

凝縮系物性研究部門

Division of Condensed Matter Science

高温超伝導体、有機超伝導体、グラフェン、トポロジカル絶縁体など、「新物質」の発見が物質科学の新しい局面を切り拓いた例は枚挙に暇がない。また超伝導や量子ホール効果などの予期せぬ現象は、極低温、高圧、強磁場といった「極限環境」において見出されてきた。凝縮系物性研究部門では、新しい物質系の探索と極限環境を用いた精密測定を組み合わせることにより、新しい物質観につながる物性現象を発見し解明することを目標としている。

当部門を構成する研究室は、自由な発想のもとに、新物質や高品質試料の作製や、極限環境での精密な電氣的・磁氣的・熱的測定を行っている。有機伝導体、原子層（二次元）物質、トポロジカル物質などの多様な物質を対象に、電子相関、フラストレーション、トポロジー、分子自由度などが協奏して現れる多彩な現象の解明に取り組んでいる。

Discoveries of new materials, for example, high temperature superconductors, organic superconductors, graphene, and topological insulators, have often opened new horizons in materials science. Application of extreme conditions of low temperature, high pressure, and high magnetic field have also revealed various unexpected properties of matters, such as superconductivity and quantum Hall effect. The goal of the Division of Condensed Matter Science is to uncover novel phenomena that lead to new concepts of matter, through combining the search for new material and the precise measurements under extreme conditions.

Each group in this division pursues its own research on synthesis of new materials and high quality samples, or on precise measurements of electric, magnetic, and thermal properties, based on their own free ideas. Their main subject is to elucidate various phenomena which emerge as a concerted result of electron correlation, frustration, topology, and molecular degrees of freedom, in various materials such as organic conductors, atomic layer (two-dimensional) materials, and topological materials.

部門主任 長田 俊人
Leader OSADA, Toshihito

森研究室 Mori Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 分子の自由度を生かした新規有機（超）導体およびプロトン伝導体の開発と機能性研究
Development and studies of structural and physical properties for novel organic (super)conductors and proton conductors based upon molecular degree of freedom
- 2 固体中で電子がプロトン運動と協奏した有機伝導体、金属錯体、誘電体の開発と機能性研究
Development and studies of structural and physical properties for electron-proton coupled molecular functional materials
- 3 分子性物質の外場（磁場、電場、温度、圧力）応答の研究
Studies of responses by external stimuli (magnetic and electric fields, temperature, pressure) for molecular materials
- 4 有機電界効果トランジスタの研究
Study of organic field effect transistor



教授 森 初果
Professor MORI, Hatsumi

専攻 Course

理学系化学 新領域物質系

Chem., Sci. Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 藤野 智子
Research Associate
FUJINO, Tomoko

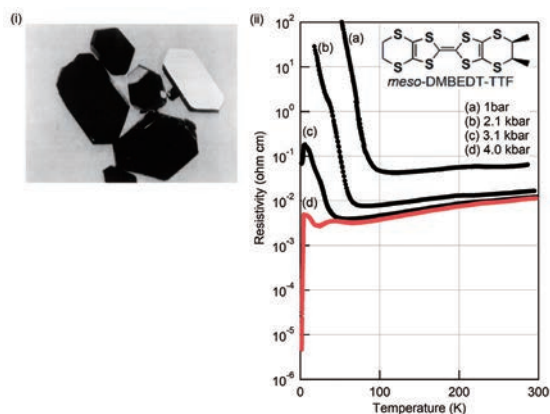


特任助教 出倉 駿
Project Research Associate
DEKURA, Shun

本研究室では、内部自由度をもつ分子が凝縮した分子性物質を対象とし、特異な機能性として電子・プロトン伝導性、磁性、誘電性、その圧力・電場による外場応答性、電界効果トランジスタ特性等の開拓を行っている。これら新分子性機能物質の開発は、塗布型有機伝導体や燃料電池の電解質など、有機エレクトロニクスを支える材料、デバイスの基盤研究となっている。

分子性物質の魅力は、1) 設計・制御可能であること、2) 電子間クーロン相互作用が大きく、電子の波動性と粒子性が競合すること、3) 柔らかいため、特異な外場応答性を発現することなどが挙げられる。

森研究室では、新しいモット型 κ - $\text{ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$ および電荷秩序型 β -(*meso*-DMBEDT-TTF) $_2\text{PF}_6$ 有機超伝導体 (左図) を発見し、物性研究を行った。さらに最近では、水素結合プロトンと伝導電子が動的に連動して、伝導性と磁性の切り替え現象を示す純有機伝導体 (右図) を開発した。



新規有機超伝導体: (i) モット型 κ - $\text{ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$ の単結晶と (ii) 電荷秩序型 β -(*meso*-DMBEDT-TTF) $_2\text{PF}_6$ の電気抵抗の圧力依存性。

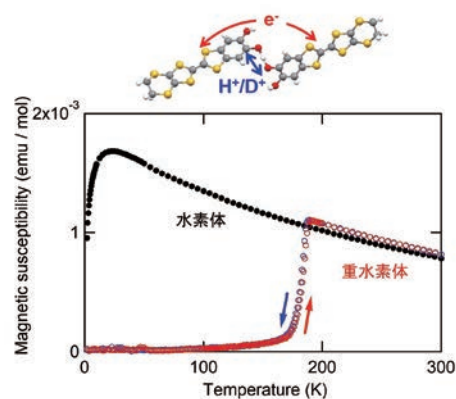
Novel organic superconductors: (i) single crystals of Mott-type κ - $\text{ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$ and (ii) electrical resistivities under pressures for charge-ordered-type β -(*meso*-DMBEDT-TTF) $_2\text{PF}_6$.

Materials science has made great progress with the discovery of new materials that give us new concepts.

In this laboratory, we are focusing on molecular materials, which are condensed molecules with internal degrees of freedom, and exploring their unique functionalities such as electron and proton conductivities, magnetism, dielectricity, external field response due to their pressure and electric fields, and field-effect transistor properties. The development of novel functional molecular materials has become the basic research for materials and devices that support organic electronics, such as coated organic conductors and electrolytes for fuel cells.

Molecular materials are attractive because 1) they can be designed and controlled, 2) the Coulomb interaction between electrons is large, and the wave and particle properties of electrons compete with each other, and 3) they are soft, so they exhibit unique external field responses.

In Mori's group, we discovered and studied the properties of the new Mott-type κ - $\text{ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$ and charge-ordered β -(*meso*-DMBEDT-TTF) $_2\text{PF}_6$ organic superconductors (left figure). More recently, we have developed a pure organic conductor (right figure) in which hydrogen-bonded protons and conduction electrons are dynamically concerted, exhibiting a switching phenomenon between conductivity and magnetism.



伝導電子と水素結合プロトンが相関する純有機伝導体 κ - $\text{ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$ - $\text{X}_3(\text{Cat-EDT-TTF})_2$ ($\text{X} = \text{H}, \text{D}$) において、大きな重水素効果により高温で伝導性および磁性が切り替わる。

Switching behavior of electrical resistivity and magnetism due to large deuterium isotope effect in proton-electron correlated purely organic conductors κ - $\text{X}_3(\text{Cat-EDT-TTF})_2$ ($\text{X} = \text{H}, \text{D}$).



長田研究室 Osada Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 有機ディラック電子系のトポジカル物性
Topological properties of organic Dirac fermion systems
- 2 次元物質の電子構造と量子輸送現象
Electronic structure and quantum transport in two-dimensional materials
- 3 層状伝導体の角度依存磁気伝導と層間コヒーレンス
Angle-dependent magnetotransport and interlayer coherence in layered conductors
- 4 グラファイトの磁場誘起電子相転移の超薄膜化による量子サイズ効果
Quantum size effect of ultra-thinning on magnetic-field-induced electronic phase transitions in graphite



教授 長田 俊人
Professor OSADA, Toshihito

専攻 Course

工学系物理工学

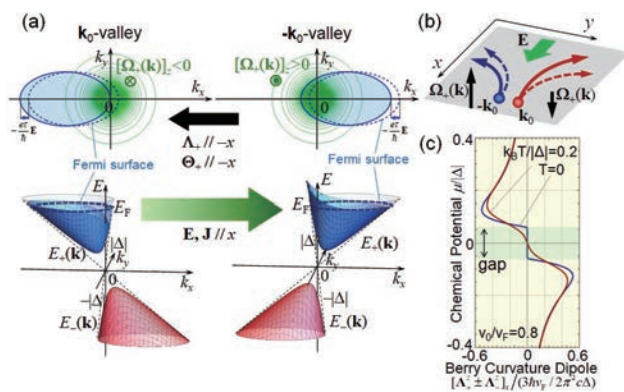
App. Phys., Eng.



助教 田縁 俊光
Research Associate
TAEN, Toshihiro

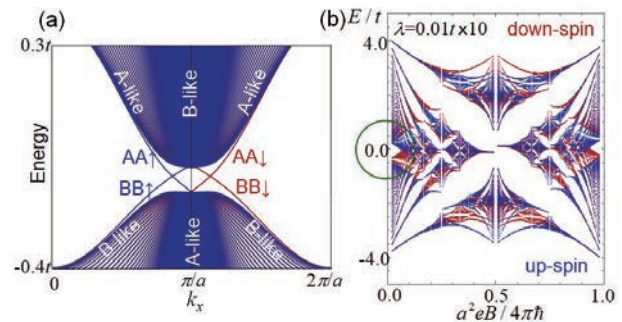
本研究室では、原子層（二次元）物質、トポジカル物質、人工ナノ構造を対象として、強磁場・低温・高圧環境下の輸送測定（直流・交流伝導、熱電効果等）の実験的研究を行うことにより、新しい電子状態や量子輸送現象、トポジカル現象を探索・解明・制御することを目指している。主な実験手段は先端的微細加工・評価装置群を用いた原子層積層構造やナノ構造の素子形成（電子線リソグラフィー等）、超伝導磁石内の2軸全磁場方位依存性の精密計測、40 T級小型パルス磁石による強磁場計測などであり、簡単な理論的考察も並行して行う。近年は有機ディラック電子系や τ 型有機導体におけるトポジカル電子状態（量子ホール強磁性、チャーン絶縁相など）やトポジカル輸送現象（非線形異常ホール効果など）、振れ積層グラフェンや黒リン超薄膜の量子伝導、グラファイトの磁場誘起電子相転移に対する超薄膜化による量子サイズ効果に関する研究を行っている。

Osada group aims to search, elucidate, and control novel electronic states, quantum transport phenomena, and topological phenomena in atomic layer (two-dimensional) materials, topological materials, and artificial nanostructures, by transport measurements (dc/ac electric transport, thermoelectric effects, etc.) under high magnetic field, low temperature, and high pressure environments. The main experimental tools include device fabrication of atomic layers, their complex stacks and nanostructures using advanced microfabrication/evaluation equipment (electron-beam lithography etc.), precision measurement of double-axial angle dependence in superconducting magnets, high magnetic field measurement with 40T-class miniature pulse magnet. Simple theoretical studies are also performed in parallel. Recently, we have focused on topological electronic states (quantum Hall ferromagnetic state, Chern insulator state, etc.) and transport phenomena (nonlinear anomalous Hall effect, etc.) in organic Dirac fermion systems and τ -type organic conductors, quantum transport in twisted bilayer graphene and black phosphorus ultrathin films, and quantum size effect of ultra-thinning on the magnetic-field-induced electronic phase transitions in graphite.



(a) 電荷秩序ギャップのある有機ディラック電子系のバンドと伝導帯のベリー曲率。電流を流すと占有状態がフェルミ面からずれる。(b) 非線形異常ホール効果。(c) ベリー曲率双極子の化学ポテンシャル依存性。

(a) Band structure of organic Dirac fermion system with a charge order gap and Berry curvature of its conduction band. When the system carries electric current, the occupied region shifts from the Fermi surface. (b) Nonlinear anomalous Hall effect. (c) Chemical potential dependence of the Berry curvature dipole.



(a) スピン軌道相互作用のある τ 型有機導体ナノリボンのバンド構造。ギャップ内にヘリカルエッジ状態が現れる。(b) τ 型有機導体の磁場中エネルギー準位。軌道効果によるスピン分裂が起こる。

(a) Band structure of the nanoribbon of the τ -type organic conductor with a finite spin-orbit coupling. There appear helical edge states in the gap. (b) Energy levels of the τ -type organic conductor under magnetic fields. Spin splitting with orbital origin can be seen.

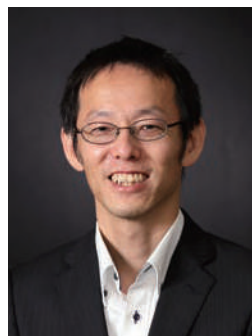


https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/osada_group.html

山下研究室 Yamashita Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 超低温における強相関電子系の研究
Study of strongly correlated-electron systems at ultralow temperatures
- 2 絶縁体における非荷電励起の熱ホール効果
Study of thermal Hall effects of charge-neutral excitations in insulators
- 3 NMR を用いた多極子秩序の研究
Multipole orders studied by NMR measurements



准教授 山下 穂
Associate Professor YAMASHITA, Minoru

専攻 Course

新領域物質系

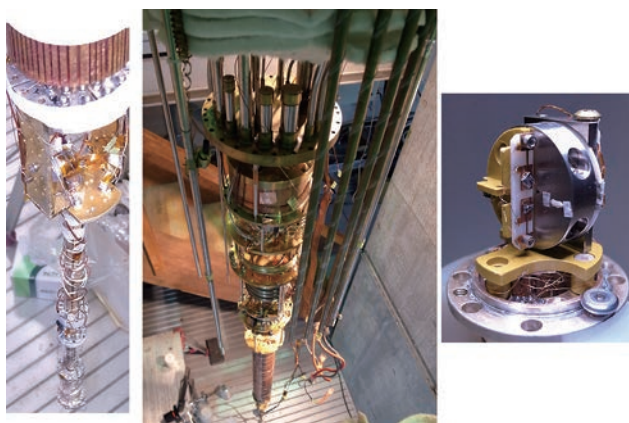
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 武田 晃
Research Associate
TAKEDA, Hikaru

温度の下限である絶対零度では全ての物質は凍りついてしまっ、何も面白い現象は無いように思われる。ところが、1ケルビンという低温領域で金属の電気抵抗が突然0になるという超伝導現象が発見されたのを契機に、液体ヘリウムの超流動転移、希薄アルカリ気体のボース凝縮など様々な量子凝縮相が極低温で発見された。室温では熱揺らぎに隠れてしまって見えない、多彩で不思議な物理現象が低温領域に隠れていたわけである。

当研究室ではこのような量子凝縮現象に興味を持ち、低温までの精密測定によってその物性を明らかにする研究を行っている。特に、電子系研究が全く行われてこなかった20 mK以下の超低温領域における量子臨界現象、超伝導現象の解明に力を入れている。さらに、絶縁体中のフォノンやスピンなどの非荷電励起の示す熱ホール効果やNMR測定を用いた多極子秩序の研究に力を入れて研究を進めている。

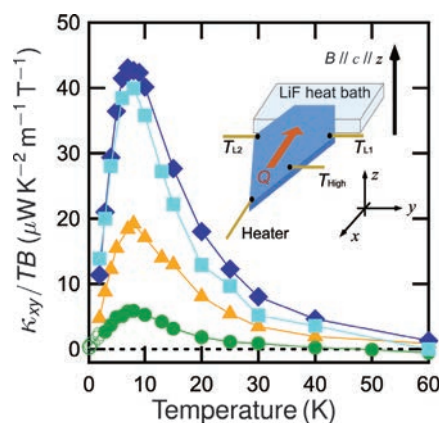


物性研の核断熱消磁冷凍機。超低温（1 mK）・高磁場（10 T）の実験が可能。左下挿入図が実験空間拡大写真。右下挿入図が超低温トルク測定用カンチレバー。

The ultralow temperature cryostat at ISSP. Nuclear demagnetization cooling enables experiments down to 1 mK under a magnetic field up to 10 T. The lower left picture is an enlarged view of the experimental space. The lower right picture shows a cantilever cell for torque measurements.

What happens when materials are cooled down close to absolute zero temperature? It sounds a boring question because everything freezes at $T = 0$. It is NOT true, however, because quantum fluctuations persist even at absolute zero temperature. The richness of low-temperature physics was first demonstrated by Heike Kamerlingh Onnes in 1911, who was the first to liquify Helium and reached ~ 1 K. He discovered that the resistance of mercury suddenly vanished at low temperature. Followed by this discovery of the superconducting transition, many amazing quantum phenomena – superfluid transition of Helium, Bose-Einstein condensations of Alkali Bose gases – were found at low temperatures.

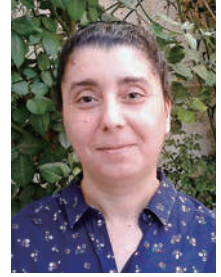
We are interested in these quantum condensed states at low temperatures where the thermal fluctuations are negligible. Especially, we are now challenging measurements of correlated electron systems at ultralow temperatures (below 20 mK) where many interesting phenomena have remained unexplored due to technical difficulties. Further, we are studying thermal Hall effects of charge-neutral excitations (phonons and spins) in an insulator, as well as detecting multipole orders by NMR measurements.



Cdカベラサイト石で観測された熱ホール伝導率 κ_{xy} の温度依存性。温度依存性はよく似ているが、試料ごとの縦熱伝導率の大きさに対応して κ_{xy} の大きさも変わることが分かった。挿入図は実験セットアップの模式図。

The temperature dependence of the thermal Hall conductivity κ_{xy} of Cd capellasite samples. Although the temperature dependence of all samples are similar, the magnitude of κ_{xy} is found to depend on the magnitude of the longitudinal thermal conductivity. The inset shows the setup of the measurements.





外国人客員教授 ハダード ソニア
Visiting Professor HADDAD, Sonia

低次元物質、特に有機超伝導体やグラフェンなどの二次元物質、トポロジカル物質に興味がある。近年、私達のグループは二次元物質の電子のおよび振動的物性に対する機械的歪の効果を実験的に研究してきた。グラフェンにおける歪誘起バレートロンニクスの可能性や、歪んだ振れ積層二層グラフェンと遷移金属ダイカルコゲナイドにおける平坦バンド出現の可能性を探索した。またチャーン絶縁体における歪とトポロジーの関係についても研究した。さらにカイラルおよび反カイラルエッジ状態を持つ系における歪誘起トポロジカル相転移の可能性を見出した。

物性研究所では実験グループと協力して、振れ積層二層グラフェンや有機ディラック電子系 α -(BEDT-TTF)₂I₃、およびトポロジカル物質の熱輸送や磁場中輸送現象に対する歪の影響の研究を集中的に行う。また歪んだ有機導体のヘリカルエッジ状態の振る舞いについても研究する予定である。

I am interested in low dimensional materials and in particular organic superconductors, graphene like systems and topological materials. Recently, our group studied, theoretically, the role of mechanical strain on the electronic and vibrational properties of two-dimensional materials. We looked for the possibility of a strain induced valleytronics in graphene and the emergence of flat bands in strained twisted bilayer graphene and metal transition dichalcogenides. We also investigated the interplay between strain and topology in Chern insulators. We found that strain could induce topological phase transitions in systems with chiral and anti-chiral edge states.

At the Institute for Solid State Physics, my work will be devoted to the strain effects on the thermal transport and magnetotransport properties of twisted bilayer graphene, organic Dirac fermion system α -(BEDT-TTF)₂I₃, and topological materials, in collaboration with the experimental group. I am also willing to investigate the behavior of the helical edge states in strained organic conductors.

