

附属中性子科学研究施設

Neutron Science Laboratory

中性子は透過力に優れ、微小磁石の性質をもつので、原子核やその周りの電子がつくる磁場と力を及ぼし合う。これを利用して物質による中性子の散乱のされ方を観測し、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日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 の 12 台の中性子散乱装置および大強度陽子加速器施設 J-PARC の高分解能チョッパー分光器 HRC を用いた全国共同利用を推進してきた。これにより、超伝導体、トポロジカル物質、新規量子相などの固体物理研究をはじめとして、ガラスなど複雑凝縮系、イオン伝導体などの材料科学、高分子やゲルなどのソフトマター、生体関連物質まで幅広い物質科学が研究されている。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。

A neutron has excellent transparency of matter and a nuclear magnetic moment. Owing to these properties, neutron scattering is a powerful method to investigate the structure and dynamics of atoms and electron spins in condensed matter. Since 1961, the Neutron Science Laboratory (NSL) has been playing a central role in neutron scattering activities in Japan not only by performing its own research but also by providing a general user program using the university-owned 12 neutron scattering spectrometers installed at the research reactor JRR-3 (20 MW), JAEA (Tokai, Ibaraki). Furthermore, NSL owns state-of-art inelastic neutron scattering spectrometer HRC in J-PARC, which started its operation in 2009. Major research areas supported by the NSL user program are solid state physics (strongly correlated electron systems, superconductors, heavy fermion systems, topological materials, multiferroic materials, novel quantum phases etc.), soft matter (polymers, gels, membranes etc.), complex systems (glass, liquid, clathrate materials, etc.), material science (ionic conductors, hydrogen systems etc.), biological physics, and neutron optics. The NSL also operates the US-Japan cooperative program on neutron scattering since 1984.

施設長 山室 修
Leader YAMAMURO, Osamu

中島研究室 Nakajima Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 中性子散乱による磁気スキルミオンの構造とそのダイナミクスの研究
Neutron scattering studies on magnetic skyrmions and their dynamics
- 2 偏極中性子散乱法を用いた磁性体の磁気構造解析
Magnetic structure analysis by means of polarized neutron scattering
- 3 異方的な応力を用いたマルチフェロイック物質の磁性と誘電性の制御
Control of magnetic and dielectric properties in multiferroics by means of anisotropic stress
- 4 時分割中性子散乱法を用いた磁性体における非平衡・過渡現象の研究
Time-resolved neutron scattering studies on nonequilibrium and transient phenomena

准教授 中島 多朗
Associate Professor NAKAJIMA, Taro

専攻 Course

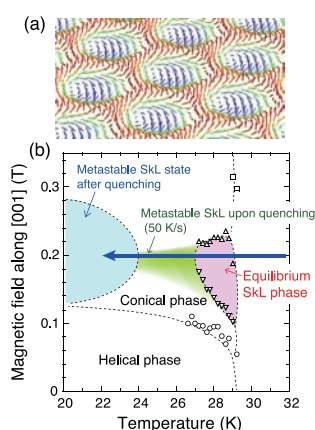
工学系物理学

App. Phys., Eng.

助教 齋藤 開
Research Associate
SAITO, Hiraku

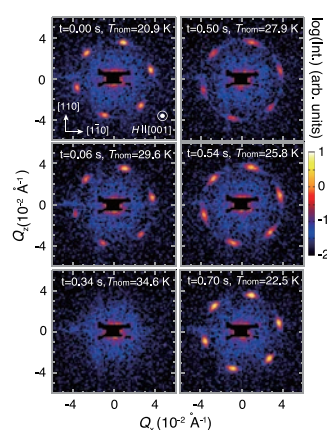
固体の磁気的性質は非常に古くから知られており、精力的に研究されてきたテーマである。例えば我々の身近にある磁石では、固体中のスピンの自発的に同じ方向に揃う「強磁性」が実現している。これ以外にも、らせん型や渦型など様々な磁気秩序が存在するが、近年それらのスピン配列の幾何学的特徴が、物質の誘電性、伝導性、あるいは弾性などを大きく変化させ得ることが明らかになってきた。本研究室ではこのような「スピン秩序によって引き起こされる創発物性現象」を主な研究テーマとしている。例としては、らせん型の磁気秩序によって電気分極を生じるマルチフェロイック系や、トポロジカルな渦状磁気構造である磁気スキルミオン等を対象として、中性子散乱とX線散乱を用いて磁気秩序とその励起状態を明らかにすることに取り組んでいる。また、中性子散乱技術自体を発展させるべく、多重極限環境下の測定や時分割測定など、新たな手法開発にも取り組む。

Magnetism in solids has been extensively studied in the field of condensed matter physics. A well-known example is ferromagnetism, which means that magnetic moments in a solid are spontaneously aligned to be parallel to each other owing to exchange interactions. Besides the ferromagnetism, there are various types of orders of magnetic moments, such as collinear antiferromagnetic and helical magnetic orders. Among them, non-collinear or non-coplanar magnetic orders have recently attracted increasing attention because they can lead to time-space symmetry breaking which may dramatically alter electronic properties of the systems. We study emergent phenomena induced by the non-collinear/non-coplanar spin orders by means of neutron and X-ray scattering techniques. One example is spin-driven ferroelectricity, where a spiral magnetic order breaks spatial inversion symmetry of the system and leads to spontaneous electric polarization. Another example is a vortex-like spin texture called magnetic skyrmion, which often appears in a long-wavelength helimagnet. By the virtue of the topologically-nontrivial spin texture, the magnetic skyrmion induces an effective magnetic field acting only on conduction electrons. We are also exploring new methodologies in neutron and X-ray scatterings, such as time-resolved neutron scattering, to investigate the unconventional magnetic orders in detail.



(a) 磁気スキルミオン格子状態におけるスピン配列の模式図 (b) 磁気スキルミオン物質 MnSi の熱平衡・準安定状態図。0.2 T の磁場中で急加熱・急冷することで準安定スキルミオン状態が実現する。

(a) A schematic of magnetic skyrmion lattice. (b) The equilibrium and metastable state diagram of MnSi. The metastable skyrmion lattice state is realized by a rapid temperature sweep in a magnetic field of 0.2 T.



MnSi の準安定スキルミオン格子が熱パルスによって消滅し、その後再形成される過程を時分割中性子小角散乱によって観測した結果。

The results of time-resolved neutron scattering measurement on MnSi in a magnetic field; the hexagonal diffraction patterns correspond to a triangular lattice of metastable skyrmions.



益田研究室

Masuda Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 量子臨界点近傍におけるフラストレート磁性体の非自明な混成モード
Nontrivial hybridized mode in frustrated magnet near quantum critical point
- 2 中性子によるスピン波スピン流の検出
Detection of spin wave spin current by neutron
- 3 マルチフェロイクス物質の非自明な音響マグノン
Nontrivial acoustic magnon in multiferroics
- 4 スピン液体状態の探索
Search of spin liquid



准教授 益田 隆嗣
Associate Professor MASUDA, Takatsugu

専攻 Course

新領域物質系

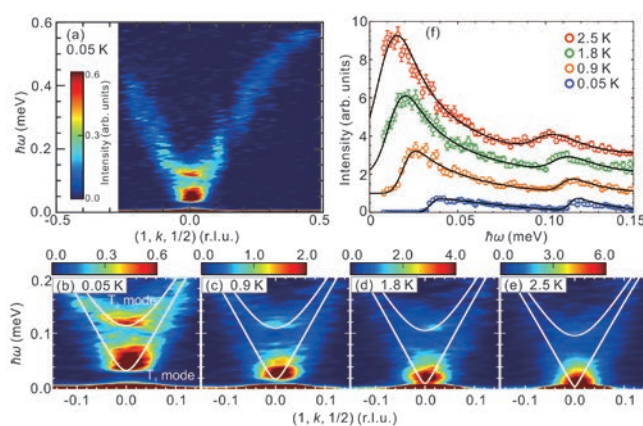
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 浅井 晋一郎
Research Associate
ASAI, Shinichiro

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。スピン液体、RVB、キューボック構造等新しい磁気状態と、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に興味を持っている。最近の我々の研究例として、マルチフェロイクス物質 $\text{Ba}_2\text{MnGe}_2\text{O}_7$ の中性子非弾性散乱スペクトルを図に示す。音響マグノン (T_1) モードの $k=0$ におけるエネルギーギャップはスピン・ネマティック相互作用に起因していること、その温度依存性は磁気モーメントではなく電気分極の温度依存性でスケールされることが明らかにされた。この非自明なふるまいは、電気分極を担う $d-p$ 混成軌道の温度変化により説明された。

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. Figure shows inelastic neutron scattering spectrum measured on multiferroics $\text{Ba}_2\text{MnGe}_2\text{O}_7$. Energy gap at $k=0$ of acoustic magnon (T_1) mode originates from spin nematic interaction, and its temperature dependence is scaled by electric polarization instead of magnetic moment. The nontrivial behavior of the anisotropy gap can be rationalized as change of the hybridized $d-p$ orbital with temperature.



$\text{Ba}_2\text{MnGe}_2\text{O}_7$ の中性子非弾性散乱スペクトル。(a) 0.05 K で測定されたスペクトル。(b)-(e) 低エネルギー散乱スペクトル ((b) 0.05 K, (c) 0.9 K, (d) 1.8 K, (e) 2.5 K)。白線は計算曲線。(f) コンスタント q カットの温度依存性。黒線は計算曲線。

Inelastic neutron scattering (INS) spectra on $\text{Ba}_2\text{MnGe}_2\text{O}_7$. (a) False color plot of the INS spectrum measured at 0.05 K. (b)-(e) The INS spectra focused on the low-energy range measured at (b) 0.05 K, (c) 0.9 K, (d) 1.8 K and (e) 2.5 K. (f) Temperature evolution of constant- q cuts.



眞弓研究室 Mayumi Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 高強度高分子材料の強靱化メカニズムの解明
Toughening mechanism of tough polymeric materials
- 2 中性子・X線小角散乱法を用いた多成分系高分子・ソフトマター材料の構造解析
Structure of multi-component polymer and soft matter systems by small-angle neutron/X-ray scattering
- 3 中性子準弾性散乱法を用いた多成分系高分子・ソフトマター材料のダイナミクス解析
Dynamics of multi-component polymer and soft matter systems by quasi-elastic neutron scattering



准教授 眞弓 皓一
Associate Professor MAYUMI, Koichi

専攻 Course

新領域物質系

Adv. Mat., Frontier Sci.



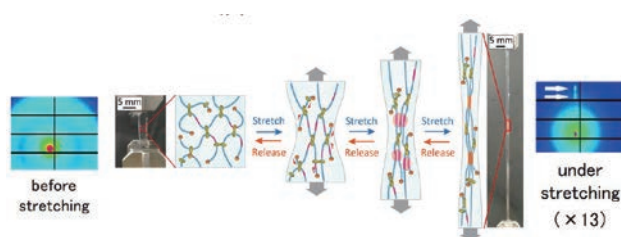
助教 小田 達郎
Research Associate
ODA, Tatsuro



特任助教 橋本 慧
Project Research Associate
HASHIMOTO, Kei

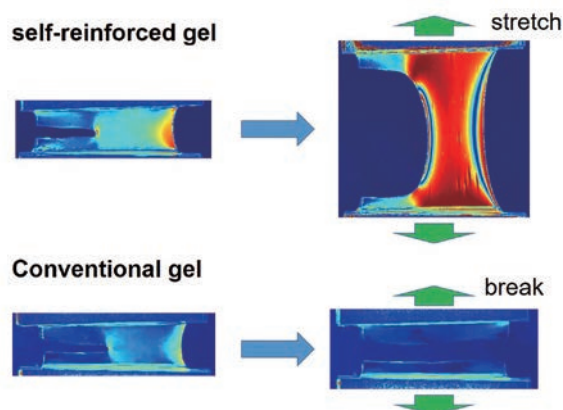
本研究室では、高分子をはじめとしたソフトマターの物性発現機構の解明を目指している。例えば、近年ナノ・分子レベルでの構造制御により高分子材料の機械強度は飛躍的に向上しつつあり、そのような高強度高分子材料は、人工関節や人工血管などの医療材料、ソフトロボット用のアクチュエーター、車・飛行機などに用いる構造材料としての応用が期待されている。我々は、高強度高分子材料に対して、中性子・X線小角散乱法および中性子準弾性散乱法によって変形下におけるナノ構造・ダイナミクスの計測を行っている。高分子材料は多成分で構成されていることが一般的であるが、中性子散乱法を用いると、重水素化ラベリングによって各構成要素を選択的に観察することが可能となる。散乱法によって明らかにされた階層構造・ダイナミクスとマクロな力学・破壊挙動との相関を解明するとともに、新規材料設計指針の探索を行っている。

The research goal of our group is to reveal molecular mechanisms for macroscopic properties of soft matter systems. One of our targets is to understand toughening mechanisms of polymeric materials. Recently, the fine control of nano-structure has improved significantly the mechanical toughness of polymer-based materials. The tough polymeric materials are expected to be applied for biomaterials, soft robots, and structural materials for automobiles and airplanes. We study nano-structure and dynamics of the tough polymeric materials by means of small-angle and quasi-elastic neutron scattering measurements with deuterium labelling. The deuterium labelling technique enables us to observe separately each component in multi-component systems. By combining the nano-scale structure/dynamics measurements, macroscopic mechanical tests, and molecular dynamics simulations, we aim to establish molecular understandings of toughening mechanisms for polymeric materials and discover novel molecular designs for tough materials.



伸長すると高分子鎖が結晶化し、鎖の破断を防ぐ自己補強ゲルを開発した。この伸長誘起結晶は、力を取り除くと消失し、自己補強ゲルは元の状態まで復元する。

We have developed self-reinforced gels in which polymer chains are crystallized under stretching. The crystalline domains disappear immediately after the strain is released. The reversible strain-induced crystallization simultaneously realizes high toughness and rapid recoverability under repeated deformation.



通常の高分子ゲルの場合、亀裂を入れた試験片を引っ張ると、すぐに亀裂が進展して、破断してしまう。一方で、自己補強ゲルでは、亀裂の周辺において高分子鎖が引き延ばされて結晶化することで、亀裂の進展が抑制される。

When we stretch a pre-notched specimen of a conventional polymer gel, the crack propagates immediately and the sample is broken. For the self-reinforced gel, the strain-induced crystallization of polymer chains near a crack tip suppresses crack propagation.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/mayumi_group.html

山室研究室 Yamamuro Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 ガラスと過冷却液体の構造とダイナミクス
Structure and dynamics of glasses and supercooled liquids
- 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 (e.g., gas hydrates)
- 3 イオン液体の熱力学的性質とダイナミクス
Thermal and dynamical properties of ionic liquids
- 4 多孔性物質中のゲスト分子・イオンの構造とダイナミクス
Structure and dynamics of guest molecules and ions in porous materials



教授 山室 修
Professor YAMAMURO, Osamu

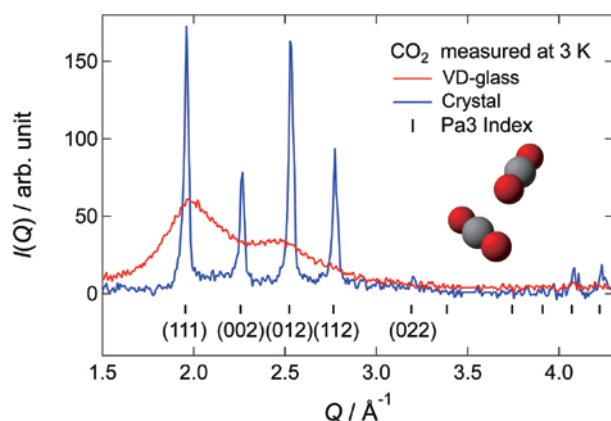
専攻 Courses

理学系物理学 理学系化学
Phys., Sci. Chem., Sci.



助教 秋葉 宙
Research Associate
AKIBA, Hiroshi

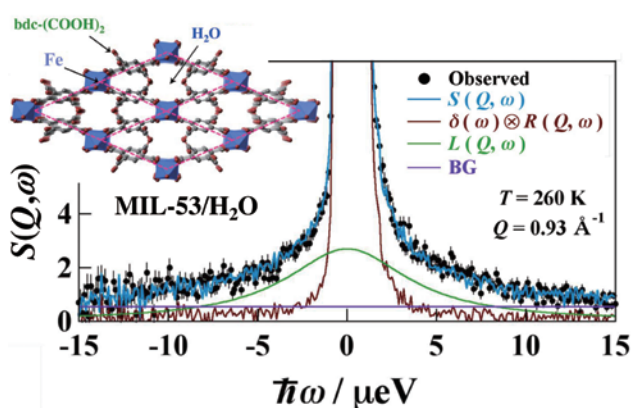
本研究室では複雑凝縮系の化学物理を研究している。現在の主な対象は、ガラス・過冷却液体、水およびその関連物質、イオン液体、多孔性物質である。ガラス転移は液体が構造変化を起こさずに固化する不思議な現象であり、物性物理学の長年の大問題の一つである。水は最も身近な物質の一つであるが、水素結合が織りなす様々な特異物性を示す。イオン液体では、静電力とファンデルワールス力の競合から、ナノドメイン構造や階層的ダイナミクスが現れる。MOF (Metal Organic Framework) のような多孔性物質内の空孔中の分子・イオンは、表面効果によりポテンシャル面が歪められるため、バルクでは見られない特異な構造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。



蒸着 CO₂ ガラス（赤線）と結晶（青線）の X 線回折パターン。二体分布関数解析から、CO₂ 分子はガラスと結晶の両方で図中のような最近接分子間配置をとることが分かった。

X-ray diffraction patterns of the vapor-deposited glass (red curve) and crystal (blue curve) of CO₂. The pair-distribution function analyses revealed that the nearest-neighbor configuration of CO₂ molecules is as shown in the figure for both glassy and crystalline states.

We are studying chemical physics of complex condensed matters, especially glasses and supercooled liquids, water and related materials, ionic liquids, and porous materials. Glass transition is a mysterious phenomenon in which liquids solidify without structural change. This is one of the 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. Molecules and ions confined in porous materials such as MOF (Metal Organic Framework) 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.



MIL-53 と呼ばれる MOF (Metal Organic Framework) 内の水分子の中性子準弾性散乱データおよびローレンツ関数によるフィッティング結果。本物質は水分子がキャリアとなるプロトン伝導体である。

Quasielastic neutron scattering data and the result of the fitting with a Lorentz function for a MOF (Metal Organic Framework) called MIL-53. This material is a proton conductor with carriers of water molecules.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/yamamuro_group.html

遠藤研究室

Endo Group



客員准教授 遠藤 仁
Visiting Associate Professor ENDO, Hitoshi

JRR3に設置されているiNSEは、国内で唯一、定常中性子を用いた中性子スピンエコー装置であり、他の中性子準弾性散乱装置と比較して、長時間および長空間スケールにおけるダイナミクス（iNSEでは50ナノ秒までのスローダイナミクス）を計測できる点で優れている。iNSEで測定されるスローダイナミクスは、ソフトマター・ハードマターの物性理解においても極めて重要である。JRR3再稼働に伴い、iNSE分光器の再立ち上げ、およびNSE法によるスローダイナミクス測定の物性研究への展開を加速する。具体的には、高分子・コロイド等ソフトマターおよび、スキルミオン等に代表される長周期磁気構造等のスローダイナミクスを対象とし、J-PARC MLF BL06との相補的利用も推進することで広い時空間領域での物性研究を展開する。

The neutron spin echo (NSE) is a quasielastic neutron scattering technique with the highest energy resolution, and is suitable to measure nm and ns-scale dynamics in materials, which are difficult to access by other techniques. A neutron spin echo instrument, iNSE is located at C2-3-1 port of the guide hall of the neutron reactor JRR-3, and covers a time range up to 50 ns. After the great earthquake in 2011, iNSE has been under commissioning. We set up iNSE and apply the instrument to measure nano-dynamics of soft and hard matters, such as monomer / segmental/collective motions of polymer chains, domain dynamics of proteins, membrane fluctuation of self-assembled surfactants, and spin fluctuation of skyrmions, which dominate the functions and properties of the materials. In order to cover a wider time regime from ps, we will also use a NSE spectrometer with a pulsed neutron source, MIEZE installed at BL06 of J-PARC/MLF.