

高エネルギー加速器研究機構(KEK)
物質構造科学研究所
Institute of Materials Structure Science



[IMSS の実績]

進歩の「礎」となってきた。

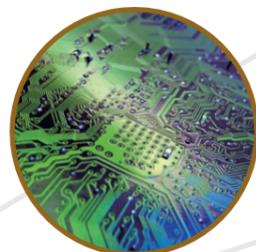
加速器の登場は“ミクロの世界”という新しい科学の領域へ踏み出すことを可能にしました。ミクロの世界では物質の構造と機能は密接に関係しています。近年急激に高機能化・薄型軽量化している電子機器の進化、タンパク質の立体構造に基づいた新薬の開発、これらはみなミクロの世界の研究から生み出されたものです。物質構造科学研究所(以下、物構研)は放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子という4種のビームを総合的に活用し“ミクロの世界”というフロンティアに挑み続けています。

【基礎研究の拠点】

「機能」を得るには、その根源となる「構造」への理解が不可欠です。基礎研究とは理論の進展や原理究明を目的とするもの。物質の構造や事象のしくみには、新素材・新機能などへ応用される可能性が秘められています。

【応用研究の拠点】

応用研究は、企業や社会の具体的な問題解決を目的に行われる研究です。物構研は、明確な目的に向かう共同研究や産学連携の拠点としても成果を上げています。



ナノテク

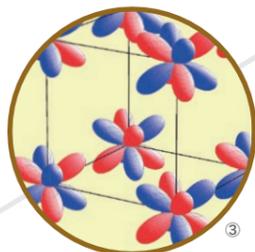
Nanotechnology

ナノ(10億分の1)メートルは原子数個分の微小な世界。たくさんの原子からできた物質とは電子のふるまいが異なり、特徴的な性質を示すことがあります。この特徴的な性質の起源を調べることで、新しいナノテク素材の開発に役立っています。



医療用画像診断法の開発

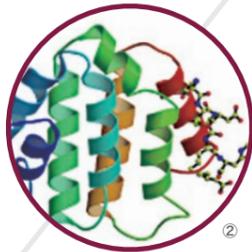
Medical Imaging



新奇秩序相

Novel Ordered State

物質の新しい状態(相)を見つけることは物質科学のフロンティアです。放射光を使って、電子の電荷やスピンのみならず軌道も秩序することを初めて見出しました。また、最近では風変わりなスピン(八極子)が秩序している直接的な証拠も初めて得ました。



タンパク質の構造解析

Protein Crystallography

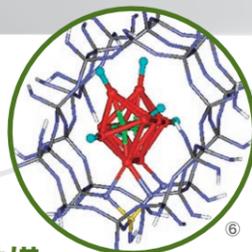
あらゆる生命活動を司るタンパク質は、アミノ酸が多数つながった鎖が複雑に折りたたまり、その複雑さゆえ構造が未解明でした。放射光施設が設立されたことで、その解明が飛躍的に進み、これまでに世界中で67,000種のタンパク質の構造が解明されました。



高温超伝導

High-Tc Superconductivity

中性子により世界で初めて構造が決定された銅酸化物超伝導体はその後、ミュオンによりキャリアドープと磁性の関係が、また放射光により電子状態の特異性が解明されました。このような研究は、超伝導体の分類や超伝導メカニズムの解明に大きく貢献しました。



触媒

Catalyst

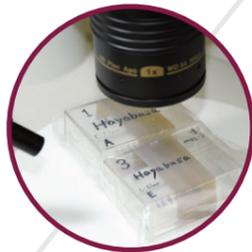
化学反応の効率を高める触媒は、化学工業や自動車などの産業にとって不可欠です。触媒の構造を調べることは、新しい触媒開発の重要な基礎であり、世界最高性能のフェノール合成触媒が持つ高い選択性の鍵が、複雑なレニウムのクラスター構造にあることを明らかにしました。



リチウムイオン電池・燃料電池

Lithium-ion Battery・Fuel Cell

軽元素の識別に優れた中性子を用いてリチウムイオン電池材料におけるリチウムの位置と性能の関係を探ったり、水素と置き換えることができるミュオンの性質を利用して燃料電池中の水素の動きをシミュレートすることにより、これら次世代電池の長寿命化や大容量化を可能にしました。



はやぶさ微粒子分析

HAYABUSA-PF

小惑星探査機はやぶさによって持ち帰られたイトカワの試料を完全非破壊で、内部に存在する鉱物の種類と存在度を放射光で分析。放射光技術は小惑星イトカワや、太陽系形成の解明にも役立っています。



非破壊多元素分析

Non-invasive Multi-element Analysis

考古学的に貴重な出土品が何からできているのかは、これを壊さずに調べる必要があります。非破壊で元素分析できる負ミュオンを用い、天保小判では表面に近いところほど金の含有率が高いことが明らかになりました。



**世界最高強度の
パルスミュオン達成**

The World-most Intense Pulsed Muon Beam

2012年11月、1パルスあたり250万個以上のミュオンを発生。これにより、物理学における基礎的研究のみならず、磁性材料、超伝導材料、燃料電池材料等の応用分野の発展につながる研究を可能にしました。

ミクロの世界を見極める
4種のビーム



放射光

Synchrotron Radiation

加速器から発生する幅広いエネルギー(波長)をもつ高輝度の光です。波長の短い光である紫外線やX線を使うと物質を構成する原子の並びや電子のふるまいを調べることができます。



中性子

Neutron

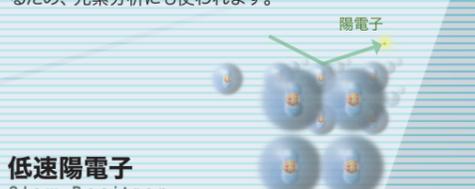
陽子加速器によって作られる中性子線は、水素やリチウムなど軽元素の構造や動きを観察するのに適しています。また、同位体と呼ばれる特殊な原子を用いて見たい箇所を着色したり、高い透過力を利用して物質の内部の構造を調べることも可能です。



ミュオン

Muon

ミュオンは、陽子加速器で造るπ中間子の崩壊によって造られます。生まれながらに磁石の性質を持つ原子サイズの方位磁針として、物質の局所磁場を調べられます。また、負ミュオンは原子に捕まると元素に特徴的な波長のX線を放出するため、元素分析にも使われます。



低速陽電子

Slow Positron

陽電子は電子の反粒子で、線形加速器の電子ビームから生成されます。陽電子は、電気的性質から物質表面近くに侵入する深さを自由に変わることができるため、最表面に対する感度が非常に高く、最表面やそのすぐ下の原子配置を精度よく決めることができます。

KEK 特別栄誉教授 アダ・ヨナット博士

ノーベル化学賞受賞

Dr. Ada Yonath, Nobel Laureate

巨大で複雑な細胞のタンパク質工場「リボソーム」の構造を解析し、2009年ノーベル化学賞を受賞。多くの抗生物質のターゲットでもあります。博士はフォトンファクトリーでその研究をスタートさせました。博士の開発した低温での結晶構造解析は、その後も多くのタンパク質の構造の解明につながりました。



Dr. Ada Yonath : Dan Porgres

【IMSSの可能性】

発展の「基」となっていく。

これまで知り得なかった事象やそのしくみを解明することが、やがて人と地球を守り、暮らしを豊かにすることに密接につながっていきます。物構研は、新しい加速器技術・ビーム技術・測定技術を磨くことにより、極限環境や超高速・超微細など、これまでに見ることのできなかった世界へ一歩踏み出していきます。あらゆる分野に新たな未来を拓ける可能性が、ここにあります。

生命

Life Science

膜タンパク質の構造・機能解析、そして創薬へ

細胞膜にある多くの種類の「膜タンパク質」は、細胞の内外の物質・情報を受け渡す重要な生命活動を担います。創薬のターゲットとしても非常に重要ですが、結晶を作るのが難しく構造解析が非常に困難です。より高輝度の光や、高感度の検出器開発などの研究開発により、微小な結晶でも解析が可能になります。

生命の動きを捉える

生物は、私たちが捉えることのできるゆっくりとした動きから、フェムト秒(1,000兆分の1秒)という速い時間の化学反応まで、幅広い時間のスケールで運動しています。葉に存在する光合成中心タンパク質は100フェムト秒で光を吸収し、光のエネルギーを化学反応に変換しています。パルスの光である放射光は、生命の動きを捉える優れた道具になります。

物質

Materials Science

エレクトロニクスを超える「スピントロニクス」

ハードディスクの小型化・大容量化を躍進させた「巨大磁気抵抗効果」は、物質の電氣的・磁氣的性質を組み合わせた「スピントロニクス」の代表です。従来のエレクトロニクスを凌駕する性能の素子が次々と実用化されています。このような特異な性質の起源解明や、薄膜の積層状態・スピンドYNAMIXを観測できる放射光のX線散乱・吸収、超低速ミュオンにより、より優れた物質の設計、デバイス化が可能になります。

物と生き物をつなぐ「ソフトマター」

大きくて複雑な分子の集合体であるソフトマターは、洗剤や化粧品から液晶ディスプレイまで、幅広い分野で利用されています。また、生き物を構成している脂質やタンパク質もソフトマターの一種です。中性子や放射光を総合的に利用してソフトマターの複雑な構造と機能の関わりを調べることはもちろん、アメーバの様にうごめく油滴など「模倣生体系」を用いて、物質と生命の関わりについても探求していきます。

地球惑星科学

Earth and Planetary Science

地球深部を調べる

地球の中は数千度・数万気圧という極限環境になっていて、人が直接観察することはできません。実験装置でそのような環境を再現し、鉱物の変化を調べることで、地球の中の様子や仕組み、ひいては地震の発生や火山の噴火を知ることができます。

地球外試料の分析

宇宙には、地球や太陽系が誕生したところからの歴史に関する情報がたくさん詰まっています。宇宙から降ってきた隕石や、探査機などによって宇宙空間で回収した試料など、少量で貴重な試料の分析には、高輝度のビームや、感度の高い測定法が威力を発揮します。

エネルギー・環境

Energy and Environmental Science

CO₂フリーなエネルギー

今、CO₂を排出せず化石燃料にも頼らないクリーンなエネルギーが着目されています。物構研では、光を電気に変える太陽電池、水素と酸素から電気を生み出す燃料電池や、その燃料となる水素を安全に効率よく貯蔵・放出する水素吸蔵合金といった材料の構造と機能の関係を明らかにし、その高機能化に役立てる研究がすすめられています。

超伝導の実用化

人類の発展とともに伸び続ける電力の需要。超伝導が実用化されれば、電気抵抗による電力のロスや発熱もなくなり、省電力につながります。これまでに銅酸化物・鉄系や有機物など新たな超伝導物質が発見されましたが、実用化には温度、素材などの課題があります。放射光、中性子、ミュオンを総合的に使い、新たな超伝導材料の研究に挑み続けています。



年間4,000名の研究者受け入れ

共同利用・人材育成

● 共同利用

物構研が所属する高エネルギー加速器研究機構(KEK)は、大学共同利用機関法人です。個々の大学では維持が難しい大型の加速器や関連設備を、国内外の大学や公的研究機関の研究者に無償で公開しています。幅広い分野の研究者に利用される物構研は、年間約4,000名の研究者を受け入れています。

【お問合せ】 研究協力課 共同利用支援室 共同利用係 ☐ kyodo1@mail.kek.jp

● 産学連携

企業の研究者と物構研職員が共同で課題に取り組む「共同利用」の制度があり、独自の成果を上げています。人材・費用・設備を提供しあい、産・学相互の長所を活かした密度の高い研究協力を行っています。

【お問合せ】 研究協力課 産学公連携・知財係 ☐ kenkyo2@mail.kek.jp

● 大学院教育

KEKは総合研究大学院大学(総研大)を支える基盤機関の一つです。物構研は高エネルギー加速器研究科・物質構造科学専攻の大学院教育を展開しています。また、総研大以外の大学の大学院生も受け入れて(特別共同利用研究員制度)、次世代を担う若い人材の育成に力を入れています。

【お問合せ】 研究協力課 大学院教育係 ☐ kyodo2@mail.kek.jp



実験施設

● 放射光科学研究施設 Photon Factory

光(Photon)の工場(Factory)の愛称で親しまれているPFリングは、軟X線から硬X線領域まで利用できる日本で初めての放射光専用光源として1982年に完成しました。数度の大改造を経て輝度を高めるとともに、最新技術の実験装置の整備により、世界最先端の研究の場を提供しています。また、PF-AR(アドバンスリング)は、世界にも類を見ない大強度パルス放射光源で、時間分解実験などに威力を発揮しています。両リング合わせて、約50の実験ステーションで実験が行われています。

● 物質・生命科学実験施設 Materials and Life Science Experimental Facility

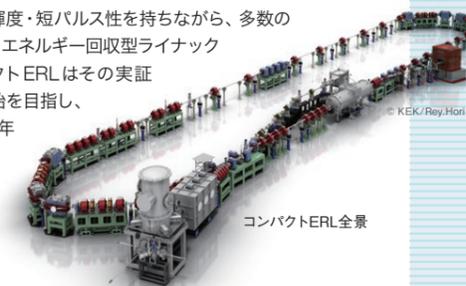
大強度陽子ビームから発生させた中性子とミュオンを利用する研究施設です。物構研では8台中性子装置群と世界最高強度のパルスミュオンビームを利用するミュオン分光器を持ち、大学・産業界への供用を行っています。また、新しい空間イメージングの手法として「超低速ミュオン顕微鏡」が現在建設中です。

● 低速陽電子実験施設 Slow Positron Facility

また低速陽電子実験施設では、電子線形加速器の電子ビームから生成された大強度低速陽電子ビームを使った物質科学の研究、特に最表面構造に関しては世界最先端の研究を行っています。

● コンパクトERL Compact Energy Recovery Linac

KEKでは現在の放射光源を凌駕する高輝度・短パルス性を持ちながら、多数のビームラインを作る次世代光源加速器、エネルギー回収型ライナック(ERL)が期待を集めています。コンパクトERLはその実証器として、2012年度末のビーム運転開始を目指し、国内外の研究者の協力のもと、2013年よりビーム運転を開始しています。



組織

物構研は、加速器を用いた物質の構造・機能の解明を目的に、国内外の研究者が共同利用すべく設立された研究機関。研究目的に応じて実験装置や測定システムを整備し、研究者に提供することがミッションです。放射光や中性子、ミュオン、低速陽電子を使い分け、原子レベルから高分子、生体分子レベルに至る幅広い物質を総合的に研究しています。物構研には研究手法ごとの研究系と、これらを横断的に活用する構造生物学研究センター、構造物性研究センター、計測システム開発室があります。

● 構造生物学研究センター Structural Biology Research Center

分子生物学や細胞生物学のみならず、分析装置開発までも含めた構造生物分野の研究開発を推進しています。また、タンパク質の構造解析に欠かせないタンパク質の結晶化やサンプルを交換するロボット、それらを統合するコラボサーバーやソフトウェアなど、研究を効率化させるための技術開発も行っています。

● 構造物性研究センター Condensed Matter Research Center

物性科学分野で重要な強相関係、表面・界面系、ソフトマター系、極限環境下物質系を対象に国内外の研究者の連携を図り、研究プロジェクトを推進しています。また、これらの研究領域をまたがる新しい研究領域の開拓も目指していきます。

● 計測システム開発室 Instrument R&D Team

計測技術研究を集約し、推進する母体として2010年4月に発足しました。KEK内外の様々な測定器開発室とのインターフェースとしても機能し、常に最先端の測定技術を追求しています。

国際協力

フォトンファクトリーでは1992年より2013年までオーストラリアビームラインが稼働し、オーストラリア研究者による第一級の研究成果の創出だけでなく、研究技術や人材育成によりオーストラリアの放射光施設Australian Synchrotronの設立に寄与しました。2009年にはインドビームラインが設置され、インドの研究者による構造解析の基礎研究の展開とともに、若手研究者育成のため、2011年より実験を開始しました。近年では、アジア・オセアニア地域の放射光連携に力を入れ、中東地域のSESAME加速器の建設、研究者の養成に協力しています。1986年から続く日英協定では、英国ISISのMARI中性子チョッパー分光器の建設、研究者の長期派遣を行い、J-PARCの中性子分光器群建設における中性子科学技術の基盤を築きました。また、スイスPSI、カナダTRIUMF研究所などもミュオンビームの高度利用実験、実験装置・解析技術の開発による研究者相互の交流を行い、国際協力のもと、基礎研究に総合的に取り組んでいます。



PFリング(手前)とPF-AR(奥)



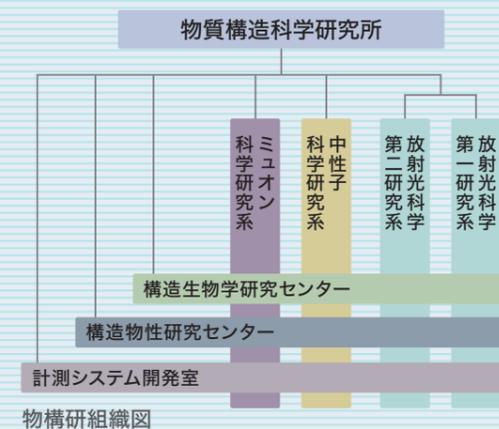
PF実験ホール



MLF外観



MLF実験ホール





● つくばキャンパス (KEK)
放射光科学研究施設 Photon Factory



● 東海キャンパス (J-PARC)
物質・生命科学実験施設 Materials and Life Science Experimental Facility



大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構 (KEK)
物質構造科学研究所

つくばキャンパス
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1
TEL.029-864-5602 (物構研事務室)

東海キャンパス
〒319-1106 茨城県那珂郡東海村大字白方203-1
TEL.029-284-4898 (物構研事務室)

<http://imss.kek.jp/>



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。