

附属中性子科学研究施設

Neutron Science Laboratory

中性子は 1 Å 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東北大学、京都大学等と協力し、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 12 台の中性子散乱装置を用いた共同利用を推進してきた。さらに、KEK と共同で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 を用いた共同利用を推進している。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 Å 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 佐藤 卓
Leader SATO, Taku J

副施設長 益田 隆嗣
Deputy Leader MASUDA, Takatsugu

古府研究室

Kofu Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 多様な物質中の水素原子や水分子のダイナミクス
Dynamics of hydrogen atoms and hydrogen-containing molecules in a wide range of materials
- 2 スピングラスの励起特性
Excitation characteristics of spin glasses
- 3 単分子磁石のスピンダイナミクス
Spin dynamics of single-molecule magnets
- 4 中性子散乱装置の開発および新測定への挑戦
Development of neutron scattering instruments and challenges to new measurements



教授 古府 麻衣子
Professor KOFU, Maiko

専攻 Course

工学系物理工学

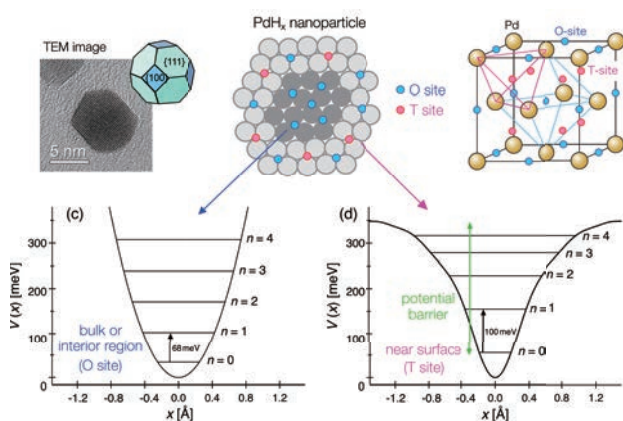
App. Phys., Eng.



助教 秋葉 宙
Research Associate
AKIBA, Hiroshi

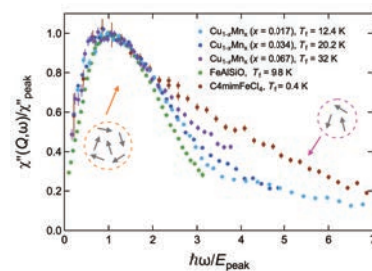
本研究室では、中性子散乱法を用いて、様々な物質中の原子や分子、スピンの動的構造を調べ、幅広い物質に内在する新規な現象や普遍性を見出すことを目指している。中性子は水素原子の観測が得意なプローブであり、水素の量子ダイナミクスやプロトン/ヒドリドイオン伝導の観測が中心的テーマのひとつである。水素は量子性が強い元素として知られているが、水素の量子効果が顕になるケースは稀である。偏極中性子を利用した軽水素の干渉性/非干渉性散乱の分離など、新しい計測法に挑戦し、これまで捉えられなかったダイナミクスを見出したい。水和物や機能性液体、スピングラスや単分子磁石（ナノ磁石のように振る舞う物質群）などの一風変わった磁性体の研究も行っている。これらの研究には、広いダイナミックレンジでの測定が必要であり、国内外のさまざまな中性子分光器を使用するとともに、中性子散乱分光器の開発も行っている。

We study the dynamics of atoms, molecules, and spins in various materials using neutron scattering techniques, to discover novel phenomena and universality inherent in a wide range of materials. Neutron is a powerful probe to detect hydrogen atoms. Observation of hydrogen quantum dynamics and proton/hydride ion conduction is one of our major research interests. Hydrogen is known as a quantum atom, but the quantum nature of hydrogen is rarely manifested. We will try new measurement techniques, such as coherent/incoherent separation of light hydrogen using polarized neutrons, and find dynamics that have not been captured so far. Hydrates, functional liquids, spin glass, and single-molecule magnets (which behave like nanomagnets) are also within our scope. These studies require measurements over a wide dynamic range, and we are using a variety of neutron spectrometers in domestic and foreign facilities, as well as developing a neutron scattering spectrometer.



中性子回折、非弾性、準弾性散乱法によって調べたパラジウム水素化合物ナノ粒子中の水素の状態。ナノ粒子の表面近傍では、バルク状態とは異なる四面体サイトにも水素が存在し、非調和振動および速い拡散が生じる。

Hydrogen state in palladium hydride nanoparticles studied by neutron diffraction, inelastic, and quasielastic scattering. Our comprehensive studies showed that some hydrogen atoms near the surface of the nanoparticles are accommodated at the tetrahedral sites, which is different from the bulk state, resulting in anharmonic vibrations and fast diffusion.



さまざまな古典系スピングラス物質で、ボーズ統計に従うブロードな局所磁気励起が観測された。その特徴は構造ガラスの局所振動励起（ボゾンピーク）と類似し、多数の準安定状態の素励起に起因すると考えられる。

Bose-scaled localized magnetic excitation was commonly observed in various classical spin glasses. The excitation is highly reminiscent of localized vibrational modes ("boson peak") in structural glasses. The broad spectrum with the high-energy tail can be attributed to elementary excitations in a multitude of metastable states.

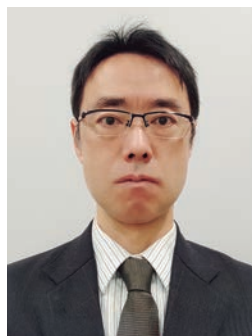


https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kofu_group.html

佐藤研究室 Sato Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 量子磁性体における巨視的量子現象
Macroscopic quantum phenomena in quantum magnets
- 2 準周期構造を持つ磁性体の磁気構造やダイナミクス
Magnetic structures and dynamics of quasiperiodic magnets
- 3 流動するスピン集団の示す非平衡定常状態
Nonequilibrium steady state of spins under current flow
- 4 新しい中性子散乱手法の開発
Development of new neutron scattering techniques

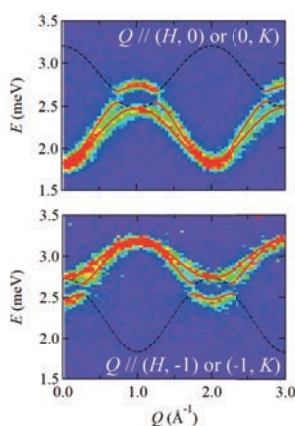


教授 佐藤 卓
Professor SATO, Taku J

専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.

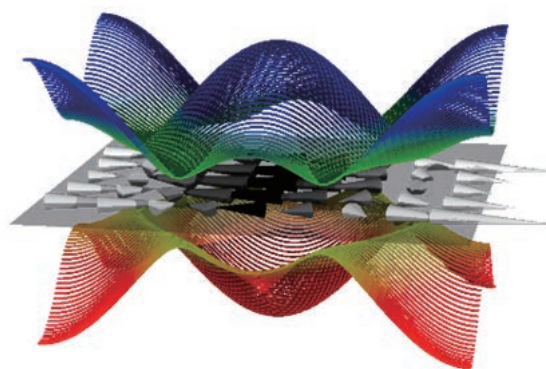
磁性体における電子スピンおよびスピン間相互作用の幾何学的配置はその磁性状態を決定する重要な因子の一つである。我々は結晶対称性やその破れに起因する磁気基底状態や励起状態の研究、さらには準周期構造（準結晶）に代表される、あらわな並進対称性を持たない構造中の磁気基底・励起状態の研究等を行なっている。具体的には反転対称性の破れた磁性体における非相反マグノン励起の観測、螺旋軸を持つ量子反強磁性ダイマー物質におけるトポジカルトリプルの確認、正 20 面体相準結晶磁性体における長距離磁気秩序の発見等があげられる。これらの成果は我々の主要な研究手法である中性子散乱を最大限に活用することで得られたものである。中性子散乱をさらに発展させるため、新中性子散乱手法の開発も行なっている。

Geometrical arrangement of spins and their interaction bonds in magnetic materials is one of the decisive factors for their magnetic states. We are interested in nontrivial magnetic ground states and excitations originating from the crystalline symmetry and its breaking, as well as those in the quasiperiodic magnets where spin arrangement loses apparent translational invariance. Representative examples of our recent findings include observation of nonreciprocal magnons in a magnet without inversion symmetry, confirmation of topological triplon bands in a quantum dimerized antiferromagnet with screw axis, and observation of long-range magnetic order in an icosahedral quasicrystal. Those results have been obtained by maximal utilization of neutron scattering technique, being our primary investigation tool. To further advance this technique, we are also working on the development of novel neutron scattering methods, including inelastic spectrum retrieval using energy-dependent diffuse scattering measurement, and improvement of large curved two-dimensional neutron detector for efficient magnetic structure analysis.



中性子非弾性散乱により量子反強磁性ダイマー物質 $\text{Ba}_2\text{CuSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_2$ において観測されたトポジカルトリプロンバンド分散

Topological triplon bands in quantum dimerized antiferromagnet $\text{Ba}_2\text{CuSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_2$ observed by inelastic neutron scattering



実験を再現するスピン模型から計算されたトリプロンバンド分散と同様に計算された fictitious 磁場の方向（矢印）

Calculated triplon band dispersion based on the spin model, and similarly calculated fictitious magnetic field shown by the arrows



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

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交差相関物性現象の開拓
Exploration of novel cross-correlated phenomena induced by anisotropic stress
- 4 時分割中性子散乱法を用いたパルス強磁場中の磁気構造研究
Study on magnetic structures in high fields by means of time-resolved neutron scattering with pulsed magnetic fields

准教授 中島 多朗
Associate Professor NAKAJIMA, Taro

専攻 Course

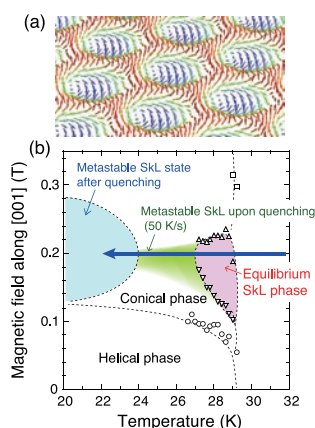
工学系物理学

App. Phys., Eng.

助教 齋藤 開
Research Associate
SAITO, Hironori

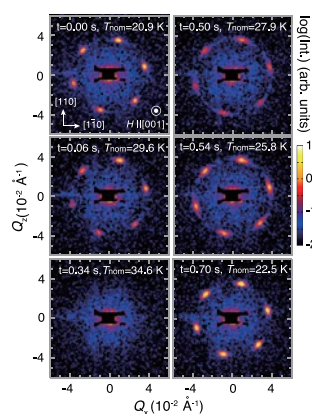
固体の磁気的性質は非常に古くから知られており、精力的に研究されてきたテーマである。例えば我々の身近にある磁石では、固体中のスピンの自発的に同じ方向に揃う「強磁性」が実現している。これ以外にも、らせん型や渦型など様々な磁気秩序が存在するが、近年それらのスピン配列の幾何学的特徴が、物質の誘電性、伝導性、あるいは弾性などを大きく変化させ得ることが明らかになってきた。本研究室ではこのような「スピン秩序によって引き起こされる創発物性現象」を主な研究テーマとしている。例としては、らせん型の磁気秩序によって電気分極を生じるマルチフェロイック系や、トポロジカルな渦状磁気構造である磁気スキルミオン等を対象として、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 交替磁性体マグノンのカイラル分裂
Chiral split of altermagnetic magnon
- 2 スピン超固体のダイナミクス
Dynamics of spin supersolid
- 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

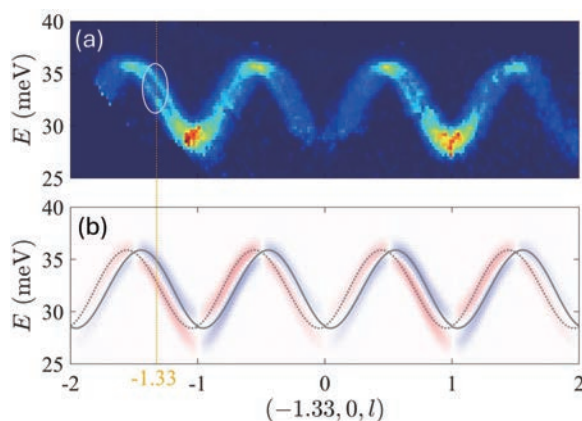
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 浅井 晋一郎
Research Associate
ASAI, Shinichiro

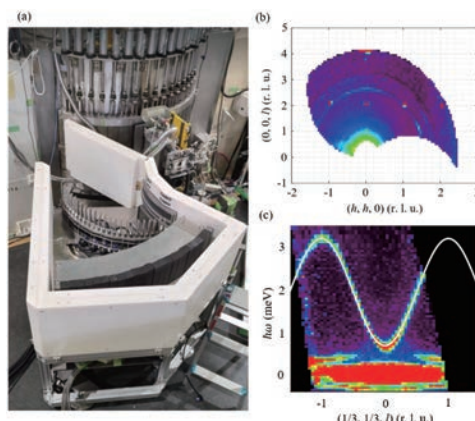
基礎から応用まで幅広く研究されている磁性体は、量子現象開拓のフロンティアとしても多くの興味を集めている。本研究室は、様々な磁性体の新しい量子現象・量子状態を実験的に発見し、その機構を解明することを目標としている。主に J-PARC に設置されている HRC 分光器を利用した研究（左図参照）を推進してきたが、ここ数年は、磁性体のダイナミクスを高効率で測定する新しい中性子分光器 HOrizontally Defocusing Analyzer Concurrent data Acquisition (HODACA, 右図 (a) 参照) の開発にも手を広げた。2023 年度にフラストレート磁性体 CsFeCl₃ を用いた試験運転が行われた。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 70 倍の測定効率であることが明らかとなった。今後は、HRC 分光器と HODACA 分光器の相補利用により、交替磁性体マグノンのカイラル分裂、スピン超固体のダイナミクス、スピン波スピン流などの新しい現象を探索する。

Magnetic materials, which are studied across a wide range from fundamental research to applications, have also attracted significant interest as a frontier for exploring quantum phenomena. Our group aims to experimentally discover novel quantum phenomena and quantum states in various magnetic materials and to elucidate their underlying mechanisms. While our research has primarily utilized the HRC spectrometer installed at J-PARC (see left figure), in recent years we have also expanded our efforts to include the development of a new neutron spectrometer, the Horizontally Defocusing Analyzer Concurrent data Acquisition (HODACA, see right figure (a)), designed for highly efficient measurements of magnetic dynamics. In fiscal year 2023, a test operation using the frustrated magnet CsFeCl₃ was conducted. As shown in the right figure (b), Bragg peaks were correctly observed, and magnetic excitations consistent with previous studies were detected, as shown in the right figure (c). It was found that HODACA offers a measurement efficiency 70 times higher than conventional spectrometers. Going forward, by complementarily utilizing the HRC and HODACA spectrometers, we aim to explore new phenomena such as chiral magnon splitting in alternating magnets, the dynamics of spin supersolids, and spin-wave spin currents.



(a) 交替磁性体 MnTe の中性子スペクトル。約 2 meV のマグノン分裂が観測された。(b) 計算された中性子構造因子のカイラル項。分裂したマグノンが異なるカイラリティを持つことを示している。

(a) Neutron spectrum of the altermagnet MnTe. A magnon splitting of approximately 2 meV was observed. (b) Calculated chiral term of the neutron structure factor. The split magnons have different chiralities.



(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.



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

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

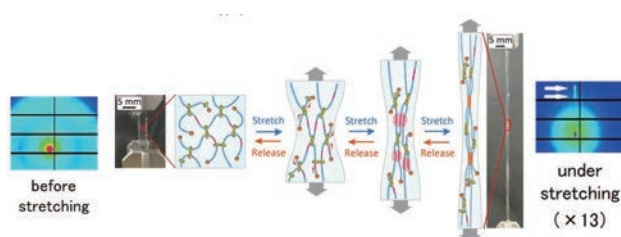
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 小田 達郎
Research Associate
ODA, Tatsuro

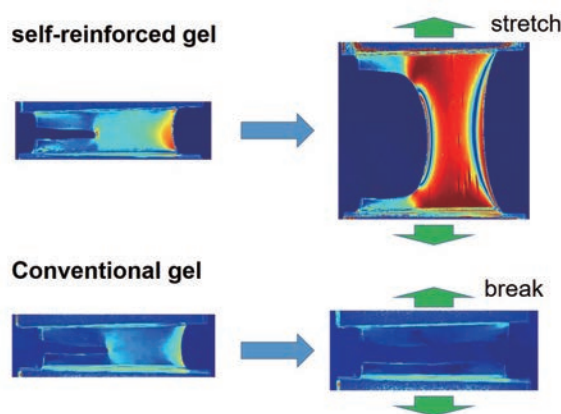
本研究室では、高分子をはじめとしたソフトマターの物性発現機構の解明を目指している。例えば、近年ナノ・分子レベルでの構造制御により高分子材料の機械強度は飛躍的に向上しつつあり、そのような高強度高分子材料は、人工関節や人工血管などの医療材料、ソフトロボット用のアクチュエーター、車・飛行機などに用いる構造材料としての応用が期待されている。我々は、高強度高分子材料に対して、中性子・X線小角散乱法および中性子準弾性散乱法によって変形下におけるナノ構造・ダイナミクスの計測を行っている。高分子材料は多成分で構成されていることが一般的であるが、中性子散乱法を用いると、重水素化ラベリングによって各構成要素を選択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



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



客員教授 関 真一郎
Visiting Professor SEKI, Shinichiro

本研究室では、幾何学的な性質（トポロジー・対称性・次元性など）に立脚した新物質開拓を通じて、革新的なエレクトロニクス・スピントロニクス機能を実現することを目指している。通常、電子の振る舞いは外部から与えられた電場や磁場によって制御される。一方、トポロジカルな秩序構造を伴う物質中では、電子が曲がった空間を感じるにより「創発電磁場」と呼ばれる巨大な仮想電磁場が生じることが発見され、その積極的な活用は物質中の電子の制御手法を根底から変える可能性を秘めている。こうした系のトポロジー・対称性・次元性に由来した未踏の量子現象が発現する新物質の設計・開拓を、中島研究室をはじめとする物性研究所の方々と協力して実施するとともに、微細加工技術を駆使したマイクロデバイスの作成・計測を通じて、超低消費電力な情報処理・超高感度なセンシング等の応用につながる、新しい電子機能の実現に取り組む。

Our group develops novel electronic and spintronic functions through the exploration of new materials with nontrivial topology and symmetry. Usually, the behavior of electrons is controlled by the external electric and magnetic fields. On the other hand, in materials with topologically nontrivial orders, electrons feel giant “emergent” electromagnetic fields due to the curved geometry, and their effective use can dramatically change the way to control electron dynamics. In collaboration with Prof. Nakajima group and other members of ISSP, we design and synthesize new material systems to realize such unique quantum phenomena. By employing the state-of-the-art crystal growth and micro-fabrication techniques, we develop novel electronic functions potentially suitable for various applications such as information processing with ultra-low energy consumption or information detection with ultra-high sensitivity.

