

# 先端計測研究部門

## Division of Advanced Measurements

物理学は自然に対する計測技術の進歩とともに発展してきた。例えば、初代ノーベル物理学賞受賞者のレントゲンによる X 線の発見は物質中のミクロな原子を見ることを可能にした。こうした計測技術の重要性は現在でも変わらず、物性研究所では設立当初から新たな計測技術の開発に取り組みつづけている。極低温・高圧・強磁場などの極限環境における精密測定技術を、バルク試料からナノ加工微細試料まで様々な物質系に適用することによって物性研究の発展に貢献してきた。

先端計測研究部門では、それぞれの研究室における自由な発想のもとに、先進的実験手法や計測技術の開発、先端測定技術の汎用化・多用途化を通して新しい研究分野の芽吹きと物性研究の深化に寄与する。現在は単結晶表面に形成されたナノ構造・低次元物質における超伝導やトポロジカル状態のプロープ顕微鏡による局所計測、光量子センシング技術を用いた超高圧下でのマルチ物性測定技術開発による量子相研究、超低温高磁場における強相関電子系物質に対する物性測定技術の開発などに取り組んでおり、今後その範囲を広げていく。また、物性研究所内の他の部門・施設・センターと密に連携し、物性研究所全体の研究力の向上に寄与する。

The history of physics has always advanced alongside progress in measurement technologies. The discovery of X-rays by Röntgen, the first Nobel Prize in Physics laureate, enabled the observation of microscopic atoms within matter. The advancement of physics research through the development of such measurement technologies has continued relentlessly, further accelerating its importance for physics today. The Institute for Solid State Physics has been dedicated to developing advanced measurement technologies and has contributed to the advancement of materials research, by applying precise measurements in extreme environments such as cryogenic temperatures, high pressures, and strong magnetic fields to diverse material systems—ranging from bulk samples to nano-fabricated micro-samples.

The Division of Advanced Measurements contributes to deepening condensed-matter physics by conducting research to foster new research initiatives through the developments of advanced measurement techniques, as well as the generalization and diversification of advanced measurements, based on the freely conceived ideas within each laboratory. Our current research includes, elucidating superconductivity and topological states in low-dimensional and nano-structures formed on single crystal surfaces using scanning tunneling microscopes, developing multi-property measurement techniques under ultra-high pressure using optical quantum sensing technology for quantum phase research, and developing measurement techniques for strongly correlated electron systems at ultra-low temperatures and high magnetic fields. The division activities continue to expand into broader research areas, and furthermore, we enhance the research capabilities of our institute by close collaborations with other divisions, facilities, and centers within the Institute for Solid State Physics.

---

部門主任 山下 穰  
Leader YAMASHITA, Minoru

---

# 北川研究室 Kitagawa Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 圧力誘起のエキゾチック超伝導と新奇量子磁性相の探索  
Search for pressure-induced exotic superconductivity and novel quantum magnetism
- 2 固体量子センサ等を用いた光検出高圧下先端測定技術の開発  
Development of advanced optical-sensing methods under pressure using quantum sensors with solid-state systems
- 3 多種の電子物性測定を可能にする大容量超高压発生装置の開発  
Development of large-space ultrahigh-pressure device for realization of multi-purpose electronic property measurements



准教授 北川 健太郎  
Associate Professor KITAGAWA, Kentaro

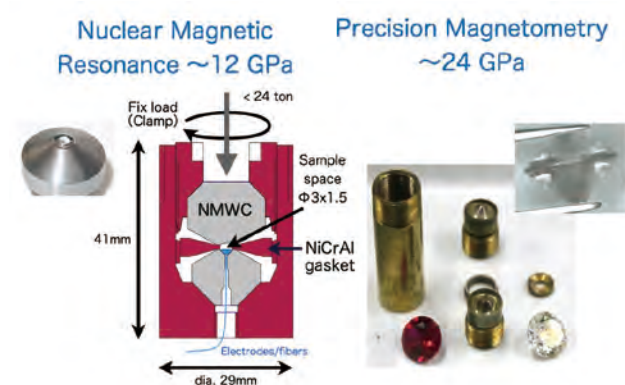
専攻 Course  
理学系物理学  
Phys., Sci.



助教 清水 悠晴  
Research Associate  
SHIMIZU, Yusei

近年、水素化合物やNi化合物の高温超伝導体が発見されるなど、高圧環境は超伝導研究のフロンティアである。それだけでなく、圧力は物質の基底状態を研究するための基礎的なパラメータである。一方で、これまでは超高压力で観測困難な物理量が多く、あまり磁性研究はされていない。固体中ではスピン軌道結合と電子相関、多体効果等のバランスにより奇妙な電子相が創り出させることがある。磁気量子臨界点近傍の異方的超伝導や量子スピン液体が例であるが、高圧下で生じるこれらが発掘・実証するには、やはり、スピンの自由度、磁性を観測することが非常に重要となる。当研究室は最先端の超高压下精密磁化測定と核磁気共鳴法を用いて強相関電子系の量子相転移を研究するだけでなく、光をプローブとした固体量子センシングなどの先端技術を用いて従来の物理量と磁気物理量を同時観測可能な新しい高圧力発生装置を開発している。

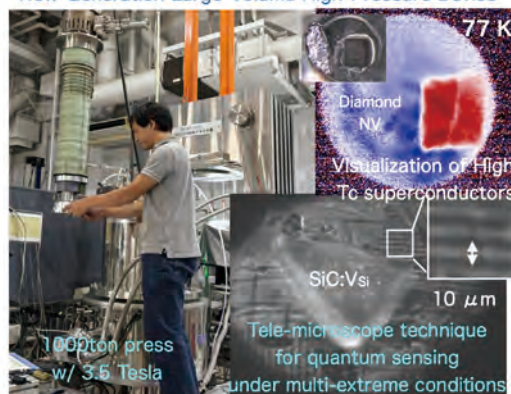
Materials development under pressure has attracted a lot of attention, as demonstrated by recent discoveries of hydride and Ni-based high-temperature superconductors. Moreover, pressure is one of the fundamental parameters for changing the ground state of a material, leading to material characterization. However, magnetic properties under pressure have been little investigated due to difficulties in the detection methods inside pressure cells. Unconventional superconductivities in the vicinities of magnetic quantum critical points, or quantum spin liquids are examples of novel and exotic electronic states caused by a combination of spin-orbit coupling, electronic correlations, multi-body effects, and so on. To understand these states deeply, direct observations for spin degrees of freedom, or for magnetism, are highly desired. Our group aims to study strongly correlated electron systems by use of state-of-the-art ultrahigh-pressure precision magnetometry and nuclear magnetic resonance methods. Besides, we are developing a new high-pressure device that enables us to observe conventional and magnetic properties simultaneously by application of advanced optical detection techniques, including quantum sensing with solid-state systems.



独自開発の超高压下先端測定技術。(左) 核磁気共鳴用高圧セル。実用的な NMR 測定を可能にした。(右) 精密磁化測定技術。ニッケル酸化物高温超伝導のマイスナー効果測定や 2 GPa 以上の常磁性磁化率測定で活躍。

Newly developed measurement techniques under ultrahigh pressure. (Left) High-pressure cell for NMR measurement, realizing practical NMR measurement and in-situ fluorescence measurement. (Right) High-pressure cell for precision magnetometry, capable of sensing paramagnetic susceptibility even above 2 GPa.

## New-Generation Large-Volume High-Pressure Device



25 年度に建造開始するマルチ物理量観測超高压装置。過去最大の試料室体積を実現するハイブリッドアンビル技術と光検出磁気共鳴等の先端測定手段により、伝導、磁化、比熱、光物性の複数試料同時測定を可能にする。

The multi-purpose ultrahigh-pressure device, under construction this FY. Our hybrid-anvil technique realizes the largest-ever sample space, and combination with advanced measurement techniques such as optically-detected magnetic resonance enables us a simultaneous characterization of many samples and many physical properties, transport, magnetization, specific heat, and optical properties.



# 長谷川研究室 Hasegawa Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 低温 STM による特異な超伝導 / トポロジカル物性の探索  
Exploration of peculiar superconducting / topological states using low-temperature STM
- 2 マイクロ波導入スピン偏極 STM によるナノスケール磁気共鳴とスピンダイナミクス  
Nanoscale detection of magnetic resonances and spin dynamics by microwave-assisted spin-polarized STM
- 3 スピン偏極走査ポテンシオ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 tunneling potentiometry
- 4 データ科学支援による高効率局所電子状態計測  
Effective collection of local density of states with an assist of data science



教授 長谷川 幸雄  
Professor HASEGAWA, Yukio

専攻 Course

工学系物理工学

App. Phys., Eng.



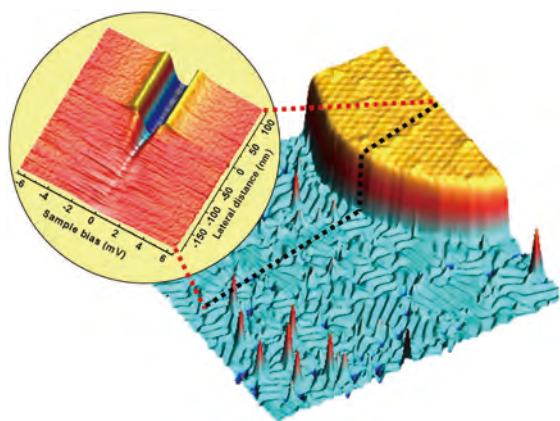
助教 土師 将裕  
Research Associate  
HAZE, Masahiro

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、スピン偏極局所ポテンシオメトリによるスピン流計測、さらにはマイクロ波導入による磁気共鳴検出を通じた局所スピンダイナミクスの研究等も推進しており、プローブ顕微鏡の新たな計測手法を開発することにも取り組んでいる。

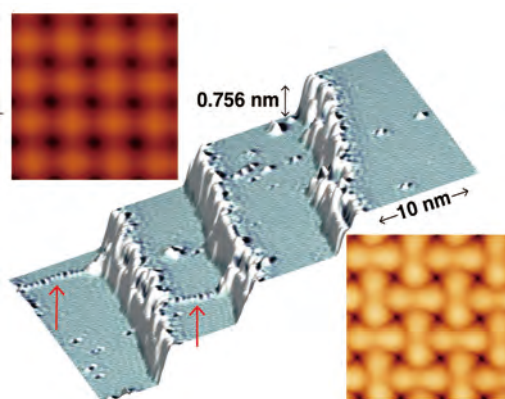
Scanning tunneling microscopy (STM) reveals not only atomic structure of surfaces but also electronic states of sub-nanometer areas by tunneling spectroscopy. With a function of spin-polarized (SP-) STM, the microscope also provides local magnetic properties and surface spin structures, and with inelastic 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 are found e.g. at surfaces, where inversion symmetry is broken, and in the proximity with ferromagnetic and topological materials, have been explored. We have also studied local magnetic properties of nano magnets, peculiar spin-spiral structures, and energy dispersion of surface magnons using SP-STM and SP-IETS. We have also explored unique functionality of the probe microscopy; recent examples include the investigation of local spin dynamics through the detection of magnetic resonances using microwave-assisted SP-STM, spin current detection using SP-scanning tunneling potentiometry, and efficient collection of local density of states based on data-driven science.



超伝導金属界面での近接効果。単原子層 Pb (水色、金属相) と Pb 薄膜 (黄色、超伝導相) の界面でのトンネル分光から、超伝導特性が界面から約 40nm にわたって染み出している様子が観察される。

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.



重い電子系物質 CeCoIn<sub>5</sub> で観測された表面軌道秩序。Co 原子が正方配列した面 (中央、左上図) で、探針を近づけて STM 像 (右下図) を撮ると、ダンベル状の d 軌道の秩序配列状態が観察される。

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 upper-left images). In STM images taken in closer distances (lower-right) we observed an ordered phase of dumbbell-shaped d-orbitals.



[https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/hasegawa\\_group.html](https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/hasegawa_group.html)



## 山下研究室 Yamashita Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 超低温における強相関電子系の研究  
Study of strongly correlated-electron systems at 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
- 3 NMR を用いた多極子秩序の研究  
Multipole orders studied by NMR measurements



准教授 山下 穰  
Associate Professor YAMASHITA, Minoru

専攻 Course

新領域物質系

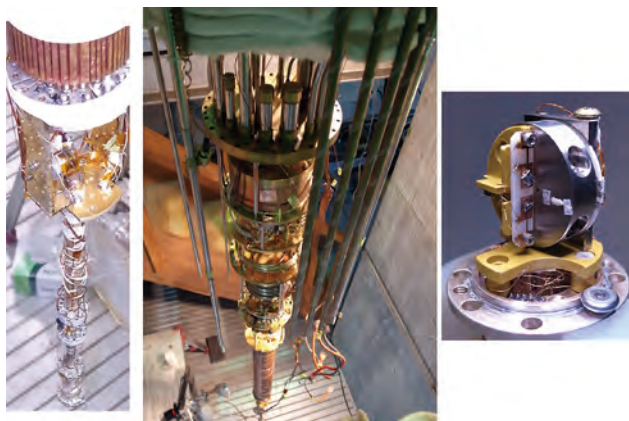
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 武田 晃  
Research Associate  
TAKEDA, Hikaru

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おり、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いて見えない、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。

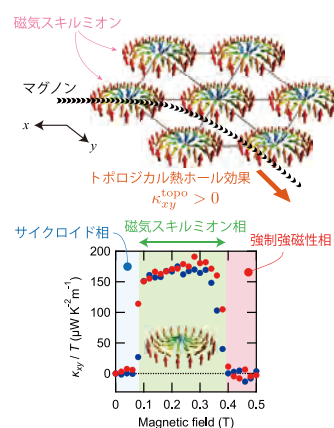


物性研の核断熱消磁冷凍機。超低温 (1 mK)・高磁場 (10 T) の実験が可能。左下挿入図が実験空間拡大写真。右下挿入図が超低温トルク測定用カンチレバー。

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 enlarged view 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 NMR measurements.



(上) 磁気スカイrmion格子によるマグノンの対するトポロジカルホール効果の模式図。(下) 熱ホール伝導率の磁場依存性。磁気スカイrmion相でのみ、有限の熱ホール伝導率が観測された。

(Top) a schematic illustration of the topological thermal Hall effect of magnons in the lattice of magnetic skyrmions. (Bottom) the magnetic field dependence of the thermal Hall conductivity that sharply appears in the magnetic skyrmion phase (green), but disappears in the cycloidal (blue) and the forced-ferromagnetic (pink) phases.



# イシガミ研究室 Ishigami Team



客員教授 イシガミ マサヒロ  
Visiting Professor ISHIGAMI, Masahiro

私の研究グループは、カーボンナノチューブ、グラフェン、トポロジカル物質における電子的・機械的散逸現象の解明と、これらの材料を基盤としたフォトディテクタ技術の開発に取り組んでいる。過去 10 年間は、二次元半導体や量子物質の研究を通じて、シリコンが抱える物理的限界の克服に注力してきた。

機械学習と自動化を導入した走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いて二硫化モリブデンと金の界面を解析し、混成や欠陥密度が電子特性に与える影響を明らかにした。また、ニッケルテルル化物におけるトポロジカル表面状態を決定し、低消費電力エレクトロニクスへの応用可能性を示した。さらに、カーボンナノチューブデバイスでは、ウィグナー・カスプの出現により、バンド端近傍で散乱が増強されることを発見した。

現在は、グラフェン弱結合ジョセフソン接合を用いたミリ波フォトディテクタの開発と、ナノスケール摩擦の理解に取り組んでいる。

My research group focuses on electronic/mechanical dissipation phenomena in carbon nanotubes, graphene, and topological materials and development of photodetector technologies based on these materials. In the last 10 years, I have concentrated on overcoming the physical limitations of silicon through the development of 2D semiconductors and quantum materials. I characterized the interface between molybdenum disulfide and gold, using scanning tunneling microscopy (STM) enhanced with machine learning and automation, to show how hybridization and defect densities influence electronic performance. I have determined the topological surface states of nickel telluride, which can be used to develop new low power electronics, and discovered that carbon nanotube devices suffer from enhanced scattering at the band edge as the Wigner cusps manifests even in these devices. My group is now working on the development of mm-wave photodetectors with graphene weak link Josephson junctions and on understanding nanoscale friction at technologically relevant speeds.

