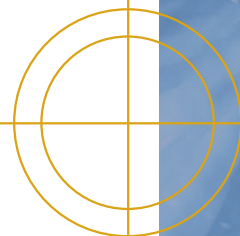


国際超強磁場科学研究所

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）の性質を変化させてその電子状態を調べている。また、極限的な強磁場を用いた新物質相の探索も行っている。非破壊的に発生する磁場は 80 テスラ程度まで、破壊的な手法（一卷コイル法および電磁濃縮法）では 730 テスラまでが発生可能である。非破壊パルスマグネットは、精密な物性計測（電気伝導、光学、磁化測定など）、他の極限物理環境（高圧、低温）と組み合わせた実験、また国内外の強い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）や非破壊 100 テスラ磁場発生の開発も強力に推進している。他方、破壊型装置では、100 テスラ以上の超強磁場という量子極限状態での新しい物性を探索する研究を行っており、電磁濃縮法による 1000 テスラの発生に向けた開発も進行中である。

The aim of this laboratory is to study the physical properties of matter (such as semiconductors, magnetic materials, metals, insulators) under ultra-high magnetic field conditions. Such a high magnetic field is also used for realizing the new material phase and functions. Our pulse magnets can generate up to 80 Tesla by non-destructive way, and up to 730 Tesla by destructive (the single turn coil and the electro-magnetic flux compression) methods. The former serves for the physical precision measurements (the electro-conductance, the optics, and the magnetization). The multiple extreme physical conditions combining the strong magnetic field with ultra-low temperature and ultra-high pressure are also available, and are open for domestic as well as for international scientists. 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. Whereas, the explosive pulse magnets capable of generating over 100 T are oriented for new horizons in material science under such extreme quantum limit conditions. Development for 1000 T-generation by means of the electro-magnetic flux compression method is also our mission.

教授（施設長） 嶽山 正二郎
Professor (Director) Shojiro TAKEYAMA

教授 金道 浩一
Professor Koichi KINDO

准教授 徳永 将史
Associate Professor Masashi TOKUNAGA

准教授 松田 康弘
Associate Professor Yasuhiro MATSUDA

准教授* 長田 俊人
Associate Professor Toshihito OSADA

助教 近藤 晃弘
Research Associate Akihiro KONDO

助教 中村 大輔
Research Associate Daisuke NAKAMURA

助教 三宅 厚志
Research Associate Atsushi MIHYAKE

助教 池田 暁彦
Research Associate Akihiko IKEDA

特任助教 小濱 芳允
Project Research Associate Yoshimitsu KOHAMA

技術専門職員 川口 孝志
Technical Associate Koushi KAWAGUCHI

技術専門職員 澤部 博信
Technical Associate Hironobu SAWABE

技術専門職員 松尾 晶
Technical Associate Akira MATSUO

学術支援専門職員 中澤 徳郎
Technical Associate Tokuro NAKAZAWA

技術補佐員 大矢 孝一
Technical Staff Kouichi OYA

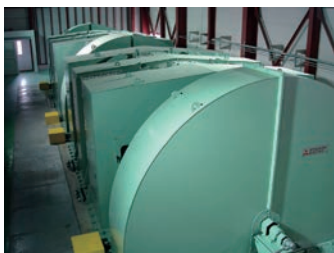
特任研究員 赤木 暢
Project Researcher Mitsuru AKAKI

特任研究員 坂井 義和
Project Researcher Yoshikazu SAKAI

特任研究員 宮田 敦彦
Project Researcher Atsuhiko MIYATA

特任研究員 周 偉航
Project Researcher Weihang ZHOU

* 極限環境物性研究部門と併任 / concurrent with Division of Physics in Extreme Conditions



世界最大のフライホイール付き直流発電機の外観写真。回転の運動としてエネルギーを蓄積することが出来、最大 460rpm で回転させた時に取り出せるエネルギーが 210MJ である。最大出力は 51.3MW にも達し、その内訳は最大電圧が 2.7kV、最大電流が 19kA となっている。この発電機を用いることで、パルス幅が約 1 秒間となる 60T の磁場を発生する計画である。

A picture of the largest flywheel DC generator. This generator can supply the maximum energy of 210 MJ at the rotation speed of 460 rpm. The maximum output is 51.3 MW, which allows us the maximum voltage of 2.7 kV and the maximum current of 19 kA. A 60 T class long pulsed field with duration of about 1 sec. is planned by use of this generator.

嶽山研究室

Takeyama Group



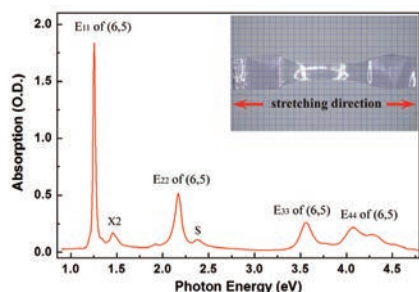
嶽山 正二郎
Shojiro TAKEYAMA
教授
Professor



中村 大輔
Daisuke NAKAMURA
助教
Research Associate

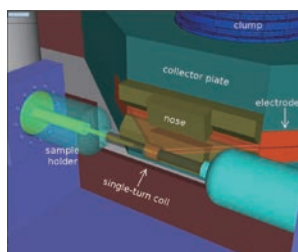
100テスラ以上の超強磁場発生技術開発とそのような極限環境下で発現する物性の探索的研究を行っている。磁場の発生方法として、電磁エネルギーを利用して磁束濃縮を行う「電磁濃縮法」と一巻き銅コイルに高速大電流を投入して超強磁場を発生する「一巻きコイル法」を採用している。「電磁濃縮法」では、すでに室内世界最高磁場発生730テスラを実現しているが、更に高い磁場発生とより精度と信頼度を高めた物性計測を目指した研究開発を進めている。「一巻きコイル法」では、発生磁場の方向により、横および縦型をそれぞれ有し、横型は主にレーザーを用いた磁気光学測定に、縦型では極低温容器と組み合わせた低温磁化測定、光ファイバーを利用した磁気光学測定に用いている。「一巻きコイル法」では再現性と高い測定精度が得られ、およそ300テスラまで物性実験を行っている。当研究室では、このような超強磁場量子極限環境下で、カーボンナノチューブ、グラフェンや半導体ナノ構造での超強磁場磁気光学に電子状態の解明、超伝導体の臨界磁場、フラストレート量子スピン磁性体などの超強磁場磁化過程の解明などを進めている。

We are engaged in development for generating ultra-high magnetic fields above 100 T, and pursue the solid-state science realized under such an extreme condition. We employ two methods for the ultra-high magnetic field generation, one is the electro-magnetic flux compression (EMFC) and the other is the single-turn coil (STC) method. We have established a new type of coil for the EMFC, and currently the maximum magnetic field is 730 T. This value is the highest achieved thus far in an indoor setting in the world. Further development is underway for achieving much higher fields, more precise and reliable measurements for the solid-state physics. The horizontal and vertical (H- and V-) STCs are used for more precise measurements up to 300 T, respectively, in accordance with their magnetic field axes. The H-STC is mainly used for magneto-optical measurements by use of laser optics, whilst the V-STC is more suitable for the study of low-temperature magnetization in a cryogenic bath. We are conducting the studies on magneto-optics of carbon nano-materials or of semiconductor nano-structures as well as on the critical magnetic fields in superconducting materials and on the high-field magnetization processes of the magnetic materials with highly frustrated quantum spin systems.



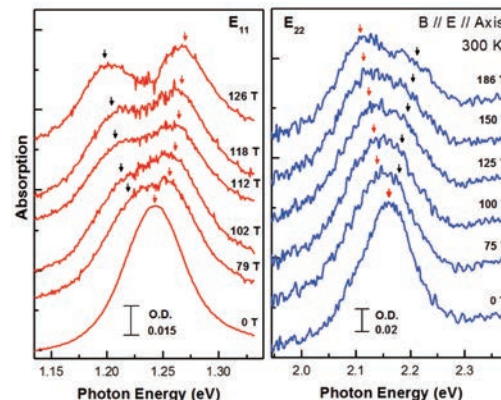
「多重カラムクロマトグラフィー法」でカイラリティ(6,5)のみに分離選別された単一カイラリティ単層カーボンナノチューブの光吸収スペクトル。挿絵：高い配向率を達成した延伸配向ポリマー膜。

Optical absorption spectra of single-wall carbon nanotubes of the (6,5) chirality specifically selected by means of "single-surfactant multicolumn gel chromatography method". The inset is a photo of the SWNT/PVA film with high degree of SWNT alignment.



超強磁場磁気光学測定に用いた横型一巻きコイル超強磁場発生装置。6 μ s のパルス時間幅で300 Tまでの超強磁場発生が可能。

Sketch of the horizontal type single-turn coil ultra-high magnetic field generation system, capable of generating 300 T with a pulse form of 6 μ s.



同一試料を用いて、第1サブバンド間遷移(E11)及び第2サブバンド間遷移(E22)でのゼロフォノン励起子線の磁気光学スペクトルに見られるアハラノフ・ボーム分裂の様子を190 T近くまで明確にとらえた。これによりバンド端での明励起子と暗励起子のエネルギー準位が第1、2サブバンドでは逆転していることが実証された。

The effect of a peculiar excitonic structure was found to manifest itself in distinctive Aharonov-Bohm splitting in ultrahigh magnetic fields up to 190 T. The zero-momentum dark singlet exciton lies below the bright exciton for the first subband transitions E_{11} , while for the second subband transitions E_{22} , the relative ordering was found to be opposite.

研究テーマ Research Subjects

- 破壊型超強磁場発生と物性計測技術開発
Technical developments for destructive ultra-high magnetic field magnets and for solid-state physics measurements
- 超強磁場磁気光学効果
Magneto-optics in ultra-high magnetic fields
- 超強磁場磁化過程、超伝導体の臨界磁場
Magnetization processes of magnetic materials and the critical magnetic field in superconducting materials in ultra-high magnetic fields

金道研究室

Kindo Group



金道 浩一
Koichi KINDO
教授
Professor



近藤 晃弘
Akihiro KONDO
助教
Research Associate



小濱 芳允
Yoshimitsu KOHAMA
特任助教
Project Research Associate

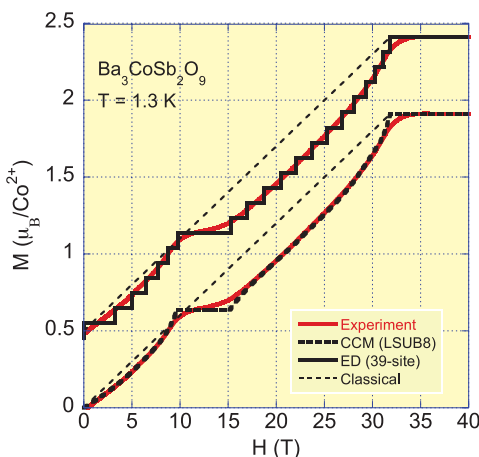
当施設に設置されたコンデンサー電源およびフライホイール付き直流発電機を用いて、非破壊で強磁場を発生し、その磁場下で精密な物性測定を行う。様々な用途に応じて、特殊なマグネットの開発を行っており、現在、ユーザーが利用可能な磁場条件は以下の二種類である。

- ① ショートパルスマグネット：パルス幅 5 ミリ秒、
最大磁場 75 テスラ
- ② ミッドパルスマグネット：パルス幅 30 ミリ秒、
最大磁場 65 テスラ

ショートパルスマグネットは主に絶縁体の磁化測定などに用いられ、ミッドパルスマグネットは金属的な試料の測定に用いられている。当研究室で製作されたマグネットは非破壊パルス強磁場（単パルス）の世界記録を更新しており、現在も 100 テスラの発生を目指した開発を行っている。平成 20 年 5 月より世界最大のフライホイール付き直流発電機の運転が始まり、これを電源として用いることでパルス幅が 1 ～ 10 秒の磁場発生が可能となる。これまで時間の制約で不可能と考えられていた測定にも強磁場を提供することができ、より精密な物性測定に向けてのロングパルスマグネットの開発も進行中である。

三角格子反強磁性体 $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ の磁化過程。量子効果による磁化プラトーを初めて実験的に観測した。

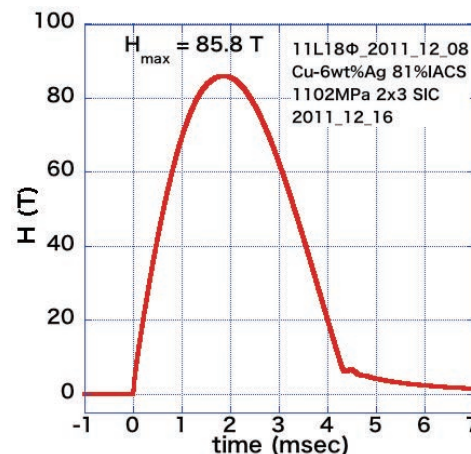
Magnetization process in triangular-lattice Heisenberg antiferromagnet $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$. This is the first observation of the magnetization plateau due to quantum effect.



We carry out precise measurements under non-destructive pulsed high magnetic fields that are generated by capacitor banks and flywheel DC generator installed at the facility. Various magnets have been developed at user's requests. Up to now, available field conditions for users are as follows.

1. Short pulse magnet: Pulse duration 5 ms,
maximum field 75 T
2. Mid pulse magnet: Pulse duration 30 ms,
maximum field 65 T

Short pulse magnet is used mainly for magnetization measurements on insulating materials and Mid pulse magnet is used for various measurements on metallic materials. Our magnet has been breaking the world record of non-destructive mono-coil field and we continue to develop a new magnet aiming at the new world record of 100 T. We have installed the flywheel DC generator on May 2008. The generator enables us to generate longer pulsed field with the duration of 1-10 seconds. The Long pulsed fields can provide much better conditions for precise measurements that had been thought to be difficult before.



ショートパルスマグネットの磁場波形。非破壊単パルスでの 85T は世界最高記録。このマグネットを 75T の測定用としてユーザーに提供している。

Time dependence of magnetic field for Short pulse magnet. The maximum field of 85T is the highest record for mono-coil field. This magnet is used for the 75T-measurements as a user's coil.

研究テーマ Research Subjects

1. 量子スピン系物質の磁性研究
Study on magnetism of quantum spin systems
2. 強相関伝導物質の磁性と伝導の研究
Study on magnetism and conductivity of strongly correlated electron systems
3. 非破壊 100 テスラマグネットの開発
Development of non-destructive 100 T-magnet
4. 超ロングパルスマグネットの開発
Development of ultra-long pulse magnet

徳永研究室

Tokunaga Group

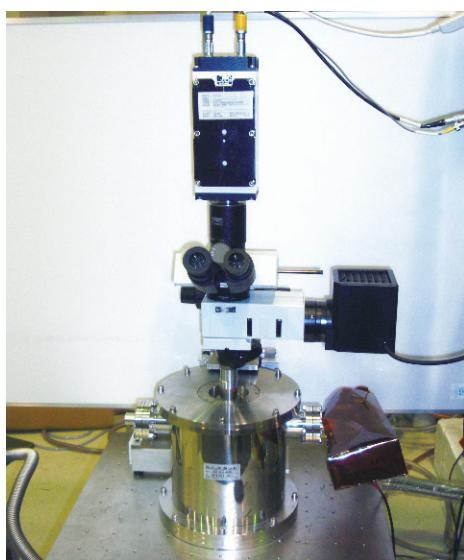


徳永 将史
Masashi TOKUNAGA
准教授
Associate Professor



三宅 厚志
Atsushi MIYAKE
助教
Research Associate

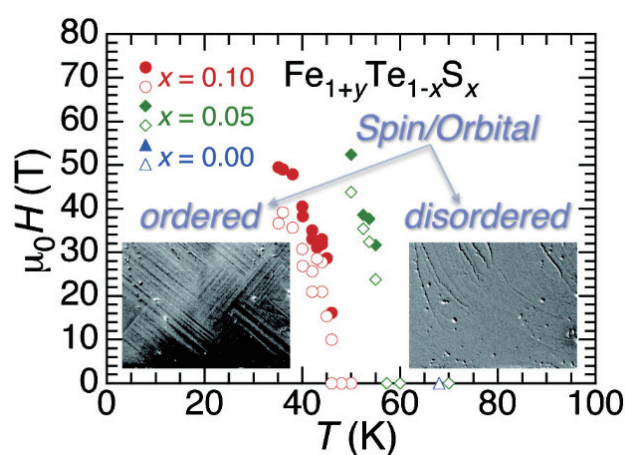
スピン自由度が電荷、軌道、格子の自由度と結合した系に磁場を印加すると磁化以外にも様々な物理量が変化する。我々は世界最高峰の強磁場実験設備を用いて、この交差相関効果で起こる様々な新しい物理現象を研究している。複数の秩序変数が絡み合って変化する物理現象を直接的に解明するため、我々は強磁場下における様々な物理量の瞬間計測手法を開発している。特にパルス磁場中の高速偏光顕微鏡観察システムは世界唯一の装置であり、強磁場下における物質の対称性の変化を検出する手法として威力を発揮している。これらの実験環境を使い、磁性強誘電体における電気磁気効果、鉄系超伝導体母物質におけるスピン軌道秩序の磁場融解、磁性形状記憶合金における負の磁気熱量効果などを研究している。



35Tまでのパルス磁場中で偏光顕微鏡観察が可能な高速イメージングシステム。マグネットと試料はヘリウム冷凍機で冷却して使用する。

The high-speed imaging system that can take polarizing microscope images in pulsed fields up to 35 T. The magnet and the sample are cooled down using the closed-cycle cryocooler.

The crossed-coupling among spin, charge, orbital, and lattice degrees of freedom causes changes in various physical properties in magnetic fields. We study novel physical phenomena in these cross-correlated materials with utilizing the world highest class of pulsed magnetic fields. To capture the essential aspects of the composite phase transitions, we have been developed many experimental probes that can detect the instantaneous changes of various physical properties. In particular, our high-speed polarizing microscope system provides us with unique opportunity to visualize the changes in crystallographic symmetry in pulsed high magnetic fields. With utilizing these special instruments, we are studying on magnetoelectric effects in ferroelectric magnets, field-induced melting of spin/orbital order in a parent compound of the iron-based superconductors, and martensitic transformation in magnetic shape-recovery alloys.



鉄系超伝導体の母物質である $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_{1-x}\text{S}_x$ のスピン軌道相図。挿入図は軌道秩序／無秩序状態の偏光顕微鏡像。

Spin and orbital phase diagram of $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_{1-x}\text{S}_x$, which is a parent compound of the iron-based superconductors. The insets show polarizing microscope images in the orbital-ordered/disordered phases.

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. 高温超伝導体の強磁場物性
High-field studies on high temperature superconductors
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. 磁性形状記憶合金の磁場誘起相転移
Field-induced transitions in magnetic shape-memory alloys

松田康弘研究室

Y. Matsuda Group

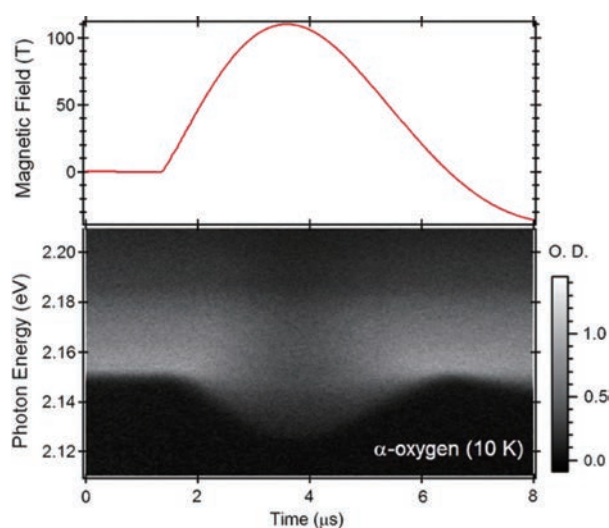


松田 康弘
Yasuhiro MATSUDA
准教授
Associate Professor



池田 暁彦
Akihiko IKEDA
助教
Research Associate

本研究室では嶽山研究室と連携し、磁場誘起相転移やクロスオーバー現象を中心に、100 テスラを超える超強磁場領域での固体の電子・磁気物性の研究を行っている。物性研究所の電磁濃縮法は 700 テスラ級の超強磁場発生が可能であり、その際のゼーマンエネルギーは温度換算で室温を遙かに超えるため、多くの物質で顕著な磁場効果が期待できる。具体的には、(1) 固体酸素の磁場誘起相転移の探索、(2) 磁場誘起絶縁体 - 金属転移、(3) 低次元量子スピン系の強磁場磁化過程、(4) 重い電子系の磁場中電子状態、などの研究を行っている。また、SPring-8 や KEK-PF において非破壊型 50 テスラ級パルス強磁場を用いた X 線吸収分光や X 線磁気円二色性分光の研究もっており、そこからは微視的な視点から磁場誘起現象の理解が得られると期待できる。

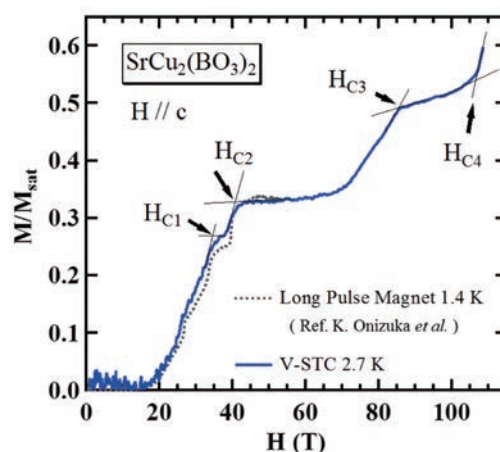


固体酸素 α 相の磁気光吸収スペクトル。上図は磁場波形。

Magneto-optical absorption spectra in solid oxygen α phase.

We have been studying the electronic and magnetic properties of the matter in ultra-high magnetic fields exceeding 100 T in collaboration with Takeyama Group. Magnetic-field-induced phase transitions and cross over phenomena in strongly correlated systems are the main subjects.

Magnetic field can precisely control the electronic states through the Zeeman effect and Landau quantization. In ISSP, a 700-Tesla magnetic field is generated by the electro-magnetic flux compression method. Since the Zeeman energy in such a high field is larger than the energy corresponding to a room temperature, a significant field effect is expected. Specifically, the following subjects are studied: (1) Quest of magnetic field-induced phase transitions of solid oxygen, (2) Magnetic field-induced insulator-metal transition, (3) Magnetization process of quantum spin systems, and (4) Electronic states of heavy fermions in high magnetic fields. We also carry out the X-ray magneto-spectroscopy in pulsed high magnetic fields using synchrotron X-rays at the SPring-8 and KEK-PF. Element- and shell-selective X-ray magneto-spectroscopy is expected to uncover microscopic mechanisms of the magnetic-field-induced phenomena.



2次元直交ダイマー系 $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ の超強磁場磁化過程

Ultra-high magnetic field magnetization process in a 2D orthogonal spin dimer system $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$.

研究テーマ Research Subjects

1. 固体酸素の磁場誘起相転移の探索
Quest of magnetic field-induced phase transitions of solid oxygen
2. 磁場誘起絶縁体 - 金属転移
Magnetic field-induced insulator-metal transition
3. 低次元量子スピン系の強磁場磁化過程
Magnetization process of quantum spin systems
4. 重い電子系の磁場中電子状態
Electronic states of heavy fermions in high magnetic fields