

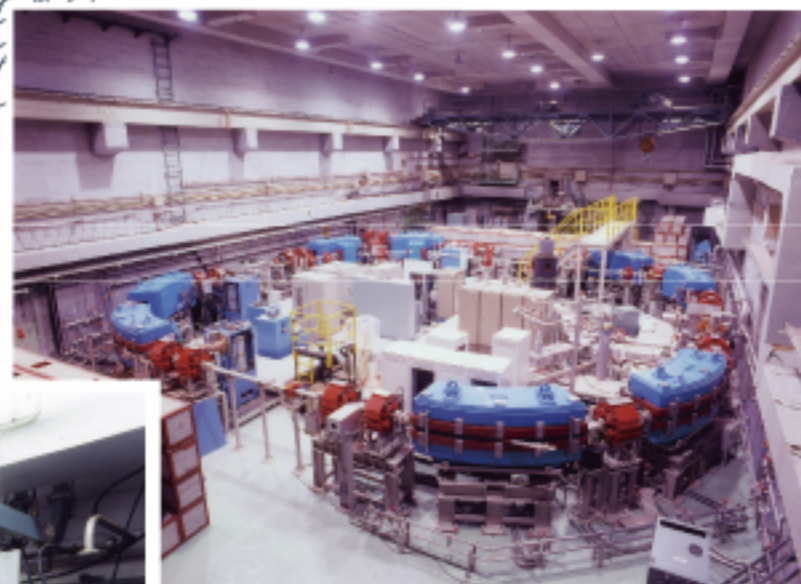


東北大学

東北大学

電子光理学研究センター

Research Center
for Electron Photon Science
Tohoku University



加速器で見る

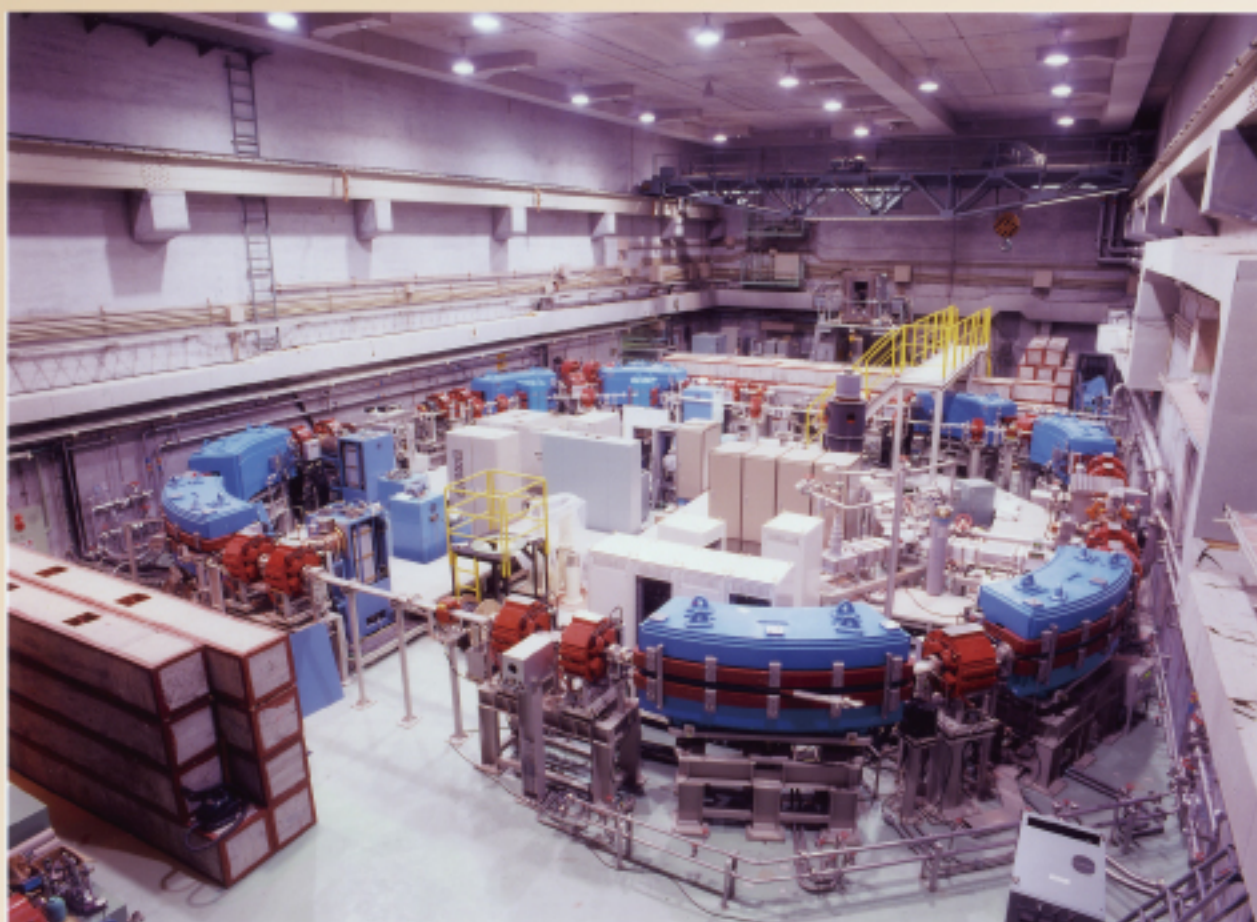
原子核物理学の世界

電子加速器

わたしたちは物質の細かい構造を見るとき、虫眼鏡や顕微鏡を使います。光学顕微鏡で見ることができる対象は可視光線の波長程度（数百ナノメートル～ 10^{-7}m ）までで、それよりずっと小さい原子の世界を光学顕微鏡でとらえることはできません。

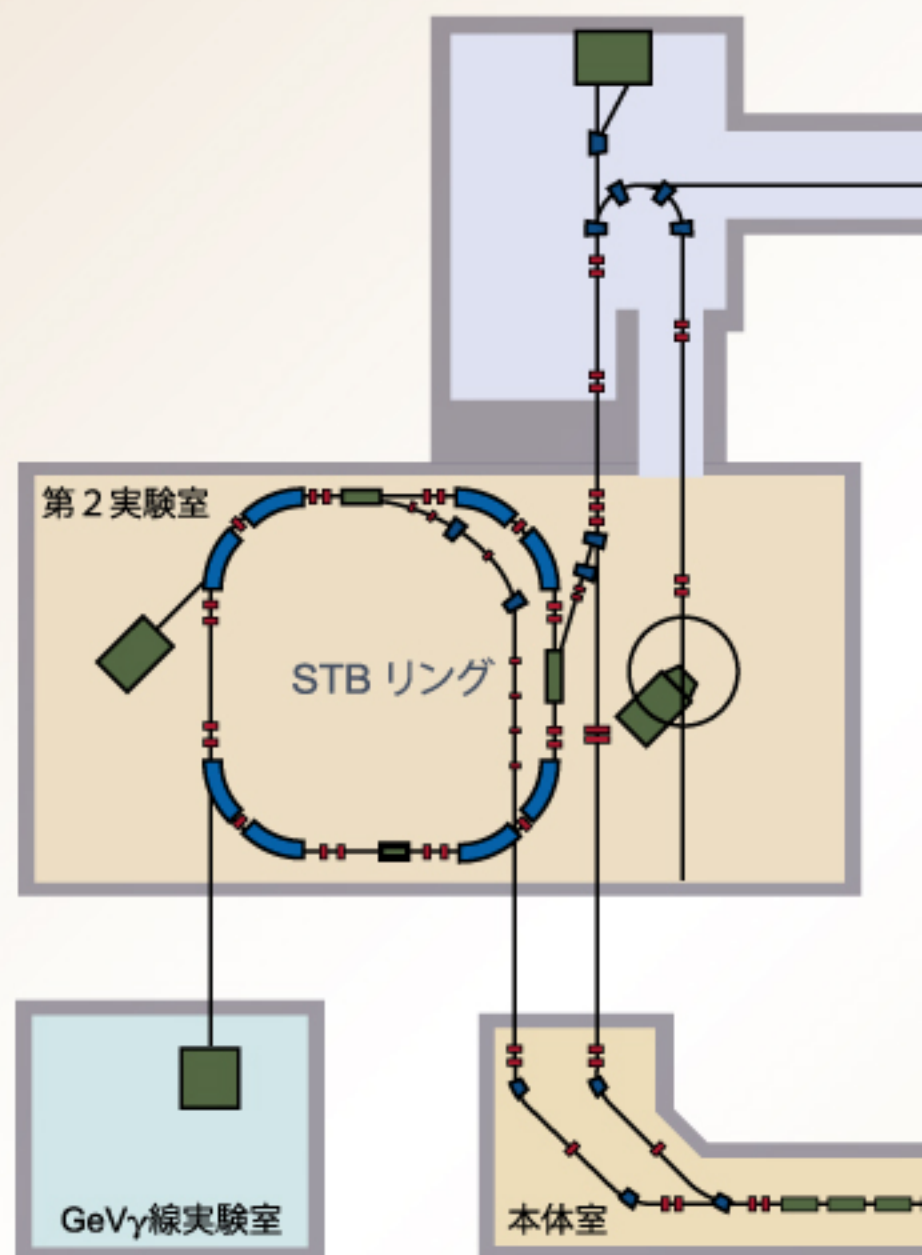
そこで、原子の世界を覗こうとすると、電子顕微鏡などが用いられます。電子顕微鏡に使われる電子線の「波長」は、可視光線の波長よりずっと短く、原子の大きさ程度（ 0.1 ナノメートル～ 10^{-10}m ）です。

さらに小さい原子核の構造を探るためには、電子の「波長」が、原子核の大きさよりも短くなければなりません。電子の「波長」は、その電子のエネルギーが大きいほど短くなります。電子線を用いて原子核の内部を調べるためには GeV（10 億電子ボルト）領域のエネルギーが必要です。このような高いエネルギーの粒子線を作る装置が「電子加速器」です。



STB リング

ストレッチャーリングとしての機能、ブースターシンクロトロンとしての機能の2つの機能を合わせ持つ。最大エネルギー 1.2 GeV まで加速可能。



物質のミクロ構造

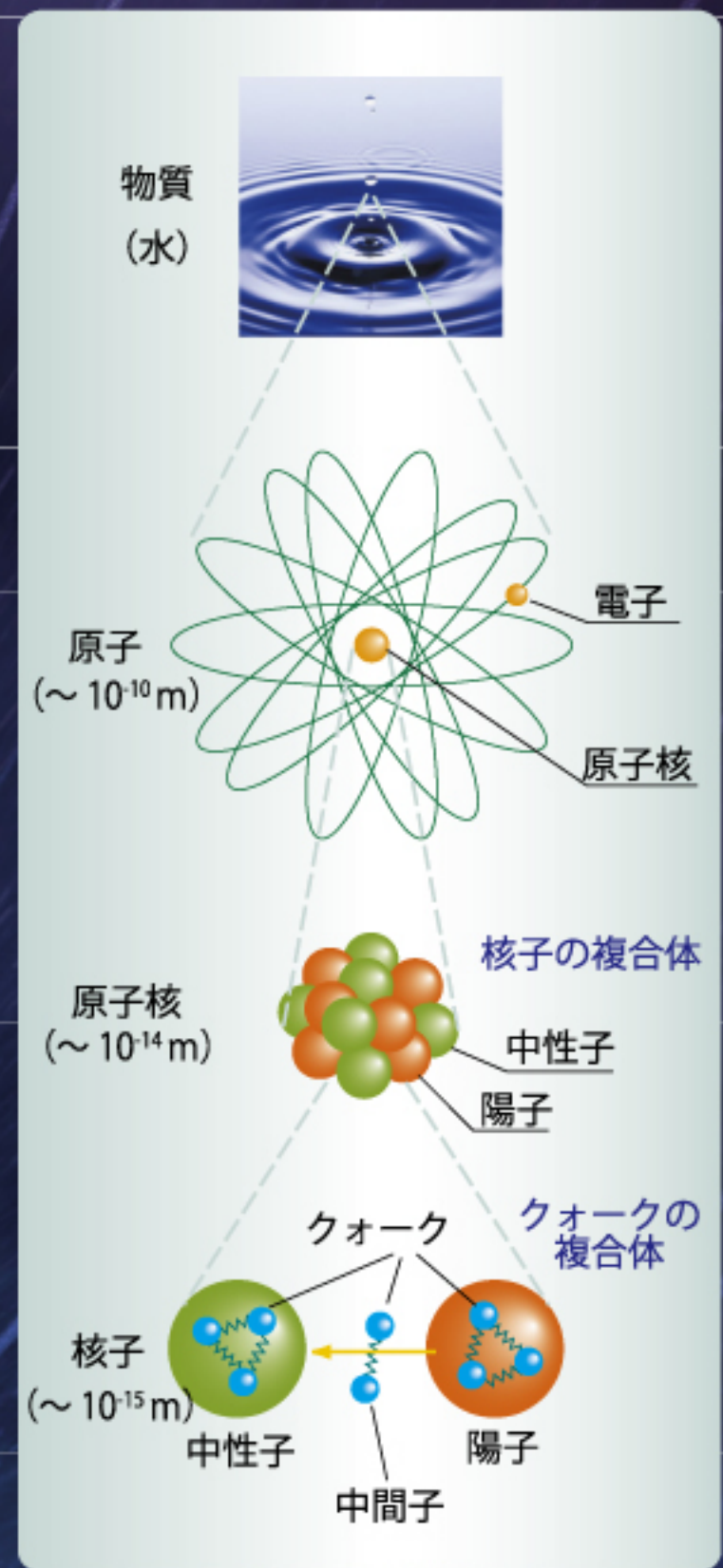
物質の基本である原子は、大きさがおよそ 10^{-10}m の原子核と電子からできています。

原子核は陽子と中性子（総称して核子と呼びます）から構成され、核子同士は重力の 10^{39} 倍も強い「核力」と呼ばれる強力な力で結びついています。

核子間の結び手が中間子です。核子と中間子は総称して「ハドロン」と呼ばれ、その大きさは原子核の10分の1程度です。

ハドロンは、さらに基本構成子「クォーク」からできていて、核子は3個のクォークから構成され、もっと一般的にはバリオンと呼ばれ、中間子はクォークと反クォークで構成され、メソンとも呼ばれます。

電子光理学研究センターでは、電子ライナックと電子シンクロトロン（電子加速器）の二つの加速器を使って最大エネルギー 1.2 GeV の電子線を作り、共同利用の実験者に提供するとともに、原子核内のクォーク・ハドロンから、物質中の原子核に至るまでの広い範囲にわたる「物質の構造と性質」の研究を推進しています。また一方で、最先端の加速器科学の研究を進めています。



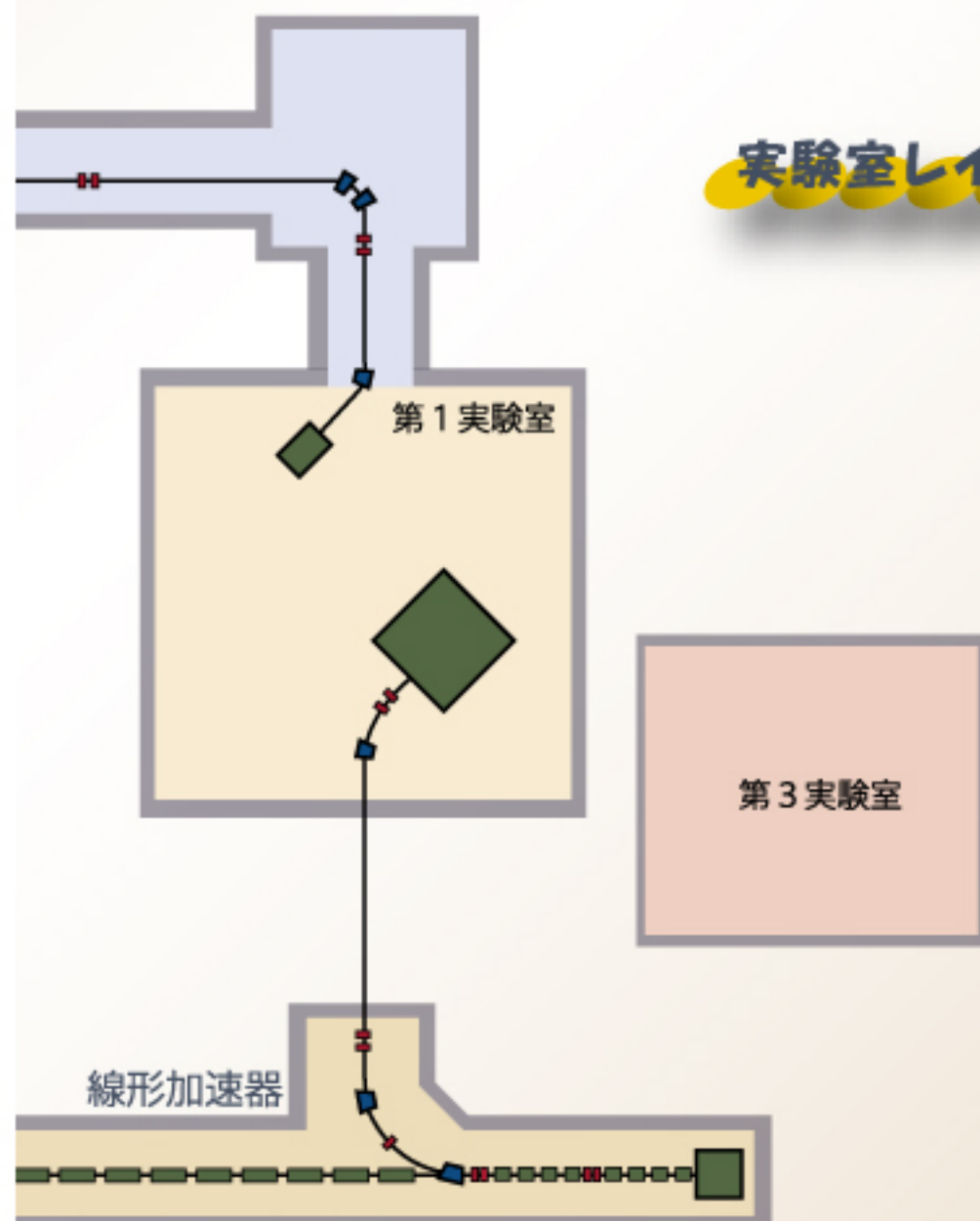
実験室レイアウト

線形加速器 (Linac)

最大エネルギー 300 MeV

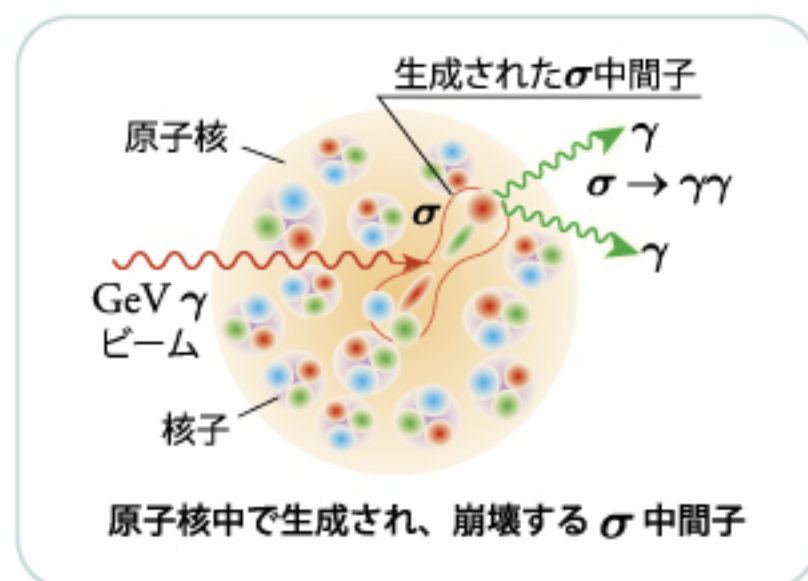
最大繰返し 300 パルス/秒

マクロパルス長 4 μ 秒

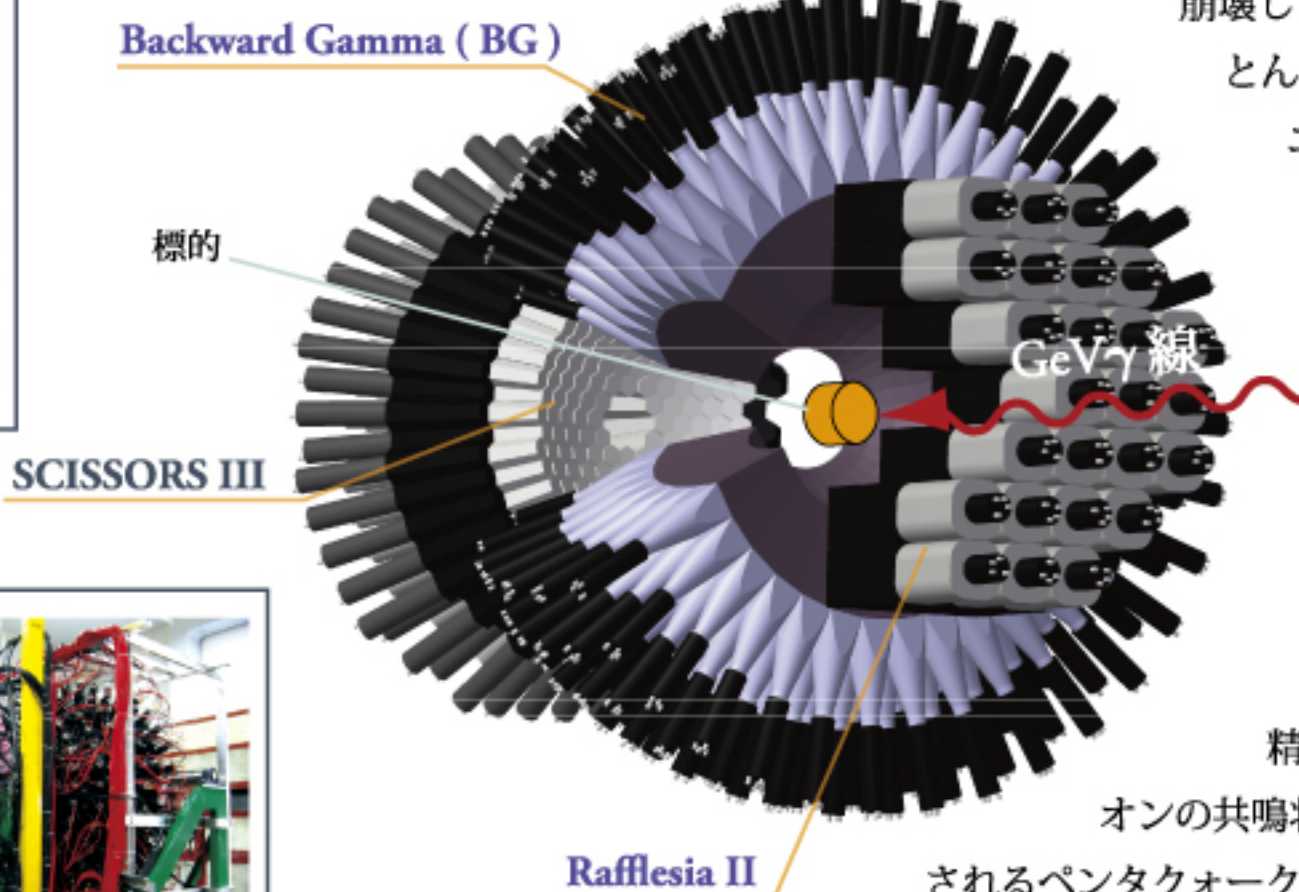
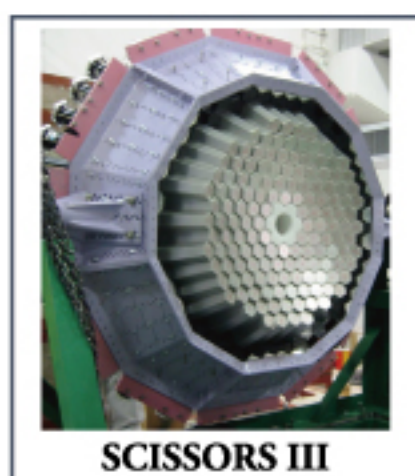


原子核の内部は、1 cm³ 当たり約 1 億トンという超高密度の世界です。これは、誕生後間もない頃の宇宙の密度に匹敵します。このような超高密度の世界では、粒子の性質が変化し、質量が小さくなるなどの現象が起こると考えられています。このことは、原子核の内部で起こる事象を観測できれば、質量の起源が何であるかという根元的な問いに迫ることができるということを意味しています。高エネルギー電子線から作られる GeV γ (ガンマ) 線ビームは、原子核の内部に侵入することができるので、これを用いれば、原子核中にハドロンを生成し、その崩壊を詳しく調べることができます。

GeV ガンマ線によるクォーク・ハドロン研究



多重ガンマ線検出器群 FOREST



電荷を持たない中間子の幾つかは、2つの γ 線に崩壊します。中性パイ中間子(π^0)はそのほとんど全てが2つの γ 線に崩壊し、またエータ中間子(η)やシグマ中間子(σ)も2つの γ 線に崩壊するモードを持っています。私たちは、多重ガンマ線検出器群 FOREST を用いて中性中間子や他の γ 線を同時測定し、これらの事象を解析することによって、クォーク・ハドロン研究を推し進めています。最近ではエータ中間子の精密測定によって、狭い幅をもつバリオンの共鳴状態をとらえ、5つのクォークで構成されるペンタクォークバリオンとの関係を研究しています。

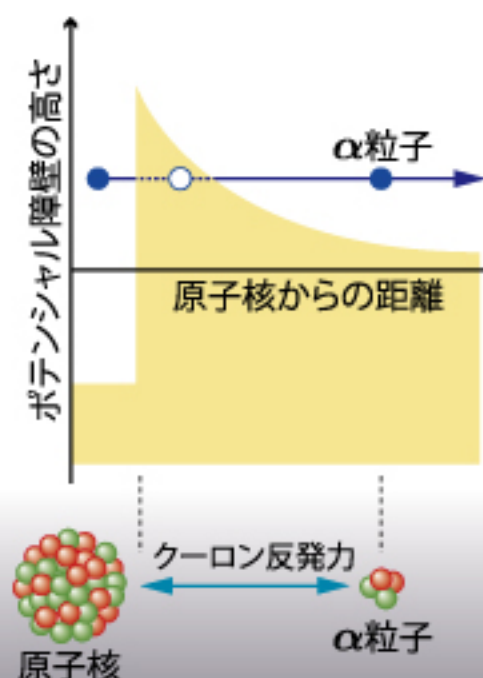
GeV γ 線ビームを標的に入射してバリオンやメソンの新しい状態をつくり、そこから放出される中性パイ中間子やエータ中間子をとらえる装置が FOREST です。中性中間子の崩壊によって生じる γ 線の位置とエネルギーを測定することによって、崩壊前の中間子の質量や運動量を知ることができます。

FOREST は3つの γ 線検出器からなり、CsI クリスタル (SCISSORS III)、鉛シンチレーティングファイバー (BG)、鉛ガラス (Rafflesia II) で構成されています。

FOREST とは、Four-pi Omnidirectional Response Extended Spectrometer Trio の略。

核融合・核崩壊と量子トンネル

超低エネルギーで役割を演じます。反応率や崩壊率を



ミクロの世界では、粒子は自分の運動エネルギーよりも遥かに大きなエネルギー障壁を通り抜けます。原子核の α 崩壊では、 α 粒子はエネルギー障壁(黄色の部分)を波のようになり、通り抜け原子核外に放出されます。

ストレンジネス 生成機構解明の研究

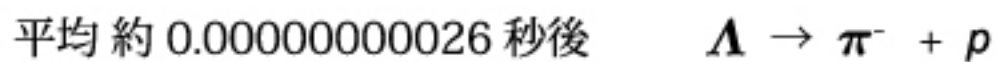
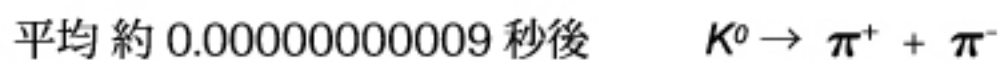
ストレンジネス生成機構解明の為の研究は世界中で行われてきました。多くの実験は測定を行いやすい、光子と陽子の反応から電荷を持ったK中間子を測る、ということを行ってきました。

そこで私たちが注目したのが、きちんと測られていなかった

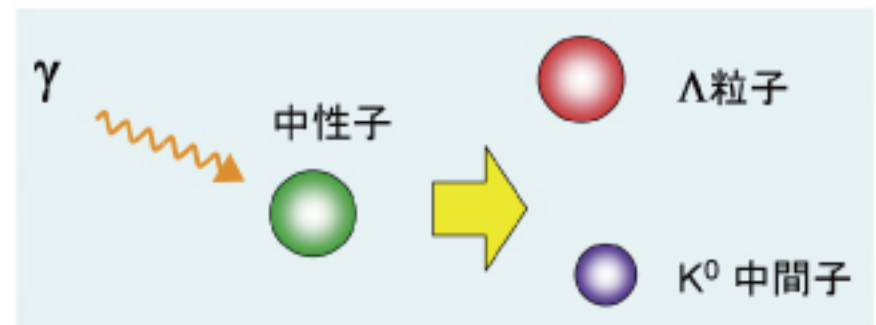


の反応です。これは、反応の前後に電荷を持たないという点

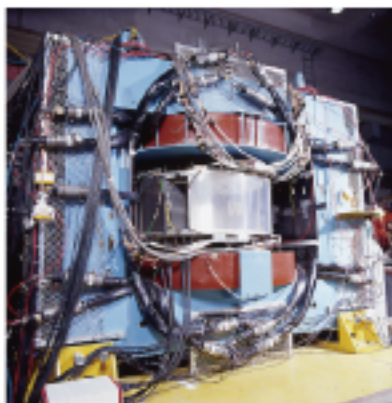
でユニークです。また、生成されたK⁰中間子とΛ粒子は、ごく短い時間で他の粒子に崩壊します。



このことが測定を難しくし、これまで殆ど行われていなかった理由ですが、私たちはその測定の為の専用の検出器を製作・設置・実験しています。



中性 K 中間子測定装置



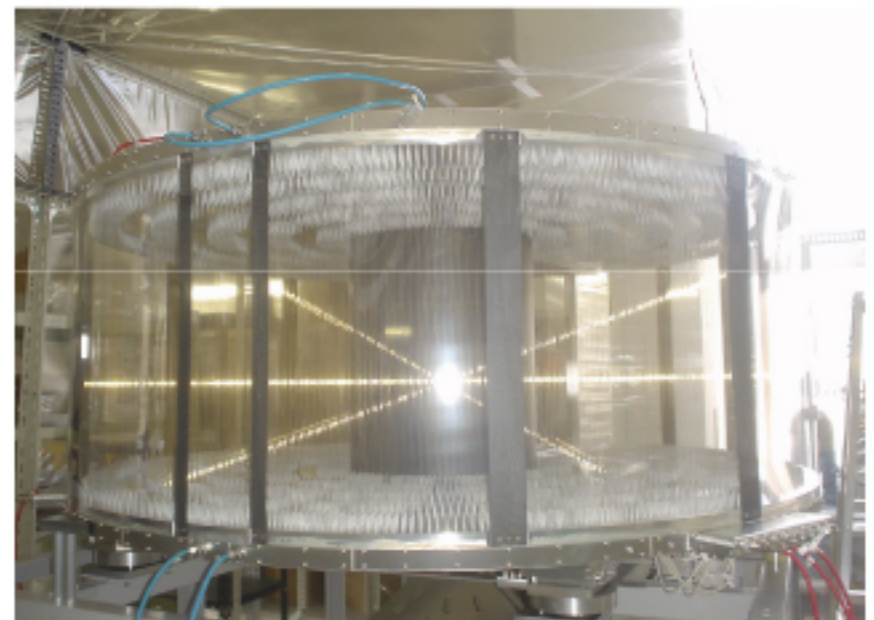
第一世代：上の写真は、私たちが世界で最初にガンマ線と中性子の反応から中性 K 中間子を測定した測定装置です。

アップグレード



第二世代の実験は、測定装置・検出器群を全て作りなおしました。前回の実験に比べてより精度良く、より多くの中性 K 中間子を測定できるように設計しています。

円筒型ドリフト・チェンバー (CDC)



K⁰ から崩壊する正負の電荷を持ったパイ中間子を大立体角で測定するために重要な役割をするのが CDC です。直径 160 cm、高さ 68 cm の円筒形をしています。垂直に張られたワイヤーと、少し傾けて張られた検出用のワイヤーがあり、これにより三次元で粒子の飛跡が検出できます。

での核融合反応や α 崩壊では、量子トンネル効果が大きな原子核の周りの環境がトンネル運動に大きな影響を及ぼし、大きく変える可能性があります。



●大強度ビーム照射装置

1000V 程度の非常に低い電圧で陽子・重陽子を加速し、核融合反応を調べます。金属中では、DD 核融合の反応率が大きく増大することが判明しました。

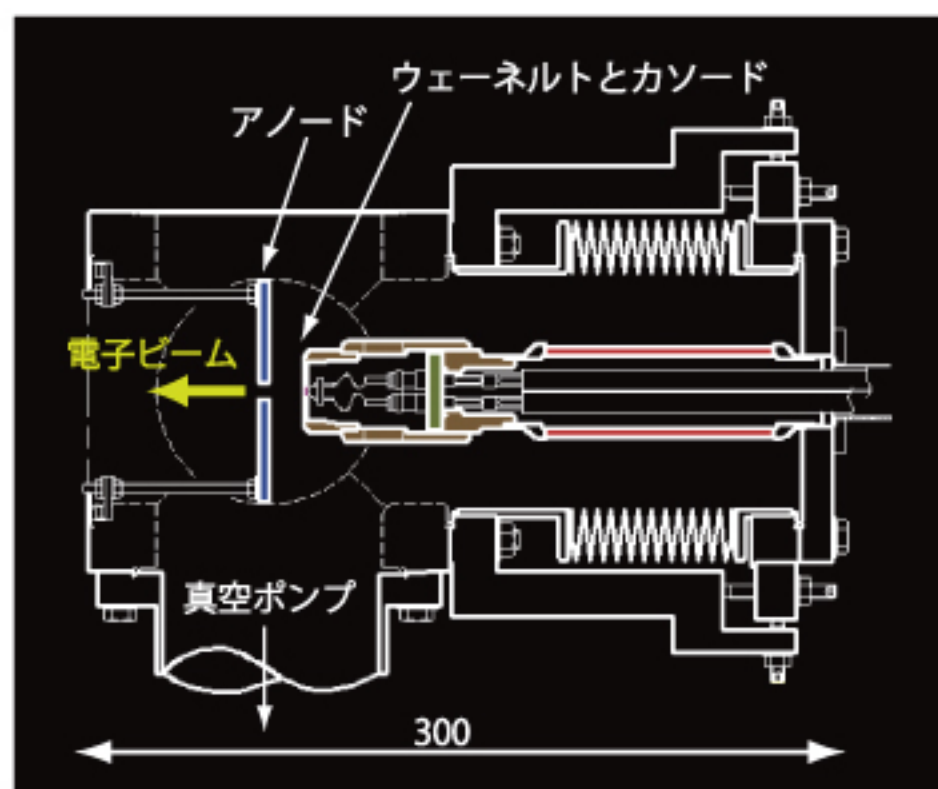
加速器科学 / ビーム物理

- STB リングを用いたビームダイナミクスの研究
- 高輝度・低エミッタンス直流電子銃の開発研究
- コヒーレント・テラヘルツ光源の開発研究

高輝度・低エミッタンス 直流電子銃の開発研究

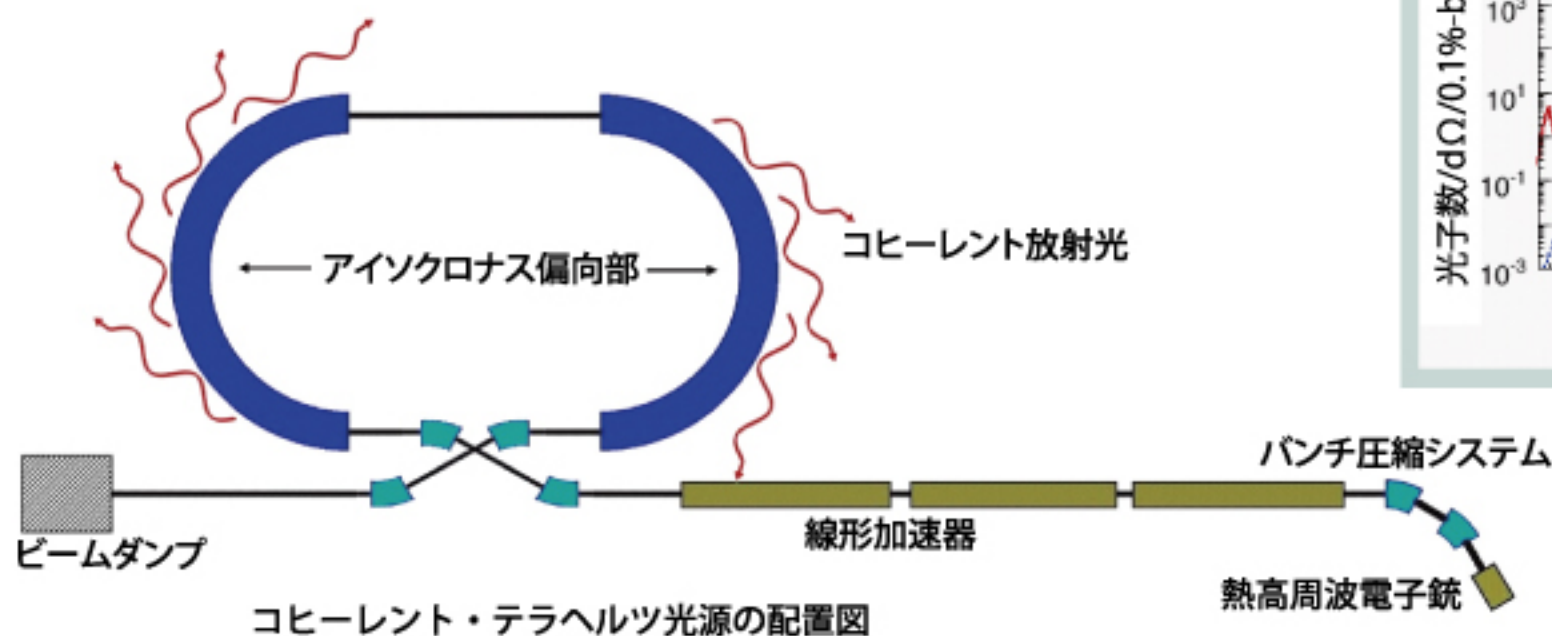
LaB₆ 単結晶をカソードに用いた超低エミッタンスの熱電子銃の開発・研究を進めています。カソードに与える電圧は 50 kV と従来の電子銃に比べて非常に低い電圧であるにもかかわらず、 1π mm mrad という極めて低エミッタンスビームの生成を目指しています。

右上の図は、現在試験運転を実施している熱電子銃の断面です。約 1600 °C に加熱されたカソードからは、最大 600 mA もの電流が取り出されます。

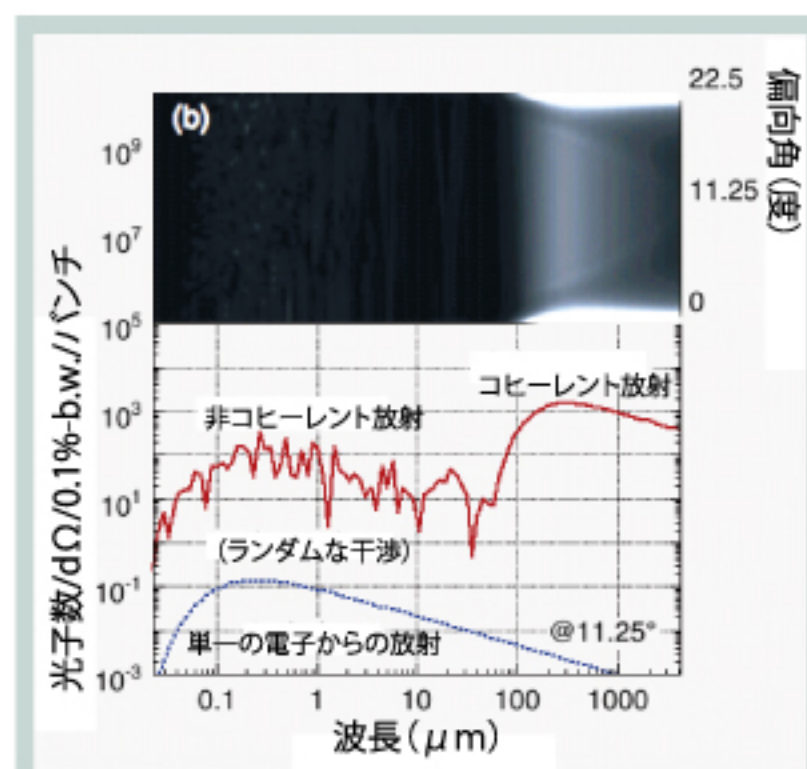


低エミッタンス直流電子銃

コヒーレント・テラヘルツ光源の 開発研究



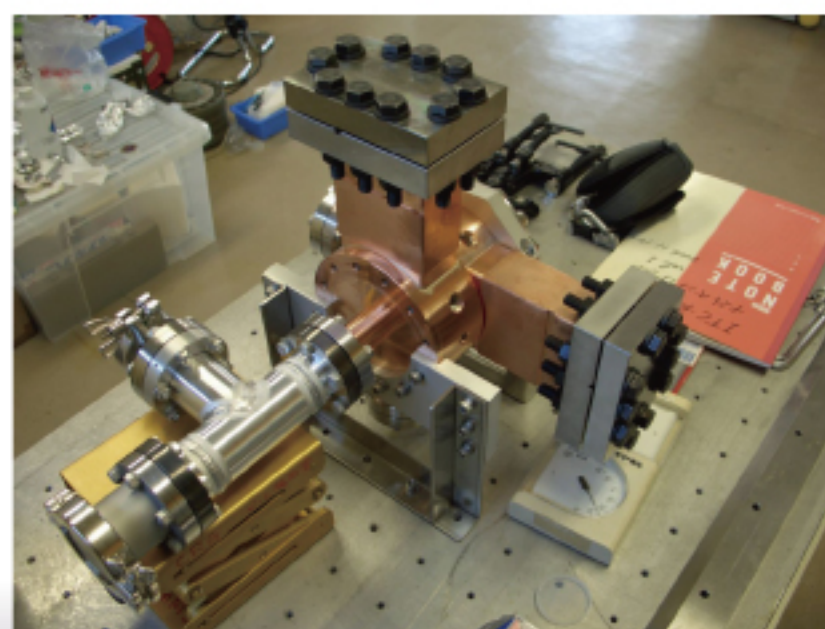
コヒーレント・テラヘルツ光源の配置図



アイソクロナスリングからの放射強度

テラヘルツ光（周波数： $0.3 \sim 10 \times 10^{12}$ ヘルツ）は、電波の透過性と光波の直進性を有する興味深い性質を有しており、人体に悪影響を及ぼす X 線に代わる安全な非破壊検査用などの光源として、近年特に注目されています。

私たちは、高周波電子銃を用いて超短バンチ（約 1×10^{-13} 秒）の電子ビームを生成し、これをほぼ完全なアイソクロナス性を有した円形加速器に打ち込むことで、バンチ長を保存したまま、すべての偏向磁石からコヒーレントテラヘルツ光を得るという世界的にも未だ例のないリング型光源の開発研究を進めています。

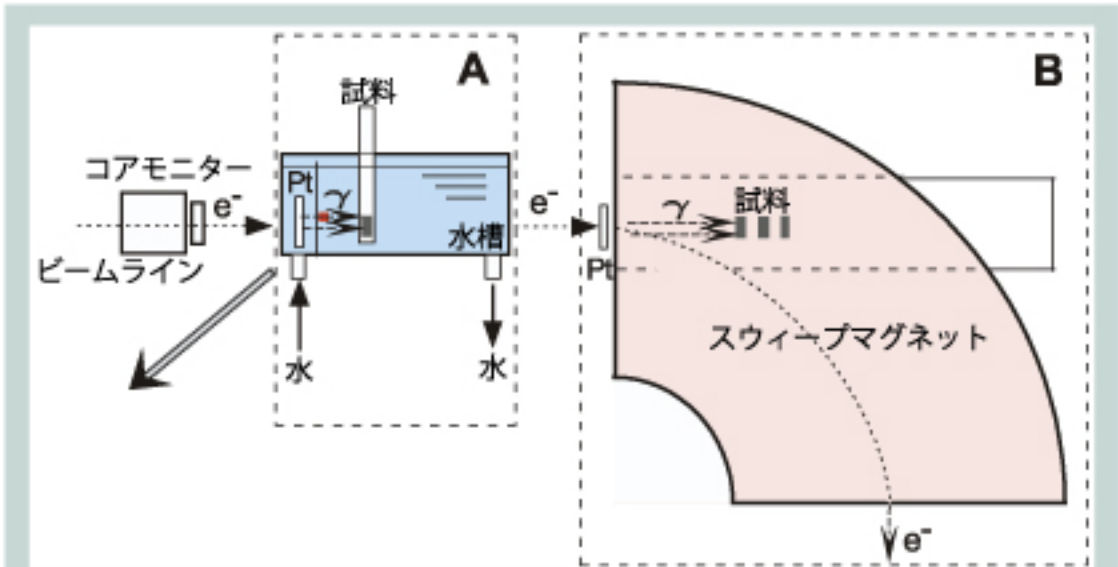


超短バンチ生成用高周波電子銃

ラジオアイソトープを用いた物質科学

- 化学的性質を利用した核現象の研究
- アクチノイド原子核の核分裂メカニズム
および反応断面積の研究
- 材料、生体、環境物質の光量子放射化分析
- 材料、生体、環境科学に有用なトレーサー製造
- フラーレンの科学
- 電子照射による放射線化学
- 同位体標識のメカニズムとその応用

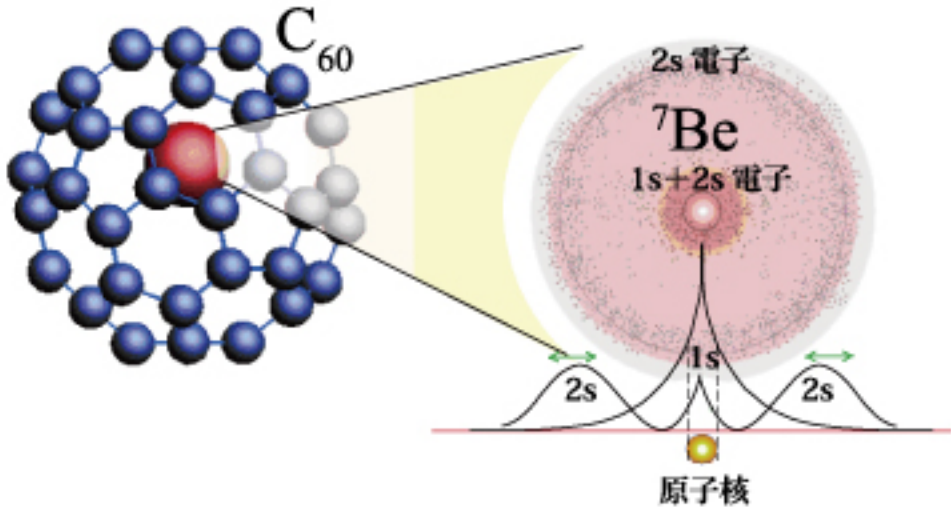
物質科学分野における電子線照射設備



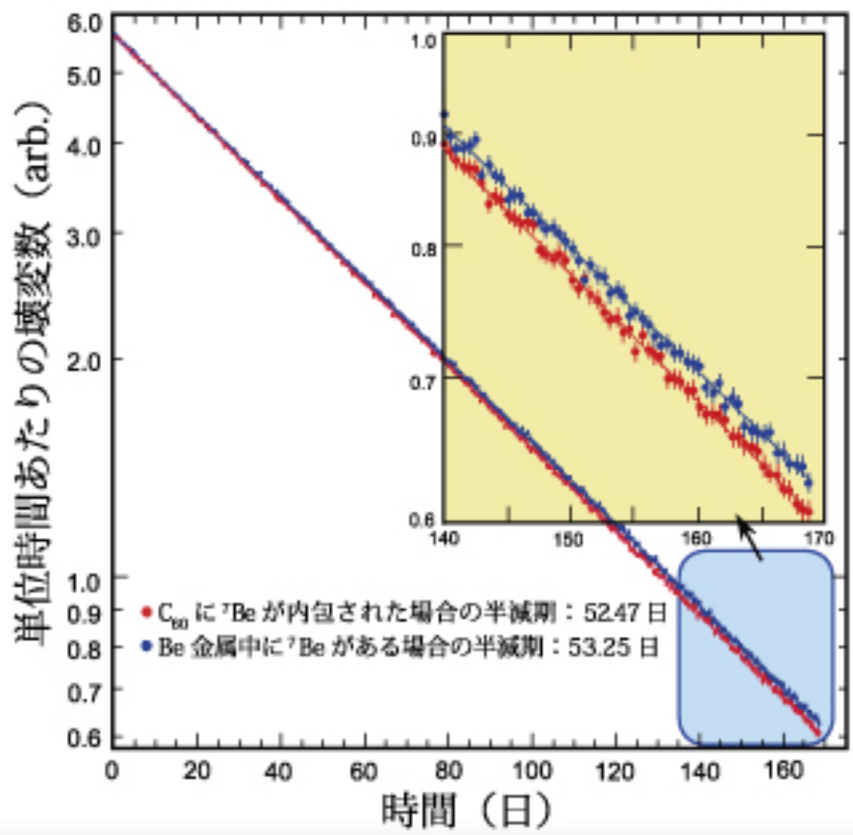
A部では石英管に封入した試料を水槽中に入れ、高強度の光量子で照射できます。この装置は高比放射能の放射性同位体の製造に適しています。また、B部では光量子に変換され、エネルギーを失った電子を取り除いて照射できます。熱などにより破壊されやすい試料の照射に適する装置です。

さまざまな環境下における⁷Beの半減期に関する研究

C₆₀ 中の⁷Beの半減期はこれまでの測定値より最も小さい（崩壊速度が速い）値が得られています。⁷Beの半減期はBe原子核位置での電子密度に比例します。Be原子は、孤立系では1s²2s²の簡単な電子構造を持ちます。私たちは、地上においてC₆₀中に1s²2s²電子の殻構造を持った理想的な孤立Be原子状態をつくりだし、その半減期をはじめて知ったのかもしれない。



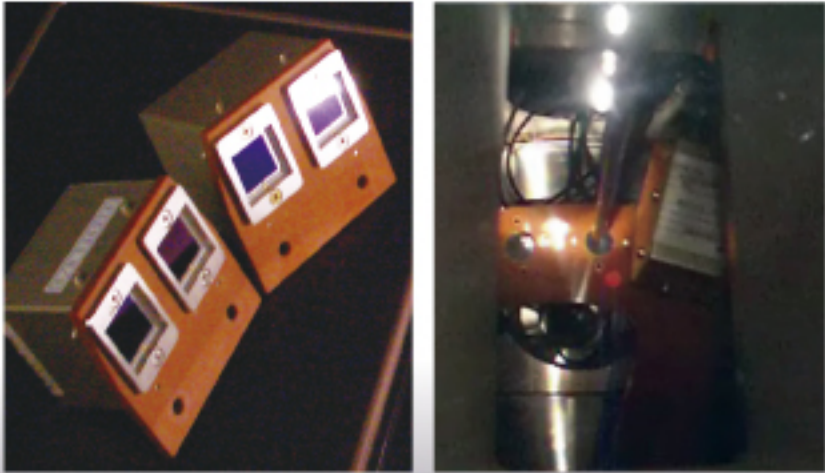
C₆₀中に⁷Beが存在する場合の1sおよび2sの電子雲の様子



⁷BeがC₆₀中に内包された場合とベリリウム金属中に存在する場合の半減期

PIN-ダイオード荷電粒子検出システムによる重粒子崩壊の研究

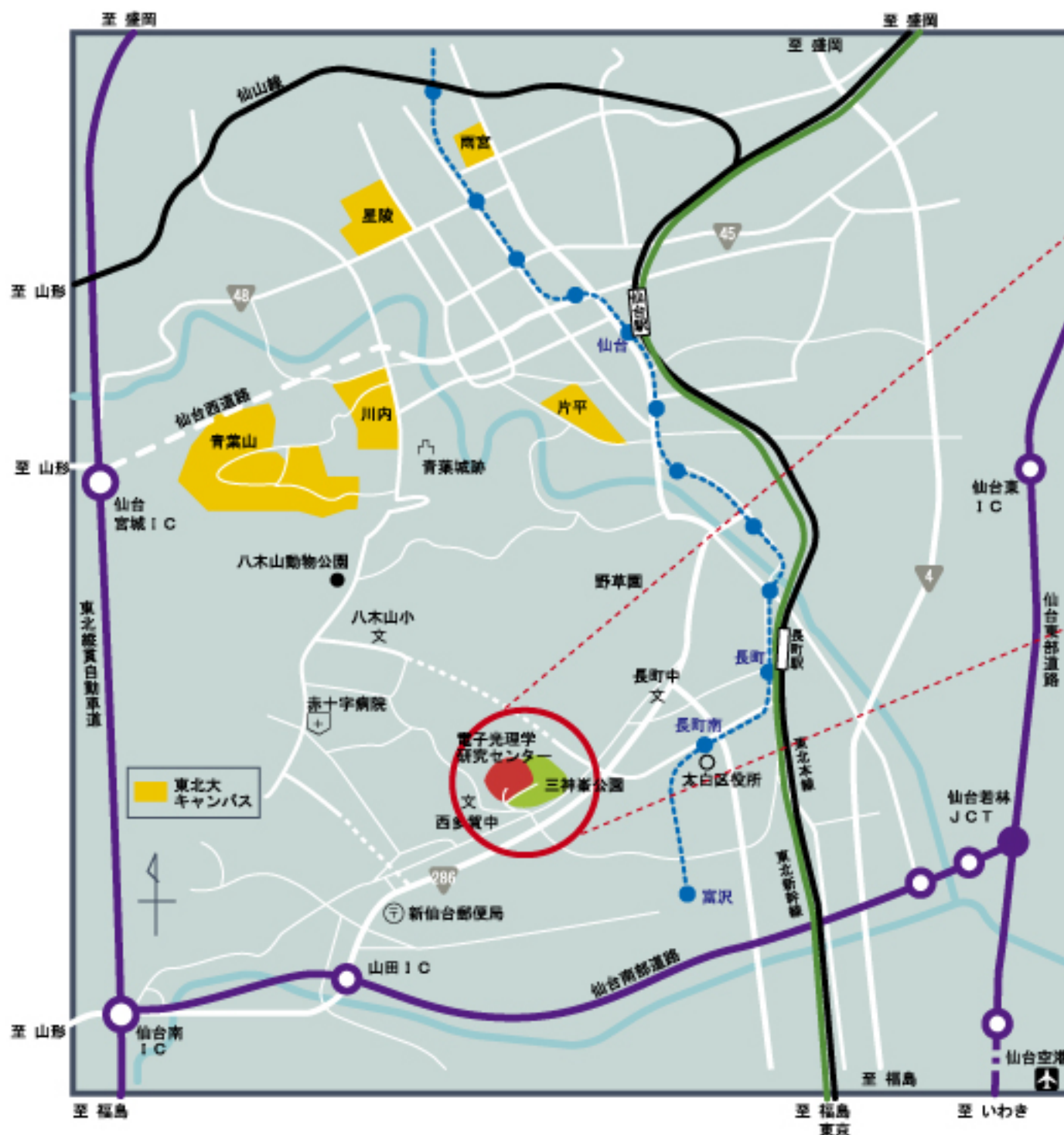
アクチノイド元素のアルファ崩壊、重粒子崩壊、核分裂崩壊のメカニズムに関する研究に用いられる検出器です。効率的測定を行うために回転円盤上に並べて使用します。



沿 革

- 1966年 東北大学理学部附属原子核理学研究施設 発足。
東北大学の原子核関連分野の学内共同利用的施設として設置される。
- 1967年 300MeV 電子ライナックの完成。パルス電子線による原子核、放射化学等の実験開始。
- 1971年 パルス中性子源の完成。中性子回折実験開始。
- 1982年 150MeV パルス・ストレッチャー完成。連続電子線による原子核実験開始。
- 1988年 世界で初めてコヒーレント放射光を観測。
- 1997年 1.2GeV ストレッチャー・ブースターリング (STB) 完成。
- 2009年 12月 原子核理学研究施設を改組し、東北大学電子光理学研究センター 発足。

アクセスマップ



- JR仙台駅から
タクシーで 約20分
バス 停留所「西多賀一丁目西・三神峯公園入口」
下車で徒歩5分
- 東北自動車道「仙台南IC」および
仙台南道路「山田IC」から
国道286号線を仙台方向に進み、
西多賀交差点（歩道橋が目印）を左折。
後は上の詳細地図参照。
- 仙台空港から
タクシーで 約30分
仙台空港アクセス線を利用の場合
「長町駅」まで 20分



〒982-0826 仙台市太白区三神峯1丁目2番1号
 TEL: 022-743-3400 FAX: 022-743-3402
 電子メール: koho@lms.tohoku.ac.jp
 ホームページ: <http://www.LNS.tohoku.ac.jp>

発行 2010年3月