

# 附属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、極短パルス、超精密レーザーや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による先端的なビームラインを開発し、レーザー科学と放射光科学との融合を目指している。これらの最先端光源を用いて、テラヘルツから軟X線までの広いエネルギー範囲で、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、発光分光などの研究を行っている。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、社会が求めている学理の探求や産官学協調領域の創出をねらう。柏I、およびIIキャンパスの他に、SPRing-8やナノテラスにおいて軟X線分光の研究を行っている。

Laser and Synchrotron Research (LASOR) Center develops new lasers with extreme performance of 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 high resolution, time-resolved spectroscopy, diffraction or scattering imaging, 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 an extreme performance and the application to material science are studied in specially designed buildings D and E with large clean rooms and the isolated floor in Kashiwa Campus. On the other hand, the experiments utilizing the synchrotron radiation are performed at SPRing-8 (Hyogo) and NanoTerasu (Miyagi).

---

センター長 小林 洋平

Leader KOBAYASHI, Yohei

副センター長 秋山 英文

Deputy Leader AKIYAMA, Hidefumi

副センター長 原田 慈久

Deputy Leader HARADA, Yoshihisa

---

# 板谷研究室 Itatani Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 位相制御された高強度極短パルスレーザーの開発  
Development of phase-stable intense ultrashort-pulse lasers
- 2 軟X線アト秒パルス発生と原子・分子・固体のアト秒分光  
Generation of soft-X-ray attosecond pulse, attosecond spectroscopy of atoms, molecules, and solids
- 3 強レーザー場中での超高速現象の観測と制御  
Measurement and control of ultrafast phenomena in strong optical fields
- 4 超高速軟X線分光法の開発  
Development of ultrafast soft X-ray spectroscopy



教授 板谷 治郎  
Professor ITATANI, Jiro

専攻 Course  
理学系物理学  
Phys., Sci.



助教 栗原 貴之  
Research Associate  
KURIHARA, Takayuki



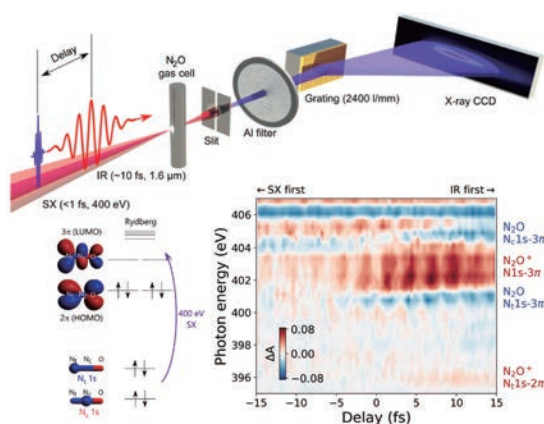
特任助教 水野 智也  
Project Research Associate  
MIZUNO, Tomoya



特任助教 深谷 亮  
Project Research Associate  
FUKAYA, Ryo

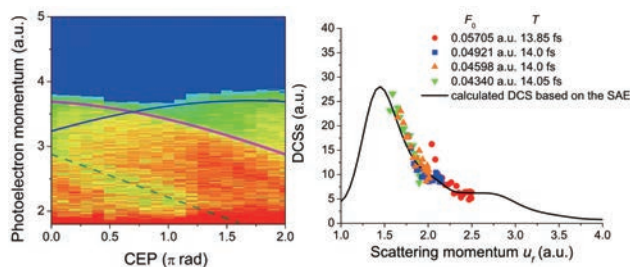
高強度極短パルスレーザーの開発と、フェムト秒からアト秒領域の超高速現象に関する研究を行っている。光源開発に関しては、可視から中赤外領域での位相制御された高強度極短パルス光源の開発と、気体・固体・液体媒質での高次高調波発生を利用した多様な短波長パルス光源に関する研究を行っている。また、チタンサファイアレーザーを超えた次世代極短パルスレーザー光源を目指した光源技術の開発も進めている。光源利用に関しては、アト秒軟X線パルスの超高速分光応用、原子・分子・固体中での高強度光電場で駆動された非線形光学現象に関する研究を主に行っている。位相制御された高強度極短パルス光源を基盤技術とした波長変換により、テラヘルツから軟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。

We are working on the development of intense ultrashort pulse light sources and their applications in ultrafast spectroscopy on the femtosecond to attosecond time scale. In light source R&D, we focus on the generation of waveform-controlled intense optical pulses from the visible to the mid-infrared spectral range and the generation of short-wavelength ultrashort pulses using the physics of high-order harmonic generation in gases, solids and liquids. In addition, we are developing the building blocks of next-generation light sources to overcome the limitations of current Ti:sapphire laser-based technologies. Based on these novel light sources and techniques, we are developing attosecond soft X-ray spectroscopy and other ultrafast methods to probe field-driven nonlinear processes in atoms, molecules, solids, and liquids. Our waveform-controlled intense light sources and related technologies will enable novel ultrafast spectroscopy covering an extremely broad spectral range from THz to soft x-rays. Our goal is to observe and control the ultrafast dynamics of non-equilibrium states of matter through multiple degrees of freedom.



アト秒軟X線パルスを用いたN<sub>2</sub>O分子の過渡吸収分光と、内殻励起に関するエネルギー準位、観測されたサブサイクルの変調を受けた過渡吸収スペクトル。

Schematic of transient absorption spectroscopy of N<sub>2</sub>O molecule using attosecond soft x-ray pulses, energy levels involved in inner-shell excitation, and the observed transient absorption spectra. The observed ultrafast modulation is due to the tunnel ionization of the molecule in a core-hole state.



(左) 強レーザー場中での光電子の再散乱によって得られるキャリア・エンベロープ位相依存性に依存した光電子スペクトル、(右) 観測された光電子スペクトルから再構成された微分散断面積と理論との比較。

(Left) Carrier-envelope phase dependence of the photoelectron spectra observed by rescattering of laser-accelerated photoelectrons. (Right) Comparison of the differential scattering cross section reconstructed from the observed phase-dependent photoelectron spectra. The good agreement indicates that quantitative information can be obtained from the high-energy rescattering phenomena.



## 研究テーマ Research Subjects

- 1 極低温超高分解能レーザー ARPES による非従来型超伝導の機構解明  
Mechanisms of unconventional superconductivities investigated by ultralow-temperature and ultrahigh-resolution laser ARPES
- 2 高次高調波レーザー時間分解 ARPES による光誘起相転移の機構解明  
Mechanisms of photo-induced phase transitions investigated by HHG laser time-resolved ARPES
- 3 先端レーザーを用いた高分解能・時間分解 ARPES 装置の開発  
Developments of high-resolution/time-resolved ARPES systems using advanced lasers



准教授 岡崎 浩三  
Associate Professor OKAZAKI, Kozo

専攻 Course

新領域物質系

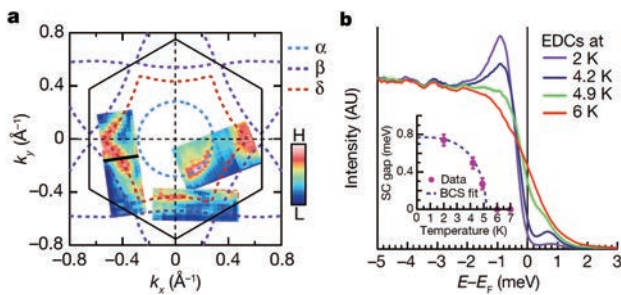
Adv. Mat., Frontier Sci.



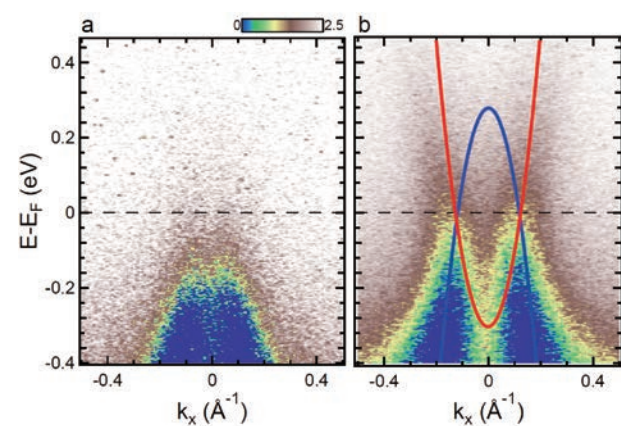
助教 鈴木 剛  
Research Associate  
SUZUKI, Takeshi

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。本研究室では、最高エネルギー分解能 70  $\mu\text{eV}$ 、最低測定温度 1 K という世界最高性能を有するレーザー角度分解光電子分光装置を用いて、非従来型超伝導体の電子構造、超伝導ギャップ構造を直接観測することでその機構解明を目指している。また、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時間分解光電子分光では、非平衡状態におけるバンド構造の過渡特性も観測できる。本研究室では、高次高調波をプローブ光に用いた時間分解光電子分光装置を用いて、光誘起相転移の機構解明や光による物性制御を目指している。レーザー開発の研究室と協力することにより、先端レーザーを用いた光電子分光装置の開発・改良にも取り組んでいる。

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. In our group, we are aiming for understanding the mechanisms of unconventional superconductivity by direct observations of the electronic structures and superconducting-gap structures of unconventional superconductors by laser-based angle-resolved photoemission system with a world-record performance that achieves the maximum energy resolution of 70  $\mu\text{eV}$  and lowest cooling temperature of 1 K. In addition, by time-resolved photoemission spectroscopy utilizing a femtosecond laser as pumping light and its high harmonic as probing light, we can observe ultrafast transient properties of the band structure in a non-equilibrium state. We are aiming for understanding the mechanisms of photo-induced phase transitions and control of physical properties of materials by light by using time-resolved photoemission spectroscopy utilizing high harmonic laser as probing light. We are also developing and improving photoemission systems that utilizes advanced lasers in collaboration with the laser development groups.



カゴメ超伝導体  $\text{Cs}(\text{Va,Ta})_3\text{Sb}_5$  ( $T_c = 5.2$  K) のフェルミ面と超伝導ギャップ  
Fermi-surface map and superconducting gap of the Kagome superconductor  $\text{Cs}(\text{Va,Ta})_3\text{Sb}_5$  ( $T_c = 5.2$  K)



励起子絶縁体  $\text{Ta}_2\text{NiSe}_5$  における光誘起絶縁体-金属転移  
Photo-induced insulator-to-metal transition in an excitonic insulator  $\text{Ta}_2\text{NiSe}_5$  observed by HHG laser TRPES. a, b. Spectra before and after pump, respectively.





# 木村研究室 Kimura Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 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
- 4 X 線自由電子レーザー集光ビームによる非線形光学現象の研究  
Study of Nonlinear Optical Phenomena with Strongly-Focused X-ray Free Electron Laser



准教授 木村 隆志  
Associate Professor KIMURA, Takashi

専攻 Course

工学系物理工学

App. Phys., Eng.

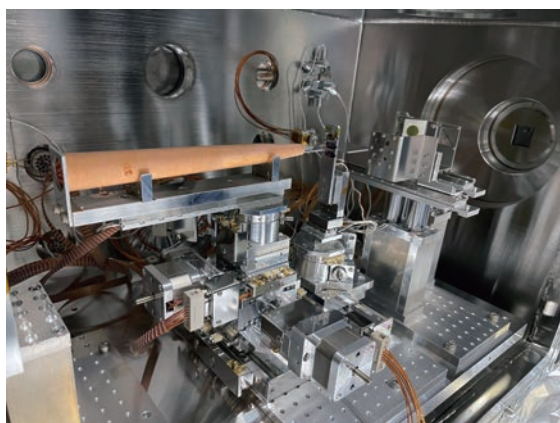


助教 竹尾 陽子  
Research Associate  
TAKEO, Yoko

本研究室では、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。そのために、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などのほか、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を現在行っている。また、集光された大強度 X 線ビームによる非線形光学現象の開拓にも取り組んでいる。こうした先端 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、メソ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。

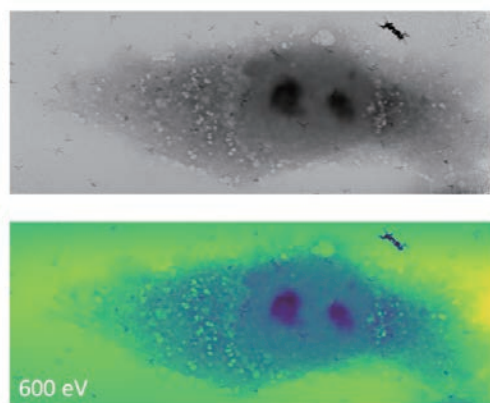
We are developing new micro-imaging techniques using advanced X-ray sources such as X-ray free-electron lasers, synchrotron radiation and high-order harmonics.

We design and fabricate various types of novel X-ray optical elements by combining ultra-precise fabrication and measurement technologies at the atomic level with semiconductor fabrication processes such as electron beam lithography. Specifically, we are developing ultra-precise focusing mirrors and spectroscopic optical elements for X-rays, microfluidic devices for measuring samples in solution, and phase recovery algorithms for computer-aided lens-less imaging. By combining advanced X-ray light sources with ultra-precise X-ray optical elements, we aim to open up new science by linking mesoscopic microstructures and physical properties with unprecedented spatial and temporal resolution in organic and non-organic materials.



SPring-8 の BL07LSU に構築した軟 X 線タイコグラフィ装置 CARROT (Coherent Achromatic Rotational Reflective Optics for pTychography)。全反射ウォルターミラーを利用した光学系を導入することにより、様々な波長の軟 X 線で試料を 50 nm 程度の分解能でイメージングすることが可能である。

Soft X-ray ptychography system CARROT (Coherent Achromatic Rotational Reflective Optics for pTychography). We constructed this achromatic soft X-ray imaging system with 50 nm spatial resolution at BL07LSU of SPring-8.



タイコグラフィにより計測した哺乳類細胞の軟 X 線吸収 (上段)・位相像 (下段)。細胞内の微細構造を薄片化することなく透過観察することが可能である。

Soft X-ray transmission (upper) and phase (lower) images of a mammalian cell measured by ptychography. Intracellular structures can be observed without thinning the sample.



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

# 小林研究室 Kobayashi Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 超短パルスレーザーシステムの研究開発及びレーザーの超精密制御  
Development and precise control of ultrashort pulse laser systems
- 2 レーザー加工の学理  
Fundamental understanding on laser processing
- 3 医療応用中赤外分子分光  
Precision spectroscopy of molecules for medical applications
- 4 サイバーフィジカルシステム  
Cyber-Physical System



教授 小林 洋平  
Professor KOBAYASHI, Yohei

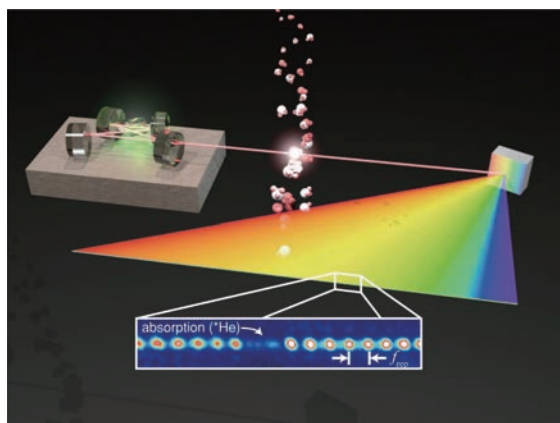
専攻 Course

工学系物理工学  
App. Phys., Eng.



助教 谷 峻太郎  
Research Associate  
TANII, Shuntaro

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。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呼吸診断を目指した医療応用の中赤外超精密分子分光を行っている。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、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。



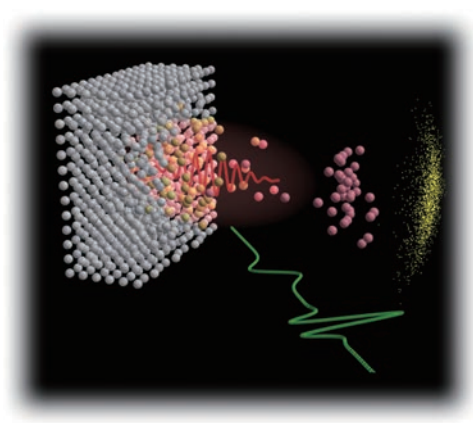
光周波数コムによる原子分光。自作超高エネルギー分解分光器と超高繰り返しモード同期レーザーとの組み合わせにより縦モードが分離された分光が可能となった。図はメタステーブル He の縦モード分解分光の例。

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

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 wide field of applications in the physics, metrology, medical science, and astronomy.

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

In addition, we are studying the fundamental processes of laser processing and bridging the gap between them and industrial applications. We would like to know "How is a material cut?"



レーザー加工過程のサブピコ秒時間分解測定

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



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

# 近藤研究室 Kondo Group

## 研究テーマ Research Subjects

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



准教授 近藤 猛  
Associate Professor KONDO, Takeshi

専攻 Course

理学系物理学

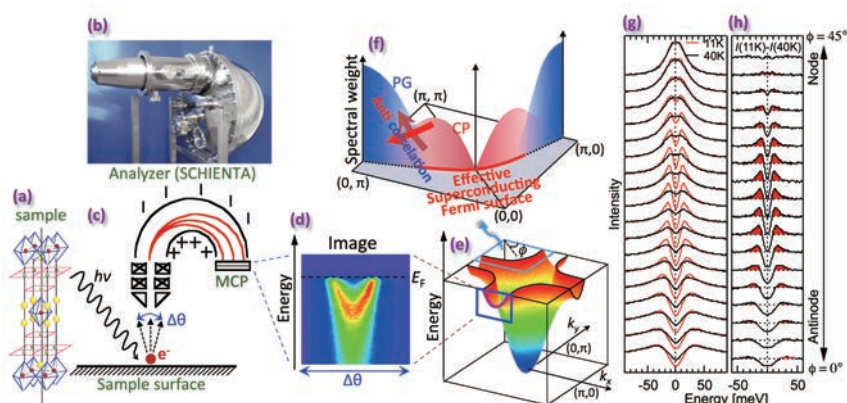
Phys., Sci.



助教 森 亮  
Research Associate  
MORI, Ryo

固体中の電子が描くバンド構造は、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、光で励起する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同定したり、パルス光で制御する非平衡ダイナミクスをフェムト秒スケールで観測することで、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、(高温)超伝導体、重い電子系や電子相関系物質、トポロジカル量子相、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、極限レーザー光源及びそれを用いた高精度な光電子分光装置を開発し、フェルミ準位極近傍の微細な電子構造（エネルギーギャップや素励起との相互作用）を解明する。

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



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

(a) Crystal structure of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$  high- $T_c$  superconductor. (b) ARPES analyzer. (c) Diagram of ARPES experiment. (d) Snapshot of dispersion image. (e) Whole band structure. (f) Competition between superconducting gap and pseudogap. (g) Spectra around Fermi surface below (red) and above (black) superconducting transition temperature ( $T_c = 35\text{K}$ ). (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).



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



# 原田研究室 Harada Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 水溶性液体の電子状態とマイクロ不均一性、固液界面の相互作用に関する研究  
 Electronic structure analysis of aqueous solutions to study microheterogeneity and interaction at solid-liquid interfaces
- 2 電池触媒、電池電極の表面反応解析、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 battery catalysts and electrodes, electrochemical reaction, photocatalytic reaction and functionality of metalloproteins
- 3 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)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) in strongly correlated materials
- 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



教授 原田 慈久  
 Professor HARADA, Yoshihisa

専攻 Course

新領域物質系

Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 木内 久雄  
 Research Associate  
 KIUCHI, Hisao



特任助教 島村 勇徳  
 Project Research Associate  
 SHIMAMURA, Takenori

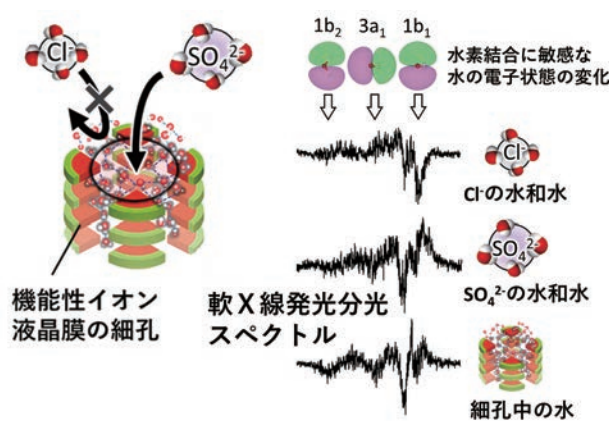
当研究室では、世界最高輝度の放射光X線源の一つであるSPring-8とNanoTerasuにおいて‘軟X線’と呼ばれる光を用いて新しい分光法を開拓し、物質の電気的、磁気的性質、光学応答を司る電子状態をその成因に遡って調べる研究を行っている。特に光散乱の一種である軟X線発光分光に着目し、強相関物質における素励起(結晶場励起、スピン励起、マグノン励起、電荷密度波励起、軌道波励起など)の直接観測とその成因の研究、水溶性液体、固液界面/気液界面の電子状態とマイクロ不均一性の観測、燃料電池触媒・二次電池電極の表面反応解析、光触媒反応解析のためのその場(オペランド)分析装置の開発、金属タンパク質の電子状態解析など、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軟X線吸収・発光分光の超高性能化のためのR&D、および木村隆志研究室と共同して軟X線顕微分光イメージングの応用研究を行っている。

We explore the origin of the electronic structure of materials responsible for their electronic, magnetic and optical property using intense and energy tunable synchrotron X-ray source: SPring-8 and NanoTerasu, 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 powerful 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, electronic structure analysis of aqueous solutions, interaction at solid-liquid and gas-liquid interfaces, the surface reaction of fuel cell battery catalysts and rechargeable battery electrodes, 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 as well as advanced application of soft X-ray spectroscopic imaging in collaboration with Prof. Takashi Kimura laboratory.



当研究室がSPring-8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。2024年4月よりNanoTerasuで稼働している。

Angle-resolved soft X-ray emission spectrometer with high energy resolution of 50 meV, originally developed by our laboratory at SPring-8, which is moved and operated at NanoTerasu from April 2024.



極めて均一かつナノメートルサイズの穴を持つ機能性イオン液晶膜が、特定のイオンを選択的に透過するために「イオンを取り巻く水の水素結合構造を認識している」ことが軟X線発光分光で明らかとなった。

Soft X-ray emission spectroscopy has revealed that functional ionic liquid crystalline membranes with extremely uniform, nanometer-sized pores recognize the "hydrogen-bonded structure of water surrounding the ions" in order to selectively permeate specific ions.



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

# 松田巖研究室 I. Matsuda Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 オペランド X 線実験による表面上分子・キャリアダイナミクスの研究  
*Operando* X-ray experiments to study molecule and carrier dynamics at surfaces
- 2 X 線自由電子レーザーを用いた非線形 X 線分光の研究  
Study of non-linear X-ray spectroscopy by X-ray free electron laser
- 3 単原子層材料の設計と合成  
Design and synthesis of novel functional materials of the monatomic layer
- 4 AI ロボットを用いた X 線分光実験技術の開発  
Technical developments of X-ray spectroscopy experiments using AI robots



教授 松田 巖  
Professor MATSUDA, Iwao

専攻 Courses

理学系物理学 理学系化学  
Phys., Sci. Chem., Sci.



助教 堀尾 真史  
Research Associate  
HORIO, Masafumi



特任助教 辻川 夕貴  
Project Research Associate  
TSUJIKAWA, Yuki

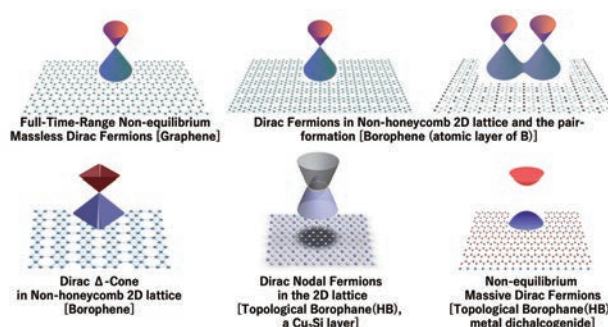
高輝度放射光や X 線レーザーから発生する真空紫外線～軟 X 線を用いた吸収分光・光電子分光・非線形分光の計測技術を開発し、完成した自作装置を使って材料の動作下における状態変化を「その場」観測するオペランド実験を実施している。光源それぞれの特性を利用することでフェムト秒からミリ秒まで各時間スケールでの電子及び分子の動的変化をリアルタイムで追跡する。それぞれの詳細を明らかにすると共に、時系列情報をつなぎ合わせることで動的現象の全貌解明も行なっている。研究室では新たな測定原理の開拓に加えて、AI ロボット技術の導入も推進している。対象としている物質群は主にディラック電子系を有した単原子層や強相関物質の表面／界面系であり、それぞれの電子物性および機能性の研究を行っている。学理とインフォマティクスを元に、我々の精密な計測データで情報をフィードバックさせながら新規材料の設計と合成を行い、その社会実装を目指している。

We have developed measurement techniques for absorption spectroscopy, photoelectron spectroscopy, and nonlinear spectroscopy using vacuum ultraviolet rays to soft X-rays, generated from high-brilliant synchrotron radiation and X-ray lasers. We have focused on *operando* experiments to make *in situ* observations of a material during its functioning. The dynamics of electrons and molecules are traced in real time at different timescales that are limited by characters of each light source. By sequentially connecting the temporal information, we unveil a whole picture of the functionality. Our instrumental developments are based on pioneering new measurement principles and, recently, they are combined with the AI robot technology. Our material targets are mainly monatomic layers with the exotic Dirac electrons and surface/interface systems of strongly correlated materials. Based on the fundamental theories and informatics, we design and synthesize novel materials while feeding back information using our precise measurement data. We aim to implement our functional materials in society.



オペランド実験ステーション：雰囲気光電子分光装置。放射光施設に設置されており、触媒や電池など様々な化学反応の解明に使用される。表面化学反応の中間体をリアルタイムで捉えることができる。

An *operando* experiment station of ambient-pressure X-ray photoelectron spectroscopy, developed at the synchrotron radiation facility. The instrument probes intermediates during chemical reaction at the surface in real time.



本研究室で設計・合成・測定した原子層物質のコレクション。それぞれ特有のディラック電子系を成しており、電子状態とキャリアダイナミクス、そして機能性を明らかにしてきた。

A collection of monatomic layers with various types of Dirac Fermions that are designed, synthesized, and examined.



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

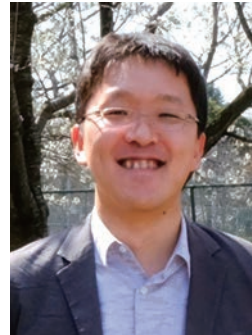


# 松永研究室

Matsunaga Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 テラヘルツ - 中赤外超短光パルス技術開発  
Development of ultrafast pulsed laser technique in terahertz-mid infrared range
- 2 光電場で駆動された多体系の超高速ダイナミクス  
Ultrafast dynamics of many-body systems driven by light field
- 3 トポロジカル半金属における非線形応答と非平衡現象  
Nonlinear responses and nonequilibrium phenomena in topological semimetals
- 4 テラヘルツ高速スピントロニクス  
High-speed terahertz spintronics



准教授 松永 隆佑  
Associate Professor MATSUNAGA, Ryusuke

専攻 Course

理学系物理学

Phys., Sci.



助教 室谷 悠太  
Research Associate  
MUROTANI, Yuta



特任助教 湯本 郷  
Project Research Associate  
YUMOTO, Go

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、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、高速スピン輸送現象など、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 use coherent light sources based on ultrafast pulsed laser technology to generate terahertz wave, mid- and near-infrared, and visible light to study the dynamics of light-induced nonequilibrium processes in a variety of materials. Particularly terahertz spectroscopy can reveal low-energy electromagnetic responses of materials on the range of millielectronvolts, which include crucial details for the dynamical motions of electron, phonon, or spin degrees of freedom in condensed matter physics. A novel route for optical control of materials by strong resonant or off-resonant excitation by light field has also been made possible by recently discovered powerful terahertz pulse production technology. We explore superconductivity or antiferromagnetism, gigantic nonlinearity of topological semimetals, and high-speed spin transport phenomena, in addition to the development of phase-stable terahertz generating and detection techniques and novel nonlinear spectroscopy schemes.



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



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

# 趙研究室 Zhao Group



外国人客員教授 趙 智剛  
Visiting Professor ZHAO, Zhigang

高強度超短パルスレーザーの開発とその応用研究を行っている。2015年に物性研に在籍していた時に開発した平均出力100 Wのフェムト秒Ybファイバーレーザーシステムは現在でも国内最高出力レーザーのひとつである。このレーザーの波長は1ミクロンであるが、波長変換により高エネルギーの光子を発生させることができる。高調波発生技術を用いて11 eVの光子エネルギーを発生させ、現在物性研ではこれをスピン分解・角度分解・時間分解光電子分光装置の光源として用いている。

高調波発生にはガス媒質を用いるが、位相整合条件を巧みにもちいることで波長変換効率の増大が期待されている。この手法を適用し、11 eVレーザーの高出力化について研究を行う。

We are studying intense ultrashort pulsed lasers and their applications. The femtosecond Yb fibre laser system with an average power of 100 W, which we developed in 2015 at the Institute of Solid State Physics, is still one of the highest power lasers in Japan. The wavelength of this laser is 1 micrometer, but it can generate high-energy photons by wavelength conversion. Harmonic generation techniques are used to generate photon energy of 11 eV, which is currently used as a light source for spin-, angle- and time-resolved photoemission spectroscopy at the Institute of Solid State Physics.

A gas medium is used for the harmonic generation, and by cleverly using phase matching conditions, the wavelength conversion efficiency is expected to increase. This technique is applied to research on increasing the output power of 11 eV lasers.