

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 金道 浩一
Leader KINDO, Koichi

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.



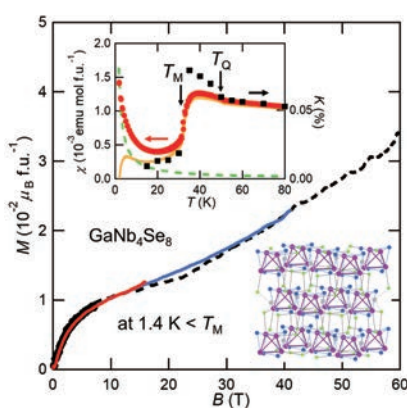
助教 石川 孟
Research Associate
ISHIKAWA, Hajime



特任助教 今城 周作
Project Research Associate
IMAJO, Shusaku

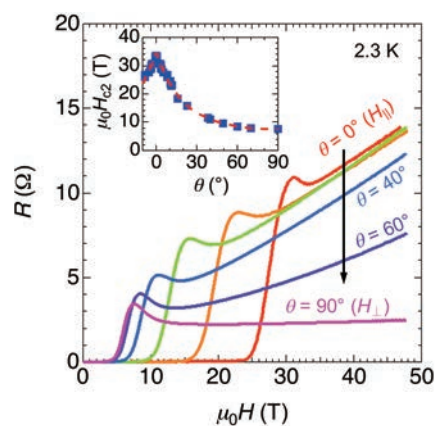
物性測定用途に合わせた様々な到達磁場やパルス長を持つパルスマグネットの開発と、それが作り出すパルス強磁場下での精密物性測定を基盤とした物性研究を行っている。例えば最大 75 テスラ (T)、4 ミリ秒の磁場下での磁化測定、最大 65T、30 ミリ秒の磁場下での電気抵抗測定、最大 43T、1 秒の磁場下での比熱測定を行っている。非破壊的な 100T の発生や、より長時間のパルス強磁場の発生を目指してマグネットの開発を行っている。スピン軌道相互作用の強い Mott 絶縁体や二次元有機超伝導体といった強磁場下での物性が未知の強相関電子系を主な研究対象とし、量子磁気相や伝導相を探索している。共同研究者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



二次元有機超伝導体 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ 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 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ in high fields. The superconductivity is suppressed by magnetic field and shows the transition to the normal state at upper critical field H_{c2} .



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

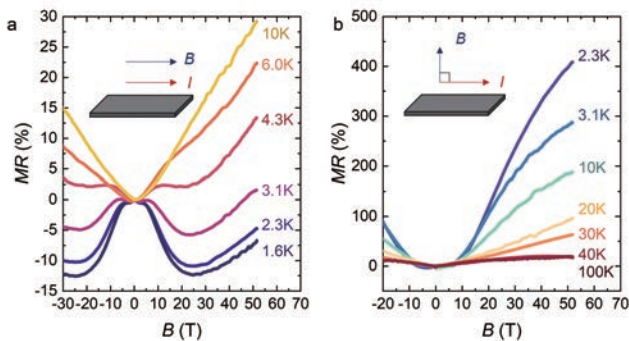
専攻 Course

工学系物理学

App. Phys., Eng.

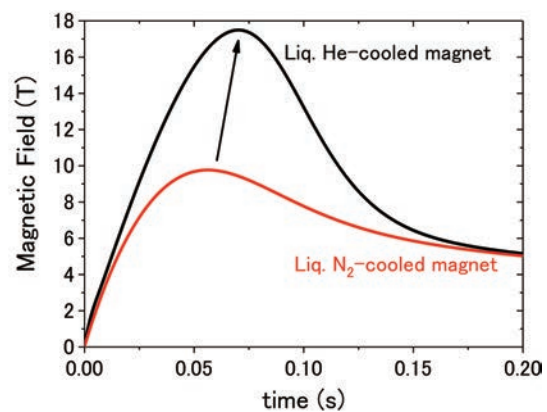
100 T を超える超強磁場領域は、ごく最近までその発生すら困難であった極限環境であり、人類未踏の研究領域といえる。このような極限環境下では多彩な物理現象が予想されており、当研究室ではこれら新奇物理現象の発見そして解明を目指している。主な実験手法としては、『1. レーザーを用いた磁気光学測定』、『2. 微細加工デバイスによる超高速電気抵抗測定』、『3. FPGA デバイスによるパルス強磁場 NMR 測定』、『4. ロングパルス磁場下での時分割中性子回折』を採用もしくは開発しており、これにより様々な強相関電子系における諸現象を探索している。現在の主なテーマは、トポロジカル絶縁体や超伝導物質におけ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 T 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 their experimental observations and understandings 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”, and so on. With these state-of-the-art techniques, we currently investigate various 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 efforts are also devoted to technical developments for ultra-high magnetic field generations as well as the further improvements of measurement techniques.



α -(BETS)₂I₃ の特異な磁場応答性 (a) 低温における磁気抵抗効果。電流と平行に磁場を印加すると、カイラル磁気異常効果による負の磁気抵抗効果が観測される。(b) 電流と垂直に磁場を印加すると、正の磁気抵抗が観測される。

Unique magnetic field response of α -(BETS)₂I₃ (a) Magnetoresistance at low temperatures. When a magnetic field is applied parallel to the current, a negative magnetoresistance due to the chiral magnetic effect is observed. (b) Positive magnetoresistance is observed when a magnetic field is applied perpendicular to the current.



高純度銅 (6N) を使ったコイルによるロングパルス磁場発生。黒線は液体ヘリウムで冷却した高純度銅コイルによるパルス磁場。赤線は液体窒素で冷却した高純度銅コイルによるパルス磁場。

Long pulsed magnetic field generated by coil using high-purity copper (6N) wire. The black line is a pulsed magnetic field generated by a high-purity copper coil cooled with liquid helium. The red line is a pulsed magnetic field generated by a high-purity copper coil cooled with liquid nitrogen.



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.



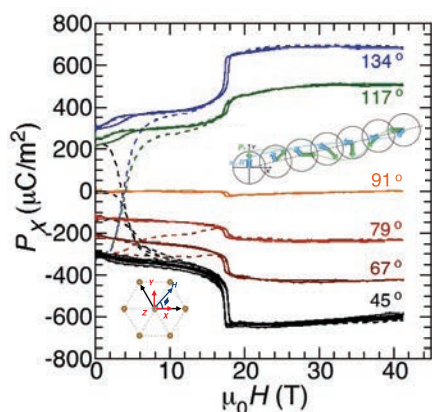
助教 三田村 裕幸
Research Associate
MITAMURA, Hiroyuki



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・局在スピン系物質、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。



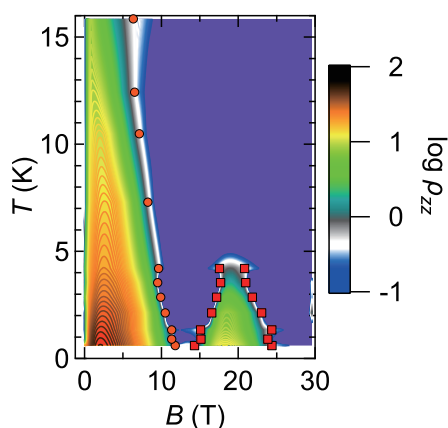
BiFeO₃ における電気磁気効果の磁場方位依存性。挿入図は 20 T 以上の傾角反強磁性相における強磁性磁化とスピン由来の電気分極の回転を表す。

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.



トポロジカル絶縁体 BiSb 合金の縦磁気抵抗。抵抗率の温度磁場依存性をカラープロットで示した。低温で磁場を増加すると 11 T 付近で半導体から半金属に転移した後、20 T 付近で新たな絶縁体になる。

Longitudinal magnetoresistance of a topological insulator BiSb alloy. The color plot demonstrates field and temperature dependence of the resistivity. Application of the magnetic field causes semiconductor-semimetal transition at ~11 T, and induce a novel insulating state at ~20 T.



松田康弘研究室 Y. Matsuda Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 強相関電子系の磁場誘起絶縁体金属転移
The magnetic field-induced insulator-metal transition of strongly correlated materials
- 2 強誘電体の磁場誘起相転移の探索
Quest for the magnetic field-induced phase transition in the ferroelectric material
- 3 超強磁場におけるファンデルワールス固体の励起子状態
Excitons in van der Waals solids at an ultrahigh magnetic field
- 4 光化学反応における磁場効果の探索
Quest for the magnetic field effect on photochemical reaction



教授 松田 康弘
Professor MATSUDA, Yasuhiro H.

専攻 Course

新領域物質系

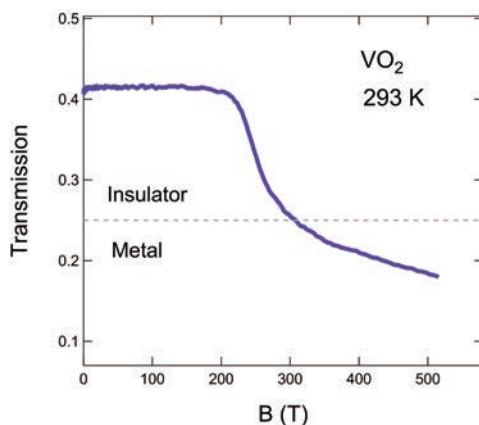
Adv. Mat., Frontier Sci.



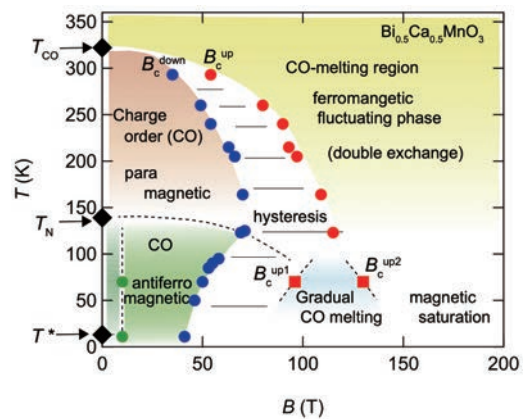
助教 石井 裕人
Research Associate
ISHII, Yuto

超強磁場を用いて電子状態のみならず結晶構造へも大きな変化を及ぼす様な、非摂動的磁場効果の探索を行っている。1000 Tにおいて自由電子ではスピンや軌道を通じて100 meV程度のエネギーを磁場で変化できると期待されるが、固体中では様々な相互作用が拮抗しており、そのエネギースケールは実行的に増強され得る。例えば、VO₂のような絶縁体ではエネギーギャップが1 eVのオーダーであるが、200~300 T程度の磁場で絶縁体から金属に相転移する。一方、この相転移の理解の鍵になるのは、V原子の二量体に形成されるV-V間の分子軌道が磁場で不安定化する描像である。固体内分子が磁場で壊れる現象は、宇宙の巨大磁場(10⁵ T程度)で生じるH₂などの分子の崩壊と機構において類似性があるとも期待される。その他、多彩な対象において、超強磁場中の非摂動的磁場効果による新規現象の探索を行っている。

We are searching for non-perturbative magnetic field effects, such as large changes not only in the electronic state but also in the crystal structure, using ultra-high magnetic fields. However, in solids, the energy scale can be effectively enhanced due to the competing nature of the various interactions. For example, an insulator such as VO₂ has an energy gap on the order of 1 eV, but it undergoes a phase transition from insulator to metal at magnetic fields of 200~300 T. On the other hand, the key to understanding this phase transition is the picture of the destabilization of the V-V molecular orbitals formed in the dimer of V atoms by a magnetic field. The phenomenon of the breakdown of molecules in solids in a magnetic field is expected to be similar in mechanism to the breakdown of molecules such as H₂ that occurs in the huge magnetic field of the universe (about 10⁵ T). In addition, we are searching for novel phenomena caused by non-perturbative magnetic field effects in a variety of other objects in ultra-high magnetic fields.



VO₂の磁場誘起絶縁体金属転移
Magnetic field-induced insulator-metal transition in VO₂.



ピスマス系 Mn 酸化物の磁場温度相図
B-T phase diagram in Bi-based manganite



宮田研究室 Miyata Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 超強磁場下での磁気光学・THz分光測定
Magneto-optics and THz experiments under ultrahigh magnetic fields
- 2 量子磁性体の超強磁場物性
High-field study on quantum magnets
- 3 パルスマグネットの開発
Magnet technology



准教授 宮田 敦彦
Associate Professor MIYATA, Atsuhiko

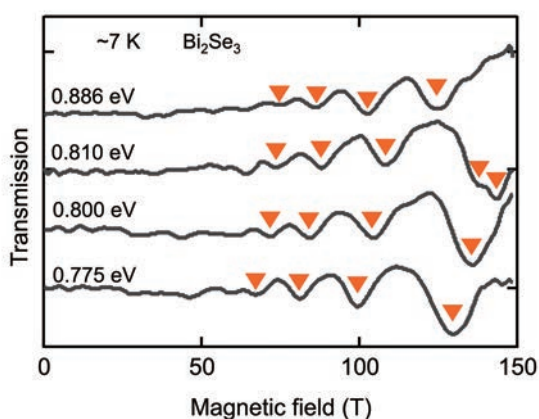
専攻 Course

新領域物質系

Adv. Mat., Frontier Sci.

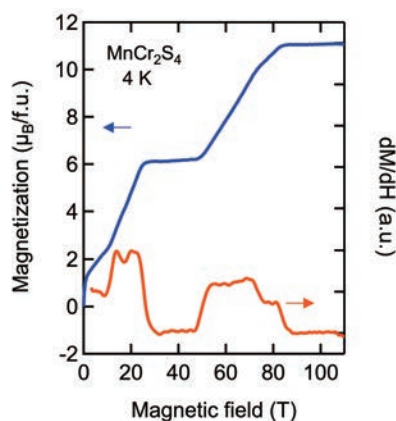
本研究室では、非破壊パルスマグネットの開発・パルス磁場下での新たな測定手法の開発・強磁場物性測定までを一通り行っている。現在、量子カスケードレーザーを用いたパルス磁場下テラヘルツ分光と原子層薄膜試料などの微小試料に対する磁気光学分光(可視・近赤外領域)を試みている。これにより、ファンデルワールス磁性半導体で観測された特異な励起子状態の解明やトポジカル近藤絶縁体・励起子絶縁体などの特異なバンド構造の理解を深める。また、100 Tを越すメガガウス超強磁場下での物性測定にも積極的に取り組んでいる。

We have been working on magnet technology and new measurement techniques for pulsed magnetic fields and also studying ultrahigh-magnetic-field science. Currently, we are developing THz spectroscopy techniques using quantum cascade lasers and magneto-optical spectroscopy for atomic-layer materials. We apply these techniques to van der Waals magnetic semiconductors exhibiting exotic excitons and topological Kondo insulators and excitonic insulators to understand their unconventional band structures. We are also working on megagauss science using destructive pulsed magnets.



トポジカル絶縁体 Bi_2Se_3 における近赤外レーザーを用いたランダウ準位分光。バンド構造は質量項を含むディラックモデルで良く説明できることがわかった。

Landau level spectroscopy on the topological insulator Bi_2Se_3 . The band structure is well described by the Dirac model including a mass term.



Yafet-Kittel型フェリ磁性体 (MnCr_2S_4) の超強磁場磁化過程。MnとCrイオン間に働くスピン格子相互作用によってプラトー状態を含む多彩な磁気構造をとることを示した。

Magnetization process of the Yafet-Kittel ferrimagnet MnCr_2S_4 . Strong spin-lattice coupling between Mn and Cr ions is the origin of its rich phase diagram including a robust magnetization plateau.



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



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 (MG) 超強磁場の利用研究を展開することが目的である。精密測定のための汎用実験環境の高度化、及び、強磁場が本質的に重要となる有機半導体 (OS) の光学特性の研究を行う。これらは 2022 年の共同研究からの継続課題である。

MG 超強磁場中の測定は瞬間的な電磁ゆらぎノイズ (TED) の影響を受ける。問題解決には様々な要因、強磁場発生装置内部での伝搬や、高感度計測回路への侵入場所などの把握が重要である。ノイズ測定プローブや、シールド及びフィルター技術の開発により問題を解決する。

OS は有機 LED テレビの様な主要技術に広く用いられているが、依然としてその特性には不明な点が多い。分子軌道に局在している電荷キャリアが磁場に鈍感であり、磁気光学的手法が有効でないことがその理由の 1 つである。しかし MG 超強磁場を用いれば、少なくとも摂動的効果が期待でき、ダビドフ分裂やアハラノフ-ボーム分裂のような現象を観測可能である。OS の電荷キャリア動力学のさらなる解明のため、測定をさらに進め、様々な OS についてこれらの現象を調べる計画である。

Our aim is to promote the use of Megagauss (MG) fields in two ways: by improving the general experimental conditions for sensitive measurements; and by studying the optical properties of organic semiconductors (OS) as an example for materials where the highest fields are essential. Both projects are the continuation of joint work started in 2022.

Measurements in MG fields are affected by transient electromagnetic disturbances (TED). To solve this problem it is important to understand the different sources of TED, their propagation inside the high-field installation and their points of infiltration into sensitive measurement circuits. Our plan is to study and solve this problem by developing suitable noise probes, shielding and filtering techniques.

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, we expect MG fields to create at least perturbative effects, giving rise to phenomena such as Davydov or Aharonov-Bohm splittings. Our plan is to pursue previous measurements and investigate these phenomena in different types of OS in order to learn more about their charge carrier dynamics.

