



東京大学

2017

# 物性研究所

物性研究所

THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS



THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS

THE UNIVERSITY OF TOKYO

- 2 ご挨拶  
Preface
- 4 沿革  
History
- 6 年表  
Chronology
- 8 組織・運営  
Organization/Administration
- 10 共同利用と国際協力  
Joint Research and International Collaboration
- 12 教育・論文  
Education/Publications
- 13 予算・職員  
Budget/Staff Members



#### 研究部門・Research Divisions

- 14 凝縮系物性研究部門  
Division of Condensed Matter Science
- 21 物性理論研究部門  
Division of Condensed Matter Theory
- 25 ナノスケール物性研究部門  
Division of Nanoscale Science
- 32 機能物性研究グループ  
Functional Materials Group
- 36 量子物質研究グループ  
Quantum Materials Group



#### 附属研究施設・Research Facilities

- 41 物質設計評価施設  
Materials Design and Characterization Laboratory
- 54 中性子科学研究施設  
Neutron Science Laboratory
- 60 国際超強磁場科学研究施設  
International MegaGauss Science Laboratory
- 66 計算物質科学研究センター  
Center of Computational Materials Science
- 69 極限コヒーレント光科学研究センター  
Laser and Synchrotron Research Center
- 80 軌道放射物性研究施設  
Synchrotron Radiation Laboratory



- 81 共通施設  
Supporting Facilities

- 86 柏キャンパス地図  
Kashiwa Campus Map



# ご挨拶

物性研究所は、東京大学附置の全国共同利用研究所として1957年に設立されて以来、物性科学における日本の中核的研究機関として活動してきました。その間、2000年には都心の六本木キャンパスから、誕生したばかりの柏キャンパスへと移転、2004年の国立大学法人化を経て、2010年には文部科学省による共同利用・共同研究拠点制度（全国の研究者が施設等を共同で利用し、共同研究を行うシステム）の発足と同時に物性科学研究拠点として認定され、2016年度から2期目の中期目標期間（6年）をスタートしました。そして今年は創立60年の節目を迎えています。

物性科学は、我々の身の回りにある物質の多様な性質を、ミクロな構成要素である原子や電子の運動法則に基づいて解明する学問として、発展してきました。近年、そのような知識をもとに、新奇な性質を持つ新物質を化学的に合成し、あるいは物理的に原子層を積み重ねて新しい機能を示すナノメートルサイズの構造を作製するといった研究が盛んになり、現在では物理学、化学、材料工学にまたがる融合的な学問として発展しています。物性科学の大きな魅力は、物質中の原子・電子集団が示す現象の解明が、人類の自然認識を深めると同時に、社会に貢献する新規な材料やデバイスの開発が可能となるところにあります。物性科学の対象がますます広がりつつある中で、昨年度物性研究所では既存の学問領域の枠を超えた二つの新しい研究グループ、「機能物性グループ」と「量子物質グループ」を創設しました。今後はこのような連携研究の中から物性科学を世界的に牽引する新しい潮流を生み出すことが課題となっています。

新しい物質やその複合体の性質を解明するためには、強磁場や高圧力など極限的な実験環境、様々な量子ビームを用いた計測装置、スーパーコンピュータなどの大型設備が重要な役割を果たしますが、物性研究所ではこれら最先端の技術開発にも力を注いでいます。強磁場については、電磁濃縮法を用いた1000テスラにいたる破壊型短時間パルス磁場、およびフライホイール電源による100テスラ非破壊型長時間パルス磁場における精密な物性測定技術を開発しています。中性子科学に関しては、高エネルギー加速器研究機構(KEK)と共同で茨城県東海村のJ-PARCに建設した高分解能非弾性散乱分光器の共同利用を推進する一方で、2011年3月の大震災以降停止しているJRR-3原子炉の再稼働に備え、装置の高度化を行っています。計算物質科学については、物性科学専用のスーパーコンピュータの共同利用に加えて、国内最大規模の「京」の後継機であるポスト「京」で重点的に取り組むべき研究課題の1つ「次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成」の代表機関として、計算手法・ソフトウェアの開発や、その普及活動を行っています。光を用いた物質科学については、兵庫県(播磨)の放射光施設SPring-8に建設した軟X線分光実験装置を用いた研究と、柏における極限的なコヒーレントレーザー光源開発、およびこれを用いた最先端分光研究によって、新たなフロンティアを築きつつあります。

物性研究所はこれからも物性科学の最先端を開拓し、国内外の物性科学研究者に最高水準の共同研究拠点を提供していきます。皆様にはこれまでと変わらぬご支援をお願い申し上げます。

2017年10月

瀧川 仁

# Preface



所長 Director

TAKIGAWA, Masashi

The Institute for Solid State Physics (ISSP) was established in 1957 as a joint-use research institute attached to the University of Tokyo. Since then, ISSP has been a central research organization of condensed matter science in Japan. After relocation from Roppongi in the central part of Tokyo to Kashiwa in 2000 and the reform of the national universities into national university corporations in 2004, ISSP was appointed as a joint-use/joint-research institute in 2010 in accordance with the new scheme set by the government. ISSP started the second 6-year period for the Mid-term Plan in 2016 and marks the 60th anniversary this year.

Condensed matter science had started as a discipline, which enables us to understand a wide variety of properties of materials on the basis of fundamental laws of motion of the constituent microscopic particles, i.e. electrons and nuclei. Based on such knowledge, the major current efforts are being devoted to synthesize new materials that may show unprecedented properties, or to fabricate structures with nanometer scale by depositing atomic layers to produce new functions, bridging boundaries between physics, chemistry, and materials science. What is fascinating about condensed matter science is that studies of novel collective phenomena exhibited by atoms and electrons in materials not only deepen our understanding of nature but also contribute to technological innovations important to the human society. Last year, expecting further expansion of the scope of condensed matter science, we launched two interdisciplinary research groups on “functional materials” and “quantum materials”. Our task now is to make new trends that globally lead the condensed matter science by such cross disciplinary collaborations.

In elucidating the properties of materials and their composite systems, extreme environments such as high magnetic fields and high pressure, as well as large facilities such as supercomputers and advanced measurement systems play important roles. We have been working hard to develop state-of-the-art technologies. The International MegaGauss Science Laboratory develops sophisticated measurement methods both in 1000 tesla destructive short-pulse magnetic fields by electromagnetic compression method and in 100 tesla non-destructive long-pulse fields produced by a flywheel dc-generator. The Neutron Science Laboratory operates the High Resolution Chopper (HRC) spectrometer in J-PARC constructed jointly with KEK and prepares for restarting of the JRR-3 reactor, which has been shut down after the earthquake in March 2011, with upgraded instruments. Concerning the Computational Materials Science, ISSP is selected as the representative for the Flagship 2020 Project “Creation of New Function Devices and High Performance Materials for Supporting Industry of Next Generation” to develop algorithm and software for the massively parallel “post K” supercomputer. Concerning the photon science, ISSP has constructed state-of-the-art soft X-ray spectrometers at the BL07 beam line in SPring-8 located in Harima, providing a platform for international user program. This is collaborated with the activities in Kashiwa to develop high performance laser dedicated to advanced spectroscopy, opening new frontier in photon-matter science.

We at ISSP continue to aim at conducting cutting-edge research at the forefront of the condensed matter science, and thereby, provide an excellent collaborative center for both domestic and international researchers. We appreciate your continued support for our research activities.

October 2017  
Masashi Takigawa

## 沿革

物性研究所は、「物性物理学」の研究推進のため、昭和32年4月1日に、全国物性研究者の要望と日本学術会議の勧告および、文部省と科学技術庁の合意に基づき、東京大学附置全国共同利用研究所として設立された。立ち遅れていた我が国の物性分野の研究設備・体制を国際的水準に高める拠点となるという設立当初の使命は、15年ないし20年ではば達成された。

次の目標は先端的実験技術を開発することに設定され、そのための重点5計画のうち、まず超低温物性は昭和55年度に、超強磁場・極限レーザー・表面物性が昭和59年度に設備計画を終え、軌道放射物性設備計画も昭和61年度にその緒についた。研究計画の展開に伴い、組織上でも昭和55年に改組が行われた。従来の固有21部門を、超強磁場・極限レーザー・表面物性・超低温物性・超高压を含む極限物性部門、軌道放射物性部門、中性子回折物性部門、凝縮系物性部門、理論部門の5大部門に改め第2世代に移行した。

極限物性部門は、従来の実験装置では実現不可能な極限的状况を創ると共にその下での新しい物性の探索を行なった。軌道放射物性部門は加速器を光源に、中性子回折物性部門は原子炉を線源に用いるため、それぞれ他の研究機関の協力を得て研究を進めた。中性子回折物性部門では、日本原子力研究所（現・日本原子力研究開発機構）の研究用3号炉の改造に伴い、平成2年度から4年度までに線源の大幅な性能向上が図られ、平成5年度から中性子散乱研究施設に拡充改組された。一方で、軌道放射物性研究施設は東京大学田無キャンパス内に設置されたSOR-RINGを運転し、また、高エネルギー物理学研究所（現・高エネルギー加速器研究機構）内に分室を設けビームラインと実験ステーションを維持してきた。また凝縮系物性部門は、理論部門と共に、自由な発想による研究と新たな萌芽の育成を目的としていたが、その中から具体化した物質開発構想により、平成元年度に同部門から分離・新設された新物質開発部門を中心に研究活動が進められた。

昭和55年の改組から16年間の時を経て、平成8年には再び全面的な改組が行われ、第3世代に移行した。そのねらいは、それまで開発された個々の極限環境や先進的測定技術を組み合わせることにより新しい現象を追求したり、表面・薄膜・微細加工物質などで代表されるメゾスコピック、ナノスケールでの人工物質を対象とする新しい研究領域開拓をめざしたり、また計算機物理学の支援の下に新物質を設計・合

成するなど、伝統的な固体物理学の枠組みをこえる研究を展開し、それを発信する国際共同利用研究所としての活動を志向することにある。この研究体制は、新物質科学、物性理論、先端領域、極限環境、先端分光の5大研究部門と軌道放射物性研究施設、中性子散乱研究施設、物質設計評価施設の3施設で構成された。このほかに所外研究者を一定期間所に迎えるための客員部門と外国人客員2名をおき、所内外の交流・協力と、所の研究の活性化・流動化を促進している。

平成12年3月に、43年間活動を展開した六本木キャンパスから東京大学の第3極としての柏新キャンパスに全面移転した。同時に移転した宇宙線研究所および、新設された大学院・新領域創成科学研究科と共に、従来の枠をこえた新しい学問領域の推進を目指した。平成15年度には日米科学技術協力事業や茨城県東海村パルス中性子源計画へ対応するために、中性子散乱研究施設が中性子科学研究施設へと改組された。平成16年に東京大学が法人化され、その中での全国共同利用研究所としての新たな役割が期待された。また同年、先端領域部門をナノスケール物性研究部門と名称変更した。平成18年に国際超強磁場科学研究施設、平成23年に計算物質科学研究センターが新設された。軌道放射物性研究施設では、平成9年のSOR-RING運転停止以降、高エネルギー加速器研究機構内に設置したつくば分室（平成26年廃止）や平成21年に大型放射光施設SPring-8内に設置した播磨分室で活動を行っている。平成24年には、先端分光研究部門との統合により、極限コヒーレント光科学研究センターが発足した。平成28年の改組では、新物質科学研究部門と極限環境物性研究部門の凝縮系物性研究部門への再編と、従来の枠を超えた新しい学問領域の推進を目指した機能物性研究グループと量子物質研究グループの創設を行い、新たな一歩を踏み出している。



六本木キャンパス物性研究所研究棟（1963年）  
ISSP Main Building at Roppongi Campus (1963)



# History

The Institute for Solid State Physics (ISSP) of the University of Tokyo was established on April 1 in 1957 as a joint research laboratory based upon the recommendation of the Science Council of Japan and the concurrence between the Ministry of Education, Science and Culture and the Science and Technology Agency in order to carry on basic research in condensed matter physics. Within the first 15 to 20 years, ISSP had achieved its original mission, that is to serve as the central laboratory of materials science in Japan equipped with state-of-art facilities that were open for all domestic researches in order to bring the research in Japan up to par with the international level.

The next goal was set to develop advanced experimental techniques that were difficult to achieve in most university laboratories. The reorganization of ISSP into the "second generation" took place in 1980. Division of Physics in Extreme Conditions included groups in the areas of ultra-high magnetic field, laser physics, surface science, ultra-low temperature and very high pressure. It aimed to create extreme conditions and to explore new phenomena. Neutron Scattering Laboratory was constructed in Tokai in collaboration with the Japan Atomic Energy Agency. Its capability was significantly improved during 1990 - 1992 due to renovation of the research reactor. Synchrotron Radiation Laboratory operated the SOR-RING in the Tanashi Campus of the University of Tokyo and maintained beam lines in the Photon Factory at the High Energy Accelerator Research Organization (KEK) in Tsukuba. Besides activities using such big facilities, the Condensed Matter Division and the Theory Division maintained small groups motivated by individual interests and ideas. Among these groups was formed Materials Development Division in 1989 aiming at exploring new materials and their novel properties.

16 years after the reorganization, another major reorganization of ISSP into the "third generation" took place in 1996, in order to pursue new frontiers beyond the traditional disciplines and become an international center of materials science. One example is to explore new phenomena in combined environments of various extreme conditions, since individual technologies for high magnetic field, low temperature and high pressure had reached certain maturity during the "second generation". Another example is the study of artificially designed materials

such as thin films, materials fabricated on surfaces and mesoscopic systems with nanoscale structure. Focused efforts are also planned on synthesis and characterization of new materials with the aid of computational physics, which allows us to design and predict properties of new materials. In order to reflect these developments, former research divisions were reorganized into five research divisions (New Materials Science, Condensed Matter Theory, Frontier Areas, Physics in Extreme Conditions, and Advanced Spectroscopy) and three research facilities (Synchrotron Radiation, Neutron Scattering, and Materials Design and Characterization Laboratories). In addition, a visiting staff division as well as two foreign visiting professor positions were created.

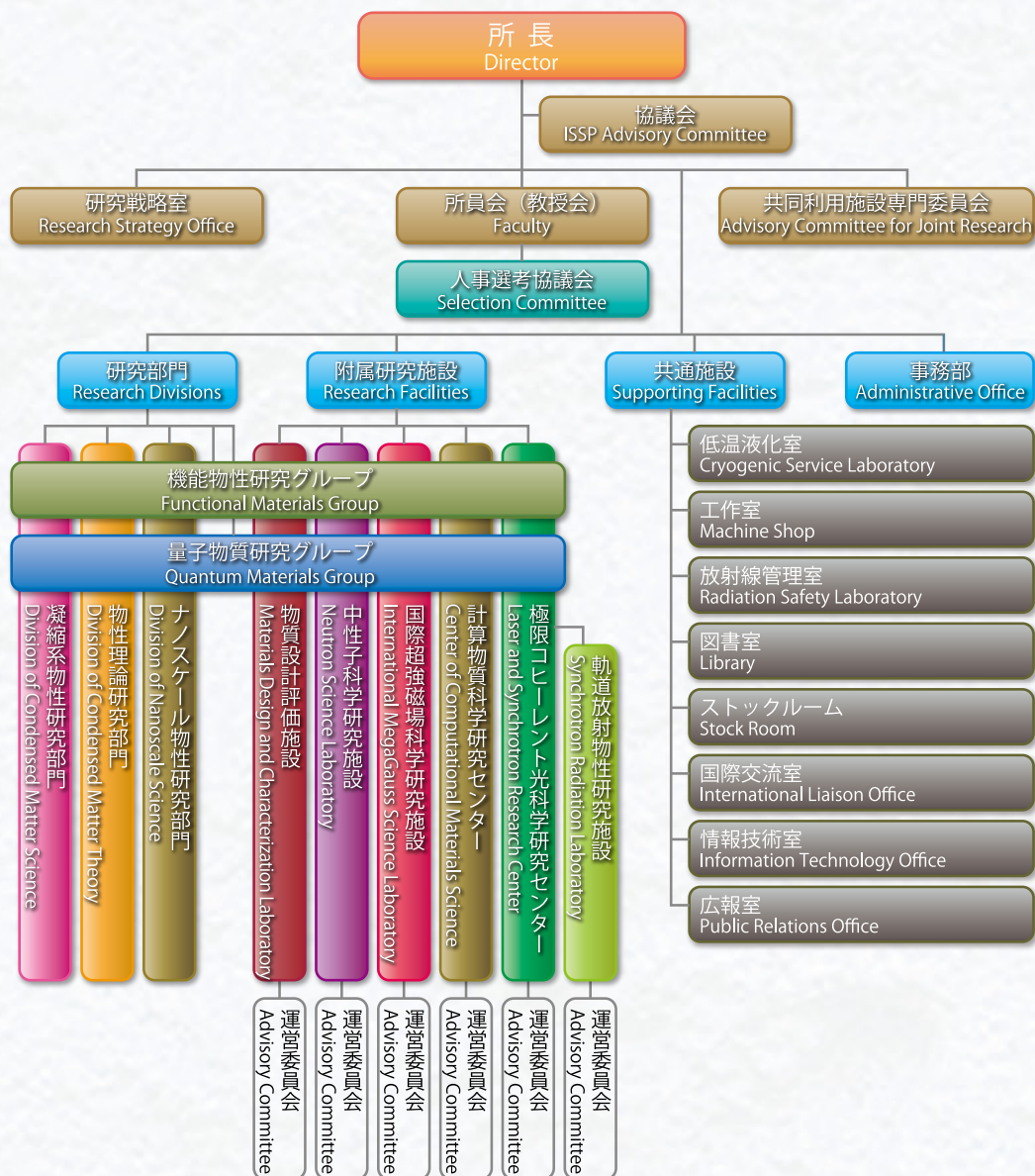
ISSP was relocated to the new campus in Kashiwa of the University of Tokyo in March 2000 after the 43 years of activities at the Roppongi campus in downtown Tokyo. Here ISSP is aiming at creating new areas of science in collaboration with other institutions in Kashiwa. In 2003, Neutron Scattering Laboratory was reorganized to Neutron Science Laboratory. The University of Tokyo was transformed into a national university corporation in 2004 and thus ISSP is expected to play new roles as a joint research Laboratory in the university corporation. In the same year, Division of Frontier Areas Research changed its name to Division of Nanoscale Science. In 2006, the ISSP established International MegaGauss Science Laboratory and started serving as an international center of physics in high magnetic fields. In 2011, Center of Computational Materials Science was established in the ISSP, for promoting materials science with advanced supercomputers. Regarding Synchrotron Radiation Laboratory, after the closing of the SOR-RING in 1997, Harima branch of Synchrotron Radiation Laboratory was established at SPring-8 in 2009. Furthermore, Division of Advanced Spectroscopy and Synchrotron Radiation Laboratory were reorganized in 2012 into the newly established Laser and Synchrotron Research Center. In 2016, Divisions of New Materials Science and Physics in Extreme Conditions were reorganized into Division of Condensed Matter Science, and Functional Materials Group and Quantum Materials Group were launched in order to widen the scope of condensed matter science, as a new step forward in the interdisciplinary research field.

# 年表/Chronology

昭和 32 年	1957	<p>共同利用研究所として発足 Establishment of ISSP as a joint research laboratory</p> <p>電波分光・理論第 2 部門、理工研から振替：結晶第 1 部門新設 Opening of Radio and Microwave Spectroscopy, Theory II, and Crystallography I divisions</p>
昭和 33 年	1958	<p>誘電体・光物性部門、理工研から振替 Opening of Ferroelectrics and Quantum Electronics, and Optical Properties divisions</p> <p>極低温・磁気第 1 部門増設 Opening of Low Temperature and Magnetism I divisions</p>
昭和 34 年	1959	<p>半導体・分子・格子欠陥・塑性・放射線物性部門増設 Opening of Semiconductor, Molecular Physics, Lattice Imperfections, Plasticity, and Nuclear Radiation divisions</p>
昭和 35 年	1960	<p>結晶第 2・理論第 1・固体核物性・界面物性部門増設 Opening of Crystallography II, Theory I, Solid State Nucleus, Surface Properties, and Molecular Science divisions</p> <p>物性研究所開所式 Inauguration of ISSP</p>
昭和 36 年	1961	<p>磁気第 2・非晶体・超高压・理論第 3 部門増設、20 部門となる Opening of Magnetism II, Solid Materials, High Pressure, and Theory III divisions. Total 20 divisions</p>
昭和 40 年	1965	<p>非晶体部門を無機物性部門に名称変更 Solid Materials division was renamed as Inorganic Materials division</p>
昭和 44 年	1969	<p>中性子回折部門増設 Opening of Neutron Diffraction division</p>
昭和 47 年	1972	<p>固体物性部門（客員部門）増設（22 部門となる） Opening of Solid State division (visiting staff), resulting in 22 divisions in total</p>
昭和 50 年	1975	<p>軌道放射物性研究施設設置 Foundation of Synchrotron Radiation Laboratory</p>
昭和 54 年	1979	<p>超低温物性研究棟竣工 Ultra-Low-Temperature Laboratory building completed</p>
昭和 55 年	1980	<p>従来の 22 部門が極限物性部門（超強磁場、極限レーザー、表面物性、超低温物性及び超高压）、軌道放射物性部門、中性子回折物性部門、凝縮系物性部門ならびに理論部門の 5 大部門及び客員部門 1 に再編成される Reorganization of ISSP from 22 small divisions to five large divisions, Physics in Extreme Conditions (including ultra-high magnetic field, laser physics, surface science, ultra-low temperatures and very high pressure laboratory), Synchrotron Radiation, Neutron Diffraction, Condensed Matter and Theory divisions and one Visiting Staff division</p>
昭和 57 年	1982	<p>超強磁場・極限レーザー実験棟竣工 Ultra-High Magnetic Field Laboratory and Laser Laboratory building completed</p>
平成 元年	1989	<p>新物質開発部門（時限 10 年）が増設され、6 大部門となる Opening of Materials Development division</p> <p>第 1 回 ISSP 国際シンポジウム「有機超伝導体の物理と化学」開催（以降数年ごとに開催） The 1st ISSP International Symposium on "The Physics and Chemistry of Organic Superconductors"</p>
平成 5 年	1993	<p>中性子散乱研究施設の新設 Foundation of Neutron Scattering Laboratory</p>

平成 7 年	1995	国際外部評価が実施される Evaluation of scientific achievements of ISSP by an international external committee
平成 8 年	1996	新物質科学、物性理論、先端領域、極限環境物性、先端分光の 5 大研究部門と軌道放射研究施設、中性子散乱研究施設に新たに物質設計評価施設を加えた 3 施設に再編される Reorganization into five divisions; New Materials Science, Condensed Matter Theory, Frontier Areas Research, Physics in Extreme Conditions and Advanced Spectroscopy divisions, and three facilities; Synchrotron Radiation, Neutron Scattering and Materials Design and Characterization Laboratories 東京大学柏キャンパスにおける物性研究所実験棟建設着工 Construction of the new ISSP buildings in Kashiwa campus started
平成 9 年	1997	日米協力事業（中性子散乱）の国際外部評価が実施される Evaluation of activities of the U.S.-Japan cooperative program on neutron scattering by the international review committee
平成 11 年	1999	柏キャンパスへの移転開始（2000 年移転完了） Relocation to Kashiwa campus started (completed in 2000)
平成 13 年	2001	外国人客員新設 Opening of foreign visiting professorship
平成 15 年	2003	中性子散乱研究施設が中性子科学研究施設に改組 Reorganization to Neutron Science Laboratory from Neutron Scattering Laboratory 物質設計評価施設で外部評価が実施される Evaluation of scientific activities of the Material Design and Characterization Laboratory by the external committee
平成 16 年	2004	東京大学が国立大学法人東京大学となる The University of Tokyo was transformed into a national university corporation 先端領域研究部門をナノスケール物性研究部門に名称変更 Division of Frontier Areas Research was renamed as Division of Nanoscale Science
平成 17 年	2005	国際外部評価が実施される Evaluation of scientific achievements of ISSP by an international external committee
平成 18 年	2006	国際超強磁場科学研究施設の新設 Foundation of International MegaGauss Science Laboratory
平成 19 年	2007	創立 50 周年記念事業 Celebration of 50th anniversary
平成 22 年	2010	共同利用・共同研究拠点として認可 Authorization as a joint usage/research center
平成 23 年	2011	計算物質科学研究センターの新設 Foundation of Center of Computational Materials Science
平成 24 年	2012	先端分光研究部門及び軌道放射物性研究施設が統合・再編され、極限コヒーレント光科学研究センターが発足 Foundation of Laser and Synchrotron Research Center, as a reorganization of Division of Advanced Spectroscopy and Synchrotron Radiation Laboratory
平成 26 年	2014	日米協力事業（中性子散乱）の国際外部評価が実施される Evaluation of activities of the U.S.-Japan cooperative program on neutron scattering by the international review committee
平成 27 年	2015	国際外部評価が実施される Evaluation of scientific achievements of ISSP by an international external committee
平成 28 年	2016	新物質科学研究部門と極限環境物性研究部門が凝縮系物性研究部門へ再編される 機能物性研究グループと量子物質研究グループが創設される Reorganization to Division of Condensed Matter Science from Divisions of New Materials Science and Physics in Extreme Conditions, and foundation of Functional Materials Group and Quantum Materials Group

# 組織 Organization



# 運営 Administration

物性研究所は、東京大学の附置研究所であると同時に、全国物性科学研究者のための共同利用研究所でもある。又、平成 22 年 4 月には共同利用・共同研究拠点として認可された。研究所の運営は、教授及び准教授から構成される所員会の議決を経て所長が行うが、同時に共同利用施設の運営については、東京大学の内外から ほぼ同数の委員により組織された物性研究所協議会が所長の諮問に応じて意見を述べ、外部研究者の要望を 伝達する機能を果たしている。更に物性研内外の委員よりなる共同利用施設専門委員会が設けられ、共同利用、施設利用、研究会などの実行計画を審議している。研究戦略室は所長が室長を務め、将来計画の策定など研究や運営を強化する取組を推進している。

物性研究所の研究体制は 3 研究部門、2 研究グループ、5 附属研究施設（以下、施設・センターとする。）、客員部門、外国人客員部門よりなる。このうち極限コヒーレント光科学研究センター軌道放射物性研究施設に関しては兵庫県佐用郡佐用町の SPring-8 内に施設分室が置かれており、中性子科学研究施設の実験装置は茨城県東海村の日本原子力研究開発機構内にある研究用原子炉に設置されている。さらに、所内研究者や共同利用者が共通に利用できる施設として低温液化室、工作室、放射線管理室、図書室、国際交流室などが置かれている。また、物性研究所における様々な情報の発信を担当する広報室や、ネットワーク関連の管理運用やサポートを行う情報技術室も設置されている。

本研究所の教授、准教授、助教の人事はすべて公募され、物性研内外ほぼ同数の委員よりなる人事選考協議会 の議決を経て所員会で決定される。なお、一部の職には任期がついている。

ISSP belongs to the University of Tokyo. At the same time, its facilities are open to all domestic researchers participating in joint research. In April 2010, ISSP was duly granted the authorization as a joint usage/research center. The administrative decisions are made at the faculty meeting chaired by the director and attended by professors and associate professors. The ISSP Advisory Committee, consisting of nearly equal numbers of members from and outside of the University of Tokyo to represent the interest of the outside users, gives advice on various aspects of administration upon inquiry of the director. The Advisory Committee for Joint Research, consisting of both the in-house and outside members, evaluates proposals for joint research, workshops, and allocation of fund for user activities. The Research Strategy Office headed by the director promotes future plans to reinforce research and management of ISSP.

Currently ISSP consists of three Research Divisions, two Research Groups, five Research Facilities, Visiting Staff Division and Foreign Visiting Staff Division. Among these, Synchrotron Radiation Laboratory has a branch in the SPring-8, Sayo, Hyogo, and the Neutron Science Laboratory maintains spectrometers installed at the research reactor in the Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki. Apart from the Research Divisions and Facilities, supporting facilities, which include Cryogenic Service Laboratory, Machine Shop, Radiation Safety Laboratory, Library and International Liaison Office, provide services to both in-house and outside users. Public Relations Office offers various information, and Information Technology Office handles and supports network-related matters.

Open faculty positions of professors, associate professors and research associates at ISSP are advertised publicly. Candidates are selected by the Selection Committee consisting of nearly equal numbers of in-house and outside members and then approved by the Faculty Meeting. Some of the positions have finite terms of appointment.

# 共同利用と国際協力 Joint Research and International Collaboration

## 各種研究員制度 Domestic Joint Research

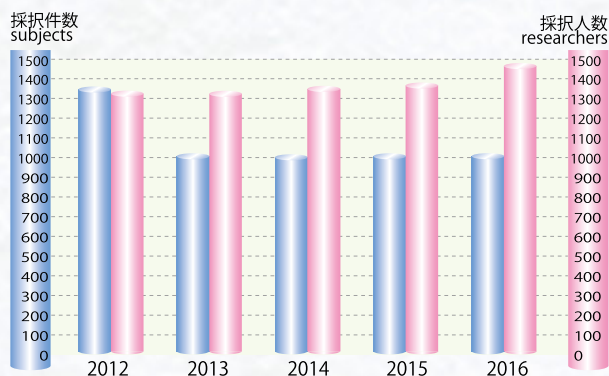
全国の物性科学研究者に対する共同利用・共同研究を促進するため、次の制度が設けられている。

1. 一般研究員 --- 所外研究者が研究の必要上、本所を利用したい場合、その便宜を提供するための制度である。申請された研究計画等を検討のうえ決定している。
2. 留学研究員 --- 大学、官庁などの研究機関に在籍する若い研究者に対し、長期にわたる本所への留学の機会を提供する制度である。本所所員の指導のもと、3ヶ月を超えて研究を行う長期留学研究員と、新技術の習得などを目的として3ヶ月以下の滞在を行う短期留学研究員の2種類の制度がある。
3. 嘱託研究員 --- 所外研究者に本所の研究計画並びに共同研究計画の遂行上必要な研究を嘱託し、あわせて本所施設の利用の便宜を提供する制度で、期間は6ヶ月を限度としている。

その他、物性研スーパーコンピュータシステムは、インターネットを通じ全国の物性研究者の利用に供されている。

The facilities of ISSP are open to domestic researchers, who are encouraged to submit joint research proposals. In addition, ISSP provides opportunities for young scientists including graduate students across the country to do research for extended periods. ISSP supports travel and research expenses for visitors.

The supercomputer system of ISSP is used via internet by domestic researchers.



採択件数および採択人数(共同利用の一般・物質合成・中性子・スーパーコンピュータおよび留学研究員と嘱託研究員の合計)  
Number of subjects and researchers adopted to domestic joint research

## 共同利用研究員宿泊施設 Kashiwa Guest House

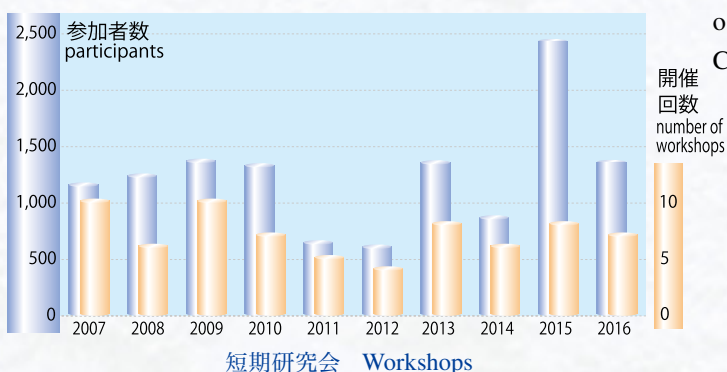
共同利用で来所する外来研究者は、柏キャンパス内の宿泊施設を利用することが出来る。(シングル28室、ツイン2室)

Visitors for joint research can stay in the guest house on the Kashiwa campus (28 single and 2 twin rooms).

## 短期研究会 Workshop

物性研究上興味深い特定テーマについて、2～3日程度集中的な討議を行うための制度である。全国の物性研究者からの申請に基づき、共同利用施設専門委員会によって採択が審議決定される。

ISSP holds domestic workshops on specific subjects of condensed matter science typically with a two to three-day schedule and one hundred participants. Proposals for workshops are submitted by researchers over the country and selected by the Advisory Committee for Joint Research.



※上記の共同利用制度の詳細については本所共同利用係までお問い合わせください。

なお、3ヶ月毎(平成15年度～)に発行している「物性研だより」には、各種共同利用の公募や短期研究会報告などの情報が掲載されています。

## 国際交流 International Activities

物性研究所は、物性研究の国際的拠点としても重要な役割を担っている。国際シンポジウム及び国際ワークショップを開催するとともに、物性研究所の特徴ある設備を活用した国際共同研究も活発に行われている。物性研究所の外国人所員制度や、文部科学省や日本学術振興会の外国人招聘制度などを利用した研究者も多数在籍している。また、1981年以降、中性子散乱に関する日米協力事業の実施機関の役割も果たしている。



ISSP plays an important role as an international center of materials science. International symposiums and workshops are organized by ISSP and the unique facilities of ISSP have been used in many international collaborations. Many foreign researchers have been spending their early careers at ISSP supported by ISSP Visiting Professorship and also various fellowship programs sponsored by the Japan Society for Promotion of Science, the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, and other agencies. ISSP has also been coordinating the US-Japan cooperative research program on neutron scattering since 1981.

●テーマ Title	●開催期日 Date	●参加者数 (外国人) Participants (overseas)
The 2nd DYCE-Asia and ISSP-International Workshop on "Life Science and Photonics"	2013・12・17-18	58 (11)
New Horizon of Strongly Correlated Physics (NHSCP2014)	2014・6・16-7・4	161 (34)
ISSP International Workshop: Joint Symposium of Polymer Networks and Research Group on Polymer Gels	2014・11・10-14	282 (94)
Topological Aspects in Correlated Electron Systems	2015・3・26	70 (8)
ISSP-MPIPKS Joint Workshop, "Dynamics of Strongly Correlated Systems"	2015・3・30-31	89 (11)
New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (NPSMP2015)	2015・6・1-19	229 (54)
The 18th Asian Workshop on First-Principles Electronic Structure Calculations	2015・11・9-11	197 (94)
Topological Phenomena in Novel Quantum Matter: Laboratory Realization of Relativistic Fermions and Spin Liquids	2016・2・29-3・4	90 (70)
International Workshop on Tensor Networks and Quantum Many-Body Problems (TNQMP2016)	2016・6・27-7・15	125 (35)
The 17th International Conference on High Pressure in Semiconductor Physics (HPSP-17) & Workshop on High-pressure Study on Superconducting (WHS)	2016・8・7-11	110 (37)
Theory of Correlated Topological Materials (TCTM2017)	2017・2・6-3・3	96 (38)
Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (TPFC2017)	2017・2・20-22	159 (49)

最近の国際シンポジウム及び国際ワークショップ Recent international symposiums and workshops

## 教育/Education

物性研究所では、特色ある施設を利用し、物性科学に関連した大学院教育に力を注いでいる。物性研究所の教員は、研究分野に応じて、大学院理学系研究科物理学専攻、化学専攻、工学系研究科物理工学専攻、新領域創成科学研究科物質系専攻、及び複雑理工学専攻に属しているが、これら従来の枠を越えた総合的視野に立つ若い物性科学研究者の養成に力を入れている。物性研究所では、毎年大学院進学希望者のためのガイダンスを開催するとともに、教養学部前期課程在学の学生を対象に、全学体験ゼミナール先端研究体験学習として「柏キャンパスサイエンスキャンプ」を開講している。

ISSP contributes to the graduate education in materials science using its unique facilities. The faculties participate in the following departments of the graduate school of the University of Tokyo: Physics, Chemistry, Applied Physics, Advanced Materials, and Complexity Science and Engineering. However, students are encouraged to develop their careers across the established disciplines. Every year a guidance and guided tour are given to those who are interested in graduate courses in ISSP. In addition, the annual experiential learning program “Science Camp at Kashiwa Campus” also offers an opportunity for undergraduate students to gain a first-hand experience in materials science research.

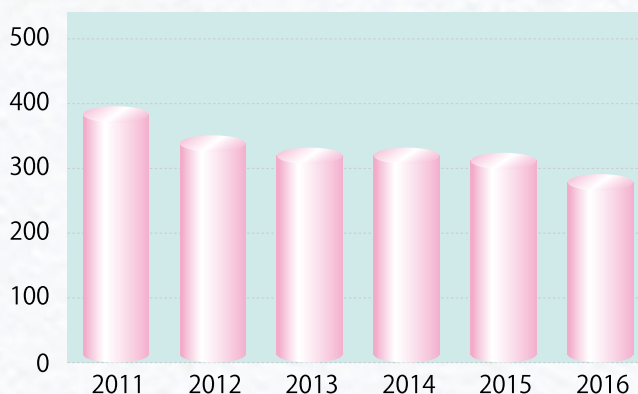
	修士課程 Master Course				博士課程 Doctor Course			
	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
物理学専攻 Physics	32	28	18	29	27	34	35	28
化学専攻 Chemistry	3	1	5	6	3	0	0	0
物理工学専攻 Appl. Phys.	8	7	9	8	7	8	4	3
物質系専攻 Advanced Materials	33	39	43	41	18	24	28	24
複雑理工学専攻 Complexity Sci. and Eng.	0	3	2	2	0	1	1	0
合 計	76	78	77	86	55	67	68	55

過去4年の専攻別大学院生数 Number of graduate students

## 論文統計/Publications

物性研究所では、年間 300 編前後の学術文献を発表している。2016 年の学術文献 266 編の内訳は、学術論文 244、会議録 5、解説記事 9、本（または本の一部）8 となっている。

About 300 scientific issues are published through annual activity in ISSP. The 266 articles published in 2016 consist of 244 papers in refereed journals, 5 proceedings, 9 reviews, and 8 books.

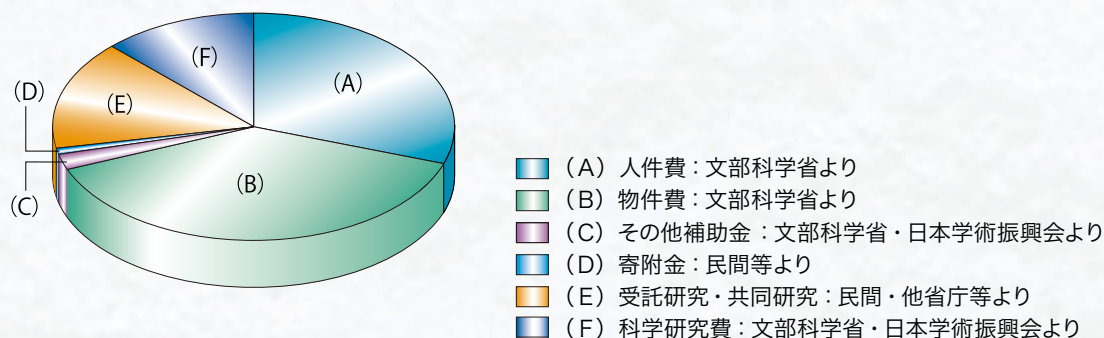


年間発表論文数（プロシーディング・解説記事含む）

Number of scientific papers (including proceedings and reviews)

# 予算/Budget

## 平成28年度 (2016 fiscal year)



- (A) Regular Budget (Personnel) from Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology  
 (B) Regular Budget (Non-Personnel) from Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology  
 (C) Other Subsidies from the Government  
 (D) Grant-in-Aid from Private Corporations  
 (E) Grant-in-Aid from Governmental Agencies and Private Corporations  
 (F) Grant-in-Aid from Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, and Japan Society for the Promotion of Science

	(A) 人件費	(B) 物件費	(C) その他補助金	(D) 寄附金	(E) 受託研究 ・共同研究	(F) 科学研究費	計 Total
平成28年度(2016)	1,315,153	1,669,627	99,138	25,134	668,752	535,153	4,312,957
平成27年度(2015)	1,657,078	1,680,722	466,267	17,829	500,211	464,165	4,786,272
平成26年度(2014)	1,700,581	1,749,421	964,107	28,071	435,229	585,279	5,462,688
平成25年度(2013)	1,545,996	1,814,190	493,674	30,847	545,717	427,515	4,857,939
平成24年度(2012)	1,326,798	2,360,072	483,530	15,344	296,078	361,530	4,843,352
平成23年度(2011)	1,466,060	2,263,736	1,238,387	21,312	222,097	666,184	5,877,776

予算額の推移 Budget in recent years

(単位：千円) (Unit: Thousand Yen)

# 教職員数/Staff Members

平成 29 年 7 月 1 日 現在

	教授 Professors	特任教授 Project Professors	准教授 Associate Professors	特任准教授 Project Associate Professors	助 教 Research Associates	特任助教 Project Research Associates	技術職員 Technical Associates	事務職員 Administrative Staff	合計 Total
現 員 Number of staffs	21	1	18	1	39	1	31	12	124

# 凝縮系物性研究部門

## Division of Condensed Matter Science

高温超伝導体、有機伝導体、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種々の予期せぬ現象が、物質系を極低温、高圧、強磁場といった「極限環境」に置くことにより見出されてきた。凝縮系物性研究部門では、無機・有機結晶や原子層物質などの新しい物質系を合成し、その物性を極限環境での高度な実験技術を用いて測定することにより、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指している。

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、極限環境での輸送現象、熱測定、精密磁化、核磁気共鳴などの精密物性測定を行っている。遷移金属酸化物、重い電子系、有機伝導体、原子層物質、トポロジカル物質などの多様な物質を対象に、電子相関、トポロジー、多極子、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 conductors, 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 search, synthesis and characterization of new materials.

Each group in this division pursues its own research on synthesis of new materials and high quality samples, and precise measurements of transport, thermal, magnetic properties including nuclear magnetic resonance. Their main subject is to elucidate varied phenomena which emerge as a concerted result of strong electron correlation, topology, multipole, and molecular degrees of freedom, in transition metal oxides, heavy electron systems, organic conductors, atomic layer materials, and topological materials.

教授 Professor	瀧川 仁 TAKIGAWA, Masashi	助教 Research Associate	橘高 俊一郎 KITAKA, Shunichiro	特任研究員 Project Researcher	杉井 かおり SUGII, Kaori
教授 Professor	榊原 俊郎 SAKAKIBARA, Toshiro	助教 Research Associate	上田 顕 UEDA, Akira	特任研究員 Project Researcher	孫 悦 SUN, Yue
教授 Professor	森 初果 MORI, Hatsumi	助教 Research Associate	下澤 雅明 SHIMOZAWA, Masaaki	特任研究員 Project Researcher	武田 晃 TAKEDA, Hikaru
教授 <sup>*1</sup> Professor	中辻 知 NAKATSUJI, Satoru	助教 Research Associate	田縁 俊光 TAEN, Toshihiro	特任研究員 Project Researcher	吉田 順哉 YOSHIDA, Junya
准教授 Associate Professor	長田 俊人 OSADA, Toshihito	助教 <sup>*1</sup> Research Associate	酒井 明人 SAKAI, Akito	特任研究員 <sup>*1</sup> Project Researcher	大槻 匠 OHTSUKI, Takumi
准教授 Associate Professor	山下 穰 YAMASHITA, Minoru	教務職員 Technical Associate	村山 千壽子 MURAYAMA, Chizuko	特任研究員 <sup>*1</sup> Project Researcher	チウ ダンルー QU, Danru
教授(外国人客員) Visiting Professor	ザルツマン インゴ SALZMANN, Ingo	技術専門員 Technical Associate	内田 和人 UCHIDA, Kazuhito	特任研究員 <sup>*1</sup> Project Researcher	チウ ヤン QUI, Yang
		特任研究員 Project Researcher	河野 洋平 KONO, Yohei	特任研究員 <sup>*1</sup> Project Researcher	チェン タイシ CHEN, Taishi
		特任研究員 Project Researcher	斎藤 明子 SAITO, Akiko	特任研究員 <sup>*1</sup> Project Researcher	富田 崇弘 TOMITA, Takahiro
		特任研究員 Project Researcher	酒井 謙一 SAKAI, Kenichi	特任研究員 <sup>*2</sup> Project Researcher	肥後 友也 HIGO, Tomoya
		特任研究員 Project Researcher	佐藤 光幸 SATO, Mitsuyuki	特任研究員 <sup>*1</sup> Project Researcher	マン フイユアン MAN, Huiyuan
				学振特別研究員 <sup>*1</sup> JSPS Research Fellow	志村 恭通 SHIMURA, Yasuyuki

<sup>\*1</sup> 所内兼務。本務は量子物質研究グループ。 / concurrent with Quantum Materials Group

<sup>\*2</sup> 所内兼務。本務はナノスケール物性研究部門。 / concurrent with Division of Nanoscale Science

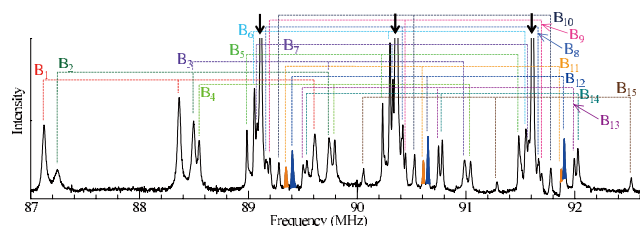
## 瀧川研究室

Takigawa Group



瀧川 仁  
TAKIGAWA, Masashi  
教授  
Professor

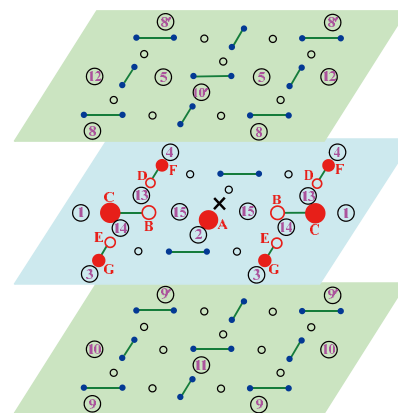
核磁気共鳴法 (NMR) を主な実験手段として、固体内の強い電子間相互作用に起因する現象を研究している。強相関電子系では、超伝導、強 (反強) 磁性、電荷秩序、軌道秩序といった多彩な秩序状態が拮抗しており、磁場・圧力などの外的条件を変えることでこれらの間の量子相転移が起こり得る。原子核は固有の磁気モーメントや電気四重極モーメントを持っており、これらは周囲の電子が作る磁場や電場勾配を感じている。このためNMRは、固体内電子のスピン、電荷、軌道などの自由度が絡み合って現れる特異な秩序状態や揺らぎの性質を、ミクロに探る有力な実験手段となる。我々は色々な特色を持つパルスNMR測定装置を整備し、低温・強磁場・高圧などの外的環境条件と組み合わせ、遷移金属化合物、希土類化合物や有機固体を対象とした研究を行っている。



隣り合うスピン2量体が平面内で直交配列した量子磁性体  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  の、極低温・高磁場におけるホウ素 (B) 原子核のNMRスペクトル。測定に用いた試料は、磁性元素である銅 (Cu) のうち0.5%を非磁性元素である亜鉛 (Zn) で置き換え、意図的に不純物を導入してある。不純物から遠いスピン2量体はシングレットを形成するが、不純物によって孤立した銅スピンの周囲には、局所的な反強磁性磁化パターン (スピン・ポーラロン) が現れる。前者は内部磁場ゼロ付近の強い共鳴線 (図の矢印) として、後者はそれ以外の15種類の共鳴線によって実証される。

The boron NMR spectrum at a very low temperature and a high magnetic field obtained from  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ , a quantum magnet in which spin-dimers have a planar orthogonal configuration. The sample used in the measurement was intentionally doped with impurities by replacing 0.5 % of magnetic Cu by non-magnetic Zn. The spin-dimers far from impurities form singlet, however, those in the neighborhood of Zn impurity generate local staggered magnetization (spin polaron). While the former corresponds to the intense resonance lines with nearly zero internal field (shown by arrows), additional 15 resonance lines provide a fingerprint of the spin polaron generated by a Zn impurity.

We use nuclear magnetic resonance (NMR) as the major experimental tool to investigate exotic phenomena caused by strong electronic correlation in solids. A remarkable feature of strongly correlated electron systems is the competition among various kinds of ordering such as superconductivity, ferro- or antiferromagnetism, charge and orbital order. Quantum phase transitions between these ground states can be caused by changing the external parameters such as magnetic field or pressure. Nuclei have their own magnetic dipole and electric quadrupole moments, which couple to the magnetic field or electric field gradient produced by surrounding electrons. This makes NMR a powerful local probe for microscopic investigation of the exotic order and fluctuations of multiple degrees of freedom of electrons, i.e., spin, charge and orbital. We use various NMR spectrometers in different environment (low temperature, high magnetic field and high pressures) to investigate transition metal compounds, rare earth compounds, and organic solids.



NMRスペクトルの解析から得られた、亜鉛不純物の周りの銅スピンの分布の様子。×は亜鉛不純物を、赤い丸は銅原子を示す。また塗りつぶした赤丸は磁場と同じ向きのスピン、中抜き赤丸は磁場と反対向きのスピンを表し、丸の大きさはスピンの大きさを表す。黒丸はホウ素の位置を示し、その中の番号は左図のスペクトル線の番号に対応する。NMRスペクトルでは、亜鉛不純物と同じ原子層だけでなく、その上下に隣り合う原子層からの信号も観測されている。

Distribution of Cu-spin moments in the neighborhood of a Zn impurity obtained from analysis of the NMR spectrum. The location of the Zn impurity is indicated by × and red circles show Cu atoms. The solid (open) red circles indicate Cu spins directed along (opposite to) the external magnetic field. The black circles show boron sites, where the numbers show correspondence to the resonance lines in the NMR spectrum. In the NMR spectrum, not only the boron sites on the same layer as the Zn impurity but also the boron sites on the neighboring layers are observed.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 低次元、フラストレート・スピン系のダイナミクスと量子相転移  
Dynamics and quantum phase transitions in low dimensional or frustrated spin systems
2. 特異な超伝導体  
Exotic superconductors
3. 強相関電子系における電荷・軌道・多極子の秩序と揺らぎ  
Ordering and fluctuations of charge, orbital, and multipoles in strongly correlated electron systems
4. 磁性有機伝導体におけるスピンと電荷のダイナミクス  
Spin and charge dynamics in magnetic organic conductors

# 榊原研究室

Sakakibara Group



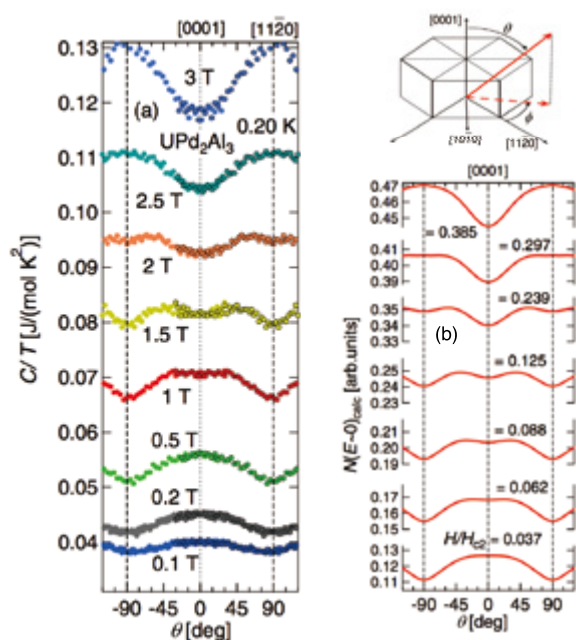
榊原 俊郎  
SAKAKIBARA, Toshiro  
教授  
Professor



橘高 俊一郎  
KITAKA, Shunichiro  
助教  
Research Associate

物質の示す磁気現象は広い温度範囲にわたっている。その中で重い電子系などある種の物質系では1ケルビンよりも遙かに低い温度領域で興味深い性質を示す場合がある。このような温度領域では通常の磁気測定手段を適用することが困難なため未開拓の課題も多く、新しい物性現象が期待される。当研究室ではこのような低い特性温度を持つ様々な物質系の磁気物性の研究を行っている。具体的にはf電子化合物や重い電子系、量子スピン系およびフラストレートスピン系などが研究対象で、磁化や比熱測定を主な実験手段として研究している。この目的のために、我々は30ミリケルビンの極低温まで磁化測定が可能な高感度の磁力計や、異方的超伝導体のギャップ構造の特定に有効な角度分解の磁場中比熱測定装置など、独自の装置開発も行っている。

Magnetic phenomena in condensed matter can be observed at a wide range of temperatures. In heavy fermions and certain other systems, interesting magnetic behavior often occurs at low temperatures much below 1 K. Because of difficulty in making magnetic measurements at such low temperatures, little work has been done to date. Our interest is to research those magnetic materials having low characteristic temperatures, such as f-electron compounds, heavy fermions, quantum spin systems, and geometrically frustrated spin systems. To study these systems, we also develop necessary equipment. Equipment we have successfully developed includes: high sensitivity magnetometers which are operable even at extremely low temperatures down to the lowest of 30 mK, and equipment to perform angle-resolved specific heat measurements in a rotating magnetic field. The latter is an effective tool for investigating the nodal structures of anisotropic superconductors.



重い電子系超伝導体  $\text{UPd}_2\text{Al}_3$  ( $T_c = 2.0$  K) の比熱を温度で割った量  $C/T$  について、磁場を六方晶結晶の  $ac$  面で回転させたときの角度依存性。(a) は温度 0.2 K における実験結果、(b) は水平ラインノードを仮定した場合の、各磁場におけるゼロエネルギー準粒子状態密度の仰角依存性。計算結果は実験結果をよく再現しており、回転磁場下の  $\text{UPd}_2\text{Al}_3$  の  $C/T$  の仰角依存性は超伝導ギャップの水平ラインノードの存在を強く支持している。

The polar-angle ( $\theta$ ) variation of the heat capacity divided by temperature,  $C/T$ , of the heavy-fermion superconductor  $\text{UPd}_2\text{Al}_3$  ( $T_c = 2.0$  K) obtained in various magnetic fields rotated in the  $ac$  plane of the hexagonal crystal. (a) The experimental results obtained at  $T = 0.2$  K. (b) Calculated results of the field-angular variation of the zero-energy density of states, assuming a horizontal line node. The calculated results reproduce the experimental data satisfactorily. The angular variation of  $C/T$  of  $\text{UPd}_2\text{Al}_3$  strongly suggests the existence of a horizontal line node in the superconducting gap.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 重い電子化合物の磁性と超伝導  
Magnetism and superconductivity in heavy electron systems
2. f電子化合物の多極子自由度に由来する秩序と揺らぎ  
Multipole orderings and fluctuations in f electron systems
3. フラストレート磁性体の磁化過程  
Magnetization of geometrically frustrated magnets
4. 量子スピン系の基底状態  
Ground state properties of quantum spin systems

## 森研究室

Mori Group



森 初果  
MORI, Hatsumi  
教授  
Professor



上田 顕  
UEDA, Akira  
助教  
Research Associate

物質科学は、新しい概念を与える新物質の発見を契機に大きな発展を遂げている。

本研究室では、内部自由度をもつ分子を基盤とし、それら分子が凝縮した分子性物質において、分子自身の個性と、分子間の相互作用による自由度が相関した、特異な機能性（電子・プロトン伝導性、磁性、誘電性およびその光・電場による外場応答性）の開拓を行っている。

分子性物質の魅力は、1) 多彩な分子内および分子間の自由度が設計・制御可能であること、2) 電子間クーロン相互作用（電子相関）が大きく、電子の波動性（伝導性）と粒子性（磁性）が競合すること、3) 分子が非常に柔らかいため環境および外場応答性が大きく、光および電場による励起状態を経て特異な機能を発現することなどが挙げられる。

森グループでは、新しい有機超伝導体としてモット型  $\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  や電荷秩序型  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$  (図1) 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 (図2) を開発した。

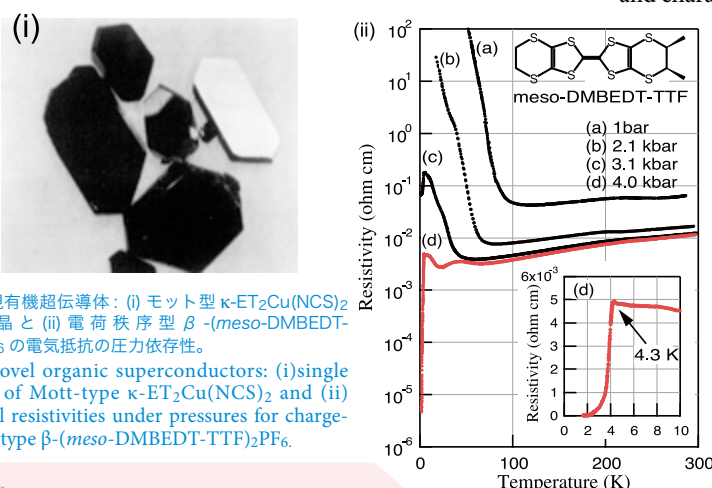


図1. 新規有機超伝導体: (i) モット型  $\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  の単結晶と (ii) 電荷秩序型  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$  の電気抵抗の圧力依存性。

Fig.1. Novel organic superconductors: (i) single crystals of Mott-type  $\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  and (ii) electrical resistivities under pressures for charge-ordered-type  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$ .

Development of “materials science” is started from discoveries of novel materials with new concepts.

The development of novel functionalities (electron and proton conductivities, magnetism, dielectrics, and responses by external stimuli such as light and electric field) has been aimed based upon molecular materials with utilizing intra- and inter-molecular degrees of freedom.

The attractive points of molecular materials are 1) that a variety of intra- and inter-molecular degrees of freedoms are designable and controllable, 2) that large Coulomb interactions (electron correlation) reflect the magnetism (electron particle) as well as conductivity (electron wave) in molecular materials, and 3) that large responses by external stimuli are observable due to softness of molecules and strong electron-phonon coupling.

In Mori group, novel Mott-type organic superconductor  $\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$  and charge-ordered-type one  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$  have been developed and characterized (Fig. 1). Moreover, novel electron-proton coupled purely organic conductors, where conductivity and magnetism switching due to coupled deuteron and electron transfers, have been developed and characterized (Fig. 2).

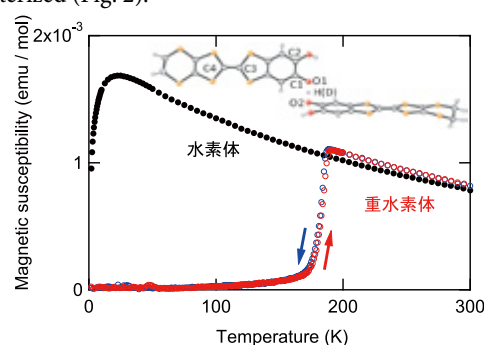


図2. 伝導電子と水素結合プロトンが相関する純有機伝導体  $\kappa\text{-X}_3(\text{Cat-EDT-TTF})_2$  ( $\text{X} = \text{H}, \text{D}$ ) において、大きな重水素効果により高温で伝導性および磁性が切り替わる。

Fig.2. Switching behavior of electrical resistivity and magnetism due to large deuteron isotope effect in proton-electron correlated purely organic conductors  $\kappa\text{-X}_3(\text{Cat-EDT-TTF})_2$  ( $\text{X} = \text{H}, \text{D}$ ).

## 研究テーマ Research Subjects

- 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
- 固体中で電子がプロトン運動と協奏した有機伝導体、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
- 磁性と伝導性が競合する金属錯体の開発と機能性研究  
Development and studies of structural and physical properties for novel metal complexes whose magnetism and conductivity are competitive
- 分子性物質の外場（光、磁場、電場、温度、圧力）応答の研究  
Studies of responses by external stimuli (light, magnetic and electric fields, temperature, pressure) for molecular materials

## 長田研究室

Osada Group

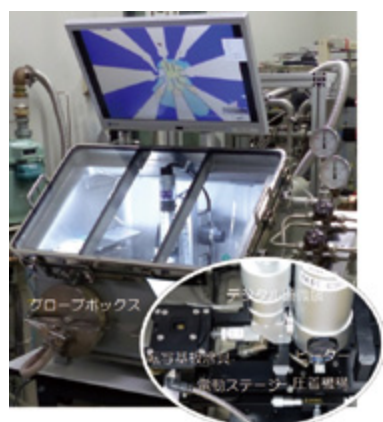


長田 俊人  
OSADA, Toshihito  
准教授  
Associate Professor



田縁 俊光  
TAEN, Toshihiro  
助教  
Research Associate

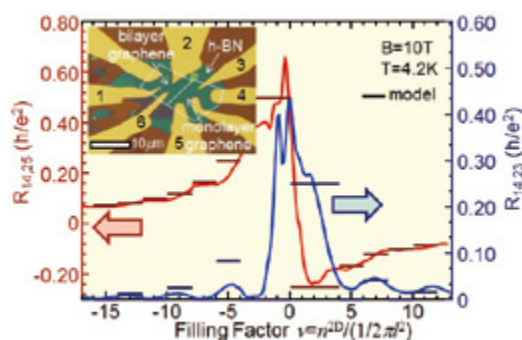
低次元電子系の量子伝導。トポロジカルな性質を持つ電子系や、強磁場やナノ構造により空間的に閉じ込めた電子系が示す新しい電子状態や伝導現象の探索・解明・制御に関する研究を行う。バンド構造のベリー曲率、トポロジカル電子相、擬スピン自由度、電子軌道・磁束配置・系の空間構造の整合性などに関連した量子効果・幾何効果・多体効果に興味がある。研究対象はグラフェンなどの原子層物質、有機導体などの低次元物質、半導体・超伝導体の人工ナノ構造である。複合原子層（ファンデルワールスヘテロ構造）形成、全磁場方位依存性の精密計測、小型パルス磁石による強磁場計測など、微小試料の形成と低温高圧強磁場下の微小試料の電氣的・磁氣的・熱的測定を主な実験手段とする。最近はグラフェン、フォスフォレンなどの原子層物質や、トポロジカル相表面に形成されたヘリカル／カイラル表面電子系の量子伝導に関する研究を集中的に行っている。



原子層転写積層装置。不活性ガス雰囲気中で、バルク結晶から劈開分離した単原子層結晶を、位置調整して積層圧着し、複合原子層（ファンデルワールスヘテロ構造）を作製する。空気中で不安定な原子層物質や複合原子層系の試料作製に威力を発揮する。

Alignment and transfer device installed in a glovebox. This device can precisely align and fix an atomic layer on another atomic layer one by one, to build up atomic layer complexes (van der Waals heterostructures) in inert gas atmosphere. It is useful particularly for atomic layer materials unstable in the air.

Transport study of low-dimensional electron system. To search for new phenomena in topological electron systems and electron systems confined by small spatial structures or strong magnetic fields, to clarify their mechanisms, and to control them for application. We have a great interest in quantum effects, topological effects, and many-body effects, which relate to Berry curvature of band structure, pseudo-spin degrees of freedom, and commensurability among electron orbital motions, vortex (magnetic flux) configuration, and spatial structures. Our targets are atomic layer materials such as graphene, low-dimensional materials such as organic conductors, and artificial semiconductor/superconductor nano-structures. We flexibly explore new transport phenomena and electronic states in small samples by electric, magnetic, and thermal measurements using fabrication techniques for building up atomic layer complexes (van der Waals heterostructures), nano-processing techniques like EB, precise field rotation, miniature pulse magnet, etc. under strong magnetic fields, high pressures, and low temperatures. Recently, we have concentrated our studies on quantum transport in atomic layer materials (graphene, phosphorene, etc.) and helical/chiral electron systems formed at the surface of topological phases.



平坦で不活性な表面を持つ h-BN 少数原子層結晶上に転写積層して高移動度化した単層/2層グラフェン接合素子とその量子ホール伝導。接合をまたぐ縦抵抗とホール抵抗の振舞は、接合に沿ってトポロジカルに保護されたエッジチャネルのみが残ることを表す。占有率 (filling factor) ゼロ近傍の微細構造は基底ランダウ準位の対称性の破れを示唆する。

Quantum Hall transport in monolayer/bilayer graphene junction. The sample was fabricated on the h-BN few atomic layer substrate, of which surface is flat and inactive, to develop the sample mobility. The behaviors of the longitudinal and Hall resistance across the junction indicate that only the topologically protected edge channels remain along junction. The fine structures around zero filling suggests the symmetry breaking of the ground Landau level.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 原子層物質（グラフェン、フォスフォレン等）の電子状態と量子伝導  
Electronic structure and quantum transport in atomic layers (graphene, phosphorene, etc.)
2. 有機ディラック電子系の量子ホール強磁性相におけるヘリカル表面状態  
Helical surface state in quantum Hall ferromagnetic phase in an organic Dirac fermion system
3. 多層量子ホール系におけるカイラル表面状態の量子伝導  
Quantum transport of chiral surface state in multilayer quantum Hall systems
4. 層状物質の角度依存磁気伝導と層間コヒーレンス  
Interlayer coherence and angle-dependent magnetotransport in layered conductors
5. 電場磁場中ブロッホ電子系におけるカオスと電気伝導  
Chaos and electron transport in Bloch electron systems under magnetic and electronic fields

## 山下研究室

Yamashita Group



山下 穰  
YAMASHITA, Minoru  
准教授  
Associate Professor



下澤 雅明  
SHIMOZAWA, Masaaki  
助教  
Research Associate

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て以来、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見え、多彩で不思議な物理現象が低温領域に隠れてたわけである。

当研究室ではこのような量子凝縮現象に興味を持ち、技術的に可能な限り低温まで精密測定する事で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、二次元三角格子やカゴメ格子といった幾何学的フラストレーションをもつ磁性体において近年新しく発見された量子スピン液体状態の熱ホール測定などによってその素励起の解明に力を入れて研究を進めている。

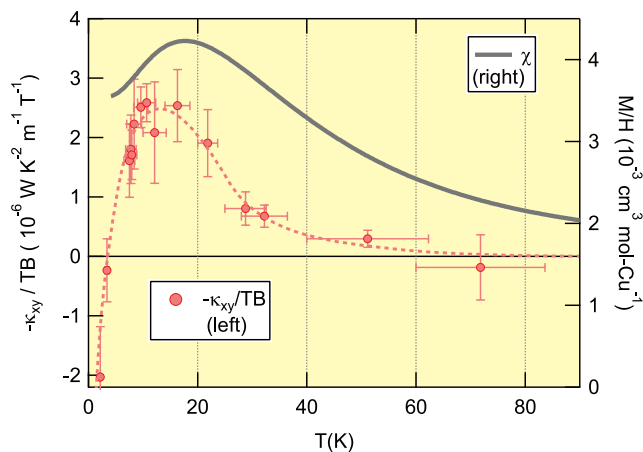


物性研の核断熱消磁冷凍機。超低温 (1 mK)・高磁場 (10 T) の実験が可能。右下挿図が実験空間拡大写真。左下挿図が超低温トルク測定用カンチレバー。

The ultra-low temperature cryostat at ISSP. By nuclear demagnetization cooling, the experiments can be performed down to 1 mK under a magnetic field up to 10 T. The lower right picture is an enlarged-view of the experimental space. The lower left 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 at 1911, who was the first to liquify Helium and reach  $\sim 1$  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 fluctuation is negligible. Especially, we are now challenging measurements of correlated electron systems at ultra-low temperature (below 20 mK) where many interesting phenomena have remained unexplored due to technical difficulties. Further, we are studying thermal-transport properties of quantum spin liquids emerged in frustrated magnetic materials.



フラストレート磁性体ボルボサイトで観測された熱ホール伝導率 ( $\kappa_{xy}$ ) と磁化率 ( $M/H$ ) の温度依存性。低温でスピン間相関が強くなるにたがって熱ホール伝導率が上昇していることがわかる。

Temperature dependence of the thermal-Hall conductivity and the magnetic susceptibility of the frustrated antiferromagnet volborthite, showing intimate relation between the thermal-Hall conductivity and the spin correlation.

## 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 ultra-low temperatures
2. 超低温における精密測定技術の開発  
Developments of ultra-low temperature cryostats and the precision measurement systems
3. 幾何学的フラストレーションをもつ磁性体における量子スピン液体  
Quantum spin liquid state in geometrically-frustrated magnets

# ザルツマン研究室

Salzmann Group



ザルツマン インゴ  
SALZMANN, Ingo  
外国人客員教授  
Visiting Professor

ザルツマン博士は、有機エレクトロニクスの材料となる共役系有機低分子あるいは高分子を対象として、実験的にその有機半導体の構造および電子状態を調査する研究を行っている。

測定技術としては、分光的手法として、UPS、XPS、IPES、UV/VIS、FT-IRAS を駆使しており、構造解析のために X 線回折 (XRD、GIXRD) を行い、さらに、PL、XSW、NEXAFS、AFM、STM を用いて、微視的な電子状態も調べている。

物性研究所では、森研究室および吉信研究室と協力して、従来手掛けてきた、化学的にドーピングされた有機薄膜ばかりでなく、森研究室で開発された、大きな電気双極子を持つ電子ドナー-電子アクセプター両性型の低分子薄膜あるいは結晶も対象とする。そして、その電界効果素子も含めて、構造および電子状態を明らかにする予定である。

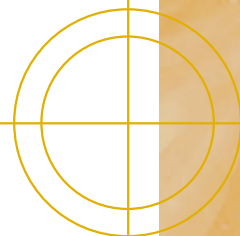
The central research interests of Dr. Ingo Salzmann lie in the materials science and experimental solid-state physics of conjugated organic molecules and conjugated polymers, and their hybrid systems formed with inorganic (semi-)conductors in regards to applications in organic electronics.

In his scientific work, he employs a multitude of complementary experimental techniques, which allow for a comprehensive characterization of functional organic semiconductor structures in both fundamental and application-related research. His particular experimental expertise lies in all kinds of spectroscopic techniques including photoelectron, optical, and vibrational spectroscopy, and in the whole variety of X-ray diffraction methods with a special focus on Grazing-incidence X-ray diffraction. Only their rigorous combination allows reliably correlating the electronic and structural properties of organic and hybrid systems.

In ISSP, he will collaborate with the groups of Profs. Mori and Yoshinobu to investigate the electronic states not only of doped organic thin-films, but also donor-acceptor dyad molecular thin films and crystals synthesized in Mori Lab with the aim of application in ambipolar transistors.

# 物性理論研究部門

## Division of Condensed Matter Theory



当部門では、実験系研究室とも協力しつつ、現代の凝縮系物理学、統計物理学、物質科学の最先端の問題について、微視的な見地から活発に理論研究を行っている。その目標は、実験結果の理論的解明、またそれを通じた相互作用する多体系の運動を捉える新概念の開拓、そして、物質の本質を捉えた有用なモデルの提案、さらには興味ある新現象の予言である。研究対象としては、量子スピン系や強相関電子系における量子相転移や量子臨界現象、重い電子系、様々な物質における超伝導、フラストレーション系、表面での動的過程や触媒作用、そして、メソスコピック系における量子輸送や相互作用の問題など多様である。これらの対象にアプローチする手法も多彩であり、トポロジーなどの数学概念に基づく現代的手法、場の量子論に基づく多体摂動理論、密度汎関数理論に基礎を置く最先端の第一原理計算や量子モンテカルロ法などの大規模数値計算手法等、各研究者がそれぞれ得意とするものを中心として研究を進めている。このように、部門全体としては、現代の最先端の問題と手法をいずれも幅広くカバーしている。

In this Division, we are conducting vigorous theoretical research from a microscopic point of view on topics at the forefront of contemporary condensed matter physics, statistical physics, and materials science, also in collaboration of experimental groups. Our goals include theoretical elucidations of experimental results, developments of new concepts to describe collective behavior of interacting systems, useful theoretical modeling of materials, and predictions of novel interesting phenomena. The topics in recent research span diverse areas as quantum phase transitions and critical phenomena in quantum spin systems and strongly correlated electron systems, heavy-fermion physics, superconductivity in various materials, frustrated systems, dynamic processes and catalytic properties at surfaces, and quantum transport and interactions in mesoscopic conductors. A wide variety of methodologies, including modern approaches based on mathematical concepts such as topology, many-body perturbation theory based on quantum field theory, and large-scale, state-of-the-art computational approaches such as quantum Monte Carlo simulations and ab-initio calculation of electronic structures based on the density functional theory, are utilized to approach these problems. Each member of this Division employs calculation techniques in accordance with his/her expertise and taste. As a whole, this Division and related Theory Groups cover a wide range of problems and methodologies in the cutting-edge condensed matter theory.

教授 Professor	常次 宏一 TSUNETSUGU, Hirokazu	助教 Research Associate	藤井 達也 FUJII, Tatsuya	特任研究員 *2 Project Researcher	山本 良幸 YAMAMOTO, Yoshiyuki
教授 *1 Professor	押川 正毅 OSHIKAWA, Masaki	助教 Research Associate	阪野 塁 SAKANO, Rui	特任研究員 *2 Project Researcher	严 蕾 YAN, Lei
准教授 Associate Professor	加藤 岳生 KATO, Takeo	助教 Research Associate	池田 達彦 IKEDA, Tatsuhiko	学振特別研究員 *1 JSPS Research Fellow	杉浦 祥 SUGIURA, Sho
准教授 *2 Associate Professor	杉野 修 SUGINO, Osamu	助教 *2 Research Associate	野口 良史 NOGUCHI, Yoshifumi		
教授 (客員) Visiting Professor	瀧本 哲也 TAKIMOTO, Tetsuya	助教 *1 Research Associate	多田 靖啓 TADA, Yasuhiro		
教授 (外国人客員) *1 Visiting Professor	ダムル ケダー DAMLE, Kedar				
教授 (外国人客員) *1 Visiting Professor	ラン イン RAN, Ying				

\*1 所内兼務。本務は量子物質研究グループ。 / concurrent with Quantum Materials Group

\*2 所内兼務。本務は機能物性研究グループ。 / concurrent with Functional Materials Group

# 常次研究室

Tsunetsugu Group



常次 宏一  
TSUNETSUGU, Hirokazu  
教授  
Professor



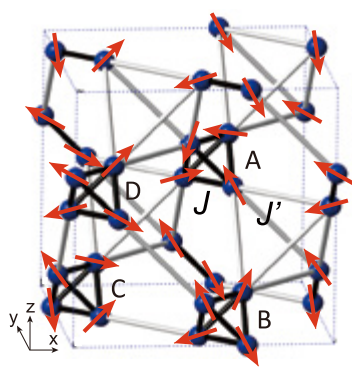
池田 達彦  
IKEDA, Tatsuhiko  
助教  
Research Associate



藤井 達也  
FUJII, Tatsuya  
助教  
Research Associate

遷移金属化合物、希土類・アクチノイド化合物などの電子間クーロン相互作用が強い強相関電子系の物性の理論を研究している。クーロン相互作用が強い系においては、低温において興味深い磁性状態や異方的超伝導、密度波などの多種多様な物性出現する。これらの複雑な物性の統一的理解を目標とするとともに新しい現象の発見を目指している。

主に研究しているテーマは、強磁性超伝導体やフラストレーション系などのスピン・電荷・軌道の複合自由度を持つ系における新しいタイプの量子秩序や量子ゆらぎである。これらの系に特有の、多くのモードのソフトな揺らぎが結合している場合における秩序と臨界現象の特徴、電子状態や輸送現象をはじめとするダイナミクスがどのような影響を受けるのかを調べている。最近の成果として、交換相互作用が空間的に変調しているフラストレートした量子スピン系の基底状態を調べ、現れる多量体秩序がスピン量子数によって異なり、Cr系物質に対応する  $S=3/2$  の場合には四量体が安定化されることを発見した。

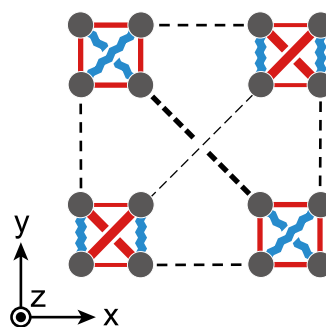


Breathing パイロクロア格子上的量子スピン。長短2種類のボンドに対応して交換相互作用も2つの値  $J' \ll J$ 。

Quantum spins on the breathing pyrochlore lattice. Long and short bonds have exchange couplings  $J' \ll J$ .

Strongly correlated electron systems, particularly compounds including d- or f-orbital electrons, are the main subjects of our research. In these systems where electron-electron interactions are very strong, a variety of interesting phenomena emerge at low temperatures, and various magnetic orders, unconventional superconductivity and density waves are typical cases.

Targets of our recent study include novel types of quantum order and quantum fluctuations in frustrated spin and strongly correlated electronic systems with multiple degrees of freedom. In these systems, many soft modes of fluctuations are coupled, and this affects the nature of quantum phase transitions, as well as electronic states and dynamical properties including transport phenomena. One of our recent achievements is about a frustrated quantum spin system with spatially modulated exchange couplings. We have found that emergent multimer orders depend on the spin quantum number, and a tetramer order is stabilized in the  $S=3/2$  case corresponding to some Cr compounds.



$S = 3/2$  の場合の四面体ユニット内の隣接スピン間の相関。四量体相関が支配的であることがわかる。赤色と青色のボンドはスピン相関が反強磁性的と強磁性的であることを表し、線の太さは強度  $|S_i \cdot S_j|$  に模式的に対応。点線はユニット間の弱い反強磁性的相関。

Nearest-neighbor spin correlations inside units for the case of  $S = 3/2$ . Tetramer correlations are dominant. Antiferromagnetic and ferromagnetic correlations are shown by red and blue bonds, respectively and bond thickness schematically represents  $|S_i \cdot S_j|$ . Dashed lines show weak anti-ferromagnetic correlations between neighboring units.

## 研究テーマ Research Subjects

1. d 電子、f 電子化合物など強相関電子系の電子状態  
Electronic states of strongly correlated systems with d- or f-electrons
2. フラストレーション系の統計力学  
Statistical physics of frustrated systems
3. 量子磁性体の新奇量子相の理論  
Theory of novel phases in quantum magnets
4. 強相関電子系における異方的超伝導  
Unconventional superconductivity in strongly correlated electron systems

## 加藤研究室

Kato Group



加藤 岳生  
KATO, Takeo  
准教授  
Associate Professor



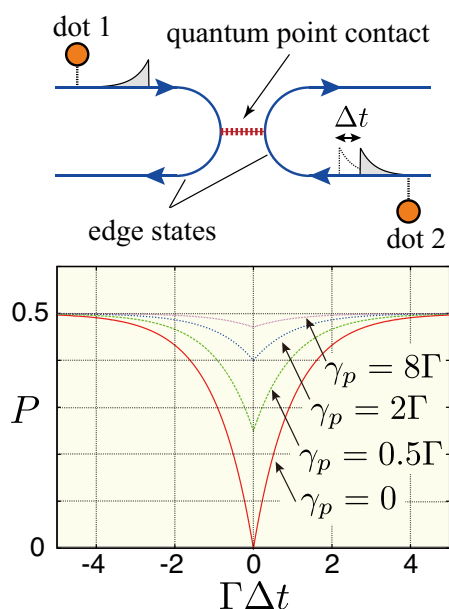
阪野 塁  
SAKANO, Rui  
助教  
Research Associate

ナノスケール素子の量子輸送特性について、さまざまな手法を使った理論研究を行っている。この研究分野は古くからメゾスコピック系と呼ばれ、電子の量子力学的な性質に着目した研究が活発に行われてきた。最近では、非平衡多体現象・ショットノイズ・高速駆動現象・スピントロニクスなどの新しい視点で研究が進展しており、本研究室ではこれらの進展に対応して、非平衡統計力学や量子力学基礎論、多体電子論などを援用した理論研究を行っている。最近の研究例としては、時間依存外場下のナノスケール素子の伝導特性、フォノン系の熱輸送現象における多体効果、量子ドット系における近藤効果の非平衡輸送特性、などがある。

本研究室では上記の理論研究のほか、多体効果や非平衡現象に関する幅広い研究テーマも取り扱っている。最近の研究例としては、分子性導体におけるガラス的挙動や固体酸素の構造相転移などがある。物性研究所内の実験グループとの共同研究も進めている。

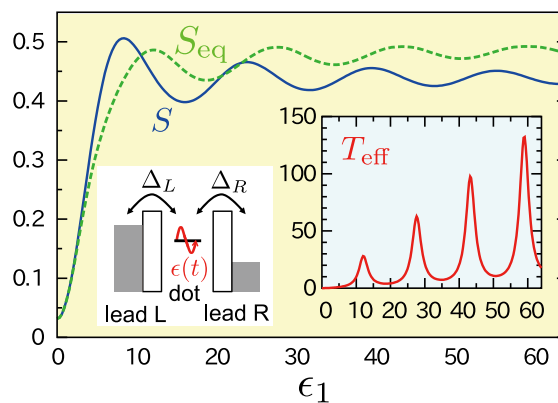
The main research subject of our group is theory on quantum transport in nano-scale devices using various approaches. This research field is also called 'mesoscopic physics', which has been studied for long time by focusing on quantum mechanical nature of electrons. Recently, mesoscopic physics based on new viewpoints is studied from such as nonequilibrium many-body phenomena, shot noise, high-speed drive phenomena, spintronics, and so on. We are constructing theories to explain these phenomena, by exploiting nonequilibrium statistical mechanics, fundamental theory of quantum mechanics, and many-body physics. Nonequilibrium transport properties of the Kondo quantum dots, electron and heat transport under time-dependent external fields, and many-body effect in thermal transport of phonons, can be cited as our recent research.

We are also treating various research subjects related to many-body effects and nonequilibrium phenomena. Glass-like behavior in organic conductors and structural phase transition in solid oxygen can be cited as these activities. We are also collaborating with experimental groups in ISSP.



上図：Hong-Ou-Mandel型二電子衝突実験の模式図。2つの量子ドットからそれぞれ注入された電子は、エッジ状態を経由して、中央の量子ポイントコンタクトで衝突する。下図：衝突後、2つの電子が同じエッジ状態に散乱する確率  $P$  を波束の到着時間差  $\Delta t$  の関数として計算した結果。

Upper panel: A schematic figure of the Hong-Ou-Mandel-type two-electron collision experiment. Two electrons injected from two quantum dots propagate along edge states, and collides at a central quantum point contact. Lower panel: The probability  $P$ , that two electrons scatter into the same edge states, is plotted as a function of a wavepacket delay time  $\Delta t$ .



上図：交流外場下でのゼロバイアス電流ノイズ（実線）および有効温度  $T_{\text{eff}}$  で評価された平衡電流ノイズ（破線）の外場強度依存性。量子干渉効果による振動が見られる。挿入図（左）：モデルの模式図。挿入図（右）：有効温度  $T_{\text{eff}}$  の外場強度依存性。

The photon-assisted zero-bias noise (the solid line) and the equilibrium thermal noise (the dashed line) evaluated at the corresponding  $T_{\text{eff}}$  (the right inset) are displayed as a function of the strength of the external field. The left inset: a schematic picture of the present model.

## 研究テーマ Research Subjects

1. メゾスコピック系における輸送特性  
Transport properties in mesoscopic systems
2. 電子間相互作用の強い系の量子輸送理論  
Theory of quantum transport in interacting electron systems
3. 非平衡統計力学・量子観測理論の基礎理論  
Fundamental theory of non-equilibrium statistical mechanics and quantum measurement

# 瀧本研究室

Takimoto Group



瀧本 哲也  
TAKIMOTO, Tetsuya  
客員教授  
Visiting Professor

トポロジカル絶縁体の研究分野において展開された概念は強相関電子系の分野にも適用され、新奇な量子相の探索に役立っている。こういった量子相を確認するためには実験測定と直接関わるトポロジカル不変量を見つけることが重要となる。

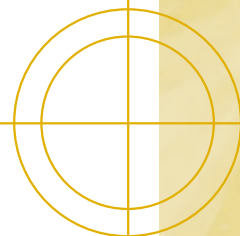
最近、私は軌道自由度を持つ強相関電子系におけるトポロジカルな状態に興味を持っている。この系は軌道自由度のために通常のスピン軌道相互作用とは異なる有効スピン軌道相互作用を内包する秩序相も存在するため興味深い。このプロジェクトの目的は軌道自由度を持つ d-電子あるいは f-電子系においてトポロジカル相を見つけること及び新奇な量子相を提案することである。トポロジカル状態を特徴付けるギャップレス表面状態はバルクにおけるトポロジカル相の対称性を反映しているはずであり、状態の秩序パラメータに関連している。さらに、これらは表面における輸送現象に影響を及ぼすためその解明も必要である。主に常次教授との共同研究を通してこの研究分野の発展に貢献したい。

The concept that has been developed in the research field of topological insulator is applied to the research field of strongly correlated electron systems to search novel quantum states. In order to confirm such quantum states, it is important to show a topological invariant relating with experimental measurements.

Recently, I am interested in the topological states in correlated electron systems with the orbital degree of freedom, which will contribute to form effective spin-orbit interactions different from the usual one. The purpose of the project is to find topological phases in d-electron or f-electron systems and to propose a novel phase. The gapless surface states characteristic of topological states should reflect the symmetry of topological phase in bulk, relating with the order parameter of the state. Since they will affect the transport property at surface, it is necessary to study their contribution in detail. Through the collaboration with Prof. Tsunetsugu mainly, I would like to contribute a progress in this research field.

# ナノスケール物性研究部門

## Division of Nanoscale Science



ナノスケール物性科学は、物質表面付近での原子・分子レベルでの現象から無限系の量子輸送まで幅広い時空間スケールで生じる物理・化学現象をその対象とする。この分野が発展してきた背景には、超薄膜成長技術、極微細加工技術、各種表面評価手法、走査プローブ顕微鏡による局所測定技術などの発達がある。当部門では、これらを統合的に用いてナノスケール物性科学に取り組んでいる。

研究テーマの一部を以下に示す。

- ・物質の人工微細構造、複合微細構造において展開される量子・スピン輸送、
- ・走査プローブ顕微鏡を用いた局所電子状態や伝導現象の研究、
- ・固体表面において発現する新奇複合物質や表面状態、ナノスケール構造の物性、
- ・表面化学反応等のミクロな動的過程の研究、およびこれを利用した新物質の創成、
- ・各種超薄膜のエピタキシャル成長と機能物性開拓。

A wide range of phenomena from atomic or molecular processes at solid surfaces to quantum transport in infinite systems are listed as the subjects of nanoscale science. The prosperity of such fields are sustained by the development of ultra-thin film growth, nano-fabrication, various surface characterization, local measurements with scanning probe microscopes, etc. In Division of Nanoscale Science, we integrate such techniques to study various subjects such as

Quantum and spin transport in artificial nanoscale or hybrid systems,

Study of local electronic states and transport by scanning probe microscopes,

Transport, magnetism and other properties of novel materials at solid surfaces,

Microscopic analysis of dynamical processes such as chemical reaction at surfaces, and creation of new material phases,

Epitaxial growth of ultra-thin films and device applications.

教授 Professor	勝本 信吾 KATSUMOTO, Shingo	助教 Research Associate	遠藤 彰 ENDO, Akira	特任研究員 Project Researcher	浅川 寛太 ASAKAWA, Kanta
教授 Professor	大谷 義近 OTANI, Yoshichika	助教 Research Associate	高橋 竜太 TAKAHASHI, Ryota	特任研究員 Project Researcher	岩田 孝太 IWATA, Kota
教授 Professor	小森 文夫 KOMORI, Fumio	助教 Research Associate	吉田 靖雄 YOSHIDA, Yasuo	特任研究員 Project Researcher	杉本 聡志 SUGIMOTO, Satoshi
教授* Professor	吉信 淳 YOSHINOBU, Jun	助教 Research Associate	中村 壮智 NAKAMURA, Taketomo	特任研究員 Project Researcher	スグマラン サティッシュ SUGUMARAN, Sathish
准教授 Associate Professor	長谷川 幸雄 HASEGAWA, Yukio	助教 Research Associate	宮町 俊生 MIYAMACHI, Toshio	特任研究員 Project Researcher	肥後 友也 HIGO, Tomoya
准教授 Associate Professor	リップマー ミック LIPPMAN, Mikk	助教 Research Associate	一色 弘成 ISSHIKI, Hironari	特任研究員 Project Researcher	ムドゥリ プラサンタ クマール MUDULI, Prasanta Kumar
准教授(客員) Visiting Associate Professor	春山 純志 HARUYAMA, Junji	助教* Research Associate	吉本 真也 YOSHIMOTO, Shinya	特任研究員 Project Researcher	ヤン ホンシャン YANG, Hung Hsiang
		技術専門職員 Technical Associate	飯盛 拓嗣 IIIMORI, Takushi	特任研究員 Project Researcher	李 智蓮 LEE, Jiyeon
		技術専門職員 Technical Associate	橋本 義昭 HASHIMOTO, Yoshiaki		
		技術専門職員 Technical Associate	浜田 雅之 HAMADA, Masayuki		
		技術専門職員* Technical Associate	向井 孝三 MUKAI, Kozo		

\* 所内兼務。本務は機能物性研究グループ。 / concurrent with Functional Materials Group

# 勝本研究室

Katsumoto Group



勝本 信吾  
KATSUMOTO, Shingo  
教授  
Professor



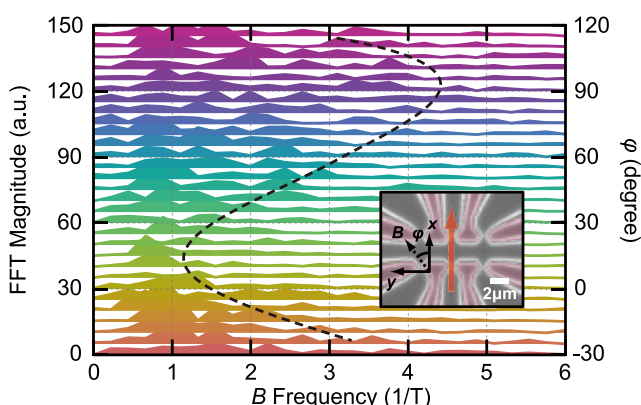
中村 壮智  
NAKAMURA, Taketomo  
助教  
Research Associate



遠藤 彰  
ENDO, Akira  
助教  
Research Associate

半導体や金属の超薄膜成長技術、これらを微細加工する技術を用いて、量子井戸、細線、ドットなどの低次元系の量子効果、多体効果を調べている。また、電子スピン、核スピンを使ったスピントロニクス研究を行なっている。

量子輸送現象をスピン自由度に広げる研究として、(1) スピン軌道相互作用とナノ構造を組み合わせる、(2) 強磁性体モノリシック素子構造などの非平衡スピン量子輸送現象を調べている。(1) では、スピン軌道相互作用の強い系に生じるスピン量子干渉効果、また、電子が移動の際に蛇行する現象(運動の「震え」現象)の存在を明らかにした。グラフェンへのスピン軌道相互作用導入に成功し、スピントロニクス素子への道を開いた。(2) では、エピタキシャル成長鉄から半導体への高効率スピン注入を実現した。また、強磁性半導体を絶縁層に用いたジョセフソン素子で超伝導電流を観測した。

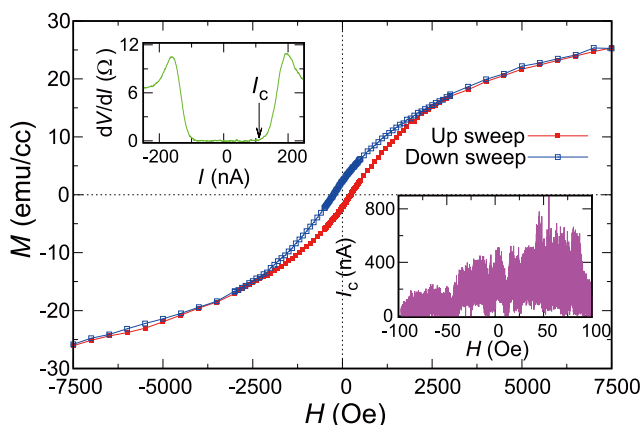


InAs 2次元電子系に現れた、電子の震え (Zitterbewegung) 現象に起因する磁場に対する伝導度揺らぎのフーリエパワースペクトル。磁場の面内回転角  $\phi$  (挿入図の試料電子顕微鏡写真中で定義。赤矢印は電子の経路を示す) に伴い、破線のように変化する。

Fourier power spectra of conductance fluctuation against in-plane magnetic field due to “Zitterbewegung” (trembling motion) of electrons in InAs two-dimensional electrons. The parameter is the azimuth angle  $\phi$  of the field as defined in the scanning electron micrograph of the sample in the inset, in which the red arrow indicates the electron path.

With epitaxial growth of semiconductor and metallic films, and nano-fabrication techniques, we study quantum effects in low dimensional systems. Our research also spans some applications of the physics of electron and nuclear spins to so called spintronics.

To expand the concept of quantum transport to spin degree of freedom, we have tried to create spin currents in quantum structures with (1) combination of the spin-orbit interaction (SOI) and nano-structures, also with (2) spin-injection in semiconductor/ferromagnet monolithic structure. In two-dimensional electrons with a strong SOI, we have realized spin interference devices and also found phenomenon called “Zitterbewegung” (trembling motion). Spin injection from epitaxially grown Fe films with a high efficiency has been achieved. In a hybrid system of superconductor and a diluted ferromagnetic semiconductor we have observed superconducting Josephson currents.



ジョセフソン素子絶縁層に用いた希薄磁性半導体 (In, Fe)As の磁化曲線。左上挿入図は素子の微分抵抗の電流依存性。I<sub>c</sub> が臨界電流を示す。右下挿入図は臨界電流の磁場依存性に極めて激しい振動を示す。

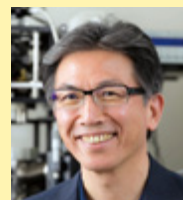
Magnetization curve of a diluted magnetic semiconductor (In,Fe)As, which is used as an insulation layer of a Josephson junction. The upper-left inset shows the differential resistance as a function of the voltage, in which I<sub>c</sub> indicates the critical current. The lower-right inset shows the critical current as a function of magnetic field. Very rapid oscillation of I<sub>c</sub> against the field is recognizable.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 量子電荷・スピン輸送現象  
Quantum transport in charge and spin freedoms
2. 量子構造を用いた多体効果の研究  
Study of many-body effects in quantum structures
3. 異対称性ハイブリッド構造に生じる物理現象  
Physics at interfaces between the phases with different symmetries

## 大谷研究室

Otani Group



大谷 義近  
OTANI, Yoshichika  
教授  
Professor

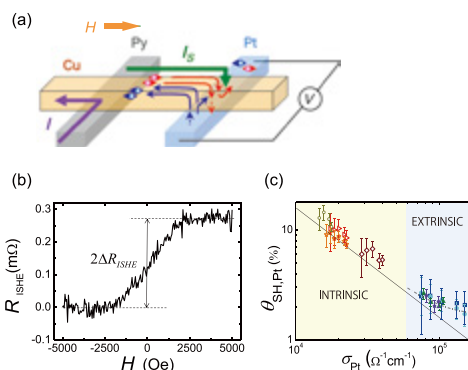


一色 弘成  
ISSHIKI, Hironari  
助教  
Research Associate

20 世紀末にスピン角運動量の流れであるスピン流という概念が登場して以来、原子スケールでの角運動量保存則に起因するスピン移行トルクなど新たなスピントロニクスの学理が進展してきた。その後の 10 年の間にスピン流の生成・搬送・検出が確立され、スピントロニクス研究は新たな局面を迎えている。最近では、電子・スピン・フォノン・フォトン・マグノン等の準粒子が、固体中のスピン流を媒介として、相互に変換されることがわかってきた。これらの『スピン変換』は、異種物質の接合界面近傍のナノスケール領域で生じるため、極めて優れた汎用性と応用性を持っている。我々の研究室では基礎物理研究の視点から、新しいスピン変換機構の開拓とそれによる新物性開拓に取り組んでいる。また、微細加工技術を駆使して、スピン変換を自在に制御するスピントロニクス素子の研究開発を行っている。

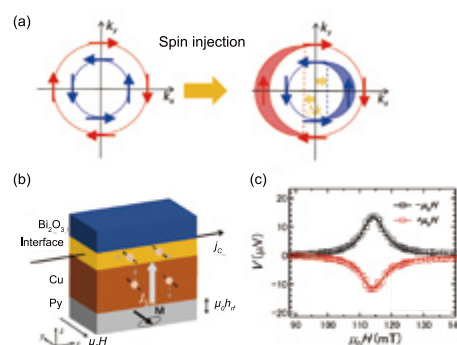
スピンホール効果の電流 - スピン流変換効率と電気抵抗率の関係性の解明。

(a) スピン吸収法の概略図。左側のパーマロイ (Py) と銅 (Cu) の端子間に電流を流すことにより発生した純スピン流がスピン搬送経路 (Cu) を右側に向かって拡散伝導する。純スピン流は、右側のスピンホール物質 (Pt) に吸収され、逆スピンホール効果によって電流に変換される。(b) 白金の逆スピンホール抵抗 ( $R_{\text{ISHE}} = V/I$ ) の磁場依存性。(c) Pt のスピンホール角 (スピン流 - 電流変換効率)  $\theta_{\text{SH}}$  の伝導率依存性。Pt の  $\theta_{\text{SH}}$  として様々な値が報告されており、統一的な見解が得られていなかった。本研究では、 $\theta_{\text{SH}}$  は Pt の膜質による伝導率に依存し、それが外因性・内因性の機構によって説明できることを明らかにした。



The relation between the conversion efficiency of spin Hall effect and the conductivity. (a) The schematic of spin absorption method. The pure spin current generated by the current flows between Cu and Py electrodes, diffuses to right direction through the spin transport channel (Cu). The spin current is absorbed by the spin Hall material (Pt), and converted to charge current via inverse spin Hall effect. (b) The field dependence of inverse spin Hall resistance ( $R_{\text{ISHE}} = V/I$ ) of Pt. (c) The conductivity dependence of spin Hall angle (spin-current conversion efficiency)  $\theta_{\text{SH}}$  of Pt. There has been a significant spread in the  $\theta_{\text{SH}}$  of Pt among reports. We revealed that the  $\theta_{\text{SH}}$  depends on the conductivity: the film quality of Pt, and the dependence can be explained extrinsic and intrinsic mechanisms.

The concept of spin current, a flow of spin angular momentum, appeared in the end of 20th century, and evolved a new spintronic principle based on the atomic-scale angular momentum conservation such as spin-transfer-torque. The methods to generate, transport and detect the spin currents have been well established in the following decade, leading the spintronics research to a new phase. Recent studies revealed interconversions among quasi-particles such as electron, spin, phonon, photon and magnon etc. via spin current in a solid. These interconversions, called as “spin conversion”, often take place in the nano-scale regions at the interfaces of deferent materials, and thus, have great versatility and application possibility. Our fundamental researches explore new processes of the spin conversion and clarify their mechanisms. We also develop the spintronics devices to control a variety of spin conversion processes using nanofabrication technologies.



逆ラシュバ-エデルシュタイン効果によるスピン流-電流変換。(a) ラシュバ効果を示す界面にスピン流を注入すると、生じた非平衡スピン蓄積がフェルミ面のシフトを引き起こし、スピン偏極方向と垂直に電流が生じる。(b) Cu/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 界面でのスピン流 - 電流変換実験の概略図。(c) スピンポンピングによるスピン流注入で生じた逆ラシュバ - エデルシュタイン電圧の磁場依存性。

Spin-to-charge current conversion by inverse Rashba-Edelstein effect. (a) Fermi contours splitting by Rashba effect and the shift of Fermi surface to perpendicular direction of spin polarization induced by non-equilibrium spin accumulation after spin injection. (b) Schematic image of the experimental setup for spin-current conversion at the interface of Cu/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (c) Magnetic field dependence of the inverse Rashba-Edelstein voltage by means of spin pumping.

## 研究テーマ Research Subjects

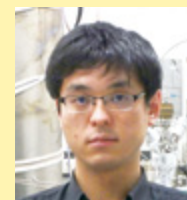
1. 純スピン流の生成および検出機構  
Mechanisms of pure spin current generation and detection
2. スピン流を用いた磁気相転移  
Magnetic phase transition by using spin current
3. トポロジカル絶縁体界面でのスピン流 - 電流相互変換  
Spin-to-charge current conversion in the interface of topological insulator
4. 有機導体へのスピン注入  
Spin injection into organic materials
5. 強磁性から超伝導体複合素子へのスピン注入  
Spin injection into superconductor from ferromagnet

## 小森研究室

Komori Group

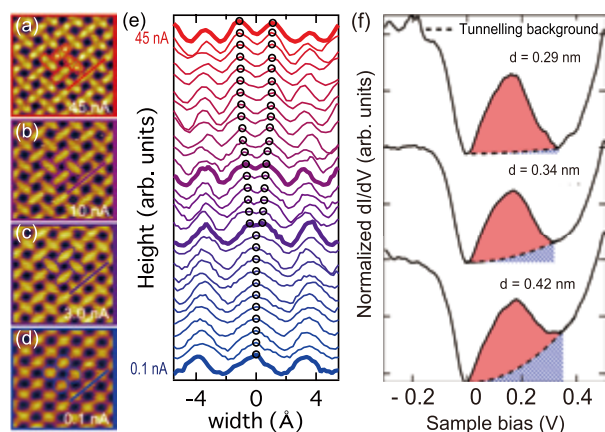


小森 文夫  
KOMORI, Fumio  
教授  
Professor



宮町 俊生  
MIYAMACHI, Toshio  
助教  
Research Associate

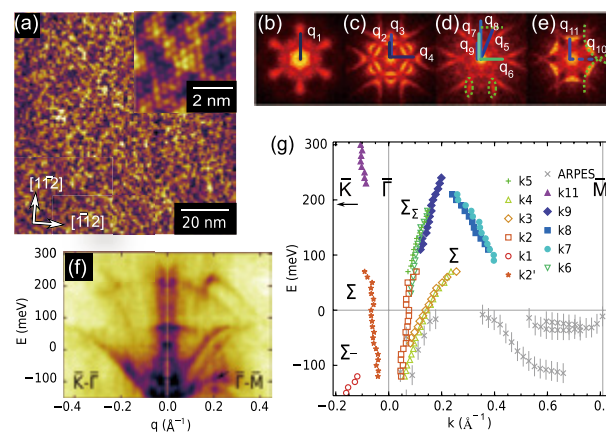
固体表面に形成される低次元系とナノ構造原子層物質の電氣的磁氣的性質を明らかにすることを目標に、超高真空中で走査トンネル顕微鏡 (STM)、光電子分光、磁気カー効果 (MOKE)・第二高調波発生 (SHG) 測定、および放射光分光を用いて研究を行なっている。STM を用いたトンネル分光では局所的な電子状態を、スピン角度分解光電子分光では電子状態のスピンと波数依存性を、MOKE/SHG と放射光分光では磁性を調べている。また、時間分解光電子分光や準粒子干渉測定によって表面での電子励起・散乱・緩和機構と、トンネル電子やレーザー光による電子励起後の新奇物質生成機構に関して、原子スケールの動的過程についても研究している。



(a-d) Cu(001) 上の  $\text{Fe}_2\text{N}$  原子層の STM 凹凸像。トンネル電流  $I$  に依って系統的に変化する。(e) (a-d) の直線上の STM 凹凸像の断面図。丸印で示したように、 $I$  が増えるとひと山の構造がふた山に連続的に変化する。(f) トンネル分光曲線の探針表面距離依存性。距離が短い場合には、赤で示した鉄 3d 電子由来の状態密度が支配的に観察される。

(a-d) Topographic STM images of the  $\text{Fe}_2\text{N}$  monolayer on Cu(001) at four values of the tunneling current  $I$  between 45 and 0.1 nA. (e) Line profiles along lines in (a-d). From the top to the bottom,  $I$  changes from 45 to 0.1 nA. Empty circles indicate peak positions. (f) Distant-dependent  $dI/dV$  spectra measured at the tip-surface distance,  $d = 4.2, 3.4$ , and  $2.9$  Å from the bottom to the top. Iron 3d states are dominant when  $d$  is small.

Electronic and magnetic properties of low-dimensional and atomic-layer materials with nanometer-scale structures at solid surfaces are studied using scanning tunneling microscopy/spectroscopy (STM/STS), photoelectron spectroscopy and magneto-optical Kerr-rotation/second harmonic generation measurements in an ultra-high vacuum. Local atomic, electronic and magnetic structures, formation processes of surface atomic-layer materials and dynamical processes induced by electron tunneling or photo-excited carriers are examined by STM/STS, while spin-resolved electronic structures, electron dynamics, chemical bonds, and magnetic properties by electron and optical spectroscopy using VUV light and soft-X-ray from laser and synchrotron.



(a)  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  清浄表面の STM 原子像。(b-e) フーリエ変換された等エネルギー  $dI/dV$  像。フェルミエネルギーとのエネルギー差、 $E - E_F$  は (b) -140、(c) -40、(d) +160、(e) +260 meV である。各エネルギーでの散乱ベクトル  $q_1$ - $q_{11}$  を示した。(f) フーリエ変換された  $dI/dV$  像の  $\Gamma$ -M と  $\Gamma$ -K 方向のエネルギー依存性。(g) 図 (f) から再現した  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  の表面バンド構造。

(a) STM images of a clean surface of  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ , revealing the hexagonal lattice of surface atoms. (b-e) Fourier transformation (FT) of  $dI/dV$  maps at  $E - E_F = -140$  (b),  $-40$  (c),  $+160$  (d), and  $+260$  (e) meV on the clean surface of  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ . The scattering vectors corresponding to the observed FT peaks are labeled by  $q_1$ - $q_{11}$ . (f) Profiles of the FT images in the  $\Gamma$ -M and the  $\Gamma$ -K directions. (g) Band structure of the clean surface of  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  reconstructed from data in (f).

## 研究テーマ Research Subjects

1. 単原子層・表面ナノ構造物質の電子状態、磁性および伝導  
Electronic states, conduction and magnetism of atomic layers and nano-structured materials at surfaces
2. トンネル電子やレーザー光励起による電子・原子動的現象  
Electron and atom dynamics induced by electron tunneling and photo-excitation
3. 単原子層・表面ナノ構造物質の形成過程  
Formation processes of atomic layers and nano-structured materials at surfaces

# 長谷川研究室

Hasegawa Group



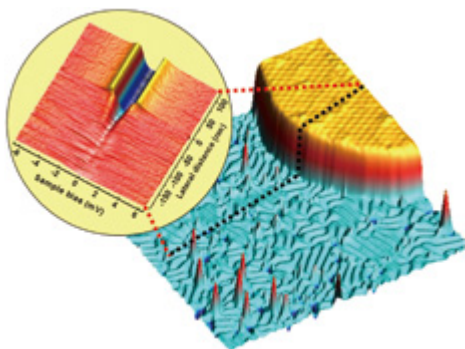
長谷川 幸雄  
HASEGAWA, Yukio  
准教授  
Associate Professor



吉田 靖雄  
YOSHIDA, Yasuo  
助教  
Research Associate

走査トンネル顕微鏡 (STM) は、その像を通じて表面の原子構造を明らかにするのみならず、トンネル分光測定によりサブナノ領域での電子状態に関する知見を与え、さらにはスピン偏極 (SP-) STM による局所磁気特性や表面スピン構造、非弾性トンネル分光 (IETS) による種々の局所励起エネルギーに関する情報を引き出すことができる。

長谷川研究室では、極低温強磁場下で動作する STM 装置を用いて、渦糸のクラスタリングや巨大渦糸などナノサイズ超伝導体特有の渦糸状態の観察や、磁性体との近接効果により誘起される特異な超伝導状態の実空間観測を行っている。また、SP-STM による磁性薄膜の局所スピン構造と磁気特性に関する研究、IETS によるスピン励起の研究等を進めるとともに、原子マニピュレーションを駆使した物性の制御を目指している。最近では、 $\text{CeCoIn}_5$  などの重い電子系物質の電子状態や局所超伝導特性・磁気特性の研究にも取り組んでおり、超伝導ギャップ形状の原子スケールでの変調現象などを見出している。

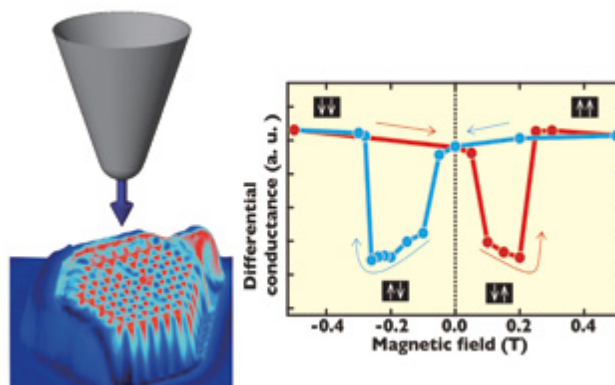


超伝導金属界面での近接効果。Si 基板上の 1 原子層 Pb (水色、常伝導相) と Pb 薄膜 (黄色、超伝導相) の界面近傍で測定されたトンネル分光スペクトルから、超伝導特性が界面から 40nm の領域にわたって染み出していることが観察されている。

Proximity effect at superconductor/metal interface. Tunneling spectra taken around an interface between 1ML-Pb layer on Si (blue, normal metal) and a Pb thin film (yellow, super) indicate the penetration of superconductivity into the metal layer with a decay length of 40 nm.

Scanning tunneling microscopy (STM) reveals not only atomic structure of surfaces but also electronic states in sub-nanometer areas by tunneling spectroscopy. With a function of spin-polarized (SP-) STM, the microscope also provides local magnetic properties and surface spin structures, and with inelastic tunneling spectroscopy (IETS), various excitation energies can be extracted.

In Hasegawa-lab., by using STMs operated in very low temperature and high magnetic field, we have observed various phenomena on nanosize superconductors such as vortex clustering and giant vortex, and peculiar superconducting states in the proximity with ferromagnetic materials. We also study magnetic properties of thin films related with their atomic structure using SP-STM, and their spin excitation with IETS. Modification and control of these properties with an aid of the atom manipulation are one of the targets of our study. Recent subjects include heavy-Fermion materials, such as  $\text{CeCoIn}_5$ ; atomic-scale variation in the shape of superconducting gaps was observed.



スピン偏極 STM により得られた Ag 表面上のナノサイズ Co アイランド構造での“磁化曲線”。磁場により探針の磁化方向も反転するため ( $\sim \pm 0.25\text{T}$ )、バタフライ状の曲線が得られている。

Magnetization curve taken on a nano-size Co island structure formed on Ag surface using spin polarized STM. Because the flips of the tip magnetization occur at  $\sim \pm 0.25\text{T}$  a butterfly-shape curve is observed.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 低温 STM による局所領域での超伝導特性に関する研究  
Superconductivity in local area using low-temperature scanning tunneling microscopy
2. 原子 / 分子マニピュレーションによる古典 / 量子スピン系の構築とスピン偏極 STM によるその評価  
Fabrication of spin systems by atomic manipulation and their characterization with SP-STM
3. 重い電子系物質の局所電子状態・超伝導特性・磁気特性  
Local electronic states, superconductivity, and magnetic properties of heavy-Fermion materials
4. 走査ポテンショメトリによるナノスケールでの電位分布・スピン流計測  
Nano-scale distribution of potential and spin current by scanning tunneling potentiometry

## リップマー研究室

Lippmaa Group



リップマー ミック  
LIPPMMA, Mikko  
准教授  
Associate Professor



高橋 竜太  
TAKAHASHI, Ryota  
助教  
Research Associate

水素を生成する水分解光電極は酸化物半導体にとって興味深い課題を抱えている。高効率な光電極反応を得るためには、水の中で化学的安定に存在し、バンドギャップが約 2 eV、さらには室温でのフォトキャリアの移動度が高い半導体材料を使用しなければならない。これまでに我々は Ir:SrTiO<sub>3</sub> や Rh:SrTiO<sub>3</sub> を光電極に用いてきたが、これらの材料は 3 つ目の条件を網羅しておらず、高効率な反応を得ることはできなかった。低いフォトキャリア移動度の材料でも高い光触媒特性を発現させるべく、光触媒材料の中に金属のナノピラー構造が自己組織化した薄膜結晶の作製を試みた。半導体酸化物と金属ピラー構造の界面がショットキー接合になり、内部電界によって電荷を効率良く分離する層として機能する。フォトキャリアの拡散長は短くなり、フォトキャリアの移動度が低い材料でも効率良く電荷分離することを可能にする。

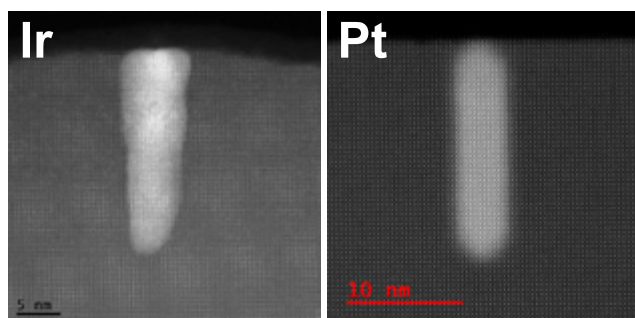


図 1. SrTiO<sub>3</sub> 中で自己組織化した貴金属ナノピラーの STEM 像。ナノピラー構造の析出は Ir, Pt, Pd, Rh の金属で観察された。Ir:SrTiO<sub>3</sub> 薄膜では Ir 金属ナノピラー構造周辺でショットキー空乏層が形成し、水分解反応の効率を高める。

Fig. 1. STEM images of spontaneously formed noble metal nanopyllars in SrTiO<sub>3</sub>. Pillar formation has been observed for Ir, Pt, Pd, and Rh. A suitable depletion layer forms around Ir nanopyllars in an Ir:SrTiO<sub>3</sub> host matrix.

Photocatalytic water splitting for hydrogen production presents an interesting challenge for oxide semiconductor development. The purpose is to design an oxide material that is chemically stable in water, has a bandgap of about 2 eV, and has high photocarrier mobility at room temperature. The first two requirements can be met by using noble metal doped SrTiO<sub>3</sub>, but the best photocatalysts, Ir:SrTiO<sub>3</sub> and Rh:SrTiO<sub>3</sub> have very low photocarrier mobilities. We study the possibility of avoiding the mobility problem by placing self-organized nanoscale metal electrodes inside the oxide semiconductor. Spontaneous noble segregation in a perovskite forms arrays of nanoscale metal pillars (Fig. 1), which can form Schottky-type depletion layers in the surrounding semiconductor (Fig. 2). The required photocarrier diffusion length thus becomes shorter and we can extract photogenerated charge very efficiently from an intrinsically low-mobility semiconductor.

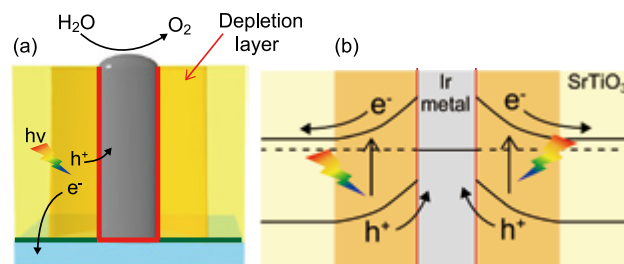


図 2. 薄膜中の金属ナノピラーの模式図。金属と酸化物の界面にショットキー接合を形成し、光誘起したフォトキャリアが再結合する前にホールと電子に効率良く分離させる。また、金属ナノピラー構造は電荷分離したホールが酸素発生する固液界面へ移動するためのパスとしても機能する。

Fig. 2. Schematic illustration of a nanoscale metal nanopyllar in a thin film (a). A Schottky junctions forms between the metal and the oxide (b), effectively separating photogenerated holes and electrons before recombination. The metal nanopyllar provides an efficient charge transport path to the photocatalyst surface for the oxygen evolution reaction.

## 研究テーマ Research Subjects

1. パルスレーザー堆積法による酸化物薄膜そしてヘテロ構造の作製  
Growth of thin oxide films and heterostructures by pulsed laser deposition
2. 水分解光電極反応の高効率化に向けた酸化物半導体材料の開発  
Development of oxide photoelectrode materials for photocatalytic water splitting
3. 極性材料とマルチフェロイク材料の開発  
Polar oxides and multiferroic coupling
4. 酸化物ナノ構造またはナノコンポジット薄膜の合成  
Synthesis of nanostructures and nanocomposite thin films

# 春山研究室

Haruyama Group



春山 純志  
HARUYAMA, Junji  
客員准教授  
Visiting Associate Professor

バルク層状物質のセロテープによる機械剥離という簡易な手法を一つの手段として多様な二次元原子層物質を創製、そのスピン・電子・光物性の研究を行っている。特に、独自の非リソグラフィ法として多孔質アルミナ膜をマスクとしナノメッシュ構造を各種原子層（グラフェン、黒リン、窒化ホウ素、二硫化モリブデン ( $\text{MoS}_2$ )）上に創製、その低汚染・低欠陥細孔エッジから生じる微小磁気・スピン信号を高効率で検出し、エッジ終端元素との相互作用がもたらす多様な磁気・スピン物性を探索している。

また、本来スピン軌道相互作用 (SOI) を持たないグラフェン表面の軽元素（水素・フッ素）、または重微粒子（白金、ビスマステルル）修飾などにより、ディラック電子系への Rashba 型・真性 SOI 導入と二次元トポロジカル絶縁体化に挑戦している。さらに次世代原子層光・電子半導体素子への応用を目指して、原子層半導体  $\text{MoS}_2$  への電子線・レーザー照射による金属相への構造相転移創出なども研究している。

Creation of various two-dimensional (2D) atom-thin layers (ATLs) by some methods (e.g., mechanical exfoliation of bulk layered materials using scotch tape) and research of those spintronic, electronic, and photonic properties are ongoing. In particular, nanomesh structures are fabricated on various 2D ATLs (graphene, black phosphorus, hexagonal boron nitride, and molybdenum disulfide ( $\text{MoS}_2$ )) by using an original non lithographic method (i.e., porous alumina template mask) and unique magnetic and spintronic behaviors arising from the ultra-clean and low-defect nanopore edges are studied associated with various adatoms terminating the pore edges.

Research of introduction of Rashba-type or intrinsic spin-orbit interaction (SOI) into graphene, which has no SOI due to its small mass, is also carried out by decoration of small-mass adatoms (hydrogen and fluorine) and heavy-mass nanoparticles (Au, Ag, Pt, and  $\text{B}_2\text{Te}_3$ ). It may lead to possible 2D topological insulating state. As application to next-generation electronic and photonic semiconductor ATL devices, a semiconductor-metal transition of atom-thin  $\text{MoS}_2$  is also studied by using electron- or laser-beam irradiation.

# 機能物性研究グループ

## Functional Materials Group

物性から機能を引き出し利用できるようにするためには、物質の基底状態・平衡状態の静的電子物性を基盤として、励起状態・非平衡状態、さらには化学反応や生体系に至る動的な性質に踏み込む必要がある。近年、励起状態や非平衡状態の時間分解測定、ナノスケールの分析・分光測定、動作・反応中でのオペランド観測などの物性測定法や分光法は飛躍的に進歩した。一方、計算機科学やデータ科学を用いた理論的解析が著しく進展している。物性研究所でもこれらの手法が導入・開発され、先進的な物性研究が行われている。そこで、物性研究所の既存のグループが連携しつつ、新たに取り組むべき分野を具体的に開拓するために、機能物性研究グループが形成された。機能物性研究では、伝統的な固体物性物理が対象としてきた電子・スピン・格子及びそれらの動的過程だけでなく、原子・イオンの移動や原子の組み替え(反応)を含めて、マルチスケール・階層的複合構造をもつ物質システムを扱う。本研究グループでは、重点的な研究テーマに対する共通の関心と相補的な専門技術を有する物性研究所の研究者数名がコアメンバーとなるが、さらに数名の所員が従来の部門に属しつつ本グループの併任として機能物性研究に参加する。

The Functional Materials Group is one of two new trans-divisional and interdisciplinary research groups and deals with excited states and dynamics in systems with hierarchical and inhomogeneous structures, including chemical reactions and dynamical processes in biological systems. Recently, time-resolved spectroscopy of excited states and non-equilibrium states, nano-scale observation and measurement as well as operando spectroscopy/measurement have greatly advanced. Theoretical analysis based on first-principles calculation and data science has achieved a remarkable development. There are already pioneering works done at ISSP along such directions as mentioned above. To get started, several current faculty and staff members of ISSP have been assigned to the core members. The core members are expected to provide seeds of collaboration and organize a research team involving other divisions and facilities as well as researchers outside ISSP. It is particularly important to collaborate with research facilities of ISSP so that their advanced and unique resources can enhance the scientific quality. By taking advantage of being a joint-use/research center, we can always invite external researchers to collaborate on new subjects. The Functional Materials Group should work as an open platform for such collaborations.

教授	吉信 淳
Professor	YOSHINOBU, Jun
教授	秋山 英文
Professor	AKIYAMA, Hidefumi
教授*1	柴山 充弘
Professor	SHIBAYAMA, Mitsuhiro
教授*2	小森 文夫
Professor	KOMORI, Fumio
教授*3	森 初果
Professor	MORI, Hatsumi
教授*1	山室 修
Professor	YAMAMURO, Osamu
准教授	杉野 修
Associate Professor	SUGINO, Osamu
准教授*2	リップマー ミック
Associate Professor	LIPPMAN, Mikk
准教授*4	松田 巖
Associate Professor	MATSUDA, Iwao
准教授*5	野口 博司
Associate Professor	NOGUCHI, Hiroshi
准教授*4	原田 慈久
Associate Professor	HARADA, Yoshihisa

助教	吉本 真也
Research Associate	YOSHIMOTO, Shinya
助教	野口 良史
Research Associate	NOGUCHI, Yoshifumi
助教	挟間 優治
Research Associate	HAZAMA, Yuji
技術専門職員	向井 孝三
Technical Associate	MUKAI, Kozo

特任研究員	伊藤 隆
Project Researcher	ITO, Takashi
特任研究員	金 昌秀
Project Researcher	KIM, Changsu
特任研究員	朱 琳
Project Researcher	ZHU, Lin
特任研究員	陶 仁春
Project Researcher	TAO, Renchun
特任研究員	樋山 みやび
Project Researcher	HIYAMA, Miyabi
特任研究員	山本 良幸
Project Researcher	YAMAMOTO, Yoshiyuki
特任研究員	严 蕾
Project Researcher	YAN, Lei

\*1 所内兼務。本務は中性子科学研究施設。  
/ concurrent with Neutron Science Laboratory

\*2 所内兼務。本務はナノスケール物性研究部門。  
/ concurrent with Division of Nanoscale Science

\*3 所内兼務。本務は凝縮系物性研究部門。  
/ concurrent with Division of Condensed Matter Science

\*4 所内兼務。本務は極限コヒーレント光科学研究センター。  
/ concurrent with Laser and Synchrotron Research Center

\*5 所内兼務。本務は物質設計評価施設。  
/ concurrent with Materials Design and Characterization Laboratory

# 吉信研究室

Yoshinobu Group



吉信 淳  
YOSHINOBU, Jun  
教授  
Professor



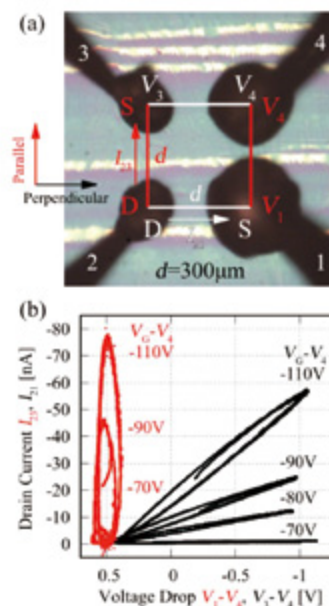
吉本 真也  
YOSHIMOTO, Shinya  
助教  
Research Associate

表面界面の特徴の一つは、バルクの対称性が破れ表面特有の構造や物性が現れることだけではない。外部から原子・分子を自在に表面に供給し、新しい物質を構築する「反応場」であることが最も重要な特徴である。また、表面界面は物質移動の場だけではなく、エネルギー変換の場としても極めて重要である。最近では、原子・分子レベルで制御されたナノスケールの材料（例えば、サイズの整ったクラスター、異方性の強い低次元化合物、配向の特定された分子凝集系など）を作製し、機能を持ったナノ・デバイスを構築することも可能になってきた。原子スケールで物質移動（拡散や反応）を制御し、機能をもつ材料やデバイスを創製するためには、表面・界面における素過程を理解することが不可欠である。表面における原子・分子のダイナミクス研究は、触媒反応・半導体プロセス・分子エレクトロニクスと密接に関連しており、宇宙における分子進化についても手がかりを与えてくれる。当研究室では、表面・界面における原子・分子のダイナミクス（吸着、拡散、成長、脱離）、表面ナノ物質の構築および表面界面の電子物性を、表面振動分光、光電子分光などの表面分光法と、走査型トンネル顕微鏡や独立駆動4探針電気伝導測定法を駆使して研究している。シンクロトロン放射光（KEK-PF, SPring-8 など）を用いた雰囲気中のオペランド光電子分光実験も行っている。

Solid surfaces are intriguing objects, because novel structures and electronic properties emerge as a result of symmetry breaking of bulk. Solid surfaces play an important role as “low dimensional reaction field”, on which we can provide atoms and molecules and manipulate them deliberately. In addition, surface and interface are vital in the energy conversion and dissipation processes. In order to fabricate atomically-controlled surface functional materials, we have to understand the dynamical behavior of atoms and molecules on surfaces. The research of these subjects is closely related to the basics of catalysis, semiconductor processes and molecular electronics. In addition, we can simulate chemical reactions on cosmic dust with laboratory experiments in ultrahigh vacuum at low temperature. We have utilized surface vibrational spectroscopy, photoelectron spectroscopy and local probe methods in order to investigate structures, reactions and electronic properties of

atoms, molecules and thin films on surfaces. Synchrotron radiation (KEK-PF, SPring8 etc.) is also used to study electronic structure of surface and interface, including operando XPS.

(a) Optical microscopy image and (b)  $I$  vs.  $V$  curves for the TIPS-pentacene film measured by four GaIn tips. A square four-probe method was used to detect anisotropy in mobility. Two sets of  $I$  vs.  $V$  measurements were performed: parallel  $I_{23}$  vs.  $(V_1 - V_4)$  and perpendicular  $I_{21}$  vs.  $(V_3 - V_4)$ , and they were plotted as a function of gate-to-channel bias  $V_G - V_4$  to remove the contact resistance. [Appl. Phys. Lett. **111** (2017) 073301].



## 研究テーマ Research Subjects

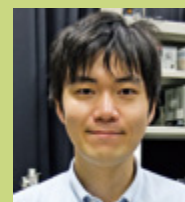
1. モデル触媒による小分子の活性化と表面反応の研究  
Activation and surface reaction of small molecules by model catalysts
2. 固体表面における原子・分子の動的過程の研究  
Dynamical processes of atoms and molecules on solid surfaces
3. 半導体および有機薄膜の電子状態と表面電気伝導の研究  
Electronic states and surface conductivity of semiconductor and organic thin film
4. グラフェンやシリセンなど低次元物質の電子状態と反応性の研究  
Electronic states and reactivity of low-dimensional materials on surfaces
5. 雰囲気中の表面化学反応の研究  
Chemical reaction on solid surfaces under ambient conditions

# 秋山研究室

Akiyama Group



秋山 英文  
AKIYAMA, Hidefumi  
教授  
Professor



挟間 優治  
HAZAMA, Yuji  
助教  
Research Associate

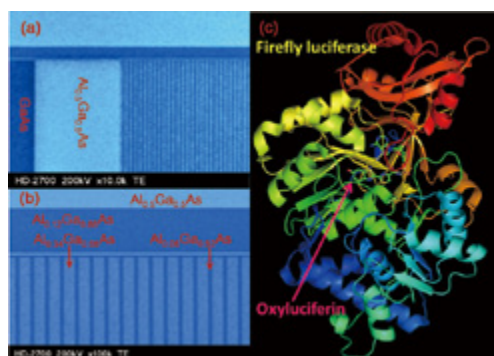
半導体量子ナノ構造の光物性や、ヘテロ構造・ナノ構造に基づく半導体レーザーや太陽電池のデバイス物理、ホタル生物発光の生物物理などを、レーザー分光・顕微分光・光学計測技術を用いて研究している。

半導体レーザーに対して、最大定格を大きく超える励起を短時間だけ加え、極端非平衡状態を生み出し、フェムト秒短パルス発生限界を追及する研究を行っている。人工衛星用高品質 III-V 族半導体タンデム太陽電池の損失機構を調べ、変換効率限界を物理的に理解するデバイス物理研究も行っている。また、世界一細くかつ均一で制御性の高い半導体量子細線レーザーを作製し、量子力学的な光学物性、低次元性、電子正孔系多体問題、半導体レーザー物理、結晶成長、物質科学など様々な興味から研究を行っている。

光学実験技術として、微細なナノ構造の発光を高感度に検出する技術、絶対量を定量計測する技術、ナノ構造の透過吸収を計測する技術、顕微分光や画像計測の技術、ソリッドイマージョン顕微技術などを開発している。さらに、それらの技術を応用し、ホタルやクラゲやウミホタルの生物発光やルミノール化学発光などを、生物学・化学・理論の専門家が民間会社と共同で研究している。

100 周期 T 型量子細線レーザー (a,b) とホタルシフェラーゼ (c) の構造

Nano-structures of a 100 T-shaped quantum-wire laser (a,b) and firefly luciferase protein (c).



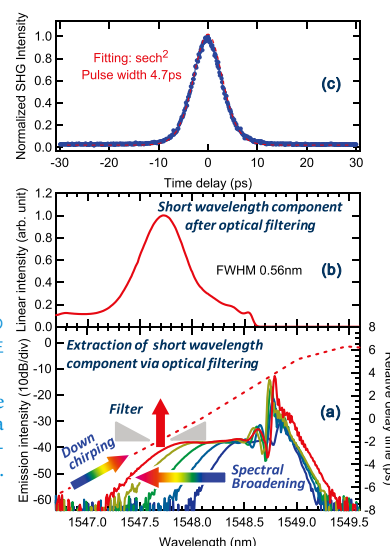
Advanced laser spectroscopy on the basis of lasers and microscopy is developed and applied to semiconductor quantum wires and other nano-structures, in order to understand and control their optical properties quantum mechanically.

Femto-second pulse generation directly from gain-switched semiconductor lasers is studied intensively to understand the pulse dynamics and the shortest-pulse limit. High-quality III-V-semiconductor tandem solar cells and their internal loss rates and mechanisms are also studied. We make the world thinnest and cleanest quantum-wire semiconductor lasers that have superior laser performances such as low threshold currents. Experimental findings and problems provide us fruitful physics subjects related to 1D physics, many-body physics, lasers, solar cells, crystal growth, material science, and semiconductor device physics and engineering.

We are developing experimental techniques such as sensitive luminescence detection, absolute luminescence-yield measurements, transmission/absorption measurements of single nano-structures, micro-spectroscopy, imaging, and solid-immersion microscopy. Some of these techniques have been applied to study of bioluminescence of fireflies, jelly fish, and sea fireflies as well as luminol chemiluminescence.

半導体レーザーからの 4.7 ps パルス直接発生実験

Direct 4.7 ps pulse generation from a gain-switched semiconductor laser diode.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 利得スイッチング半導体レーザーおよび太陽電池のデバイス物理  
Device physics of gain-switched semiconductor lasers and solar cells
2. 高品質半導体量子細線および井戸における低次元電子正孔キャリアの多体相関と非平衡性  
Many-body interactions and non-equilibrium properties of low-dimensional electron-hole systems in clean semiconductor quantum wires and wells
3. 半導体量子構造およびデバイスの作製、高品質化、構造評価、顕微分光計測、画像計測  
Material physics and development of high-quality semiconductor nano-structures via microscopy
4. ホタル・クラゲ・ウミホタルなどの生物発光と生物化学発光計測標準  
Bioluminescence of firefly, jelly fish, sea firefly, etc. and bio/chemiluminescence measurement standards

# 杉野研究室

Sugino Group



杉野 修  
SUGINO, Osamu  
准教授  
Associate Professor

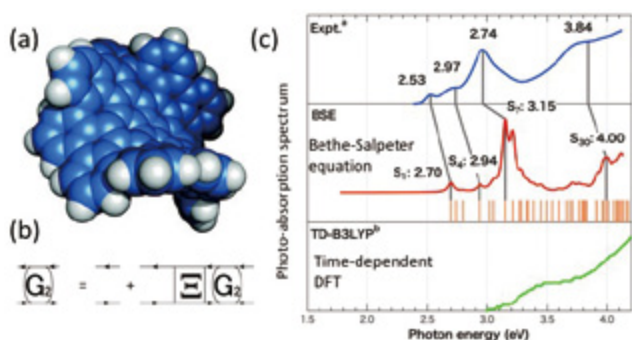


野口 良史  
NOGUCHI, Yoshifumi  
助教  
Research Associate

計算機シミュレーションを用いて、物質の性質を理論的に解明するための第一原理計算を行っている。本研究室ではシミュレーションの対象を拡げるための研究（計算手法開発）と物性を解明するための研究（スーパーコンピュータを用いたシミュレーション）の両面から研究を行っている。

手法開発の対象は、(1) 世界最大級の励起状態計算を可能にするための多体グリーン関数法 (GW + Bethe-Salpeter 法) プログラム開発、(2) 高精度基底状態計算のための、スレーター行列式に基づく従来の体系から反対称ジェミナル積とパフィアン形式に基づいた体系への移行、(3) 化学反応により電位差が生じている界面系の定常状態を求めるための密度汎関数法の構築である。

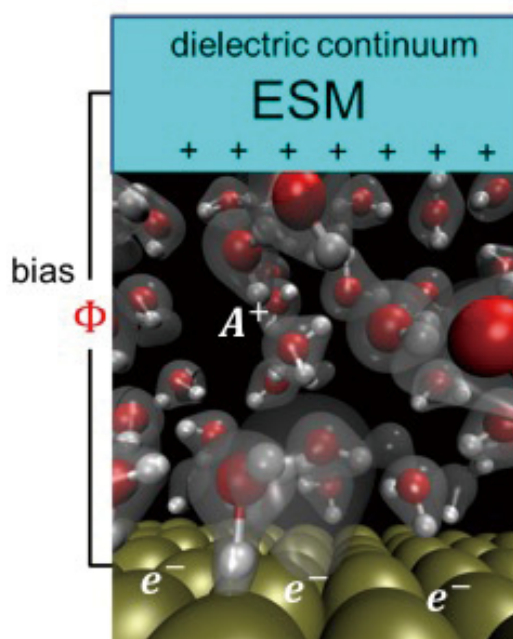
実験とコラボしたシミュレーションも積極的に行い、強磁場下での構造相転移、溶液中での生体分子の安定性、表面薄膜でのディラック電子系、燃料電池電極触媒などの解明を行っている。



炭素ナノ物質（うねったナノグラフェン）の構造と計算された光吸収スペクトル。本計算 (GW + Bethe-Salpeter) は従来の計算 (time-dependent DFT) を改善し、実験と良好な一致を示している。200 原子系での定量的な励起状態計算が可能になった。

Carbon nano-material and photo-absorption spectrum. Our calculation (GW + Bethe-Salpeter equation) improves over the conventional calculation (time-dependent DFT) and yields results comparable to experiment. It has become possible to reliably predict excited states of systems up to 200 atoms.

Development of first-principles condensed matter theory is the target of study. This is done by advancing computational methods and by performing large-scale simulations. The methodologies under development are (1) the many-body Greens's function approach to the excited states of materials, via the solution of the Bethe-Salpeter equation within the GW approximation, (2) accurate wave function theory based on the antisymmetrized germinal power and the Pfaffian, in place of the conventional Slater determinant, and (3) density functional approach to the non-equilibrium and steady state of the electrochemical interface. Collaboration with experimental research groups is also an important theme. The theme includes (1) structural phase transition of a material under strong magnetic field, (2) thermodynamic stability of bioluminescent material, and (3) Dirac cone of novel thin films grown on surfaces, (4) design of electrocatalyst for the next-generation fuel cell.



白金水溶液界面における化学反応と非平衡定常状態  
Electrochemical reaction and non-equilibrium steady state of the platinum-solution interface.

## 研究テーマ Research Subjects

1. GW + Bethe-Salpeter 法に基づく励起状態の第一原理計算  
First-principles calculation of excited states based on GW + Bethe-Salpeter equation
2. 反対称化ジェミナルに基づく高精度波動関数理論  
Accurate wave function theory based on antisymmetrized germinal power
3. 電気化学界面の第一原理計算  
First-principles calculation of electrochemical interface

# 量子物質研究グループ

## Quantum Materials Group

物性物理はこれまで新しい物質、新しい現象、新しい概念の発見によって、大きく発展してきた。物性研究所で活発に研究されてきた強相関電子系は、その顕著な例である。一方、研究のブレークスルーは多くの場合、分野の融合によることが多い。本研究グループは、そのような視点のもとに、量子物質研究のさらなる飛躍を目指して、理論と実験の緊密な連携を核とし、従来の研究部門の垣根を超えた共同研究を推進するために新設された。

当グループは2つのコアグループと6つの連携グループからなり、互いに強く連携しながら、強相関電子系の新しい量子相や新しい機能性材料の発見を目指した研究を進めている。実験的には、バルクや薄膜の試料を作成し、その精密物性測定、スピントロニクス機能の開拓を行っている。これらは、理論手法の開発を通じて新しいトポロジカルな量子相の開拓を行う理論チームと強く協力をして進めている。

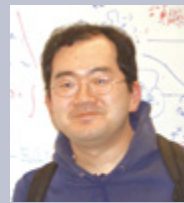
Discovery of new materials, new phenomena, and new concepts has progressed condensed matter physics. A good example can be found in the history of research in strongly correlated electron systems, one of the major fields studied in ISSP. On the other hand, breakthroughs have been often made at an intersection of various different research fields. To facilitate another leap forward in our activity, the quantum materials group has been created to promote interdisciplinary studies based on the collaboration between the experimental and theoretical groups beyond the conventional research disciplines.

The quantum materials group currently consists of two core groups and six joint groups. All these groups vigorously conduct collaborative research to discover novel quantum phases and functional materials in correlated electron/spin systems. The activities include new material synthesis in bulk and thin film forms and their characterization through state-of-art measurement systems. Device fabrication is also made for spintronics applications. These experiments are being conducted through lively discussion and tight collaboration with theory groups, which search for novel topological phases by using new theoretical approach and numerical methods.

教授 Professor	押川 正毅 OSHIKAWA, Masaki	助教 Research Associate	多田 靖啓 TADA, Yasuhiro	特任研究員 Project Researcher	マン フィユアン MAN, Huiyuan
教授 Professor	中辻 知 NAKATSUJI, Satoru	助教 Research Associate	酒井 明人 SAKAI, Akito	特任研究員*1 Project Researcher	杉井かおり SUGII, Kaori
教授*1 Professor	榑原 俊郎 SAKAKIBARA, Toshiro	助教*1 Research Associate	下澤 雅明 SHIMOZAWA, Masaaki	特任研究員*4 Project Researcher	杉本 聡志 SUGIMOTO, Satoshi
教授*2 Professor	辛 埴 SHIN, Shik	助教*4 Research Associate	一色 弘成 ISSHIKI, Hironari	特任研究員*4 Project Researcher	肥後 友也 HIGO, Tomoya
教授*3 Professor	廣井 善二 HIROI, Zenji	特任研究員 Project Researcher	大槻 匠 OTSUKI, Takumi	特任研究員*4 Project Researcher	ムドゥリ プラサンタ クマール MUDULI, Prasanta Kumar
教授*4 Professor	大谷 義近 OTANI, Yoshichika	特任研究員 Project Researcher	シェ チャンツェ HSIEH, Chang-Tse	学振特別研究員 JSPS Research Fellow	志村 恭通 SHIMURA, Yasuyuki
准教授*1 Associate Professor	山下 穰 YAMASHITA, Minoru	特任研究員 Project Researcher	チェン タイシ CHEN, Taishi	学振特別研究員 JSPS Research Fellow	杉浦 祥 SUGIURA, Sho
准教授*2 Associate Professor	近藤 猛 KONDO, Takeshi	特任研究員 Project Researcher	富田 崇弘 TOMITA, Takahiro	学振特別研究員 JSPS Research Fellow	チュ ダンル Qu, Danru
教授(客員) Visiting Professor	有田 亮太郎 ARITA, Ryotaro	*1 所内兼務。本務は凝縮系物性研究部門。 / concurrent with Division of Condensed Matter Science			
教授(外国人客員) Visiting Professor	ダムル ケダー DAMLE, Kedar	*2 所内兼務。本務は極限コヒーレント光科学研究センター。 / concurrent with Laser and Synchrotron Research Center			
教授(外国人客員) Visiting Professor	ラン イン RAN, Ying	*3 所内兼務。本務は物質設計評価施設。 / concurrent with Materials Design and Characterization Laboratory			
		*4 所内兼務。本務はナノスケール物性研究部門。 / concurrent with Division of Nanoscale Science			

# 押川研究室

Oshikawa Group



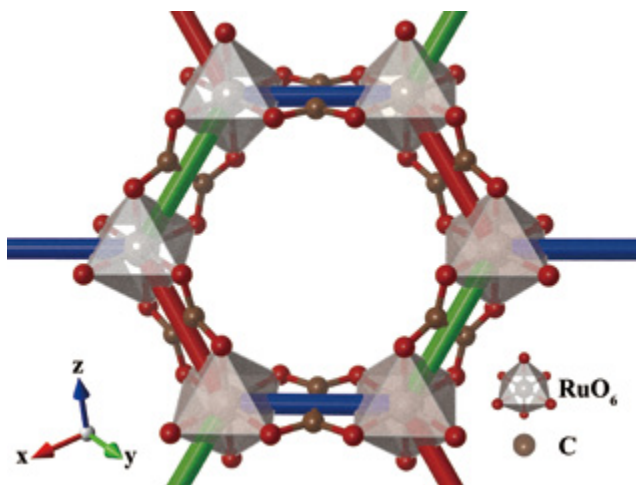
押川 正毅  
OSHIKAWA, Masaki  
教授  
Professor



多田 靖啓  
TADA, Yasuhiro  
助教  
Research Associate

量子多体系の理論を中心として研究を行っている。量子多体系と古典統計力学系および場の理論の密接な関係を踏まえ、広範な系について成立する普遍的な概念を探求するとともに、実験結果の統一的理解や新たな実験に対する予言も目標とする。最近の成果の一つとして、カイラル超流動体の全軌道角運動量についての40年来のパラドックスに一定の理論的解決を与えた。また、場の理論における量子異常を応用して、離散的な対称性の存在下ではギャップレスな臨界相の間に新たな分類が生じることを示した。これは、量子相の分類に新たな展開をもたらすものである。このような理論研究における発展を実験研究と結びつけるべく、Kitaevスピン液体相などの新奇なトポロジカル相を実現する物質設計についても研究を進めている。これらの研究の多くは、国際共同研究として推進している。

Our main focus is quantum many-body theory. Based on the close correspondence among quantum many-body systems, classical statistical systems, and field theory, we pursue universal concepts in physics. At the same time, we aim to give a unified picture on experimental data and to make testable predictions. As an example of our recent achievements, we have given a certain theoretical result for the total orbital angular momentum of chiral superfluids, which has remained paradoxical for 40 years. We also demonstrated, based on anomaly in quantum field theory, a new classification of gapless quantum critical phases in the presence of a discrete symmetry. This opens up a new direction in classification of quantum phases. In order to connect these theoretical developments with experiments, we also study material design to realize exotic topological phases such as Kitaev spin liquids. Much of our research is carried out in international collaborations.



金属有機構造体 (Metal-Organic Framework, MOF) を用いたKitaevスピン液体の設計。Kitaevモデルは、基底状態としてスピン液体を実現する、非常に興味深い厳密に解ける量子スピンモデルである。イリジウム酸化物等の無機化合物でのKitaevモデルの実現が議論されているが、これらの物質では直接交換に起因するハイゼンベルグ型相互作用の寄与が大きく、基底状態はスピン液体ではない。我々は、MOFを用いて直接交換相互作用を抑制し、より理想的なKitaevモデルの実現の可能性を提案した。

Designing Kitaev spin liquid using Metal-Organic Framework (MOF). Kitaev model is an intriguing exactly solvable spin model, with a spin-liquid ground state. Although realizations of the Kitaev model in iridates and other inorganic materials has been discussed, the dominance of Heisenberg type interactions owing to direct exchanges prevents the ground state from becoming the spin liquid. We proposed a possibility of more ideal realizations of the Kitaev model, using MOFs in which direct exchange interactions are suppressed.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 量子スピン系および itinerant 電子系における電子スピン共鳴  
Electron Spin Resonance in quantum spin systems and itinerant electron systems
2. 量子細線の接合における伝導と共形場理論  
Conduction at a junction of quantum wires and conformal field theory
3. トポロジカル相と量子エンタングルメント  
Topological phases and quantum entanglement
4. カイラル超流体の軌道角運動量  
Orbital angular momentum of chiral superfluids
5. トポロジカル相・トポロジカル現象の物質系での実現  
Realization of topological phases and topological phenomena in materials

## 中辻研究室

Nakatsuji Group



中辻 知  
NAKATSUJI, Satoru  
教授  
Professor



酒井 明人  
SAKAI, Akito  
助教  
Research Associate

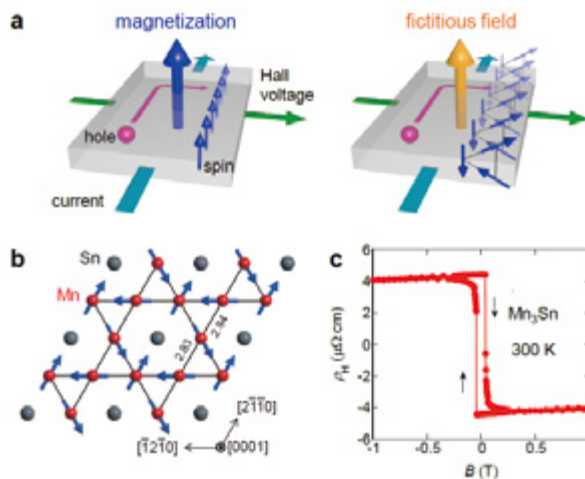
物質科学のフロンティアは、新しい現象の発見にある。なかでも、無機物質は我々の生活を支える材料として最もよく利用されてきた。その無機物質から物質中の  $10^{23}$  個もの電子が相互作用して創り出すマクロな量子現象が続々と発見されており、物理と化学を駆使した新物質の開発こそが新しい量子現象を目指す物質科学の醍醐味である。さらに、これらの量子現象の発見は現代の情報社会や IoT 社会の基盤となる革新的技術を生みだしている。私達の研究室では、このような新しい機能の開発を目指した新物質開発に取り組み、スピントロニクス機能やエネルギーハーベスティングなどの応用に資する新たな量子機能を探求する研究を進めている。

そのため、私達の研究室では、物質の化学合成のみならず、新しい物理現象の発見を目指した最先端物性測定、また、それを応用したデバイス作製や薄膜測定にも力を入れている。多様な手法を用いて新しい化合物の単結晶育成や薄膜作製に自ら取り組むとともに、顕著な量子効果が現れる極低温から応用に重要な室温以上での様々な高精度物性測定を行っている。

The discovery of new phenomena is at the forefront of research in condensed matter physics. This is particularly true for the inorganic materials, which provide an important basis in current electronic and information technology research, which keep providing numbers of macroscopic quantum phenomena due to correlations among the Avogadro numbers of electrons. Thus, the search for new materials that exhibit new characteristics is one of the most exciting and important projects in the materials research. We have synthesized new materials in so-called strongly correlated electron systems including transition metal compounds and heavy fermion intermetallic compounds. Our interest lies in quantum phenomena such as exotic superconductivity and anomalous metallic states close to a quantum phase transition, novel topological phases in magnetic metals, quantum spin liquids in frustrated magnets, and their spintronics application.

a, 強磁性体における異常ホール効果 (左図) と反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  における異常ホール効果 (右図)。強磁性体中では、自発磁化  $M$  によって電子の運動が曲げられることにより、ゼロ磁場下 ( $B = 0$ ) でホール効果が自発的に現れる。一方で、反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  では、ゼロ磁場下 ( $B = 0$ ) で、かつ、自発磁化  $M$  のない状態において、ホール効果が自発的に現れる。この場合、電子の運動を曲げる要因となる仮想的な内部磁場  $b$  が、スピンキラリティの秩序化によってもたらされと考えられる。b,  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  の磁気構造。カゴメ格子の各頂点に位置する Mn は磁気モーメント (青矢印) を有し、キラル反強磁性構造を示す。c,  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  における室温でのホール抵抗率の磁場依存性。

Magnetic behavior and crystal structure of  $\text{Mn}_3\text{Sn}$ . a, Anomalous Hall effect in ferromagnets (left) and in antiferromagnets (right) induced by bending the trajectory of conducting carriers by magnetization and fictitious field, respectively. b, Crystal and spin structure of  $\text{Mn}_3\text{Sn}$ . Each Mn has a magnetic moment (arrow). c, Magnetic field dependence on the Hall resistivity in  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  at room temperature.

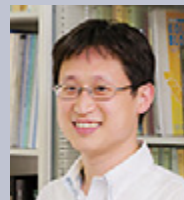


## 研究テーマ Research Subjects

1. ワイル磁性体の量子伝導効果とそのスピントロニクス応用  
Quantum transport phenomena in Weyl magnets and their applications for spintronics
2. トポロジカル磁性体の開発とエネルギーハーベスティング  
Search for novel topological magnets and their application for energy harvesting
3. トポロジカル量子相や新しい超伝導体の開拓  
Search for novel topological phases and superconductors

## 有田研究室

Arita Group



有田 亮太郎  
ARITA, Ryotaro  
客員教授  
Visiting Professor

私は現在、おもに第一原理計算に基づいた物質科学の研究に従事している。特に、遷移金属化合物や重い電子系、分子性導体など様々な強相関電子系の研究を行ってきた。客員教授として物性研に滞在中は、主として機能反強磁性体に関する研究を行うことを計画している。中辻知教授のグループによる  $\text{Mn}_3\text{Sn}$ 、 $\text{Mn}_3\text{Ge}$  における大きな異常ホール効果の発見に触発され、最近、我々は「クラスター多極子」という量を導入し、これによって磁性体の磁気構造を特徴づける方法を定式化した。このアプローチに従えば、一般の磁性体に対する電子特性、輸送特性、光学特性などを第一原理計算に基づいて設計することができる。ホストの中辻教授と協力し、新しい機能反強磁性体を発見することを目指す。また、物性研に滞在中は中辻グループ以外の研究室との共同研究にも積極的に取り組みたいと考えている。

My current research interests are in computational materials science based on first-principles calculation. Especially, I have been working on a variety of correlated materials such as transition metal oxides, heavy fermion systems, molecular solids, and so on. As a visiting professor, I am planning to study functional antiferromagnets. Motivated by the recent discovery of large anomalous Hall effect in  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  and  $\text{Mn}_3\text{Ge}$  by the group of Prof. Satoru Nakatsuji, we have recently formulated a scheme based on “cluster multipole” to characterize the magnetic structure. With this scheme, one can design electronic, transport and optical properties of magnets with general spin structure. Collaborating with my host, Prof. Nakatsuji, we wish to find new functional antiferromagnets. In addition to this project, I intend to interact with other ISSP professors.

## ダムル研究室

Damle Group



ダムル ケダー  
DAMLE, Kedar  
外国人客員教授  
Visiting Professor

我々の研究の中心は、強い相関を持つ量子系における相と相転移、およびそれらに関連する統計力学の問題である。フラストレートした量子磁性体やボース粒子系では、相互作用の競合により多数の低エネルギーの配位が縮退する。これは、しばしば量子ゆらぎや熱ゆらぎで安定化された興味深い低温相の実現につながる。我々の研究の多くは、このような興味深い低温相の、数値的・解析的に取り扱い可能な例に関するものである。具体的な対象としては、比較的大きな単一イオン異方性を持つフラストレート磁性体や、フラストレートした相互作用を持つボソン系が挙げられる。このような系の効率的なシミュレーションを可能にする新しいアルゴリズムの開発に注力している。また我々は、局所的拘束条件に従う格子ガスの統計力学におけるエントロピーの秩序化や臨界相にも興味を持っている。これらの現象は、フラストレートした磁性体における「無秩序による秩序化」現象に類似している。

Our research focuses on phases and transitions in strongly correlated quantum systems as well as related problems from statistical mechanics. Frustrated quantum magnets and other bosonic systems, in which the leading couplings compete with each other and are unable to determine the low temperature fate of the system due to a large degeneracy of low-energy configurations, often provide realizations of interesting low-temperature phases stabilized by quantum or thermal fluctuations within the subspace of low energy configurations. With this motivation, much of the work in our group has focused on numerically or analytically tractable examples of such interesting low temperature phases. Examples include frustrated magnets with relatively strong single-ion easy-axis anisotropy and bosonic systems with frustrated interactions. A recent focus has been the development of algorithms that allow efficient simulations of certain classes of frustrated magnets. Additionally, we are interested in examples of entropic ordering as well as critical phases in the statistical mechanics of lattice gases that obey local constraints, since these phenomena are similar to order-by-disorder phenomena in frustrated magnets.

# ラン研究室

Ran Group



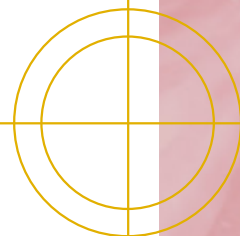
ラン イン  
RAN, Ying  
外国人客員教授  
Visiting Professor

我々の目標の一つは、相関によって誘起される新しいトポロジカル相の系統的な理解と、それらの相の現実的な系における実現を探ることである。そのため、新奇なトポロジカル相が必然的に現れるような、対称性に基づく一般的な制約を導く。このような制約は、相関の強いトポロジカル相を実現する現実的なモデルや具体的な候補物質を同定する指導原理となる。もう一つの目標は、フラストレーションの強い量子スピン系における量子臨界点を代数的に解析することである。たとえば、最近開発されたボソン・フェルミオン双対性に基づき、そのような量子臨界点に電子をドーピングすると高温超伝導が誘起されることがわかった。このような解析は、電子対の対称性と対形成機構を明確にし、相関の強い非定型の超伝導体の理解に有効である。物性研は、トポロジカル相の多くの側面に関する専門家である押川教授と共同研究する貴重な機会を我々に提供する。物性研は強相関量子物質に関して世界をリードする研究所でもある。我々は物性研のメンバーとの、互いに有益な意見交換を望んでいる。

One of the goals of our research activities is to develop systematic theoretical understandings of new types of correlation-driven topological phases and to search for these states in practical materials. We plan to theoretically develop certain generic symmetry-related conditions, under which exotic topological phases are inevitably realized. Namely symmetry-related conditions could enforce topological phases. These symmetry-related conditions would provide guiding principles to identify both realistic quantum models and candidate materials realizing correlated topological phases. Another goal of our research activities is to algebraically analyze quantum critical points in frustrated quantum spin systems. For example, based on recently developed boson-fermion dualities, it turns out that electronically doping such quantum critical points could immediately lead to high temperature superconductivities. This algebraic analysis would allow us to sharply understand the pairing symmetries and mechanisms, which could be relevant to multiple unconventional correlated superconductors. ISSP provide us with a unique opportunity of collaborate with Prof. Oshikawa, who is an expert on many aspects of topological states of matter. Moreover, ISSP is one of the leading institutions in this fields of strongly correlated quantum materials. We hope to both contribute to and benefit from the exchange of ideas with the members of ISSP.

# 物質設計評価施設

## Materials Design and Characterization Laboratory (MDCL)



物質設計評価施設では、物質の「設計 (Design)」、具体的な物質の「合成 (Synthesis)」、合成された物質を総合的に調べる「評価 (Characterization)」の3つの研究をサイクル (DSC サイクル) として有機的に連携させることにより、新しい物性・機能を持つ物質の開発を目指している。本施設は物質設計部と物質合成・評価部からなり、物質設計部には大型計算機室が、物質合成・評価部には物質合成室、化学分析室、X線測定室、電子顕微鏡室、電磁気測定室、光学測定室、高压合成室の7実験室がある。物質設計部では、最先端の物性専用のスーパーコンピュータを駆使して原子間の相互作用によって生み出される様々な協力現象を解明しつつ新物質の設計を行い、物質合成・評価部では物質の合成、単結晶育成およびその組成の分析や結晶構造評価を行うとともに、新しく開拓された物質群の電氣的・磁氣的・光学的性質の総合評価を行っている。これら物質の総合評価の結果は設計および合成にフィードバックされ、DSC サイクルを通して新しい物質の開発が行なわれる。本施設の全国共同利用は、物質設計評価施設運営委員会により運用されている。

The aim of MDCL is to promote materials science with the emphasis on the “DSC cycle”, where DSC represents three functions in developing new materials, Design, Synthesis and Characterization. The MDCL consists of two divisions; Materials Design Division (MD-D) and Materials Synthesis and Characterization Division (MSC-D). The Supercomputer Center of ISSP (SCC-ISSP) belongs to MD-D, while in MSC-D there are seven sections for joint-use; Materials Synthesis Section, Chemical Analysis Section, X-Ray Diffraction Section, Electron Microscope Section, Electromagnetic Measurements Section, Spectroscopy Section, and High-Pressure Synthesis Section. In MD-D, by making use of its supercomputer system, novel mechanisms behind various cooperative phenomena in condensed matter are explored, and theoretical designs of new materials as well as materials with new nanoscale structures are developed. In MSC-D, various types of new materials are synthesized, single crystals are grown, and the structural, electromagnetic and optic properties of the materials are characterized in various ways. The characterization results are immediately fed back to the synthesis and to the design of materials. Through this DSC cycle we aim to develop new materials with new functions. Almost all the facilities of the MDCL are open to domestic scientists through the User Programs conducted by the Steering Committees of the MDCL.

教授 (施設長)	廣井 善二	助教	渡辺 宙志	技術専門職員	後藤 弘匡
Professor (Director)	HIROI, Zenji	Research Associate	WATANABE, Hiroshi	Technical Associate	GOTO, Hirokata
教授	川島 直輝	助教	笠松 秀輔	技術専門職員	浜根 大輔
Professor	KAWASHIMA, Naoki	Research Associate	KASAMATSU, Shusuke	Technical Associate	HAMANE, Daisuke
教授	上床 美也	助教	森田 悟史	技術専門職員	福田 毅哉
Professor	UWATOKO, Yoshiya	Research Associate	MORITA, Satoshi	Technical Associate	FUKUDA, Takaki
教授	尾崎 泰助	助教	矢島 健	技術職員	石井 梨恵子
Professor	OZAKI, Taisuke	Research Associate	YAJIMA, Takeshi	Technical Associate	ISHII, Rieko
准教授	野口 博司	助教	平井 大悟郎	学術支援専門職員	荒木 繁行
Associate Professor	NOGUCHI, Hiroshi	Research Associate	HIRAI, Daigorou	Technical Associate	ARAKI, Shigeyuki
准教授 <sup>*1</sup>	杉野 修	助教	郷地 順	学術支援職員	長崎 尚子
Associate Professor	SUGINO, Osamu	Research Associate	GOUCHI, Jun	Technical Associate	NAGASAKI, Shoko
特任研究員 (PI) <sup>*2</sup>	吉見 一慶	助教	樋口 祐次	特任研究員	河村 光晶
Project Researcher	YOSHIMI, Kazuyoshi	Research Associate	HIGUCHI, Yuji	Project Researcher	KAWAMURA, Mitsuaki
教授 (客員)	淵崎 員弘	技術専門職員	小池 正義	特任研究員	サイヤッド シャラレ
Visiting Professor	FUCHIZAKI, Kazuhiro	Technical Associate	KOIKE, Masayoshi	Project Researcher	SAYYAD, Sharareh
教授 (外国人客員)	ノバック マリオ	技術専門職員	山内 徹	特任研究員	原口 祐哉
Visiting Professor	NOVAK, Mario	Technical Associate	YAMAUCHI, Touru	Project Researcher	HARAGUCHI, Yuya
		技術専門職員	矢田 裕行	特任研究員	余 珊
		Technical Associate	YATA, Hiroyuki	Project Researcher	YU, Shan
				特任研究員	リー ヨンティン
				Project Researcher	LEE, YungTing

<sup>\*1</sup> 所内兼務。本務は機能物性研究グループ。/concurrent with Functional Materials Group

<sup>\*2</sup> PCoMS 次世代研究員 (PI)

# 廣井研究室

Hiroi Group



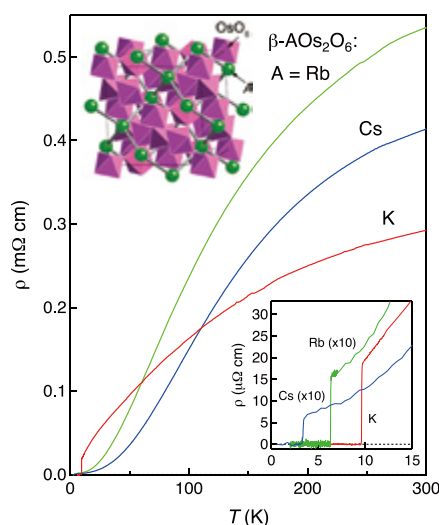
廣井 善二  
HIROI, Zenji  
教授  
Professor



平井 大悟郎  
HIRAI, Daigorou  
助教  
Research Associate

高温超伝導の発見とその後の研究の流れは、新物質の発見が如何に物性物理学に大きなインパクトを与えるかを如実に示した。その波紋は超伝導研究のみならず、強相関電子系一般における局在 - 非局在の概念の確立や磁性と伝導性の興味深い相関の研究へと大きな広がりを見せている。新物質探索を通して未知の物理現象を見出し、物性物理学の新しい方向を切り開くことは今後ますます重要になると考えられる。

遷移金属酸化物は強相関電子系の宝庫である。特に小さなスピン量子数をもつ低次元系（量子スピン系）において、強いクーロン反発によって局在しているd電子がキャリア数やバンド幅の制御によって動き始める時、量子効果による劇的な現象が期待される。本研究室では、様々な遷移金属酸化物の構造と物性の間にみられる相関に着目しながら、新物質探索を行い、強相関電子系の物質科学の面白さを研究している。

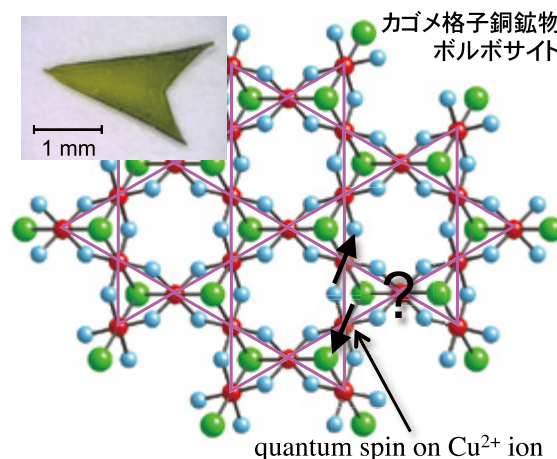


当研究室で発見されたβパイロクロア酸化物超伝導体  $\text{AOs}_2\text{O}_6$  の電気抵抗。超伝導転移温度は、3.3K (A = Cs)、6.3K (Rb)、9.6K (K) である。

Superconducting transitions observed in resistivity for the  $\beta$ -pyrochlore oxide superconductors  $\text{AOs}_2\text{O}_6$  found in the Hiroi laboratory. The  $T_c$ s are 3.3, 6.3 and 9.6 K for A = Cs, Rb and K, respectively.

The remarkable discovery of high- $T_c$  superconductivity and the following enthusiastic research in the last few decades have clearly exemplified how the finding of new materials would give a great impact on the progress of solid state physics. Now related topics are spreading over not only superconductivity but also unusual metallic behavior, which are often observed near the metal-insulator transition in the strongly correlated electron systems. We believe that for the next few decades it will become more important to explore novel physics through searching for new materials.

A family of transition-metal oxides is one of the most typical systems where Coulomb interactions play a critical role on magnetic and electronic properties. Especially interesting is what is expected when electrons localized due to the strong Coulomb repulsion start moving by changing the bandwidth or the number of electrons. We anticipate there unknown, dramatic phenomena governed by many-body effects and quantum fluctuations.



スピン 1/2 カゴメ格子反強磁性体のモデル物質となる銅鉱物ボルボサイトの結晶構造と単結晶

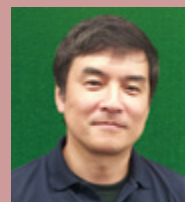
Copper mineral volborthite representing a spin-1/2 kagome-lattice antiferromagnet.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 新しい量子スピン系及び強相関電子系物質の開発  
Search for new materials realizing quantum spin systems or strongly correlated electron systems
2. スピン 1/2 カゴメ格子反強磁性体の基底状態  
Ground state of the spin-1/2 kagome antiferromagnet
3. 高温超伝導体  
High- $T_c$  superconductors

## 川島研究室

Kawashima Group



川島 直輝  
KAWASHIMA, Naoki  
教授  
Professor



森田 悟史  
MORITA, Satoshi  
助教  
Research Associate

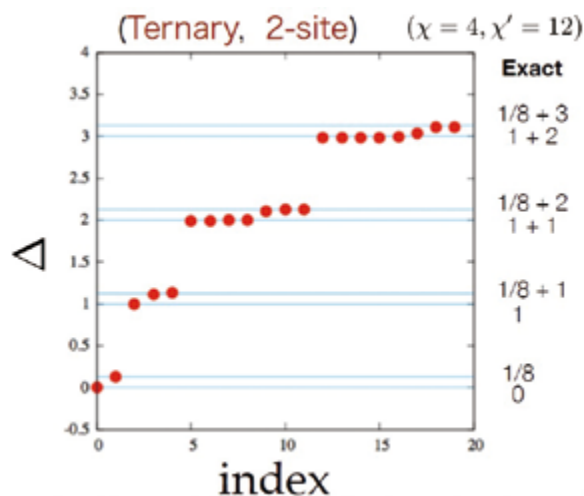
本研究室では物性研究所スパコンや神戸の「京」コンピュータなどの大規模並列計算機を利用して、物性理論で登場する基本的な問題の解明を行っている。また、そのためのアルゴリズムの研究も行っている。最近数年の研究から例をあげると、量子臨界現象に関しては、新しいカテゴリーの転移現象である脱閉じ込め転移を、 $SU(N)$  ハイゼンベルクモデルにおけるネール状態からVBS状態への相転移として観測する試みや、光格子にトラップされた極低温原子系やグラファイト表面のヘリウム系における超固体相の存在／不在の研究などがある。また、古典系に関しては、 $Z_2$  渦の乖離メカニズムによる相転移の有無の数値的検証、危険なイレバント演算子が系の対称性を低下させる場合にみられる異常な臨界現象などがある。最近ではテンソルネットワークなどの新しい方法論の開拓とそれを応用したフラストレート量子系の研究を行っている。



2 サイト演算子の繰り込み変換を定義する超演算子。多角形はテンソルを表し、Multi-scale entanglement renormalization ansatz (MERA) を用いて計算される。

A super-operator that defines renormalization transformation of two-site operators. Each tensor represented by a polygon is computed through MERA.

Our group investigates fundamental problems in condensed matter physics through massively parallel computation using ISSP supercomputers and “K-computer” at Kobe. For this purpose, we also develop new algorithms. As for quantum critical phenomena, for example, we are trying to find a “deconfined” critical phenomena, a new category of quantum phase transition, as a transition between Neel state and VBS state in the  $SU(N)$  Heisenberg model. Another target in this area of research is the existence/absence of super-solid phase in optical lattices and in He4 systems adsorbed on graphite surfaces. As for classical systems, we investigate the phase transition due to the  $Z_2$  vortex dissociation, an unconventional critical phenomena caused by the symmetry-breaking dangerously-irrelevant field, etc. Our most recent activities are focused on developments of tensor network methods and their applications to frustrated spin systems.



繰り込み超演算子の固有値問題から求められる2次元イジングモデルのスケールング次元。

Scaling-dimensions obtained by solving the eigenvalue problem of the super-operator.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 新しい量子相と量子相転移の探索  
Search for novel quantum phases and quantum transitions
2. 多体問題の数値解法の研究  
Numerical methods for many-body physics
3. 臨界現象の一般論  
General theory of critical phenomena
4. ランダム系と計算量  
Disordered systems and computational complexity

## 上床研究室

Uwatoko Group

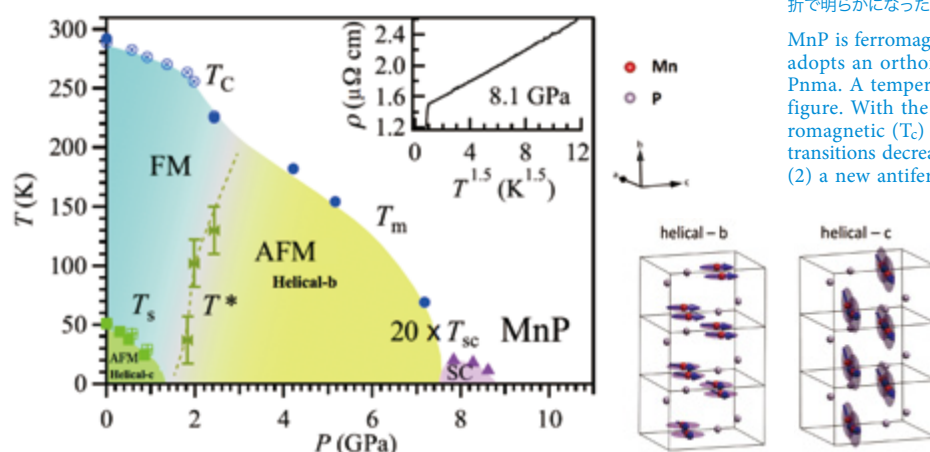


上床 美也  
UWATOKO, Yoshiya  
教授  
Professor



郷地 順  
GOUCHI, Jun  
助教  
Research Associate

高圧力は、これまで未解決な物性現象の解明や数奇物性現象の発見に欠かせない物理パラメータの1つとなっている。特に、常圧と同程度の静水圧環境下における再現性の良い測定環境は、強相関電子系物質をはじめとする固体物性の研究において多くの成果をもたらす。また、極低温や強磁場といった他のパラメータを組み合わせた多重環境は、新しい物性探求をする上で、より多くの情報が得られる最良の測定環境である。当研究室では、超高圧力技術を駆使した、各種の物性測定に適応した高圧力発生装置の開発を行い、可能な限りよい静水圧環境における多重環境下での物性研究を進めている。結晶固体には格子の振動の自由度と、電子の電荷、スピン、軌道という基本的な自由度があり、強相関電子系物質では、これらが複雑に絡み合いながら種々の相互作用が競合し、結果として種々の興味深い物性が実現している。超高圧力下を用いたこれらの相互作用の制御は、物質にどのような新しい物性を出現させるのだろうか？その出現機構はどうなっているのだろうか？現在、電気抵抗、磁化、比熱、x線回折、中性子回折などの諸物性測定の圧力効果を主な研究課題とし、下記の研究テーマを進めている。また、物性研究所の役割の一つである共同利用も活発に行っている。



低温でヘリカル構造を示す MnP 化合物の圧力相図を示す。常圧では  $T_c \approx 280\text{K}$  以下での強磁性秩序転移および  $T_s \approx 50\text{K}$  の反強磁性秩序転移を示す。高圧下で、強磁性秩序は消失し新たな反強磁性秩序が出現する。 $P = 8\text{ GPa}$  付近では Mn 化合物ではじめてとなる超伝導が出現する。相図中には、常圧下（ヘリカル c 構造）でのおよび高圧下（5 GPa）で中性子回折で明らかになった磁気構造（ヘリカル b 構造）も同時に示してある。

MnP is ferromagnetic between  $T_c \approx 291\text{ K}$  and  $T_s \approx 50\text{ K}$ , which adopts an orthorhombic B31-type structure with space group Pnma. A temperature-pressure phase diagram is shown in this figure. With the application of external pressure, (1) both ferromagnetic ( $T_c$ ) and antiferromagnetic ( $T_s$ ; helical-c structure) transitions decrease, and  $T_s$  vanishes completely around 1.4 GPa; (2) a new antiferromagnetic ( $T^*$ ; helical-b structure) transition appears around 2 GPa, rises quickly, and merges with  $T_c$  around 3–4 GPa at  $T_m$ ; (3)  $T_m$ , helical-b structure, is continuously suppressed and eventually vanishes around  $P_c = 8\text{ GPa}$ , where superconductivity with a maximum  $T_{sc} \approx 1\text{ K}$  is observed. Exotic physical properties associated with the magnetic quantum critical point at  $P_c$  are evidenced. This is the first discovery of superconductivity among the Mn-based compounds.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 多重環境下における新奇物性現象の探索  
Search for new physical phenomena under multi extreme conditions
2. 伝導現象等の圧力誘起相転移現象の研究  
Study of the pressure induced phase transition phenomena as like superconductivity
3. 多重環境下における高圧装置開発と精密物性測定方法の確立  
Development of high pressure apparatus and confirmation of physical property measurement techniques under the multi extreme conditions

## 尾崎研究室

Ozaki Group

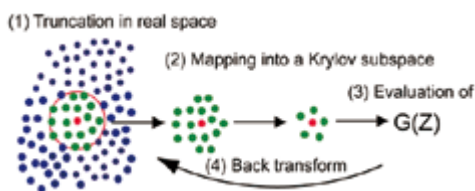


尾崎 泰助  
OZAKI, Taisuke  
教授  
Professor

近年の超並列計算機の発展と物質科学の精密化に伴い、第一原理電子状態計算の重要性が増している。我々は密度汎関数理論に基づき、より現実に近い系をより精密に取り扱うための新しい計算手法・ソフトウェアパッケージの開発に取り組んでいる。密度汎関数法の計算量は通常、系に含まれる原子数の三乗に比例するが、電子の近視性に着目し、計算量が原子数に比例するオーダー  $N$  クリロフ部分空間法を開発した。本手法により、これまで取り扱いが困難であったリチウムイオン電池、鉄鋼材料、グラフェンナノリボンデバイスの大規模第一原理シミュレーションが可能となり、実験との直接的な比較が可能となりつつある。さらに我々は実際の実験に先立って所望の化学的・物理的性質を持つ物質を計算機上で設計する物質デザインを目標に掲げ、研究を進めている。そのための第一歩として機械学習の手法を用いて複雑な結晶構造を予測するための方法論の開発に取り組んでいる。また開発した計算プログラムをオープンソースソフトウェア OpenMX (Open source package for Material eXplorer) として無償で一般公開し、基盤ソフトウェアとして国内外で多岐に亘る物質群の研究に広く活用されている。

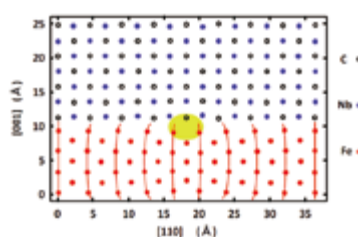
オーダー  $N$  クリロフ部分空間法のアイデア。(1) 原子毎に有限距離内に含まれる原子から構成されるクラスターを構成し、(2) さらにクラスターで定義される部分空間からクリロフ部分空間への射影を行う。(3) クリロフ部分空間内で固有値問題を解き、中心原子に関するグリーン関数を計算した後、元の空間への逆変換を行う。

Underlying idea of the  $O(N)$  Krylov subspace method. (1) Construction of truncated cluster for each atom by picking atoms up within a sphere. (2) Projection of the truncated subspace into a Krylov subspace. (3) Solution of the eigenvalue problem in the Krylov subspace, calculation of Green's function associated with the central atom, and back-transformation to the original space.



In accordance with development of recent massively parallel computers, first-principles calculations based on density functional theories (DFT) have been playing a very important role in understanding and designing properties of a wide variety of materials. We have been developing efficient and accurate methods and software packages to extend applicability of DFT to more realistic systems as discussed in industry. Although the computational cost of the conventional DFT method scales as the third power of number of atoms, we have developed an  $O(N)$  Krylov subspace method, of which computational cost scales only linearly, based on nearsightedness of electron. The  $O(N)$  method enables us to simulate Li ion battery, structural materials, and graphene nanoribbon based devices which cannot be easily treated by the conventional method, and to directly compare simulations with experiments. In addition to this, we are aiming at realization of materials design from first-principles. As a first step towards the materials design, we have been trying to develop a method to predict complicated crystal structures based on machine learning techniques. Our continuous methodological developments have been all implemented in OpenMX (Open source package for Material eXplorer), which has been released to public under GNU-GPL, and widely used around world for studies of a wide variety of materials.

オーダー  $N$  クリロフ部分空間法で得られた BCC 鉄と NbC の部分整合界面の最適化構造。NaCl 構造の NbC(100) 面と BCC 構造の Fe(100) が Baker-Nutting の関係  $[010]_{\text{NbC}} // [011]_{\text{Fe}}$ ,  $[001]_{\text{NbC}} // [011]_{\text{Fe}}$  の結晶方位で部分整合界面を形成する。炭素原子と鉄原子の強い相互作用のために Fe 原子が C 原子に近づき、歪みが内部に及んでいることが分かる。



Optimized semi-coherent interface structure between BCC Fe and NbC by the  $O(N)$  method. BCC Fe (100) and NbC(100) in the NaCl structure forms semi-coherent interface structure in the Baker-Nutting relation:  $[010]_{\text{NbC}} // [011]_{\text{Fe}}$ ,  $[001]_{\text{NbC}} // [011]_{\text{Fe}}$ . Iron atoms approaches to carbon atom due to strong interaction between carbon and iron atoms, resulting in that structural strain affects into the inner part of iron.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 第一原理電子状態計算における効率的計算手法・アルゴリズムの開発  
Development of efficient methods and algorithms for first-principles electronic structure calculations
2. 第一原理電気伝導計算手法の開発  
Development of first-principles electronic transport calculations
3. 二次元シリコン構造の第一原理電子状態計算  
First-principles calculations of two-dimensional Si structures
4. 光電子分光スペクトル計算手法の開発  
Development of first-principles methods of core-level binding energies in solids
5. OpenMX の開発と公開  
Development of the OpenMX software package

## 野口研究室

Noguchi Group



野口 博司  
NOGUCHI, Hiroshi  
准教授  
Associate Professor



樋口 祐次  
HIGUCHI, Yuji  
助教  
Research Associate

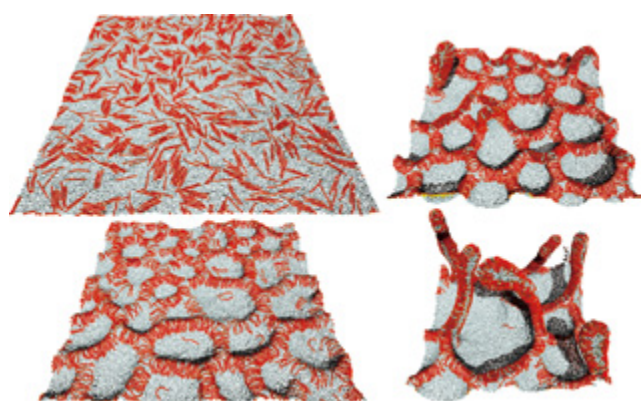
ソフトマター、生物物理を計算機を駆使して研究している。特に、生体膜や細胞のダイナミクスの解明に力を入れている。そのためのシミュレーション手法の開発、改良も行っている。

例えば、赤血球や脂質膜からなる小胞のさまざまな環境下での形態変化を調べている。これまで、流れによって赤血球がパラシュート状やスリッパ状に変形することや、脂質小胞が形態変化に伴い、運動モードの転移を起こすことなどを明らかにしている。

また、生体膜の融合、分裂過程についても研究している。生体内では膜の融合、分裂が物質運搬のために頻繁に起こっている。その過程を粗視化分子模型を用いてシミュレーションし、これまで言われていなかった経路も新しく発見した。融合の物理的な機構の全容解明に取り組んでいる。

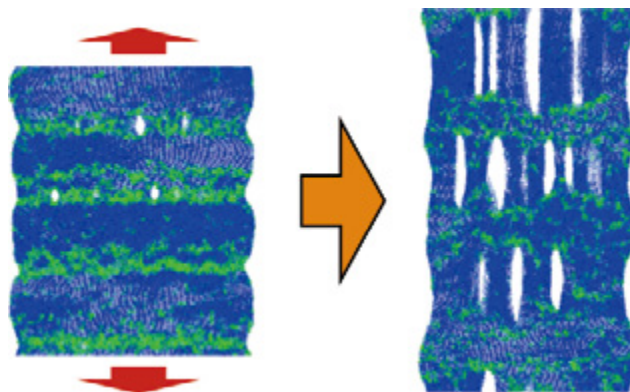
We study soft-matter physics and biophysics theoretically and numerically. Our main target is the physics of biomembrane and cells under various conditions. We develop membrane models and hydrodynamics simulation methods.

We found the shape transitions of red blood cells and lipid vesicles in shear and capillary flows using mesoscale hydrodynamic simulations: discocyte-to-parachute, stomatocyte-to-prolate, and prolate-to-discocyte, etc. We also clarify the several fusion and fission pathways of the membrane using coarse-grained molecular simulations. In particular, the pathway via pore opening on the edge of stalk-like connection was newly found by us, and later supported by an experiment.



バナナ状タンパク質分子による膜チューブ形成。条件によっては二次元格子状のネットワーク構造を経る。

Sequential snapshots of membrane tubulation induced by banana-shaped protein rods.



伸長下の結晶性高分子の破壊。アモルファス層に空洞が生成し、破けていく。

Fracture of polymer material under axial extension.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 細胞、脂質ベシクルの形態形成  
Shape transformation of cells and lipid vesicles
2. 生体膜の融合、分裂  
Fusion and fission of biomembranes
3. 非平衡下での界面活性剤膜のダイナミクス  
Dynamics of membranes out of equilibrium
4. 高分子材料の破壊  
Fracture of polymer materials

## 吉見チーム

Yoshimi Team



吉見 一慶

YOSHIMI, Kazuyoshi

PCoMS 次世代研究員 (PI)

Project Researcher

大規模計算機室では、物性研究所が管理・運用しているスーパーコンピュータをより簡便に活用できるよう、2015年度よりソフトウェア開発・高度化プロジェクトを開始している。本チームでは、本プロジェクトに採択されたプログラムの開発・高度化を実施し、オープンソースソフトウェアとして公開するとともに、講習会支援などの普及活動を行っている。また、高度化されたソフトウェアを活用し、幅広い分野での理論研究（幾何学的電荷フラストレーションが強い系での有限温度物性解析、量子ドット系でのスピン緩和現象解析など）を行っている。最近では、高度化ソフトウェアを活用した研究に加え、近年著しい発展を見せる情報処理技術に着目し、スパースモデリングを活用した量子モンテカルロ法で得られたデータ解析や、機械学習を用いた新物質探索への研究などにも取り組んでいる。

From the 2015 fiscal year, the supercomputer center has started the project for advancement of software usability in materials science to enhance the usability of the supercomputer system of ISSP. We develop and enhance the usability of programs adopted in this project, release them as open source software, and support dissemination activities such as supporting hands-on lectures. In addition, by using the developed software, we theoretically study research subjects in a wide range of fields such as finite temperature properties in solids with strong geometric charge frustration and spin relaxation phenomena in quantum dot systems. In addition to these activities, we focus on the information processing and have been trying to apply this technique to materials science such as analyzing data obtained by the quantum Monte Carlo method by the sparse modeling method and searching new materials using the machine learning method.

## 渕崎研究室

Fuchizaki Group



渕崎 員弘

FUCHIZAKI, Kazuhiro

客員教授

Visiting Professor

1994年に物性研（六本木）を訪ねた際、当時、中性子回折部門の教授であった藤井保彦先生からヨウ化錫の圧力誘起非晶質化現象について納得できる説明が可能か、という宿題を与えられた。その後の理論的考察を経て、融解時に何等かの「尻尾」を出すのではないかという予想が得られた。そこで、2001年春に藤井先生（柏移転後）に回答をお持ちしたところ、私自身が実験で確認するという事態になった。以来、実験と理論を両輪とした本研究は、遅速ながら着実に前進し、当該現象は水型ポリアモルフィズムの一現象、正に氷山の一角、であることを示すに至った。

さて、第二臨界点が絵に描いた餅でなくなった今、この付近で起こる現象を微視的に記述できるモデルの整備が急務となった。そこで、大規模古典系のシミュレーションのフロントでご活躍されている野口先生にご指導をいただくべく、再び物性研の門をくぐった次第である。

Molecular crystal SnI<sub>4</sub> has been known to undergo pressure-induced solid-state amorphization. This peculiar phenomenon was discovered in 1985 by Professor Y. Fujii, who asked me to solve its mechanism when I visited ISSP in 1994. After theoretical consideration, the phenomenon was expected to be related with melting anomaly. This latter expectation was indeed confirmed by experiments, which further revealed the existence of two liquid states with different density. The amorphous state found by Professor Fujii was thermodynamically identified as a state formed from the high-density liquid phase by vitrification. A phenomenological model introduced to explain the water polyamorphism could capture the relationship among all the liquid phases and amorphous states. The model also predicted the existence of the liquid—liquid critical point in a pressure—temperature region accessible to us. We recently succeeded in identifying the region. This success has taken us to a new stage, in which a more realistic model must be developed to quantitatively discuss what occurs in the vicinity of the critical point. The interaction with Professor Noguchi, who actively promotes the relevant field, will certainly make us take a step forward in this issue.

# ノバック研究室

Novak Group



ノバック マリオ  
NOVAK, Mario  
外国人客員教授  
Visiting Professor

クロアチアのザグレブ大学から来たマリオ・ノバックです。今回の物性研滞在は私にとって2度目の日本長期滞在となります。一度目は大阪大学の安藤研究室で博士研究員をしました。私の専門は低温物理と物質合成です。例えば、3次元ディラックやワイル半金属などの新しいトポロジカル物質やトポロジカル絶縁体に興味を持っています。これらの物質系は波動関数のトポロジカルな性質が物性に重要な意味を持つという認識から生まれてきました。特にわれわれのグループはトポロジカルに非自明な物質が示す新しい磁気輸送現象の発見とそれが通常の物質の性質とどのように異なるのかを理解することに興味を持って研究を行っています。現在集中的に研究している具体的な物質は $\text{Cd}_3\text{As}_2$ や $\text{Zr}/\text{HfSiS}$ などのディラック物質やTaAs系のワイル半金属です。物性研メンバーとの共同研究により、物性研とザグレブ大学の科学における有意義な繋がりを築くことができると思っています。

Mario NOVAK, comes from University of Zagreb and this is his second long term stay in Japan. His previous stay was as a postdoc at Osaka University. He is a specialist in the low temperature physics and material synthesis. The topic of his research involves new topological materials, e.g., 3D Dirac and Weyl semimetals and topological insulators. These materials emerged after realisation that the topological nature of the wave functions could have serious implication on material properties. In particular he and his group are interested in discovering new magnetotransport properties of topologically non-trivial materials and understand how they differ from “conventional” materials. The materials he is currently working on are 3D Dirac materials such as  $\text{Cd}_3\text{As}_2$ ,  $\text{Zr}/\text{HfSiS}$  or Weyl semimetals TaAs class of materials. Collaboration with members of ISSP will strengthen the scientific connection between ISSP and University of Zagreb on the benefit of both institutions.

## 物質設計部 (Materials Design Division)

### 大型計算機室 Supercomputer Center

担当所員 野口 博司 Chairperson : NOGUCHI, Hiroshi  
 担当所員 川島 直輝 Contact Person : KAWASHIMA, Naoki  
 担当所員 尾崎 泰助 Contact Person : OZAKI, Taisuke  
 担当所員 杉野 修 Contact Person : SUGINO, Osamu  
 助 教 渡辺 宙志 Research Associate : WATANABE, Hiroshi  
 助 教 笠松 秀輔 Research Associate : KASAMATSU, Shusuke

技術専門職員 矢田 裕行 Technical Associate : YATA, Hiroyuki  
 技術専門職員 福田 毅哉 Technical Associate : FUKUDA, Takaki  
 学術支援専門職員 荒木 繁行 Technical Associate : ARAKI, Shigeyuki



渡辺 /WATANABE



笠松 /KASAMATSU

大型計算機室では計算物性物理学専用のスーパーコンピュータシステムを、スーパーコンピュータ共同利用委員会の審議に基づき全国の物性研究者の共同利用に供している。スパコンシステムは2015年7月に更新された大規模並列計算機 (SGI ICE XA/UV ハイブリッドシステム、3820 CPU (Intel Xeon) + 576GPU(Nvidia Tesla K40)) に、2018年1月に稼働予定の大規模並列計算機 (HPE SGI 8600、504 CPU) を加えた複合システムである。システムのベンダーとの密な連絡によって高度なシステム性能を維持するとともに、全国ユーザからの相談にきめ細かく応じながら、システムの管理運用を行っている。スーパーコンピュータの利用申請については、ホームページ (<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/supercom/>) を参照されたい。また、2015年度からソフトウェア開発・高度化支援プログラムを開始した。

また、計算物質科学スパコン共用事業を通じてポスト「京」重点課題、萌芽課題、元素戦略プロジェクト、計算物質科学人材育成コンソーシアム (PCoMS) をサポートしている。

The Supercomputer Center (SCC) operates a supercomputer system available to all researchers of condensed matter physics in Japan. One can submit a proposal for a User Program to the Supercomputer Steering Committee, and once granted he/she can use the facility with no charge. The supercomputer system consists of two systems: SGI ICE XA/UV hybrid system (3820 CPU (Intel Xeon) + 576GPU(Nvidia Tesla K40)) and HPE SGI 8600 (504 CPU). The former system was renewed in July 2015. The latter system is to be installed in January 2018. In addition to maintaining high performance of the system in cooperation with the vendors, the SCC also responds to questions and inquiries from users on daily basis.

We support software development projects for post-K computer, Elements Strategy Initiative, and PCoMS by providing and managing computer resources.



スーパーコンピュータ システム B (SGI ICE XA/UV hybrid system)  
 The supercomputer system B (SGI ICE XA/UV hybrid system).



物性研究所共同利用スーパーコンピュータシステム構成図  
 The Supercomputer System at the SCC-ISSP.

# 物質設計評価施設

物質合成・評価部 (Materials Synthesis and Characterization Division)

## 物質合成室 Materials Synthesis Section

担当所員 廣井 善二 Contact Person : HIROI, Zenji  
技術職員 石井 梨恵子 Technical Associate : ISHII, Rieko

本室では、新物質の合成、既知物質の良質化、単結晶育成など研究用試料の合成を行っている。また、各種高温電気炉や単結晶育成炉、試料調整加工機などを所内外の共同利用研究機器として供している。

The main purposes of the Materials Synthesis Section are to synthesize new compounds and to prepare well-characterized samples and single crystals of various materials. Various kinds of furnaces are provided for crystal growth experiments.

### 主要設備

フローティングゾーン単結晶育成炉、単結晶引上炉、各種電気炉（抵抗加熱式ブリッジマン炉、フラックス炉、アーク溶解炉、シリコニット炉）、真空蒸着装置（ $10^{-6}$  Torr）、精密切断機

### Main Facilities

Floating-zone furnaces, Czochralski pulling apparatus with an induction heating system, Bridgman-type furnace, Ar-arc furnace, Furnace for flux method, Ultra-high vacuum deposition apparatus, and Cutting machine.



単結晶引上炉

Czochralski pulling apparatus with an induction heating system

## 化学分析室 Chemical Analysis Section

担当所員 廣井 善二 Contact Person : HIROI, Zenji  
技術専門職員 小池 正義 Technical Associate : KOIKE, Masayoshi  
技術職員 石井 梨恵子 Technical Associate : ISHII, Rieko

本室では、物性研究に有用な物質についての化学分析や新しい物質の分析方法の検討および化学的手法による材料の精製および調整を行うと共に、秤量・分析・化学処理に関わる各種機器を所内外の共同利用に供している。

The Chemical Analysis Section is engaged in determining the chemical composition of specimens and in purifying chemical reagents for preparation of high quality specimens. The analytical equipments, several types of automatic balance and a system for preparation of ultra-high purity water are provided for chemical analysis experiments.

### 主要設備

誘導結合高周波プラズマ発光分光分析装置、各種顕微鏡、電子天秤、電位差滴定装置、純水製造装置

### Main Facilities

ICP-AES, microscopes, Automatic balances, Potentiometric titration apparatus, and the system for preparation of ultra-high purity water.



誘導結合高周波プラズマ発光分光分析装置  
ICP-AES

## 物質合成・評価部 (Materials Synthesis and Characterization Division)

### X線測定室 X-Ray Diffraction Section

担当所員 廣井 善二 Contact Person : HIROI, Zenji  
助 教 矢島 健 Research Associate : YAJIMA, Takeshi



矢島 / YAJIMA

興味深い物性を示す物質の開発や評価において、結晶構造解析は極めて重要な位置を占める。本室では、X線回折を用いて、新規物質の結晶構造や温度による構造変化など物質構造の研究を行うと共に、所内外の研究者に対して施設利用の提供、依頼研究を行っている。

The main purposes of the X-Ray Diffraction Section are structural analysis and identification of powder and single crystal specimens for solid state physics. By using the Powder X-ray diffractometer equipped with a refrigerator, the structural analysis is performed in the temperature range of 4-300 K.

#### 主要設備

粉末X線回折装置、単結晶構造解析用 CCD システム、極低温X線回折装置、湾曲イメージングプレート型X線回折計、ラウエカメラ、イメージングプレート読み取り装置

#### Main Facilities

Powder X-ray diffractometer, CCD system for the single-crystal structure analysis, Powder X-ray diffractometer with a refrigerator, Warped imaging plate type diffractometer, Monochromated Laue camera, and Imaging plate reader.



極低温用イメージングプレート型X線回折計

Imaging plate type X-ray diffractometer for low temperature application

### 電子顕微鏡室 Electron Microscope Section

担当所員 廣井 善二 Contact Person : HIROI, Zenji  
技術専門職員 浜根 大輔 Technical Associate : HAMANE, Daisuke

電子顕微鏡は物質の微細構造評価の有力な手段である。本室では、格子像レベルでの透過像を観察するため、高分解能形と電界放射形分析電子顕微鏡を備え、物質の微細構造研究を行うと共に、設備を所内外の利用に供し、共同利用研究や依頼研究を行っている。

The Electron Microscope Section supports electron diffraction measurements, lattice image observations and microscopic analyses of various solid materials in both crystalline and non-crystalline forms with the atomic-scale resolution by using a high-resolution electron microscope equipped with an x-ray micro-analyzer.

#### 主要設備

200kV 電界放射形分析電子顕微鏡、低温・高温ホルダー、薄膜試料作製のための種々の装置

#### Main Facilities

200 kV electron microscope with an x-ray micro-analyzer, High- and low-temperature holders, and various apparatuses for sample preparation.



200 kV 電界放射形分析電子顕微鏡

200 kV electron microscope with an X-ray micro-analyzer

# 物質設計評価施設

物質合成・評価部 (Materials Synthesis and Characterization Division)

## 電磁気測定室 Electromagnetic Measurements Section

担当所員 瀧川 仁 Contact Person : TAKIGAWA, Masashi  
担当所員 廣井 善二 Contact Person : HIROI, Zenji  
担当所員 森 初果 Contact Person : MORI, Hatsumi  
技術専門職員 山内 徹 Technical Associate : YAMAUCHI, Touru

本室では、物質の基本的性質である電氣的磁氣的性質を、温度および磁場の広い範囲にわたって測定するとともに、磁気特性測定装置、物理特性測定装置、超伝導磁石などの設備を所内外の共同利用に供している。

The Electromagnetic Measurements Section offers various facilities for measurements of electric and magnetic properties of materials. The followings are types of experiments currently supported in this section: electrical resistivity, magnetoresistance and Hall effect, d.c.susceptibility, a.c. susceptibility, and NMR.

### 主要設備

15/17テスラ超伝導マグネット、16/18テスラ高均一超伝導マグネット (NMR)、SQUID磁化測定装置 (MPMS)、汎用物性測定装置 (PPMS)

### Main Facilities

Superconducting magnet (15/17 T), High homogeneity superconducting magnet (16/18 T) for NMR experiments, MPMS (SQUID magnetometer, 7 T), and PPMS (physical properties measurement system, 9 T).



磁気特性測定装置  
SQUID magnetometer (MPMS)

## 光学測定室 Spectroscopy Section

担当所員 秋山 英文 Contact Person : AKIYAMA, Hidefumi  
助 教 挟間 優治 Research Associate : HAZAMA, Yuji

汎用性のある光学測定機器やレーザー光源を備え、所内外の共同利用に供している。可視・紫外・赤外領域の吸収・反射スペクトル、顕微ラマン分光などの測定が可能である。

The Spectroscopy Section offers joint-use facilities for standard optical measurements. The facilities can be used for measurements of conventional absorption/reflection spectrum in the UV, visible and IR regions and Raman scattering.

### 主要設備

可視紫外分光光度計、赤外分光光度計、ラマン分光光度計、波長可変パルスレーザー光源

### Main Facilities

UV/VIS absorption spectrometer, IR spectrometer, Micro-Raman spectrometer with Ar and He-Ne lasers, Pulsed YAG laser equipped with tunable OPPO and a laser-machining unit, Ar ion laser, Cryostat.



赤外およびラマン分光装置  
IR and Raman Spectrometers (Room A468)

物質合成・評価部 (Materials Synthesis and Characterization Division)

### 高压合成室 High-Pressure Synthesis Section

担当所員 廣井 善二 Contact Person : HIROI, Zenji

技術専門職員 後藤 弘匡 Technical Associate : GOTOU, Hirotada

本室では、百万気圧、数千度までの高温高压下において様々な(新)物質の合成を行うと共に、高压力下における物質の挙動を調べている。さらに各種の高压力発生装置や関連する実験設備を所内外の共同利用に供している。

The main purposes of the High-Pressure Synthesis Section are to synthesize various (new) compounds and to investigate the behavior of some materials at extreme conditions of high pressures up to 100 GPa or more and high temperatures up to several thousand °C. Various types of high-pressure apparatuses and related experimental equipments are provided to joint research and internal use.

#### 主要設備

500/700 トン油圧プレス装置、ダイヤモンドアンビルセル、X線回折装置、顕微ラマン分光装置、YAG レーザー加工機、その他(放電加工機、ダイヤモンド研磨装置、旋盤、NC モデリングマシン)

#### Main Facilities

500/700 ton press, Diamond Anvil Cell, X-ray diffractometer, Micro-Raman spectrometer, YAG laser cutting machine, and others including Electric discharge machine, Grinding machine for diamond, Lathe machine, and Modeling machine.



若機型 700ton キュービックプレス。4GPa までの高温高压合成実験用。

Wakatsuki-type 700 ton cubic press for high pressure and high temperature synthesis experiments up to 4 GPa.

# 中性子科学研究施設

## Neutron Science Laboratory

中性子は透過力に優れ、微小磁石の性質を持つので、原子の中心にある原子核やその周りにある電子のつくる磁場と力を及ぼし合う。この性質を利用して物質による中性子の散乱のされ方を測定し、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主に日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 に設置された分光器を用いて、中性子散乱実験による物性研究のための全国共同利用を推進してきた。さらに、2009 年に本格稼働した大強度陽子加速器施設 J-PARC においては、最新のチョッパー型分光器 HRC を用いた共同利用の推進を行っている。当施設が実施する全国共同利用により、高温超伝導体の研究、フラストレートした磁性体や重い電子系、低次元磁性体等の様々な磁性体の研究をはじめとして、複雑凝縮系の化学物理、高分子やコロイドの構造や相転移、生体物質の高次構造と機能の研究、などハードマテリアルからソフトマテリアルまで含む幅広い物質や材料の基礎研究が中性子散乱を用いて盛んに行われている。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。

Since 1961, the ISSP has been playing a central role in neutron scattering activities in Japan not only by performing its own research programs but also by providing a general user program for the university owned various neutron scattering spectrometers installed at the research reactor of JAEA (Tokai). In the JRR-3 reactor (20MW), the university group owns 14 spectrometers, and the Neutron Science Laboratory (NSL) is conducting the general user program. Furthermore the NSL owns state-of-art inelastic neutron scattering spectrometer HRC in J-PARC which started its operation in 2009. Major research areas supported by NSL user program are solid state physics (strongly correlated electron systems, high- $T_c$  superconductors, heavy fermion systems, low dimensional magnetism, high-pressure physics, etc.), fundamental physics and neutron beam optics, structure and phase transitions of polymers, gels, and colloidal systems, physical chemistry of complex condensed matter, structure and functions of biological systems, and material sciences. The NSL also operates the U.S.-Japan cooperative program on neutron scattering, and supports the development of the neutron-beam-based material sciences in Japan.

教授 (施設長) 柴山 充弘  
Professor (Director) SHIBAYAMA, Mitsuhiro

教授 吉澤 英樹  
Professor YOSHIZAWA, Hideki

教授 山室 修  
Professor YAMAMURO, Osamu

准教授 益田 隆嗣  
Associate Professor MASUDA, Takatsugu

准教授 (客員) 萩田 克美  
Visiting Associate Professor HAGITA, Katsumi

教授 (外国人客員) 大槻 晶  
Visiting Professor OHTSUKI, Akira

助教 栗山 翔  
Research Associate LI, Xiang

技術専門職員 浅見 俊夫  
Technical Associate ASAMI, Toshio

技術専門職員 杉浦 良介  
Technical Associate SUGIURA, Ryosuke

技術専門職員 川名 大地  
Technical Associate KAWANA, Daichi

係長 木船 聡  
Administrative Secretary KIFUNE, Satoshi

特任研究員 秋葉 宙  
Project Researcher AKIBA, Hiroshi

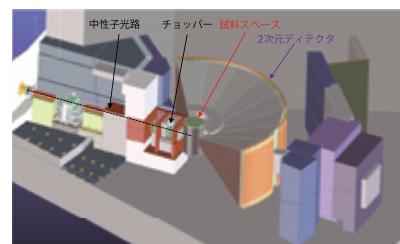
特任研究員 浅井 晋一郎  
Project Researcher ASAI, Shinichiro

特任研究員 守島 健  
Project Researcher MORISHIMA, Ken

特任研究員 吉田 雅洋  
Project Researcher YOSHIDA, Masahiro

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)。50Hz で発生する白色のパルス中性子は、中性子光路を通りチョッパーで単色化された後、試料で散乱され、2次元ディテクタで検出される。ディテクタでは全てのエネルギーの中性子をもれなく測定するため、効率的なデータ収集が可能となっている。

High resolution chopper spectrometer installed in J-PARC. A white pulsed neutron beam generated with the frequency of 50 Hz propagates inside the neutron beam guide. The beam is monochromated by the Fermi chopper, scattered by the sample, and detected by 2-dimensional detectors. The detectors detect all the scattered neutrons with all the energy, which makes the data acquisition drastically efficient.



# 柴山研究室

Shibayama Group



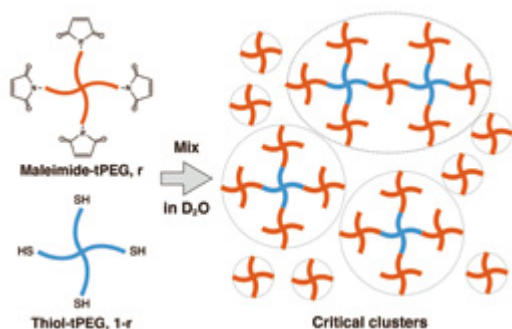
柴山 充弘  
SHIBAYAMA, Mitsuhiko  
教授  
Professor



リ シャン  
LI, Xiang  
助教  
Research Associate

ソフトマターとは、我々の身の回りの物や生体物質を構成する「柔らかい」物質・材料のことである。磁性体や超伝導物質などのハードマターでは超高压や極低温という極限環境において特異的な物性を示すのに対し、ソフトマターでは常温・常圧付近で興味深い物性を示し、多様な機能を果たす。我々の研究室ではソフトマターの本質である—分子結合相関系—の学問的体系化を目指している。最近では、ゲルの相分離・相転移、不均一性の研究などのほか、驚異的な力学物性をもつさまざまな高強力ゲルの開発と構造解析・物性研究、流動場におけるミセルの物性と構造相関、イオンゲルの開発と構造解析・物性評価、超均一ゲル網目の調製と構造・物性評価、熱硬化性樹脂の高性能化のための構造解析や分子動力学シミュレーション、などを行っている。

世界有数の二次元位置測定小角中性子散乱 SANS-U を中心に、静的動的散乱装置 (SLS/DLS ALV-5000)、力学・熱物性測定装置、レオメーターなどを用いて、ソフトマターのナノオーダーの構造解析、ナノ秒から数千秒までのダイナミクスをカバーした幅広い研究を展開している。

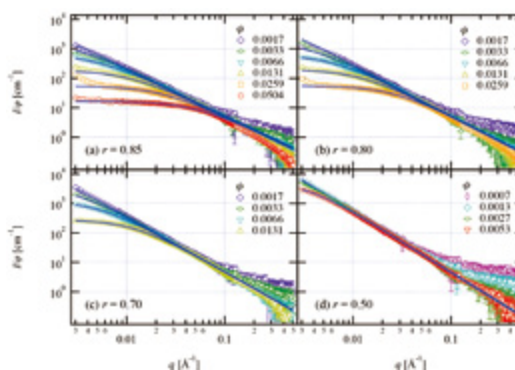


非対称ゲル臨界クラスターの合成概念図。相互反応官能基（マレイミド（分率  $r$ ）とチオール（分率  $1-r$ ））を有する4官能性ポリエチレングリコールを混合することで合成される。

An illustration for synthesis of asymmetric critical clusters by mixing two different types of tetra-armed PEG prepolymers with mutual reactive end groups (maleimide-tPEG ( $r$ ) and thiol-tPEG ( $1-r$ )).

Soft matter undergoes various transitions in response to a slight change of an environmental variable. We investigate the relationship of the structure and dynamics of soft matter, such as polymer gels, nanoemulsion, and micelles. The aims of our research are systematization of “molecular-bond correlated systems”. Concurrently, we explore various applications of soft matter on the basis of the physics of soft matter.

Nano-order structure investigations and studies on dynamics of soft matter are carried out with state-of-the-art equipments, SANS-U, a small-angle neutron scattering instrument (upgraded in 2010). Other techniques, such as dynamic/static light scattering, microscopy, mechanical/thermal analyses, and rheological studies, are also employed. Current interests cover (1) inhomogeneities in polymer gels, (2) structural characterization and studies on deformation mechanisms of high-performance polymer gels, (3) rheo-SANS of nanoemulsion and micelles, and (4) development of ion-gel and structural analyses, (5) fabrication of uniform-polymer networks and their structure/property characterization, (6) development of high-performance thermoset polymers by structure-designing and molecular dynamics simulations.



様々なポリマー体積分率 ( $\phi$ ) や混合比率 ( $r$ ) 下でのゲル臨界クラスターの小角中性子散乱強度プロファイル。

Small-angle neutron scattered intensity profiles of critical polymer clusters at different tPEG ratio ( $r$ ) and polymer volume fraction ( $\phi$ ).

## 研究テーマ Research Subjects

1. 均一高分子ゲルの精密合成とその構造解析および物性評価  
Evaluation of structure and physical properties of uniform polymer gels
2. イオンゲルの開発と構造解析  
Developments of ion gels and structural characterization
3. 散乱法による熱硬化性樹脂の構造解析と分子ダイナミクスシミュレーション  
Structural analyses and molecular dynamics simulation of thermoset polymers
4. 小角中性子散乱および小角 X 線散乱による高分子ゲルの構造解析  
Structural analyses of polymer gels by small-angle neutron and X-ray scattering methods

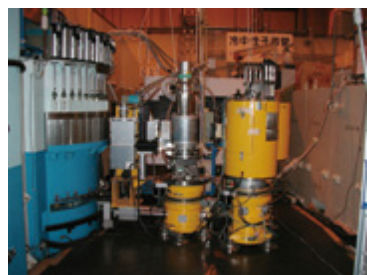
# 吉澤研究室

Yoshizawa Group



吉澤 英樹  
YOSHIZAWA, Hideki  
教授  
Professor

遷移金属酸化物の示す金属・絶縁体転移はスピン・電荷・格子・軌道状態などが密接に関連して生じる現象として盛んに研究されてきている。当研究室では大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の加速器や日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究炉で発生される中性子ビームを用いて中性子散乱と呼ばれる研究手法により、遷移金属酸化物の示す電荷・軌道秩序や磁性および構造相転移と電気伝導との関連などを系統的に研究している。左下の図は日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究炉に設置された物性研究所の中性子分光器の1台である。中性子散乱実験では、このような分光器を使用して物質の非弾性散乱スペクトル等を測定する。右下の図は高温超伝導銅酸化物の一つである  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  と同型の結晶構造を持つ  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$  系において観測されるストライプ秩序のドーピング濃度依存性を  $x = 1/2$  までの高ドーピング領域まで測定した結果をまとめたストライプ秩序の形成温度とストライプ秩序のストライプの間隔のホール濃度依存性である。ストライプ秩序の形成温度は  $x = 1/3$  で極大を示したあと減少に転ずる。また、 $x = 1/2$  以上のさらに高ドーピング濃度領域では次第に電気抵抗が減少し  $x \sim 0.9$  付近で絶縁体-金属転移を示す。最近の J-PARC のパルス中性子分光器を用いたスピンドYNAMIKSの研究により 2 次元層状 Ni 酸化物のスピンドYNAMIKS は、 $x = 1/2$  以下のストライプ相と  $x = 1/2$  以上の市松模様型電荷秩序相において定性的に振る舞いが異なっていることを見だし、そのような特異なスピンドYNAMIKSと輸送現象の関連についてさらに詳しい研究を行っている。



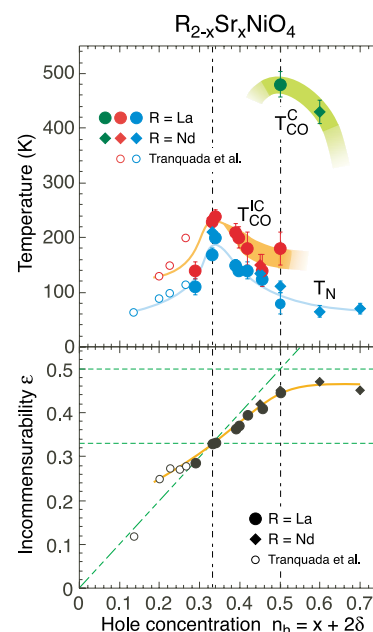
日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究炉 JRR-3 に設置された物性研究所の 3 軸型中性子分光器。

Triple-axis spectrometer installed at the JRR-3 in the Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki.

高温超伝導を示す銅酸化物の一つである  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  と同型の結晶構造を持つ  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$  の系において観測されたストライプ秩序のドーピング濃度依存性。ストライプ秩序の転移温度と付随した磁気秩序の転移温度は  $x = 1/3$  で極大を示したあと減少に転ずる。さらに高ドーピング濃度領域では、次第に金属的となり、 $x \sim 0.9$  付近で絶縁体-金属転移を示す。

Doping dependence of the stripe ordering in highly-doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ , which is an isomorphous compound of one of High  $T_c$  cuprate superconductors  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . Unlike the expectation from the previous studies, the transition temperatures of the stripe charge and spin orderings exhibit the maximums at  $x = 1/3$ , and decreases above  $x = 1/3$ . The periodicity of the stripe order is approximately linear in  $x$ , but levels off beyond  $x = 1/2$ . The system gradually becomes metallic and shows the insulator to metal transition near  $x \sim 0.9$ .

Metal-insulator transition in transition-metal oxides has drawn much attention because such a phenomenon reflects interplay among spin, charge, lattice, and orbital degrees of freedom. Our group has been studying their behavior by neutron scattering technique with use of pulse and steady-source neutron beams, and the triple axis neutron spectrometer owned by the ISSP is shown in the left bottom figure. The hole-doping dependences of the incommensurability and the transition temperature of the stripe ordering for hole concentration  $x$  up to  $x = 0.5$  have been observed in the highly-doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$  which is one of the isomorphous compounds of the High  $T_c$  cuprate superconductors. The ordering temperatures of the stripe charge as well as spin orderings have the maxima at  $x = 1/3$ , and they decrease beyond  $x = 1/3$ . Beyond  $x = 1/2$ , the Ni system gradually becomes metallic and show the insulator to metal transition at  $x \sim 0.9$ . Our recent pulse neutron studies on the Ni system revealed that the characteristics of the spin dynamics changes at  $x = 0.5$ , and further detail studies of such unusual spin dynamics and their relation to the transport properties are now ongoing.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 遷移金属酸化物が示す金属・絶縁体転移や、その際に出現する磁気秩序・電荷秩序・軌道秩序などの中性子散乱による研究  
Neutron scattering study of metal-insulator transition, magnetic ordering, charge/orbital orderings in transition-metal oxides
2. 中心対称性の欠損した超伝導体における磁気秩序とスピンドYNAMIKSの研究  
Neutron scattering study of spin structure and dynamics in noncentrosymmetric magnetic superconductors

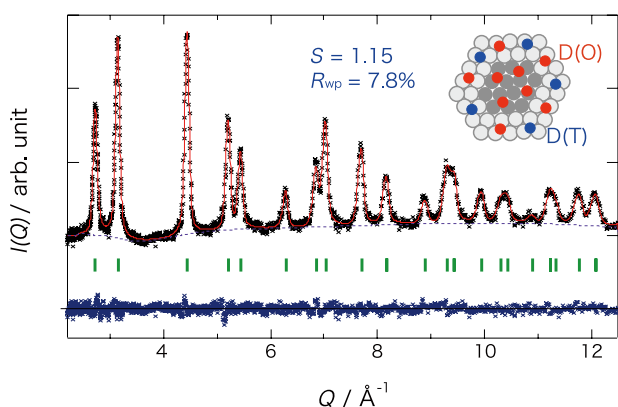
## 山室研究室

Yamamuro Group



山室 修  
YAMAMURO, Osamu  
教授  
Professor

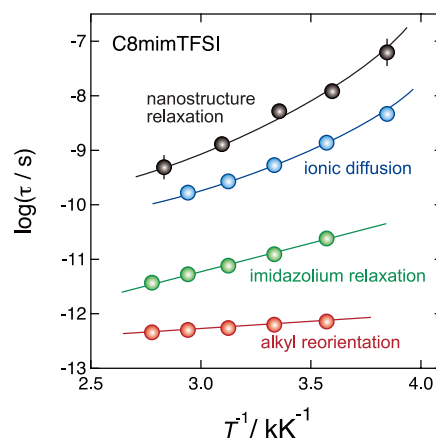
本研究室では複雑凝縮系の化学物理を研究している。現在の主な対象は、ガラス・過冷却液体、水およびその関連物質、イオン液体、水素吸蔵金属ナノ粒子である。ガラス転移は液体が構造変化を起こさずに固化する不思議な現象であり、物性物理学の長年の大問題の一つである。水は最も身近な物質の一つであるが、水素結合が織りなす様々な特異物性を示す。イオン液体では、静電力とファンデルワールス力の競合から、ナノドメイン構造や階層的ダイナミクスが現れる。金属ナノ粒子中の水素原子は、表面効果によりポテンシャル面が歪められるため、バルクでは見られない特異な構造やダイナミクスを示す。これらの物質に対して、中性子散乱、X線回折、熱容量、誘電緩和などを測定し、構造・ダイナミクス・熱力学の3視点から、複雑な物質に内在する単純(?)な法則を明らかにすることを目指している。



パラジウム重水化物ナノ粒子 ( $\text{PdD}_{0.36}$ ) の中性子回折パターンとリートベルト解析結果。ナノ粒子の表面付近では、D原子は正8面体サイト (バルクではこのサイトのみ) だけでなく正4面体サイトにも存在することが分かった。

Neutron powder diffraction pattern and the result of the Rietveld analysis for nanoparticles of palladium deuteride ( $\text{PdD}_{0.36}$ ). We found that D atoms occupy not only the O sites (only this site for bulk samples) but also the T-sites at around the surface of the nanoparticles.

We are studying chemical physics of complex condensed matters, especially glasses and supercooled liquids, water and related materials, ionic liquids, and nanoparticles of hydrogen storage metals. Glass transition is a mysterious phenomenon in which liquids solidify without structural change. This is one of big and long-standing issues in physics. Water, which is the most familiar material for us, exhibits various unique phenomena caused by hydrogen bonds. Ionic liquids have nanometer-size domains and hierarchical dynamics generated by competing electrostatic and van der Waals interactions. Hydrogen atoms in metal nanoparticles give rise to unusual structure and dynamics caused by the surface effects and resultant distorted potential energy surfaces. These substances are investigated by neutron scattering, x-ray diffraction, heat capacity, and dielectric measurements. Our aim is to find simple (?) rules involved in complex systems from the three different points of view, i.e., structure, dynamics, and thermodynamic.



イオン液体 C8mimTFSI の緩和マップ。これらの緩和時間は3台の分光器による中性子準弾性散乱実験により決定された。4つの異なる緩和モードが1 ps から100 ns の広い時間領域に存在している。

Overall relaxation map of C8mimTFSI. These relaxation times were determined by quasielastic neutron scattering experiments using 3 spectrometers. Four different relaxation modes exist in a wide time range between 1 ps and 100 ns.

## 研究テーマ Research Subjects

1. ガラス転移、ボゾンピークなどの不規則凝縮系のダイナミクス  
Dynamics of disordered condensed systems, such as glass transitions and boson peaks
2. 水および関連物質 (含水多孔性結晶など) の構造とダイナミクス  
Structure and dynamics of water and related materials such as hydrated porous crystals
3. 常温イオン液体の熱力学的性質とダイナミクス  
Thermal and dynamical properties of room-temperature ionic liquids
4. 水素吸蔵固体の熱力学的性質とダイナミクス  
Thermal and dynamical properties of hydrogen storage solids

# 益田研究室

Masuda Group



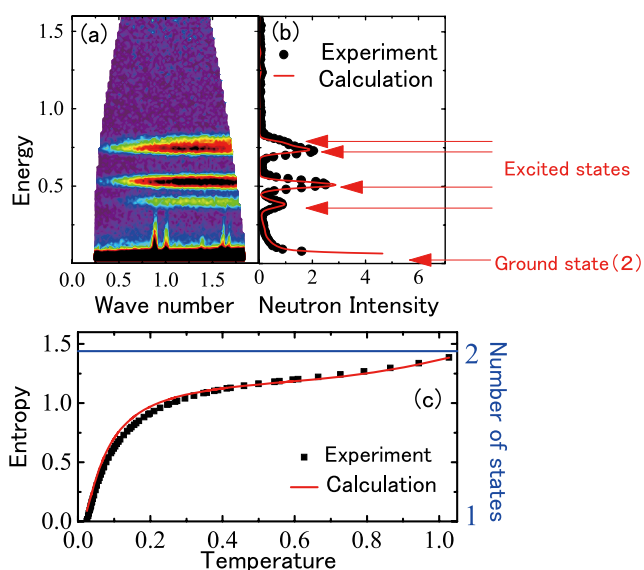
益田 隆嗣  
MASUDA, Takatsugu  
准教授  
Associate Professor

本研究室は、低次元スピン系やフラストレーション系などにおける新しい量子現象・量子状態を実験的に発見することを目指している。強い量子性や幾何学的フラストレーションは、自明な古典的秩序状態を阻害し量子状態が基底状態となる上に、小さな摂動に敏感なため、低次元スピン系やフラストレーション系は量子現象開拓のフロンティアとなっている。我々は、スピン液体、RVB、キューボック構造等、新しい磁気状態の研究と、マルチフェロイック系やリラクサー磁性体などにおける、新しい電気磁気効果の研究を行っている。図 (a),(b) はブリージングパイロクロア反強磁性体の  $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$  の中性子スペクトルであり、解析により擬二重縮退した基底状態が示された。図 (c) のエントロピーは、極低温では一つの状態が選択され新しいスピン液体が実現している様子を示している。

One of the research goals in our group is to find a novel quantum phenomenon and to reveal its mechanism in low-dimensional spin magnets and frustrated magnets. Strong quantum fluctuation or geometrical frustration disturbs the development of trivial magnetic states and induces a non-trivial quantum state. Furthermore such a state is sensitive to a small perturbation and, thus, the area is frontier of quantum phenomena. Our research topic includes spin liquid, RVB, Cuboc structure, etc. Another goal is to observe a new magnetoelectric effect in multiferroic compounds and/or relaxor magnets. Figures (a) and (b) show neutron spectra of breathing pyrochlore antiferromagnet  $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$  and the analyses reveal that the ground state is quasi-doublet. In the measured entropy in Fig. (c) we observe that unique ground state is selected and a novel spin liquid is realized at very low temperature.

$\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$  の中性子スペクトルとエントロピー。(a) 温度 1.5K で測定された中性子スペクトル。(b) 安定状態と励起状態のエネルギー分布。(c) エントロピー変化の様子。絶対温度 0 度に向かってエントロピーが 0 に向かい、状態の数が 2 つから 1 つに減っていく様子が観測された。

Neutron spectrum and entropy of spin frustrated magnet  $\text{Ba}_3\text{Yb}_2\text{Zn}_5\text{O}_{11}$ . The energy distribution of ground and excited states can be seen in neutron spectra in the panel (a) and (b). With decrease of temperature to absolute zero entropy approaches to zero in the panel (c) and accordingly the number of states changes from two to one.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 量子磁性体及びフラストレート磁性体の磁気構造と磁気励起  
Magnetic structure and excitations in frustrated magnets and quantum magnets
2. マルチフェロイクス  
Multiferroics
3. 酸素超結晶の磁気励起  
Magnetic excitation in supercrystal of oxygen molecule in nanoporous metal complex

## 萩田研究室

Hagita Group



萩田 克美  
HAGITA, Katsumi  
客員准教授  
Visiting Associate Professor

高分子やそのナノ複合材料について、それらの物理的な挙動をコンピュータシミュレーションやデータ解析で明らかにする高分子物理学の研究を行っている。

ナノ粒子やクレイなどを含む高分子ナノ複合材料は、高分子の存在下でナノ粒子やクレイなどが凝集し、構造形成することで、有用な機械的性質を発現している系である。ナノ粒子が数十 nm 程度の大きさを持ち、高分子は太さ 1nm 程度、長さ数百 nm 以上であり、マルチスケールな現象である。小角散乱実験は、10nm ～数  $\mu\text{m}$  の領域の3次元構造に関する情報や、延伸下や流動下における動的挙動に関する情報を得ることができる。近年のスパコンの性能向上に伴い、小角散乱実験データからのモデリング（逆問題解析）や、分子シミュレーションによる順問題解析が可能になった。本研究室では、ナノ粒子やクレイなどを含む高分子複合材料に関する研究を通じて、中性子小角散乱データの計算科学を駆使したシミュレーション解析に関する研究を推進している。

Polymer physics to describe behaviors of polymer chains and polymer composite materials by computer simulations and data analysis are the main subjects of our research.

The polymer nanocomposites filled with nanoparticles and/or clays have useful mechanical properties with characteristic aggregations of fillers in the present of polymers. They can be regarded as multiscale phenomena because the size of the filler is about a few ten nm and the single polymer chain is about 1 nm thick and about several hundred nm or longer. Small angle scattering experiments provide us structural information in the region of ten nm to several  $\mu\text{m}$  and information on dynamic behaviors under stretching and/or shear flow. Recent supercomputer performance enables us modeling (inverse problems) from small angle scattering experiment data and forward problems such as molecular dynamics simulation. Currently, we are studying computationally-intensive data analysis and simulations for small angle neutron scattering through investigations of the polymer nanocomposite materials.

## 大槻研究室

Otsuki Group



大槻 晶  
OTSUKI, Akira  
外国人客員教授  
Visiting Professor

環境負荷の低い選鉱法の開発など、微粒子混合物の高濃度分散系における粒子間相互作用のキャラクタリゼーションは粉体科学における重要な研究テーマである。選鉱では、分散媒中での分散質の均一分散、特定成分の高濃度化、抽出など、さまざまなプロセスがコロイド科学と密接に関係している。しかしながら、コロイド科学の主たる対象は希薄系であるのに対し、実際の選鉱や鉱物資源の分離などは高濃度分散系で行われることが多い。しかも、最近では、良質な鉱床の欠乏から低品位複雑鉱床からの採掘・選鉱を余儀なくされる場合が多い。さらに、環境負荷の低減から、これまでよりも高濃度の分散系での作業が必要とされている。

本研究では、鉱物資源の選鉱に代表される高濃度微粒子分散系に対して、レオロジー測定、中性子散乱、光散乱、走査型電子顕微鏡、トモグラフィーなどを駆使したキャラクタリゼーション法の開発、および粒子間相互作用の定量化などを目的としている。柴山研では主に顕微鏡的散乱法による無機粒子分散系、無機粒子を高分子溶液に分散した複合分散系の研究などで、異分野交流による相乗的な研究展開をねらう。

Characterization of particle-particle interactions in concentrated fine particle suspensions is one of the most important research themes in the colloid and interface science. Such characterization can strongly assist in the development of environmental friendly mineral processing methodologies in which particle dispersion/liberation is significantly important to achieve selective enrichment of the target mineral particles. Such processes are closely correlated with colloidal and interface science since many of the valuable elements are enriched in fine mineral grains. On the other hand, characterization of the particle-particle interaction in concentrated fine particle dispersions is still a challenging task while the depression of high grade ore and the necessity of complex and low grade ore processing have been highlighted. Thus, more efficient processing of concentrated fine particle suspension is a must to maintain our limited natural resources with modest environmental footprint.

In this research, for concentrated fine particle suspensions relevant to the mineral processing, different characterization methods are being applied to precisely quantify the particle-particle interaction. Those characterization methods include suspension rheology, neutron/light scattering, electron microscope, and tomography. In the Shibayama group, using the newly developed dynamic light scattering microscope, I will characterize concentrated inorganic fine particle suspensions and the mixture of inorganic-polymer solution to aim the interdisciplinary research development.

# 国際超強磁場科学研究所

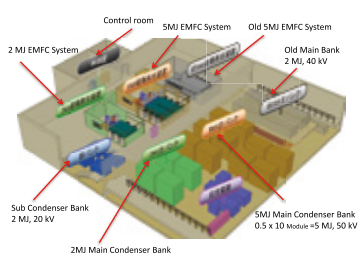
## International MegaGauss Science Laboratory

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 テスラ以上で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 Professor	嶽山 正二郎 TAKEYAMA, Shojiro	助教 Research Associate	三田村 裕幸 MITAMURA, Hiroyuki	技術専門員 Technical Associate	川口 孝志 KAWAGUCHI, Koushi
教授(施設長) Professor (Director)	金道 浩一 KINDO, Koichi	助教 Research Associate	近藤 晃弘 KONDO, Akihiro	技術専門職員 Technical Associate	澤部 博信 SAWABE, Hironobu
准教授 Associate Professor	徳永 将史 TOKUNAGA, Masashi	助教 Research Associate	中村 大輔 NAKAMURA, Daisuke	技術専門職員 Technical Associate	松尾 晶 MATSUO, Akira
准教授 Associate Professor	松田 康弘 MATSUDA, Yasuhiro	助教 Research Associate	三宅 厚志 MIYAKE, Atsushi	学術支援職員 Technical Associate	大園 一実 OHATA, Katsumi
准教授 Associate Professor	小濱 芳允 KOHAMA, Yoshimitsu	助教 Research Associate	池田 暁彦 IKEDA, Akihiko	特任研究員 Project Researcher	足立 伸太郎 ADACHI, Shintaro
准教授* Associate Professor	長田 俊人 OSADA, Toshihito			特任研究員 Project Researcher	坂井 義和 SAKAI, Yoshikazu

\* 所内兼務。本務は凝縮系物性研究部門。 / concurrent with Division of Condensed Matter Science



電磁濃縮超強磁場発生装置が新規導入された。実験室中央に位置するのは 50 kV、5MJ の主コンデンサバンクで、1000 T の超強磁場発生が可能な設計となっている。横に配置されたのは同じく 50 kV、2MJ のコンデンサバンクであり、簡易型の電磁濃縮装置に電流を供給する。600 T 程度の超強磁場発生が可能な設計となっている。電磁濃縮の初期磁場発生コイル用として、20kV、2MJ 副コンデンサバンクが新規設置、より強い初期磁場が得られる。

Newly installed electro-magnetic flux compression (EMFC) system. The new EMFC generator energized by the 10 modules of 50 kV condensers, all together 5 MJ, is designed to generate 1000 T ultra-high magnetic fields. Another 2 MJ main condenser modules are used to inject an energy to the relatively light EMFC system for frequent use, but capable of generating around 600 T. The seed field coils, generating the initial magnetic field, which is compressed by the EMFC, are connected to the sub condenser bank modules of 20 kV, 2 MJ.

# 嶽山研究室

Takeyama Group



嶽山 正二郎  
TAKEYAMA, Shojiro  
教授  
Professor



中村 大輔  
NAKAMURA, Daisuke  
助教  
Research Associate

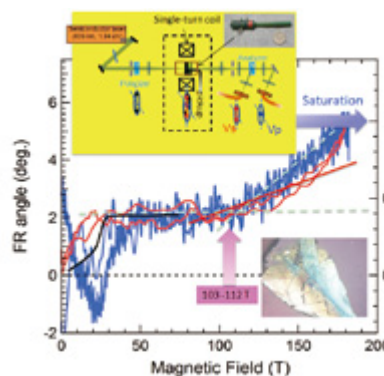
100テスラ以上の超強磁場発生技術開発とそのような極限環境下で発現する物性の探索的研究を行っている。超強磁場の発生手段として、電磁エネルギーを利用して磁束濃縮を行う「電磁濃縮法」と一巻き銅コイルに高速大電流を投入して超強磁場を発生する「一巻きコイル法」を用いている。「電磁濃縮法」では、すでに室内世界最高磁場発生 730 テスラを実現しているが、更に高い磁場発生とより精度と信頼度を高めた物性計測を目指した研究開発を進めている。2010 年より「電磁濃縮 1000 T 計画」の下に装置建設を推進している。「一巻きコイル法」では、発生磁場の方向により、横および縦型をそれぞれ有し、横型は主にレーザーを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 200 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よる電子状態の解明、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を通しての磁気物性の解明などを進めている。



新しく開発された電磁濃縮法の超強磁場発生装置。5MJ の高速コンデンサバンクから送り出される大電流 (max 8 MA) が集電板を経由して主コイルに流れる。最大充電電圧や残留インピーダンスなどの装置の性能が向上したことで、1000 T の室内実験世界最高磁場発生と物性計測の確立を目指して建設を進めている。

Newly-developed ultra-high magnetic field generator of the electro-magnetic flux compression method. The 5MJ fast condenser bank is capable of supplying maximum electrical current of amount to 8 mega-ampere, which is injected to a primary coil through the collector plate. By upgrading the performance such as the maximum charging voltage and the residual impedance, ultra-high magnetic fields up to 1000 T are planned to generate.

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. We are now involved in construction of ultra-high magnetic field generator system under the 1000 T project. 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.



ボルボサイト ( $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) の強磁場磁化過程。一巻きコイル超強磁場発生装置で 180 T のパルス超強磁場で測定された。温度は 5 K。左上の図は高解像度ファラデー回転の光学セットアップとガラスエポキシのみでできた液体ヘリウムフロータイプのミニチュア光学測定用クライオスタット。磁化は 26 T で 1/3 プラトー相ヘジャンプし、その後 103-112 T までプラトーが続く、その後次第に増加し、180 T あたりで飽和する。右下の写真は両面ともに光学平面研磨されたボルボサイトの結晶。

High magnetic field magnetization of Volborthite measured by Faraday rotation in magnetic field up to 180 T at temperature 5 K. Ultra-high magnetic fields are generated by a single-turn coil magagauss generator. Volborthite ( $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) is a spin 1/2 kagome frustrated antiferromagnet. Left upper inset depicts an experimental set-up of a high-angle resolution Faraday rotation optical alignment and a miniature size liquid He flow type optical cryostat which is totally made of glass epoxy. A picture right down is a Volborthite sample, both sides of which are polished to the optical flat. There observed a jump to 1/3 magnetic plateau at 26 T and the plateau continues up to around 103-112 T, then gradually grows until saturation nearly at 180 T.

## 研究テーマ Research Subjects

- 100 T 以上の超強磁場発生と物性計測技術開発  
Technical developments for ultra-high magnetic field magnets above 100 T 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



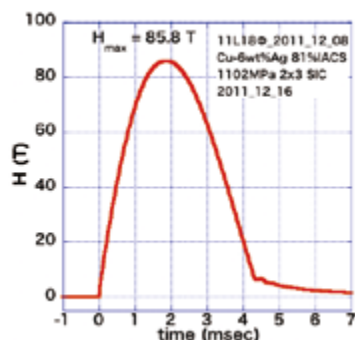
金道 浩一  
KINDO, Koichi  
教授  
Professor



近藤 晃弘  
KONDO, Akihiro  
助教  
Research Associate

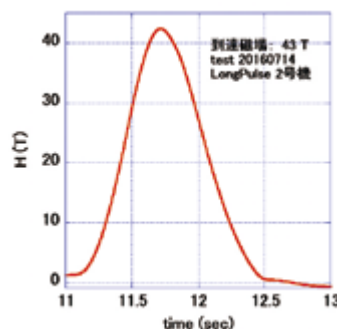
当施設に設置されたコンデンサー電源およびフライホイール付き直流発電機を用いて、非破壊で強磁場を発生し、その磁場下で精密な物性測定を行う。様々な用途に応じて、特殊なマグネットの開発を行っており、現在、ユーザーが利用可能な磁場条件は以下の三種類である。

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  
③ロングパルスマグネット:パルス幅約 1 秒、最大磁場 43 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 秒の磁場発生が可能となった。これを用いて磁場中比熱測定を行っている。またフラットトップ磁場を発生することにより強磁場下の  $\rho$ -T 測定も可能になった。もっと強磁場を発生出来るロングパルスマグネットの開発も進行中である。



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。

Profile 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.



ロングパルスマグネットの磁場波形。現在の最大磁場は 43T。このマグネットを磁場中比熱測定用としてユーザーに提供している。

Profiles of magnetic field for Long pulse magnet. The maximum field of 43 T is used for the heat capacity-measurements under high field.

## 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  
TOKUNAGA, Masashi  
准教授  
Associate Professor



三宅 厚志  
MIYAKE, Atsushi  
助教  
Research Associate



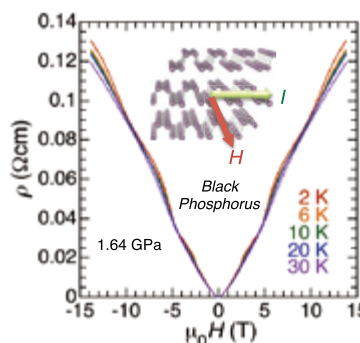
三田村 裕幸  
MITAMURA, Hiroyuki  
助教  
Research Associate

磁場は電子のスピン、軌道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研究分野で不可欠な外場である。我々は瞬間的にのみ発生可能な強磁場環境下において、磁化、磁気抵抗、電気分極、偏光顕微鏡観察など多岐にわたる精密測定手段を開発・改良し、それらを駆使して強磁場下で起こる様々な相転移の研究を行っている。

具体的な研究対象の一つとして、量子極限状態における電子物性に注目している。量子極限状態にある電子系は磁場による閉じ込め効果のため超強相関電子系とみなすことができる。我々は正負のキャリアが共存する半金属を中心に量子極限状態の物性測定を行い、グラファイトにおける磁場誘起量子相や多重極限環境下における半金属黒燐の異常量子伝導などを研究している。

また磁気秩序を持つ強誘電体であるマルチフェロイック物質に対して、磁場挿引速度の大きいパルス磁場下で実現できる高感度測定を生かした研究を行っている。カイラルな結晶構造を持つ三角格子反強磁性体である  $\text{CsCuCl}_3$  における新奇マルチフェロイック状態や、室温マルチフェロイック物質  $\text{BiFeO}_3$  における双極性抵抗変化メモリー効果などを発見している。

このようなインハウスの研究に加えて年間40件程度の共同利用研究を行い、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。



多重極限環境下で測定した単結晶黒燐の磁気抵抗効果。挿入図は黒燐の結晶構造を模式的に示している。図中に示したように、磁場を  $a$  軸方向に印加して  $c$  軸方向の抵抗を測定した。14T までの磁場範囲で1000倍を超える巨大な正の磁気抵抗効果と、それに重畳した量子振動現象が観測されている。

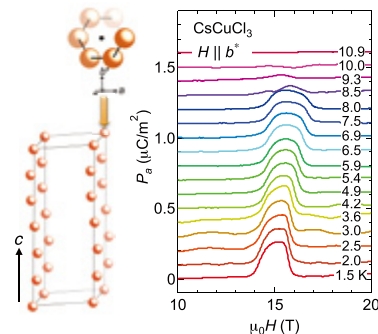
Magnetoresistance of a single crystal of black phosphorus under multiple extreme conditions. Inset shows schematic illustration of the crystal structure. Resistance along the  $c$  axis was measured in magnetic fields applied along the  $a$  axis. We observed huge positive magnetoresistance larger than 1,000 times of the value at zero field together with superposed Shubnikov-de Haas oscillations.

Magnetic fields have been extensively used in broad research fields of solid state physics because they can directly tune the spins, orbitals and phases of electrons in materials. We study various kinds of phase transitions in high magnetic fields with using non-destructive pulse magnets and developing/up-grading various experimental techniques; e.g. magnetization, magnetoresistance, electric polarization, polarizing optical microscopy, and so on.

As one of our recent projects, we focus on the electronic states in the quantum limit state. Since charge carriers are confined in the smallest cyclotron orbit, Coulomb interaction dominates over the kinetic energy. Therefore, we can realize strongly correlated electron systems in the quantum limit states. In particular, we have been focusing on the semimetals having even number of electrons and holes, and found a novel field-induced phase in graphite and anomalous quantum transport properties in black phosphorus under multiple extreme conditions.

We are also studying multiferroic materials using high precision experiments realized in pulsed-fields. We found a field-induced novel multiferroic phase in a triangular lattice chiral antiferromagnet  $\text{CsCuCl}_3$  and bipolar resistive memory effects in a room temperature multiferroic material  $\text{BiFeO}_3$ .

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.



(左) カイラルな結晶構造を持つ  $\text{CsCuCl}_3$  における Cu 配置の模式図。(右) パルス磁場下で測定した  $\text{CsCuCl}_3$  の電気分極の磁場変化。磁場を  $b^*$  方向に印加した状態で  $a$  方向の電気分極を測定している。

(left) Schematic illustration of the arrangement of Cu ions in a chiral antiferromagnet  $\text{CsCuCl}_3$ . (right) Field-induced changes of electric polarization along the  $a$  axis in applied magnetic fields along the  $b^*$  axis.

## 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

# 松田康弘研究室

Y. Matsuda Group



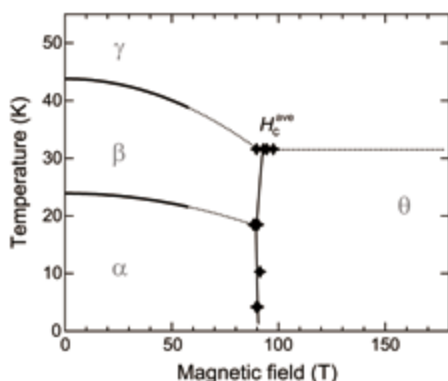
松田 康弘  
MATSUDA, Yasuhiro  
准教授  
Associate Professor



池田 暁彦  
IKEDA, Akiniko  
助教  
Research Associate

100 Tを超える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。低次元スピン系における非自明な磁気構造、遷移金属酸化物での新奇な局在-遍歴転移、分子性固体における強いスピン-格子結合などを通じ、強磁場中では様々な新規相が期待される。最近、約120 Tで発見された固体酸素の $\theta$ 相は、低温での反強磁性 $\alpha$ 相から磁場誘起構造相転移により現れ、そのような磁場誘起新規相の一例である。

1000 T領域においては、相互作用の強い物質について未知の強磁場基底状態を探索することが可能であり、超強磁場発生技術および超強磁場中の様々な測定手法の開発も行っている。

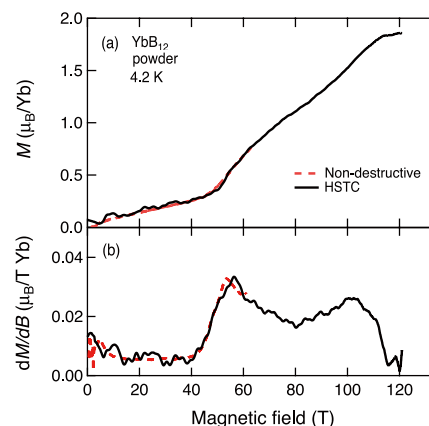


固体酸素の磁場-温度相図。破壊型パルス磁場を用いた磁化測定及び光吸収測定から、はじめて $\theta$ 相の存在が発見された。

B-T phase diagram of solid oxygen. The high-field  $\theta$  phase was discovered by magnetization and optical absorption measurements using destructive pulsed magnetic fields.

Properties of matters that emerge under ultrahigh magnetic fields are being studied. Ground state of matter can dramatically be changed by applying strong magnetic fields, since spin and kinetic motion of electrons are directly affected by magnetic field. Various kinds of novel phases are expected to emerge in the strong magnetic fields through the phenomena such as formation of nontrivial magnetic structure in low dimensional spin systems, exotic local-itinerant transition in strongly-correlated magnetic compounds, and strong spin-lattice coupling in molecular solids. Recent discovery of the novel  $\theta$  phase of solid oxygen at over around 120 T is a specific example of the field-induced novel phases; the  $\theta$  phase realizes due to the field-induced molecular rearrangement from the low temperature antiferromagnetic  $\alpha$  phase. At higher fields in the range of 1000 T, exploring unknown high-field ground states in materials with strong interaction is possible. We have also been developing the techniques for generation of the ultrahigh magnetic fields as well as for various kinds of measurements at such ultrahigh fields.

(a) 近藤半導体  $\text{YbB}_{12}$  の磁化過程と (b) 磁化の磁場微分 ( $dM/dB$ ) の磁場依存性。55 Tと102 Tに磁化の急な増加が観測されており、低い方の転移磁場で半導体-金属転移が起こり、2つの転移磁場の間では重い電子状態が実現していると予想されている。



(a) Magnetization process and (b) Magnetic field derivative of the magnetization ( $dM/dB$ ) plotted as a function of magnetic field. Two field-induced transitions are observed at 55 and 102 T, respectively. The semiconductor-metal transition occurs at the lower transition field, and a heavy fermion state is expected to appear between the two transition magnetic fields.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 重い電子及び価数揺動電子系の超強磁場下での電子状態  
Electronic state of heavy fermion and valence fluctuating systems at ultrahigh magnetic fields
2. 量子スピン系の超強磁場磁化過程  
Ultrahigh magnetic field magnetization process of quantum spin systems
3. 磁気複屈折効果を用いた超強磁場における磁場誘起相転移の研究  
Study of magnetic field-induced phase transition at ultrahigh magnetic fields using magnetic birefringence
4. 固体酸素の磁場誘起構造相転移  
Magnetic field-induced structural phase transition in solid oxygen
5. 分子性導体の磁場誘起絶縁体-金属転移  
Magnetic field-induced insulator-metal transition in molecular conductors

## 小濱研究室

Kohama Group



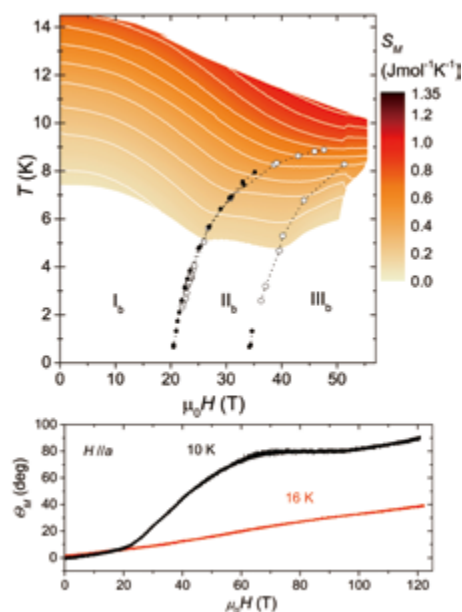
小濱 芳允  
KOHAMA, Yoshimitsu  
准教授  
Associate Professor

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. ナノスケール薄膜を用いた超高速熱測定』そして『3. 新規デバイスによる超高速電気抵抗測定』を採用しており、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。また最終的な目標には、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. Many of unprecedented phenomena are expected to exist in ultra-high magnetic field region, and our group focuses on the observation/understanding of those exotic phenomena. To achieve this goal, we employ the following experimental techniques, “1. Magneto-optical measurement technique”, “2. Ultra-fast calorimetry with Nano-scale thin films” and “3. Ultra-fast magnetoresistance measurement technique”. With these techniques, we currently investigate the magnetotransport in topological insulators/superconductors and the novel magnetic phases in quantum spin systems. Our final goal is the condensed matter researches at ultra-high magnetic field region up to ~1000 T, and thus our future work will be also devoted to technical developments for ultra-high magnetic field generations as well as the improvements of measurement techniques.

(a) AuGe フィルムを用いた測定された  $\text{BiCu}_2\text{PO}_6$  の磁気熱量効果。(b) レーザー光を用いたファラデー回転角。磁気熱量効果の測定は等エントロピー変化 ( $T(H)$ s) の測定と同意義であり、磁気相転移に伴う温度変化を観測している。ファラデー回転角はシングルターンコイルを用い 120 T まで測定しており、60T 付近、90T 付近で相転移を検出した。

(a) Magnetocaloric effect (MCE) of  $\text{BiCu}_2\text{PO}_6$  measured by AuGe thin film. (b) Faraday rotation angle of  $\text{BiCu}_2\text{PO}_6$  measured by laser optics. The MCE data should correspond to the isentropic  $T(H)$ s curve in which the temperature change due to field-induced phase transition were observed. The Faraday rotation angle was measured up to 120 T by using a single turn coil system, where the field-induced phase transitions were detected at ~60 and ~90 T.



## 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. 2次元超伝導体における Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov 状態の観測  
Observation of Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov state in 2D superconductors
3. 微細加工技術を用いた新規デバイスの開発  
Development of new device with Nanofabrication process
4. トポロジカル絶縁体における超強磁場での量子振動  
Quantum oscillation of topological insulators in ultra-high magnetic fields
5. パルス強磁場下における NMR の測定と低次元系磁性体への応用  
NMR measurement under pulsed magnetic fields and its application to low-dimensional magnetic materials

# 計算物質科学研究センター

## Center of Computational Materials Science

「京」コンピュータに代表される近年のコンピュータハードウェアの発展にともなう、大規模数値計算による物質科学へのアプローチが盛んである。コンピュータを利用した精密な物性予測によって、磁性体・超伝導・超流動における量子臨界現象など物性物理学の基礎的な問題から、半導体デバイス設計や燃料電池における電極反応など近い将来産業応用に結びつくことが期待される応用問題に至るまで、広い範囲において重要な成果が挙げられている。一方、近年のハードウェアの多階層化・並列化により、プログラマには多くのコアに効果的に計算を分業させる工夫が必要であり、このことが計算物質科学研究における挑戦的課題となっている。本センターは、ポスト「京」プロジェクトや元素戦略プロジェクトなど国家プロジェクトを担う拠点として、「京」や物性研究所共同利用スパコンを始めとする様々な計算資源の活用を通じて、これらの課題に組織的に取り組んでいる。さらに、コミュニティソフトウェア開発・普及のためのサイト MateriApps の開発・運用なども行っている。

As symbolized by K-computer, massively parallel computation is actively used for solving problems in materials science in recent years. In fact, computer-aided science has been providing answers to many problems ranging from the most fundamental ones, such as critical phenomena in quantum magnets, superconductors, and superfluids, to the ones with direct industrial applications, such as semiconductor devices and electrode chemical reactions in batteries. Due to the recent hardware trends, it is now crucial to develop a method for breaking up our computational task and distribute it to many computing units. In order to solve these problems in an organized way, we, as the major contractor of several national projects such as Post-K Computer Project and Elements Strategy Initiative, coordinate the use of the computational resources available to our community, including K-computer and ISSP supercomputers. In addition, we also operate the web site, MateriApps, which offers easy access to various existing codes in materials science.

教授(副センター長)* <sup>1</sup>	川島 直輝
Professor (Deputy Director)	KAWASHIMA, Naoki
教授* <sup>1</sup>	尾崎 泰助
Professor	OZAKI, Taisuke
教授(センター長)* <sup>2</sup>	常行 真司
Professor (Director)	TSUNEYUKI, Shinji
特任教授	赤井 久純
Project Professor	AKAI, Hisazumi
准教授* <sup>3</sup>	杉野 修
Associate Professor	SUGINO, Osamu
准教授* <sup>4</sup>	加藤 岳生
Associate Professor	KATO, Takeo
准教授* <sup>1</sup>	野口 博司
Associate Professor	NOGUCHI, Hiroshi
准教授* <sup>2</sup>	藤堂 眞治
Associate Professor	TODO, Syngé
特任研究員(PI)* <sup>5</sup>	三澤 貴宏
Project Researcher	MISAWA, Takahiro

助教* <sup>3</sup>	野口 良史
Research Associate	NOGUCHI, Yoshifumi
助教* <sup>1</sup>	渡辺 宙志
Research Associate	WATANABE, Hiroshi
助教* <sup>1</sup>	笠松 秀輔
Research Associate	KASAMATSU, Shusuke
助教* <sup>1</sup>	森田 悟史
Research Associate	MORITA, Satoshi
助教* <sup>1</sup>	樋口 祐次
Research Associate	HIGUCHI, Yuji
技術専門職員	山崎 淳
Technical Associate	YAMAZAKI, Jun
学術支援専門職員	早川 雅代
Technical Associate	HAYAKAWA, Masayo
特任研究員	浅野 優太
Project Researcher	ASANO, Yuta
特任研究員	金子 隆威
Project Researcher	KANEKO, Ryuu
特任研究員	古宇田 光
Project Researcher	KOUTA, Hikaru

特任研究員	白井 達彦
Project Researcher	SHIRAI, Tatsuhiko
特任研究員	土居 抄太郎
Project Researcher	DOI, Shotaro
特任研究員	福田 将大
Project Researcher	FUKUDA, Masahiro
特任研究員	ホフマン マルティン
Project Researcher	HOFFMANN, Martin
特任研究員	松本 宗久
Project Researcher	MATSUMOTO, Munehisa
特任研究員	本山 裕一
Project Researcher	MOTOYAMA, Yuichi
特任研究員	リー チェン
Project Researcher	LEE, Chi-Cheng
特任研究員	リー ヒュンヨン
Project Researcher	LEE, Hyunyoung
特任研究員* <sup>3</sup>	山本 良幸
Project Researcher	YAMAMOTO, Yoshiyuki
特任研究員* <sup>3</sup>	严 蕾
Project Researcher	YAN, Lei

\*<sup>1</sup> 所内兼務。本務は物質設計評価施設。/concurrent with Materials Design and Characterization Laboratory

\*<sup>2</sup> 理学系研究科物理学専攻と兼務。/ concurrent with Physics Department, Graduate School of Science

\*<sup>3</sup> 所内兼務。本務は機能物性研究グループ。/concurrent with Functional Materials Group

\*<sup>4</sup> 所内兼務。本務は物性理論研究部門。/concurrent with Division of Condensed Matter Theory

\*<sup>5</sup> PCoMS 次世代研究員 (PI)

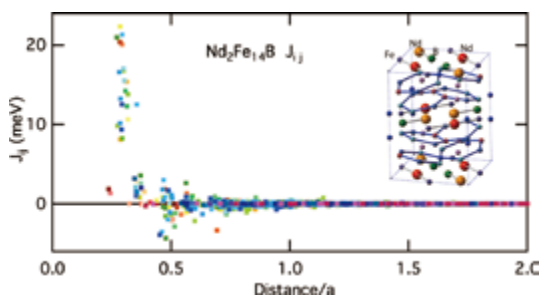
# 赤井研究室

Akai Group



赤井 久純  
AKAI, Hisazumi  
特任教授  
Project Professor

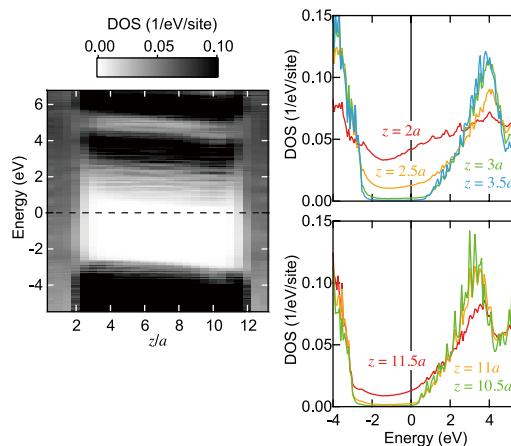
計算機マテリアルデザイン手法を用いた金属、半導体、金属間化合物をおよびそれらのナノ構造を用いた高機能材料の理論的開発を研究テーマとしている。特に、高性能永久磁石の創成が重要な課題の一つである。計算機マテリアルデザインは量子デザイン（量子力学に基づいて、与えられた物性や機能を有する物資・構造を推論すること）によって実行される。このような問題を解く事は一般に困難であるが、量子デザインでは物性発現の機構を量子シミュレーションのくり返しにより明らかにすることによってこの問題を解く。マテリアルズ・インフォマティクス手法も援用される。量子デザイン、量子シミュレーションにおいては手法の開発も重要な研究課題であり、高精度第一原理計算手法の開発とともに、KKR グリーン関数法に基づいた第一原理非平衡グリーン関数法の開発、オーダー N 計算を実現する遮蔽 KKR 法、密度汎関数法に対するより良い近似的の開発等を推進している。



現在最強の永久磁石であるネオジム磁石の主相である  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  の交換結合定数  $J_{ij}$  の値の距離依存性。色の違いは異なった種類の原子対の違いを表す。 $J_{ij}$  の値は KKR グリーン関数法を用いた第一原理電子状態計算によって直接計算されたものである。

The distance dependence of exchange coupling constants  $J_{ij}$  between various atoms in  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , which is the main component of Nd-based permanent magnets.  $J_{ij}$ 's were calculated directly using first-principles KKR-Green's function method.

Our main objective is to predict/discover new functionality materials by means of computational materials design (CMD). In particular, the development of new high-performance permanent magnets is one of our main targets. CMD aims at to design materials and/or structures on the basis of quantum mechanics. This corresponds to the inverse problem of quantum simulation. In general, solving such problems is very difficult. In CMD we solve these problems by making use of the knowledge, which is obtained through quantum simulations, about underlying mechanisms realizing specific features of materials. The technique of materials information also can be exploited. In these regards, the developments of new methods of quantum simulation also are our important themes. Among them are developments of methods of accurate first-principles electronic structure calculations in general, first-principles non-equilibrium Green's function method, order-N screened KKR-method used for huge systems, and the methods beyond LDA.



Al/GaN 界面におけるショットキー接合付近の非平衡グリーン関数による電子状態計算の結果。左側の図の濃淡は局所状態密度を表し、白い部分はバンドギャップに相当する。左側の接合部でショットキー障壁が形成され、障壁の高さは界面の金属誘起ギャップ状態 (MIGS) で決まっていることが分かる。

The electronic structure near the Schottky junction formed by Al/GaN calculated by the KKR non-equilibrium Green's function method. The local DOS as a function of the position and the energy relative to the Fermi energy is shown. The white part in the left figure corresponds to the band gap. A Schottky barrier is formed near the interface at the left. The height of the barrier is determined by the metal induced gap state (MIGS).

## 研究テーマ Research Subjects

1. 第一原理電子状態計算  
First-principles electronic structure calculation
2. 計算機マテリアルデザイン  
Computational materials design (CMD)
3. KKR グリーン関数法とその応用  
KKR Green's function method and its applications
4. 磁性と永久磁石の開発  
Magnetism and development of new permanent magnets

計算物質科学研究センター

Center of Computational Materials Science

<http://pcoms.issp.u-tokyo.ac.jp/cultivation/youngresearchersmisawateam>

# 三澤 チーム

Misawa Team



三澤 貴宏

MISAWA, Takahiro

PCoMS 次世代研究員 (PI)

Project Researcher

固体中の電子の振る舞いは量子多体問題の典型例であり、ひとつの電子の振る舞いからは想像もつかない多彩な現象を発現するのが特徴である。本チームでは、この量子多体問題がもつ魅力的な現象の起原を理論的に解明して、さらには新奇現象の予言・制御につなげるための研究を行っている。そのために、量子多体問題を取り扱う数値計算手法の開発を行っており、開発した計算手法をオープンソースソフトウェアとして公開している。今までに、格子上の量子多体問題を数値的に厳密に解くソフトウェア H $\Phi$ 、高精度な波動関数法である多変数変分モンテカルロ法のソフトウェア mVMC を公開している。

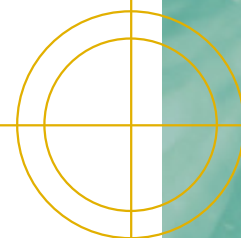
最近の成果として、mVMC を用いて銅酸化物界面の理論モデルの解析を行い、界面では超伝導の転移温度がバルクのドーピング濃度に依らずに常に一定に保たれる機構の起原を解明した。また、H $\Phi$  を用いて、幾何学的フラストレーションを持つハバード模型における量子スピン液体の有限温度性質の解明、カゴメ格子上の量子ハイゼンベルグにおける磁化プラトーの有限温度効果の解明を行った。

Behavior of electrons in solids is a typical example of quantum-many body systems. In the quantum many-body systems, various exotic phenomena emerge, which is hardly expected from the behavior of single electron. We try to theoretically reveal the origins of the exotic phenomena in the quantum many-body systems, and aim to predict and design the new exotic phenomena. We have been developed numerical methods for treating the quantum many-body systems and some of them are released as open-source software packages, for example, we release H $\Phi$  (software for exact diagonalization) and mVMC (software for many-variable variational Monte Carlo method).

By using mVMC, we recently reveal the origin of the anomalous pinning of the superconducting critical temperatures observed at the interfaces of the cuprates. We also clarify the finite-temperature effects of the quantum spin liquids in the frustrated Hubbard model and finite-temperature effects on the one-third magnetic plateau in the quantum Heisenberg model on the kagome lattice.

# 極限コヒーレント光科学研究センター

## Laser and Synchrotron Research Center



極限コヒーレント光科学研究 (LASOR) センターでは、超精密レーザーや極短パルス、大強度レーザーなどの極限的なレーザーを開発すると共に、シンクロトロン放射光を用いた先端的軟 X 線ビームラインを開発している。テラヘルツから真空紫外線、軟 X 線までの広いエネルギー範囲の極限的な光源を用いて、超高分解能光電子分光、時間分解分光、スピン偏極分光、顕微分光、回折や光散乱、イメージング、発光分光などの新しい最先端分光計測を開発している。一方、これらの極限的な光源や分光手法を用いて半導体、強相関物質、有機物質、生体物質、表面、界面などの幅広い物性研究とその共同利用を行っている。LASOR センターは、先端的な光科学とそれを用いた物質科学との共同研究、共同利用を目指す総合的なセンターである。柏キャンパスにおいては、大規模なクリーンルームと除振床を設置した先端分光実験棟 (D 棟) 及び、真空紫外・軟 X 線レーザーの物性研究利用を主目的とした極限光科学棟 (E 棟) を有し、光源開発とそれを用いた物性研究を行っている。兵庫県にある SPring-8 においてはシンクロトロン放射光を用いたビームライン BL07LSU において軟 X 線分光の研究を行っている。

Laser and Synchrotron Research (LASOR) Center develops new lasers with extreme performance of ultra-precise, high intensity and ultra-short pulse lasers. The cutting edge soft X-ray beamline is also developed using synchrotron radiation. LASOR center is responsible for the advanced spectroscopy, such as ultra-high resolution photoemission, time-resolved, spin-resolved spectroscopy, diffraction, light scattering, imaging, microscopy and fluorescence spectroscopy, by new coherent light sources based on laser and synchrotron technology over a wide spectrum range from terahertz to X-ray. In LASOR center, a variety of materials sciences for semiconductors, strongly-correlated materials, molecular materials, surface and interfaces, and bio-materials are studied using advanced light sources and advanced spectroscopy. The aim of LASOR center is synthetic science for photon sciences and collaborations with materials science. Most of the research activities on the development of new lasers with an extreme performance and the application to material science are studied in specially designed buildings D and E with large clean rooms and the isolated floor in Kashiwa Campus. On the other hand, the experiments utilizing the synchrotron radiation are performed at beamline BL07LSU in SPring-8 (Hyogo).

教授 (センター長)	辛 埴	助 教	山本 達	技術専門職員	原沢 あゆみ	特任研究員	田久保 耕
Professor (Director)	SHIN, Shik	Research Associate	YAMAMOTO, Susumu	Technical Associate	HARASAWA, Ayumi	Project Researcher	TAKUBO, Kou
教授 *1	小森 文夫	助 教	石田 行章	技術専門職員	工藤 博文	特任研究員	張 鵬
Professor (Deputy Director)	KOMORI, Fumio	Research Associate	ISHIDA, Yukiaki	Technical Associate	KUDO, Hirofumi	Project Researcher	ZHANG, Peng
教授 (副センター長) *2	秋山 英文	助 教	矢治 光一郎	技術専門職員	橋本 光博	特任研究員	崔 藝濤
Associate Professor	AKIYAMA, Hidefumi	Research Associate	YAJI, Koichiro	Technical Associate	HASHIMOTO, Mitsuhiro	Project Researcher	CUI, Yitao
准教授	松田 巖	助 教	石井 順久	技術専門職員	伊藤 功	特任研究員	唐 佳藝
Associate Professor	MATSUDA, Iwao	Research Associate	ISHII, Nobuhisa	Technical Associate	ITO, Isao	Project Researcher	TANG, Jiayi
准教授 (副センター長)	小林 洋平	助 教	宮脇 淳	研究支援推進員	藤澤 正美	特任研究員	パレイユ セドリック
Associate Professor	KOBAYASHI, Yohei	Research Associate	MIYAWAKI, Jun	Technical Staff	FUJISAWA, Masami	Project Researcher	BAREILLE, Cedric
准教授	板谷 治郎	助 教	谷 峻太郎	特任研究員	赤田 圭史	特任研究員	水野 智也
Associate Professor	ITATANI, Jiro	Research Associate	TANI, Shuntaro	Project Researcher	AKADA, Keishi	Project Researcher	MIZUNO, Tomoya
准教授	原田 慈久	助 教	平田 靖透	特任研究員	伊藤 紳二	特任研究員	山添 康介
Associate Professor	HARADA, Yoshihisa	Research Associate	HIRATA, Yasuyuki	Project Researcher	ITO, Shinji	Project Researcher	YAMAZOE, Kosuke
准教授	和達 大樹	助 教 *2	挟間 優治	特任研究員	尾嶋 正治	特任研究員	山本 真吾
Associate Professor	WADATI, Hiroki	Research Associate	HAZAMA, Yuji	Project Researcher	OSHIMA, Masaharu	Project Researcher	YAMAMOTO, Shingo
准教授	近藤 猛	助 教	黒田 健太	特任研究員	太田 由一	特任研究員	卢 发铭
Associate Professor	KONDO, Takeshi	Research Associate	KURODA, Kenta	Project Researcher	OTA, Yuuichi	Project Researcher	LU, Faming
准教授	松永 隆佑	特任助教	谷内 敏之	特任研究員	乙津 聡夫	特任研究員 *2	伊藤 隆
Associate Professor	MATSUNAGA, Ryusuke	Project Research Associate	TANIUCHI, Toshiyuki	Project Researcher	OTSU, Toshio	Project Researcher	ITO, Takashi
特任准教授	岡崎 浩三	技術専門員	福島 昭子	特任研究員	小菅 淳	特任研究員 *2	金 昌秀
Project Associate Professor	OKAZAKI, Kozo	Technical Associate	FUKUSHIMA, Akiko	Project Researcher	KOSUGE, Atsushi	Project Researcher	KIM, Changsu
教授 (客員)	吉田 鉄平	技術専門職員	金井 輝人	特任研究員	趙 智剛	特任研究員 *2	朱 琳
Visiting Professor	YODSHIDA, Teppei	Technical Associate	KANAI, Teruto	Project Researcher	ZHAO, Zhigang	Project Researcher	ZHU, Lin
教授 (外国人客員)	ダンジェロ マリー デルフィーヌ	技術専門職員	澁谷 孝	特任研究員	鈴木 剛	特任研究員 *2	陶 仁春
Visiting Professor	D'ANGELO, Marie Delphine	Technical Associate	SHIBUYA, Takashi	Project Researcher	SUZUKI, Takeshi	Project Researcher	TAO, Renchun
						特任研究員 *2	樋山 みやび
						Project Researcher	HIYAMA, Miyabi

\*1 所内兼務。本務はナノスケール物性研究部門。/concurrent with Division of Nanoscale Science

\*2 所内兼務。本務は機能物性研究グループ。 concurrent with Functional Materials Group

# 辛研究室

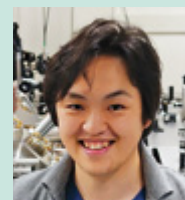
Shin Group



辛 埴  
SHIN, Shik  
教授  
Professor



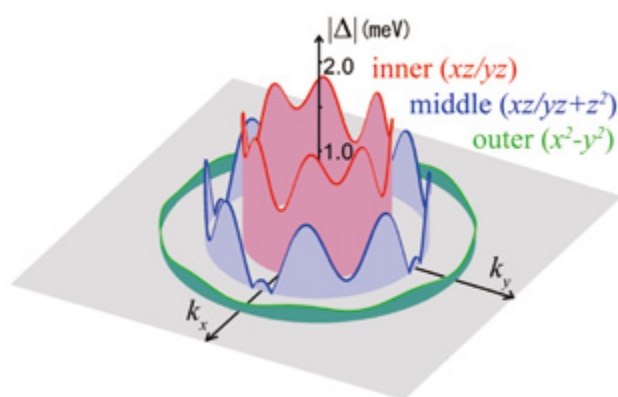
石田 行章  
ISHIDA, Yukiaki  
助教  
Research Associate



谷内 敏之  
TANIUCHI, Toshiyuki  
特任助教  
Project Research Associate

紫外光から軟 X 線レーザーの特長を利用した光電子分光を開発しながら物性研究を行うことに力を入れている。光電子分光は固体電子が持つエネルギー、運動量、時間、場所、スピンの全ての情報を知ることができる実験方法である。

レーザーの持つ単色性を利用して新たに開発されたレーザー光電子分光は 70  $\mu\text{eV}$  のエネルギー分解能を有し、世界最高である。超伝導体や強相関物質のギャップや擬ギャップ等を観測し、輸送現象に直接関係した電子状態を運動量空間で知ることができる。また、固体中のフォノンやマグノン等の固体中の素励起との結合を知ることできる。一方、レーザーのパルスの時間特性を利用してフェムト秒領域の時間分解光電子分光法を行っている。超伝導体、遷移金属化合物、有機物、半導体などの光誘起現象を研究している。また、レーザーの持つ大強度や微小スポットサイズを利用してナノ構造の電子状態を知る顕微光電子分光を行っている。STM にせまるようなナノメートル領域の空間分解能を目指している。

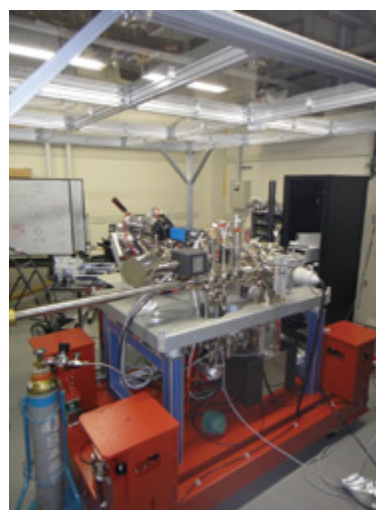


超高分解能レーザー光電子分光法により解明された鉄系超伝導体  $\text{KFe}_2\text{As}_2$  の異方的な超伝導ギャップ構造。超伝導転移温度は 3.4 K である。(Okazaki et al., Science (2012))

Anisotropic superconducting gap structure of the iron-pnictide superconductor  $\text{KFe}_2\text{As}_2$  revealed by ultra-high-resolution laser photoemission spectroscopy. The critical temperature is 3.4 K.

We are investigating the properties of materials through photoemission spectroscopy implemented by lasers in the vacuum-ultraviolet to soft-x-ray region. Photoelectrons carry the complete information of the electrons in solids, namely, their energy, momentum, time, space, and spin.

The photoemission spectrometer utilizing the monochromatic laser achieves the energy resolution of 70  $\mu\text{eV}$ , which is the highest in the world. This enables us to directly observe the superconducting gaps and pseudo-gaps of novel superconductors and strongly-correlated materials, as well as the momentum-resolved electronic structures that are closely related to the transport properties of solids. We can also reveal the electron-phonon or -magnon interactions in solids. We are also performing time-resolved photoemission spectroscopy in order to know the photo-induced phenomena in superconductors, transition metal compounds, organic materials, and semiconductors. Furthermore, we are now developing photoelectron microscope in order to know the nano electronic structure in solids. Our aim is to have the nanometer size microscopy of electronic states.



2. 6 ナノメートルの超高空間分解能を持つレーザー光電子顕微鏡 (レーザー PEEM)

Laser Photoelectron microscopy (Laser PEEM) that has an ultrahigh spatial resolution of 2.6 nm.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 軟 X 線レーザー極超高分解能光電子分光による超伝導体、低次元物質、新物質等の電子状態の研究  
Ultra-high resolution laser-photoemission study on the superconductors and the low dimensional materials
2. 軟 X 線レーザー時間分解光電子分光による光誘起現象の研究  
Time-resolved laser-photoemission study on the photo-induced phenomena
3. 軟 X 線レーザー光電子顕微鏡によるナノ構造の電子状態の研究  
Laser photoelectron microscopy on the electronic states of nanomaterials

# 松田巖研究室

I. Matsuda Group



松田 巖  
MATSUDA, Iwao  
准教授  
Associate Professor



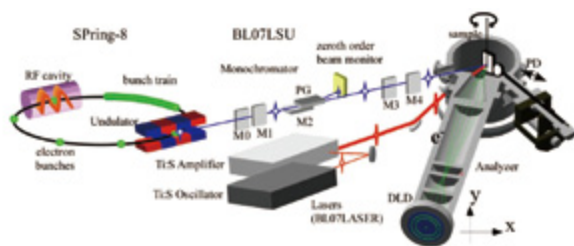
山本 達  
YAMAMOTO, Susumu  
助教  
Research Associate

高輝度放射光、X線自由電子レーザー、高次高調波レーザーを用いた真空紫外線～軟X線分光・散乱実験の技術開発を行い、単原子層及び表面／界面系を中心に物性研究を行っている。

放射光施設 SPring-8 軟X線ビームライン BL07LSU にて分割クロスアンジュレータの調整を行うと共に、その偏光スイッチング特性を活かした新しい磁気光学実験法の開発を行っている。X線自由電子レーザーと高次高調波レーザーによる共鳴磁気光学効果の時間分解測定を行い、磁性超薄膜及び界面層における超高速スピンドYNAMICS研究を実施している。

SPring-8 BL07LSU ではレーザーシステムも整備しており、光電子分光やX線吸収分光の時間分解実験を共同利用として実施している。触媒反応や起電力発生などのテーマで表面・界面系におけるキャリア及び分子ダイナミクス研究が行われている。さらに新しい機能性表面試料の研究も手がけ、ポロフェンの電子構造なども調べている。

光源それぞれの特性を利用してフェムト秒からミリ秒まで各時間スケールでの動的変化をリアルタイムで追跡してその詳細を明らかにすると共に、時系列情報をつなぎ合わせて各動的現象の全貌も理解する研究を推進している。



高輝度軟X線ビームライン SPring-8 BL07LSU における放射光と超短パルスレーザー (BL07LASER) を組み合わせた時間分解光電子分光実験システムの様子。

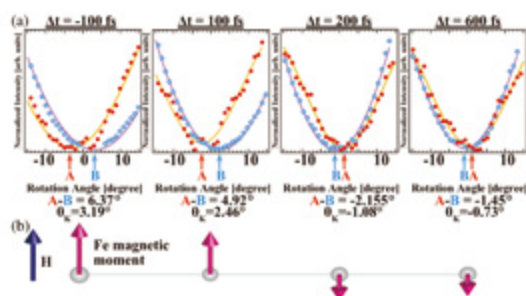
Overview of the time-resolved photoemission system at high-brilliance soft X-ray beamline, SPring-8 BL07LSU. Synchrotron radiation pulses, generated at an undulator, pass through a monochromator that is composed of mirrors (M) and a plane-grating (PG). A Ti:Sapphire laser system (BL07LASER) is installed at the beamline.

We develop experimental techniques using vacuum ultraviolet ~ soft X-ray, generated by high brilliance synchrotron radiation, X-ray free electron laser (XFEL), and high-harmonic generation (HHG) laser, to reveal physical properties of single atomic layers and surface/interface systems.

At SPring-8 BL07LSU, we operate the segmented cross undulator and develop the novel magneto-optical experimental technique using its function of the fast polarization switching. With XFEL and a HHG laser, ultrafast spin dynamics of magnetic ultrathin films and interface layers are investigated by time-resolved measurements of the resonant magneto-optical Kerr effect.

At the time-resolved spectroscopy station in SPring-8 BL07LSU, time-resolved measurements of photoemission and X-ray absorption spectroscopy were made with laser and synchrotron radiation. Through the joint-researches of catalysis and photovoltaics, dynamics of carriers and molecules at the surface/interface are studied. We also investigate functionalities in novel surface materials such as borophene.

With the temporal information collected by individual light sources at each time scale, ranging from femtoseconds to milliseconds, we promote understanding of the whole dynamic picture by combining the sequential information.



フェリ磁性 GdFeCo 合金の時間分解共鳴磁気光学カー効果の実験の結果。(a) 軟X線 FEL ( $h\nu = 53$  eV) でのエリプソメトリ測定の結果 (○) と三角関数でのフィッティング (実線)。赤と青のデータは互いに逆の磁場に対応している。(b) 実験結果から得られた外場 H に対する Fe の磁気モーメントの時間変化。フェムト秒の時間スケールでスピン反転が起きていることが分かる。

Time-resolved measurement of the resonant magneto-optical Kerr effect of the ferrimagnetic metallic GdFeCo alloy. (a) Experimental results (circles) of the intensity variation with rotation angle (ellipsometry) taken at  $h\nu = 53$  eV for soft X-ray FEL at each delay time shown in each figure with fitting by cosine curve (solid lines). Red and blue colored data were taken at the opposite directions of magnetic field. (b) A schematic diagram of the magnetization reversal dynamics of the Fe magnetic moment with respect to an external field H. The length of the arrows is scaled to the magnitude of the Kerr rotation angle at each delay time shown in (a). One can recognize reversal of the Fe spin in the femtosecond-time scale.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 時間分解軟X線分光実験の開発と表面ダイナミクスの研究  
Developments of time-resolved soft X-ray spectroscopy and researches on surface dynamics
2. 光電子分光法による金属および半導体表面上単原子層の電子状態研究  
Electronic structures of monatomic layers on metal and semiconductor surfaces studied by means of photoelectron spectroscopy
3. 超短パルス軟X線を用いた時間分解実験の開発と超高速スピンドYNAMICSの研究  
Development of time-resolved experiments using ultra-short soft X-ray pulses and researches on ultrafast spin dynamics

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

[http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kobayashi\\_group.html](http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kobayashi_group.html)

# 小林研究室

Kobayashi Group



小林 洋平  
KOBAYASHI, Yohei  
准教授  
Associate Professor



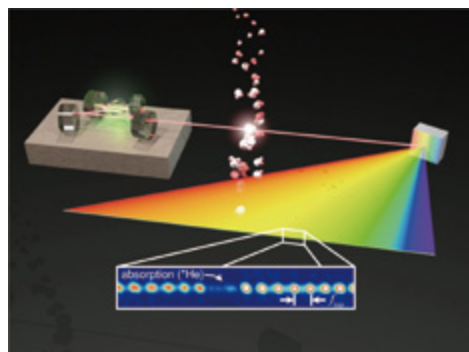
谷 峻太郎  
TANI, Shuntaro  
助教  
Research Associate

最先端レーザーの研究開発とそれを用いた精密・高強度光科学の研究を行っている。特に超短パルスレーザーと超狭帯域レーザーとの融合領域である光周波数コムおよびその応用手法の開発と、ハイパワーレーザーを用いたレーザー加工の学理の構築を中心課題としている。レーザー光源開発は Yb ドープセラミックやファイバーの技術を基に、超高繰り返し、超高平均パワーのレーザーシステムを近赤外、中赤外、紫外、真空紫外の波長領域において開発している。超高繰り返しの方では縦モード一本ずつを分離し制御できるフェムト秒レーザーを実現し、超高平均パワーの方ではフェムト秒レーザーをベースとした高輝度コヒーレント真空紫外光を発生させている。光源応用として光電子分光、光原子時計、天文、医療に関する研究を行っている。またレーザー加工の素過程となる光と物質の相互作用において、フェムト秒からミリ秒におよぶマルチスケールな現象が如何に繋がっているのかについて研究し、レーザー加工の学理構築に取り組んでいる。なぜものは切れるのか?を知りたい。

We are developing advanced laser technologies and their applications. Both ultimate technologies of ultrashort pulse generations and ultra narrow-band laser generations were mixed, the optical frequency comb then was born. It opened up a new research area such as carrier-envelope-phase dependent phenomena, attosecond physics, and precision spectroscopy by using a femto-second light source. It also realized the high-repetition and high-intensity physics. It could create wide field of applications in the physics, metrology, medical science, and astronomy.

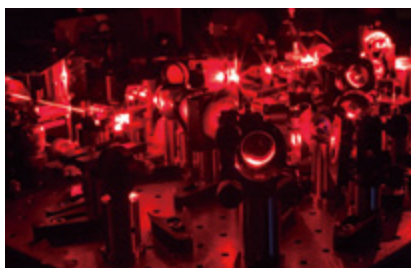
We are developing an Yb-fiber laser-base optical frequency comb, XUV frequency comb, and high-power fiber chirped pulse amplifier system for these applications. The high-repetition-rate laser system will be applied for a calibration of a spectrograph in an observatory or an arbitrary waveform generation in an optical field, or a breath diagnosis.

In addition, we are studying the fundamental processes of laser processing and bridging the gap between them and industrial applications.

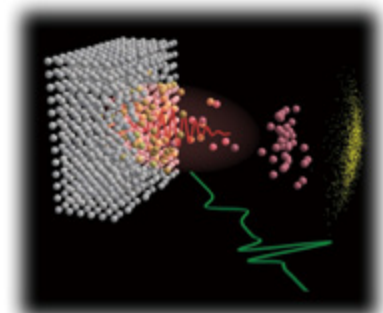


光周波数コムによる原子分光。自作超高エネルギー分解分光器と超高繰り返しモード同期レーザーとの組み合わせにより縦モード1本ずつが分離された分光が可能となった。図はメタステーブルHeの縦モード分解分光の例。

Optical frequency comb based ultra-high precision spectroscopy. The combination of ultra-high repetition-rate laser and ultra-high resolution spectrograph makes it possible to resolve each comb tooth to detect the meta-stable He atom.



オフセットフリー光周波数コム  
Offset-free optical frequency comb.



レーザー加工過程のサブピコ秒時間分解測定

Measurement of laser processing dynamics with sub-picosecond time resolution.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 超短パルスレーザーシステムの研究開発及びレーザーの超精密制御  
Development and precise control of ultrashort pulse laser systems
2. 高繰り返し－高強度物理  
High-rep rate, high-field physics
3. 光周波数コムの天文・医療・標準応用  
Astronomical, medical, and metrological application of the optical frequency comb
4. レーザー加工の学理  
Fundamental understanding on laser processing

# 板谷研究室

Itatani Group

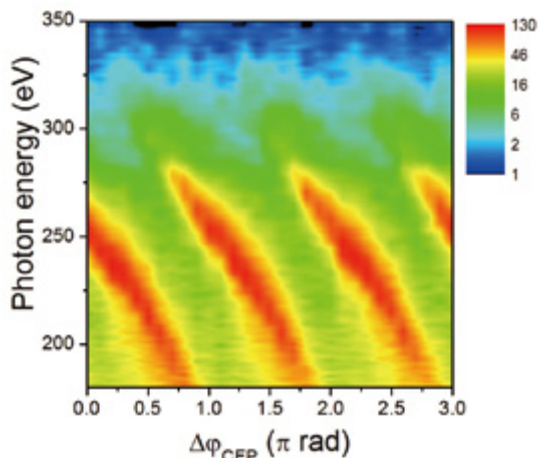


板谷 治郎  
ITATANI, Jiro  
准教授  
Associate Professor



石井 順久  
ISHII, Nobuhisa  
助教  
Research Associate

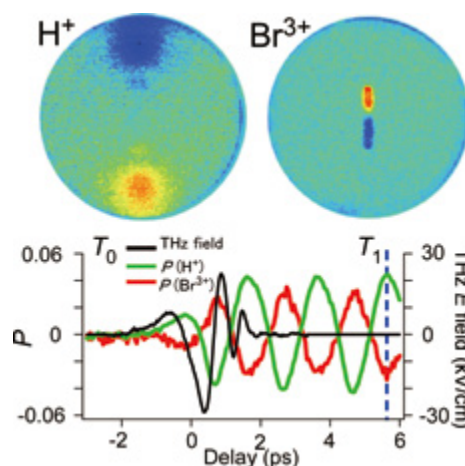
本研究室では、高強度極短パルスレーザーの開発と、それを用いたアト秒からフェムト秒領域の超高速分光に関する研究を行っている。光源開発に関しては、光電場の数周期程度の高強度極短パルス光の発生と電場波形の制御、中赤外からテラヘルツ領域での高強度光電場の発生に関する研究を行っている。また、高次高調波によるアト秒軟 X 線パルス発生に関する研究も進めている。分光応用に関しては、高強度光電場やアト秒軟 X 線パルスを用いた新規分光手法の開拓や、高強度光電場を用いた原子・分子における超高速現象の観測と量子制御、固体のフェムト秒軟 X 線分光に関する研究を行っている。位相制御された高強度超短パルスレーザーとその波長変換を基盤技術とすることによって軟 X 線からテラヘルツにわたる広い周波数領域においてタイミング同期した光パルスの発生が可能であるため、物質の励起状態における動的過程を様々な自由度を通して実時間観測し、さらには光で制御することを目指している。



高強度赤外レーザーで発生した高次高調波の「水の窓」領域の軟 X 線スペクトルの CEP 依存性

CEP dependences of soft-X-ray high harmonic spectra in the water window produced by an intense IR laser system.

We work on the development of intense ultrashort-pulse lasers and their applications to ultrafast spectroscopy on femto- to attosecond time scales. As for the light-source development, we work on the methodology to produce waveform-controlled intense optical pulses and to extend their spectral range towards mid-infrared and THz regions. For the spectroscopic applications, we work on novel methods using strong optical fields and attosecond soft-X-ray pulses aiming for dynamic molecular imaging with attosecond and Angstrom precisions, and also on femtosecond soft-X-ray spectroscopy of solids. By using phase-controlled intense ultrafast light sources and frequency conversion, we expect to produce optical pulses in extremely wide spectral ranges with precise synchronization. We aim to use such ultrabroadband coherent light for observing and controlling the dynamics of non-equilibrium states of matters through various freedoms.



高強度テラヘルツパルスによって誘起された HBr 分子内の回転波束と、観測された分子配向。

Time evolution of rotational wavepackets in HBr molecules (lower panel) and achieved molecular orientation (above panels).

## 研究テーマ Research Subjects

1. 高強度超短パルスレーザーの開発  
Development of intense ultrashort-pulse lasers
2. アト秒物理学  
Attosecond physics
3. 高強度光電場を用いた超高速現象の観測と量子制御  
Observation and coherent control of ultrafast phenomena using strong optical fields
4. 固体の超高速軟 X 線分光  
Soft-X-ray ultrafast spectroscopy of solids

# 原田研究室

Harada Group



原田 慈久  
HARADA, Yoshihisa  
准教授  
Associate Professor



宮脇 淳  
MIYAWAKI, Jun  
助教  
Research Associate

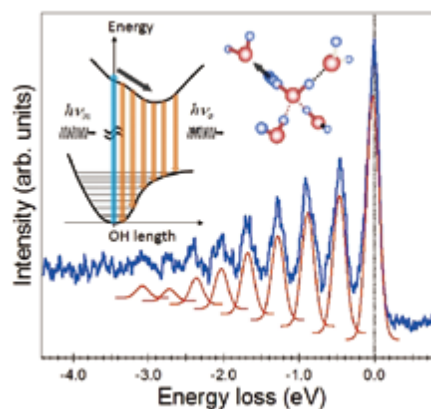
当研究室では、世界最高輝度のX線源である SPring-8 において‘軟X線’と呼ばれる光を用いて新しい分光法を開拓し、物質の電氣的、磁氣的性質、光学応答を司る電子状態をその成因に遡って調べる研究を行っている。特に光散乱の一種である軟X線発光分光の将来性に着目し、モット絶縁体、新規高温超電導体等の強相関物質における素励起（結晶場励起、スピン励起、マグノン励起、電荷密度波励起、軌道波励起など）の直接観測とその成因の研究、水溶性液体、固液界面の電子状態とマイクロ不均一性の観測、電池触媒の表面反応解析、光触媒反応解析のためのその場分析装置の開発、金属タンパク質の電子状態解析など、軟X線発光分光を適用しうる限りの極めて幅広い物質群を研究対象としている。また基礎光学研究として軟X線発光分光の超高エネルギー分解能化と時間分解分光に向けたR&Dを行っている。



当研究室が SPring-8 の東京大学放射光アウトステーションビームライン BL07LSU で独自に開発した 50 meV の高エネルギー分解能を持つ角度分解軟X線発光分光装置。

High energy resolution soft X-ray angle resolved emission spectrometer constructed for University of Tokyo outstation beamline BL07LSU in SPring-8.

We explore the origin of the electronic structure of materials responsible for their electronic, magnetic and optical property using intense and energy tunable X-ray source: SPring-8, one of the most brilliant synchrotron facilities in the world. We have developed novel spectroscopies for material science in ‘soft’ X-ray region. We are leading the world’s soft X-ray emission spectroscopy, a kind of light scattering promising for electronic structure analyses of liquids and operando spectroscopy of a variety of catalysts. Our topics include study on elementary excitations (crystal field excitation, spinon, magnon, charge density wave, orbiton etc.) in strongly correlated materials like Mott insulators and novel high Tc superconductors, electronic structure analysis of aqueous solutions, interaction at solid-liquid interfaces, surface reaction of fuel cell catalysts, electronic structure analysis of reaction center in metalloproteins, electrochemical and photocatalytic reactions. We also explore basic study on ultrahigh energy resolution optics for soft X-ray emission and time-resolved spectroscopy.



高分解能軟X線発光分光で捉えた純水 (H<sub>2</sub>O) の多重振動モード。水素結合で形成されたポテンシャルを反映した高次の振動エネルギー分布がOHの乖離するところまで全て観測されている。この手法を用いて液体の水の中にマイクロ不均一性が存在することが裏付けられた。

High order vibrational excitations of H<sub>2</sub>O observed by the high energy resolution soft X-ray emission spectrometer. The energy separation reflects the potential profile of hydrogen bonding. Using soft X-ray emission we confirmed the presence of a microheterogeneity in pure liquid water.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 水溶性液体の電子状態とマイクロ不均一性、固液界面の相互作用に関する研究  
Electronic structure analysis of aqueous solutions to study microheterogeneity and interaction at solid-liquid interfaces
2. 燃料電池触媒の表面反応解析、電気化学反応、光触媒反応解析、金属タンパク質の機能解析のためのその場分析手法の開発  
Development of in situ soft X-ray spectroscopy for surface reaction of fuel cell catalysts, electrochemical reaction, photocatalytic reaction and functionality of metalloproteins
3. モット絶縁体、新規高温超電導体等の強相関物質における素励起（結晶場励起、スピン励起、マグノン励起、電荷密度波励起、軌道波励起など）の直接観測とその成因の研究  
Study on the origin and observation of elementary excitations (crystal field excitation, spinon, magnon, charge density wave, orbiton etc.) in strongly correlated materials like Mott insulators and novel high temperature superconductors.
4. 軟X線発光分光の超高エネルギー分解能化と時間分解分光のための基礎光学研究  
Basic study on ultrahigh energy resolution optics for soft X-ray emission and time-resolved spectroscopy

# 和達研究室

Wadati Group



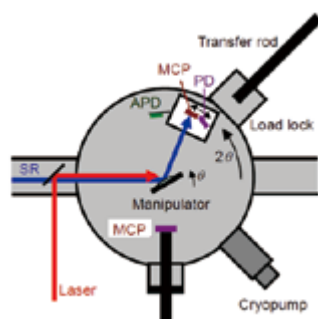
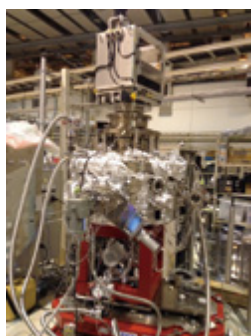
和達 大樹  
WADATI, Hiroki  
准教授  
Associate Professor



平田 靖透  
HIRATA, Yasuyuki  
助教  
Research Associate

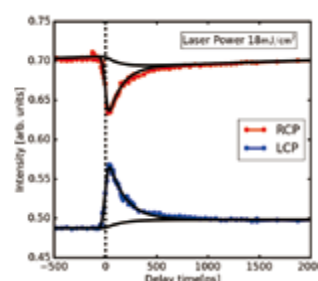
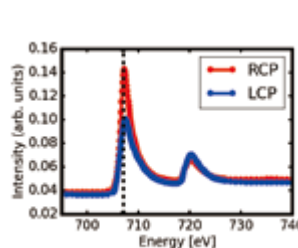
当研究室では SPring-8 などの放射光 X 線を用い、遷移金属化合物などの電子相関の強い物質に対し、その電子状態、秩序状態、ダイナミクスなどを調べる研究を行っている。主に用いている実験手法は共鳴軟 X 線回折であり、これは物質の構成元素の吸収端のエネルギーを持つ X 線による X 線回折である。薄膜やナノ構造など微小試料でも磁気構造が決定できるなど、これまでの回折実験の常識を大きく打ち破ることができる。この手法により、強相関電子系で見られる高温超伝導や巨大磁気抵抗効果などを引き起こす物質内部の秩序状態の直接観測する。さらには、放射光 X 線や SACLA などの X 線自由電子レーザーの時間構造を用い、ピコ秒からフェムト秒領域での動的プロセスを実時間で観測する。以上によって物性発現のメカニズムを解明し、強相関電子系における新たな物性や現象を模索する。

We investigate the electronic structures, ordered states, and dynamics of strongly correlated materials, such as transition-metal compounds, by using x-rays from synchrotron radiation (e.g. SPring-8). Our main experimental technique is resonant soft x-ray diffraction, that is, x-ray diffraction performed by tuning the x-ray energy at the absorption edge of the constituent element. One can determine detailed magnetic structures of extremely small samples including thin films and nanostructures. By this technique we study ordered states in materials which show anomalous behaviors such as superconductivity and giant magnetoresistance. We will further extend this technique to time-resolved measurements by using time structures of synchrotron x-rays and x-ray free electron laser (e.g. SACLA), and directly measure the dynamical processes. These studies will reveal the mechanisms of anomalous behaviors and contribute to search for novel properties and phenomena in strongly correlated electron systems.



SPring-8 BL07LSU における共鳴軟 X 線回折装置。

Resonant soft x-ray diffraction instruments installed at BL07LSU, SPring-8.



強磁性薄膜の時間分解測定。レーザー照射による消磁と回復の過程を示す。

Time-resolved measurements of ferromagnetic thin films. This shows the demagnetization and recovery processes under laser illumination.

## 研究テーマ Research Subjects

- 共鳴軟 X 線回折による強相関電子系の秩序状態の研究  
Resonant soft x-ray diffraction study of ordered states in strongly correlated electron systems
- 時間分解共鳴軟 X 線回折の開発  
Development of time-resolved resonant soft x-ray diffraction systems
- 軟 X 線を用いた新しい分光手法の開発  
Development of novel spectroscopic techniques by using soft x-rays

# 近藤研究室

Kondo Group



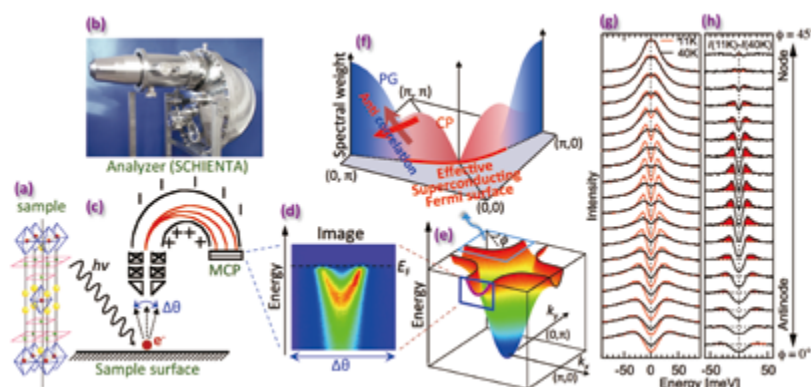
近藤 猛  
KONDO, Takeshi  
准教授  
Associate Professor



黒田 健太  
KURODA, Kenta  
助教  
Research Associate

固体中の電子状態を逆空間で描くバンド構造は、物質のあらゆる電子物性を理解する上での基礎を与える。角度分解光電子分光は、光を物質に照射して飛び出す光電子を角度及びエネルギーの関数としてイメージングすることでバンド構造を可視化する強力な実験手法である。この技術をベースとして、バンドが持つスピン構造をスピン分解によって選り分け、さらには、パルス光で瞬間的に非平衡状態へと乱された電子系が再び冷えて秩序化するダイナミクスをフェムト秒スケールで観測（時間分解）することで、多彩な電子物性がバンド構造を通して見えてくる。当研究室では、このような卓越した光電子分光技術を駆使して、非従来型の（高温）超伝導体、遍歴と局在の狭間で織りなされる重い電子系や電子相関系物質、強いスピン軌道相互作用に起因して発現するトポロジカル量子相、及び固体表面や薄膜で制御する量子井戸構造などの電気磁気物性を、直接観察で得られるバンド構造を舞台に研究する。さらには、ヘリウム3クライオスタットや極限レーザー光源を用いて、最低到達温度及びエネルギー分解能で共に世界最高性能となる角度分解光電子分光装置を開発し、フェルミ準位極近傍で生じる微細な電子構造（エネルギーギャップや素励起カップリング構造）を解明する。

The momentum-resolved band structure provides fundamental information to understand the electronic properties of materials. The angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) is a powerful technique to visualize the band structure by mapping the intensities of photoelectrons as a function of angle and energy. With the spin-resolved technique, we can also identify the spin-polarized character of the band. In addition, the time-resolved ARPES realized with a pump-probe technique can track the reordering process of electron system from its nonequilibrium state. In our laboratory, we utilize these various ARPES techniques and study the following phenomena: nonconventional superconductors, heavy fermions, strongly correlated systems, topological quantum phases, and quantum well states. Furthermore, we develop a new ARPES machine capable of achieving both the lowest measurement temperature and the highest energy resolution in the world by innovating a  $^3\text{He}$  cryostat and a laser source. The state-of-art equipment will enable us to identify even a subtle electronic feature close to the Fermi level, such as an energy gap and a mode-coupled dispersion, which is typically tied to exotic behaviors of conduction electrons.



(a) 銅酸化物高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$  の結晶構造。(b) 光電子アナライザー。(c) 角度分解光電子分光実験の模式図。(d) バンド分散のスナップショット。(e) バンド構造の全体図。(f) フェルミ面周りで描く超伝導と擬ギャップの競合関係。(g) 超伝導転移温度 ( $T_c$ ) より高温（黒線）と低温（赤線）で測定したフェルミ面周りのスペクトル。(h) (g) で示すスペクトルの  $T_c$  上下での差分。超伝導成分が赤で塗られており、(f) で模式的に示す赤の領域と対応する。

(a) Crystal structure of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$  high- $T_c$  superconductor. (b) ARPES analyzer. (c) Diagram of ARPES experiment. (d) Snapshot of dispersion image. (e) Whole band structure. (f) Competition between superconducting gap and pseudogap. (g) Spectra around Fermi surface below (red) and above (black) superconducting transition temperature ( $T_c = 35$  K). (h) Difference between the curves in (g). Coherent spectral weight is painted with a red color, which is corresponding to the red region represented in (f).

## 研究テーマ Research Subjects

1. 極限レーザーを励起光源とする超高分解能角度分解光電子分光装置の開発  
Development of a laser-excited ARPES system with ultra-high energy resolution
2. 角度分解・スピン分解・時間分解光電子分光で見る超伝導やトポロジカル量子相  
Superconductivity and topological quantum phase investigated by angle-, spin-, and time-resolved photoemission spectroscopy
3. 放射光を利用した光電子分光で研究する強相関電子系物理  
Strongly correlated physics studied by photoemission with synchrotron radiation

# 松永研究室

Matsunaga Group



松永 隆佑  
MATSUNAGA, Ryusuke  
准教授  
Associate Professor

テラヘルツから赤外・可視・紫外領域にわたるコヒーレント光源を用いて、物質の光応答と、光電場によって物質中に誘起される非平衡状態の性質を調べる。特にテラヘルツ周波数帯は光子エネルギーで数 meV 程度に相当し、物性物理学において重要なフェルミ面近傍の電磁気応答を通して物質中の素励起を探る有効な手法となっている。さらに近年開発された極めて高い電場尖頭値を持つ高強度テラヘルツ波を駆使することで、余剰エネルギーを与えることなく低エネルギーの素励起を共鳴的に強く励起する、あるいは物質中の素励起よりもさらにエネルギーの低い光電場による非共鳴的励起によってコヒーレントな相互作用を調べることが可能になる。テラヘルツ発生及び検出技術と非線形分光測定手法を開発するとともに、超伝導や反強磁性のような多体系の秩序に現れる集団励起、非線形応答や非平衡状態でのみ現れる物質の新たな状態を調べ、その機能性を明らかにする。

We investigate light-matter interactions and light-induced nonequilibrium phenomena in materials by utilizing terahertz wave, infrared, visible, and ultraviolet coherent light sources based on ultrafast pulsed laser technology. Especially terahertz spectroscopy can unveil low-energy responses of materials on the order of millielectronvolts which include essential information for dynamical motions of electron, phonon, or spin degrees of freedom in condensed matter physics. Recently-developed intense terahertz pulse generation technique has also opened a new pathway toward optical control of materials by strong resonant or off-resonant excitation. In addition to the development of terahertz generation and detection technique and novel nonlinear spectroscopy scheme, we will contribute on the study for cooperative behaviors in many-body systems like superconductivity or antiferromagnetism and seek hidden transient phases of matters in nonequilibrium system to reveal the functionality of materials.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 光電場で強励起された非平衡系の超高速ダイナミクスの研究  
Nonequilibrium dynamics of materials induced by strong light field
2. テラヘルツ発生 / 検出技術開発、多次元時間分解テラヘルツ測定系の開拓  
Development of terahertz generation, detection, and multi-dimensional time-resolved spectroscopy
3. 超伝導に代表される多体系の集団励起・協同現象の解明  
Study of collective excitations and cooperative phenomena in many-body system

# 岡崎研究室

Okazaki Group



岡崎 浩三

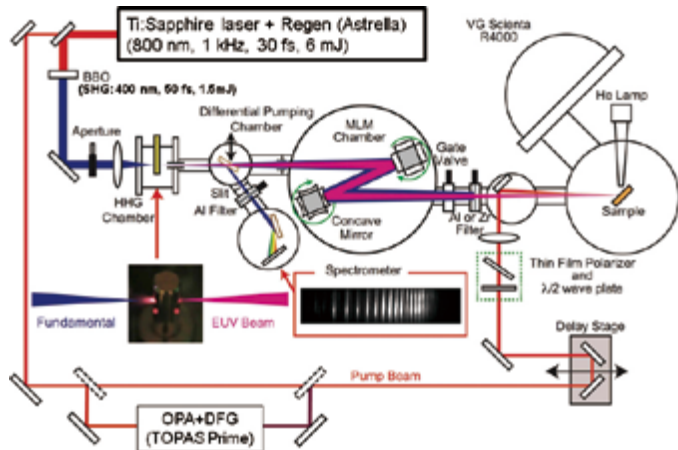
OKAZAKI, Kozo

特任准教授

Project Associate Professor

角度分解光電子分光は物質中の電子の運動量とエネルギーの分散関係（バンド構造）を直接観測できる強力な実験手法であるが、フェムト秒レーザーをポンプ光、その高次高調波をプローブ光として用いることで、非平衡状態におけるバンド構造の超高速の過渡特性も観測できるようになる。本研究室では、レーザー開発の研究室と共同で超短パルス高次高調波レーザーを用いた時間分解光電子分光装置の開発・改良を進め、ポンプ・プローブ時間分解光電子分光によって、光励起状態からの電子の緩和過程の直接観測、光誘起相転移に伴う電子状態の変化の直接観測等を行い、励起状態からの電子の緩和機構の解明や光誘起超伝導の直接観測による実証を目指している。また、エネルギー分解能 70  $\mu\text{eV}$ 、最低測定温度 1 K という世界最高性能を有するレーザー角度分解光電子分光装置を用いて、非従来型超伝導体の電子構造、超伝導ギャップ構造を直接観測することで非従来型超伝導の機構解明を目指している。

Angle-resolved photoemission spectroscopy is a very powerful experimental technique that can directly observe a dispersion relation between momentum and energy of the electrons in solid-state materials, whereas by utilizing a femto-second laser as pumping light and its high harmonic generation (HHG) as probing light, we can observe ultrafast transient properties of the band structures in a non-equilibrium state. In our group, we are developing and improving a time-resolved photoemission apparatus that utilizes high harmonic generation of an ultrashort-pulse laser in collaboration with laser development groups, and aiming for understanding the mechanisms of electron relaxations from photo-excited states and demonstration of light-induced superconductivity by direct observations of transient electronic states using pump-probe type time-resolved photoemission spectroscopy (TrPES). In addition, we are aiming for understanding the mechanisms of unconventional superconductivity by direct observations of the electronic structures and superconducting-gap structures of unconventional superconductors with a laser-based angle-resolved photoemission apparatus with a world-record performance that achieves a maximum energy resolution of 70  $\mu\text{eV}$  and lowest cooling temperature of 1 K.

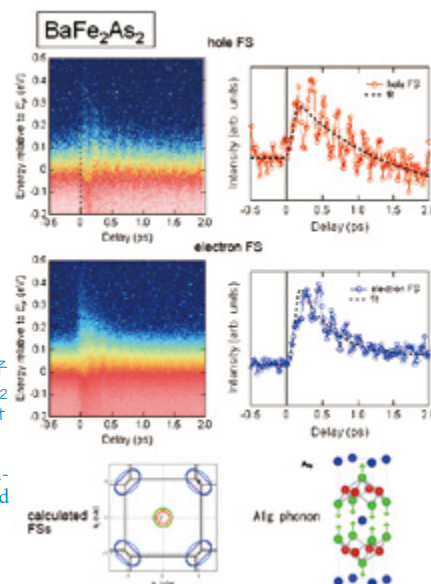


高次高調波レーザーを用いた時間分解光電子分光装置の概略図

Schematic diagram of a time-resolved photoemission apparatus utilizing a femtosecond laser and its high harmonic generation.

高次高調波時間分解光電子分光で観測された  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  におけるコヒーレントフォノン励起

Coherent phonon excitation in  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  observed by HHG TrPES.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 高次高調波レーザーを用いた時間分解光電子分光装置の開発  
Development of a time-resolved photoemission apparatus utilizing high harmonic generation from a ultrashort-pulse laser
2. 光励起状態からの物質中の電子の緩和機構の解明、光誘起超伝導の直接観測  
Mechanisms of electron relaxation from photo-excited states and light-induced superconductivity
3. 極低温超高分解能レーザー角度分解光電子分光による非従来型超伝導体の機構解明  
Mechanisms of unconventional superconductivities by ultralow temperature and ultrahigh resolution laser-based angle-resolved photoemission spectroscopy

## 吉田研究室

Yoshida Group



吉田 鉄平  
YOSHIDA, Teppei  
客員教授  
Visiting Professor

高温超伝導体を中心に遷移金属酸化物の強相関電子状態を光電子分光法により研究している。これらの物質では多体相互作用の影響を受けた電子構造をもち、高温超伝導、軌道秩序、モット転移などの多彩な物性を示す。高温超伝導の起源に迫るために、我々は角度分解光電子分光のスペクトル形状の分析を進め、クーパー対の情報を得ることを目指している。また、ルテニウム酸化物の電子軌道に伴う新奇な物性を解明するため、軌道秩序をともなったモット転移近傍の電子状態の研究している。物性研究所の辛研究室を中心に各研究室と協力しながら物性研 LASOR の最先端のレーザー光電子分光を用いて、これらの強相関電子状態の解明を目指す。

Strongly correlated electronic structures in transition-metal oxides such as high- $T_c$  superconductors are studied by photoemission spectroscopy. These materials have the electronic structures with many-body interactions and show rich physical properties such as high- $T_c$  superconductivity, orbital order and Mott transition. In order to approach the origin of the high- $T_c$  superconductivity, we are analyzing the spectral line shape of the ARPES spectra and try to obtain the information of the Cooper pairs. On the other hand, in order to clarify novel physical properties arising from the character of electron orbitals in ruthenium oxides, we are investigating the electronic structure in the vicinity of Mott transition with orbital order. In collaboration with Prof. Shin and various laboratories in ISSP, we try to elucidate these correlated electronic states using the state-of-the-art laser photoemission spectroscopy at LASOR.

## ダンジェロ研究室

D'angelo Group



ダンジェロ マリー デルフィーヌ  
D'ANGELO, Marie Delphine  
外国人客員教授  
Visiting Professor

シリコンカーバイド (SiC) はワイドギャップ半導体であり、高温・高パワー・高周波数エレクトロニクス材料として適している。その表面物性は技術応用の上で重要であるだけでなく、表面そのものも豊かな現象を示し、1次元構造の形成や水素誘起金属化、可逆金属-絶縁体転移などが報告されている。そこで我々は物性研松田巖研究室と共同で SiC 結晶の時間分解光電子分光測定を元に、そのキャリアダイナミクスを明らかにする研究を行った。実験は SPring-8 BL07LSU において様々な 3C-SiC(001) 再構成表面を対象に実施した。その結果、実験データから2種類の動的プロセスがあることが分かった。1つ目はピコ秒の時間スケールにあり、これは実験に起因するものであった。すなわち光電子の空間電荷効果によって内殻準位ピークは低い結合エネルギー側へシフトした。2つ目は SiC 試料表面に由来し、ミリ秒時間スケールで表面光起電力効果による内殻準位ピークの高結合エネルギーシフトがあった。ワイドギャップ半導体の表面ダイナミクス研究はこれまでほとんどなく、今後これらの成果から新たな研究展開が期待される。

Silicon carbide (SiC) is a wide band gap semiconductor particularly suitable for high temperature, high power and high frequency electronics. Understanding the surface properties has been significant to develop technical applications and it has also attracted academic interests due to rich surface physics such as formation of one-dimensional nanostructures, hydrogen-induced metallization, and reversible semiconductor-metal transition. With the group of Prof. Iwao Matsuda in the Institute for Solid State Physics, we performed the first time-resolved photoemission experiments on a SiC crystal to reveal carrier dynamics at the surface. The measurement was made at SPring-8 BL07LSU with various 3C-SiC(001) surface reconstructions. We could evidence two dynamical phenomena having different time-scales: at the picosecond scale, the space-charge effect leads to a decrease of the binding energy of the analyzed photoelectrons whereas at microsecond scale, the surface photo-voltage leads to a flattening of the bands and to an increase of the binding energy. These results open new science of surface dynamics in wide band gap semiconductors.

## 軌道放射物性研究施設 / 播磨分室 Synchrotron Radiation Laboratory / Harima Branch

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/sor/index.html>

教授 (施設長)	辛 埴	Professor (Director) : SHIN, Shik
教授	小森 文夫	Professor : KOMORI, Fumio
准教授	松田 巖	Associate Professor : MATSUDA, Iwao
准教授	原田 慈久	Associate Professor : HARADA, Yoshihisa
准教授	和達 大樹	Associate Professor : WADATI, Hiroki
教授(外国人客員)	ダニエル・マリ・デルフィヌ	Visiting Professor : D'ANGELO, Marie Delphine
助教	山本 達	Research Associate : YAMAMOTO, Susumu
助教	矢治 光一郎	Research Associate : YAJI, Koichiro
助教	宮脇 淳	Research Associate : MIYAWAKI, Jun
助教	平田 靖透	Research Associate : HIRATA, Yasuyuki

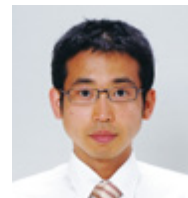
技術専門員	福島 昭子	Technical Associate : FUKUSHIMA, Akiko
技術専門職員	澁谷 孝	Technical Associate : SHIBUYA, Takashi
技術専門職員	原沢 あゆみ	Technical Associate : HARASAWA, Ayumi
技術専門職員	工藤 博文	Technical Associate : KUDO, Hirofumi
研究支援推進員	藤澤 正美	Technical Staff : FUJISAWA, Masami
特任研究員	赤田 圭史	Project Researcher : AKADA, Keishi
特任研究員	尾嶋 正治	Project Researcher : OSHIMA, Masaharu
特任研究員	田久保 耕	Project Researcher : TAKUBO, Kou
特任研究員	崔 藝濤	Project Researcher : CUI, Yitao
特任研究員	唐 佳藝	Project Researcher : TANG, Jiayi
特任研究員	山添 康介	Project Researcher : YAMAZOE, Kosuke
特任研究員	山本 真吾	Project Researcher : YAMAMOTO, Shingo

軌道放射物性研究施設 (SOR 施設) は高輝度放射光を利用した先端的物性研究や新しい実験技術の開発・研究を共同で行っている。SPring-8 に設置された播磨分室では、同放射光施設に世界最高性能の高速偏光スイッチング軟 X 線アンジュレータビームライン (東京大学放射光アウトステーション物質科学ビームライン BL07LSU) を整備し、高輝度軟 X 線放射光を利用する最先端の物性科学研究を推進している。播磨分室スタッフは、先端軟 X 線分光技術の開発と新物質・新材料の電子状態研究を行うために、時間分解軟 X 線分光実験ステーション、高分解能軟 X 線発光分光ステーション、3 次元ナノエスカステーション、軟 X 線磁気光学カー効果ステーション、軟 X 線回折ステーションを立ち上げ、全国共同利用だけでなく、海外からの共同利用も受け付けている。一方、柏の E 棟においては、レーザーグループとの共同研究の基に、真空紫外・軟 X 線レーザー光源を用いた超高分解能スピン偏極光電子分光装置を建設し、全国共同利用に提供している。



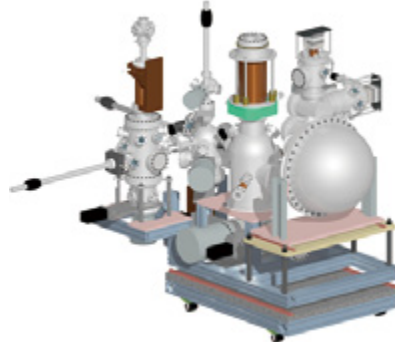
SPring-8 BL07LSU の 8 台の Figure-8 アンジュレーター。本挿入光源より連続偏角可変型不等刻線間隔平面回折格子分光器を経て、各実験ステーションに高輝度軟 X 線が供給される。

Figure-8 undulators installed in SPring-8, which provide high-brilliance synchrotron radiation into the beamline BL07LSU.



矢治 / YAJI

The synchrotron radiation laboratory (SRL) is promoting advanced solid state spectroscopy using synchrotron radiation in soft X-ray and vacuum ultraviolet region. SRL operates a branch laboratory at SPring-8 to maintain the high-brilliance soft X-ray beamline BL07LSU of the University of Tokyo, where time-resolved soft X-ray spectroscopy, high-resolution soft X-ray emission spectroscopy, 3D (depth + 2D microscopy) nanoESCA, X-ray magneto-optical effect, and soft X-ray diffraction are utilized to study electronic states and dynamics in new materials. SRL developed the fast polarization switching of the undulator light source in cooperation with SPring-8. In the building E at Kashiwa campus, SRL developed the ultra-high resolution spin-resolved photoemission spectroscopy using vacuum ultraviolet and soft X-ray lasers in collaboration with laser light source scientists in ISSP.



E 棟における高効率スピン VLEED 検出器を備えたレーザー励起高分解能電子分光装置。

A laser-excited spin-resolved photoemission spectrometer with VLEED spin detector, which enables us to measure spectra with very high energy and momentum resolutions.

# 共通施設

## Supporting Facilities

物性研究所には研究活動を円滑に進めていくために、いくつかの共通施設が設けられている。低温実験に不可欠な液体ヘリウムや液体窒素を製造・供給する低温液化室、様々な機械工作を行う工作室、X線装置や放射性試料の管理を行う放射線管理室、本や雑誌を多数取り揃え、科学文献や情報の供覧・管理を行う図書室、研究上頻繁に必要な実験用の消耗品や文具類を多数取り揃えたストックルーム、物性研究所に在籍する外国人研究者に関する様々な業務を助ける国際交流室、ネットワーク関連の管理運用やサポートを行う情報技術室、物性研究所における様々な情報の発信を担当する広報室などである。これらの共通室の運営は、それぞれ対応する委員会の委員長が責任者となり、担当の職員により実際の業務が行われる。

We have various facilities in order to support research activities. Cryogenic Service Laboratory for supplying liquid helium and liquid nitrogen, Machine Shop for various machining, Radiation Laboratory for the safety in experiments that utilize X-ray, γ-ray and radioactive materials, Library, Stock Room, International Liaison Office for supporting foreign researchers, Information Technology Office for handling and supporting network related matters, and Public Relations Office. In each facility, several staff members are working under supervision of the corresponding committee.

低温液化室 Cryogenic Service Laboratory	低温委員長 Chairperson	山下 穰 YAMASHIYA, Minoru	技術専門職員 Technical Associate	土屋 光 TSUCHIYA, Hikaru	学術支援職員 Technical Associate	野村 未来 NOMURA, Miku
			技術専門職員 Technical Associate	鷺山 玲子 SAGIYAMA, Reiko		
工作室 Machine Shop	工作委員長 Chairperson	金道 浩一 KINDO, Koichi	技術職員 Technical Associate	岡部 清信 OKABE, Kiyonobu	事務補佐員 Administrative Staff	高木 明子 TAKAGI, Akiko
			学術支援職員 Technical Associate	田中 祐介 TANAKA, Yusuke	研究支援推進員 Technical Staff	村貫 静二 MURANUKI, Seiji
放射線管理室 Radiation Safety Laboratory	放射線管理委員長 Chairperson	森 初果 MORI, Hatsumi	技術専門員 Technical Associate	野澤 清和 NOZAWA, Kiyokazu		
図書室 Library	図書委員長 Chairperson	吉信 淳 YOSHINOBU, Jun	係長 (柏地区図書課 研究情報係所属) Administrative Staff	内藤 裕美子 NAITO, Yumiko	事務補佐員 Administrative Staff	久保嶋 智子 KUBOSHIMA, Tomoko
			主任 (柏地区図書課 研究情報係所属) Administrative Staff	中曽根 恵美 NAKASONE, Emi		
ストックルーム Stock Room	管理委員長 Chairperson	益田 隆嗣 MASUDA, Takatsugu	予算・決算係 Administrative Staff(Finance and Accounting Section)			
国際交流室 International Liaison Office	国際交流室長 Chairperson	小森 文夫 KOMORI, Fumio	事務補佐員 Administrative Staff	亀田 秋子 KAMEDA, Akiko	事務補佐員 Administrative Staff	橋口 文乃 HASHIGUCHI, Ayano
			事務補佐員 Administrative Staff	山内 敦子 YAMAUCHI, Atsuko	事務補佐員 Administrative Staff	石口 祐子 ISHIGUCHI, Yuko
情報技術室 Information Technology Office	担当所員 Chairperson	野口 博司 NOGUCHI, Hiroshi	技術専門職員 Technical Associate	矢田 裕行 YATA, Hiroyuki	学術支援専門職員 Technical Associate	荒木 繁行 ARAKI, Shigeyuki
			技術専門職員 Technical Associate	福田 毅哉 FUKUDA, Takaki		
広報室 Public Relations Office	拡大広報委員長 Chairperson	森 初果 MORI, Hatsumi	学術支援職員 Technical Associate	餅田 円 MOCHIDA, Madoka	総務係 Administrative Staff(General Affairs Section)	
	URA Contact Person	鈴木 博之 SUZUKI, Hiroyuki	技術補佐員 Technical Staff	石塚 みづゑ ISHIZUKA, Mizue	共同利用係 Administrative Staff(Joint Research Section)	

## 低温液化室 Cryogenic Service Laboratory

低温委員長 山下 穰 Chairperson : YAMASHITA, Minoru  
 技術専門職員 土屋 光 Technical Associate : TSUCHIYA, Hikaru  
 技術専門職員 鷺山 玲子 Technical Associate : SAGIYAMA, Reiko  
 学術支援職員 野村 未来 Technical Associate : NOMURA, Miku

低温液化室は液体ヘリウムと液体窒素を供給し、あわせて低温技術に関するサービスや柏キャンパス全体の高圧ガスボンベの管理も行っている。液体ヘリウムは物性研究に必要で、研究者や学生に供給される。蒸発したヘリウムガスは回収し、精製して再液化に利用する。2016年度の液体ヘリウムの生産量と供給量はそれぞれ約 328,000 L、234,135 L である。液体窒素は外部より購入し、供給している。2016年度の液体窒素の使用量は 971,289 L となっている。

Cryogenic Service Laboratory (1) supplies liquid helium and liquid nitrogen, (2) provides general services concerning cryogenic techniques, and (3) manages high-pressure gas cylinders used in Kashiwa Campus. The laboratory has its own liquefiers to produce liquid helium for the researchers and the students in Kashiwa Campus. The evaporated helium gas is recovered and purified for recondensing. In the fiscal year 2016, a total of 328,000 L liquid helium was produced, of which 234,135 L was supplied to users. The recondensed liquid helium is transferred from a 10,000 L storage vessel to various small storages by using a centrifugal immersion pump system. Meanwhile, the laboratory purchases liquid nitrogen from outside manufacturers. In FY 2016, liquid nitrogen of 971,289 L was supplied.

### 主要設備

ヘリウム液化装置Ⅰ (リンデ)	Helium liquefier system I (Linde)	200 L/hr
ヘリウム液化装置Ⅱ (リンデ)	Helium liquefier system II (Linde)	233 L/hr
液体ヘリウム貯槽	Liquid helium storage vessel	10,000 L
液体窒素貯槽	Liquid nitrogen storage tanks	20,000 L
回収用ヘリウムガス圧縮機	Helium gas recovery compressor	190 m <sup>3</sup> /hr
移動用ヘリウムガス容器	Liquid helium transport containers	500 L, 250 L, 100 L etc.
遠心式ヘリウム汲上げポンプ	Centrifugal liquid helium pump system	20 L/min



ヘリウム液化機、貯槽及び遠心汲上げポンプ  
Helium liquefier, storage, and transfer system

## 工作室 Machine Shop

工作委員長 金道 浩一 Chairperson : KINDO, Koichi  
 技術職員 岡部 清信 Technical Associate : OKABE, Kiyonobu  
 研究支援推進員 田中 祐介 Technical Staff : TANAKA, Yusuke  
 学術支援職員 村貫 静二 Technical Staff : MURANUKI, Seiji  
 事務補佐員 高木 明子 Administrative Staff : TAKAGI, Akiko

工作室は、研究上緊急を要する工作物の加工、研究用の特色ある装置と部品の製作及びその改良、そして装置設計の相談と助言を行っている。また、研究者自らが研究に必要な機械工作を行うための研究者工作室も設置されている。

The machine shop consists of a metal shop, a glass shop and a researcher's machine shop, which are equipped with various facilities for designing, metal and ceramic machining, and glass blowing. They supply researchers required various original devices and instruments.

### 主要設備

機械工作室 : 5軸制御マシニングセンター、NC旋盤、操作フライス盤  
 ガラス工作室 : ガラス旋盤、マッフル型電気炉、超音波加工機、  
 ダイヤモンドバンドソー  
 研究者工作室 : 万能旋盤、精密小型旋盤、フライス盤、ボール盤

### Main Facilities

Metal shop: Five-Axis Universal Machining Center,  
 Numerically Controlled Lathe,  
 Numerically Controlled Milling Machine  
 Glass shop: Lathe for Glass Work, Polishing Tool,  
 Ultrasonic Machining Tool  
 Researcher's Machine Shop: Universal Lathes, Precision Lathes,  
 Milling Machines



工作室  
Machine shop

## 放射線管理室 Radiation Safety Laboratory

放射線管理委員長 森 初果 Chairperson : MORI, Hatsumi  
技術専門員 野澤 清和 Technical Associate : NOZAWA, Kiyokazu  
(放射線取扱主任者) (Radiation Protection Supervisor)

放射線管理室は、物性研究所における放射性物質（U等核燃料物質を含む）や放射線発生装置（X線装置を含む）の取扱において、放射線取扱者の放射線障害を防止し、安全を確保することを目的として設置されている。そのため、放射線取扱に関わる全所的な放射線管理業務として、放射性物質や放射線発生装置の新規使用、変更及び廃止に伴う法律手続き、監督官庁に提出する放射線管理報告書等の作成、放射線管理区域の線量測定、X線装置等の定期検査の実施及び放射線取扱者の被ばく線量や特別健康診断の記録、放射線取扱者の教育訓練等を行っている。また、当室には、U、Thなどの非密封核燃料物質や $^{22}\text{Na}$ 密封線源を用いた研究などができる実験室や各種放射線（X線を含む）検出器を備えている。

The aims of this laboratory are to protect researchers from irradiation due to radioactive source, X-rays,  $\gamma$ -rays and so on and to provide rooms for radiation experiments and radiochemical operations by use of unsealed U, Th and sealed  $^{22}\text{Na}$  source. Various types of survey-meters are provided.

### 主要設備

化学実験室（非密封核燃料物質を解放で扱える物性研究所唯一の実験室）、ポジトロン実験室（ $^{22}\text{Na}$ 密封線源を用いた低速ポジトロンビームによる実験が行える）、熱蛍光線量計、Ge半導体検出器、 $\alpha$ 線検出器、液体シンチレーションカウンター、各種サーベイメーター等、汚染検査室（ハンドフットクロスモニターによる汚染の確認）

### Main Facilities

The rooms for radiation experiments and radiochemical operations (unsealed U, Th and sealed  $^{22}\text{Na}$  source), various types of survey-meters, and, 7ch hand-foot-clothing monitor.



ハンドフットクロスモニター  
The 7ch hand-foot-clothing monitor

## 図書室 Library

図書委員長 吉信 淳 Chairperson : YOSHINOBU, Jun  
係長 内藤 裕美子 Administrative Staff : NAITO, Yumiko  
主任 中曽根 恵美 Administrative Staff : NAKASONE, Emi  
事務補佐員 久保嶋 智子 Administrative Staff : KUBOSHIMA, Tomoko

物性研究所図書室は研究所設立の目的に沿い、所内研究者の研究や大学院生の教育とともに全国の共同利用研究者のために、物性科学を中心に資料を収集して利用に供している。

所蔵資料はインターネットで検索でき、所内では東京大学内で公開されている電子ジャーナルやデータベースを利用できる。また未所蔵資料については図書館間相互利用による文献複写、現物貸借のサービスを行っている。

The ISSP Library collects books and journals of materials science and related topics, and it provides various services for researchers of joint-use and joint-research as well as inside the ISSP. The online catalogue of its collection is available on the Internet for search. Users can access many electronic journals and databases subscribed by the University of Tokyo. The Library also arranges an inter-library loan for documents not in its possession.

### 概要

面積 : 783m<sup>2</sup>  
蔵書数 : 65,929 冊（平成 28 年度末現在）  
（洋書 58,907 冊、和書 7,022 冊、製本雑誌を含む）  
雑誌種類数 : 729 種（洋雑誌 635 種、和雑誌 94 種）  
開室時間 : 平日 9:30-17:00（時間外利用 6:00-9:30, 17:00-24:00）  
座席数 : 24 席（内 8 席は LAN ケーブル、電源コンセント設置）  
ホームページ : <http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/tosyo/>

### Outline

Area : 783m<sup>2</sup>  
Library holdings : 65,929 volumes (as of March, 2017)  
(Foreign books 58,907, Japanese books : 7,022. Including bound journals)  
Journal collection : 729 titles (Foreign journals : 635, Japanese journals : 94)  
Staffed hours: Weekdays 9:30-17:00 (Overtime use: 6:00-9:30 & 17:00-24:00)  
Seating capacity : 24 seats (including 8 seats equipped with LAN port and power socket)  
Website : <http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/tosyo/>



図書室  
Library

### ストックルーム Stock Room

管理委員長 益田 隆嗣 Chairperson : MASUDA, Takatsugu  
予算・決算係 Administrative Staff  
(Finance and Accounting Section)

ストックルームは、回路部品、真空部品など実験に共通して必要とされる消耗品、その他文房具などの共通物品をそろえている。研究者の便宜を図るため自動払い出しシステムを用いて 24 時間オープンしており、必要な物品を迅速かつ安価に入手することができる。使用頻度は高いが、一般市場で入手が容易でない物品や、一括購入によりコストダウンできる物品も在庫の対象である。

The stock room supplies stationery and parts that are commonly used in research and experiments at low cost. By the automated system control, it is open 24 hours.



ストックルーム  
Stock Room

### 国際交流室 International Liaison Office

国際交流室長 小森 文夫 Chairperson : KOMORI, Fumio  
事務補佐員 亀田 秋子 Administrative Staff : KAMEDA, Akiko  
事務補佐員 山内 敦子 Administrative Staff : YAMAUCHI, Atsuko  
事務補佐員 橋口 文乃 Administrative Staff : HASHIGUCHI, Ayano  
事務補佐員 石口 祐子 Administrative Staff : ISHIGUCHI, Yuko

国際交流室は、物性研究所における国際交流にかかわる業務を行っている。国際交流委員会のもとに、物性研究所の国際連携制度（外国人客員所員、国際ワークショップ等）の募集を行い、これらの実施・運営を支援している。また、柏インターナショナルオフィスをはじめとする柏キャンパス内の国際的部署と連携し、外国人研究員・訪問者の事務手続きや日常生活の支援、情報提供などを行っている。

The International Liaison Office provides a wide array of support for international collaboration programs at and by ISSP, which include the visiting professorship program and ISSP international workshops. In addition, ILO also works with the Kashiwa International Office and other related sections on the Kashiwa campus to assist international researchers affiliated with or visiting ISSP in their administrative processes and daily lives in Japan.



国際交流室  
International Liaison Office

## 情報技術室 Information Technology Office

担 当 所 員 野口 博司 Chairperson : NOGUCHI, Hiroshi  
 技術専門職員 矢田 裕行 Technical Associate : YATA, Hiroyuki  
 技術専門職員 福田 毅哉 Technical Associate : FUKUDA, Takaki  
 学術支援専門職員 荒木 繁行 Technical Associate : ARAKI, Shigeyuki

情報技術室では、物性研究所 LAN および WWW サーバ (物性研ホームページ <http://www.issp.u-tokyo.ac.jp>) 他の各種サーバの管理運用を行い、大学院生を含めた所内に提供している。物性研ネットワークでは東京大学キャンパスネットワーク (UTnet) を通したインターネットへの接続のため、ファイアウォールの設置、ウイルス対策ソフトウェアの所内への配布などのセキュリティ対策を行っている。また、所内でのコンピュータおよびネットワーク関係の Q&A、テレビ会議システムなどの機器の管理と利用促進なども行っている。

Information Technology Office operates the local area network in ISSP, and WWW servers for the ISSP home page (<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp>), and other servers, to support all the users in ISSP. It takes severe measures of network security of the ISSP, which is connected to the internet via UTnet (the campus network of the University of Tokyo). We, for example, monitor electronic traffics for virus infection and by distributing anti-virus software to in-house users.



物性研ネットワークの基幹 L3 スイッチ  
L3 switch: Core network switch of ISSP

## 広報室 Public Relations Office

拡大広報委員長 森 初果 Chairperson : MORI, Hatsumi  
 U R A 鈴木 博之 Contact Person : SUZUKI, Hiroyuki  
 学術支援職員 餅田 円 Technical Associate: MOCHIDA, Madoka  
 技術補佐員 石塚 みづゑ Technical Staff: ISHIZUKA, Mizue  
 総務係 Administrative Staff (General Affairs Section)  
 共同利用係 Administrative Staff (Joint Research Section)

広報室は、物性研究所における広報にかかわる業務を行う。物性研究所の機関誌「物性研だより」を始め、物性研要覧、Activity Report、パンフレットなどの出版関係や、ホームページでの情報発信とともに、一般講演会などの社会貢献となるアウトリーチ活動を担当する。

The Public Relations Office offers information of our institution, activities and outcomes with media tools of handbook, pamphlet, activity report and bulletin “BUSSEIKEN DAYORI”, as well as webpage. The office is also in charge of outreach activities, such as public lecture and so on, for the purpose of social responsibility.



刊行物  
Publications

# 柏キャンパス地図/ Kashiwa Campus Map

## 物性研究所

The Institute for Solid State Physics

- ① 本館 / Main Building
- ② 低温・多重極限実験棟 / Cryogenic/Multiple Extreme Conditions Laboratory
- ③ ショートパルス強磁場実験棟 / Short Pulse Magnet Laboratory
- ④ 先端分光実験棟 / Advanced Spectroscopy Laboratory
- ⑤ 極限光科学実験棟 / Laser and Synchrotron Research Laboratory
- ⑥ ロングパルス強磁場実験棟 / Long Pulse Magnet Laboratory

## 宇宙線研究所 ㊦

Institute for Cosmic Ray Research

## 新領域創成科学研究科

Graduate School of Frontier Sciences

- ㊦ 基盤棟 / Transdisciplinary Sciences
- ㊩ 基盤科学実験棟 / Transdisciplinary Sciences Laboratory
- ㊪ 生命棟 / Biosciences
- ㊫ 環境棟 / Environmental Studies
- ㊬ 情報生命科学実験棟 / Computational Biology Laboratory

## 国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構 ㊭

Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, Todai Institutes for Advanced Study

## 大気海洋研究所

Atmosphere and Ocean Research Institute

- ㊮ 本館 / Main Building
- ㊯ 大気海洋観測機器棟 / Ocean Observation Warehouse
- ㊰ 加速器実験棟 / Laboratory for Accelerator Mass Spectrometry

## 生産技術研究所

Institute of Industrial Science

- ㊱ 研究実験棟Ⅰ / Research and Testing Complex I
- ㊲ 研究実験棟Ⅱ / Research and Testing Complex II
- ㊳ テンセグリティ構造モデルスペース (ホワイトライノⅡ) / Tensegrity Space (White Rhino II)

## 総合研究棟 ㊴

Kashiwa Research Complex

## 第2総合研究棟 ㊵

Kashiwa Research Complex2

## 共用施設

Supporting Facilities

- ㊶ 環境安全研究センター柏支所 / Environmental Science Center, Kashiwa Branch
- ㊷ 柏図書館 / Kashiwa Library
- ㊸ 福利厚生棟 / Cafeteria and Shop
- ㊹ 共同利用研究員宿泊施設 / Kashiwa Guest House



## ■東京大学物性研究所

The Institute for Solid State Physics,  
The University of Tokyo

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5  
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8581  
TEL : (04) 7136-3207  
<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/>

### 交通案内

#### ●柏の葉キャンパス駅西口（つくばエクスプレス線）より

■徒歩 約25分

■東武バス利用 約10分

[西柏 03] 流山おおたかの森駅東口行、東大西行→「東大前」下車

[西柏 04・西柏 10] 江戸川台駅東口行→「東大前」下車

#### ●柏駅西口（JR 常磐線、東京メトロ千代田線）より

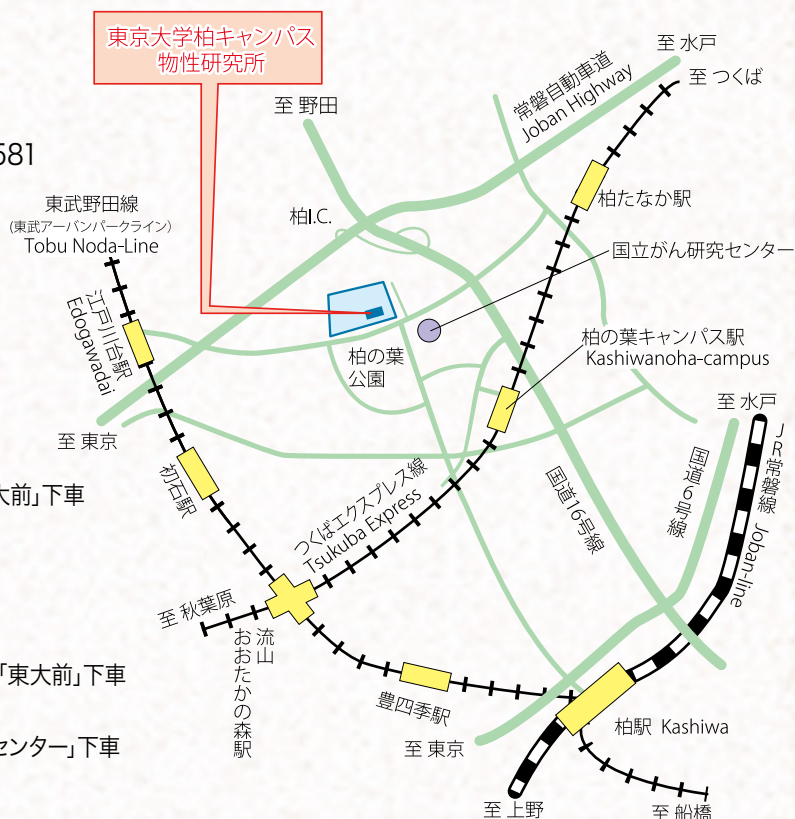
■東武バス利用 約25分

[西柏 01] 国立がん研究センター行（県民プラザ経由）→「東大前」下車

[柏 44] 国立がん研究センター行（税関研修所経由）

→「国立がん研究センター」下車

#### ●常磐自動車道柏 I.C. から車で約5分



## ■附属極限コヒーレント光科学研究センター

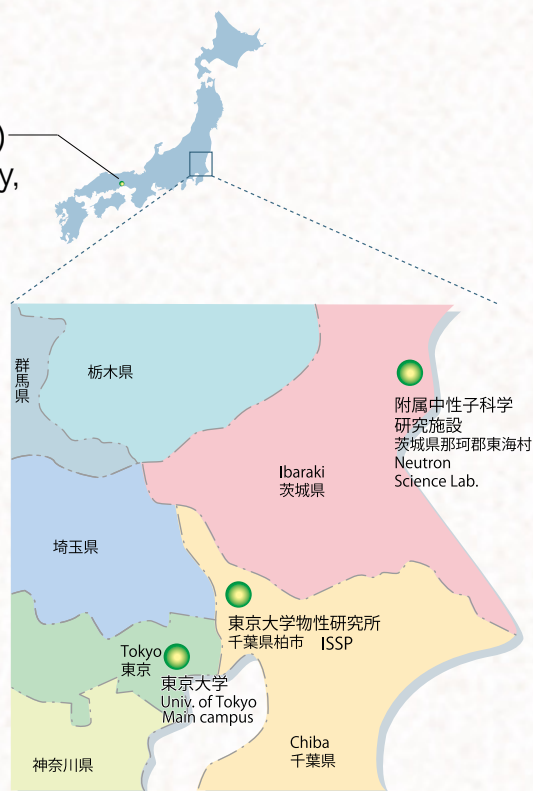
軌道放射物性研究施設播磨分室 (SPring-8 内)  
Harima Branch of Synchrotron Radiation Laboratory,  
Laser and Synchrotron Research Center

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198  
TEL : (0791) 58-0802 ext.4111

## ■附属中性子科学研究施設

Neutron Science Laboratory

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方 106-1  
106-1 Shirakata, Tokai, Ibaraki 319-1106  
TEL : (029) 287-8900



東京大学物性研究所要覧  
2017年12月



I S S P

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/>

