

附属国際超強磁場科学研究施設

International MegaGauss Science Laboratory

当施設では、パルスマグネットによって強力な磁場を発生し、様々な物質（半導体、磁性体、金属、絶縁体など）の電子状態を調べている。非破壊型パルスマグネットは 80 テスラ程度まで発生可能であり、電気伝導、光学応答、磁化などの精密物性計測、高圧や低温と組み合わせた複合極限実験に用いられる。また国内外の強磁場を必要とする物性科学の研究に幅広く利用されている。世界最大の直流発電機 (210 メガジュール) を用いた超ロングパルス (1 ~ 10 秒程度) を用いれば、準定常磁場として精密熱測定なども可能であり、開発中の非破壊 100 テスラ磁場発生にも用いられている。他方、破壊型パルスマグネットには一巻きコイル法と電磁濃縮法があり、100 ~ 1000 テスラの超強磁場を発生可能である。極限的な強磁場が誘起する新奇現象探索を通じて、化学・生命や宇宙物理との融合研究への展開も行なっている。

In the IMGSL, electronic states of matter are investigated using pulsed magnets. Many kinds of materials, such as semiconductors, magnetic materials, metals, and insulators are studied. Non-destructive magnets can generate approximately 80 T and are used for high precision experiments including electrical resistivity, optical property, and magnetization measurements. Combination of high pressures and low temperatures with the high magnetic field is also available. These experimental techniques are open for domestic as well as international researchers. The magnet technologies are intensively devoted to developments for the quasi-steady long pulse magnet (an order of 1-10 sec) energized by the world largest DC generator (210 MJ), and also to a 100 Tesla class nondestructive magnet. On the other hand, the single-turn coil and electromagnetic flux compression techniques have been utilized for ultrahigh magnetic field generation exceeding 100 T in destructive manner. Researches with the multi-megagauss fields of around 100 to 1000 T have been conducted aiming to a discovery of novel phenomena. Also, we plan to the use multi-megagauss fields for interdisciplinary researches with chemistry, bioscience, and space physics.

施設長 松田 康弘
Leader MATSUDA, Yasuhiro H.

金道研究室 Kindo Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 非破壊パルスマグネットの開発
Development of Non-destructive Pulse Magnets
- 2 強磁場を用いたスピン軌道相互作用の強い Mott 絶縁体の研究
Study of Spin-orbital Coupled Mott Insulators at High Fields
- 3 有機伝導体の強磁場中電子物性の研究
Study on High-field Electronic Properties of Organic Conductors
- 4 パルス磁場中での物性測定手法の開発
Development of Physical Property Measurement Techniques in Pulsed Magnetic Field



教授 金道 浩一
Professor KINDO, Koichi

専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.



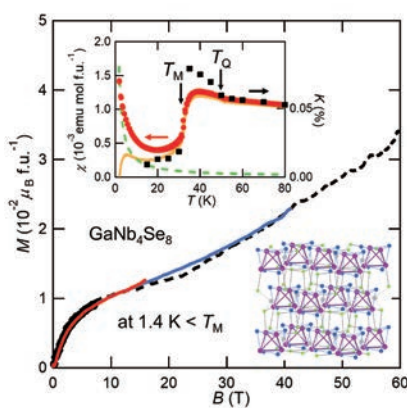
助教 石川 孟
Research Associate
ISHIKAWA, Hajime



特任助教 今城 周作
Project Research Associate
IMAJO, Shusaku

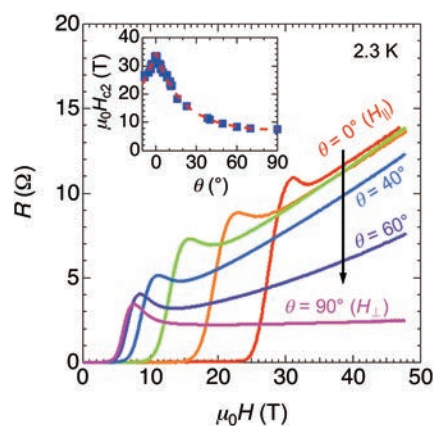
物性測定用途に合わせた様々な到達磁場やパルス長を持つパルスマグネットの開発と、それが作り出すパルス強磁場下での精密物性測定を基盤とした物性研究を行っている。例えば最大 75 テスラ (T)、4 ミリ秒の磁場下での磁化測定、最大 65T、30 ミリ秒の磁場下での電気抵抗測定、最大 43T、1 秒の磁場下での比熱測定を行っている。非破壊的な 100T の発生や、より長時間のパルス強磁場の発生を目指してマグネットの開発を行っている。スピン軌道相互作用の強い Mott 絶縁体や二次元有機超伝導体といった強磁場下での物性が未知の強相関電子系を主な研究対象とし、量子磁気相や伝導相を探索している。共同研究者から試料提供を受けるだけでなく、自ら興味ある物質を合成して研究を展開している。

We perform materials physics research based on the precise physical property measurements under strong pulsed magnetic fields, which are generated by the tailored pulse magnets with various strength and duration of magnetic fields. We perform e.g. magnetization measurements up to 75 tesla (T) in 4 msec, resistance measurements up to 65 T in 30 msec, and heat capacity measurements up to 43 T in 1 sec. We aim to develop the pulse magnets that can generate 100 T non-destructively or ultra-long pulsed magnetic field. We explore quantum magnetic or conducting phases at high fields in strongly correlated electron systems including spin-orbital coupled Mott insulators and quasi-two-dimensional organic superconductors. We synthesize the materials of interest as well as investigate the novel materials developed by the collaborators.



スピン軌道相互作用の強い 4d 電子 Mott 絶縁体 GaNb_4Se_8 の磁化曲線。小さな磁化と単調な磁化曲線は、磁気転移温度 $T_M = 30$ K から期待されるよりも大きなギャップを持つ強固な非磁性基底状態が実現していることを示している。

Magnetization curve of a 4d transition metal Mott insulator GaNb_4Se_8 . The featureless magnetization curve with small magnetization indicates that the nonmagnetic ground state with an excitation gap larger than the energy scale of the magnetic transition temperature $T_M = 30$ K is realized.



二次元有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Br の低温強磁場中電気抵抗。磁場によって超伝導が抑制され、超伝導臨界磁場 H_{c2} 以上で常伝導状態となる。

Low-temperature electrical resistance of the two-dimensional organic superconductor κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Br in high fields. The superconductivity is suppressed by magnetic field and shows the transition to the normal state at upper critical field H_{c2} .



研究テーマ Research Subjects

- 1 磁場誘起 - 絶縁体金属転移
Magnetic-field-induced insulator-metal transition
- 2 超強磁場における励起子状態
Excitons in ultrahigh magnetic fields
- 3 高温超伝導体の強磁場電子状態
Electronic states in high- T_c superconductors in a strong magnetic field
- 4 化学結合・化学反応の超強磁場効果
Ultrahigh magnetic field effects on chemical bonding and chemical reaction

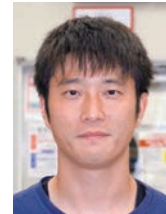


教授 松田 康弘
Professor MATSUDA, Yasuhiro H.

専攻 Course

新領域物質系

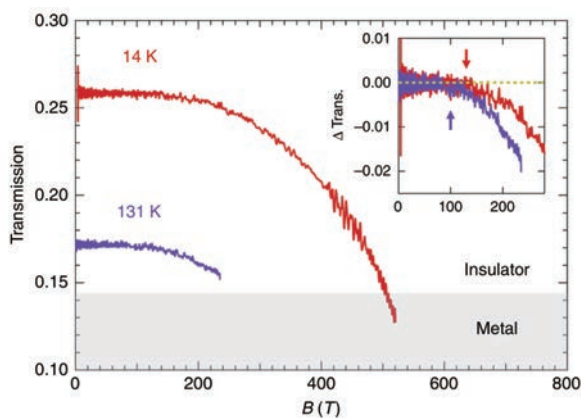
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 池田 暁彦
Research Associate
IKEDA, Akihiko

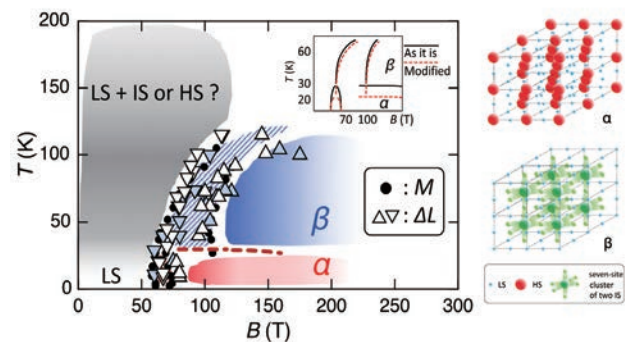
1000 T までの超強磁場下で現れる物質の性質について研究を行っている。磁場は電子のスピンや軌道運動に直接作用し、強力な磁場により物質の基底状態は大きく変化する。100 T を大きく超える磁場の発生には破壊型のマグネットを用いる必要があり、その技術的障壁を越えた先には未開拓の研究領域が広がっている。強相関電子系の絶縁体金属転移や超伝導現象の磁場効果は興味深い研究テーマである。また、強力な磁場中では原子の波動関数にも非摂動的効果が期待される。固体中の励起子は水素原子と類似の電子状態にあり、その極限状態を調べる。さらに、化学結合への磁場効果の観点から構造相転移への磁場の微視的作用についても研究を行う。それらの研究を行うための 100 ~ 1000 T 領域における様々な新しい計測技術の開発にも積極的に取り組んでいる。

We have been studying properties of solids that appear in ultrahigh magnetic fields of up to 1000 T. The ground state of matter can significantly change by applying such a strong magnetic field through direct interaction of a magnetic field with spin and that with kinetic motion of an electron. Unexplored research area is open in a magnetic field range over 100 T because specially designed destructive manners are required to produce the magnetic field. Metal-insulator transition and high- T_c superconductivity are intriguing subjects for the ultrahigh field research. Non-perturbative effects are expected in the hydrogen-atom-like energy state of an exciton in the strong magnetic field, which is a similar situation with a hydrogen atom at an extremely high magnetic field of 10^8 T in the neutron star. Effects on chemical bonding by 1000 T magnetic field is studied in terms of influences of magnetic fields to structural phase transitions in solids. In order to experimentally study the 1000 T science, development of measurement techniques has also been done as parts of purposes of the research.



W を 6% ドープした VO_2 薄膜結晶の $1.977 \mu\text{m}$ での磁気透過測定結果。およそ 500 T で金属化による透過光強度の減少が観測されている。

Magneto-transmission at $1.977 \mu\text{m}$ in a W-doped (6%) VO_2 thin film. The magnetic field induced metallization is indicated by a significant decrease of the transmission at around 500 T.



超強磁場 FBG 歪み測定から決定された LaCoO_3 の磁場温度相図。右は各種スピン状態、及び、強磁場 α 相、 β 相の模式的表現。

Magnetic field-temperature (B-T) phase diagram of LaCoO_3 determined by the FBG magnetostriction measurements. Right figures schematically represent different spin states and high-field α and β phases.



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

徳永研究室 Tokunaga Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 マルチフェロイック物質の磁場誘起相転移
Field-induced transitions in multiferroic materials
- 2 量子極限状態における電子相転移
Electronic phase transitions in the quantum limit state
- 3 パルス強磁場下における高速偏光顕微鏡観察
High-speed polarizing microscope imaging in pulsed-high magnetic fields
- 4 トポロジカル物質の強磁場物性研究
High-field study of topological materials



准教授 徳永 将史
Associate Professor TOKUNAGA, Masashi

専攻 Course

理学系物理学
Phys., Sci.



助教 三宅 厚志
Research Associate
MIYAKE, Atsushi



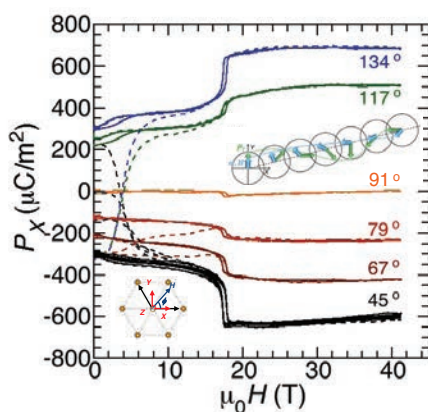
助教 三田村 裕幸
Research Associate
MITAMURA, Hiroyuki



特任助教 木下 雄斗
Project Research Associate
KINOSHITA, Yuto

磁場は電子のスピン、軌道運動および位相に直接作用する外場であり、物性物理学の幅広い分野の研究に不可欠である。我々は最高 60 T までのパルス強磁場下における物性研究を通して、強磁場下で実現する新しい量子状態および非自明な磁場誘起現象の探索を行っている。強磁場下で現れる現象の本質を正しく理解するためには、多様な物理量を高い精度で測定することが重要である。我々は、パルス磁場下で起こる磁性、電気伝導性、誘電性、構造、対称性、温度などの変化を瞬間的に検出する測定手法を開発・改良している。これらの測定を駆使して、マルチフェロイック物質における交差相関物性やトポロジカル半金属の磁気輸送特性などを研究している。

また年間 40 件程度の国内および国際共同研究を行い、様々な遍歴・局在スピ系物質、トポロジカル物質などの強磁場物性研究を展開している。



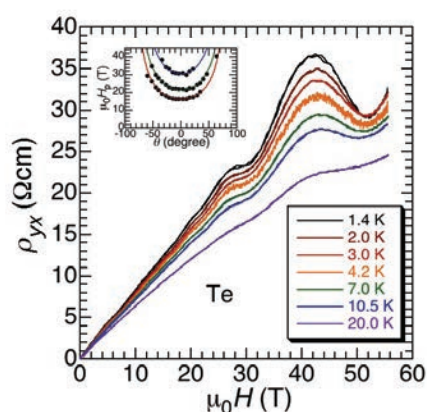
BiFeO₃ における電気磁気効果の磁場方位依存性。挿入図は 20T 以上の傾角反強磁性相における強磁性磁化とスピン由来の電気分極の回転を表す。

Field-angle dependence of magneto-electric effects in BiFeO₃. The inset schematically shows rotation of the ferromagnetic moment and spin-driven electric polarization in the canted-antiferromagnetic states above 20 T.

Magnetic fields have been widely used in the research of solid-state physics as they can directly and continuously tune the spins, orbitals, and phases of electrons in materials. We explore novel quantum phenomena and non-trivial field effects in pulsed-high magnetic fields up to 60 T using various state-of-the-art experimental techniques to study their magnetic, transport, dielectric, structural, optical, and caloric properties.

In BiFeO₃, which is perhaps the most extensively studied multiferroic material, our high-field studies clarified microscopic origin of the magnetoelectric coupling and revealed non-volatile memory effect, magnetic control of ferroelastic strain, and a novel multiferroic phase at around room temperature. In addition, our high-field experiments on semimetals and semiconductors revealed novel insulating phase in graphite, valley polarization in bismuth, and quantum oscillations in semiconducting tellurium.

In addition to these in-house studies, we accept about 40 joint research projects per year and study various localized/itinerant magnets and topological materials in high magnetic fields.



単結晶 Te のホール抵抗で観測した量子振動。(挿入図) ホール抵抗における微分ピークの磁場方位依存性。実線で示した二次元系で予想される振る舞いとの一致は、この振動が二次元表面状態に起因することを示す。

Quantum oscillations observed in Hall resistance of a single crystal of Te. (inset) Field-angle dependence of differential peaks in Hall resistance shows two-dimensional behavior shown by the solid lines. This coincidence indicates existence of metallic surface states in semiconducting Te.



小濱研究室 Kohama Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 レーザーを用いた磁気光学効果の研究とその超強磁場科学への応用
Magneto-optical measurements with laser optics and its application to ultra-high magnetic field science
- 2 パルス強磁場下における NMR 測定と磁性体への応用
NMR measurement under pulsed fields and its application to magnetic materials
- 3 微細加工技術を用いた新規測定手法の開発
Development of new measurement techniques with nanofabrication technology
- 4 超強磁場を用いた量子振動の観測とトポロジカル絶縁体のフェルミオロジー
Observation of quantum oscillation in ultra-high magnetic fields and fermiology of topological insulators



准教授 小濱 芳允
Associate Professor KOHAMA, Yoshimitsu

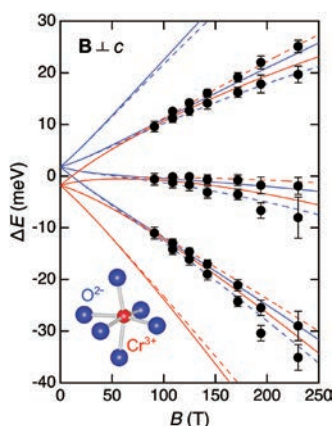
専攻 Course
工学系物理学
App. Phys., Eng.



助教 野村 肇宏
Research Associate
NOMURA, Toshihiro

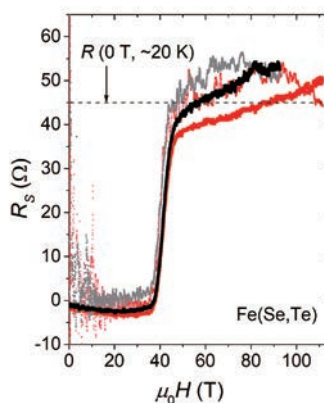
100 テスラを超える超強磁場は、ごく最近までその発生すら困難であった極限環境であり、人類未踏の研究領域といえる。このような極限環境下では多彩な物理現象が予想されており、当研究室ではこれら新奇物理現象の発見そして解明を目指している。主な実験手法としては、『1. レーザーを用いた磁気光学測定』、『2. 微細加工デバイスによる超高速電気抵抗測定』、『3. FPGA デバイスによるパルス強磁場 NMR 測定』、『4. ロングパルス磁場下での時分割中性子回折』を採用もしくは開発しており、これにより様々な強相関電子系における諸現象を探索している。現在の主なテーマは、トポロジカル絶縁体や超伝導物質における強磁場伝導状態の研究や、量子スピン系化合物の磁場誘起相の探索である。最終的な目標には 1000 テスラ領域での精密な物性研究を掲げており、この達成のために超強磁場発生技術および新規測定技術の開発にも力を注いでいる。

Ultra-high magnetic field (higher than 100 T) is an extreme condition that remains unexplored until recently. In this field region, many of unprecedented phenomena are expected to appear, and those observations are the focus of our group. To achieve this goal, we employ/develop the following experimental techniques, “1. Magneto-optical measurement under pulsed magnetic fields”, “2. Ultra-fast magnetoresistance measurement with micro-fabricated devices”, “3. Pulsed-field NMR experiment with a FPGA module”, and “4. Time-resolved neutron diffraction under long pulsed fields”. With these techniques, we currently investigate field induced phenomena, such as the quantum transport in topological insulators/superconductors and the novel magnetic phases in quantum spin systems. Our final goal is the extension of the available field range of a condensed matter research up to ~1000 T, and thus our future work will also be devoted to technical developments for ultra-high magnetic field generations as well as the further improvements of measurement techniques.



超強磁場下において、非線型なゼーマン分裂が観測された。挿入図は、ルビーの蛍光の原因となる Al_2O_3 中における Cr^{3+} イオンを示す。

Zeeman splitting pattern of the R lines of Ruby. The non-linear Zeeman splitting was observed in ultra-high magnetic field region above 100 T. The inset shows the octahedrally coordinated Cr^{3+} ions in Al_2O_3 which is the cause of the photoluminescence of ruby.



$\text{Fe}(\text{Se},\text{Te})$ 系超伝導体における磁気抵抗測定。このサンプルにおいては 40 T 付近に電気抵抗のジャンプを伴う H_{c2} が観測される。これらの手法により、磁気抵抗は 200 T 程度まで測定可能。

Magnetoresistance of the upper critical field on $\text{Fe}(\text{Se},\text{Te})$ superconductor. The upper critical field accompanied by the resistivity jump was observed around 40 T. The accessible field range for the magnetoresistance measurement is ~200 T.



ポルトガル研究室 Portugall Group



外国人客員教授 ポルトガル オリバー
Visiting Professor PORTUGALL, Oliver

メガガウス磁場の応用促進のため、2つのアプローチをとる。一つは、一卷きコイル法 (STC) の磁場発生特性の改善であり、もう一つは、メガガウス磁場が必須となる有機半導体 (OS) の光学特性の研究である。

STC の特性改善については、磁場不均一性の時間依存性を実験的、理論的に決定する。実験的にはファラデー回転イメージング、理論的にはファイラメンタリーアプローチを元に伝導体の電流分布を調べる。また、コイル形状の工夫による破壊的現象の軽減の可能性についても検討する。

OS は有機 EL テレビに代表されるように応用上重要であるが、その本質的な特性については不明な点が多い。電荷が分子軌道に局在しており磁場応答が非常に小さいためである。一方、メガガウス磁場を用いれば、磁気光学スペクトルにダビドフ分裂やアハラノフ - ボーム分裂のような摂動効果が現れると期待され、OS の電荷ダイナミクスについて明らかにする。

Our aim is to promote the use of megagauss fields in scientific experiments in two ways: by improving and characterizing the performance of single-turn coils (STC) for different scientific applications; and by studying the optical properties of organic semiconductors (OS) as an example for materials where megagauss fields are essential.

To improve the characterization of STC, we determine their time-dependent field homogeneity both experimentally using Faraday rotation imaging, and theoretically based on a filamentary approach for the current distribution inside the conductor. This approach will also be used to investigate whether suitable coil shapes can reduce the destructive effect of explosive conductor sublimation inside the bore at very high fields.

OS are widely used in main-stream technology such as OLED-TVs, yet some of their intrinsic properties remain elusive. This is partially due to the inefficiency of magneto-spectroscopic investigation methods as charge carriers are localized in molecular orbitals and hence insensitive to an applied field. However, megagauss fields can create at least perturbative effects, giving rise to phenomena such as Davydov or Aharonov-Bohm splittings. Our plan is to investigate these phenomena in order to learn more about the charge carrier dynamics of OS.