

附属中性子科学研究施設

Neutron Science Laboratory

中性子は 1 \AA 程度の波長の波としての性質と 100 meV 程度の運動エネルギーの粒子としての性質を併せもつ。また、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。これらの性質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 (KEK と共同運用) 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、ガラスやクラスレート物質など複雑凝縮系、イオン伝導体や水素貯蔵物質などの材料科学、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、さらには中性子基礎物理などが研究されている。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 dual nature of a wave with a wave length of about 1 \AA and a particle with a kinetic energy of about 100 meV . A neutron also 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 1993, 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 a cutting-edge inelastic neutron scattering spectrometer HRC in J-PARC, which started its operation in 2009 and has been managed with KEK. Major research areas supported by the NSL user program are solid state physics (superconductors, topological materials, novel quantum phases, etc.), soft matter (polymers, gels, etc.), complex systems (glass, liquid, clathrate materials, etc.), material science (ionic conductors, hydrogen systems, etc.), biological physics, and fundamental physics on neutrons. The NSL also operates the US-Japan cooperative program on neutron scattering since 1984.

施設長 山室 修
Leader YAMAMURO, Osamu

副施設長 益田 隆嗣
Deputy Leader MASUDA, Takatsugu

中島研究室 Nakajima Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 中性子散乱によるトポロジカル磁気秩序とそのダイナミクスの研究
Neutron scattering studies on topological magnetic orders 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, Tarō

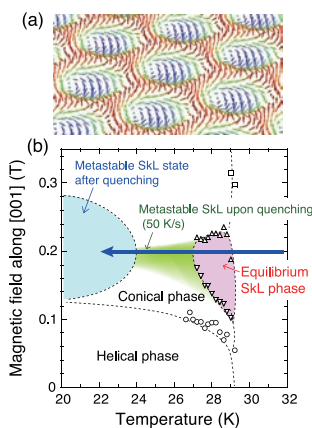
専攻 Course
工学系物理学
App. Phys., Eng.



助教 齋藤 開
Research Associate
SAITO, Hiraku

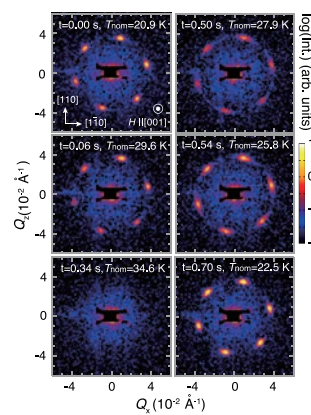
固体の磁気的性質は非常に古くから知られており、精力的に研究されてきたテーマである。例えば我々の身近にある磁石では、固体中のスピンの自発的に同じ方向に揃う「強磁性」が実現している。これ以外にも、らせん型や渦型など様々な磁気秩序が存在するが、近年それらのスピン配列の幾何学的特徴が、物質の誘電性、伝導性、あるいは弾性などを大きく変化させ得ることが明らかになってきた。本研究室ではこのような「スピン秩序によって引き起こされる創発物性現象」を主な研究テーマとしている。例としては、らせん型の磁気秩序によって電気分極を生じるマルチフェロイック系や、トポロジカルな渦状磁気構造である磁気スキルミオン等を対象として、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 量子磁性体、フラストレート磁性体、トポロジカル磁性体の磁気励起
Magnetic excitations of quantum magnets, frustrated magnets, and topological magnets
- 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 中性子分光器の開発
Development of neutron spectrometer



教授 益田 隆嗣
Professor MASUDA, Takatsugu

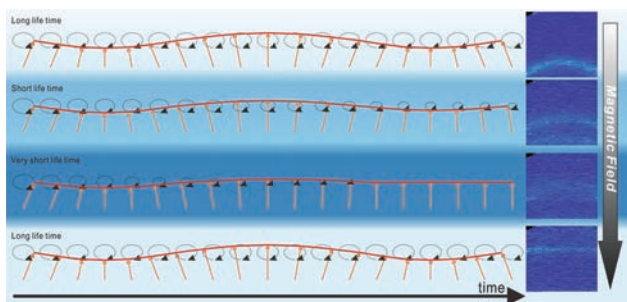
専攻 Course
新領域物質系
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 浅井 晋一郎
Research Associate
ASAI, Shinichiro

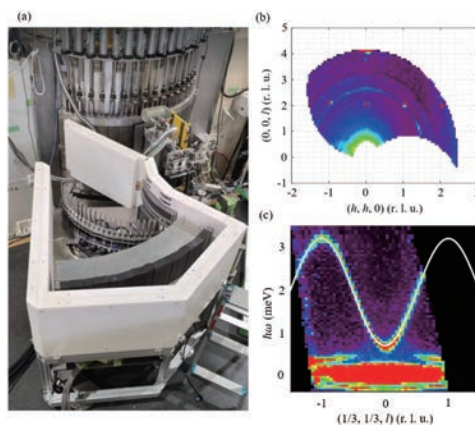
量子磁性体、フラストレート磁性体、トポロジカル磁性体は、量子現象開拓のフロンティアとして多くの興味を集めている。本研究室は、これらの磁性体における新しい量子現象・量子状態を実験的に発見し、その機構を解明することを目標としている。主に中性子分光器を利用した研究（左図参照）を推進しているが、ここ数年は、磁性体のダイナミクスを高効率で測定する新しい中性子分光器 HOrizontally Defocusing Analyzer Concurrent data Acquisition (HODACA, 右図 (a) 参照) を開発してきた。2022 年度に建設が完了し、試験運転を行った。試験試料としてはフラストレート磁性体 CsFeCl₃ が用いられ、右図 (b) に示されるように正しくブラッグピークが観測され、右図 (c) に示されるように先行研究と一致する磁気励起が観測された。従来の分光器と比べて 24 倍の測定効率であることが明らかとなった。今後は、マグノン寿命の制御、トポロジカルマグノン、スピン波スピン流などの新しい現象を、HODACA 分光器を用いて研究する。

Quantum magnets, frustrated magnets, and topological magnets have received significant attention as the forefront of quantum phenomena. The research goal of our group is to discover new quantum phenomena and uncover their mechanisms in magnetic materials. We are conducting experimental research, as illustrated in left figure, primarily using neutron spectrometers. Simultaneously, we have developed a new type of neutron spectrometer, called HOrizontally Defocusing Analyzer Concurrent data Acquisition (HODACA), as shown in right figure (a), to efficiently measure the magnetic excitations. In the fiscal year 2022, we conducted a commissioning experiment using a frustrated magnet CsFeCl₃ as the test sample. Bragg peaks were observed at the designated positions shown in right figure (b), and a magnetic excitation consistent with a previous study was observed in right figure (c). It was confirmed that efficiency of the measurement is 24 times improved compared with a conventional neutron spectrometer. Hereafter, we will proceed with our research on new phenomena, including the control of magnon lifetime, topological magnons, spin-wave spin currents, and so on, using the HODACA spectrometer.



量子磁性体 RbFeCl₃ において、磁場でマグノン寿命が制御される様子。左にマグノンの概念図、右に測定スペクトルを示す。ゼロ磁場で明瞭なマグノンが、磁場印可で不明瞭となり、高磁場で再び明瞭となる様子が観測された。

Control of magnon lifetime by magnetic field in RbFeCl₃. The representative figures of the magnon are shown on the left, and the measured spectra on the right. Magnon, which is clearly observed at zero field, is broadened by the field, and it can again be clearly observed at high field.



(a) HODACA 分光器全景。(b) HODACA で観測されたフラストレート磁性体 CsFeCl₃ のブラッグピークプロファイル。(c) HODACA で観測された CsFeCl₃ の磁気励起スペクトル。白線は先行研究による理論曲線。

(a) Overview of HODACA spectrometer. (b) Bragg peak profiles measured in a frustrated magnet CsFeCl₃ by HODACA. (c) Magnetic excitation measured by HODACA. White curve is a theoretical curve reported in a previous study.



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

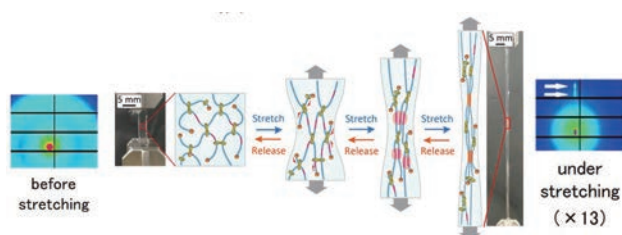
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 小田 達郎
Research Associate
ODA, Tatsuro

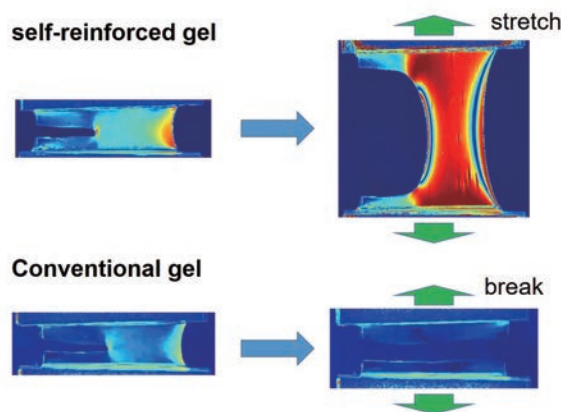
本研究室では、高分子をはじめとしたソフトマターの物性発現機構の解明を目指している。例えば、近年ナノ・分子レベルでの構造制御により高分子材料の機械強度は飛躍的に向上しつつあり、そのような高強度高分子材料は、人工関節や人工血管などの医療材料、ソフトロボット用のアクチュエーター、車・飛行機などに用いる構造材料としての応用が期待されている。我々は、高強度高分子材料に対して、中性子・X線小角散乱法および中性子準弾性散乱法によって変形下におけるナノ構造・ダイナミクスの計測を行っている。高分子材料は多成分で構成されていることが一般的であるが、中性子散乱法を用いると、重水素化ラベリングによって各構成要素を選択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 understand molecular mechanisms for macroscopic properties of soft materials. One of our targets is to understand toughening mechanisms of polymeric materials. Recently, the fine control of nano structure has significantly improved 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. To reveal molecular mechanisms of their macroscopic mechanical properties, we study nano-structure and dynamics of the tough polymeric materials under deformation by means of in-situ light, X-ray, and neutron scattering measurements. Especially, small-angle and quasi-elastic neutron scattering measurements with deuterium labelling enable us to observe separately each component in multi-component systems. By combining the nano-scale structure/dynamics measurements with 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.



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（気体水和物など）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 confined in porous materials



教授 山室 修
Professor YAMAMURO, Osamu

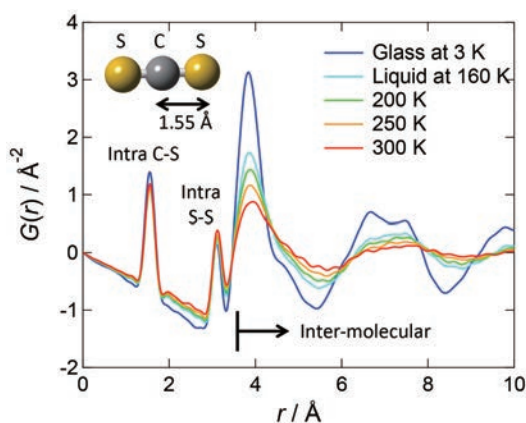
専攻 Courses
理学系物理学 理学系化学
Phys., Sci. Chem., Sci.



助教 秋葉 宙
Research Associate
AKIBA, Hiroshii

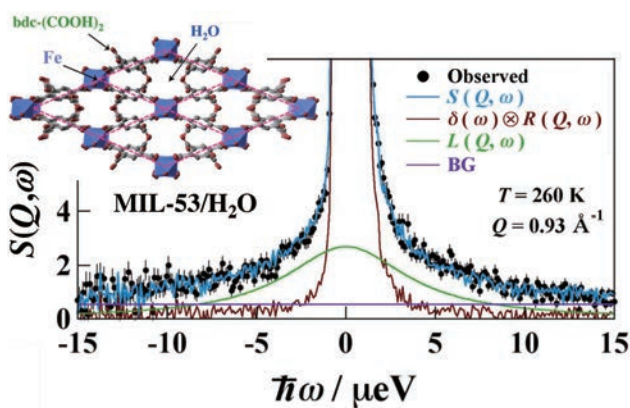
本研究室では複雑凝縮系の化学物理を研究している。現在の主な対象は、ガラス・過冷却液体、水およびその関連物質、イオン液体、多孔性物質である。ガラス転移は液体が構造変化を起こさずに固化する不思議な現象であり、物性物理学の長年の大問題の一つである。水は最も身近な物質の一つであるが、水素結合が織りなす様々な特異物性を示す。イオン液体では、静電力和ファンデルワールス力の競合から、ナノドメイン構造や階層的ダイナミクスが現れる。MOF (Metal Organic Framework) のような多孔性物質内の空孔中の分子・イオンは、表面効果によりポテンシャル面が歪められるため、バルクでは見られない特異な構造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

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.



液体およびガラス状態のCS₂の還元2体分布関数。これらのデータは、分子間相関が冷却とともに徐々に大きくなり、ガラス状態では急激に先鋭化することを明確に示している。逆モンテカルロ法による解析から、最も優先的な対相関はT字型であることが分かった。

Reduced pair distribution functions of liquid and glassy CS₂. These data clearly indicate that the intermolecular correlation becomes gradually larger on cooling and drastically sharpened at a glassy state. Reverse Monte Carlo analysis revealed that the most preferred pair correlation is T-shaped.



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.



木村健太研究室

K. Kimura Group



客員准教授 木村 健太
Visiting Associate Professor KIMURA, Kenta

電場や磁場、電磁波に対する物質の応答（電磁応答）は、電子デバイスの動作を支える重要な基盤である。本研究室では、物質において生じる多彩な対称性の破れを巧妙に利用し、また、組み合わせることで、従来の範疇を超えた電磁応答の発見および機能性物質の開拓を目指している。なかでも特に、時間反転対称性と空間反転対称性が共に破れた磁性体で期待される電気磁気効果や非相反光学応答に興味をもっており、そのような磁性体の物質設計と合成、および電氣的・磁氣的・光学的性質の評価を行っている。益田研究室をはじめとする物性研究所の方々と協力して、電気磁気効果や非相反光学応答の解明に必要な磁気構造やスピンハミルトニアンを決定するだけでなく、対称性の破れがもたらす未知の物性を探究する。

The response of materials to electric and magnetic fields and electromagnetic waves (electromagnetic response) is an important basis for the operation of electronic devices. In this laboratory, we aim to discover electromagnetic responses beyond the conventional categories and to develop functional materials by exploiting and combining the various types of symmetry breaking that can occur in materials. In particular, we are interested in the magnetoelectric effect and the non-reciprocal optical responses which can occur in magnetic materials with broken time-reversal and space-reversal symmetries. We therefore carry out material design and synthesis of such magnetic materials and evaluate their electrical, magnetic, and optical properties. In collaboration with Prof. Masuda group and other members of ISSP, we will not only determine the magnetic structures and the spin Hamiltonian necessary to elucidate the magnetoelectric effect and the non-reciprocal optical responses, but also explore the unknown physical properties resulting from the symmetry breaking.