



北海道大学 電子科学研究所



Research Institute for Electronic Science
Hokkaido University, Sapporo, Japan

北海道大学 電子科学研究所
TEL (011)716-2111(代表)

.....
<http://www.es.hokudai.ac.jp/>
.....

〒001-0020 札幌市北区北20条西10丁目(北キャンパス)
〒060-0812 札幌市北区北12条西7丁目(中央キャンパス)
〒001-0021 札幌市北区北21条西10丁目
(附属グリーンナノテクノロジー研究センター)





所長 西井 準治
Director Prof. Junji Nishii

ごあいさつ

電子科学研究所は、新しい学際領域を開拓することをミッションに掲げて20年以上の歴史を刻んでまいりました。また、前身の超短波研究所まで遡りますと、組織の発足から70年以上が経過しました。最近では、文部科学省が2007年に開始した先端研究施設共用イノベーション創出事業ナノテクノロジーネットワークプログラムにおいて、「北海道イノベーション創出ナノ加工・計測支援ネットワーク」の拠点として参画し、附属ナノテクノロジー研究センターが発足しました。それから5年が経過した2012年には全所的な組織改編を実施し、「光科学」、「物質科学」、「生命科学」、「数理科学」の4部門と、「附属グリーンナノテクノロジー研究センター」の5本柱の体制で、ミッション遂行に全力で取り組んでいるところです。

現在の電子科学研究所は17研究分野で構成され、それぞれが高いアクティビティを維持していますが、外部連携という観点での取り組みは十分とはいえませんでした。そのような中、2009年より、文部科学省認定による「物質・デバイス領域ネットワーク型共同研究拠点」に参画させて頂く機会を得ました。現在は、多元物質科学研究所(東北大学)、資源化学研究所(東京工業大学)、産業科学研究所(大阪大学)、先端物質化学研究所(九州大学)とアライアンスを締結して、拠点事業全体で毎年400件以上の共同研究が実施されています。昨今の国が支援する

プロジェクトの中には、国内外の大学や研究機関との異分野連携や産業界との縦系的連携を構築しなければ対応が難しい課題が多くなりましたが、このような日本縦断型の骨太な研究ネットワークは、今後の研究所の発展を支える上で極めて重要です。

国際連携につきましては、米国、台湾、中国、欧州の複数の大学との学術交流協定を締結しているところではありますが、ここ数年は、共著論文等の成果が問われるようになりました。新しい学際領域の開拓を標榜する電子科学研究所は、国際化とその成果の見える化は喫緊の重要課題と位置づけ、総力を挙げて戦略的に取り組んでまいります。一方、得られた研究成果の積極的な外部発信にも努めます。例えば、毎年6月に実施している研究所の一般公開への取り組みは、学内の他の研究所、センターにも波及して、最近の来場者数は総勢1000名を超えるようになりました。

2004年の国立大学の法人化以来、様々な大学改革の施策が講じられてきました。特に、大学附置研究所の存続は常に問われていますが、日本の科学技術を牽引する組織としてあり続けることが最大のミッションであることは間違いありません。その一方で、普遍性と特殊性を兼ね備えた研究所の運営はますます困難を極めることが予想されます。経験豊富な諸先輩方の協力を得ながら、電子科学研究所の着実な前進に微力を尽くす所存です。皆様の一層のご支援、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

The Research Institute for Electronic Science (RIES) of Hokkaido University has more than 20 years of history during which we have worked actively under the mission of development of new interdisciplinary fields. If the Research Institute of Ultrashort Waves, its predecessor, is considered, then more than 70 years have passed since establishment of the organization. Since 2007, we have been participating in a nanotechnology network project for creating outcomes by sharing cutting-edge research equipments and facilities launched by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). We are acting as the hub of "Hokkaido innovation creation nano-engineering and measurement support network" in this program and established nano-technology research center attached to the institute. In 2012, five years after its establishment, the organization was reformed comprehensively to have four departments attached to the institute, including "Photonics and Optical Science", "Material and Molecular Sciences", "Biology and Life Sciences" and "Mathematical and System Sciences" and "Green Nanotechnology Research Center", making a total of five pillars. We are making every effort to accomplish our missions.

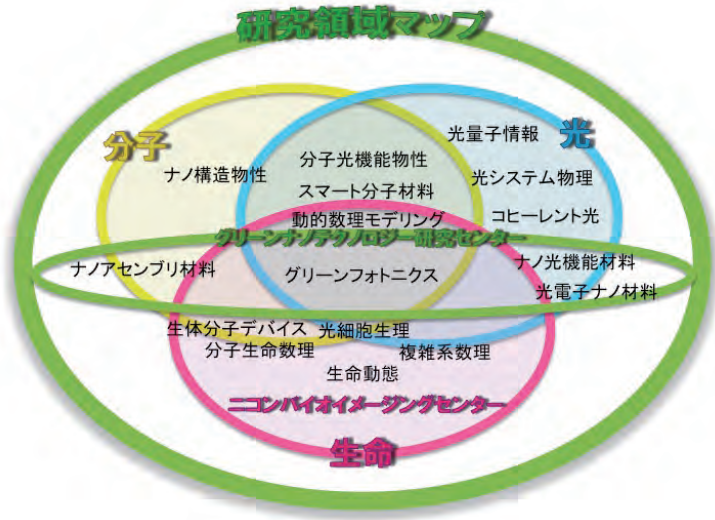
At present, RIES comprises 16 research fields, each maintaining their respective high levels of activity. However, it is not adequate to say that our activity has been good from the viewpoint of coalition with outside parties. Under such circumstances, in 2009, we gained a chance at participation in "Network type cooperative hub for materials and devices," which was officially approved by the MEXT. We concluded an alliance agreement with the Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials (Tohoku Univ.), Chemical Resources Laboratory (Tokyo Institute of Technology), The Institute of Science and Industrial Research (Osaka Univ.), and the Institute for Materials Chemistry and Engineering (Kyushu Univ.). More than 400 joint investigations are being promoted every year by the whole hub. Recently, many projects supported by the nation involve difficult issues that will be difficult to resolve unless coalitions of different fields with universities and research institutes domestic and abroad are promoted or unless vertical relationships with industrial fields are established. Such a robust research network across Japan is extremely important for supporting the development of future RIES.

For the international coalition, we have concluded academic exchange agreements with universities in the U.S.A., Taiwan, China, and Europe. During these years, the value of joint papers is being carefully evaluated. RIES, which is aimed at development of new interdisciplinary fields, regards internationalization and visualization of its outcome as urgent issues and intends to tackle these issues strategically in full force. We will continue to transmit research outcomes actively to others. For example, opening of the institute to the general public is done in June every year, a practice that is now spreading to other research institutes and centers of the university. The number of visitors exceeds 1,000 people.

Since transition of national universities to independent administrative corporations in 2004, various measures have been taken for reformation of the university. In particular, continuation of the affiliated research institutes is always re-assessed, although it is absolutely true that the primary mission of the research institute is to remain as an organization that pushes forward Japanese science and technology. Operations of RIES, having both generality and specialty, might become increasingly difficult. It is our belief that we must continue to do what we can stay the course of steady advancement of RIES while eliciting cooperation from senior associates with abundant experience. Your continued support and cooperation will always be greatly appreciated.



所 長	教授会	所内各種委員会	北キャンパス合同事務部	光科学研究部門 Section of Photonics and Optical Science	光システム物理研究分野 Laboratory of Photo-System Physics 4 光量子情報研究分野 Laboratory of Quantum Information Photonics 5 コヒーレント光研究分野 Laboratory of Coherent X-ray Optics 6
				物質科学研究部門 Section of Material and Molecular Sciences	分子光機能物性研究分野 Laboratory of Molecular Photonics 8 スマート分子材料研究分野 Laboratory of Smart Molecules 9 ナノ構造物性研究分野 Laboratory of Nanostructure Physics 10 薄膜機能材料研究分野 Laboratory of Functional Thin Film Materials 11
				生命科学研究部門 Section of Biology and Life Sciences	光細胞生理研究分野 Laboratory of Molecular and Cellular Biophysics 13 生体分子デバイス研究分野 Laboratory of Molecular Devices 14 生命動態研究分野 Laboratory of Physical Ethology 15
				数理科学研究部門 Section of Mathematical and System Sciences	複雑系数理研究分野 Laboratory of Complex Systems Research Group 17 分子生命数理研究分野 Laboratory of Molecule & Life Nonlinear Sciences 18 動的数理モデリング研究分野 Laboratory of Mathematical Modeling 19
				附属グリーンナノテクノロジー研究センター Green Nanotechnology Research Center	グリーンフォトンクス研究分野 Laboratory of Green Photonics 11 光電子ナノ材料研究分野 Laboratory of Nanostructured Functional Materials 22 ナノ光機能材料研究分野 Laboratory of Nanophotonics 23 ナノアセンブリ材料研究分野 Laboratory of Functional Nanomolecular Materials 24
				連携推進部門 Cooperative Research Department	産研アライアンス研究分野 Laboratory of SANKEN Alliance 26 理研連携研究分野 Laboratory of RIKEN Alliance 26 社会連携客員研究分野 Laboratory of Social Cooperation Advisory
				研究支援部 Research Support Department	ニコンイメージングセンター Nikon Imaging Center 27 国際連携推進室 Promotion Office for International Alliance 28 ナノテク連携推進室 Promotion Office for Nanotechnology Collaboration 29
				技術部 Division of Technical Staff	システム開発技術班 System Development Team 30 ナノ加工・計測技術班 Nanofabrication and Measurement Team 30 装置開発技術班 Equipment Development Team 30



活 動	Activities 31
沿 革	History 33
職 員	Staff Directory	... 34



所長 西井 準治
Director Prof. Junji Nishii

ごあいさつ

電子科学研究所は、新しい学際領域を開拓することをミッションに掲げて20年以上の歴史を刻んでまいりました。また、前身の超短波研究所まで遡りますと、組織の発足から70年以上が経過しました。最近では、文部科学省が2007年に開始した先端研究施設共用イノベーション創出事業ナノテクノロジーネットワークプログラムにおいて、「北海道イノベーション創出ナノ加工・計測支援ネットワーク」の拠点として参画し、附属ナノテクノロジー研究センターが発足しました。それから5年が経過した2012年には全所的な組織改編を実施し、「光科学」、「物質科学」、「生命科学」、「数理科学」の4部門と、「附属グリーンナノテクノロジー研究センター」の5本柱の体制で、ミッション遂行に全力で取り組んでいるところです。

現在の電子科学研究所は17研究分野で構成され、それぞれが高いアクティビティを維持していますが、外部連携という観点での取り組みは十分とはいえませんでした。そのような中、2009年より、文部科学省認定による「物質・デバイス領域ネットワーク型共同研究拠点」に参画させて頂く機会を得ました。現在は、多元物質科学研究所(東北大学)、資源化学研究所(東京工業大学)、産業科学研究所(大阪大学)、先端物質化学研究所(九州大学)とアライアンスを締結して、拠点事業全体で毎年400件以上の共同研究が実施されています。昨今の国が支援する

プロジェクトの中には、国内外の大学や研究機関との異分野連携や産業界との縦系的連携を構築しなければ対応が難しい課題が多くなりましたが、このような日本縦断型の骨太な研究ネットワークは、今後の研究所の発展を支える上で極めて重要です。

国際連携につきましては、米国、台湾、中国、欧州の複数の大学との学術交流協定を締結しているところではありますが、ここ数年は、共著論文等の成果が問われるようになりました。新しい学際領域の開拓を標榜する電子科学研究所は、国際化とその成果の見える化は喫緊の重要課題と位置づけ、総力を挙げて戦略的に取り組んでまいります。一方、得られた研究成果の積極的な外部発信にも努めます。例えば、毎年6月に実施している研究所の一般公開への取り組みは、学内の他の研究所、センターにも波及して、最近の来場者数は総勢1000名を超えるようになりました。

2004年の国立大学の法人化以来、様々な大学改革の施策が講じられてきました。特に、大学附置研究所の存続は常に問われていますが、日本の科学技術を牽引する組織としてあり続けることが最大のミッションであることは間違いありません。その一方で、普遍性と特殊性を兼ね備えた研究所の運営はますます困難を極めることが予想されます。経験豊富な諸先輩方の協力を得ながら、電子科学研究所の着実な前進に微力を尽くす所存です。皆様の一層のご支援、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

The Research Institute for Electronic Science (RIES) of Hokkaido University has more than 20 years of history during which we have worked actively under the mission of development of new interdisciplinary fields. If the Research Institute of Ultrashort Waves, its predecessor, is considered, then more than 70 years have passed since establishment of the organization. Since 2007, we have been participating in a nanotechnology network project for creating outcomes by sharing cutting-edge research equipments and facilities launched by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). We are acting as the hub of "Hokkaido innovation creation nano-engineering and measurement support network" in this program and established nano-technology research center attached to the institute. In 2012, five years after its establishment, the organization was reformed comprehensively to have four departments attached to the institute, including "Photonics and Optical Science", "Material and Molecular Sciences", "Biology and Life Sciences" and "Mathematical and System Sciences" and "Green Nanotechnology Research Center", making a total of five pillars. We are making every effort to accomplish our missions.

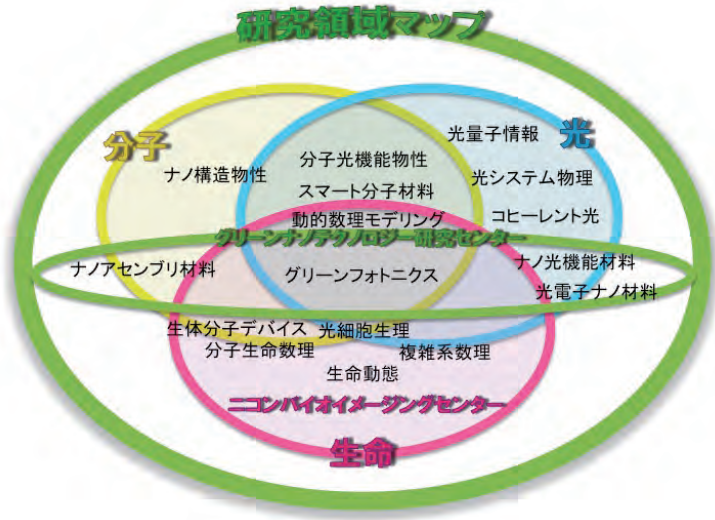
At present, RIES comprises 16 research fields, each maintaining their respective high levels of activity. However, it is not adequate to say that our activity has been good from the viewpoint of coalition with outside parties. Under such circumstances, in 2009, we gained a chance at participation in "Network type cooperative hub for materials and devices," which was officially approved by the MEXT. We concluded an alliance agreement with the Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials (Tohoku Univ.), Chemical Resources Laboratory (Tokyo Institute of Technology), The Institute of Science and Industrial Research (Osaka Univ.), and the Institute for Materials Chemistry and Engineering (Kyushu Univ.). More than 400 joint investigations are being promoted every year by the whole hub. Recently, many projects supported by the nation involve difficult issues that will be difficult to resolve unless coalitions of different fields with universities and research institutes domestic and abroad are promoted or unless vertical relationships with industrial fields are established. Such a robust research network across Japan is extremely important for supporting the development of future RIES.

For the international coalition, we have concluded academic exchange agreements with universities in the U.S.A., Taiwan, China, and Europe. During these years, the value of joint papers is being carefully evaluated. RIES, which is aimed at development of new interdisciplinary fields, regards internationalization and visualization of its outcome as urgent issues and intends to tackle these issues strategically in full force. We will continue to transmit research outcomes actively to others. For example, opening of the institute to the general public is done in June every year, a practice that is now spreading to other research institutes and centers of the university. The number of visitors exceeds 1,000 people.

Since transition of national universities to independent administrative corporations in 2004, various measures have been taken for reformation of the university. In particular, continuation of the affiliated research institutes is always re-assessed, although it is absolutely true that the primary mission of the research institute is to remain as an organization that pushes forward Japanese science and technology. Operations of RIES, having both generality and specialty, might become increasingly difficult. It is our belief that we must continue to do what we can stay the course of steady advancement of RIES while eliciting cooperation from senior associates with abundant experience. Your continued support and cooperation will always be greatly appreciated.



所 長	教授会	所内各種委員会	北キャンパス合同事務部	光科学研究部門 Section of Photonics and Optical Science	光システム物理研究分野 Laboratory of Photo-System Physics 4 光量子情報研究分野 Laboratory of Quantum Information Photonics 5 コヒーレント光研究分野 Laboratory of Coherent X-ray Optics 6
				物質科学研究部門 Section of Material and Molecular Sciences	分子光機能物性研究分野 Laboratory of Molecular Photonics 8 スマート分子材料研究分野 Laboratory of Smart Molecules 9 ナノ構造物性研究分野 Laboratory of Nanostructure Physics 10 薄膜機能材料研究分野 Laboratory of Functional Thin Film Materials 11
				生命科学研究部門 Section of Biology and Life Sciences	光細胞生理研究分野 Laboratory of Molecular and Cellular Biophysics 13 生体分子デバイス研究分野 Laboratory of Molecular Devices 14 生命動態研究分野 Laboratory of Physical Ethology 15
				数理科学研究部門 Section of Mathematical and System Sciences	複雑系数理研究分野 Laboratory of Complex Systems Research Group 17 分子生命数理研究分野 Laboratory of Molecule & Life Nonlinear Sciences 18 動的数理モデリング研究分野 Laboratory of Mathematical Modeling 19
				附属グリーンナノテクノロジー研究センター Green Nanotechnology Research Center	グリーンフォトンクス研究分野 Laboratory of Green Photonics 11 光電子ナノ材料研究分野 Laboratory of Nanostructured Functional Materials 22 ナノ光機能材料研究分野 Laboratory of Nanophotonics 23 ナノアセンブリ材料研究分野 Laboratory of Functional Nanomolecular Materials 24
				連携推進部門 Cooperative Research Department	産研アライアンス研究分野 Laboratory of SANKEN Alliance 26 理研連携研究分野 Laboratory of RIKEN Alliance 26 社会連携客員研究分野 Laboratory of Social Cooperation Advisory
				研究支援部 Research Support Department	ニコンイメージングセンター Nikon Imaging Center 27 国際連携推進室 Promotion Office for International Alliance 28 ナノテク連携推進室 Promotion Office for Nanotechnology Collaboration 29
				技術部 Division of Technical Staff	システム開発技術班 System Development Team 30 ナノ加工・計測技術班 Nanofabrication and Measurement Team 30 装置開発技術班 Equipment Development Team 30



活 動	Activities 31
沿 革	History 33
職 員	Staff Directory	... 34

光科学研究部門

Section of Photonics and Optical Science



本研究部門では、光や電子の波動性を利用した並列・高速・精密計測技術をベースとして、光の量子性・波動性をフルに活用した新しい概念に基づく光計測・光制御・光情報処理、光子を自在に制御・検出するための光量子デバイスや単一光子源、コヒーレントX線を用いた新しい計測技術の開発に取り組んでいます。このような研究は、新しい世代の光科学・光技術として、量子工学や生物学などの分野に応用されます。

Based on parallel, high-speed, and precision measurement techniques that rely on the wave nature of light and electrons, this section strives to develop the followings: optical measurement, control, and information processing that are based on the new concept of the full use of optical quantum and wave nature; photonic devices for the flexible control and detection of photons, as well as single photon sources; and new measurement technologies using coherent X-rays. This research is expected to lead to a new generation of optical science and technologies, which will be applied to quantum engineering, biology, and other fields.

光の量子性、波動性を極める新世代光科学

Towards ultimate optical sciences and quantum photonics

光情報処理、光メモリ、光通信など「光」の優れた時間・空間特性を利用したテクノロジーはこれからの高度情報化社会において重要な役割を担っている。本研究分野では、光テクノロジーの究極を目指して、光の量子力学的な振る舞い、マイクロ・ナノスケールの微細構造における光の局在、光子と単一分子・原子との相互作用等、光の量子性・波動性をフルに活用した光量子制御・計測技術の新規光物理現象の解明を行っている。また、これらの現象を利用して、単一光子で単一光子を制御する超高感度非線形光学デバイスやナノメートル空間における単一分子・ナノ結晶等の振る舞いを解析する光計測技術やナノセンサーデバイス等の実現を目指した新しい世代の光科学の研究に取り組んでいる。

光量子制御： 単一光子制御デバイスや超低しきい値レーザーの開発を目指し、球形微粒子やランダム構造等のマイクロ・ナノスケールの微細構造体における光局在現象を利用した原子・分子の発光ダイナミクス制御や非線形光学現象の解析、および、それらを用いた光デバイスの実現を目指す。

光計測制御： ナノ空間の光計測技術やレーザーマニピュレーションを利用した極微弱な力の解析や、単一光子源の開発に向けた単一分子・単一ナノ微粒子の分光計測システムの構築、ならびに、もつれ合い光子を用いたナノリソグラフィ技術の開発を目指している。

研究テーマ

- ナノ構造体における光共振現象の解析と単一光子制御デバイスの開発
- 単一分子・単一ナノ微粒子のダイナミック分光計測と単一光子源の開発
- 3次元ナノ位置検出技術と光マニピュレーションを用いた極微弱力解析
- 量子もつれ合い光子を用いた超解像リソグラフィ技術の開発
- 超狭帯域レーザー顕微分光ナノイメージング
- 微小球やナノ光ファイバを利用した、ナノフォトニックデバイスの研究
- 光の軌道角運動量と電子状態に関する研究

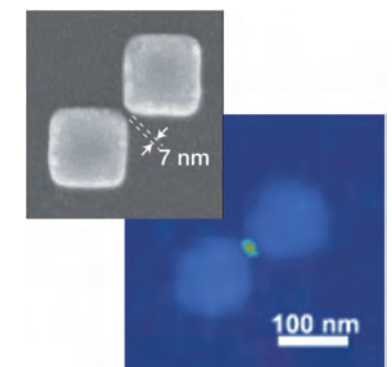
Advanced optical technologies utilizing unique characteristics of light will play an important role in a future information-oriented society. Our group aims to open new research fields in optical sciences and to progress toward the ultimate goal of new optical technologies. On the basis of new ideas and original concepts, we investigated optical communication, metrology, and control technologies manipulating the quantum and wave natures of light.

Quantum control of photodynamics: Photon localization within micro-spherical cavities and random structures are investigated to realize cavity quantum electrodynamical effects and nonlinear optical phenomena for applications such as single-photon switching devices and highly efficient microlasers.

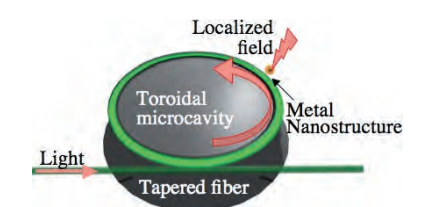
Optical measurement and control: Three-dimensional nano-position sensing, laser manipulation, and single molecule spectroscopy are utilized for control of molecular interactions and for spectroscopic analyses of single molecules and single nanoparticles. Quantum lithography using entangled photons is also investigated.

Research Interests

- Quantum dynamics in micro- and nano-structures
- Dynamical single molecule and nanoparticle spectroscopy
- Nanometer-space potential analysis with laser manipulation
- Quantum lithography using entangled photons
- Analysis of photon-localization with narrow-band laser microimaging spectroscopy
- Nano-photonic devices using micro-spheres and nano-optical fiber
- Optical angular momentum and related materials



Direct imaging of nanogap-mode plasmon-resonant fields.



Highly efficient photon coupling into a single plasmonic nanostructure using a fiber-coupled microcavity.

光量子を操り、究極の技術を実現する

Manipulation of individual photons toward ultimate technologies

アインシュタインによる光量子の発見から100年を経て、現在、光子1粒1粒を発生させ、その状態間の量子相関を自在に制御する「新しい光の状態」の研究が展開しつつある。その典型例が、究極のセキュリティを実現する量子暗号通信や、既存の計算機には原理的に解くことのできない問題を解く、量子計算の研究である。また通常の光による測定感度の限界を超える感度が実現する量子光計測や、光の回折限界以下の解像度をもつ量子光リソグラフィも研究されている。本研究分野では、量子情報・量子光計測および光子の量子状態を自在に制御・検出するための量子フォトンicsの研究を推進している。また、ナノスケールにおける量子揺動の研究も平行して行っている。

量子フォトンics: マイクロ・ナノスケールの構造体に閉じこめられた光と、単一発光体の相互作用（共振器量子電磁気学）、ならびにそれらを用いた新規量子デバイスの実現を目指す。

量子情報・量子光計測: 光子を用いた量子回路の構築、ならびにそれを用いた量子アルゴリズム、量子暗号、量子光計測への適用を目指す。

ナノスケール揺動: 周波数高分解および超高速時間分解光散乱法を用いて、ナノスケールの分極揺動・量子揺動の精密測定から、誘電体電子材料の巨大誘電率発現機構を解明する。

研究テーマ

- 光量子情報・光量子計測の実現に向けた光量子回路の研究
- 微小球やナノ光ファイバを利用したナノフォトリックデバイスの研究
- 高効率単一光子源や、高量子効率光子検出器の開発
- プレブスカイト酸化物におけるナノスケール分極揺動
- 量子常誘電体におけるナノスケール量子揺動

After a century from the dis-covery of light quanta by Einstein, the generation of individual single photons and the control of quan-tum correlation among them are being studied. Such researches will open a new paradigm of 'Science using novel photonic states.' Typi-cal examples are quantum cryp-tography realizing ultimate security and quantum computers with which can solve some problems ex-tremely more efficient than con-ventional computers. Quantum optical measurement which ena-bles super-sensitivity beating the standard quantum limit and quan-tum lithography with resolution beating the diffraction limit is also studied. In this context, we are studying the following topics.

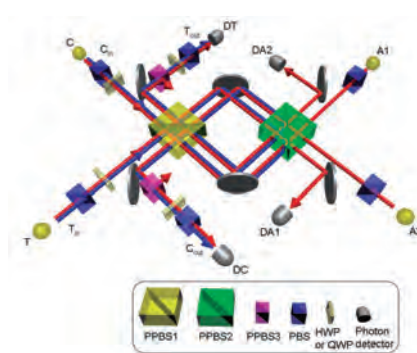
Quantum Photonics: Quantum Electro Dynamics (QED) using light confined in micro/nano structures interacting with individual light emitters toward the realization of new quantum information devices.

Quantum Information and Quan-tum Metrology: Realization of quantum optical circuits using photons for quantum algorithms, quantum cryptography and quan-tum optical measurement.

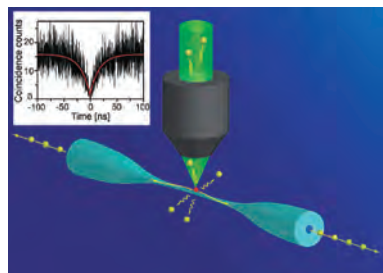
Nanoscale Fluctuation: Investiga-tion on dynamical origin of huge dielectric constant from the point view of "polarization and quantum fluctuations of nm-scale" by using the high frequency-resolved and ultra fast time-resolved spectroscopy.

Research Interests

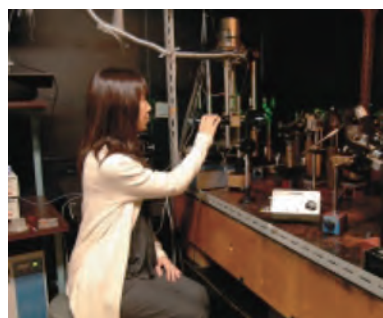
- Optical quantum circuit for quantum information and quantum metrol
- Nanophotonic devices using microspheres and optical nanofiber
- Highly efficient single photon sources and single photon de-tectors
- Nanoscale polarization fluc-tuation in Perovskite-type ox-ides
- Nanoscale quantum fluctua-tion in quantum-paraelectrics



Optical quantum circuit.



Optical nanofiber.



コヒーレントX線で深部のナノ世界に挑む

Unveiling deep nano-world with coherent x-rays

コヒーレントX線を用いたイメージングは、従来の顕微鏡では観察が難しかった、物質深部のナノ構造に光を当てて手法である。

X線は、伝統的に、結晶試料に対する原子構造解析に威力を発揮してきた。さらに、位相の揃ったコヒーレントX線を用いることにより、例えば、細胞や細胞小器官など、結晶化できない試料に対しても、高分解能構造解析への扉が開く。

X線の高い透過性を活かすことにより、透過電子顕微鏡では困難な、マイクロメートルを超える厚みのある試料も、薄片片にする必要なく、丸ごと3次元的にイメージングできる。これにより、試料が機能する自然の状態に近い内部構造の観察が実現する。

先端的コヒーレントX線の特徴を最大限活かし、マクロな世界から原子の世界までをシームレスにイメージングする基礎および応用研究を展開する。これは、我々にとって関心の対象となるマクロな機能を、原子・ナノ構造と結びつけて理解する上で極めて重要であり、生命科学から物質科学に至る幅広い科学分野で、新しい科学的知見を与えるブレークスルーをもたらすと期待する。

研究テーマ

- X線回折顕微法による細胞や細胞小器官などのナノイメージング
- 自由電子レーザーを用いた超高速コヒーレントイメージング
- X線ナノ集光技術の開発と生体イメージングへの応用
- X線自由電子レーザーを用いた溶液中の生体試料イメージング

Coherent x-ray imaging utilizing advanced synchrotron radiation and x-ray free-electron lasers sheds a new light on nanostructures deep inside materials, which have been difficult to access with conventional microscopy.

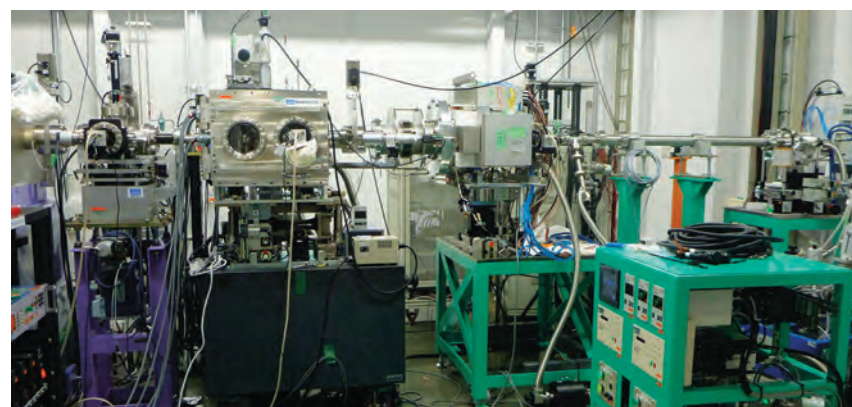
Traditionally, x-rays have been powerfully used for atomic structure determination for crystalline samples. Coherent x-rays with well-defined wavefront further open up new avenues for x-ray nano-structure analysis even for non-crystalline sample, such as cells or organelles.

The high penetration power of x-rays enables 3D imaging of samples over micrometer thickness with no need for thin sectioning, in contrast to transmission electron microscopy. Importantly, it realizes the observation of internal structures of the sample closer to naturally functioning conditions.

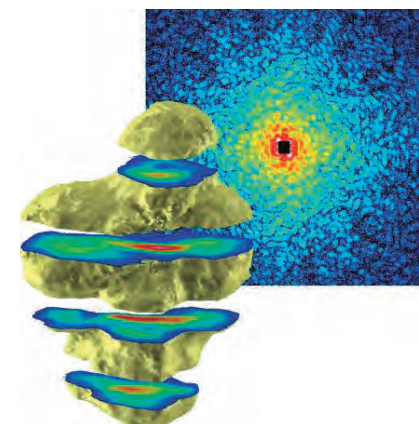
We take full advantage of the advanced coherent x-rays to promote imaging research seamlessly from macroscopic to atomic level; and aim to understand macroscopic properties from atomic- or nano level, which will definitely lead to breakthroughs in wide scientific fields in both life and materials science.

Research Interests

- Nano-imaging of cells, organelles with x-ray diffraction microscopy
- Ultrafast coherent imaging utilizing x-ray free-electron lasers
- Development of x-ray nano-focusing technologies and its application to bio-nanoimaging
- Imaging biospecimens in solution using x-ray free-electron lasers



Experimental Setup at X-ray Free-Electron Laser Facility SACL.



3D Imaging of Human Chromosome.

物質科学研究部門

Section of Material and Molecular Sciences



本研究部門では、電子科学や生命科学を支える物質創製と物性評価技術をベースとして、光励起ダイナミクスと分子構造および光機能物性との相関解明、生体情報機能を理解するための分子機能材料の創製、トップダウンとボトムアップの両系を繋ぐヘテロ構造を活用したナノ・マクロ融合デバイスの創製、低次元電子・イオン輸送現象を解明するための薄膜機能材料・デバイスの創製に取り組んでいます。このような研究は、分子集合体や細胞内のダイナミクスの解明、新規なナノデバイスの創製に貢献します。

Based on the materials creation and materials assessment techniques that support electronics and life sciences, this section strives to elucidate a correlation between photoexcited dynamics, molecular structures, and optical properties, to create molecular functional materials for understanding biological information functions, to create nano-macro fusion devices using a hetero structure that combines top-down and bottom-up systems, and to create functional thin film materials/devices for clarifying low dimensional electron/ion transport phenomena. This research will contribute to the elucidation of molecular assembly and in-cell dynamics, and the creation of new nano-devices.

分子光機能物性研究分野 Laboratory of Molecular Photonics

光と電場で新規な電気伝導機能および新奇な生体機能の創出

Creation of novel function in materials and in biological system with application of electric field and photoirradiation

分子光機能物性研究分野では、分子や分子集合体に光を照射した時に起こるダイナミクスが電場に対してどのような変化を示すのか、光励起に伴う分子構造や電子構造の変化はどうか、また物質の電気・磁気特性および光電変換特性と光学特性の関係はどうかを調べています。これらの結果に基づいて、『光励起ダイナミクス』、『光励起分子の構造』、『光機能物性』がお互いにどのように関係するかを明らかにすると共に、物質の機能・物性を光と電場を利用してコントロールできるかどうかを調べています。これまでに光と電場によって絶縁体を金属に変換する事や超伝導体に光を当てるとどうなるかといったことを有機伝導体を対象に明らかにしてきました。そして光照射時にのみ超伝導特性を示す「光誘起超伝導体」を探索しています。光による「超イオン伝導特性の発現」も調べています。これら新奇の光機能物性を有する物質を得ることができれば、光スイッチング効果や光メモリー効果としての応用が考えられます。また生体内には実験室系では得ることのできない強い電場が存在することが指摘されていることから、細胞内電場の存在とその分布に着目しながら、細胞内のダイナミクスや生体機能との関係を蛍光寿命イメージング分光法（FLIM）により調べています。さらには非常に短時間の強いパルス電場を細胞に作用させた時にどのようなダイナミクスや機能の変化が現れるのかも合わせて調べています。

研究テーマ

- 光と電場を絡めた分子、物質の構造、ダイナミクス、機能物性の研究
- 光誘起超伝導・超イオン伝導を示す新奇機能性物質の探索
- 蛍光寿命イメージング法（FLIM）による細胞内環境および光励起ダイナミクスの研究
- パルス電場と光を組み合わせた新奇生体機能の創出と解析

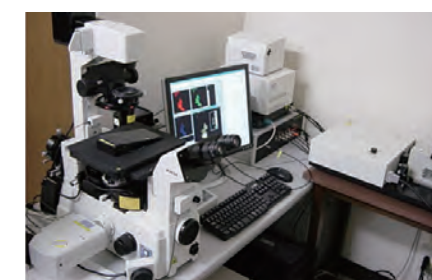
The followings are examined in our laboratory: how structure and dynamics of molecules or molecular complexes are influenced by photoirradiation in the presence of electric fields; how electric and magnetic properties of materials are influenced by photoirradiation and electric field. Based on the results, the relation among "Structure", "Dynamics" and "Function (Property)" has been elucidated. Until now it has been shown that photochemical and photophysical dynamics as well as insulator-metal transition can be controlled by photoirradiation and application of electric fields. In the future, photoinduced superconductor and superionic conductivity will be quested. Intracellular dynamics and intracellular function have been also examined with a focus to a local electric field in biological system using fluorescence lifetime microscopy (FLIM). Further, it will be also examined how intracellular dynamics and function change when strong and short pulsed electric fields are applied to a living system.

Research Interests

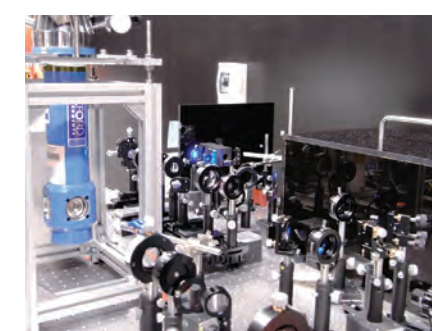
- Structure, Dynamics and Function of Molecules and Materials Induced by Electric Field and Photoirradiation
- Quest of Novel Materials Having Photoinduced Super- conductivity and Super Ionic Conductivity
- Intracellular Environment and Excitation Dynamics with Fluorescence Lifetime Microscopy (FLIM)
- Novel Biological Function Induced by Short Pulsed Electric Field and Photon



Chemical vapor deposition system and OLED emission.



Fluorescence lifetime microscopy (FLIM) system.



Time-resolved photocurrent measurement system.

賢く働く分子を合成する

Synthesizing molecules working smartly

私たち生物は、無生物であるただの物質と同様、分子からなっているにもかかわらず、自ら環境を感知し、判断し、行動を起こす。一見特別な物質、生物の何が他の物質と変わりなく、何が特別なのかを明らかにすることは未だに現代科学の重要な課題である。われわれは、生体を観察するのは逆に、生体の実現しているさまざまな情報機能を、人工分子を合成して構築することにより、生体をより深く理解できると考えている。そのような研究は、人に有用な分子機能材料を実現することにも役立つ。

生体内で、情報は分子または分子組織体の構造として蓄えられ、また、分子間相互作用を介して移動する。また、光は、情報とエネルギーを同時に担うメディアとして、生体のみならず実生活においても重要である。我々は、それらの点に着目し、分子構造変化が精密に制御された光反応を設計し、それに続く分子間相互作用の変化を調べることで、新しい光センサー分子システムや光エネルギーで駆動する分子機械を構築することを目指している。

研究テーマ

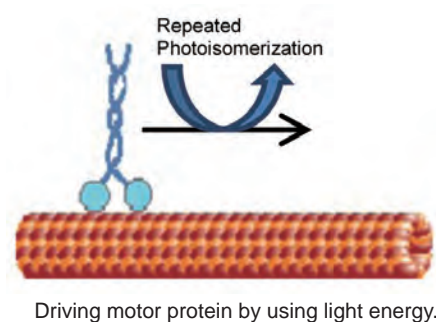
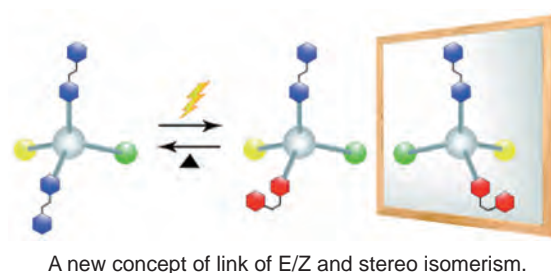
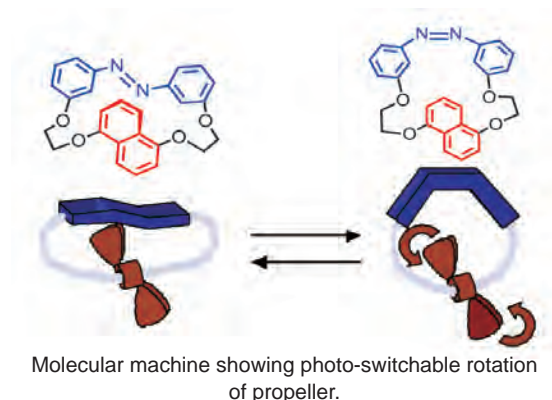
- 光駆動分子機械の合成
- 光応答性液晶の研究
- 物理的作用による分子キラリティーの誘起

Although living things consist of molecules as non-living things do, we smartly sense and judge surroundings and do the action by ourselves. It is still important topic in the present science to envisage what is special and what is not special in the molecular level for the outwardly special living things in comparison with non-living things. We think that constructing new artificial molecular systems with various information functions which are realized in the living systems will contribute to the deep understanding of the living things. This is the opposite way of the usual biology where we observe living things itself directly.

In the living things, information is stored in the molecular structures or conformation of the molecular organizations. And the information is transferred among molecules via molecular interaction. On the other hand, light is a very important media for both information and energy not only in the living things and also in the daily life. Paying special attention to the above points, we design new photo-reactive molecular systems showing well-regulated molecular structural changes and study the following changes in the inter-molecular interaction, in order to actualize new photo-sensor molecular systems and light-driven molecular machines as preliminary examples of the artificial smart molecular systems.

Research Interests

- Synthesis of light-driven molecular machine
- Study of photo-responsive liquid crystal
- Induction of molecular chirality by physical chirality



ボトムアップ系とトップダウン系の統合プラットフォーム創り

Creating a Unification Platform for Bottom-up and Top-down systems

ナノスケールで離散化されたバルクサイズ時空間系を創り、そこに現れると期待される変調された光電相互作用、電子相関、自己組織化臨界現象や自発的対称性の破れを通じナノ構造物理の本質を探ることを目指している。稠密かつ局所的に個別アドレスすることの可能なナノ構造体を大局的なサイズで得ることによってナノとマクロをつなぐと共に新しい量子機能を創出する。ボトムアップ系とトップダウン系を統合することは、ナノテクノロジー分野で今後得られる新しい効果や機能を既存のシリコンベースのITインフラ構造と接続し、相乗効果を引き出そうとする際に極めて重要であると考えられる。局所空間において光-電子-原子(団)系を構成し、そこに現れる旧来の相互作用の新しい側面及び全く新しい相互作用の可能性を実験と理論の両面から探る。

理論面では第一原理計算を基に電子構造ならびに輸送特性の計算を、主にスピントロニクスフィールドで行いつつ、ならびにトポロジカル絶縁体の解明などの基礎理論も行っている。実験面では、マルチストライプ光子・フォトキャリア直交光電変換素子の作製と評価・解析を行っている。又、これらの素子作製並びに、ボトムアップ系とトップダウン系を統合するプロセスのプラットフォームとしての高清浄環境(CUSP)の開発も行っている。

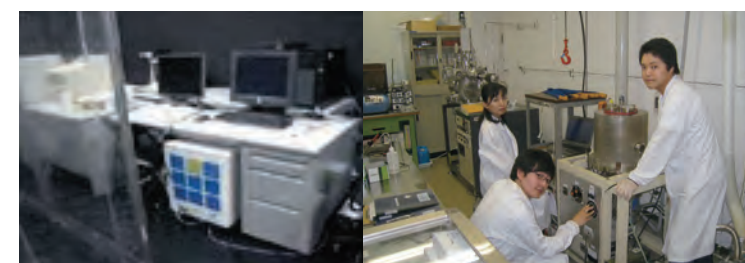
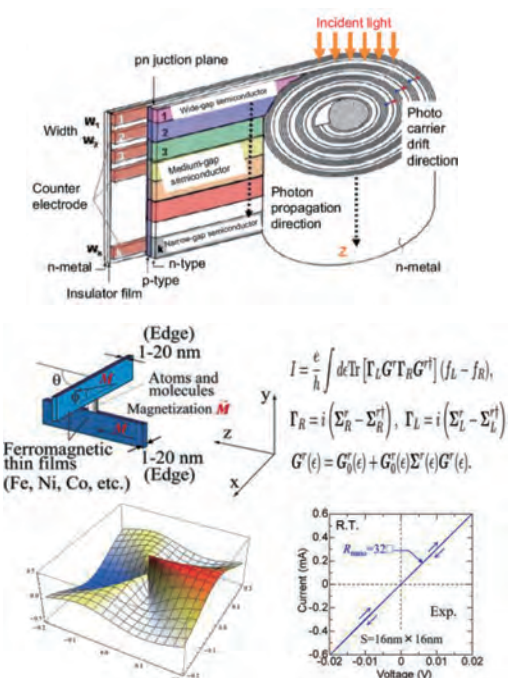
研究テーマ

- ナノ構造物理学
- トップダウン系とボトムアップ系の接続・統合
- 金属/誘電体及び、金属/半導体スパイラルヘテロ構造とその光電子物性、光子・フォトキャリア直交フルスペクトル太陽電池
- スピン量子十字構造の電気磁気特性
- ナノ空間での電子・スピン相関と輸送特性
- 非可換ゲージ場を用いたスピン現象の解明
- クリーンユニットシステムプラットフォーム

Creating a unification platform for bottom-up and top-down systems is one of the most important issues for harvesting fruits of upcoming nanotechnologies and nano-science as well as those of Si-LSI-based information technologies. By fabricating nanostructured systems that enable us to make one-to-one addressing with nanoscale spatial resolution over a macroscopic sample, seamless conjunction of nano- and macro-systems can be made giving rise, for example, to a Si-based LSI system that enjoys new quantum physical functionalities provided by various bottom-up systems. We have been studying nanostructure physics by preparing systems being discrete in nanoscale but having a bulk size, investigating the electro-optical interactions, electronic correlations, self-organized criticalities, and possible spontaneous symmetry breakdown in such systems. We are interested in both fabricating spiral heterostructures for a new platform as well as for functional memories plus high efficiency photovoltaic devices such as orthogonal photon-photocurrent propagation multistriped solar cell, and calculating the electronic structures of the system. We also investigate the spin transport under spin-orbit interaction theoretically and experimentally and compute the fundamental characteristics such as topological insulators. We also have been developing a clean platform for aforementioned unification of top-down and bottom-up systems.

Research Interests

- Nanostructure physics
- Spiral heterostructures
- Electronic correlations and spin correlations in nanostructures
- Dimensionality (hetero-structural) control
- Electric and magnetic property in spin quantum-cross structure
- Photovoltaic devices/Solar cells
- Density functional theory
- Many-body perturbation theory
- Clean Unit System Platform



新奇機能物性を最大限引き出す薄膜材料科学

Thin film materials science towards novel functional properties

薄膜機能材料研究分野では、従来セラミックスとして扱われ、その電気伝導性などにはあまり興味を持たれることがなかった機能性酸化物を素材とし、超精密な薄膜作製技術を駆使して原子レベルで平坦な表面を有する高品質薄膜を作製しています。高品質薄膜を使って機能性酸化物の持つ真のポテンシャルを最大限引き出し、世の中で役に立つデバイスの開発を目指しています。

薄膜で特に注目しているのは低次元電子輸送です。物質表面や異種物質の接合界面近傍における厚さ数ナノメートルの領域は、仕事関数や化学ポテンシャルの差を解消し、熱平衡状態になるため、固体内部とは全く異なる電子状態になり、様々な興味深い電子・イオン伝導特性が生じます。当研究分野では、こうした表面・界面で起こる現象を、単結晶薄膜を用いて解き明かし、モデル化することによる新しい材料設計指針の提案を目指しています。また最近ではイオン輸送にも興味を持ち、薄膜作製スキルを活かして異種接合界面におけるLiイオン伝導の研究を開始したところです。

機能性酸化物の薄膜化・デバイス化: 高温超伝導体として知られる $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ に代表されるように、多くの複合酸化物が複雑な層状の結晶構造になることが知られています。このような層状複合酸化物を原子・分子オーダー周期の超格子とみなすと、様々な興味深い物性を示すことが期待されます。当研究分野では複雑な結晶構造を有する複合酸化物の高品質エピタキシャル薄膜化とデバイス化に取り組んでいます。

低次元電子輸送: 金属酸化物の魅力を引き出す一つの鍵は低次元化です。低次元電子ガスを作るためには二つの方法があります。ひとつは極めて薄い人工超格子を作ることであり、もうひとつは電界効果を利用する方法です。低次元性は、例えばエネルギー利用に有用な巨大熱電能のような特異的な物性を引き出すために役立ちます。

研究テーマ

- 電子伝導性酸化物の高品質エピタキシャル薄膜作製
- 水電気分解を利用した酸化物半導体極薄二次元電子ガスの電界変調
- AFMリソグラフィを利用した酸化物半導体極細一次元電子ガスの電界変調
- ナノイオニクス：全固体電池用酸化物固体電解質の薄膜化

We fabricate high-quality thin films to extract the intrinsic property which has been unable to be extracted from the data measured with dirty polycrystal such as ceramics or extremely small single crystal. We would like to design novel electronic devices with the high-quality epitaxial thin films.

We are very interested in low-dimensional electron transport. Since the electronic structure at the surface and/or interface (several nanometers in thickness) of material is completely different from the solid interior due to the differences of the work functions and chemical potential, surface and/or interface exhibits a variety of interesting electronic / ionic conductivity. We use single-crystalline films to clarify these interesting phenomena that occur at the surface and interface, and model them to propose new material design.

Film growth & device fabrication of functional oxides: As represented by $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, which is known as a high T_c superconductor, most complex oxides are considered to have a complicated, layered crystal structure. Since such complex layered oxides are regarded as superlattices in the atomic/molecular layer laminates, one may expect that they show a variety of interesting physical properties. We fabricate epitaxial thin films of complex oxides having complicated crystal structure and develop electronic devices.

Low dimensional electron transport: One key to extract the interesting features of metallic oxides is low dimensionality. There are two methods: fabrication of artificial ultrathin superlattices and external electric field application. Low dimensionality makes it possible to extract outstanding physical properties such as huge thermopower which is useful for the energy application.

Research Interests

- High-quality epitaxial film growth of electron conducting oxides
- Water electrolysis induced electric field modulation of extremely thin two-dimensional electron gas in oxide semiconductors
- AFM lithography induced electric field modulation of extremely narrow one dimensional electron gas in oxide semiconductors
- Nanoionics: Thin film growth of oxide solid electrolyte for all solid state battery

生命科学研究部門

Section of Biology and Life Sciences



本研究部門では、非線形光学過程を用いたイメージングや解析、分子配列制御などの基盤技術をベースとして、生きたままの個体、組織深部の“*in vivo*”観察・操作を実現する新しい生命機能の解析法の開発、細胞の情報処理の解析および非線形化学動力学に基づく生命機能発現、DNAやタンパク質およびナノ粒子などの超分子構造体創製などに取り組んでいます。このような研究は、生命現象の基盤となる生体分子ネットワークや生命機能発現の解明のみならず、「光と細胞や脳科学」などの学際領域やナノテク・バイオ融合領域の発展に貢献すると共に、新しい治療や臨床応用へと繋がります。

Based on the platform technologies such as imaging and the control of molecular arrangement using nonlinear optical processes, this section strives to develop new methods for the analysis of life functions that afford “*in vivo*” observation and manipulation of live individual organisms and deep tissues in order to realize cell signaling systems and emergence of biological functions, and to create a supramolecular structures through the self-assembly of DNA, proteins, and nanoparticles. These studies will not only elucidate the functions of the biological molecular networks that form the foundations of life but also contribute to the development of cross-disciplinary fields, including “light and cell or brain science” and a combination of nanotechnology and biology area, that are expected to lead to new treatments and clinical applications.

新しい光で「光・生命科学」を創出する

Creation of "photo life-science" by novel light

本研究分野は、超短光パルスレーザーによる非線形光学過程を用いたイメージングを中心に、遺伝子工学、電気生理学、光機能分子などを活用することで、生きた個体、組織での、「光による観察」と「光による操作」を同時に実現する新しい生命機能のイメージング法を展開させることを目標とする。この方法論を、脳神経系、分泌、代謝等の基礎研究に適用し、新たな学際的な研究領域「光・生命科学」「光・脳科学」を生み出すことを目指している。

このようなバイオ分子イメージングの新局面を切り開くことにより、生体分子・細胞・臓器の各階層に固有の機能を創発する原理の解明を目指している。特に、生体深部を非侵襲的に観察することが可能な、“*in vivo*”多光子顕微鏡システムの構築、改良に取り組み、現在では世界最深部の生体脳観察に成功した。これによりマウス大脳新皮質全層及び、海馬CA1ニューロンのライブイメージングが可能となった。一方、生体分子の分子機械としての機能発現を解明するため、新規レーザー「ベクトルビーム」を用いた超解像イメージング法の開発も実施している。シナプスや分泌細胞の分泌機能＝開口放出・溶液輸送の分子機構について「逐次開口放出」など新概念の提出に成功した。脳機能の左右性及び発達などの分子基盤の解明を目指している。

また、現在、様々な大学、国立研究所、企業との共同研究を通じて産業、臨床応用への展開を図っている。このような骨、がん、免疫、皮膚などの多様な生組織の生理と病理の研究への応用が、新たな個体レベルの「光・生命科学」を生み出すことを期待している。

研究テーマ

- 超短光パルスレーザーによる非線形光学過程・多光子励起過程や光機能性分子を用いた生体“*in vivo*”バイオイメージングの開発
- 新規レーザー“ベクトルビーム”の生物応用と超解像イメージング技術の開発
- 脳・神経系や分泌機能の可視化解析とその分子機構の研究
- 脳の機能左右性及び発達の研究
- がん、糖尿病、肝薬物代謝、免疫系における発症機構・治療を目指す基盤研究

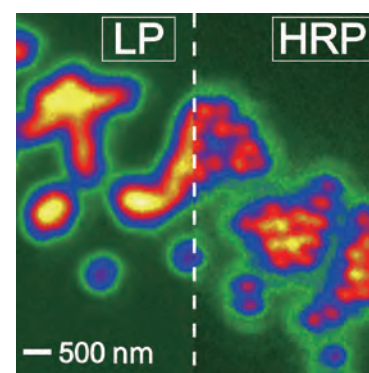
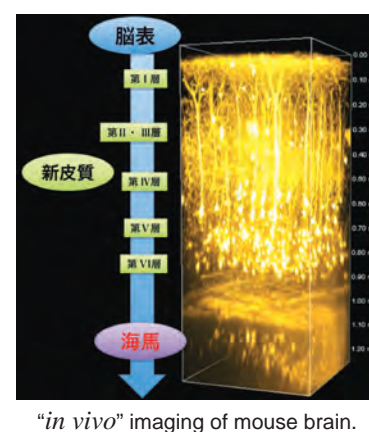
Our group aims to advance new bio-imaging technology for functional analysis of photo-visualization and photo-manipulation by ultra-short pulse laser as well as photo-activatable molecules, electrophysiology, biogenetics. This method will explore basic researches on neuroscience, metabolism, and cancer research to open new fields of photo-neuroscience, or photo-life science.

These advances of bio-imaging will give us insights on emergence of specific function to hierarchies of biomolecules, cells, and organs. Our newly developed “*in vivo*” multi-photon microscopy enables to deeper layers of live organs, and we have successfully observed the deepest layer in live mouse brains to carry out live imaging of intact neurons in all cortex layers and hippocampal CA1. We also develop a super-resolution microscopy by using a novel laser “vector beam”. We have proved the existence of “sequential compound exocytosis”. By these microscopic techniques, we will investigate molecular bases of the laterality and the development of brain.

Currently we get on with collaborative works of other universities, national institutes and companies. These applications for physiological and pathological researches in a wide variety of live organs, including bone, cancer, immune and skin, will explore a new field of “photo-life science” in the intact body.

Research Interests

- “*in vivo*” bio-imaging in live specimen by utilizing non-linear optical or multi-photon excitation processes induced by ultra-short pulse laser
- Application of a new laser “vector beam” for life sciences and for “super resolution imaging”
- Functional analysis for brain and neural secretion and underlying molecular mechanism
- Pathogenic mechanism and treatment in cancer, diabetes, liver drug metabolism, and immune system



Super-resolution microscopy by HRP beam.

生体機能にインスパイアされた機能性分子素子の開発

Development of Functional Molecular Devices Inspired by Biosystems

生物は高度な分子認識とそれによって組織化された分子集合体システムを駆使して、効率の良いエネルギー変換や物質生産、様々な情報変換を達成している。本研究分野では、生物の分子組織化を手本とすることで、ナノメートルからサブミリメートルにいたるメゾスコピック領域における分子の階層的な組織化を行い、新奇な機能性材料の開発を行っている。分子認識や自己集合などの超分子化学の手法によりナノメートルサイズで分子を組織化し、さらに散逸構造形成を利用することでマイクロメートルサイズでの分子集合体の組織化を行い、分子の階層的な構造化を計ろうとしている。

具体的には、以下のテーマを中心に進めている。

- (1) 基板に固定化したオリゴDNAを酵素反応で伸長して得られるDNAブラシ構造を利用した『高い選択性を有する接着性基板の開発』
 - (2) ウィルスの外皮タンパク質が自己組織化により形成するウィルスカプセルに着目した『タンパク質集合体の構造制御ならびに化学修飾によるドラッグデリバリーシステムへの応用』
 - (3) 表面の修飾により自己組織化を制御し、様々な形に形成された『金属ナノ粒子の集合構造体の作製とその応用』
- これらの階層的分子構造からバイオセンサーや細胞薬剤送達材料などの新奇な分子素子を開発している。

研究テーマ

- DNA分子を基材とした高機能性基板の創製
- 人工ウィルスカプセルを用いたドラッグデリバリーシステムの構築
- 金属ナノ粒子を用いたナノ構造体の作製とその応用
- 機械的特性や光学的特性に優れた機能性ゲルの開発

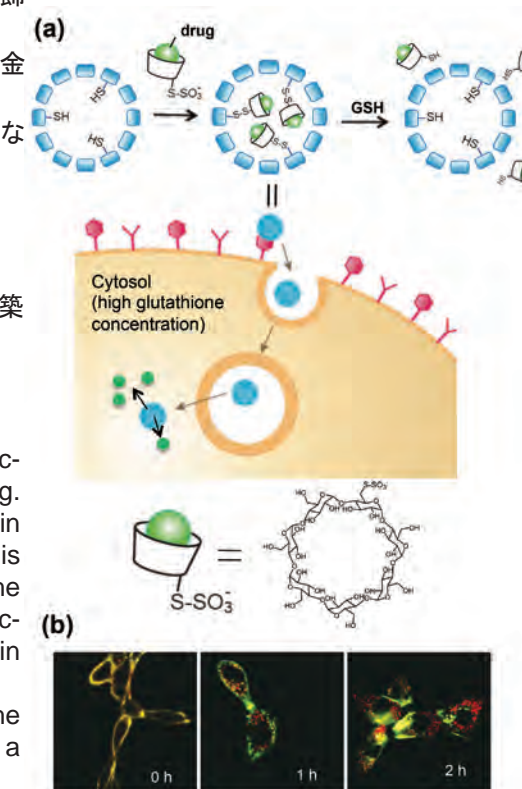
Bioorganisms are capable of efficient energy transformation, selective syntheses of biomolecules and interactive information processing. All these processes are based on effective molecular recognition in highly organized supramolecular assemblies. This research group is concerned with the construction of hierarchical molecular devices by the combination of nanosize molecular assemblies with micron-size structures derived from dissipative processes. The following themes are in progress.

- (1) DNA (deoxyribonucleotide) brushes have been fabricated by the enzymatic polymerization of oligonucleotides immobilized on a substrate, such as a superior adhesive substrate with high selectivity.
- (2) Protein-assemblies using virus-capsid proteins have been explored. Chemical modification of proteins can allow the inclusion into and stimulus responsive release of drugs from the virus capsules. This is suited to the development of drug delivery carriers.
- (3) Metal nanoparticle-assembly through surface modification has been studied. Assembled metal nanoparticles can be applied to chemical sensors or drug delivery carriers.

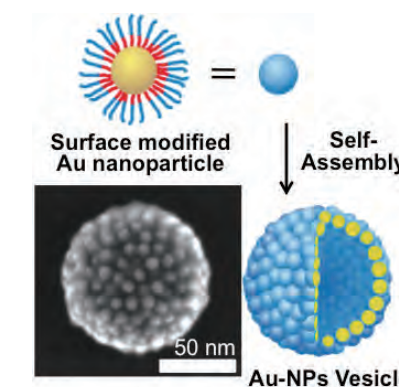
These fields of studies aim to develop functional molecular devices such as chemical sensors, cell culture substrate, and virus-based drug delivery carries.

Research Interests

- Creation of the DNA brushes as superior substrates
- Fabrication of virus-based drug delivery systems
- Development of metal nanoparticles assemblies through surface modifications
- Development of functional gels with excellent mechanical or optical characteristics



(a) Mechanism of virus-based drug delivery systems. (b) Confocal images of the cells after the exposure of virus capsules modified as glutathione responsive drug delivery carriers.



Fabrication of Gold Nanoparticles Vesicle.

数物科学で読み解く生物行動学

A rise of Physical Ethology

生き物の賢さは一体どのようにして生み出されるのでしょうか？ 生命システム特有の情報処理のしくみは、古代ギリシャ時代から今日に至るまで、その時代の学問を総動員して連綿と問い直されてきた手強い課題です。これに取り組むことは、基礎学問として、人間そのものの理解を深めます。生物らしい情報処理の方法を捉えることができれば、人の感性になじみの良いインターフェースをもった機械をつくるというイノベーションにもつながります。

私たちは、単細胞生物を主な対象として、生物の情報処理能力の高さを実験により評価し、さらにそのしくみをダイナミクスの観点から解明しようとしています。単純な体制を活かして、モノの運動法則から生物行動へと切り込んでいます。いわば生命情報処理の原点への探検です。そのために、理論や実験やフィールド観察を、また生物学や数学や物理学および情報科学を活用します。

研究テーマ

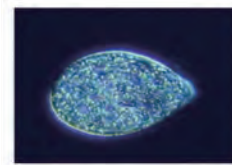
- アメーバからヒトにいたる生命知の基本アルゴリズムの探求
- ヒトにやさしい機械インターフェースの設計指針の探索
- 単細胞生物の行動と情報処理過程の可視化技術の開発
- 生物行動の多様性と柔軟性を担うダイナミクスの解明
- 生体システムの用不用適応則から読み解く形状と機能の最適化
- バイオレオロジーによる生体運動の力学機構の解明



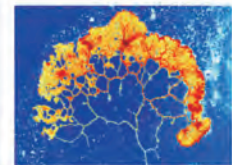
Amoeba Proteus



Paramecium



Tetrahymena



Physarum roseum



Physarum (fruit-body)

How will the capacity of solving a problem in creatures be brought about? This is a tough question that has been studied so far by scientific minds of every different period since ancient Greek times. Tackling the question as basic science, we expect to deepen understanding of human being itself, and to contribute toward technological innovation of new design for human-friendly interface to machines and robots.

We select single-celled organisms as main research object in order to evaluate high ability for information processing by experiment, and we elucidate the mechanism from a dynamical system point of view. Our research strategy is that, by using an advantage of simple organization of body, we describe behavioral intelligence of creature in terms of physical equations of motion. It is an exploration to an origin of organismic intelligence. To do that, we like to use theories, experiments and field works, based on biology, mathematics, physics and information science.

Research Interests

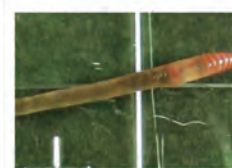
- Searching for an elementary algorithm of behavioral intelligence that may be common from amoeba to human
- Searching for design method of human-friendly interface to machines and robots
- Developing an imaging technique for observing the physical processes of behavior in single-celled organisms
- Exploring the equations of motion that enable diversity and flexibility of behavioral patterns in organisms
- Optimization of structural shape and function based on a theory of biological adaptability
- Mechanics and rheology in locomotion of lower organisms



Hydra



Chiton



Earthworm



Caterpillar



Centipede

数理科学研究部門

Section of Mathematical and System Sciences



本研究部門では、複雑系科学、力学系理論、化学動力学理論などの数理科学をベースとして、複雑系としての脳神経系などの生命システムの機構解明、高次分子複合体の機能などの状態変化における偶然と必然の原理の解明、および表皮細胞が集団組織として作り出すバリア機能の解明などの研究に取り組んでいます。このような研究は、従来のアプローチでは十分解明できなかった分子複合体、細胞、組織、脳といった階層を越えて繋がっている複雑な生命システム現象などの解明に貢献します。

Based on mathematical sciences such as complex systems science, dynamic systems theory, and chemical dynamics theory, this section strives to elucidate the mechanisms of life systems such as the cerebral nerve system as a complex system, the fundamental principles of the chance and necessity in the “change of states” of the function of a high-order molecular complex and the barrier function that is created by epidermal cells as a group of tissues. The goal of this research is to shed light on the complicated life system phenomena that are linked across the layers such as molecular complexes, cells, tissue, and the brain; these phenomena have not been fully elucidated by conventional approaches.

複雑系科学で生命のなぞに迫る

The study of life by means of complex systems science

複雑系数理研究分野では、分子、細胞、システムにまでわたる生命現象の複雑さを数理的に解明するとともに、新しい生命システム論の構築をめざしている。複雑系としての生命システムの機構を解明することを目指し、新しい複雑システム論を構築する。特に、感覚知覚、記憶、思考・推論、意志決定、行動の脳神経機構および認知機構の解明のための数理的アプローチを確立するとともに、非線形大自由度力学系の理論の構築を目標とする。

今後の研究の展望

脳神経系の高次機能である連続連想記憶、エピソード記憶、思考・推論に関する数理モデルによる研究は、理論の予測の一部が実証された。さらに、動物の行動実験に伴う *in vivo* 計測やヒトの行動実験における脳活動計測によって、理論の予測するエピソード記憶に対するカオスの遍歴とカントルコーディングの実証を行っている。特に、Deliberative Decision Making の枠組みでこの問題の解決を目指す。さらに、コミュニケーションの脳内機構の解明を目指す。さらに、動物の感覚知覚と行動に関する神経機構の解明を目指す。脳のダイナミクス、生命活動に対する正しい解釈を与えるための枠組みとして拡張された力学系、ヘテロ結合力学系、大自由度力学系、ゲーム理論、進化ダイナミクスに関する理論を提供する。

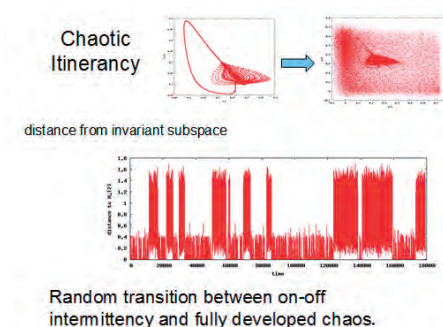
研究テーマ

- 思考・推論、記憶に関する脳内ダイナミクスと機能の研究
- ヘテロ複雑系理論の構築とコミュニケーション脳内ダイナミクスへの応用
- 昆虫の嗅覚系の研究
- 昆虫の行動決定の神経機構の研究
- カオス力学系、ランダムな力学系の研究
- ゲームダイナミクスの学習理論への応用
- 進化と学習の研究

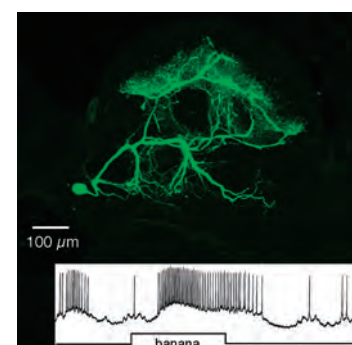
The aim of this laboratory is to clarify the complexity embedded in various biological phenomena, which may emerge over multi-scales of space and time. Biological systems express a specific complexity, which typically appears in cell differentiation and also in functional differentiation. In cell differentiation, for instance, it is not, in advance, determined that which part of embryo becomes eyes. All organs are organized in accord with the development of an individual as a whole system. A similar organization is observed in the functional differentiation of the brain. A whole brain acts as a system, in which all cortical areas such as a visual cortex are organized in accord with the development of a whole brain. In this laboratory, taking into account these characteristics, we would like to construct a new system theory, that is, a complex systems theory, based on the intensive studies on various topics described below.

Research Interests

- Mathematical modeling of higher functions of the brain
- Nonlinear dynamical systems and chaos
- Mathematical modeling of self-reproduction and self-reorganization
- Experimental studies on insect olfactory systems
- Mathematical studies for biological evolution
- Experimental studies on the neural mechanism for insect decision-making on competitive behaviors
- Hetero-coupled chaotic dynamical systems



Transgenic cricket.
GFP gene was expressed under the control of the eye-specific promoter. GFP fluorescence was observed in the compound eyes.



Confocal image of a gain-control neuron in insect mushroom body (above) and a typical neuronal response to odor stimulus (below).

分子と生命を繋ぐ

Bridge Molecules and Life

生体分子、細胞、組織、そして個体に至る生命システムは常に外界に晒されながら、ミクロレベルでの“刺激”がマクロレベルまで伝達し頑健な機能を作り出している。生体機能とは「外界からの刺激に対する応答として始まる一連の構造変化とそれに伴う化学反応」であり、階層を越えた「状態変化」のつながりの産物といえる。そのような生命システムを理解するためのアプローチには、大別して、背後に存在する数理構造を提唱するトップダウン的な構成論的手法と微視的な立場からマクロな現象の再現を試みるボトムアップ的な還元論的手法が存在する。前者は大胆な仮定や粗視化のために自然と乖離したモデルに陥る可能性が存在する一方で、後者は個々の微視的事象を枚挙するだけでシステム全体を捉えることは困難である。分子生命数理研究分野では、状態変化における「偶然と必然」の基礎原理を解明するとともに、“トップダウン”と“ボトムアップ”の両アプローチを橋渡しする概念や方法論を確立し、ミクロとマクロの階層を繋ぐ新しい生命システムの論理を理解することを目指している。この他、単一分子分光を用いた生体計測を通して、階層を越えた構造と機能の相関を探っている。

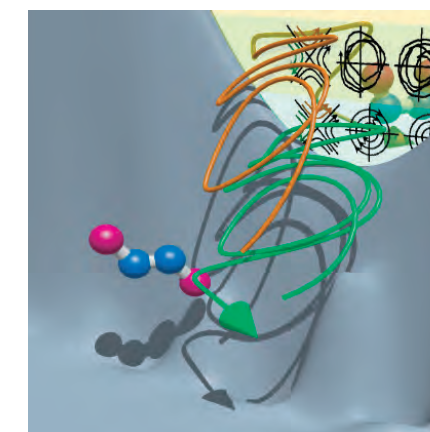
研究テーマ

- 化学反応や生体系の構造変化における偶然と必然の原理
- 一分子時系列データから彫り出す新しい生命動態システム
- 隸属原理を越えた階層間の情報伝達と機能、適応、頑健性
- 単一分子分光を用いた生体計測への応用

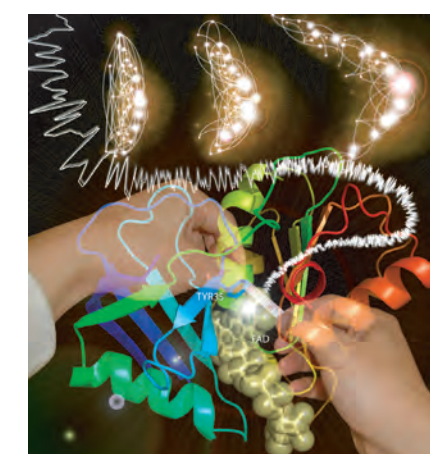
Biological system is composed of molecules, cells, tissues, organs, etc with their hierarchical complicated interactions. Resulting from a stimulus on the microscopic level, the system can perform meso- and macroscopic functions robustly even under thermal-fluctuating environment. Such functions can be rationalized as a sequence of structural changes involving chemical reactions triggered by the stimulus across hierarchies of time and space scales. There exist two distinct strategies to explore the mechanisms of such biological systems, that is, an anatomical bottom-up approach which builds the system from the microscopic molecular basis, and a constructive top-down approach in which one develops (phenomenological) models to capture some essential aspects of the biological systems. However, the former solely articulates the composite elements and the latter does not exclude possibilities which end up with models far apart from the reality because of the modeling. The main goal of our laboratory is to understand the fundamental principles of chance and necessity of “change of states”, and to construct new concepts and methods to bridge the gap between such two approaches for biological systems, enabling us to unveil the mechanisms that bridge molecules and life across hierarchies in time and space.

Research Interests

- Chemical and Biological Physics: Origin of chance and necessity in changes of states in chemical reactions and biomolecular dynamics
- Single Molecule Biophysics: New single molecule time series analysis to let the system speak for itself
- Information flow across hierarchies of time and space and its relation to functions, adaptability, robustness and emergence in complex biological systems
- Application to biological system by single molecule spectroscopy



Two trajectories on an energy landscape, both beginning in the reactant region, one, orange, crossing the saddle to the product, but the other, green, returning without undergoing the reactions. The phase space geometry provides a transition state that can rigorously predict the fate of these trajectories.



An illustration of single molecule detections that enable us to monitor the dynamic fluctuation of an interdyer distance as a “microscopic ruler” with the underlying time-dependent state space network.

数理の目で現象を捕らえる

Capturing natural phenomena from the viewpoint of the mathematical sciences

「数理モデル」、「数値計算」、「数学解析」をキーワードとして、自然現象や生命現象等を数理科学の視点から理解するための方法論の確立を目指している。

数理モデルは数式による現象の模倣である。数値計算によって計算機上に現象を再現することによって現象に潜む本質的なメカニズムを知ることができる。さらに数学的解析によって、実体のない普遍的数理構造を取り出すことが可能となる。普遍的数理構造は複数の異なる現象の本質的なメカニズムに共通の理解を与えることを可能とする。

研究の性質上、我々の研究分野では実験グループとの共同研究を多く行っている。その中でも、表皮バリア機能に対する数理モデル化は企業との共同研究であり、バリア機能の数理解析を通して、抗老化対策や皮膚疾患対策に応用できるのではないかと期待されている。さらに、生物学の数理解析では、卵割問題やアメーバ細胞運動、細胞極性の数理モデル化について研究をしている。それに加え、真性粘菌変形体の数理解析や4脚動物の歩容遷移現象に対する数理解析にも取り組んでいる。これらの研究は、生物運動のロボット工学の分野への応用が大きいと期待されている。

また、大域的分岐構造の数値計算を用いた反応拡散系に対するパターン形成の数理解析や離散変分法を用いた液滴運動の数理解析を行っている。これらは数理モデルに対する数理解析手法の開発に繋がっており、重要なテーマの一つである。

研究テーマ

- 自走物質に対する数理解析
- 表皮構造と皮膚疾患の数理解析
- 生物モデルの構築と数理解析
- 離散変分法を応用した自走運動現象の数理解析
- 反応拡散系のパターン形成

With mathematical modeling, numerical computation, and mathematical analysis forming the foundation of our research, we aim to understand biological and other natural phenomena from the perspective of the mathematical sciences.

Mathematical modeling is the imitation of phenomena through numerical formulae. By replicating phenomena on a computer via numerical computations, one can unearth the essential mechanisms hidden within the phenomenon. Moreover, mathematical analysis makes it possible to establish general mathematical structures for the target phenomenon. These structures enable one to give a common understanding to the underlying mechanisms of numerous different phenomena.

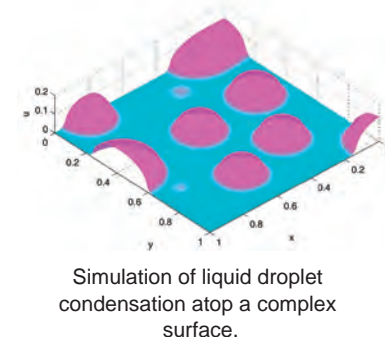
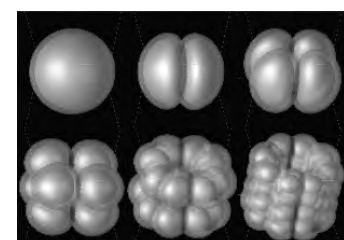
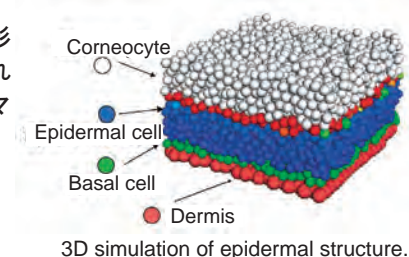
The nature of our research also includes joint work with other groups working in the field of experimentation. In particular, our mathematical modeling of the skin barrier function is collaboration with enterprise researchers and, through our analysis, we are expecting applications of our research related to antiaging and to the treatment of skin diseases.

Also in mathematical biology, we study models for cleavage (cell division), and the locomotion of amoeba cells. In addition, we work on the mathematical analysis of Physarum, planar cell polarity, and gait transitions in quadrupeds—the latter studies are expected to see practical use in the robotic engineering of biological motions.

Additionally, by using numerical techniques for global bifurcation structures, we investigate pattern formations in reaction-diffusion systems, and we study the motion of liquid droplets, bubbles, and grain boundary growth, via variational techniques. These problems are tied to the development of mathematical methods for the model equations, and are also an important theme of our research.

Research Interests

- Mathematical analysis of self-propelled materials
- Mathematical analysis of epidermal structures and skin diseases
- Formulation of biological models
- Mathematical analysis of self-propelled phenomenon using minimizing movements
- Pattern formation in reaction-diffusion systems



附属グリーンナノテクノロジー研究センター

Green Nanotechnology Research Center



本研究センターでは、ナノテク技術を基盤としたグリーンイノベーションを目的としており、高効率・広帯域太陽光エネルギー変換システム、フォトンの有効利用を目指したサブ波長デバイス、高効率量子状態変換素子などの極限省エネルギーフォトニックネットワークインターフェース、さらには、室温での二酸化炭素完全分離材料などの研究に取り組んでいます。これらの研究成果は、「低炭素研究ネットワーク拠点事業」などの大型プロジェクトの発足や有機的な産学連携研究に繋がっています。

With the aim of achieving nanotechnology-based green innovation, this research center strives to study high-efficiency and wide-band solar energy conversion systems, sub-wavelength devices designed for efficient use of photon energy, ultimate energy-saving network interfaces such as high-efficiency quantum state conversion elements, and materials for the complete separation of carbon dioxide at room temperatures. The outcomes of this research have led to large research projects such as the “low-carbon research network core project”, and organic academic-industrial alliance research.

ナノ構造で効率的にエネルギーを創る

Efficient Creation of Energy by Nanostructures

グリーンフォトンクス研究分野では、金属ナノ構造による高性能な光アンテナの研究や、それを太陽電池や水を光分解して酸素や水素を発生する人工光合成系に展開する研究を進めている。

元来、光と物質との相互作用はそれほど強くなく、光を有効に利用するデバイスの開発、およびその方法論の確立が求められている。本研究分野では、局在プラズモン共鳴を示す金属ナノ構造が、可視光や赤外光を捕集する光アンテナになることを見出し、光と分子や物質との相互作用を強くできる「場」を創ることに成功した。これにより、極めて少ない物質でエネルギー変換を可能にする太陽電池など、様々な分野に応用が期待される。

また、本研究分野で開発を行っている光電変換システムは、水を電子源として動作していることが明らかになっており、可視・近赤外光照射に基づいて水の酸化分解により酸素が発生することが確認された。本システムの更なる原理解明に向けて、光アンテナから半導体電極への電子移動過程の追跡など、超高速時間分解分光・イメージング計測にも取り組んでいる。さらに、本系を用いて水の光分解やエネルギーキャリアとして注目されるアンモニアの合成を窒素の光固定により可能にする人工光合成系の開発に関する研究も行っている。

研究テーマ

- 局在プラズモンに関する研究
- 光電変換・人工光合成の研究
- 可視・近赤外太陽電池の開発
- 高性能光ナノアンテナの設計
- 金属フォトン結晶の研究

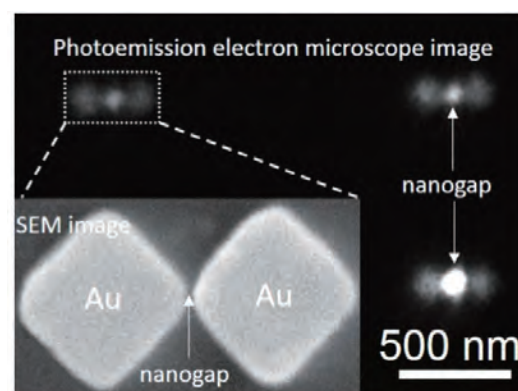
We study on highly efficient optical antennae based on metallic nanostructures, and develop solar cells as well as artificial-photosynthesis systems which evolve oxygen and hydrogen as a result of a photolysis of water.

Since the probability of light matter coupling process is not so large originally, effective utilization of light in optical devices is needed. We have recently elucidated the possibility of plasmonic nanostructures as an optical antenna for visible and near infrared light and enhancing light matter coupling process. Applications to various fields are expected such as a solar cell enabling light energy conversion with a small amount of substance.

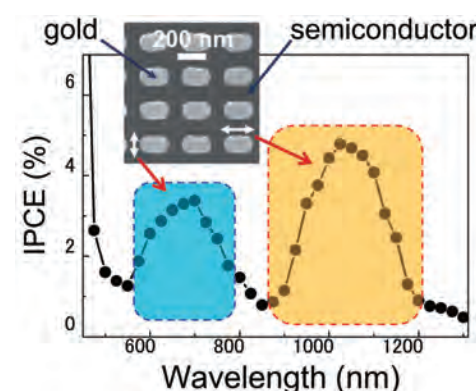
Furthermore, the photoelectric conversion system employs water molecules as electron sources. To study further detailed mechanism of the light-energy conversion system, we also address ultra-fast spectroscopy and imaging for the purpose of pursuing electron transfer dynamics from optical antenna to semiconductor electrode as an example. We also study on the development of artificial-photosynthesis systems such as plasmon-induced water splitting and ammonia production systems which attract attention as an energy career.

Research Interests

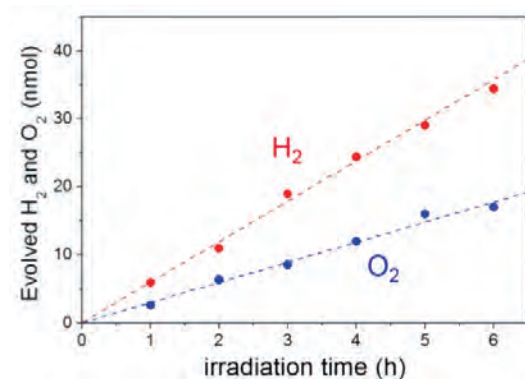
- Localized Surface Plasmon
- Near IR Solar Cell
- Artificial Photosynthesis
- Design of Optical Antenna
- Metallic Photonic Crystals



Photoemission electron microscope image of nanogap gold dimer structures with 800 nm fs laser irradiation.



Plasmon-enhanced photocurrent generation with visible and near infrared light.



Visible plasmon-induced water splitting.

ナノ構造が生み出す新規光・電子機能の創成

Novel photonic and electronic functions using nano-structures

光の波長よりも小さな周期の微細構造は、強い光学異方性と波長依存性、光波の閉じ込めなど、自然界に存在しない光学特性を発現する。当研究室では、リソグラフィー、エッチング、ナノインプリントなど、様々な先端プロセスを使って、次世代のフォトンデバイス創製を目指している。特に、固体材料に電圧を印加することで、内部に含まれるイオンを他のイオンに置換したり、その濃度分布を制御することで、材料の光学的、電気的な特性を大きく変化させるための基盤研究に取り組んでいる。さらに、非接触電極あるいは金属触媒電極を用いたガラス中のアルカリプロトン完全置換に挑戦している。

一方、金属材料中の電子スピンを制御することで、今までのエレクトロニクスでは実現できなかった機能、性能を持つデバイス・材料が創製できると期待されている。このような研究分野を「スピントロニクス」と呼ぶが、当研究室では、このスピントロニクスにナノ構造や光を取り入れることで、新たな学術的研究分野を開拓すると同時に、従来にない新規ナノデバイス・ナノ材料を創製することにも挑戦している。

研究テーマ

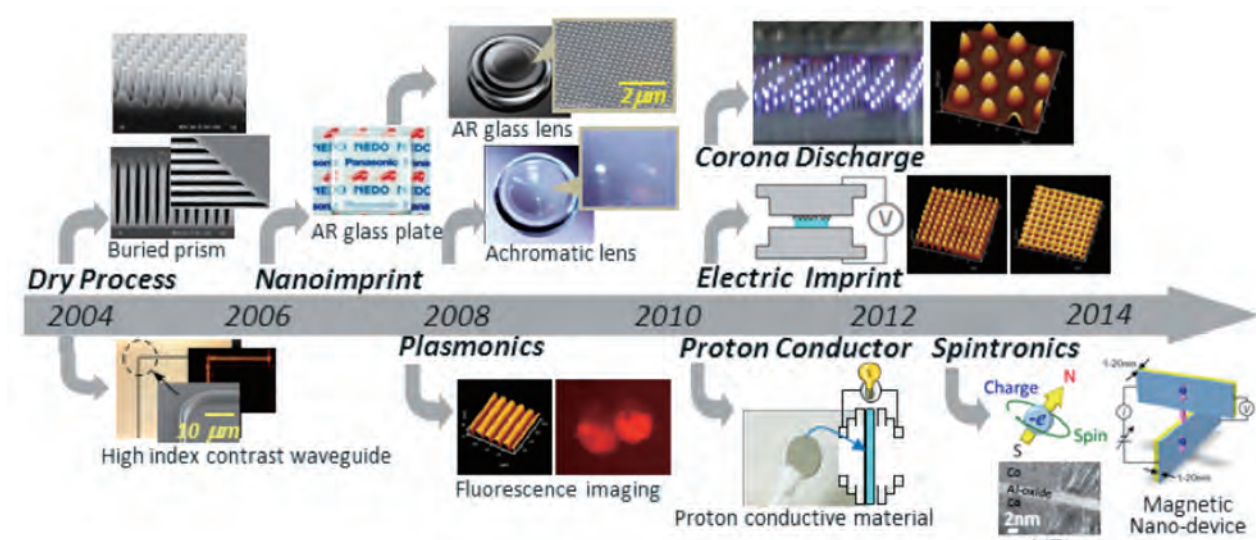
- サブ波長光学素子の研究
- プロトン伝導材料の研究
- ナノスケールスピントロニクスデバイスの研究
- 磁性ナノ材料における光・磁気特性の研究

Periodic structures with a period smaller than wavelength are valuable for several artificial optoelectronic functions such as strong optical anisotropy, dispersion, optical confinement, etc. This laboratory aims to develop next generation photonic devices using advanced processes including lithography, etching, nanoimprint. Especially, the fundamental researches are addressed on the exchange or profile control of ions in solids under applying an electric voltage in order to alter the optical or electrical properties. Furthermore, the complete exchange of alkali to proton in glass is challenged using a non-contact or a catalytic metal electrode.

On the other hand, the control of electron spin in metal materials will open up new opportunity to create novel functional devices and materials, which cannot be realized in the conventional electronics. This research field is called "spintronics". This laboratory also challenges to open up a new scientific research field and create novel nanoscale devices and materials by incorporating nanostructures and optics to this spintronics.

Research interests

- Sub-wavelength Photonic Devices
- Proton Conductive Materials
- Nanoscale Spintronics Devices
- Optical and Magnetic Properties in Magnetic Nanostructured Materials



光と電子の量子状態制御で高機能発光素子を創る

Quantum Control of Electron-Photon Interactions with Nano-Photonic
Highly Functional Materials and Structures

光子・電子といった最小単位の量子とその相互作用を制御することは容易ではないが、人工的に作った原子とも言われる量子ドットを一つだけ取り出すことによって、その可能性・新しい世界が広がっている。これはまた、安心・安全な情報通信手段が求められてきている中、究極的に安全と言われる量子情報通信に必要な単一光子源を提供するシーズ研究としての重要性も増しつつある。本研究分野では、(I)半導体量子ドットなど電子状態を制御するためのナノ構造作製と、その離散的な量子状態を用いた電子個数状態制御、(II)量子ドットを介した、光子偏光状態→電子スピン状態→光子偏光状態など、高い効率で量子状態間を変換する技術の開発、(III)光場を制御するためのナノフォトニック構造の作製と、量子ドットなどとの結合による光子数状態制御など光子生成過程の制御、(IV)超伝導効果による新しい発光原理の探究と新規光デバイス、超伝導と光エレクトロニクス分野をつなぐ「超伝導フォトンクス」の開拓を進めている。

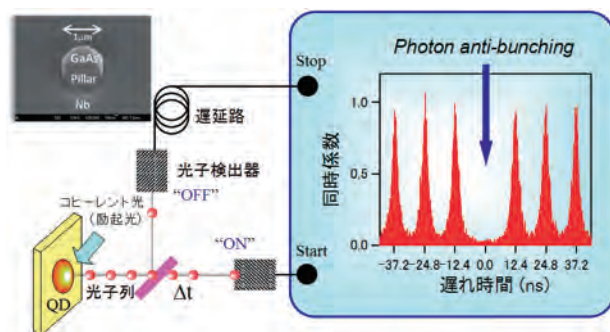
研究テーマ

- 半導体量子ドットの成長と単一量子ドットの分光計測
- 単一量子ドットから発生する光子・光子対の光子数状態の制御・量子もつれ光子対の発生
- 量子ドットを用いた光子-電子間量子状態変換
- 金属埋め込み量子ドット構造の作製・シミュレーションとオンデマンド光子源の研究開発
- 超伝導電極を用いた発光ダイオード発光プロセスの制御

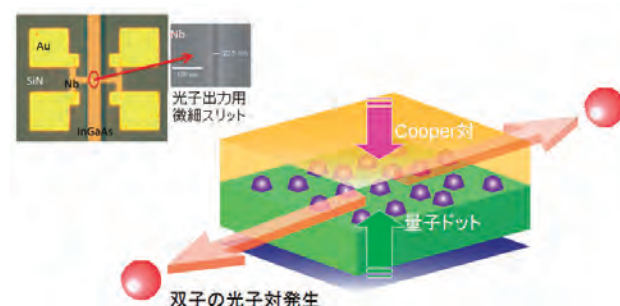
Next-generation highly secure information networks require photonic devices based on new concepts and high functionality. Our laboratory develops nanophotonic highly functional materials and devices by (I) Preparation of nano-structures such as quantum dots to control electron number states, (II) Development of technique to convert individual photon polarization state to electron spin state and vice versa through quantum dots, (III) Preparation of nano-photonic structure and coupling to quantum dots to control photon generation processes, (IV) Superconductor-based new photon generation processes and development of new paradigm based on superconductor and optoelectronics.

Research Interests

- Growth of semiconductor quantum dots and spectroscopic studies of single quantum dots
- Photon correlation measurements and generation of single-photon and entangled photon pairs from single quantum dots
- Conversion of photon-electron quantum states via quantum dots
- Fabrication and simulation of metal-embedded quantum dots and study of on-demand photon source
- Interdisciplinary research on superconducting photonics and its applications



Photon correlation measurement result to show photon anti-bunching of photons emitted from a single quantum dot.



Proposed scheme to generate entangled photon pairs with recombination of electron Cooper pairs and holes in a quantum dot.

分子集合体による機能性材料の実現を目指して

Towards the Realization of Functional Materials Using Molecular Assemblies

分子が集合体を作る性質（自己集積化能）を利用して集積分子システムを創製し、それを複合化・集積化することで、次世代のコンピューティングシステムのための分子ナノデバイスや高機能多孔性材料の構築を目指している。

1つの分子に他の分子を認識する性質を付与し、分子が自然に寄り集まって、高度な集積構造を形成するようにあらかじめ分子を設計する（分子プログラム）ことで、分子からボトムアップの手法で集積分子システムを組織化することが可能となる。集積分子システムの構造物性評価・機能開拓を行い、更にそれらをユニットとする高次構造を用いて分子ナノデバイスや多孔性材料を構築する。

具体的には、超分子化学の視点から分子性導体、分子磁性体を捉えなおし、分子ローターやイオンチャンネルなどの超分子構造と分子性導体・分子磁性体とを自己集積化により複合化することで、新規機能性材料を開拓している。また、これら集積分子システムから薄膜、ナノ粒子などナノサイズの機能性ユニットを形成し、デバイス応用への展開を図っている。さらに、配位結合や水素結合などを介して金属イオンと有機分子を自在に集積させた多孔性金属錯体集積体の合成と機能評価も行っている。研究対象分子として、有機物に加え無機物や金属錯体など多様な分子を取り扱っている。

研究テーマ

- 機能性超分子構造を組み込んだ分子性導体・磁性体・誘電体の創製
- 固相分子モーターの開発
- 金ナノ粒子集合体の構築とデバイス展開
- ポリオキシメタレートを用いた超分子構造の構築と物性制御
- 二酸化炭素分離のための多孔性材料合成
- 安価原料による多孔性材料の構築

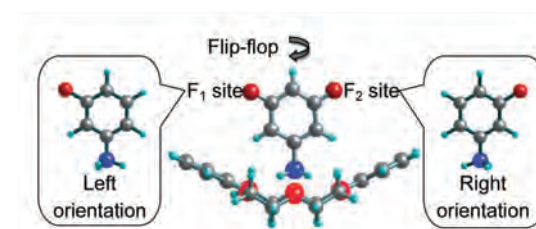
Towards the realization of functional materials using molecular assemblies, we develop the "Integrated Molecular Systems" through molecular-assembly processes, which are further assembled into molecular nanodevices for future computing systems and high-performance porous materials.

To obtain integrated molecular systems through bottom-up self-assembly processes, we program each molecule in advance to have a scenario for assembling into highly ordered and complex structure. We evaluate the structure, electronic and porous properties of the molecular systems and fabricate nanoelectronic devices using the molecular systems as active units and applicative porous materials.

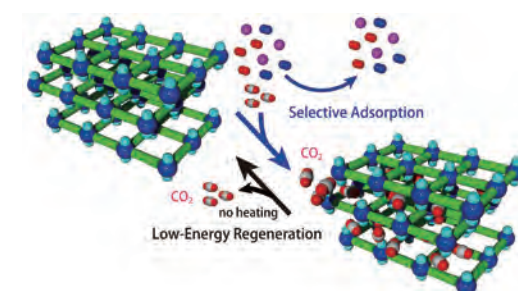
We are now studying on (i) supramolecular structures of molecular rotors and ionic channels with molecular conductors and magnets toward the development of novel functional molecular systems, (ii) thin films and nanometer size units such as gold nano particles from the integrated molecular systems toward molecular electronic devices, and (iii) porous metal complex assemblies constructed from metal ions and organic molecules via coordination and hydrogen bonds. In addition to organic molecules, we use inorganic molecules and metal complexes as target molecules.

Research Interests

- Molecular conductors, magnets and dielectrics with supramolecular functional units
- Solid state molecular motors
- Assemblies of gold nano particles and device application
- Supramolecular assemblies with polyoxometalate
- Porous materials for carbon dioxide separation
- Porous materials made of cheap raw materials



Ferroelectricity and polarity control in solid-state supramolecular rotators.



Porous metal complex assemblies with high selectivity and low-energy regeneration for carbon dioxide gas.

連携研究部門
Cooperative Research Department

研究支援部
Research Support Department

技 術 部
Division of Technical Staff



理研連携研究分野 Laboratory of RIKEN Alliance

新規高効率光機能デバイスの創成

Functional optical materials and devices

理研連携研究分野は、電子科学研究所と理化学研究所とがそれぞれ培った光科学分野の技術を相補的に活用しながら共同で研究を実施するために設置された組織である。本研究分野では、ナノメートルスケールの人工構造体を使った新しい光制御技術を研究し、それを用いて従来とは全く異なる原理に基づく高効率光電変換デバイスや光触媒材料、光量子デバイスの実現を目指している。

現在は、人工的にデザインしたナノメートルスケールの金属構造と光波との局在型表面プラズモンを介した相互作用を利用して、高効率に光子を捕捉する素子の試作と原理検証を行っている。電子線リソグラフィーならびにフェムト秒3次元レーザー加工技術を用いて任意の形状を有する金属ナノ構造体を作製し、その光学特性を赤外～可視～紫外の広い波長帯域で分光計測して評価している。また、計算機を用いた電磁界計算を用いてその結果を実験パラメータにフィードバックさせている。これらの結果から構造の最適化を行い、高効率光電変換素子に向けた新しい光機能デバイスの開発を進めている。

研究テーマ

- 金属ナノ構造体を用いた高率光電変換デバイスの開発

Laboratory of RIKEN Alliance is expecting to develop new science and technology in optics and photonics fields by combing knowledge and techniques of the Research Institute for Electronic Science, Hokkaido Univ. and RIKEN. We are developing new methods for controlling the propagation of the light (photons), and apply them for high efficient photovoltaic devices, photocatalytic materials, and optical quantum devices.

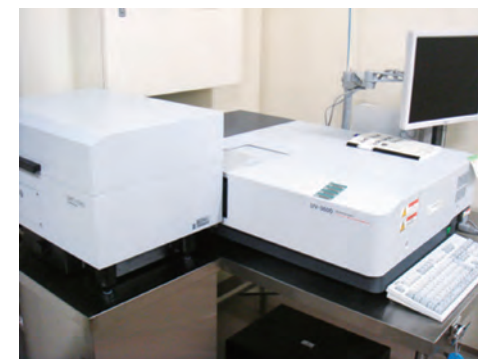
We are developing new photon trap device using plasmonic interaction of photons with nanometer scale metal structures. We are fabricating intricately-shaped metal nanostructures using electron beam lithography and femto-second laser processing, and evaluating their optical properties from the wide-bandwidth spectrum from UV to far-IR. Numerical calculation of the electromagnetic field is also done and its results are fed back to the experimental parameters.

Research Interests

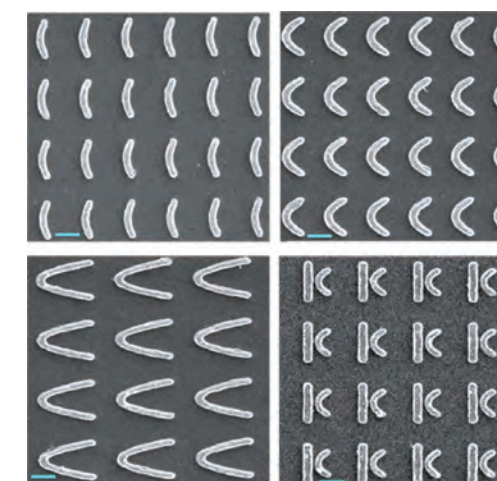
- Strong field coupling of light with nanometer scale metal structures and their application for high efficient functional optical devices



Electron beam lithography system



UV-VIS-NIR Spectrophotometer



Scanning electron microscopy (SEM) images of gold nanostructures (The underline of SEM images is 200nm.)

イメージング技術の提供と改良・開発

Providing, Improvement and Development of Bio-imaging Technologies

Nikon Imaging Center <http://nic.es.hokudai.ac.jp>

ニコニイメージングセンターは、バイオイメージング技術に関する更なる技術改良、あるいは新技術開発およびその生物学研究への応用を推進し、本学と顕微鏡技術関連企業との連携強化ならびに本学における教育研究の豊富化、活性化や国際的な交流を目的とします。

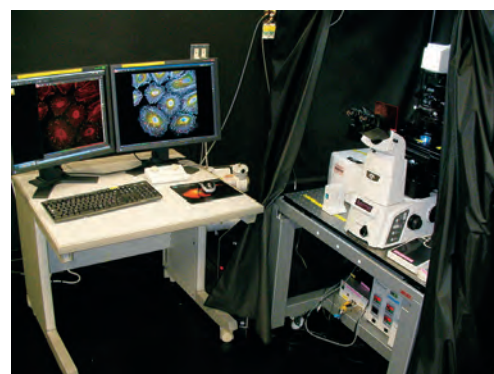
主な活動

- 最先端の顕微鏡とイメージング機器を設置し、基礎研究の環境を提供する。
- 顕微鏡に馴染みのない研究者からハイエンドユーザーまでさまざまなレベルに合わせて、顕微鏡観察法のトレーニングコースを行う。
- 顕微鏡ユーザーのアイデアを反映した新型顕微鏡技術の開発を行う。

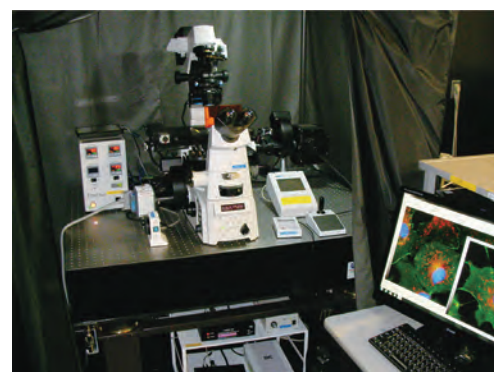
The Nikon Imaging Center at Hokkaido University (NIC@Hokudai) promotes the improvement and development of bio-imaging technologies and their application to the life sciences. The NIC@Hokudai also aims to facilitate cooperation between enterprises related to microscope technology, and to participate in both educational research and international exchange.

Activities

- To provide an environment for basic research with state-of-the-art microscopy and imaging equipment
- To provide training courses on basic and advanced microscopy
- To develop new microscopy techniques incorporating specific user requirements



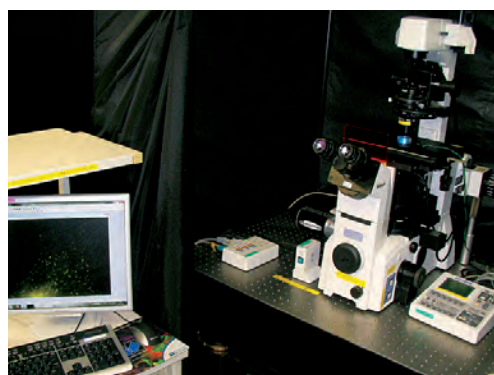
High Speed Laser Confocal Microscopy.



Multi-Color Fluorescence Microscopy.



Real-time Confocal Microscopy.



TIR Evanescent Microscopy.

国内、海外との新しい学術共同研究の推進に向けて

Promotion of New Academic Joint Research with Domestic and Overseas Institutes

電子科学研究所は、欧米の3つの研究所、アジアの1つの研究所・センターと交流協定を締結し、スタッフや学生の交流、ジョイントシンポジウム等や共同研究プロジェクトを積極的に実施している。国際連携推進室は、これまでの国際連携活動を発展させて、国際連携に関する企画立案・企画助言の役割を担うとともに、国際ネットワークのハブとして連携活動を充実・強化するために平成24年度に設置されたものである。国内の研究所ネットワークと海外の研究組織ネットワークが連携するプログラムなども計画している。

国際連携活動事例

- 毎年度、海外から講演者を招待しての、テーマを一文字の漢字で表す国際シンポジウム
- 海外研究機関との学術協定締結（2013年12月現在で欧米3研究機関、アジア1研究機関）
- 文科省二国間共同研究事業、JST戦略的国際科学技術協力推進事業ほか10件（2007-2013年）
- 生物学と周辺領域の学際的国際共同研究を推進するヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム
グラント賞受賞2007年1件、2010年2件、2013年1件（受賞数（理研、東大に次いで）全国3位、教員数あたりの受賞率全国トップ）
- イグノーベル賞 2008年、2010年
- 優れた日英共同研究に授与される大和エイドリアン賞受賞1件（2010年）
- 優れた国際共同研究実績 Science 2007, 2010, PNAS 2011, ACS Nano 2012, EMBO Journal 2012, Adv. Mater. 2012, Nature Materials 2013他

The Research Institute for Electronic Science has academic exchange agreements with three research institutes in Europe and U.S. and three research institutes/centers in Asia to promote exchanges of staff members and students, and joint operations including joint-symposiums and joint research projects. The Promotion Office for International Alliance which was established in 2012 aims to take the role in planning and consulting to build an international coordination and to strengthen collaborative works as a hub of international networks by developing International coordination. We are also planning to launch a program to enhance a global collaboration among the networks of both domestic and overseas institutes.

Examples of International Cooperation Activities

- Annual international symposium with guest speakers from overseas, the theme of this symposium is expressed as a single letter in Chinese characters.
- Academic exchange agreement with overseas institutes (three research institutes in Europe and U.S. and one research institutes/centers in Asia, as of December, 2013)
- Bilateral joint research programs supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology in Japan, Japan Science Technology, Strategic International Research Cooperative Program, 10 programs, as of 2007-2013
- Awarded Human Frontier Science Program Grant Prizes Awards which promotes interdisciplinary collaboration in biology constituting more than two countries(Awarded one in 2007, two in 2010, and one in 2013)
- Awarded Ig Nobel Prizes in 2008 and 2010
- Awarded a Daiwa Adrian Prize which is given to a significant scientific collaboration between British and Japanese research teams (2010)
- Significant achievement of international joint research; Science 2007, 2010, PNAS 2008, 2011, ACS Nano 2012, EMBO Journal 2012, Adv. Mater. 2012, Nature Materials 2013, etc.



ノーベル化学賞下村脩先生などを招いた
第11回国際シンポジウム「影」
2010年3月25-26日



ベルギー・KU Leuvenとの学術交流協定
締結2013年7月20日

ナノテクを用いて先端研究を支援

Promotion of Advanced Research through Nanotechnology Support

ナノテクノロジー連携推進室は超微細加工とナノ計測・分析をキーワードとする「先端設備と技術」を結び、光・電子・スピンを制御する新規のナノデバイス創製ならびに新機能ナノ物質創出に関する研究、技術・製品開発の支援業務を行います。電子科学研究所では、約340m²のクリーンルーム内に設置した3台の超高精度電子ビーム描画装置、プラズマCVD装置、原子層堆積装置、ドライエッチング装置などの超微細加工装置群に加え、原子分解能を有する最新鋭の収差補正走査透過電子顕微鏡（CsSTEM）、集束イオンビーム加工装置（FIB）、高分解能X線回折装置などのナノ計測・分析装置をそろえ、フォトニック結晶デバイスやプラズモニックデバイスなどの先端的ナノデバイス・マテリアルの研究開発を支援します。またこれらトップダウン的な研究開発だけでなく、ボトムアップテクノロジーに関する支援も行います。

これらに加えて、平成24年度採択のナノテクノロジープラットフォーム事業、平成22年度採択の低炭素研究ネットワーク事業といった文部科学省の先端施設共用化促進事業の実施を通じて全国規模の装置共用化ネットワークを形成し、全国の大学・公的研究機関・民間企業に対して積極的にナノテクノロジーに関する技術支援に取り組んでいます。また、創成研究機構の産学連携事業の推進や北海道総合研究機構との共同研究など外部の公的機関、民間企業との共同研究も積極的に行っています。

このようにナノテクノロジー連携推進室では電子科学研究所の先端研究施設の共用化に関するサポートと、研究・技術製品の開発について豊かな経験を元に戦略的かつ具体的にアドバイスを行います。

主な業務

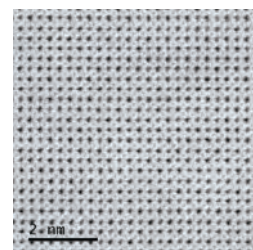
- 超微細加工の研究支援
- ナノ計測・分析の研究支援
- ナノテクノロジーに関する共同研究推進
- 学内外からの技術相談受付

Promotion Office for Nanotechnology Collaboration supports research and development of new nanodevices and new nano materials to control photon, electron and spin by nanofabrication and nano-characterization and analysis. Especially, based on the concept of “the integration of open advanced facilities and technology”, applicants are able to research on nanotechnology and use the instruments without any investment for expensive equipment. RIES has ultrafine processing facilities including three ultra-high precision electron beam (EB) lithography systems, a plasma CVD system, an atomic layer deposition system and some dry etching systems in our clean room, and nanoanalysis facilities including a spherical aberration corrected Scanning Transmission Electron Microscope (CsSTEM) system for an atomic resolution analysis, a focused ion beam (FIB) system and X-ray Diffraction (XRD) systems.

In addition, Hokkaido University is selected in “Nanotechnology Platform Program” and “Low-Carbon research network Japan (Lcnet) program” under the support of the Ministry of Education, Culture, Sport, Science and Technology (MEXT). We offer technical guidance and consultation regarding research, technology, and product strategy.

Main Objectives

- Support for micro-nanofabrication
- Support for nano-characterization and analysis of materials
- Promotion of nanotechnology collaboration
- Consulting services for nanotechnology research



CsSTEM (Right) and an atomic resolution STEM image of SrTiO₃ (Left).



Clean room: Class100 and Class10000.



Electron beam lithography system.

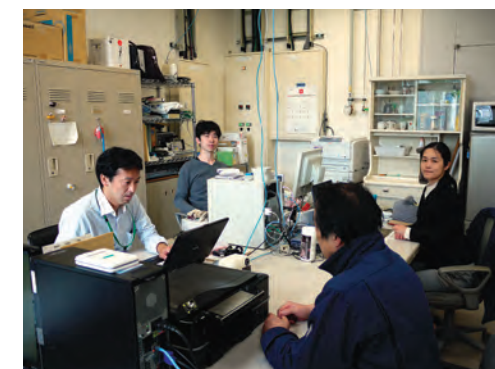


研究支援と装置作製

Technical Support and Equipment Development

技術部はシステム開発技術班とナノ加工・計測技術班、装置開発技術班（機械工作室・ガラス工作室）からなる。システム開発技術班は広報・情報・ネットワーク・研究所のウェブサイト管理、ニコンイメージングセンターの技術支援等を行っている。ナノ加工・計測技術班はクリーンルーム及び共用設備の維持管理、利用指導、ナノ加工・計測を行っており、それらに関する技術相談も受けている。また両班は研究所全体に関わる業務として学術講演会や液化窒素ガス汲み出し作業従事者への安全講習会などの支援も行っている。装置開発技術班は、研究分野より要請される特殊実験機器の開発・製作にあたっている。機械工作室では、NC加工機を利用した金属・樹脂の精密加工やTIG溶接（SUS, AL）技術を用いて多くの実験装置の開発・製作を行っている。近年は三次元CADを用いた設計相談にも対応している。ガラス工作室では、光学レンズ・プリズム等の加工と研磨、ステンレス製計測装置へのコバルトを介しての硝子の溶着、その他大型デュワー瓶、各種石英セルの製作を行っている。また同班は所外からの技術相談、装置製作などの技術支援要請にも応えている。

Technical Division in the RIES is composed of System Development Team, Nanofabrication and Measurement Team and Equipment Development Team containing workshops of machine and glass. System Development Team handles the managements of public relation, information network, website, and technical support of Nikon Imaging Center. Nanofabrication and Measurement Team handles the maintenance and the guidance of clean rooms and open facilities, the nano-machining and measurement, and also provides consultation of these technical matters. These two teams support the full participation events such as academic meetings, safety training program for liquid nitrogen handling to which all of the researchers and also support the technical matters related to the conferences. Equipment Development Team takes charge of the development and fabrication of custom-designed experimental equipments requested by each laboratory. Machine workshop is developing several experimental equipments using NC processing of metals and/or resins, and also TIG welding of stainless and aluminium. Recently, we provide the consultation for equipment designs using 3D CAD. Glass workshop develops several optical lenses and prisms by processing and polishing, an adhesion technique of glasses to a stainless apparatus using a koval between them, and fabrication of a large Dewar vessel and quarts cells. We also provide the consultation from outside of the RIES and the fabrication support of equipments.



諸活動 Activities

一般公開 Open House

電子科学研究所では、例年、6月の北大祭開催期間中に、一般公開を実施しています。2008年に電子科学研究所が中央キャンパスから北キャンパスに移転したことに伴い、2011年度からは北キャンパスで開催しています。会場が北大祭で賑わう中央キャンパスから少し離れたため、北18条門からペロタクシー（自転車タクシー）を無料運行するなどの工夫を凝らしました。2013年度の来場者数は1100人を越え、子どもから大人まで多くの市民の方々が最新の科学に触れる絶好の場となりました。

RIES is annually open to the general public during the Hokkaido University Festival period in the month of June. With RIES having moved to the northern campus from the central campus in 2008, the RIES Open House has been held in the northern campus from 2011. As the northern campus is at some distance from the central campus, which is crowded with people visiting Hokkaido University Festival, we have made efforts to improve accessibility for visitors by, e.g., operating velotaxis (bicycle taxis) for free from the North 18 gate. The number of visitors in 2013 surpassed 1,100, and the RIES Open House provided people of all ages with an excellent opportunity to experience state-of-the-art science.



国際シンポジウム International Symposium

電子科学研究所では、1999年より独自に国際シンポジウムを開催しています。このシンポジウムは、光、物質、生命、数理の分野で国際的な幅広い連携を構築することが目的で、異分野の融合とイノベーションの加速に繋がると考えています。各年度のシンポジウムそれぞれに、テーマを設定し、その内容を一文字の漢字で表現してきました。以下は、ここ数年のテーマに使われた漢字です。

RIES has held the international symposium every year since 1999. This symposium aims to establish an international relationship among researchers in the scientific fields of "photonics and optical science", "materials and molecular sciences", "biology and life sciences", and "mathematical and system sciences", which motivate us to merge the several advanced topics in such different scientific fields and to accelerate the innovations in interdisciplinary research fields. The aim of each symposium has been symbolized by a single "Kanji" (Chinese Character). Followings are recent characters and memorial photographs.



The 14th RIES-Hokudai International Symposium (Dec. 2013, Prof. Komatsuzaki)



2012
Understanding and application
of rules in science
(Prof. Sasaki)



2011
Observation of scientific
fundamentals
(Prof. Nishii)



2009
Discovery of hidden
mechanisms or rules
in nature
(Prof. Nagai)



2008
Development of theories for complex
systems such as living cells and
macromolecules
(Prof. Tsuda)



2007
Creation and development
using
nano-technology
(Prof. Misawa)



2006
Understanding of
nanoscience and
nanotechnology
(Prof. Tsujii)



2005
Creation of new paradigms
of sciences
on life
(Prof. Ueda)



2004
Exceed something
or
go across over something
(Prof. Nakamura)



超短波研究所

since 1943 -Research Institute of Ultrashort Waves

- 昭和 16. 1 超短波研究室が設置される
18. 1 超短波研究所に昇格 第二部門、第四部門、第六部門、第七部門開設
18. 3 第三部門開設
19. 1 第一部門、第五部門開設
20. 1 第八部門開設

応用電気研究所

since 1946 -Research Institute of Applied Electricity

- 昭和 21. 3 応用電気研究所と改称する
部門構成：電気第一部門、電気第二部門、物理第一部門、物理第二部門、化学部門
医学及び生理第一部門、医学及び生理第二部門、数学部門
24. 5 北海道大学附属研究所となる
36. 4 メディカルエレクトロニクス部門新設
37. 4 電子機器分析部門新設
38. 4 メディカルトランスデューサ部門新設
39. 2 研究部門は一部名称変更等により次のとおりとなる
(昭和 38 年 4 月 1 日適用)
電子回路部門、電波応用部門、物理部門、化学部門、生理部門、生体物理部門、応用数学部門、メディカルエレクトロニクス部門、電子機器分析部門、メディカルトランスデューサ部門
39. 4 メディカルテレメータ部門新設
42. 6 強誘電体部門新設
46. 4 生体制御部門新設
48. 4 附属電子計測開発施設新設
50. 4 光計測部門新設（10 年時限）
53. 4 感覚情報工学部門新設
60. 3 光計測部門廃止（時限到来）
60. 4 光システム工学部門新設（10 年時限）

電子科学研究所

since 1992 -Research Institute for Electronic Science

- 平成 4. 4 研究所改組により電子科学研究所となる
14. 4 附属電子計測開発施設を附属ナノテクノロジー研究センターに改組転換
15. 5 電子情報処理研究部門感覚情報研究分野を廃止
17. 4 電子計測制御研究部門適応制御研究分野を廃止
電子計測制御研究部門ナノシステム生理学研究分野を新設
17.10 電子材料物性研究部門光材料研究分野をナノ光高機能材料研究分野に名称変更
電子情報処理研究部門信号処理研究分野を極限フォンプロセス研究分野に名称変更

電子情報処理研究部門計算論的生命科学研究分野を新設
寄附研究部門「ニコンバイオイメーjingセンター研究部門」を新設（開設期間 3 年）

英国ニューカッスル大学ナノスケール科学技術研究所との学術交流協定締結

19. 4 附属ナノテクノロジー研究センターの「10 年時限」撤廃
19. 10 電子材料物性研究部門相転移物性研究分野を量子情報フォトニクス研究分野に名称変更

電子機能素子研究部門超分子分光研究分野を廃止
電子計測制御研究部門自律調節研究分野を分子生命数理研究分野に名称変更

20. 1 バングラデシュ・ダッカ大学物理化学生物薬学先端科学研究センターとの学術交流協定締結（21.12 大学間交流協定へ移行 責任部局：大学院歯学研究科）

20. 1 台湾・台湾師範大学光電科学技術研究所との学術交流協定締結

20. 4 台湾・国立台湾大学物理学科との研究交流に関する覚書締結

20. 6 米国・カリフォルニア大学ロサンゼルス校カリフォルニアナノシステム研究所を代表するカリフォルニア大学評議会との学術交流協定締結

20. 10 電子情報処理研究部門極限フォンプロセス研究分野をスマート分子研究分野に名称変更

附属ナノテクノロジー研究センターナノ材料研究分野を極限フォンプロセス研究分野に名称変更

附属ナノテクノロジー研究センターナノデバイス研究分野をバイオ分子ナノデバイス研究分野に名称変更

寄付研究部門「ニコンバイオイメーjingセンター研究部門」開設期間更新（更新期間 3 年）

22. 3 フランス・リヨン高等師範学校との学術交流協定締結

22. 4 電子材料物性研究部門コヒーレント X 線光学研究分野を新設

電子機能素子研究部門分子認識素子研究分野を光波制御材料研究分野に名称変更

電子計測制御研究部門量子計測研究分野を生体物理研究分野に名称変更

連携研究部門理研連携研究分野を新設

22. 9 ドイツ・オットー・フォン・ゲーリケ大学マクデブルク自然科学部との学術交流協定締結

23. 1 台湾国立交通大学理学院との学術交流協定締結

23. 9 寄附研究部門「ニコンバイオイメーjingセンター研究部門」開設期間満了

24. 4 改組に伴い研究部門名、研究分野名を全面改称
附属ナノテクノロジー研究センターを附属グリーンナノテクノロジー研究センターに改組転換

研究支援部を新設
支援部構成：ニコンイメーjingセンター、国際連携推進室、ナノテク連携推進室



所 長 教授 西井 準治
副所長 教授 中村 貴義

光科学研究部門
Section of Photonics and Optical Science

光システム物理研究分野
教 授 笹木 敬司 情報科学研究科 情報エレクトロニクス
准教授 藤原 英樹 情報科学研究科 情報エレクトロニクス
助 教 酒井 恭輔 情報科学研究科 情報エレクトロニクス

光子情報研究分野
准教授 辻見 裕史 理学院 物性物理学
助 教 岡本 亮 情報科学研究科 情報エレクトロニクス
助 教 藤原 正澄 情報科学研究科 情報エレクトロニクス

コヒーレント光研究分野
教 授 西野 吉則 情報科学研究科 生命人間情報科学
助 教 木村 隆志 情報科学研究科 生命人間情報科学

物質科学研究部門
Section of Material and Molecular Sciences

分子光機能物性研究分野
特任教授 太田 信廣 環境科学院 環境物質科学
特任助教 Kamlesh AWASTHI 環境科学院 環境物質科学
スマート分子材料研究分野

教 授 玉置 信之 生命科学院 生命科学
助 教 亀井 敬 生命科学院 生命科学
助 教 深港 豪 生命科学院 生命科学
特任助教 金 樹娜

ナノ構造物性研究分野
教 授 石橋 晃 理学院 物性物理学
准教授 近藤 憲治 理学院 物性物理学
薄膜機能材料研究分野

教 授 太田 裕道 情報科学研究科 生命人間情報科学
助 教 片瀬 貴義 情報科学研究科 生命人間情報科学

生命科学研究部門
Section of Biology and Life Sciences

光細胞生理研究分野
教 授 根本 知己 情報科学研究科 生命人間情報科学
助 教 日比 輝正 情報科学研究科 生命人間情報科学
助 教 川上 良介 情報科学研究科 生命人間情報科学
特任助教 飯島光一朗

生体分子デバイス研究分野
教 授 居城 邦治 総合化学院 物質化学コース
准教授 新倉 謙一 総合化学院 物質化学コース
助 教 三友 秀之 総合化学院 物質化学コース

生命動態研究分野
教 授 中垣 俊之 生命科学院 生命科学
助 教 黒田 茂 生命科学院 生命科学

数理科学研究部門
Section of Mathematical and System Sciences

複雑系数理研究分野
教 授 津田 一郎 理学院 数学
准教授 佐藤 譲 理学院 数学
准教授 青沼 仁志 生命科学院 生命科学

助 教 山口 裕 理学院 数学
助 教 西野 浩史 生命科学院 生命科学
分子生命数理研究分野

教 授 小松崎民樹 生命科学院 生命科学
准教授 李 振風 理学院 数学
助 教 西村 吾朗 生命科学院 生命科学
助 教 寺本 央 生命科学院 生命科学

職員数 Number of Staff (March, 2014) (特任、客員を除く)			
教 授	Professor	14	
准 教 授	Associate professor	12	
助 教	Assistant professor	19	
技 術 職 員	Technical staff	10	
合 計	Total	55	

動的数理モデリング研究分野
教 授 長山 雅晴 理学院 数学
助 教 秋山 正和 理学院 数学
助 教 Elliott GINDER 理学院 数学

附属グリーンナノテクノロジー研究センター
Green Nanotechnology Research Center

センター長 笹木 敬司
グリーンフォトンクス研究分野
教 授 三澤 弘明 情報科学研究科 生命人間情報科学
准教授 上野 貢生 情報科学研究科 生命人間情報科学
助 教 押切 友也 情報科学研究科 生命人間情報科学
特任助教(創成) 孫 泉

光電子ナノ材料研究分野
教 授 西井 準治 総合化学院 物質化学コース
准教授 海住 英生 総合化学院 物質化学コース
ナノ光機能材料研究分野

特任教授 末宗 幾夫 情報科学研究科 情報エレクトロニクス
准教授 熊野 英和 情報科学研究科 情報エレクトロニクス
ナノアセンブリ材料研究分野
教 授 中村 貴義 環境科学院 環境物質科学
准教授 野呂真一郎 環境科学院 環境物質科学
助 教 久保 和也 環境科学院 環境物質科学

連携研究部門
Cooperative Research Department

産研アライアンス研究分野
助 教(兼) 岡本 亮
助 教(兼) 藤原 正澄
理研連携研究分野

客員教授 田中 拓男
特任助教 石田周太郎
特別研究員 横田 幸恵
社会連携客員研究分野

教 授 永島 英夫
教 授 桑原 輝隆
教 授 細野 秀雄
教 授 尾関 章

研究支援部
Research Support Department

ニコンイメーjingセンター
教 授(センター長)(兼) 根本 知己
特任助教 大友 康平
国際連携推進室

教 授(室長)(兼) 小松崎民樹
准教授(兼) 上野 貢生
ナノテク連携推進室

准教授(室長) 松尾 保孝 総合化学院 物質化学コース

技術部
Division of Technical Staff

技術長 太田 隆夫
装置開発技術班
班 長 平田 康史

武井 将志
大沼 英雄

システム開発技術班
班 長 伊勢谷陽一
主 任 小林健太郎

ナノ加工・計測技術班
班 長 今村 逸子
主 任 笠 晴也

遠藤 礼暁
大西 広

