

中性子科学研究施設

Neutron Science Laboratory

中性子は透過力に優れ、微小磁石の性質を持つので、原子の中心にある原子核やその周りにある電子のつくる磁場と力を及ぼし合う。この性質を利用して物質による中性子の散乱のされ方を測定し、物質内の原子や磁気モーメントの配列や運動の様子を知る実験方法を「中性子散乱」という。物性研究所の中性子科学研究施設では主に日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 に設置された分光器を用いて、中性子散乱実験による物性研究のための全国共同利用を推進してきた。さらに、2009 年に本格稼働した大強度陽子加速器施設 J-PARC においては、最新のチョッパー型分光器 HRC を用いた共同利用の推進を行っている。当施設が実施する全国共同利用により、高温超伝導体の研究、フラストレートした磁性体や重い電子系、低次元磁性体等の様々な磁性体の研究をはじめとして、複雑凝縮系の化学物理、高分子やコロイドの構造や相転移、生体物質の高次構造と機能の研究、などハードマテリアルからソフトマテリアルまで含む幅広い物質や材料の基礎研究が中性子散乱を用いて盛んに行われている。また、当施設は日米協力事業「中性子散乱分野」の実施機関としても活動し、我が国の中性子散乱研究の発展に貢献している。

Since 1961, the ISSP has been playing a central role in neutron scattering activities in Japan not only by performing its own research programs but also by providing a general user program for the university owned various neutron scattering spectrometers installed at the research reactor of JAEA (Tokai). In the JRR-3 reactor (20MW), the university group owns 14 spectrometers, and the Neutron Science Laboratory (NSL) is conducting the general user program. Furthermore the NSL owns state-of-art inelastic neutron scattering spectrometer HRC in J-PARC which started its operation in 2009. Major research areas supported by NSL user program are solid state physics (strongly correlated electron systems, high- T_c superconductors, heavy fermion systems, low dimensional magnetism, high-pressure physics, etc.), fundamental physics and neutron beam optics, structure and phase transitions of polymers, gels, and colloidal systems, physical chemistry of complex condensed matter, structure and functions of biological systems, and material sciences. The NSL also operates the U.S.-Japan cooperative program on neutron scattering, and supports the development of the neutron-beam-based material sciences in Japan.

教授 (施設長) 柴山 充弘
Professor (Director) SHIBAYAMA, Mitsuhiro

教授 吉澤 英樹
Professor YOSHIZAWA, Hideki

教授 山室 修
Professor YAMAMURO, Osamu

准教授 益田 隆嗣
Associate Professor MASUDA, Takatsugu

教授 (客員) 高見澤 聡
Visiting Professor TAKAMIZAWA, Satoshi

助教 古府 麻衣子
Research Associate KOFU, Maiko

助教 左右田 稔
Research Associate SODA, Minoru

助教 リ シャン
Research Associate LI, Xiang

技術専門職員 浅見 俊夫
Technical Associate ASAMI, Toshio

技術専門職員 杉浦 良介
Technical Associate SUGIURA, Ryosuke

技術専門職員 川名 大地
Technical Associate KAWANA, Daichi

係長 木船 聡
Administrative Secretary KIFUNE, Satoshi

特任研究員 秋葉 宙
Project Researcher AKIBA, Hiroshi

特任研究員 浅井 晋一郎
Project Researcher ASAI, Shinichiro

特任研究員 中尾 俊夫
Project Researcher NAKAO, Toshio

特任研究員 萩原 雅人
Project Researcher HAGIHARA, Masato

特任研究員 守島 健
Project Researcher MORISHIMA, Ken

特任研究員 吉田 雅洋
Project Researcher YOSHIDA, Masahiro

学振特別研究員 中川 慎太郎
JSPS Research Fellow NAKAGAWA, Shintaro

特任研究員 秋葉 宙
Project Researcher AKIBA, Hiroshi

特任研究員 浅井 晋一郎
Project Researcher ASAI, Shinichiro

特任研究員 中尾 俊夫
Project Researcher NAKAO, Toshio

特任研究員 萩原 雅人
Project Researcher HAGIHARA, Masato

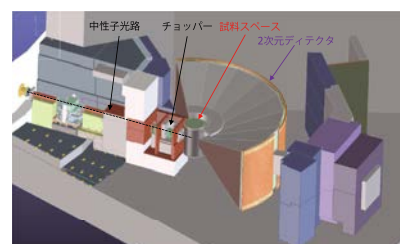
特任研究員 守島 健
Project Researcher MORISHIMA, Ken

特任研究員 吉田 雅洋
Project Researcher YOSHIDA, Masahiro

学振特別研究員 中川 慎太郎
JSPS Research Fellow NAKAGAWA, Shintaro

大強度陽子加速器施設 J-PARC に設置された高分解能チョッパー分光器 (HRC)。50Hz で発生する白色のパルス中性子は、中性子光路を通りチョッパーで単色化された後、試料で散乱され、2 次元ディテクタで検出される。ディテクタでは全てのエネルギーの中性子をもれなく測定するため、効率的なデータ収集が可能となっている。

High resolution chopper spectrometer installed in J-PARC. A white pulsed neutron beam generated with the frequency of 50 Hz propagates inside the neutron beam guide. The beam is monochromated by the Fermi chopper, scattered by the sample, and detected by 2-dimensional detectors. The detectors detect all the scattered neutrons with all the energy, which makes the data acquisition drastically efficient.

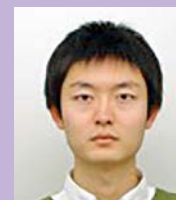


柴山研究室

Shibayama Group



柴山 充弘
SHIBAYAMA, Mitsuhiko
教授
Professor



リ シャン
LI, Xiang
助教
Research Associate

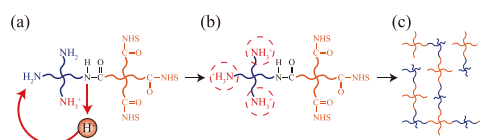
ソフトマターとは、我々の身の回りの物や生体物質を構成する「柔らかい」物質・材料のことである。磁性体や超伝導物質などのハードマターでは超高压や極低温という極限環境において特異的な物性を示すのに対し、ソフトマターでは常温・常圧付近で興味深い物性を示し、多様な機能を果たす。我々の研究室ではソフトマターの本質である—分子結合相関系—の学問的体系化を目指している。最近では、ゲルの相分離・相転移、不均一性の研究などのほか、驚異的な力学物性をもつさまざまな高強力ゲルの開発と構造解析・物性研究、流動場におけるミセルの物性と構造相関、イオンゲルの開発と構造解析・物性評価、超均一ゲル網目の調製と構造・物性評価、熱硬化性樹脂の高性能化のための構造解析や分子動力学シミュレーション、などを行っている。

世界有数の二次元位置測定小角中性子散乱 SANS-U を中心に、静的動的散乱装置 (SLS/DLS ALV-5000)、力学・熱物性測定装置、レオメーターなどを用いて、ソフトマターのナノオーダーの構造解析、ナノ秒から数千秒までのダイナミクスをカバーした幅広い研究を展開している。

Soft matter undergoes various transitions in response to a slight change of an environmental variable. We investigate the relationship of the structure and dynamics of soft matter, such as polymer gels, nanoemulsion, and micelles. The aims of our research are systematization of “molecular-bond correlated systems”. Concurrently, we explore various applications of soft matter on the basis of the physics of soft matter.

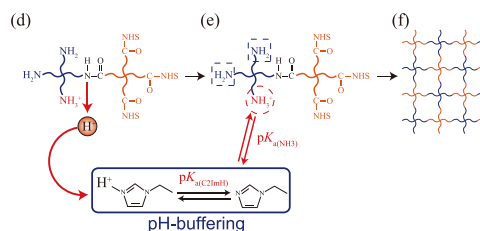
Nano-order structure investigations and studies on dynamics of soft matter are carried out with state-of-the-art equipments, SANS-U, a small-angle neutron scattering instrument (upgraded in 2010). Other techniques, such as dynamic/static light scattering, microscopy, mechanical/thermal analyses, and rheological studies, are also employed. Current interests cover (1) inhomogeneities in polymer gels, (2) structural characterization and studies on deformation mechanisms of high-performance polymer gels, (3) rheo-SANS of nanoemulsion and micelles, and (4) development of ion-gel and structural analyses, (5) fabrication of uniform-polymer networks and their structure/property characterization, (6) development of high-performance thermoset polymers by structure-designing and molecular dynamics simulations.

Neat IL system

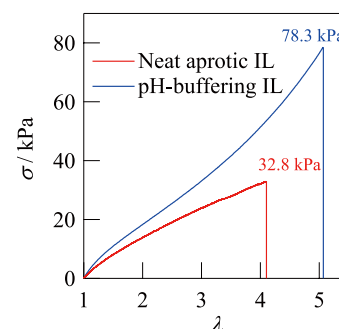


4 分岐ポリエチレングリコール (Tetra-PEG) イオンゲルの合成スキーム。イオン液体系で pH を一定にする pH バッファーを開発し、その存在下でイオンゲルを合成すると、欠陥のない理想的網目構造ができることを発見した。

pH-buffering IL system



Synthesis scheme of four-arm polyethylene glycol (Tetra-PEG) ion gels. We developed pH-buffer which regulates the pH in ionic liquid system. By using it, we succeeded in fabrication of ideal polymer networks free from network defects.



pH バッファーが無い場合と有る場合で作成した Tetra-PEG イオンゲルフィルムの力学試験比較。pH バッファーが有る場合のフィルムは破断伸び λ_{\max} 、破断強度 σ_{\max} のいずれにおいても、pH バッファーが無い場合より遙かに優れた値を示している。

Comparison of the mechanical properties of Tetra-PEG ion gel films prepared without (Neat aprotic IL) and with (pH-buffering IL) pH-buffering ionic liquid (IL). σ and λ denote the mechanical stress and elongation ratio, respectively.

研究テーマ Research Subjects

1. 均一高分子ゲルの精密合成とその構造解析および物性評価
Structure and physical properties of uniform polymer gels
2. イオンゲルの開発と構造解析
Development of ion gels and structural characterization
3. 多分岐界面活性剤集合体の水中での構造形成とレオロジー特性
Structure formation and rheological properties of multi-arm surfactant assemblies in aqueous solutions
4. 散乱法による熱硬化性樹脂の構造解析と分子ダイナミクスシミュレーション
Structural analyses and molecular dynamics simulation of thermoset polymers

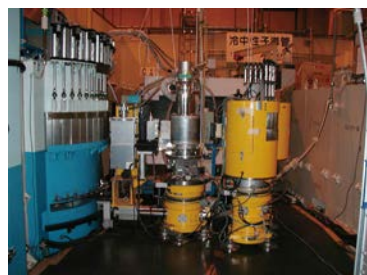
吉澤研究室

Yoshizawa Group



吉澤 英樹
YOSHIZAWA, Hideki
教授
Professor

遷移金属酸化物の示す金属・絶縁体転移はスピン・電荷・格子・軌道状態などが密接に関連して生じる現象として盛んに研究されてきている。当研究室では大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の加速器や日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究炉で発生される中性子ビームを用いて中性子散乱と呼ばれる研究手法により、遷移金属酸化物の示す電荷・軌道秩序や磁性および構造相転移と電気伝導との関連などを系統的に研究している。左下の図は日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究炉に設置された物性研究所の中性子分光器の1台である。中性子散乱実験では、このような分光器を使用して物質の非弾性散乱スペクトル等を測定する。右下の図は高温超伝導銅酸化物の一つである $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ と同型の結晶構造を持つ $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ 系において観測されるストライプ秩序のドーピング濃度依存性を $x = 1/2$ までの高ドーピング領域まで測定した結果をまとめたストライプ秩序の形成温度とストライプ秩序のストライプの間隔のホール濃度依存性である。ストライプ秩序の形成温度は $x = 1/3$ で極大を示したあと減少に転ずる。また、 $x = 1/2$ 以上のさらに高ドーピング濃度領域では次第に電気抵抗が減少し $x \sim 0.9$ 付近で絶縁体―金属転移を示す。最近の J-PARC のパルス中性子分光器を用いたスピンドYNAMIKSの研究により 2 次元層状 Ni 酸化物のスピンドYNAMIKS は、 $x = 1/2$ 以下のストライプ相と $x = 1/2$ 以上の市松模様型電荷秩序相において定性的に振る舞いが異なっていることを見だし、そのような特異なスピンドYNAMIKS と輸送現象の関連についてさらに詳しい研究を行っている。



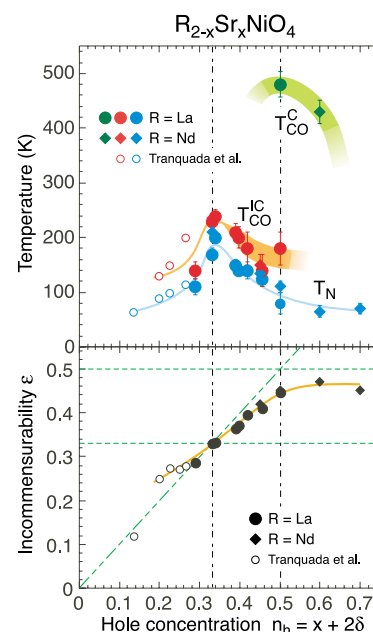
日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究炉 JRR-3 に設置された物性研究所の 3 軸型中性子分光器。

Triple-axis spectrometer installed at the JRR-3 in the Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki.

高温超伝導を示す銅酸化物の一つである $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ と同型の結晶構造を持つ $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ の系において観測されたストライプ秩序のドーピング濃度依存性。ストライプ秩序の転移温度と付随した磁気秩序の転移温度は $x = 1/3$ で極大を示したあと減少に転ずる。さらに高ドーピング濃度領域では、次第に金属的となり、 $x \sim 0.9$ 付近で絶縁体金属転移を示す。

Doping dependence of the stripe ordering in highly-doped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$, which is an isomorphous compound of one of High T_c cuprate superconductors $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$. Unlike the expectation from the previous studies, the transition temperatures of the stripe charge and spin orderings exhibit the maximums at $x = 1/3$, and decreases above $x = 1/3$. The periodicity of the stripe order is approximately linear in x , but levels off beyond $x = 1/2$. The system gradually becomes metallic and shows the insulator to metal transition near $x \sim 0.9$.

Metal-insulator transition in transition-metal oxides has drawn much attention because such a phenomenon reflects interplay among spin, charge, lattice, and orbital degrees of freedom. Our group has been studying their behavior by neutron scattering technique with use of pulse and steady-source neutron beams, and the triple axis neutron spectrometer owned by the ISSP is shown in the left bottom figure. The hole-doping dependences of the incommensurability and the transition temperature of the stripe ordering for hole concentration x up to $x = 0.5$ have been observed in the highly-doped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ which is one of the isomorphous compounds of the High T_c cuprate superconductors. The ordering temperatures of the stripe charge as well as spin orderings have the maxima at $x = 1/3$, and they decrease beyond $x = 1/3$. Beyond $x = 1/2$, the Ni system gradually becomes metallic and show the insulator to metal transition at $x \sim 0.9$. Our recent pulse neutron studies on the Ni system revealed that the characteristics of the spin dynamics changes at $x = 0.5$, and further detail studies of such unusual spin dynamics and their relation to the transport properties are now ongoing.



研究テーマ Research Subjects

1. 遷移金属酸化物が示す金属・絶縁体転移や、その際に出現する磁気秩序・電荷秩序・軌道秩序などの中性子散乱による研究
Neutron scattering study of metal-insulator transition, magnetic ordering, charge/orbital orderings in transition-metal oxides
2. 中心対称性の欠損した超伝導体における磁気秩序とスピンドYNAMIKSの研究
Neutron scattering study of spin structure and dynamics in noncentrosymmetric magnetic superconductors

山室研究室

Yamamuro Group

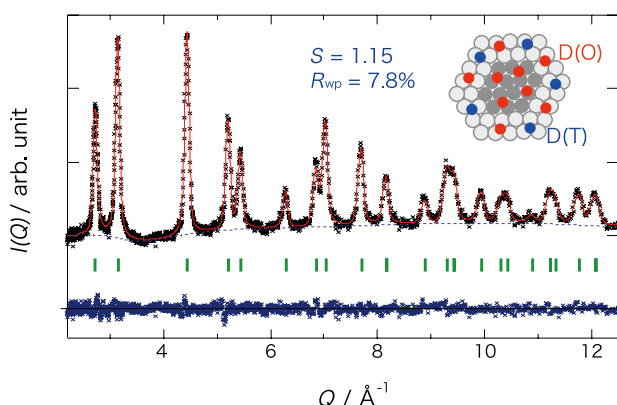


山室 修
YAMAMURO, Osamu
教授
Professor



古府 麻衣子
KOFU, Maiko
助教
Research Associate

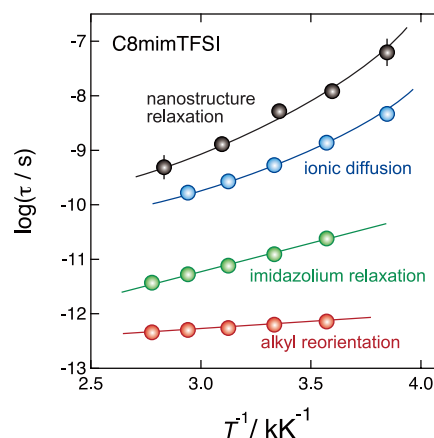
本研究室では複雑凝縮系の化学物理を研究している。現在の主な対象は、ガラス・過冷却液体、水およびその関連物質、イオン液体、水素吸蔵金属ナノ粒子である。ガラス転移は液体が構造変化を起こさずに固化する不思議な現象であり、物性物理学の長年の大問題の一つである。水は最も身近な物質の一つであるが、水素結合が織りなす様々な特異物性を示す。イオン液体では、静電力とファンデルワールス力の競合から、ナノドメイン構造や階層的ダイナミクスが現れる。金属ナノ粒子中の水素原子は、表面効果によりポテンシャル面が歪められるため、バルクでは見られない特異な構造やダイナミクスを示す。これらの物質に対して、中性子散乱、X線回折、熱容量、誘電緩和などを測定し、構造・ダイナミクス・熱力学の3視点から、複雑な物質に内在する単純(?)な法則を明らかにすることを目指している。



パラジウム重水化物ナノ粒子 ($\text{PdD}_{0.36}$) の中性子回折パターンとリートベルト解析結果。ナノ粒子の表面付近では、D原子は正8面体サイト (バルクではこのサイトのみ) だけでなく正4面体サイトにも存在することが分かった。

Neutron powder diffraction pattern and the result of the Rietveld analysis for nanoparticles of palladium deuteride ($\text{PdD}_{0.36}$). We found that D atoms occupy not only the O sites (only this site for bulk samples) but also the T-sites at around the surface of the nanoparticles.

We are studying chemical physics of complex condensed matters, especially glasses and supercooled liquids, water and related materials, ionic liquids, and nanoparticles of hydrogen storage metals. Glass transition is a mysterious phenomenon in which liquids solidify without structural change. This is one of big and long-standing issues in physics. Water, which is the most familiar material for us, exhibits various unique phenomena caused by hydrogen bonds. Ionic liquids have nanometer-size domains and hierarchical dynamics generated by competing electrostatic and van der Waals interactions. Hydrogen atoms in metal nanoparticles give rise to unusual structure and dynamics caused by the surface effects and resultant distorted potential energy surfaces. These substances are investigated by neutron scattering, x-ray diffraction, heat capacity, and dielectric measurements. Our aim is to find simple (?) rules involved in complex systems from the three different points of view, i.e., structure, dynamics, and thermodynamic.



イオン液体 C8mimTFSI の緩和マップ。これらの緩和時間は3台の分光器による中性子準弾性散乱実験により決定された。4つの異なる緩和モードが1 ps から100 ns の広い時間領域に存在している。

Overall relaxation map of C8mimTFSI. These relaxation times were determined by quasielastic neutron scattering experiments using 3 spectrometers. Four different relaxation modes exist in a wide time range between 1 ps and 100 ns.

研究テーマ Research Subjects

1. ガラス転移、ボゾンピークなどの不規則凝縮系のダイナミクス
Dynamics of disordered condensed systems, such as glass transitions and boson peaks
2. 水および関連物質 (含水多孔性結晶など) の構造とダイナミクス
Structure and dynamics of water and related materials such as hydrated porous crystals
3. 常温イオン液体の熱力学的性質とダイナミクス
Thermal and dynamical properties of room-temperature ionic liquids
4. 水素吸蔵固体の熱力学的性質とダイナミクス
Thermal and dynamical properties of hydrogen storage solids

益田研究室

Masuda Group



益田 隆嗣
MASUDA, Takatsugu
准教授
Associate Professor



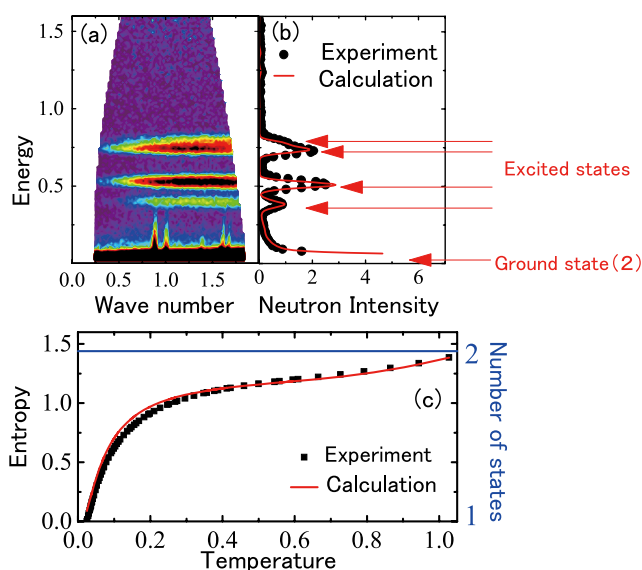
左右田 稔
SODA, Minoru
助教
Research Associate

本研究室は、低次元スピン系やフラストレーション系などにおける新しい量子現象・量子状態を実験的に発見することを目指している。強い量子性や幾何学的フラストレーションは、自明な古典的秩序状態を阻害し量子状態が基底状態となる上に、小さな摂動に敏感なため、低次元スピン系やフラストレーション系は量子現象開拓のフロンティアとなっている。我々は、スピン液体、RVB、キューボック構造等、新しい磁気状態の研究と、マルチフェロイック系やリラクサー磁性体などにおける、新しい電気磁気効果の研究を行っている。図 (a),(b) はブリージングパイロクロア反強磁性体の $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ の中性子スペクトルであり、解析により擬二重縮退した基底状態が示された。図 (c) のエントロピーは、極低温では一つの状態が選択され新しいスピン液体が実現している様子を示している。

One of the research goals in our group is to find a novel quantum phenomenon and to reveal its mechanism in low-dimensional spin magnets and frustrated magnets. Strong quantum fluctuation or geometrical frustration disturbs the development of trivial magnetic states and induces a non-trivial quantum state. Furthermore such a state is sensitive to a small perturbation and, thus, the area is frontier of quantum phenomena. Our research topic includes spin liquid, RVB, Cuboc structure, etc. Another goal is to observe a new magnetoelectric effect in multiferroic compounds and/or relaxor magnets. Figures (a) and (b) show neutron spectra of breathing pyrochlore antiferromagnet $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ and the analyses reveal that the ground state is quasi-doublet. In the measured entropy in Fig. (c) we observe that unique ground state is selected and a novel spin liquid is realized at very low temperature.

$\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ の中性子スペクトルとエントロピー。(a) 温度 1.5K で測定された中性子スペクトル。(b) 安定状態と励起状態のエネルギー分布。(c) エントロピー変化の様子。絶対温度 0 度に向かってエントロピーが 0 に向かい、状態の数が 2 つから 1 つに減っていく様子が観測された。

Neutron spectrum and entropy of spin frustrated magnet $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$. The energy distribution of ground and excited states can be seen in neutron spectra in the panel (a) and (b). With decrease of temperature to absolute zero entropy approaches to zero in the panel (c) and accordingly the number of states changes from two to one.



研究テーマ Research Subjects

1. 量子磁性体及びフラストレート磁性体の磁気構造と磁気励起
Magnetic structure and excitations in frustrated magnets and quantum magnets
2. マルチフェロイクス
Multiferroics
3. 酸素超結晶の磁気励起
Magnetic excitation in supercrystal of oxygen molecule in nanoporous metal complex

高見澤研究室

Takamizawa Group



高見澤 聡
TAKAMIZAWA, Satoshi
客員教授
Visiting Professor

金属錯体結晶および関連する有機材料・無機材料の機能を我々は研究している。これまでに、ガス吸着包接能をもつ様々な結晶ホストを合成し、ガス包接に伴う結晶構造変化挙動の観測に成功している。また、無機ガス（酸素や二酸化炭素など）や有機蒸気（メタノールやアセトニトリルなど）といった多種多様なガス分子を取り込む挙動に着目し、単結晶X線構造解析による構造観測ならびに結晶構造変化に伴って発現する動的なガス吸着・透過・分離特性の開拓を行ってきた。我々が扱っている結晶ホスト群は、結晶構造変化ないしは結晶変態を伴って様々なガス分子を可逆的に取り込み、厳密な構造決定可能なガス包接共結晶を生成できるため、ガス包接手法によって結晶内に生成する分子凝集体の物理化学的性質を観測するのに適している。この特性を考慮して、結晶ホスト内に取り込んだ酸素などの常磁性ガス分子の磁気特性についても研究を行っている。

また、有機材料において超弾性現象を新に見出しており、有機超弾性の研究も進めている。

We have been interested in the crystal function in coordination compounds and related organic and inorganic materials. By synthesizing crystal hosts which are capable of including gases, we have succeeded to characterize the structural changeability of some of the crystals induced by gas inclusion process into the pores of host crystal. We have also studied the dynamic properties in adsorption, permeation, and separation of gases with the precise structural determination through the standard single-crystal X-ray diffraction method even with the exact structures for the included gas molecules such as inorganic gases (oxygen, carbon dioxide, etc) and organic vapors (methanol, acetonitrile, etc) in crystals as guest gases. Since the crystal hosts that we have concerned can reversibly include gases to form co-crystals through the crystal structural change or crystal transition, they can provide a useful experimental platform for observing physicochemical properties of molecular aggregates structurally well-characterized by applying the gas inclusion procedure. Considering this feature, we are interested in the magnetic properties of paramagnetic gaseous molecules such as oxygen in our crystal hosts.

In addition, we have found superelasticity in organic materials very recently.