



東京大学

2007

# 物性研究所



物性研究所

THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS



THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS

THE UNIVERSITY OF TOKYO





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



14	新物質科学研究部門 Division of New Materials Science
22	物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory
33	ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science
43	極限環境物性研究部門 Division of Physics in Extreme Conditions
49	先端分光研究部門 Division of Advanced Spectroscopy



57	軌道放射物性研究施設 Synchrotron Radiation Laboratory
62	中性子科学研究施設 Neutron Science Laboratory
69	物質設計評価施設 Materials Design and Characterization Laboratory
78	国際超強磁場科学研究施設 International MegaGauss Science Laboratory



82	共通施設 Supporting Facilities
----	-------------------------------

86	柏キャンパス地図 Kashiwa Campus Map
----	--------------------------------





## ご挨拶

ここに、2007年版の東京大学物性研究所要覧をお送りします。物性研究所は1957年3月31日に設立されましたので、今年は創立50周年です。物性研究所設立の経緯およびその後の歴史については、この要覧の沿革および年表の項に簡単にまとめられています。この要覧は、こうした歴史、組織など研究所の概要に加え、各研究室と研究支援施設の活動状況を知っていただくために、毎年発行しているものです。

物性研究は物理学、化学、材料学などの境界領域に属し、現代の物質科学の基礎的な部分を担っています。物質の示す多様な性質、またそれらが様々な環境下で示す一見不可思議で驚きに満ちた諸現象を解明する物性研究は、人類の知的地平を切り開く学問の最前線の一つです。物性研究は基礎科学として重要なばかりでなく、そこから誕生した磁性体、半導体、超伝導体などが情報技術をはじめとする現代の科学技術を支えています。いわゆるナノサイエンス、ナノテクノロジーは、物性研究における基礎研究から応用技術への展開の最も典型的な例とすることができます。

物質の性質をミクロな視点から理解しようとする科学は固体物理学を典型として発展してきましたが、最近では複雑系、あるいは高分子系といったソフトマターと呼ばれる領域も大きな研究分野として重要な位置を占めるようになってきました。こうした研究の流れは、将来的にはタンパク質などの生体物質系にも及ぶものと期待されます。実際そうした研究の芽はすでに現れ始めています。

2000年に柏キャンパス移転を完了した物性研ではさらなる発展をめざして、長時間パルス超強磁場施設およびSpring-8における新ビームラインなどの建設や、極限コヒーレンと光科学研究センターの将来構想の策定などが進められています。これから50年経ち、百周年を迎えるときの物性研がどういう姿になっているか、想像するのさえ難しいことです。この要覧をご覧になる方々が、現在の物性研に対してどのような印象をお持ちか、そして50年後の物性研の姿に対しどのような想像を抱かれるのか、ぜひ感想をお聞かせいただけると幸いです。



## Preface

This is the 2007 edition of the annual report of the Institute for Solid State Physics, the University of Tokyo. This year is the semi-centennial anniversary of the ISSP, since it was established on March 31, 1957. The process of planning and construction of the ISSP are summarized in the part of History of this report. In addition to the history and organization of the Institute, the report also conveys the present status of the Institute by collecting activities of laboratories and supporting sections



所長 Director  
上田 和夫  
UEDA Kazuo

Condensed matter research, dealing with interdisciplinary areas of physics, chemistry and materials science, constitutes the fundamentals of modern materials science. Since it enables us to understand diversity of materials and their surprising phenomena that manifest themselves in a variety of circumstances, it is one of the frontiers of intellectual horizons of human being. Besides such an aspect of basic science, it also plays an important role in fostering modern technologies such as information technology by applications of magnetic materials, semiconductors and superconductors all of which were born in this research area. Specifically it may be mentioned that the so-called nanoscience and nanotechnology representatively illustrate how the basic science develops into the modern technological application

The main field of material science in which properties of materials are investigated from microscopic points of view has been solid state physics. Recently, however, not only hard materials but also soft ones including complex systems and polymer ones are getting important and forming larger research subfields. In future, we envisage that materials science will include biological materials like proteins as one of its main streams. In fact there have already been seminal works in the direction

After the relocation to the Kashiwa new campus was completed, we have already started several efforts for the future of the ISSP, which includes constructions of a new long pulse high magnetic field facility and a new beam line at SPring-8 and planning for a new research center for sciences using coherent laser light sources. It is hard to imagine how activities of ISSP look like at the time of centennial anniversary after 50 years from now. We will be very happy to receive any comments about the present status of the ISSP and also any suggestions for its future



## 沿革

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

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

極限物性部門は、従来の実験装置では実現不可能な極限的状況を創ると共にその下での新しい物性の探索を行った。軌道放射物性は加速器を光源に、中性子回折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。日本原子力研究所の研究用3号炉の改造に伴い、平成2年度から4年度まで新たな中性子散乱実験設備計画が進められて大幅な性能向上が図られ、平成5年度から中性子回折物性部門は中性子散乱研究施設に拡充改組された。さらに平成15年度には新たなスキームの日米科学技術協力事業「中性子散乱」や茨城県東海村パルス中性子源計画へ対応するために、中性子科学研究施設へと改組された。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、またつくばの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。平成9年にSOR-RINGの運転が停止した後、各地の新しい光源の有効利用が今後の課題である。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。

さらに平成8年度には、再び全面的な改組が行われた。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。この新研究体制は、新物質科学、物性理論、ナノスケール物性（平成16年に先端領域より名称変更）、極限環境、先端分光の5大研究部門と軌道放射物性、中性子科学、物質設計評価に関する3施設で構成されている。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月には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。この柏キャンパスでは、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ている。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ている。更に、平成19年には国際超強磁場科学研究施設が新設され、新たな一歩を踏み出した。



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





# History

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

The next goal was set to develop advanced experimental techniques that were difficult to achieve in most university laboratories. The reorganization of ISSP into the "second generation" took place in 1980. Division of Physics in Extreme Conditions included groups in the areas of ultra-high magnetic field, laser physics, surface science, ultra-low temperature and very high pressure. It aimed to create extreme conditions and to explore new phenomena. Neutron Scattering Laboratory was constructed in Tokai in collaboration with the Japan Atomic Energy Research Institute. Its capability was significantly improved during 1990 - 1992 due to renovation of the research reactor. In 2003, it was reorganized to Neutron Science Laboratory. 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. After the shutdown closing of the SOR-RING in 1997, effective use of new light sources in Japan is an important mission. 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 aimed to explore new materials and their novel properties

In 1996, another major reorganization of ISSP into the "third generation" took place. It aimed to pursue new frontiers beyond the traditional disciplines and to 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. Currently in ISSP, there are five research divisions (New Materials Science, Condensed Matter Theory, Nanoscale Science (its name changed from Frontier Areas Research in 2004), Physics in Extreme Conditions, and Advanced Spectroscopy) and three research facilities (Synchrotron Radiation Lab., Neutron Science Lab., and Materials Design and Characterization Lab.). In addition, there is a visiting staff divisions as well as two foreign visiting professor positions

ISSP was relocated to the new Kashiwa campus 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 to create new areas of science in collaboration with other institutions in Kashiwa. Meanwhile 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 a university corporation. As a step, in 2007, International MegaGauss Science Laboratory has been established and started serving as an international center of physics in high magnetic fields



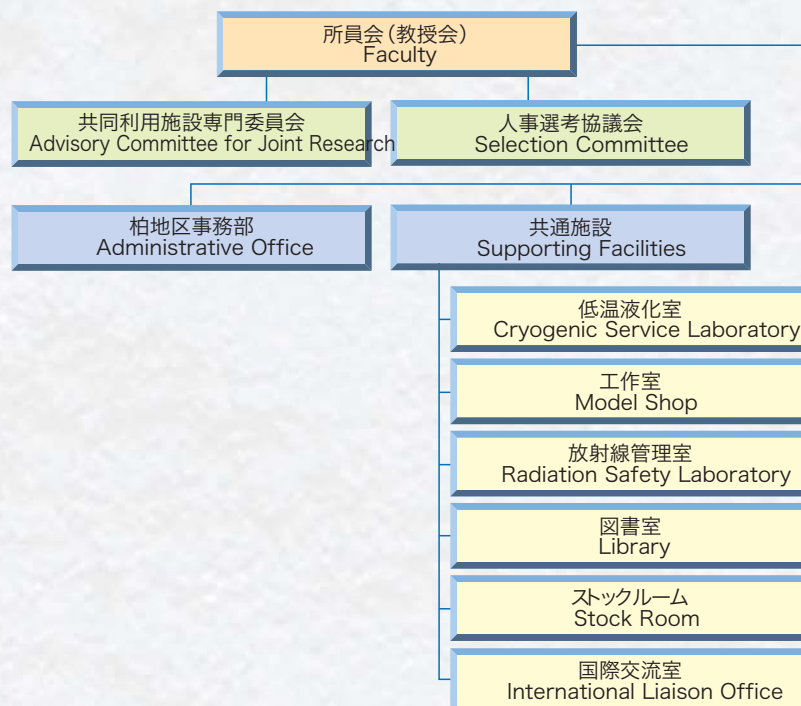
# 年表/Chronology

- 昭和32年 1957 共同利用研究所として発足  
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
- 昭和34年 1959 半導体・分子・格子欠陥・塑性・放射線物性部門増設  
Opening of Semiconductor, Molecular Physics, Lattice Imperfections, Plasticity, and Nuclear Radiation divisions
- 昭和35年 1960 結晶第2・理論第1・固体核物性・界面物性部門増設  
Opening of Crystallography II, Theory I, Solid State Nucleus, Surface Properties, and Molecular Science divisions  
物性研究所開所式  
Inauguration of ISSP
- 昭和36年 1961 磁気第2・非晶体・超高压・理論第3部門増設、20部門となる  
Opening of Magnetism II, Solid Materials, High Pressure, and Theory III divisions. Total 20 divisions
- 昭和40年 1965 非晶体部門を無機物性部門に名称変更  
Solid Materials division was renamed as Inorganic Materials division
- 昭和44年 1969 中性子回折部門増設  
Opening of Neutron Diffraction division
- 昭和47年 1972 固体物性部門（客員部門）増設（22部門となる）  
Opening of Solid State division (visiting staff), resulting in 22 divisions in total
- 昭和50年 1975 軌道放射物性研究施設設置  
Foundation of Synchrotron Radiation Laboratory
- 昭和54年 1979 超低温物性研究棟竣工  
Ultra-Low-Temperature Laboratory building completed
- 昭和55年 1980 従来の22部門が極限物性部門（超強磁場、極限レーザー、表面物性、超低温物性及び超高压）  
軌道放射物性部門、中性子回折物性部門、凝縮系物性部門ならびに理論部門の5大部門及び客員  
部門1に再編成される  
Reorganization of ISSP from 22 small divisions to five large divisions, Physics in Extreme Conditions (including ultra-high magnetic field, laser physics, surface science, ultra-low temperatures and very high pressure laboratory), Synchrotron Radiation, Neutron Diffraction, Condensed Matter and Theory divisions and one Visiting Staff division
- 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"
平成5年	1993	中性子散乱研究施設の新設 Foundation of Neutron Scattering Laboratory
平成7年	1995	国際外部評価が実施される Evaluation of scientific achievements of ISSP by an international external committee
平成8年	1996	新物質科学、物性理論、先端領域、極限環境物性、先端分光の5大研究部門と軌道放射研究施設、 中性子散乱研究施設に新たに物質設計評価施設を加えた3施設に再編される Reorganization into five divisions; New Materials Science, Condensed Matter Theory, Frontier Areas Research, Physics in Extreme Conditions and Advanced Spectroscopy divisions, and three facilities; Synchrotron Radiation, Neutron Scattering and Materials Design and Characterization Laboratories 東京大学柏キャンパスにおける物性研究所実験棟建設着工 Construction of the new ISSP buildings in Kashiwa campus started
平成9年	1997	中性子散乱研究施設で外部評価が実施される Evaluation of activities of Neutron Scattering Laboratory by the external committee
平成11年	1999	柏キャンパスへの移転開始 Relocation to Kashiwa campus started
平成12年	2000	移転完了 Relocation completed
平成13年	2001	外国人客員新設 Opening of foreign visiting professorship
平成15年	2003	中性子散乱研究施設が中性子科学研究施設に改組 Reorganization to Neutron Science Laboratory from Neutron Scattering Laboratory 物質設計評価施設で外部評価が実施される Evaluation of scientific achievement of Materials Design and Characterization Laboratory by 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	外部評価が実施される Evaluation of scientific achievement of ISSP by 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

## 組織 Organization



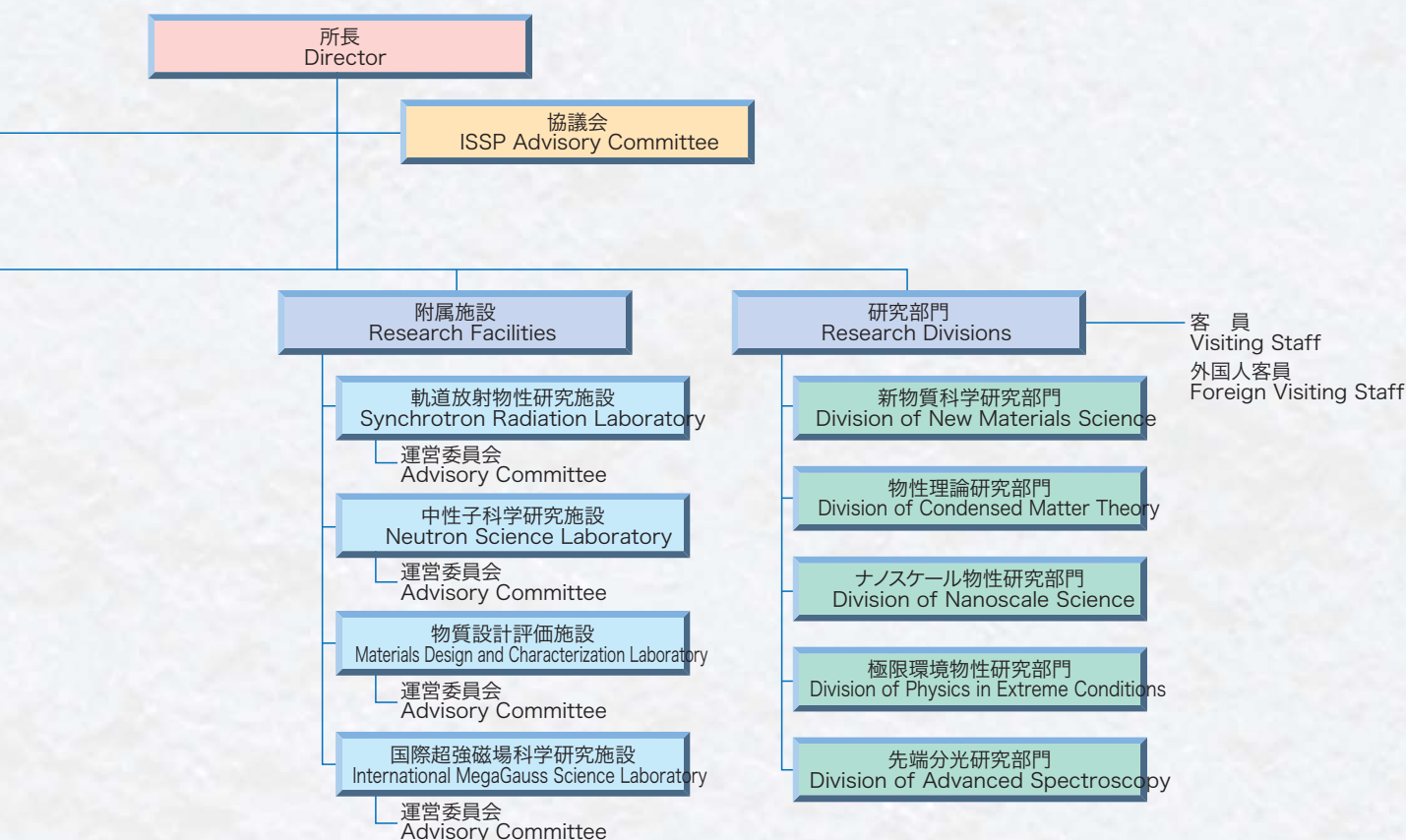
## 運営 Administration

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。研究所の運営は、教授及び助教授から構成される所員会の議決を経て所長が行うが、同時に共同利用施設の運営については、東京大学の内外からほぼ同数の委員により組織された物性研究所協議会が所長の諮問に応じて意見を述べ、外部研究者の要望を伝達する機能を果たしている。更に所員会の下部組織として物性研内外の委員よりなる共同利用施設専門委員会が設けられ、共同利用、施設利用、研究会などの実行計画を審議している。

物性研究所の研究体制は5研究部門、4研究施設、客員部門、外国人客員部門よりなる。このうち軌道放射物性研究施設に関しては茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構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所内にある研究用原子炉に設置されている。また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。

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





ISSP belongs to the University of Tokyo. At the same time, its facilities are open to all domestic researchers participating in joint research. The administrative decisions are made at the faculty meeting chaired by the director and attended by professors and associate professors. The ISSP Advisory Committee, consisting of nearly equal numbers of members from and outside of the University of Tokyo to represent the interest of the outside users, gives advice on various aspects of administration upon inquiry of the director. The Advisory Committee for Joint Research, consisting of both the in-house and outside members, evaluates proposals for joint research, workshops, and allocation of fund for user activities.

Currently ISSP consists of five Research Divisions, four Research Facilities, Visiting Staff Division and Foreign Visiting Staff Division. Among these, Synchrotron Radiation Laboratory has a branch in the High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Ibaraki and the Neutron Science Laboratory maintains apparatus installed at the re-

search reactor in the Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki. In addition, supporting facilities, which include Cryogenic Laboratory, Model Shop, Radiation Safety Laboratory Library and International Liaison Office provide services to both in-house and outside users

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

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

## 各種研究員制度 Domestic Joint Research

全国物性科学研究者に対し共同利用・共同研究を促進するため、次のような制度が設けられている。

1. 共同利用——所外研究者が本所の施設を使って研究を行いたい場合に、その便宜を図るための制度である。受け入れについては「共同研究」と「施設利用」の2つの形態がある。

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。本所の所員の指導のもとで半年以上研究を行う大学院生を対象とした長期留学研究員と、新技術の習得などを目的として滞在する若手研究者のための短期留学研究員の制度がある。

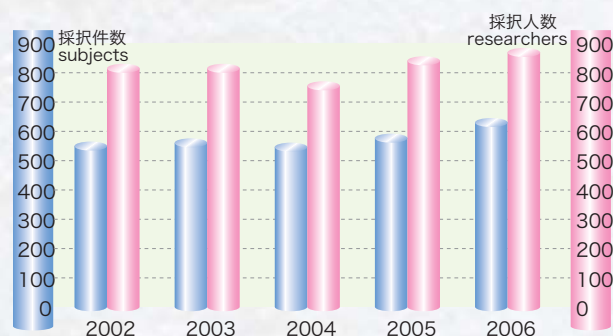
3. 嘱託研究員——所外研究者に本所の研究計画ならびに共同研究の遂行上必要な研究を嘱託し、あわせて本所施設の利用の便宜を図るための制度で、期間は6ヶ月以内としている。

また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て全国の物性研究者の利用に供されている。

年間を通じて物性研究所に来所する研究者の延べ人数はおよそ14,300人・日（2002年度統計）である

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

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



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

Number of subjects and researchers adopted to domestic joint research

## 共同利用研究員宿泊施設 Guest House

共同利用のため外来研究者は、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 in the Kashiwa campus (28 single and 2 twin rooms)

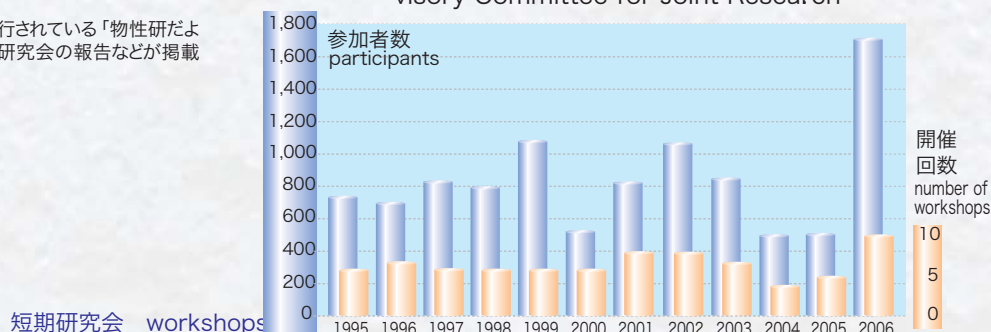
## 短期研究会 Workshop

物性研究上興味深い特定テーマについて2～3日程度の研究会を開き、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。

※以上の共同利用制度の詳細については本所共同利用係にお問い合わせください。

なお、3ヶ月毎に（平成15年度～）発行されている「物性研だより」には、各種共同利用の公募や短期研究会の報告などが掲載されています。

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





## 国際交流・ISSP国際シンポジウム International Activities and ISSP International Symposium

物性研究所は国際交流のセンターとしても重要な役割を担っている。1989年から始まったISSP国際シンポジウムのテーマおよび参加者数が表に示されているが、今後も約2年に1回の開催が予定されている。また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おり、文部科学省の外国人研究員制度や日本学術振興会による外国人招聘制度など各種制度が利用されている。さらに1981年以来中性子散乱に関する日米協力事業の実施機関の役割を果たしている。2003年からは少し規模の小さいISSP国際ワークショップも始まった。



ISSP plays an important role as an international center of condensed matter science. The table shows the title and the number of participants of the ISSP International Symposium, which started in 1989 and is scheduled once in about every two years. The unique facilities of ISSP have been used in many international collaborations. Many foreign researchers have been spending their early careers at ISSP supported by various fellowship programs sponsored by the Japan Society for Promotion of Science, the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, and other agencies. ISSP has also been coordinating the Japan-US cooperative research program on neutron scattering since 1981. A smaller scale international meeting, the ISSP international workshop, started in 2003

	●テーマ Title	●開催期日 Date	●参加者数(外国人) Participant(s)overseas
第1回 1st	有機超伝導体の物理と化学 The Physics and Chemistry of Organic Superconductors	1989・8・28-30	205(34)
⋮	⋮	⋮	⋮
第7回 7th	中性子散乱を利用した物性研究の最前線 Frontiers in Neutron Scattering Research	1998・11・24-27	130(20)
第8回 8th	強相関電子系研究の最前線 Correlated Electrons	2001・10・2-5	200(25)
第9回 9th	量子凝縮系研究の新展開 Quantum Condensed System	2004・11・16-19	120(23)
第10回 10th	固体表面におけるナノサイエンス Nanoscience at Surfaces	2006・1・9-13	247(34)

ISSP国際シンポジウム ISSP International Symposium

	●テーマ Title	●開催期日 Date	●参加者数(外国人) Participant(s)overseas
第1回 1st	メソ系及び低次元系での量子輸送 Quantum Transport in Mesoscopic Scale and Low Dimensions	2003・8・13-21	130(20)
第2回 2nd	ゲルシンポジウム Gel Symposium	2003・11・18-21	150(15)
第3回 3rd	計算物理による量子臨界現象へのアプローチ Computational Approaches to Quantum Critical Phenomena	2006・7・17-21	100(15)
第4回 4th	密度汎関数理論の基礎と応用 Foundations and Applications of the Density Functional Theory	2007・7・19-20	120(20)

ISSP 国際ワークショップ ISSP International Workshop

## 教育/Education

物性研究所では、特色ある施設を利用して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、東京大学大学院理学系研究科物理専攻、化学専攻、地球惑星科学専攻、工学系研究科物理工学専攻、あるいは新領域創成科学研究科物質系専攻に属しているが、これらの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努力している。物性研究所では、例年、物性科学入門講座と大学院進学希望者のためのガイダンスを実施している。

ISSP contributes to the graduate education in condensed matter science using its unique facilities. The faculties participate in the following departments of the graduate school of the University of Tokyo: Physics, Chemistry, Earth and Planetary Science, Applied Physics and Advanced Materials. However, students are encouraged to develop their careers across the established disciplines. Every year introductory lectures on condensed matter science and a guided tour are given to those who are interested in graduate courses in ISSP

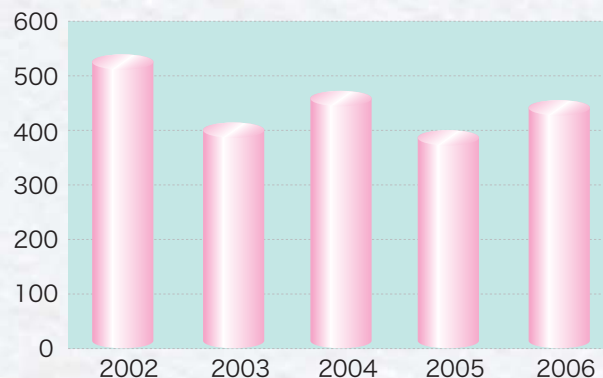
	修士課程 Master Course				博士課程 Doctor Course			
	2004年	2005年	2006年	2007年	2004年	2005年	2006年	2007年
物理学専攻 Physics	27	39	54	51	24	20	29	31
化学専攻 Chemistry	5	9	8	3	6	6	3	4
地球惑星科学専攻 Earth & Planet. Sci.	1	1	2	2	1	1	1	1
物理工学専攻 Appl. Phys.	12	12	12	11	9	10	7	6
物質系専攻 Advanced Materials	30	38	39	36	9	10	8	11
合 計	74	99	115	103	49	47	48	53

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

## 論文統計/Publication

物性研究所では、年間350から500編前後の学術文献を発表している。2006年度の学術文献441編の内訳は学術論文385、会議録36、解説記事9、本または本の一部)11となっている

About 350 to 500 scientific issues are published through annual activity in ISSP. The 441 articles published in 2006 consist of 385 papers in refereed journals, 36 proceedings, 9 reviews, 11 books

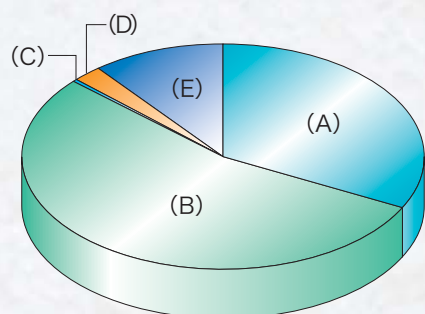


年間発表論文数（プロシーディング・解説記事含む）  
Number of Scientific Papers (including proceedings and reviews)



# 予算/Budget

## 平成18年度(2006 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) 奨学寄付金：民間等より
- (D) 受託研究・共同研究：民間・他省庁等より
- (E) 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) Grant-in-Aid from Private Corporations
- (D) Grant-in-Aid from Governmental Agencies and Private Corporations
- (E) 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) 奨学寄付金	(D) 受託研究・共同研究	(E) 科学研究費	計 Total
平成18年度(2006)	1,447,491	2,422,618	15,430	105,191	476,350	4,467,079
平成17年度(2005)	1,374,411	1,982,397	18,090	80,620	528,100	3,983,618
平成16年度(2004)	1,341,540	2,162,225	13,180	69,574	448,100	4,034,619
平成15年度(2003)	1,502,097	2,130,210	21,950	149,079	348,500	4,151,836
平成14年度(2002)	1,527,173	2,237,894	6,584	61,352	344,700	4,177,703
平成13年度(2001)	1,571,857	2,095,185	14,376	112,369	258,000	4,051,787
平成12年度(2000)	1,543,996	2,230,226	8,501	112,237	216,873	4,111,833

予算額の推移 Budget in recent years

(単位：千円) (Unit: Thousand Yen)

# 教職員数/Staff Members

平成19年度採用可能数は、以下のとおりである。なお、( )内は客員

FY2007 Number of staffs ( ): visiting staff

	教授 Professors	准教授 Associate Professors	助教 Research Associates	技術職員 Technical Associates	事務職員(柏地区全体) Administrative Officials	合計 Total
定員 Number of staffs	24 (3)	28 (3)	40	36	68	196 (6)

# 新物質科学研究部門

## Division of New Materials Science

酸化物高温超伝導体、フラーレンやカーボンナノチューブ、有機伝導体などの例に見られるように、「新物質」の発見はこれまでに何度となく物質科学の新しい局面を開いてきた。新奇な物性現象の発見はまた将来の新しい素材やデバイスの開発にもつながる。新物質科学研究部門では、新しい物質を合成し、高度な技術を用いてその性質を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。当部門は現在6つの研究室から成り、各研究室は自由な発想のもとに高品質の試料作成や精密物性測定、新しい物性測定技術の開発などを行いつつ、物性測定グループと試料作成グループとの部門枠を越えた連携も心がけている。特に物質設計評価施設とは強い協力関係を保ちながら研究を推進している。当部門では現在、遷移金属酸化物、重い電子系物質、有機伝導体など強い電子相関を示す物質におけるスピン、軌道、電荷の秩序や揺らぎの効果がもたらす多彩な現象の解明を主要なテーマの1つとしており、高圧下における物質合成や構造解析、極低温における輸送現象測定、精密磁化・比熱測定、核磁気共鳴、光学伝導度などにおいて高度な実験技術を駆使した研究が進められている。

Discoveries of new materials have often opened new horizons in materials science. High temperature oxide superconductors, carbon clusters and nanotubes, and organic conductors are good examples. New materials also lead to the future development of new devices and technologies. The goal of the Division of New Materials Science is to uncover novel phenomena that lead to new concepts of matter, through combined efforts of search, synthesis and characterization of new materials. Currently, our division consists of six groups. Although each group has its own research style and projects, we try to maintain close collaboration between those groups working on production of high quality materials and those working on advanced technology for measuring physical properties. In particular, we keep strong collaboration with the Materials Design and Characterization Laboratory. One of the subjects of our current intensive research is the effects of strong electronic correlation, in particular, various ordered phases and fluctuations involving spin, charge and orbital degrees of freedom, in transition metal oxides, heavy electron systems, f-electron compounds and organic conductors. Here, various advanced experimental techniques are employed, such as high-pressure synthesis, structural characterization, transport, magnetic and calorimetric measurements, nuclear magnetic resonance and optical measurements.

教授 Professor	八木 健彦 Takehiko YAGI	助教 Research Associate	岡田 卓 Taku OKADA
教授 Professor	瀧川 仁 Masashi TAKIGAWA	助教 Research Associate	吉田 誠 Makoto YOSHIDA
教授 Professor	榊原 俊郎 Toshiro SAKAKIBARA	助教 Research Associate	田山 孝 Takashi TAYAMA
		助教 Research Associate	三田村 裕幸 Hiroyuki MITAMURA
准教授 Associate Professor	田島 裕之 Hiroyuki TAJIMA	助教 Research Associate	松田 真生 Masaki MATSUDA
准教授 Associate Professor	森 初果 Hatsumi MORI	助教 Research Associate	高橋 一志 Kazuyuki TAKAHASHI
准教授 Associate Professor	中辻 知 Satoru NAKATSUJI	助教 Research Associate	松本 洋介 Yousuke MATSUMOTO
准教授(客員) Visiting Associate Professor	花咲 徳亮 Noriaki HANASAKI	教務職員 Technical Associate	村山 千壽子 Chizuko MURAYAMA
		技術専門職員 Technical Associate	後藤 弘匡 Hirokata GOTO





新物質科学研究部門 Division of New Materials Science  
<http://yagi.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 八木研究室

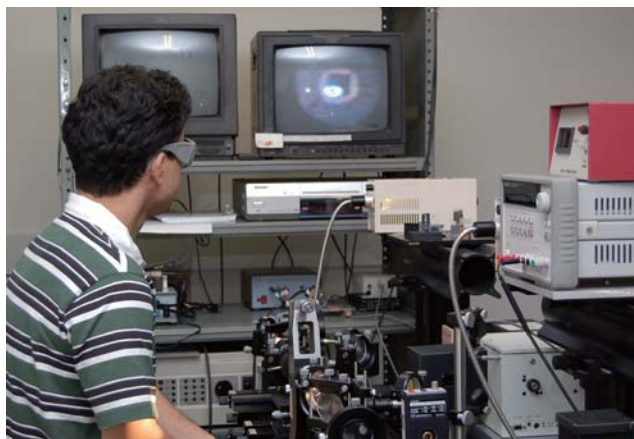
Yagi Group

教授	八木 健彦
Professor	Takehiko YAGI
助教	岡田 卓
Research Associate	Taku OKADA

100 万気圧、数千度を越す超高压高温状態を実験室内で発生させ、さまざまな物質の極限条件下における結晶構造や物性を研究するとともに、高圧力を利用した新物質の探索や、地球・惑星深部物質の研究を行っている。

圧力は温度と共に物質の状態を変化させるもっとも基本的なパラメータのひとつである。宇宙には超高压から超低压（超高真空）まで広い圧力の世界が広がっており、物質はその置かれた圧力に応じてその姿を大きく変える。

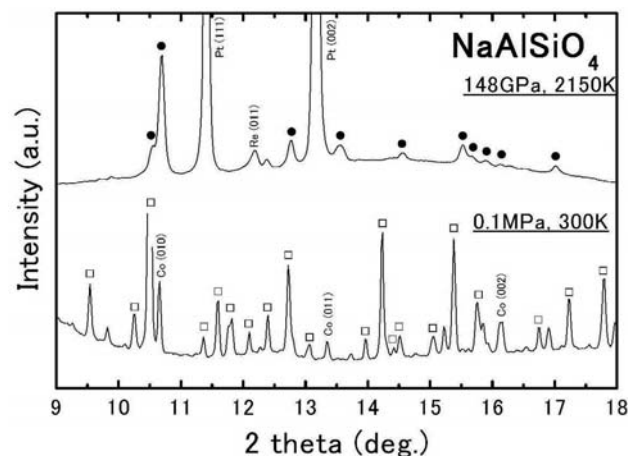
1 気圧下でわれわれが見ている「物質」は、それが本来持つ多様な側面のひとつに過ぎず、物質の真の理解には広い圧力領域での研究が不可欠である。本研究室では、超高压高温下における X 線回折実験や物性実験、回収試料の電子顕微鏡観察などを通して、物質の多様な姿を明らかにすると共に、高圧力を利用して、常圧下では作ることができない新しい物質を合成したり、地球や惑星の深部に存在すると考えられている物質の構造や性質を明らかにする研究を推進している。



レーザー加熱ダイヤモンドアンビル装置を用いた超高压高温実験の様子。2 個のダイヤモンドに挟んで 100 万気圧を越す圧力を加えた試料に、YAG レーザー光を照射し数千℃まで加熱する。

High pressure and high temperature experiment using laser-heated diamond anvil apparatus. A sample is squeezed between two diamonds and heated up to several thousand degrees by YAG laser irradiation.

High-pressure and high-temperature conditions, more than 100 GPa and up to several thousand degrees, are created in the laboratory and properties of materials under these extreme conditions are studied. Pressure is one of the most basic parameters that controls property of materials. In the universe, very wide range of pressure conditions exist and materials change their properties dramatically depending on the pressure. What we know about materials at ambient condition are only a very small portion of the entire property. For better understanding of materials, we are carrying out high *P-T* in-situ X-ray diffraction, as well as other physical property measurements, and electron microscopy of recovered samples. Synthesis of new materials using high-pressure conditions, and the study of the Earth's deep interior are also carried out.



約 150 万気圧で観測された  $\text{NaAlSiO}_4$  の粉末 X 線回折パターンで、加圧・加熱に伴い、さまざまな変化が観察された。シンクロトロン放射光を用いることにより、超高压下でも精密に結晶構造や格子を決定することができる。

High pressure in situ X-ray diffraction pattern of  $\text{NaAlSiO}_4$  obtained at about 150 GPa. Various changes of the diffraction are found up to this pressure. Combination with synchrotron radiation made it possible to get high quality data under these extreme conditions.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 酸化物や金属、地球・惑星深部物質等の超高压高温下における相転移や物性の研究  
Studies on phase transformation of oxides, metals and Earth's deep materials under high pressure and temperature
2. 高圧環境を用いた新物質の探索研究  
Synthesis of new materials using high-pressure conditions
3. 超高压高温実験技術の開発  
Development of high pressure and temperature experimental techniques



新物質科学研究部門 Division of New Materials Science  
<http://masashi.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 瀧川研究室

Takigawa Group

教授  
Professor

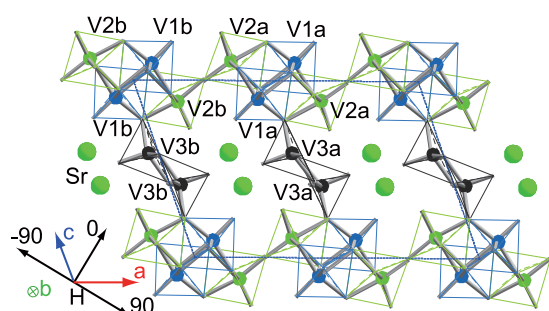
瀧川 仁  
Masashi TAKIGAWA

助教  
Research Associate

吉田 誠  
Makoto YOSHIDA

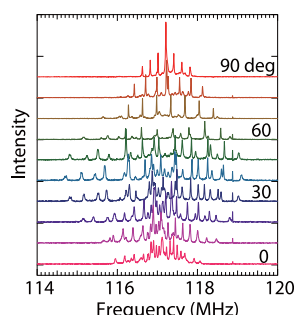
核磁気共鳴法 (NMR) を主な実験手段として、固体内の強い電子間相互作用に起因する現象を研究している。強相関電子系では、超伝導、強 (反強) 磁性、電荷秩序、軌道秩序といった多彩な秩序状態が拮抗しており、磁場・圧力などの外的条件を変えることでこれらの間の量子相転移が起こり得る。原子核は固有の磁気モーメントや電気四重極モーメントを持っており、これらは周囲の電子が作る磁場や電場勾配を感じている。このためNMRは、固体内電子のスピン、電荷、軌道などの自由度が絡み合って現れる特異な秩序状態や揺らぎの性質を、ミクロに探る有力な実験手段となる。我々は色々な特色を持つパルスNMR測定装置を整備し、低温・強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

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



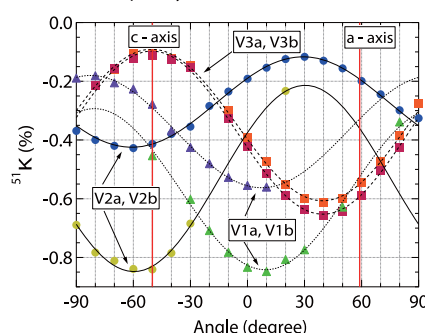
金属絶縁体転移を示す擬1次元伝導体  $\beta$ - $\text{Sr}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$  の高温金属相における結晶構造。 $b$  軸方向に2倍周期でSrが秩序化することにより、6種類のパナジウムサイトが生じる。

The crystal structure of the high temperature metallic phase of the quasi one-dimensional conductor  $\beta$ - $\text{Sr}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ , which exhibits a metal-insulator transition. Ordering of Sr atoms doubling the periodicity along the  $b$ -axis results in six inequivalent vanadium sites.



上田寛研究室 (物質設計評価施設) で合成された針状単結晶から得られた190Kにおける高温金属相の $^{51}\text{V}$  NMRスペクトル。10.5テスラの磁場を $ac$ 面内で回転したときの变化を示す。一つのサイトの共鳴線は電気四重極相互作用により7本に分裂する。

$^{51}\text{V}$  NMR spectra at  $T=190$  K (high temperature metallic phase) obtained from a needle-shape single crystal synthesized in the Y. Ueda's laboratory (Materials Design and Characterization Laboratory). Magnetic field of 10.5 T was rotated in the  $ac$ -plane. A single site yields seven resonance lines split by the electric quadrupole interaction.



190Kにおけるナイトシフトの角度依存性。 $b$ 方向に隣り合うサイトの間に顕著なシフトの違いがあり、金属相であるにも関わらず、電荷分布の大きな濃淡が伝導軸方向に存在することを示している。

Angular dependence of the Knight shift at  $T=190$  K. The pronounced difference of the Knight shift between the two sites neighboring along the  $b$ -axis indicates a large modulation of electronic charge distribution along the conducting direction even in the metallic phase.

## 研究テーマ Research Subjects

- 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
- 特異な超伝導体  
Exotic superconductors
- 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
- 磁性有機伝導体におけるスピンと電荷のダイナミクス  
Spin and charge dynamics in magnetic organic conductors





新物質科学研究部門 Division of New Materials Science  
<http://sakaki.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 榊原研究室

Sakakibara Group

教授	榊原 俊郎
Professor	Toshiro SAKAKIBARA
助教	田山 孝
Research Associate	Takashi TAYAMA
助教	三田村 裕幸
Research Associate	Hiroyuki MITAMURA

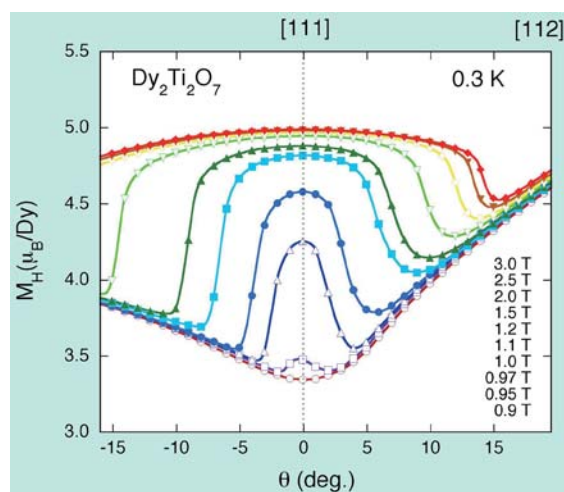
物質の示す磁気現象は広い温度範囲にわたっている。その中で重い電子系などある種の物質系では1ケルビンよりも遙かに低い温度領域で興味深い性質を示す場合がある。このような温度領域では通常の磁気測定手段を適用することが困難なため未開拓の課題も多く、新しい物性現象が期待される。当研究室ではこのような低い特性温度を持つ様々な物質系の磁気物性の研究を行っている。具体的にはf電子化合物や重い電子系、量子スピン系およびフラストレートスピン系などが研究対象で、磁化や比熱測定を主な実験手段として研究している。この目的のために、我々は30ミリケルビンの極低温まで磁化測定が可能な高感度の磁力計や、様々な磁気異方性の検出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



極低温ファラデー磁力計に用いるキャパシタンス荷重計。最低温30 mKで15 Tまでの磁化測定が可能である。

Force-sensing capacitance cell used for the low temperature Faraday magnetometer. Magnetization measurements can be done at low temperatures down to 30 mK and in magnetic fields up to 15 T.

Magnetic phenomena in condensed matter extend over a wide temperature range. In some systems like heavy fermions, interesting magnetic behavior is quite often observed at low temperatures much below 1 K, where ordinary magnetic measurements are difficult and not much work has been done yet. Our research interest lies in those magnetic materials having low characteristic temperatures, such as f electron compounds, heavy fermions, quantum spin systems and geometrically frustrated spin systems. In order to study these systems, we have developed high sensitivity magnetometers which can be operated at very low temperatures down to ~30 mK, and angle-resolved magnetization and specific heat measuring systems in rotating magnetic fields which are powerful tools for detecting various anisotropic properties.



角度分解磁化測定装置で測定したスピンアイス化合物  $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  の0.3Kにおける磁化の磁場方向依存性。[111]方向を中心に、アイスルールを破るスピンフリップ転移が観測されている。

Field angle dependence of the magnetization of the spin-ice compound  $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  obtained at 0.3 K by an angle-resolved magnetization measurement system. Ice-rule breaking spin flip transitions can be seen around the [111] direction.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 重い電子化合物の磁性と超伝導  
Magnetism and superconductivity in heavy electron systems
2. 希土類化合物における多重極秩序  
Multipole orderings in f electron systems
3. フラストレートスピン系の基底状態  
Ground state properties of geometrically frustrated spin systems
4. 量子スピン系の基底状態  
Ground state properties of quantum spin systems



新物質科学研究部門 Division of New Materials Science  
<http://tajima.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 田島研究室

Tajima Group

准教授 田島 裕之  
 Associate Professor HIROYUKI TAJIMA  
 助教 松田 真生  
 Research Associate MASAKI MATSUDA

分子集合体（特に有機薄膜および有機伝導体結晶）を対象とした電子物性の研究を行っている。

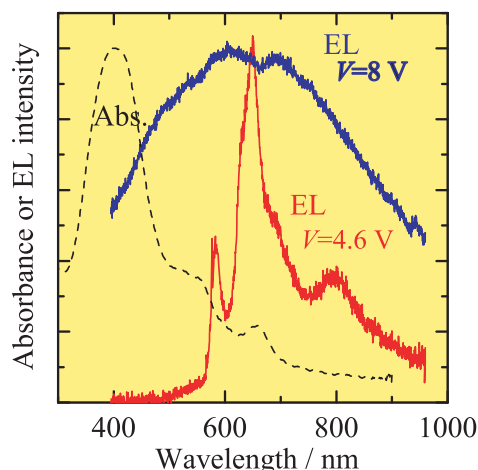
有機薄膜の研究では、特に MIM (Metal-Insulator-Metal) 接合に興味を持っている。この接合は、最も単純なナノデバイスであるとともに、電界発光、光起電力をはじめとする各種現象が知られている。また接合に用いる金属、有機薄膜の種類を変えることにより、無限のバリエーションが可能である。われわれは、生体関連物質を用いた、EL 素子 (BIODE) の作製に 2003 年に初めて成功した。電界発光の実験では、この成果を受けて、ポルフィリン化合物を含む各種生体関連物質を用いた研究を進めている。

有機伝導体結晶の研究では、伝導性鉄フタロシアニン塩およびその関連物質を中心に、伝導を担う  $\pi$  電子と磁性を担う  $d$  電子の競合に由来する各種の現象を探索している。

Our main subject is electrical properties on molecular assemblies especially on organic thin films and conducting molecular crystals.

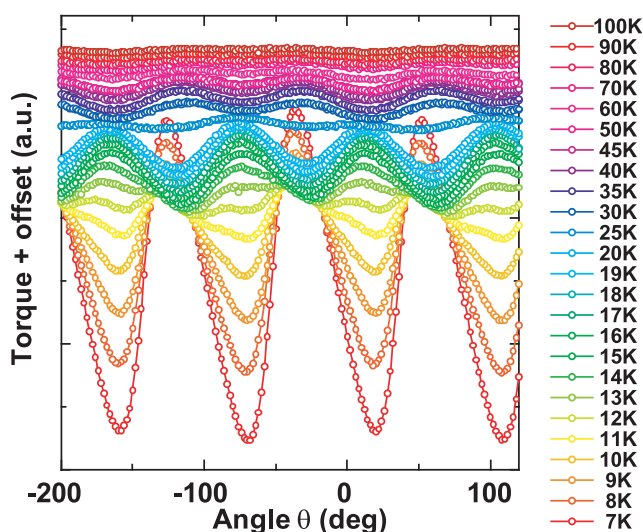
Organic thin films: In this subject, we are especially interested in MIM (Metal-Insulator-Metal) junction. In spite of its simple structure, MIM junction exhibits various interesting phenomena, such as electroluminescence, photovoltaic effect. By changing insulating material and metal electrodes, tremendous variations are possible in this device. In 2003, we succeeded in fabricating a biomolecular light-emitting diode (BIODE) for the first time. Subsequently, we are intensively studying BIODE devices using various materials and experimental techniques.

Conducting molecular crystals: We are interested in charge-transfer salts of iron phthalocyanine and their derivatives. We are studying their magnetic and electrical properties in order to investigate the effects of  $d$ - $\pi$  interaction in this system.



生体発光ダイオード中の hemin (ヘムを含む低分子) の電圧誘起転移

Voltage induced transition of hemin (a small molecule containing heme) in BIODE



TPP[FePc(CN)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> の磁気トルク

Magnetic torque of TPP[FePc(CN)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> salt

## 研究テーマ Research Subjects

1. 生体発光ダイオードの作製および物性測定  
The fabrication and characterization of BIODE (Biomolecular-Light-Emitting Diode)
2. 有機光起電力デバイスの作製および物性測定  
The fabrication and characterization of organic photovoltaic devices
3. 伝導性フタロシアニン錯体の作製および物性測定  
The synthesis and characterization of conducting charge-transfer crystals of phthalocyanine





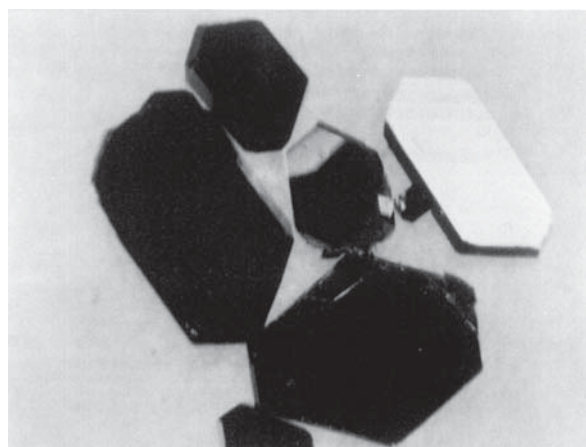
新物質科学研究部門 Division of New Materials Science  
http://hmori.issp.u-tokyo.ac.jp

# 森研究室

Mori Group

准教授 森 初果  
Associate Professor Hatsumi MORI  
助教 高橋 一志  
Research Associate Kazuyuki TAKAHASHI

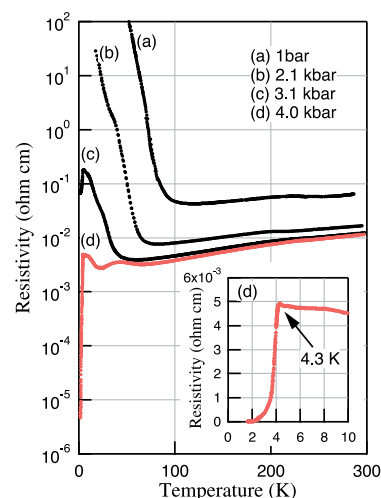
分子性導体、磁性体および誘電体などの機能性分子性物質の開発とその構造、物性の研究を行っている。分子性物質の魅力は、1) 数百万種あると言われている分子が単位であるため、物質が非常に多様であること、2) その分子および分子間相互作用が設計・制御可能であること、3) 分子は非常に柔らかいため圧力応答が大きく、分子を媒介として電子-格子相互作用が大きいこと、4) 特に伝導体で電子間相互作用（電子相関）が大きく、伝導性に加え、スピンの顔を出した磁性が表に現れることなどが挙げられる。我々も、分子をデザインすることにより分子間相互作用および電子相関など物性パラメータを少しずつ変化させて、電荷、格子、スピンの加え、分子の自由度が現れる、分子性物質ならではの面白い機能性を研究している。最近、化学修飾した分子の形状と電子相関のため現れるチェッカーボード型電荷秩序相と、圧力下で超伝導相が競合する新しい有機超伝導体（図参照）を見出した。



定電流電解法で作成した有機超伝導体  $[\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2]$  の単結晶  
Organic superconductor  $[\kappa\text{-ET}_2\text{Cu}(\text{NCS})_2]$  prepared by the electrocrystallization method

The development and structural and physical properties for molecular functional materials like molecular conductors, magnets, and dielectrics have been studied. The attractive points of molecular materials are 1) that there is a variety of materials since a few million kinds of molecules have been synthesized so far, 2) that molecules and intermolecular interactions are designable and controllable, 3) that large response of external pressure and electron-phonon coupling are observed due to softness of molecules, and 4) that large Coulomb interactions (electron correlation) induce the magnetism as well as conductivity in molecular conductors.

Our group studies the curious molecular functional materials based upon charge, lattice, spin, and molecular degree of freedom by changing physical parameters with designed molecules. Recently, we found new organic superconductors, in which the superconducting state is competitive to the charge ordered state owing to electron correlation and shape of designed molecules. (See the figures.)



新規有機超伝導体  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$  の電気抵抗の圧力依存性。常圧下、90 K で金属-絶縁体転移を起こすが、加圧と共に転移温度が降下し、4.0 kbar 下、4.3 K で超伝導転移を起こす。

Electrical resistivities under pressures for new organic superconductor,  $\beta\text{-(meso-DMBEDT-TTF)}_2\text{PF}_6$ . The metal-insulator transition occurs at 90 K at 1 bar. By applying pressure, the transition was suppressed, and superconductivity was found at 4.3 K under 4.0 kbar.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 新規有機伝導体および超伝導体の開発と構造・物性評価  
Development and structural and physical properties of new organic conductors and superconductors
2. 有機-無機ハイブリッド磁性伝導体の開発と構造・物性評価  
Development and structural and physical properties of organic-inorganic hybrid magnetic conductors
3. 有機物質と金属錯体の誘電応答の研究  
Study of dielectric response of organic materials and metal complexes



新物質科学研究部門 Division of New Materials Science  
<http://satoru.issp.u-tokyo.ac.jp>

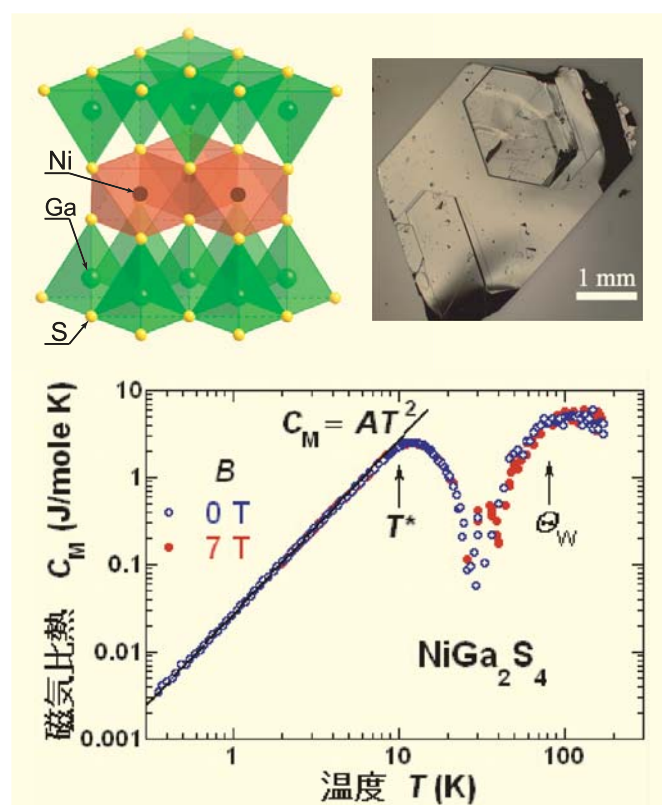
# 中辻研究室

Nakatsuji Group

准教授 中辻 知  
 Associate Professor Satoru Nakatsuji  
 助教 松本 洋介  
 Research Associate Yousuke MATSUMOTO

物性物理学のフロンティアは、新しい現象の発見にある。なかでも、現代の電子・情報社会を支える材料としての無機物質から、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性物理の醍醐味であると言える。私達は、無機材料の中でも特に遷移金属化合物や、重い電子系に代表される強相関電子系の新物質開発に取り組んでいる。低温の熱・輸送測定を用いることで、物質が生み出す量子現象、例えば、スピン・軌道の秩序と密接する新しいタイプの金属状態・超伝導状態、従来型のスピン秩序を抑えることで期待される、磁性半導体での新しい量子スピン状態などに注目して研究を進めている。

Discovery of new phenomena is at the forefront of the research of condensed matter physics. Inorganic materials, which provide important basis for current electronic and information technology, keep us surprised by numbers of novel quantum phenomena due to correlation among macroscopic number of electrons. Thus, the search for new materials that exhibit new phenomena is one of the most exciting and significant aspects of the material research. In our group, we synthesize new materials in so-called strongly correlated electron systems including transition metal compounds and heavy fermion intermetallic compounds. Low temperature thermal and transport measurements are used to study quantum phenomena such as unconventional metallic and superconducting states close to spin and orbital orders and quantum spin phenomena in magnetic semiconductors.



私達が開発した2次元三角格子磁性半導体  $\text{NiGa}_2\text{S}_4$

(左上) 2次元性の強い結晶構造。(右上) 結晶構造を反映した六角形の単結晶。  
 (下) 磁気比熱の温度依存性。ワイス温度  $\Theta_W = 80$  K に対応する比熱のピークに加え、低温  $T^* = 10$  K で現れるもう一つのピークは、新しいスピン状態の形成を示す。

Two-dimensional magnetic semiconductor  $\text{NiGa}_2\text{S}_4$  developed in our group. (Top left) Strongly two-dimensional crystal structure. (Top right) Hexagonal shaped single crystal. (Bottom) Temperature dependence of the magnetic specific heat. In addition to the conventional peak at the Weiss temperature of 80 K, the unusual peak at 10 K indicates the formation of the novel spin state at low temperatures.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 新しい遷移金属化合物の低温物性  
Low temperature study of new transition metal based compounds
2. 2次元磁性半導体での量子スピン状態  
Quantum spin states in two-dimensional magnetic semiconductors
3. 重い電子系での量子臨界現象、金属スピン液体状態  
Quantum critical phenomena and metallic spin liquid state in heavy fermion systems





新物質科学研究部門 Division of New Materials Science

# 花咲研究室

Hanasaki Group

客員准教授

Visiting Associate Professor

花咲 徳亮

Noriaki HANASAKI

分子性物質は分子の特異な積層構造に起因した伝導の低次元性や電子相関効果に特徴があり、新しい物理現象の発現が期待される。フタロシアニン系分子は同一分子内に伝導性を担う分子軌道と局在スピンを有する分子軌道を有しており、磁場などの外部摂動で電子状態に変調を加えて巨大応答を引き出すこともできる。1次元伝導体では巨大な負磁気抵抗が低温で観測されている。また分子の4回対称性を反映した分子軌道の縮退効果も興味深い。本研究室では、フタロシアニン分子系伝導体の磁気抵抗効果の機構を解明するため、輸送特性測定や低温強磁場中のX線回折実験を通じて電荷状態とその動的応答を明らかにするとともに、核磁気共鳴や磁化測定の実験を通じてフタロシアニン分子系伝導体の基底状態を明らかにすることを目指している。

The molecular conductors provide various interesting phenomena originating from the low-dimensionality of the conduction and the strong correlation. The phthalocyanine possesses the molecular orbitals contributing to both of the electron conduction and the magnetic properties. One can expect the gigantic response by the magnetic-field-induced change of the electronic state. The giant negative magnetoresistance was observed in the one-dimensional phthalocyanine molecular conductors at the low temperatures. The degenerate molecular orbitals due to the molecular fourfold symmetry are interesting, as well. In order to clarify the mechanism of the giant negative magnetoresistance and the ground state, we study the transport properties, the X-ray diffraction, the magnetic properties and the nuclear magnetic resonance under the low temperatures and the high magnetic fields in the phthalocyanine compounds.

# 物性理論研究部門

## Division of Condensed Matter Theory

当部門では、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を微視的な見地から活発に理論研究しているが、その目指すところは、実験を参照しつつ、相互作用する多体系の運動を捉える新概念の開拓、興味ある新現象の予言、そして、物質の本質を捉えた有用なモデルの提案である。

最近の研究対象は、遷移金属酸化物や有機伝導体におけるスピン電荷フォノン(軌道)複合物性、低次元量子スピン系や近藤格子等の電子系(いわゆる強相関系)における量子相転移や量子臨界現象、金属絶縁体転移、重い電子系、現象論や微視的な立場から見た様々な物質中での超伝導、金属や半導体での動的物性への交換相関効果、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。

これらの理論研究は各人得意の方法を用いて遂行されているが、部門全体として見ると、高等物理数学の解析手法、場の量子論的多体摂動理論、そして、量子モンテカルロ法や密度汎関数理論に基礎を置く最先端の第一原理計算などの大規模数値計算手法等、殆ど全ての現代的理論手法がカバーされている。

In this division, we are conducting vigorous theoretical research from a microscopic point of view on topics at the forefront of contemporary condensed matter physics, statistical physics, and materials science, in pursuit of the development of new concepts to describe collective behavior of interacting systems, prediction of novel interesting phenomena, and useful theoretical modeling of materials, in close contact with experimental groups.

The topics in recent research span such diverse areas as spin-charge-phonon(-orbital) complex properties in transition-metal oxides and organic conductors, quantum phase transitions and critical phenomena in the strongly-correlated systems such as low-dimensional quantum magnets and electron systems including the Kondo lattice, metal-insulator transitions, heavy-fermion physics, both phenomenological and microscopic theories of superconductivity in various materials, exchange and correlation effects on dynamic properties in metals and semiconductors, dynamic processes and catalytic properties at surfaces, and quantum transport and interactions in mesoscopic conductors.

In performing those topics of research, individual members employ calculation techniques in accordance with their expertise and taste, but as a whole, the theory group covers virtually all modern theoretical methods, ranging from sophisticated analytical techniques in mathematical physics and formal many-body theory to large-scale numerical computations, such as quantum Monte Carlo simulations and state-of-the-art *ab-initio* calculation of electronic structures based on the density functional theory.

教授 Professor	上田 和夫 Kazuo UEDA
教授 Professor	高田 康民 Yasutami TAKADA
教授 Professor	押川 正毅 Masaki OSHIKAWA

教授 Professor	常次 宏一 Hirokazu TSUNETSUGU
-----------------	------------------------------

准教授 Associate Professor	甲元 真人 Mahito KOHMOTO
----------------------------	-------------------------

准教授 Associate Professor	杉野 修 Osamu SUGINO
----------------------------	----------------------

准教授 Associate Professor	加藤 岳生 Takeo KATO
----------------------------	---------------------

准教授(客員) Visiting Associate Professor	前園 涼 Ryo MAEZONO
---	---------------------

准教授(客員) Visiting Associate Professor	田中 由喜夫 Yukio TANAKA
---	------------------------

教授(外国人客員) Visiting Professor	ウェクスラー カルロス Carlos WEXLER
---------------------------------	------------------------------

助教 Research Associate	藤井 達也 Tatsuya FUJII
--------------------------	------------------------

助教 Research Associate	前橋 英明 Hideaki MAEBASHI
--------------------------	---------------------------

助教 Research Associate	大久保 潤 Jun OHKUBO
--------------------------	---------------------

助教 Research Associate	城石 正弘 Masahiro SHIROISHI
--------------------------	-----------------------------

助教 Research Associate	服部 一匡 Kazumasa HATTORI
--------------------------	---------------------------

助教 Research Associate	佐藤 昌利 Masatoshi SATO
--------------------------	-------------------------

助教 Research Associate	大谷 実 Minoru OTANI
--------------------------	----------------------

助教 Research Associate	内海 裕洋 Yasuhiro UTSUMI
--------------------------	--------------------------

教授(外国人客員) Visiting Professor	ダーム トーマス Thomas DAHM
---------------------------------	-------------------------

教授(外国人客員) Visiting Professor	アグターバーグ ダニエル Daniel AGTERBERG
---------------------------------	----------------------------------

教授(外国人客員) Visiting Professor	チュン スン ゴン Sung G. CHUNG
---------------------------------	----------------------------





物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory  
<http://ueda.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 上田和夫研究室

K. Ueda Group

教授  
Professor

上田 和夫  
Kazuo UEDA

助教  
Research Associate

藤井 達也  
Tatsuya FUJII

銅酸化物高温超伝導体、あるいは重い電子系などにおける磁性と超伝導の解明は、強相関電子系の問題と呼ばれ物性物理学の基本的課題である。ここでは多電子系が示す多様な秩序状態とそれらの間の相転移という量子多体問題を研究することになるが、最近当研究室で取り上げている研究テーマは以下のようなものである。

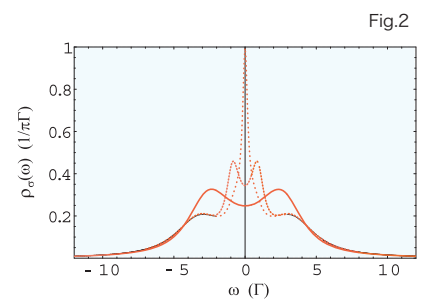
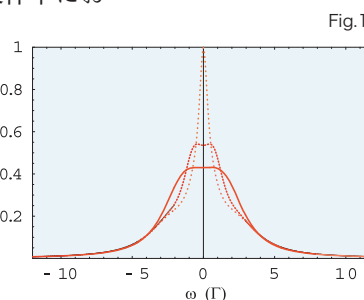
量子相転移の最も簡単で典型的な例は、スピン系の秩序無秩序転移である。最近、 $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  が二次元的構造を持つスピンギャップ系であることが発見されたが、われわれはその理論的モデルとして直交ダイマー・ハイゼンベルグ模型の量子相転移、素励起、磁化過程をしらべ、その特徴を明らかにした。また、三次元におけるフラストレーションの最も強い系として、パイロクロア格子上のハイゼンベルグ格子を考察し、その疑似縮退が解けていく過程におけるスピン・格子相互作用の重要性を指摘した。

強相関電子系における軌道自由度の果たす役割が最近注目されているが、新しい重い電子系の超伝導体である  $\text{CeTIn}_5$  ( $T=\text{Co, Rh, Ir}$ ) に対して、軌道縮退のあるモデルを構築し、その磁性と超伝導について研究している。量子臨界現象のコントロールパラメータとして軌道の縮退度が重要な働きをしていることが明らかになった。

量子ドットの輸送現象は、メソスコピック系における多体効果として大変興味深い。平衡、非平衡条件下における近藤輸送現象の理論的研究を進めている。

電流が定常的に流れている量子ドット系での状態密度。Fig.1, 2 はそれぞれ  $U=4, 6$  の場合。電子相関が強くなってくると、バイアスをかけたときに近藤ピークは左右の化学ポテンシャル近傍での2つのピークへと分離する。

The density of states at the quantum dot with a finite bias voltage in Fig.1 for  $U=4$  and Fig.2 for  $U=6$ . In a relatively strong correlation regime, the Kondo peak splits into double peaks near the chemical potentials of leads when the bias voltage is increased.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 重い電子系のミクロな理論  
Microscopic Theory of heavy fermion systems
2. 銅酸化物高温超伝導体の理論  
Theory of high  $T_c$  superconductivity
3. フラストレーションの強いスピン系における量子相転移  
Quantum phase transitions in spin systems with strong frustration
4. スピンと軌道の結合した系の量子臨界現象  
Quantum critical behaviors in spin-orbit coupled systems
5. 量子ドットにおける近藤輸送現象  
Kondo transport phenomena through quantum dots



物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory  
<http://takada.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 高田研究室

Takada Group

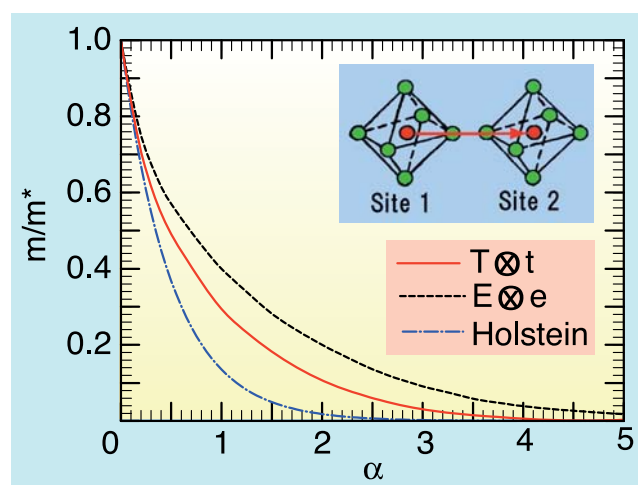
教授  
Professor

高田 康民  
Yasutami TAKADA

助教  
Research Associate

前橋 英明  
Hideaki MAEBASHI

自然の階層構造の中で物性理論の主たる対象は電磁相互作用をする多数の原子核電子複合系である。この系は容易に厳密解を許さないという意味で複雑ともいえる。しかし、この系の上部階層（生物学の範疇）では当然のことながら、予想外にもこの系を生み出している下部階層（素粒子物理の範疇）でもずっと複雑な系を対象にしていることに比べれば際立って簡単な系である。それゆえ、この系を究めることは全ての物理理論にとって基本的課題である。この認識の下に、原子核電子複合系を第一原理に忠実に解明する手段として密度汎関数理論やそれを越える理論体系（自己エネルギー改訂演算子理論と名付けた）を整備し、それを土台にこの系の量子物性を多角的に調べている。特に、高温超伝導機構の理論にしても、この線に沿った形で解明されない限り最終結論は得られないと考え、電子フォノン強結合性と電子相関との競合に注目しつつ、それらを共に取り入れた理論の完成に向けて、それに必要な各要素の基盤固めを行っている。



In the hierarchic structure of nature, condensed matter theory is mainly concerned with the complex system of many nuclei and electrons, interacting to each other through electro-magnetic fields. This system is so complex that no rigorous solution is allowed. It is, however, regarded as an astonishingly simple one if we compare it with the systems in the upper hierarchy (the domain of biology) as well as those in the lower one (the domain of high-energy physics). Thus we consider it as one of the most fundamental problems in the whole theory of physics to make its thorough investigation. With this recognition, we are constructing a theoretical framework for solving this system faithfully from first principles, culminating in the self-energy revision operator theory (SEROT) that may supersede the density functional theory in the future. Some practical approximations to SEROT are invented to investigate the properties of the nucleus-electron complex system from various aspects. Specifically, we surmise that a final resolution will be obtained for the microscopic mechanism of high- $T_c$  superconductivity only by the investigation along this line. Currently we do some basic works for the completion of such a theory for superconductivity with paying special attention to the competition between the attraction due to electron-phonon interactions and the repulsion due to electron-electron Coulomb interactions.

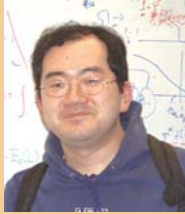
ポーラロンの有効質量  $m^*$ ：電子フォノン結合定数  $\alpha$  の増加に伴い、ホルスタイン模型では急激に  $m^*$  は増大するが、 $E \otimes e$  や  $T \otimes t$  のヤーンテラー模型ではそれほど急激でない。特に内部自由度に関する保存則がある前者では  $m^*$  の増大は抑制されるので、 $\alpha$  の大きい 3d 電子系では  $t_{2g}$  電子よりも  $e_g$  電子の方がずっと動きやすいことになる。

Effective mass  $m^*$  of a polaron: With the increase of the electron-phonon coupling constant  $\alpha$ ,  $m^*$  increases very abruptly in the Holstein model, but it is not the case for the  $E \otimes e$  and  $T \otimes t$  Jahn-Teller systems. In particular, a conservation law concerning the internal degrees of freedom imposes a strong constraint on the rapid increase of  $m^*$  in the former model, implying that  $e_g$  electrons move much faster than  $t_{2g}$  ones in 3d electron systems with large  $\alpha$ .

## 研究テーマ Research Subjects

1. 自己エネルギー改訂演算子理論：交換相関効果と外部 1 体ポテンシャルに応じたその発現様式  
Self-energy revision operator theory: Exchange-correlation effects and their manifestation according to external one-body potentials
2. 時間依存密度汎関数理論：不均一電子ガス系の動的応答  
Time-dependent density functional theory: Dynamic properties of the inhomogeneous electron gas
3. パーテックス補正付き強結合超伝導理論：電荷スピンフォノン複合系における超伝導  
Strong-coupling theory for superconductivity with vertex corrections: Superconductivity in charge-spin-phonon complex systems
4. ポーラロン・バイポーロン：ヤーンテラー系の特異性や非調和項の効果  
Polarons and bipolarons: Characteristic features of a Jahn-Teller system and effects of anharmonicity
5. 量子固体：高圧下固体水素での陽子の量子ゆらぎとその電子系への影響  
Quantum solids: Quantum fluctuation of protons and its effects on electrons in solid hydrogen in high pressures





物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory  
<http://oshikawa.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 押川研究室

Oshikawa Group

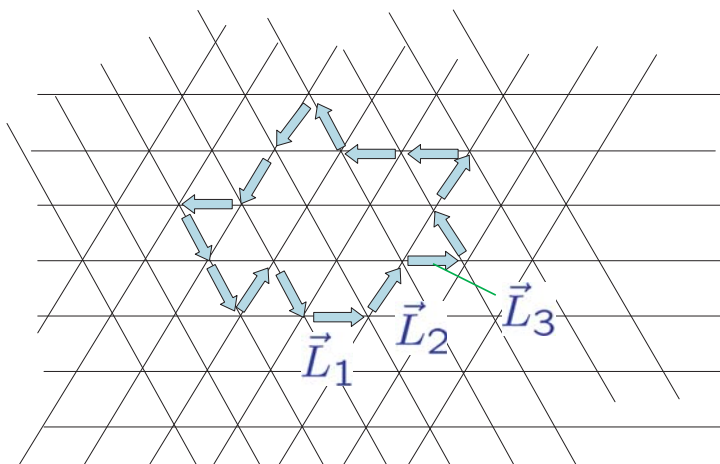
教授	押川 正毅
Professor	Masaki OSHIKAWA
助教	大久保 潤
Research Associate	Jun OHKUBO
助教	城石 正弘
Research Associate	Masahiro SHIROISHI

広範な系について成立する普遍的な概念を探索することを念頭に、量子多体系の理論を中心として研究を行っている。この際、厳密解に代表される数理的研究を、実験結果の統一的な理解や新たな実験に対する予言に有機的に関連させつつ研究を展開している。例えば、1+1次元での自由ボソン場の理論に対するさまざまな摂動を系統的に扱うことにより、磁場誘起ギャップ・電子スピン共鳴・量子細線における伝導など1次元量子系における広範な物理現象を統一的に理解することを目指している。

統計力学の基礎に関する研究も行っている。たとえば、秩序パラメータを先験的知識無しに同定するアルゴリズムの開発等を通じて、統計力学における「秩序」に関するより深い理解を得ることを目標にしている。また、複雑ネットワークや確率過程の問題に対して、統計力学や場の理論を応用した新しい手法を開発している。

We study mainly quantum many-body theory, pursuing universal concepts applicable to wide range of systems. Mathematical studies such as exact solutions are utilized in giving a unified picture on experimental data and in making new testable predictions. For example, we systematically study perturbations on the free boson field theory in 1+1 dimensions, in order to understand wide range of phenomena including field-induced gap, Electron Spin Resonance and quantum wires, in a unified manner.

We also study fundamental problems in statistical mechanics. For example, through the development of an algorithm to identify the order parameter without a prior knowledge, we are seeking a deeper understanding of the “order”. Moreover, we develop new approaches to complex networks and stochastic processes, based on statistical mechanics and field theory.



三角格子上の量子ブラウン運動を表すダイアグラム。3本の量子細線の接合は物理的には全く異なる問題であるが、同じダイアグラムで表すことができ数学的に等価な問題となる。この対応関係を用いて、量子細線の接合における新しい低エネルギー固定点を見出した。

A diagram representing the quantum Brownian motion on a triangular lattice. Junction of three quantum wires, although being a quite different physical problem, can be also represented by the same set of diagrams and is mathematically equivalent to the quantum Brownian motion. Exploiting this mapping, we have found a new low-energy fixed point for the junction problem.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 低次元スピン系における電子スピン共鳴の場の理論による定式化  
Field-theory formulation of Electron Spin Resonance in low-dimensional quantum spin systems
2. 共形場理論、量子ブラウン運動と量子細線の接合  
Conformal field theory, quantum Brownian motion, and junction of quantum wires
3. 可積分系の数理とその応用  
Mathematical structures in integrable systems and their applications
4. 確率過程と統計力学  
Stochastic processes and statistical mechanics



物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory  
<http://tsune.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 常次研究室

Tsunetsugu Group

教授  
Professor

常次 宏一  
Hirokazu TSUNETSUGU

助教  
Research Associate

服部 一匡  
Kazumasa HATTORI

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を理論的に研究している。クーロン相互作用が強い系においては、低温においてさまざまな磁性状態や異方的超伝導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。

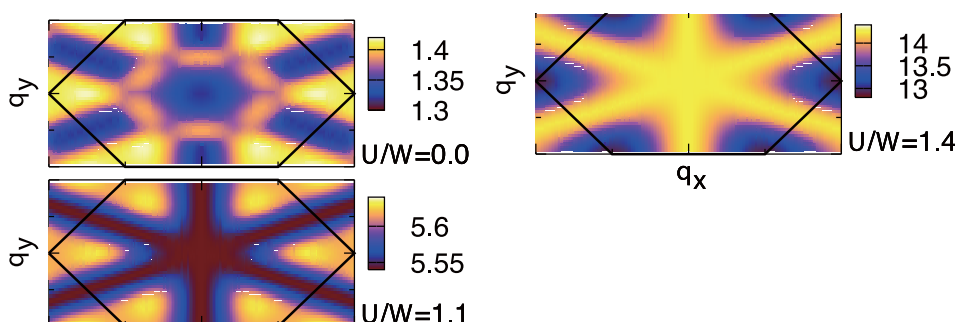
主に研究しているテーマは、スピンと電子軌道などの自由度がカップルすることによって現れる複合秩序や、フラストレート系における新しいタイプの量子秩序である。フラストレートした系に特徴的な、多くのモードのソフトな揺らぎが結合している場合にその秩序と臨界現象の特徴がどうなるか、電子状態や輸送現象がどのように影響するのかを調べている。

最近の研究の中では、カゴメ格子上の金属絶縁体転移とその近傍における磁性を調べた。カゴメ格子においてはフラストレーションの効果によって絶縁体への転移が大きく抑制されることを確かめるとともに、絶縁体に転移した直後では非常に特異な1次元的スピン相関を示すことを発見した。これはカゴメ格子上の量子スピン系のスピン相関と異なっており、電子の遍歴性に伴う多スピンの相関効果と思われる。

Strongly correlated electron systems, particularly compounds including transition-metal, rare-earth, or actinide elements, are the main subjects of our research. In these systems where electron-electron interactions are very strong, there appear a variety of interesting phenomena at low temperatures, and various magnetic orders and unconventional superconductivity are typical cases.

The present targets of our study include complex order in the systems where spin and orbital degrees of freedom are coupled, and new type of quantum order in frustrated spin systems. In particular, we study the order and critical phenomena in the systems where many soft modes of fluctuations are coupled, which is characteristic to frustrated systems, and also the effects of these anomalous fluctuations on electronic states and transport phenomena.

We recently studied the metal-insulator transition in the Kagomé lattice and also magnetic properties near the transition point. We showed that the metal-insulator transition is considerably suppressed due to geometrical frustration compared with the cases in unfrustrated lattices. It is a surprise that spin-spin correlations show unusual one-dimensional character in space. This may be a consequence of multiple-spin processes due to electron virtual hopping processes.



カゴメ格子電子系の帯磁率の波数ベクトル依存性。 $U/W$ は電子間斥力の強さ。 $U/W \sim 1.4$ 以上で絶縁体になる。この直後、帯磁率のピークは波数空間の孤立した点ではなく線上において最大値を持ち、1次元的相関を示している。

Wave-vector dependence of spin susceptibility of an electronic system on the Kagomé lattice.  $U/W$  represents the electron-electron repulsion strength, and the metal-to-insulator transition occurs near  $U/W \sim 1.4$ . After the transition, the susceptibility shows peaks not at isolated points but along lines in the wave-vector space, which implies one-dimensional correlations.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 強相関電子系の電子状態  
Electronic states of strongly correlated electron systems
2. 量子磁性体の理論  
Theory of quantum magnets
3. 遷移金属化合物、希土類・アクチノイド系化合物の研究  
Study of transition metal compounds, rare earth compounds, and actinide systems
4. 複合自由度系の秩序と相転移  
Order and phase transitions of systems with multiple degrees of freedom
5. フラストレーション系の統計物理学  
Statistical physics of frustrated systems





物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory  
<http://kohmoto.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 甲元研究室

Kohmoto Group

准教授 甲元 真人  
 Associate Professor Mahito KOHMOTO  
 助教 佐藤 昌利  
 Research Associate Masatoshi SATO

多体系においては、相互作用によって種々の興味深い性質が現われる。例えば（高温）超伝導、磁場中の2次元電子の量子ホール効果は代表的な例である。このような比較的最近発見された現象では、摂動的な発想を基礎とした、いわゆる固体物理の伝統的な手法による理論的な解明は必ずしも成功しない例が多い。例えば量子ホール効果においては非摂動的な場の理論が大きな成果を挙げている。場の理論を含めた非摂動的な手法を開発しながら、上記の様な物性理論における基本的な問題の解明を目的とする。

In many body systems, there appear many interesting properties due to interactions. Some examples are the high- $T_c$  superconductors and the quantum Hall effects. Traditional theoretical approaches based on the perturbation theory often fail to analyze these recently found phenomena. For example, the non-perturbative field theoretical approach succeeded in the quantum Hall effects. At present, our main subjects are the anisotropic superconductivity like high- $T_c$  superconductor and the fractional quantum Hall effect. Our purpose is the development of the non-perturbative method including the field theory and the solution of the basic problems in physics like above.

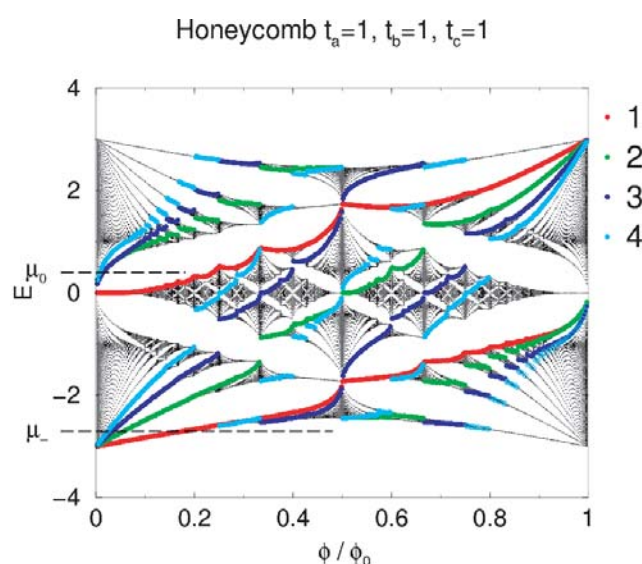


図1. ハニカム格子における磁束Φとエネルギーの関係.  
 図中の数字は Hall 伝導度を表す

Fig.1. Energy spectrum with a magnetic flux  $\Phi$  in the honeycomb lattice

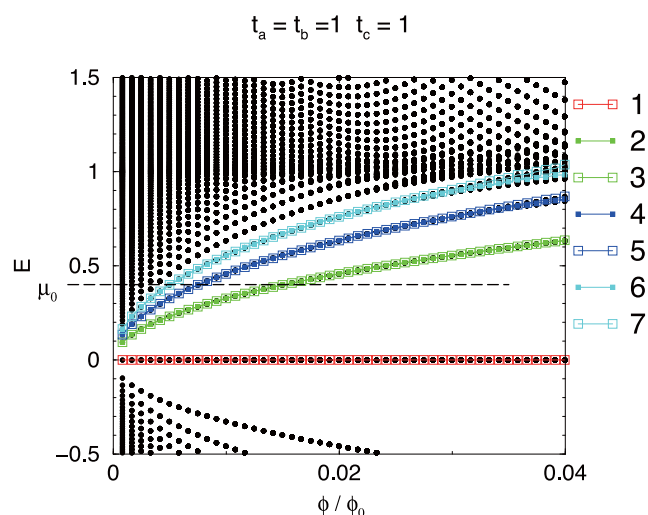
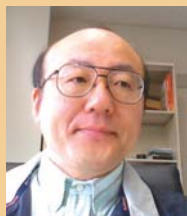


図2. 図1と同じもの。Φがゼロ付近を拡大している。  
 Fig.2. The same as Fig.1 for  $\Phi \sim 0$ .

## 研究テーマ Research Subjects

1. 高温超伝導  
High-temperature superconductivity
2. 異方的超伝導  
Anisotropic superconductivity
3. 物性における位相不変量  
Topological invariants in condensed matters
4. 位相的秩序  
Topological order



物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory  
<http://sugino.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 杉野研究室

Sugino Group

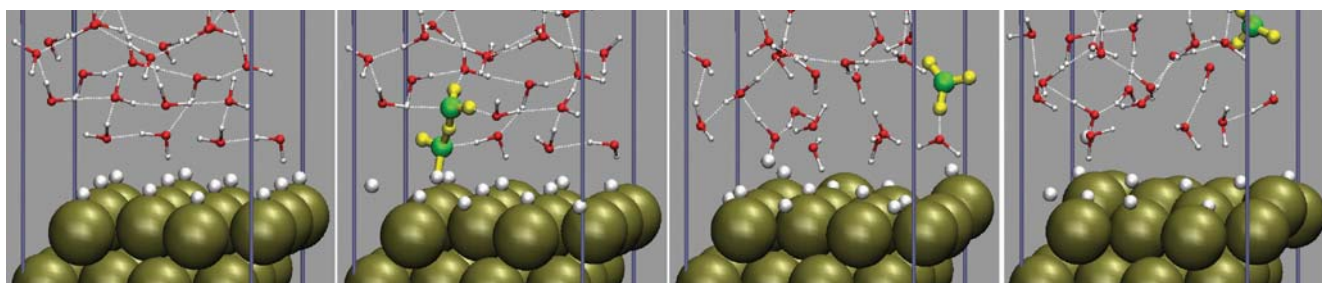
准教授 杉野 修  
 Associate Professor Osamu SUGINO  
 助 教 大谷 実  
 Research Associate Minoru OTANI  
 助 教 吉本 芳英  
 Research Associate Yoshihide YOSHIMOTO

密度汎関数理論に基づく第一原理的計算手法を用いて、物質の電子状態や動的過程を主に研究している。ここ数年間は特に金属 / 溶液界面の構造や遮蔽過程・触媒反応、分子や表面系における励起・非断熱遷移過程、結晶や液体の一次相転移、などを行ってきた。特に計算手法・アルゴリズムの研究を行い計算可能な研究対象を広げることと努め、それら新手法を用いてこれまで手の届かなかったような複雑な興味深い現象をミクロに理解することを目標としている。

物質設計評価施設を兼任し、同施設のスタッフと協力して物性研スーパーコンピュータの全国共同利用を推進している。同施設の吉本芳英助教とはまた研究上も密接な協力関係にある。

Main research subject is the first-principles density functional approach to electronic structures of materials and their dynamical processes. Recent activity covers (1) the transition metal/water interfaces including their structural and dielectric screening properties as well as electrochemical and catalytic reactions occurring at the interface, (2) excitation and non-adiabatic dynamics of molecules and surface adsorbates using the time-dependent density functional theory, and (3) first-order phase transitions of crystals and liquids. Our aim is to extend frontiers of the simulation to microscopically understand complex but rich variety of phenomena that have not been accessible with conventional computational approaches.

We, as a member of the MDC division, help supervising the ISSP supercomputers for use of the joint research program. Our group collaborates with Dr. Yoshihide Yoshimoto of MDC also for scientific activities.



白金・水界面における水の電気分解過程。強い電場の下、水中のヒドロニウムイオン  $\text{H}_3\text{O}^+$  が表面電荷に引き寄せられ表面に吸着、または吸着水素と結合する過程を追った第一原理分子動力学計算から。水の誘電効果と金属触媒効果が重要な役割を果たしている。

Electrolysis of water at the biased Pt(111)/water interface: A snapshot from the first-principles molecular dynamics simulation. Hydronium ion in the water attracted by the surface charge is going to adsorb on the surface by accepting one electron, or to bind with adsorbed hydrogen atom. Dielectric property of water and catalytic property of the metal are found to play important roles.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 遷移金属・水溶液界面における構造、化学反応  
 Transition metal/water interfaces: Structural and dielectric properties and chemical reactions
2. 分子・表面系の励起、非断熱動的過程  
 Excitation and nonadiabatic dynamics of clusters and surface adsorbates
3. 物質の一次相転移  
 First-order phase transitions of materials





物性理論研究部門 Division of Condensed Matter Theory  
<http://kato.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 加藤研究室

Kato Group

准教授 加藤 岳生  
 Associate Professor Takeo KATO  
 助教 内海 裕洋  
 Research Associate Yasuhiro UTSUMI

メゾスコピック系の輸送特性の理論研究を行っている。メゾスコピック系とは、電子の波としての性質が顕わになる現象に着目する研究分野であり、マイクロメートルスケールで微細加工された電子系が主な対象である。特に近年は、量子ドットや微小超伝導体を用いた量子ビット、カーボンナノチューブ、スピン制御など、次世代への応用が期待されるさまざまな研究が進展しつつある。この系の面白さは、アイデアと工夫によって、実験対象を「人工的に」制御できることにある。斬新な実験によって、これまでになかった物理の新しい視点が付け加わることもある。

メゾスコピック系の一つの重要なテーマは、電子間相互作用の取り扱いであり、ボゾン化法や非平衡グリーン関数法を元にした解析計算と、量子モンテカルロ法をはじめとした数値計算を組み合わせて、研究を行っている。また非平衡状態を扱うことのできる数値計算手法の開発にも取り組んでいる。

メゾスコピック系以外にも、分子性導体などの電子間相互作用や電子・格子相互作用が大きい系の物性評価にも取り組んでいる。分子性導体で広く見られるスピンパイエルズ転移や電荷秩序転移、およびその周辺で生じる多彩な物性について、主に量子モンテカルロ法と平均場近似を用いた解析を行っている。

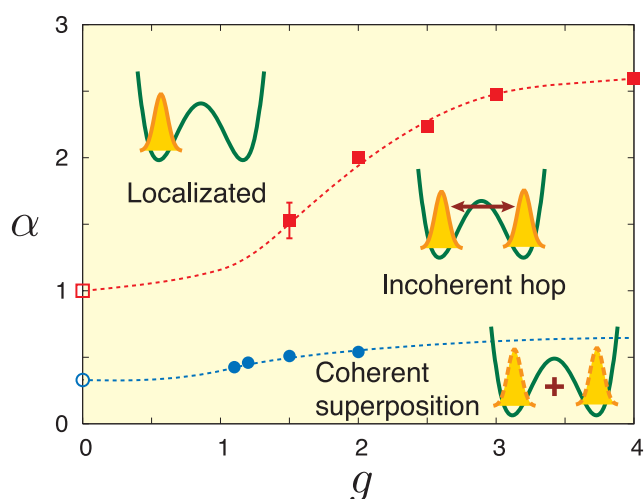
量子モンテカルロ法によって得られた、環境と結合した二重井戸系の相図。横軸は規格化したポテンシャル障壁の逆数  $g$ 、縦軸は環境との結合の強さ  $\alpha$ 。結合の強さ  $\alpha$  を大きくしていくと、重ね合わせ状態が生じる領域、確率的トンネルを起こす領域、局在が起こる領域が順に現れる。

The phase diagram of dissipative double-well systems obtained by the quantum Monte Carlo simulation. For a fixed parameter of the inverse potential barrier, there appear the coherent tunneling regime, incoherent tunneling regime, and localized regime, as  $\alpha$  increases.

The main research subject is the theoretical study of transport properties in mesoscopic systems, in which the most characteristic feature is the quantum interference of electrons revealed in microstructures. Recently, many new materials and phenomena including quantum bits made in small dots/superconductors, carbon nanotube, and spintronics have been studied. The application to electronic devices has been considered extensively. It is appealing that a novel experiment can provide a new insight on understanding of fundamental physics.

We are trying to study electron-electron interaction and decoherence of electrons in these systems by combining analytical approaches (Bosonization methods, nonequilibrium Green's function methods, etc.) with numerical approaches such as the Monte Carlo method. We are also challenging to develop new numerical algorithms for nonequilibrium transport properties.

We are also studying electron-electron and electron-lattice interactions in organic conductors. The spin-Peierls and charge-order transition and related phenomena are analyzed by the mean-field approximation and quantum Monte Carlo method.



## 研究テーマ Research Subjects

1. メゾスコピック系における輸送特性  
Transport properties in mesoscopic systems
2. 量子ドット・一次元導体における電子間相互作用の理論  
Theory of electron-electron interaction in quantum dots and wires
3. 分子性導体の有限温度物性の評価  
Finite-temperature properties in organic conductors
4. 非平衡定常状態に対する数値計算手法の開発  
Development of numerical algorithms for nonequilibrium steady states



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

## 前園研究室

Maezono Group

客員准教授 前園 涼  
Visiting Associate Professor Ryo MAEZONO

物質中の電子的過程に関わるエネルギースケールは絶対値としては大きなものであるが、複数の機構が拮抗する結果生じるエネルギー差が我々日常のエネルギースケールに収まり、有用な機能を実現していると捉える事が出来る。磁性や超伝導といった機能的物性の発現、分子間力など微弱なエネルギーで律される生体内での電子的過程などが例として挙げられる。この中で電子間相互作用の揺らぎのスケールで生じる諸問題「電子相関」は永年、電子論研究者に興味と困難な挑戦舞台を提供してきた。当研究室では、このような問題を扱う一つの流儀として、恣意的な近似を極力排除した「もっともケチがつかない」大規模精密計算「量子拡散モンテカルロ法」を駆使し、物性理論やナノテク基礎に関わる電子相関上のオープン・クエスチョンに信頼のおける指針を提供・発信する事を目標として取り組みを続けている。

The electronic correlation as fluctuation processes of the electronic interaction provides rich functionalities of materials. It plays important roles, for instance, in magnetism, high- $T_c$  superconductivity, and as inter-molecular forces which form biological systems activating in low energy scale such as body temperature. Being a complicated higher order problem it has provided challenging open questions of condensed matter theory, which matter the foundation of contemporary nano technology. We are studying such problems that the correlation forms the central interest, using Quantum diffusion Monte Carlo method as a most reliable tool of many-body theory, which excludes uncontrolled approximations as much as possible.



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

## 田仲研究室

Tanaka Group

客員准教授 田仲 由喜夫  
Visiting Associate Professor Yukio TANAKA

超伝導接合に代表される不均一な超伝導体の研究を行っている。このような接合系では、対称性の破れにより、バルクの系には存在しない量子現象が数多く存在する。例えば、最近の研究では奇周波数クーパー対状態が超伝導不均一系において遍く存在することを解明した。ペア振幅が松原周波数の奇関数になっているとすると、常識に反してスピン1重項奇パリティ、スピン3重項偶パリティなどの電子対が実現されることになる。これが奇周波数クーパー対である。超伝導体の内部に奇周波数ペアが存在しなくても、接合により奇周波数ペアが誘起され異常な物理現象を導く。

物性研究所では、押川研究室と協力して、量子ゆらぎの強い1次元系・擬1次元系を含む超伝導接合系に取り組んでいる。たとえば、場の理論に基づく1次元系の解析により、上で述べたような超伝導接合における異常な物理がどのように1次元系に現れるかを調べている。

We study superconducting systems with inhomogeneities, such as superconductor-normal metal junctions. At the junction, numerous anomalous quantum phenomena, which are absent in the bulk, appear owing to the breaking of symmetries. For example, we found that odd-frequency Cooper pairs exist ubiquitously in inhomogeneous superconductors. If the pair amplitude is an odd function of the Matsubara frequency, anomalous pairings such as spin-singlet odd-parity, spin-triplet even-parity can be realized. This is the odd-frequency pairing. Even if the odd-frequency pairing is absent in the bulk, it is induced at junctions and leads to anomalous phenomena.

At ISSP, we collaborate with Oshikawa group to study superconductor junctions involving one-dimensional and quasi-one-dimensional systems, where quantum fluctuations are strong. Based on field-theory analysis of the one-dimensional system, we examine the counterpart of the anomalous physics found in superconductor junctions in higher dimensions.





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

## ウェクスラー研究室

Wexler Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

ウェクスラー カルロス  
Carlos WEXLER

過去 10 年の間、純粋な電気的方法で電子のスピン自由度を操作する、いわゆるスピントロニクスに対する関心が高まっている。スピントロニクスは、スピン軌道相互作用により電子輸送が大きく変わるような系で、もっとも容易に実現できる。

我々は、格子の周期性と磁場のもたらす周期性の競合の結果生じる、周期的、準周期的、あるいは不整合な系での電子状態を研究した。そのような系には、美しいホフスタッダーバタフライや、自己相似なスペクトラル（それはマルチフラクタルなカントール集合となる）のような豊かな構造が存在する。我々は、スピン軌道相互作用を、2次元電子ガスのラシュバ結合の形でハーバー方程式に取り入れ、その影響をしらべた。その結果、スピン軌道相互作用は、スケーリング則を大きく変え、スピン軌道相互作用が大きい場合には、絶縁相の非局在化をもたらすことを明らかにした。

For the past decade, there has been significant interest in the manipulation of the spin degrees of freedom of electrons (spintronics) by purely electrical means. This is most readily achieved by considering systems where spin-orbit coupling produces a significant change in the electron transport.

In our studies we consider electrons in periodic, quasi-periodic and incommensurate systems, such as those resulting from competing effects of a lattice and a magnetic field, which have a rich behavior exemplified by the beautiful Hofstadter butterfly, a self-similar spectrum which is a multifractal Cantor set. We model the spin-orbit coupling by means of a Rashba coupling in a two-dimensional electron gas, which can be described by a generalization of Harper's equation. The spin-orbit coupling leads to significant modifications of the scaling laws and appears to induce delocalization of the insulating phases for sufficiently large ratio of the spin-orbit coupling parameter.



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

## ダーム研究室

Dahm Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

ダーム トーマス  
Thomas DAHM

物性研に滞在した6ヶ月の間に上田和夫研究室と協力して、 $\beta$ -パイロクロア超伝導体  $\text{KOs}_2\text{O}_6$ 、 $\text{RbOs}_2\text{O}_6$  および  $\text{CsOs}_2\text{O}_6$  の非調和フォノンの理論について研究した。これらの化合物では、アルカリイオンは Os-O イオンの作る籠の中を運動している。アルカリイオンを包む籠の大きさはイオンの半径よりも大きく、この運動を表すフォノンはラットリングと呼ばれている。このラットリングは、 $\text{KOs}_2\text{O}_6$  を典型とする特異な振る舞いの原因となっていると考えられる。滞在期間中廣井、瀧川両教授とさまざまな実験結果について有益な議論を重ねることができ、ラットリング運動に関する理論を構成する上で大変有益であった。われわれの理論では、極めて強い非調和性を持った局在したフォノンが電子系と強く相互作用しているモデルを考えた。このモデルに基づいて、NMR の緩和率および電気抵抗の異常な温度依存性を説明することが出来た。[arXiv: 0706.4345, Physical Review Letters 投稿中]

During my six month stay at ISSP I was collaborating with Professor Kazuo Ueda on the theoretical description of strongly anharmonic phonons in the  $\beta$ -pyrochlore superconductors  $\text{KOs}_2\text{O}_6$ ,  $\text{RbOs}_2\text{O}_6$  and  $\text{CsOs}_2\text{O}_6$ . In these compounds the alkali ion is moving inside an oversized cage of Os-O ions creating a so-called "rattling" motion of the alkali ion. This rattling is made responsible for many unusual properties of these compounds, most prominent in  $\text{KOs}_2\text{O}_6$ . I had many interesting discussions with the experimental groups of Prof. Hiroi and Prof. Takigawa about their recent striking experimental results in these compounds, which helped us to set up a theory for the rattling motion. Our model consists of a local, strongly anharmonic phonon mode interacting strongly with the conduction electrons. Within this model we could reproduce the anomalous temperature dependence of the NMR relaxation rate and the electrical resistivity [arXiv: 0706.4345, submitted to Physical Review Letters].



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

## アグターバーグ研究室

Agterberg Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

アグターバーグ ダニエル  
Daniel AGTERBERG

常次研究室と協力して強相関電子系における新奇な磁気および超伝導秩序の研究を行っている。1つの計画はフラストレートした磁性体で提唱されたネマティック秩序に類似した秩序が超伝導体で実現する可能性についてである。複数の自由度を含む unconventional 超伝導体の現象論において揺らぎの効果を調べ、新しいタイプの秩序状態が引き起こされるかを検討している。2つめの計画は超伝導密度波状態における新しいトポロジカル欠陥の果たす役割を解明することである。このような秩序変数に対しては結晶の並進対称性がもう一つの U(1) 対称性をもたらすが、そのことによって分数磁束渦糸が安定化される。この計画は反転対称性をもたない超伝導体や磁場下の CeCoIn<sub>5</sub> で新しく発見された超伝導相に関係したものである。

Prof. Agterberg is collaborating with Tsunetsugu Group in investigating novel magnetic and superconducting order in strongly correlated electronic systems. The first project addresses the possibility that analogues of spin nematic order found in frustrated magnetic systems also appear in the context of superconductivity. In particular, including Gaussian fluctuations in phenomenological theories of unconventional superconductors with more than one complex degree of freedom indicate possible new types of order that merit more study. The second project examines the role of new topological defects in superconducting density wave order parameters. A property of free energy functionals with such an order parameter is that translational invariance implies an additional global U(1) symmetry that leads to stable fractional flux vortices. This project applies to non-centrosymmetric superconducting materials as well as to a new high field superconducting phase found in CeCoIn<sub>5</sub>.



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

## チュン研究室

Chung Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

チュン スン ゴン  
Sung G. CHUNG

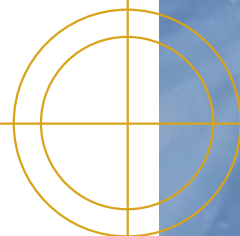
我々の最近の理論研究の対象は、高温超伝導物質、フラストレーションを持つ量子スピン系、ナノチューブ及びグラフィーン、そして光学格子にトラップされた極低温原子などで実現されている強相関凝縮系である。特に、これら強相関凝縮系を記述するいくつかの基本的模型、例えばハイゼンベルク模型、ハバード模型、近藤格子模型など、の基底状態及び熱力学的性質を計算する新しい多体理論を開発している。これまでの成果としては、2、3次元イジング模型の自発磁化及び比熱、1次元ハバード模型の基底状態、そして正方格子2次元反強磁性ハイゼンベルク模型の基底状態を正確に計算した。我々の新しい方法を一言で言うなら、それは簡単で、一般的で、実際的に厳密である。そしてそれは、厳密対角化法、モンテカルロ法、数値くりこみ法そして様々な平均場理論のいずれとも本質的に異なる方法である。

Our research interest in recent years is the theoretical study of strongly correlated condensed matter systems such as realized in high-temperature superconductors, frustrated quantum spins, nano-tubes and graphene, and ultracold atoms trapped in optical lattices. In particular, we have been developing a novel many-body method for calculating the ground states as well as thermodynamic properties of some fundamental models for these strongly correlated condensed matter systems, such as the Heisenberg model, the Hubbard model and the Kondo-lattice model. The success so far is the calculation of spontaneous magnetization and the specific heat of the 2D and 3D Ising models, the ground state of the 1D Hubbard model, and the ground state of the 2D antiferromagnetic Heisenberg model on a square lattice. To put our method in a word, it is simple, general and practically exact, and essentially different from the existing methods such as exact diagonalization method, Monte Carlo, numerical renormalization group and various mean field theories.



# ナノスケール物性研究部門

## Division of Nanoscale Science



近年の物性物理学の発展で特筆すべきものの一つに、原子レベルで制御された表面・界面、人工超格子、極微細構造など対象とする研究の著しい進展がある。この背景には、エピタキシャル成長技術、極微細加工技術、各種の表面評価手法、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。

ナノスケール物性研究部門では、そのような技術を利用して、表面界面および人工物質人工構造を対象とするナノスケール・サイエンスに取り組んでいる。

研究活動として、

- ・半導体・金属・超伝導体・磁性体などの微細構造およびそれらの複合微細構造において展開される低温量子輸送の研究、
  - ・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ナノスケール構造の物性、
  - ・固体表面における化学反応等の動的過程の原子レベルでの研究、およびそれを利用したナノスケール新物質の創製、
  - ・酸化物薄膜のエピタキシャル成長とその機能物性開拓、
- などが進行中である。

One of the outstanding trends in modern condensed matter physics is the rapid development in studies of atomically controlled surfaces and interfaces, artificial superlattices and micro- and nano-structures. The background of such developments is the advancement of key technologies for epitaxial crystal growth, microfabrication, surface characterization, and local sensing by use of scanning probe microscopes.

The Division of Nanoscale Science consists of seven laboratories --- Iye, Katsumoto, Otani, Komori, Yoshinobu, Hasegawa and Lippmaa. The research efforts of these labs are directed to various aspects of nanoscale science.

The on-going research activities include

- Study of low temperature quantum transport in mesoscopic structures of semiconductors, metals, superconductors, magnetic materials and their hybrid structures.
- Study of local electronic states and transport phenomena by scanning probe microscopes.
- Study of transport, magnetism and other properties of novel materials at solid surfaces.
- Study of dynamical processes such as chemical reaction at solid surfaces at the atomic level and creation of new material phases.
- Study of epitaxial growth of oxide thin films and their functional properties.

教授 Professor	家 泰弘 Yasuhiro IYE
教授 Professor	勝本 信吾 Shingo KATSUMOTO
教授 Professor	大谷 義近 Yoshichika OTANI
教授 Professor	小森 文夫 Fumio KOMORI
教授 Professor	吉信 淳 Jun YOSHINOBU
准教授 Associate Professor	長谷川 幸雄 Yukio HASEGAWA
准教授 Associate Professor	リップマー ミック Mikk LIPPMAN
准教授(客員) Visiting Associate Professor	小林 伸彦 Nobuhiko KOBAYASHI
教授(外国人客員) Visiting Professor	ロッセイ フェデリコ Federico ROSEI
教授(外国人客員) Visiting Professor	ブリック ロバート Robert BLICK

助教 Research Associate	遠藤 彰 Akira ENDO
助教 Research Associate	阿部 英介 Eisuke ABE
助教 Research Associate	木村 崇 Takashi KIMURA
助教 Research Associate	中辻 寛 Kan NAKATSUJI
助教 Research Associate	江口 豊明 Toyoaki EGUCHI
助教 Research Associate	大西 剛 Tsuyoshi OHNISHI
技術専門職員 Technical Associate	向井 孝三 Kozo MUKAI
技術専門職員 Technical Associate	飯盛 拓嗣 Takushi IIMORI
技術専門職員 Technical Associate	橋本 義昭 Yoshiaki HASHIMOTO
技術職員 Technical Associate	浜田 雅之 Masayuki HAMADA



ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science  
<http://iye.issp.u-tokyo.ac.jp>

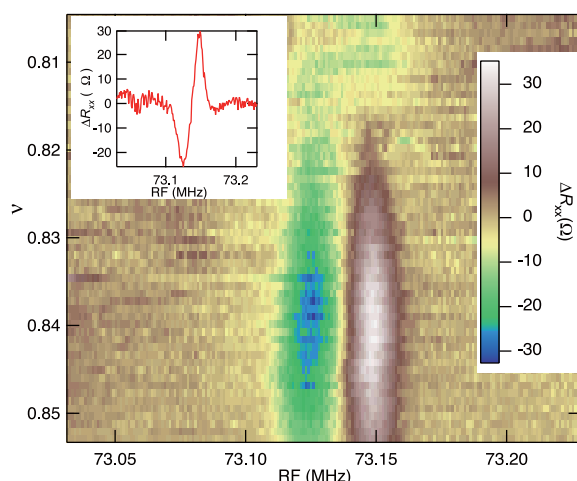
# 家研究室

Iye Group

教授 Professor 家 泰弘 Yasuhiro IYE  
 助教 Research Associate 遠藤 彰 Akira ENDO

GaAs/AlGaAs ヘテロ界面の高移動度2次元電子系・正孔系をベースとした量子構造を作製し、そこに展開される量子輸送現象の研究を行っている。最近の研究テーマとして、1次元平面超格子におけるミニバンド形成を反映した磁気抵抗振動効果、アンチドット格子系や単一アンチドットにおけるアハロノフ・ボーム効果、2層量子ホール系や正孔量子ホール系の基底状態、量子ホール領域における核スピン共鳴と低エネルギースピンスピン励起、などがある。この他に、強磁性体/超伝導体や強磁性体/半導体のハイブリッド構造における局所磁場変調効果についても研究を進めている。

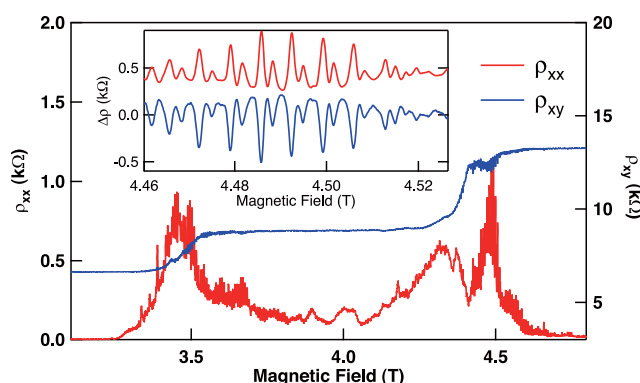
研究活動は勝本研究室との緊密な協力関係のもとに進めている。



2次元電子系の量子ホール領域における<sup>75</sup>Asの抵抗検出核磁気共鳴(RDNMR)。ランダウ準位占有率 $\nu=1$ 付近において観測される「分散型線形」が $\nu=1$ から遠ざかるにつれて消失する様子。

Resistively-detected nuclear magnetic resonance in 2D electron system in the quantum Hall regime. The “dispersive” lineshape observed in the vicinity of  $\nu=1$  disappears as one moves further away from  $\nu=1$ .

We fabricate quantum structures based on high mobility two-dimensional (2D) electron and hole systems formed at GaAs/AlGaAs heterointerface, and investigate quantum transport phenomena. Recent research subjects include, oscillatory magnetoresistance effect reflecting the miniband formation in one-dimensional lateral superlattice, Aharonov-Bohm-type effects in antidot arrays and single antidot system, ground states of bilayer quantum Hall systems and 2D hole systems, nuclear magnetic resonance and low-energy spin excitations in quantum Hall regime. We also study the local magnetic field modulation effects in ferromagnet/superconductor and ferromagnet/semiconductor hybrid systems. The research activities are conducted in close collaboration with Katsumoto group.



少数アンチドット格子系の量子ホール領域におけるアハロノフ・ボーム振動。2種類の振動は、アンチドットの周りに形成されるエッジ状態のスピン分離を反映したものである。

Aharonov-Bohm type oscillations in a small array of antidots fabricated from 2D electron system in the quantum Hall regime. The two series of oscillation reflect the spin-resolved edge states around the antidots.

## 研究テーマ Research Subjects

- 空間変調構造下の2次元電子系における量子輸送現象  
Quantum transport in 2DEG systems under artificial potential modulation
- スピン自由度や2層自由度を持つ量子ホール系  
Quantum Hall systems with the degrees of freedom of spin and two layer
- 単一アンチドットおよびアンチドット格子におけるコヒーレント量子輸送  
Coherent transport in single antidots and antidot arrays
- 半導体/強磁性体ハイブリッド構造  
Semiconductor/ferromagnet hybrid systems
- 超伝導体/強磁性体ハイブリッド構造  
Superconductor/ferromagnet hybrid systems





ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science  
<http://kats.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 勝本研究室

Katsumoto Group

教授  
Professor

勝本 信吾  
Shingo KATSUMOTO

助教  
Research Associate

阿部 英介  
Eisuke ABE

超薄膜による超構造、量子ドットやメゾスコピック干渉回路は様々なパラメーターを変化させることのできるデザイン可能な量子多体効果の実験場であり、「量子情報」を扱うための道具でもある。本研究室では超薄膜の成長から電子線描画を使った微細加工、低温強磁場下での電気伝導測定までを一貫して行い、設計自由度の高い実験を行っている。量子ドットの多体効果、コヒーレント伝導、スピン量子操作、量子 Hall 効果、希薄磁性半導体とそれを用いたスピントロニクスなど、多体効果、量子コヒーレンス（デコヒーレンス）をキーワードに、幅広いテーマを手がけている。

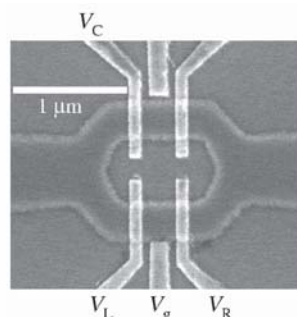
家研究室とは緊密な協力関係にある。また、所内はもとより、他部局・他大学にも高品質半導体薄膜試料を提供している。

Artificial materials such as stacks of ultra-thin films (superstructures), quantum dots or a mesoscopic interference circuits are laboratories for quantum many-body effects. We can tailor the systems as well as vary the parameters during an experiment. We begin with growing high-quality ultra-thin films then proceed to electron beam lithography to produce such quantum structures. The "throughout" fabrication brings us a large freedom in designing the experiments. Our main subjects are quantum many body effects, quantum coherence and decoherence. More specifically, the Kondo effect in quantum dots, coherent transport, coherent manipulation of electron spins, quantum Hall effects, diluted magnetic semiconductors and their applications to spintronics.

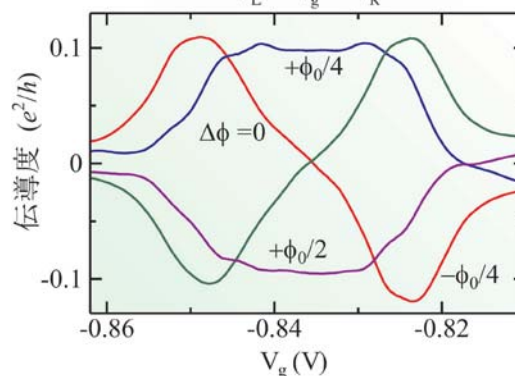
We are in collaboration with Iye-group. We provide high-quality semiconductor superstructure samples to other divisions in ISSP, and to other universities.



高品質半導体超薄膜を成長するための分子線エピタキシー装置。  
 Molecular beam epitaxy machine to grow high quality ultra-thin films of semiconductors.



量子ドットを Aharonov-Bohm (AB) リングに埋め込んだ系に現れた Fano 近藤効果。中央に位相シフトの  $\pi/2$  ロックを示す平坦部があり、線形が磁場によって変化する。挿入図は試料の電子顕微鏡写真。



Fano-Kondo lineshape observed in the conductance of an Aharonov-Bohm (AB) ring which has a quantum dot on one arm. The flat region at the center is due to the phase shift locking to  $\pi/2$ . The lineshape varies with the magnetic flux piercing the ring. The inset is a micrograph of the sample.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 量子ドットのコヒーレント伝導・スピン依存伝導  
Coherent transport and spin-dependent transport through quantum dot systems
2. 量子ドットのスピン状態とエンタングルメント、量子デコヒーレンス  
Quantum coherence/decoherence and spin states in quantum dots
3. 希薄磁性半導体を用いた単電子回路、スピン注入  
Diluted magnetic semiconductors and their applications to single-electron circuits, spin injection
4. 2次元正孔系を用いた量子構造（量子細線、量子ドット）  
Quantum structures based on two-dimensional hole systems



ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science  
<http://www.riken.jp/lab-www/nanomag/indexjpn.html>

# 大谷研究室

Otani Group

教授  
Professor

大谷 義近  
Yoshichika OTANI

助教  
Research Associate

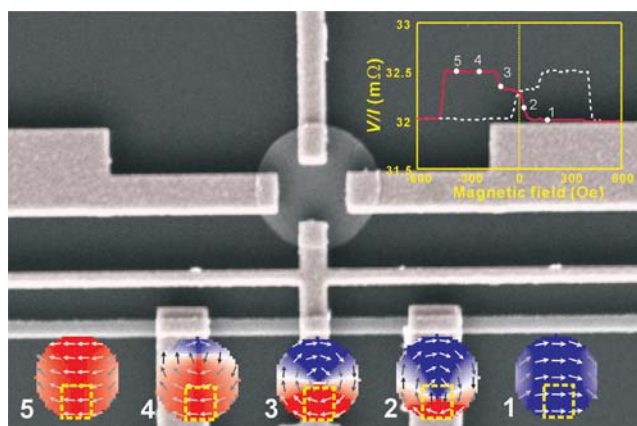
木村 崇  
Takashi KIMURA

ナノスケールの微小磁性体は、その形状やサイズを反映して、磁気渦や単磁区構造のような秩序状態にある磁区構造を取る。我々は実験的に、磁壁移動、磁化反転の量子的振舞いに対する知見を深めるために、ナノスケール磁性体の静的及び動的磁気特性を研究している。

また、ナノスケール磁性体から非局所手法を用いて取り出されるスピン流を用いて、スピン注入磁化反転、スピン蓄積、スピンホール効果等のスピントロニクス研究を行っている。さらに、生体系に特徴的なポテンシャルラチェットを用いた磁壁運動の制御やスピン流制御の研究も進めている。最終的にはこれらの技術やスピン注入によって生じる新規な磁性を応用してスピントロニクス素子に関する研究を進めている。

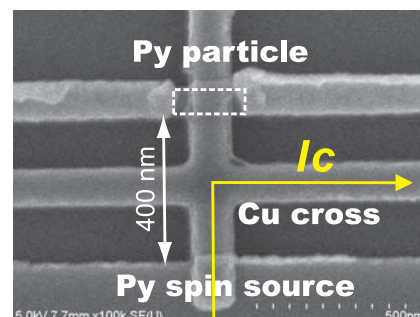
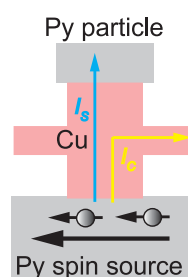
Nano-scale magnets can have, according to their shape and size, ordered domain structures such as magnetic vortices and single domains. We experimentally study static and dynamic properties of nano-scale magnets, to obtain a better understanding of the quantum behavior associated with domain wall displacement and magnetization reversal.

Moreover we employ non-locally produced spin-currents to study spintronic properties such as the spin injection magnetization reversal, the spin accumulation, and the Spin Hall Effect. Furthermore we try to manipulate the motion of nano-scale magnetic domain wall and conduction electron spins using the principle of the potential ratchet characteristic of biological systems.



強磁性円盤中に生成する磁気渦のカイラリティーを決定するための非局所スピンバルブ素子の走査電子顕微鏡 (SEM) 像とスピンバルブ信号の測定結果。図中数字で示した磁化状態はスピンバルブ信号曲線上の数字に対応する。

Scanning electron microscope image of a non-local spin valve device to determine the spin chirality of a magnetic vortex confined in a magnetic disk. The inset shows a spin valve signal where the numbers on the curve correspond to magnetic configuration.



スピン流のみを用いた面内磁化反転素子の模式図と作製された素子の SEM 像。

Schematic diagram and scanning electron microscope image of a fabricated magnetic switching device operated by using only spin currents.

## 研究テーマ Research Subjects

1. ナノスケール磁性体のスピンドYNAMICSに関する研究  
Static and dynamic magnetic properties of nano-scale magnets
2. スピン注入及びスピントランスファーによって誘起される磁性に関する研究  
Magnetism induced by spin injection and spin transfer
3. 非対称ポテンシャルを用いたナノスピントロニクス素子の研究・開発  
Development of spintronic devices using asymmetric potential





ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science  
<http://komori.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 小森研究室

Komori Group

教授  
Professor

小森 文夫  
Fumio KOMORI

助教  
Research Associate

中辻 寛  
Kan NAKATSUJI

固体表面に形成されるナノスケール物質、合金、化合物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、磁気カー効果測定を用いて研究を行なっている。極低温 STMを用いたトンネル分光では局所的な電子状態を、角度分解光電子分光ではフェルミエネルギー以下の電子状態を調べている。(Fig. 1) 磁気カー効果測定では、超薄膜や超微粒子強磁性体配列の磁気秩序形成および磁化回転現象を観測している。また、ナノスケール物質、表面合金や化合物の研究において重要な試料作成に関連して、電子状態測定と STM 観察により、これらの形成における動的原子過程を調べている。特に表面では、トンネル電子やレーザー光によって励起された電子系のエネルギーが格子系へ緩和する過程を用いて、新奇な物質を作成することもできる。そこで、トンネル電子注入による原子操作 (Fig. 2) の機構について研究している。

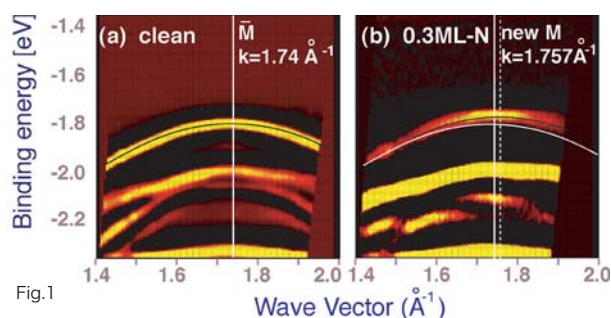


Fig.1 角度分解光電子分光によって調べた清浄な銅 (001) 面 (a) と窒素が部分的に吸着した銅 (001) 面 (b) の M 点付近の銅表面電子構造の比較。各図の一番上の黄赤色の太線が表面状態のバンド分散を表し、図 (b) の白い線が図 (a) の黒い線に対応している。図 (b) では、吸着した窒素原子によって銅清浄表面の格子が圧縮されるために、表面電子バンドのエネルギーが清浄な銅 (001) 面に比べて高くなり、ブリュアンゾーン境界の波数も大きくなる。

Band structures around M on clean (a) and partially N-covered (b) Cu(001) surfaces studied by ARUPS. The lattice of the clean Cu area on the latter surface is compressed and the electronic structure changes. On the N-covered surface, the Cu surface band shown as the upper yellow-red curve in (a) shifts upward, and the wave number at the boundary of the surface Brillouin zone increases as in (b).

Electronic and magnetic properties of alloys, compounds and materials with nanometer-scale structure at solid surfaces are studied by using scanning tunneling microscopy/spectroscopy (STM/STS), photoelectron spectroscopy and magneto-optical Kerr-rotation measurement in an ultra high vacuum. Band structures of the surface states and the chemical bonds are studied by photoelectron spectroscopy using VUV light (Fig.1) and soft-X-ray. The structures and the formation processes of surface nano-structured materials, and the atom processes induced by electron tunneling (Fig. 2) or photo-excited carriers are examined by STM.

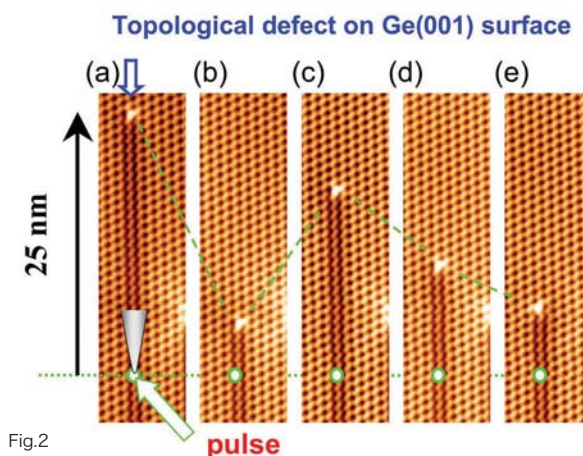


Fig.2

STM 探針からゲルマニウム (001) 清浄面表面空状態に電子を局所的にトンネル注入し、注入点から離れた位置の原子を移動させる様子を示すの STM 像。試料温度 80 K で、図 (a) の白い点位置に電子を注入すると、数 10 nm 離れた位置の位相欠陥が一次的に移動する。図 (b-e) のように、電子を注入することにより、この移動が生じる。これは、表面状態励起電子が表面を伝播し、その電子系のエネルギーが電子格子相互作用により格子系に移ることによって生じている。

Successive STM images of the same area of a Ge(001) surface including a topological defect at 80 K. The defect moves after injecting tunneling electron at the point of white circle in each image as in its right image. The injected hot carrier propagates in the surface states and induces an atom motion at the defect.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 表面ナノ構造物質における電子状態の局所的な空間変化  
Local electronic states at the surfaces of nano-structured materials
2. トンネル電子やレーザー光励起による表面現象  
Surface dynamical phenomena induced by electron tunneling and photo-excitation
3. 表面ナノ構造物質の電子状態と磁性  
Electronic states and magnetism of nano-structured materials
4. 表面ナノ構造物質の形成過程  
Formation processes of nano-structured materials at surfaces



ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science  
<http://yoshinobu.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 吉信研究室

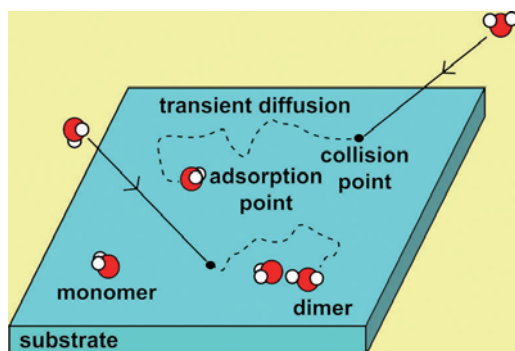
Yoshinobu Group

教授  
Professor

吉信 淳  
Jun YOSHINOBU

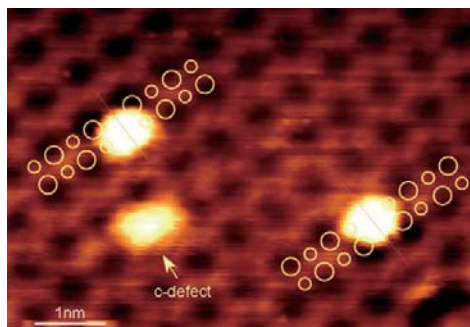
表面界面の特徴の一つは、バルクの対称性が破れ表面特有の構造や物性が現れることだけではない。外部から原子・分子を自在に表面に供給し、新しい物質を構築できる「反応場」として利用できることが特長である。最近では、原子・分子レベルで制御されたナノマテリアル（例えば、サイズの整ったクラスター、異方性の強い低次元化合物、配向の特定された分子凝集系など）や、ナノスケールで人工デバイス構造を作製することも可能になってきた。原子スケールで反応を制御するためには、表面における物質移動や反応などを理解することが不可欠である。表面ダイナミクスの研究は、触媒反応・半導体プロセス・分子エレクトロニクスと密接に関連しており、宇宙における分子進化についても手がかりを与えてくれる。当研究室では、表面や界面における原子・分子の動的挙動、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を駆使して研究している。また、必要に応じてシンクロトロン放射光（UVSOR、KEK-PF、SPRING8）を用いた実験も行っている。

Solid surfaces are very intriguing, because novel structures and electronic properties emerge as a result of symmetry breaking of bulk. In addition, a solid surface plays an important role as “low dimensional reaction field”, on which we can provide atoms and molecules and manipulate them deliberately. In order to fabricate atomically-controlled surface materials, we have to understand the dynamical behavior of atoms and molecules on surfaces. The research of these subjects is closely related to the basics of catalysis, semiconductor processes and molecular electronics. In addition, we can simulate chemical reactions on cosmic dust with laboratory experiments in ultrahigh vacuum at low temperature. We have utilized surface vibrational spectroscopy, photoelectron spectroscopy and scanning tunneling microscopy in order to investigate structures, reactions and electronic properties of atoms and molecules on surfaces. Synchrotron radiation (UVSOR, KEK-PF, SPRING8) is also used to study electronic structure of surface and interface.



20 K の Rh(111) 表面における水分子の過渡的拡散とクラスターの形成過程のモデル

Transient diffusion and cluster formation of water molecules on Rh(111) at 20 K



Si(100)c(4x2) 表面に位置選択的に吸着した 2-メチルプロペンの STM 像  
 STM image of the regioselective cycloaddition reaction of 2-methylpropene with the asymmetric dimer on Si(100)c(4x2)

## 研究テーマ Research Subjects

1. 有機分子＝半導体表面ハイブリッド系の構築と吸着分子の電子物性  
Organic molecules on Si surface as novel hybrid systems
2. 金属表面における原子・分子の動的過程の研究  
Dynamical processes of atoms and molecules on metal surfaces
3. 水分子と表面の相互作用；氷の表面界面における化学反応  
Surface and interface chemistry of ice
4. 放射光分光による表面および界面の電子状態  
Investigation of electronic states at surface and interface





ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science  
<http://hasegawa.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 長谷川研究室

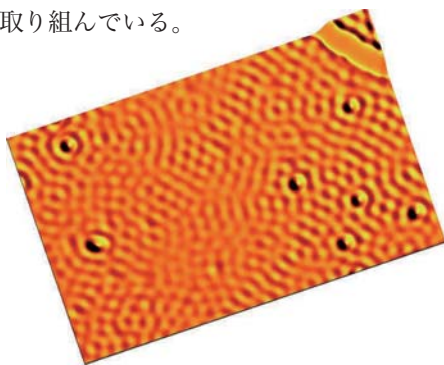
Hasegawa Group

准教授 長谷川 幸雄  
 Associate Professor Yukio HASEGAWA  
 助教 江口 豊明  
 Research Associate Toyooki EGUCHI

走査トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM) など探針 (プローブ) を用いた顕微鏡を主たる手法として、表面での原子構造や組成・電子物性のナノスケール計測・物性評価を行うとともに、それらの制御を目指して研究を進めている。

STMでは、液体ヘリウム温度以下の熱擾乱を抑えた条件下での顕微鏡操作により、原子を一つずつ動かし任意形状に配列させることによる表面電子状態の制御技術や高精度での局所電子状態測定技術などを駆使し、電子定在波や遮蔽ポテンシャル・フリーデル振動、微小超伝導体のギャップ測定など、他の手法では観測不可能な現象の観測評価を行っている。またAFMでは、力検出感度を限界にまで高めることにより世界最高分解能での表面原子像観察を可能とし、原子間力計測や表面電位 (ポテンシャル) 分布の精密測定に応用している。

超低温・磁場中・放射光下といった特殊環境下でのプローブ顕微鏡の開発、プローブ顕微鏡を使ったナノリソグラフィ法の確立、新たなプローブ分析手法の探索にも積極的に取り組んでいる。



銅 (111) 表面のSTM像。表面電子状態が表面上のステップや欠陥構造に散乱されて、電子定在波 (周期: 1.4 nm) を形成している。

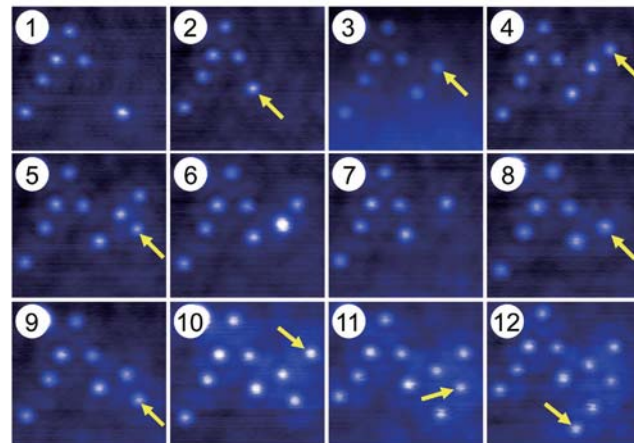
An STM image of Cu(111) surface. Electron standing waves, which are formed as a result of scattering and interference of surface electronic states by steps and surface defects, are observed. The wave length of the oscillatory structure is 1.4 nm.

Using scanning tunneling microscope (STM) and atomic force microscope (AFM), we investigate the properties of atoms and electrons on surfaces with an aim of finding new physics in nanometer scales.

Eliminating thermal fluctuations and disturbances, low-temperature STMs allow us to measure surface electronic states locally with very high energy and spatial resolutions and to control them precisely by arranging individual atoms on surfaces with the probe tip. Using the setups, we have observed electron standing waves, screened potential and the Friedel oscillation, and the superconducting gap of individual nano-size particles.

By improving a force sensitivity of the AFM probe to the ultimate level, we achieved the world-best high resolution AFM imaging, and now use it for measuring surface electrostatic potential accurately in a nanometer scale spatial resolution.

We are also engaged in developments of probe microscopes under various extreme conditions, such as, ultralow temperature, high magnetic field, or under an irradiation of synchrotron radiation light, and new functional and analytical methods with probes such as AFM lithography.



STMによる原子マニピュレーション。銅 (111) 表面上で銅原子を一つずつ移動させ、Mの文字を書いている。観察領域の大きさは8nm × 8nm。

Atomic manipulation by STM: an alphabetical character of "M" is written with 11 Cu atoms on Cu(111) surface. The size of the observed area is 8 nm × 8 nm.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 低温 STM による電子定在波・フリーデル振動など表面電子状態の研究  
Low temperature STM on surface electronic properties by observation of electron standing waves and the Friedel oscillation
2. STM によるナノサイズ粒子の超伝導特性に関する研究  
Superconductivity of nano-size particles by STM
3. AFM を用いた表面ポテンシャル測定・電気抵抗分布測定  
Measurements of surface potential and electrical conductance by AFM
4. 新しいプローブ手法の開発とそれによる新奇の物性探索  
Developments of new probe microscopes and its applications for exploring novel properties of materials



ナノスケール物性研究部門 Division of Nanoscale Science  
<http://lippmaa.issp.u-tokyo.ac.jp>

# リップマー研究室

Lippmaa Group

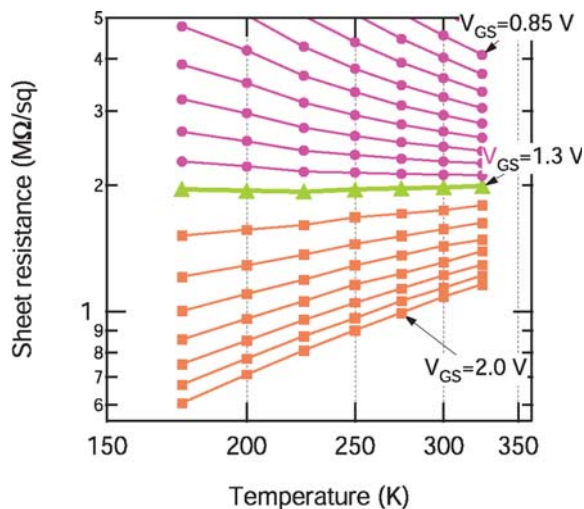
准教授 Associate Professor リップマー ミック Mikk LIPPMAN  
 助教 Research Associate 大西 剛 Tsuyoshi OHNISHI

遷移金属酸化物は類似な構造をもつ化合物ながら多種多様な電子的基底状態を示す。その電子状態遷移は多くの場合キャリア密度の変化によって引き起こされる。

本研究室では電界効果デバイスを作製することによって、キャリア密度に依存する酸化物の電子的相転移の研究をしている。電界効果デバイスでは外部電界印加により界面層のキャリア濃度を変調できる。特に、ドーパント濃度によって絶縁体、半導体、金属、そして超伝導体にもなる SrTiO<sub>3</sub> の輸送特性に注目している。これまでに簡単なトランジスタ構造を作製することにより、金属-絶縁体転移が電界効果ドーピングによって誘起できることを実証した。さらに、局所的な強電界を発生できる強誘電薄膜を用いると金属-超伝導転移も引き起こすことができる。

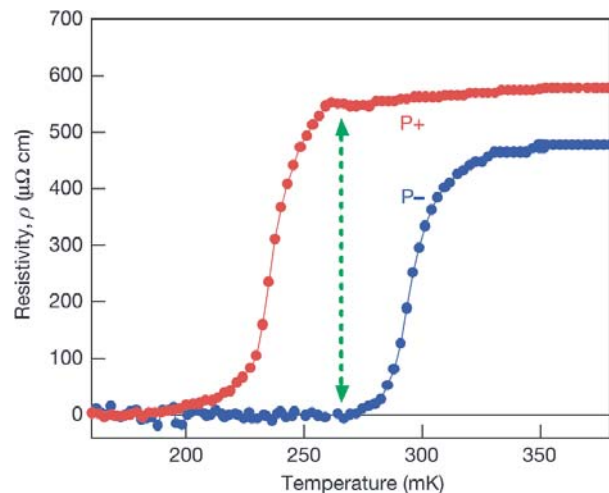
Transition metal oxides are well known for the large variety of different electronic ground states that occur in structurally similar compounds. Transitions between electronic states can often be induced by changing the carrier density in oxide materials.

We study carrier density dependent phase transitions in oxides by constructing field-effect devices, in which the carrier concentration of a thin interface layer can be modulated by applying an external electric field. In particular, we study the transport behavior of devices based on SrTiO<sub>3</sub>, which can be an insulator, a semiconductor, a metal, or even a superconductor, depending on dopant density. In our case, we have successfully demonstrated that field-effect doping can be used to generate a metal-to-insulator transition in a simple transistor structure. Even a normal-to-superconductor transition can be induced, when a ferroelectric film is used to generate a sufficiently high local electric field.



SrTiO<sub>3</sub> 電界効果トランジスタにおけるシート抵抗の温度、ゲート電圧依存性。1.3 V の臨界ゲート電圧を境に絶縁相から金属相へ転移する。この時の SrTiO<sub>3</sub> / 絶縁体界面でのシートキャリア密度は  $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  である。

Sheet resistance of a SrTiO<sub>3</sub> field-effect transistor as a function of temperature and gate bias. The device shows a transition from an insulating state to a metallic state at a critical gate bias of 1.3V, which corresponds to a sheet carrier density of  $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  at the SrTiO<sub>3</sub> / insulator interface.



Nb ドープ SrTiO<sub>3</sub> 薄膜の超伝導転移温度変調。Nb ドープ SrTiO<sub>3</sub> 薄膜の上に成長した強誘電性 Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> 薄膜の自発分極方位を入れ替えることで転移温度変調に必要な電界を発生した。

Modulation of the superconducting transition temperature in a Nb-doped SrTiO<sub>3</sub> film. The necessary electric field was generated by changing the poling direction of a ferroelectric Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> film that was grown on top of the SrTiO<sub>3</sub> film.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 酸化物ヘテロ界面での薄膜成長ダイナミクス  
Thin film growth dynamics at oxide heterointerfaces
2. 酸化物ナノ構造の作製  
Growth of oxide nanostructures
3. 酸化物電化効果デバイス  
Oxide field-effect devices





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

## 小林研究室

Kobayashi Group

客員准教授  
Visiting Associate Professor

小林 伸彦  
Nobuhiko KOBAYASHI

ナノメートルスケール系の伝導現象の理論研究を行っている。このナノスケール系の伝導現象は、量子効果が顕著に現れ、基礎科学として学術的に興味深いとともに、ナノエレクトロニクスに代表されるように将来のエレクトロニクス応用のためにも解明すべき重要な課題である。また、それを解析するための電子状態計算理論、シミュレーションのための計算理論の発展も必要である。そのため、原子細線、単一分子、カーボンナノチューブ等のナノスケール系の電気伝導特性の理論・シミュレーション解析を行い、それらを応用したナノスケール素子、単一分子素子、ナノスケールトランジスタの研究を行うとともに、そのための理論的方法論として非平衡系の密度汎関数理論、量子輸送特性のための第一原理電気伝導計算法、計算時間が原子数の比例で抑えられるオーダーN計算法等の研究を進めている。

Transport phenomena in nanometer scale systems are main subjects of our theoretical research. The analyses of the transport in nanoscale systems, where quantum effects are dominant, are important not only from viewpoints of basic science but also technological applications towards nanoelectronics. The progress in the theoretical approach for the analyses is also necessary. Therefore, we study theoretically quantum transport in nanoscale systems such as atomic wires, single molecules and carbon nanotubes to discuss nanoscale devices, molecular devices, and nanoscale transistors. Furthermore, we study the density functional theory in non-equilibrium systems, the first-principle approach to quantum transport, and the  $O(N)$  algorithm.



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

## ロッセイ研究室

Rosei Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

ロッセイ フェデリコ  
Federico ROSEI

我々は、無機物と有機物からなるナノ構造物質の成長、作成およびその物性に焦点をあてて研究を行っている。それらの大きさは1-100 nmのサイズであり、その低次元性により新奇な性質が発現している。現在は、シリコン基板上のゲルマニウムナノ構造、シリコン酸化物中のゲルマニウムやシリコンのナノ粒子、超分子複合体、分子スイッチ、金属ナノ構造、金属炭化物、カーボンナノチューブ、強誘電体ナノ構造および生体適合性物質などに興味をもっている。また、基板上に任意の複合酸化物ナノ構造を作成する技術として、ナノステンシル法を開発した。さらに、ナノサイズの分解能をもつ化学分析手法として、光電子顕微鏡を用いた方法も開発している。

My research program focuses on the growth, processing and characterization of nanostructured materials. Such materials have dimensions in the range 1-100 nm, and exhibit new properties because of their reduced dimensionality. We study inorganic as well as organic nanostructures. The systems we investigate include Ge nanostructures grown on Silicon substrates, Germanium and Silicon nanoclusters embedded in a Silicon oxide matrix, supramolecular assemblies, molecular switches, metal nanostructures, metal carbides, carbon nanotubes, ferroelectric nanostructures and nanostructured biocompatible materials. We have developed a nanostencil lithography technique to control the positioning of complex oxide nanostructures on a substrate. Finally, we have developed a technique based on photoemission electron microscopy which yields chemical mapping with nanoscale resolution.



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

# ブリック研究室

Blick Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

ブリック ロバート  
Robert BLICK

物性研究所において、勝本グループと協力して、新しい「ドーピングされた機械的ナノ構造」(D-NEMS)の開発に取り組んだ[1]。これまでのNEMS研究では、機械的な共振器としての興味が中心であったが、我々は基板のない半導体薄膜にドーピングを施したものを対象として、機械的のみならず、結晶成長、構造、伝導デバイスへの応用を総合的に研究しようとするものである。ここで、「ドーピング」とは、拡散ばかりでなく、分子線エビタキシを用いた変調ドーピングやヘテロ構造により、2次元電子系や量子井戸を作り出すことを含む。手始めに、NEMS構造内での2次元電子系の移動度を最大とするための積層構造の検討を行っている。懸架薄膜をできるだけ薄く取るため、単一ヘテロ接合を検討している。この研究においては、面の曲率が弾道的な伝導に及ぼす影響を調べている。特に、チューブ型、あるいはリボン型の試料は、2次元電子に対するトポロジーの影響を調べる上で興味深い。

During my visit at the ISSP I collaborated with the Katsumoto group on developing a new class of doped nano-electromechanical systems – or D-NEMS [1]. In contrast to earlier approaches which focus on rather simple mechanical resonators, we began a comprehensive study of the growth, structuring, and application of ultra-thin doped membranes. In this context the term doped refers to the inclusion of a low-dimensional electron gas or several layers of high mobility carriers (electrons and/or holes) into the membrane by using molecular beam epitaxy. With the first grown substrates we optimized the layer sequence to achieve the highest possible electron mobility. In order to minimize the membrane thinness at the same time, only a single doping layer is integrated. This approach we are exploiting to study ballistic electron transport in plane and curved geometries. Especially, non-conventional geometries such as tubes and ribbons are of great interest for studying the influence of topology on two-dimensional electron systems [2].

[1] D.V. Scheible *et al.*, 'Doped Nano-Electromechanical Systems', submitted to Rapid Research Letters, August (2007).

[2] N. Shaji *et al.*, Applied Physics Letters **90**, 042101 (2007).

# 極限環境物性研究部門

## Division of Physics in Extreme Conditions

物質を超低温、超高压、強磁場、などの極限環境におくと、通常の状態とはまったく異なる性質を示すようになる。超低温における超流動や超伝導現象、超高压における構造相転移や絶縁体・金属転移、強磁場における磁気相転移などが良く知られた例である。これらの著しい現象は、しばしば従来の理論の枠組みの変更を促し、物性研究の新しい局面を切り開くものである。物性研究所では、これまで多年にわたり各種の技術開発を行い、200 万気圧を越える超高压、数 10 マイクロケルビンにおよぶ超低温、毎秒 1 回転の核冷凍システムなど世界最高水準の極限環境の実現に成功し、それらの下で多くの新しい現象を見出してきた。当部門では、これまで蓄積された技術をさらに発展させ、極限的な領域での物性を開拓するとともに、これらの極限環境と超伝導磁石による定常強磁場を組み合わせた多重極限環境での新しい物性研究を行っている。主な研究対象としては、

- 1) 超低温・強磁場下の低次元量子流体・固体
- 2) 回転する超流動ヘリウム、超流動固体
- 3) 有機伝導体や半導体の低次元・メソスコピック系
- 4) 多重極限下における相関の強い 4f・5f 電子系

This division is organized to pursue the study of physical properties of condensed matters under extreme conditions such as ultra-low temperatures, ultra-high pressures combined with steady high magnetic fields up to 20 T. In addition to these individual extreme conditions, physics under multiple extreme conditions is also emphasized. Under these conditions, novel phenomena, which cannot be understood in terms of existing theories and thus stimulate the creation of new concepts, are expected. Discoveries of such phenomena have often opened up new horizons in material science. Many outstanding instruments developed in this division, for example, are those which produce low temperatures down to a few tens of  $\mu\text{K}$ , high pressures up to 200 GPa and high speed rotation of cryostats at over 6 rad/sec. These machines are frequently used in collaboration with many scientists from all over Japan and abroad. Some of the main subjects are as follows,

- 1) Low dimensional quantum solid and liquid under ultra-low temperatures and high magnetic fields.
- 2) Liquid He in confined geometries under rotation, a possible supersolid  $^4\text{He}$ .
- 3) Low dimensional or mesoscopic systems such as organic or semi conductors under ultra-high magnetic fields.
- 4) Strongly correlated heavy electron systems such as 4f or 5f inter-metallic compounds under multiple extreme conditions.



キュービックアンビル型圧力発生装置。  
多重極限状態（低温・強磁場・高压）  
での物性測定が可能である。

Cubic anvil high pressure apparatus.  
Cryostat for experiment in multiple  
extreme condition of at low  
temperature, high magnetic field  
and high pressure.

教授 Professor	石本 英彦 Hidehiko ISHIMOTO	助教 Research Associate	山口 明 Akira YAMAGUCHI
准教授 Associate Professor	久保田 実 Minoru KUBOTA	助教 Research Associate	柄木 良友 Yoshitomo KARAKI
准教授 Associate Professor	長田 俊人 Toshihito OSADA	助教 Research Associate	鴻池 貴子 Takako KOUNOIKE
准教授 Associate Professor	上床 美也 Yoshiya UWATOKO	助教 Research Associate	松林 和幸 Kazuyuki MATSUBAYASHI
准教授（客員） Visiting Associate Professor	中島 美帆 Miho NAKASHIMA	技術専門員 Technical Associate	五十嵐 武 Takeshi IGARASHI
教授（外国人客員） Visiting Professor	ジョウ ジエンシー Janishi ZHOU	技術専門職員 Technical Associate	内田 和人 Kazuhiro UCHIDA
		技術専門職員 Technical Associate	中澤 和子 Kazuko NAKAZAWA





極限環境物性研究部門 Division of Physics in Extreme Conditions  
<http://ishimoto.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 石本研究室

Ishimoto Group

教授  
Professor

石本 英彦  
Hidehiko ISHIMOTO

助教  
Research Associate

山口 明  
Akira YAMAGUCHI

温度・磁場・圧力は物質の様相を決める最も基本的なパラメーターである。当研究室では核冷凍による世界最先端の  $\mu\text{K}$  温度域までの測定が可能で、超伝導磁石による定常強磁場 ( $< 20 \text{ T}$ )、高圧など他の極端条件とも組み合わせ、新しい量子現象の発見をめざしている。なかでも最もきれいで量子性の強い低次元量子流体・固体における新しいタイプの超流動や磁気秩序の探索、超流動ヘリウム  $A_1$  相のスピンダイナミクス、ナノスケール分子磁性体での巨視的量子トンネル現象など物性物理における基礎的概念の検証に関する実験を行っている。最近の課題の一つは、グラフォイル界面に吸着された2次元ヘリウム3である。とくに反強磁性領域の固体ヘリウム3は、三角格子による幾何学的形状のみならず多体交換相互作用の競合が存在するフラストレーションの強い系で、基底状態がスピン液体であることが示唆されている。10  $\mu\text{K}$  までの帯磁率測定からギャップレスであることが確かめられ、現在強磁場中の基底状態の探索が行われている。その他、磁場中でしか存在しない流動ヘリウム3の  $A_1$  相については、磁気噴水効果を用いてスピン緩和の測定が行われ、ほとんど存在しないと言われてきた少数スピン凝縮対の存在を示唆する結果が得られている。



Fig.1  
強磁場・核断熱消磁冷凍機  
A large nuclear demagnetization refrigerator in high magnetic fields.

Temperature (T), magnetic field (H) and pressure (P) are the most basic parameters which determine the state of condensed matter. Particularly our facilities cover the temperatures all the way down to  $\mu\text{K}$  produced with a nuclear magnetic refrigerator. Quest for novel quantum phenomena is carried out in such a low temperature region, combined with high magnetic field ( $< 20 \text{ T}$ ) produced by a superconducting magnet. Main activities are on the experimental verification of basic concepts in condensed matter physics such as 1) a quest for a new type of superfluidity or magnetic order in the two dimensional quantum liquid and solid 2) a spin fluid dynamics in superfluid  $^3\text{He}$   $A_1$  phase. 3) the quantum tunneling of magnetization in nano-scale molecular magnets. One of the recent results is a confirmation of gapless spin liquid ground state in solid  $^3\text{He}$  adsorbed on graphite which forms an ideal two dimensional anti-ferromagnetic triangular lattice. Investigation of its ground state in high magnetic fields is under way. The other work in high magnetic fields is a spin fluid dynamics in the superfluid  $^3\text{H}$   $A_1$  phase. A magnetic fountain effect has been used to investigate the spin relaxation phenomena. The results so far obtained suggest the existence of minute minority spin pair condensate in the  $A_1$  phase as is shown in Fig 2.

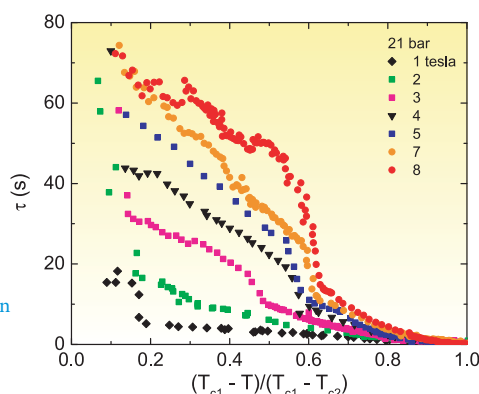


Fig.2  
超流動  $^3\text{He}$   $A_1$  相 ( $P= 21 \text{ bars}$ )  
におけるスピン緩和時間  
Spin lattice relaxation in superfluid  $^3\text{He}$   $A_1$  phase as a function of reduced temperature at 21 bars for various magnetic fields.  $T_{c1}$  and  $T_{c2}$  are the transition temperatures from the normal to  $A_1$  phase and from  $A_1$  to  $A_2$  phase.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 低次元ヘリウム3の磁性と超流動  
Magnetism and superfluidity in low dimensional  $^3\text{He}$
2. 強磁場中の偏極超流動ヘリウム3  
Highly polarized superfluid  $^3\text{He}$
3. 超低温・強磁場中のフェルミ流体中の荷電粒子  
Heavy charged particles in neutral Fermi liquid under high magnetic fields
4. 分子磁性体における量子磁化トンネリング  
Quantum tunneling of magnetization in molecular magnet
5. 金属間化合物の核磁性と超伝導  
Enhanced nuclear magnetism and superconductivity in intermetallic compounds



極限環境物性研究部門 Division of Physics in Extreme Conditions  
<http://kubota.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 久保田研究室

Kubota Group

准教授 久保田 実  
 Associate Professor Minoru KUBOTA  
 助教 柄木 良友  
 Research Associate Yoshitomo KARAKI

固体が超流動になる？

世界で初めてマイクロケルビンの超低温物性実験を行った一人である久保田は、本研究室では超低温までの広い温度範囲と、これまた独自に開発した技術で世界最高速の回転場の下で超流動と量子渦科学の基礎研究を行っている。

超流動現象は今や、希薄な気体 (BEC)、量子液体ばかりでなく、固体ヘリウム等の量子固体においても現実の現象として観測されるようになった。これは結晶格子の規則性と超流動の運動量空間での秩序とが共存するという量子力学の世界特有の現象である。が、未だ様々な議論が戦わされている。超流動とは、私たちが目で見る事の出来る巨視的な大きさの系で実現している量子現象である。「非古典的回転角運動量」を持つと言う。これはミクロな原子の中で電子が原子核の周りを旋回するのと同様に、減衰する事のない量子化した流れを、目に見えるサイズで持続する事を意味している。久保田研では世界で初めて固体超流動の渦糸観測を行なっている。

久保田研では、 $^4\text{He}$  (ボーズ粒子) 及び  $^3\text{He}$  (フェルミ粒子) 系の超流動を超低温のもと、回転下など極端な環境下に置いて超流動の本質を解明するとともに、固体ヘリウムなどの新たな系での超流動、量子渦糸などの量子現象の発見、解明を目指して研究している。この研究には、電荷を持たない超流動体に制御した量子渦糸を生成させるため写真の様な世界にまたない超低温回転冷凍機を用いて行っている。特殊装置を用いたこれらの実験的な、またその解明のため理論的な国内外のグループとの共同研究が進んでいる。

a) 毎秒 6 回転の高速回転稀釈冷凍機、及び b) 毎秒 1 回転迄の超低温回転冷凍機。どちらも世界最高の性能を誇る。

a)ISSP High Speed (up to 6 rev/sec) rotating dilution cryostat and b)ISSP Ultra low temperature rotating cryostat. Both of them enjoy the world record high speed.

Superfluidity in a Crystal?

Kubota was one of the few people who initiated condensed matter experiments at micro-Kelvin ultra low temperatures. Kubota group at ISSP conducts fundamental study on Superfluidity and Quantized vortices under rotation down to Ultra Low temperatures at the world highest speed below 1K. Superfluidity is now seen in dilute gases (Bose Einstein Condensation, BEC), in Quantum liquids, and very recently also in Quantum solids. Superfluidity really is a Quantum phenomena of macroscopic scales. The phenomena of Non Classical Rotational Inertia (NCRI), where some mass of the matter does not rotate with its rotating container, has long been thought to be peculiar to Bose Einstein condensates of certain liquids and gases, but recently it is observed also in bulk solid  $^4\text{He}$ . Solid crystals have regular lattice ordering. In addition superfluidity has an order in the momentum space simultaneously. This is a quantum phenomena at macroscopic scales.

Kubota group studies superfluidity of both fermion systems (liquid  $^3\text{He}$ , etc) and Bose systems ( $^4\text{He}$  systems, H systems, etc) under extreme conditions including under the world fastest rotation and ultra low temperatures. The group investigates not only known systems of superfluidity, but also new candidate systems to expect superfluidity and/or new quantum phenomena. And actually studying solid He under rotation. Superfluidity mediated by vacancy excitations other than solid  $^4\text{He}$  is also of great interest. The group cooperates with many groups of national and international teams for such activities.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 超流動と量子渦科学の基礎研究  
Fundamental study of superfluidity and quantized vortices
2. 新しい超流動と量子現象の探索と解明  
Search for new superfluids and quantum phenomena
3. 超低温物性研究  
Condensed matter study down to ultra low temperatures



極限環境物性研究部門 Division of Physics in Extreme Conditions  
<http://osada.issp.u-tokyo.ac.jp>

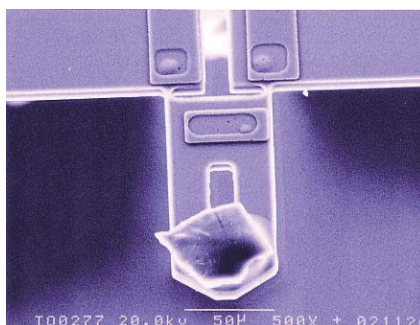
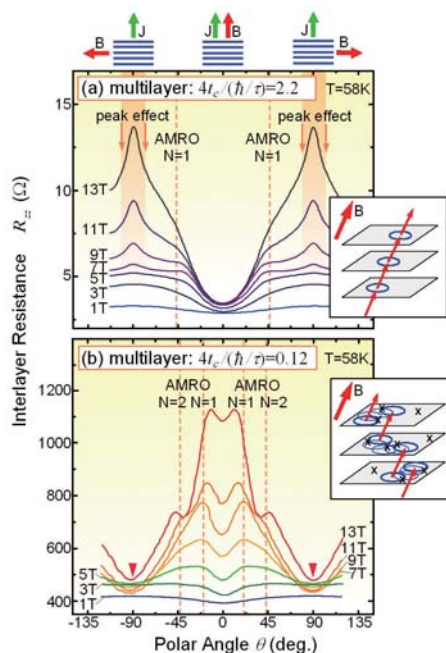
# 長田研究室

Osada Group

准教授 長田 俊人  
 Associate Professor Toshihito OSADA  
 助教 鴻池 貴子  
 Research Associate Takako KONOIKE

低次元・ナノ構造電子系の強磁場伝導物性。微小な空間構造を持つ電子系が、磁場中で示す新現象の探索・解明と制御・応用に関する研究を行う。特に電子軌道運動・磁束（電子渦）・系の空間構造（トポロジー）の整合性に絡んだ量子効果・幾何効果・多体効果に興味がある。現在の研究対象は超薄膜グラファイト（グラフェン）やTMTSF系・BEDT-TTF系有機導体などの低次元導電性結晶、分子線エピタキシー・電子線リソグラフィ等のプロセス技術を用いて作製した半導体・超伝導体人工ナノ構造などである。全磁場方位依存性の精密計測、小型パルス磁石による強磁場計測、マイクロマシン素子による微細計測など、低温強磁場下の電氣的・磁氣的・熱的測定により新しい伝導現象や電子状態に関する研究を機動的に行っている。

Transport study of low-dimensional or nano-structure electron systems under high magnetic fields: To search for new phenomena in electron systems with small spatial structures, to clarify their mechanisms, and to control them for application. We have a great interest in quantum effects, topological effects, or many-body effects relating to commensurability among electron orbital motions, vortices (magnetic flux), and spatial structures (topology). The present targets are low-dimensional conducting crystals (ultra-thin film graphite, TMTSF and BEDT-TTF families of organic conductors), and artificial semiconductor and superconductor microstructures fabricated by advanced processing techniques like MBE or EB. We flexibly explore new transport phenomena and electronic states by electric, magnetic, and thermal measurements using precise field rotation, miniature pulse magnet, MEMS probes, etc. under magnetic fields and low temperatures.



100 ナノグラムの微小単結晶試料をセットしたカンチレバーの走査電子顕微鏡像。市販のAFM用カンチレバーを利用して精密磁気トルク測定が可能となった。

Scanning electron microscope image of the micro-cantilever on which a small sample crystal with the mass of 100ng is mounted. Precise magnetic torque measurement have become possible using commercially available AFM cantilever.

半導体超格子の層間磁気抵抗の磁場方位依存性。(a) コヒーレントな層間結合を持つ場合（層間トンネル頻度が散乱頻度より高い場合）。(b) インコヒーレントな層間結合を持つ場合。層状物質の層間磁気抵抗の角度依存性のバックグラウンドの振舞いが層間コヒーレンスの違いに起因することを示した実験である。

Dependence of interlayer magnetoresistance on magnetic field orientations in semiconductor superlattices. (a) Case of coherent interlayer coupling (interlayer tunneling occurs much frequently than scattering). (b) Case of incoherent interlayer coupling. This is the experiment which shows that the background angle-dependence of interlayer magnetoresistance depends on the coherence of interlayer coupling in layered conductors.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 超薄膜グラファイトの電子物性  
Transport properties of ultra-thin film graphite
2. 層状物質の角度依存層間磁気伝導と層間コヒーレンス  
Interlayer coherence and angle-dependent magnetotransport in layered conductors
3. 低次元有機導体の磁場中電荷・スピン密度波状態  
Charge/spin density waves under magnetic fields in low-dimensional organic conductors
4. 多層量子ホール系のカイラル表面状態  
Chiral surface state in multilayer quantum Hall systems
5. 電場磁場中ブロッホ電子系におけるカオスと電気伝導  
Chaos and electron transport in Bloch electron systems under magnetic and electric fields





極限環境物性研究部門 Division of Physics in Extreme Conditions  
<http://uwatoko.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 上床研究室

Uwatoko Group

准教授 上床 美也  
 Associate Professor Yoshiya UWATOKO  
 助教 松林 和幸  
 Research Associate Kazuyuki MATSUBAYASHI

高圧下物性測定は、これまで見いだされている物性研究における数奇物性現象の起源解明、さらには新しい事象の発見につながる可能性を内在している魅力的な研究の一つである。特に、強相関電子系物質を研究している研究者を中心とした物性研究に於いては、極低温および強磁場に超高圧を組み合わせた多重極限環境は、物性研究をする上での多くの情報をもたらす最良の環境であると思われる。しかし、物性研究に求められる、“精密さ”を満足した多重極限を作り出すことは、極めて困難であり、特に、超高圧発生技術の遅れがその足枷となっている。

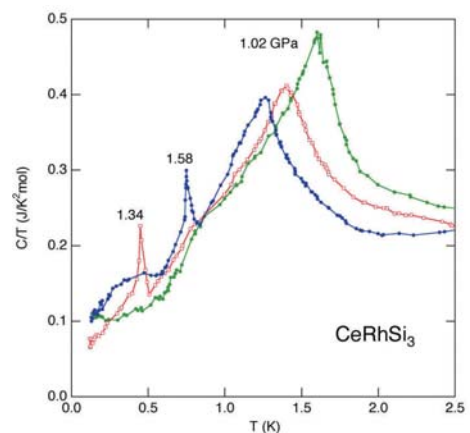
当研究室では、超高圧技術の開発そのものに挑戦的に取り組み、低温や高磁場と同様な手軽さで、高精度の超高圧を発生することを目指し、極低温および定常強磁場を駆使した極限環境下での物性研究を進めている。結晶固体には格子の振動の自由度と、電子の電荷、スピン、軌道という基本的な自由度があり、強相関電子系物質ではこれらが複雑に絡み合いながら種々の相互作用が競合している。「極低温、超高圧下で、物質はどのような性質を見せるのか？また、その出現機構はどうなっているのか？」。圧力下比熱、電気抵抗、磁化、X線回折、中性子回折などの測定を通して下記の研究テーマを進めている。また、物性研究所の役割の一つである共同利用も活発に行っている。

新しく開発された Palm Cubic Anvil 圧力装置。重量が従来の10分の1になったが、発生圧力は従来と同様に8 GPa程度発生することが可能である。

The weight became 10 times smaller than the Old Cubic Anvil apparatus, but can generate up to 8 GPa, as same as the previous one.



The group of the high pressure has been studying various materials at low temperature, under high pressure and in the presence of high magnetic fields. Nowadays, low temperature and ultra-high pressure techniques have become popular as an indispensable method for research in solid state physics. Through these techniques, the study of strongly correlated electron systems, which is one of the most important themes in modern solid state physics, has been undertaken. The creation of such an experimental environment is not always easy and the development of the techniques itself is often a challenging attempt. Considering that many mysterious phenomena observed in the strongly correlated electron systems result from the electron-phonon and electron-electron interactions in a solid, we foresee the discovery of various unknown phenomena under multi-extreme condition, since the degree of these interactions strongly depends on the inter-atomic distances and the density of electronic states.



圧力誘起超伝導体 CeRhSi<sub>3</sub> の圧力下比熱測定の結果。1.1 GPa 以上の圧力下において超伝導転移に伴う新しいピークが出現した。加圧とともに超伝導転移温度は上昇している。本研究により、CeRhSi<sub>3</sub> の圧力誘起の超伝導相がバルクなものであることが明らかとなった。

A result of specific heat measurements under high pressure on the pressure induced superconductor CeRhSi<sub>3</sub>. A new peak due to superconducting transition appears at  $P = 1.1$  GPa. The superconducting transition temperature rises with increasing pressure. In this study, it became clear that pressure-induced superconductivity of CeRhSi<sub>3</sub> is a bulk property.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 多重極限環境下での新規物性現象の探索  
Search for new physical phenomena under multi-extreme conditions
2. 強相関系物質における圧力誘起相転移の物性研究  
Study of the pressure induced phase transitions in strongly correlated electron systems
3. 多重極限下における精密物性測定手段の開発  
Development of the physical property measurement systems under the multi-extreme conditions
4. 10 GPa 級超高圧発生技術と極低温精密物性測定  
The 10 GPa-class high pressure generating technology and the physical property measurements in the dilution refrigerator temperature range



極限環境物性研究部門 Division of Physics in Extreme Conditions

## 中島研究室

Nakashima Group

客員准教授  
Visiting Associate Professor

中島 美帆  
Miho NAKASHIMA

有効質量が電子の質量の 100 ~ 1000 倍にもおよぶ準粒子状態を形成する重い電子系（強相関系）物質はそれだけで興味深い現象であるが、さらに、重い電子系における超伝導の発見は、それまでの超伝導理論を大きく揺るがすものであった。重い電子系の起源は、クーロン反発力により電子同士が互いに避けあう効果（電子相関）であり、この強い相関のなかでは、格子振動を媒介として電子対が形成されることは考えられず、新しい電子対の形成機構が必要となるからである。さらに、あるセリウム化合物やウラン化合物の中に、高い圧力をかけてはじめて超伝導が出現する物質（圧力誘起超伝導体）が発見されている。これは圧力によって原子間距離を縮めることで人工的に重い電子系をつくりだし、さらに超伝導を出現させていることになる。この研究室では新しい圧力誘起超伝導体の発見を第一目標にし、重い電子系超伝導の真の姿に迫ろうとしている。

Strongly correlated electron system not only interest us by verious phenomena but also compel us to change the conventional model of superconductivity after the discovery of superconductivity in the systems. Because the origin of strong electron correlation is the Coulomb repulsion among electrons, electron pairs mediated by lattice vibration (phonon) is unlikely in this system, it is required new mechanism for pairing the electrons. Moreover, superconductivity appears with application of high pressure in some cerium and uranium compounds, which is called “pressure-induced superconductivity”. It means that we can control the strongly correlated electron systems and superconductivity by changing lattice constants of the compounds with applying high pressure. The goals of our laboratory are the discovery of new pressure-induced superconductor and coming out the truth of the superconductivity in strongly correlated system.



極限環境物性研究部門 Division of Physics in Extreme Conditions

## ジョウ研究室

Zhou Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

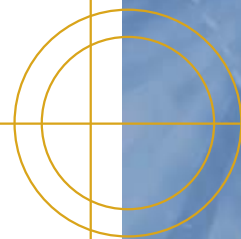
ジェンシー ジョウ  
Jianshi ZHOU

これまで、我々の研究室ではペロブスカイト構造を示す遷移金属酸化物  $\text{RMO}_3$  (R= 希土類金属) を中心に研究を進めてきた。この斜方晶ペロブスカイト構造に存在する八面体サイトの配置角度の状態により、電荷秩序、スピン秩序そして軌道秩序と言った複雑な現象が起こる。また、これらの現象はこの八面体サイトのひずみ具合にも影響される。この配置角度およびひずみの大きさは、希土類金属の置換や静水圧力によって制御できる。希土類金属を置換した時の研究は、 $\text{RVO}_3$  においてなされ、成功を収めた。さらに研究を深めるため、上床研究室と協力し静水圧力下での物性研究を行い、上記現象の起源を明らかにする。

For years, we have focused on the transition-metal oxides  $\text{RMO}_3$  (R= rare earth) with the perovskite structure which exhibit many interesting transport and magnetic properties. The tilting systems of the octahedral-site rotations in the orthorhombic perovskite structure can accommodate complex charge orderings, spin orderings, and orbital orderings. Moreover, the intrinsic octahedral-site distortion biases strongly the physical properties. The octahedral-site tilting and distortions can be adjusted continuously either by the rare-earth substitution or hydrostatic pressure. The chemical substitution makes it possible for a specific interplay between spin, orbital, and charge orderings to occur whereas hydrostatic pressure allows to reveal the physical properties associated with the interplay more precisely. This approach is exemplified in the study of orbital/spin orderings for the  $\text{RVO}_3$ . In order to reach the research goals, we have setup facilities including crystal growth, high-pressure synthesis, material characterization, and measurements of physical properties under pressure.

# 先端分光研究部門

## Division of Advanced Spectroscopy



先端分光部門では、X線からテラヘルツにいたる幅広いエネルギー範囲において、新しい分光計測手法や先端的な光源を開発し、それらを用いた物性研究を行っている。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を有し、極限的性能を持つレーザーの開発や、レーザーを用いた物性研究を行っている。また、シンクロトロン放射光を用いる実験は、フォトンファクトリー（筑波）、SPRING-8（兵庫県）などに恒常的に装置を設置して行っている。

現在、主なテーマとして、

- ・超短パルス高出力レーザーによる高光電場下の物理と、アト秒パルス発生の研究
  - ・高出力レーザーによる高密度プラズマを用いた軟X線レーザーの開発
  - ・超高速分光による波束ダイナミクスと光誘起相転移の研究
  - ・超微細低しきい値量子細線半導体レーザーの開発と顕微分光、ホタル生物発光の研究
  - ・高分解能光電子分光、軟X線発光、共鳴逆光電子分光を用いた固体の電子状態の研究
  - ・X線光学、X線回折・散乱を利用した表面・界面・ナノ構造の研究
- などを推進している。

Light is a versatile tool for investigation of the materials such as semiconductors, metals, organic and biological materials as well as strongly-correlated electron systems. Recent developments in lasers and electron accelerators along with the novel measurement techniques have been providing us innovative experimental tools.

Our division is responsible for the advanced spectroscopy applied to material researches and also the development of new coherent light sources based on laser technology over a wide spectrum range from X-ray to terahertz. Most of the research activities on the development of new lasers with an extreme performance and the application to material science are directed in a specially designed building with a large clean room and an isolated floor in Kashiwa Campus. The experiments utilizing the synchrotron radiation are performed at beamlines in Photon Factory (Tsukuba) and SPRING-8 (Hyogo).

The main current subjects are as follows:

- ・Physics under ultra-high optical field and attosecond pulse generation.
- ・Development of advanced soft X-ray lasers and related physics under ultra intense radiation.
- ・Ultrafast dynamics of wave-packets and photo-induced phase transitions.
- ・Ultra-thin low-threshold quantum-wire lasers, and firefly bioluminescence.
- ・Study on ultra-high resolution photoemission and soft X-ray emission spectroscopies.
- ・Study of X-ray optics, surfaces, interfaces and nano-materials by X-ray scattering/diffraction.

教授 Professor	渡部 俊太郎 Shuntaro WATANABE
教授 Professor	末元 徹 Tohru SUEMOTO
教授 Professor	辛 埴 Shik SHIN
教授 Professor	高橋 敏男 Toshio TAKAHASHI
准教授 Associate Professor	黒田 寛人 Hiroto KURODA
准教授 Associate Professor	秋山 英文 Hidefumi AKIYAMA
准教授（客員） Visiting Associate Professor	中嶋 隆 Takashi NAKAJIMA

助教 Research Associate	足立 俊輔 Shunsuke ADACHI
助教 Research Associate	中嶋 誠 Makoto NAKAJIMA
助教 Research Associate	石坂 香子 Kyoko ISHIZAKA
助教 Research Associate	白澤 徹郎 Tetsuroh SHIRASAWA
助教 Research Associate	馬場 基芳 Motoyoshi BABA
助教 Research Associate	吉田 正裕 Masahiro YOSHITA
技術専門職員 Technical Associate	金井 輝人 Teruto KANAI
技術専門職員 Technical Associate	橋本 光博 Mitsuhiro HASHIMOTO





先端分光研究部門 Division of Advanced Spectroscopy  
<http://watanabe.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 渡部研究室

Watanabe Group

教授  
Professor

渡部 俊太郎  
Shuntaro WATANABE

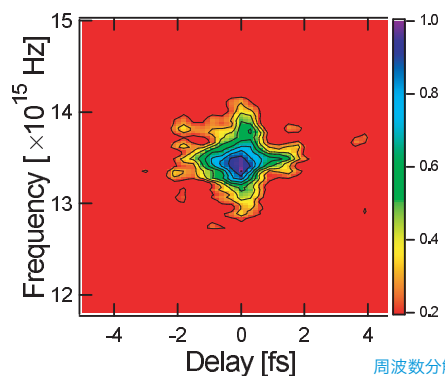
助教  
Research Associate

足立 俊輔  
Shunsuke ADACHI

超短パルス (サブ10 フェムト秒) 高出力 (20 TW 級) 高繰り返し (5 kHz) レーザーの開発とそれを用いた超高光電場 (原子内電場の100倍) と物質の相互作用の研究を行っている。特に、高次高調波を用いたコヒーレントXUV、軟X線の発生とそれを用いた固体分光の研究を行っている。

高次高調波の次数は300以上に達し、その波長は水の窓 (4.4 nm) に至る。しかも放射光と異なり、超短パルスでコヒーレントな光源である。この性質を利用し、軟X線領域のフェムト秒非線形分光、時間分解分光の研究を展開している。

最近XUV域 (光子エネルギー 25-28 eV) において希ガスの2光子超閾イオン化を初めて観測した。超短パルス (8 fs) ブルーレーザー (400 nm) の9次高調波により860アト秒のパルス (アト秒:  $10^{-18}$  秒) を発生し、2光子超閾イオン化を用いた周波数分解光ゲート法 (FROG) により、波形と位相を同時に決定することに成功した。これはXUV域の非線形・時間分解分光への重要な一歩である。



周波数分解光ゲート (FROG) 法によるアト秒パルスの測定

2分割した高調波 (28 eV) の遅延を変えて得られる2光子超閾イオン化の電子スペクトル。10段階の等高線で表してある。

Electron spectra of two-photon above-threshold ionization versus optical decay between two harmonic replicas (28 eV). The map was expressed by contours with 10 steps.

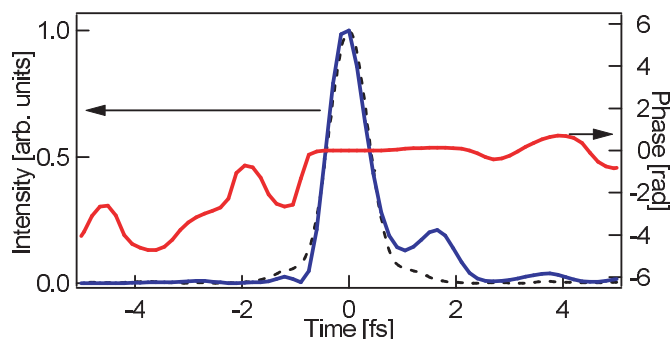
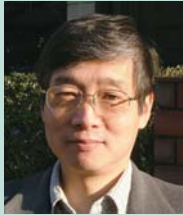


Fig.1 から再生したアト秒パルスの波形 (青) と位相 (赤)。破線はフーリエ限界パルス。

Pulse shape (blue) and phase (red) retrieved from Fig.1. The dashed line corresponds to the Fourier transform-limited pulse.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 超短パルス高出力レーザーの開発  
Development of ultrashort, high-power lasers
2. 多光子過程 (高次高調波、多光子イオン化) の研究  
Research on high-order harmonics and multiphoton ionization
3. XUV、軟X線領域のフェムト秒非線形・時間分解分光  
Nonlinear, femtosecond spectroscopy in the XUV and soft X-ray regions
4. XUV、軟X線アト秒パルスの発生  
Attosecond pulse generation in the XUV and Soft X-ray regions



先端分光研究部門 Division of Advanced Spectroscopy  
<http://suemoto.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 末元研究室

Suemoto Group

教授  
Professor

末元 徹  
Tohru SUEMOTO

助教  
Research Associate

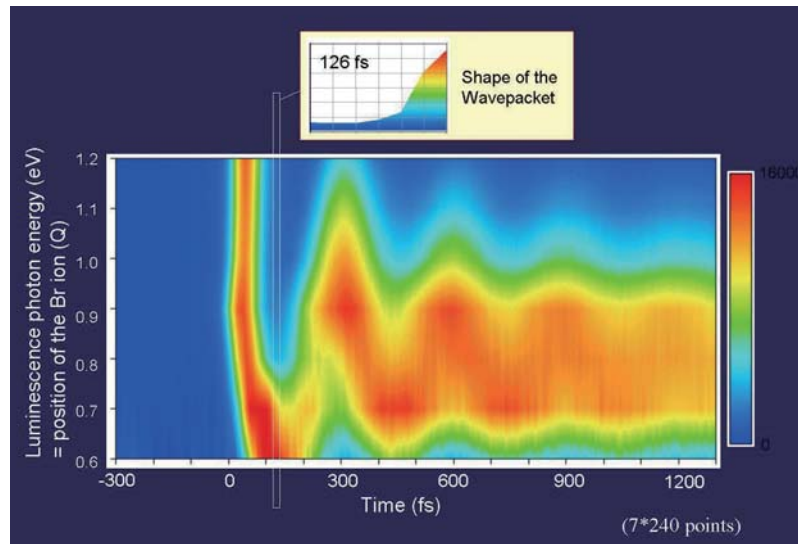
中嶋 誠  
Makoto NAKAJIMA

レーザー技術の発展によりさまざまな超短パルス光源が実現されているが、物性研究においてその性能を十分に発揮させるには、光源以外の周辺技術の開発が重要である。当研究室では、極限的な物性測定を追及すると同時に、幅広い物質群に新しい超高速分光方法を適用することを目標としている。このために、波長可変光源、低温測定、磁場下測定、顕微測定装置などの整備を進めている。現在、電子格子緩和、磁気秩序形成、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が、最も重点をおいているのは、素励起スペクトルを時間領域で観測する「実時間領域分光」である。(i) 和周波ゲートによる発光の時間分解、(ii) 反射プローブによるコヒーレント励起分光により、原子の振動、波束形状の時間発展などを超高速で追跡することができるようになっている。さらに、テラヘルツ電磁波を用いたポンプ・プローブ時間分解分光法による光誘起相転移のダイナミクスの研究を開始している。

Various ultrafast laser sources have been invented and developed recent days. However, it is essential to develop corresponding measurement techniques including control of the sample condition, when we want to fully utilize the advantages of the advanced laser sources. The aim of our group is not only to achieve highest records but also to apply the newest ultrafast spectroscopy techniques to wide range of materials. For this purpose, we prepared tunable short pulse sources along with low temperature, high magnetic field and microscope facilities. Our main interest is the dynamics of electron-phonon relaxation, magnetic ordering and photo-induced phase transitions. So-called "time-domain spectroscopy" is the highlight of the present activity. We can observe the atomic vibration including the phase information and the time evolution of the wave packet shape by using ultrafast luminescence and reflection measurements. Recently, we initiated terahertz pump & probe spectroscopy to study the dynamics of photoinduced phase transitions.

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軌跡。発光エネルギーの 0.6 eV は Br イオンの約 0.2 Å の実空間振幅に対応している。垂直の断面は波束の形状  $|\Psi|^2$  を表す。

Trajectory of the wave-packet obtained from the time-resolved luminescence data of self-trapped excitons in platinum complex (Pt-Br). Photon energy of 0.6 eV corresponds to about 0.2 Å in real space amplitude. The vertical cross-section shows the wavepacket shape  $|\Psi|^2$ .



## 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・ムービーの制作  
Atomic movie based on ultrafast luminescence spectroscopy
2. 擬一次元金属錯体における励起子緩和  
Exciton relaxation process in quasi-one-dimensional metal complexes
3. 光誘起相転移のダイナミクス  
Dynamics of photoinduced phase transitions
4. テラヘルツ電磁波による時間分解分光  
Time-resolved spectroscopy using terahertz radiation



先端分光研究部門 Division of Advanced Spectroscopy  
<http://shin.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 辛研究室

Shin Group

教授  
Professor

辛 埴  
Shik SHIN

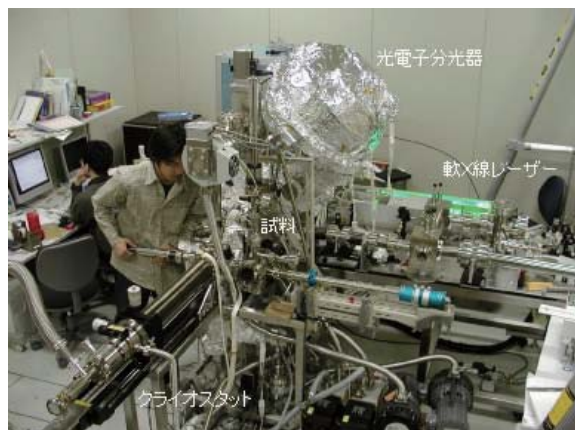
助教  
Research Associate

石坂 香子  
Kyoko ISHIZAKA

紫外光から軟X線のエネルギー領域の光物性を開拓することによって、固体の電子状態の研究をしている。特に、近年は紫外レーザーを光源として用い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。

新たに開発されたレーザー光電子分光は0.36 meVのエネルギー分解能を有し、世界最高である。光電子分光は物質の物性を決定するフェルミ面近傍の電子状態を知ることのできる極めて有力な方法である。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知ることができるようになった。一方、レーザーの時間的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開発して、遷移金属化合物、有機物、半導体などの光誘起現象によるダイナミクスを研究している。

一方、タンパク質等の生体物質の電子状態は化学結合状態と深く関係し、タンパク質の機能性を研究する上で極めて重要である。軟X線発光分光を用いて、このような研究が初めて可能になってきた。蛋白中の遷移金属の果たす微妙な役割や、DNAの持つ動的な機能性の研究を始めている。

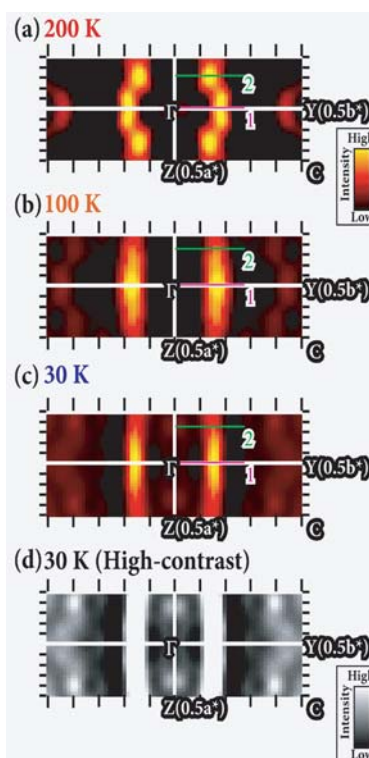


世界最高のエネルギー分解能を持つ極高分解能光電子分光装置

The experimental system for the laser-photoemission spectroscopy that has the highest resolution of the world

The electronic structure of the materials is studied by using vacuum-ultra-violet light and soft X-ray. Especially, we are developing laser-photoemission spectroscopy. Ultra-high resolution laser-photoemission spectroscopy has been developed and we obtained about  $\Delta E = 0.36$  meV. This is the highest resolution of the world in the photoemission spectroscopy. Ultra-high resolution photoemission spectroscopy is closely related with the transport properties of the solids. We observed superconducting gaps and pseudo-gaps of the strongly correlated materials. We are also developing the new time-resolved photoemission spectroscopy in order to know the photo-induced phenomena.

We study the bio-materials, such as protein and DNA. The electronic structures of these materials are closely related with the functions of the biomaterials. Soft X-ray emission spectroscopy is very powerful for the study of these materials.



光電子分光で観測した1次元有機伝導体TTF-TCNQのフェルミ面の温度変化

Temperature dependence of the Fermi surface of the one-dimensional organic conductor TTF-TCNQ

## 研究テーマ Research Subjects

1. 極高分解能のレーザー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. レーザーを用いた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線発光分光により、生体物質等の電子状態の研究  
Soft X-ray emission study on the biomaterials





先端分光研究部門 Division of Advanced Spectroscopy  
<http://ttaka.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 高橋研究室

Takahashi Group

教授  
Professor

高橋 敏男  
Toshio TAKAHASHI

助教  
Research Associate

白澤 徹郎  
Tetsuro SHIRASAWA

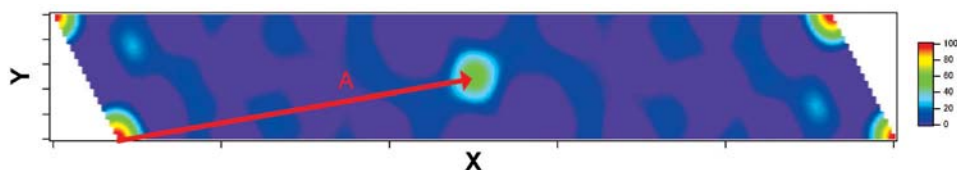
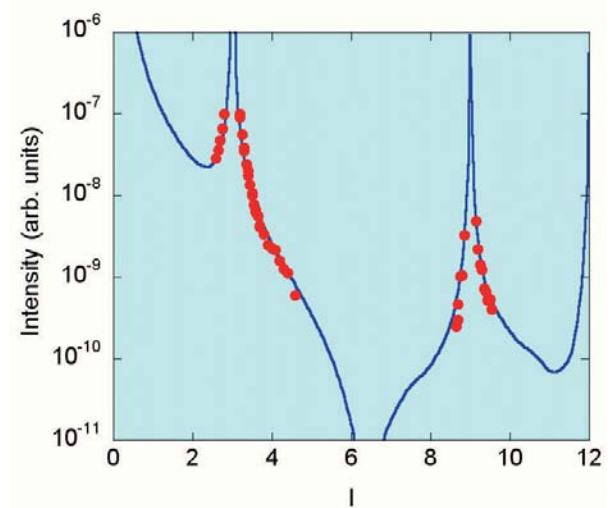
X線などの回折・散乱の基礎研究とその応用。とくに干渉現象を利用して、結晶の表面や界面の構造、ナノ構造などを解明する方法の開発を行い、その結果を利用して興味ある試料について新しい知見を得ている。

たとえば、表面X線回折法を利用して半導体表面上の金属2次元構造や1次元鎖状構造の解析、およびそれらの相転移の研究を行っている。また、位相問題に関する研究も進めている。回折散乱の実験では、観測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うという位相問題が発生する。この位相問題は、結晶の構造解析では直接法などによりかなり解決しているが、表面や界面ではまだ研究が進んでいない。表面X線回折において干渉効果や多波回折条件を利用する方法、蛍光X線ホログラフィなどの研究を行っている。

他方、X線レーザーの開発とともに今後の発展が期待される非線形光学現象の研究を進めている。

Si(111)-6×1-Ag 表面で観測された CTR 散乱。鏡面反射に相当する 00 ロッドに沿った積分回折強度。横軸はロッド上の点を指定する指数で、 $l=3$ 、 $l=9$  は、それぞれ、Si 基板の 111、333 ブラッグ点に相当する。それぞれのブラッグ点の前後で非対称な強度変化をしている。この結果を解析すると Ag 原子は Si 基板の Si 2 重層を基準にして 3.1 Å の高さに位置していることが分かった。

CTR(Crystal Truncation Rod) scattering obtained for the Si(111)-6×1-Ag surface. The result indicates that Ag atoms locate at 3.1 Å measured from the top of the Si double layer of the substrate.



Si(111)-6×1-Ag 表面のパターソン図。微小角入射X線回折法により観測された非整数次反射の積分回折強度より計算された。図の赤い矢印線Aは、この表面における原子間ベクトルに対応し、Ag-Ag 原子間のベクトルに相当すると考えられる。

Patterson map calculated from integrated intensities observed for the Si(111)-6×1-Ag surface. The arrow in red, indicating an interatomic vector, corresponds to the vector between two Ag atoms on the surface.

## 研究テーマ Research Subjects

1. X線回折を利用した結晶表面・界面構造、ナノ構造の研究  
Studies on surface, interface and nano-structures by diffraction/scattering
2. 新しい人工物質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



先端分光研究部門 Division of Advanced Spectroscopy  
<http://kuroda.issp.u-tokyo.ac.jp>

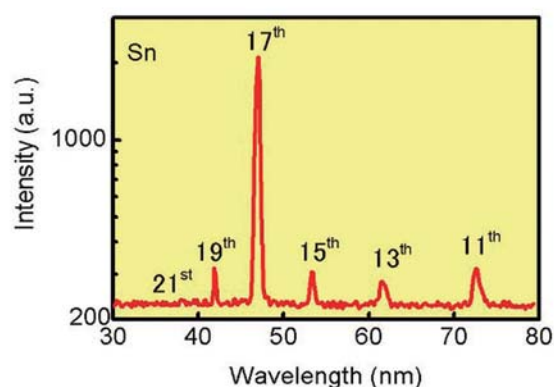
# 黒田研究室

Kuroda Group

准教授  
Associate Professor  
助 教  
Research Associate

黒田 寛人  
Hiroto KURODA  
馬場 基芳  
Motoyoshi BABA

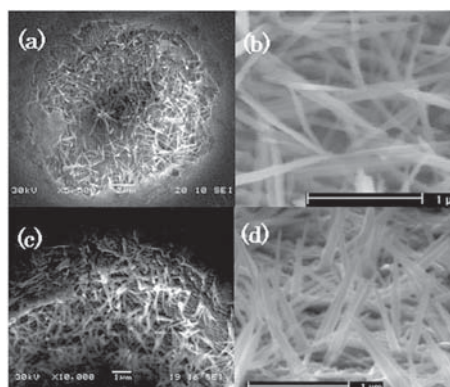
軟 X 線レーザーや固体高密度ターゲットによるコヒーレント軟 X 線の生成および物理の研究を遂行している。波長 18.9 nm の過渡的縦励起型 Ni 様モリブデン軟 X 線レーザーの発振に世界で初めて成功し、高度化の追求を行っている。さらに軟 X 線領域における新たな光源として非線形媒質にレーザー励起アブレーションプラズマを用いた高次高調波の発生とその特性評価を行い、非常に興味深い実験結果を得た。また多価イオンを用いて生成する高調波の短波長化にも成功し、バナジウムを用いて 71 次（波長 11.02 nm）、マンガンを用いて 101 次（波長 7.9 nm）の高調波を得ている。同時にインジウム、スズを用いたとき一つの特次高調波増強に世界に先駆けて成功し、アンチモン、テルルを用いて更なる短波長化を達成した。レーザーアブレーション法を用いたナノ構造生成の研究も始めており、ナノワイヤー、ナノグレーティングの生成をおこなっている。



高次高調波スペクトル。17 次高調波の強度は周り的高調波の強度と比較すると約 20 倍の強度増大が得られ、入射レーザーのエネルギー 10 mJ に対して 17 次高調波の出力は約 1.1  $\mu$ J あった。

HHG spectra from tin laser ablation irradiated by femtosecond laser pulse. The intensity of the 17th harmonics was 20 times higher than those of its neighbors. The conversion efficiency of the 17th harmonic was measured to be about  $1.1 \times 10^{-4}$ , and this output energy of 1.1  $\mu$ J was obtained from the pump laser energy of 10 mJ.

We study extensively the physics of generating coherent soft X-ray using a metal target and soft X-ray lasers. We proposed and have developed the new scheme of a longitudinal transient collisionally excited Ni like Mo 18.9 nm laser, which opens a new trend in soft X-ray laser. We have also developed highly directive high order harmonic generation (HHG) in soft X-ray region using a pre-plasma in ablation mode. It is very interesting as a new physics and also efficiency and other characteristics are desirable. We showed up to 101st of Ti:Sapphire laser (7.9 nm) by manganese plasma and found out for the first time a strong single harmonic enhancement due to resonance effect in In, Sb, Te, and Te plasma too. We also study the nano-material formation and controlling by using femtosecond laser system. We have achieved the production of nano-wires, and nano-gratings on the various semiconductor surfaces.



レーザーアブレーションによるナノワイヤーの SEM 像。レーザーのパラメーターは (a) および (b) は波長 800 nm、パルス幅 120 fs、偏向方向は横、出力 1 mW、500 ショット積算。(c) と (d) は波長 400 nm、パルス幅 120 fs、偏向方向は横、出力 10 mW、集光条件は焦点より 3 mm ずらした状態、500 ショット積算。SEM images of the ablation craters and nanowires. The laser parameters are: (a) and (b), 800 nm, 120 fs, linear polarization, 1 mW, 500 pulses; (c) and (d), 400 nm, 120 fs, linear polarization, 10 mW, defocus for 3 mm, 500 pulses.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 波長 18.9 nm における Ni 様モリブデン X 線レーザーの高度化  
Physics and development of Ni-Mo 18.9 nm X-ray laser
2. レーザーアブレーションターゲットを用いた制御高調波の発生物理理解  
New scheme of ablation controlled plasma and anomalous enhancement of single harmonic due to strong resonance
3. FRET、FLIM の蛍光を用いたタンパク質の相互作用理解  
Study on FRET and FLIM of luminous proteins
4. レーザーアブレーション法を用いたナノ粒子形成とその物理  
Formation of nano-structures on crystal surface with femtosecond laser pulse irradiation



先端分光研究部門 Division of Advanced Spectroscopy  
<http://aki.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 秋山研究室

Akiyama Group

准教授  
Associate Professor  
助教  
Research Associate

秋山 英文  
Hidefumi AKIYAMA  
吉田 正裕  
Masahiro YOSHITA

サイズや形に依存して変化する量子力学的な物性の光学的な理解と制御を目的に、半導体量子細線を中心とした量子ナノ構造とそれを用いた半導体レーザーについて、レーザー分光と顕微分光を主として用いた研究を行っている。

GaAs 薄膜量子井戸構造をT型につないだような量子構造では、T型の交点が量子細線として働く。現在、この手法を用いて世界一細くかつ均一な量子細線半導体レーザーを作り、低しきい値電流などの優れた性能を検証しようと研究を進めている。そこで出会う実験事実や問題点新発見などは、1次元物性、電子正孔系多体問題、レーザー、結晶成長、物質科学、半導体デバイスなど様々な分野に関わる物理研究の題材を提供してくれる。FET（電界効果トランジスタ）型のドーブ細線構造も実現し、一次元多体電子系の光学物理も調べている。

上記の研究のため、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。最近では、それらの技術をもちいて、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。



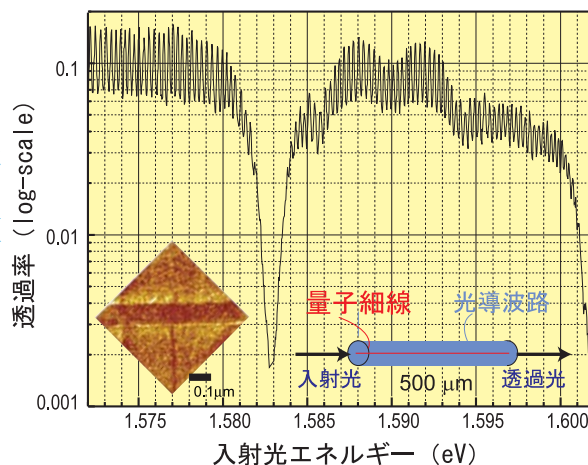
単一T型量子細線の透過吸収スペクトル  
Transmission/absorption spectrum of a T-shaped single quantum wire

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)

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 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, crystal growth, material science, and semiconductor device physics and engineering. FET-type doped quantum wire devices are realized and studied for optical physics of 1D many electrons.

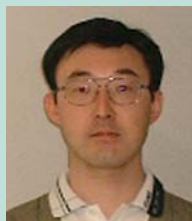
For the above studies on small nano-structures, we are developing experimental techniques such as sensitive luminescence detection, absolute luminescence-yield measurements, transmission/absorption measurements of single nano-structures, micro-spectroscopy, imaging, and solid-immersion microscopy. Recently, 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.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 超微細低しきい値量子細線レーザーの作製と顕微分光  
Ultra-thin low-threshold high-quality semiconductor quantum-wire lasers and their micro-spectroscopy and imaging
2. 1次元高密度電子正孔系および電子系の光学応答と多体相互作用効果  
Optical physics and many-body physics of dense electron-hole or electron systems in 1D
3. 半導体量子構造の高品質化、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





先端分光研究部門 Division of Advanced Spectroscopy

# 中嶋研究室

Nakajima Group

客員准教授

Visiting Associate Professor

中嶋 隆

Takashi NAKAJIMA

超短光パルスの照射によって物質内電子に誘起されるサブフェムト秒〜アト秒時間スケールの超高速ダイナミクスを理論的に調べている。

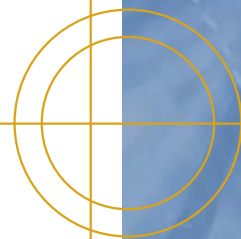
レーザー装置から直接得られる超短光パルスは近赤外波長であるため、時間幅としては数フェムト秒が限界であり、さらに時間幅の短い光パルスは高次高調波によって極端紫外光パルスとして生成される。従って、サブフェムト〜アト秒時間における超高速ダイナミクスは極端紫外光パルスと物質の相互作用であると言い換えることができる。このような条件下では、極端紫外光パルスの持つ大きな光子エネルギー、パルスの超短時間幅に起因する長大なエネルギー幅、および高い光強度に起因する非線形性等から新たな物質応答が期待され、それらの新奇現象を理論的に解明する研究を進めている。

Theoretical study of ultrafast (sub-fs to attosecond time scale) dynamics in a target induced by ultrafast light pulses is the main subject of our group.

Since the ultrafast light pulse directly obtained from a laser system is in the near-infrared region, the pulse duration cannot be shorter than a few fs. Therefore even shorter light pulses are necessarily obtained in the extreme-ultraviolet (XUV) region through, for example, high-harmonic generation (HHG). This implies that the attosecond dynamics can be induced and also probed only if one utilizes attosecond XUV pulses. Under such conditions, novel phenomena originated from the enormous photon energy and spectral bandwidth, and the nonlinearity of intense attosecond XUV pulses are expected, and we are working to clarify and also to predict such those phenomena.

# 軌道放射物性研究施設

## Synchrotron Radiation Laboratory



高エネルギー加速器から放射される極紫外から軟X線領域の光（放射光）は、物質の性質（電子状態）を調べるうえで重要な役割を果たしている。とくに最近、アンジュレータなどの輝度の高い放射光を利用した極紫外・軟X線領域の吸収、光電子分光、発光分光などの実験によって、物質の機能発現のしくみが微視的に解明され、放射光は物質科学の発展に不可欠なプローブとなっている。本施設の測定系グループは、高エネルギー加速器研究機構（KEK）内に分室を設置してフォトンファクトリー・リング（KEK-PF）に設置した3つの実験ステーションを全国共同利用実験に提供するとともに、放射光を利用する先端的物性研究や新しい実験技術の開発・研究を行っている。また、加速器グループは、先端的放射光源に関する技術開発と加速器物理研究を行っている。本施設では、極紫外・軟X線放射光を利用する最先端の施設を建設する計画（東京大学アウトステーション計画）を推進しており、放射光利用して最先端の物質科学研究を行うため、世界最高性能の軟X線アンジュレータ、ビームライン分光光学系の設計・開発研究を行っている。

Synchrotron radiation from insertion devices provides researchers with a powerful probe, easily tunable over an extreme wide range of energy and wavelength to understand the complex world of atoms, molecules and solid states. The Synchrotron Radiation Laboratory (SRL) has a branch laboratory in the High Energy Accelerator Research Organization (KEK) at Tsukuba. The branch laboratory maintains an undulator called Revolver, two beamlines and three experimental stations, which are installed in the Photon Factory (PF) and fully opened to outside users. The in-house staffs of SRL not only serve the outside users with technical support and advices, but also carry out their own research works on advanced solid state spectroscopy as well as instrumentation. The accelerator group is studying accelerator physics and developing the accelerator related technology for advanced and future synchrotron light sources. The members of SRL has been playing an essential role in the new beamline project of the University of Tokyo to promote advanced synchrotron radiation sciences using brilliant light sources in vacuum ultraviolet and soft X-ray regimes.

教授（施設長）	柿崎 明人
Professor (Director)	Akito KAKIZAKI
准教授	中村 典雄
Associate Professor	Norio NAKAMURA
准教授	松田 巖
Associate Professor	Iwao MATSUDA
教授（客員）	大熊 春夫
Visiting Professor	Haruo OHKUMA
准教授（客員）	大橋 治彦
Visiting Associate Professor	Haruhiko OHASHI

助教	高木 宏之
Research Associate	Hiroyuki TAKAKI
助教	阪井 寛志
Research Associate	Hiroshi SAKAI
助教	奥田 太一
Research Associate	Taichi OKUDA
助教	藤澤 正美
Research Associate	Masami FUJISAWA
技術専門職員	福島 昭子
Technical Associate	Akiko FUKUSHIMA
技術専門職員	澁谷 孝
Technical Associate	Takashi SHIBUYA
技術専門職員	原沢 あゆみ
Technical Associate	Ayumi HARASAWA
技術専門職員	篠江 憲治
Technical Associate	Kenji SHINOE
技術専門職員	工藤 博文
Technical Associate	Hirofumi KUDO
技術職員	伊藤 功
Technical Associate	Isao ITO



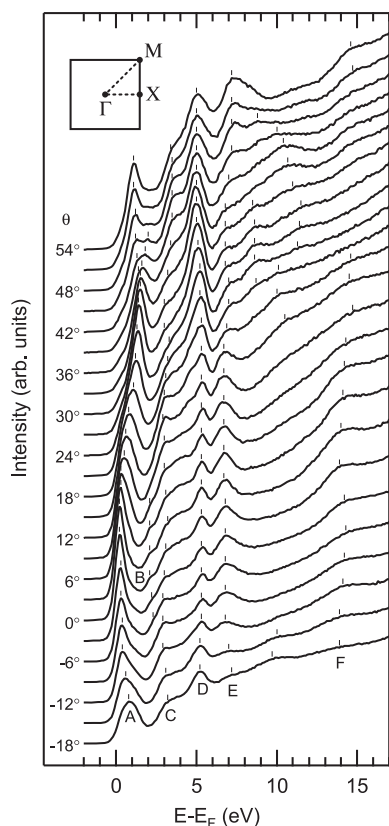
軌道放射物性研究施設 Synchrotron Radiation Laboratory

# 測定系グループ

Solid State Spectroscopy Group

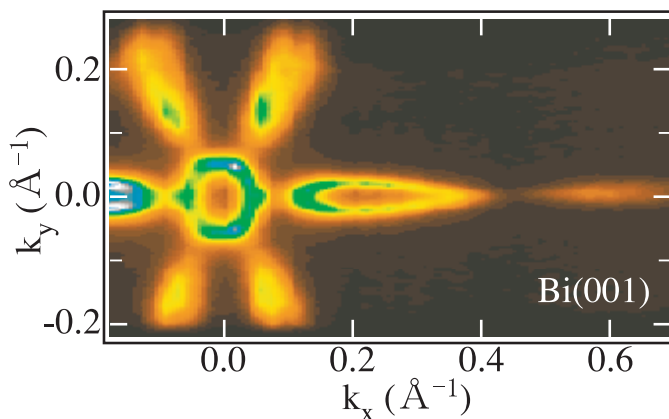
測定系グループは2つの研究室（柿崎研究室、松田研究室）で構成され、高輝度放射光を利用する先端物性研究や新しい実験技術の開発・研究を共同で行っている。測定系グループでは、KEK-PFに設置した偏向電磁石からの放射光を使う角度分解光電子分光実験装置(BL-18A)、リボルバー型アンジュレータからの高輝度放射光を利用するスピン・角度分解光電子分光実験装置(BL-19A)と軟X線発光分光実験装置(BL-19B)の3基の実験ステーションを維持管理し、共同利用実験に提供しているだけでなく、これらの装置を使って先端物性研究をおこなっている。ビームラインの年間利用者数は200人を超えている。また、東京大学が計画している極紫外・軟X線領域の高輝度放射光施設のビームライン、分光光学系の設計や建設・整備の中心的な役割を担っている。

最近の主な研究テーマは、スピン分解光電子分光実験による遷移金属薄膜の構造と表面磁性、光電子顕微鏡による磁気イメージ観察、角度分解光電子および逆光電子分光による表面電子状態解析、放射光を利用する走査トンネル顕微鏡の開発などである。



LaB<sub>6</sub>(001) 表面の角度分解逆光電子分光スペクトル。La5d と 4f 状態に起因する表面電子状態がフェルミ準位近傍 (A) と 6.8 eV (E) に見られる。バルクの La5d および 4f 電子状態のエネルギー位置および表面 4f 状態のエネルギーシフトの大きさを解析した結果、表面 La 層の電荷密度がバルク La に比べて大きくなっていること、そのことが LaB<sub>6</sub>(001) 表面の低い仕事関数の原因となっていることがわかった。

*k*-resolved inverse photoemission spectra of LaB<sub>6</sub>(001). The surface states originated from La 5d and 4f states are observed near the Fermi level (A) and 6.8 eV above it, respectively. Analyzing the energies of the features in the spectra, it was deduced that the low work function of LaB<sub>6</sub>(001) surface is caused by the higher charge density of La atoms in the topmost surface than those in bulk due to the electron transfer from subsurface to the topmost La layer.



Bi(001) 表面のフェルミ準位での光電子強度マップ。六角形のホールポケットと楕円形の電子ポケットの2種類のフェルミ面はいずれも表面状態バンドから成るものである。Bi 原子のような質量が大きい元素では、その大きなスピン-軌道相互作用のため、2次元系ではラッシュバ効果によってバンドのスピン縮退が解ける。すなわちこれら2種類のフェルミ面はスピン分裂した後のバンドであり、それぞれ異なるスピン配列を有する。

Photoemission intensity map of a Bi(001) surface at the Fermi level. The Fermi surface consists of a hexagonal hole-pocket and oval electron-pockets which originate from the surface topmost layer. For a heavy element such as Bi, there is large spin-orbit interaction and spin-degeneracy of a band breaks down in two-dimensions due to the Rashba effect. Two-types of the Fermi surfaces in the figure are spin-split band and they have different spin orientations.



## 柿崎研究室

<http://kakizai.issp.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>

教 授 柿崎 明人  
Professor Akito KAKIZAKI  
助 教 藤澤 正美  
Research Associate Masami FUJISAWA

## 松田研究室

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

准教授 松田 巖  
Associate Professor Iwao MATSUDA  
助 教 奥田 太一  
Research Associate Taichi OKUDA

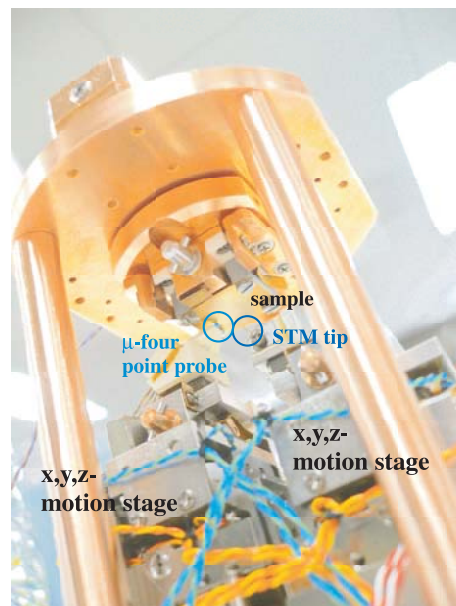
また本グループでは、表面・超薄膜系の電子（スピン）状態を決定するだけでなく輸送特性などのダイナミクスとの関連を総括的に調べるために世界に先駆けて *in situ* 表面磁気抵抗測定装置の開発し、さらに放射光とレーザーを組み合わせた超高速分光実験の立ち上げも行っている。現在、厚さが数ナノメートルの遷移金属超薄膜及び遷移ナノドットの磁性及びその表面／界面制御に伴うトポロジ相転移とスピン構造変化などの研究テーマを取り扱っている。



BL-18A とエンドステーション。ここで、真空紫外線から軟 X 線放射光による高分解能フェルミマッピング、バンドマッピング、波動関数の対称性決定などの実験を行うことができる。

The beamline BL-18A and the experimental chamber equipped with high-resolution electron spectrometer. Here, varieties of photoemission experiments, Fermi surface mapping, band mapping, wave function-symmetry determining, are performed.

We have also been working on studies of electron dynamics in surface/film systems. We develop the UHV chamber for *in situ* surface magnetic resistivity measurement to perform systematic experiments with spectroscopic researches using synchrotron radiation. Furthermore, we construct an experimental system of various ultrafast spectroscopies by combining synchrotron source and laser beam. We focus on topological phase transitions and ultrafast spin dynamics of nanometers-thick films and nanodots of transition metals controlled by surfaces/interfaces.



開発中の表面磁気抵抗測定装置。サンプルの測定・観察ステージ。STM 探針やマイクロ（ $\mu$ ）4 端子プローブがそれぞれ 2 つの独立駆動（x,y,z）型プローブホルダーに装備されている。

Sample measurement / observation stage of *in situ* surface magnetic resistivity measurement system of ours. An STM tip and a  $\mu$ -four-point probe are mounted on two independently-driven x,y,z-stages.

## 研究テーマ Research Subjects

1. スピン分解光電子分光および磁気円二色性実験による表面磁性の研究  
Surface magnetism studied by spin-resolved photoemission and magnetic linear- and circular- dichroism
2. 光電子および逆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 and inverse photoelectron spectroscopy
3. 時間分解分光実験による表面スピンダイナミクスの研究  
Electron spin dynamics by means of time-resolved spectroscopy
4. 光電子顕微鏡による微小試料、微小領域のイメージングと電子状態の研究  
Imaging of nano-structure materials by means of photoelectron emission microscope (PEEM)
5. 光電子分光と *in situ* 表面電気伝導測定による固体表面上低次元構造体内を流れる電子の輸送現象の研究  
Electron transport through low-dimensional structures on solid surfaces studied by means of combination of photoemission spectroscopy and *in situ* surface conductivity measurements



軌道放射物性研究施設 Synchrotron Radiation Laboratory  
<http://nakamura.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 加速器グループ

Accelerator Physics Group

准教授  
Associate Professor

中村 典雄  
Norio NAKAMURA

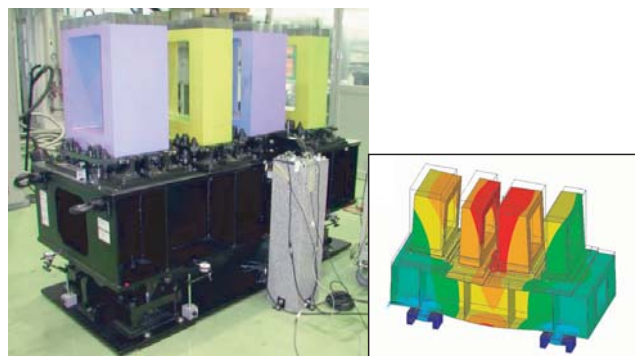
助教  
Research Associate

高木 宏之  
Hiroyuki TAKAKI

助教  
Research Associate

阪井 寛志  
Hiroshi SAKAI

我々の研究テーマは放射光源を中心とした粒子加速器であり、特に高輝度放射光源やエネルギー回収型ライナック（ERL）などの次世代放射光源が対象となる。我々はこれらの加速器におけるビーム物理を研究するとともに、それらの先端的構成要素の設計・開発を行っている。X線ゾンプレートを用いた高分解能電子ビームプロファイルモニタ、電子ビームのウェイク場を抑制するための挿入光源用銅メッキチェンバー、低エミッタンスラティスのための多重極電磁石用共通架台、軌道安定化のための高性能ビーム位置モニタ、局所補正と全体補正を統合する新しい軌道補正方法、自由電子レーザー（FEL）のような大強度ライナックのための初期ビーム負荷補正システム、オーストラリア放射光施設で採用された高次モード減衰型高周波加速空洞、新しい挿入光源などの研究開発が最近の活動内容である。いずれも最先端放射光源に共通の特徴である低エミッタンス電子ビームと高輝度放射光の生成と安定化にとって非常に重要なテーマである。さらに、エネルギー回収型ライナック用の超伝導加速空洞の研究開発が新たに始まった。



4つのダミー電磁石を載せた低エミッタンスラティス用多重極電磁石共通架台（左）とその3次元構造解析の例（右）。

Photograph of multipole-magnet girder with 4 dummy magnets for low-emittance lattices (left) and a result of 3D structural analysis of this girder (right).

Our research subjects are particle accelerators mainly used as synchrotron radiation sources, especially high-brilliance synchrotron light sources and next-generation synchrotron light sources such as Energy Recovery Linacs (ERLs). We study beam physics in these accelerators and also design and develop their advanced accelerator components and subsystems. Our recent activities are research and development of a high-resolution beam profile monitor using two X-ray zone plates, copper-coated insertion-device vacuum chambers for suppression of the resistive-wall wake fields, a multipole-magnet girder for low-emittance lattices, a high-performance beam position monitor for beam orbit stabilization, a new orbit correction method uniting global and local orbit corrections, an initial-beam-loading compensation system for high-intensity electron linacs like Free Electron Lasers (FELs), a HOM-damped RF cavity adopted in the ASP (Australian Synchrotron Project) light source and novel insertion devices and so on. These are very important for generation and stabilization of low-emittance electron beams and high-brilliance photon beams, which are common features of the most advanced synchrotron light sources. Furthermore R&D of a superconducting RF cavity for ERLs just started.



内面を銅メッキされたステンレス製真空チェンバーの超高真空試験用セットアップ。  
Setup of ultra-high vacuum test for copper-coated stainless steel chamber.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 高輝度放射光源  
High-brilliance synchrotron light sources
2. 次世代放射光源  
Next-generation synchrotron light sources
3. 先端的加速器構成要素の開発  
Developments of advanced accelerator components and subsystems
4. 加速器におけるビーム物理  
Beam physics in accelerators



軌道放射物性研究施設 Synchrotron Radiation Laboratory

## 大熊研究室

Ohkuma Group

客員教授  
Visiting Professor

大熊 春夫  
Haruo OHKUMA

第3世代放射光施設の出現以来、アンジュレータは目覚ましい進歩を遂げ、偏向の制御も高速で行えるようになってきた。SPring-8には長尺のアンジュレータを設置できる約30 mの長直線部があり、挿入光源の設置の他に、フェムト秒レーザーを用いた電子バンチのスライシングによる100フェムト秒領域の短パルス放射光を発生、クラブ空洞などのRFキックにより電子バンチを傾けることによる短パルス放射光の発生などが考えられている。これらの短パルス放射光による時間分解分光測定は、物性物理学の重要な実験手段の1つあり、今後の研究が期待される。客員期間中は、これらの技術をSPring-8の30 m直線部へ適用し、先端的な高輝度軟X線アンジュレータを実現するためのR&Dとなる研究、技術開発を行う。

In the 3rd generation synchrotron radiation facilities, the progress of the undulator and related technology provide us new scientific opportunities using high brilliance synchrotron radiation. In the SPring-8, there are four long straight section on 30 m, two of which are installed by undulators. On the use of other two long straight sections, there are several possibilities other than to install undulators. One is the installation of crab cavities to produce short pulse synchrotron radiation and another is to use for the irradiation of electron bunches fs short pulse laser. The latter enables to produce an ultra short pulse synchrotron radiation in 100 fs region from electron bunches sliced by laser pulses. Time resolved experiments using short pulsed synchrotron radiation will provide us new time domain in the solid state physics and new scientific fields to understand the dynamic processes of chemical reactions, magnetizations, collisions of atoms and molecules, etc. We are going to discuss the feasibility study of the new techniques and their R&D.



軌道放射物性研究施設 Synchrotron Radiation Laboratory

## 大橋研究室

Ohashi Group

客員准教授  
Visiting Associate Professor

大橋 治彦  
Haruhiko OHASHI

軌道放射物性研究施設では、東京大学アウトステーション計画の中核を担い、SPring-8に軟X線領域の25 m長尺アンジュレータと分光光学系を設置し、それを利用して最先端の物性研究をすることを目指しており、そのために、ナノスケールの集光ビームを発生できる新しい分光光学系の設計・開発研究をおこなっている。高輝度光科学研究センターで長年にわたって軟X線領域のビームライン・分光光学系を担当し、数多くの分光器の設計・整備に携わって来た経験を生かし、25 m長尺アンジュレータの軟X線を利用する新しい分光光学系の開発・研究を行う。特に、光学素子に対する熱負荷の軽減、実験室の温度差による分光性能の日隔差の問題などを具体的に検討し、新しい分光光学系の設計に役立てたい。

The synchrotron radiation laboratory of the ISSP will play an essential role in the construction of the new soft X-ray undulator beamline in the SPring-8. The beamline consists of the 25 m long undulator, the monochromator which covers photon energy range from 250 eV to 2 keV and the focusing mirror system. Based on many experiences of the construction and commissioning of soft X-ray beamlines in the SPring-8, we will promote the research and developments of the new optics and optical elements to be installed into the new beamline. The heat load by the undulator radiation and the stability of the beam optics of the monochromator system will be considered as the major part of the research and developments.



# 中性子科学研究施設

## Neutron Science Laboratory

中性子は透過力に優れ、微小磁石の性質を持つので、原子の中心にある原子核やその周りにある電子のつくる磁場と力を及ぼし合う。この性質を利用して物質による中性子の散乱のされ方を測定し、物質内の原子や磁気モーメントの配列や運動の様子を知る実験方法を「中性子散乱」という。物性研究所の中性子科学研究施設では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。現在、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 に大学が設置する中性子散乱装置は 13 台を数え利用規模は年間約 300 課題、6,000 人・日に達している。当施設の実施する全国共同利用により、高温超伝導体の研究、フラストレートした磁性体や重い電子系、低次元磁性体等の様々な磁性体の研究をはじめとして、高分子・コロイドの構造や相転移、生体物質の高次構造と機能の研究など、ハードマテリアルからソフトマテリアルまでを含む幅広い物質や材料の基礎研究が中性子散乱を用いて盛んに行われている。また、当施設では日米協力事業「中性子散乱分野」の実施機関としても活動し、我国の中性子散乱研究の発展に貢献している。

Science 1961, the ISSP has been playing a central role in neutron scattering activities in Japan not only by performing its own research programs but also by providing a general user program for the university-owned various neutron scattering spectrometers installed at the research reactor of JAEA (Tokai). In the JRR-3 reactor (20MW), the university group owns 13 spectrometers, and the Neutron Science Laboratory (NSL) provided a general user program. Under this program, close to 300 proposals are submitted each year, and the number of visiting users under this program reaches over 6000 (person-day/year). Major research areas are solid state physics (strongly correlated electron systems, high  $T_c$  superconductors, heavy Fermion systems, low dimensional magnetism, high-pressure physics etc.), fundamental physics and neutron beam optics, polymer, chemistry, biology, and materials sciences. The NSL also operates the U.S.-Japan cooperative program on neutron scattering, and supports the development of the neutron-beam based material sciences in Japan.



日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-3 に設置された中性子散乱実験装置群。この原子炉から 2 本の熱中性子導管と 3 本の冷中性子導管が左方向に引き出され、隣接するガイドホールの中性子ビーム実験装置群に中性子を供給している。

The reactor hall of JRR-3. The eight neutron scattering instruments are attached to the horizontal beam tubes in the reactor experimental hall. Two thermal and three cold guides are extracted from the reactor core towards the guide hall located to the left.

教授 (施設長)  
Professor (Director)

吉澤 英樹  
Hideki YOSHIZAWA

助教  
Research Associate

大原 泰明  
Yasuaki OOHARA

助教  
Research Associate

西 正和  
Masakazu NISHI

助教  
Research Associate

阿曾 尚文  
Naofumi ASO

助教  
Research Associate

遠藤 仁  
Hitoshi ENDO

助教  
Research Associate

松浦 直人  
Masato MATSUURA

技術専門員  
Technical Associate

川村 義久  
Yoshihisa KAWAMURA

技術専門職員  
Technical Associate

渡辺 聡  
Satoshi WATANABE

技術職員  
Technical Associate

浅見 俊夫  
Toshio ASAMI

専門員  
Administrative Secretary

大津 勝美  
Katsumi OOTSU

教授  
Professor

柴山 充弘  
Mitsuhiro SHIBAYAMA

准教授  
Associate Professor

廣田 和馬  
Kazuma HIROTA

准教授  
Associate Professor

山室 修  
Osamu YAMAMURO

准教授  
Associate Professor

佐藤 卓  
Taku J. SATO

教授 (客員)  
Visiting Professor

古坂 道弘  
Michihiro FURUSAKA



中性子科学研究施設 Neutron Science Laboratory  
<http://yoshizawa.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 吉澤研究室

Yoshizawa Group

教授 Professor	吉澤 英樹 Hideki YOSHIZAWA
助教 Research Associate	大原 泰明 Yasuaki OOHARA
助教 Research Associate	阿曾 尚文 Naofumi ASO

遷移金属酸化物の示す金属・絶縁体転移は、スピン・電荷・格子・軌道状態などが密接に関連して生じる現象として大きな注目を集め盛んに研究されている。当研究室では遷移金属酸化物の示す電荷・軌道秩序や磁性および構造相転移と電気伝導との関連などを中性子散乱をもちいて系統的に研究している。左下の図は、日本原子力研究開発機構（JAEA）の研究炉に設置された物性研究所の中性子分光器のうちの1台である。中性子散乱実験では、このような分光器を使用して物質の非弾性散乱スペクトル等を測定する。右下の図は、高温超伝導を示す銅酸化物の一つである  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  と同型の結晶構造を持つ  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$  の系において観測されるストライプ秩序のドーピング濃度依存性を  $x=1/2$  までの高ドーピング領域まで測定した結果得られたストライプ秩序の形成温度とストライプ秩序のストライプの間隔のホール濃度依存性を示したものである。ストライプ秩序と付随した磁気秩序の転移温度はともに  $x=1/3$  で極大を示したあと減少に転ずる。またストライプ秩序の間隔はホール濃度に比例して広がるが、詳細に見てやると  $x=1/3$  の前後で特徴的なずれを示し、 $x=1/3$  の濃度の特殊性を際立たせている。このようなストライプ秩序は高温超伝導酸化物ばかりでなく、広く低次元遷移金属酸化物で存在していることが最近の研究で明らかにされつつある。



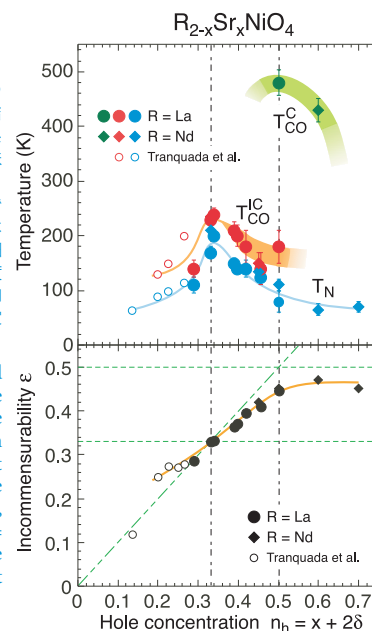
日本原子力研究開発機構（JAEA）の研究炉 JRR-3 に設置された物性研究所の3軸型中性子分光器。

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

高温超伝導を示す銅酸化物の一つである  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  と同型の結晶構造を持つ  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$  の系において観測されたストライプ秩序のドーピング濃度依存性。ストライプ秩序の転移温度と付随した磁気秩序の転移温度は  $x=1/3$  で極大を示したあと減少に転ずる。またストライプ秩序の周期は  $x=1/2$  までドーピング濃度と近似的に線形な関係をしめすが、詳細に見てやると  $x=1/3$  の前後で特徴的なずれを示し  $x=1/3$  の濃度の特殊性を際立たせている。この特異な振舞いは、ストライプ内のキャリアー濃度の変化と関係があることがホール効果の測定結果から示唆されている。

Doping dependence of the stripe ordering in highly-doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$ , which is an isomorphous compounds of one of High  $T_c$  cuprate superconductors  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . Unlike the expectation from the previous studies, the transition temperatures of the stripe charge and spin orderings exhibit the maximums at  $x=1/3$ , and decreases above  $x=1/3$ . The periodicity of the stripe order is approximately linear in  $x$ , but the systematic deviation from the linearity around  $x=1/3$  strongly indicates that it is related to the change of the carrier concentration within the stripes, being consistent with recent Hole-coefficient measurement.

Metal-insulator transition in transition-metal oxides has drawn much attention because it is a phenomenon which reflects interplay among spin, charge, lattice, and orbital degrees of freedom. Our group has been performing systematic investigations of such transition-metal oxides in view of influence of charge/orbital ordering, spin ordering, and structural transitions to transport property. The triple axis neutron spectrometer owned by the ISSP is shown in the left figure below. With use of these spectrometers, the hole-doping dependences of the incommensurability and the transition temperature of the stripe ordering for hole concentration  $x$  up to  $x=0.5$  have been observed in the highly-doped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$  which is one of the isomorphous compounds of the High  $T_c$  cuprate superconductors. The ordering temperatures of the stripe charge as well as spin orderings have the maximums at  $x=1/3$ , and they decrease beyond  $x=1/3$ . Although the incommensurability is approximately linear to the hole concentration, close inspection of the data indicates that the incommensurability exhibits a subtle deviation from the linear relation for both sides of  $x=1/3$ . Such an exotic stripe ordering exists widely in the two-dimensional transition-metal oxides.



## 研究テーマ Research Subjects

1. 遷移金属酸化物が示す金属・絶縁体転移や、その際に出現する磁気秩序・電荷秩序・軌道秩序などの中性子散乱による研究  
Neutron scattering study of metal-insulator transition, magnetic ordering, charge/orbital orderings in transition-metal oxides
2. 超伝導体におけるスピン揺動の影響の微視的研究  
Microscopic study of influence of spin fluctuations in magnetic superconductors
3. クラスレート型熱電結晶における格子振動の研究  
Lattice dynamics of thermoelectro-clathrates



中性子科学研究施設 Neutron Science Laboratory  
<http://shibayama.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 柴山研究室

Shibayama Group

教授  
Professor

柴山 充弘  
Mitsuhiro SHIBAYAMA

助教  
Research Associate

遠藤 仁  
Hitoshi ENDO

ソフトマターとは、我々の身の回りの物や生体物質を構成する高分子・ゲル・コロイド・液晶などに代表される物質・材料のことである。磁性体や超伝導物質などのハードマターでは超高圧や極低温という極限環境において特異的な物性を示すのに対し、ソフトマターでは常温・常圧付近で興味深い物性を示し、多様な機能を果たす。特に生命機構の解明や自己組織化の本質を理解するには「ソフトマターの物理」が重要である。

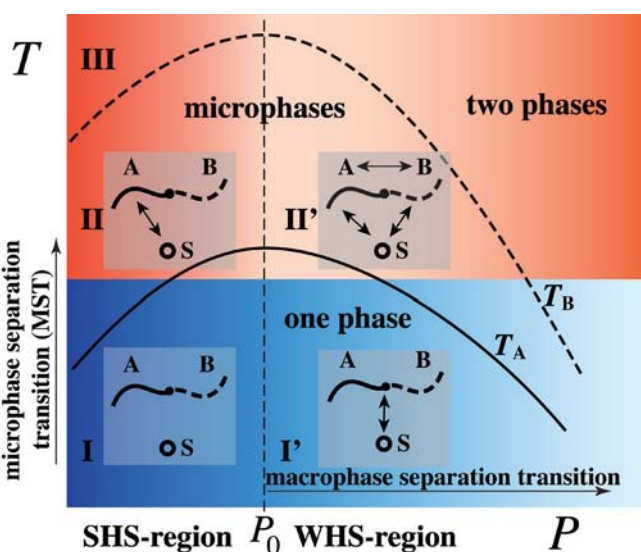
柴山研究室では高分子ゲル、マイクロエマルジョンを対象として、ソフトマターにおける分子結合相関系の物理の構築・体系化を目指している。特に最近では、ゲルの不均一性の研究のほか、疎水性相互作用の原理の探求、驚異的な力学物性をもつ環動ゲルや有機—無機ハイブリッドナノコンポジットスーパーゲルの構造解明、オイルゲル化剤のゲル化機構の研究、分子シャペロンの研究などを行っている。

世界有数の二次元位置測定小角中性子散乱装置 SANS-U と中性子スピネコー測定装置 iNSE を中心に、静的動的光散乱装置 (SLS/DLS ALV-5000、3 台)、力学・熱物性測定装置、レオメーター、偏光顕微鏡などを用いて、ナノオーダーの構造解析からナノ秒から数千秒までのダイナミクスをカバーした幅広い研究を展開している。

異なる臨界相溶温度をもつブロック鎖からなるブロック共重合体水溶液の温度—圧力相図。常圧では、温度の上昇とともに分子オーダーでのマイクロ相分離が起こる。一方、常温で静水圧を加えていくと、ブロック鎖の個性が発現しないままゆらぎが増大し、二次転移を伴うマクロ相分離が起こる。このことから、疎水性相互作用は常圧において特徴的な相互作用であることがわかる。

Pressure-Temperature ( $T$ - $P$ ) phase diagram for A-B diblock copolymer aqueous solution. By increasing  $T$  at ambient pressure, the system undergoes microphase separation, indicating the presence of strong hydrophobic solvation (SHS). On the other hand, a macrophase separation takes place by pressurizing at ambient temperature, suggesting weak hydrophobic solvation (WHS) at high pressures. This observation suggests that hydrophobic interaction is exclusively important at ambient pressure, i.e., the atmospheric environment.

Polymers, gels, colloids, and liquid crystals are classified to soft materials, which undergo various transitions in response to a slight change of an environmental variable. We are interested in the physics of soft-matter, particularly in the physics of gels and micro-emulsion. Nano-order structure investigations and studies on dynamics of soft matter are carried out with state-of-the-art equipments, such as the small-angle neutron scattering instrument (SANS-U; upgraded in 2003) and the neutron spin-echo spectrometer (iNSE; upgraded in 2004). Other scattering techniques, such as dynamic/static light scattering, microscopy, mechanical/thermal analyses, UV/IR spectroscopy, and rheological studies, are also employed if necessary. Current interests cover (1) inhomogeneities in polymer gels, (2) hydrophobic interactions in polymer gels and block copolymer solutions, (3) pressure-induced phase transition of soft-matter, (4) structure investigation of slide-ring gels and nanocomposite gels, (5) oil gelators, and (6) structure and dynamics of molecular chaperone.



## 研究テーマ Research Subjects

- 機能性高分子ゲルの構造とダイナミクス、体積相転移、ゾル—ゲル転移  
Structure and dynamics, phase separation, and sol-gel transition of functional polymer gels
- ソフトマターの圧力誘起相転移現象の研究  
Pressure-induced phase transition of soft-matter
- 疎水性相互作用と相転移に関する分子論的研究  
Molecular studies on the relationship between hydrophobic interaction and phase transition
- 環動ゲルやナノコンポジットゲルの構造とダイナミクス  
Structure and dynamics of slide-ring gels and nanocomposite gels
- 分子シャペロンの構造とダイナミクス  
Structure and dynamics of molecular chaperone





中性子科学研究施設 Neutron Science Laboratory  
<http://hirota.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 廣田研究室

Hirota Group

准教授  
Associate Professor  
助教  
Research Associate

廣田 和馬  
Kazuma HIROTA  
松浦 直人  
Masato MATSUURA

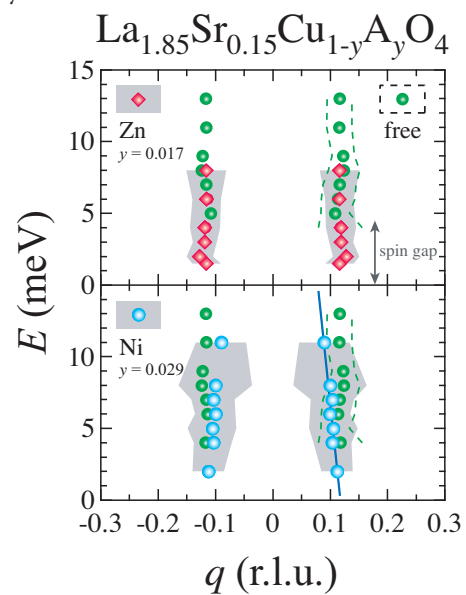
我々は、電子の内部自由度（電荷・スピン・軌道）が格子上で形成する空間構造とそのダイナミクスが、固体の巨視的な物性に決定的な影響を与えていると考えている。具体的には、強相関電子系の電荷・スピン・軌道自由度、リラクサー誘電体のナノスケール空間構造、不純物をドーピングした高温超伝導体のスピンドイナミクスなどを研究している。これらの系では、内部自由度間に働く相関の競合と協力によって、本質的に不均質な状態（intrinsic heterogeneity）をとる傾向がある。また、外場のわずかな変動に対して、複数の相互作用の間の微妙なバランスが崩れることで、極めて大きな応答を示すことがある。そのような場合の秩序変数の記述や時空間構造の解明のために、試料育成・微量分析から中性子散乱実験まで一貫した研究体制を構築している。



プラズマ発光分析装置：少量の試料に含まれる元素を極めて高い精度で定量分析できる。

Induction Coupled Plasma Spectrometer: ICPS can quantitatively analyze the elements in a very small sample with an extremely high accuracy.

Our main subject is to study the spatial structures and dynamic properties of the internal degrees of freedom of electron (charge, spin and orbital) by neutron and X-ray scattering. We mainly focus on the charge, spin and orbital degrees of freedom in strongly correlated electron systems, nanoscale spatial structures in relaxors, and the spin dynamics of impurity-doped high- $T_c$  superconductors. These systems often exhibit intrinsically heterogeneous structures due to competitive and cooperative correlations among internal degrees of freedom. They are also very susceptible to an external field, which disturbs a subtle balance among various interactions. To properly describe the order parameters and clarify the time-space structures of such systems, we have our own neutron and X-ray spectrometers as well as material synthesis and analysis laboratory.



Zn と Ni 不純物をドーピングした高温超伝導体  $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$  の低温磁気励起：Zn はスピンギャップ内に新しい状態を作るのに対し、Ni は磁気励起全体を低エネルギー側へリノーマライズしている。

Spin excitations for Zn or Ni impurity-doped high  $T_c$  superconductor  $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$  at low temperatures: Zn induces a novel in-gap state, while Ni renormalizes the spin excitations to lower energies.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 強相関電子系の電荷・スピン・軌道自由度の空間構造とダイナミクス  
Spatial structures and dynamic properties of strongly correlated systems
2. リラクサー誘電体のナノスケール構造  
Nanoscale structures in relaxors
3. 不純物をドーピングした高温超伝導体のスピンドイナミクス  
Spin dynamics of impurity-doped high- $T_c$  superconductors
4. 中性子散乱関連の装置、実験手法およびデータ収集システムなどの開発  
Development of neutron-scattering instrument, experimental techniques and analyses



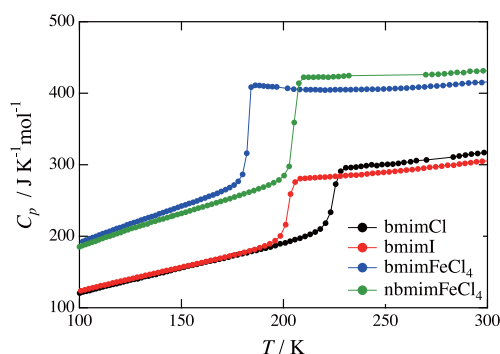
中性子科学研究施設 Neutron Science Laboratory  
<http://yamamuro.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 山室研究室

Yamamuro Group

准教授 山室 修  
 Associate Professor Osamu YAMAMURO

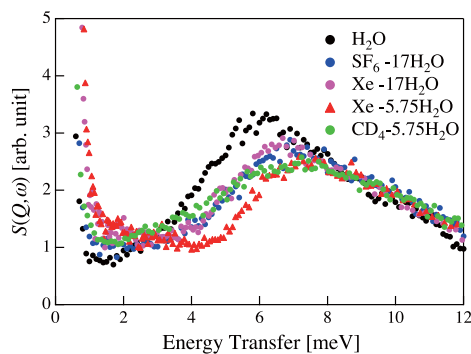
本研究室では複雑凝縮系の化学物理を研究している。現在の主な対象は、ガラス・過冷却液体、水・水溶液、常温イオン液体、包接化合物である。ガラス転移は過冷却液体が構造変化を起こさずに固化する不思議な現象であり、現在の物理学の理論では説明できない。また、ガラスにはボゾンピークなど構造不規則性に由来する多くの未解決問題が存在する。水（水溶液）は人類にとって最も身近で重要な物質であるが、水素結合が織りなす様々な特異物性を示す。常温イオン液体は最近発見された希有な液体で、静電力とファンデルワールス力の競合およびイオン配向のエントロピー効果から、様々な新しい物性が現れる。包接化合物では、ホスト格子に弱く束縛されたゲスト分子の量子化された運動に興味を持たれる。これらの物質に対して、中性子散乱、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。また、物性研究とともに、新しい中性子分光器や熱量計の開発も行う。



イオン液体の熱容量 (bmim は 1-butyl-3-methylimidazolium の略)。全ての物質でガラス転移が見いだされた。

Heat capacities of several ionic liquids (bmim: 1-butyl-3-methylimidazolium). We have found a glass transition in every substance.

We are studying chemical physics of complex condensed matters, especially glasses and supercooled liquids, water and aqueous solutions, room temperature ionic liquids, and clathrate compounds. Glass transition is a mysterious phenomenon in which supercooled liquids solidify without structural change. This phenomenon cannot be explained by current physics. Furthermore, glasses have many unsolved problems (e.g., boson peaks) derived by their structural disorder. Water (aqueous solutions) is the most familiar and important material for humans and also exhibits various unique phenomena derived by hydrogen bonds. Room temperature ionic liquids, found recently, exhibit many interesting physical properties originating from the competing electrostatic and van der Waals interactions and the entropy effect due to orientational disorder of ions. Our interest in clathrate compounds is quantum mechanical motions of guest molecules weakly hindered by host lattices. These substances are investigated from neutron scattering, heat capacity, and dielectric measurements. Our aim is to find simple (?) rules involved in complex systems from the three different points of view, structure, dynamics, and thermodynamic. We are also developing new neutron spectrometers and calorimeters.



低温蒸着法で作成したアモルファス包接水和物の中性子散乱スペクトル。低エネルギー励起強度がゲスト分子のサイズおよび濃度の増大とともに減少している。

Neutron scattering spectra of amorphous clathrate hydrates prepared by low-temperature vapor-deposition. The intensity of low-energy excitations is reduced with increasing size and concentration of guest molecules.

## 研究テーマ Research Subjects

1. ガラス転移、ボゾンピークなど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（クラスレート水和物など）の構造とダイナミクス  
Structure and dynamics of water and related materials such as clathrate hydrates
3. 常温イオン液体の熱力学的性質とダイナミクス  
Thermal and dynamical properties of room temperature ionic liquids
4. 包接化合物中のゲスト分子のダイナミクス  
Dynamics of guest molecules in clathrate compounds
5. 新しい中性子分光器と熱量計の開発  
Development of new neutron spectrometers and calorimeters



我々は中性子散乱を用いて固体中の原子やスピンの運動を研究している。多くの物質では低温で原子やスピンは静止し長距離秩序を示すが、中には種々の原因で低温まで大きな揺らぎを持つものがある。このような物質の揺らぎの原因やそこから現れる特異な秩序状態を解明する事が目的である。

最近の研究例として f-Zn-Mg-Tb 準結晶磁性体に於ける局在磁気励起モードの観測を紹介する。準結晶とは、その原子配列が並進対称性を持たないにもかかわらず高い秩序を持つという特殊な固体である。準結晶中に磁気モーメントが置かれた場合、周期的な結晶中に置かれた場合とは異なる振る舞いが期待されるため、その運動や秩序化について精力的な研究が行われている。Fig. 1 に f-Zn-Mg-Tb 準結晶磁性体の磁気励起スペクトルを示す。2.5 meV 程度に幅の広い非弾性散乱ピークが観測されており、何らかの協力的な磁気励起モードが存在する事が分かる。Fig. 2 にはこのピークの積分強度の逆格子空間中の分布を示す。この強度分布は正 20 面体磁気クラスターに局在する協力的スピン励起モードで説明されることが分かった。

我々は中性子散乱のみならず、磁化測定や電気抵抗測定等を駆使して研究を行っている。試料育成や新しい中性子散乱分光法の研究も進めている。

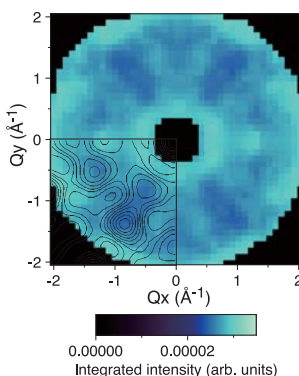


Fig. 2  
単結晶準結晶試料を用いて測定された  
磁気励起ピーク強度の Q 依存性。  
Q-dependence of the integrated  
intensity of the broad inelastic peak,  
measured using a single grain of the  
f-Zn-Mg-Tb quasicrystal.

Using neutron scattering we study dynamics of atoms and spins in materials that have large remaining fluctuations at low temperatures preventing trivial long-range order. We aim to elucidate origins of the fluctuations and resulting non-trivial ordering scheme.

Here, as an example of recent study, observation of localized collective magnetic excitations in the f-Zn-Mg-Tb magnetic quasicrystal will be described. A quasicrystal is a highly-ordered solid without translational invariance. It is expected that magnetic moments in the quasicrystal may behave differently than those in the periodic crystal. Figure 1 shows the magnetic excitation spectrum in the f-Zn-Mg-Tb magnetic quasicrystal; a broad peak around 2.5 meV is readily seen, indicating existence of a certain collective excitation mode. Figure 2 shows Q-dependence of the integrated intensity of the broad inelastic peak. The Q-dependence can be explained by collective excitations localized in dodecahedral spin clusters.

Not only the neutron scattering but also macroscopic measurements, such as electrical resistivity and magnetic susceptibility measurements, are carried out in our group. We also work on crystal growth, as well as development of new neutron scattering techniques.

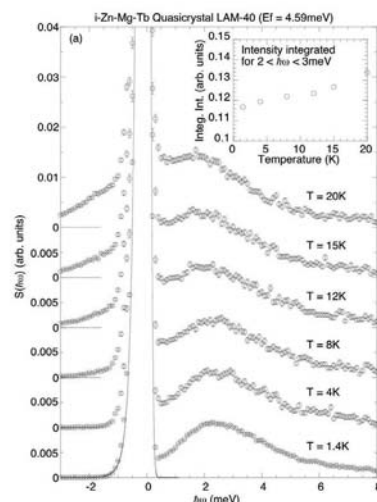


Fig.1  
f-Zn-Mg-Tb 磁性準結晶の磁気  
励起スペクトル。多結晶試料で  
の測定結果。  
Magnetic excitation spectrum  
in the f-Zn-Mg-Tb magnetic  
quasicrystal. Polycrystalline  
sample was used.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 準結晶等の非周期系物質の原子、スピンドायナミクス  
Atom and spin dynamics of quasiperiodic systems
2. 相互作用がフラストレートしているスピン系の磁気揺動  
Spin fluctuations in geometrically frustrated magnets
3. 新規な物性を示す物質探索および中性子散乱による評価  
Neutron scattering study on new materials with novel physical properties
4. 中性子を用いた新しい実験手法の開発  
Development of neutron scattering techniques





中性子科学研究施設 Neutron Science Laboratory

# 古坂研究室

Furusaka Group

客員教授  
Visiting Professor

古坂 道弘  
Michihiro FURUSAKA

次世代の科学技術の展開につながる研究を行おうとした時、二つの方法がある。一つは常識にとらわれない新しいアイデアに基づくことであり、もう一つは測定性能を格段に良くすることにより、これまで見えなかった現象が見えるようにすることである。本研究室では徹底して後者の道を選び、新しい中性子デバイスの研究開発を行い、より高性能の中性子散乱実験装置の研究開発につなげようとしている。さらに医師、生理学者と共同し、アルツハイマー、パーキンソン病などに深く関わるタンパク質の溶液散乱を行い、新展開を計ろうとしている。

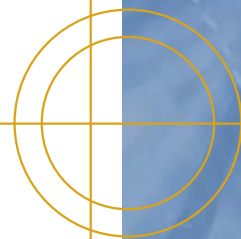
このような方針で、現在日本原子力研究開発機構の三号炉に、回転楕円体ミラーを使った小型集束型中性子小角散乱装置のプロトタイプを建設している。このような装置を実現するために、集束型ミラー、Si 単結晶を使った新方式の高強度モノクロメータ、高分解能高計数率の検出器等々様々な新しいデバイスを開発中である。将来的には一本のビームラインに同様の装置を数多く設置出来るようにすることをめざしている。

There are two ways of advancing science and technology; one is based on a new idea far from common sense; the other is to improve instrument; we would be able to see something that had not been able to see. We are thoroughly taking the latter way; we are developing new neutron devices which are key to develop new neutron scattering instruments. We are also collaborating with medical doctors and physiologist to study Alzheimer's and Parkinson's diseases by measuring protein solutions by the small-angle scattering method.

Based on such technology, a very compact, ellipsoidal mirror based small-angle neutron scattering instrument (mfSANS) is under development at the JRR-3 reactor in JAEA. In order to realize such instrument, we are developing a focusing mirror, a new wide wavelength band monochromator using bent perfect silicon crystals, high performance detector systems with high positional resolution and high counting rate. We can make such SANS instrument very compact and low cost, therefore it will be possible to install many such instruments at a beamline in future.

# 物質設計評価施設

## Materials Design and Characterization Laboratory (MDCL)



物質設計評価施設では、物質の「設計 (Design)」、具体的な物質の「合成 (Synthesis)」、合成された物質を総合的に調べる「評価 (Characterization)」の3つの研究をサイクル (DSC サイクル) のように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・評価部よりなり、物質設計部には電子計算機室、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、光学測定室の6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い、また、新しく開拓された物質群の電気的・磁氣的・光学的性質の総合評価を行っている。これら物質の総合評価の結果は設計および合成にフィードバックされ、DSC サイクルを通して新しい物質の開発が行なわれる。本施設の全国共同利用は、物質設計評価施設運営委員会により運用されている。

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

教授 (施設長)	上田 寛
Professor (Director)	Yutaka UEDA
教授	廣井 善二
Professor	Zenji HIROI
准教授	川島 直輝
Associate Professor	Naoki KAWASHIMA
教授 (外国人客員)	バルガバ チャンドラ サティシュ
Visiting Professor	Satish C. BHARGAVA
教授 (外国人客員)	サンドヴィック アンダース
Visiting Professor	Anders SANDVIK
助教	山浦 淳一
Research Associate	Jun-ichi YAMAURA
技術専門員	市原 正樹
Technical Associate	Masaki ICHIHARA
技術専門職員	小池 正義
Technical Associate	Masayoshi KOIKE
技術専門職員	山内 徹
Technical Associate	Touru YAMAUCHI
技術職員	木内 陽子
Technical Associate	Yoko KIUCHI

助教	植田 浩明
Research Associate	Hiroaki UEDA
助教	岡本 佳比古
Research Associate	Yoshihiko OKAMOTO
助教	鈴木 隆史
Research Associate	Takafumi SUZUKI
助教	吉本 芳英
Research Associate	Yoshihide YOSHIMOTO
助教	富田 裕介
Research Associate	Yusuke TOMITA
助教	石田 晏穂
Research Associate	Yasuho ISHIDA
技術専門員	北澤 恒男
Technical Associate	Tsuneo KITAZAWA
技術専門職員	磯部 正彦
Technical Associate	Masahiko ISOBE
技術専門職員	矢田 裕行
Technical Associate	Hiroyuki YATA
技術職員	福田 毅哉
Technical Associate	Takaki FUKUDA



スーパーコンピュータ システムA  
Supercomputer  
Hitachi SR11000/48 model J1



遷移金属を含む酸化物、カルコゲン化物などについて様々な雰囲気下での合成と単結晶育成および構造、相平衡・相転移、電氣的・磁氣的性質について研究し、超伝導、金属-絶縁体転移、電荷・軌道秩序、量子スピン現象など新奇な物性を示す無機化合物の開発研究を行っている。

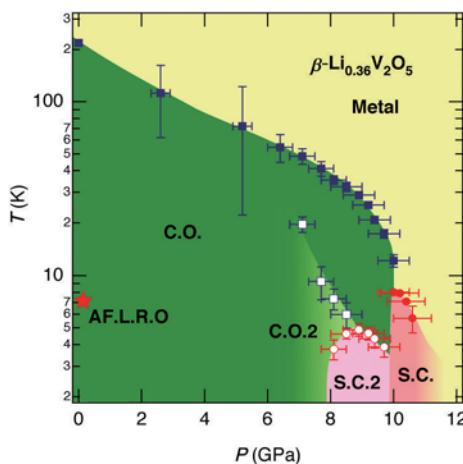
当研究室で最近新たに発見、合成された物質としては、(1)シャストリー・サザーランド格子を持つ2次元フラストレート系物質  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ 、(2)トレリス格子を持つ  $\text{NaV}_2\text{O}_5$ 、(3)擬1次元導体バナジウムブロンズ  $\beta\text{-A}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$  ( $A = \text{Li, Na, Ag, Ca, Sr, Pb}$ )、(4)新規Aサイト秩序型ペロフスカイトMn酸化物  $\text{RbBaMn}_2\text{O}_6$ 、(5)3次元フラストレート系スピネル酸化物、(6)ホランダイト型バナジウム酸化物、などが挙げられる。これらの物質において、それぞれ、(1)励起トリプレットのウィグナー結晶化と磁化プラトー現象、(2)新奇な電荷秩序転移と“悪魔の花”相図、(3)電荷秩序転移と圧力誘起超伝導、(4)新規電荷・軌道秩序転移と室温巨大磁気抵抗、(5)軌道秩序の絡んだスピン・ピエールの相転移と磁場誘起相転移、(6)金属-絶縁体転移、を見出している。

Our primary research effort has been focused upon the development of inorganic materials possessing novel electromagnetic properties such as superconductivity, metal-insulator transition, charge/orbital order and various quantum spin phenomena. The transition metal oxides and chalcogenide have been mainly synthesized under various atmospheres and single crystals of them have been grown by FZ and flux methods. The nonstoichiometry, structure, phase transition and physical properties have been studied by TG-DTA (DSC), X-ray and neutron diffraction, electron microscopy, electrical resistivity and magnetic susceptibility measurements etc. Our recent outcomes are the finding of (1) quantized magnetization plateaus caused by Wigner crystallization of triplets (magnons) in 2D frustrated system  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  with Shastry-Sutherland lattice, (2) novel charge order transition and devil's flower type phase diagram in  $\text{NaV}_2\text{O}_5$  with a trellis lattice, (3) charge order transitions and pressure-induced superconductivity in quasi 1D conductors  $\beta\text{-A}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$  ( $A = \text{Li, Na, Ag, Ca, Sr, Pb}$ ), (4) new charge/orbital order transitions and room temperature CMR in A-site ordered perovskite manganites  $\text{RbBaMn}_2\text{O}_6$ , (5) novel phase transitions caused by the interplay among charge, orbital, spin and lattice degrees of freedom in 3D frustrated spinel oxides, (6) metal-insulator transitions in hollandite vanadates,  $\text{A}_2\text{V}_8\text{O}_{16}$  ( $A = \text{K and Rb}$ ).



超高压物性測定装置「庄太郎」と試料部の拡大図。

Physical property measurement system under ultra-high pressure, "Oshitaro", and the enlarged sample part.



$\beta\text{-Li}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$  の圧力-温度 ( $P$ - $T$ ) 相図。  
AF.L.R.O.: 反強磁性秩序、C.O.: 電荷整列非金属相、S.C.: 超伝導相。圧力により電荷整列相は抑えられ、超伝導相が現れる。2種類の超伝導相が存在する。

Pressure-temperature ( $P$ - $T$ ) phase diagram of  $\beta\text{-Li}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ . AF.L.R.O.: antiferromagnetic order, C.O.: charge ordered phase, S.C.: superconducting phase. The charge ordered phase is suppressed under high pressure and the superconducting phase appears. There exist two kinds of superconducting phase in  $\beta\text{-Li}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ .

## 研究テーマ Research Subjects

- 遷移金属を含む酸化物、カルコゲン化物等の合成と不定比性および相平衡の研究  
Synthesis of transition metal oxides and chalcogenides by controlling stoichiometry and phase equilibrium
- 構造およびX線回折のその場観察による構造相転移の研究  
Study on structure and phase transition by *in situ* observation of X-ray and neutron diffractions and electron microscopy
- 電氣的・磁氣的性質の評価と化学結合および電子相関効果の研究  
Study on novel electromagnetic properties related to correlated electrons
- 雰囲気制御や反応前駆体の開発および極端条件下での合成による新物質の開発  
Synthesis of new materials under various conditions including high-pressure





物質設計評価施設 Materials Design and Characterization Laboratory  
<http://hiroi.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 廣井研究室

Hiroi Group

教授  
Professor

廣井 善二  
Zenji HIROI

助手

Research Associate

岡本 佳比古

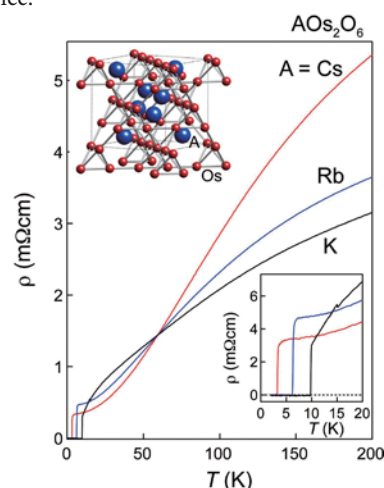
Yoshihiko OKAMOTO

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

遷移金属酸化物は強相関電子系の宝庫である。特に小さなスピン量子数を持つ低次元系（量子スピン系）において、強いクーロン反発によって局在している d 電子がキャリア数やバンド幅の制御によって動き始める時、量子効果による劇的な現象が期待される。本研究室では、様々な遷移金属酸化物の構造と物性の間に見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。特に注目しているのは三角形を基本としたスピン格子で、そこでは磁気的なフラストレーションによって長距離秩序が抑えられ、量子揺らぎが効いた新規な基底状態が期待される。最近、3次元フラストレーション格子を有するパイロクロア酸化物  $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$  や  $\text{AOs}_2\text{O}_6$  ( $A = \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$ ) において新たに超伝導転移を発見した。

$\beta$  パイロクロア酸化物超伝導体  $\text{AOs}_2\text{O}_6$  の電気抵抗。超伝導転移温度は 3.3 K (Cs)、6.3 K (Rb)、9.6 K (K) である。

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



## 研究テーマ Research Subjects

1. 新しい量子スピン系及び強相関電子系物質の開発  
Search for a new material realizing a quantum spin system or a strongly correlated electron system
2. 光キャリア注入による強相関電子系の物性制御  
Photocarrier injection to strongly correlated electron systems to control their electronic properties
3. 高温超伝導体  
High- $T_c$  superconductors
4. 大型単結晶育成及び単結晶薄膜の作製  
Growth of large single crystals and thin films of transition-metal oxides



物質設計評価施設 Materials Design and Characterization Laboratory  
<http://kawashima.issp.u-tokyo.ac.jp>

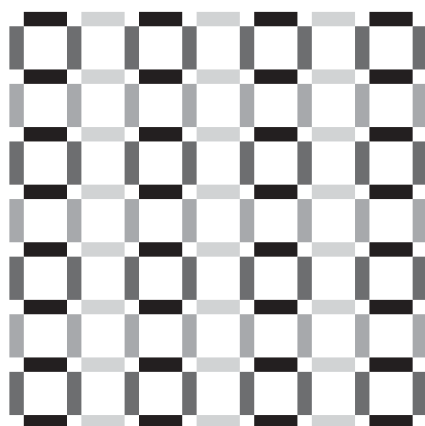
# 川島研究室

Kawashima Group

准教授 川島 直輝  
 Associate Professor Naoki KAWASHIMA  
 助教 鈴木 隆史  
 Research Associate Takafumi SUZUKI  
 助教 富田 裕介  
 Research Associate Yusuke TOMITA

本研究室では物性論で現れるさまざまな多体問題の数値解法とそれを通じた物性基礎論の研究を行っている。

20世紀半ばからスタートした計算機技術の急速な進展に伴って、従来の実験物理学、理論物理学を補うものとして、計算物理学と呼ばれる研究分野が成立しつつある。計算機を援用した物理学研究の手法は特に多体問題の解法において威力を発揮し、多くの成果をあげてきている。本研究室では、格子上で定義された量子スピン系、ボーズ粒子系、フェルミ粒子系に対する新しいモンテカルロ法の開発を行い、従来困難であったいくつかの問題を解決し、また現在も未解決の問題に取り組んでいる。たとえば、ループ・クラスタ更新と呼ばれる量子モンテカルロ法があるが、我々はこれを biquadratic 相互作用をもつモデルや  $SU(N)$  対称性を持つモデルなど通常のハイゼンベルクモデルでは表現できないモデルに拡張し、基底状態や臨界現象を解明した。このようなモデルに対応する物理系を実験的に創出する試みも近年非常に盛んで、たとえば、biquadratic 相互作用モデルは光学的に作られた格子上に極低温に冷やされた原子を配置したときに起きる現象のモデルとして注目されている。この他、本研究室ではスピングラスなどの古典ランダム系の研究も行っている。

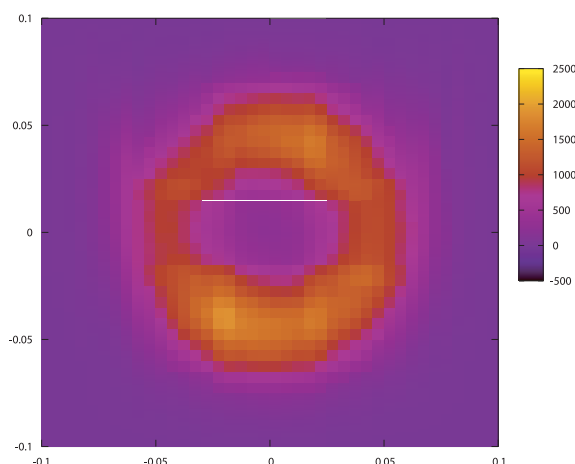


2次元  $SU(N)$  ハイゼンベルクモデルにおいて実現される VBS 状態。線の濃淡はスピン対ごとの相関の強さを示す。基本表現モデルにおいては、このような状態が  $N=5$  以上で出現する。これに対して  $N=4$  以下では基底状態は単なるネール状態である。

The VBS state that appears in the two-dimensional  $SU(N)$  Heisenberg model. A darker line corresponds to a spin pairs with stronger correlation. In the model with the fundamental representation, the VBS state becomes the ground state for  $N=5$  or larger. For  $N=4$  or smaller, on the other hand, the ground state is the simple Neel state.

We are developing new numerical methods for many-body problems and investigating problems of condensed matter physics and statistical mechanics.

Developments in computer technology that started in the middle of the 20th century bring forth the third category of physics, namely, computational physics. This new category is playing a complementary role to the other two traditional ones, experimental and theoretical physics. The computational physics is particularly powerful in dealing with many body problems. We have been developing new Monte Carlo methods for quantum spin, boson and fermion models defined on a lattice, and solved several problems. For example, we extended the cluster algorithm to novel models that cannot be expressed as a simple Heisenberg model, such as the bilinear-biquadratic model and the  $SU(N)$  models. The bilinear-biquadratic model, in particular, is a recent focus of attention since it may be the model of the super-cooled atom system trapped in an optically generated lattice. Besides the quantum models, we are also working on the classical frustrated systems, such as spin glasses.



VBS 状態における秩序変数の出現確率分布。横軸は  $x$  方向のダイマー秩序変数、縦軸は  $y$  方向のダイマー秩序変数に対応し、赤色が濃いほど出現頻度が高いことを示す。

The probability distribution of the dimerization order parameter. The horizontal or vertical direction in the figure corresponds to the dimerization in the  $x$  or  $y$  direction, respectively. The brighter red indicates high probability.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 新しい量子相の探索と量子臨界現象  
Search for novel states in quantum systems and quantum critical phenomena
2. 多体問題の数値解法の研究、特に量子モンテカルロ法の新手法の開発  
Numerical methods for many-body physics, in particular, new quantum Monte Carlo techniques
3. スピングラス  
Spin glasses



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

## バルガバ研究室

Bhargava Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

バルガバ チャンドラ サティシュ  
Satish C. BHARGAVA

物性研究所に滞在した5ヶ月の間、上田（寛）研究室と共同で、ペロフスカイト型マンガン酸化物における室温での巨大磁気抵抗（CMR）の達成を目指して実験に従事した。ペロフスカイト型マンガン酸化物はそれが示す巨大磁気抵抗により注目されている物質系であるが、通常のペロフスカイト型マンガン酸化物では巨大磁気抵抗は室温以下で観測され、実用的には問題である。最近、本研究所上田（寛）研究室でAサイト秩序型ペロフスカイトマンガン酸化物  $\text{RBaMn}_2\text{O}_6$  ( $R$ : 希土類金属) が開発され、それにランダムネスを導入することにより室温で1000%を超える巨大磁気抵抗の実現に成功した。そこで、このプロジェクトでは、私が見出したCMRを増大するための方法論と上田（寛）研究室で得られたAサイト秩序型ペロフスカイトマンガン酸化物の電子相図を基に、室温でのより大きな巨大磁気抵抗効果の実現を目指した。構造と電荷のランダムネスを持った色々なAサイト秩序型ペロフスカイトマンガン酸化物を合成し巨大磁気抵抗効果を調べた結果、最終的に、室温で2000%を超える巨大磁気抵抗効果の実現に成功した。

During this visit for 5 months, I worked on the project “CMR at the ambient temperature” with Y. Ueda’ Group. The perovskite manganese oxides have attracted in colossal magnetoresistance (CMR) effect. The CMR has been observed far below room temperature in ordinal perovskite manganese oxides, which is disadvantage for application. Very recently, Y. Ueda’ group developed the A-site ordered manganites  $\text{RBaMn}_2\text{O}_6$  ( $R$  = rare earth elements) and realized room temperature CMR over 1000% by introducing some disorder into the A-site ordered manganites. For this project, I employed my finding of the methodology to optimize CMR and the excellent phase diagram of the A-site ordered manganites  $\text{RBaMn}_2\text{O}_6$  obtained by Y. Ueda’ group recently. We synthesized various kinds of A-site ordered manganites with both structural and charge randomness, and evaluated CMR effect. Finally we succeeded in realizing CMR beyond 2000% at room temperature.



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

## サンドヴィック研究室

Sandvik Group

外国人客員教授  
Visiting Professor

サンドヴィック アンダース  
Anders SANDVIK

私は量子スピン系やそれに関連した多体モデルの計算物理学的な研究を行いたいと考えている。その際に用いるのは量子モンテカルロ法に代表される既存の計算手法と今後新しく開発する予定の改良された方法である。具体的には多スピン相互作用のある  $S = 1/2$  量子スピンモデルにおける deconfined 量子臨界現象を研究したいと考えている。我々は最近4体相互作用のある2次元ハイゼンベルグモデルにおいて、ネール状態からVBS状態への転移を研究した。それをさらに発展させて、この転移が deconfined 量子臨界現象の例になっていることを立証するための計算を行いたい。また、同様の臨界現象を示すほかのモデル、とくに理論的に予言され初期の数値計算でもその存在が示唆されている  $U(1)$  対称性を生み出すような場合についての計算も行いたい。2つの異なるVBS状態間の転移を示すようなモデルを構成することも興味ある課題である。アルゴリズム開発の面では、VBS基底を用いた変分法の枠組みや、テンソルネットワークとその一般化に基づく方法を発展させたい。

I plan to carry out computational studies of quantum spin systems and related lattice many-body models, using existing methods (primarily various quantum Monte Carlo approaches) as well as new and improved methods under development. Problems to be addressed include deconfined quantum-criticality in  $S=1/2$  models with multi-spin interactions. I have recently identified a transition between the Neel state and a valence-bond-solid (VBS) state in a 2D Heisenberg model with 4-spin interactions and intend to work on further characterizations of its critical point, which appears to be an example of a deconfined quantum-critical point. I will also investigate other related models that can be expected to exhibit similar transitions, with the particular aim of further investigating the emergent  $U(1)$  symmetry which has been predicted theoretically and observed in my initial studies. I also plan to construct and study models exhibiting transitions between two different VBS states. In algorithm development, I plan to work on variational schemes in the valence bond basis as well as with methods utilizing tensor-network states and their generalizations.



# 物質設計評価施設

物質設計部 (Materials Design Division)

## 電子計算機室 Supercomputer Center

担 当 所 員 杉野 修 Chairperson : O. SUGINO  
担 当 所 員 川島 直輝 Contact Person : N. KAWASHIMA

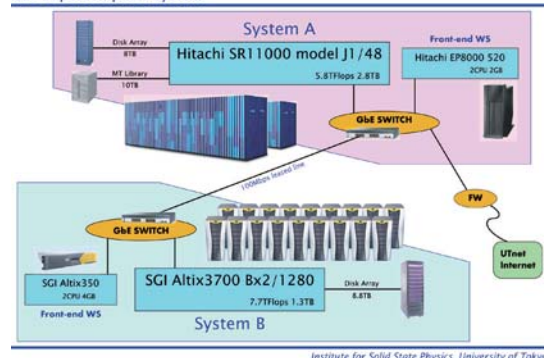
助 教 吉本 芳英 Research Associate : Y. YOSHIMOTO  
助 教 富田 裕介 Research Associate : Y. TOMITA  
助 教 鈴木 隆史 Research Associate : T. SUZUKI  
助 教 石田 晏穂 Research Associate : Y. ISHIDA  
技術専門職員 矢田 裕行 Technical Associate : H. YATA  
技 術 職 員 福田 毅哉 Technical Associate : T. FUKUDA

### 1. 全国共同利用スーパーコンピュータ

電子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。現在のシステムは平成 17 年 3 月に更新されたもので、密結合により高いノード単体性能を持つ計算機 (Hitachi SR11000 model J1/48) と高い総処理能力を持つ疎結合並列計算機 (SGI Altix3700Bx2/1280) を核とした複合システムである。本室では、システムのベンダーと協議しながら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応ずるなどして、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/center/>) を参照されたい。

The Supercomputer Center (SCC-ISSP) operates a supercomputer system, which serves all researchers on condensed matter physics in Japan with no charge through User Programs supervised by the Supercomputer Steering Committee. The present system, installed in March 2005, consists of two parts: a system of high performance nodes powered by closely united processors (Hitachi SR11000 model J1/48) and another system of sparsely connected processors with high total arithmetic performance (SGI Altix3700Bx2/1280). While the Center responds to questions and inquiries from all the users on daily basis, it also maintains high performance of the system in cooperation with the vendors, Hitachi and SGI.

ISSP Supercomputer System



### 2. 所内ネットワーク関連

本室では、物性研究所 LAN、および、電子メールサーバ、ファイルサーバ、WWW サーバ (物性研ホームページ <http://www.issp.u-tokyo.ac.jp>) 他の各種サーバの管理運用を行い、大学院生を含めた所内に提供している。物性研ネットワークでは東京大学キャンパスネットワーク (UTnet) を通したインターネットへの接続のため、ファイアウォールの設置、電子メールに関するウイルスの検査と除去、ウイルス対策ソフトウェアの所内への配布などのセキュリティ対策を行っている。また、所内でのコンピュータおよびネットワーク関係の Q&A、テレビ会議システムなどの機器の管理と利用促進、本館の各フロアに設置された大型レーザープリンタの管理なども行っている。さらに、広報・出版委員会の下で、物性研ホームページ、物性研要覧、アクティビティレポートなどの電子情報の収集管理を行っている。

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



スーパーコンピュータ システム B (SGI Altix3700Bx2/1280)  
The supercomputer system B (SGI Altix3700Bx2/1280)

## 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 : Z. HIROI  
 技術専門員 北澤 恒男 Technical Associate : T. KITAZAWA  
 技術専門職員 磯部 正彦 Technical Associate : M. ISOBE

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

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

#### 主要設備

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

#### Main Facilities

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



単結晶引上炉  
Czochralski pulling apparatus with an induction heating system

### 化学分析室 Chemical Analysis Section

担当所員 上田 寛 Contact Person : Y. UEDA  
 技術職員 木内 陽子 Technical Associate : Y. KIUCHI

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

走査電子顕微鏡-X線マイクロアナライザー、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、真空蒸着装置、研磨器、電位差滴定装置、純水製造装置、凍結乾燥機

#### Main Facilities

SEM-EDX/WDX, ICP-AES, Microscopes, Automatic balances, Potentiometric titration apparatus, Various apparatuses for sample preparation, The system for preparation of ultra-high purity water, and Freeze-dried machine.



走査電子顕微鏡-X線マイクロアナライザー  
SEM-EDX/WDX

# 物質設計評価施設

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 : Z. HIROI  
助 教 山浦 淳一 Research Associate : J. YAMAURA

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 the powder and single crystal specimens for solid state physics. By using the 4-circle diffractometer equipped with the warped imaging plate diffractometer and a refrigerator the structural analysis is performed in the temperature range of 7-300 K.

### 主要設備

四軸型X線回折計、イメージングプレート型X線回折計、粉末X線回折装置、ラウエカメラ、ワイセンベルグカメラ

### Main Facilities

Automatic 4-circle X-ray diffractometer, Warped imaging plate diffractometer, Powder X-ray diffractometer, Monochromated Laue camera, and Weissenberg cameras.



極低温用イメージングプレート型X線回折計

Imaging plate type X-ray diffractometer for low temperature application

## 電子顕微鏡室 Electron Microscope Section

担当所員 上田 寛 Contact Person : Y. UEDA  
技術専門員 市原 正樹 Technical Associate : M. ICHIHARA  
技術専門職員 小池 正義 Technical Associate : M. KOIKE

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 observation and microscopic analysis of various solid materials, both crystalline and non-crystalline with atomic-scale resolution, by using a high-resolution electron microscope and an electron microscope with an X-ray micro-analyzer.

### 主要設備

200 kV 電界放射形分析電子顕微鏡、低温・高温ホルダー、集束イオンビーム装置、薄膜試料作成のための種々の装置

### Main Facilities

200 kV electron microscope with an X-ray micro-analyzer, High- and low-temperature holders, Focused ion-beam milling, 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 家 泰弘      Contact Person : Y. IYE  
担当所員 瀧川 仁      Contact Person : M. TAKIGAWA  
担当所員 廣井 善二      Contact Person : Z. HIROI  
技術専門職員 山内 徹      Technical Associate : T. YAMAUCHI

本室では、物質の基本的性質である電気の磁気的性質を、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, magnetization, magneto-quantum oscillatory phenomena, a.c. susceptibility, magnetic torque, and NMR.

#### 主要設備

15 / 17 テスラ超伝導マグネット、スプリット型5 テスラ超伝導マグネット (ヘリウムフリー)、振動試料磁化測定装置 (VSM)、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)、クロスコイル型超伝導マグネット

#### Main Facilities

Superconducting magnet (15/17 T), Split type superconducting magnet (5 T), Vibrating sample magnetometer (VSM), High homogeneity superconducting magnet (16/18 T) for NMR experiments, SQUID magnetometer (7 T), PPMS (physical properties measurement system), and Cross-coil-type superconducting magnet.



磁気特性測定装置  
SQUID magnetometer (MPMS)

### 光学測定室 Spectroscopy Section

担当所員 田島 裕之      Contact Person : H. TAJIMA  
担当所員 末元 徹      Contact Person : T. SUEMOTO

汎用性のある光学測定機器を備え、所内外の共同利用に供している。

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

#### 主要設備

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

#### Main Facilities

UV and VIS absorption spectrometer, IR spectrometer, Raman spectrometer with Ar ion laser, Tunable dye laser equipped with excimer laser, and Monochromator and related electronic instruments.



光学測定機器  
Spectrometers (Room A468)

# 国際超強磁場科学研究所

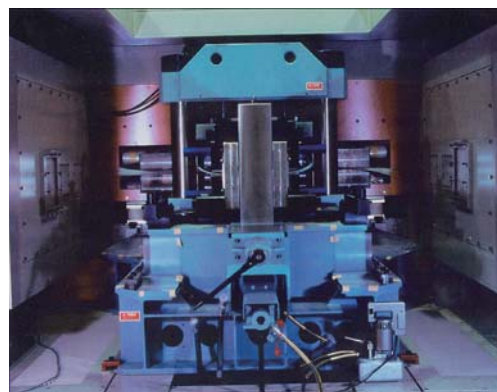
## International MegaGauss Science Laboratory

当施設ではパルスマグネットを用い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、その電子状態を調べている。パルス磁場には、80 テスラ(非破壊世界最高)までの非破壊型磁場と 100 テスラ以上 600 テスラ程度(室内世界最高磁場発生)まで発生できる破壊型(一巻きコイル法、電磁濃縮法)がある。前者は精密な物性計測(電気伝導、光学、磁化測定など)を担い、他の極限物理環境(高圧、低温)と組み合わせた実験や国内外の強い磁場を必要とする物性研究などに共同利用施設として寄与している。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進めている。後者の破壊型装置では、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。

爆破保護室内に設置した「電磁濃縮法」による超強磁場発生装置。室内磁場発生装置としては世界最高 600 テスラ強の世界記録を保持している。中心に主コイル、両サイドに種磁場発生マグネットがセットされる。主コイルには 5 メガジュールの巨大コンデンサー電源から 40 キロボルト、600 万アンペアの電流が投入できる。磁場発生時間はマイクロ秒の時間であり、発生後コイルも含め周辺は破壊されるため、破壊型短パルス磁場発生装置である。磁気光学測定や磁気電気伝導測定などの物性研究に利用されている。

An ultra-high magnetic field generation system for the electromagnetic flux compression method settled inside of the protection house for explosion. The system has generated over 600 Tesla, which is the world record as an indoor operation. A primary coil is settled at the center sandwiched by two seed coils aside. The 5 mega-joule giant condenser bank power supply injects 40 kilo-volts and 6 mega-ampere current into the primary coil. The operation is a pulse mode with duration of micro-second order. This is called a destructive pulse magnetic field generation system since the coil and surrounding materials are destroyed after a shot. This system currently serves for magneto-optical measurements and magneto-transport measurements for solid-state physics.

The aim of this laboratory is to study the physical properties of matter (such as semiconductors, magnetic materials, metals, insulators) under ultra-high magnetic field conditions. Such a high magnetic field is also used for realizing the new material phase and functions. Our pulse magnets can generate up to 80 Tesla by non-destructive way (the world record of the non-destructive magnet), and from 100 up to 600 Tesla (the world strongest as an indoor record) by destructive (the single turn coil and the electro-magnetic flux compression) methods. The former offers physical precision measurements (the electro-conductance, the optics, and the magnetization). The multiple extreme physical conditions combining high fields with ultra-low temperature and ultra-high pressure are also available, and are open for domestic and international scientists. The magnet technologies are intensively devoted to 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 nondestructive magnet. Whereas, the latter facilities (destructive ones) are oriented for developing new horizons in material science realized under such extreme quantum limit conditions.



教授(施設長) 嶽山 正二郎  
Professor (Director) Shojiro TAKEYAMA

教授 金道 浩一  
Professor Koichi KINDO

准教授 徳永 将史  
Associate Professor Masashi TOKUNAGA

助教  
Research Associate

助教  
Research Associate

技術専門職員  
Technical Associate

技術職員  
Technical Associate

技術職員  
Technical Associate

小嶋 映二  
Eiji KOJIMA

鳴海 康雄  
Yasuo NARUMI

川口 孝志  
Koushi KAWAGUCHI

松尾 晶  
Akira MATSUO

澤部 博信  
Hironobu SAWABE



国際超強磁場科学研究施設 International MegaGauss Science Laboratory  
<http://takeyama.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 嶽山研究室

Takeyama Group

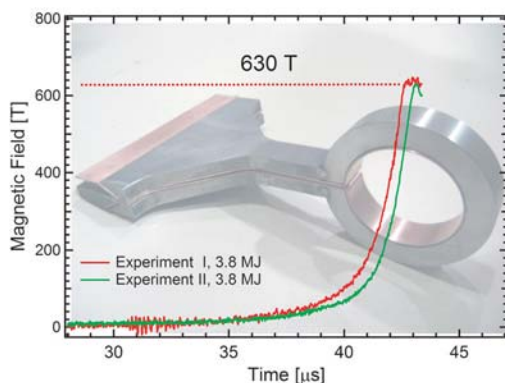
教授  
Professor

嶽山 正二郎  
Shojiro TAKEYAMA

助教  
Research Associate

小嶋 映二  
Eiji KOJIMA

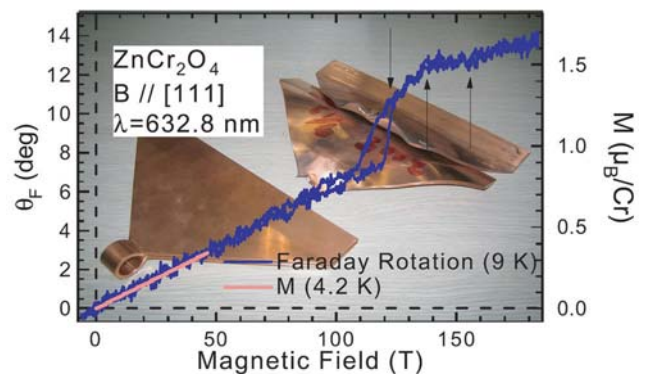
破壊型超強磁場発生法である電磁濃縮法や一巻きコイル法を用いたメガガウスパルス磁場発生開発を行っている。室内では世界最高磁場発生を実現している。また、このような量子極限環境下での物性測定手法の開発とともに、さまざまな物質の物性計測と解析を推進している。光学的観測手段を用いてメガガウス領域で発現する新しい物質相の探索など物性物理の開拓を進めている。半導体タイプ II 量子構造での高密度光励起超強磁場磁気光学、カーボンナノチューブを用いた超強磁場アハラノフ・ボーム効果の光学的観測、半導体／磁性体複合ナノ構造を主な研究対象として超強磁場下で実現する光・電子・スピンの絡む複合励起物性や電子相関や多体問題が支配する現象など追求している。超強磁場下で安定化が期待されている励起子ボーズ・アインシュタイン凝縮相の発見を志向した研究や、フラストレート量子スピン系の超強磁場ファラデー回転による磁気構造の解明なども展開している。



電磁濃縮法超強磁場発生実験で室内最高磁場値を更新した記録と開発中の新主コイルの写真。新主コイルを用いた 3.8 MJ エネルギー投入での 630 T の磁場発生を記録したピックアップコイルの信号を示す。2 回目の実験でも再現している。

The pick-up coil signals, which have renewed the world indoor record, showing the magnetic fields up to 630 T with 3.8 MJ energy injection into the newly designed coil achieved by the electro-magnetic flux-compression method. A backdrop is a picture of a newly designed primary coil with an inner wall of a copper sheet recently devised.

Solid state magneto-photophysics involving photons, electrons, spins, and their complex states is our main research subject realized in semiconductor and magnetic nano-composite structures and in ultra high magnetic fields. Our main scheme is the magneto-optical measurements, which are used for clarifying various phenomena governed by electron correlation and many body interactions. Our materials of research cover type II quantum structures (high density excited states), carbon nano-tubes (optical detection of Aharonov-Bohm effect), dilute-magnetic materials (spin related phenomena), and the spinel oxide (a frustrated spin system). Magneto-optical properties of the exciton complexes, such as a charged exciton, a biexciton, and multi-excitons as well as the exciton Bose-Einstein condensate are the targets to be elucidated by means of the linear and nonlinear magneto-optics under ultra high magnetic field.



フラストレートスピン系のスピネル酸化物の 1 つ  $\text{ZnCr}_2\text{O}_4$  での、一巻きコイル法で発生した超強磁場 190 T までの磁化を反映したファラデー回転信号。120 T 近傍で明確なスピン 1/2 プラトーへの磁気一次相転移が観測された。測定はこの系のネール温度 12 K より低い 9 K で行った。

The Faraday rotation signal of a spinel oxide,  $\text{ZnCr}_2\text{O}_4$ , a prototype of a frustrated spin system, measured up to a ultra-high magnetic field 190 T generated by the single-turn coil method. The first order transition into the spin 1/2 plateau was clearly observed at 120 T at 9 K, which was below the Néel temperature  $T_N$  (=12 K).

## 研究テーマ Research Subjects

1. 破壊型超強磁場発生と物性計測技術開発  
Development for destructive ultra-magnetic field magnets and solid-state physics measurements
2. 高密度光励起状態での磁気光学効果  
Magneto-optics of high-density optically excited states
3. カーボンナノチューブの磁気光学  
Magneto-optics of carbon nano-tubes
4. 超強磁場励起子相関  
Exciton correlation under extremely high magnetic fields





国際超強磁場科学研究施設 International MegaGauss Science Laboratory  
<http://kindo.issp.u-tokyo.ac.jp>

# 金道研究室

Kindo Group

教授  
Professor

金道 浩一  
Koichi KINDO

助教  
Research Associate

鳴海 康雄  
Yasuo NARUMI

当施設に設置されたコンデンサー電源を用いて、非破壊パルス強磁場を発生し、その強磁場下で精密な物性測定を行う。様々な用途に応じて、特殊なパルスマグネットの開発を行っており、現在、ユーザーが利用可能な磁場条件は以下の二種類である。

①ショートパルスマグネット：パルス幅 6 ミリ秒、  
最大磁場 70 テスラ

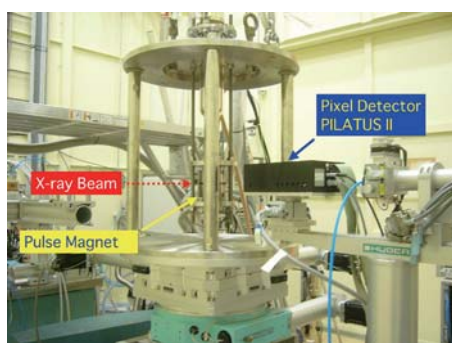
②ロングパルスマグネット：パルス幅 30 ミリ秒、  
最大磁場 65 テスラ

ショートパルスマグネットは主に非金属の磁化測定に用いられ、ロングパルスマグネットは金属試料の磁化測定および磁気抵抗測定などに用いている。当研究室で製作されたマグネットは非破壊パルス強磁場の世界記録を更新しており、現在も 100 テスラの発生を目指した開発を行っている。また、平成 18 年度より 4 カ年計画で実施中の超ロングパルス強磁場計画に向けた技術開発も行っている。この計画は、世界最大のフライホイール付き直流発電機を電源として用いることでパルス幅が 1 ～ 10 秒の磁場発生を目指すものである。

これ以外にも他研究機関との共同研究により様々なパルスマグネットの開発・供給を行っている。特に、SPring-8 と共同開発を行った強磁場下 X 線回折測定装置は最新のトピックスのひとつである。

SPring-8 の BL19LXU に設置されたパルス強磁場中 X 線回折測定装置の写真。

A picture of the experimental set-up for X-ray diffraction measurements under pulsed high magnetic field installed in the beamline BL19LXU at SPring-8.



We carry out precise measurements under non-destructive pulsed high magnetic fields that are generated by capacitor banks installed at the facility. Various magnets have been developed at user's requests. Up to now, available field conditions for users are as follows.

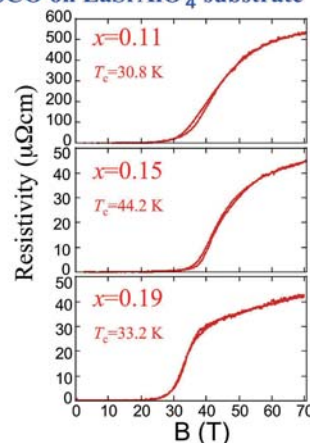
1. Short pulse magnet: Pulse duration 6 ms, maximum field 70 T

2. Long pulse magnet: Pulse duration 30 ms, maximum field 65 T

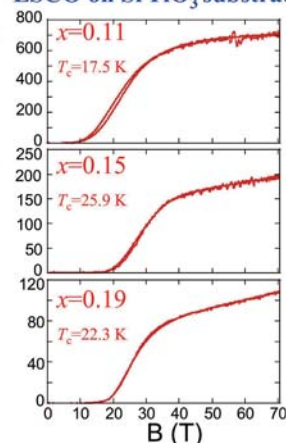
Short pulse magnet is used mainly for magnetization measurements on insulating materials and Long pulse magnet is used for magnetization and magneto-resistance measurements on metallic materials. Our magnet has been breaking the world record of non-destructive magnetic field and we continue to develop a new magnet aiming at the new world record of 100 T. A four-year project has been started from 2006 to generate long pulsed field with the duration of 1-10 seconds by use of the largest DC generator equipped with flywheels.

We are in collaboration with many researchers in other universities or institution by developing or supplying magnets. Recent topic is the development of X-ray diffractometer under pulsed field that is collaborated with SPring-8 in Harima.

LSCO on  $\text{LaSrAlO}_4$  substrate



LSCO on  $\text{SrTiO}_3$  substrate



70 T マグネットによる磁気抵抗測定の例。

An example of magneto-resistance by use of a 70 T magnet.

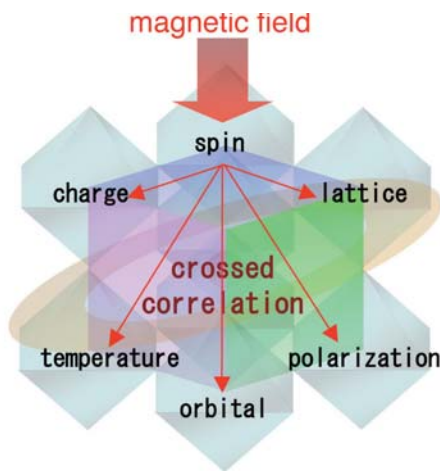
## 研究テーマ Research Subjects

1. 量子スピン系物質の磁性研究  
Study on magnetism of quantum spin systems
2. 強相関伝導物質の磁性と伝導の研究  
Study on magnetism and conductivity of strongly correlated electron systems
3. 非破壊 100 テスラマグネットの開発  
Development of non-destructive 100 T-magnet
4. 超ロングパルスマグネットの開発  
Development of ultra-long pulse magnet



磁場は物質の電子状態を精密に制御できる外場として広く物性研究に役立てられてきた。我々は非破壊型マグネットを用いた長時間パルス強磁場下において精密な物性測定を展開し、様々な磁性体・超伝導体の基礎物性を研究している。

本研究室では現在、スピン自由度が格子、電荷、軌道、電気分極などの自由度と結合した系における磁場誘起相転移を中心に研究を進めている。この系において磁場はスピン系を介して、結晶構造、電気抵抗、電気分極、光学スペクトルなど様々な物理量を変化させる。強磁場下で磁化、磁気抵抗、磁歪、電気分極、分光測定など様々な測定を行うことにより、この交差相関効果の根源的理解を目指す。またパルス磁場下における高速イメージングや各種熱力学量の精密測定など世界に先駆けた測定手法の開発を、物性研究所の金道研究室と連携して展開する。

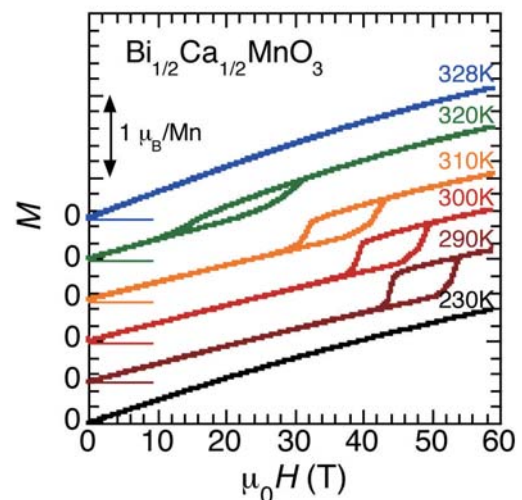


交差相関系における磁場誘起相転移の模式図。パルス強磁場を印加する事で、スピン系を介して結晶構造、電気抵抗、電気分極など様々な物理量を変化させる。

Schematic drawing of magnetic field-induced transitions in cross-correlated system. Application of pulsed high magnetic fields changes various physical properties via transitions in the spin system.

Magnetic-fields have been utilized as a useful external perturbation to accurately control the electronic states in materials. We develop various kinds of experimental systems for precise investigations of physical properties in pulsed-high magnetic fields generated by non-destructive magnets.

We mainly study field-induced phase transitions in strongly correlated electron systems in which multiple degrees of freedom couple to each other. We are going to clarify the nature of such system through detailed measurements on magnetization, magnetoresistance, magnetostriction, electric polarization, and spectroscopy in pulsed high magnetic fields. In addition, we are going to develop novel experimental technique, e.g. high-speed imaging in pulsed magnetic fields and various kinds of thermodynamic measurements with high accuracy. Experiments in high magnetic fields are carried out in collaboration with Prof. Kindo's group in ISSP.



交差相関を示すビスマス系マンガン酸化物における磁場誘起相転移。図に示した磁化の跳びと同時に電気抵抗と磁歪の急峻な変化が観測されている。

Magnetic field-induced transitions in bismuth-based manganites. Concomitantly with the demonstrated magnetic transitions, magnetoresistance and magnetostriction show drastic changes.

## 研究テーマ Research Subjects

1. 非平行磁性体におけるマルチフェロイック効果の研究  
Study of multiferroic effects in non-collinear magnets
2. ビスマスを含む遷移金属酸化物における交差相関物性  
Cross-correlation effects in bismuth-based transition-metal oxides
3. パルス強磁場下における高速偏光顕微鏡観察  
High-speed polarizing microscope imaging in pulsed-high magnetic fields
4. パルス強磁場下における磁気熱量効果測定  
Measurements of magneto-caloric effects in pulsed-high magnetic fields

# 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、ホームページや要覧・アクティビティレポートに関する業務を行う広報出版委員会などである。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、担当の技術職員または非常勤職員により実際の業務が行われる。

We have various facilities in order to support research activities. Cryogenic Service Laboratory for supplying liquid helium and liquid nitrogen, Model Shop for various machining, Radiation Laboratory for the safety in experiments that utilize X-ray,  $\gamma$ -ray and radioactive materials, Library, Stock Room for supplying common expendables, International Liaison Office for supporting foreign researchers, and Publication Section for advertisement and publication. In each facility, several staffs are working under supervision of corresponding committee.

低温委員長  
Chairperson  
Cryogenics service

榊原 俊郎  
Toshiro SAKAKIBARA

技術職員  
Technical Associate  
土屋 光  
Hikaru TSUCHIYA

技術職員  
Technical Associate  
鷺山 玲子  
Reiko SAGIYAMA

技術職員  
Technical Associate  
阿部 美玲（低温センター）  
Mirei ABE

工作委員長  
Chairperson  
Model shop

末元 徹  
Tohru SUEMOTO

技術専門職員  
Technical Associate  
岡部 清信  
Kiyonobu OKABE

技術専門職員  
Technical Associate  
山崎 淳  
Jun YAMAZAKI

研究支援推進員  
Technical Staff  
今井 忠雄  
Tadao IMAI

研究支援推進員  
Technical Staff  
榎本 泰道  
Yasumichi ENOMOTO

研究支援推進員  
Technical Staff  
村貫 静二  
Seiji MURANUKI

放射線管理委員長  
Chairperson  
Radiation lab.

高橋 敏男  
Toshio TAKAHASHI

技術専門職員  
Technical Associate  
野澤 清和  
Kiyokazu NOZAWA

図書委員長  
Chairperson  
Library

金道 浩一  
Koichi KINDO

係長  
Administrative Staff  
渡邊 留美  
Rumi WATANABE

一般職員  
Administrative Staff  
曽我 典子  
Noriko SOGA

管理委員長（ストックルーム）  
Chairperson  
Stock room

高田 康民  
Yasutami TAKADA

事務補佐員  
Administrative Staff  
四十住 英子  
Hideko AIZUMI

国際交流委員長  
Chairperson  
International liaison office

柴山 充弘  
Mitsuhiro SHIBAYAMA

事務補佐員  
Administrative Staff  
亀田 秋子  
Akiko KAMEDA

事務補佐員  
Administrative Staff  
久保 美穂子  
Mihoko KUBO

広報出版委員長  
Chairperson  
Publication and advertisement

勝本 信吾  
Shingo KATSUMOTO

技術補佐員  
Technical Staff  
石塚 みづゑ  
Mizue ISHIZUKA



## 低温液化室 Cryogenics Service Laboratory

低温委員長	榊原 俊郎	Chairperson: T. SAKAKIBARA
技術専門職員	土屋 光	Technical Associate: H. TSUCHIYA
技術職員	鷺山 玲子	Technical Associate: R. SAGIYAMA
技術職員	阿部 美玲	Technical Associate: M. ABE
	(低温センター)	(Cryogenic Research Center)

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。2006年度の液体ヘリウムの生産量と供給量はそれぞれ260,000 L、197,000 Lである。液体窒素は外部より購入し、供給している。2006年度の液体窒素の使用量は565,000 Lとなっている。

The aim of this laboratory is to supply liquid helium and liquid nitrogen, and to give general services concerning cryogenic techniques. The laboratory also takes care of high-pressure gas cylinders used in Kashiwa Campus. Liquid helium is produced by the laboratory's own liquefier and supplied to the researchers and students. The evaporated helium gas is recovered and purified in this laboratory for recycling liquefactions. In the 2006 fiscal year, 260,000 L of liquid helium was produced as a total and 197,000 L was supplied to the users. Liquid helium is transferred from the 6,000 L storage vessel to various small storages with the centrifugal immersion pump system. Liquid nitrogen is purchased from outside manufacturers. The supplied liquid nitrogen was 565,000 L in the same year.

### 主要設備

### Main Facilities

ヘリウム液化装置Ⅰ (リンデ)	Helium liquefier system I (Linde)	200 L/hr
ヘリウム液化装置Ⅱ (リンデ)	Helium liquefier system II (Linde)	150 L/hr
液体ヘリウム貯槽	Liquid helium storage vessel	6,000 L
液体窒素貯槽	Liquid nitrogen storage tanks	20,000 L
回収用ヘリウムガス圧縮機	Helium gas recovery compressor	190 m <sup>3</sup> /hr
移動用ヘリウムガス容器	Liquid helium transport containers	500 L, 250 L, 100 L etc.
遠心式ヘリウム汲上げポンプ	Centrifugal liquid helium pump system	20 L/min



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

## 工作室 Model Shop

工作委員長	末元 徹	Chairperson: T. SUEMOTO
技術専門職員	岡部 清信	Technical Associate: K. OKABE
技術専門職員	山崎 淳	Technical Associate: J. YAMAZAKI
研究支援推進員	今井 忠雄	Technical Staff: T. IMAI
研究支援推進員	榎本 泰道	Technical Staff: Y. ENOMOTO
研究支援推進員	村貫 静二	Technical Staff: S. MURANUKI

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

### 主要設備

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

### Main Facilities

Machine shop: Five-Axis Universal Machining Center,  
Numerically Controlled Lathe,  
Numerically Controlled Milling Machine,  
Electric Discharge Machining Tool,  
Glass shop: Lathe for Glass Work, Polishing Tool,  
Ultrasonic Machining Tool  
Supporting Machine Shop: Universal Lathes, Precision Lathes,  
Milling Machines



NC旋盤による作業  
Numerically controlled lathe

## 放射線管理室 Radiation Safety Laboratory

放射線管理委員長 高橋 敏男 Chairperson : T. TATAHASHI  
技術専門職員 野澤 清和 Technical Associate: K. NOZAWA  
(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 is to protect researchers from irradiation due to radioactive source, X-rays,  $\gamma$ -rays and the like and to provide rooms for radiation experiments and radiochemical operations by use of unsealed U, Th and sealed <sup>22</sup>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（<sup>22</sup>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、各種サーベイメータ等、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 <sup>22</sup>Na source), various types of survey-meters, and, 7ch hand-foot-clothing monitor.



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

## 図書室 Library

図書委員長 金道 浩一 Chairperson : K. KINDO  
係長 渡邊 留美 Administrative Staff: R. WATANABE  
一般職員 曾我 典子 Administrative Staff: N. SOGA

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、物性科学を中心とした資料を多数所蔵し、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る。所蔵資料以外にも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が利用できる。

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、現物貸借サービスを行い資料の提供に努めている。

The ISSP Library holds many documents concerning materials science for researchers. The online catalogue can be used to find books and journals held in the Library. The IT facility gives the access to many electronic journals and online databases. If an item is not available locally, the Library can arrange an inter-library loan.

Service hours: Monday-Friday 9:30-17:00

### 概要

面積 : 783m<sup>2</sup>  
蔵書数 : 60,568 冊（平成 18 年度末現在）  
（洋書 55,232 冊、和書 5,336 冊、製本雑誌を含む）  
雑誌種類数 : 723 種（洋雑誌 623 種、和雑誌 100 種）  
開室時間 : 平日 9:30-17:00（時間外利用 6:00-24:00）  
座席数 : 24 席（内 8 席は LAN ケーブル、電源コンセント設置）  
検索用端末 : 4 台  
複写機 : 3 台  
運営 : 図書委員会  
職員数 : 3 人（非常勤職員含む）  
<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/tosyo/>



図書室  
Library

## ストックルーム Stock Room

管理委員長 高田 康民 Chairperson: Y. TAKADA  
事務補佐員 四十住 英子 Administrative Staff: H. AIZUMI

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

在庫品目と価格はウェブページで参照できる。(http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/contents/sections/stockroom/list.html)

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

The available items and prices can be checked on the webpage of ISSP. (http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/contents/sections/stockroom/list.html)



ストックルーム  
Stock Room

## 国際交流室 International Liaison Office

国際交流委員長 柴山 充弘 Chairperson: M. SHIBAYAMA  
事務補佐員 亀田 秋子 Administrative Staff: A. KAMEDA  
事務補佐員 久保 美穂子 Administrative Staff: M. KUBO

物性研究所における国際交流にかかわる業務を行う。国際交流委員会のもと、外国人客員所員の募集、招聘、宿舍の管理、物性研究所国際ワークショップの募集、ISSP 国際シンポジウムの運営に関する業務やノウハウの蓄積などを行っている。その他、日常の外国人滞在者の生活支援や、さまざまな情報提供をしている。

「国際交流」

外国人訪問者の支援

(住居・学内外・諸事務手続き、日常生活等)

研究プロジェクトの申請・実施に関する事務

「国内交流」

客員所員の支援(事務手続き・住居の準備)

リ克雷ションの企画・実施

The International Liaison Office handles various international matters at ISSP under the supervision of the Committee for international affairs. The major functions are the coordination of a visiting professorship program, the assistance in ISSP international symposiums, and the accumulation of “know-how” for continuous improvement of our services. The Office also serves as an information center for researchers from abroad.



国際交流室  
International Liaison Office



# 柏キャンパス地図/ Kashiwa Campus Map

●東京大学物性研究所  
ISSP

- ① 本館  
Main Building
- ② 低温・多重極限実験棟  
Cryogenic/Multiple Extreme Conditions Laboratory
- ③ ショートパルス強磁場実験棟  
Short Pulse Magnet Laboratory
- ④ 先端分光実験棟  
Advanced Spectroscopy Laboratory
- ⑤ 軌道放射実験棟 (SOR実験棟)  
Synchrotron Radiation Laboratory
- ⑥ ロングパルス強磁場実験棟  
Long Pulse Magnet Laboratory

●東京大学宇宙線研究所  
Institute for Cosmic Ray Research

- ⑦ 宇宙線研究所  
Institute for Cosmic Ray Research

●東京大学新領域創成科学研究科  
Graduate School of Frontier Science

- ⑧ 基盤棟  
Transdisciplinary Sciences Bldg
- ⑨ 基盤科学実験棟  
Transdisciplinary Sciences Laboratory
- ⑩ 生命棟  
Biosciences Bldg
- ⑪ 環境棟  
Environmental Studies Bldg
- ⑫ 情報生命科学実験棟  
Computational Biology Laboratory

●共用施設  
Supporting Facilities

- ⑬ 柏総合研究棟  
General Research Building
- ⑭ 環境安全研究センター柏支所  
Environmental Science Center, Kashiwa Branch
- ⑮ 柏図書館  
Kashiwa Library
- ⑯ 福利・厚生棟  
Cafeteria and Shop
- ⑰ 共同利用研究員宿泊施設  
Guest House





## ■東京大学物性研究所

The Institute for Solid State Physics,  
The University of Tokyo

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5

5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8581

TEL: (04) 7136-3207

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

### 交通案内

- つくばエクスプレス 柏の葉キャンパス駅西口から
  - 徒歩の場合 約25分
  - タクシー利用の場合 約5分
  - バス利用の場合、東武バス「柏の葉公園循環」または「江戸川台駅東口行き」で約10分「東大前」下車 徒歩約1分
- JR常磐線柏駅西口から
  - バス利用で、東武バス「国立がんセンター行き」で約25分
    - 柏の葉公園経由の場合「東大前」下車 徒歩約1分
    - 税関研修所経由の場合「国立がんセンター」下車 徒歩約4分
- 東武野田線江戸川台駅東口から
  - 徒歩の場合 約35分
  - タクシー利用の場合 約5分
  - バス利用の場合、東武バス「柏の葉キャンパス駅西口行き」で約6分「東大前」下車 徒歩約1分
- 羽田空港から
  - 高速バス利用で、「柏駅西口行き」約75分「国立がんセンター」下車 徒歩4分
- 常磐自動車道柏I.C.から車で約5分



## ■附属軌道放射物性研究施設つくば分室

(高エネルギー加速器研究機構内)

Tsukuba Branch of Synchrotron  
Radiation Laboratory

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

TEL: (029) 864-1171

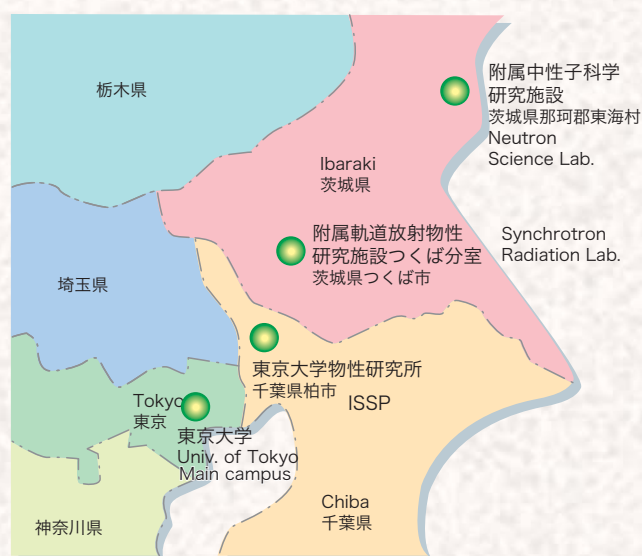
## ■附属中性子科学研究施設

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  
2007年11月

表紙・裏表紙・見返し写真提供：市原正樹、吉本芳英、Marat Gaifullin



I S S P

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

