

独立行政法人 日本原子力研究開発機構(JAEA)
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構(KEK)

J-PARCセンター

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4
<http://j-parc.jp/>

MLFの装置・利用に関するお問い合わせ先



J-PARCセンター ユーザーズオフィス

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方162-1
いばらき量子ビーム研究センター1F
TEL 029-284-3398
FAX 029-284-3286
<http://is.j-parc.jp/uo/>

大強度陽子加速器施設J-PARC
物質・生命科学実験施設



物質・生命の科学

中性子・ミュオンで探る

MLF

Materials and Life Science
Experimental Facility

J-PARC 物質・生命科学実験施設

パルス中性子とパルスミュオンの世界最高峰
～ 物質と生命の謎が、ここで明らかになる ～

世界最高クラスの大強度陽子加速器と、加速器が放つ大強度陽子ビームを利用する実験施設で構成されるJ-PARC。その中ほどに位置する物質・生命科学実験施設(MLF)は、加速器からの1MWのパルス陽子ビーム(3GeV, 25Hz, 333 μ A)を利用して世界最高強度の中性子及びミュオンビームを造り出し、これらを用いて物質・生命科学研究を推進させることを目的とした施設です。
独立行政法人日本原子力研究開発機構と大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構の共同プロジェクトとして運営されるJ-PARCの一つの施設として、MLFは学術・基礎研究や産業利用に広く供用の機会を設けています。



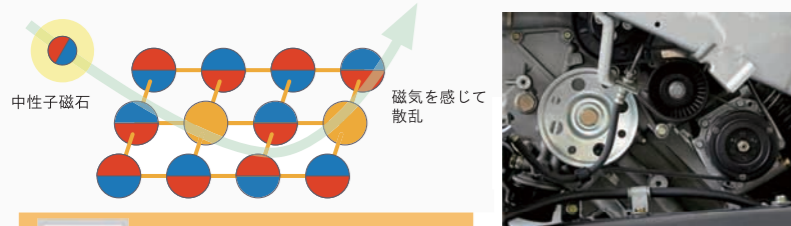
動を見る

中性子の質量は、水素原子とほぼ同程度です。原子の周囲をとりまく軽い電子雲と相互作用するX線に比べ、自分と同程度の重さの原子核と相互作用する中性子は、原子の動きを観測するのに適しています。このため、タンパク質の機能や超伝導現象の解明などの研究に利用されます。



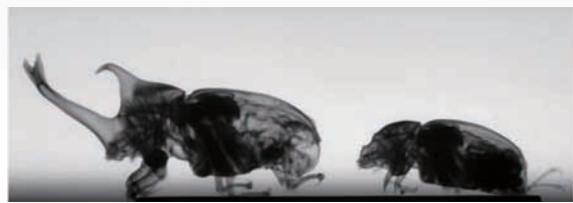
磁気構造を調べる

中性子は $\frac{1}{2}$ のスピンを持ち、微小な磁石として振る舞うため、物質内の磁場により力を受けます。この力で散乱された中性子の振る舞いを調べることで、物質中の磁気構造や磁場分布を知ることができます。省エネ化に貢献するモーターの強力磁石や高温超伝導送電材料の分析に威力を発揮します。



透かして見る

中性子はその名の通り電荷を持たない中性の粒子であり、ほとんど相互作用せずに物質を通り抜けることができるため、物質を破壊することなく内部構造を調べることができます。また、物質中の水素や水などが含まれる部分を識別することにも優れています。



元素を見わける

原子核と相互作用する中性子は、電子と相互作用するX線に比べ、軽い元素の観測や同位体の検出に適しています。このため、新しいエネルギーとして期待される燃料電池内部の水の動きの観測などに用いられます。また、中性子を照射して物質を放射化し、その放射能から組成を調べる放射化分析は、遺跡出土品の産地推定などにも利用されます。

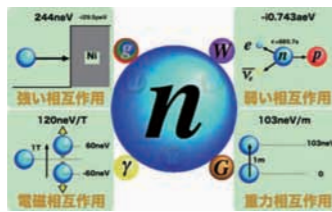


Photo by (c)TornaYun (http://www.yunphoto.net)

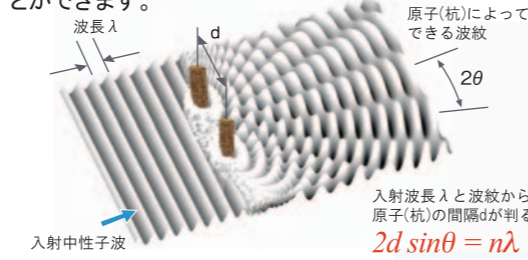
物質のなりたちを調べる

中性子の崩壊、中性子内部の電荷の偏り、原子との散乱には、未だ知の及ばない高エネルギー現象の影響がわずかに含まれています。これらを正確に計測することで新しい素粒子の証拠を探ることが可能であり、これは宇宙の歴史、特に反物質が失われ物質が残っている理由などを解き

明かす重要な手がかりとなります。

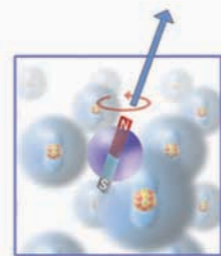


粒子であると同時に波の性質も持つ中性子は、X線回折と同様に結晶中でブラッグ回折を起こすため、干渉現象を観測することにより結晶の構造を知ることができます。



静を見る

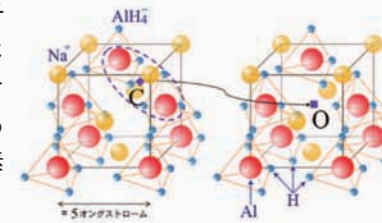
正の電荷を帯びたミュオンは、物質に注入されると原子と原子の間で止まり、物質の内部の状態を観測します。また、負の電荷を帯びたミュオンは原子核



のすぐ近くに止まり、ミュオンを含めた原子を形成します。磁石の性質を持つミュオンを利用すれば、内部磁場の検出を通じて物質と生命をミクロな視点から解き明かすことができます。

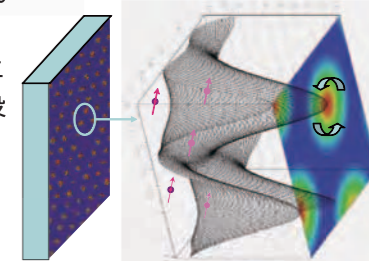
動を見る

ミュオンは独自の時間レンジで物質内の内部磁場の変動を検出することができます。これにより、原子の運動、電子のスピン揺らぎ、生体内での電子による情報伝達などの情報を得ることができます。また、ミュオン自身の運動を見ることで、燃料電池や半導体中などの水素の動きを解き明かすこともできます。



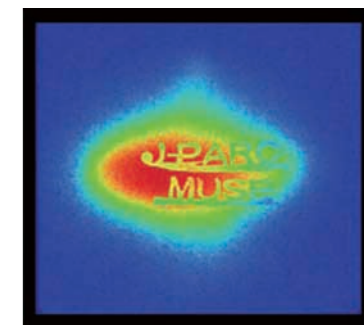
磁気構造を調べる

$\frac{1}{2}$ のスピンを持つミュオンは、小さな磁石として振る舞います。ミュオンを物質中に注入すると、周囲の電子や原子核の作る磁場を感じて歳差運動をし、やがて崩壊します。崩壊により放出される陽電子の方向を観測することにより、物質内部の磁気構造や磁場分布を知ることができ、磁性体や超伝導体の解明に役立ちます。



透かして見る

ミュオンは物質中で電磁相互作用と弱い相互作用のみを起こすため、透過性が高いのが特徴です。このため、ミュオンによるレントゲン写真撮影で、物体内部の状態や元素を選別した探索ができます。



元素を見わける

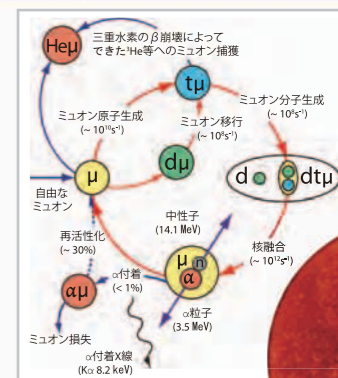
原子核の周りを回る電子が出す特性X線を分析することで、物質の組成を知ることができます。物質を構成する原子の電子をミュオンに置き換えたミュオン原子が放つ特性X線は、通常の原子が放射する特性X線に比べて高エネルギーで透過性が高いため、より深部の組成を知ることができます。



画像提供: 国立歴史民俗博物館・齋藤努先生

物質のなりたちを調べる

原子核の周りを回る電子を負ミュオンに置き換えたミュオン原子を利用すると、原子核の構造を知ることができます。また、ミュオンと水素同位体からなる小さなミュオン原子はミュオン触媒核融合を引き起こすため、将来のエネルギー源として期待されています。

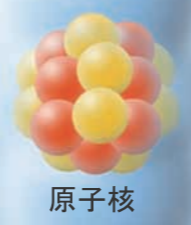




J-PARC全景

核破碎反応

光速近くまで加速された陽子を標的の原子核に衝突させると、そのすさまじいエネルギーから核子を含む様々な粒子が生み出されます。



原子核

原子



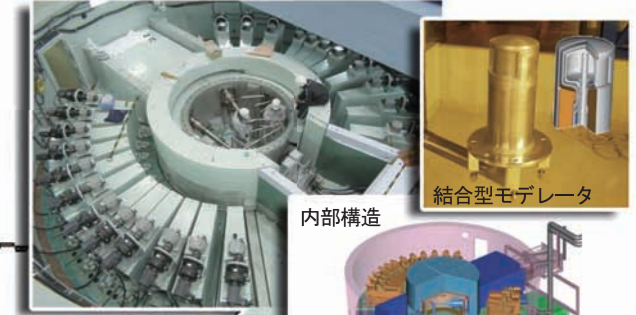
中性子実験装置



光速近くまで加速された陽子を標的の原子核に衝突させて作り出した中性子を、ビームラインによって実験装置へ導き、さまざまな実験に利用します。

中性子源ステーション

中性子ビームの通過と遮断を制御するシャッターや、超臨界圧状態の極低温水素を用いて標的で生成した中性子のエネルギーを落とし“低速化”するモデレータなどから構成されています。



内部構造

結合型モデレータ

光速に近い速さに加速した陽子をターゲットとなる物質(標的)の原子核に衝突させることで中性子やミュオンなどの粒子を造り出す

中性子・ミュオンを造り出す



陽子シンクロトロン
陽子を加速する

物質・生命科学実験施設
加速した陽子をターゲットに撃ち込み中性子やミュオンなどの粒子を発生させさまざまな実験に利用する

加速された陽子



3GeV 陽子シンクロトロン
線形加速器から送り込まれる陽子を加速するための電磁石がリング状にずらりと並ぶ陽子シンクロトロン。
陽子を30億電子ボルト(光速の約97%)まで加速します。



超高耐放射線電磁石
高エネルギーの陽子を標的に向かって撃ち込むための電磁石。陽子が放つ放射線を遮蔽するために鉄でおおわれています。

ミュオン実験装置

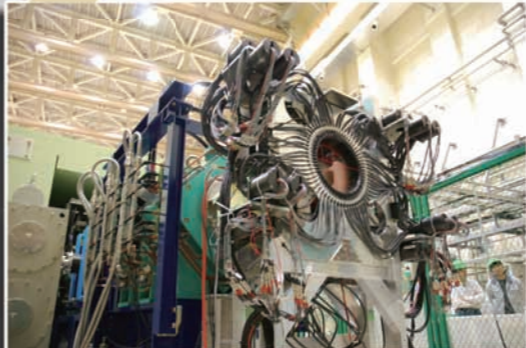
ミュオンビームラインの最下流に位置する装置。ビームラインに沿って導かれ、試料内部に撃ち込まれたミュオンが崩壊する際に放出する陽電子をキャッチします。



ミュオン生成標的
陽子を衝突させミュオンのもととなるπ中間子を発生させるための標的。黒鉛でできた標的の周囲を放熱のための銅で囲ってあります。



中性子生成標的
中性子を発生させるための標的台車。台車内で標的の水銀が循環し放熱する仕組みです。



中性子ビームライン

物質・生命科学実験施設(MLF)

ミュオンビームライン

物質・生命科学実験施設の内部
画面左中ほどの紺色の中性子源ステーションから右下に向かって、白色の遮蔽体に覆われた中性子ビームラインが伸びています。



大強度陽子加速器は、パルス状の陽子ビームをMLFの中性子及びミュオン生成標的に撃ち込みます。陽子ビームが標的に衝突して生み出される中性子やミュオンも、パルス状のビームとなります。

中性子で探る

中性子は粒子であると同時に波の性質も持ちます。

中性子の波長は中性子の速度に反比例するのですが、その長さが物質を構成する原子や分子の大きさ程度であれば、X線や電子線のように物質により散乱された中性子の波の干渉現象を観測することで、その物質の内部構造を調べることができます。

ほぼ同時刻に生み出されたパルスを構成する中性子の速度には、ある程度の幅があります。そのため、速度が速く、波長の短い中性子が先頭切って試料に飛び込み、速度の遅い、波長の長い中性子は遅れて試料に到達します。

中性子が同じ距離を飛行するのにかかる時間は、中性子の速度に反比例しますので、中性子が生み出され、試料により散乱され、検出器に到達するまでの時間を観測することで、中性子の速度(波長)を知ることができます。

これを中性子飛行時間法といいます。

非弾性散乱を利用した解析

色々なエネルギー(速度)を持つ中性子の中から、特定のエネルギーを持つ中性子だけを選び出し、試料に入射します。

試料に入射した中性子は原子や分子、スピンと相互作用します。運動量保存則とエネルギー保存則に従って試料からエネルギーを受け取った中性子は速度を速め、試料にエネルギーを与えた中性子は速度を落とします。

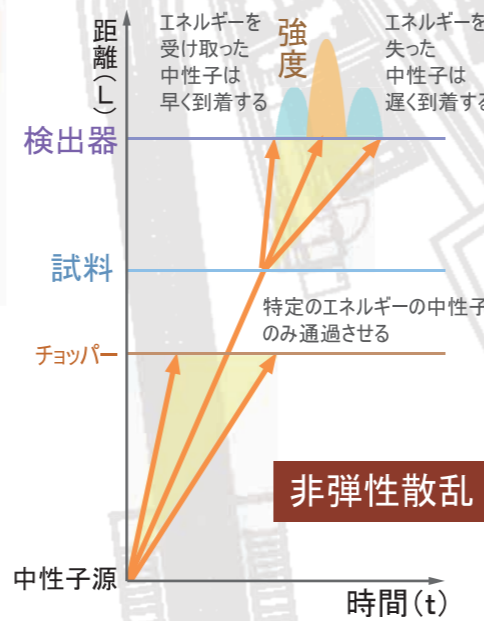
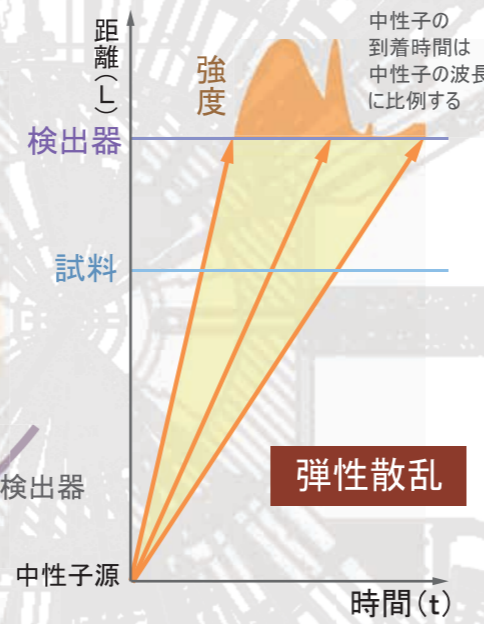
非弾性散乱により中性子が受け取ったり、与えたりするエネルギーは、エネルギーをやり取りする試料の原子や分子の置かれている状況を反映しています。これらを詳しく観測することで、物質中の原子や分子、スピンの振動や結合状態などを調べることができます。

弾性散乱を利用した解析

試料に飛び込んだ中性子の波は原子や分子により散乱されます。

散乱された波は互いに重なり合うのですが、試料の内部構造を反映して強め合い、また弱め合いながら検出器に到達します。試料を取り巻く検出器は、飛び込んでくる中性子の数の時間変化を観測します。どの散乱角度(2θ)の検出器にどの波長(λ)の中性子がどのくらい飛び込んでくるか、その強度の分布から、試料の内部構造を調べることができます。

試料が磁性を持つ場合には、散乱中性子の強度分布は磁性原子の磁気モーメントの大きさや向きに関係するので、磁気構造を調べることができます。また、広い散乱角度範囲における散乱中性子の強度分布を観測することで、原子レベルの構造情報だけでなく、タンパク質などの生体物質や高分子の構造を調べることができます。



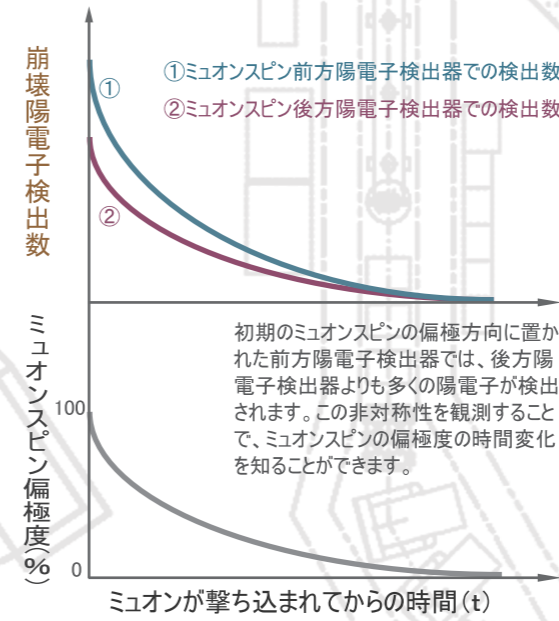
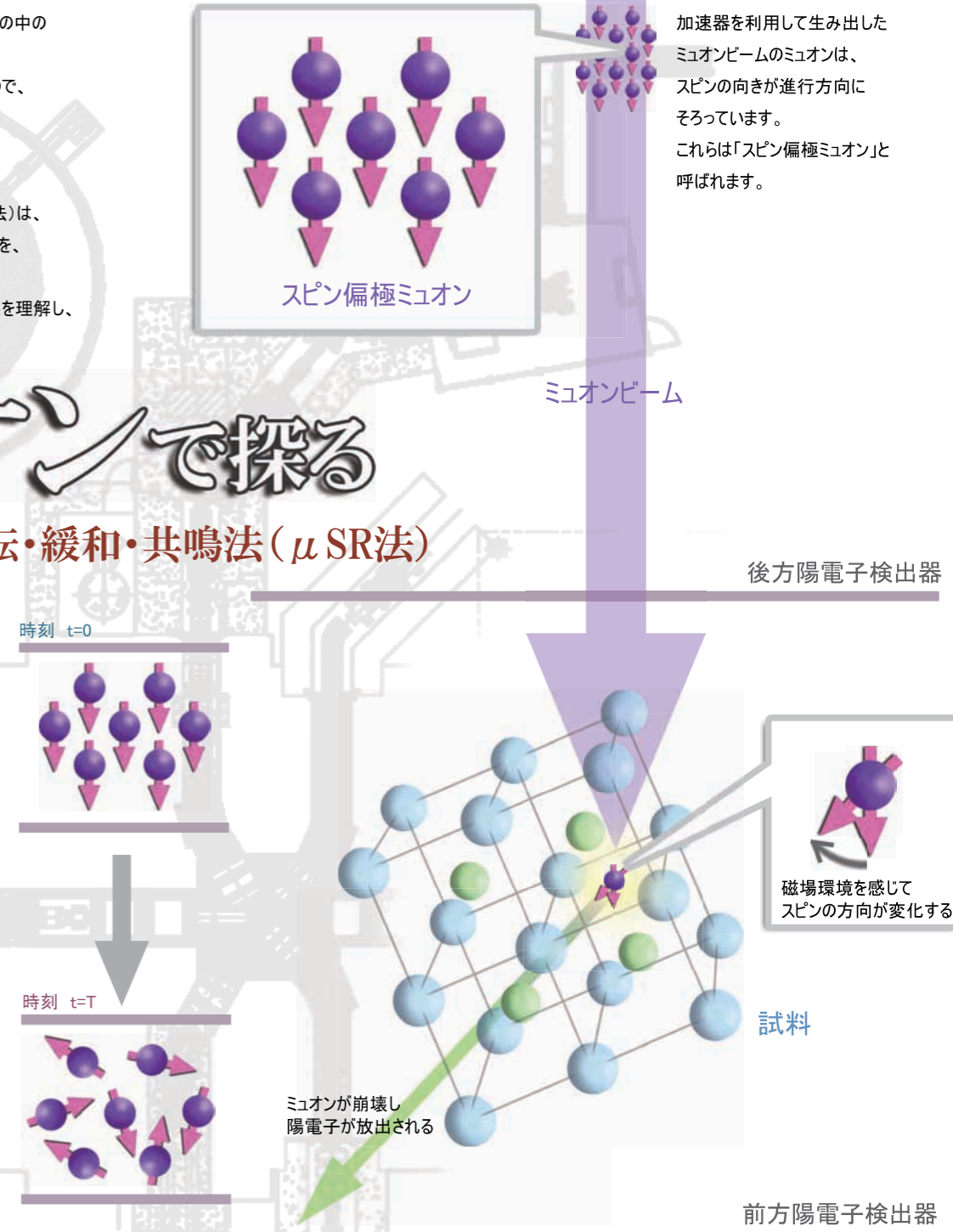
物質の性質は、その物質を構成する原子の中の電子の状態によって大きく左右されます。電子は磁石としての性質(スピン)を持つので、その磁石が作る磁場を観測することで電子の状態を調べることができます。ミュオンを用いた代表的な実験手法であるミュオンスピン回転・緩和・共鳴法(μSR法)は、物質の内部に存在する磁場(内部磁場)を、超高感度で観測できる実験手法です。この内部磁場の観測を通じて電子の状態を理解し、物質の性質を解き明かします。

ミュオンで探る

ミュオンスピン回転・緩和・共鳴法(μSR法)

試料に撃ち込まれたミュオンは原子と原子の隙間に止まり、周りの電子の作る磁場を感じて歳差運動をします。そして約2マイクロ秒という短い平均寿命でミュオンは陽電子に崩壊します。その際、ミュオンのスピン方向への陽電子の放出確率が最も大きくなる原理(パリティ非保存と呼ばれます)により、陽電子の放出方向とその時間変化を調べることによって、物質の内部でミュオンスピンのように運動したか、ひいては物質内部にどのような磁場が存在し、周囲の電子の状態がどのようなものであったかを知ることができます。

それぞれのミュオンは内部磁場を感じ、スピンの向きを変えます。そのため、全体として見た場合、初期のミュオンスピンの偏極度は時間とともに失われます。偏極度の時間変化を追うことで、物質内部の電子状態を調べることができます。



中性子やミュオンを用いて得られる情報には、他の手法では得ることができないユニークな情報が含まれています。それらは物質や生命の謎を解き明かす上で欠かすことができないものです。そのため、中性子やミュオンは基礎科学から産業応用に及ぶ幅広い分野で活用されています。

J-PARCのMLFは自然の謎を解明し、産業の発展に寄与することで、よりよい暮らしの実現に貢献します。



ものづくり社会を支える基礎科学

日本が世界に誇るものづくり社会は、幅広い基礎科学研究に支えられています。物質・生命科学の基礎研究を推進し、世界中の研究者と成果を共有することで、国際社会における日本の存在感を高め、ものづくり社会を育てます。

加速器がひらく 物質・生命科学の未来

科学文化を醸成する学術研究

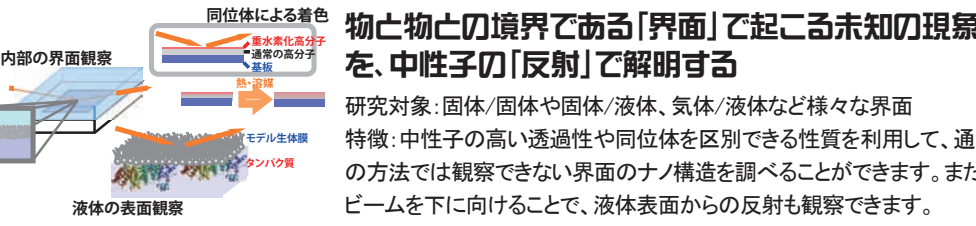
学術研究の成果は、人々の世界観を支え、豊かな文化を育む土壌となります。学術研究を推進し、未来に花開く科学文化の種を創造します。

持続可能な発展を実現する産業支援

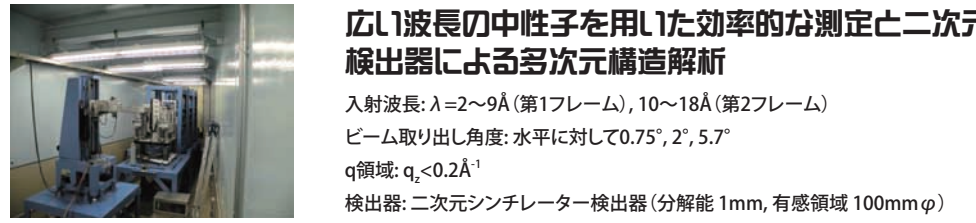
環境と調和し、省エネルギーを実現しながら豊かな社会を維持するために、科学技術と産業の更なる融合を目指します。持続可能な社会を育み維持するために、エネルギー問題の解決の道を探りつつ、社会に役立つ科学技術を推進します。

BL16 高性能試料水平型中性子反射率計 ARISA-II 静動磁透元物

サイエンス



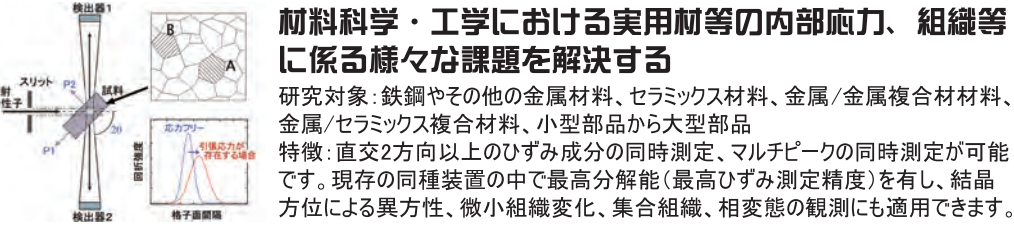
仕様



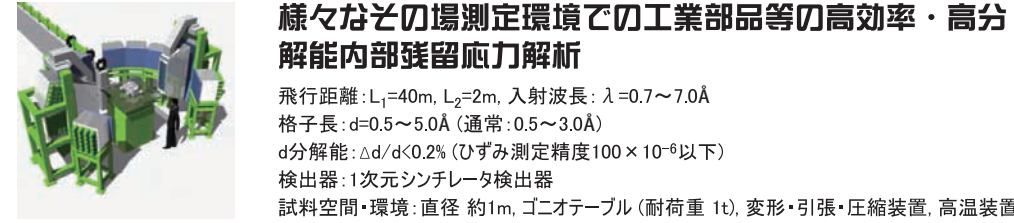
(独)科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(ERATO)高原プロジェクトとの共同研究

BL19 工学材料回折装置 匠 静動磁透元物

サイエンス



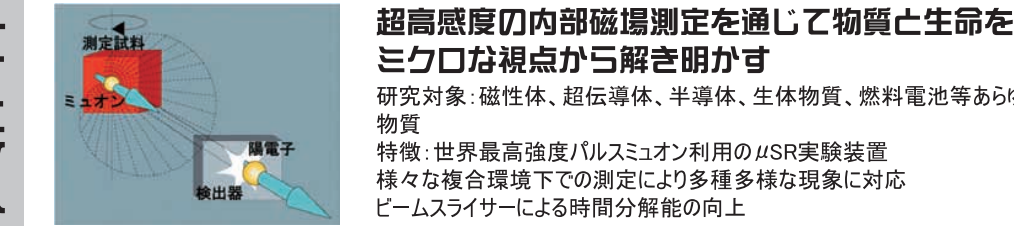
仕様



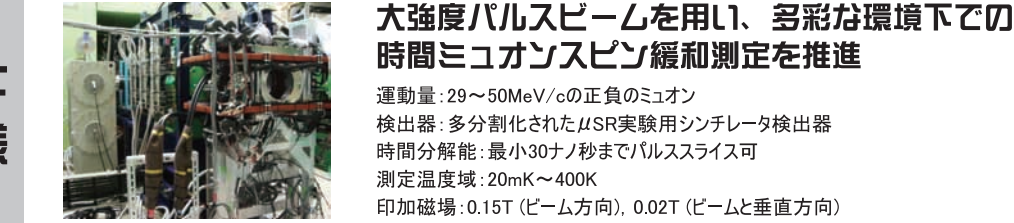
(独)科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(ERATO)高原プロジェクトとの共同研究

Muon D1 ミュオン物質生命科学実験装置 静動磁透元物

サイエンス



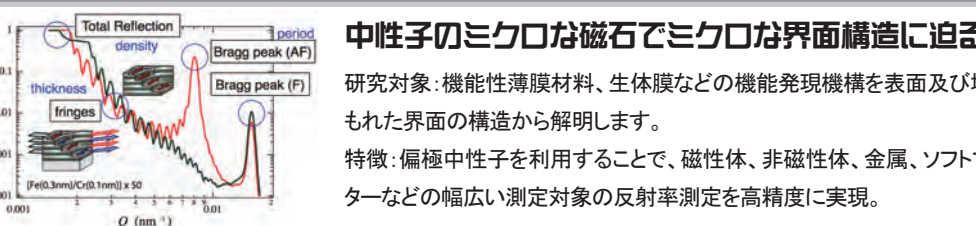
仕様



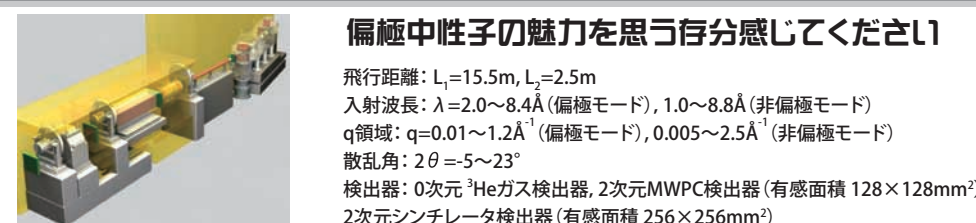
(独)科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(ERATO)高原プロジェクトとの共同研究

BL17 試料垂直型偏極中性子反射率計 VNR 静動磁透元物

サイエンス



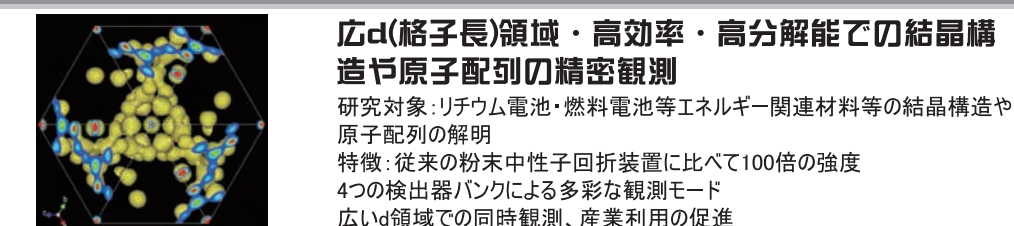
仕様



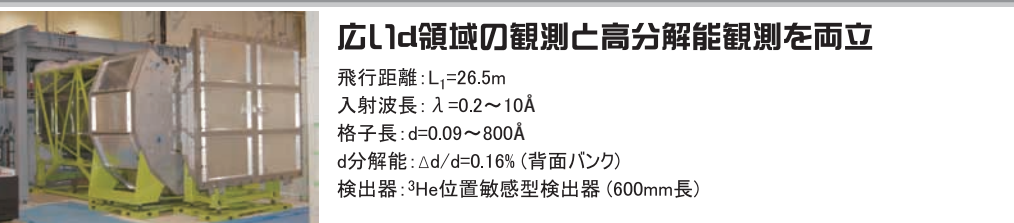
特定先端大型研究施設整備費補助金による

BL20 茨城県材料構造解析装置 iMATERIA 静動磁透元物

サイエンス



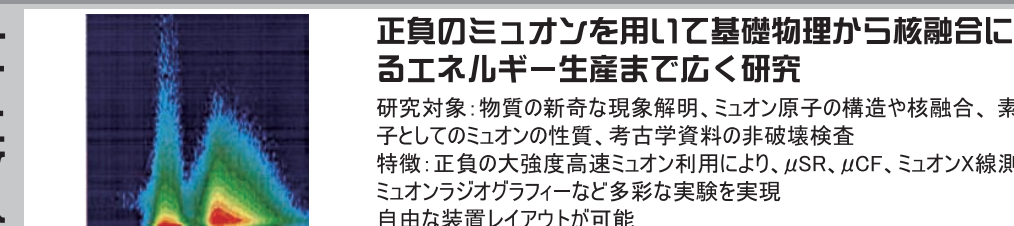
仕様



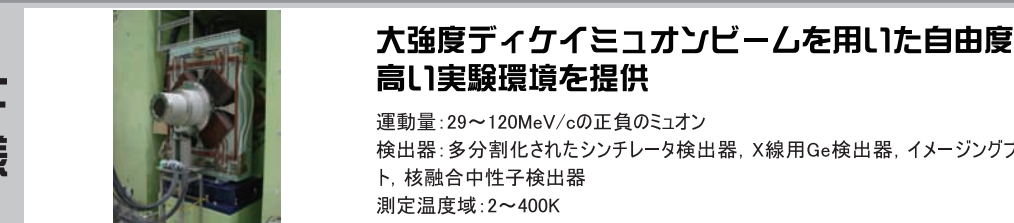
(独)新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)委託研究「水素貯蔵材料基礎研究事業」による

Muon D2 ミュオン基礎科学実験装置 静動磁透元物

サイエンス



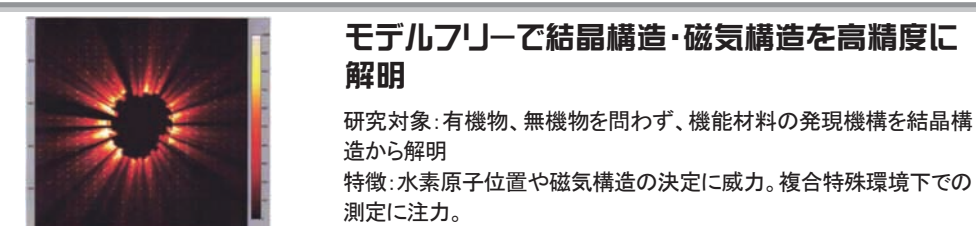
仕様



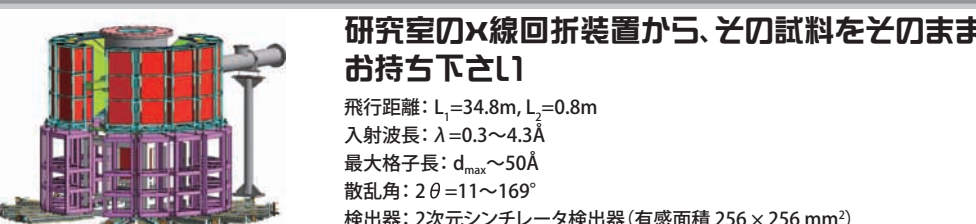
(独)新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)委託研究「水素貯蔵材料基礎研究事業」による

BL18 特殊環境微小単結晶中性子構造解析装置 千手 静動磁透元物

サイエンス



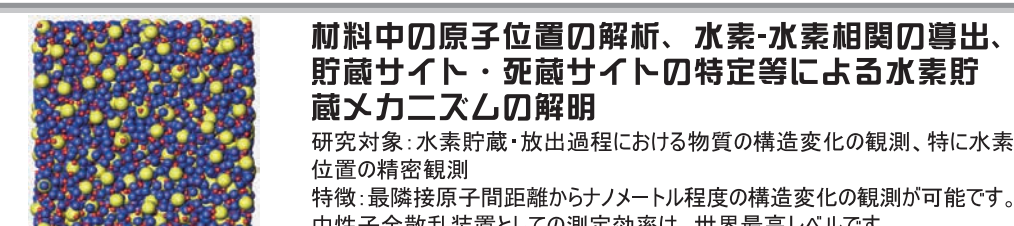
仕様



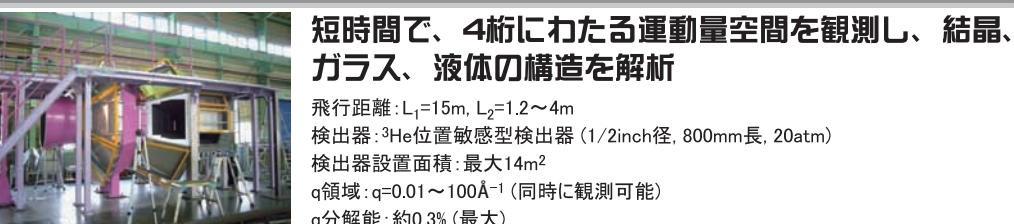
特定先端大型研究施設整備費補助金による

BL21 高強度全散乱装置 NOVA 静動磁透元物

サイエンス



仕様



(独)新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)委託研究「水素貯蔵材料基礎研究事業」による

大強度陽子加速器施設J-PARC 物質・生命科学実験施設 実験装置一覧

Catalogue of instruments

J-PARCセンター ユーザーズオフィス

〒319-1106
茨城県那珂郡
東海村白方162-1
いげらき量子ビーム
研究センター1F

TEL 029-284-3398
FAX 029-284-3286
E-mail j-uo@mlj-parc.jp

アイコンは得意分野を表します。

枠の色は
中性子のビームラインの場合は
モデレータの種類を表します。
桃: 結合型モデレータ
緑: ポイズン型モデレータ
黄: 非結合型モデレータ

青色の枠は
ミュオンのビームラインを表します。
青: ミュオンビームライン

BL01 4次元空間中性子探査装置 四季 静動磁透元物

サイエンス 格子系およびスピン系の動的性質を運動量・エネルギーの4次元空間にわたって高い効率で幅広く観測

仕様 最先端光学機器により、熱中性子領域で世界最高性能を実現するフェルミチョッパー型分光器

文部科学省科学研究費補助金 特別推進研究「4次元空間中性子探査装置の開発と酸化水素高温超伝導機構の解明」(JAEA, KEK, 東北大)による

BL04 中性子核反応測定装置 ANNNI 静動磁透元物

サイエンス 一瞬の核反応を手中に 研究対象: 中性子と原子核の反応を中性子のエネルギー毎に精密に測定し、新しい原子炉の開発や中性子科学研究を進展させる。

仕様 幅広い中性子エネルギー領域に対してγ線を高エネルギー分解能で弁別

(独)科学技術振興機構 原子システム研究開発事業「高強度パルス中性子源を用いた最新の原子炉データの研究開発」(北大, 東工大, JAEA)による

BL09 特殊環境中性子回折装置 静動磁透元物

サイエンス 蓄電池関連材料の構造科学の構築、リチウムイオン分布の精密測定 研究対象: 様々な特殊環境下における物質構造変化(蓄電池材料、機能性材料、物性物理など)

仕様 特殊環境下で高分解能及び広い領域の同時測定が可能

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」に係る共同研究による

BL12 高分解能チョッパー分光器 HRC 静動磁透元物

サイエンス 高分解能で広くエネルギー・運動量空間を探索し、物質のダイナミクスを観測 研究対象: 固体中のスピン・原子・分子の運動

仕様 eV領域の高エネルギー中性子までを利用する高分解能フェルミチョッパー型分光器

高エネルギー加速器研究機構と東京大学による共同建設

BL02 ダイナミクス解析装置 DNA 静動磁透元物

サイエンス ナノ秒領域のゆっくりとした原子・分子・スピン運動の測定により物質の機能と運動の関係を解明 研究対象: 生体高分子、ソフトマター、機能性材料中の原子運動、磁性体中のスピン運動

仕様 最先端パルス整形デバイスで革新的な測定手法を実現する新世代Si結晶アナライザ型分光器

特定先端大型研究施設整備費補助金による

BL05 中性子光学基礎物理実験装置 NOP 静動磁透元物

サイエンス 先進中性子光学を駆使して、わずかに現れる高エネルギー現象の足跡を捉える 研究対象: 中性子崩壊、散乱、干渉、回折の精密測定による素粒子標準理論(小林一益川理論)を超える新たな素粒子現象の探索、中性子光学の基礎研究及び応用研究

仕様 中性子の運動及びスピンの精密制御による高中性子輝度、低バックグラウンド環境下での超精密測定

特定先端大型研究施設整備費補助金による

BL10 中性子源特性試験装置 NOBORU 静動磁透元物

サイエンス 線源特性評価に加え、機器開発、照射、分析等、幅広い中性子利用の場を提供 研究対象: 線源の特性評価や、中性子の粒子、波、磁石としての性質を利用した非破壊の3次元イメージング

仕様 中性子イメージングに適したMLF最大のビームサイズ、メートル規模の実験装置を持ち込める装置空間と強固な遮蔽能力

特定先端大型研究施設整備費補助金による

BL14 冷中性子ディスクチョッパー型分光器 アマテラス 静動磁透元物

サイエンス 「あまねく照らす」、「あまた照らす」のアマテラスで、低エネルギーのダイナミクス解明はお任せ! 研究対象: 固体内部の格子振動や磁気励起、また、液体、高分子、電池材料、触媒内部の原子、分子の移動、拡散現象

仕様 パルス整形高速ディスクチョッパーによる大強度・低エネルギー・高分解能のディスクチョッパー型分光器

特定先端大型研究施設整備費補助金による

BL03 茨城県生命物質構造解析装置 iBIX 静動磁透元物

サイエンス 高測定効率、高分解能で生体高分子や有機分子結晶の素素・水和構造を観測 研究対象: タンパク質等の機能、化学反応に寄与する素素・水和構造の解明

仕様 広波長領域の高強度中性子源に新規開閉検出器を広い立体角に装備した単結晶飛行時間中性子回折装置

特定先端大型研究施設整備費補助金による

BL08 超高分解能粉末中性子回折装置 SuperHRPD 静動磁透元物

サイエンス わずかな構造歪みを精度良く捉え、新しい構造物性を開拓 研究対象: 最新材料開発技術により生み出される複雑な構造、複合材料、階層構造の高精度解析

仕様 「わずかな変化も見逃さない」世界最高性能の中性子回折装置、秘密は中性子の100m走

特定先端大型研究施設整備費補助金による

BL11 超高压中性子回折装置 PLANET 静動磁透元物

サイエンス 圧力による物質の構造変化を見る地球深部を分光器室内に再現する 研究対象: 高压下における水素化合物の挙動、マグマの構造、高密度液体の構造、氷惑星の内部構造

仕様 超高压状態での結晶・液体の構造解析 高波数領域までの高分解能・高効率測定

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「高圧中性子実験で極限の物質科学」(研究代表 東京大学 八木 健彦) 文部科学省科学研究費補助金 学術領域研究「強力パルス中性子源を用いた超高压物質科学の開拓」(研究代表 東京大学 藤村 正之)による

BL15 大強度型中性子小中角散乱装置 大観 静動磁透元物

サイエンス サブナノからミクロンスケールを広く見渡し、様々な物質の立体構造を解析 研究対象: 金属材料、ナノ磁性材料、ソフトマターや蛋白質およびそれらの複合体の構造解析、非平衡現象の解明

仕様 大強度パルス中性子、大立体角検出器、最先端の中性子光学素子の利用による高効率、高精度観測

特定先端大型研究施設整備費補助金による