東京大学

2020

# 物性研究所







- 2 ご挨拶 Director's Message4 沿革
- 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/Publication
- 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
- **20** 物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory
- **23** ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science
- **30** 機能物性研究グループ Functional Materials Group
- 38 量子物質研究グループ Quantum Materials Group
- 42 社会連携研究部門
  Social Cooperation Research Department
  データ統合型材料物性研究部門
  Division of Data-Integrated Materials Science

### 附属研究施設·Research Facilities

- **44** 物質設計評価施設 Materials Design and Characterization Laboratory
- 56 中性子科学研究施設 Neutron Science Laboratory
- 61 国際超強磁場科学研究施設
  International MegaGauss Science Laboratory
- 67 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
  - **78** 軌道放射物性研究施設 Synchrotron Radiation Laboratory
- **79** 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年に誕生し、今年創立 63年となります。その間、物性・物質科学の融合学術研究、および国際拠点を目指して 2000年に東大柏キャンパスへ移転し、2004年には国立大学法人の付置研となりました。2010年には共同利用・共同研究拠点制度で「物性科学研究拠点」に認定され、2016年より拠点の2期目がスタートし、新たな活動を展開しております。

どの時代においても、「物質・物性の先端的基礎研究の推進による学理の追求と、基盤研究からの科学技術への貢献」を目指し、研究、教育、共同利用・共同研究を3本の柱として、物性コミュニティーの支援の下に活動を推進しております。

本研究所では、最初の23年(第1期:1957-1979年)、物理、化学、工学の物性分野から研究者を集めて20部門(後に22部門)を設立し、共同利用研として研究設備を整え、我が国における物性研究の向上に貢献しました。さらに、次の16年(第II期:1980-1995年)では、高度成長時代において、物質・物性研究の重点化と機動性を図るため、極限物性を行う大型装置・施設を構築して共同利用・共同研究に提供し、先端的な物質・計測技術開発、理論研究を推進しました。また、さらにこの24年(第III期:1996-現在)では、物質・物性科学は、(1)物質・システム軸(Materials and System)(2)測定・制御軸(Measurements and Control)(3)概念軸(Theory, Computation, and Data)の3つの軸が MMT サイクルとして有機的に相互作用しながら、正のスパイラルで発展しております。本研究所も、小規模なグループで、機動的に先端研究の萌芽を作り、発展させる凝縮系物性研究部門、物性理論研究部門、およびナノスケール物性研究部門の3部門、中型・大型装置、施設を構築し、先端技術開発とともに研究を推進する物質設計評価施設、中性子科学研究施設、国際超強磁場研究施設、計算物質科学研究センター、極限コヒーレント光科学研究センター(LASOR)の5施設、そして研究支援を行う共通施設の編成となっており、全組織が協働して MMT サイクルを循環させております。

さらに、従来の物性・物質科学における学問領域の枠組みを超えた融合学術研究を推進するため、2016年に横断型グループとして、"量子物質グループ"と"機能物性グループ"が誕生しました。量子物質グループでは、本研究所の強みである強相関電子系の物質研究を発展させて、新物質で新たな量子現象、新概念を見出すことを目指しています。また、機能物性グループでは、これまで物性物理であまり取り扱われていなかった生体系物質を含むソフトマターや、素反応を含むエネルギーシステムなど、複雑系・階層系物質・システムを対象とし、その励起状態やダイナミクスを研究することに挑戦しております。2018 および 2020 年には、各々のグループに若手の新所員が着任し、2つのグループを中心に、新たな融合学術の創成にチャレンジしております。また、2019年には、社会連携研究部門として、「データ統合型材料物性研究部門」を設立し、産学連携研究

により、新たな視点で基礎科学研究を進めております。物性研究所は、物質・物性科学の新たなフロンティアを開拓するという創立以来のスピリットを礎に、今後も国際的な拠点として、先端的な物質・物性研究、人材育成、共同利用・共同研究に取り組む所存です。今後も、皆様の変わらぬご支援、ご協力をお願い申し上げます。

2020年9月 物性研究所長 森 初果

# Director's Message

The Institute for Solid State Physics (ISSP) was established in 1957 as a joint-usage/research institute attached to the University of Tokyo. In every era, with the support of the science community, we aim to lead the frontier of condensed matter physics and materials science and contribute to science and technology from the view of basic research. We have promoted activities focused on research, education, and joint-usage/research.

In the first 23 years (Phase I: 1957-1979), ISSP established 20 departments (22 later) in the fields of physics, chemistry, and engineering. We constructed advanced facilities and contributed to the improvement of condensed matter science in our country. In the next 16 years (Phase II: 1980-1995), in view of "concentration" and "mobility" of research in condensed matter science, large-scale



所長 Director 森 初果 MORI, Hatsumi

facilities and advanced equipment for extreme conditions in the areas of ultrahigh magnetic fields, high power lasers, surface science, ultra-low temperatures, and very high pressures were constructed and shared with the community through joint-usage/research. In the third era (Phase III:1996 – present), ISSP moved to the Kashiwa campus in 2000, which provides an opportunity for us to expand and to develop new research activities pursuing new frontiers and becoming an international center of excellence in condensed matter physics and materials science.

The condensed matter physics and materials science studies have three axes: (1) "Materials and System" axis (2) "Measurements and Control" axis, and (3) "Theory, Computation, and Data" axis. These three axes interact in what we call a MMT cycle to promote a upward spiral. This institute is organized around 40 laboratories with small-, and medium-to-large-scale equipment and facilities. The labs were originally divided between three divisions for condensed matter science, condensed matter theory, and nanoscale science. More recently, we have added three facilities and two centers: the material design and characterization lab., the neutron science lab., the international MegaGauss science lab., the center of computational materials science, and the laser and synchrotron research center (LASOR). All labs work together to maintain the MMT cycle.

In 2016, two new interdisciplinary groups, the Quantum Materials Group and the Functional Materials Group, were formed to cultivate new frontiers beyond the framework of traditional disciplines. In the quantum materials group, we aim to discover new quantum phenomena and new concepts with novel materials by developing research of strongly correlated electron systems. The functional materials group is targeting complicated and hierarchical materials and systems such as soft matter, including biological materials and energy systems where dynamics and excited states of matter are studied. Several young professors were appointed to each group in 2018 and 2020 to challenge the interdisciplinary sciences in these transverse groups.

In 2019, we established the "Division of Data-Integrated Materials Science" in Social Cooperation Research Department, in which basic science research is conducted from a new perspective through industry-university collaboration research. We continue to lead the frontiers of condensed matter physics and materials science in the ISSP spirit and are devoted to developing as a global center of excellence. We appreciate your continuous support and cooperation in our activities.

September, 2020 Hatsumi MORI



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年でほぼ達成された。

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・超高圧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 限的状況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、更に、企業との共同研究の進展に伴い、物性 研究所では初めての社会連携研究部門として、データ統合型 材料物性研究部門が平成31年度に設置されるなど、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)



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 ultrahigh magnetic field, laser physics, surface science, ultralow 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. Division of Data-Integrated Materials Science was established in 2019 as the first Social Cooperation Research Department in ISSP with the progress of collaborative Research with industry.



共同利用研究所として発足 昭和 32 年 1957 Establishment of ISSP as a joint research laboratory 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 昭和 33 年 1958 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 極低温·磁気第1部門増設 Opening of Low Temperature and Magnetism I divisions 半導体・分子・格子欠陥・塑性・放射線物性部門増設 昭和 34年 1959 Opening of Semiconductor, Molecular Physics, Lattice Imperfections, Plasticity, and Nuclear Radiation divisions 結晶第2・理論第1・固体核物性・界面物性部門増設 昭和 35 年 1960 Opening of Crystallography II, Theory I, Solid State Nucleus, Surface Properties, and Molecular Science divisions 物性研究所開所式 Inauguration of ISSP 磁気第2・非晶体・超高圧・理論第3部門増設、20部門となる 昭和 36 年 1961 Opening of Magnetism II, Solid Materials, High Pressure, and Theory III divisions. Total 20 divisions 非晶体部門を無機物性部門に名称変更 昭和 40 年 1965 Solid Materials division was renamed as Inorganic Materials division 昭和 44 年 1969 中性子回折部門増設 Opening of Neutron Diffraction division 固体物性部門(客員部門)増設(22部門となる) 昭和 47年 1972 Opening of Solid State division (visiting staff), resulting in 22 divisions in total 昭和 50 年 1975 軌道放射物性研究施設設置 Foundation of Synchrotron Radiation Laboratory 超低温物性研究棟竣工 昭和 54 年 1979 Ultra-Low-Temperature Laboratory building completed 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圧)、 昭和 55 年 1980 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 昭和 57年 1982 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 平成 元年 1989 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 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"

Foundation of Neutron Scattering Laboratory 1995 国際外部評価が実施される

中性子散乱研究施設の新設

平成5年

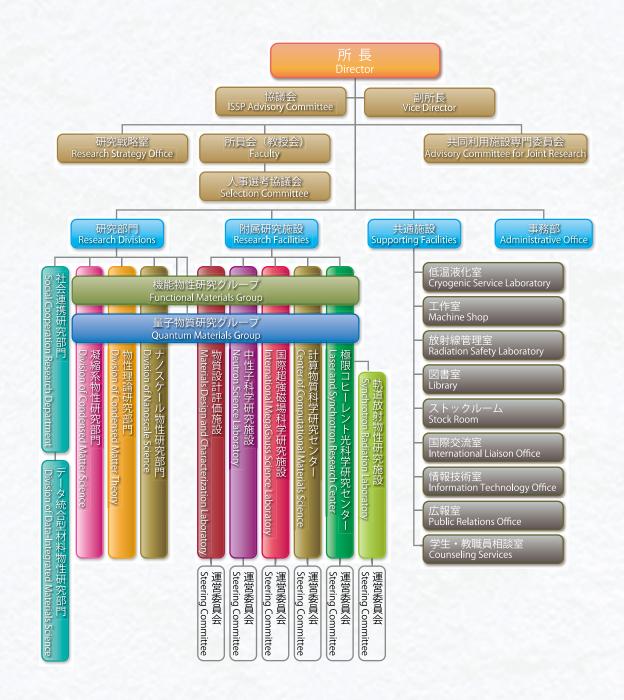
平成7年

1993

Evaluation of scientific achievements of ISSP by an international external committee

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、 平成8年 1996 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 日米協力事業(中性子散乱)の国際外部評価が実施される 平成9年 1997 Evaluation of activities of the U.S.-Japan cooperative program on neutron scattering by the international review committee 柏キャンパスへの移転開始 (2000 年移転完了) 平成 11 年 1999 Relocation to Kashiwa campus started (completed in 2000) 外国人客員新設 平成 13 年 2001 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 計算物質科学研究センターの新設 平成 23 年 2011 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 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 平成 28 年 2016 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 データ統合型材料物性研究部門の新設 平成 31 年 2019 Foundation of Division of Data-Integrated Materials Science

## 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。また、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。研究所の運営に関する事項は、教授及び准教授から構成される所員会での審議、議決を経て定められる。また、所長の諮問に応じ意見を述べる組織として、研究所外委員と半数以下の所内委員により組織された物性研究所協議会が置かれ、外部研究者の要望を伝達する機能を果たしている。共同利用・共同研究拠点の実施に関しては、研究所外委員と半数以下の所内委員よりなる共同利用施設専門委員会が、所長の諮問に応じて意見を述べると共に、共同利用・共同研究及び施設利用課題等の審議、及び採択を行っている。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4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。) 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、及び学生や教職員のための相談室も設置されている。

物性研究所の教授、准教授、助教の人事は、原則、 公募により選考が行われる。教授、准教授の選考におい ては、物性研内外ほぼ同数の委員よりなる人事選考協議 会での審査を経て、教授会において審議、議決される。 また、助教の選考においては、選考委員会の審査後、人 事選考協議会所外委員に諮り、教授会で審議、議決さ れる。

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. ISSP operational matters are discussed and decided upon during faculty meetings participated by professors and associate professors of ISSP. The ISSP Advisory Committee is tasked with giving advice on various aspects of administration in response to inquiries from the director. In order to represent the interests of outside users, the ISSP Advisory Committee is composed of nearly equal numbers of ISSP affiliated members and non-affiliated members. The Advisory Committee for Joint Research (composed of both ISSP and non-ISSP members), evaluates and approves research proposals and offers opinions in response to inquiries from the director.

Currently ISSP consists of four Research Divisions, two Research Groups, five Research Facilities. 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, and Counseling Services provide brief counseling and referral services to students, faculty, and staff.

ISSP recruits all positions for professors, associate professors, and research associates openly. ISSP's hiring of professors and associate professors is decided in a Faculty Meeting. Prior to the Faculty Meeting, the Personnel Selection Council, (composed of approximately an equal number of members from inside and outside of ISSP), reviews all candidates. ISSP's final hiring decisions of research associates positions are also decided in a Faculty Meeting. Prior to the Faculty Meeting, the Personnel Selection Council makes recommendations after reviewing candidates provided by a selection committee.

## 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 to research on exchange at ISSP. ISSP supports travel and research expenses for visitors.

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



## 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 ISSP Regular 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。

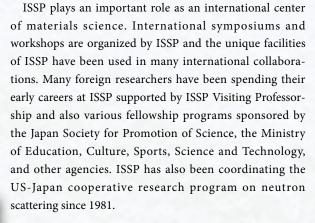
短期研究会 ISSP Regular Workshops

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、昭和61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。





●テーマ Title	●開催期日 Date	●参加者数(外国人) Participants (overseas)
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)
Forefront of Molecular Dynamics at Surfaces and Interfaces: from a single molecule to catalytic reaction	2017·11·20-23	196 (63)
The International Summer workShop 2018 on First-Principles Electronic Structure Calculations (ISS2018)	2018•7•2-12	67 (20)
Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics	2018-9-25-29	108 (61)
Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems 2019	2019-2-18-20	185 (13)
Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2019)	2019-6-16-21	208 (87)
Computational Approaches to Quantum Many-body Problems (CAQMP2019)	2019•7•16-8•8	105 (30)
New Perspective in Spin Conversion Science (NPSCS2020)	2020·2·3-4	99 (12)

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	修士課程 Master Course 博				士課程 Doctor Course		
	2017年	2018年	2019年	2020年	2017年	2018年	2019年	2020年
物理学専攻 Physics	29	30	30	33	28	24	28	31
化学専攻 Chemistry	6	3	3	4	0	2	4	5
物理工学専攻 Appl. Phys.	8	9	6	10	3	3	7	11
物質系専攻 Advanced Materials	41	39	39	41	24	18	17	15
複雑理工学専攻 Complexity Sci. and Eng.	2	3	3	1	0	0	2	2
合 計	86	84	81	89	55	47	58	64

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

# 論文統計/Publications

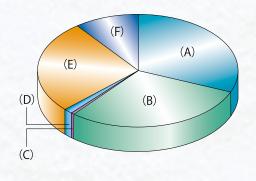
物性研究所では、年間 300 編前後の学術文献を発表している。2019 年の学術文献 334 編の内訳は、学術論文 309、解説記事 23、本(または本の一部) 2 となっている。

About 300 scientific issues are published through annual activity in ISSP. The 334 articles published in 2019 consist of 309 papers in refereed journals, 23 reviews, and 2 books.



Number of scientific papers (including proceedings and reviews)

## 予算/Budget 令和元年度 (2019 fiscal year)



(A) 人件費: 文部科学省より

□ (B) 物件費: 文部科学省より□ (C) その他補助金: 文部科学省・日本学術振興会より

■ (D) 寄附金: 民間等より

(E) 受託研究・共同研究: 民間・他省庁等より(F) 科学研究費: 文部科学省・日本学術振興会より

- (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
令和元年度 (2019)	1,450,850	1,504,617	22,773	70,785	1,180,625	533,740	4,763,390
平成30年度(2018)	1,541,577	1,733,833	22,620	46,268	503,425	521,490	4,369,213
平成29年度(2017)	1,124,758	1,663,282	20,030	18,808	714,259	424,530	3,965,667
平成28年度(2016)	1,315,153	1,669,627	99,138	32,134	668,752	535,153	4,319,957
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

予算額の推移 Budget in recent years

(単位:千円) (Unit: Thousand Yen)

# 教職員数/Staff Members

令和2年4月1日 現在 / As of April 1, 2020

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	特任研究員 Project Researchers	技術系職員 Technical Staff	事務系職員 Administrative Staff	合計 Total
22	1	16	1	39	7	48	57	60	251

## **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標としている。

当部門を構成する研究室は、自由な発想のもとに、新物質や高品質試料の作製、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 has 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 pursuits 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	田縁 俊光 TAEN, Toshihiro	131-1417-02-0	キスワンディ アンディカ オクサリオン KISWANDHI, Andhika Oxalion
教 授 Professor	榊原 俊郎 SAKAKIBARA, Toshiro	助 教 Research Associate	藤野 智子 FUJINO, Tomoko	特任研究員 Project Researcher	佐藤 光幸 SATO, Mitsuyuki
教 授 Professor	森 初果 MORI, Hatsumi	助 教 Research Associate	武田 晃 TAKEDA, Hikaru	特任研究員 *2 Project Researcher	ハンシェン ツァイ HANSHEN, Tsai
特任教授 *1 Project Professor	中辻 知 NAKATSUJI, Satoru	特任助教 Project Research Associate	出倉 駿 DEKURA, Shun	特任研究員 *2 Project Researcher	
准教授 Associate Professor	長田 俊人 OSADA, Toshihito	特任助教 *2 Project Research Associate	富田 崇弘 TOMITA, Takahiro		レイ マユク クマー RAY, Mayukh Kumar
准教授 Associate Professor	山下 穰 YAMASHITA, Minoru	特任助教 *2 Project Research Associate	肥後 友也 HIGO, Tomoya		
		助 手 Research Assistant	村山 千壽子 MURAYAMA, Chizuko		

内田 和人

UCHIDA, Kazuhito

技術専門員

Technical Associate

<sup>\*&</sup>lt;sup>1</sup> 理学系研究科物理学専攻および所内量子物質研究グループと兼務。 / concurrent with Physics Department, Graduate School of Science and Quantum Materials Group

 $<sup>^{*2}</sup>$  所内兼務。本務は量子物質研究グループ。 / concurrent with Quantum Materials Group

**Division of Condensed Matter Science** 

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/takigawa\_group.html

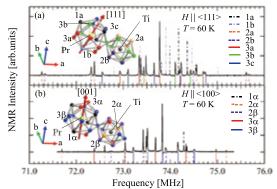
## 瀧川研究室

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て、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。



温度 60K、磁場 6.6 テスラにおける希土類化合物 PrTi<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>0 中のアルミニウム(Al)原子核の NMR スペクトル。プラセオジウム(Pr)イオンは非磁性 2 重項の結晶場基底状態を持ち、低温で強四極子秩序を示す。Pr イオンをカゴ状に取り囲むアルミニウムには結晶学的に異なる 3 つのサイトが存在し、それぞれが <111> あるいは <100> 方向の磁場によって非等価なサイトに分かれ、さらにその各々が四重極分裂によって 5 本の NMR 共鳴線を示すため、非常に複雑な NMR スペクトルが現れる。

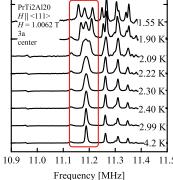
NMR spectra of Al nuclei in  $PrTi_2Al_{20}H$  at the temperature of 60K and the magnetic field of 6.6 tesla. The Pr ions with a non-magnetic doublet ground state in the crystal electric field undergo ferro-quadrupole order at low temperatures. There are three Al sites forming a cage surrounding Pr ions, each of which splits into inequivalent sites under magnetic fields along <111> or <100>. Each Al site generates five quadrupole split NMR lines, resulting in a complicated NMR spectrum.

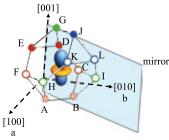
We use nuclear magnetic resonance (NMR) as the major experimental tool to investigate exotic phenomena caused by strong electronic correlation in solids. A remarkable feature of strongly correlated electron systems is the competition among various kinds of ordering such as superconductivity, ferroor 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.

unit

<1111>方向の磁場下、2 K 以下 の低温において、強四極子秩序 のために NMR 共鳴線が分裂す る。特に 3a サイトからの信号 を赤線で囲ってある。

The NMR lines split below 2K under the magnetic field along <111> due to ferroquadrupole order. The signals from the 3a sites are indicated by the red box.





NMR 共鳴線の分裂から電荷密度分布の対称性がユニークに決まり、四極子の秩序パラメータが決定された。

The splitting of NMR lines uniquely determines the symmetry of the charge density distribution and the order parameter.

- 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. スピン軌道結合電子系における新奇な秩序 Novel orders in spin-orbit coupled electron systems

**Division of Condensed Matter Science** 

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/sakakibara\_group.html

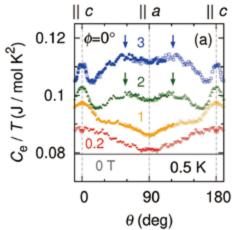
## 榊原研究室

Sakakibara Group



榊原 俊郎 SAKAKIBARA, Toshiro 教授 Professor

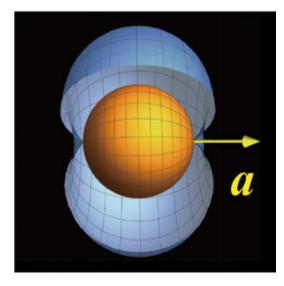
物質の示す磁気現象は広い温度範囲にわたっている。その中で重い電子系などある種の物質系では1ケルビンよりも遙かに低い温度領域で興味深い性質を示す場合がある。このような温度領域では通常の磁気測定手段を適用することが困難なため未開拓の課題も多く、新しい物性現象が期待される。当研究室ではこのような低い特性温度を持つ様々な物質系の磁気物性の研究を行っている。 具体的には f電子化合物や重い電子系、量子スピン系およびフラストレートスピン系などが研究対象で、磁化や比熱測定を主な実験手段として研究している。この目的のために、我々は 30 ミリケルビンの極低温まで磁化測定が可能な高感度の磁力計や、異方的超伝導体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



スピン三重項超伝導体 UTe2 の超伝導状態における比熱の ac 面内での磁場角度依存性。比熱の  $\theta$ =90° における極小構造および 120° 付近の肩構造(矢印)は、a 軸方向のポイントノードを仮定すると説明できる。この結果はノンユニタリーな三重項超伝導が UTe2 で実現していることを示唆する。

Field-angular dependences of the specific heat of a spin triplet superconductor UTe<sub>2</sub> in magnetic fields rotated in the ac plane. The local minimum of the specific heat at  $\theta$ =90°as well as the shoulder structure at intermediate field angle (arrows) can be explained by assuming a point node along the a axis. These results provide evidence for a non-unitary triplet pairing in UTe<sub>2</sub>.

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 angleresolved specific heat measurements in a rotating magnetic field. The latter is an effective tool for investigating the nodal structures of anisotropic superconductors.



UTe2 の超伝導ギャップの概略図. a 軸方向にポイントノードを持つ。 Schematic view of the gap structure of UTe2 with a point node along the a axis.

- 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
- 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

### 凝縮系物性研究部門 **Division of Condensed Matter Science**

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/ labs/mori\_group.html

## 森研究室

Mori Group



初果 MORI Hatsumi 教授



藤野 智子 FUJINO Tomoko 助教 Research Associate



出倉 駿 DEKURA. Shun 特任助教 Project 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・システムにおいて、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、そ の圧力・電場による外場応答性、電界効果トランジスタ特性) 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、電場、電界による励 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 κ-ET<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub>や電荷秩序型β-(meso-DMBEDT-TTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub> (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。

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, responses by external stimuli such as pressure and electric field, and field effect transistor) has been aimed based upon molecular materials and systems with utilizing intra- and inter-molecular degrees of freedom.

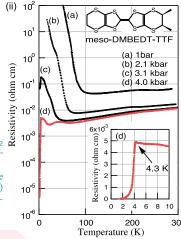
The attractive points of molecular materials are 1) that a variety of intra- and inter-molecular degrees of freedoms are designable and controllable, 2) that large Coulomb interactions (electron correlation) reflect the magnetism (electron particle) as well as conductivity (electron wave) in molecular 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  $\kappa$ -ET<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub> and charge-ordered-type one  $\beta$ -(meso-DMBEDT-TTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub> 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).



の単結晶と (ii) 電荷秩序型 β -(meso-DMBEDT TTF)2PF6 の電気抵抗の圧力依存性。

Fig.1. Novel organic superconductors: (i)single crystals of Mott-type κ-ET<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub> and (ii) electrical resistivities under pressures for charge ordered-type β-(*meso*-DMBEDT-TTF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>.



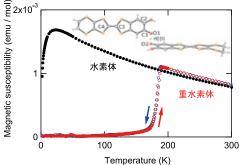


図 2. 伝導電子と水素結合プロトンが相関する純有機伝導体  $\kappa$ -X<sub>3</sub>(Cat-EDT-TTF)<sub>2</sub> (X = H, D) において、大きな重水素効果によ り高温で伝導性および磁性が切り替わる。

Fig.2. Switching behavior of electrical resistivity and magnetism due to large deuteron isotope effect in proton-electron correlated purely organic conductors κ-X<sub>3</sub>(Cat-EDT-TTF)<sub>2</sub> (X = H, D).

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

**Division of Condensed Matter Science** 

 $https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/osada\_group.html\\$ 

## 長田研究室

Osada Group

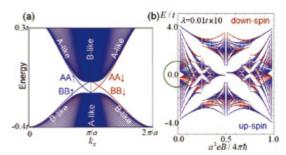


長田 俊人 OSADA, Toshihito 准教授 Associate Professor



田縁 俊光 TAEN, Toshihiro 助教 Research Associate

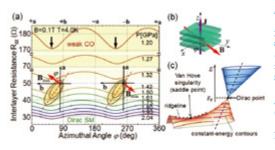
本研究室では、低次元・原子層物質、トポロジカル物質、人工ナノ構造を対象として、強磁場・低温・高圧環境下の量子輸送現象の実験的研究を行うことにより、新しい電子状態や量子伝導現象、トポロジカル現象を探索・解明・制御することを目指している。先端的微細加工・評価装置群を用いた原子層積層構造やナノ構造の素子形成、2軸全磁場方位依存性の精密計測、40T級小型パルス磁石による強磁場計測などを主な実験手段とする。最近は捩れ積層グラフェンや黒リン超薄膜の量子伝導、α-(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub>等の有機導体におけるトポロジカル電子状態や輸送現象、超薄膜グラファイトの磁場誘起電子相転移に関する研究を重点的に行っている。



(a) スピン軌道相互作用によりギャップが生じた有限幅で端のある  $\tau$ -型 有機導体のバンド構造。端に沿ってスピン偏極したヘリカルエッジ状態がギャップ内に現れ、系はトポロジカル絶縁体となる。(b) スピン軌道相互作用のある  $\tau$ -型有機導体の磁場中エネルギー準位 (ホフスタッター・バタフライ)。ゼーマン効果を除いた図であるが、軌道効果によるスピン分裂が見られる。ゼロ磁場のギャップはスピン毎に  $\pm 1$  のチャーン数を持つギャップであることがわかる。

(a) Band dispersion of the  $\tau\text{-type}$  organic conductor with a finite width and a gap due to the spin-orbit coupling. There appear the spin-polarized helical edge states along edges, so that the system is a topological insulator. (b) Energy levels of the  $\tau\text{-type}$  organic conductor with a finite spin-orbit coupling under magnetic fields (Hofstadter butterfly). Although no Zeeman effect is considered, we can see additional spin splitting with the orbital origin. The energy gap at zero field corresponds to the gap of each spin subband with the Chern number of  $\pm 1$ .

Osada group aims to search, elucidate, and control novel electronic states, quantum transport phenomena, and topological phenomena in low-dimensional/atomic layer materials, topological materials, and artificial nanostructures, by experiments on quantum transport phenomena under high magnetic field, low temperature, and high pressure environments. Main experimental tools include device fabrication of atomic layers, their complex stacks, and artificial nanostructures using advanced microfabrication/evaluation equipment, precision measurement of double-axial magnetic field angle dependence, high magnetic field measurement with 40T-class miniature pulse magnet. Recently, we have focused on quantum transport in twisted bilayer graphene and black phosphorus ultrathin films, topological electronic states and transport phenomena in organic conductors such as α-(BEDT-TTF)<sub>2</sub>I<sub>3</sub>, and magnetic field-induced electronic phase transition in ultrathin graphite.



傾斜ディラック・コーンと鞍点状のファン・ホーブ特異点を持つ α-(BEDT-TTF)2/3 のバンド構造の模式図。低温ではフェルミ準位のあるディラック・コーンの異方性が、高温では熱励起キャリアにより状態密度の大きいファン・ホーブ特異点の異方性が測定できる。

Application example of the method for studying the anisotropy of the band structure by the interlayer magnetoresistance. (a) In-plane magnetic field orientation dependence of interlayer magnetoresistance of an layered organic conductor  $\alpha$ -(BEDT-TTF)2I3. Measured from weak charge-ordered state to two-dimensional Dirac semimetal state under different pressure. A local minimum of resistance occurs in the magnetic field orientation perpendicular to the principal axis of the tilted Dirac cone. (b) Arrangement of experiments. (c) Schematic diagram of the band structure of  $\alpha$ -(BEDT-TTF)2I3 with a tilted Dirac cone and a van Hove singularity (saddle point). The anisotropy of Dirac cone where the Fermi level is located can be measured at low temperatures, and the anisotropy of the van Hove singularity with high density of states at high temperatures due to thermally excited carriers.

- 1. 有機ディラック半金属のトポロジカル物性 Topological properties of an organic Dirac semimetal
- 原子層物質およびファンデルワールス積層系の電子構造と量子伝導 Electronic structure and quantum transport in atomic layers and their van der Waals stacks
- 3. 層状トポロジカル物質の量子伝導現象 Quantum transport phenomena in layered topological materials
- 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
- 薄膜グラファイトの磁場誘起電子相転移
   Magnetic-field-induced electronic phase transitions in thin-film graphite

**Division of Condensed Matter Science** 

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/yamashita\_group.html

## 山下研究室

Yamashita Group



山下 穣 YAMASHITA, Minoru 准教授 Associate Professor



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

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

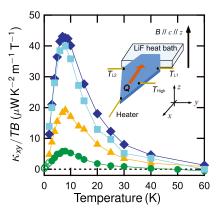


物性研の核断熱消磁冷凍機。超低温(1 mK)・高磁場(10 T) の実験が可能。左下挿図が実験空間拡大写真。右下挿図が超低温トルク測定用カンチレバー。

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

What happens when materials are cooled down close to absolute zero temperature? It sounds a boring question because everything freezes at T=0. It is NOT true, however, because quantum fluctuations persist even at absolute zero temperature. The richness of low-temperature physics was first demonstrated by Heike Kamerlingh Onnes at 1911, who was the first to liquify Helium and reached  $\sim 1$  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 fluctuations are negligible. Especially, we are now challenging measurements of correlated electron systems at ultralow temperatures (below 20 mK) where many interesting phenomena have remained unexplored due to technical difficulties. Further, we are studying thermal Hall effects of charge-neutral excitations (phonons and spins) in an insulator, as well as detecting multipole orders by using NMR measurements.



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

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

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

## 物性理論研究部門

## **Division of Condennsed 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な理 論研究が行われている。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。

This Division conducts vigorous theoretical research from a microscopic point of view at the forefront of contemporary condensed matter physics, statistical physics, and materials science, also in collaboration of experimental groups. Its goals include theoretical elucidations of experimental results, developments of new concepts describing 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 catalysis at surfaces, and quantum transport and interactions in mesoscopic conductors. A wide variety of methods, including modern approaches based on mathematical concepts such as topology, 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 investigate these problems. As a whole, this Division and related theory groups cover a wide range of topics and approaches in the cutting-edge condensed matter theory.

玉谷 知裕

河津 励 KAWATSU, Tsutomu

教 授	常次 宏一	助教	池田 達彦	特任研究員
Professor	TSUNETSUGU, Hirokazu	Research Associate	IKEDA, Tatsuhiko	Project Resea
教 授*1	押川 正毅	助教	藤井 達也	特任研究員'
Professor	OSHIKAWA, Masaki	Research Associate	FUJII, Tatsuya	Project Resea
教 授 *2	杉野 修	助教	阪野 塁	
Professor	SUGINO, Osamu	Research Associate	SAKANO, Rui	
教 授 *2	岡 隆史	助 教*1	多田 靖啓	
Professor	OKA, Takashi	Research Associate	TADA, Yasuhiro	
准教授 Associate Professor	加藤 岳生 KATO, Takeo	助 教 <sup>*2</sup> Research Associate	春山 潤 HARUYAMA, Jun	

<sup>\*&</sup>lt;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。本務は機能物性研究グループ。 / concurrent with Functional Materials Group

<sup>\*3</sup> 所内兼務。本務は計算物質科学研究センター。/ concurrent with Center of Computational Materials Science

### 物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/tsunetsugu\_group.html

## 常次研究室

Tsunetsugu Group



常次 宏一 ; TSUNETSUGU, Hirokazu II 教授 E



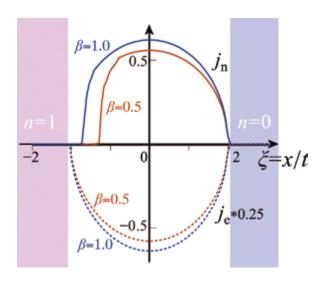
池田 達彦 IKEDA, Tatsuhiko 助教 Research Associate

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が出現する。これらの複雑な物性の統一的な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、一次元強相関電子系の非平衡ダイナミクスを研究し、電流が零であるにもかかわらずエネルギー流が有限となる場合を発見し、この系の可積分性がダイナミクスに大きく影響していることを示した。

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 non-equilibrium dynamics of strongly correlated electrons in one dimension. We have found a case where nonzero energy current coexists vanishing charge current, which is related to the integrability of the system.



1次元ハバード模型の電流  $j_c=ej_n$ とエネルギー流  $j_e$ 。 左右領域が電子密度 n=1 および 0 の熱平衡状態から出発した後の時刻 t における空間分布。電子ホッピングを単位としてクーロン斥力 U=8、初期状態の逆温度  $\beta=0.5$ , 1.0.  $\xi\sim-2$  付近に電流が消える領域が出現。

Electric and energy currents,  $j_c = ej_n$  and  $j_e$ , in the onedimensional Hubbard model starting from the initial state where the left and right parts are different equilibria with electron density n=1 and 0. Plotted is the spatial profile of the currents at time t. Coulomb repulsion is U=8 and the initial reciprocal temperature is  $\beta=0.5$  or 1.0 in units of electron hopping. Electric current vanishes in a region near  $\xi\sim-2$ .

- 1. d 電子、f 電子化合物など強相関電子系の電子状態と異方的超伝導 Electronic states and unconventional superconductivity in strongly correlated systems with *d*- or *f*-electrons
- 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. 量子系の非平衡ダイナミクス Nonequibrium dynamics of quantum systems

## 物性理論研究部門

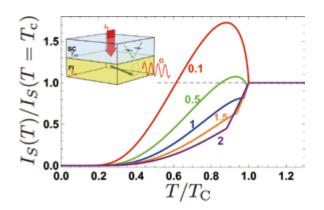
**Division of Condensed Matter Theory** 

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/ labs/kato\_group.html

加藤研究室 Kato Group

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、ナノスケール素子の断熱ポンピング、磁性体・ 金属界面でのスピン輸送、フォノン系の熱輸送現象におけ る多体効果、近藤量子ドットの非平衡輸送特性、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、二次元電子系のウィグナー結晶化、固 体中の高調波発生の理論などがある。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



スピンポンピングによって生じる強磁性絶縁体から超伝導体へのスピン流の温度変 化。挿入図: 強磁性絶縁体 - 超伝導体接合の模式図。

Main panel: Temperature dependence of a spin current induced by spin pumping from a ferromagnetic insulator to a superconductor. Inset: A schematic of a ferromagnetic insulator/superconductor junction.



岳生 加藤 KATO, Takeo 准教授 Associate Professor



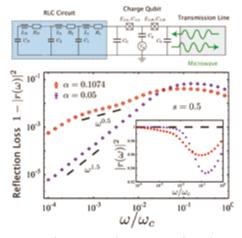
塁 阪野 SAKANO Rui 助教 Research Associate



藤井 達也 FUJII, Tatsuya 達也 助教 Research Associate

We are theoretically studying quantum transport in nanoscale devices using analytic and numerical approaches. This research field is called 'mesoscopic physics', which has been studied for a long time by focusing on the quantum mechanical nature of electrons. Recently, mesoscopic physics based on new viewpoints, for instance, nonequilibrium manybody phenomena, shot noise, high-speed drive phenomena, and spintronics has been studied. We aim to elucidate these phenomena, by exploiting nonequilibrium statistical mechanics, fundamental theory of quantum mechanics, and many-body physics. Examples of our research activities are adiabatic pumping in nanoscale devices, spin transport at an interface between a ferromagnet and a metal, many-body effect in thermal transport of phonons, and nonequilibrium transport properties of the Kondo quantum dots.

We are also working on various research subjects related to many-body effects and nonequilibrium phenomena. Examples of these researches are Wigner crystallization of two-dimensional electron systems and higher harmonics generation in solids. We are also collaborating with experimental groups in ISSP.



ミックス熱浴と結 合した超伝導量子 ットを実現する 超伝導回路。下図 イクロ波の散乱 ロスをマイクロ波 の振動数の関数と してプロットした もの。αは量子 ビットと熱浴の結 合定数。

Upper panel: A superconducting circuit for realizing a superconducting qubit system coupled to the subohmic bath. Lower panel: A numerical result for the microwave reflection loss as a function of the frequency.  $\alpha$  is the dimensionless qubit-reservoir coupling.

- 1. メゾスコピック系の量子輸送現象 Transport phenomena in mesoscopic systems
- 2. 相互作用する電子系の物性 Electronic properties of interacting electron systems
- 3. スピントロニクス素子の基礎理論 Fundamental theory of spintronics
- 4. 非平衡統計力学 Non-equilibrium statistical mechanics

## **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	勝本 信吾	助教中村壮智	ž
Professor	KATSUMOTO, Shingo	Research Associate NAKAMURA, Taketomo	
教 授	大谷 義近	助教遠藤彰	ž
Professor	OTANI, Yoshichika	Research Associate ENDO, Akira	T
教 授	小森 文夫	助 教 一色 弘成	ž
Professor	KOMORI, Fumio	Research Associate ISSHIKI, Hironari	
教 授	長谷川 幸雄	助 教 土師 将裕	ž
Professor	HASEGAWA, Yukio	Research Associate IHAZE, Masahiro	
教 授	リップマー ミック	助 教 森 泰蔵	‡
Professor	LIPPMAA, Mikk	Research Associate MORI, Taizo	F
教 授 <sup>*1</sup>	吉信 淳	助 教 <sup>*1</sup> 田中 駿介	<b>华</b>
Professor	YOSHINOBU, Jun	Research Associate TANAKA, Shunsuke	
准教授 <sup>*2</sup>	三輪 真嗣	助 教 <sup>*2</sup> 坂本 祥哉	<b>华</b>
Associate Professor	MIWA, Shinji	Research Associate SAKAMOTO, Shoya	
准教授(客員) Visiting Associate Professo	髙山 あかり r TAKAYAMA, Akari		<b>华</b>
			华

技術専門員\*1 向井 孝二 Technical Associate MUKAI, Kozo 技術専門職員 橋本 義昭 Technical Associate HASHIMOTO, Yoshiaki 技術専門職員 飯盛 拓嗣 Technical Associate IIMORI, Takushi 技術専門職員 浜田 雅之 Technical Associate HAMADA, Masayuki 特任研究員 安藤 寛 Project Researcher ANDO, Hiroshi 成塚 政裕 特任研究員 Project Researcher NARITSUKA, Masahiro 特任研究員 ヌイェン カーン ト゛ウイ Project Researcher NGUYEN, Khanh duy ヘムキ ジョシュア パ・トリック 特任研究員 Project Researcher HOEMKE, Joshua Patric 特任研究員 水野 隻翔 Project Researcher MIZUNO, Hayato

柳澤 啓中

Project Researcher YANAGISAWA, Hirofumi

特任研究員

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

### ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science

物理現象の研究を行なっている。

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/katsumoto\_group.html

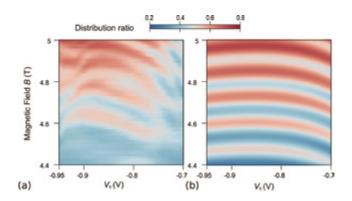
## 勝本研究室

Katsumoto Group

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、ドットなどのナノ構造中の 量子効果、多体効果を調べている。電子スピン、核スピン

の織りなすスピン現象、非平衡・非断熱な量子遷移に伴う

量子輸送現象をスピン自由度に広げる研究として、ナノ構造とスピン軌道相互作用を組み合わせる試みを行っている。ナノ構造を使い、空間反転対称性を破り局所的な軌道角運動量を導入することで、新しいタイプのスピン軌道相互作用を発生させることができる。一例が、量子ホール強磁性エッジ状態の屈曲を用いた非断熱スピン操作である。この系では、エッジ状態(軌道自由度)とスピン自由度が量子エンタングルしており、軌道操作とスピン操作の利点を実際上、同じ自由度に適用できる。非断熱スピン回転を伴う電流による超伝導制御など、新奇デバイスへの応用も期待される。



(a) 強磁性量子ホール端状態にスピン回転素子を取り付け、下流のスピン選別素子でスピンの向きを電流の分配率として測定した結果。カラープロットで表した分配率が、磁場とゲート電圧の両方に対して振動していることからスピン回転操作を確認した。(b) (a) の状況を簡単な物理モデルで再現したもの。

(a) Current distribution ratio of a device with a spin rotating emitter and a spin detection collector. The ratio is color-plotted versus the magnetic field and the gate voltage. The clear oscillation indicates unitary operation on the spin. (b) Theoretical reproduction of (a) based on a simple physical model.



勝本 信吾 KATSUMOTO, Shingo 教授 Professor



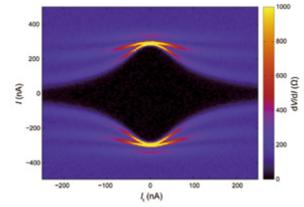
中村 壮智 NAKAMURA, Taketomo 助教



遠藤 彰 ENDO, Akira 助教 Research Associate

With the epitaxial growth of semiconductor and metallic films and nanofabrication techniques, we study quantum effects in low dimensional systems. Our research also spans some applications of the physics of electron and nuclear spins for 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. The nanostructures enable us to introduce new types of spin-orbit interaction by breaking the spatial inversion symmetry and creating a local orbital angular momentum. An example is the non-adiabatic unitary operation on electron spins in quantum Hall ferromagnetic edge states. Because the spin freedom and the edge states (orbital freedom) are maximally entangled in this system, the spin and the orbital operations can be utilized equivalently. Similar non-adiabatic spin rotation by the normal current can be applied to control superconductivity in a novel device.



超伝導 - 常伝導 - 超伝導接合の抵抗値を超伝導電流に直交する常伝導電流と接合電流の平面にカラープロットしたもの。黒く見える領域がゼロ抵抗の超伝導領域。

Color plot of resistance in a super-normal-super junction versus the plane of transverse current and junction current. The black region corresponds to the zero-resistance state.

- 1. 量子電荷・スピン輸送現象 Quantum transport in charge and spin freedoms
- 量子構造を用いた多体効果の研究
   Study of many-body effects in quantum structures
- 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

Division of Nanoscale Science

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/otani\_group.html

## 研究室

Otani Group



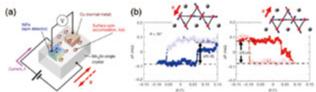
義近 OTANI. Yoshichika 教授

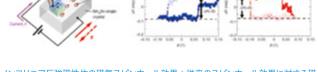


. 弘成 ISSHIKI Hironari 助教 Research Associate

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、電流とスピン流を結びつけて効果的に利用 する学理体系としてスピントロニクスが発展してきた。過去 10年の間にスピン流の生成・搬送・検出の方法が確立され、 スピントロニクス研究は新展開を迎えた。その結果、電子・ 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 を媒介として、相互に変換されることが明らかになってきた。 これらの『スピン変換』は、比較的単純な接合界面近傍の ナノスケール領域で生じることが多いため、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性研 究の観点から、新奇なスピン変換発現機構の開拓と解明に 取り組んでいる。さらに、微細加工技術を駆使して、開拓 したスピン変換を利用したスピントロニクス素子の研究開発 を行っている。

At the end of the 20th century, the concept of spin current, a flow of spin angular momentum, appeared. Since then, spintronics has been developing as a scientific framework that connects and effectively uses electric and spin currents. Spintronics research has entered a new stage with the establishment of the spin current generation, transport, and detection methods over the past decade. As a result, it has become clear that quasiparticles such as electron, phonon, photon, and magnon are interconverted via spins in the solid. These "spin conversion" often occur in a nanoscale region near relatively simple hetero-interfaces and thus have extremely excellent versatility and applicability. In our laboratory, we are working on the development and elucidation of a novel spin conversion mechanism from the viewpoint of nano-magnetism. Furthermore, we are conducting research and development of spintronics devices utilizing the newly developed spin conversion by making full use of nanofabrication technology.





分子 / 金属界面のスピン流 - 電流変換効果: スピンポンピング法による。(a) 分子 / 金 属 (PbPc/Cu) 界面とスピンポンピングの概略図。(b) スピンポンピングにより誘起され たスピン流 - 電流変換由来の電圧信号。(c)Cu(111) 表面上に吸着された単層 PbPc 膜の走査型トンネル顕微鏡像。

ノンコリニア反強磁性体の磁気スピンホール効果:従来のスピンホール効果に対する磁 化の寄与の発見。(a) 微細加工された Mn3Sn の上に強磁性体と非磁性体の電極が蒸 着されたスピン蓄積検出素子の概略図。(b) 磁気逆スピンホール効果に由来するスピン 蓄積信号。Mn3Snのスピン状態を逆向きにすると、ヒステリシスの符号が逆になる。

> The spin-charge current conversion at the molecule/metal interface observed by employing the spin pumping method. (a) The schematics of the PbPc/Cu interface and the spin pumping measurement. (b) Spin pumping induced voltage signal originated in the spin-charge current conversion. (c) Scanning tunneling microscopy image of a single layer PbPc film on Cu(111).

Magnetic spin Hall effect in a non-collinear antiferromagnet: discovery of a magnetic contribution to the spin Hall effect. (a) Schematic of the spin-accumulation device: Ferromagnetic and non-magnetic electrodes are formed on top of a microfabricated Mn3Sn. (b) The spin-accumulation signal caused by the magnetic inverse spin Hall effect. Opposite signs of the hysteresis appear after reversing the spins of Mn3Sn. The corresponding spin structures of Mn3Sn are shown in the insets.

- 1. 新奇な純スピン流の生成および検出機構の開拓 Development of novel mechanisms of pure spin current generation and detection
- 2. 磁気スピンホール効果の発現機構の解明と機能性の開拓 Elucidation of the mechanism of the magnetic spin Hall effect and development of functionality
- 3. 新奇なスピン流 電流相互変換機構の開拓 Development of novel spin-to-charge current conversion mechanism
- 4. 分子スピントロニクス Molecular spintronics
- 5. 磁気弾性強結合による高効率スピン流生成 Efficient pure spin current generation by magnon-phonon coupling

Division of Nanoscale Science

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/komori\_group.html

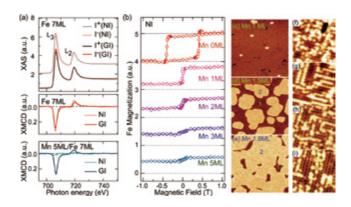
## 小森研究室

Komori Group



小森 文夫 KOMORI, Fumio 教授 Professor

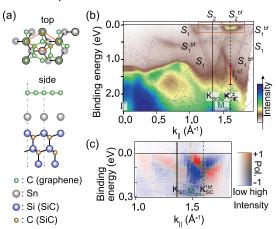
固体表面に形成される低次元系とナノ構造原子層物質の電気的磁気的性質を明らかにすることを目標に、超高真空中で走査トンネル顕微鏡 (STM)、光電子分光、磁気カー効果 (MOKE) 測定、および放射光分光を用いて研究を行なっている。STM を用いたトンネル分光では局所的な電子・スピン状態と準粒子干渉によるバンド構造解析、スピン角度分解光電子分光 (SARPES) では電子状態のスピンと波数依存性を、MOKEと軟 X 線放射光分光では磁性を調べている。また、時間分解光電子分光や準粒子干渉測定によって表面での電子励起・散乱・緩和機構と、トンネル電子やレーザー光による電子励起後の新奇物質生成機構に関して、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



(a) Cu(001) 面上の 7-ML Fe 膜の Fe  $L_{2.3}$  残留 XAS(上)、XMCD(中央)、および 5-ML Mn/7-ML Fe 膜の XMCD(下)。入射 X 線は膜に垂直(NI)および斜め 55°(Gi)で、外部磁場は入射 X 線に平行である。(b) NI-XMCD で測定された最大5 ML の Mn 膜が付いた 7-ML Fe 膜上ヘテロ構造における鉄の磁化曲線。(c-e) Mn を蒸着した 7-ML Fe フィルムの STM 画像。(f-i) 1.0-ML(f)、1.5-ML(g)、1.8-MLMn 膜(最初の(レベル 1)(h)および 2 番目の(レベル 2)(i) レベルの高解像度 STM 画像。

(a) Fe  $L_{2,3}$  remanent XAS (upper) and XMCD (middle) of a 7-ML Fe film on Cu(001), and XMCD (lower) of a 5-ML Mn/7-ML Fe film in the normal (NI) and 55° grazing (GI) incidence. External magnetic field is parallel to the incident x-ray. (b) Iron magnetization curves in the heterostructures of Mn overlayers up to 5 ML on the 7-ML Fe film measured by NI-XMCD. (c-e) STM images of 7-ML Fe films with Mn overlayers. (f-i) High-resolution surface STM images of 1.0-ML (f), 1.5-ML (g), 1.8-ML films (first (level-1) (h) and second (level-2) (i) levels).

Electronic and magnetic properties of low-dimensional and atomic-layer materials with nanometer-scale structures at solid surfaces are studied in an ultra-high vacuum using scanning tunneling microscopy/spectroscopy (STM/STS), photoelectron spectroscopy, and magneto-optical Kerr-rotation. Atomic, electronic and magnetic structures, formation processes, and dynamical processes induced by electron tunneling or photoexcited carriers are examined microscopically by local imaging, spectroscopy and quasi-particle interference observations using spin-resolved STM/STS. Spin-dependent electronic structures, magnetic properties, electron dynamics and chemical bonds are macroscopically investigated by photoelectron and optical spectroscopy using visible and ultraviolet light and soft-X-ray from laser and synchrotron.



(a) グラフェン / SiC (0001) 界面に挿入された Sn 単原子層の構造モデル。(b)  $\Gamma$ KSiC に沿った Sn 単原子層の ARPES 強度画像。計算されたパンド構造を重ね合わせてある。カラースケールは光電子の強度を表し、灰色(紫色)の破線は元の(折り畳まれた)パンドを示す。2 2の表面パンド  $S_1$   $S_2$ 、およびそれらの折り返しパンド  $S_1$  bf  $S_2$  sf がマークされている。(c) (b) の長方形で囲まれた  $S_2$  f / ビンドを含む領域の SARPES 強度画像。 $S_2$  k/ に垂直スピン分極成分が検出されている。 $S_2$  次元カラースケールは、光電子強度とスピン分極の両方を表している。

(a) Atomic structure model of a Sn monolayer intercalated into the graphene/SiC(0001) interface. (b) ARPES intensity image of the Sn monolayer along  $\Gamma K_{SiC}$  with overlaying the calculated band structure. The color scale represents the photoelectron intensity, and gray (purple) dashed curves the calculated original (back-folded, bf) bands. Two surface bands,  $S_1$  and  $S_2$ , and their back-folded bands,  $S_1^{\rm bf}$  and  $S_2^{\rm bf}$ , are marked. (c) SARPES intensity images taken with the region including  $S_2$  and  $S_2^{\rm bf}$  bands near  $E_F$  surrounded by a thin rectangle in (b). The spin polarization component perpendicular to  $k_{l'}$  is detected. The two-dimensional color scale represents both the photoelectron intensity and the spin polarization.

- 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, magnetism and electron scattering of atomic layers and nano-structured materials at surfaces
- 2. 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
- 3. 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

**Division of Nanoscale Science** 

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/hasegawa\_group.html

## 長谷川研究室

Hasegawa Group



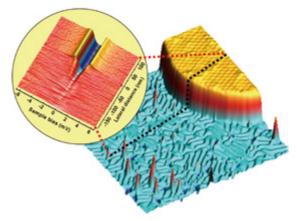
長谷川 幸雄 HASEGAWA, Yukio 教授 Professor



土師 将裕 HAZE, Masahiro 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、表面超伝導など反転対称性の破れた二次元系での超伝導特性、磁性体との近接効果により誘起される特異な超伝導・トポロジカル状態の観測を試みている。また、SP-STMによる磁性薄膜でのスピンスパイラルなど特異な局所磁気構造観察、SP-IETSによるスピン励起、マイクロ波導入によるナノ構造での磁気共鳴計測、スピン偏極局所ポテンショメトリによるスピン流計測等の研究も推進している。最近では、CeCoIn5 などの重い電子系物質の電子状態や局所超伝導・磁気特性の研究にも取り組んでおり、軌道秩序構造の実空間観察にも成功している。

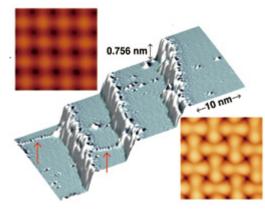


超伝導金属界面での近接効果。Si 基板上の1原子層 Pb(水色、常伝導相)と Pb 薄膜(黄色、超伝導相)の界面近傍で測定されたトンネル分光スペクトルから、超伝導特性が界面から 40nm の領域にわたって染み出していることが観察されている。

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, superconductor) 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 ultralow temperature and high magnetic field, peculiar local superconducting and topological states that can be found in surface superconductors, whose inversion symmetry is broken, and in the proximity with ferromagnetic materials, have been explored. We have also studied local magnetic properties of spin-spiral structures using SP-STM, spin excitation with SP-IETS, magnetic resonances through the introduction of microwaves, and spin current detection using SP-potentiometry. Recent subjects include heavy-fermion materials, such as CeCoIn5; orbital ordering was observed for the first time in a real space.



重い電子系物質 CeCoIn5 で観測された表面軌道秩序状態。Co 終端面での通常の STM 像 (中央および左上図)では、丸い形状の Co 原子像が見られるが、探針を近づけて撮った像 (右下図)では、ダンベル形状の d 軌道が秩序構造を形成していることが観察された。詳細な解析により、表面にのみ誘起された構造であることが判明している。

Surface-induced orbital ordered states observed on a heavy-fermion material CeCoIn<sub>5</sub>. In STM images taken on a Co-terminated surface in standard conditions, round-shaped Co atoms are observed (center and upperleft images). On the other hand, in STM images taken in closer distances (lower-right) we observed an ordered phase of dumbbell-shaped d-orbitals. Detailed analysis revealed that the ordered structure is formed only on the surface layer.

- 1. 低温 STM による特異な超伝導 / トポロジカル特性の探索 Exploration of peculiar superconducting / topological states using low-temperature STM
- 2. スピン偏極 STM へのマイクロ波導入によるナノスケール磁気共鳴計測 Nanoscale measurements of magnetic resonances by SP-STM with microwave
- 3. スピン偏極走査ポテンショメトリによるスピン流の実空間計測 Real-space distribution of spin currents by spin-polarized scanning potentiometry

Division of Nanoscale Science

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/lippmaa\_group.html

## リップマー研究室

Lippmaa Group



リップマー ミック LIPPMAA, Mikk 教授 Professor



森 泰蔵 MORI, Taizo 助教 Research Associate

分子線エピタキシー法を用いて原子的に平滑な酸化物を 形成することで、界面における特異な電気・磁気特性を観 測できる。たとえば、デルタドープされた界面において二次 元層間に閉じ込められたキャリア輸送特性を明らかにした。 図1は、SrTiO3上に単層もしくは二層のLaTiO3層を成 長させた後、さらに SrTiO3 を堆積させ形成した SrTiO3/ LaO ヘテロ構造である。各 La 層により供与された余剰電 子のいくつかは、電荷移動を介して隣接した SrTiO3 層へ ドープされる。このヘテロ構造内では、一部の電子は局在 化したり、金属的量子井戸を形成したり、基板に深部に広 がったりと、多数の電子分布を形成する。表面空乏層や静 電ゲーティングを活用しドープ層における La の原子数を調 節することで、電子分布のなす相対的な度合いを調整でき、 それに伴い磁気輸送特性が明確な変化した。図2に示すよ うに、キャリア数が変化すると面内磁気抵抗の変動が観察 される。

Sr La Ti O Sn Jaket Cap layer Cap la

図 1 . La, Sr デルタドープによる形成された  $SrTiO_3O$  ヘテロ構造。チタン格子間にある (La,Sr)O 層の数によりドープされるキャリア数が制御される。

Fig. 1. Delta-doped  $SrTiO_3$  heterostructures where the number of doped carriers is controlled by the number of (La,Sr)O layers in the titanate lattice.

The ability to grow atomically flat oxide thin films by laser molecular beam epitaxy allows us to study the transport behavior of carriers accumulated in two-dimensional layers at delta-doped interfaces. Fig. 1 shows examples of such heterostructures where a single or double layer of LaTiO3 was grown on a SrTiO3 and capped with another SrTiO3 layer. Each La atom donates an extra electron, some of which will dope the adjacent SrTiO<sub>3</sub> layers by charge transfer. We find that multiple electron populations form in this structure, with some electrons localized at the interface, some forming a metallic quantum well, and some spreading deep into the substrate. The relative sizes of these different populations can be tuned by adjusting the total La number in the doping layer, by utilizing surface depletion, or using electrostatic gating. We can observe distinct changes in the magnetotransport behavior when the relative electron population sizes change, as illustrated in Fig. 2, which shows the variation of in-plane magnetoresistance when the carrier number is changed.

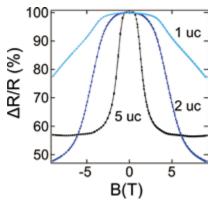


図2、SrTiO3/LaO ヘテロ構造の面内磁場抵抗。磁場を電流方向に対して平行に印加し測定した。面内磁気抵抗がチタン格子間の原子層 LaO の層数 (1, 2, 5) により変動する。

Fig. 2. In-plane magnetoresistance, measured with the magnetic field parallel to the current flow, for heterostructures doped by 1, 2, or 5 LaO atomic layers in the titanate lattice.

- 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. 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
- 4. 新規な有機 無機界面の創出 Development of novel organic – inorganic interfaces

ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science

## 高山研究室

Takayama Group



高山 あかり TAKAYAMA, Akari 客員准教授 Visiting Associate Professor

基板上の2次元原子層物質においては、原子層の表面(真空側)と裏面(基板側)で空間反転対称性が異なるため、結晶とも、Free-standingな単原子層とも異なる物性を持つことが期待される。特に、2次元物質では表面の原子の再構成、異分子の吸着、表面下の数原子層にたる原子配列の緩和、基板の影響により、わずかな構造の違いでも全く異なる物性が発現することもあり、新たな物性の発現が予測できると考えられている。

本研究室では、角度分解光電子分光 (ARPES)、走査トンネル電子顕微鏡 / 分光測定 (STM/STS)、全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) などの様々な実験手法を組み合わせ、表面 Rashba 系超伝導における非 BCS 型の超伝導現象の起源の解明や、グラフェンやボロフェンなどの単元素・単原子層のディラック電子系の特性、トポロジカル物質群の表面・エッジスピン物性の解明など、表面原子層物質の物性測定と構造解析の両面から研究を行なっている。

In a two-dimensional (2D) atomic-layer material it is expected that anomalous physical properties appear due to the broken space inversion symmetry. Especially in the case of two-dimensional materials on a substrate, its physical properties differ to bulk crystal and free-standing atomic-layer sheet due to the surface reconstruction, adsorption and defect, relaxation of the atomic arrangement over several atomic layers below the surface

In our laboratory, we study physical properties of atomic-layer materials by using various experimental methods such as angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES), scanning tunneling electron microscope/spectroscopy (STM/STS), and total reflection high-energy positron diffraction (TRHEPD). In particular, we focus on unconventional superconducting properties of the one atomic-layer alloy with the Rashba spin splitting bands, characteristics of the Dirac electron system like graphene and borophene, and physical properties of topological materials.

## 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 論的解析や、フロッケエンジニアリングに代表される量 子非平衡現象のシミュレーション手法が著しく進展し 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)、高次複雑分子系 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 (FMG) 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, computational simulation methods for non-equilibrium quantum phenomena such as Floquet engineering have 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 FMG should work as an open platform for such collaborations.

教 授	吉信 淳	准教授	井上 圭一	技術専門員	向井 孝三
Professor	YOSHINOBU, Jun	Associate Professor	INOUE, Keiichi	Technical Associate	MUKAI, Kozo
教 授	秋山 英文	准教授 *4	松田 巌	学術支援職員	バゲルザデ レザ
Professor	AKIYAMA, Hidefumi	Associate Professor	MATSUDA, Iwao	Technical Associate	BAGHERZADEH, Reza
教 授	杉野 修	准教授 *5	野口 博司	特任研究員	薄倉 淳子
Professor	SUGINO, Osamu	Associate Professor	NOGUCHI, Hiroshi	Project Researcher	USUKURA, Junko
教 授	岡 隆史	准教授(客員)	樋山 みやび	特任研究員	金 昌秀
Professor	OKA, Takashi	Visiting Associate Profess	o HIYAMA, Miyabi	Project Researcher	KIM, Changsu
教 授 <sup>*1</sup>	小森 文夫	教授 (外国人客員)	)陳 少強	特任研究員	今野 雅恵
Professor	KOMORI, Fumio	Visiting Professor	CHEN, Shaoqiang	Project Researcher	KONNO, Masae
教 授 <sup>*2</sup>	森 初果	教授 (外国人客員)	朱 琳	特任研究員	中前 秀一
Professor	MORI, Hatsumi	Visiting Professor	ZHU, Lin	Project Researcher	NAKAMAE, Hidekazu
教 授 <sup>*3</sup>	山室 修	助教	田中 駿介	特任研究員	中村 孝宏
Professor	YAMAMURO, Osamu	Research Associate	TANAKA, Shunsuke	Project Researcher	NAKAMURA, Takahiro
教 授 <sup>*1</sup>	リップマー ミック	助教	春山 潤	特任研究員	八尾 寛
Professor	LIPPMAA, Mikk	Research Associate	HARUYAMA, Jun	Project Researcher	YAWO, Hiromu
教 授 <sup>*4</sup>	原田 慈久	助教	永田 崇	特任研究員	ラフェンテ サンピ。エトロ アルバン
Professor	HARADA, Yoshihisa	Research Associate	NAGATA, Takash	Project Researcher	LAFUENTE SAMPIETRO, Alban
		助教 <sup>*</sup> 1 Research Associate	森 泰蔵 MORI, Taizo	特任研究員 <sup>*6</sup> Project Researcher	河津 励 KAWATSU, Tsutomu

<sup>\*&</sup>lt;sup>1</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

<sup>\*2</sup> 所内兼務。本務は凝縮系物性研究部門。/ concurrent with Division of Condensed Matter Science

<sup>\*3</sup> 所内兼務。本務は中性子科学研究施設。/ concurrent with Neutron Science Laboratoy

<sup>\*4</sup> 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

<sup>\*5</sup> 所内兼務。本務は物質設計評価施設。/ concurrent with Materials Design and Chatacterization Lavoratory

<sup>\*\*6</sup> 所内兼務。本務は計算物質科学研究センター。 / concurrent with Center of Computational Materials Science

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/yoshinobu\_group.html

## 吉信研究室

Yoshinobu Group



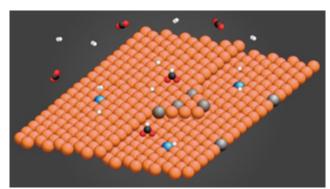
吉信 淳 YOSHINOBU, Jun 教授 Professor



田中 駿介 TANAKA, Shunsuke 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、さらに地球環境や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。最近は、二酸化炭素や水素が関わ る表面反応過程に興味を持っている。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 研究してきた。また、シンクロトロン放射光施設 (KEK-PF、 SPring-8 など) における雰囲気光電子分光を用いた表面の オペランド観測を推進している。最近、THz パルスによる表 面プロセス駆動の研究にも取り組んでいる。

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 dissiparion 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. Recently, we are interested in surface reactions including CO2 and hydrogen. 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. Recently, we have started to study THz-pulse driven surface processes.



A schematic model of CO<sub>2</sub> hydrogenation on the Pd-Zn-Cu model catalyst

- 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. 表面や界面における水素が関わる物性と反応(ハイドロジェノミクス) Properties and reactions with hydrogen at surfaces and interfaces (Hydrogenomics)
- 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. 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. THz パルスによる固体表面における原子・分子ダイナミクスの研究
  Dynamical processes of atoms and molecules on solid surfaces using THz pulse

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/akiyama\_group.html

## 秋山研究室

Akiyama Group



秋山 英文 AKIYAMA, Hidefumi 教授 Professor

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。

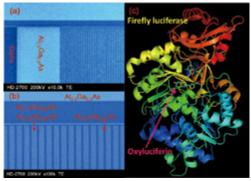
光学実験技術として、微細なナノ構造の発光を高感度に 検出する技術、絶対量を定量計測する技術、ナノ構造の透 過吸収を計測する技術、顕微分光や画像計測の技術、ソリッ ドイマージョン顕微技術などを開発している。さらに、それ らの技術を応用し、ホタルやクラゲやウミホタルの生物発光 やルミノール化学発光などを、生物学・化学・理論の専門 家や民間会社と共同で研究している。 Advanced laser spectroscopy on the basis of lasers and microscopy is developed and applied to semiconductor quantum wires 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 nanostructures, 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.

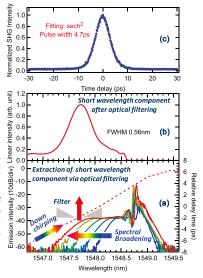
100 周期T型量子細線レーザー (a,b) とホタルルシフェラーゼ (c) の構造

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



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.



- 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

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/sugino\_group.html

## 杉野研究室

Sugino Group



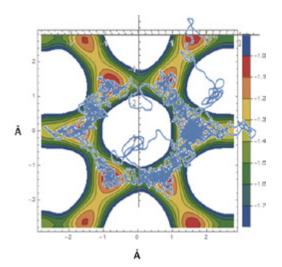
杉野 修 SUGINO, Osamu 教授 Professor



春山 潤 HARUYAMA, Jun 助教 Research Associate

スーパーコンピュータを用いたシミュレーションなどを通して、複雑な物性現象を理解し新物質・新現象の予測につなげるとともに、計算の対象拡大や高精度化のための計算理論を構築する研究を行っている。

計算物質科学の方法は近年急速な発展を遂げ、結晶等の電子状態から多自由度系や多階層系、複雑系の機能性にまで研究対象が拡大している。本研究室では、未知の高圧物質や生体物質、電池等でのエネルギー変換過程等の計算を実験と連携して行い、微視的な理論を精巧化し、それを物質設計につなげる研究を行っている。また、対象となる多体問題を高精度に解くための新手法を多角的に検討しており、例えば、多自由度系に対する計算結果を機械学習し、相関エネルギーを精密に表現する方法や汎関数繰り込み群に基づく方法などを構築しており、次世代の計算物質科学の方法の開拓を行っている。

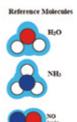


第一原理経路積分計算による白金 (111) 面上の水素原子の分布関数と拡散 経路。

Ab initio path integral simulation of a hydrogen atom adsorbed on Pt(111). The contour shows the density distribution and the blue line shows the trajectory of the centroid. Quantum effect was found crucially important.

Based on large-scale simulations, Sugino group elucidates properties of complex condensed matters, such as high-pressure phases of solid-hydrogen, bioluminescent molecules, and electrochemical interfaces. The group also develops novel computational schemes for accurate prediction of material properties.

The computational materials science is advancing rapidly, so that the target of research is extending toward materials of larger degrees of freedom and multi-scale phenomena. This has made common to make a joint theoretical and experimental project for microscopic understanding of a material functionality. The collaboration is done here with the research infrastructure, especially the massively parallel supercomputers and novel computational schemes. For the advance of computational scheme, a set of few-body problems was machine learned to establish the mapping between the particle density and the correlation energy. The resulting mapping was found to serve for accurate prediction of many-body problem within the density functional theory (DFT). DFT has been developed for classical systems as well as the quantum systems with help of novel approaches like functional renormalization group.



	AE147 [kcal/mol]	DD147	(kcal/mol)	TE147 [hatree]
SWWN	84.2	0.59	15.4	1.28
NN-LSOA	30.9	0.36	13.8	0.90
BLYP	7.3	0.24	7.9	0.41
PBE	17.0	0.18	11.5	0.21
NN-GGA	11.0	0.18	9.6	0.42
TPSS	6.2	0.17	8.7	0.48
SCAN	6.1	0.16	7.7	0.28
MOG-L	5.2	0.19	4.1	0.42
NN-mGGA	4.7	0.13	4.7	0.14
NN-NRA	3.7	0.13	5.5	0.08

 $H_2O$ ,  $NH_3$ , NO の機械学習により構築された交換相関汎関数のテスト。LDA, GGA 等の各レベルの汎関数形に対して、良く用いられる汎関数と機械学習汎関数を比較したところ、結合エネルギーや電子分布関数の値をより正確に再現できることがわかった。

The exchange-correlation functional of density functional theory was constructed by machine learning the three reference molecules,  $\rm H_2O$ ,  $\rm NH_3$  and NO. The functional was found to yield smaller mean-error of the atomization energy (AE147), electron density profile (DD147), barrier height of a reaction (BH76), and total energy (TE147) for various levels of the functional forms. The white characters in the first column, SVWN, BLYP..., indicates the familiar functionals while the orange ones are the machine learned functionals.

- 1. 計算物質科学の方法による物性予測
  Prediction of material properties using methods of computational materials science
- 高圧物質、生物発光、エネルギー変換などの解明
   Elucidation of high-pressure phase, bioluminescence, and energy conversion
- 3. 機械学習や統計物理学の方法を用いた多体問題の数値解の高精度化
  Development of methods for accurate many-body problems with machine learning or statistical physics scheme

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/oka\_group.html

## 岡研究室

Oka Group



岡 隆史 OKA, Takashi 教授 Professor

量子物質の非平衡状態に潜む未知の自然法則を発見するとともに、その理解をもとに物質相を自在に制御し機能発現させる方法を理論的に研究する。中でもフロッケ・エンジニアリングに代表される新しい理論体系が近年注目を集めており、非平衡現象を平衡系に近い深さで理解することが可能になりつつある。日々の研究においては、乱流、ニューラルネットワークといった古典物理分野や、生命現象、そして日常的に非平衡現象が利用されてきた半導体物理など、広い分野で蓄積されてきた知見を参考にしつつ、場の理論や数値計算などの基礎的な手法を利用することで相関電子系、トポロジカル物質、スピン系などの重要な量子物質(図1)の非平衡現象の研究をおこなっていくとともに、物質の新しい非線形応答効果(例えば図2)を探索する。

Our main research subject is quantum materials driven far away from equilibrium by external fields such as laser light. The aim is to seek for new laws of physics that govern such exotic states and to find a way to control their collective dynamics. We employ new theoretical frameworks such as Floquet engineering which enables us to understand nonequilibrium physics with the depth comparable to equilibrium systems. We can also obtain important insights from other existing research fields such as turbulence, neural network, and non-linear semiconductor optics, and apply them to new exotic materials. The target materials range from topological systems to strongly correlated systems (Fig.1). New non-linear response phenomena such as the heterodyne Hall effect (Fig.2), i.e. quantum Hall effect induced by oscillating magnetic fields, will be studied as well.

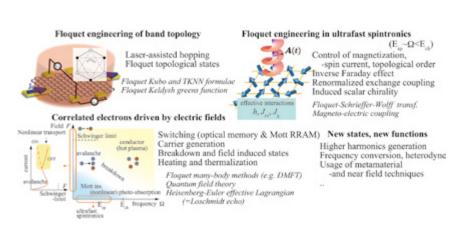


図 1 量子物質のフロッケ・エンジニアリングの広がり。バンドトポロジー、スピン秩序、相関電子系などの相制御や新原理に基づくデバイスの提案につながっている。

Fig. 1. Floquet engineering in quantum materials. T. Oka, S. Kitamura, Annu. Rev. Condens. Matter Phys. 10, 387-408 (2019).

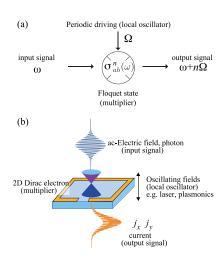


図2 フロッケ状態を利用したヘテロダイン・デバイス。(a) 入力シグナルに対して周波数混合の施された出力を与える。(b) 振動磁場を用いたヘテロダインホール効果の実現例。

Fig. 2. Heterodyne device utilizing Floquet states. (a) Frequency mixed output is realized. (b) A realization of the heterodyne Hall effect using 2D Dirac semimetals.

- 1. 量子物質のフロッケ・エンジニアリング Floquet engineering of quantum materials
- 非平衡相における新現象、新学理の探索
   Discovery of novel phenomena and law of physics in nonequilibrium systems
- 非線形量子デバイスの提案 Proposal of novel nonlinear quantum devices

#### 機能物性研究グループ Functional Materials Group

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/inoue\_group.html

# 井上研究室

Inoue Group



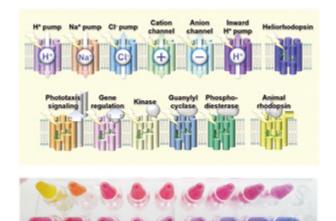
井上 圭一 INOUE, Keiichi 准教授 Associate Professor



永田 崇 NAGATA,Takashi 助教 Research Associate

多くの生物は太陽光を自身の生理活動のためのエネルギー源や、外界の環境変化を知覚するための情報源として利用する。そしてこのときに中心的な役割を果たすのが、様々な光受容タンパク質である。

本研究室では、それら多様な光受容タンパク質の機能発現メカニズムを統一的に明らかにすることを目的とし、レーザー時間分解分光実験や振動分光実験などを通じて、高次複雑系である光受容タンパク質分子の化学反応素過程を調べる研究を行っている。さらに電気生理学実験や、生化学的手法と組み合わせることで、原子・分子レベルから細胞・個体レベルにおよぶ多階層的な理解を目指している。またこれらの知見をもとに、光遺伝学などの応用を目標とした機能性生体分子の開発にも取り組む一方で、近年のゲノム解析の発展に伴うビッグデータをもとに、新奇な光生物学的現象とそれに関わる分子群の探索研究や機械学習法の開発を行っている。

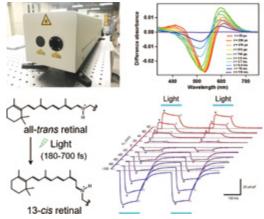


多様な機能を持つ微生物型ロドプシン(上)とその精製タンパク質試料(下)。

Microbial rhodopsins with a variety of functions (upper) and the purified-protein samples (lower).

Most living organisms use sun-light as energy source for their biological activity and information source to recognize environmental change. In this photobiological events, a wide variety of photo-receptive proteins play the central role.

Our research aims unified understanding of the mechanism of biomolecular functions of various photoreceptive membrane proteins called "rhodopsins". The chemical elementary process of these supra complex photoreceptive proteins is studied by time-resolved laser spectroscopy and vibrational spectroscopy, and we are promoting further research by combining biochemical and electrophysiological techniques to achieve multilayer understanding from atomic and molecular to cellar and individual levels. Furthermore, whereas we are developing novel artificial biomolecules for the application to optogenetics and so on based on the fundamental insights, exploration studies of new photobiological phenomena and related molecular groups, and a development of machine learning technology are being conducted with big data accompanying the development of genome analysis in recent years.



ナノ秒パルスレーザーによる微生物型ロドプシンの過渡吸収測定(上)およびロドプシン分子内におけるレチナールの光異性化過程(下)。

Transient absorption measurement of microbial rhodopsin by a nano-second pulsed laser (top) and photo-isomerization process of retinal in rhodopsin (bottom right). Photo currents of ChR expressed in mammalian cells.

- 1. 光受容型膜タンパク質ロドプシンの分子機能メカニズムの機能解析および分光研究 Functional and spectroscopic studies on the mechanism of molecular function of photoreceptive membrane protein, rhodopsins
- 先端的分光計測法の生体分子研究への応用 Application of advanced spectroscopic measurement method for biomolecular study
- 3. ゲノムビッグデータをもとにした新奇光受容型タンパク質探索 Exploration of novel photoreceptive proteins through use of genome big data
- 4. 機械学習法を用いた生体分子の機能決定因子の同定とそれにもとづく新規機能性分子開発 Machine-learning study on the determining factor for the function of biological molecules and its application for the development of novel functional molecules

機能物性研究グループ Functional Materials Group

# 樋山研究室

Hiyama Group



樋山 みやび HIYAMA, Miyabi 客員准教授 Visiting Associate Professor

量子化学計算・合成実験・分光計測を行うことにより、 ホタル生物発光で起きている反応機構の解明とその応用研 究を行っている。

ホタル生物発光は、pH やタンパク質変異体など実験条件の違いで異なる発光色になることや、その反応物質は生体にとって害が少ないことから、薬剤や細胞などの検出方法として環境・医療・バイオテクノロジーなどの分野で広く利用されている。この発光は、タンパク質酵素中の化学反応の結果おこる。このため発光機構の解明は、ホタル生物発光そのものの理解を進め、応用の可能性を広げるだけでなく、酵素が関与する化学反応を理解する鍵となる。本研究室では、ホタル生物発光の基質であるルシフェリンに保護基のついた光解離型ケージドルシフェリンに着目し、合成、吸収・蛍光測定および生物発光計測、量子化学計算によるこれらのスペクトル解析により、酵素が関与する化学反応を明らかにする研究を推進している。

The subjects of our research are the elucidation of emission mechanism on the firefly bioluminescence and the application of this reaction with the quantum chemical calculations, spectroscopic measurements, and synthetic experiments.

Firefly bioluminescence, of which emission color depends on the experimental condition, is widely used on environmental filed, medical field, and biotechnology field etc., because the substrate and enzyme of this bioluminescence are harmless to living organisms. This luminescence is due to oxidation reaction of substrate, firefly luciferin, in firefly luciferase enzyme. The elucidation of firefly bioluminescence would encourage not only to understand this phenomenon for expanding the availability of applications but also to understand other chemical reactions involved in enzyme. We synthesized a photo-cleave type of caged luciferin and study the physical properties of this chemical species.

機能物性研究グループ Functional Materials Group

## 陳研究室

Chen Group

ハロゲン化鉛ペロブスカイト (LHP) は、太陽電池とレーザー・LED 発光素子の両方で有望視される新材料である。レーザー発振は、ナノワイヤまたはナノロッドのファブリペロー型共振器や、微小球、板、キューブのウィスパリングギャラリーモード (WGM) 微小共振器で報告されているが、レーザー発振やその他の光学特性に関する励起子の寄与など基本メカニズムの多くが未解明である。華東師範大・陳グループでは、一段スピンコート合成法で高品質有機無機 LHP薄膜を、液相法や CVD 法で多様な LHP 微結晶 / ナノ構造を作製し、レーザー発振を観測してきた。これらの現象の物理機構を理解するため、利得スペクトル計測、レーザーのデバイス化と特性評価、時間分解分光測定による超高速スペクトルダイナミクス計測などを、物性研にて行う。それらの実験から、励起子効果を含むペロブスカイトナノ/マイクロ結晶のレーザー物理を解明する。



陳 少強 CHEN, Shaoqiang 外国人客員教授 Visiting Professor

Lead halide perovskites (LHPs) are currently stimulating huge activity across the field of optoelectronics for both light-harvesting and light-emitting applications. Lasing operations have been reported in a number of LHP micro-/nanostructures, such as microspheres, microplates, and microcubes by forming the whispering gallery mode (WGM) microcavities. These results demonstrate the high optical gain of LHPs and their considerable potential for applications in nonlinear optics. However, underlying mechanisms are controversial. We formed obtain high-quality LHP thin films by one-step spin-coating method, and synthesized various kinds of LHP micro/nanostructures through efficient liquid-phase and chemical vapor deposition (CVD) methods. These samples have shown single- and/or multi-longitudinal laser emissions.

Aiming to understand in depth mechanisms of the above mentioned phenomena, we perform in ISSP characterization of material gain, optical device fabrication and lasing characterizations, and investigation of ultrafast spectral dynamics with timeresolved spectroscopy measurements. 機能物性研究グループ Functional Materials Group

# 朱研究室

Zhu Group



朱 琳 ZHU, Lin 外国人客員教授 Visiting Professor

III-V 族化合物太陽電池は、超高性能が要求される用途のため、世界中で精力的に開発が進み、特に、多接合太陽電池(3接合以上)、量子ドット複雑構造入りなどが競争的に研究されている。

より超高性能を目指して4接合以上の多接合太陽電池を構成するためには、格子不整合による巨大な歪みをもつ材料を使う必要がある。従って、材料品質の評価や性能への影響の理解がより重要となる。世界の多くのグループで試作された太陽電池試料に対して、絶対 EL 評価や時間分解計測によるダイナミクス評価を行い、測定結果から品質や性能の制限要因を研究している。

量子ドットを多接合太陽電池のボトムセルに用いると、量子ドット太陽電池の欠点が緩和され、トータルで優れたセルが作れるのではないかという提案がある。理論解析に基づき、実際に量子ドット入り多接合太陽電池を設計・試作し、品質と性能を調べる。

III-V compound semiconductor solar cells have achieved the highest conversion efficiency among the present photovoltaic devices. Aiming at further higher conversion efficiency, multijunction (MJ) configuration, such as triple- or four-junctions, has attracted broad attention. Meanwhile, quantum-dot (QD) configuration as a possible strategy to implement intermediate band solar cells is another attractive topic in developing monolithic multi-junction solar cells. However, it has been a tough job to fabricate the two kinds of cells with high lattice quality.

Our study include: 1) Optical/electrical measurements and analysis on the internal behavior of the practical MJ or QD-MJ solar cells, in order to understand the carrier dynamic mechanism in those cells that usually include lattice imperfections. 2) General and realistic theoretical models on high-performance QD-MJ solar cells, which can interpret internal carrier dynamics, mechanisms and device behaviors in practical solar cells.

# 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って実現する。本研究グループは、そのような考えのもとに、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・連携研究を推進するために新設された。

当グループは3つのコアグループと9つの連携 グループからなり、互いに強く連携・協働しなが ら、強相関電子系の新しい量子相や新しい機能 性物質の開発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製し、その精密 物性測定を駆使して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。

Condensed matter physics has progressed, relying on discoveries of new materials, new phenomena, and new concepts. 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 often been made at an intersection of various research fields. The quantum materials group, aiming at another leap forward in our activity, 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 three core groups and nine joint groups. All the 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-ofart measurement systems. Device fabrication is also carried out for spintronics applications. These experiments are conducted through lively discussion and tight collaboration with theory groups, which search for new topological phases by using an advanced theoretical approach and numerical methods.

教 授	押川 正毅
Professor	OSHIKAWA, Masaki
教 授 <sup>*1</sup>	瀧川 仁
Professor	TAKIGAWA, Masashi
教 授 <sup>*1</sup>	榊原 俊郎
Professor	SAKAKIBARA, Toshiro
教 授 <sup>*2</sup>	廣井 善二
Professor	HIROI, Zenji
教授 <sup>*3</sup>	大谷 義近
Professor	OTANI, Yoshichika
特任教授 *4	中辻 知
Project Professor	NAKATSUJI, Satoru
准教授	三輪 真嗣
Associate Professor	MIWA, Shinji
准教授 *1	山下 穣
Associate Professor	YAMASHITA, Minoru

近藤 猛

KONDO, Takeshi

松永 隆佑

岡﨑 浩三

OKAZAKI, Kozo

MATSUNAGA, Ryusuke

准教授 \*5

准教授 \*5

准教授 \*5

Associate Professor

Associate Professor

Associate Professor

助 教 多田 靖啓 特任研究員 志賀 雅亘 Research Associate TADA, Yasuhiro Project Researcher SHIGA, Masanobu 坂本 祥哉 特任研究員 ハンシェン ツァイ 助教 SAKAMOTO, Shoya HANSHEN, Tsai Research Associate Project Researcher 冨田 崇弘 特任研究員 フェン ジリ 特仟助教 TOMITA, Takahiro Project Researcher FENG, Zili Project Research Associate 肥後 友也 レイ マユク クマー 特任研究員 Project Research Associate HIGO, Tomova Project Researcher RAY, Mayukh Kumar

<sup>\*1</sup> 所内兼務。本務は凝縮系物性研究部門。 /concurrent with Division of Condensed Matter Science

<sup>\*2</sup> 所内兼務。本務は物質設計評価施設。 /concurrent with Materials Design and Characterization Laboratory

<sup>\*3</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

<sup>\*4</sup> 理学系研究科物理学専攻と兼務。 /concurrent with Physics Department, Graduate School of Science

<sup>\*5</sup> 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 Syncrotron Research Center

### 量子物質研究グループ Quantum Materials Group

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/oshikawa\_group.html

# 押川研究室

Oshikawa Group



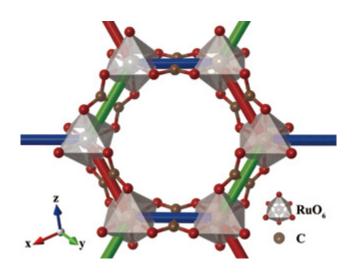
押川 正毅 OSHIKAWA, Masaki 教授 Professor



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、実験結果の統一的な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、キタエフ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) を用いたキタエフスピン液体の設計。キタエフ模型は、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模型である。イリジウム酸化物等の無機化合物でのキタエフ模型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、より理想的なキタエフ模型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.

- 1. 量子スピン系および遍歴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
- 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

#### 量子物質研究グループ Quantum Materials Group

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/ organization/labs/nakatsuji\_group.html

### 中辻研究室

Nakatsuji Group

中辻 知 NAKATSUJI, Satoru 特任教授 Project Professor



富田 崇弘 TOMITA, Takahiro 特任助教 Project Research Associate



肥後 友也 HIGO, Tomoya 特任助教 Project Research Associate

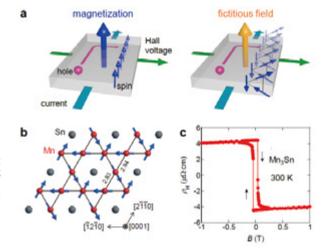
物質科学のフロンティアは、新しい現象の発見にある。なかでも、無機物質は我々の生活を支える材料として最もよく利用されてきた。その無機物質から物質中の 10<sup>23</sup> 個もの電子が相互作用して創り出すマクロな量子現象が続々と発見されており、物理と化学を駆使した新物質の開発こそが新しい量子現象を目指す物質科学の醍醐味である。さらに、これらの量子現象の発見は現代の情報社会や IoT 社会の基盤となる革新的技術を生みだしている。 私達の研究室では、このような新しい物性と機能の開発を目指した新物質開発に取り組み、スピントロニクスやエネルギーハーベスティングなどの応用に資する新たな量子現象を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

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、また新物質を 用い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い、 その成果を世界に発信している。

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  $Mn_3Sn$  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  $Mn_3Sn$  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ると考えられる。 $Mn_3Sn$  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 ,  $Mn_3Sn$  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  $Mn_3Sn$ . 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  $Mn_3Sn$ . Each Mn has a magnetic moment (arrow). c, Magnetic field dependence on the Hall resistivity in  $Mn_3Sn$  at room temperature.



- 1. ワイル反強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 antiferromagnetic Weyl metals 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 applications 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

#### 量子物質研究グループ Quantum Materials Group

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/miwa\_group.html

# 三輪研究室

Miwa Group



三輪 真嗣 MIWA Shinji 准教授 Associate Professor



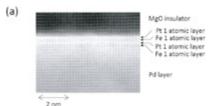
坂本 祥哉 SAKAMOTO, Shoya 助教 Research Associate

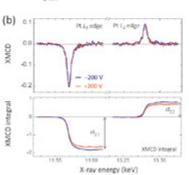
高品質かつ特徴的なナノ構造を用いた物性実験研究を行っている。具体的には半導体工学の超高真空薄膜成長技術を金属・絶縁体・有機分子に適用し、異種材料界面を有する多層膜デバイスを用いて研究を行う。ナノの世界で「スピン」の性質が顕著に現れることに着目し、様々な量子スピントロニクス現象を発現するデバイスを創成している。作製した新物質・材料デバイスが示す新たな物性(物の性質)を見つけ、機能化し、応用に供することが研究目的である。

最近の具体的な研究テーマは、マイクロ波帯域の電流電圧応答やフェムト秒パルスレーザーを用いたスピンダイナミクスの研究、電流電圧を印加しながら X 線吸収分光を行う「オペランド X 線分光」を用いた様々なスピントロニクス現象の機構解明等である。分光研究で得た知見を用いて、実際に室温巨大効果を示すデバイスの創成を目指している。

We study experimental condensed-matter and material physics using high-quality and unique nanostructures. We employ ultrahigh vacuum technique, which has been used for semiconductor engineering, for the multilayer fabrication with metals, insulators, and organic molecules. We focus on spin and orbital properties, which can be pronounced in nano-structure, and fabricate quantum spintronics devices. Our research purpose is to characterize the physical properties in such devices and use them for application.

Recently, we study spin-dynamics using microwave voltage/current and femtosecond pulse laser systems. We also study the microscopic origin of the various spintronics phenomena using operando X-ray absorption spectroscopy. Using the obtained knowledge, we design and fabricate spintronics devices showing large effects at room temperature.





(a) 特徴的なナノ構造を有する新物質・材料薄膜の例。ありふれた材料 の Fe・Pt・Pd 等を原子レベルで行名 層し、新たな物性を示す薄膜デバスを創成した。(b) オペランド電解となりはた。(b) オペランド電際のでででいる。 電界をかけながらオペランドで層に 気円二色性分光を行い、界面 Pt 層 線磁の で変化を見出しした。とくででいる。 での変形により、火と代理のない。 が光研究の融合により、火で重要な 発性メモリの駆動技術とと不要な 電気磁気効果の物理機構を解明した。

(a)

(a) An example of a novel multilayer with characteristic nanostructure. By using conventional materials such as Fe, Pt, and Pd, we fabricated novel multilayer device with new physical phenomena. (b) An example of operando X-ray spectroscopy. We conducted the operando X-ray magnetic cir-

(b)

Fe8 (2 nm)

MgO (1 nm) CoFeB (3 nm (a) ナノ磁性体のスピンダイナミクスを利用した機能性デバイスの例。(b) プテンシャルの模式図。 ないポーンポーシャルの模式図。 なりま線形効果が関連では、より非線形効果が関連では、カリントルク強性体のスピットルクがで向上されることを見出した。

(a) A functional device using spin-dynamics in nano-magnets. (b) Schematic of spin-dynamics and potential. If we precisely control the spin-potential, the non-linear effect can be enhanced. We find that the signal-to-noise ratio in the spin-torque diode effect in nano-magnets can be enhanced by the non-linear effect.

cular dichroism spectroscopy under electric-field application to the MgO dielectric, and found a change in electronic state in the interfacial Pt layer. The origin of the voltage-controlled magnetic anisotropy, which is important for future non-volatile random access memory, has been revealed.

- 1. 量子物質を用いたスピントロニクスデバイス Spintronics device using quantum materials
- 2. フェムト秒パルスレーザーや放射光 X 線を用いたオペランド分光によるデバイス物性の機構解明 Operando spectroscopy using pulse laser and x-ray to reveal device physics
- 3. 界面ナノ制御によるデバイス機能向上 Interface engineering to develop device performance
- 4. スピンによる脳型コンピューティング Brain-inspired computing using spintronics

# 社会連携研究部門

### **Social Cooperation Research Department**

本学の制度である社会連携研究部門は、公益性の高い共通の課題について、東京大学と共同研究を実施しようとする民間機関等から受け入れる経費等を活用して設置される。本研究部門では、教育研究内容における物性研究所の自主性の確保に十分配慮しながら、教育研究の進展や人材育成の活性化により、学術の推進及び社会の発展に寄与することを目的としている。

物性研究所では、2019 年 4 月に最初の社会連携研究部門「データ統合型材料物性研究部門」 が開設された。

Social Cooperation Research Department (SCRD) is a joint research framework between the University of Tokyo and its corporate or other external partners in order to collaborate in research projects that contribute to the public interest. Although SCRD is funded by external partners, its research and education activities aiming for academic advancement and social development are conducted in such a way that secures the University's autonomy and independence. ISSP established its first SCRD unit, the Division of Data-Integrated Materials Science, in April 2019.

### データ統合型材料物性研究部門 Division of Data-Integrated Materials Science

昨今、機械学習が社会的にも大きな注目を集めている。機械学習の物質科学研究への応用の可能性も盛んに研究されており、多くの有望な結果が報告されている。背景には、この考え方が、基礎科学の産業応用を加速させるうえでのカギとなるという期待感がある。当部門では、実験と数値計算をデータ科学的手法によって統合し、電子相関の理解に基づいて、革新的な機能を持つ材料の物性予測・探索手法を開発することを目的としている。実験結果と数値計算結果の単純な比較や実験の理論計算による解釈にとどまらず、両者を同時に用いることによって、実験・数値計算それぞれ単独ではなしえない成果を挙げることを目指している。これによって、永久磁石や超伝導などの材料探索を進めている。

Recently, machine learning has attracted social attention. The possibility of applying machine learning to material-science research is also actively studied, and many promising results have been reported. The expectation is that this idea will be the key to accelerating the industrial application of basic science. The division aims at developing methods for prediction of physical properties of materials, based on the understanding of electron correlation, by integrating experiments and numerical calculations through data-scientific approaches. While conventionally we have been comparing experimental results with numerical ones, interpreting the former by the latter, the new goal is to achieve something that cannot be done by experiment or numerical calculation alone, by using both of them simultaneously. In this way, we are searching for new materials that supports permanent magnetization, superconductivity, etc.

教 授<sup>\*1</sup> 川島 直輝
Professor KAWASHIMA, Naoki
教 授<sup>\*1</sup> 尾崎 泰助
Professor OZAKI, Taisuke

特任研究員 平山 尚美
Project Researcher HIRAYAMA, Naomi
特任研究員 \*2 櫻井 誠大
Project Researcher SAKURAI, Masahiro

特任准教授 福島 鉄也
Project Associate Professor FUKUSHIMA, Tetsuya

<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> 所内兼務。本務は計算物質科学研究センター。/ concurrent with Center of Computational Materials Science

#### データ統合型材料物性研究部門

**Division of Data-Integrated Materials Science** 

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/fukushima\_group.html

# 福島研究室

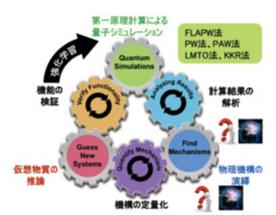
Fukushima Group



福島 鉄也 FUKUSHIMA, Tetsuya 特任准教授 Project Associate Professor

高速・大規模電子状態計算手法とデータ科学による仮想スクリーニングを組み合わせた独自の自動ハイスループット材料計算手法とデータ駆動型マテリアルデザイン環境を開発し、大規模物性データベースの構築と次世代エレクトロニクスに資する新機能材料の探索を行っている。

マテリアルデザインは物質構造が与えられ物性機能を解明する一般的なシミュレーションの逆問題である。無限ともいえる広範囲の物質空間での系統的な材料探索はほぼ不可能であり、この状況を打破するには大量の物性データの迅速な解析と効果的な利用により有用な情報や知識を取り出すデータ駆動型マテリアルデザイン(マテリアルズ・インフォマティクス)によるデザイン主導の物質開発が必要不可欠である。本研究室では KKR グリーン関数法に基づいた第一原理電子状態計算プログラムパッケージの開発、またデータ駆動型マテリアルデザインを積極的に利用することで「機能」→「材料」へと至る逆問題を効率よく解き磁性材料やスピントロニクス材料のデザインを推進している。

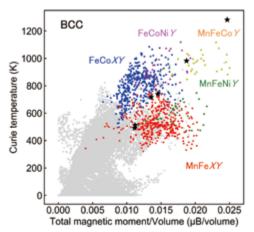


計算機マテリアルデザインエンジン(CMD®)。CMD®は「量子シミュレーション」、 「物理機構の演繹」、「仮想物質の推論」から成る。

Computational materials design engine (CMD®), which consists of "quantum simulation", "deduction of physical mechanism", and "guess of hypothetical materials".

We construct large-scale magnetic materials databases by an original high-throughput calculation tool, and develop data-driven materials design (materials informatics) which is a fusion of data science and material science to explore new functional materials realizing next-generation electronics to replace the present Si-CMOS technology.

Materials design is an inverse problem of general simulation and is actually very difficult task. Due to the developments of computer performances and numerical algorithms, nowadays one can not only analyze physical properties in real systems but also design hypothetical systems with novel functionalities, based on quantum mechanical electronic structure calculations. However, it is almost impossible to perform systematic exploration in an infinitely wide range of materials space. In order to overcome such problem, we need to perform materials exploration by materials informatics which can extract useful knowledges quickly from large-scale materials database. Our main purpose is to efficiently solve the inverse problem from "functionality" to "material" by the data-driven material design method.



AkaiKKR コードを利用した 4 元磁性高エントロピー合金のハイスループット自動計算。 Automatic high throughput screening of quaternary magnetic high entropy alloys by AkaiKKR code.

- 1. 自動ハイスループット材料計算による磁気物性データベースの構築 Construction of magnetic materials database by automatic high-throughput calculations
- 2. マテリアルズインフォマティスによる新機能物質探索 Design of new functional materials by materials informatics
- 計算機マテリアルデザイン
   Computational materials design
- 4. 不規則系ナノ構造物質の電子状態と磁気特性 Electronic structure and magnetism in substitutional and structural disordered nano-materials

### **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(D SC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、高圧合成室の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 気的・磁気的・光学的性質の総合評価を行ってい る。これら物質の総合的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 (MDD) and Materials Synthesis and Characterization Division (MSCD). The Supercomputer Center of ISSP (SCC) belongs to MDD, while in MSCD 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 MDD, 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 MSCD, 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	廣井 善二
Professor	HIROI, Zenji
教 授 (施設長)	川島 直輝
Professor (Director)	KAWASHIMA, Naoki
教 授	上床 美也
Professor	UWATOKO, Yoshiya
教 授	尾崎 泰助
Professor	OZAKI, Taisuke
教 授 <sup>*1</sup>	杉野 修
Professor	SUGINO, Osamu
准教授	野口 博司
Associate Professor	NOGUCHI, Hiroshi
特任研究員 (PI) <sup>*2</sup>	吉見 一慶
Project Researcher	YOSHIMI, Kazuyoshi
准教授(客員)	本山 岳
Visiting Associate Professor	· MOTOYAMA, Gaku

助 教	森田 悟史
Research Associate	MORITA, Satoshi
助 教	矢島 健
Research Associate	YAJIMA, Takeshi
助 教	平井 大悟郎
Research Associate	HIRAI, Daigorou
助 教	郷地 順
Research Associate	GOUCHI, Jun
助 教	樋口 祐次
Research Associate	HIGUCHI, Yuji
助 教	河村 光晶
Research Associate	KAWAMURA, Mitsuak
助 教	福田 将大
Research Associate	FUKUDA, Masahiro
助 教	井戸 康太
Research Associate	IDO, Kota
技術専門職員 Technical Associate	
技術専門職員 Technical Associate	
技術専門職員 Technical Associate	

	技術専門職員 Technical Associate	福田 毅哉 FUKUDA, Takaki
	技術専門職員 Technical Associate	
	技術専門職員 Technical Associate	石井 梨恵子 ISHII, Rieko
	技術職員 Technical Associate	小池 正義 KOIKE, Masayoshi
	学術支援専門職員 Technical Associate	710 1 71015
i	学術支援職員 Technical Associate	長崎 尚子 NAGASAKI, Shoko
	特任研究員 Project Researcher	浅野 優太 ASANO, Yuta
	特任研究員 Project Researcher	岡田 健 OKADA, Ken
	特任研究員 Project Researcher	ボイ ディリップクーマ- BHOI, Dilip Kumar
	特任研究員 Project Researcher	ホン スーシェン HUNG, Shih Hsuan
	特任研究員 Project Researcher	本山 裕一 MOTOYAMA, Yuichi

余 珊

特任研究員

Project Researcher

<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>\*&</sup>lt;sup>2</sup> PASUMS チームリーダー (PI) / Project Researcher (PASUMS)

Materials Design and Characterization Laboratory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/hiroi\_group.html

### 廣井研究室

Hiroi Group



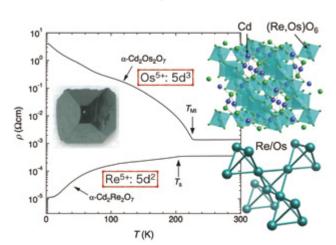
廣井 善二 HIROI, Zenji 教授 Professor



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、磁性と伝導性の興味深い相関、スピン軌道相互作用を起源とする様々な現象、特殊なバンド構造に起因する非対角応答など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。

本研究室では、様々な遷移金属化合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。特に最近では、重い5d電子系や複数の陰イオンを含む混合アニオン化合物を中心に研究を展開している。

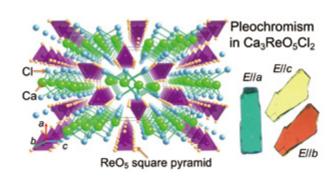


2つの5d 遷移金属パイロクロア酸化物の電気抵抗。Cd2Os2O7 は230 Kで時間 反転対称性を破り、all-in/all-out型の四面体クラスター磁気八極子秩序を形成して 絶縁体となる。一方、Cd2Re2O7 は200 K以下で空間反転対称性を破って遍歴クラスター電気トロイダル四極子秩序を示す。後者はスピン軌道結合金属の典型物質と考えられている。

Two 5d pyrochlore oxides.  $Cd_2Os_2O_7$  exhibits a metal-insulator transition at 230 K to a tetrahedral-cluster magnetic octupole order with losing time reversal symmetry, while a tetrahedral-cluster electric toroidal quadrupole order is realized below 200 K in  $Cd_2Re_2O_7$  with spontaneous spatial inversion symmetry breaking.  $Cd_2Re_2O_7$  is a spin–orbit-coupled metal candidate.

The remarkable discovery of high- $T_{\rm c}$  superconductivity and the following enthusiastic research in the last decades have clearly demonstrated 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 related to various types of magnetism, spin–orbit interactions, and unconventional bans structures. We believe that it will become more important to explore novel physics through searching for new materials.

We focus on various kinds of transition metal compounds in terms of structure-property relationship and are searching for new materials based on the solid state chemistry. Recently we study transition metal oxides containing heavy 5d elements such as Re and Os and mixed-anion compounds containing more than two kinds of anions.



多色性を示す混合アニオン化合物 Ca<sub>3</sub>ReO<sub>5</sub>Cl<sub>2</sub>。 Mixed-anion compound Ca<sub>3</sub>ReO<sub>5</sub>Cl<sub>2</sub> showing pleochroism.

- 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. スピン軌道結合金属の研究 Physics of the spin-orbit-coupled metal
- 3. 混合アニオン化合物における物質開発と新奇物性開拓 Chemistry and physics of mixed-anion compounds

Materials Design and Characterization Laboratory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kawashima\_group.html

# 川島研究室

Kawashima Group



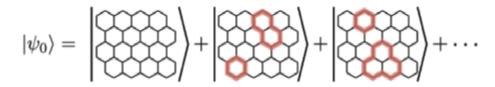
川島 直輝 KAWASHIMA, Naoki 教授 Professor



森田 悟史 MORITA, Satoshi 助教 Research Associate

最近、人工知能/機械学習/量子計算などの流行で社 会的にも計算機に注目が集まっているが、我々の研究グルー プでは計算物理、計算統計力学の方法論に含まれる数理的 コアを明らかにし、新しい手法を開発することを基本に研究 を進めている。その応用として、統計力学の未解決問題の 解明や相互作用が物性を支配するいわゆる強相関量子系に おける実験研究との比較計算などを行っている。ここで用 いられる量子モンテカルロ法やテンソルネットワーク法はボ ルツマンマシンや情報圧縮を通じてデータ科学とも接点を 持っている。最近の研究の一例としては、キタエフスピン液 体状態を表す波動関数の簡単な表現の発見がある。キタエ フモデルの基底状態であるギャップレススピン液体状態をで きるだけ少ない情報量のテンソルネットワークによって表現 する努力をしていたところ、最近になって、古典統計力学モ デルであるループガスモデルによってその本質が表現できる ことを発見した。

Recently, the trend of artificial intelligence / machine learning / quantum computation has attracted social attention. Our research group tries to clarify the mathematical core of the methods of computational physics and computational statistical mechanics. We are conducting research based on the development of new methods. As its application, we are elucidating unsolved problems in statistical mechanics and performing comparative calculations with experimental studies in strongly correlated quantum systems in which interactions dominate physical properties. The quantum Monte Carlo and tensor network methods used here are closely related to data science through Boltzmann machines and information compression. An example of recent research is the discovery of a simple representation of the wave function of the Kitaev spin liquid state. In the pursuit of expressing the ground state of the Kitaev model by using a tensor network with as little information as possible, recently, we found that it can be essentially expressed by the loop gas model, a model of classical statistical mechanics.



臨界的古典ループガスによるキタエフスピン液体状態の表現。 Classical loop-gas at criticality represents the gapless Kitaev spin liquid.

- 1. 新しい量子相と量子相転移の探索 Search for novel quantum phases and quantum transitions
- 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

Materials Design and Characterization Laboratory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/uwatoko\_group.html

# 上床研究室

Uwatoko Group



上床 美也 UWATOKO, Yoshiya 教授 Professor



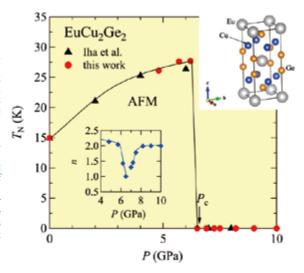
郷地 順 GOUCHI, Jun 助教 Research Associate

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ーメータの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手段とし、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。

反強磁性化合物 EuCu<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>(正方晶:I4/mmm) の圧力状態図。圧力の上昇に伴い、反強磁性秩序温度( $T_{\rm N}$ )が上昇し、6.2 GPa で約 27 K で最大値を示す。6.5 GPa で  $T_{\rm N}$  は急速に消失し、Eu の価数が 2+ から 3+ に変化する価電子転移による量子臨界点(QCP)が  $P_{\rm c}$  = 6.5 GPa 付近で発生している。挿入図は、電気抵抗率  $p({\rm mag}) = p_{\rm 0}({\rm mag}) + B^{\rm TP}$  のべき乗指数  $p({\rm mag}) = p_{\rm 0}({\rm mag})$  に対する圧力効果である、低温における指数  $p({\rm mag}) = p_{\rm 0}({\rm mag})$  に対する圧力の関数として減少し、p=1 に近づく。この現象は、価数転移に起因した QCP 出現の良い例であることを示唆している。これは、Eu 化合物の中で初めて観測された現象である。

The pressure-temperature phase diagram of the antiferromagnetic compound EuCu<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> (Tetragonal: I4/mmm). With increasing pressure, antiferromagnetic ordering temperature ( $T_{\rm N}$ ) increases and shows maximum with  $T_{\rm N}\sim 27$  K at 6.2 GPa. At critical pressure,  $P_{\rm c}=6.5$  GPa,  $T_{\rm N}$  disappears abruptly due to the valence transition of Eu ions from 2+ to 3+ states suggesting a underlying quantum critical point (QCP). Inset of figure shows the pressure dependence of exponent, n, of the power law dependence of the  $\rho({\rm mag})=\rho_0({\rm mag})+BT^n$ . On approaching the critical pressure, the exponent n decreases as a function of pressure and move toward n=1. This provides a good example of a QCP arising from the valence transition. Besides, this is also first observation of such valence transition QCP among the Eu compounds.

The high-pressure group has been studying various materials under high-pressure conditions in combination with low temperature and/or strong magnetic field. Nowadays, the techniques combining these multi-extreme conditions have become popular and indispensable for researches in solid state physics. However, the developments of these techniques that can realize in-situ measurements under multiple extreme conditions are often challenging and require sophisticated considerations. This group has devoted numerous efforts in developing such advanced high-pressure techniques and in studying the strongly correlated electronic systems, which is one of the most important themes in modern solid state physics. Considering the fact that many mysterious phenomena in strongly correlated electronic systems result from the electron-phonon and electron-electron interactions, we foresee the discovery of many unknown phenomena under multi-extreme conditions because high pressure offers an effective knob in tuning the inter-atomic distances and the density of electronic state that controls the degree of complex interactions.



- 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. 超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

Materials Design and Characterization Laboratory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/ozaki\_group.html

# 尾崎研究室

Ozaki Group



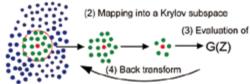
尾崎 泰助 OZAKI, Taisuke 教授 Professor



河村 光晶 KAWAMURA, Mitsuaki 助教 Research Associate

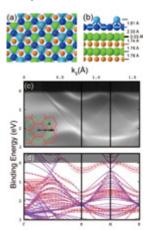
近年の超並列計算機の発展と物質科学の精密化に伴い、 第一原理電子状態計算の重要性が増している。我々は密度 汎関数理論に基づき、より現実に近い系をより精密に取り扱 うための新しい計算手法・ソフトウエアパッケージの開発に取 り組んでいる。密度汎関数法の計算量は系に含まれる原子数 の三乗に比例するが、電子の近視性に着目し、計算量が原 子数に比例する新しいオーダー N 法を開発した。本手法によ り、これまで取り扱いが困難であったリチウムイオン電池、鉄 鋼材料、グラフェンナノリボンデバイスの大規模第一原理シミュ レーションが可能となり、実験との直接比較が可能となりつ つある。さらに最近、X線光電子分光法で観測される内殻電 子の絶対束縛エネルギーの高精度計算手法を開発し、実験 グループと共同してシリセン、ボロフェン、単原子分散した Pt 原子、Ge の二重三角格子等の表面構造と電子状態の特定 に成功した。また開発した計算プログラムをオープンソースソ フトウエア OpenMX (Open source package for Material eXplorer) として無償で一般公開し、基盤ソフトウエアとして 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。

### (1) Truncation in real space



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、中心原子に関与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 versatile role to understand and design 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 O(N) methods, whose 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 have recently developed a general method to calculate absolute binding energies of core levels in solids, resulting in determination of two-dimensional structures such as silicene, borophene, single atom dispersion of Pt atoms, and bitriangular structure of Ge in collaboration with experimental groups. 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.



(a) 及び (b) 第一原理計算により求められた ZrB<sub>2</sub> 上 Ge 層の二重三角格子構造。(c) 角度分解光電子分光の結果と、(d) バンド構造の計算結果が良く一致することから、構造モデルの妥当性が認められる。

(a), (b) Bitriangular structure of Ge determined by DFT calculations. (c) Angle-resolved photoemission spectrum (ARPES) of the bitriangular structure. (d) Unfolded band structure of the bitriangular structure which well reproduces the ARPES measurement.

- 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. 二次元物質の第一原理電子状態計算
  First-principles calculations of two-dimensional novel structures
- 3. X 線分光スペクトル計算手法の開発 Development of first-principles methods for X-ray spectroscopies
- 4. 第一原理手法による超伝導転移温度の計算 First-principles calculations of superconducting critical temperature
- 5. OpenMX の開発と公開 Development of the OpenMX software package

Materials Design and Characterization Laboratory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/noguchi\_group.html

# 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

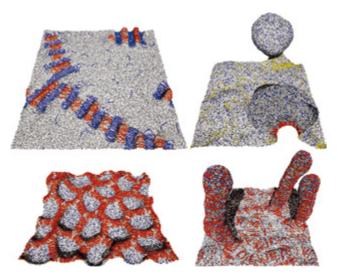
ソフトマター、生物物理を理論、計算機を駆使して研究している。特に、生体膜や細胞の構造形成、複雑流体のダイナミクスの解明に力を入れている。そのためのシミュレーション手法の開発、改良も行っている。

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、流れによる赤血 球のパラシュート状やスリッパ状への変形や、タンパク質の 吸着、化学反応による生体膜の形態変化などを明らかにし ている。

また、高分子材料の破壊などの不可逆現象や高分子溶液や気泡形成を伴う流れなど通常のナビエストークス方程式に従わない流体のダイナミクスをスパコンを用いた大規模シミュレーションを駆使して研究している。

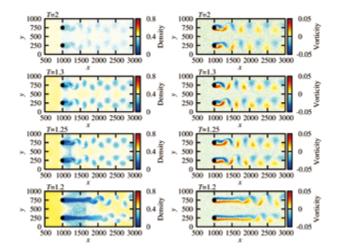
We study soft-matter physics and biophysics theoretically and numerically. Our main target is the stricture formation of biomembrane and dynamics of complex fluids under various conditions. We develop membrane models and hydrodynamics simulation methods.

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 clarified the membrane tubulation by the BAR proteins. Moreover, we investigated the fracture process of polymer materials and cavitation in Karman vortex using massively parallel simulations.



バナナ状タンパク質分子の吸着による膜変形。条件によって、様々な構造を形成する。左図: 1 次元、 2 次元の格子状の構造。右図:球状のコブ、円柱状の膜チューブの突起形成。

Membrane structures induced by banana-shaped protein rods: periodical bumps, hexagonal network, spherical bud, and cylindrical tubules.



周期的に並んだ円筒後方のカルマン渦は上図のように隣り同士で逆位相に同期する。温度 Tを下げると、キャビテーションが起こり、気体の層が形成されている。 左図は密度、右図は渦度を示す。

Cavitation in Karman vortex behind cylinder arrays.

- 1. 細胞、脂質ベシクルの形態形成 Shape transformation of cells and lipid vesicles
- 2. 複雑流体のダイナミクス Dynamics of complex fluids
- 3. 高分子材料の破壊 Fracture of polymer materials
- 4. 流体力学計算手法の開発 Simulation methods of hydrodynamics

Materials Design and Characterization Laboratory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/yoshimi\_team.html

# 吉見チーム

Yoshimi Team



吉見 一慶 YOSHIMI, Kazuyoshi PASUMS チームリーダー Project Researcher (PASUMS)

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 (PASUMS) 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(有機伝導体を中心とした第一原理計算と組み合わせた有効模型の構築とその解析、量子ドット系でのスピン緩和現象の解析など)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に向けた応用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 derivation and analysis of low-energy effective Hamiltonian of organic conductors 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.

物質設計評価施設 Materials Design and Characterization Laboratory

### 本山研究室

Motoyama Group



本山 岳 MOTOYAMA, Gaku 客員准教授 Visiting Associate Professor

点接合分光 (PCS) 測定を主な観測手段として、極限環 境下における強相関電子系超伝導化合物の研究を行ってい る。超伝導秩序変数が顕在化したものに超伝導ギャップが あり、その構造により超伝導状態を分類できるため、超伝 導状態のエネルギースペクトルは重要な情報を有している。 またいくつかの強相関系超伝導化合物が極限環境下におい て顕著な変化を示すことはよく知られている。電子状態をエ ネルギー軸に映し出すことができかつ極限環境下において も測定可能なPCS測定法は重要な実験手法である。現在、 興味深い圧力依存性を示す超伝導体や磁場中で興味深い 超伝導状態を示す物質などにおいてPCS測定を行ってい る。極限環境下における超伝導状態のスペクトルの観測や スペクトルの変化を見出すため、上床研究室と共同で20T 超伝導マグネット付き希釈冷凍機やキュービック圧力セルを 用いた多重極限下のPCS測定システムの開発に取り組んで いる。

We are conducting Point-Contact Spectroscopic (PCS) study of superconductivity on strongly correlated electron systems under extreme conditions. The electron energy spectrum of the superconducting state contains some important hints to reveal the state, because the superconducting gap function is the order parameter and it is possible to classify superconductors by their superconducting gap structure. Some of superconductors in the systems appear remarkable changes in their superconductivity under extreme conditions. PCS measurement can project the electronic state onto the energy spectrum and we have developed a new method for PCS measurement to perform even under extreme conditions. Recently, we are collaborating with Uwatoko group to observe the point-contact spectrum of the superconducting state, which appears an interesting change under the multiple extreme conditions, using dilution refrigerator with 20 T superconducting magnet and cubic anvil cell.

### 大型計算機室 Supercomputer Center

担当所員 川島 直輝 Chairperson: 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 担当所員 野口 博司 Contact Person: NOGUCHI, Hiroshi 助 教 福田 将大 Research Associate: FUKUDA, Masahiro 助 教 井戸 康太 Research Associate: IDO, Kota

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。2015年7月から運用されてきた主システム(シス テム B = SGI ICE XA/UV ハイブリットシステム、3820 CPU (Intel Xeon) + 576GPU (Nvidia Tesla K40)) は 2020年 10 月に更新される予定. 現有システムは、これ に、2018年1月に稼働開始したシステム (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 上記スーパーコンピュータシステムのより高度な利用を促進 するためソフトウエア開発・高度化支援プログラム(PASUMS) を実施している。さらに、計算物質科学スパコン共用事業 を通じて「富岳」成果創出加速プログラム課題、元素戦略 プロジクト、計算物質科学人材育成コンソーシアム (PCoMS) などの大型プロジェクトをサポートしている。



スーパーコンピュータ システムB(SGI ICE XA/UV hybrid system) (2020 年 10 月に新システムに更新される予定。) The supercomputer system B (SGI ICE XA/UV hybrid system) (To be replaced by a new system on October 2020)

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







井戸 康太 IDO. Kota

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) + 576 GPU(Nvidia Tesla K40)) and HPE SGI 8600 (504 CPU). The former was installed in July 2015 and will soon be replaced by a new system in October 2020, whereas the latter systems were installed in January 2018. In addition to maintaining high performance of the system in cooperation with the venders, the SCC also responds to questions and inquiries from users on a daily basis. In 2015, we started a new program PASMUS for developing application programs aiming at more efficient usage of the supercomputer systems. We also support national projects, including MEXT "Fugaku"-related projects, Element-Strategy Initiative projects, and professional development consortium for computational materials science (PCoMS).



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 (システム B は 2020 年 10 月に更新予定。) The Supercomputer System at the SCC-ISSP. (System B will be replaced on October 2020.)

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 技術専門職員 石井 梨恵子 Technical Associate : ISHII, Rieko

### 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 石井 梨恵子 Technical Associate : ISHII, Rieko 技 術 職 員 小池 正義 Technical Associate : KOIKE, Masayoshi

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、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、ボックス炉)、真空蒸着装置( $10^{-6}$  Torr)、グローブボックス

#### Main Facilities

Floating-zone furnaces, Bridgman-type furnace, Ar-arc furnace, Furnace for flux method, Ultra-high vacuum deposition apparatus, Glove box, and Box-type furnaces.

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.



試料調整用グローブボックス Glove box for sample preparation



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 数 矢島 健 Research Associate : YAJIMA, Takeshi



矢島 健 YAJIMA. Takesh

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。

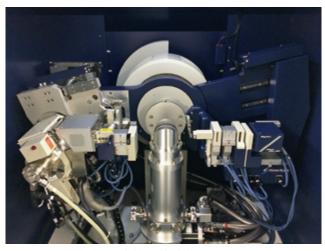
The main purposes of the X-Ray Diffraction Section are structural analysis and identification of powder and single crystal specimens for solid state physics. By using the Powder X-ray diffractometer equipped with a refrigerator, the structural analysis is performed in the temperature range of 4-300 K.

#### 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線回析装置、 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 X 線回折装置 Powder 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, Highand 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 担 当 所 員 勝本 信吾 Contact Person : KATSUMOTO, Shingo 技術専門職員 山内 徹 Technical Associate : YAMAUCHI, Touru

### 光学測定室 Spectroscopy Section

担 当 所 員 秋山 英文 Contact Person : AKIYAMA, Hidefumi 担 当 所 員 松永 降佑 Contact Person : MATSUNAGA, Ryusuke

本室では、物質の基本的性質である電気的磁気的性質 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).

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

#### Main Facilities

 $\ensuremath{\mathsf{UV/VIS}}$  absorption spectrometer, IR spectrometer, Micro-Raman spectrometer



磁気特性測定装置 SQUID magnetometer (MPMS)



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)

### 高圧合成室 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圧下において様々な(新)物質の合成を行うと共に、高圧力下における物質の挙動を調べている。さらに各種の高圧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.



若槻型700tonキュービックプレス。4GPaまでの高温高圧合成実験用。 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、微小磁石の性質をも 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、超伝 導体、重い電子系、トポロジカル物質、マルチフェ ロイック物質、新規量子相などの固体物理研究を はじめとして、ガラスなど複雑凝縮系、イオン伝導 体などの材料科学、高分子やゲルなどのソフトマ ター、生体関連物質まで幅広い物質科学の研究 が中性子散乱を用いて行われている。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。

A neutron has excellent transparency of matter and a nuclear magnetic moment. Owing to these properties, neutron scattering is a powerful method to investigate the structure and dynamics of atoms and electron spins in condensed matter. Since 1961, the Neutron Science Laboratory (NSL) has been playing a central role in neutron scattering activities in Japan not only by performing its own research but also by providing a general user program using the university-owned 12 neutron scattering spectrometers installed at the research reactor JRR-3 (20 MW), JAEA (Tokai, Ibaraki). Furthermore, NSL owns stateof-art inelastic neutron scattering spectrometer HRC in J-PARC, which started its operation in 2009. Major research areas supported by the NSL user program are solid state physics (strongly correlated electron systems, superconductors, heavy fermion systems, topological materials, multiferroic materials, novel quantum phases etc.), soft matter (polymers, gels, membranes etc.), complex systems (glass, liquid, clathrate materials, etc.), material science (ionic conductors, hydrogen systems etc.), biological physics, and neutron optics. The NSL also operates the US-Japan cooperative program on neutron scattering since 1984.

教授(施設長) Professor (Director)

准教授 Associate Professor 准教授

Associate Professor 教授(客員) Visiting Professor 山室 修 YAMAMURO, Osamu 益田 隆嗣 MASUDA, Takatsugu

中島 多朗 NAKAJIMA, Taro

田中 秀数 TANAKA, Hidekazu 助 教 Research Associate

助 教 Research Associate

助 教 Research Associate

助 教 Research Associate 李 响

淺井 晋一郎 ASAI, Shinichiro 秋葉 宙

AKIBA, Hiroshi 齋藤 開 SAITO, Hiraku 技術専門職員 Technical Associate

技術専門職員
Technical Associate
技術専門職員

Technical Associate 特任研究員

Project Researcher 特任研究員 Project Researcher

特任研究員 Project Researcher 浅見 俊夫 ASAMI. Toshio

杉浦 良介 SUGIURA, Ryosuke

川名 大地 KAWANA, Daichi

大政 義典 OHMASA, Yoshinori

MIZUNO, Yuki 山根 崚 YAMANE, Ryo

水野 勇希



日本原子力研究開発機構(JAEA)の研究炉 JRR-3 の炉室に設置された 3 台の大学所有の 3 軸分光器(4G,5G,6G)。これ以外にガイドホールで所有する様々なタイプの9台の中性子分光器を用いて、研究室の独自研究と全国共同利用を行っている。

The university-owned 3 triple-axis spectrometers (4G, 5G, 6G) installed in the reactor hall of the research reactor JRR-3 of Japan Atomic Energy Agency (JAEA). Using these and 9 various types of spectrometers installed in the guide hall, we are performing our own research and general user program.

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/yamamuro\_group.html

# 山室研究室

Yamamuro Group

山京、悠

山室 修 YAMAMURO, Osamu 教授

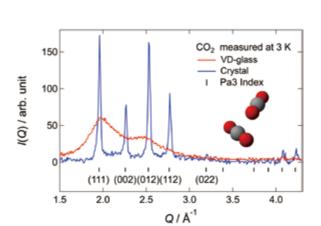


秋葉 宙 AKIBA, Hiroshi 助教 Research Associate



李 响 LI, Xiang 助教 Research Associate

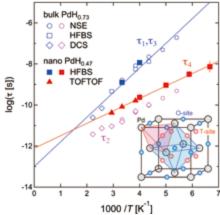
本研究室では複雑凝縮系の化学物理を研究している。現在の主な対象は、ガラス・過冷却液体、水およびその関連物質、イオン液体、水素吸蔵金属ナノ粒子である。ガラス転移は液体が構造変化を起こさずに固化する不思議な現象であり、物性物理学の長年の大問題の一つである。水は最も身近な物質の一つであるが、水素結合が織りなす様々な特異物性を示す。イオン液体では、静電力とファンデルワールス力の競合から、ナノドメイン構造や階層的ダイナミクスが現れる。金属ナノ粒子中の水素原子は、表面効果によりポテンシャル面が歪められるため、バルクでは見られない特異な構造やダイナミクスを示す。これらの物質に対して、中性子散乱、X線回折、熱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



蒸着  $CO_2$  ガラス (赤線) と結晶 (青線) の X 線回折パターン。二体分布関数解析から、 $CO_2$  分子はガラスと結晶の両方で図中のような最近接分子間配置をとることが分かった。

X-ray diffraction patterns of the vapor-deposited glass (red curve) and crystal (blue curve) of  $CO_2$ . The pair-distribution function analyses revealed that the nearest-neighbor configuration of  $CO_2$  molecules is as shown in the figure for both glassy and crystalline states.

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 the 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.



バルクおよびナノ粒子パラジウム水素化物のアレニウスプロット。これらの緩和時間は4台の分光器による中性子準弾性散乱により決定された。緩和のQ依存性から、 $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$  はQ サイト、 $\tau_4$  はT サイトの H 原子の拡散によることが分かった。

Arrhenius plots of bulk and nanoparticles of palladium hydrides. These relaxation times were determined by the QENS experiments with 4 spectrometers. The Q dependence of the relaxation clarified that  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  and  $\tau_3$  correspond to the H atomic diffusion at the O-sites while  $\tau_4$  at the T-sites.

- 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. イオン液体の熱力学的性質とダイナミクス Thermal and dynamical properties of ionic liquids
- 4. 水素吸蔵金属ナノ粒子の構造とダイナミクス Structural and dynamical properties of nanoparticles of hydrogen storage metals

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/masuda\_group.html

# 益田研究室

Masuda Group



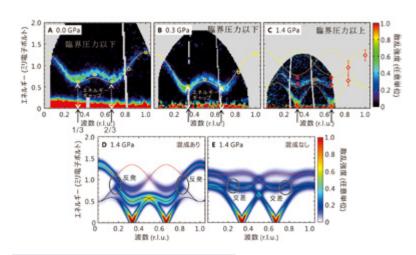
益田 隆嗣
MASUDA, Takatsugu
准教授
Associate Professor



浅井 晋一郎 ASAI, Shinichiro 助教 Research Associate

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 を目標としている。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。最近の我々の研究例として、フラストレート量子磁性 体 CsFeCl3 の圧力下スピン・ダイナミクスを、中性子非弾性 散乱実験と拡張スピン波理論で調べた結果を図に示す。低 圧力のスピン無秩序状態においては1本の一重項-二重項 励起が観測されるのに対し、1.4GPaの秩序相においては 複数のモードが観測された。理論計算との比較により、南 部・ゴールドストーンモードと Higgs 振幅モードの新しい混 成モードの存在が明らかとなった。

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 show the experiment and calculation of the pressure variations of the spin dynamics in the frustrated quantum magnet CsFeCl3. In the disordered phase at low pressures single mode of singlet – doublet excitation is observed. In contrast, in the pressured induced ordered phase at 1.4 GPa, a novel hybridized mode of longitudinal and transverse fluctuations originated from noncollinearity of the magnetic structure was discovered.



フラストレート量子磁性体  $CsFeCl_3$  の圧力下でのスピン・ダイナミクス。(A)-(C) さまざまな圧力下で測定された  $CsFeCl_3$  の中性 子スペクトル。大気圧下 (A) と 0.3 ギガパスカル (B) では 1 本のスペクトルが観測されたが、量子臨界点近傍の 1.4 ギガパスカル (C) では複数の特徴的なスペクトルが観測された。(D),(E) 中性子スペクトルの計算結果。位相モードと振幅モードの混成を考慮した計算 (D) は実験 (C) を再現りない。

Inelastic neutron scattering spectra. The spectra obtained at a chopper spectrometer under (A) 0.0 GPa at 6 K, (B) 0.3 GPa at 2.7 K and (C) 1.4 GPa at 0.9 K sliced by the energy transfer wave vector  $(\hbar \omega \cdot q)$  plane for q=(-k,2k,0). The yellow circles, squares, and red diamonds are the peak positions of the excitations obtained from the constant-q scans using a triple-axis spectrometer. The solid yellow curves are the dispersions calculated by ESW. Calculated neutron cross-section by the ESW under (D) 1.4 GPa at 0 K. Calculated neutron cross-section in the absence of the off-diagonal elements under (E) 1.4 GPa at 0 K. The black and red solid curves in (D) and (E) are gapless and gapped modes, respectively.

- 量子臨界点近傍におけるフラストレート磁性体の非自明な混成モード
   Nontrivial hybridized mode in frustrated magnet near quantum critical point
- 中性子によるスピン波スピン流の検出
   Detection of spin wave spin current by neutron
- 3. マルチフェロイクス物質におけるスピンの局所的コントロール Local control of spin moment in multiferroics
- 4. スピン液体状態の探索 Search of spin liquid
- 磁場誘起非相反性マグノンの観測
   Observation of field induced nonreciprocal magnon

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/nakajima\_group.html

# 中島研究室

Nakajima Group



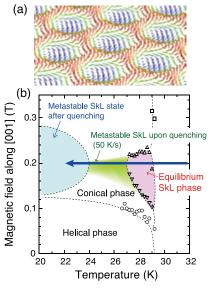
中島 多朗 NAKAJIMA, Taro 准教授 Associate Professor



齋藤 開 SAITO, Hiraku 助教 Research Associate

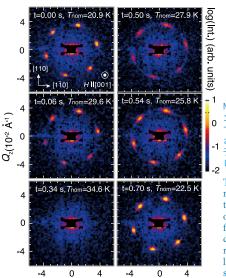
固体の磁気的性質は非常に古くから知られており、精力 的に研究されてきたテーマである。例えば我々の身近にあ る磁石では、固体中のスピンが自発的に同じ方向に揃う「強 磁性」が実現している。これ以外にも、らせん型や渦型な ど様々な磁気秩序が存在するが、近年それらのスピン配列 の幾何学的特徴が、物質の誘電性、伝導性、あるいは弾 性などを大きく変化させ得ることが明らかになってきた。本 研究室ではこのような「スピン秩序によって引き起こされる 創発物性現象」を主な研究テーマとしている。例としては、 らせん型の磁気秩序によって電気分極を生じるマルチフェロ イック系や、トポロジカルな渦状磁気構造である磁気スキル ミオン等を対象として、中性子散乱と X 線散乱を用いて磁 気秩序とその励起状態を明らかにすることに取り組んでい る。また、中性子散乱技術自体を発展させるべく、多重極 限環境下の測定や時分割測定など、新たな手法開発にも取 り組む。

Magnetism in solids has been extensively studied in the field of condensed matter physics for a long time. A well-known example is a ferromagnetism, which means that magnetic moments in a solid are spontaneously aligned to be parallel to each other owing to exchange interactions. It was recently revealed that spontaneous ordering of the magnetic moments can change not only magnetic properties of the system, but also (di)electric or elastic properties. We study the emergent crosscorrelated phenomena induced by the spin orders. One example is spin-driven ferroelectricity, where a spiral magnetic order breaks spatial inversion symmetry of the system and leads to spontaneous electric polarization. Another example is a vortexlike spin texture called magnetic skyrmion, which often appears in a long-wavelength helimagnet. By the virtue of the topologically-nontrivial spin texture, the magnetic skyrmion induces an effective magnetic field acting only on conduction electrons.



(a) 磁気スキルミオン格子状態におけるスピン配列の模式図 (b) 磁気スキルミオン物質 MnSi の熱平衡 - 準安定状態図。0.2 Tの磁場中で急加熱・急冷することで準安定スキルミオン状態が実現する。

(a) A schematic of magnetic skyrmion lattice. (b) The equilibrium and metastable state diagram of MnSi. The metastable skyrmion lattice state is realized by a rapid temperature sweep in a magnetic field of 0.2 T.



Q (10-2 A-1)

MnSi の準安定スキルミオン格子が熱パルスによって消滅し、その後再形成される過程を時分割中性子小角散乱によって観測した結果。

The results of timeresolved neutron scattering measurement on MnSi in a magnetic field; the hexagonal diffraction patterns correspond to a triangular lattice of metastable skyrmions.

- 1. 中性子散乱による磁気スキルミオンの構造とそのダイナミクスの研究 Neutron scattering studies on magnetic skyrmions and their dynamics
- 2. 光の電場成分に応答する磁気励起 エレクトロマグノン Magnetic excitations driven by the electric field component of light electromagnons -
- 3. 異方的な応力を用いたマルチフェロイック物質の磁性と誘電性の制御 Control of magnetic and dielectric properties in multiferroics by means of anisotropic stress
- 4. 時分割中性子散乱法を用いた磁性体における非平衡・過渡現象の研究 Time-resolved neutron scattering studies on nonequilibrium and transient phenomena

# 田中研究室

Tanaka Group



田中 秀数 TANAKA, Hidekazu 客員教授 Visiting Professor

スピン系を対象に、磁場や圧力による量子相転移や量子 多体効果が顕著な磁気励起を中性子散乱実験で研究している。また、新しい物質には新しい物理があり、新しい物 理は新しい物質から生まれるという信念で、物質開拓に力 を入れている。

スピンダイマー系では強い磁場や圧力を加えると、非磁性の singlet 状態から磁気秩序相へ量子相転移が起こる。当研究室では秩序相での秩序モーメントの振幅モード (Higgs モード) やダイマー間相互作用の強いフラストレーションで生ずる局在励起などの新奇な磁気励起の研究を行っている。三角格子量子反強磁性体ではフラストレーションと量子効果によって、飽和磁化の 1/3 にプラトーが生ずる。当研究室では Ba3CoSb2O9 と Ba2CoTeO6 において、この磁化プラトーを検証し、磁気励起の詳細な研究を行っている。分数スピン励起を強く示唆する線形スピン波理論と大きく異なる磁気励起スペクトルが観測されている。α-RuCl3 は Kitaev 模型の候補物質である。当研究室ではこの系の相互作用を決定することを目的に低エネルギー励起を詳しく調べている。

Our aim is to elucidate quantum phase transitions in spin systems and magnetic excitations with remarkable quantum many-body effects using neutron scattering technique. We also devote ourselves to the development of materials with the belief that new materials have new physics and new physics are born from new materials.

Spin dimer system often undergoes quantum phase transition from a nonmagnetic singlet state to a magnetically ordered state in the magnetic field and hydrostatic pressure. We are studying unconventional excitations such as amplitude mode (Higgs mode) of ordered moment and localized excitations caused by strong frustration of interdimer exchange interactions. It is theoretically known that triangular-lattice quantum antiferromagnet exhibits magnetization plateau at one-third of the saturation magnetization owing to the synergy of frustration and quantum fluctuation. We verified the magnetization plateau in Ba<sub>3</sub>CoSb<sub>2</sub>O<sub>9</sub> and Ba<sub>2</sub>CoTeO<sub>6</sub>, and investigated their excitation spectrum in details. We observed the spectrum that is much different from conventional spin wave theory and strongly suggestive of fractionalized spin excitations. We are also investigating the low-energy excitation spectrum in  $\alpha$ -RuCl<sub>3</sub> that is a candidate of the Kitaev model to evaluate magnetic interactions.

# 国際超強磁場科学研究施設

### **International MegaGauss Science Laboratory**

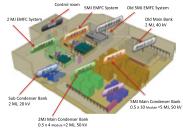
当施設では、パルスマグネットによって強力な磁 場を発生し、様々な物質(半導体、磁性体、金属、 絶縁体など)の性質を変化させてその電子状態を 調べている。また、極限的な強磁場を用いた新物 質相の探索も行っている。非破壊的に発生する磁 場は80 テスラ程度まで、破壊的な手法(一巻コイ ル法および電磁濃縮法)では1000テスラ程度ま でが発生可能である。非破壊パルスマグネットは、 精密な物性計測(電気伝導、光学、磁化測定など)、 他の極限物理環境(高圧、低温)と組み合わせた 実験、また国内外の強い磁場を必要とする物性科 学の研究に幅広く利用されている。世界最大の直 流発電機 (210 メガジュール) 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、1000 テスラ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い る。

The aim of this laboratory is to study the physical properties of matter (such as semiconductors, magnetic materials, metals, insulators) under ultrahigh 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 1000 Tesla by destructive (the single turn coil and the electromagnetic 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 1000 Tesla are oriented for new horizons in material science under such extreme quantum limit conditions.

教 授 (施設長)	金道 浩一	助 教	三田村 裕幸	技術専門員	川口 孝志
Professor (Director)	KINDO, Koichi	Research Associate	MITAMURA, Hiroyuki	Technical Associate	KAWAGUCHI, Koushi
准教授	徳永 将史	助 教	中村 大輔	技術専門職員	澤部 博信
Associate Professor	TOKUNAGA, Masashi	Research Associate	NAKAMURA, Daisuke	Technical Associate	SAWABE, Hironobu
准教授	松田 康弘	助 教	三宅 厚志	技術専門職員	松尾 晶
Associate Professor	MATSUDA, Yasuhiro	Research Associate	MIYAKE, Atsushi	Technical Associate	MATSUO, Akira
准教授	小濱 芳允	助 教	池田 暁彦	学術支援職員	大圃 一実
Associate Professor	KOHAMA, Yoshimitsu	Research Associate	IKEDA, Akihiko	Technical Associate	OHATA, Katsumi
准教授 *	長田 俊人	助 教	石川 孟	特任研究員	栗原 綾佑
Associate Professor	OSADA, Toshihito	Research Associate	ISHIKAWA, Hajime	Project Researcher	KURIHARA, Ryosuke
教授(客員)	今中 康貴	助 教	野村 肇宏	特任研究員	坂井 義和
Visiting Professor	IMANAKA, Yasutaka	Research Associate	NOMURA, Toshihiro	Project Researcher	SAKAI, Yoshikazu
准教授(客員)	井原 慶彦	特任助教	今城 周作	特任研究員	ヤン ツォウ
Visiting Associate Professor	· IHARA, Yoshihiko	Project Research Associate	· IMAJO, Shusaku	Project Researcher	YANG, Zhuo
		特任助教 Project Research Associate	木下 雄斗 : KINOSHITA, Yuto	学振特別研究員 JSPS Research Fellow	石井 裕人 ISHII, Yuto

ツォウ 裕人 Yuto —樹 学振特別研究員 JSPS Research Fellow MATSUI, Kazuki

<sup>\*</sup> 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.

#### 国際超強磁場科学研究施設 **International MegaGauss Science Laboratory**

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/ labs/kindo\_group.html

### 金道研究室

Kindo Group



浩 金道 KINDO Koichi 教授



石川 孟 ISHIKAWA, Hajime 助教 Research Associate

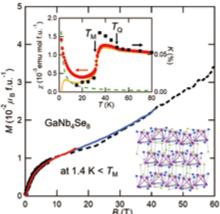
We perform materials physics research based on the precise

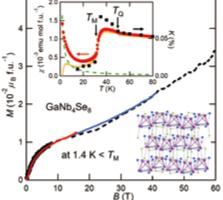


今城 周作 IMAJO, Shusaku 特任助教 Project Research Associate

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

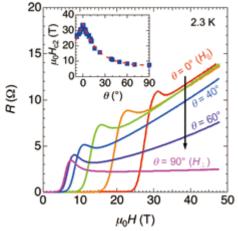
physical property measurements under strong pulsed magnetic fields, which are generated by the tailored pulse magnets with various strength and duration of magnetic fields. We perform e.g. magnetization measurements up to 75 tesla (T) in 4 msec, resistance measurements up 65 T in 30 msec, and heat capacity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





スピン軌道相互作用の強い 4d 電子 Mott 絶縁体 GaNb<sub>4</sub>Se<sub>8</sub> の磁化曲線。小さな 磁化と単調な磁化曲線は、磁気転移温度  $T_{\rm M}=30~{\rm K}$  から期待されるよりも大きな ギャップを持つ強固な非磁性基底状態が実現していることを示している。

Magnetization curve of a 4d transition metal Mott insulator GaNb<sub>4</sub>Se<sub>8</sub>. The featureless magnetization curve with small magnetization indicates that the nonmagnetic ground state with an excitation gap larger than the energy scale of the magnetic transition temperature  $T_{\rm M} = 30$  K is realized.



二次元有機超伝導体  $\kappa$ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$ ]Br の低温強磁場中電気抵抗。 磁場によって超伝導が抑制され、超伝導臨界磁場 Hc2 以上で常伝導状態となる。  $H_{c2}$  や磁気抵抗は二次元的な異方性を反映して伝導面に対する磁場角度  $\theta$  に依 存する。

Low-temperature electrical resistance of the two-dimensional organic superconductor  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Br in high fields. The superconductivity is suppressed by magnetic field and shows the transition to the normal state at upper critical field Hc2. Hc2 and magnetoresistance depend on the field angle  $\theta$  to the conducting plane according to the anisotropy of the two-dimensionality.

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

### 国際超強磁場科学研究施設 International MegaGauss Science Laboratory https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/

organization/labs/tokunaga\_group.html

# 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



木下 雄斗 KINOSHITA, Yuto 特任助教 Project Research Associate

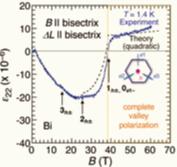
磁場は電子のスピン、軌道および位相に直接作用する外場であり、物性物理学の幅広い研究分野で不可欠な外場である。我々は瞬間的にのみ発生可能な強磁場環境下において、磁化、磁気抵抗、電気分極、偏光顕微鏡観察など多岐にわたる精密測定手段を開発・改良し、それらを駆使して強磁場下で起こる様々な相転移等の研究を行っている。

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。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、ビスマスにおける完全バレー分極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。

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。代表的マルチフェロイック物質として知られるBiFeO3においては、双極性抵抗変化メモリー効果や磁場制御可能な強弾性歪みの存在、磁場誘起新奇マルチフェロイック相などを発見している。

また年間40件程度の国内および国際共同研究を行い、様々な遍歴・局在スピン系物質、トポロジカル物質などの強磁場物性研究を展開している。 20 [20]

パルス強磁場下においてキャパシタンス法で測定した単結晶ピスマスの縦磁歪(青線)。破線で示した・理論予測と定量的に良い一致を完全しており、理論で予測された完全バレー分極状態で期待される磁での符号反転も観測されている。このお無以は挿入図で示したように、3ち一つのパレーが消失した完全パレー分極状態の実現に対して熱力学的な証拠を与えている。



Longitudinal magnetostriction of bismuth measured by the capacitance method in a pulsed high magnetic field (blue line). Quantitative coincidence with theoretical calculation (broken line) suggests the emergence of field-induced valley polarization predicted in this model. This result provides us with thermodynamic evidence for the complete valley polarization, namely one of the three Fermi pockets dries up, at around 40 T, as illustrated in the inset.

Magnetic fields have been extensively used in the research of solid state physics as they can directly tune the spins, orbitals, and phases of electrons in materials. We study various phenomena in pulsed high magnetic fields generated by non-destructive magnets using various state-of-the-art experimental techniques.

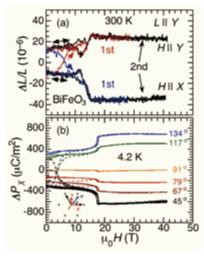
As one of our recent projects, we focus on the electronic states in the ultra-quantum limit state. Since charge carriers are confined in the smallest cyclotron orbit, Coulomb interaction dominates over the kinetic energy. Therefore, we can realize tunable strongly correlated electron systems in the quantum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

We are also studying multiferroic materials through high precision experiments in pulsed-fields. In BiFeO<sub>3</sub>, which is perhaps the most extensively studied multiferroic material, we found bipolar resistive memory effect, magnetic control of ferroelastic strain, and a novel multiferroic phase at around room temperature.

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.

(a) 2方向の磁場中で観測した BiFeO3の線磁歪。初期磁化過程 (1st) の 10T以下で観測される履歴は歪みの強弾性的応答を示している。(b) 回転磁場中で観測した電気磁気効果。18T付近に見気れるサイクロイド相転の負角反強磁性相への相転いるで電気分極が倍増している。様子を捉えている。

(a) Linear magnetostriction of a single crystal of BiFeO<sub>3</sub>. Hysteretic behavior in the virgin curve (1st) below 10 T represents the strain's ferroelastic response in this material. (b) Magnetoelectric effects observed in rotational magnetic fields. The data



show the doubling of electric polarization at the transition from the cycloidal to canted-antiferromagnetic state at around  $18~\rm T.$ 

- 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
- トポロジカル物質の強磁場物性研究 High-field study of topological materials

#### 国際超強磁場科学研究施設 International MegaGauss Science Laboratory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/y.\_matsuda\_group.htm

# 松田康弘研究室

Y. Matsuda Group

松田 康弘 MATSUDA, Yasuhiro 准教授 Associate Professor

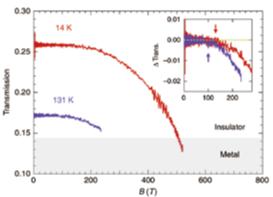


池田 暁彦 IKEDA, Akihiko 助教 Research Associate



中村 大輔 NAKAMURA, Daisuke 助教 Research Associate

1000 Tまでの超強磁場下で現れる物質の性質について研究を行っている。磁場は電子のスピンや軌道運動に直接作用し、強力な磁場により物質の基底状態は大きく変化する。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。熱励起を抑制した極低温において生じる磁場誘起相転移は量子相転移であり、低磁場での励起状態が、強磁場中で新たな基底状態となる。そのため物質の有する潜在的性質が磁場中で顕在化し、新現象が現れることが期待できる。100 Tを大きく超える磁場の発生には破壊型のマグネットを用いる必要があり、その技術的障壁を越えた先には未開拓の研究領域が広がっている。100~1000 T領域における新奇相や新現象の発見のために様々な新しい計測技術の開発にも積極的に取り組んでいる。



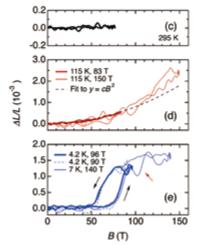
W を 6% ドープした  $VO_2$  薄膜結晶の  $1.977~\mu m$  での磁気透過測定結果。およそ 500~T で金属化による透過光強度の減少が観測されている。

Magneto-transmission at 1.977  $\mu m$  in a W-doped (6%) VO<sub>2</sub> thin film. The magnetic field induced metallization is indicated by a significant decrease of the transmission at around 500 T.

We have studied properties of matters that emerge under ultrahigh magnetic fields of up to 1000 T. Ground state of matter can dramatically be changed by applying such strong magnetic field, 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 the 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. The fieldinduced phase transition without thermal excitation at a low temperature is a quantum phase transition where the excited state in weak fields transforms to the new ground state in strong fields. Thus, hidden potential characters of matter appear in strong magnetic fields and novel phenomena can occur. Only short-duration destructive pulsed magnets can produce strong fields far exceeding 100 T; beyond overcoming the technical difficulties regarding the destructive magnetic field, unexplored research fields open. We have also been enthusiastically developing new measurement techniques to discover the exotic novel phases in the field range of 100 ~ 1000 T.



Magnetostriction of LaCoO<sub>3</sub> measured with the Fiber Bragg Grating (FBG). The results at different temperatures are shown in (a), (b), and (c), respectively.



- 1. 磁場誘起絶縁体-金属転移 Magnetic-field-induced insulator-metal transition
- 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. 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
- 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. スピン-格子強結合系の磁場中の物性 Properties of matters with strong spin-lattice coupling in high magnetic fields

#### 国際超強磁場科学研究施設

International MegaGauss Science Laboratory

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kohama\_group.html

# 小濱研究室

Kohama Group

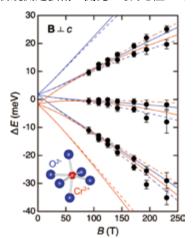


小濱 芳允 KOHAMA,Yoshimitsu 准教授 Associate Professor



野村 肇宏 NOMURA, Toshihiro 助教 Research Associate

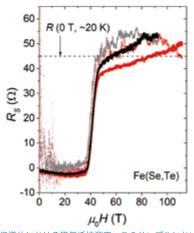
100 テスラを超える超強磁場は、ごく最近までその発生すら困難であった極限環境であり、人類未踏の研究領域といえる。このような極限環境下では多彩な物理現象が予想されており、当研究室ではこれら新奇物理現象の発見そして解明を目指している。主な実験手法としては、『1. レーザーを用いた磁気光学測定』、『2. 微細加工デバイスによる超高速電気抵抗測定』、そして『3. FPGA デバイスによるパルス強磁場 NMR 測定』を採用しており、これにより様々な強相関電子系における諸現象を探索している。現在の主なテーマは、トポロジカル絶縁体や超伝導物質における強磁場伝導状態の研究や、量子スピン系化合物の磁場誘起相の探索である。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。



ルビーの R 線におけるゼーマン分裂。100 テスラ以上での超強磁場下において、非線型なゼーマン分裂が観測された。挿入図は、ルビーの蛍光の原因となる  $Al_2O_3$ 中における Cr イオンを示す。

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

Ultra-high magnetic field (higher than 100 T) is an extreme condition that remains unexplored until recently. Many of unprecedented phenomena are expected to appear 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 magnetoresistance measurement with micro-fabricated devices" and "3. High-field NMR experiment with a FPGA module". 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 research at ultra-high magnetic field region up to ~1000 T, and thus our future work will also be devoted to technical developments for ultra-high magnetic field generations as well as the improvements of measurement techniques.



Fe(Se,Te) 系超伝導体における磁気抵抗測定。このサンプルにおいては40T付近に電気抵抗のジャンプを伴うHc2が観測される。これらの手法により、磁気抵抗は200T程度まで測定可能。

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

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

国際超強磁場科学研究施設 International MegaGauss Science Laboratory

# 今中研究室

Imanaka Group



今中 康貴 IMANAKA, Yasutaka 客員教授 Visiting Professor

強磁場極低温下でのサイクロトロン共鳴による半導体・半金属の研究を行っている。超強磁場下において化合物半導体や半金属での各種物性研究は過去に盛んに行われてきたが、近年、一部のナローギャップ半導体や半金属の関連物質でディラック電子系が実現されることが明らかとなり、新たな切り口での半導体・半金属の物性研究が各方面で急速にかつ精力的に展開されている。

そこで100Tを超える超強磁場(メガガウス磁場)下でテラヘルツ光やミリ波などの電磁波を使っての「サイクロトロン共鳴」という非接触で光学的な手法により、様々な半導体や半金属系材料の界面、表面に形成される電子系の特異な物性の解明に取り組む。

この目的の達成のために、超強磁場発生装置と組み合わせることが可能なテラヘルツ領域のレーザーや検出器の開発も並行して行い、幅広い周波数帯での超強磁場サイクロトロン共鳴の実現を目指す。

We have been studying the cyclotron resonance on various semiconductors and semimetals under high magnetic fields and low temperatures.

The research on these related materials was performed using ultra high magnetic fields so far. Recent progress of crystal growth techniques enables us to study the Dirac fermion physics even in narrow gap semiconductors or semi-metallic materials.

"Cyclotron resonance", which is a magneto-optical phenomenon in the high magnetic field, is quite useful for investigating the effective mass and other transport properties (mobility, carrier density) without ohmic electrodes like standard magneto-transport measurements.

We aim to investigate anomalous electronic properties realized on the surface or the interface in semiconductors and semimetals by the cyclotron resonance with the destructive high magnetic field beyond 100 T. We will also develop terahertz lasers and detector systems for realizing ultra-high field cyclotron resonance measurements in a wide range of the frequency.

国際超強磁場科学研究施設 International MegaGauss Science Laboratory

# 井原研究室

Ihara Group



井原 慶彦 IHARA, Yoshihiko 客員准教授 Visiting Associate Professor

近年開発が進んできたパルス強磁場 NMR 測定を駆使して、強磁場環境において発現する新奇物性をミクロな視点から観測する。

パルスマグネットにより実現する強磁場環境では、磁場誘起の超伝導状態やスピン液体状態、またスピン液晶状態や電荷液晶状態など多彩な量子凝縮状態が現れる。しかし、磁場発生時間が短く、また磁場変動の大きいパルス磁場中では新奇物性のミクロな起源に迫る NMR 測定を行うことは困難であった。そこで、小濱准教授、金道教授との共同研究により、フラットトップ磁場を用いることで準定常的な磁場環境における NMR 測定を実現し、これまでにフラストレート磁性体に対し定常磁場の限界を大きく超える 53 テスラまでの測定に成功した。客員准教授としての滞在中には、測定対象物質を希土類系化合物やマルチフェロイック物質に広げ、これらの物質群において実現する強磁場物性の起源解明を目指す。

I will explore exotic physical phenomena realized in high magnetic fields by the recently developed Pulse-Field NMR measurement.

High magnetic fields generated by pulse magnets introduce fascinating physical properties, such as field-induced superconductivity and spin liquid state, and spin/electronic nematic states. The experimental probes that can access to their microscopic origin are still limited because of the limitation on field-pulse duration and drastic time evolution of magnetic field strength. By using the flat-top field in collaboration with the groups of Professor Kohama, and Kindo, we succeeded in performing NMR measurement in magnetic fields up to 53 T for a frustrated magnet. As a visiting associate professor, I will expand the target materials to rare-earth metals and multiferroic materials and reveal the magnetic properties in high fields from a microscopic viewpoint.

# 計算物質科学研究センター

### **Center of Computational Materials Science**

「富岳」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って、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 挙がっている。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、「富岳」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、「富岳」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 the Fugaku 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 Fugaku Computer Project and Elements Strategy Initiative, coordinate the use of the computational resources available to our community, including Fugaku and ISSP supercomputers. In addition, we also operate the web site, MateriApps, which offers easy access to various existing codes in materials science.

助 教\*1 教 授(副センター長)\*1 川島 直輝 森田 悟史 Professor (Deputy Director) KAWASHIMA, Naoki Research Associate MORITA, Satoshi 教 授(センター長)\*1 尾崎 泰助 助 教\*1 祐次 桶口 Professor (Director) OZAKI, Taisuke Research Associate HIGUCHI, Yuji 教 授\*2 助 教\*1 杉野 修 河村 光晶 Professor SUGINO, Osamu Research Associate KAWAMURA, Mitsuaki 教 授\*3 助 教\*2 常行 直司 春山 潤 Professor TSUNEYUKI, Shinji Research Associate HARUYAMA, Jun 助 教\*1 教 授\*3 藤堂 眞治 福田 将大 TODO, Synge Research Associate FUKUDA, Masahiro 准教授 \*4 加藤 岳生 助 教\*1 井戸 康太 Associate Professor KATO, Takeo Research Associate IDO, Kota 准教授 \*1 野口 博司 高度学術専門職員 \*6 古宇田 光 Associate Professor NOGUCHI, Hiroshi Advanced Academic Specialist KOUTA, Hikaru 特任准教授 \*5 福島 鉄也 技術専門職員 山崎 淳 Project Associate Professor FUKUSHIMA, Tetsuya Technical Associate YAMAZAKI, Jun 赤井 久純

河津 励 特任研究員 Project Researcher KAWATSU, Tsutomu 櫻井 誠大 特任研究員 Project Researcher SAKURAI, Masahiro 特任研究員 栂 裕太 Project Researcher TOGA, Yuta 檜原 太一 特任研究員 Project Researcher HINOKIHARA, Taichi

AKAI, Hisazumi 宮下 精二

特任研究員 (PI)

特任研究員 (PI)

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

<sup>\*3</sup> 理学系研究科物理学専攻と兼務。 / concurrent with Physics Department, Graduate School of Science

<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> 所内兼務。本務はデータ統合型材料物性部門。/concurrent with Division of Data-Integrated Materials Science \*6 リサーチ・アドミニストレーター推進室と兼務。 / concurrent with Office for Advancement of Research Administrators

計算物質科学研究センター

Center of Computational Materials Science

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/akai\_team.html

### 赤井チーム

Akai Team



赤井 久純 AKAI, Hisazumi 特任研究員(PI) Project Researcher(PI)

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。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 のような逆問題を解く事は一般に困難であるが、量子デザイ ンでは、量子シミュレーションよる計算機の中での実験を通 じて物性発現の機構を明らかにすることによってこの問題を解 く。そこで生まれる大量のデータを用いた機械学習手法も接 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線形応答、 第一原理非平衡グリーン関数法の開発、大規模計算に向け た遮蔽 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。

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, corresponding to the inverse problem of quantum simulation. In general, solving such problems is very difficult. In CMD, we solve them by making use of the knowledge, which is obtained through "experiments performed inside computers" using quantum simulations, about underlying mechanisms realizing specific features of materials. The technique of machine learning also can be exploited on the vast data thus created. 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, linear response theory and first-principles non-equilibrium Green's function both based on the KKR Green's function method, order-N screened KKR-method for huge systems, and the methods beyond LDA.

# 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センター(LASOR)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 限的なレーザーおよび、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光源を 用いて、極限的な光と物質との相互作用の研究を行ってい る。特に、超高時間分解分光、超精密分光、超高分解 能光電子分光、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の開 発をしている。また、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、 界面などの幅広い基礎物性研究とともに、レーザー加工な ど、実社会が求めている学理の探求や協調領域の創出を 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)を有する。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 にて軟 X 線分光の研究を行っている。

Laser and Synchrotron Research Center (LASOR) develops new lasers with the extreme performance of ultraprecise, 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 as well as industrial science such as laser processing 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 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)	小林 洋平	助 教	黒田 健太	学術支援職員	福島 昭子	特任研究員	中里 智治
Professor (Director)	KOBAYASHI, Yohei	Research Associate	KURODA, Kenta	Technical Associate	FUKUSHIMA, Akiko	Project Researcher	NAKAZATO, Tomoharu
教授(副センター長)	原田 慈久	助 教	神田 夏輝	学術支援職員	荒木 実穂子	特任研究員	バレイユ セドリック
Professor (Deputy Director)	HARADA, Yoshihisa	Research Associate	KANDA, Natsuki	Technical Associate	ARAKI, Mihoko	Project Researcher	BAREILLE, Cedric
教 授 <sup>*1</sup>	小森 文夫	助 教	鈴木 剛	学術支援職員	小瀬川 友香	特任研究員	室谷 悠太
Professor	KOMORI, Fumio	Research Associate	SUZUKI, Takeshi	Technical Associate	KOSEGAWA, Yuka	Project Researcher	MUROTANI, Yuta
教授(副センター長)*2	秋山 英文	助 教	栗原 貴之	特任研究員	赤田 圭史	特任研究員	山添 康介
Professor (Deputy Director)	AKIYAMA, Hidefumi	Research Associate	KURIHARA, Takayuki	Project Researcher	AKADA, Keishi	Project Researcher	YAMAZOE, Kosuke
准教授	松田 巌	助 教	堀尾 眞史	特任研究員	伊藤 紳二	特任研究員 *2	薄倉 淳子
Associate Professor	MATSUDA, Iwao	Research Associate	HORIO, Masafumi	Project Researcher	ITO, Shinji	Project Researcher	USUKURA, Junko
准教授	板谷 治郎	助教* <sup>2</sup>	永田 崇	特任研究員	エル ムサウイ スリマン	特任研究員 *2	金 昌秀
Associate Professor	ITATANI, Jiro	Research Associate	NAGATA, Takashi	Project Researcher	EL Moussaoui, Souliman	Project Researcher	KIM, Changsu
准教授	近藤 猛	特任助教	水野 智也	特任研究員	大平 猛	特任研究員 *2	中前 秀一
Associate Professor	KONDO, Takeshi	Project Research Associate	MIZUNO, Tomoya	Project Researcher	OHDAIRA, Takeshi	Project Researcher	NAKAMAE, Hidekazu
准教授	松永 隆佑	特任助教	櫻井 治之	特任研究員	尾嶋 正治	特任研究員 *2	中村 考宏
Associate Professor	MATSUNAGA, Ryusuke	Project Research Associate	SAKURAI, Haruyuki	Project Researcher	OSHIMA, Masaharu	Project Researcher	NAKAMURA, Takahiro
准教授	岡﨑 浩三	技術専門員	金井 輝人	特任研究員	北方 恵美	特任研究員 *1	柳澤 啓史
Associate Professor	OKAZAKI, Kozo	Technical Associate	KANAI, Teruto	Project Researcher	KITAKATA, Emi	Project Researcher	YANAGISAWA, Hirofumi
准教授	木村 隆志	技術専門員	原沢 あゆみ	特任研究員	倉橋 直也	特任研究員 *2	ラフェンテ サンピ Iトロ アルバン
Associate Professor	KIMURA, Takashi	Technical Associate	HARASAWA, Ayumi	Project Researcher	KURAHASHI, Naoya	Project Researcher	LAFUENTE SAMPIETRO, Albai
准教授 *2	井上 圭一	技術専門職員	伊藤 功	特任研究員	竹内 雅耶	学振特別研究員	橋本 嵩広
Associate Professor	INOUE, Keiichi	Technical Associate	ITO, Isao	Project Researcher	TAKEUCHI, Masaya	JSPS Research Fellow	HASHIMOTO,Takahiro
助 教	石田 行章	技術専門職員	橋本 光博	特任研究員	谷内 敏之	学振特別研究員	松田 拓也
Research Associate	ISHIDA, Yukiaki	Technical Associate	HASHIMOTO, Mitsuhiro	Project Researcher	TANIUCHI, Toshiyuki	JSPS Research Fellow	MATSUDA, Takuya
助 教	宮脇 淳	技術専門職員	澁谷 孝	特任研究員	張 文雄	学振外国人特別研究員	ツァン ペン
Research Associate	MIYAWAKI, Jun	Technical Associate	SHIBUYA, Takashi	Project Researcher	ZHANG, Wenxiong	JSPS Research Fellow	ZHANG, Peng
助教 Research Associate	谷 峻太郎 TANI, Shuntaro	技術専門職員 Technical Associate	工藤 博文 KUDO, Hirofumi	特任研究員 Project Researcher	ヂォン イーグゥイ ZHONG, Yigui		

<sup>\*↑</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

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

#### 極限コヒーレント光科学研究センター Laser and Synchrotron Research Center https://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 教授 Professor



石田 行章 ISHIDA, Yukiaki 助教 Research Associate

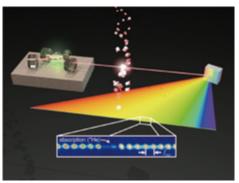


谷 峻太郎 TANI, Shuntaro 助教 Research Associate



櫻井 治之 SAKURAI, Haruyuki 特任助教 Project 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、超短パルス・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展開 する。超高繰り返しの方向では世界最小のカーレンズモード 同期レーザーを保有する。高平均パワーの方向ではフェムト 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で の光電子分光や医療応用の中赤外超精密分子分光を行っ ている。応用分野は光電子分光、光原子時計、天文、医療、 加工と幅広い。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。それによって、どう切るべきかがわかる。

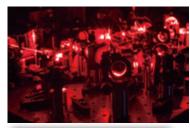


Optical frequency comb based ultra-high precision spectroscopy. The combination of ultra-high repetition-rate laser and ultra-high resolution spectrograph makes it possible to resolve each comb tooth to detect the meta-stable He atom.

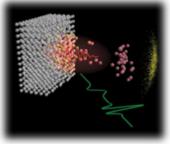
We are developing advanced laser technologies and their applications. Both ultimate technologies of ultrashort pulse generations and ultra narrow-band laser generations were mixed, the optical frequency comb then was born. It opened up a new research area such as carrier-envelope-phase dependent phenomena, attosecond physics, and precision spectroscopy by using a femtosecond light source. It also realized the high-repetition and high-intensity physics. It could create a wide field of applications in 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 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. We would like to know "How is a material cut?"



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 subpicosecond time resolution.

- 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. 高繰り返しー高強度物理 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
- 5. 中赤外分子分光 Precision spectroscopy of molecules

Laser and Synchrotron Research Center

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/harada\_group.html

# 原田研究室

Harada Group



原田 慈久 HARADA, Yoshihisa 教授 Professor



宮脇 淳 MIYAWAKI, Jun 助教 Research Associate

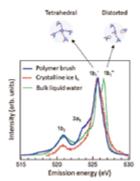
当研究室では、世界最高輝度のX線源である SPring-8において、軟X線、と呼ばれる光を用いて新しい分光法を開拓し、物質の電気的、磁気的性質、光学応答を司る電子状態をその成因に遡って調べる研究を行っている。特に光散乱の一種である軟X線発光分光の将来性に着目し、モット絶縁体、新規高温超電導体等の強相関物質における素励起(結晶場励起、スピン励起、マグノン励起、電荷密度波励起、軌道波励起など)の直接観測とその成因の研究、水溶性液体、固液界面の電子状態とミクロ不均一性の観測、電池触媒の表面反応解析、光触媒反応解析のためのその場分析装置の開発、金属タンパク質の電子状態解析など、軟X線発光分光を適用しうるあらゆる物質群を研究対象としている。また基礎光学研究として次世代高輝度放射光源に向けた軟X線吸収・発光分光の超性能化のためのR&Dを行っている。

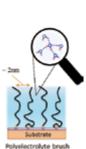


当研究室が SPring-8 の東京大学放射光アウトステーションビームライン BL07LSU で独自に開発した 50 meV の高エネルギー分解能を持つ角度分解軟X線発光分光装置。

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 a 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 solidliquid interfaces, the surface reaction of fuel cell catalysts, electronic structure analysis of reaction center in metalloproteins, electrochemical and photocatalytic reactions. We also explore basic study on high performance soft X-ray absorption and emission spectroscopy for the next generation synchrotron light source.





高分解能軟X線発光 分光で捉えたポリマ-ブラシ中に閉じ込めら れた水 (H<sub>2</sub>O) の電 子状態。液体の水、I<sub>h</sub> 結晶氷と比較すると、 ほぼ氷と同じスペクト ル形状で、3a1 由来 の軌道のみ異なる。こ れはブラシ中の水が常 温にもかかわらず氷の ように揃っており、局 所電場効果によって水 素結合ネットワークが 一様に歪んでいる様子 を表している。

Electronic structure of  $\rm H_2O$  water in a polymer electrolyte brush observed by high energy resolution soft X-ray emission spectrometer. The X-ray emission profile is similar to crystalline ice  $\rm I_h$  except for the  $\rm 3a_1$  derived state, indicating an ordered but uniformly distorted hydrogen bond network of water in the brush like ice even at room temperature. The distortion is induced by a local electric field present in the polymer brush.

- 1. 水溶性液体の電子状態とミクロ不均一性、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

Laser and Synchrotron Research Center

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/i.\_matsuda\_group.html

# 松田巌研究室

I. Matsuda Group



松田 巌 MATSUDA, Iwao 准教授 Associate Professor



堀尾 眞史 HORIO, Masafumi 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ダイナミクス研究を実施している。

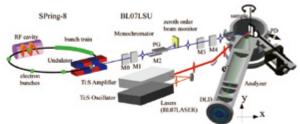
SPring-8 BL07LSUではレーザーシステムも整備しており、光電子分光や X 線吸収分光の時間分解実験を共同利用として実施している。触媒反応や起電力発生などのテーマで表面・界面系におけるキャリア及び分子ダイナミクス研究が行われている。ささらに機能性単原子層の開拓も手がけ、ボロフェンやディラックノーダルラインを有した単原子層などの電子物性を明らかにしている。

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。 We develop experimental techniques using vacuum ultraviolet  $\sim$  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.

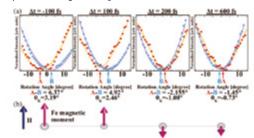
At the time-resolved spectroscopy station in SPring-8 BL07LSU, time-resolved measurements of photoemission and X-ray absorption spectroscopy were made with laser and synchrotron radiation. Through the joint-researches of catalysis and photovoltaics, dynamics of carriers and molecules at the surface/interface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



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-brilliant 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.



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 (hv=53 eV) でのエリプソメトリ測定のデータ(O)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 hv=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.

- 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
- 先端軟 X 分光法による単原子層のディラック物性研究
   Dirac Fermions in monatomic layers, studied by advanced soft x-ray 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ダイナミクスの研究
  Development of time-resolved experiments using ultra-short soft X-ray pulses and researches on ultrafast spin dynamics
- 4. 次世代放射光におけるアンジュレータビームラインの先端技術開発
  Developments of frontier technologies for undulator beamlines of the next generation synchrotron radiation

Laser and Synchrotron Research Center

 $https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/\\labs/itatani\_group.html$ 

# 板谷研究室

Itatani Group



板谷 治郎 ITATANI, Jiro 准教授 Associate Professor

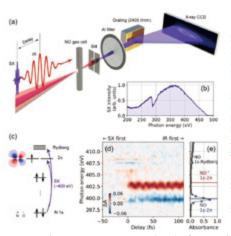


栗原 貴之 KURIHARA, Takayuki 助教 Research Associate



水野 智也 MIZUNO, Tomoya 特任助教 Project Research Associate

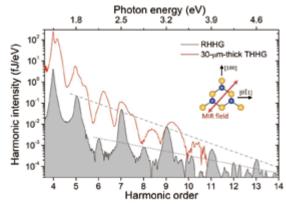
高強度極短パルスレーザーの開発と、強レーザー場下におけるフェムト秒からアト秒領域の超高速現象に関する研究を行っている。光源開発に関しては、可視から中赤外領域での波形そのものが制御された高強度光電場の発生と制御、および、アト秒軟 X 線パルス発生や固体中での光電場で駆動された非線形現象に関する研究を行っている。光源利用に関しては、先端的な高強度赤外光源による 520 eVまでカバーしたアト秒軟 X 線パルスによる元素選択的な超高速分光や、非破壊的に 10 MV/cm を超える光電場を固体に印加することによるサブサイクル分光に関する研究を進めている。位相制御された高強度極短パルス光源を基盤技術とした波長変換により、テラヘルツから軟 X 線までをカバーした超高速分光が実現可能であり、物質の非平衡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。



軟 X 線領域での一酸化 窒素 (NO) 分子の過 渡吸収スペクトル。(a) 実験配置。(b) ヘリウ ムガスで発生した軟 X 線パルスの典型的なス ペクトル。(c) 軟 X 線 吸収分光に対応する NO 分子のエネルギー 準位。(d) 観測された 過渡吸収スペクトル。 (e) 軟 X 線レーザーで 測定した定常状態での 軟 X 線吸収スペクトル (黒丸) と、放射光で 測定された軟 X 線吸収 スペクトル (黒線)。

Transient absorption spectroscopy (TAS) of NO molecules in the soft-X-ray region. (a) Schematic of the experimental setup. (b) Typical soft-X-ray spectrum obtained by HHG in helium. (c) Energy levels of NO that are relevant to TAS. (d) Measured transient absorption spectrum. (e) Static absorbance of NO without the IR pump pulses measured in our experiment (black circles) and in a synchrotron (black curve).

Development of carrier-envelope phase-stable intense ultrashort-pulse light sources and their applications to attosecond and strong-field physics are the main subjects of our research. As for the light source, we develop waveform-controlled intense optical pulses in IR and mid-IR spectral regions to produce attosecond soft-X-ray pulses or to explore strong-field-driven nonlinear phenomena in solids. Currently, several state-ofart IR and mid-IR sources are operational to produce high harmonics in gas to cover the soft X-ray region up to 520 eV for attosecond SX spectroscopy with element specificity, or to apply strong electric fields at >10 MV/cm without damage in solids for sub-cycle spectroscopy. Our waveform-controlled intense laser-technology can pave the way to ultrafast spectroscopy that cover ultrabroad spectroscopy ranging from THz to soft X rays, thus we aim to use such coherent light sources for observing and controlling the quantum dynamics of non-equilibrium states of matters through various freedoms.



半導体 G a As(011) に高強度中赤外光を集光して得られた高次高調波のスペクトル。赤線は透過配置でサンプル厚さ 30  $\mu$  m の場合。黒線(灰色塗りつぶし)は反射配置での場合。反射配置では非線形伝搬によるスペクトルの変化が少ないことを実験的に示した。

High harmonic spectra from a semiconductor GaAs (011) produced in the transmission setup with a 30-µm sample (red curve) and in the reflection setup (brack curve with gray shading). In the case of the reflection setup, spectral modification by nonlinear propagation is minimized, and the microscopic process of high harmonic generation becomes evident.

- 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. 原子・分子・固体における超高速現象の観測と量子制御 Observation and control of ultrafast phenomena in atoms, molecules, and solids
- 4. 原子・分子・固体の超高速軟 X 線分光 Soft-X-ray ultrafast spectroscopy of atoms, molecules, and solids

極限コヒーレント光科学研究センター Laser and Synchrotron Research Center

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kondo\_group.html

# 近藤研究室

Kondo Group



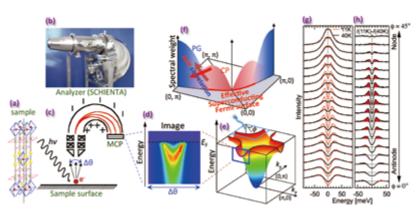
近藤 猛 KONDO, Takeshi 准教授 Associate Professor



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 <sup>3</sup>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  $Bi_2Sr_2CuO_{6+d}$  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。起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  ${\rm Bi_2Sr_2CuO_{6+d}}$  high- $T_{\rm c}$  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 ( $T_{\rm c}$  = 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).

- 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
- 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

Laser and Synchrotron Research Center

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/matsunaga\_group.html

# 松永研究室

Matsunaga Group



松永 隆佑 MATSUNAGA, Ryusuke 准教授 Associate Professor



神田 夏輝 KANDA, Natsuki 助教 Research Associate

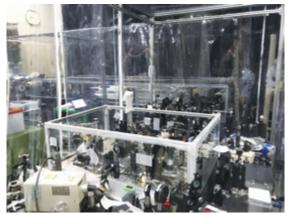
テラヘルツから中赤外・近赤外・可視域にわたるコヒーレ ント光源を用いて、物質の光応答と光電場によって誘起され る非平衡状態の性質を調べている。特にテラヘルツ周波数 帯のフォトンエネルギーは数 meV 程度であり、物性物理に おいて重要なフェルミ面近傍の電磁応答を調べることができ る重要な実験手法となっている。さらに近年開発された極め て高い電場尖頭値を持つ高強度テラヘルツ波を駆使するこ とで、余剰エネルギーを与えることなく低エネルギーの素励 起を共鳴的に強く励起する、あるいは物質中の素励起よりも さらにエネルギーの低い光電場による非共鳴的励起によっ てコヒーレントな相互作用を調べることが可能である。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 る集団励起や、トポロジカル半金属において巨大に現れる 非線形応答など、非平衡状態で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, mid- and near-infrared, and visible 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 study cooperative behaviors in many-body systems like superconductivity or antiferromagnetism and giant nonlinearity in topological semimetals, and seek hidden transient phases of matters in nonequilibrium system to reveal the functionalities of materials.



高強度テラヘルツパルス発生および位相安定中赤外パルス発生に用いるフェムト秒 再生増幅パルスレーザーシステム

Regenerative-amplified femtosecond pulse laser system for intense terahertz wave generation and phase-locked mid-infrared light generation



テラヘルツ電磁応答および Hall 伝導測定に用いる透過・反射・偏光回転精密計測 システム

Transmission, reflection, and polarization rotation spectroscopy system for terahertz electromagnetic response and Hall conductivity measurements

- 高強度位相安定テラヘルツ 中赤外パルス光源開発及び検出技術開発
   Development of intense, phase-locked terahertz-mid infrared pulse generation and detection technique
- 光電場で強励起された非平衡多体系の超高速ダイナミクスの研究
   Ultrafast nonequilibrium dynamics of many-body systems in solids driven by strong light field
- 3. 超伝導や反強磁性における集団励起及び異常応答の解明と光制御 Study and control of collective excitations and anomalous responses in superconductivity and antiferromagnetism
- 4. ディラック / ワイル半金属における巨大非線形応答と高速エレクトロニクス / スピントロニクス Giant nonlinear responses in Dirac/Weyl semimetals for high-speed electronics and spintronics

極限コヒーレント光科学研究センター Laser and Synchrotron Research Center

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/okazaki\_group.html

# 岡崎研究室

Okazaki Group

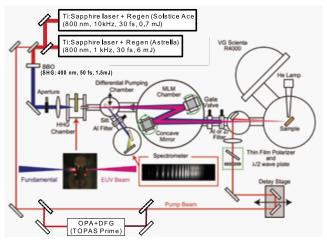


岡﨑 浩三 OKAZAKI, Kozo 准教授 Associate Professor



鈴木 剛 SUZUKI, Takeshi 助教 Research Associate

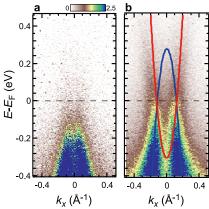
角度分解光電子分光は物質中の電子の運動量とエネル ギーの分散関係 (バンド構造)を直接観測できる強力な実 験手法であるが、フェムト秒レーザーをポンプ光、その高 次高調波をプローブ光として用いることで、非平衡状態にお けるバンド構造の超高速過渡特性も観測できるようになる。 本研究室では、レーザー開発の研究室と共同で超短パルス 高次高調波レーザーを用いた時間分解光電子分光装置の 開発・改良を進め、ポンプ・プローブ時間分解光電子分光 によって、光励起状態からの電子の緩和過程の直接観測、 光誘起相転移に伴う電子状態の変化の直接観測等を行い、 励起状態からの電子の緩和機構の解明や光誘起超伝導の 直接観測による実証を目指している。また、エネルギー分 解能 70 μeV、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。



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.

Angle-resolved photoemission spectroscopy is a very powerful experimental technique that can directly observe a dispersion relation between momentum and energy (band structure) of the electrons in solid-state materials, whereas by utilizing a femtosecond laser as pumping light and its high harmonic generation (HHG) as probing light, we can observe ultrafast transient properties of the band structure 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 relaxation dynamics from photo-excited states and demonstration of photo-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 angleresolved photoemission apparatus with a world-record performance that achieves a maximum energy resolution of 70  $\mu eV$ and lowest cooling temperature of 1 K.



高次高調波レーザー時間分解光電子分光で観測された励起子絶縁体 Ta<sub>2</sub>NiSe<sub>5</sub> における光誘起絶縁体 - 金属転移 a, b はそれぞれ、光励起前、光励起後のスペクトル Photo-induced insulator-to-metal transition in an excitonic insulator Ta<sub>2</sub>NiSe<sub>5</sub> observed by HHG laser TRPES. a, b. Spectra before and after pump, respectively.

- 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 angleresolved photoemission spectroscopy

Laser and Synchrotron Research Center

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kimura\_group.html

# 木村研究室

Kimura Group



木村 隆志 KIMURA, Takashi 准教授 Associate Professor

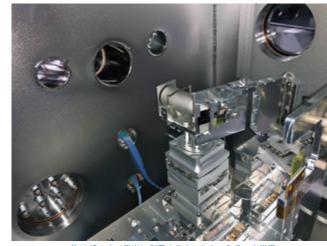
X線自由電子レーザーや放射光、高次高調波といった先端 X線光源を利用した、新たな顕微イメージング技術の開発に取り組んでいる。

原子レベルに迫る超精密加工・計測技術や電子ビームリソグラフィなどの半導体製造プロセスを組み合わせ、様々な種類の新規 X 線光学素子を設計・作製している。具体的には、 X 線用の超高精度集光ミラーや分光光学素子、溶液中試料計測のためのマイクロ流路デバイスのほか、計算機を利用したレンズレスイメージングのための位相回復アルゴリズムの開発などである。先端 X 線光源と超精密 X 線光学素子を組み合わせたイメージングによって、生物・非生物を問わず、メゾスコピックな微細構造と物性の関係を従来にない空間的・時間的分解能で結びつけ、新たなサイエンスを切り拓くことを目指している。また、現在計画されている次世代の放射光施設での利用を見据えた基盤技術開発にも取り組む計画である。

A primary focus of the research in this group is to connect mesoscopic microstructure and physical properties of matters with unprecedentedly fine spatial and temporal resolutions, using advanced X-ray sources and novel X-ray optics. For this purpose, our group works on developing new microscopic imaging technologies using advanced X-ray sources: X-ray free-electron lasers, synchrotron radiation, and high-order harmonics of ultrashort infrared laser pulses.

We also design and fabricate novel X-ray optics by utilizing

We also design and fabricate novel X-ray optics by utilizing ultra-precision fabrication and measurement techniques and semiconductor manufacturing processes such as electron beam lithography. Furthermore, the laboratory is developing new fundamental technologies for the next-generation synchrotron radiation facilities.



軟 X 線のナノ集光に利用するウォルターミラー光学系。 Wolter mirror optics for soft X-ray nano focusing.

X線自由電子レーザー施設 SACLA に設置された高分解能コヒーレント回折イメージング装置。多層膜集光ミラーで集光された高強度 X線パルスにより、最高で 2 nm 分解能でのイメージングが可能となっている。

High-resolution coherent diffraction imaging system at SACLA, X-ray free electron laser facility. High-photon-density femtosecond pulses focused by multi-layered mirrors enable imaging at a resolution of up to 2 nm.

- 1. 超精密加工・計測法を活用した高精度 X 線光学素子の開発
  Development of high-precision X-ray optical devices using ultra-precision fabrication and measurement techniques
- 2. X 線自由電子レーザーによる液中試料フェムト秒イメージング Femtosecond imaging of samples in liquids using X-ray free-electron lasers
- 3. 位相回復計算を利用したレンズレスイメージング Lens-less Imaging Using Phase Recovery Calculation

# 軌道放射物性研究施設 / 播磨分室

## Synchrotron Radiation Laboratory / Harima Branch

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/sor/index.html

教授(施設長)原田 慈久 Professor(Director): HARADA, Yoshihisa 教授(副施設長) 小森 文夫 Professor(Deputy Director):KOMORI, Fumio 授 松田 巌 Associate Professor: MATSUDA, Iwao 准 准 近藤 猛 Associate Professor: KONDO, Takeshi 木村 隆志 Associate Professor: KIMURA, Takashi 准 授 肋 宮脇 淳 Research Associate: MIYAWAKI, Jun 健太 肋 黒田 Research Associate: KURODA, Kenta 堀尾 眞史 Research Associate: HORIO, Masafumi 技術専門員 原沢 あゆみ Technical Associate: HARASAWA, Avumi 技術専門職員 澁谷 Technical Associate: SHIBUYA, Takashi 技術専門職員 工藤 博文 Technical Associate: KUDO, Hirofumi

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、雰囲気光電子分光ステーショ 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 偏角可変型不等間隔刻線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 敵 X 線が併給される

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

学術支援職員 福島 昭子 学術支援職員 荒木 実穂子 学術支援職員 小瀬川 友香 特任研究員 赤田 圭史 特任研究員 エルムサウイスリマン 特任研究員 大平 猛 特任研究員 尾嶋 正治 特任研究員 北方 恵美 特任研究員 食橋 直也 特任研究員 張 文雄 特任研究員 山添 康介

Technical Associate: FUKUSHIMA, Akiko
Technical Associate: ARAKI, Mihoko
Technical Associate: KOSEGAWA, Yuka
Project Researcher: AKADA, Keishi
Project Researcher: EL Moussaoui, Souliman
Project Researcher: OHDAIRA, Takeshi
Project Researcher: OSHIMA, Masaharu
Project Researcher: KITAKATA, Emi
Project Researcher: KURAHASHI, Naoya
Project Researcher: ZHANG, Wenxiong
Project Researcher: YAMAZOE, Kosuke

The synchrotron radiation laboratory(SRL) is promoting advanced 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, ambient pressure X-ray photoemission 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、研究上頻繁に必要とな る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、学生・教職員からの相談を受け付ける学生・ 教職員相談室などである。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 to support research activities in ISSP; specifically, cryogenic service laboratory for supplying liquid helium and liquid nitrogen, machine shop for various machining, radiation safety laboratory for the safety in experiments that utilize X-ray,  $\gamma$ -ray and radioactive materials, library, stock Room, international liaison office for supporting foreign researchers, information technology office for handling and supporting network related matters, public relations office, and counseling services. In each facility, several staff members are working under the supervision of the corresponding committee.

低温液化室 Cryogenic Service Laboratory	低温委員長 Chairperson	山下 穣 YAMASHIYA, Minoru	技術専門職員 Technical Associate 技術専門職員 Technical Associate	土屋 光 TSUCHIYA, Hikaru 鷺山 玲子 SAGIYAMA, Reiko	技術職員 Technical Associate	野村 未来 NOMURA, Miku
工作室 Machine Shop	工作委員長 Chairperson	金道 浩一 KINDO, Koichi	学術支援職員 Technical Associate 学術支援職員 Technical Associate	田中 祐介 TANAKA, Yusuke 高木 明子 TAKAGI, Akiko	研究支援推進員 Technical Staff 技術補佐員 Technical Staff	村貫 静二 MURANUKI, Seiji 岡部 清信 OKABE, Kiyonobu
放射線管理室 Radiation Safety Laboratory	放射線管理委員長 Chairperson	廣井 善二 HIROI, Zenji	技術専門員 Technical Associate	野澤 清和 NOZAWA, Kiyokazu		
図書室 Library	図書委員長 Chairperson	長谷川 幸雄 HASEGAWA, Yukio	係長 <sup>(柏地区図書課</sup> 研究情報係所属) Administrative Staff 主任 <sup>(柏地区図書課</sup> 主任 <sup>「研究情報係所属)</sup> Administrative Staff	坂牧 一博 SAKAMAKI, Kazuhiro 中曽根 恵美 NAKASONE, Emi	事務補佐員 Administrative Staff	久保嶋 智子 KUBOSHIMA, Tomok
ストックルーム Stock Room	管理委員長 Chairperson	井上 圭一 INOUE, Keiichi	予算・決算係 Administrative Staff(I	Finance and Accounting	Section)	
国際交流室 International Liason Office	国際交流室長 Chairperson	小森 文夫 KOMORI, Fumio	学術支援職員 Administrative Staff 事務補佐員 Administrative Staff	石口 祐子 ISHIGUCHI, Yuko 山内 敦子 YAMAUCHI, Atsuko	事務補佐員 Administrative Staff	橋口 文乃 HASHIGUCHI, Ayano
情報技術室 Information Technology Office	担当所員 Chairperson	川島 直輝 KAWASHIMA, Naoki	技術専門職員 Technical Associate 技術専門職員 Technical Associate	矢田 裕行 YATA, Hiroyuki 福田 毅哉 FUKUDA, Takaki	学術支援専門職員 Technical Associate	荒木 繁行 ARAKI, Shigeyuki
広報室 Public Relations Office	高度学術専門職員* Contact Person	SUZUKI, Hiroyuki	学術支援職員 Technical Associate 技術補佐員 Technical Staff Eと兼務。 / concurre	餅田 円 MOCHIDA, Madoka 石塚 みづゑ ISHIZUKA, Mizue ent with Office for Advar	共同利用係 Administrative Staff(	General Affairs Section Joint Research Section Administrators
学生·教職員相談室 Counseling Services	相談室長 Chairperson	榊原 俊郎 SAKAKIBARA, Toshiro	特任専門職員 Project Specialist	菱沼 有美 HISHINUMA, Yumi		

## 低温液化室 Cryogenic Service Laboratory

低温委員長 山下 穣 Chairperson: YAMASHITA, Minoru 光, Technical Associate: TSUCHIYA, Hikaru 技術専門職員 技術専門職員 鷺山 玲子 Technical Associate: SAGIYAMA, Reiko 技 術 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。2019 年度の液体ヘリウ ムの生産量と供給量はそれぞれ約 307,000 L、211,276 L である。液体窒素は外部より購入し、供給している。2019 年度の液体窒素の使用量は936,515 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 2019, a total of 307,000 L liquid helium was produced, of which 211,276 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 2019, liquid nitrogen of 936,515 L was supplied.

#### 主要設備

#### Main Facilities

液体ヘリウム貯槽 液体窒素貯槽 回収用ヘリウムガス圧縮機 液体ヘリウム容器 遠心式ヘリウム汲上ポンプ

ヘリウム液化装置 I (リンデ) Helium liquefier system I (Linde) 200 L/hr 233 L/hr ヘリウム液化装置II (リンデ) Helium liquefier system II (Linde) Liquid helium storage vessel 10.000 L Liquid nitrogen storage tanks 20.000 L Helium gas recovery compressor 190 m<sup>3</sup>/hr Liquid helium dewars 500 L, 250 L, 100 L etc. Centrifugal liquid helium pump system 20 L/min



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

## 工作室 Machine Shop

工作委員長 金道 浩· Chairperson: KINDO, Koichi 学術支援職員 田中 祐介 Technical Associate: TANAKA, Yusuke 学術支援職員 高木 明子 Technical Associate: TAKAGI, Akiko 研究支援推進員 静二 Technical Staff: MURANUKI, Seiji

Technical Staff: OKABE, Kiyonobu

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 and a researcher's machine shop, which are equipped with various facilities for designing metal. 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 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

技術補佐員

岡部

清信

Metal shop: Five-Axis Universal Machining Center, Numerically Controlled Lathe, Numerically Controlled Milling Machine

Researcher's Machine Shop: Universal Lathes, Precision Lathes, Milling Machines



Machine shop

## 放射線管理室 Radiation Safety Laboratory

放射線管理委員長 廣井 善二 Chairperson : HIROI, Zenji

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<sup>22</sup>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 sources, 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  $^{22}$ 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( $^{22}$ 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  $^{22}$ Na source), various types of surveymeters, 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

図書委員長長谷川幸雄 Chairperson: HASEGAWA, Yukio

長 坂牧 一博 Administrative Staff: SAKAMAKI, Kazuhiro
 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 : 66,904 冊 (令和元年度末現在)

(洋書 59,392 冊、和書 7,512 冊、製本雑誌を含む)

雑誌種類数:733種(洋雑誌635種、和雑誌98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:https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/tosyo/

#### Outline

Area: 783m

Library holdings : 66,904 volumes (as of March, 2020)

(Foreign books 59,392, Japanese books:7,512. Including bound journals) Journal collection: 733 titles (Foreign journals: 635, Japanese journals: 98) 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: https://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 井上 圭一 Chairperson : INOUE, Keiichi

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 小森 文夫 Chairperson : KOMORI, Fumio

学術支援職員 石口 祐子 Administrative Staff: ISHIGUCHI, Yuko 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

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、タブレットを用いた購入品目のデータ入力が可能な、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. The stock room is open 24 hours a day with an automatic dispensing system that allows data entry of purchased items on a tablet, making it possible for users to get the items they need quickly and inexpensively.

国際交流室は、物性研究所の国際交流・国際化推進に向けた支援業務を行っている。主な業務としては、国際交流委員会のもとでの外国人客員所員制度をはじめとする物性研究所の国際連携制度の運営支援、国際ワークショップの運営補佐、広報英文化をはじめとする英文での情報発信、外国人研究員・訪問者の来日・滞在支援などがあげられる。また、こうした支援業務を円滑に進めるため、国際化教育支援室柏支部および柏キャンパス内の国際的部署と連携を図っている。

The mission of the International Liaison Office (ILO) is to help promote the international collaborative research by ISSP members and to contribute to the internationalization of the Institute. Toward this end, ILO assists in operating ISSP International Collaboration Programs, including the visiting professorship program, and administrating ISSP international workshops. The Office also translates the content of ISSP website and supports international visitors and new employees in their visits and stays in Japan. For smooth and effective implementation of these activities, ILO also works closely with the Kashiwa International Office and other related sections on the Kashiwa campus.



ストックルーム Stock Room



国際交流室 International Liaison Office

## 情報技術室 Information Technology Office

担 当 所 員 川島 直輝 Chairperson : KAWASHIMA, Naoki 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 https://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安全な接続のため、ファイアウォールや VPN の設置、ウイルス対策ソフトウエ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 (https://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) with VPN(Virtual Private Network). We, for example, monitor electronic traffics for virus infection and distribute 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

広報委員長 秋山 英文 Chairperson : AKIYAMA, Hidefumi 高度学術専門職員 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、物性研究所の研究成果やアクティビティを広く一般に情報発信する業務を行っている。物性研公式ホームページ、SNSの運用、機関誌「物性研だより」や要覧などの出版物による情報発信とアーカイブ機能を構築するとともに、新聞社、テレビ、出版社などメディアへの情報提供を行っている。

また、次世代の科学の担い手となる小中高生や一般市民を 対象に、イベントや出張授業、一般講演会などを企画し、地 域の教育関係機関と連携してアウトリーチ活動を行っている。

The Public Relations Office manages and facilitates disseminating research achievements and activities of the Institute for Solid State Physics widely to the general public. The office advances information and communications through a variety of channels including ISSP official homepage, SNS, bulletin "BUSSEIKEN DAYORI", handbooks and by building the digital archive function, as well as providing information to media such as newspapers, TVs, and publishing companies.

Another important aspect of our activities is outreach. In cooperation with local educational organizations, the office plans and offers various events and lectures for the general public and students from elementary to high school responsible for the next generation.







夏休み科学教室(左上)、出張 授業(右上)、一般講演会(下)

Science program at junior and senior high school students (upper left), science class in schools (upper right), and public lectures (lower).

## 学生・教職員相談室 Counseling Services

相談室長 榊原 俊郎 Chairperson : SAKAKIBARA, Toshiro 特任専門職員 菱沼 有美 Project Specialist : HISHINUMA, Yumi (相談員) (Counselor)

学生・教職員相談室では、個々の相談に応じてさまざまな対応を行い、解決策を探る手伝いを行っている。

#### 業務内容

- カウンセリング:個人的な問題、研究・修学上の問題、研究室での 人間関係、教員との関係、将来の進路など、様々な問題に関する悩み相談
- ・ コンサルテーション:心理的問題を抱える友人に関する相談や、学 生との関わり方に関する教職員からの相談
- ・ 危機対応:組織や構成員の安全を確保するために、関係教職員など との連携・協働
- ・ 研究室環境やハラスメントに関する相談対応
- 柏キャンパス内の「学生相談所」「ハラスメント相談所」「コミュニケーションサポートルーム」「保健センター」などの相談機関への連携・紹介

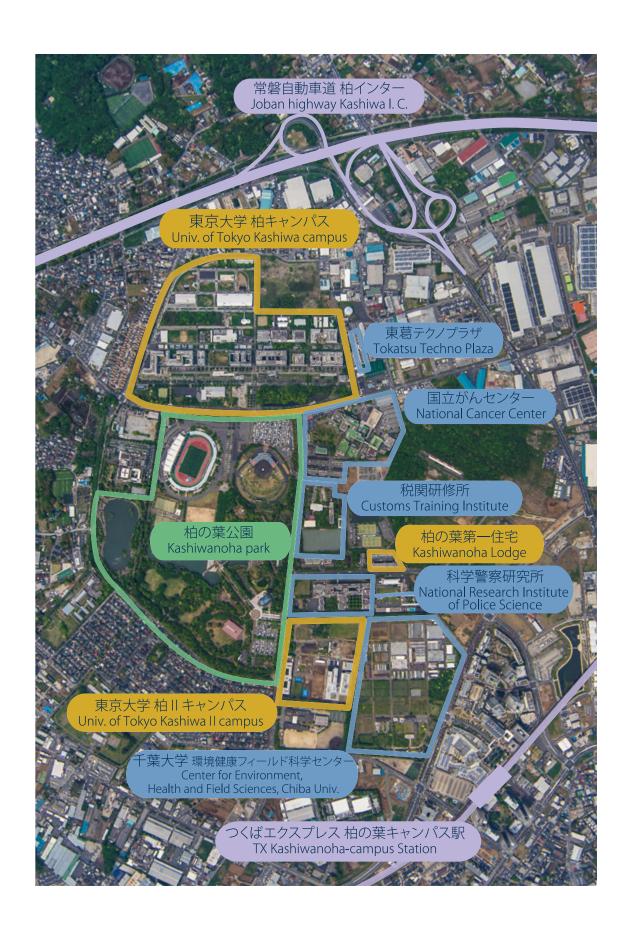
Counseling Services provide a broad array of counseling and referral services to students, faculty, and staff.

#### Job descripton

- Counseling services: Provide support to clients who are affected by personal, research/academic, career development, lab-related, or any other issues or problems.
- Consultation services: Provide support to key individuals (e.g., professor, friends, etc.) who are directly involved in the person experiencing psychological difficulties.
- Crisis services: Collaborate and cooperate with related faculty and staff members to keep the individual/organization safe.
- Harassment response: Address complaints or grievances on laboratory culture/environment, harassments, etc.
- Referrals: Collaborate with and refer to other resources on Kashiwa Campus, including Student Counseling Center, Harassment Counseling Center, Communication Support Room, and Health Service Center.



相談室風景 Counseling Services



# 柏キャンパス地図 Kashiwa Campus Map

#### 物性研究所

The Institute for Solid State Physics

A 棟 本館 / Main Building

B 棟 低温・多重極限実験棟 / Cryogenic/Multiple Extreme Conditions Laboratory

C 棟 ショートパルス強磁場実験棟 / Short Pulse Magnet Laboratory D 棟 先端分光実験棟 / Advanced Spectroscopy Laboratory

E 棟 極限光科学実験棟 / Laser and Synchrotron Research Laboratory

K棟 ロングパルス強磁場実験棟 / Long Pulse Magnet Laboratory

#### 生産技術研究所 / Institute of Industrial Science

- ① 研究実験棟 II / Research and Testing Complex II
- ② 研究実験棟 I / Research and Testing Complex I
- ③ テンセグリティ構造モデルスペース / Tensegrity Space

#### 大気海洋研究所 / Atmosphere and Ocean Research Institute

- ④ 大気海洋観測機器棟 / Ocean Observation Warehouse
- ⑤ 加速器実験棟 / Laboratory for Accelerator Mass Spectrometry
- ⑥ 本館 / Main Building

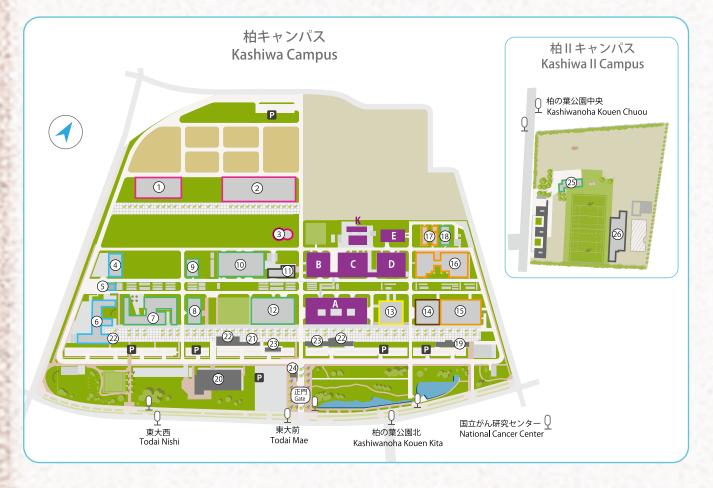
#### 新領域創成科学研究科 / Graduate School of Frontier Sciences

- ⑦ 環境棟 / Environmental Studies
- ⑧ 生命棟/Biosciences
- 屋外メダカ飼育場 / Outdoor Medaka Keeping Farm
- ⑩ 基盤科学実験棟 / Transdisciplinary Sciences Laboratory
- <sup>12</sup> 基盤棟 / Transdisciplinary Sciences
- ⑱ 情報生命科学実験棟 / Computational Biology Laboratory
- 生涯スポーツ健康科学研究センター / Resarch Center for Total Life Health and Sports Sciences

- 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
- 4 宇宙線研究所 / Institute for Cosmic Ray Research
- ⑤ 総合研究棟 / Kashiwa Research Complex
- ⑯ 第 2 総合研究棟 / Kashiwa Research Complex2
- 切 共同利用棟 / Joint Research Building

### 柏キャンパス共用施設 / Supporting Facilities

- 環境安全研究センター柏支所 / Environmental Science Center, Kashiwa Branch
- ⑨ 共同利用研究員宿泊施設 / Kashiwa Guest House
- 20 柏図書館 / Kashiwa Library
- ② 柏保健センター / Kashiwa Health Services Center
- ② 食堂 / Restaurant
- ② 売店/Shop
- ② 守衛所 / Gate House
- 26 産学官民連携棟 / Kashiwa2 Cooperation Hub



■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

https://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

至東京
「下車
柏川キャンパス
Kashiwa II Campus

大前」下車
流山おおたかの森駅
Nagareyama-Otakanomori
ター」下車
至上野
至船橋

柏の葉

至水戸

国立がん研究センタ

柏の葉キャンパス駅

Kashiwanoha-campus

至つくば

常耀目動車道

東京大学柏キャンパス

物性研究所

ISSP, Kashiwa Campus

柏I.C

東武野田線

Tobu Noda-Line

■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)ー 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 2020年11月









