

RESEARCH INSTITUTE FOR ELECTRONIC SCIENCE

北海道大学

# 電子科学研究所



(中央キャンパス)



# はじめに - 所長あいさつ -

Foreword



所長 三澤 弘明  
Director  
Prof. Hiroaki Misawa

世界的な経済の混乱が続く中、資源小国である我が国が将来を担保するためには、科学技術に対する確固たる長期ビジョンを持ち、これまで以上に科学技術立国を標榜することが必要です。大学の理工系附置研究所に対する期待もこのような状況の中で拡大しつつあり、国際水準を遥かに超えた独創的な科学技術に関する研究を推進することや、既存の学問分野から一歩踏み出したイノベーションに繋がる新しい研究領域を開拓することが強く求められています。北海道大学電子科学研究所においては、その前身となる超短波研究所で医工融合研究が進められたように、歴史的に従来の学問分野の枠組みを超えて融合を図ることが受け継がれ、常に新学術領域を生み出すことを希求してきました。現在では、ナノテクノロジー研究をコアとし、「光」、「分子・物質」、「生命」、「数理」に関する科学の融合を図る「複合領域ナノサイエンス」の研究を推進することによって革新的な科学技術を創出することを目指しており、ここから生み出された成果は、人類共通の「知」の深化をもたらし、また文明をより高めるものになると確信しています。

当研究所はこのような新学術領域の創成をさらに加速するため、2007年より東北大学多元物質科学研究所、東京工業大学資源化学研究所、大阪大学産業科学研究所と共同で「ポストシリコン物質・デバイス創成基盤技術アライアンス」を発足させ、附置研究所間の異分野の研究者の共同研究を積極的に推進してきました。本アライアンスから生み出された研究成果は、国内外から高く評価され、その結果、2009年6月にはこれに九州大学先端物質化学研究所を加えた5研究所による「物質・デバイス領域ネットワーク型共同研究拠点」が、文部科学省より正式に認定されました。本ネットワーク型共同研究拠点は、文部科学省による共同利用・共同研究拠点改革において新規導入されたものであり、独創的な科学技術創出の源泉になるものと大きな期待が寄せられています。さらに、当研究所において培われた先端的なナノテクノロジー研究に関する「知」や、「先端設備・技術」を広く社会に還元するため、2007年より文部科学省の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「北海道イノベーション送出ナノ加工・計測支援ネットワーク(HINTS)」拠点として参画しており、新産業技術の創出においても大きな貢献を果たしています。

経済バブル崩壊以降、中国の急速な台頭と相まって世界における日本の存在感は薄れつつありますが、当研究所は、我が国が再び「Japan as No.1」と呼ばれるために必要不可欠な革新的科学技術を創出する中核拠点として先導的な役割を果たしていきたいと考えておりますので、皆様のご支援とご鞭撻をお願いいたします。

In the midst of worldwide economic disorder, it is essential for us to go forward with determined, long-term vision toward science technology and proclaim ourselves more as one of the world leaders in science and technology to ensure the future of our nation without much resources. Expectations for affiliation research center for science in the university is becoming huge under these circumstances. We, therefore, are now strongly urged to promote original and creative researches on science technology which surpass global standard and keep pioneering new research field leading us to innovation which makes the 1st positive step from existing regions of study.

In Research Institute for Electronic Science (RIES), Hokkaido University, our spirited mind to challenge for integration regardless of traditional frame work of study fields has been inherited by tradition as Research Institute of Ultrashort Waves, our predecessor, developed the researches which united medicine and engineering. For ever and a day, we have been striving for produce of new academic fields.

Under Nano Technology as its core, our present goal is to revolutionize scientific techniques by driving researches from "Trans-disciplinary Nano Science" which aims to integrate "Optic", "Molecule / Material", "Life" and "Mathematic". We have no doubt our achievements from these successful integrations deepen "knowledge" common to all humankind and consequently sophisticate our civilization.

Accelerating more production of these new academic fields, since 2007 RIES had been working with Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials (Tohoku Univ.), Chemical Resources Laboratory (Tokyo Institute of Technology) and The Institute of Scientific and Industrial Research (Osaka Univ.) to establish "Post-Silicon Materials and Devices Research Alliance" in 2008. As backup for each other, our alliance has been aggressively promoting collaborative researches even from different fields. The fruits of researches produced from our alliance were highly praised not only in this country but also overseas and as a result of this, after Institute for Materials Chemistry and Engineering (Kyusyu Univ.) joined the alliance, in June 2009, "Network-type Corporative Hub for Materials and Devices" was officially approved by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. This Network-type corporative hub was newly adopted through the restructure of centers for Joint-Use/Joint-Research by the Ministry and people are now holding great expectations for us as a new source for unique science technology's births.

Additionally, RIES has another aim to share our intelligence on leading-edge Nano Technology which was cultivated in RIES and "Cutting-edge facilities / techniques" extensively with our society. Since 2007, as center of Hokkaido Innovation through Nano Technology Support (HINTS), we have been taking a part of Nanotechnology Network Project for creating innovative outcomes by sharing cutting-edge research equipment and facilities by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. We believe RIES has been making very important contributions to outcomes of new industrial techniques.

In the post bubble world, Japan is about to be overshadowed by conspicuous China's gaining power. Our RIES, however, need to keep playing a leading role as a core center which focuses on producing essential, innovative science technology to recapture "Japan as No.1."

Your continued support and cooperation for RIES will be greatly appreciated.



## 研究領域マップ



## はじめに

### Message from Director

沿革	2
History	

組織	3
Organization	

職員	4
Staff Directory	

電子材料物性部門	6
Section of Electronic Materials	

電子機能素子部門	11
Section of Intelligent Materials and Device	

電子計測制御部門	15
Section of Scientific Instrumentation and Control	

電子情報処理部門	20
Section of Informatics and Processing	

附属ナノテクノロジー研究センター	26
Nanotechnology Research Center	

寄附研究部門	30
Nikon Imaging Center	

ナノテク支援室	31
Nanotechnology Support Division	

連携研究室	32
Alliance Laboratory	

技術部	33
Division of Technical Staffs	

### 超短波研究所 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
- 2.2 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 1946 Research Institute of Applied Electricity

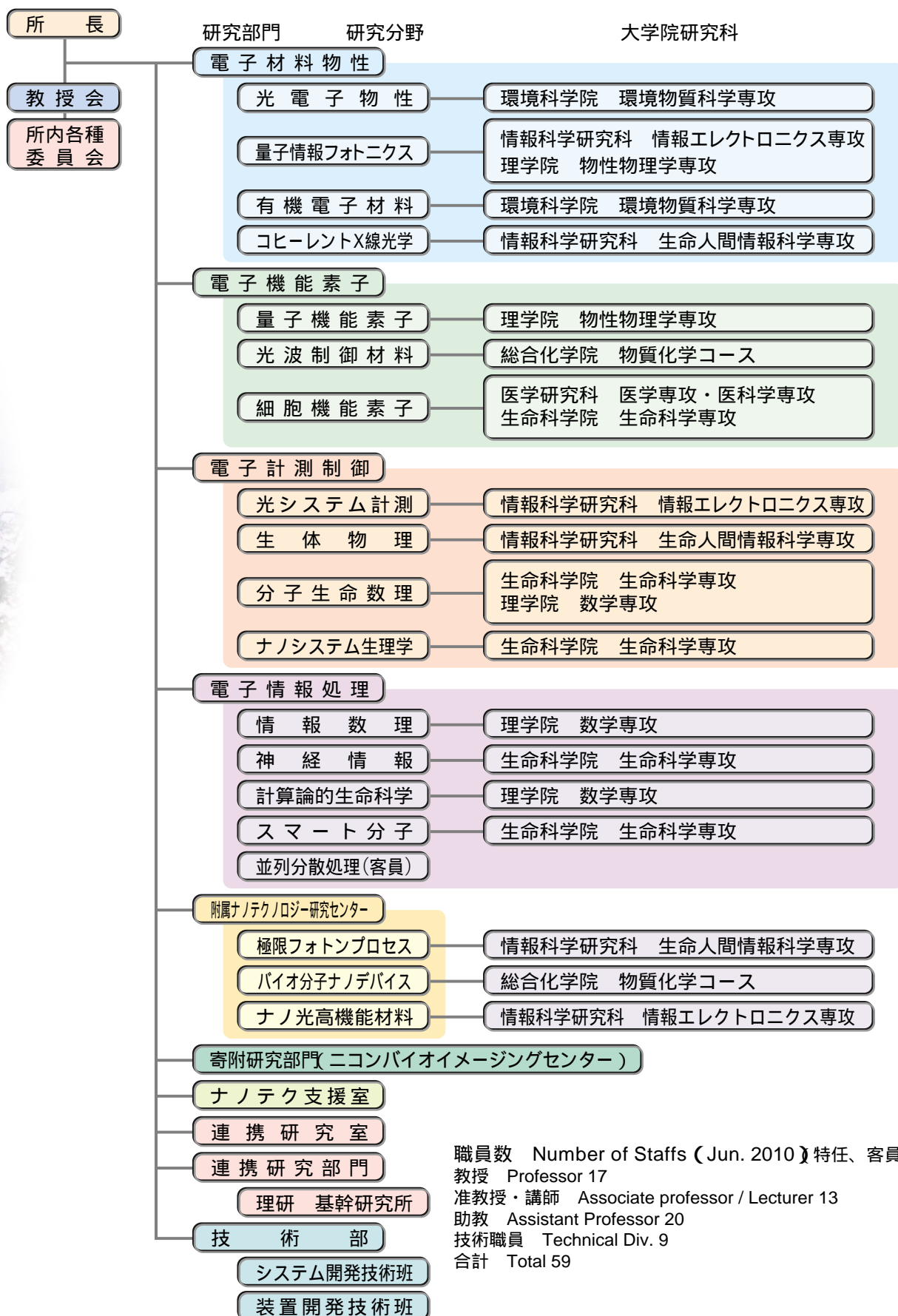
- 21.3 応用電気研究所と改称する
- 部門構成：電気第一部門、電気第二部門、物理第一部門、物理第二部門、化学部門、医学及び生理第一部門、医学及び生理第二部門、数学部門
- 24.5 北海道大学附置研究所となる
- 36.4 メディカルエレクトロニクス部門新設
- 37.4 電子機器分析部門新設
- 38.4 メディカルトランスデューサ部門新設
- 39.2 研究部門は一部名称変更等により次のとおりとなる（昭和38年4月1日適用）
- 電子回路部門、電波応用部門、物理部門、化学部門、生理部門、生体物理部門、応用数学部門、メディカルエレクトロニクス部門、電子機器分析部門、メディカルトランスデューサ部門
- 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 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ト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ジングセンター研究部門」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ン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ト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ト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
- 寄附研究部門「ニコンバイオイメージングセンター研究部門」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ナノ光高機能材料研究分野をコヒーレントX線光学研究分野に名称変更
- 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
- 附属ナノテクノロジー研究センターナノ理論研究分野をナノ光高機能材料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

# 組 織

## Organization



職員数 Number of Staffs (Jun. 2010) 特任、客員除く )  
 教授 Professor 17  
 准教授・講師 Associate professor / Lecturer 13  
 助教 Assistant Professor 20  
 技術職員 Technical Div. 9  
 合計 Total 59

# 研究所職員

## Directory of the Institute

所長 Director  
教授 三澤 弘明 Professor Hiroaki Misawa

副所長  
教授 中村 貴義 Professor Takayoshi Nakamura

### 電子材料物性研究部門 Section of Electronic Materials

光電子物性 Laboratory of Molecular Photonics  
教授 太田 信廣 Professor Nobuhiro Ohta  
准教授 中林 孝和 Assoc. Prof. Takakazu Nakabayashi  
助教 飯森 俊文 Assis.Prof. Toshifumi Imori

量子情報フォトンクス Laboratory of Quantum Information Photonics  
教授 竹内 繁樹 Professor Shigeki Takeuchi  
准教授 辻見 裕史 Assoc. Prof. Yuhji Tsujimi  
助教 岡本 亮 Assis.Prof. Ryo Okamoto  
助教 藤原 正澄 Assis.Prof. Masazumi Fujiwara

有機電子材料 Laboratory of Molecular Electronics  
教授 中村 貴義 Professor Takayoshi Nakamura  
准教授 野呂真一郎 Assoc.Prof. Shin-ichiro Noro

コヒーレントX線光学 Laboratory of Coherent X-ray Optics  
教授 西野 吉則 Professor Yoshinori Nishino

### 電子機能素子研究部門 Section of Intelligent Materials and Device

量子機能素子 Laboratory of Quantum Electronics  
教授 石橋 晃 Professor Akira Ishibashi  
講師 近藤 憲治 Lecturer Kenji Kondo  
助教 海住 英生 Assis.Prof. Hideo Kaiju

光波制御材料 Laboratory of Nanostructured Photonics  
教授 西井 準治 Professor Junji Nishii  
准教授 西山 宏昭 Assoc.Prof. Hiroaki Nishiyama  
助教 眞山 博幸 Assis.Prof. Hiroyuki Mayama

細胞機能素子 Laboratory of Cellular Informatics  
教授 上田 哲男 Professor Tetsuo Ueda  
助教 高木 清二 Assis.Prof. Seiji Takagi

### 電子計測制御研究部門 Section of

光システム計測 Laboratory of  
教授 笹木 敬司 Professor  
准教授 藤原 英樹 Assis.Prof.  
生体物理 Laboratory of  
教授 根本 知己 Professor  
助教 日比 輝正 Assis.Prof.  
助教 川上 良介 Assis.Prof.  
分子生命数理 Laboratory of  
教授 小松崎民樹 Professor  
准教授 李 振風 Assoc.Prof.  
助教 西村 吾朗 Assis.Prof.  
助教 寺本 央 Assis.Prof.  
ナノシステム生理学 Laboratory for  
教授 永井 健治 Professor  
助教 松田 知己 Assis.Prof.  
助教 新井 由之 Assis.Prof.

### 電子情報処理研究部門 Section of

情報数理 Laboratory of  
教授 西浦 廉政 Professor  
助教 柳田 達雄 Assis.Prof.  
助教 飯間 信 Assis.Prof.  
神経情報 Laboratory of  
准教授 青沼 仁志 Assoc.Prof.  
助教 西野 浩史 Assis.Prof.  
スマート分子 Laboratory of  
教授 玉置 信之 Professor  
助教 亀井 敬 Assis.Prof.  
助教 深港 豪 Assis.Prof.  
計算論的生命科学 Laboratory of  
教授 津田 一郎 Professor  
准教授 佐藤 譲 Assis.Prof.  
助教 山口 裕 Assis.Prof.  
並列分散処理（客員） Laboratory of  
客員教授 川合 知二 Guest Prof.  
客員教授 白尾 隆行 Guest Prof.  
客員教授 矢島 収 Guest Prof.



Scientific Instrumentation and Control

Optical Systems Engineering

Keiji Sasaki  
Hideki Fujiwara

Molecular and Cellular Biophysics

Tomomi Nemoto  
Terumasa Hibi  
Kawakami Ryosuke

Molecule & Life Nonlinear Sciences

Tamiki Komatsuzaki  
Li Chun Biu

Goro Nishimura

Hiroshi Teramoto

Nanosystems Physiology

Takeharu Nagai  
Tomoki Matsuda  
Yoshiyuki Arai

Informatics and Processing

Nonlinear Studies and Computation

Yasumasa Nishiura  
Tatsuo Yanagita  
Makoto Iima

Neuro-Cybernetics

Hitoshi Aonuma  
Hiroshi Nishino

Smart Molecule

Nobuyuki Tamaoki  
Takashi Kamei

Tsuyoshi Fukaminato

Computational Life Science

Ichiro Tsuda  
Yuzuru Sato  
Yutaka Yamaguchi

Parallel Distributed Processing (Adjunct)

Tomoji kawai  
Takayuki Shirao  
Osamu Yajima

寄附研究部門（ニコンバイオイメージングセンター）

Nikon Imaging Center

教授	上田 哲男	Professor	Tetsuo Ueda
教授	永井 健治	Professor	Takeharu Nagai
(特任)准教授	堀川 一樹	Assoc.Prof.	Kazuki Horikawa
(特任)助教	齊藤 健太	Assis.Prof.	Kenta Saito

支援室

准教授	松尾 保孝	Assoc.Prof.	Yasutaka Matsuo
-----	-------	-------------	-----------------

連携研究部門  
理研連携研究分野

客員教授	田中 拓男	Guest Prof.	Takuo Tanaka
------	-------	-------------	--------------

附属ナノテクノロジー研究センター

センター長

教授	笹木 敬司
----	-------

極限フォトンプロセス

教授	三澤 弘明
准教授	上野 貢生
助教	村澤 尚樹

バイオ分子ナノデバイス

教授	居城 邦治
准教授	新倉 謙一

ナノ光高機能材料

教授	末宗 幾夫
准教授	熊野 英和
助教	笹倉 弘理

技術部

技術部長 教授	三澤 弘明(兼)
技術長	大沼 英雄
装置開発技術班	
班長	太田 隆夫
第一技術主任	平田 康史
第二技術主任	女池 竜二
技術職員	武井 将志
システム開発技術班	
班長(兼)	大沼 英雄
第一・第二技術主任	伊勢谷陽一
技術職員	今村 逸子
技術職員	小林健太郎
技術職員	遠藤 礼暁
嘱託職員	土田 義和

Support Office for Nanotechnology Research

Section of Collaborative Research  
Laboratory of RIKEN Alliance Research

Nanotechnology Research Center

Head

Professor	Keiji Sasaki
-----------	--------------

Laboratory of Photon Process

Professor	Hiroaki Misawa
Assoc.Prof.	Kosei Ueno
Assis.Prof.	Naoki Murazawa

Laboratory of Molecular Devices

Professor	Kuniharu Ijio
Assoc.Prof.	Kenichi Niikura

Laboratory of Nanophotonics

Professor	Ikuo Suemune
Assoc.Prof.	Hidekazu Kumano
Assis.Prof.	Hirota Sasakura

Division of Technical Staffs

Head:Prof.	Hiroaki Misawa
Group Leader	Hideo Ohnuma
Equipment Developing Group	
Group Leader	Takao Ohta
Senior Eng.	Yasushi Hirata
Senior Eng.	Tatsuji Meike
Technician	Masashi Takei
System Developing Group	
Group Leader	Hideo Ohnuma
Senior Eng.	Yoichi Iseya
Technician	Itsuko Imamura
Technician	Kentaro Kobayashi
Technician	Michiaki Endo
Temporary Employee	Yoshikazu Tsuchida

(平成22年6月16日現在)

# 電子材料物性部門

## Section of Electronic Materials



本研究部門では、電子科学を支える物質の基礎的物性研究を行っている。

具体的には光や電子の流れを制御可能な無機及び有機材料の構築と、その構造・物性の基本原理の解明を目的に、以下の4研究分野で構成されている。光と電子の相互作用を利用した光機能材料を研究する光電子物性研究分野、単一光子制御による量子情報処理や新量子技術の研究を行う量子情報フォトンクス研究分野、有機分子の電子構造を利用した分子エレクトロニクス材料を研究する有機電子材料研究分野、高機能光システムを構築するための光・電子材料を研究するナノ光高機能材料研究分野である。

In this section, basic properties of materials for the advanced electronic science are investigated. It covers the basic studies of optical, magnetic and electronic properties of organic and inorganic compounds available for controlling electrons and photons. The following four laboratories are organized in this section: Molecular Photonics (photon-electron interaction and photoinduced function of materials), Quantum Information Photonics (quantum information technologies using photons), Molecular Electronics (supramolecular systems for electronics), Nanophotonics (basic properties of materials for optoelectronics).

# 光電子物性研究分野

## Molecular Photonics

### 分子および分子集合体の新たな光電子物性発現を探る

### Studies on photoexcitation dynamics and photoinduced functions of molecular systems

『光励起ダイナミクス』、『電子励起分子の構造』、『光機能物性』をキーワードとして、光と電子の相互作用に関わる物理化学的諸問題を理論的に、そして実験により研究する。

有機分子や分子集合体の光誘起電子移動反応、光励起エネルギー移動反応、光誘起プロトン移動反応あるいは励起錯体形成といった光化学反応ダイナミクスはどうなっているのか、電場や磁場によりどのような変化を示すのか、またそれは励起分子の電子構造や準位構造とどのように関係するのかを発光や吸収の分光特性および時間特性を調べることで明らかにする。さらに発光特性の電場、磁場依存性を観測することにより、励起分子の構造とダイナミクスが、光導電性や有機電界発光の発現といった光機能物性とどのように関係するのかを調べる。

生体系に特徴的な高速、高効率、高選択的といった光化学反応の特異性が、膜蛋白における色素分子の機能的かつ秩序正しい配列構造に起因することに鑑み、色素分子を異なる長さの分子鎖で連結させた分子系、分子の空間配向、配列を制御した分子系、さらには生細胞に着目して研究を進めている。

これらの研究を通じて、光学・電気・

磁気的特性に関してこれまでに全く知られていない光励起に伴う新たな光電子物性の発現を探る。

#### 研究テーマ

- ・ 時間分解電場発光測定装置の開発と光化学反応への局所電場効果の解明
- ・ 配向分子系における特定方向への光誘起ダイナミクスと電場、磁場効果
- ・ 連結分子発光の電場、磁場効果および有機電界発光の研究
- ・ 光と外場を用いる有機物の新奇光機能物性の研究
- ・ 固体および液体のイオン電導特性に対する光照射効果および外場効果
- ・ 生細胞の時空間分解蛍光イメージング測定

Interaction between photon and electron has been investigated theoretically and experimentally for molecules, molecular complexes, molecular aggregates and molecular assemblies, with a special attention to "Dynamics" and "Structure" of photoexcited species and photoinduced "Function" of materials.

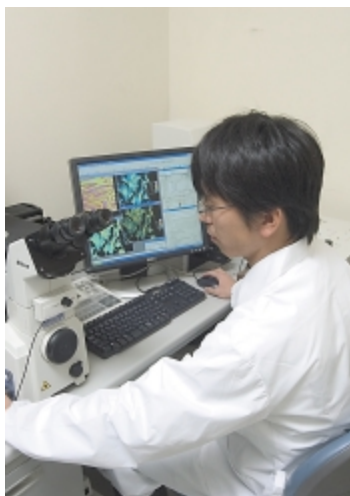
Excitation energy transfer,

photoinduced electron transfer, proton transfer and complex formation in the excited states, which are primary processes of many photochemical processes and play a significant role in biological systems, have been examined, based on the measurements of emission spectra and their decay profiles. In order to elucidate the relation among "Dynamics", "Structure" and "Function", external electric field effects and/or magnetic field effects on these photochemical processes have been examined.

Well-defined molecular order is extremely important to generate an ultra-fast, ultra-efficient and ultra-selective photochemical process, as is seen for photochemical processes in photosynthetic reaction center, and to produce a new material with a new photoinduced function. In order to induce a characteristic photochemical process which is applicable for a design of the new material having a new function, photoexcitation dynamics and photoinduced electric and magnetic properties have been examined in molecular assemblies with higher-ordered orientation and arrangement.

#### Research Interests

- ・ Structure and dynamics of photoexcited molecules
- ・ Photoinduced properties and functions of materials
- ・ Effects of electric field and magnetic field
- ・ Time-resolved spectroscopy
- ・ Electric field effect on photoluminescence and its relation with electroluminescence (EL)
- ・ Fluorescence lifetime imaging (FLIM) system



FLIM system.



Time-resolved emission measurement system.

# 量子情報フォトニクス研究分野

## Quantum Information Photonics

### 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、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ニクス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。

量子フォトニクス 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・量子光計測の実現に向けた量子回路の研究
- ・ 微小球やナノ光ファイバを利用した、ナノフォトニ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 discovery of light quanta by Einstein, the generation of individual single photons and the control of quantum correlation among them are being studied. Such researches will open a new paradigm of Science using novel photonic states. Typical examples are quantum cryptography realizing ultimate security and quantum computers with which can solve some problems extremely more efficient than conventional computers. Quantum optical measurement which enables super-sensitivity beating the standard quantum limit and quantum lithography with resolution beating the diffraction limit are also studied. In this context, we are studying the following topics.

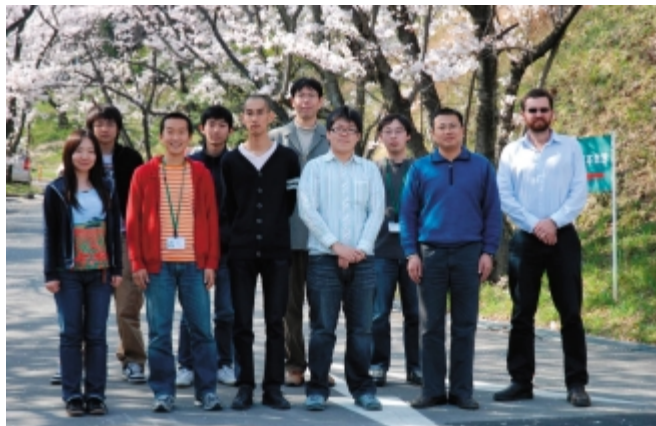
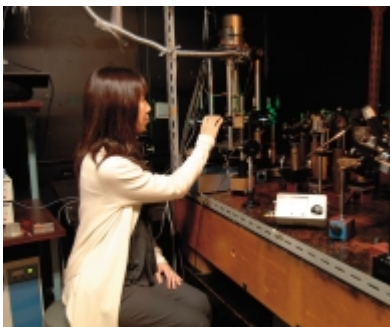
Quantum Photonics: Quantum Electro Dynamics (QED) using light confined in micro/nano structures interacting with individual light emitters toward the realization of new quantum information devices.

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

Nano-scale Fluctuation: Investigation 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 spectroscopes.

#### Research Interests

- ・ Optical quantum circuit for quantum information and quantum metrology
- ・ Nano-photonic devices using microspheres and nano-optical fiber
- ・ Highly efficient single photon sources and single photon detectors.
- ・ Nano-scale polarization fluctuation in Perovskite-type oxides
- ・ Nano-scale quantum fluctuation in quantum-paraelectrics



量子情報フォトニクス（阪大、産研 常駐）メンバー

# 有機電子材料研究分野

## Molecular Electronics

### 分子ナノエレクトロニクス の実現を目指して

### Towards the Realization of Molecular Nanoelectronics

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、ナノワイヤ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。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
- ・分子集合体ナノワイヤの構築とデバイス展開
- ・双安定性を有する分子集合体の開拓
- ・ポリオキソメタレートを用いた超分子構造の構築と物性制御
- ・金属錯体集積体の界面物性

Towards the realization of Molecular Nanoelectronics, we develop the "Integrated Molecular Systems" through molecular-assembly processes, which are further assembled into molecular nanodevices for future computing systems.

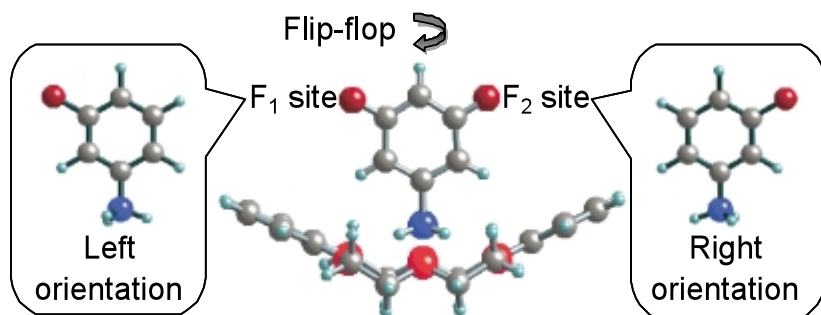
To obtain integrated molecular systems through bottom-up self-assembly processes, we program each molecule in advance to have a scenario for assembling into highly ordered and complex structure. We evaluate the structure and electronic properties of the molecular systems and fabricate nanoelectronic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

molecular systems as active units.

We are now studying on molecular conductors and magnets from the view points of supramolecular chemistry. Combining supramolecular structures of molecular rotors and ionic channels with molecular conductors and magnets, we develop novel functional molecular systems. Forming thin films and nanometer size units such as nanowires from the integrated molecular systems, we are constructing molecular electronic devices. 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
- ・Molecular nanowires and device application
- ・Molecular assemblies with bistability
- ・Supramolecular assemblies with polyoxometalate
- ・Interfacial properties of assembled metal complexes



Ferroelectricity and polarity control in solid-state supramolecular rotators



# コヒーレント X 線光学研究分野

## Coherent X-ray Optics

### 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

放射光や自由電子レーザーなど先端的なコヒーレント 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る手法である。

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、薄切片にする必要なく、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。先端のコヒーレント 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
- ・ 光子干渉 X 線吸収微細構造 ( XAFS )
- ・ 原子分解能 X 線ホログラフィー

Coherent x-ray imaging utilizing advanced synchrotron radiation or free-electron laser 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 nanostructure analysis even for non-crystalline sample, such as cells or organelles.

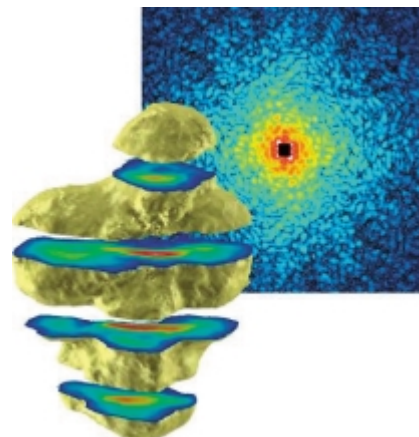
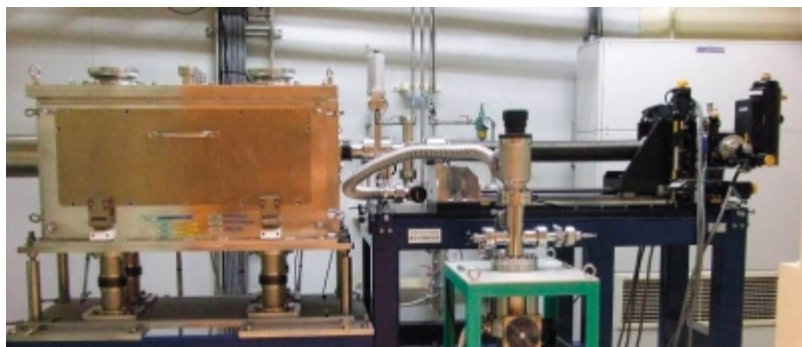
The high penetration power of x-rays enables 3D imaging of samples over micrometer thickness with no

need for thin sectioning, in contrast to transmission electron microscopy. Importantly, it realizes the observation of internal structures closer to their 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 and other objects with x-ray diffraction microscopy
- ・ Ultrafast coherent imaging utilizing x-ray free-electron laser
- ・ Development of x-ray nano-focusing technologies and its application to bio-nanoimaging
- ・ Photon interference x-ray absorption fine structure ( XAFS )
- ・ Atomic resolution x-ray holography



# 電子機能素子部門

## Section of Intelligent Materials and Device



分子集合体・人工超格子の量子効果あるいは生体分子の極微細構造を利用したスイッチング、記憶、増幅、変換などの回路素子や特殊な物質を検出するための素子の原理を研究する。研究分野としては、無機・有機材料の量子効果を利用した光電機能素子の研究、ナノ構造を利用した光制御フォトンクス材料の研究、細胞内の生理機能に関連した機能素子を研究する分野から構成されている。

The present section is to carry out basic studies for high performance electronic devices for switching, amplifying, memorizing and sensing signals of any form, utilizing inorganic, organic and bio-materials. The section is composed of three laboratories: Quantum Electronics, Nanostructured Photonics and Cellular Informatics.

# 量子機能素子研究分野

## Quantum Electronics

### 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(プラットフォームを得る)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っていく。

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、実験面ではスパイラルヘテロ構造体の作製と評価・解析を、主軸に行っている。

#### 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
- ・ 次元性(ヘテロ構造)/階層性制御
- ・ 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、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
- ・ 密度汎関数法と多体摂動論による第一原理計算

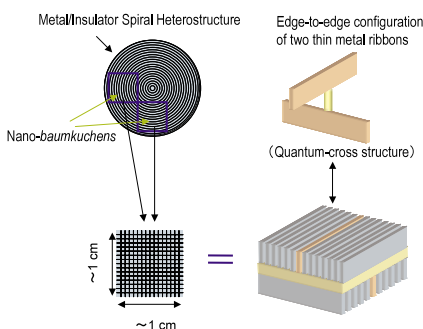
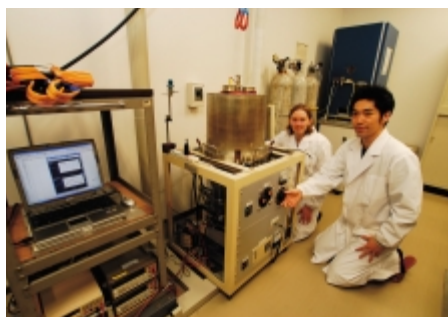
Creating a unification platform for bottom-up and top-down systems is one of the most important issues for harvesting fruits of upcoming nanotechnologies and nano-science as well as those of Si-LSI-based information technologies. By fabricating nanostructured systems that enable us to make one-to-one 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.

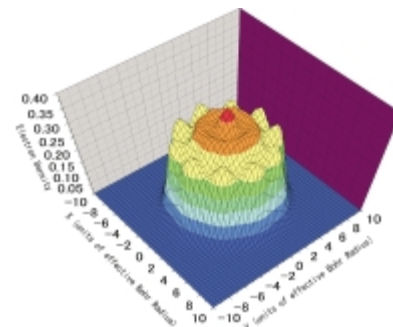
We have been studying nanostructure physics by preparing systems being discrete in nanoscale but having a bulk size, investigating the electro-optical interactions, electronic correlations, self-organized criticalities, and possible spontaneous symmetry breakdown in such systems. We are interested in both fabricating spiral heterostructures for a new platform as well as for functional memories plus high efficiency photovoltaic devices and calculating the electronic structures of the 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



Double Nano-baumkuchen (as Cartesian Coordinate for 2D bottom-up systems)



1<sup>st</sup> principle calculation of ground state of electrons in harmonic potential

# 光波制御材料研究分野

## Nanostructured Photonics

### サブ波長構造が生み出す 新規フォトニック機能の創成

### Novel photonic functions using sub-wavelength structures

光波制御技術は、光情報通信だけではなく、太陽電池や、情報家電、ナノバイオなどの幅広い分野で活用されており、今後も一層の高度化が求められている。当研究室では、光学材料の表面および内部に形成した微細構造による新たな光波制御機能の研究に取り組んでいる。

波長よりも小さな微細円錐構造を光学素子の表面に2次元的に形成すると、入射波長や入射角度の依存性が小さい反射防止機能が発現する。我々は、企業との共同研究によって、機械的強度と耐熱性に優れたセラミックモールドを作製し、ガラスレンズ表面に直接インプリントすることに成功した。本成果は、次世代の撮像やセンシングに関わる光学を支えるコア技術として注目されている。

波長と同程度の周期、すなわち共鳴領域の金属コート回折格子を利用した表面プラズモン増強場の研究に取り組んでいる。可視域で強いプラズモン共鳴場を誘起できる銀コート回折格子の形状をシングルナノの精度で最適化することで、市販の顕微鏡下で、ハロゲンランプ光での励起でも、微弱な蛍光イメージを鮮明に検出できることを実証した。

#### 研究テーマ

- ・ トップダウン手法による新規光機能デバイスの創成
- ・ 周期構造を利用したプラズモン増強デバイス
- ・ インプリント法による光学素子の形成
- ・ 立体的表面構造の形成による光学的機能発現
- ・ 光学材料への光誘起屈折率パターンニング

Further creative evolution is required for the light wave control technology, which is utilized in several fields such as optical communication, information appliance, solar cell, nano-biotechnology, etc. Our research group focuses on the development of new functions related to light wave control using fine structures formed on/in several optical materials.

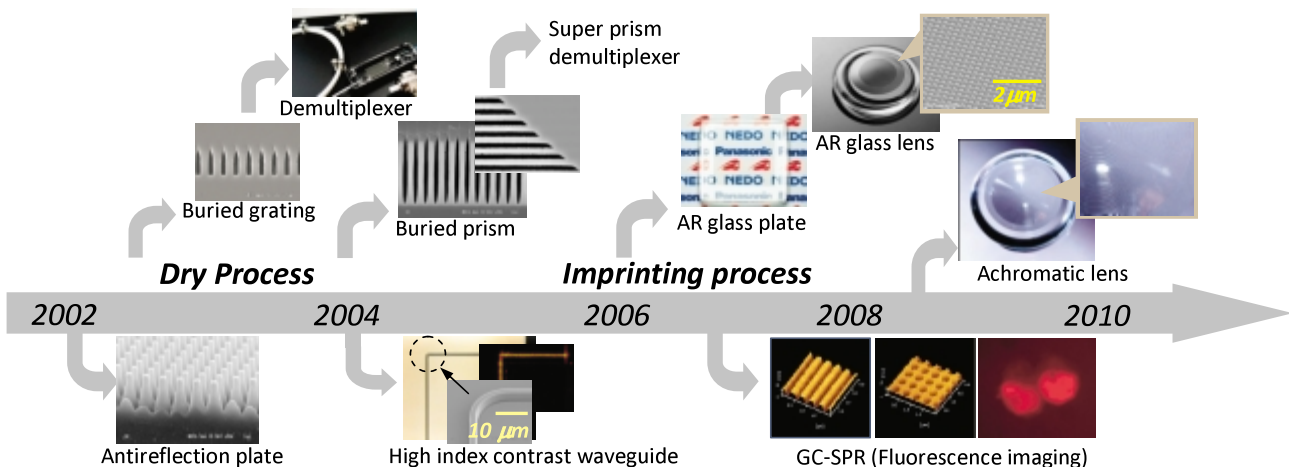
Antireflection function with small wavelength and incident-angle dependences can be achieved by the formation of two dimensional cone shape structures with period smaller than incident wavelength on the optical components. Our joint research with a company succeeded to directly imprint such structure on a glass lens

using a ceramic mold with excellent thermal and mechanical properties. This result is expected to be a core technology to sophisticate next generation optics for imaging and sensing.

Enhancement of surface plasmon field is studied using metal coated gratings with period comparable to incident light wavelength, so called resonance domain. A silver coated grating with shape accuracy in a single nano-meter level, realized to detect an ultraweak fluorescence image under a commercial microscope using a halogen lamp excitation.

#### Research Interests

- ・ Top-down approach to fabricate new functional optics.
- ・ Surface plasmonic devices using periodic structure
- ・ Imprinting process for optical device fabrication
- ・ Optical functions induced by stereoscopic surface structure
- ・ fabrication of sub-wavelength photonic devices using glass imprinting techniques
- ・ Optically induced index patterning on/in materials



# 細胞機能素子研究分野

## Cellular Informatics

### 粘菌に学ぶインテリジェンス の自己組織化原理

### Toward Self-Organization of Intelligence at the Cellular Level: Lessons from the True Slime Mold

本研究分野は、自律的な生命の最小単位である細胞で創発される複雑・多様な機能を、オルガネラ、高分子、代謝反応などによる物質系での階層的自己組織化として解明することをめざす。裸の原形質である原始生命体の巨大アメーバ：粘菌の特徴を活かし、環境の受容 - 情報判断 - 適切な応答という情報過程の研究に取り組んでいる。代謝反応レベルでの行動発現と、遺伝子発現レベルでの形態形成とを具体例とし、特異な受容分子や情報伝達分子の探索・同定に止まらず、細胞の全体性・インテリジェンス・知覚という場の情報を、非線形非平衡場でのパターン・ダイナミクスとして明らかにしている。特に、迷路などの戸惑う状況での粘菌の効率的な振る舞いを調べている。タスクの最適化の視点から粘菌の情報処理能力の高さを評価し、その計算アルゴリズムを細胞運動ダイナミクスの数理モデル化を通して解析している。

#### 研究テーマ

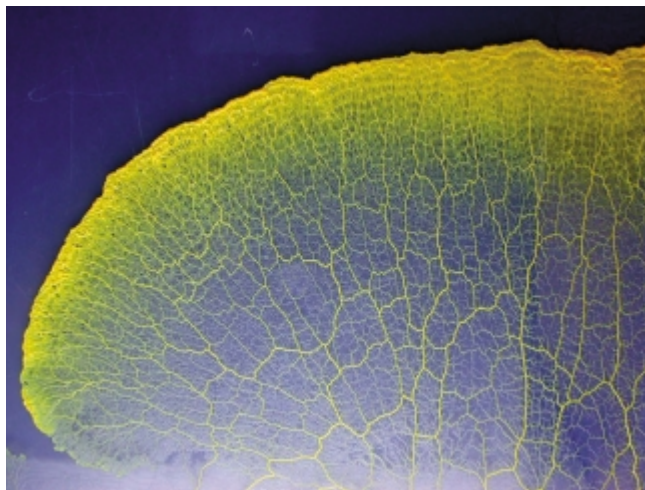
- ・振動子集団の挙動と好き・嫌いの判断
- ・情報機能をになうリズム素子の自己生成
- ・細胞骨格系の動態と細胞形状
- ・細胞の“計算”原理と数理モデリング

A cell is the smallest system where dynamism of life works autonomously. Emergence of cellular function is studied in terms of hierarchic self-organization in chemical systems far away from equilibrium. The true slime mold is a giant amoeboid cell and is useful for this purpose. Cellular information which governs cell behavior and morphogenesis is studied in terms of spatio-temporal dynamics of both metabolism and gene expression. We focus on smart behaviors of true slime mold in a maze and other puzzling situations. Ability of

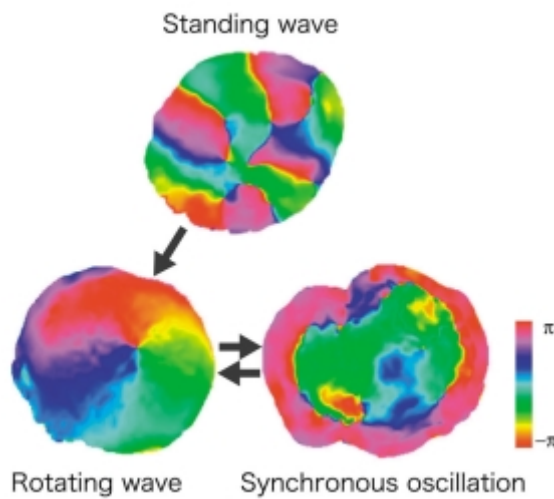
information processing is estimated from the viewpoint of optimization for the task. And computational algorithm of the optimization is analyzed by constructing a mathematical model for spatially and temporally multi-scaled dynamics of intracellular biochemical events.

#### Research Interests

- ・ Sensing and judging
- ・ Biochemical oscillation
- ・ Pattern formation
- ・ Dynamics of cytoskeleton
- ・ Mathematical modeling



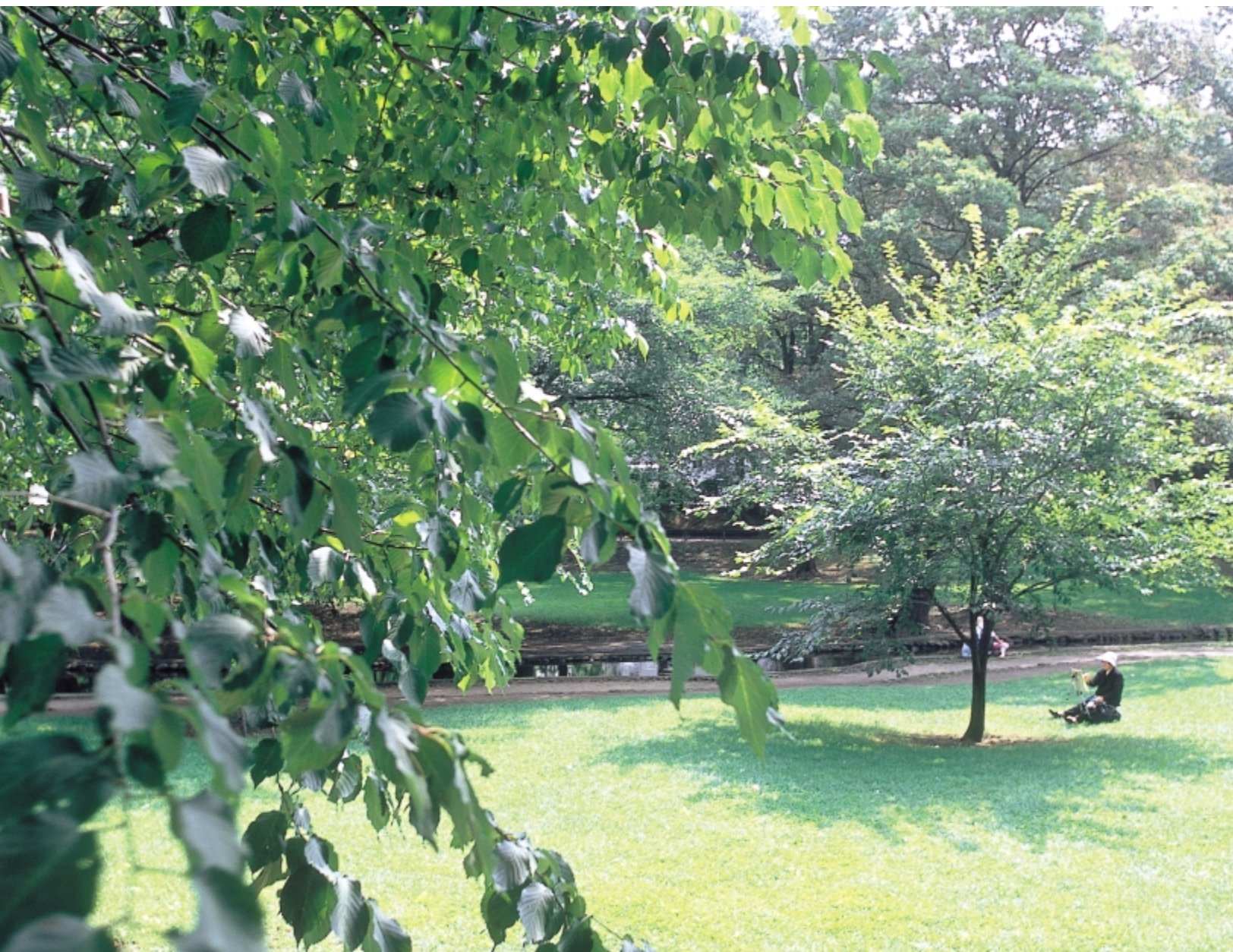
True slime mold.



Transitions among rhythmic contraction patterns.

# 電子計測制御部門

## Section of Scientific Instrumentation and Control



本部門では、光や電子の波動性を利用した並列・高速・精密計測を基にして、生体が持っている柔軟性と適応性を具備した制御システムの理解と新しいシステムの実現を目指して研究を行っている。研究分野としては、レーザーを利用した光物理現象の計測・制御とそのシステム化を目指す光システム計測研究分野、状態変化における「偶然と必然」の原理を解明するとともに分子と生命を繋ぐ新しい階層論理を追求する分子生命数理研究分野、遺伝子工学技術に基づく生体分子可視化技術を駆使して細胞の刺激応答に関わる分子システムの解明を目指すナノシステム生理学研究分野、新規レーザー光源を用いたイメージング法の開発と脳神経、分泌、癌等の理解と治療に向けた研究を進める生体物理研究分野から構成されている。

In this section, investigations are made on the mechanism and implementation of flexible and adaptive control systems, such as those of a living body, based on the metrology that relies on parallel, interactive, and high-speed characteristics of light and electron waves.

The section comprises four laboratories that are Optical Systems Engineering, Molecule & Life Nonlinear Sciences, Nanosystems Physiology, and Molecular and Cellular Biophysics.

# 光システム計測研究分野

## Optical Systems Engineering

### 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

- ・微小球や不規則媒質の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
- ・もつれ合い光子を用いた量子リソグラフィ技術の開発
- ・超狭帯域レーザー顕微分光イメージングによるナノ構造の光局在場の解析
- ・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

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 microspherical 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



# 生体物理研究分野

## Molecular and Cellular Biophysics

新しい光を用いた *in vivo* 観察・操作法による  
「光・脳科学」「光・生命科学」の創出

Construction of "photo neuroscience"  
and "laser biology" with novel laser

私達は世界で最も深い生体断層イメージングが可能な2光子顕微鏡（多光子顕微鏡、2光子励起顕微鏡）を開発しています。特に私達は超短パルスレーザー光による多光子励起過程、非線形光学過程や遺伝子工学、電気生理学、光分子や非線形光学など多岐にわたる技術を統合させ、生きた個体、生体組織における「光による観察」と「光による操作」を同時に実現する新しい機能イメージングを開発してきました。このシステムは、光固有の高い空間分解能を損なうことなく、生きた生体中での分子動態や細胞の形態の観察が可能です。さらに新しい光、ベクトルビームを用いた「ナノイメージング」による新しい細胞機能解析法を推進しています。

私たちの研究使命は、欠くことのできない生理機能と分子との間に横たわるミッシング・リンクを解明することにあります。すなわち、下部構造の要素である細胞、分子が身体、組織の機能を、どのような原理で実現しているのか、その階層性の理解を目指します。そのための手段を先導して開発していくことが極めて重要です。

現在、神経活動、ホルモン分泌、発生・分化、免疫などにおけるミッシング・リンクの解明のため、バイオ分子イメージングの新局面を切り拓いてきました。シナプスや分泌腺細胞の分泌機能＝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ています。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ます。これにより、新たな個体レベルの脳科学、細胞生理学、「光・細胞生物学」「光・脳科

学」を生み出そうとしています。

### 研究テーマ

1. 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* 光バイオイメージング
2. 多光子顕微鏡による脳・神経系や分泌機能の可視化解析とその分子機構の解明
3. 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
4. がん、骨組織、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

We have developed one of the most advanced "two-photon microscopy", which has given us important insights into secretory functions in neural and secretory gland cells. We have proved the existence of "sequential compound exocytosis".

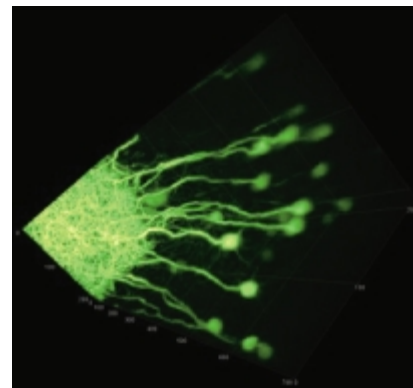
We explore two-photon microscopy by incorporation of photo-activated probes, fluorescent proteins, patch-clamp techniques, and non-linear optical techniques. Our newly constructed "*in vivo*" two-photon microscopy enables us to obtain a complete picture of a living mouse neuron. In addition, we have developed a new super-resolution method by a new laser beam, "vector beam".

The goal is to reveal hierarchical "missing-links" underlying between molecular functions and physiological functions in a living

body. Spatiotemporal dynamics of biomolecular interactions *in situ* should be demonstrated for the elucidation of physiological functions, including neural or glial activities, and secretion. Such investigation is also critical for the elucidation of biophysics or development. We have thus advanced new optical methods of "visualization by photon" and "manipulation by photon".

### Research Interests

- 1) "*in vivo*" bio-imaging in a living body using non-linear optical or multi-photon excitation processes induced by ultra-short pulse laser
- 2) Functional visualization analysis for brain and neural secretion and underlying molecular mechanism
- 3) Application of a new laser "vector beam" for life sciences and for "super resolution imaging"
- 4) Pathogenic mechanism and treatment in cancer, diabetes, liver drug metabolism, and immune system



*in vivo* imaging of pyramidal neurons in layer V in living mouse brain

# 分子生命数理研究分野

## Molecule & Life Nonlinear Sciences

### 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の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。当該研究分野では、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

- ・(化学反応や蛋白質の構造転移などの)状態変化における「偶然と必然」に関する基本原理
- ・1分子時系列情報に立脚したトップダウン的構成論とボトムアップ的還元論を橋渡しする新しい生命システム解析理論の創出
- ・隷属原理を越えた階層間の情報伝達と機能

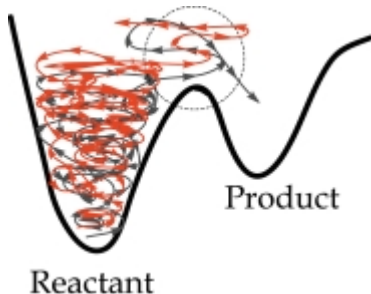


Fig. 1: Regularity buried in chaos in changes of states: why can the black climbing trajectory end up in the product although the red one cannot?

- ・複雑分子系における適応、頑健性および創発
- ・単一分子分光を用いた生体計測への応用

Biological systems are composed of molecules, cells, tissues, organs, etc with complicated hierarchical interactions. Resulting from a stimulus on the microscopic level, the system can perform meso- and macroscopic functions robustly even in a thermally-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 from reality because of the coarse-graining of

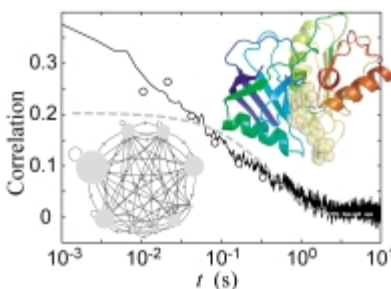


Fig. 2: A complex network of protein fluctuations buried in single-molecule time series, reproducing the anomalous diffusion probed by single-molecule electron transfer of NADH:flavin oxidoreductase complex.

the systems. The main purpose of our laboratory is to understand the fundamental principles of chance and necessity of "change of states", and to construct new concepts and methodologies to bridge the gap between such top-down and bottom-up approaches for biological systems, enabling us to unveil the mechanisms that bridge molecules and life across hierarchies in time and space.

#### Research Interests

- ・Fundamental principles of selectivity and stochasticity in "changes of states" such as chemical reactions and biomolecular dynamics
- ・Development of new methodologies and concepts to bridge molecules and life based on single molecule time series
- ・Information flow across the hierarchies of time and space and its relation to biological function
- ・Adaptability, robustness and emergence in complex molecular systems
- ・Application to biological system by single molecule spectroscopy

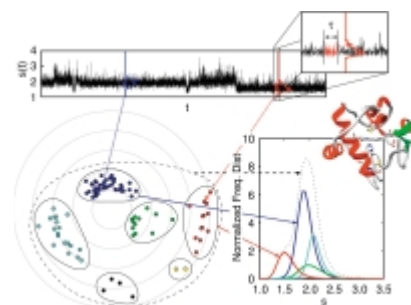


Fig. 3: A procedure to identify local equilibrium states on a high-dimensional non-Euclidean space, yielding an effective free energy landscape from single molecule time series.

# ナノシステム生理学研究分野

Nanosystems physiology

## 生命現象のからくりを 可視化で解き明かす

Exploring the mechanisms of life  
through the use of live imaging

ひとつの受精卵が分裂と分化を経て、多様な細胞が機能的につながりあう多細胞個体を形成する。1個体を構成する様々な細胞が相互に連絡をとりあうことによって、個体としての刺激応答をおこなう。分子間、そして細胞間を相互に結びつけるつながりの仕組みを明らかにすることが、このような生命のしくみを解き明かす鍵であろう。ナノシステム生理学分野では、生体分子、細胞レベルの生命現象を研究対象として、遺伝子工学技術に基づく生体分子可視化技術を駆使して、個体の発生や刺激受容と応答に関わる分子間・細胞間相互作用を明らかにすることを大きな研究テーマに掲げている。個々の分子、個々の細胞のふるまいを生きた状態で可視化するのみならず、蛍光共鳴エネルギー移動などを利用した細胞内伝達分子を細胞内や組織内のあらゆる部位に放つことによって、細胞内シグナル伝達を担うタンパク質のリン酸化状態や細胞内カルシウムイオン濃度の変化といった細胞内シグナルの流れを可視化し、さらには操作する。生体分子や細胞の相互作用を生きた状態で可視化するアプローチは、ポストゲノム時代における生命現象解明の大きな流れとなるはずである。

### 研究テーマ

- 1) 蛍光および化学発光蛋白質を用いた指示薬開発
- 2) 高性能指示薬開発のためのタンパク質立体構造解析
- 3) 光照射による生体機能操作法の開発
- 4) 個体レベルの機能イメージングに資する新型顕微鏡の開発
- 5) 動植物の刺激応答&形態形成システムに関する研究
- 6) 超迅速なゲノム配列決定法の開発

Our primary goal is to better understand how biological molecules function in space and time. To this end, we are developing several techniques to visualize physiological events at molecular level. One approach is the use of the fluorescent proteins (FPs) which is spontaneously fluorescent without any enzymatic synthesis and any cofactors. Combination of FPs with fluorescence resonance energy transfer (FRET) technique allows us to develop functional indicators, by which we can visualize localized molecular events in their natural environment within a living cell. By exploiting those techniques, we have created not only calcium-sensitive proteins to obtain an understanding of how intracellular

calcium signals are generated and integrated, but also new fluorescent probes for the visualization of signal transduction cascades that are currently assayed by grinding millions of cells. Furthermore, we are developing novel optical techniques by which fluorescence signals can be efficiently detected.

As life sciences moves into the post-genomic era, the continual development of real-time imaging approaches for elucidating cell and biomolecule interactions in whole living organisms is becoming increasingly important.

### Research Interests

- 1) Development of novel fluorescent protein-based indicators for biological events
- 2) Application of protein 3D structural information to development of novel indicators
- 3) Development of techniques for light-based manipulation of protein activity
- 4) Development of optical microscope technology enabling whole-organism imaging
- 5) Elucidation of signaling systems for sensing and responding to environmental conditions, and for establishing certain morphology during embryogenesis.
- 6) Development of ultra high throughput genomic sequencing technology



A confocal fluorescence image of Zebra fish (red: actin, yellow: tubulin, green: crystalline, cyan: nucleus)

# 電子情報処理部門

## Section of Informatics and Processing



推論や判断などの柔軟な電子情報処理の実現に必要な、新しい原理の探求を進めている。自然界の形や流れなど非線形現象の裏にひそむ数理、無脊椎動物の神経系の設計原理、光を用いた様々なナノファブリケーション技術の開発および光ナノデバイスの構築、高次脳機能の数理的研究について研究する4つの研究分野からなる。また民間等の研究者・知識人を客員教授・准教授として招聘し、所内の研究分野と幅広い共同研究を行う並列分散処理の研究分野も含んでいる。

This section conducts basic researches on the development of electronic information processing for automated reasoning. The section comprises four laboratories. Laboratory of Nonlinear Studies and Computation researches into mathematical structures of pattern formation of dissipative systems. Laboratory of Neuro-Cybernetics aims to reveal design principles of the central nervous systems of insects. Laboratory of Photon Process develops various kinds of nanofabrication technique using light and create optical nanodevices. Laboratory of Computational Life Science aims to clarify the complexity embedded in various biological phenomena. Also included in the section is an adjunct laboratory for visiting professors invited from private institutions to direct trans-disciplinary joint researches on parallel distributed processing.

# 情報数理研究分野

## Nonlinear Studies and Computation

### 数理の 実験工房

### Modeling Nature's Complexity

自然を理解する方法は様々であるが、本分野は計算機の中に小自然を作り、それを解剖し、その数理的構造を明らかにすることにより、その本質を解明することを目指す、いわば数理の実験工房とも言えるべきものである。

望遠鏡や顕微鏡が世界を大きく広げたように、計算機は我々により大きな想像力の翼を与えつつある。コンピュータの中で、蝶を飛ばしたり、雪や雲を作ったりすることで、複雑な現象を生み出す本質的なメカニズムを知ることができる。さらにそれらの数学的解析により、実体にとらわれない普遍的数理構造を抽出することが可能となる。また計算機実験は新たな数学の枠組を作り出すときのインキュベータにもなる。これら計算機という翼と数理の無限の包括力を活用することにより、脳や生命現象を含む様々な複雑現象を総体として理解する方法の一つを確立することを目指している。

### 研究テーマ

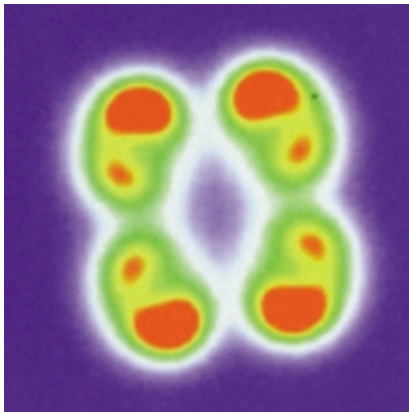
- ・ 反応拡散系におけるパターン形成
- ・ 物質科学におけるモデリング
- ・ 生物の形態形成のモデリング
- ・ 流体中を運動する物体の解析
- ・ 河川の形態などの計算地形学

Nature is a treasure house of variety of spatio-temporal dynamic patterns. One of the adequate languages to interpret its beauty and complexity is nonlinear dynamics. Good qualitative modelings give us a deep insight of universality and simplicity penetrating diversified phenomena. Experiment, modeling, computation, and mathematical analysis is a feedback loop to understand the complex dynamics in nature. Any mathematical model is a kind of metaphor for the original phenomenon, but this does not mean a

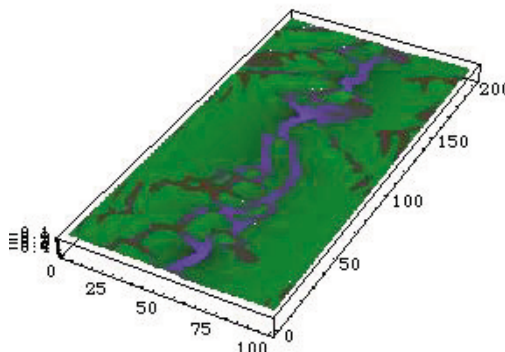
lack of rigor or power of predictability, instead it predicts when and how qualitative changes occur, which is much more important to our life rather than small quantitative errors. Our laboratory covers pattern formation in dissipative systems, morphogenesis, material science, fluid dynamics with phase transition, biomechanical fluid problems, and geomorphogenesis.

### Research Interests

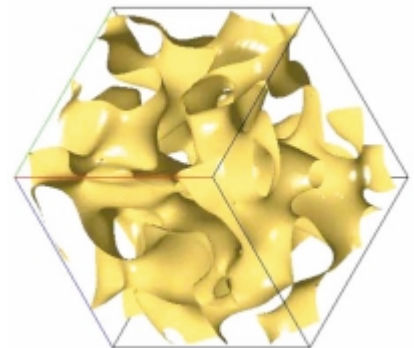
- ・ Pattern formation in reaction-diffusion system
- ・ Modeling in material science
- ・ Modeling of morphogenesis
- ・ Analysis of body motion interacting with fluid
- ・ Computational geomorphology of river channel



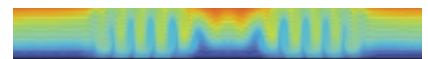
Self-replication in reaction-diffusion system.



Simulation of meandering river.



Double gyroid morphology for diblock copolymer melts



Collision of localized convection cells in binary fluid mixture.

# 神経情報研究分野

Neuro-Cybernetics

## 微小脳の設計原理を探る

Unraveling the Design of Micro-Brain

脳神経系は、自然が長い淘汰を通して作り上げた情報機械と見なすことができる。本分野では、従来の神経行動学と情報工学やロボット工学を融合させた研究から、神経系の設計原理を明らかにし、情報処理技術の基盤とすることをめざしている。現在の電子情報処理装置は、人間の意識の論理つまり脳の動作結果を代行している。無限定環境下で状況に応じて実時間で適応的に行動する機能を人工的に実現するには、脳神経系の設計原理を明らかにする必要がある。我々脊椎動物の脳はおよそ $10^{12}$ 個の神経細胞からなり、脳は、 $10^8$ 個程度の感覚細胞から運ばれる情報を実時間で処理している。一方、昆虫や甲殻類など節足動物の脳は、 $10^5$ 個の神経細胞で $10^6$ 個もの感覚細胞からの入力进行处理している。この節足動物の脳は少ない神経細胞で学習や記憶、状況に応じた行動、緻密な運動制御などを実現している。同じ物理世界に、我々の脳神経系とは異なる設計の脳が存在する。この無脊椎動物の脳を微小脳と呼び、本研究分野では、微小脳の構造と動作を調べることで、動物が進化させた適応行動を創り出す脳の設計原理を解明している。

### 研究テーマ

- ・ 適応行動の実時間制御を司る神経機構の構成論的解明
- ・ 社会的経験に基づく行動決定を司る神経生理機構の解明
- ・ コミュニケーション行動の神経生理機構の解明
- ・ 高次中枢における化学情報処理機構の解明
- ・ 匂い位置情報の脳内表現の解明

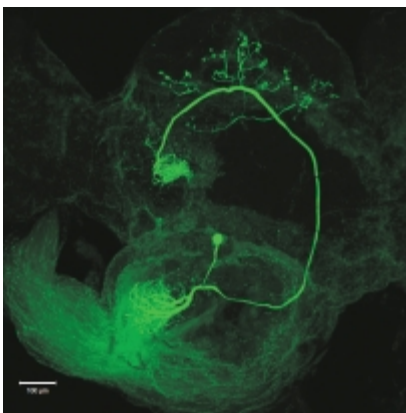
The ultimate goal of our research is technological implementation of major principles of information processing in biological organisms. To unravel the biological design principles, computer aided analyses of neuronal structure and signal transmission based on modern information theories, robotics and system engineering methods are employed.

The present research aims at probing cellular and network mechanisms of brain functions. Arthropod animals show varieties of adaptive behavior despite they have only a tiny brain called "Microbrain" that comprises by far a smaller

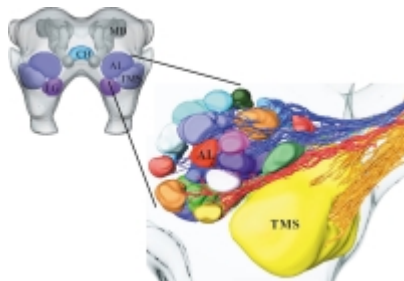
number of neurons than our "Megalobrain". We have investigated major principles of information processing in the brain using insects and crustaceans. Our main research projects are to 1) elucidate neuronal mechanisms for adaptive behaviour, 2) establish dynamical models to elucidate mobiligence of social adaptation 3) clarify mechanisms of neuronal plasticity in the central nervous system and 4) elucidate the coding manner to detect locations of olfactory stimuli in the central nervous system of cockroaches.

### Research Interests

- ・ Neuronal mechanisms of adaptive behavior
- ・ Mobiligence in social adaptation
- ・ Neuronal representation of information and transmission capacity
- ・ Integration mechanism of mechanosensory and olfactory signals



An interneuron responsible for sex-pheromone processing in the cockroach brain



Three dimensional reconstruction of the cricket brain and the primary olfactory processing center, antennal lobe.



Students and an experimental setup for intracellular recording.

# スマート分子研究分野

Smart Molecule

## 賢く働く分子を合成する Synthesizing Smart Molecules

私たち生物は、無生物であるのただの物質と同様、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、生体を観察するのとは逆に、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



# 計算論的生命科学研究分野

## Computational Life Science

### 生命に数理を

### Mathematics for Life Science

計算論的生命科学は新しい研究分野であり、電子科学研究所と理学研究科数学専攻との共同事業の一環として構築された。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目的としている。生命システムはさまざまな時間空間スケールの変数の相互作用によって独特の秩序形成がなされる。発生、分化、細胞構築、器官形成、神経系の形成とその身体との相互作用などにその特徴は現れている。また、生物進化の機構の解明は脳神経系の高次機能の解明と同様に人類に課せられた重要な問題の一つである。これらの秩序形成においては単一の時空スケールへの変数の分離が不可能であり、内部において生成される情報がさまざまなスケールで空間に固定されるだけでなく、またさまざまなスケールで時間軸方向へ展開される。そのために、これらの系は構成要素への還元が不可能であり、複雑系と呼ばれている。例えば、発生の段階においては臨界期まではどこが目や頭になるかなどは決まっていない。要素としての目や頭などが出来上がった後にそれらが相互作用して体ができるわけではなく、個体はシステムとして働き、その中で目、頭などが構築されてくる。脳神経系の発達においても、システムとしての脳の発達とともに視覚野、聴覚野などが構築されてくる。本分野ではこのような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。

### 研究テーマ

- ・ 高次脳機能の数理的研究、非線形力学系とカオス、自己増殖・自己再生の数理モデル、進化の数理的研究

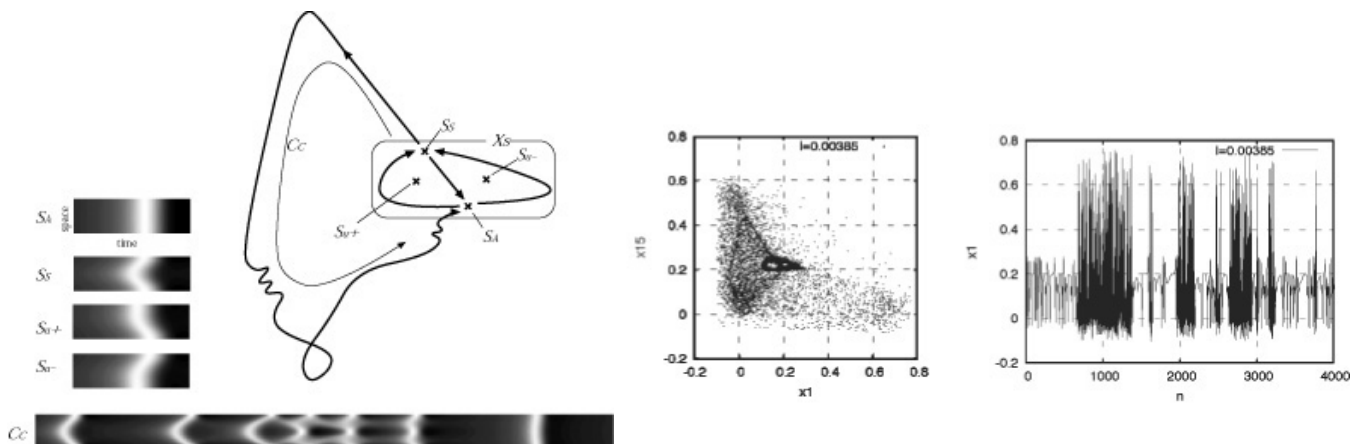
would like to construct a new system theory, that is, a complex systems theory, based on the intensive studies on various topics described below.

### Research Interests

- ・ Mathematical modeling of higher functions of the brain, Nonlinear dynamical systems and chaos, Mathematical modeling of self-reproduction and self-reorganization, Mathematical studies for biological evolution

Computational life science is a new field of research, which has been promoted in cooperation with Department of Mathematics. 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 the brain. 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



A fundamental structure of dynamic states for the transition between synchronized and desynchronized states.

# 並列分散処理研究分野

## Parallel Distributed Processing

本分野は、応用電子研究所から電子科学研究所への改組転換時（平成4年）に新たに設置されたものであり、その運用に関しては、社会に開かれた体質を研究所にもたすことを目的として、民間企業、特殊法人、省庁、大学等の研究者・行政官・企業人を、教授、助教授に、それぞれ実質2年の任期で任用している。教授ポストには、研究業績が顕著な研究者や社会的評価の高い知識人を、助教授ポストには、将来性のある若手研究者を招聘して、研究所内の共同研究の活性化を図るとともに、客員研究分野が主催する研究会等の活動を通して情報収集、情報発信を積極的に行っている。

This laboratory was founded when the Research Institute of Applied Electricity was reorganized to the Research Institute for Electronic Science in 1992. Scientists, executive officers and entrepreneurs from government agencies, business enterprises and universities are appointed as a Professor or Associate Professor for 2 years. Distinguished scientists and outstanding intellectuals in public positions are invited as a Professor, whereas promising young scientists are invited as Associate Professors. This aims to encourage the introduction of new collaborations, publishing and information within the institute through seminars held by the laboratory.

### オープンファシリティ Open Facility

オープンファシリティとは、電子科学研究所附属ナノテクノロジー研究センター、創成科学共同研究機構、触媒化学研究センターがそれぞれ保有する最先端計測・加工機器を、学内外の研究者が利用できる制度である。ナノテクノロジー研究センターでは、280m<sup>2</sup>のクラス1万と80m<sup>2</sup>のクラス100のクリーンルーム、並びに約30台の先端機器を提供しており、このサービスを通じて北海道大学内だけでなく全国の大学、国公設研究機関、民間企業のナノテクノロジー研究を含む先端的な研究開発の発展に貢献している。

Through “Open Facility”, the Nanotechnology Research Center of RIES, the Creative Research Initiative “Sousei” and the Catalysis Research Center support researchers not only within the university but also throughout Japan by making available state-of-the-art measuring and material processing instruments. The Nanotechnology Research Center contributes to the promotion of nanoscience and nanotechnology and provides nanoscale-resolved measuring and analysis, ultra fine material processing instruments, and Class-100 and Class-10,000 clean rooms.



# ナノテクノロジー研究センター

## Nanotechnology Research Center



ナノテクノロジーは半導体技術、材料技術、バイオテクノロジー、情報技術、環境技術などを支える基盤技術であり、次世代産業創成のキーテクノロジーである。本センターは、分野横断・領域融合的な研究組織により、分子・原子の自己組織化によるボトムアップ戦略と半導体テクノロジーにおけるトップダウン戦略を融合した新しいナノサイエンス領域を創成し、さらにわが国におけるナノテクノロジーネットワークの一翼を担うことを目的とした研究施設である。

Nanotechnology is a key technology of the new generation of innovation industry, and is the technical basis of semiconductor, electronic material, bio, information and environmental technology. Our center is an interdisciplinary research organization, which focuses on a "bottom-up" strategy based on "self-organization" of atoms and molecules as well as a "top-down" strategy based on semiconductor technology to create a totally new field of "nano-science and technology". This research center also aims to contribute and play an important part in the establishment of nanotechnology network in Japan.

# 極限フォトンプロセス研究分野

## Photon Process

### 光と物質 / 分子が強く結合した光化学反応場の創成

### Creation of Photochemical Reaction Fields Strongly Coupled with Light and Materials/Molecules

フォトリソグラフィや金属ナノ構造などのナノ・マイクロ構造体は、光電場と強くカップリングすることにより光の群速度を制御できること、光を微小空間に束縛し、閉じ込める機能を有することなどの優れた光学特性を示す。本研究分野では、フェムト秒レーザー加工、或いは半導体微細加工技術を駆使して、ナノメートルオーダーで精密に制御されたフォトリソグラフィデバイスを創製し、光化学反応場や赤外光で駆動可能な光電変換素子、高感度生体分子計測技術を構築・開発する研究に取り組んでいる。

- 1) 金属ナノ構造に光を照射することによって誘起される、入射光の $\sim 10^5$ 倍にも及ぶ著しい光電場増強を利用して、従来超短パルスレーザー照射によってはじめて観測される二光子吸収などの非線形光学現象を微弱（インコヒーレント）な光を用いて容易に実現することが可能な光化学反応場の構築や赤外光で駆動可能な光電変換素子の開発を進めている。
- 2) 作製したフォトリソグラフィデバイスを増強反応場として用いた表面増強ラマン散乱分光法による高感度バイオセンサーの開発や、チップ上でDNAを分離・分取して目的の遺伝子を解析するマイクロチップの開発を行っている。

### 研究テーマ

- ・ 金属プラズモンやフォトリソグラフィ結晶による新しい光化学反応場の創成
- ・ フェムト秒レーザーを用いた3次元ナノ加工技術の開発
- ・ ナノ光リソグラフィによる金属ナノパターン作製技術の開発
- ・ DNAシーケンス・分取用マイクロチップの開発

Nano/micro-structures such as metallic nanoparticles and dielectric photonic crystals can be used for controlling the light-matter coupling process, as well as propagation of light waves and their confinement within minute spatial domains. In this research area we study fabrication of photonic crystals and metallic nanoparticle structures using femtosecond laser microfabrication and semiconductor processing techniques with a particular aim of building high-sensitivity sensors for detecting photochemical reactions in biomolecular materials.

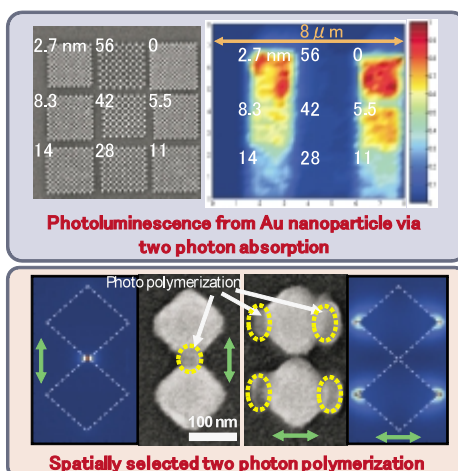
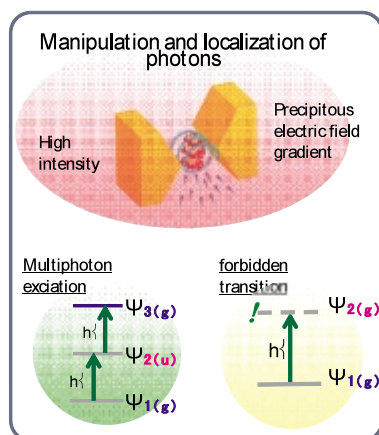
- 1) Metallic nanostructures, fabricated with nanometric accuracy exhibit a remarkable enhancement of

electromagnetic field intensity, which may reach about  $10^5$  times that of the incident field, due to strong localization at the metals' surface. These regions can be treated as nanoscale chambers in which photochemical reactions can be promoted locally via non-linear optical phenomena that can be induced even by using ordinary thermal radiation sources rather than lasers.

- 2) Building of photonic devices exhibiting the functionality of SERS active substrates will allow creation of high-sensitivity biosensors. Also, building of fluidic microchips for genetic analysis will enable performance of dynamic electrophoretic separation analysis of DNA molecules using a single chip.

### Research Interests

- 1) Creation of new photochemical reaction fields based on plasmonic metal nano-structures and photonic crystals
- 2) Development of micro/nano fabrication techniques using femtosecond pulse
- 3) Development of fabrication technology of metal nanopatterns by nano-lithography
- 4) Building of electrophoretic chips for sequence and multi-target fractionation of DNA



# バイオ分子ナノデバイス研究分野

## Molecular Devices

### 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ソスコピック領域における分子の階層的な組織化を行い、新規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3つのテーマを中心に進めている。

- (1) 自己組織化で構造化したDNAを、その塩基配列に選択的に、異なる複数の金属・半導体でナノサイズの修飾を行うことによるナノデバイスの作製をめざしている。
- (2) 細胞に特定部位に特異的に結合するマーカーを提示した種々の量子ドットや機能性脂質を作製し、細胞機能の解明と、細胞の特異機能の可視化をめざしている。
- (3) ウィルスの外皮タンパク質が自己組織化によりウィルスカプセル構造を形成することに着目し、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

グデリバリーへの応用をめざしている。

これらの階層的分子構造からバイオセンサーや人工光合成システム、細胞薬剤送達材料などの新規な分子素子を開発している。

#### 研究テーマ

1. DNA分子を鋳型とした金属・半導体ナノデバイスの創製
2. 量子ドットを用いた分子認識能を有するナノ構造体の作製
3. 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

Bioorganisms are capable of efficient energy transformation, selective synthesis of biomolecules and interactive information processing. All these processes are based on effective molecular recognition at 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) Nanosize molecular assemblies based on molecular recognition have

been fabricated by using complementary hydrogen bonding of deoxyribonucleotides (DNA) at the air-water interface. Molecular information of DNA sequence can be transcribed into functional group arrangement in DNA-mimetic organizes. We have developed the synthesis of conductive metal nanowires from single DNA filaments for the future fabrication of nanoscale electronics based on molecular assembly.

(2) Protein-assembly using virus-capsid proteins have been explored. Chemical modification of the proteins gives structural stability of the virus capsule suited for drug delivery carrier.

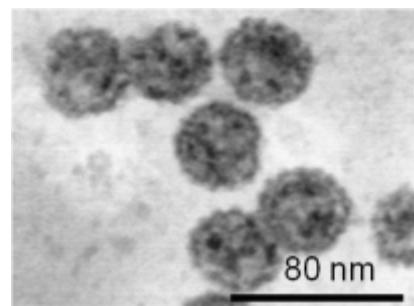
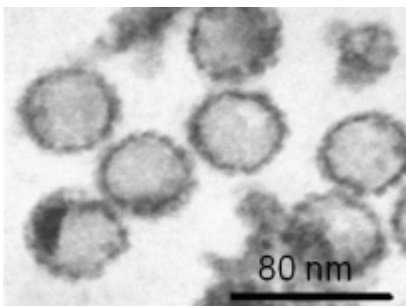
The research aims at the development of chemical sensors, artificial photosynthesis systems and virus-based drug delivery carriers.

#### Research Interests

1. Creation of DNA-templated metal/semiconductor nano-devices
2. Development of nanoparticles with molecular recognition
3. Fabrication of virus-based drug delivery systems



Scanning Transmission Electron Microscope (STEM)



STEM images of virus-like particles (left) and green fluorescent protein (GFP)-packed virus-like particles (right) expressed in *E. coli*.

# ナノ光高機能材料研究分野

Nanophotonics

## 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新しい境界領域

域（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・光子対の光子相関測定による光子数状態の制御・もつれあい光子対の発生
- ・量子ドットを用いた光子-電子間量子状態変換に関する研究
- ・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

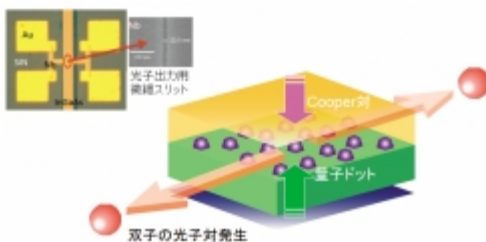
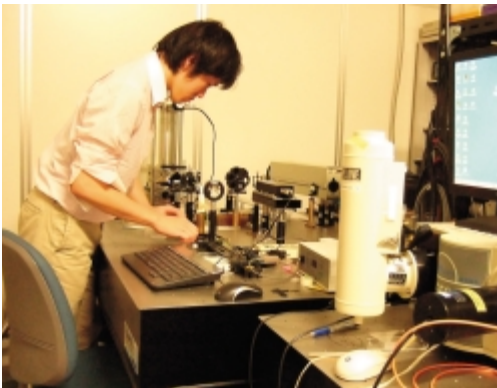
laboratory develops nanophotonic highly functional materials and devices by (I) Preparation of nano-structures such as quantum dots to control electron number states, (II) Development of technique to convert individual photon polarization state to electron spin state and vice versa through quantum dots, (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.

Homepage:

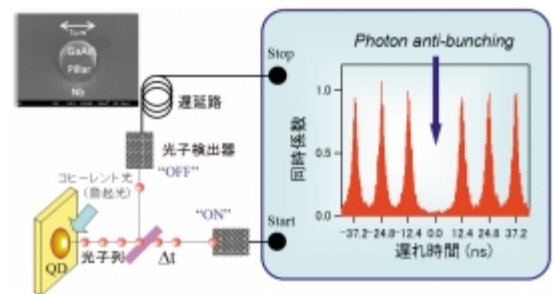
<http://nanophoto.es.hokudai.ac.jp/>

### 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.



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



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

# 寄附研究部門 ニコンバイオイメージングセンター

Nikon Imaging Center

<http://nano.hokudai.ac.jp/nikon/>

## バイオイメージング技術の 提供と改良・開発

Providing, improvement and  
development of Bio-imaging  
technologies

本研究分野は、バイオイメージング技術に関する更なる技術改良、或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、本学と顕微観察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。

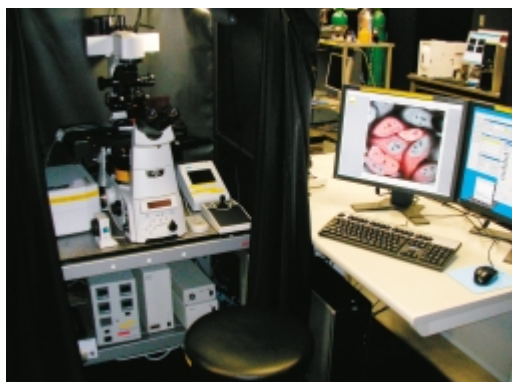
The Nikon Imaging Center at Hokkaido University (NIC@Hokudai) promotes the improvement and development of bio-imaging technologies and their application to the life sciences. The NIC@Hokudai also aims to facilitate cooperation between enterprises related to microscope technology, and to participate in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

### 活 動

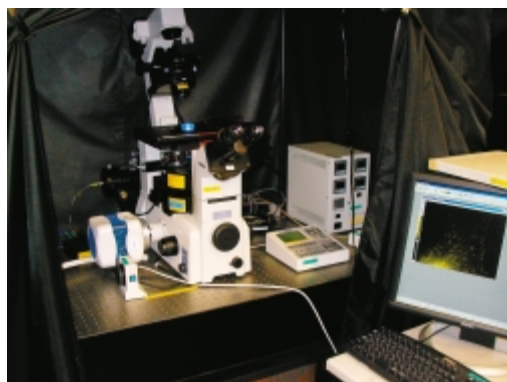
### Activity

- 1) 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。
- 2) 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観察法のトレーニングコースを行う。
- 3) 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。

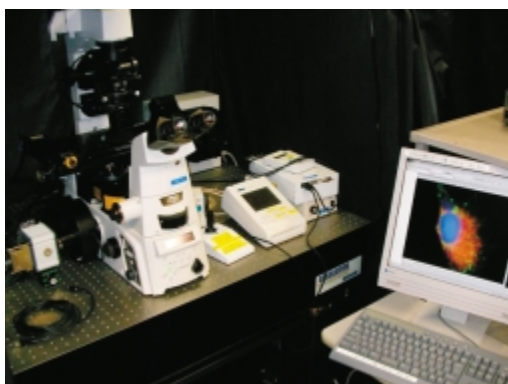
- 1) To provide an environment for basic research with state-of-the-art microscopy and imaging equipment
- 2) To provide training courses on basic and advanced microscopy
- 3) To develop new microscopy techniques incorporating specific user requirements



High Speed Laser Confocal Microscopy.



TIR Evanescent Microscopy.



Multi-Color Fluorescence Microscopy.



Real-time Confocal Microscopy.

# ナノテク支援室

Nanotechnology Support

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

## 新規ナノデバイス創製に関する研究・開発支援

Supporting research and development for constructing nanodevices

ナノテク支援室（HINTS）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っている。超高精度電子ビーム描画装置などの超微細加工装置に加え超薄膜評価装置などのナノ計測・分析装置を揃え、フォトニック結晶デバイスやプラズモニ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ている。またこれらトップダウン的研究開発だけでなく、自己組織化膜作製法の開発や新機能を有する触媒の設計・合成といったボトムアップテクノロジーに関連する支援も行っている。HINTSではこれらの先端研究施設を共用するとともに、研究、技術・製品開発の戦略・戦術について実績、経験共に豊かな支援員が総力を上げて具体的にサポートしている。

HINTS is supporting research and development of technology regarding new nanodevices based on the concept of "advanced facilities and technology" including ultrafine process and nanoanalysis. Hokkaido University provided nanoanalysis device including a STEM system, in addition to the ultrafine process device including high resolution EB lithography system, to support research and development of advanced nanodevices such as photonic crystals and plasmonic devices. In addition to these top-down research, Hokkaido University also supports bottom-up technology related activities including developing method of preparing self-assembled film and designing catalytic agent with new features. HINTS may share these advanced research facilities and the personnel who have both experience and achieved results will provide a full support for research and development of technology and products as well as strategies.



High resolution EB lithography system



Scanning TEM (STEM)



FIB operated by HINTS researcher

# 連携研究室

Alliance Laboratory

[http://www.es.hokudai.ac.jp/alliance\\_labo/](http://www.es.hokudai.ac.jp/alliance_labo/)

## 分子情報生命科学による、ナノスケールの分子からマクロスケールの機能材料へ

Research and Development of the macro functional material based on nano-scale molecules, on Molecular and Informative life science

連携研究室では、理化学研究所の分子情報生命科学特別研究ユニット(埼玉県和光市)において異分野融合型の共同研究を展開している。

生体分子の集積による階層構造は、生体特有の柔軟で効率の良い運動などマクロ的な機能を発現している。本共同研究において目指す分子情報生命科学は、この生物固有の機能を、高分子材料科学の観点から解析を行い、合成高分子等を用いて生物組織の機能に迫る材料やデバイスを構築する工学へ発展させるものである。

特に、高分子ゲルは水を多量に含有するなど生体に近い特徴を持ち、液体と固体の両方の特性を有する特異な材料である。この材料を中心に材料設計と特性評価、およびデバイス作製に関する研究を、化学、高分子科学、材料科学、生物学、半導体工学等の多彩なバックグラウンドを持つ研究者による共同研究体制で行っている。

### 研究テーマ

1. 高強度機能性ハイドロゲルの創製
  2. 機能性ゲルの集積デバイス作製
- 理化学研究所 基幹研究所 分子情報生命科学特別研究ユニット

Alliance Laboratory is in progress of multidisciplinary collaboration with Molecular and Informative Life Science Unit, RIKEN (Wako, Saitama).

In living-bodies, assembly and hierarchical structure of bio-molecules produce sophisticated macroscopic functions, e.g. soft, flexible and efficient actuation. Our aims of collaborative works are to understand such living-bodies functions via polymer science and to develop synthetic polymers inspired by bio-functions as material and

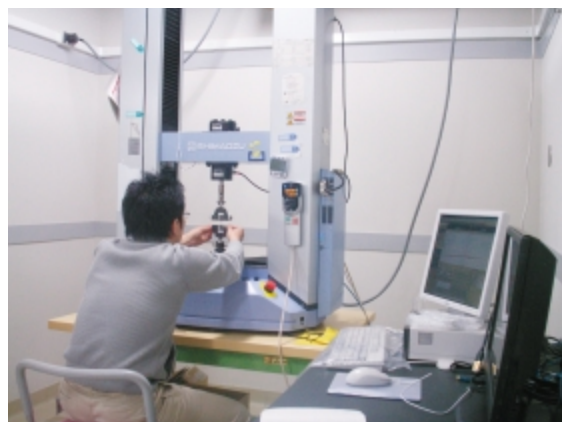
device engineering studies

Gels have unique material properties, e.g. high water content like living-body, properties of solid and liquid. We engage in studies of gel design and properties and fabrications of gel device, with multidisciplinary collaborators, chemist, polymer scientist, biologist, semiconductor engineer, etc.

### Research Interests

1. Creation of the functional hydrogels with high strength
2. Development of gel-functions-integrated devices

Molecular and Informative Life Science Unit, Advanced Science Institute, RIKEN



# 技 術 部

## Division of Technical Staffs

### 研究支援と装置製作

技術部は、システム開発技術班と装置開発技術班からなる。

システム開発技術班は、各自の専門技術を用いて、クリーンルーム維持・管理、電子回路設計、機器制御、バイオイメージング、半導体ナノ微細加工、広報・情報・ネットワーク・研究所のウェブサイト管理運営などといった、技術的な支援を行っている。この他に、電子科学研究所の共通の機器・設備の管理、液化窒素ガス汲み出し作業従事者への安全講習会、学術講演会の支援依頼への対応など、研究所全体に関わる支援も行っている。

装置開発技術班は、研究分野に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、ステンレスの精密切削とアルゴン溶接、大型旋盤・縦フライス盤などの工作機械を用いて、多くの実験装置の開発・製作を行っている。近年は、アルミ溶接技術による

特殊要請にも対応できる体制を備えている。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パルを介しての硝子の溶着の技術・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 RIES has two main sections; one is “System Development Team” that handles all the technical support including management of “Clean Room,” electronic circuit design, equipment-control, bio-imaging, semiconductor-nano-engineering and operating RIES website or all related to information network. Even when conferences are held outside by RIES, they join the researchers to offer technical support there. In addition, they play a role as

administrative operators for all the BUS equipment and for safety of the experiments they organize annual lectures for the staff and students who handle liquid nitrogen, for example.

“Equipment Development Team,” the other section, mainly creates custom-designed equipment used for experiments on request-basis from laboratories. In the machine workshop, they work on developing many kinds of devices by precision cutting of stainless materials or welding argon, for example, with tools such as large lathe or longitudinal milling cutter. Special request that needs aluminum welding can be ordered. In the glass workshop, they process and polish optical lens/prism or create large Dewar vessel and several quartz cells.

This team can be consulted on all the technical matters or creating equipment from outside of RIES.



# Public Relations

## 国際シンポジウム

International Symposium of Joint Research Network on Advanced Materials and Devices [彫] [Chou] (March 25-26, 2010)



## 一般公開 Open Laboratory 2010



2010年の一般公開では、光、分子、生命、数理に関する18の研究分野が、最先端の研究内容で工夫を凝らした展示や実演を公開しました。

下村脩先生のノーベル化学賞で一躍有名になったオワンクラゲとウリクラゲが放つ神秘的な光を「手にとって」眺めながら学ぶ  
- 光を発するタンパク質のもつ不思議な現象

自然に存在する粘菌を使って迷路を解かせる不思議な実験

身近な洗剤や洗濯のりで作る巨大なシャボン玉の内側から外の世界を見るシャボン玉のサイエンス

など、子どもから大人まで楽しく体験できる展示などを毎年多数用意しています。

また、“将来のノーベル賞研究者”を目指す子どもから大人までを対象に、3名の教授が「サイエンストーク」を行いました。

## リヨン高等師範学校Ecole Normale Supérieure de Lyon (フランス)との部局間学術交流協定調印

**The Signing Ceremony for academic exchanges with Ecole Normale Supérieure de Lyon, France (March 26, 2010)**



リヨン高等師範学校はフランスにおける自然科学研究・教育を牽引する最高学府のひとつで、今後は、これまで独自に展開してきたナノテクノロジーなどの学際研究を日仏間国際共同研究開発として推進することにより、さらなる新しい学際研究領域を生み出し、世界に向けて発信することになります。

## 理化学研究所（理研）基幹研究所（埼玉県和光市）との連携協定調印式

**The Signing Ceremony for partnership agreement with Advanced Science Institute of RIKEN, Saitama (April 9, 2010)**



理化学研究所基幹研究所と連携研究室型による「光科学」の共同研究推進に関する協定が締結されました。両研究所は、すでに平成19年12月に同様の連携協力協定を締結し、埼玉県和光市の理研基幹研究所内に「北大電子研連携研究室」を開設しており、分子情報生命科学特別研究ユニット」と協力してソフト&ウエット型バイオ運動素子とその材料系を創製し、生体組織代替運動システムにまで応用することを目的とした共同研究を展開しています。

新たに締結した連携協力協定は、両研究所の共通のテーマである「複合領域ナノサイエンス」の研究に関する連携をより深化させるため、双方の意志に基づき、「光科学」に関する連携研究を進めるためのものです。

電子科学研究所は、これまでに分子科学、生命科学、およびそれらを繋ぐ光科学、数理科学が融合した「複合領域ナノサイエンス」の開拓に取り組んでおり、新たな理研との連携に伴い、理研が展開しているナノサイエンス研究との融合、交流などを積極化し、研究のさらなる活性化を図っていきます。

これまで以上に双方の人的・物的資源の積極的な活用が図られ、理研の進展に大きく貢献するとともに、電子科学研究所の進める「複合領域ナノサイエンス」そのものにフィードバックしていくものと期待されます。

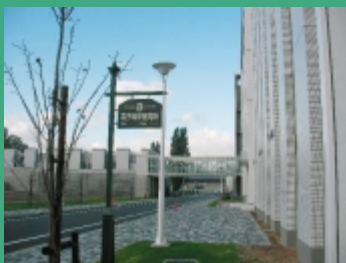


電子科学研究所

創成科学研究所機構

## 北海道大学 キャンパスマップ





# RESEARCH INSTITUTE FOR ELECTRONIC SCIENCE

Hokkaido University, Sapporo, Japan

北海道大学 電子科学研究所

〒011-0020 札幌市北区北20条西10丁目 TEL(011)716-2111(代表)

(中央キャンパス) 〒060-0812 札幌市北区北12条西6丁目

(附属ナノテクノロジー研究センター) 〒001-0021 札幌市北区北21条西10丁目

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