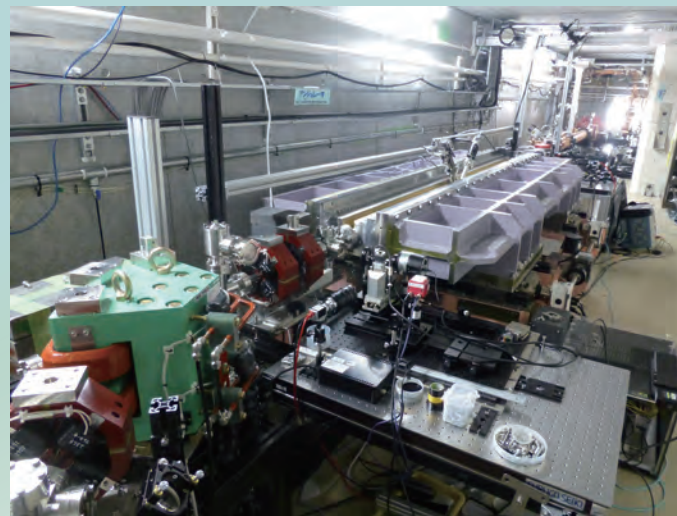


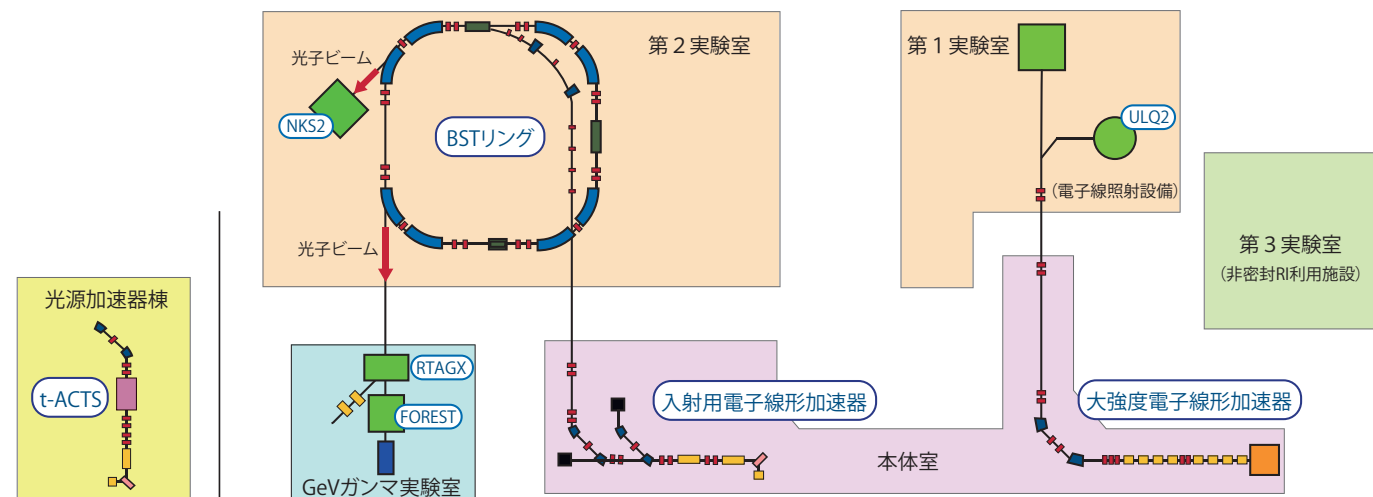


大強度電子線形加速器
1967年に建設された大強度電子加速器です。最大エネルギー：70 MeV、ビーム繰り返し：300Hz、ビームパワー：5kW以上、放射性同位元素（RI）の製造などに利用されています。

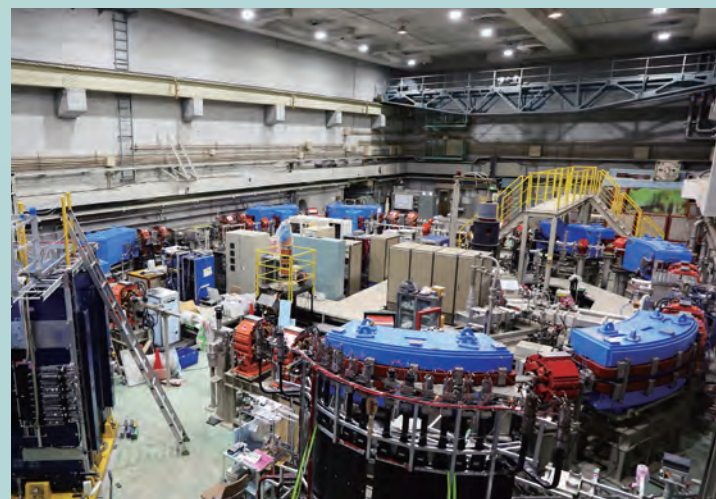
光源加速器（t-ACTS）
加速器・ビーム物理研究を行うために建設した小型の電子線形加速器です。加速器ベースのテラヘルツ光源開発などが行なわれています。最大エネルギー：50MeV



電子光物理学研究センター実験室配置図



リング入射用電子線形加速器
ブースター・ストレージリングに電子ビームを入射するために建設された電子線形加速器です。最大エネルギー：100MeV



ブースター・ストレージリング（BSTリング）
ブースター・ストレージリングは1.3GeVまで電子ビームを加速してビームを蓄積することができます。原子核実験に用いられる2本の光子ビームラインを備えています。周長は約50m、大学が所有する加速器としては日本最大級です。

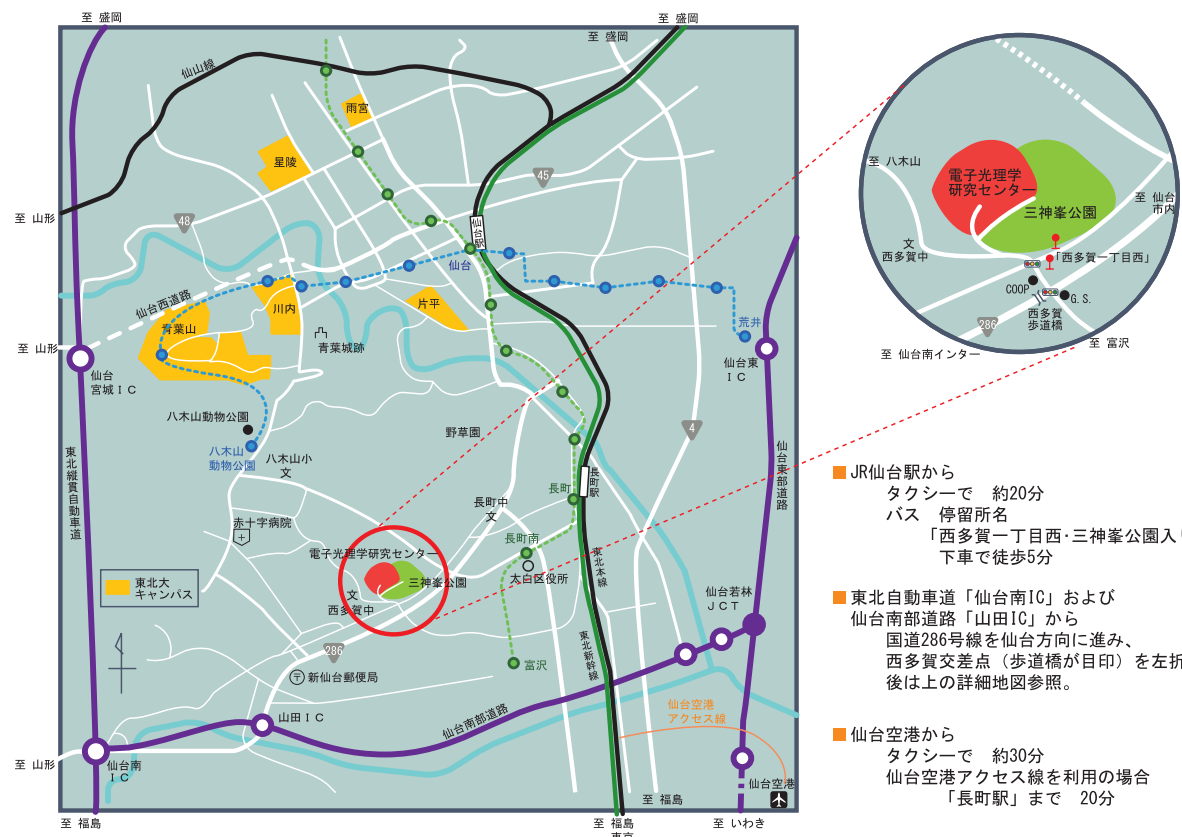
沿革

History

- 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施設として設置
- 1967年 300 MeV 電子ライナックの完成、パルス電子線による原子核・放射化学などの実験開始
世界初のパルス中性子回折実験実施
- 1971年 パルス中性子源標的室（NDトーチカ）及び中性子回折ビームライン9本完成
- 1982年 世界最初の150 MeV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 1.2 GeV ストレッチャー・ブースターリング完成
- 2002年 GeVガンマ実験棟竣工、GeVガンマ照射室でのハドロン実験開始
- 2006年 第二実験室に磁気スペクトロメータ NKS2 が完成（東北大原子核物理研究室）
- 2009年 GeVガンマ照射室に電磁力リメータ FOREST が完成
原子核理学研究施設を改組、東北大学電子光物理学研究センター 発足
- 2010年 光源加速器（t-ACTS）棟竣工
- 2011年 共同利用・共同研究拠点（電子光物理学研究拠点）活動開始
- 2013年 東日本大震災から復旧、共同利用再開
- 2014年 研究棟を改修・増築、三神峯ホール竣工
- 2015年 4月 凝縮系核反応共同研究部門を設置
- 2020年 9月 低エネルギー電子散乱実験ビームライン（ULQ2）運用開始

アクセス

Access



- JR仙台駅から
タクシーで 約20分
バス 停留所名
「西多賀一丁目西・三神峯公園入り口」
下車で徒歩5分
- 東北自動車道「仙台南IC」および
仙台南部道路「山田IC」から
国道206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



東北大学
電子光物理学研究センター

〒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@lns.tohoku.ac.jp
ホームページ: https://www.LNS.tohoku.ac.jp

発行 2022年11月
表紙写真 志鎌康平 (アカオニ)

ELPH

Accelerator and Beam Physics
Quark Nuclear Physics
Radioactive-Isotope Science
Condensed Matter Nuclear Reaction



東北大学電子光物理学研究センター

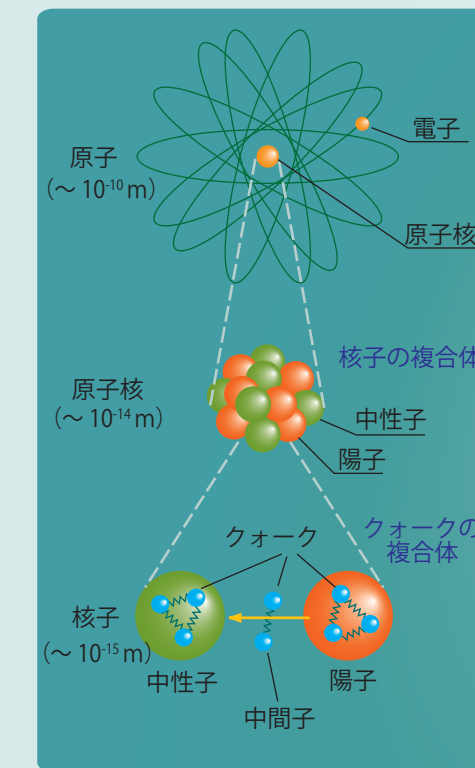
Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

電子加速器で見る原子核の世界

私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～10⁷m）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～10¹⁰m）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くほど短くなります。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電子線を作る装置が「電子加速器」です。



物質の基本である原子は、大きさがおおよそ10⁻¹⁰m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10³⁹倍も強い「核力」と呼ばれる強力な力で結びついています。

核子間の繋ぎ手が中間子です。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、中間子はクォークと反クォークで構成されています。これらはそれぞれバリオンとメソンとも呼ばれます。

電子光物理学研究センターでは、電子線形加速器と電子シンクロトロン加速器を使って最大エネルギー1.3GeVの電子線あるいは光子ビームを作り、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、物質科学までの広い範囲を対象とした「物質の構造と性質」の研究を推進しています。また、より高度なビーム利用実験を可能にするため、最先端の加速器科学・ビーム物理の研究を進めています。2015年4月より凝縮系核反応に関する共同研究部門が設置されました。

構成員

Member

加速器・ビーム物理研究部	光量子反応研究部	核物理研究部
教授 濱 広幸	教授 須田 利美	教授 大西 宏明
准教授 柏木 茂	准教授 菊永 英寿	准教授 村松 憲仁
准教授 日出 富士雄	准教授 前田 幸重	助教 宮部 学
准教授 三浦 禎雄	助教 池田 隼人	助教 時安 敦史
助教 武藤 俊哉	助教 本多 佑記	助教 佐田 優太
	研究教授 玉江 忠明	助教 松村 裕二
		研究教授 清水 肇

凝縮系核反応共同研究部門	技術開発室
特任教授 岩村 康弘	室長 南部 健一
客員准教授 伊藤 岳彦	長澤 育郎
研究教授 笠木 治郎太	鹿又 健
	高橋 健
	柴田 晃太郎

加速器中でのビームの振る舞い（ビーム力学）、荷電粒子からの光の放射などに関する研究を行なっています。共同利用に供されている大強度電子線形加速器や 1.3GeV 電子シンクロトロン（BST リング）のビームの高度化に関する研究のほかに、2013年に加速器科学やビーム物理の研究を推進するために試験加速器（t-ACTS: test Accelerator as Coherent Terahertz Source）を新設しました。

- BST リングを用いたビームダイナミクスの研究
- 極短電子ビームを使ったコヒーレント・テラヘルツ光源の開発研究
- チェレンコフ光を用いた新奇ビーム診断装置の開発

極短電子ビームによる コヒーレント・テラヘルツ放射発生

私たちは、テラヘルツ光の波長（1THzの光で300μm）よりもパルス長の短い電子ビームを生成し、そのビームを使ったコヒーレント・テラヘルツ光源の開発を行なっています。

電子ビームは速度集群法という手法により、100 フェムト秒（10⁻¹³ 秒）以下にまで圧縮されます。圧縮されたビームの時間幅は、当センターの原子核実験に用いられている電子ビームの数100分の1の長さしかありません。このような極めて短い電子ビームを作るために、私たちは独自に熱陰極高周波電子銃を開発しました。この電子銃を使うことによって、電子ビームの時間方向分布とエネルギー分布を制御し、効率良くビームを圧縮することができます。また、カソードに直径3mmの単結晶 CeB₆（六ホウ化セリウム）を使用しており、低エミッタンス電子ビームを作り出すことが可能です。

電子ビームの長さが放射する光の波長よりも短くなると、非常に強いコヒーレント放射を得ることができます。これまでに私たちは、約100フェムト秒まで圧縮した電子ビームを強力な永久磁石で構成されるアンジュレータに注入することによって、大強度のコヒーレントアンジュレータ放射の発生に成功しました。将来的には、コヒーレント放射の可干渉性を利用したテラヘルツ光の偏光状態を操作する実験などを計画しています。

チェレンコフ光を用いたビーム診断

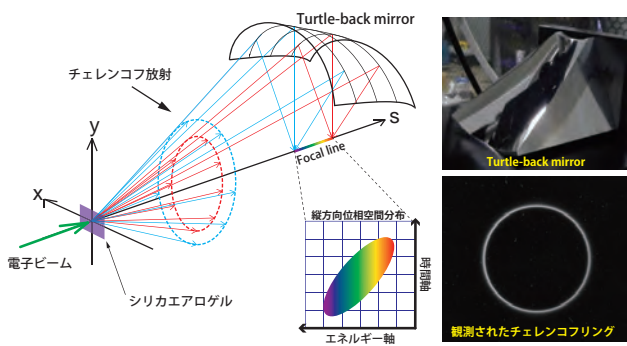
電子ビームから放射される光は、電子ビーム自身の3次元空間分布（大きさや時間幅）やエネルギーなどの情報をもっています。このことを利用して、遷移放射光やチェレンコフ光などの時間幅や空間分布を計測することによって、電子ビームの特性を測定します。現在、電子ビームが薄いエアロゲルを通過する時に発生するチェレンコフ光を計測することによって、電子ビームの縦方向位相空間分布（時間とエネルギーの2次元空間分布）を1ショットで測定できるシステムの開発を行なっています。

THz 光源開発用試験加速器（t-ACTS）



手前左側の高周波電子銃で生成された電子ビームは手前右側のピンク色のα電磁石で偏向され、3m長の加速管で最大50MeVまで加速されます。この小型電子線形加速器を使い、さまざまな加速器・ビーム物理研究が行なわれています。

LFC カメラ概念図

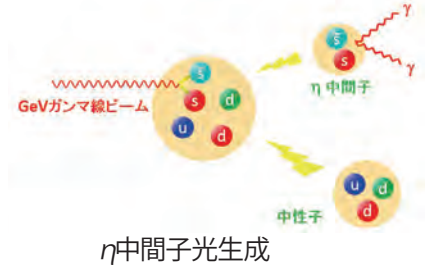


LFC-Camera: Linear focal Cherenkov ring camera
特殊ミラー（亀の甲羅鏡）を使い電子ビームのエネルギー情報を位置情報に変換し、集光したチェレンコフ光をストリークカメラで計測することにより縦方向位相空間分布を測定します。

Quark Nuclear Physics

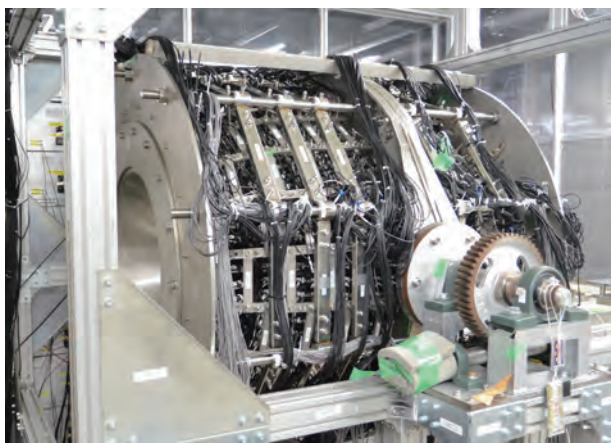
GeV ガンマ線によるクォーク・ハドロン研究

物質の最小単位であるクォークは単独で存在することができず、陽子や中性子、中間子などの複合粒子状態「ハドロン」を形成します。通常は3個または2個のクォークで構成されますが、最近の研究では5クォーク粒子やハドロン分子状態を示唆する実験結果が得られています。



電子光物理学研究センターでは、これらのエキゾチック（新奇な）粒子やハドロン励起状態の研究を通して、ハドロンの内部構造や性質を解明しようとしています。また、誕生後間もない頃の宇宙密度に匹敵する原子核内部でハドロンを生成し、その質量が軽くなる現象を探索しており、質量の起源は何かという根源的な問いに迫ろうとしています。私達は、高エネルギー光子ビームを陽子や原子核などの標的に照射してこれらのハドロンを「光生成」する実験を推進しており、電子光物理学研究センターの1.3 GeV 電子シンクロトロンで稼働している GeV ガンマ線ビームラインに多重ガンマ線検出器群“FOREST”を設置しています。また、兵庫県にある大型放射光施設 SPring-8 の新ビームライン LEPS2 にも、電子光物理学研究センターで製作した高分解能電磁カロリメータ“BGOegg”を移設し、さらに高いエネルギーの光子ビームを使った相補的な実験を進めています。

高分解能電磁カロリメータ“BGOegg”



1320本のBGO結晶を卵型に組んでおり、世界最高レベルのエネルギー分解能を発揮しながらSPring-8で稼働しています。1cm²当たり約1億トンという超高密度である原子核内部でエータプライム(η)中間子を生成し、その質量減少の信号を捉えようとしています。

多重ガンマ線検出器群“FOREST”



GeV ガンマ線ビームラインにおいてハドロンの多様な状態を生成し、そこから放出される中性パイ(π)中間子やエータ(η)中間子などを捉える実験装置です。CsI結晶、鉛・シンチレーティングファイバー、鉛ガラスの3つのガンマ線検出器から構成されています。

Strangeness Production Mechanism

電磁スペクトロメータを用いた光-核子反応によるハドロン物理の展開

クォークから構成される粒子はハドロンと呼ばれています。我々の通常の世界はアップ(u)とダウン(d)と呼ばれるクォークから出来ていますが、クォークは全部で6種類あります。NKS2実験グループでは、中でもストレンジ(s)・クォークを含むハドロンに注目して研究を進めてきました。

特にγ線(光子)と中性子の反応による中性K中間子とΛ粒子の生成は、反応の前後に電荷を持たないという特徴を持ち、これらの粒子は生成後、数十から数百ピコ秒後に他の粒子に崩壊します。このことが測定を難しくしており、我々東北大グループが世界で最初に測定しました。この成功を受け、より精度良く測定領域も広い、新たな測定装置NKS2を製作し実験を行ってきました。

NKS2は、荷電粒子の運動量を測定するための電磁石とドリフト・チェンバーと呼ばれる飛跡検出器、粒子識別を行うための飛行時間検出器、液体水素・重水素標的システムから構成されています。BSTリング内を周回する電子から制動放射で実光子ビームを生成し、光子のエネルギーと生成時刻を決定する、実光子標識化装置を備えています。

ストレンジネス生成過程の研究に加え、電子光物理学研究

Exotic Nuclear Physics

電子散乱による原子核研究

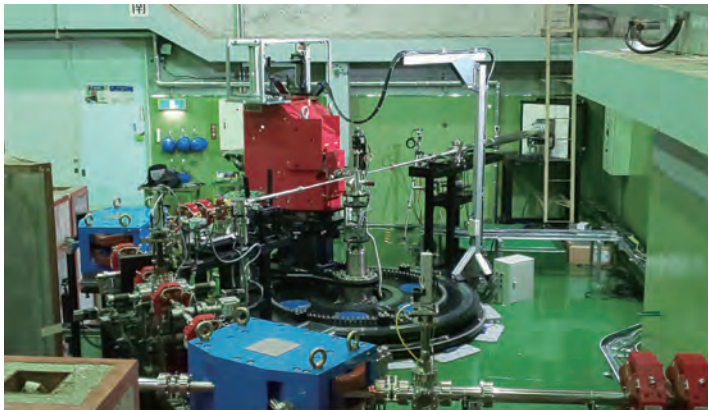
電子ビームを原子核標的に照射し散乱電子を観測すると原子核内部の詳細な様子がわかります。私達はこの電子散乱と呼ばれる測定手段を通じ現代原子核物理学が抱える以下の2つの研究課題に挑んでいます。

- 陽子の大きさの精密測定
- 短寿命な不安定エキゾチック原子核の大きさや形、内部構造の研究

陽子の大きさの精密測定

陽子は、中性子とともに原子核を構成する基本粒子です。長年、大きさや形、内部構造が詳細に調べられてきました。近年、素粒子の標準理論では同じ仲間と考えられている電子とミュオン粒子を通じたそれぞれの陽子半径測定結果が一致しないことが発表され「陽子半径問題」と呼ばれる事態になっています。

世界各地で不一致の原因解明・真の陽子半径の決定に向けた研究が行われていますが、私達は当センターの60 MeV 電子加速器を利用した史上最低エネルギー（E_e = 20 - 60 MeV）での電子・陽子弾性散乱実験でこの問題に取り組んでいます（ULQ2：Ultra-Low Q²）。本研究により、電子散乱としては最も信頼度の高い陽子半径の決定が期待できます。



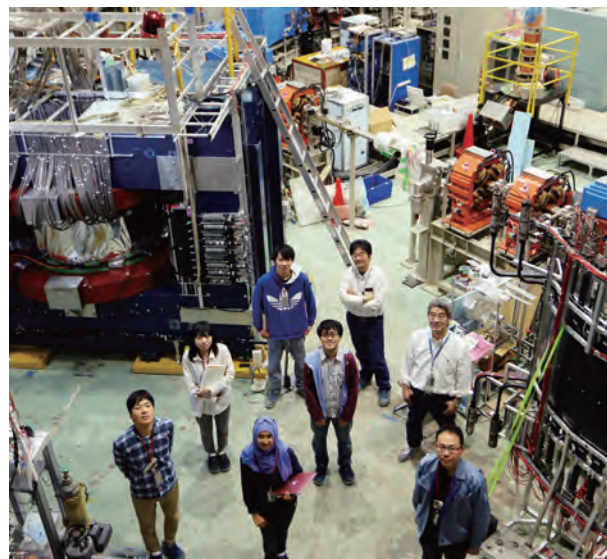
第一実験室のULQ2ビームラインと散乱電子スペクトロメータ

短寿命なエキゾチック原子核の研究

短寿命で崩壊してしまうため天然には存在しない不安定なエキゾチック原子核の研究により、従来の原子核構造の常識を破る新奇な構造が次々と発見されています。これらの構造解明が、原子核物理学だけでなく宇宙での物質進化（元素合成）の理解に不可欠であることから、世界各地で鎬を削る研究が進んでいます。

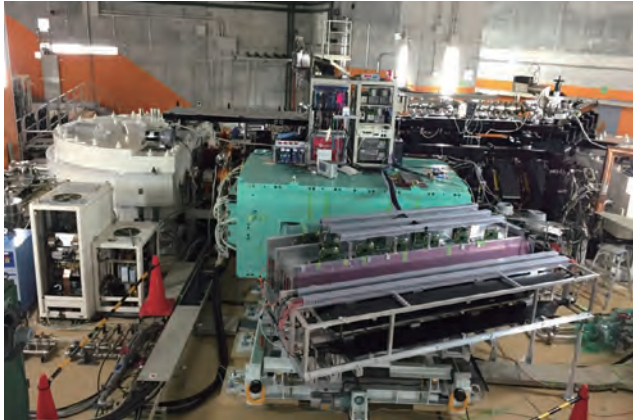
短寿命で崩壊してしまうため天然には存在しない不安定なエキゾチック原子核の研究により、従来の原子核構造の常識を破る新奇な構造が次々と発見されています。これらの構造解明が、原子核物理学だけでなく宇宙での物質進化（元素合成）の理解に不可欠であることから、世界各地で鎬を削る研究が進んでいます。

- 終状態相互作用を利用した、重水素標的とγ線の反応によるΛ-中性子間力測定
- 二重デルタ粒子の励起状態の探索
- ³_ΛH（ハイパー・トライトン）の寿命測定



第二実験室内に設置されたNKS2実験装置（左上）。電磁石内部には標的とドリフト・チェンバーが設置されており、その周りを飛行時間測定装置が囲んでいます。右下に見えるのはメンテナンスの為に移動させた飛行時間測定装置の一部です。

大型電子スペクトロメータ“WiSES”



電子光物理学研究センターが理化学研究所RIビームファクトリーに設置した大型電子スペクトロメータ“WiSES: Window-frame Spectrometer for Electron Scattering”

当センターの大強度電子線形加速器では最大エネルギー60 MeVまで電子を加速することができます。その電子を白金やタングステンなどのコンバータで光子（制動放射線）に転換してターゲット物質に照射し、光核反応を起こすことで、様々な種類の放射性同位元素(RI)を製造しています。得られたRIは必要に応じて放射化学的手法により精製され、原子核壊変特性の研究を中心に、RIを利用した分析法の開発、物質科学研究など種々の目的で利用されています。また、光核反応収率測定や光量子放射化分析、無担体RI製造法などの研究も行われています。

RI 供給拠点活動

個々の原子核からα線、β線、γ線などの高エネルギー信号(放射線)を放出して崩壊するRIは、極微量の物質を極めて高い感度で検出することが可能です。研究用RIは物理・化学・生物・工学・農学・医薬学などの基礎から応用まで極めて広い範囲で用いられています。当センターでは光核反応の特長を活かして、サイクロトロンや原子炉では製造困難なRIを提供しています。近年では他機関の加速器施設と連携して短寿命RIを中心としたRI供給プラットフォーム事業を行っており、当センターで製造されたRIは全国の研究者に利用されています。

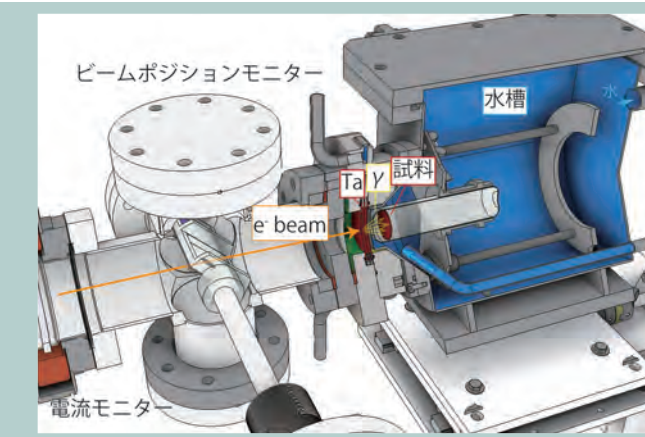
Condensed Matter Nuclear Reaction

原子核反応を起こすには、原子核を高エネルギーに加速することが必須です。ところが、1989年に、英国と米国の電気化学の研究者が、Pd電極を用いた重水の電気分解により異常な発熱現象を見出し、Pd電極中でD+D核融合が生じている可能性を提起しました（いわゆる「常温核融合」）。

- 「凝縮系核反応(CMNR)」の学術的基盤データの増強と機構解明
- 将来のクリーンエネルギー技術としての可能性追求
- 革新的放射性廃棄物処理技術に向けた基礎研究

常温で核反応が生じることは、従来の核物理学の常識から大きく逸脱しています。しかしながら一方では、凝縮系が超低エネルギー核反応にどんな影響を及ぼしているのかは、十分に調べられていません。これまで世界各国で、金属中での低エネルギー核反応、Pd電極の重水電気分解・Pdナノ粒子の重水素ガス吸蔵での異常な発熱現象、重水素ガスのPd薄膜透過に伴う核変換現象等を中心に、研究が展開されてきました。観測された現象が未知の核反応によるものであれば、原子核反応の概念に大変革をもたらします。また、「凝縮系核反応」は、社会的にもクリーンな原子核エネルギーとして、将来の産業構造に大きな変化をもたらすと期待されています。

電子線照射設備



石英管に封入した試料を水冷しつつ、高強度の光子を照射することで多種多様な高放射能RIを安全に製造するための装置です。

非密封 RI 利用施設



センターには非密封RI約370核種の取扱可能な実験室が設置されています。（左図）試料調製を行う化学実験室、（右図）原子核半減期を測定している装置

凝縮系中での超低エネルギー核反応

凝縮系中での超低エネルギー核反応

- 「凝縮系核反応(CMNR)」の学術的基盤データの増強と機構解明
- 将来のクリーンエネルギー技術としての可能性追求
- 革新的放射性廃棄物処理技術に向けた基礎研究

従来の核反応と凝縮系核反応の違い

