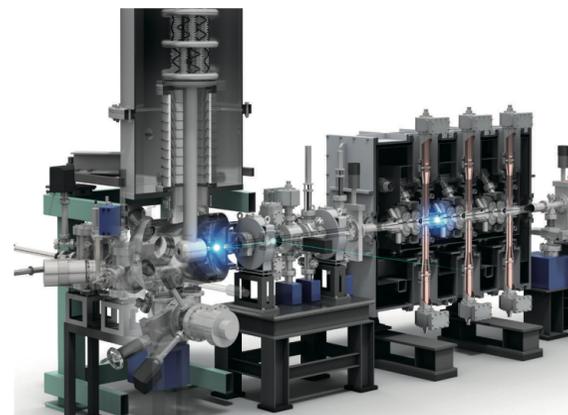


電子ビームは加速空洞に貯められた高周波で加速されます。常伝導加速空洞に比べて、超伝導加速空洞は高周波による空洞の発熱が無視できるほど小さいため、高周波を長時間貯めることができます。供給電力から電子ビーム加速への変換効率が高く、常伝導加速空洞に比べて10万倍以上の高い繰り返しの大強度のビーム電流で運転でき、次世代加速器の有力候補となっています。cERLでは連続運転が可能な超伝導加速空洞を利用して大電流運転を目指しています。KEKB加速器や国際リニアコライダー計画など多くの国内外のプロジェクトとの協力関係の下で、研究開発や運転を行っています。

cERLを支える主要技術

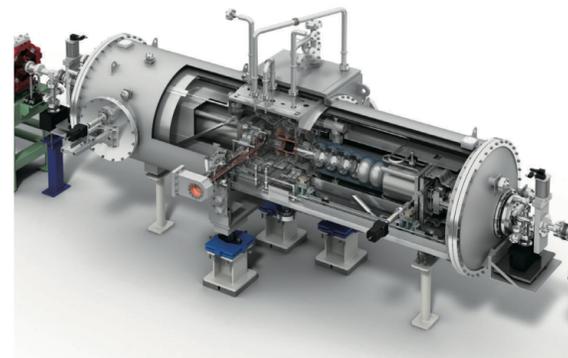
高輝度電子銃

パルスレーザーを光陰極 (カソード) に照射して電子ビームを生成しています。品質の高い電子ビームを取り出すために、半導体カソードを用いており、直流 (DC) で500 kVの高電圧が印加されています。高い量子効率のために、 10^{-10} Paレベルの極高真空度を維持しています。これまでに1 mAという大電流の取り出しに成功しており、将来的には更なる大電流化を目指しています。



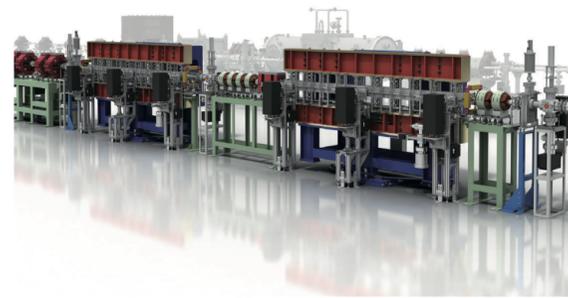
超伝導加速空洞

超伝導加速空洞はエネルギー回収を行う心臓部です。超伝導体のニオブ金属 (Nb) で製作された加速空洞は、絶対温度2 K (摂氏-271度) の液体ヘリウムで冷却されて超伝導状態となり、発熱が極めて少ない状態で運転できます。高い加速勾配で運転するには、加速空洞の内面を数μmの精度で滑らかにする必要があります。そのため表面処理や異物混入のないクリーン技術などの研究開発を行っています。cERLのビーム運転では、高効率のエネルギー回収を実現しています。



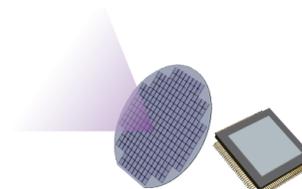
アンジュレータ・自由電子レーザー (FEL)

アンジュレータは、周期的に磁極の向きを変えて並べた磁石を精密に動かす装置です。磁石の列は周期磁場を作り、磁場に入った電子は干渉効果によって単色の強い光を出します。光とともに磁場中を進むにつれて電子ビームには周期的な密度構造が作られ、自由電子レーザー (FEL) というレーザー光が生まれます。cERLでは光共振器を使わない自己増幅 (SASE) 方式でFELを生成します。磁石列の位置を変えることでレーザー波長を調整します。



cERLが拓く応用研究

ERL技術による大強度光源開発



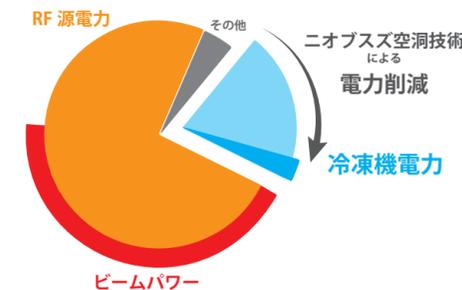
・次世代半導体製造のためのEUV-FEL光源の開発
ERL型のFEL技術を応用して、極端紫外領域 (EUV) の光を高強度で効率的に発生できます。次世代の半導体技術で用いられるEUVリソグラフィーによる微細加工技術への応用を目指しています。

・テラヘルツ光源の開発

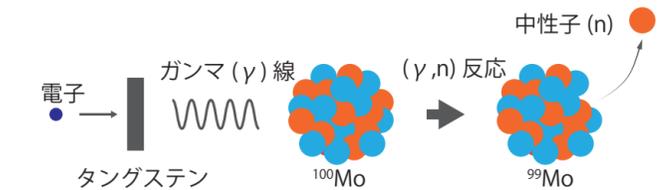
電波と光の中間の周波数領域の電磁波はテラヘルツ光と呼ばれ、特徴的な性質を持ちます。短バッチの電子ビームを用いて、コヒーレント放射によるテラヘルツ光の発生と応用を目指して研究を行っています。

次世代の超伝導加速空洞開発

液体ヘリウムを用いて超伝導加速空洞を直接冷却するには大型の冷凍設備が必要となります。そのシステムの小型化および低電力化は産業応用利用にとって不可欠です。近年、開発が進むニオブスズ化合物 (Nb₃Sn) による超伝導加速空洞は、超伝導転移温度が高く、伝導冷却方式の冷凍機を用いることができるため、小型化かつ低電力化が可能になります。



大電流電子照射施設



・核医学用検査薬製造
核医学用検査薬^{99m}Tcは、海外の原子炉で製造された放射線同位体⁹⁹Moを輸入して生成されています。国内での安定供給のために、電子加速器による⁹⁹Mo製造の試験を行っています。

・木材からのナノセルロースの製造

木材から製造されるナノセルロース繊維は、軽くて丈夫な機能性材料としての応用が期待されています。電子ビームを用いて製造効率を向上させる研究を進めています。

・アスファルトの長寿命化

道路の舗装に用いられるアスファルトは、劣化と保守費が大きな社会的課題になっています。電子ビームの照射によって、アスファルトを改質する研究を行っています。

