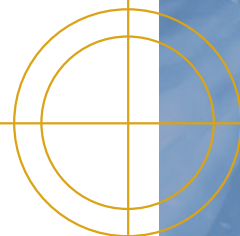


中性子科学研究施設

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。現在、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 に大学が設置する中性子散乱装置は 14 台を数え、全国共同利用の規模は年間約 300 課題、6,000 人・日に達している。当施設の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、当施設では日米協力事業「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. Under this program, about 300 proposals are submitted every year, and the number of visiting users under this program reaches over 6000 (person-day/year). Major research areas are solid state physics (strongly correlated electron systems, high- T_c superconductors, heavy Fermions 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) Mitsuhiro SHIBAYAMA
教授 吉澤 英樹
Professor Hideki YOSHIZAWA
教授 山室 修
Professor Osamu YAMAMURO
准教授 益田 隆嗣
Associate Professor Takatsugu MASUDA
教授 (客員) 梅林 泰宏
Visiting Professor Yasuhiro UMEBAYASHI

助教 古府 麻衣子
Research Associate Maiko KOFU
助教 左右田 稔
Research Associate Minoru SODA
助教 藤井 健太
Research Associate Kenta FUJII
技術専門職員 浅見 俊夫
Technical Associate Toshio ASAMI
技術職員 杉浦 良介
Technical Associate Ryosuke SUGIURA
技術職員 川名 大地
Technical Associate Daichi KAWANA
専門員 鬼武 祐二
Administrative Secretary Yuji ONITAKE

特任研究員 秋葉 宙
Project Researcher Hiroshi AKIBA
特任研究員 根本 文也
Project Researcher Fumiya NEMOTO
特任研究員 中尾 俊夫
Project Researcher Toshio NAKAO
特任研究員 池田 陽一
Project Researcher Yohichi IKEDA
特任研究員 小林 理気
Project Researcher Riki KOBAYASHI

日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究用原子炉 JRR-3 に設置された中性子散乱実験装置群。8 台の実験装置が水平ビーム孔に設置されている。また、この原子炉から 2 本の熱中性子導管と 3 本の冷中性子導管が図の左方向に引き出され、隣接するガイドホールにある 24 台の中性子ビーム実験装置群に中性子を供給している。

The reactor hall of JRR-3. The eight neutron scattering instruments are attached to the horizontal beam tubes in the reactor hall. Two thermal and three cold neutron beams are extracted from the reactor core toward the guide hall located to the left and provide neutron beams to 24 instruments in the guide hall.



柴山研究室

Shibayama Group



柴山 充弘
Mitsuhiro SHIBAYAMA
教授
Professor



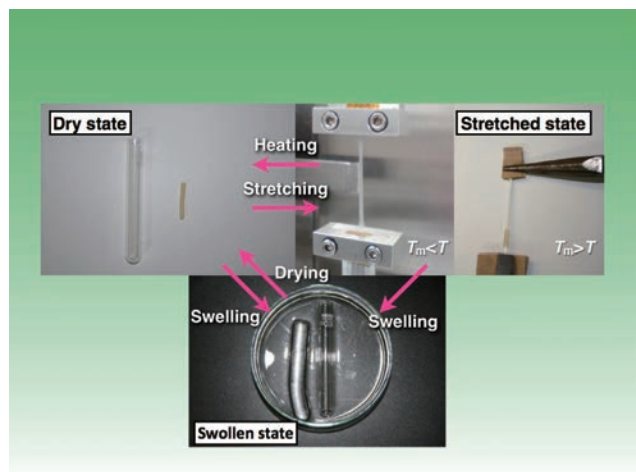
藤井 健太
Kenta FUJII
助教
Research Associate

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一分子結合相関係一-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カ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/DLD 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. Recently, we are developing various types of super-tough gels on the basis of findings on the structure-property relationship unveiled by neutron scattering.

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 if necessary. 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.



強靱な力学的性質をもつ Tetra-PEG ゲル。破断することなく調製膨潤状態 (下図) から乾燥状態 (左上)、延伸状態 (右上)、再膨潤状態 (下図) へと可逆的に変化する。

Tetra-PEG gels having tough mechanical properties. Reversible transformation from as-prepared/swollen state (bottom) to dried state (upper left), stretched state (upper right), and re-swollen state (bottom).

研究テーマ Research Subjects

1. 機能性高分子ゲルの構造とダイナミクス、体積相転移、ゾルーゲル転移
Structure and dynamics, phase separation, and sol-gel transition of functional polymer gels
2. 高強カ高分子ゲルの変形メカニズム
Deformation mechanisms of super-tough polymer gels
3. 流動場でのナノエマルジョンおよびミセルの構造変化
Structural evolution of nanoemulsion and micelles in flow field
4. イオンゲルの開発と構造解析
Development of ion-gel and structural analyses

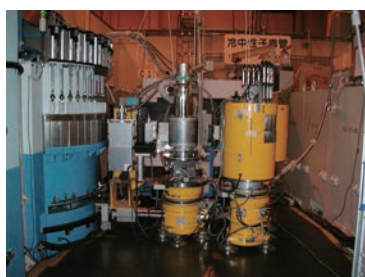
吉澤研究室

Yoshizawa Group



吉澤 英樹
Hideki YOSHIZAWA
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得られ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を示したものである。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 $x=0.9$ 付近で絶縁体-金属転移を示す。最近のパルス中性子を用いたスピンドYNAMIKSの研究によれば、Ni や Co の 2 次元層状酸化物においても線形スピン波理論では解釈のつかない特異な砂時計型のスピンドYNAMIKS が観測されており、そのような異常なスピンドYNAMIKS と輸送現象、低次元性の関連を中性子非弾性散乱実験により研究している。



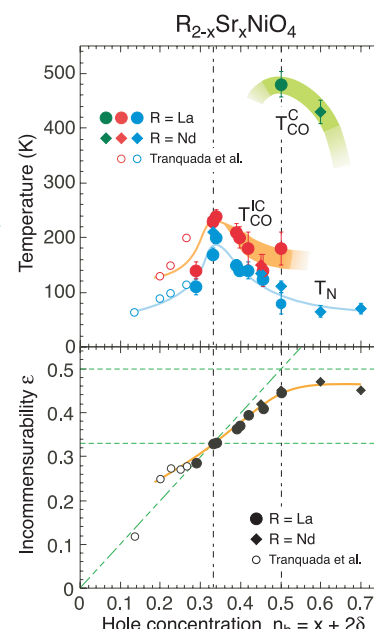
日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究炉 JRR-3 に設置された物性研究所の 3 軸型中性子分光器。

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

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 figure below. 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 $x\sim 0.9$. Recent pulse neutron studies on Ni and Co systems revealed that the unusual hour-glass type spin excitations exist in these 2 dimensional transition metal oxides, and our group is studying such unusual spin dynamics and their relation to the transport properties with using pulse and as well as reactor-source inelastic neutron spectrometers.

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。またストライプ秩序の周期は $x=1/2$ までドーピング濃度と近似的に線形な関係を示めすが、詳細に見てやると $x=1/3$ の前後で特徴的なずれを示し $x=1/3$ の濃度の特殊性を際立たせている。この特異な振舞いは、ストライプ内のキャリア濃度の変化と関係があることがホール効果の測定結果から示唆されている。

Doping dependence of the stripe ordering in highly-doped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$, which is an isomorphous compounds 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 $x\sim 0.9$.



研究テーマ Research Subjects

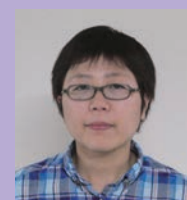
1. 遷移金属酸化物が示す金属・絶縁体転移や、その際に出現する磁気秩序・電荷秩序・軌道秩序などの中性子散乱による研究
Neutron scattering study of metal-insulator transition, magnetic ordering, charge/orbital orderings in transition-metal oxides
2. 中心対称性の欠損した超伝導体における磁気秩序とスピンドYNAMIKSの研究
Neutron scattering study of spin structure and dynamics in noncentrosymmetric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

山室研究室

Yamamuro Group

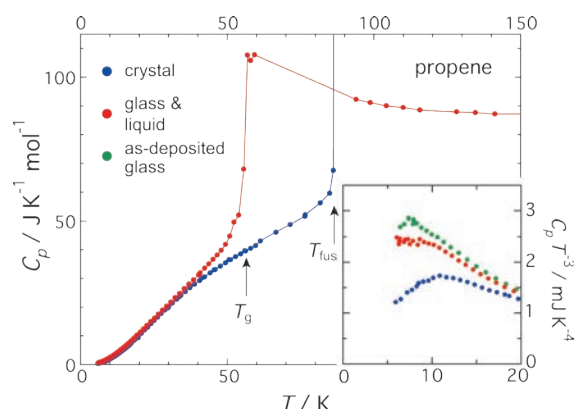


山室 修
Osamu YAMAMURO
教授
Professor



古府 麻衣子
Maiko KOFU
助教
Research Associate

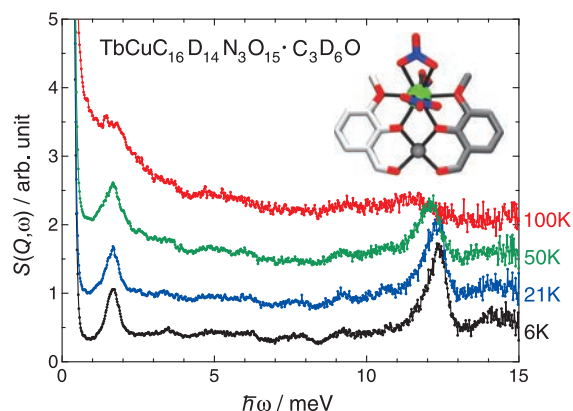
本研究室では複雑凝縮系の化学物理を研究している。現在の主な対象は、ガラス・過冷却液体、水およびその関連物質、イオン液体、水素吸蔵固体、単分子磁石である。ガラス転移は液体が構造変化を起こさずに固化する不思議な現象であり、物性物理学の長年の大問題の一つである。水は最も身近な物質の一つであるが、水素結合が織りなす種々の特異物性を示す。イオン液体では、静電力とファンデルワールス力の競合から、様々な新しい物性が現れる。固体中の水素は、ポテンシャル面によって古典拡散と量子（トンネル）拡散を起こす。単分子磁石は高密度磁気記録媒体などの応用面だけでなく、磁化反転の量子効果など基礎物性面でも興味深い。これらの物質に対して、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。



低温蒸着法で作成したプロペンガラスの熱容量。巨大な熱容量ジャンプを伴うガラス転移と顕著なアニール効果を示すボゾンピークが現れた。

Heat capacity of glassy propene prepared by low-temperature vapor-deposition. A glass transition with a giant heat capacity jump and a boson peak with a pronounced annealing effect appeared.

We are studying chemical physics of complex condensed matters, especially glasses and supercooled liquids, water and related materials, ionic liquids, hydrogen storage solids and single molecule magnets (SMMs). 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 many interesting properties originating from competing electrostatic and van der Waals interactions. Hydrogen in solids exhibits classical and/or quantum (tunneling) diffusion dependently on potential energy surfaces. SMMs are significant not only for applications but also for basic physical properties such as quantum effects on magnetization reversal. These substances are investigated from 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.



希土類単分子磁石の中性子非弾性散乱スペクトル。1.7 meVと12.3 meVの磁気励起は、それぞれ Tb-Cu イオン間の交換相互作用と Tb イオンの一軸異方性に起因する。

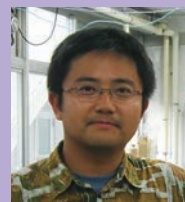
Inelastic neutron scattering spectra of a rare-earth based molecule magnet. The magnetic excitations at 1.7 meV and 12.3 meV are originated in the Tb-Cu exchange coupling and uniaxial anisotropy of Tb ions, respectively.

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
5. 単分子磁石のスピンダイナミクス
Spin dynamics of single molecule magnets

益田研究室

Masuda Group



益田 隆嗣
Takatsugu MASUDA
准教授
Associate Professor



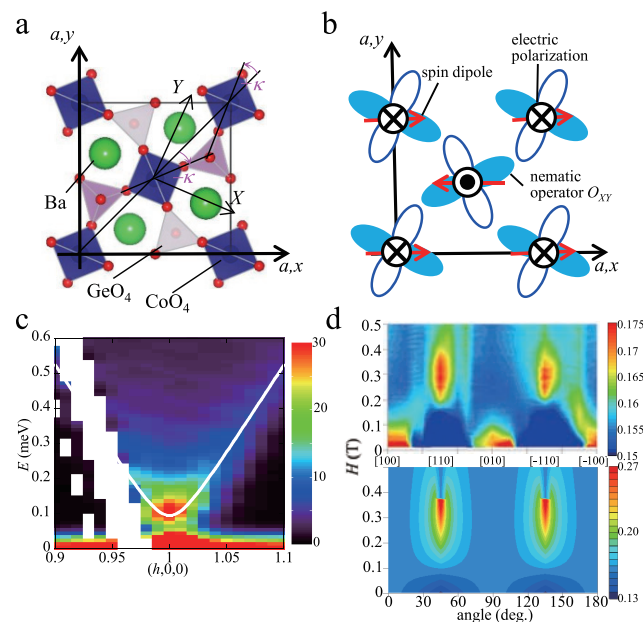
左右田 稔
Minoru SODA
助教
Research Associate

本研究室では、低次元スピン系、フラストレーション系、マルチフェロイクスなど、量子効果の強い磁性体における新しい状態の実験的研究を行っている。古典的なスピン系では、エントロピーを増大させるために低温で秩序化するが、低次元性や量子性はこれを阻害する。またフラストレーションは多縮退度の基底状態をもたらすため、格子歪などの小さな摂動に非常に敏感な系をもたらす。これらの結果、RVB、朝永流体などのスピン液体や、秩序は存在するもののスピン液体的性質が色濃く残った状態、さらにはスピン多極子など隠れた秩序が存在するスピン無秩序状態が出現する。我々は、これら新規量子状態を実現する物質を合成し、磁化・比熱などの測定を行っている。さらに、大強度中性子源にビームラインを有している利点を生かし、磁気構造決定に不可欠な中性子回折と、 $\mu\text{eV} \sim \text{meV}$ の物質内部のダイナミクスを直接的にプローブする中性子非弾性散乱を用いて、新規磁性体の静的および動的構造を明らかにする研究を推進している。図は、マルチフェロイクス物質において、アンチフェロネマティック相互作用が存在していることを、中性子実験と磁化測定から明らかにした例である。

Quantum novel phenomena enhanced in low dimensional spin systems, frustration systems, spin clusters, etc are studied by combination of material synthesis, bulk property measurements, and neutron scattering in our group. While in classical systems spins culminate in long range order upon cooling, low dimensionality and quantum effect disturb the ordered state. Geometrical frustration induces multidegenerated ground state that leads to quite sensitive to external perturbation. Consequently various types of spin liquid including RVB and Tomonaga-Luttinger liquid, exotic ordered states accompanying spin liquid-like behavior, spin disordered state exhibiting hidden order, etc. are achieved. We synthesize magnetic materials that realize these novel states and measure the magnetic susceptibility and heat capacity. Furthermore taking advantage of our own beam lines in high flux neutron source, we identify the magnetic structure by neutron diffraction and we directly probe the microscopic dynamics in magnetic materials by inelastic neutron scattering technique. Our goal is to reveal nature of novel quantum state by measuring static and dynamical structure of magnets.

a, マルチフェロイクス性を示す2次元反強磁性体 $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ の結晶構造。b, $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ のスピン双極子、ネマティックオペレータ O_{XY} 、および電気分極秩序。赤い矢印がスピン双極子、円が電気分極、クローバーがネマティックオペレータを表す。c、中性子散乱スペクトル。0.1meVの異方性ギャップはアンチフェロネマティック相互作用の存在により説明される。d、磁化率 dM/dH の角度依存性の実験データおよび計算結果。アンチフェロネマティック相互作用を考慮した計算と実験結果はコンシステントである。

a, Crystal structure of $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$. b, Structures of spin dipoles, spin nematic operator O_{XY} , and electric polarizations in $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$. Red arrows are spin dipoles and open circles with crosses and small filled circles indicate the directions of electric polarization calculated by using the relation between spin nematic operator and electric polarization. Two-tone clovers are nematic operators. c, Inelastic neutron scattering spectrum. Anisotropy gap of 0.1 meV is explained by antiferro-nematic interaction. d, Angular dependence of magnetic susceptibility dM/dH of the angle dependence of the experimental data and calculation including antiferro-nematic interaction and experimental data are consistent.



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

梅林研究室

Umebayashi Group



梅林 泰宏
Yasuhiro UMEBAYASHI
客員教授
Visiting Professor

近年、イオン液体と呼ばれる新しい液体が注目されている。イオン液体は、イオンのみからなる融点 100 °C 以下の物質群であり、蒸気圧が無視できるほど小さく、環境や生体に優しい物性を持つ。一般に、イオン液体は嵩高い有機物陽イオンからなり、従来の無機溶融塩に疎水性を導入したといえる。疎水性の導入は有機化合物の溶解性を高め、酵素反応や化学反応の反応場や分離・精製メディアなど溶融塩の応用範囲を格段に拡大した。

ユビキタス電源の点から、イオン液体は電解質材料への応用が強く期待されている。溶液中のイオン伝導は、古くて新しい研究課題であり、イオンの溶媒和構造とイオン伝導性の相関は未だ明確とは言えない。われわれは、新規イオン液体およびそのポリマーとの混合物である新規イオンゲルを探索しつつ、中性子・X 線散乱実験と分子シミュレーションを組み合わせる新たな液体構造解析法を独自に確立し、構造-イオニクスの相関解明に取り組んでいる。最近、イオン液体に特異的な超プロトン伝導を示す物質を見出した。現在、構造解析を精力的に進めるとともに、類縁体化合物を重点に探索を進めている。

During the last decade, room-temperature ionic liquids have attracted much attention. Ionic liquids, which are defined as salts consisted solely of ions showing a melting point below 100 °C, have favorable properties for the environmental and biological systems due to their negligible vapor pressure. Ionic liquids have bulky organic cation, thus it can be said that ionic liquids are new molten salts in which the hydrophobic property is introduced. Introduction of the hydrophobic property leads to novel applications of molten salts as enzyme and/or chemical reaction field and separation/extraction media.

From the viewpoint of the ubiquitous power source development, ionic liquids are strongly expected as electrolytes for the electrochemical devices. On the other hands, ionic conduction in solution is an evergreen subject; the relationship between ion solvation structure and ionic conductivity is still unclear at the present stage. Exploring new ionic liquids and novel ion gels with ionic liquids, we are studying to reveal the structure-ionics relationship with our newly developed structure analysis technique by combining neutron/X-ray scattering experiments and molecular simulations. Recently, we found new compounds, pseudo-ionic liquids, showing super-protonic conduction specific to ionic liquids. Currently, we are performing structure analyses with strategically exploring analogues.