

# 極限コヒーレント光科学研究センター

## Laser and Synchrotron Research Center

極限コヒーレント光科学研究(LASOR) センターでは、超精密レーザーや極短パルス、大強度レーザーなどの極限的なレーザーを開発すると共に、シンクロトロン放射光を用いた先端的軟 X 線ビームラインを開発している。テラヘルツから真空紫外線、軟 X 線までの広いエネルギー範囲の極限的な光源を用いて、超高分解能光電子分光、時間分解分光、スピン偏極分光、顕微分光、回折や光散乱、イメージング、発光分光などの新しい最先端分光計測を開発している。一方、これらの極限的な光源や分光手法を用いて半導体、強相関物質、有機物質、生体物質、表面、界面などの幅広い物性研究とその共同利用を行っている。LASOR センターは、先端的な光科学とそれを用いた物質科学との共同研究、共同利用を目指す総合的なセンターである。柏キャンパスにおいては、大規模なクリーンルームと除振床を設置した先端分光実験棟(D 棟) 及び、真空紫外・軟 X 線レーザーの物性研究利用を主目的とした極限光科学棟(E 棟)を有し、光源開発とそれを用いた物性研究を行っている。兵庫県にある SPring-8 においてはシンクロトロン放射光を用いたビームライン BL07 において軟 X 線分光の研究を行っている。

Laser and Synchrotron Research (LASOR) Center develops new lasers with extreme performance of ultra-precise, high intensity and ultra-short pulse lasers. The cutting edge soft X-ray beamline is also developed using synchrotron radiation. LASOR center is responsible for the advanced spectroscopy, such as ultra-high resolution photoemission, time-resolved, spin-resolved spectroscopy, diffraction, light scattering, imaging, microscopy and fluorescence spectroscopy, by new coherent light sources based on laser and synchrotron technology over a wide spectrum range from X-ray to terahertz. In LASOR center, a variety of materials sciences for semiconductors, strongly-correlated materials, molecular materials, surface and interfaces, and bio-materials are studied using advanced light sources and advanced spectroscopy. The aim of LASOR center is synthetic science for photon sciences and collaborations with materials science. Most of the research activities on the development of new lasers with an extreme performance and the application to material science are studied in specially designed buildings D and E with large clean rooms and the isolated floor in Kashiwa Campus. On the other hand, the experiments utilizing the synchrotron radiation are performed at beamline BL07 in SPring-8 (Hyogo).

教授 Professor	末元 徹 Tohru SUEMOTO	助教 Research Associate	藤澤 正美 Masami FUJISAWA	技術専門員 Technical Associate	福島 昭子 Akiko FUKUSHIMA	特任研究員 Project Researcher	近藤 猛 Takeshi KONDO
教授(センター長) Professor (Director)	辛 埴 Shik SHIN	助教 Research Associate	高木 宏之 Hiroyuki TAKAKI	技術専門職員 Technical Associate	金井 輝人 Teruto KANAI	特任研究員 Project Researcher	谷内 敏之 Toshiyuki TANIUCHI
教授 Professor	高橋 敏男 Toshio TAKAHASHI	助教 Research Associate	山本 達 Susumu YAMAMOTO	技術専門職員 Technical Associate	澁谷 孝 Takashi SHIBUYA	特任研究員 Project Researcher	陳 少強 Shaoqiang CHEN
教授(副センター長)* Professor (Deputy Director)	小森 文夫 Fumio KOMORI	助教 Research Associate	矢治 光一郎 Kohichiro YAJI	技術専門職員 Technical Associate	篠江 憲治 Kenji SHINOE	特任研究員 Project Researcher	丹羽 秀治 Hideharu NIWA
准教授 Associate Professor	秋山 英文 Hidefumi AKIYAMA	助教 Research Associate	白澤 徹郎 Tetsuro SHIRASAWA	技術専門職員 Technical Associate	原沢 あゆみ Ayumi HARASAWA	特任研究員 Project Researcher	吉田 正裕 Masahiro YOSHITA
准教授 Associate Professor	松田 巖 Iwao MATSUDA	助教 Research Associate	望月 敏光 Toshimitsu MOCHIZUKI	技術専門職員 Technical Associate	工藤 博文 Hirofumi KUDO	特任研究員 Project Researcher	吉田 力矢 Rikiya YOSHIDA
准教授 Associate Professor	小林 洋平 Yohei KOBAYASHI	助教 Research Associate	小澤 陽 Akira OZAWA	技術専門職員 Technical Associate	橋本 光博 Mitsuhiro HASHIMOTO	特任研究員 Project Researcher	マラエブ ワリド Walid MALAEB
准教授 Associate Professor	板谷 治郎 Jiro ITATANI	助教 Research Associate	石田 行章 Yukiaki ISHIDA	技術専門職員 Technical Associate	下ヶ橋 秀典 Hidenori SAGEHASHI	特任研究員 Project Researcher	ガイゼラ ヨスト ヘニング Jost Henning GEISELER
准教授 Associate Professor	原田 慈久 Yoshihisa HARADA	助教 Research Associate	石井 順久 Nobuhisa ISHII	技術専門職員 Technical Associate	伊藤 功 Isao ITO	特任研究員 Project Researcher	玄 洪文 Hongwen XUAN
准教授(客員) Visiting Associate Professor	木須 孝幸 Takayuki KISS	助教 Research Associate	宮脇 淳 Jun MIYAWAKI	特任研究員 Project Researcher	北野 健太 Kenta KITANO	特任研究員 Project Researcher	趙 智剛 Zhigang ZHAO
准教授(客員) Visiting Associate Professor	朝倉 大輔 Daisuke ASAKURA	特任助教 Project Research Associate	渡邊 浩 Hiroshi WATANABE	特任研究員 Project Researcher	金 昌秀 Changsu KIM	特任研究員 Project Researcher	シルバ アリサ Alissa SILVA
				特任研究員 Project Researcher	小泉 健二 Kenji KOIZUMI	特任研究員 Project Researcher	樋山 みやび Miyabi HIYAMA

\* ナノスケール物性研究部門と併任 / concurrent with Division of Nanoscale Science

# 末元研究室

Suemoto Group



末元 徹  
Tohru SUEMOTO  
教授  
Professor



渡邊 浩  
Hiroshi WATANABE  
特任助教  
Project Research Associate

パルスレーザー光源を用いた分光法は、固体における非常に高速の現象を研究するために必須である。可視から近赤外領域で発展した超高速技術は、赤外やテラヘルツの長波長領域、紫外や軟 X 線といった短波長領域へと拡張が進んでいる。当研究室では、テラヘルツから軟 X 線にいたる波長領域で各種の短パルス光源を使い、無機酸化物、有機錯体から生体分子にいたる幅広い物質群において、励起状態およびそのダイナミクスを研究している。この目的を達成するために、主な手法として可視赤外領域における過渡吸収・反射分光、フェムト秒時間分解発光分光、テラヘルツ波時間領域分光、時間分解軟 X 線干渉計測などを開発し用いている。

現在、電子格子緩和、磁気秩序、光誘起相転移など興味ある現象をダイナミクスの視点から研究している。和周波ゲートによる発光の時間分解により、原子の波束形状の時間発展、分裂現象などを超高速で追跡している。また、テラヘルツ電磁波をプローブとして用いたポンプ・プローブ時間分解分光法の開発を進め、光誘起現象やスピン共鳴のダイナミクスの研究を行っている。

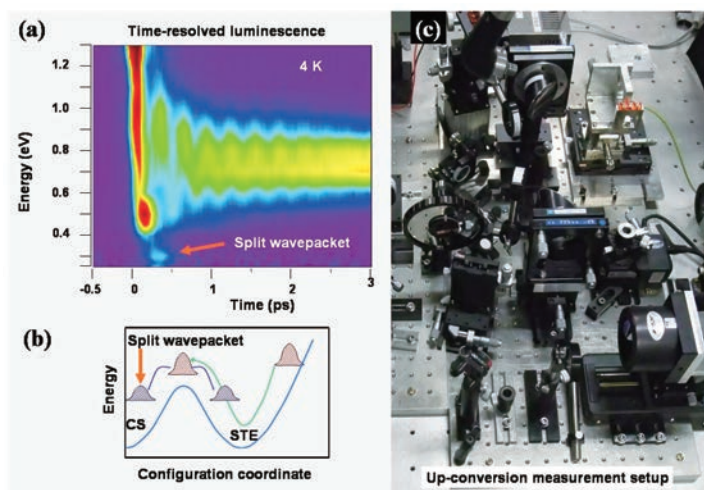
Optical methods based on pulsed lasers are indispensable for investigation of ultrafast phenomena in solids.

While, the ultrafast technique has been developed mainly in the visible and near infrared region, the spectral range is growing to long wavelength (mid infrared, terahertz) and short wavelength (EUV, soft X-ray), recently. Our group is engaged in investigation of excited states and their dynamics in various materials i.e., inorganic oxides, organic complexes and bio-molecules, taking full advantage of the pulsed light sources from THz to soft X-ray region.

For this purpose, we developed transient absorption/reflection spectroscopy in visible and infrared regions, femtosecond luminescence spectroscopy, terahertz time-domain spectroscopy, and soft-X-ray time-resolved interferometry.

Our main interest is the dynamics of electron-lattice relaxation, magnetic ordering, and photoinduced phase transitions.

Wavepacket dynamics of the atoms in solids is investigated by luminescence up-conversion method and the time development of the wavepacket shape and splitting phenomena are observed. Terahertz pump-and-probe method is developed and applied to photoinduced phase transitions and spin related phenomena to study their dynamical behavior.



(a) 擬 1 次元白金錯体 (Pt-Br 系) における自己束縛励起子発光の時間応答から得られた波束のムービー。縦軸 (エネルギー) は原子の変位に相当しており、波束が減衰振動を行うと同時に 300fs 付近で分裂している様子がわかる (赤矢印)。(b) 断熱ポテンシャル面上での波束運動。右上から出発した波束がポテンシャル障壁の頂上で 2 方向に分裂する。(c) フェムト秒時間分解発光測定装置の中心部分。

(a) Movie of the wavepacket taken for the self-trapped excitons in quasi-one-dimensional Pt complex (Pt-Br) by means of time-resolved luminescence. Ordinate (energy) corresponds to the deviation of the atoms from the equilibrium position. The damped oscillation and a splitting of the wave-packet at 300 fs are clearly seen. (b) Wave-packet motion on an adiabatic potential energy surface. The wave-packet proceeds to the left and splits on top of the potential energy barrier. (c) The central part of the femtosecond luminescence measurement optics.

## 研究テーマ Research Subjects

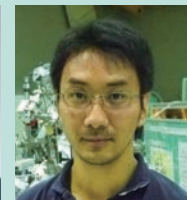
1. 超高速発光分光による波束運動の実時間観測とアトミック・ムービー  
Atomic movie based on ultrafast luminescence spectroscopy
2. 時間分解赤外・テラヘルツ分光法による光誘起相転移とスピン秩序のダイナミクス  
Dynamics of photoinduced phase transitions and spin ordering by time-resolved infrared and terahertz spectroscopy
3. 軟 X 線干渉計による固体表面形状の時間分解観測  
Time-resolved observation of surface morphology by a soft X-ray interferometer

# 辛研究室

Shin Group



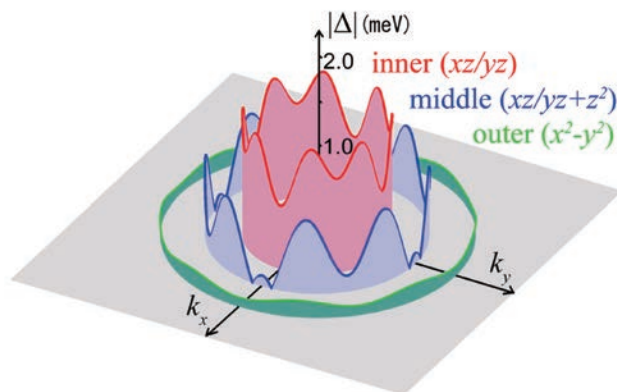
辛 埴  
Shik SHIN  
教授  
Professor



石田 行章  
Yukiaki ISHIDA  
助教  
Research Associate

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

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

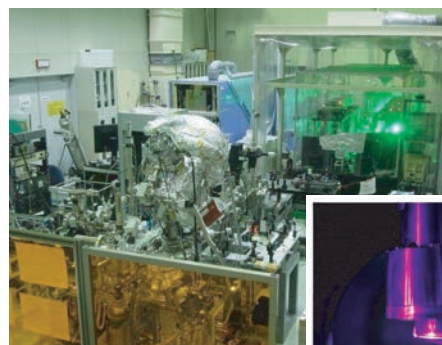


超高分解能レーザー光電子分光法により解明された鉄系超伝導体  $\text{KFe}_2\text{As}_2$  の異方的な超伝導ギャップ構造。超伝導転移温度は 3.4 K である。(Okazaki *et al.*, Science (2012))

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

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

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



高次高調波発生を用いた軟 X 線レーザー時間分解光電子分光装置。

Soft-x-ray time-resolved photoemission spectrometer using high-harmonic generation.

## 研究テーマ Research Subjects

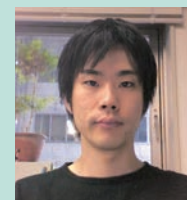
1. 軟 X 線レーザー超高分解能光電子分光による超伝導体、低次元物質、新物質等の電子状態の研究  
Ultra-high resolution laser-photoemission study on the superconductors and the low dimensional materials
2. 軟 X 線レーザー時間分解光電子分光による光誘起現象の研究  
Time-resolved laser-photoemission study on the photo-induced phenomena
3. 軟 X 線レーザー光電子顕微鏡によるナノ構造の電子状態の研究  
Laser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

# 高橋研究室

Takahashi Group



高橋 敏男  
Toshio TAKAHASHI  
教授  
Professor

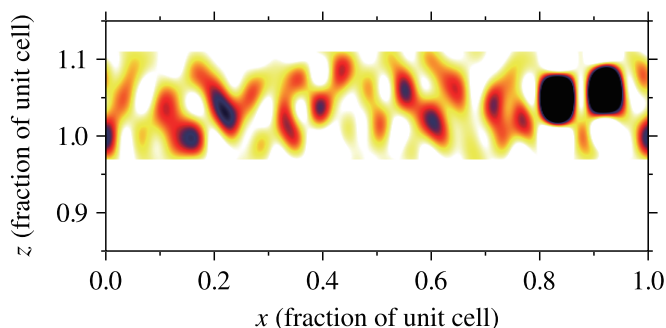


白澤 徹郎  
Tetsuroh SHIRASAWA  
助教  
Research Associate

X線などの回折・散乱の基礎研究とその応用。とくに干渉現象を利用して、結晶の表面や界面の構造、ナノ構造などを解明する方法の開発を行っている。

回折散乱の実験では、観察されるのは散乱波の振幅ではなく強度である。このため、散乱波が本来もっていた位相情報が消えてしまい、一般には観察した散乱強度データから直ちに試料の構造を再構成することは困難である。この回折散乱における位相問題の解決に関連づけて、実験データから直接的に界面原子層をイメージングする方法の開発や、多波回折条件を利用する方法や蛍光X線ホログラフィなどを行っており、これらを擬一次元金属、金属シリサイド界面、有機薄膜などに適応して新しい知見を得ている。

また、表面・界面からのX線散乱強度分布を迅速に測定する新しい実験方法を他研究機関と共同で開発しており、これを用いた表面・界面のダイナミクスの観察を目指している。

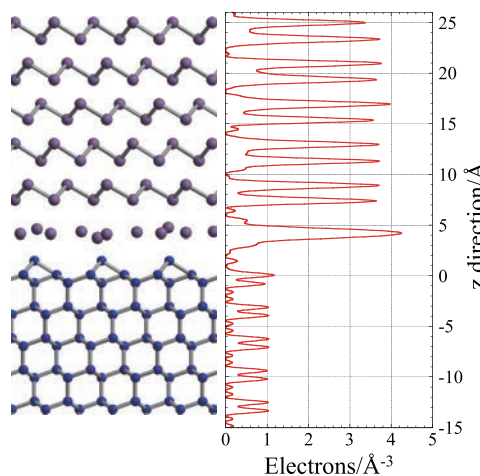


位相回復アルゴリズムを用いて、測定したX線回折強度分布から再構成したSi(553)表面上のAu一次元鎖の電子密度マップ。

Electron density map of the one-dimensional structure of the Au-Si(553) surface, reconstructed from measured X-ray diffraction data by using a phase and amplitude retrieval algorithm.

Fundamental studies on X-ray, neutron, and electron diffraction, in particular intended for the development of new methods to solve the structure of surfaces, interfaces, and nano structures by using interference phenomena. Aiming to solve the phase problem in surface X-ray diffraction, we have developed new methods, such as a direct imaging of interface atoms from measured X-ray diffraction intensities, a characterization of meso-scope range strain field utilizing multiple X-ray diffraction phenomenon, and X-ray fluorescence holography. These methods are applied for such as surface quasi-one dimensional metal, metal silicides, organic films.

A recent topic is the development of a new method for quick measurement of surface X-ray diffraction profile aiming for time-resolved measurements of dynamic phenomena at surface and interface, that is collaborated with other researchers.



測定したX線回折強度から直接的にイメージングしたBi薄膜/Si(111)界面構造。

Bi thinfilm/Si(111) interface structure directly reconstructed from measured x-ray diffraction data.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 回折散乱法を利用した結晶表面・界面構造、ナノ構造の解析  
Studies on surfaces, interfaces and nano-structures by diffraction/scattering
2. 表面界面などの構造評価法の開発  
Development of new methods to study the surfaces and interfaces
3. X線領域における非線形光学など新しい光学分野の開拓  
Optical phenomena such as nonlinear optics in X-ray wavelength region
4. X線回折物理、X線・中性子光学、干渉計  
X-ray diffraction physics, X-ray and neutron optics, and X-ray interferometry

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

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

# 秋山研究室

Akiyama Group



秋山 英文  
Hidefumi AKIYAMA  
准教授  
Associate Professor



望月 敏光  
Toshimitsu MOCHIZUKI  
助教  
Research Associate

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

GaAs 量子井戸構造をT型につないだ立体量子構造は、交線部分が1次元量子細線となる。我々は、この方法により世界一細くかつ均一で制御性の高い半導体量子細線を作製し実験を行っている。サイズや形に依存して変化する量子力学的な光学物性のほか、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。また、半導体レーザーを利得スイッチング動作させて短パルス発生限界を調べたり、III-V 族半導体太陽電池の変換効率限界を決める要因を調べたりするデバイス物理の研究も行っている。

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。最近は、それらの技術を応用して、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の研究を、生物学の専門家や民間会社と共同で進めている。

Advanced laser spectroscopy on the basis of lasers and microscopy is developed and applied to semiconductor quantum wires (QWRs) and other nano-structures, in order to understand and control their optical properties quantum mechanically, which vary with their size and shape.

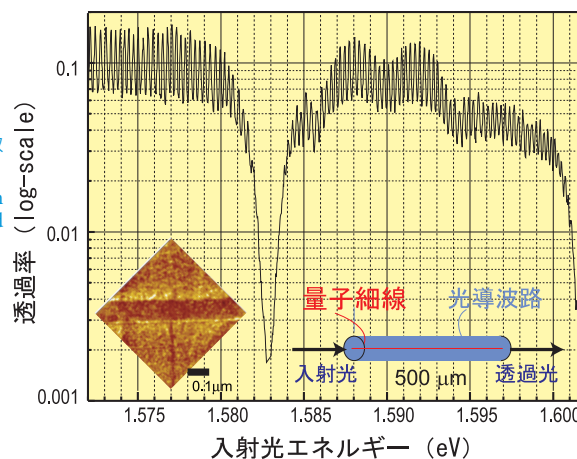
The structures of current interest are T-shaped GaAs quantum wires. We are currently aiming at making the world thinnest and cleanest quantum-wire semiconductor lasers that have superior laser performances such as low threshold currents. Experimental findings and problems there provide us fruitful physics subjects related to 1D physics, many-body physics, lasers, solar cells, crystal growth, material science, and semiconductor device physics and engineering.

For the above studies on small nano-structures, we are developing experimental techniques such as sensitive luminescence detection, absolute luminescence-yield measurements, transmission/absorption measurements of single nano-structures, micro-spectroscopy, imaging, and solid-immersion microscopy. Recently, some of these techniques have been applied to study of bioluminescence of fireflies, jelly fish, and sea fireflies as well as luminol chemiluminescence in collaboration with biologists and industry researchers.



ホタル (有馬温泉, 日本) と  
ウミホタル (横須賀, 日本)。  
Firefly (Arima, Japan) and  
sea firefly (Yokosuka, Japan).

単一T型量子細線の透過吸収  
スペクトル  
Transmission/absorption  
spectrum of a T-shaped  
single quantum wire.



## 研究テーマ Research Subjects

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

# 松田巖研究室

I. Matsuda Group



松田 巖  
Iwao MATSUDA  
准教授  
Associate Professor



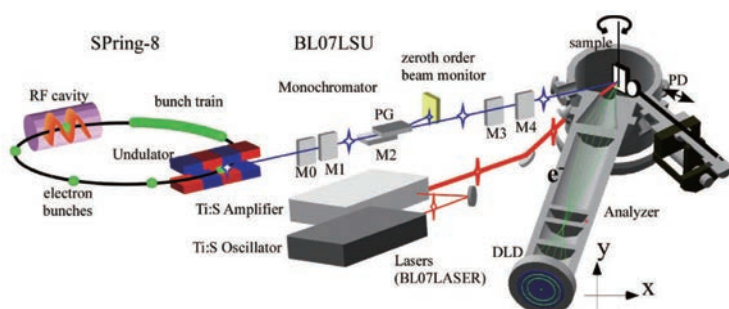
山本 達  
Susumu YAMAMOTO  
助教  
Research Associate

高輝度放射光 (SPring-8 など) や超短パルスレーザーを用いた時間分解真空紫外線 (VUV) ~軟 X 線 (SX) 分光実験の技術開発を行い、これらを用いて表面・界面系を中心に物質のダイナミクス研究を行っている。

触媒反応や起電力発生など、表面・界面系におけるキャリア及び分子の動的変化を研究することは実社会の技術開発にとって重要である。また表面・界面系は物質系そのものが2次元であるため低次元電子系の研究場としても貴重であり、低次元特有の現象も豊富に存在する。本研究室では、物質の電子状態、化学状態、スピン状態を直接調べることができる VUV ~ SX 光電子分光や X 線吸収分光の時間分解測定を行う。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。

Dynamics in materials, mainly the surface/interface systems, are studied with developing experimental techniques for time-resolved vacuum ultraviolet (VUV) ~soft X-ray (SX) spectroscopy with high brilliance synchrotron radiation (e.g. SPring-8) and ultrashort pulsed- lasers.

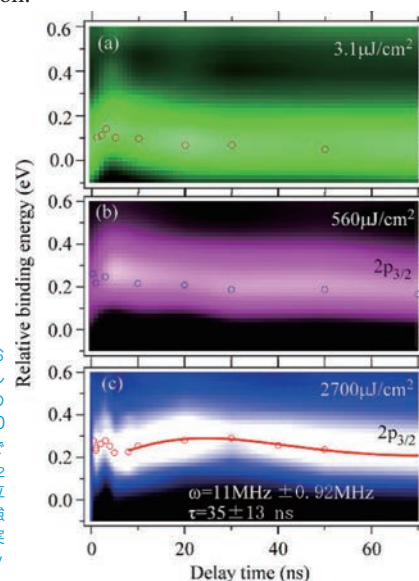
Roles of carrier and molecule dynamics at the surface/interface systems are significant in voltaic effects and catalytic reactions, for examples, that are necessary for our social technology. Moreover, the surface/interface system is intrinsically two-dimensional and it has been a valuable playground for low-dimensional physics. In our laboratory, we carry out time-resolved measurements of photoemission and X-ray absorption spectroscopy to directly probe temporal evolutions of electronic, chemical, and spin states of materials during such dynamical phenomena. We reveal their detailed mechanisms at each time scale, ranging from femtoseconds to milliseconds, and promote understanding of the whole 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.

表面光起電力効果の緩和過程における Si 2p 内殻光電子スペクトルの時間変化。ポンプレーザー光の強度はそれぞれ (a) 3.1, (b) 560 and (c) 2700  $\mu\text{J}/\text{cm}^2/\text{pulse}$  である。縦軸は光励起前の Si 2p<sub>3/2</sub> 内殻光電子ピークのエネルギー位置を基準にしている。(c) では強光励起により振動が観測され、実線は減衰振動モデルによるフィッティングである。



Time-evolution of the Si 2p spectra during the relaxation of the surface photo-voltage effect, taken at different laser power density per pulse: (a) 3.1, (b) 560 and (c) 2700  $\mu\text{J}/\text{cm}^2/\text{pulse}$ , respectively. The vertical axis represents relative binding energy with respect to the Si 2p<sub>3/2</sub> peak position before the photo-excitation. The solid line in (c) is the result of fitting with the damped oscillation model.

## 研究テーマ Research Subjects

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

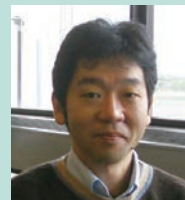
極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

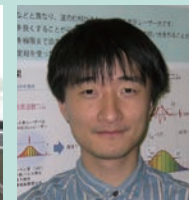
[http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kobayashi\\_group.html](http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kobayashi_group.html)

# 小林研究室

Kobayashi Group



小林 洋平  
Yohei KOBAYASHI  
准教授  
Associate Professor

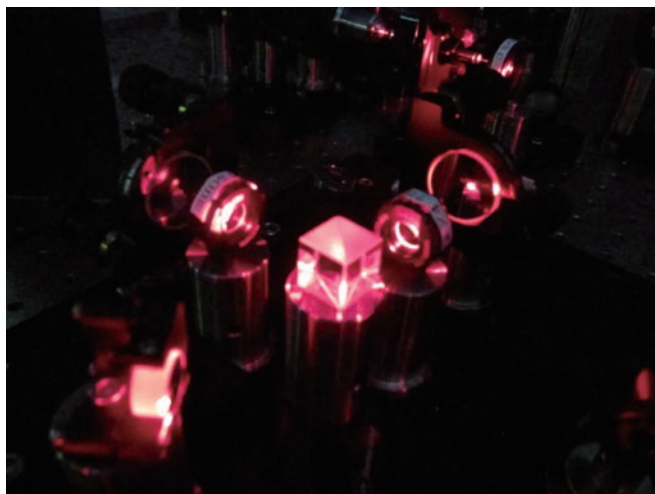


小澤 陽  
Akira OZAWA  
助教  
Research Associate

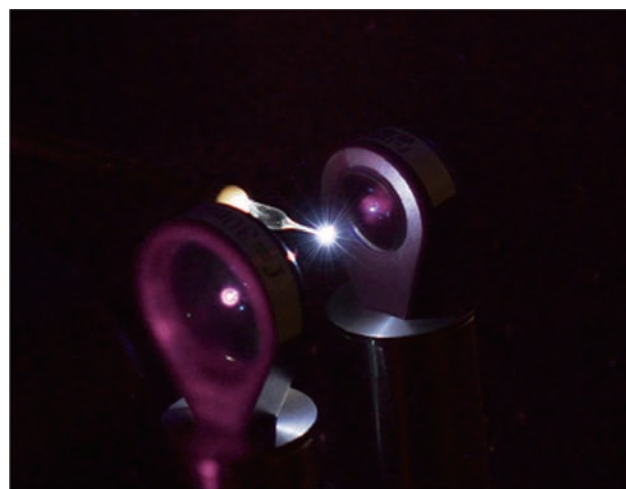
最先端レーザーの研究開発とその応用を行っている。超短パルスと超単色レーザーという、一見両極にある技術を統合した光周波数コムを用いた新しい分光法の研究をしている。光位相が精密に制御された極短パルスレーザーを増幅し、高次の非線形光学効果を高繰り返しで実現することにより、高次高調波によるコヒーレントXUV光発生およびそれを用いた超精密分光の開拓などを行っている。応用分野としてはレーザー光電子分光、精密・高強度物理、光原子時計用光周波数コム、高強度レーザーやXUV光周波数コムによる原子分子の精密分光などが対象である。量子エレクトロニクスに限らず非常に広い分野の応用を考えている。

We are studying 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 ten years ago. 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 higher repetition rate of >4GHz laser oscillator is also studied.



Ybファイバーレーザーをベースとした光周波数コムの装置  
Optical frequency comb based on an Yb-fiber laser



高繰り返しレーザーによる希ガスプラズマ  
Xe plasma generated by multi-MHz laser system.

## 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 system
2. 高繰り返し-高強度物理  
High-rep rate, high-field physics
3. 精密分光  
Precision spectroscopy

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

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

# 板谷研究室

Itatani Group



板谷 治郎  
Jiro ITATANI  
准教授  
Associate Professor



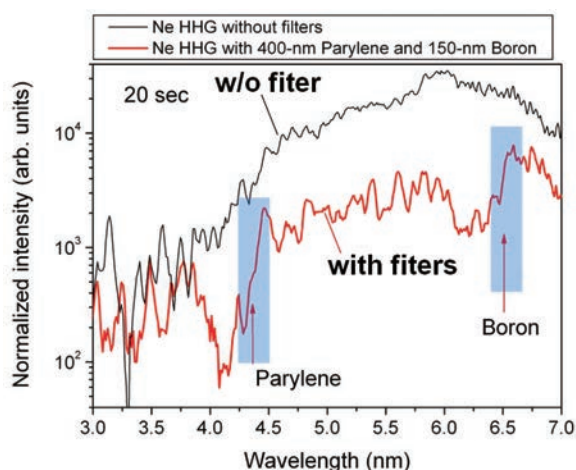
石井 順久  
Nobuhisa ISHII  
助教  
Research Associate

アト秒領域の超高速光科学では、位相制御された高強度超短レーザーパルスやアト秒軟 X 線パルスを利用することによって、可視域の超短パルスレーザーでは実現できない極短時間の現象—たとえば、励起状態の物質における多電子ダイナミクスなど—を実験的に観測できる。また、高強度超短パルスレーザーの波長変換により、軟 X 線から赤外・テラヘルツにわたる広い周波数領域において超短パルス光の発生が可能であり、励起状態の物質のダイナミクスを様々な自由度を通して観測することが出来る。

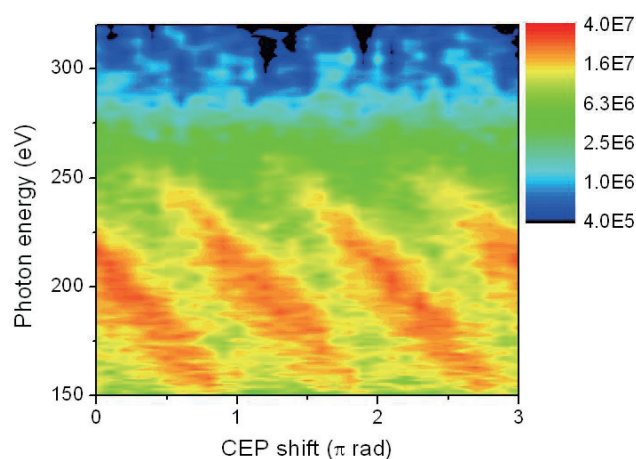
本研究室では、高強度超短パルスレーザーの開発および、アト秒領域の超高速光科学に関する研究を行っている。特に、強レーザー場中の原子や分子で発生する「高次高調波」と呼ばれるコヒーレント短波長光によるアト秒パルス発生、および、アト秒軟 X 線パルスを用いた超高速分光法に関する研究を行っている。また、高強度赤外光やテラヘルツ光による原子分子のコヒーレント制御に関する研究も行っている。

In attosecond optical sciences, we can measure the dynamics of matter on unprecedented time scales with phase-stabilized intense ultrashort laser pulses and attosecond soft-x-ray pulses. One of the main objectives in attosecond sciences is to measure and control the multielectron dynamics of matter in highly excited states. Intense ultrashort-pulse lasers are also useful to produce optical pulses at different wavelength covering from soft x rays to IR and THz. It means that we can probe and control the ultrafast dynamics of matters through various freedoms.

We work on the development of intense ultrashort-pulse lasers, and their applications to attosecond optical sciences. Especially we work on high harmonic generation, aiming to produce attosecond soft x-ray pulses for time-resolved soft-x-ray spectroscopy. We also work on the generation of intense IR and THz pulses and their applications to coherent control of atoms and molecules.



高強度赤外レーザーで発生した高次高調波の「水の窓」領域の軟 X 線スペクトル。  
Soft x-ray spectra in the water window produced by an intense IR laser system.



「水の窓」領域の高次高調波の位相制御。  
High harmonic spectra in the water window and their dependence to carrier-envelope phase (CEP).

## 研究テーマ Research Subjects

1. 高強度超短パルスレーザーの開発  
Development of intense ultrashort-pulse lasers
2. 高次高調波およびアト秒軟 X 線パルスの発生と分光応用  
Generation of attosecond soft x-ray pulses, high harmonic generation, and their applications to ultrafast spectroscopy
3. 高強度レーザーを用いた分子のコヒーレント制御およびイメージング  
Coherent control and imaging of molecules using intense laser sources



極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

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

# 原田研究室

Harada Group



原田 慈久  
Yoshihisa HARADA  
准教授  
Associate Professor



宮脇 淳  
Jun MIYAWAKI  
助教  
Research Associate

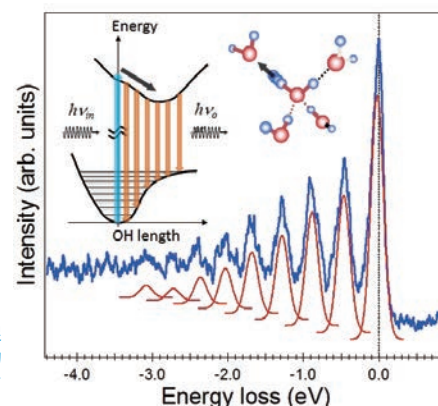
当研究室では、世界最高輝度のX線源である SPring-8 において「軟X線」と呼ばれる光を用いて新しい分光法を開拓し、物質の電氣的、磁氣的性質、光学応答を司る電子状態をその成因に遡って調べる研究を行っている。特に光散乱の一種である軟X線発光分光の将来性に着目し、モット絶縁体、新規高温超電導体等の強相関物質における素励起（結晶場励起、スピン励起、マグノン励起、電荷密度波励起、軌道波励起など）の直接観測とその成因の研究、水溶性液体、固液界面の電子状態とマイクロ不均一性の観測、電池触媒の表面反応解析、光触媒反応解析のためのその場分析装置の開発、金属タンパク質の電子状態解析など、軟X線発光分光を適用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



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

Ultra-high energy resolution soft X-ray 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 noble 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 operant spectroscopy of a variety of catalysts. Our topics includes study on elementary excitations (crystal field excitation, spinon, magnon, charge density wave, orbiton etc.) in strongly correlated materials like Mott insulators and noble high temperature superconductors, electronic structure analysis of aqueous solutions, interaction at solid-liquid interfaces, surface reaction of fuel cell catalysts, electronic structure analysis of reaction center in metalloproteins, electrochemical and photocatalytic reactions. We also explore basic study on ultrahigh energy resolution optics for soft X-ray emission and time-resolved spectroscopy.



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

Multiple vibrational excitation of H<sub>2</sub>O observed by the ultrahigh energy resolution soft X-ray emission spectrometer. The energy separation reflects the profile of the Morse function modulated by hydrogen bonding. Using soft X-ray emission we confirmed the presence of a microheterogeneity in pure liquid water.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 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 noble high temperature superconductors
2. 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
3. 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
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

# 木須研究室

Kiss Group



木須 孝幸  
Takayuki KISS  
客員准教授  
Visiting Associate Professor

光電子分光法を用いた分子性導体(特に擬2次元系)の電子状態の研究と新しい分光法及び周辺技術開発を行っている。

分子性導体結晶の電子状態直接観測、特に角度分解によるバンド分散及びフェルミ面形状観測による電子物性の理解は大変重要でありながらその困難さによりほとんど行われてこなかった。特に擬2次元系においては皆無であり、分子性導体の機能性デバイスへの応用を目指した分子設計(電子構造設計)において電子構造と発現物性との関連に関する情報の欠落は大きな問題であった。

レーザー光電子分光を用いた研究によって、ようやくこの現状を打破できるノウハウを構築しつつあり、非常に金属性の高い擬2次元分子性結晶において、世界で初めてとなるバンド分散及びフェルミ面の観測に成功した。現在は、超伝導や重い電子的な振る舞いを示す分子性導体の角度分解光電子分光による電子物性研究に取り組んでいる。

We perform the researches on molecular conductors (especially on quasi-2D system) and developments of new spectroscopy and peripheral technologies.

Direct observation of electronic structures, especially band dispersions and Fermi surface by ARPES, have been carried out very few and not at all for quasi 2D system owing to its difficulty even its importance to understand the electronic properties. The lack of the information about the relations between electronic structures and properties is critical problem for designing functional molecular (electronic) structures for applicable devices.

Eventually, we have been constructing knowhow for breaking out the situation by Laser photoemission spectroscopy. Recently, we succeed to observe the band dispersions and Fermi surface and perfect experiment for the first time in the world on molecular conductor that have high metallicity. At present, we are performing laser angle resolved photoemission spectroscopy on quasi-2D molecular conductors that show superconductivity and heavy Fermion like behaviour.

# 朝倉研究室

Asakura Group



朝倉 大輔  
Daisuke ASAKURA  
客員准教授  
Visiting Associate Professor

朝倉研究室では、リチウムイオン電池電極材料の抜本的な高性能化、特に電極材料の高容量化・高出力化を実現するために、既存電極材料の充放電反応、即ち、リチウム脱挿入に伴う遷移金属の電子状態変化を完全に解明し、電子論に立脚した新規材料開発を行うことを主眼としている。

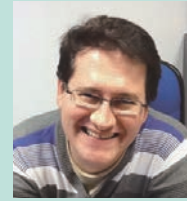
特に軟X線吸収・発光分光(XAS/XES)を用いたリチウムイオン電池電極材料の電子状態測定は、遷移金属の3d電子状態を見るのに最も直接的な方法である。そこで高輝度放射光施設 SPring-8 の東大放射光アウトステーション BL07LSU において、これまで不可能だったリチウムイオン電池の *in situ* XAS/XES を実現するために、リチウムイオン電池用 *in situ* セルの要素技術開発を行っている。さらにここで開発した手法を様々な *in situ* 分光、*operando* 分光へと発展させることにより、軟X線発光分光そのものの多様化・発展に寄与することができる。

In order to realize an innovative improvement of lithium ion battery electrode materials, in particular, in terms of high capacity and/or high power, my group is aimed at the development of novel electrode materials based on the knowledge of their electronic structure. Soft X-ray absorption/emission (XAS/XES) of these materials is one of the best and comprehensive approaches to know the electronic structural change of transition metals upon charge/discharge reaction, i.e. insertion/desertion of lithium ions in the existing electrode materials.

We are developing a novel cell that enables never-accessed *in situ* XAS/XES measurements of lithium ion battery electrode materials at University of Tokyo outstation beamline BL07LSU in SPring-8. By applying thus developed elemental technologies we can contribute to the development and diversifying use of XAS/XES.

# サンタンダーシロ研究室

Santander-Syro Group



サンタンダーシロ アンドレ フィリッペ  
Andres Felipe SANTANDER-SYRO  
客員准教授  
Visiting Associate Professor

強相関物質においては、競合し合う様々な自由度が導く量子状態が豊かでエキゾチックな相転移や新規な物質状態を出現させることがよく知られている。本研究室は、角度分解光電子分光によって、このような電子状態を直接的に研究する。本研究室は辛グループと協力して行う予定であるが、特に、重い電子系においていくつかの量子相転移の研究を行うつもりである。このような量子相転移は、数度の温度スケールであったり、数ミリ電子ボルトのエネルギースケールであるために、これまでほとんど実験されたことが無かった。そのため、物性研における様々なレーザー光電子分光を用いることによってこれらの研究を行うことが必要となる。特に、物性研に建設された超高分解能光電子分光を極低温で行う。また、時間分解光電子分光も量子状態の本質を明らかにする上で重要である。これらの研究は重い電子系において、多体効果や相転移における精密な情報を与えるとともに、ミクロなシンメトリーの破れに対しても有用な情報を与えると思われる。

In solids with strongly interacting electrons, the competition between the different degrees of freedom leads to competing quantum ground states, from which a rich variety of exotic phase transitions and novel states of matter emerge. To understand the remarkable properties of such materials, a direct experimental approach is to study their electronic structure through angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES). In this project, in collaboration with the group of Prof. S. Shin, we will investigate several challenging classical and quantum phase transitions in heavy-fermion materials. Many of these transitions have been scarcely addressed by ARPES, due to the temperature scales (of a few Kelvin) of the ordered phases and the energy scales (of a few meV) of the relevant heavy-electron. Thus, we will use the various laser-ARPES setups at ISSP endowed with ultra-high energy and time resolutions and low-temperatures. These studies should provide precise signatures of the interplay between many-body interactions, phase transitions, and associated microscopic broken symmetries in heavy-fermion systems.

## 軌道放射物性研究施設 / 播磨分室・つくば分室 Synchrotron Radiation Laboratory / Harima Branch・Tsukuba Branch

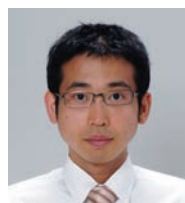
<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/sor/index.html>

教授 (施設長)	辛 埴	Professor (Director) : S. SHIN
教授	小森 文夫	Professor : F. KOMORI
准教授	松田 巖	Associate Professor : I. MATSUDA
准教授	原田 慈久	Associate Professor : Y. HARADA
助教	藤澤 正美	Research Associate : M. FUJISAWA
助教	高木 宏之	Research Associate : H. TAKAKI
助教	山本 達	Research Associate : S. YAMAMOTO
助教	矢治 光一郎	Research Associate : K. YAJI
助教	宮脇 淳	Research Associate : J. MIYAWAKI

技術専門員	福島 昭子	Technical Associate : A. FUKUSHIMA
技術専門職員	澁谷 孝	Technical Associate : T. SHIBUYA
技術専門職員	篠江 憲治	Technical Associate : K. SHINOE
技術専門職員	原沢 あゆみ	Technical Associate : A. HARASAWA
技術専門職員	工藤 博文	Technical Associate : H. KUDO
技術専門職員	下ヶ橋 秀典	Technical Associate : H. SAGEHASHI
特任研究員	丹羽 秀治	Project Researcher : H. NIWA



高木 助教



矢治 助教



藤澤 助教

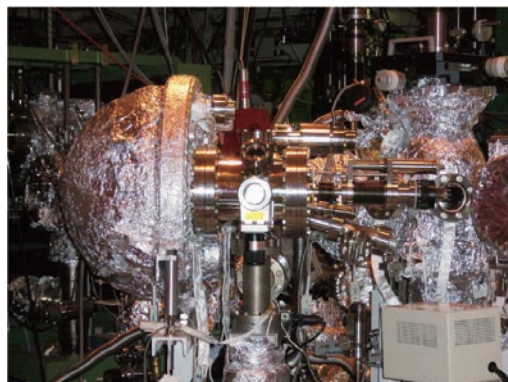
本施設は高輝度放射光を利用した先端的物性研究や新しい実験技術の開発・研究を共同で行っている。SPring-8 に設置された播磨分室では、同放射光施設に世界最高性能の軟X線アンジュレータビームライン (東京大学放射光アウトステーション物質科学ビームライン BL07LSU) を整備し、高輝度軟X線放射光を利用する最先端の物性科学研究を推進している。播磨分室スタッフは現在 BL07LSU において時間分解軟X線分光実験用ステーションと高分解能発光分光ステーションを立ち上げ、先端軟X線分光技術の開発と新物質・新材料の電子状態研究を行っている。また、KEK-PF に設置しているつくば分室では偏向電磁石からの放射光を使う角度分解光電子分光実験装置 (BL-18A)、リポルバー型アンジュレータからの高輝度放射光を利用するスピン・角度分解光電子分光実験装置 (BL-19A) の2基のビームライン実験ステーションを維持・管理している。

The synchrotron radiation laboratory is promoting advanced solid state spectroscopy using synchrotron radiation in soft X-ray and vacuum ultraviolet region. They operate 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 and high-resolution soft X-ray emission spectroscopy are utilized to study electronic states and dynamics in new materials. The synchrotron radiation laboratory also operates the Tsukuba branch and maintains two bending-magnet and undulator beamlines, connected with two experimental stations at the Photon Factory (KEK-PF); an angle-resolved photoelectron spectrometer (BL-18A) and a spin- and angle resolved photoelectron spectrometer (BL-19A). The current interests at KEK-PF are in the spin dependent surface electronic structures of quantum films, topological insulators and transition metal magnetic thin films.



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

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



高効率スピン VLEED 検出器を付けた高分解能電子分光分析器。KEK-PF BL-19A の高輝度放射光を利用して高分解能スピン分光電子分光実験を行う。

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