

先端基礎研究センター 新研究テーマ、研究グループ紹介

平成 22 年度より先端基礎研究センターは、以下の 3 分野、11 研究グループで新たにスタートしました。各研究グループの研究テーマを紹介します。

先端材料の基礎科学	重元素領域における 原子核科学と物性科学	放射場と物質の相互 作用に関する基礎科学
<ul style="list-style-type: none"> 量子物性理論研究グループ 分子スピントロニクス研究グループ 力学的物質・スピン制御研究グループ 	<ul style="list-style-type: none"> 重原子核反応フロンティア研究グループ 超重元素研究グループ アクチノイド物質開発研究グループ 重元素系固体物理研究グループ 	<ul style="list-style-type: none"> ハドロン物理研究グループ バイオアクチノイド化学研究グループ 放射場生体分子科学研究グループ スピン偏極陽電子ビーム研究グループ

電子の内部自由度が織り成す物性の探究

量子物性理論研究グループ 森 道康

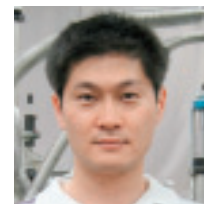


物質を構成する原子の組み合わせを選ぶことにより、あるいは物質を微細加工することにより、量子現象を巨視的スケールの物性に引き出すことが出来ます。銅酸化物や金属・合金に現われる超伝導現象はその代表例です。また、金属人工格子や遷移金属酸化物に現われる異常物性もその1つと言えます。そこでは、電子の持つ電荷、スピン、軌道といった内部自由度が複雑に絡み合っており、電子は互いに強く相互作用しています。私たちは、これら電子の内部自由度と電子間の強い相互作用が織り成す物性の解明を探求しています。様々な数値計算手法を用いてデバイスの新原理や新機能を提案すると共に、そこで求められる新機能材料の創出とそれに関わる新しい物理学的概念への到達を目指しています。

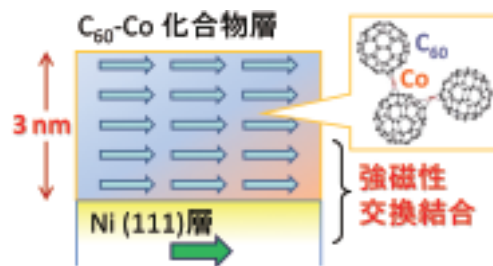


分子・ナノ炭素のスピンを操る ～スピン輸送過程の解明と制御～

分子スピントロニクス研究グループ 境 誠司



グラフェンやフラーレンなど分子・ナノ炭素は、電子デバイスの新素材として大きな注目を集めています。私たちは、分子・ナノ炭素のスピンロニクスへの応用の開拓を目標に研究を行っています。分子・ナノ炭素の特徴は、炭素などの軽元素からなる軌道が伝導を担うため内部を流れるスピンの散乱が生じ難いこと、電界等によりスピンの流れをコントロールできることです。これらの特徴を活かすことで、長距離のスピン輸送媒体やスピントランジスタなどの機能性スピントロニクスデバイスが実現できます。私たちは、放射光分光など最先端の分光手法を駆使しながら、分子・ナノ炭素やそれらと磁性電極の界面が関与するスピン輸送過程の解明と制御の実現を目指します。



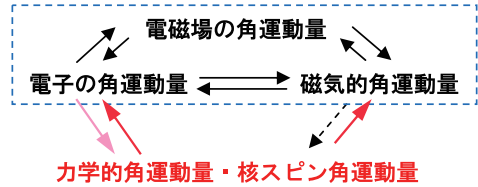
放射光分光により、フラーレン基物質 (C₆₀-Co 化合物) と強磁性金属 (Ni (111)) の層間に働く強磁性的な相互作用 (交換結合) を発見

新たなスピントロニクスの開拓 ～力学的角運動量・核スピン運動量との融合～

力学的物質・スピン制御研究グループ 齊藤 英治



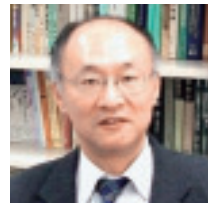
電子の電荷ダイナミクスと電子スピン、核スピン、力学的運動、熱との間の角運動量交換の基礎物理の構築、及びこれらの相互作用がもたらす新しい電子物性の基礎研究により、電子の有する二つの自由度である電荷とスピンの両者を積極的に利用した新しく有用なエレクトロニクスを開拓します。このような電子スピンの積極的利用に基づく電子技術は「スピントロニクス」と呼ばれており世界中で精力的な研究が行われていますが、私たちは原子力機構の環境を活用し、先端基礎研究センター内にノウハウの蓄積された高速回転技術、アクチノイド利用技術、核磁気共鳴技術に立脚した特徴ある研究を行なうことにより、高効率なスピン流生成及び変換、力学的効果の開拓、及び核スピントロニクス効果の実現を目指します。



力学的角運動量・核スピン角運動量と融合した新しいスピントロニクスの開拓
(写真は高速回転装置)

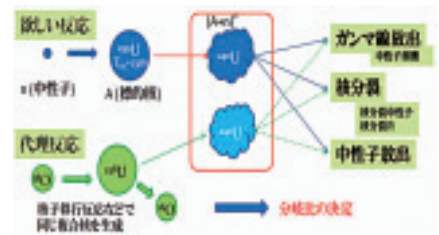
核子移行反応による重原子核反応特性の解明 ～代理反応により不安定原子核の反応を理解する～

重原子核反応フロンティア研究グループ 千葉 敏



理工学の多くの分野において、天然に存在しない不安定な原子核が重要な役割を果たしています。原子力分野では、ウランやプルトニウムなどの元素から中性子捕獲とβ崩壊の連鎖で重い元素が生成されます。また、核分裂で発生する放射性核分裂生成物の中には半減期の長い原子核が存在し、廃棄物処理上の重要課題となっています。

私たちは、これら不安定な原子核の中性子反応断面積や核分裂中性子数等を測定する代理反応の物理的基礎付けを行うことを目的としています。代理反応は不安定原子核が中性子を吸収して生成する複合核を別の反応を用いて生成し、その崩壊率を測定することで中性子断面積を決定する新規な手法です。これは、重原子核の反応、構造の問題としてそれ自身がチャレンジングであると共に、これまで不可能だった種々の研究の定量化・精密化が可能になると期待されます。



代理反応では、例えば ^{239}U (半減期 23 分) の中性子断面積を測定するために、 $^{238}\text{U}(^{18}\text{O}, ^{16}\text{O})^{240}\text{U}$ 反応によって同じ複合核 ^{240}U を生成し、それが核分裂によって崩壊する割合を測定する。

超重元素の化学的・核的な振る舞いを探る ～最も重い元素群の素顔に迫る～

超重元素研究グループ Matthias Schädel



元素の周期表の末端に位置し、天然には存在しない最も重い元素群である超重元素の探索と、その未知なる性質を探求することは、科学における最も基本的な問いです。しかし、原子核として存在できる限界に近い超重元素は、数分以下の短い寿命でしか存在できず、また唯一の合成法である加速器を利用した重イオン核反応による生成量も極めて少ないため、我々が実際に扱うには、ほぼ1原子を対象に迅速に分離・分析して化学的あるいは核的性質を決定することが必要です。私たちは、このような超重元素の化学的な振る舞いを、化学結合に大きく影響する価電子に着目しシングルアトムレベルで解明する研究や、超重元素の安定性や存在限界と密接に関連する原子核の殻構造を明らかにしていく研究を、世界に先駆けて展開しています。

元素の周期表

超重元素

元素の周期表と研究対象としている超重元素

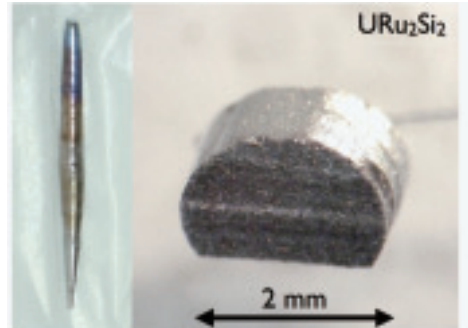
アクチノイド新物質が切り拓く物質科学

アクチノイド物質開発研究グループ

Zachary Fisk



アクチノイド元素は、周期表の最下部に位置する重元素です。この中で、ウラン及びプルトニウムは核燃料として用いられる重要な元素です。一方、アクチノイド元素は、学問的にも興味深い元素群です。Pu 単体金属が持つ極めて対称性の低い結晶構造、異常に低い融点 (640°C) 及び多段の構造相転移は、他の元素には見られない著しい特徴であり、異方的な電子軌道 (5f 電子) がアクチノイド金属の構造安定性に深く関わっていることがわかります。これらの元素が固体中に置かれた時、5f 電子はその環境に応じて様々な挙動を示す事が期待されます。私たちは、新規物質開発及び超高圧による物性制御を用いてアクチノイド 5f 電子系の新たな物理現象の発見を目指すとともに、よく制御された超高純度試料の調製及び物性測定により、その本質を解明します。



ウラン化合物超伝導体 URu₂Si₂ の超高純度単結晶

重元素化合物の未知の超伝導と磁性

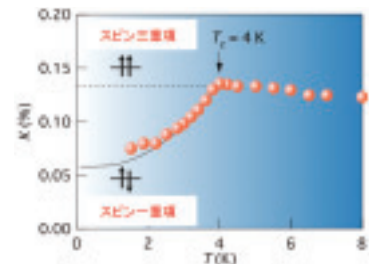
～最先端物性測定で解き明かす～

重元素系固体物理研究グループ

神戸 振作



周期表の最後の2列を形成する重元素のなかにランタノイド元素系列とアクチノイド元素系列があります。特にアクチノイド元素(U, Np, Puなど)は高い放射性を持つため、国内では原子力機構しか多量に取り扱えません。最近、これらの元素からなる化合物のなかに、非常に低い温度(-270°C程度)で不思議な超伝導や磁石になるものがあることが明らかになってきました。私たちは、最先端の物性測定装置(核磁気共鳴法、J-PARC ミュオン回転法)を用いて、この新しい状態の物性を解明していきます。例えば、新しい超伝導体 NpPd₅Al₂ では温度 4K (-269°C) で超伝導になると核磁気共鳴法で見た磁性(ナイトシフト K)が減少することから、超伝導電子スピンの状態であることがわかります。私たちは、より高い臨界温度の超伝導体の設計にもつながる超伝導を起こす新しいメカニズムの発見・提案を目指します。



新しい超伝導体 NpPd₅Al₂ では温度 4K (-269°C) で超伝導になると核磁気共鳴法で見た磁性(ナイトシフト K)が減少する。

ハドロン物理の研究 ～新しい原子核とハドロンの発見をめざして～

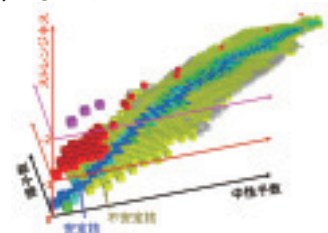
ハドロン物理研究グループ

今井 憲一



通常の原子核は陽子と中性子から構成されますが、ストレンジネスの自由度をもつラムダ粒子などのハイペロンまで含めると図に示すように原子核の世界は大きく広がります。私たちの研究の目標はこの原子核世界のフロンティアで新しいハイパー核を発見してその性質を調べることです。それによって中性子星の内部構造や核力の起源を明らかにするとともに原子核物理のより深い理解をめざします。ハイパー核を作るという点では J-PARC は世界最強の加速器です。大強度の K 中間子などのハドロンビームと新しい検出器の開発によって世界をリードする最先端の核物理研究が可能となります。

通常のハドロンはクォーク3つからなる陽子や中性子などのバリオン(重粒子)とクォークと反クォークからなるメソン(中間子)に分類されます。しかしクォーク4つのテトラクォークや5つのペンタクォークの存在が最近示唆されています。私たちは J-PARC のハドロンビームを使ってこれらの新しいハドロンの発見もめざしています。



ストレンジネスの自由度を考えると原子核世界は3次元にひろがる。S=-2の原子核にはグザイ核やダブルハイパー核があるが、まだほとんど見つかっていない。

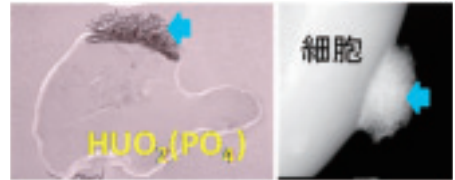
微生物の不思議な力に迫る

～バイオ反応場におけるアクチノイド元素のナノ粒子生成機構の解明～

バイオアクチノイド化学研究グループ **大貫 敏彦**



微生物と水溶液中に溶解した元素とが相互作用する細胞表面(バイオ反応場)は、元素の化学状態を変化させる新規の機能発現が期待される未知の反応場です。バイオ反応場にはタンパク質、脂質、糖鎖などの生体分子が存在します。多様な原子価状態を持ち多岐に渡る化学種を形成するアクチノイドは、生体分子の特異な機能を発現させる可能性があります。私たちは細胞表面あるいは細胞内でPb、U、PdやPtがナノ粒子化することを見出しました。アクチノイドのナノ粒子生成機構を生体分子レベルで解明したいと考えています。そのため、バイオ反応場のアクチノイド等の化学状態を放射光や最新の透過電子顕微鏡などを用いた微視的先端解析手法により明らかにするとともに、中性水溶液中におけるアクチノイドの錯体化学、酸化還元、溶解度など熱力学による解析を行います。



酵母表面に生成したウラニルリン酸塩鉱物(左: 矢印)及び希土類元素リン酸塩鉱物(右: 矢印)。細胞表面に吸着したウラン及び希土類元素と細胞内から排出されたリン酸との反応による鉱物化。

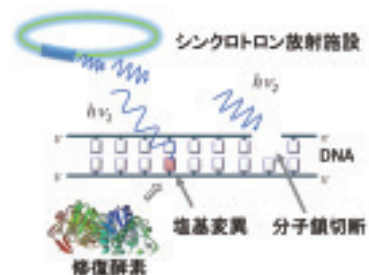
複雑な生体分子システムに挑む

～放射場におけるゲノム変異と生体修復の境界で～

放射場生体分子科学研究グループ **横谷 明德**



私たちは、生命科学と物理学の両分野を総合することで、複雑な生体分子システムに特異的な新しい現象を探索します。特に、放射場中に置かれたDNAなどの生体分子の構造変異の起点となる複雑高分子システム内における電荷の局在性、あるいは電子・ホール移動など物理的なプロセスに主眼をおいた研究を行います。SPring-8のシンクロトロン軟X線を利用し、光吸収部位を選択した上で電子常磁性共鳴測定やX線吸収分光・電子分光などの物理測定を行い、その複雑分子システムの物性を明らかにして行く予定です。これと並行して、分子変異に対する細胞中での修復タンパク質の作用機序の研究を行い、“生物らしさ”を特徴づける非線形な生物応答の起源を探索します。非平衡開放系における多要素の反応の特徴を明らかにするとともに、将来はJ-PARCを利用した複雑分子系の構造形成に関する新しい研究テーマの開拓も視野に入れた研究を展開する予定です。



シンクロトロン軟X線による選択的なDNA変異と生体修復

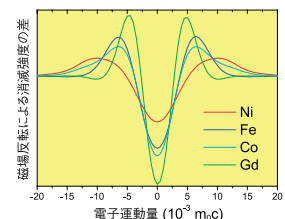
陽電子ビームを用いた新たな物性研究

～高性能な陽電子ビームで物質の構造、電子状態、スピン状態を解明する～

スピン偏極陽電子ビーム研究グループ **河裾 厚男**



放射線技術の開発とそれらを用いた基礎研究は、原子力科学の一翼を担うものです。私たちは、新しい陽電子ビーム技術を開発し、その放射線プローブとしての潜在能力をフル活用した最先端の物性研究を展開しています。現在、私たちは、陽電子による磁性材料の研究を目指して、世界に先駆けてスピン偏極陽電子ビームの開発を行っています。核反応を利用した偏極度の高い陽電子源を開発するとともに、スピン回転特性の制御や磁場中での陽電子消滅測定を行い、スピン偏極陽電子ビームの有用性を実証したいと考えています。これらに加え、これまで開発した陽電子ビーム技術を用いた研究として、全反射陽電子回折による最表面低次元物質の金属絶縁体転移現象と巨大磁気効果の研究、そして、陽電子顕微鏡による原子力ステンレス鋼の応力腐食割れ現象の研究を進めています。



Fe, Co, Ni及びGdについて計算された電子運動量分布(陽電子とある運動量の電子との消滅強度)の磁場反転による強度差(磁場反転非対称性)である。磁性体のように偏極電子が含まれている体系では、時間反転対称性が破れるため、このような磁場反転非対称性が現われる。