

大阪大学の

最先端

研究



**Osaka University :
A Foothold on Frontier Research**



OSAKA UNIVERSITY





大阪大学が誇る 最先端研究拠点

大阪大学は、江戸期に大坂の地に創設された適塾(1838)を原点とし、さらに遡って大坂の五商人によって開設された懐徳堂(1724)の精神を汲みつつ、学術と教育の機関として発展してきましたが、間もなく80周年を迎えようとしています。本学では、創立以来の自由闊達な精神が脈々と受け継がれ、「地域に生き 世界に伸びる」をモットーに、世界トップレベルの教育研究活動を推進し、研究面では、創発的研究と基盤的研究を両翼とするハイレベルな研究を推進することで国際的なプレゼンスを高めていきます。その過程で、研究における「基本」と「ときめき」と「責任」を強く意識しながら、基礎研究に深く根を下ろしつつ、科学の新しい地平を切りひらくような先端的な研究をさらに推進していきます。

21世紀を迎えた今日、科学技術の発展が築き上げた幸福を享受しつつ、全人類がさらなる真の幸福を目指すためには、同時代の社会が直面している困難な諸課題に真摯に取り組むことが急務です。グローバルな視点からその解決に向け全学を挙げて叡智を結集して取り組み、社会からの厚い信頼を得ることが本学の使命であると考えています。

本学では、世界トップレベル国際研究拠点形成促進プログラム(全国5拠点のうちの1拠点)、先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム(19年度1件採択)、グローバル COEプログラム(平成19年度：7件採択、平成20年度：4件採択、平成



大阪大学理事・副学長
西尾 章治郎

Trustee, Vice-President
Shojiro NISHIO, Ph. D.

21年度：1件採択)、最先端研究開発支援プログラム(採択総数30件のうち本学から2件採択)など、大規模な拠点形成プログラム等が多数採択され、先端的な研究から分野横断的な研究まで、組織的かつ計画的に取り組んでいます。これらの成果が上記の課題解決に大いに貢献するものと確信しております。

この冊子では、これらの卓越した各拠点における活動内容をわかりやすく紹介しております。それは、平成18年度に始まった国家的な第3期科学技術基本計画で求められている「最先端科学技術の国民への説明」の重要性を意識したからです。本冊子が、これから大学への進学を目指す高校生、本格的に学問に取り組もうとしている大学生をはじめ、広く多くの方々に大阪大学における最先端の研究内容をご理解いただくとともに、新しい科学技術分野を創造するアプローチに興味をもっていただくきっかけとなれば、私としても望外の喜びです。





The Pride of Osaka University : A Foothold on Frontier Research

Osaka University's origin traces back to the *Edo* Period of Japan, with the foundation of *Tekijuku* in Osaka in 1838. Dating further back, scientific and educational development in the Osaka region was greatly enhanced by the establishment of *Kaitokudo* in 1724 by five local merchants, another institution that constitutes Osaka University's spiritual ancestry. The University will soon be celebrating its 80th anniversary in the next few years.

From the time Osaka University was first founded, we have continued to value the freedom and vigor in advancing education and research under the motto of "Live Locally, Grow Globally." The university has also aimed to heighten its international presence by conducting quality research that combines both basic and emergent approaches. We thus strongly focus on research that is "basic," "exciting" and "responsible," that may clear the way for a new scientific era.

At the beginning of the 21st century, we enjoy the blessing brought about by scientific and technological development. However, in order for humankind to aim for an

even greater prosperity, the problems our society currently faces must be addressed immediately. I believe it is this university's mission to work towards gaining the great trust of the people by working towards finding solutions to such problems. This is possible by fully mobilizing our human and academic resources and by always keeping a global perspective in our efforts.

At Osaka University, the World Premier International Research Center Initiative program (one of the five national centers), the Formation of Innovation Center for Fusion of Advanced Technologies program (granted one in 2007), and the Global COE Program (granted seven programs in 2007, four in 2008, and one in 2009), and the Funding Program for World-Leading Innovative R&D on Science and Technology (granted two of the thirty selected programs) are some examples of the many large-scale programs that have been awarded by the government. From cutting-edge to multi-disciplinary research, we have implemented the programs in a systematic and coherent way. I believe their outcomes will greatly contribute to solving the problems mentioned above.

In this pamphlet, you will find a brief introduction on the activities of these prominent initiatives. As stipulated in the 3rd National Fundamental Science and Technology Plan launched in 2006 by the Japanese government, we stress the importance in "Introducing Leading Science and Technology to the People." I hope that this pamphlet will find readers among high school students aiming for admission into universities, university students trying to focus on specific fields of study, and many others. It would be my greatest joy if, through this, more people will be able to learn about Osaka University's cutting edge research, as well as possibly holding an interest in the process of creating new fields in science and technology.



Osaka University : A Foothold on Frontier Research

世界トップレベル国際研究拠点形成促進プログラム	
WPI Program—World Premier International Research Center Initiative—	
04	大阪大学免疫学フロンティア研究センター(WPI-IFReC) 平成19年度採択 WPI Immunology Frontier Research Center, Osaka University (WPI-IFReC)
最先端研究開発支援プログラム	
Funding Program for World-Leading Innovative R&D on Science and Technology	
09	免疫ダイナミズムの統合的理解と免疫制御法の確立 平成21年度採択 Developing a Comprehensive Understanding of the Dynamism of Immunity and the Establishment of Immunity Control Methods
14	1分子解析技術を基盤とした革新ナノデバイスの開発研究 平成21年度採択 Research and Development of innovative Nano-Devices based on single-molecule DNA sequencing
先端融合領域イノベーション創出拠点	
Formation of Innovation Center for Fusion of Advanced Technologies	
19	フォトニクス先端融合研究センター 平成19年度採択 The Photonics Advanced Research Center
グローバルCOEプログラム Global COE Program	
2007 平成19年度採択分	
23	高次生命機能システムのダイナミクス System Dynamics of Biological Function
27	生命環境化学グローバル教育研究拠点 Global Education and Research Center for Bio-Environmental Chemistry
31	構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点 Center of Excellence for Advanced Structural and Functional Materials Design
35	アンビエント情報社会基盤創成拠点 Center of Excellence for Founding Ambient Information Society Infrastructure
39	次世代電子デバイス教育研究開発拠点 Center for Electronic Device Innovation (CEDI)
43	コンフリクトの人文国際研究教育拠点 A Research Base for Conflict Studies in the Humanities
47	医・工・情報学融合による予測医学基盤創成 An <i>In Silico</i> Medicine-Oriented Worldwide Open Platform
2008 平成20年度採択分	
51	オルガネラネットワーク医学創成プログラム Frontier Biomedical Science Underlying Organelle Network Biology
55	物質の量子機能解明と未来型機能材料創出 Core Research and Engineering of Advanced Materials —Interdisciplinary Education Center for Materials Science—
59	高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点 Center of Excellence for Atomically Controlled Fabrication Technology
63	人間行動と社会経済のダイナミクス Human Behavior and Socioeconomic Dynamics
2009 平成21年度採択分	
67	認知脳理解に基づく未来工学創成 Center of Human-friendly Robotics Based on Cognitive Neuroscience



大阪大学免疫学フロンティア研究センター(IFReC)は、2007年10月に発足した。今、ここで世界の免疫学研究をリードする拠点づくりが進められている。

免疫学とは、あらゆる病原体の感染から私たちの体を守る「生体防御のメカニズム」を研究する学問体系である。私たちの体に備わっている免疫システムは、Tリンパ球、Bリンパ球、樹状細胞、マクロファージ、ナチュラルキラー細胞といったさまざまな種

類の免疫担当細胞から構成されている。

免疫細胞の特徴は、その多様性と運動性にある。骨髄から発生して多様に分化した免疫細胞は血流により体内を循環し、一部は胸腺やリンパ節に入る。さらにそれらの一部が血中を移動し、体内の組織や臓器を移動する。そして免疫細胞同士が情報交換を行いながらネットワークを形成し、さまざまな場面で適切な免疫応答を誘導する。 10^{11} 個という膨大な数の多種多様な免疫細

免疫を視る

動的ネットワーク解明へ新たな挑戦

大阪大学免疫学フロンティア研究センター (WPI-IFReC)

● 拠点長 審良静男 教授



Observation of immune reaction

Unveiling dynamic networks of immunity

WPI Immunology Frontier Research Center,
Osaka University (WPI-IFReC)

Director

Shizuo Akira — Professor

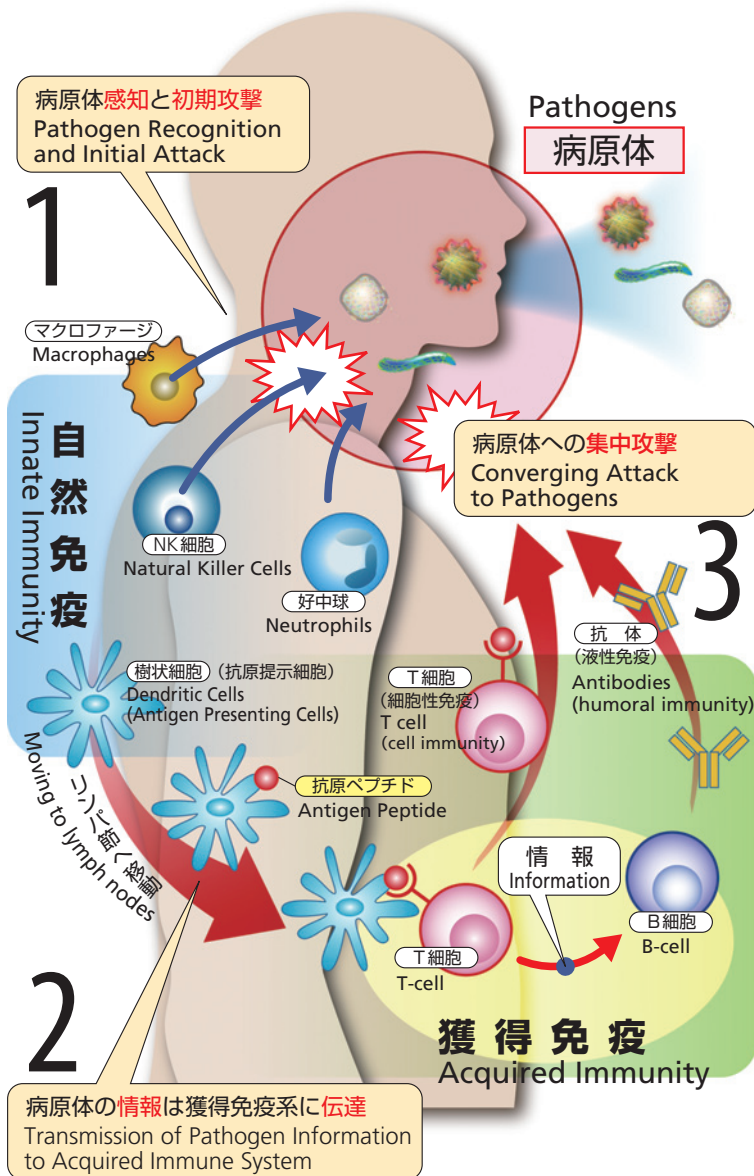
<http://www.ifrec.osaka-u.ac.jp/index.php>

WPI Osaka University
IFReC

Osaka University Immunology Frontier Research Center (IFReC) was selected as a part of the World Premier International Research Center (WPI) Initiative program by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). Consequently, IFReC was launched on October 1st, 2007.

The immune system protects the body from infections by various pathogens. The immune system consists of various types of immune cells, such as T-lym-

phocytes, B-lymphocytes, dendritic cells, macrophages and natural killer (NK) cells. These immune cells play their roles and work together to efficiently eliminate invading pathogens. Characteristics of the immune cells include their motility and migratory behavior. These immune cells, which are originally derived from bone marrow cells, circulate in the blood, and some of these cells enter the thymus and lymph nodes. Some re-enter the blood and move to tissues or organs



胞がそれぞれの役割を果たしながら、病原体を効率的に排除しているのだ。

その一方、何らかの原因で免疫システムに破綻が生じると、免疫不全症、がん、自己免疫疾患、アレルギーといった疾患を引き起こしてしまう。

IFReCでは、実際の生体 (*in vivo*) での免疫応答の空間的・時間的制御の理解を目指した全く新しい研究を展開している。すなわち「どこで、いかにして免疫反応は起こるのか?」。その説明には、少しこれまでの免

●体を幾重にも防御する免疫の仕組み

自然免疫は病原体という侵入者を感じ攻撃を仕掛けながら、獲得免疫に病原体の情報を伝える。獲得免疫はその情報をもとに新たな攻撃を準備する。こうした多層的な免疫学の研究に大きな足跡を残してきたのが審良教授をはじめとする大阪大学の研究者たちだ。

Diverse Body Protection by Innate and Acquired Immunity

Innate immune system eliminates pathogens by phagocytes. Simultaneously, information of pathogens is used for preparing another "weapons" by acquired immune system. A great number of accomplishments in immunology have been done by the scientists of Osaka University including Prof. Akira.

throughout the body. Those immune cells also interact with each other and form networks to induce immunological responses in various scenes.

When some abnormalities develop in the immune system for some reasons, diseases, such as immunodeficiency, cancer, autoimmune diseases and allergy will arise.

In IFReC, researchers try to develop a new research to understand immune responses in a spatiotemporal manner in the body. "When and how do immune responses occur?" We need to look back immunological research to date to answer

疫学研究を振り返ることが必要だ。

免疫学は、分子生物学や細胞生物学の手法を取り入れながら発展してきた。研究は主に、体内から取り出した細胞や培養細胞を用いて行われた。その結果、多くの免疫細胞やサイトカイン(情報伝達物質)が発見され、免疫系の情報伝達経路や多様性メカニズムも徐々に明らかになってきた。

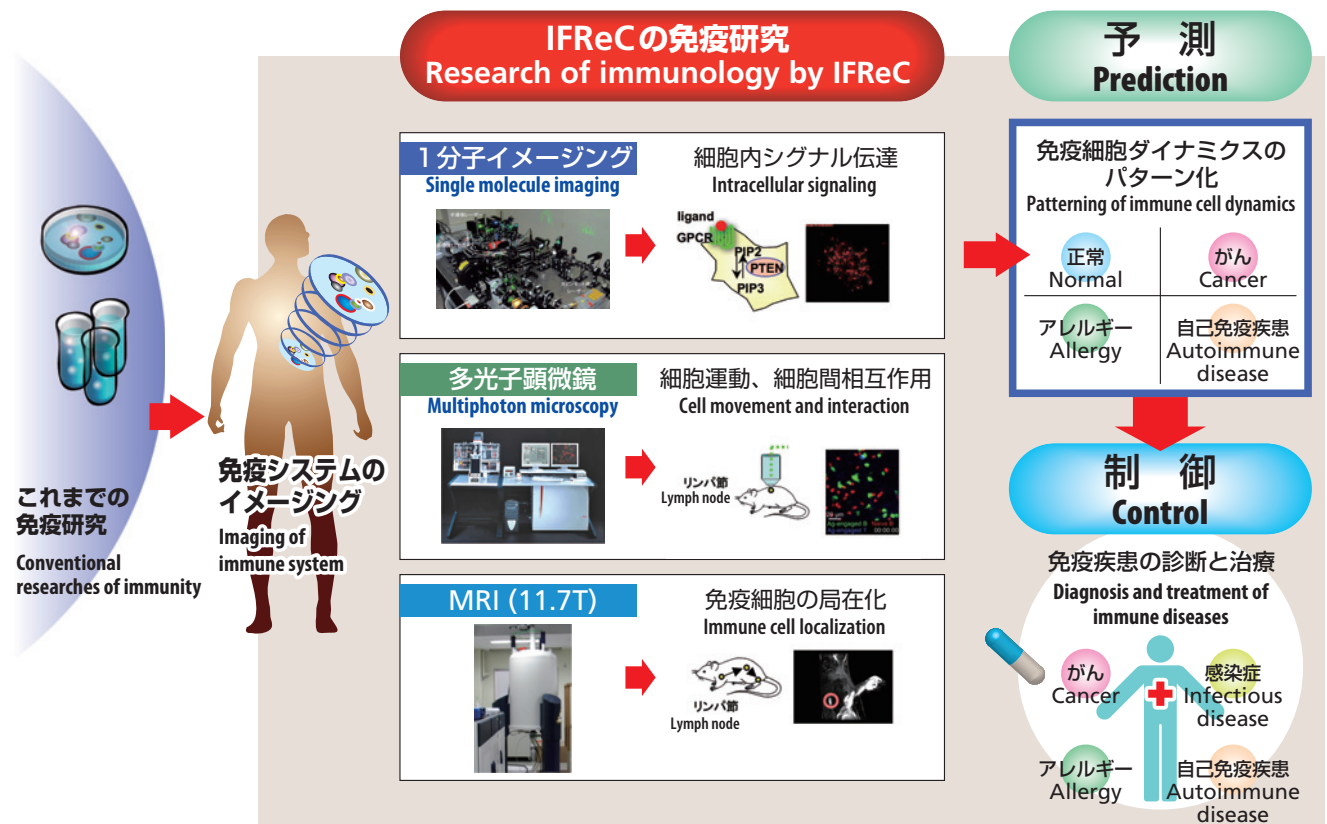
しかし、単離された免疫細胞を対象とする限定された免疫応答の理解は、多様な免疫反応、すなわち生体防御システムの一

面に過ぎない。これまでの免疫学研究では、実際の生体内で免疫システムがどのように発動し収束するのか、また病態時に免疫細胞はどのような振る舞いをしているのか、それらの全体像を描くには至っていない。現段階では、病原体の感染に対する免疫反応の結果を予測することや免疫疾患を治療することは困難だ。免疫反応の生体での実際の振る舞いとなると、まだ分からないことだらけなのだ。

IFReCはこれらの難題を克服するために、

生物工学の第一人者である柳田敏雄教授グループの「1分子イメージング(画像化)技術」と免疫学の融合を進めている。それにより免疫反応を可視化し、実際の生体における動的な免疫系の全貌を明らかにしようとしている。

「1分子イメージング」は、独自に開発したレーザー顕微鏡を用いて細胞中のタンパク質など分子の挙動を見る技術である。この技術を使うと、細胞内のシグナルの伝達や経路を解析することができる。



this question.

Immunology has been evolving by incorporating molecular and cellular biological techniques. As a result, a number of immune cells and cytokines have been discovered, and signaling pathways and diverse mechanisms have been identified. However, it can be said that understanding immune responses limited to isolated immune cells is just to understand one part of biologic defense systems. We are still almost ignorant about how the immune system actually works in the body or how immune cells behave under pathological conditions *in vivo*. At

present, we are not able to predict the outcome of immune responses when a certain pathogen invades the body nor able to treat immune diseases. Also, it is difficult to draw the whole picture of immunological responses.

In order to address these limitations, combination of immunology and imaging technologies, developed by Dr. *Toshio Yanagida*, a pioneer in the biotechnology field, has been promoted in IFReC. The fusion of two fields will allow us to track the dynamic behavior of immune cells and their communications more directly. "Single molecular imaging" is a technique

to observe behavior of molecule such as protein in a cell by using special laser microscope. This technique helps us to understand signaling pathway. Namely, it enables us to track and make a pattern of dynamics of immune cells by looking at how immune cells respond to pathogens, activation status of immune cells and their interaction, etc. *in vivo*. How are reactions of normal cells and cancer cells different? How about in autoimmune diseases or in allergies? Such questions could be resolved when biophysical analysis is focused on the dynamic network of individual



●融合型生命科学総合研究棟
IFReCの新しい研究拠点

Integrated Life Science Building

New Research Center of IFReC

つまり生体内に病原体が入ると、そこで何が起きるのか、どういう状況になると免疫応答に異状が生じて病気になるのか、など免疫細胞の活性化状態、相互作用などを実際に目で見ることによって、免疫細胞の動態を追跡しパターン化することが可能になる。例えば、正常な細胞の動きとがん細胞の動きはどう違うのか、自己免疫疾患やアレルギーの場合はどうなのか——。免疫システムを個々の分子の動的なネットワークとしてとらえ、それらの動きを生物物理学的に解析するのだ。さらに、コンピューターでその動きのシミュレーションができるようになれば、生体内での免疫反応を自由に統御するための第一歩となる。まさに“免疫を視る”ことによって、それが可能になるのだ。そして、それは新しい戦略に基づいた感染症ワクチンの開発、さまざまな感染症やがんに対する免疫療法のコンセプトの創出、自己免疫疾患の治療法の開発につながる。

日本における免疫学研究は、生命科学の分野で世界のトップを走り続けている。その業績の多くを山村雄一、岸本忠三という2人の元総長をはじめとする大阪大学の研究者が成し遂げてきた。そしてIFReCの拠

molecular in immune systems. Further development in computer simulation techniques may realize the first step of controlling immune reactions *in vivo*. “Observation of immune reaction” has great potentiality to make it real.

Studies performed in this center will lead to development of infectious vaccines based on novel strategies, generation of concepts for immune therapies for various infectious diseases and cancers, and invention of medical treatment for autoimmune diseases.

Research on immunology is one of the fields in which Japan has taken a lead among other biological science

areas. Osaka University is particularly well known in this field with two former presidents, Dr. Yuichi Yamamura and Dr. Tadamitsu Kishimoto. Dr. Shizuo Akira, Director of IFReC, takes over achievements of these successful pioneers in immunology research.

By the end of late 1990's, immunological research has been oriented to the study of acquired immunity such as T cell and B cell. However, Dr. Akira's group revealed that Toll-Like Receptors (TLRs) on dendritic cells and macrophages take significant roles in both innate and acquired immunity. The success changed established understanding

点長はその流れを汲む免疫学研究の第一人者、審良静男教授である。

1990年代後半まで、免疫学研究の中心はTリンパ球、Bリンパ球を中心とする獲得免疫に集中していた。しかし、審良教授のグループは樹状細胞、マクロファージといった一見単純な食細胞(自然免疫細胞)が、獲得免疫をも含めた免疫反応全体に重要な働きをしていることを示し、自然免疫に対する従来の見方を一変させた。このことは、体

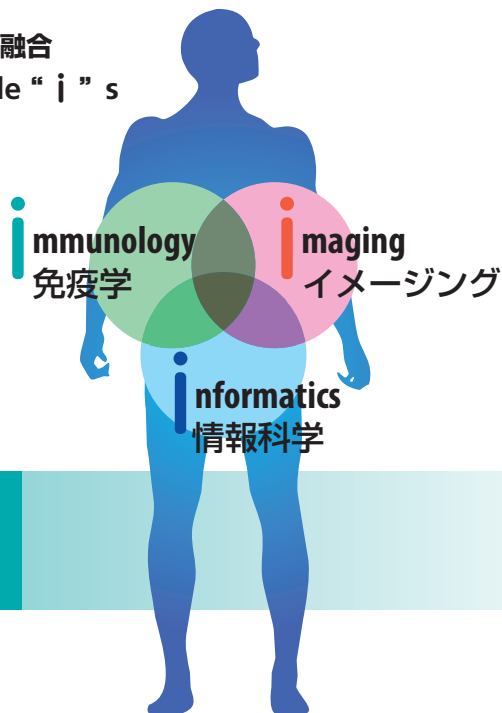
内に侵入した病原体を効率的に排除する、という免疫反応の本質に迫る、特筆すべき成果だった。

審良教授は免疫とイメージングの融合研究についてこう語る。「現在、免疫細胞の動きを可視化するイメージング技術は萌芽期にあり、米国が先行している。とはいえ、その技術はまだ未熟なもので、生体内での免疫システムを研究するためには、さらなるテクノロジーの向上に加え、物理学・

コンピューターサイエンスと免疫学との間での学際的な連携が必要だ。IFReCは免疫学研究者とイメージング研究者との学際的交流や協力の場となり、免疫学に革新をもたらすような成果を発信していく」

IFReCでは、免疫学研究、生体イメージング、バイオインフォマティクスの分野で活躍している20名以上の世界トップレベル研究者を国内外より招聘してきた。2009年6月にはIFReCのための新しい研究棟“融合型生命科学総合研究棟”が大阪大学内に建設され、今後はこの研究棟を拠点とし、海外および国内の連携機関と密接に協力しながら研究を展開していく。さらに、年に1回以上の国際シンポジウムを開催し、海外で活躍している研究者を招き最新知見を紹介してもらうと同時に、IFReCにおける研究成果を世界に向けて発表していく。また、IFReCが世界をリードする研究拠点に育つには真の意味での国際化が必要不可欠だ。このため、IFReCでは事務部門も含め運営をすべて英語で行い、研究員の採用も国際公募により決定する。さらに、若手研究者を国内外から積極的にリクルートし、自由に自分自身の研究を発展できるよう支援していく。

三つの「i」の融合 Fusion of triple “i” s



of innate immunity drastically. It was an extremely striking success to demonstrate the nature of immune responses that eliminate pathogen invaded the body efficiently.

Dr. Akira comments on the fusion of immunology and imaging, “The imaging techniques for visualizing the immune system are still in the early stage of development. The techniques in USA go ahead in this field. However, it is still immature. To extend our understanding of the functions of the immune system *in vivo*, in addition to new imaging technologies, interdisciplinary efforts in physics, computer science and immu-

nology are required.”

IFReC has recruited over twenty top researchers in the fields of immunology, imaging and Bioinformatics from Japan and abroad. “Integrated Life Science Building”, the main research building was completed at Osaka University in June of 2009. Along with this research center, there are a number of related domestic and overseas satellite institutes. We will work together closely with the laboratories at these institutes to enhance our projects. Furthermore, we will organize an international symposium at least once a year to release our research achievements to the world. Researchers

will be invited from overseas to share their latest findings with us.

The spirit of true internationalization is indispensable for us to become the leading research center in the world. An English-speaking environment will be created at this center, including the administrative office. Top-class young researchers will be recruited, both in and outside of Japan, by international public advertisements, and we will support these researchers in the expansion of their research.

免疫を操る

感染症・がんワクチン、難病治療法の開発へ

免疫ダイナミズムの統合的理解と免疫制御法の確立

●拠点長 審良静男 免疫学フロンティア研究センター 教授

Manipulating immune reaction

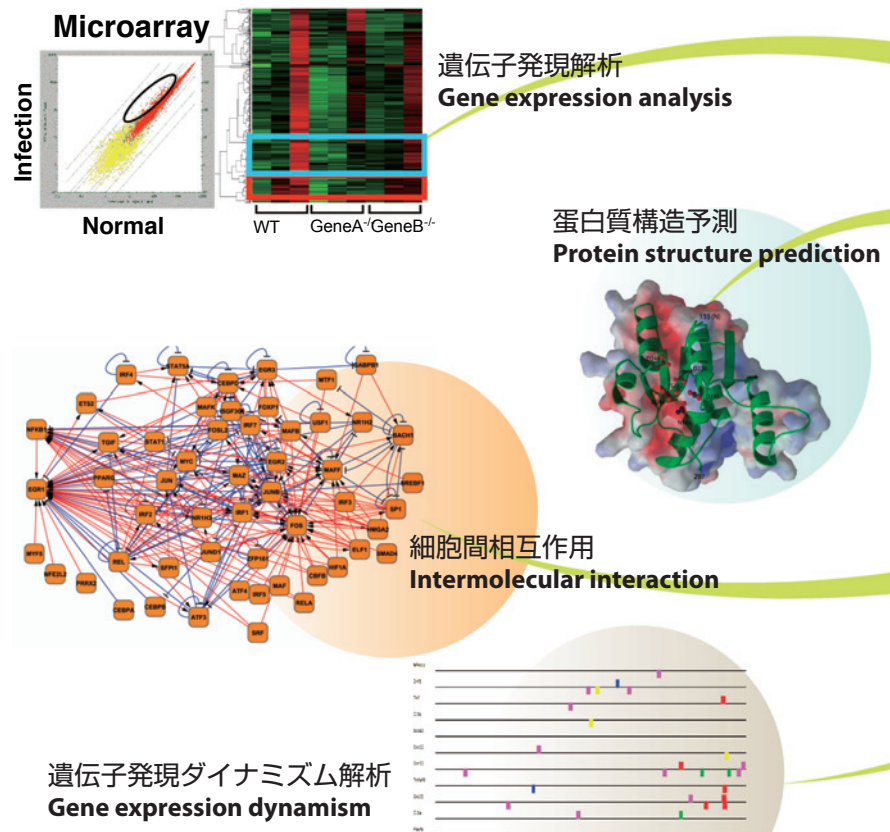
Working towards the development of vaccines against infectious diseases and cancer, and treatment for intractable diseases

Developing a Comprehensive Understanding of the Dynamism of Immunity and the Establishment of Immunity Control Methods

Principal Investigator

Shizuo Akira — Professor

Immunology Frontier Research Center, Director



日本国民の4割がアレルギー疾患にかかっているといわれている。また、200人に1人がリウマチや膠原病などの自己免疫疾患に苦しみ、年間の医療費は合わせて1兆円を超えるという。新型インフルエンザやHIVに代表される新興感染症の脅威に加え、がんの発症と防御にも免疫系が深くかかわっていることも知られている。現代社会が直面するこれらの問題を解決する医薬品や治療法を世界に先駆けて開発するためには、免疫ダイナミズムの統合的な理解を避けて通ることはできない。

P5の図にあるように、自然免疫は細菌、ウイルス、寄生虫が体の中に入ってきた際、まずそれを認識して初期攻撃をする

に、炎症反応を引き起こしたり、獲得免疫を誘導・活性化するのに重要な役割を果たしている。自然免疫を司る細胞のマクロファージや樹状細胞が病原体の持つ特徴を認識する「パターン認識受容体(Toll様受容体=TLR)」を発見し、これが獲得免疫を活性化するシグナルを伝達するという仕組みだ。審良教授はヒトにある10種類のTLRファミリーのパターン認識の役割を解明するとともに、TLRが病原体の構成成分を認識して刺激された後、シグナルを出してそれを細胞核に伝え、獲得免疫活性化に至る道筋、つまり「シグナル伝達系」の働きを明らかにするなど自然免疫の解明に画期的な成果をあげてきた。

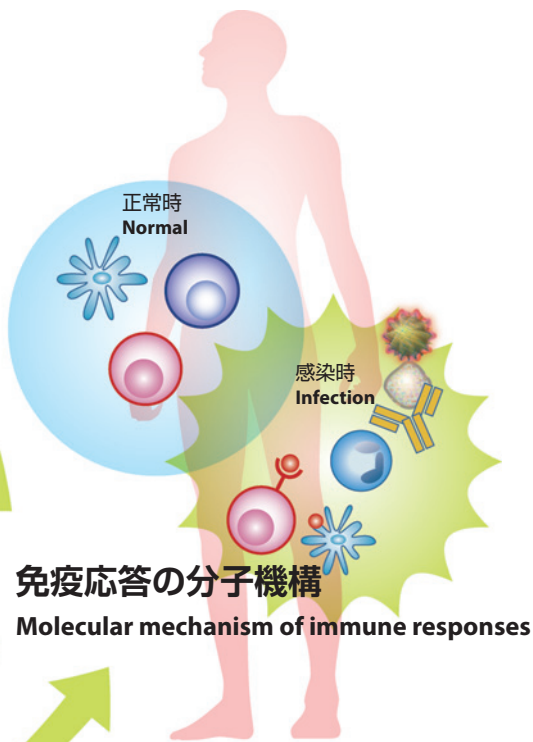
「この10年で自然免疫のTLR、シグナル伝達系についてはほとんど解明され、研究は終わりに近づいた。今私たちの研究の焦点はエフェクターフェーズとあって、細胞が活性化された後、どういう分子が出てきかかというところに移っている」と審良教授はこのプログラムで取り組む次なる目標を語る。

免疫細胞内の核にシグナルが届くと、遺伝子が転写され、膨大な量のメッセンジャーRNA(mRNA)が作られ、免疫反応を引き起こしていく。そこのところがエフェクターフェーズであり、ミステリーゾーンとして目の前に広がっているのだ。

この研究では、すでに新たな発見が生まれている。2009年春、審良教授らがノックアウト(遺伝子欠損)マウスをつくっている時、偶然マウスの中に炎症を起こして死んでいく一群が現れた。ノックアウトマウスを使った免疫細胞の遺伝子解析は、審良教授が10年以上前から独自に始めた手法で、

●免疫システムの包括的理解に向けたシステムバイオロジーアプローチ

免疫活性化、抑制におけるさまざまな情報を統合し、システムバイオロジーアプローチを利用することで免疫応答の包括的理解につなげる。



免疫応答の分子機構
 Molecular mechanism of immune responses

Toward comprehensive understanding of the immune system : Systems biology approach

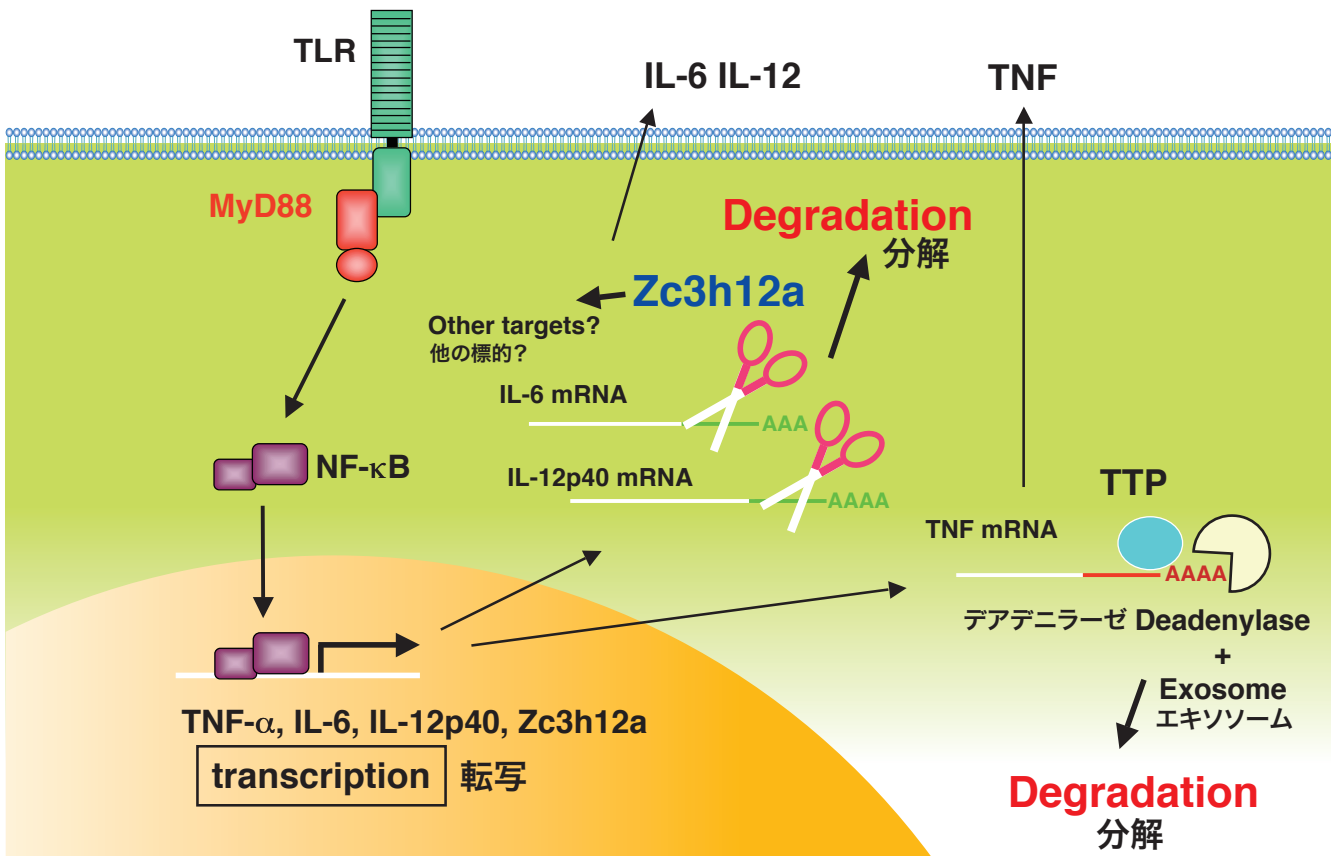
We will integrate various information of immune activation and suppression, and analyze them by taking advantage of the systems biology approach.

It has been said that 40% of the population in Japan have an allergy. Furthermore, one in every 200 citizen suffers from an autoimmune disease such as rheumatism or collagen disease, and the related yearly medical care costs are more than a trillion yen. In addition to the threat of new infectious diseases such as emerging types of influenza and HIV, it is well known that the immune system is deeply related to the defense against and the occurrence of cancer. On an international scale, in order to remain in the forefront of the development of the medicinal supplies and treatment methods required to resolve the issues confronting our modern society, developing a comprehensive understanding of the dynamism of immunity is absolutely unavoidable.

As shown in the illustration on page five, when bacteria, a virus, or a parasite enters the body, the body recognizes the intruding infectious pathogen, and begins a first-stage attack against it. Along with that first line of defense, other important actions are initiated, such as an inflammation reaction, and the inducement and activation of acquired immunity. "Pattern recognition receptors (Toll-like receptors=TLR)" are expressed in macrophages and dendritic cells which govern innate immunity, detect the characteristics of the infectious pathogen, and transmit a signal that activates the acquired immunity. Professor Akira elucidated the role of pattern recognition in the ten TLR family members found in humans, and further found that after the TLR

図1
Figure 1

タンパク質分子Zc3h12aによるIL-6とIL-12p40 mRNAの調節 Regulation of IL-6 and IL-12p40 mRNA by Zc3h12a



recognizes the structural components in the pathogen, they are stimulated to send a signal to the cell nucleus, leading to the activation of acquired immunity. Thus his studies have produced epoch-making results in the clarification of the innate immunity system through the elucidation of the function of this signaling pathway.

Professor *Akira* spoke about his future goals in this program, saying, "During the past ten years, we have almost completely clarified the roles of TLRs and the signaling pathway in the innate immunity system, and this research is coming to an end. Now, the focus of our research is on what we call the effector phase, which occurs after the cells have been activated, and we are moving on to studies on the question of what molecules appear in this phase and the immunity reactions they cause."

When a signal reaches the nucleus of an immune cell, genes are transcribed, a massive number of messenger RNA(mRNA) is generated, causing an immunity reaction. This is the effector phase, and it is a virtual mystery zone spread out in front of us.

New findings have already been revealed in this research. In the spring of 2009, when Professor *Akira* and his colleagues were preparing knockout (gene deficient) mice, by chance, one group of mice suddenly developed inflammation,

leading to the death of the mice in that group. Professor *Akira* has employed this original method using knockout mice in the analysis of the genes in immunity cells for the past ten years, producing a number of important research results, as mentioned above. A follow up study on the mice showed that the fatal inflammation revealed an excess of the information transmission proteins (cytokine) secreted from cells, including interleukin-6, which are molecules known to cause autonomous immune diseases such as rheumatoid arthritis. This excess caused the severe inflammation that led to their death. Further research on the mechanism involved revealed the existence of a new protein molecule, "Zc3h12a," attached to the tail of the mRNA that is transcribed from DNA. This new protein is responsible for the destruction of the mRNA.

Professor *Akira* explained that, "Up to the present, it was considered that control of the cytokines that are involved with inflammation was conducted by the transcription of mRNA, but these findings showed that the new protein discovered played a role in this control, as it functioned to either constantly destroy the mRNA excreted from the cell nucleus, or not destroy it, depending on its amount. It was considered that the same events occurred in the T and B cells responsible for acquired immunity. Speculating from the

先に触れた多くの研究成果もそこから生み出されたものだ。今回、死んでいくマウスを調べていくと、関節リウマチなどの自己免疫疾患を引き起こす分子であるインターロイキン6をはじめとする細胞から分泌される情報伝達タンパク質(サイトカイン)が過剰に出ているために、マウスは激しい炎症を起こして死に至ることがわかった。そのメカニズムをさらに追究していくと、DNAから転写されたmRNAの尻尾に取りついてmRNAを破壊する「Zc3h12a」という新たなタンパク質分子が存在することを突き止めた。(図1)

「これまで、炎症にかかわるサイトカインの制御はmRNAの転写によるものという考

え方だったが、今回見つけた新たなタンパク質はその量で核から出てきたmRNAを絶えず壊したり、壊さなかったりする調整の役割をすることがわかった。獲得免疫のT細胞やB細胞の中でも同じことが起きているだろう。免疫反応の素早さから推測すると、単にDNAのmRNAへの転写のレベルではなく、転写後のmRNAのところではタンパク質の量を制御しているのでは、と考えるのが合理的。がん発症の遺伝的経路では、DNAよりもマイクロRNAという小さなRNAが重要な役割をしていることが5年ほど前にわかって注目を集めているが、免疫研究でもRNAが重要視されるようになってきた」と審良教授は説明する。

また、新たなタンパク質の性質を調べるには、構造生物学やシステムバイオロジーといった従来の免疫学では取れ入れていなかった分野との融合も進んでいる。すでにZc3h12aのタンパク質構造は図2のように明らかにされており、インターロイキン6mRNAの複合体についての構造解析が進行中だ。

審良教授は「病原体をキャッチしたTLRから刺激が入り、細胞が活性化されると、核から無数の遺伝子(分子)が急速に誘導されてくる。これらの遺伝子の中にTLRのような鍵となる分子が潜んでいる可能性がある。遺伝子の誘導の速度や特徴的な挙動をする遺伝子に見当をつけ、コンピューターで解析するシステムバイオロジーの手法も取り入れ、私たちのノックアウトマウスを使った手法を合わせて検証を重ね、鍵分子を見つけ出すのが当面の目標」と言う。

今回の研究開発のもう一つの目玉は世界最先端のイメージング技術の導入だ。

まず生きたマウスの体内でどのように免疫反応が起きているかを見るための化学プローブ(標識となる物質)とMRI(磁気共鳴画像法)によるアプローチを紹介しよう。細胞やタンパク質の性質を調べる際にはノーベ

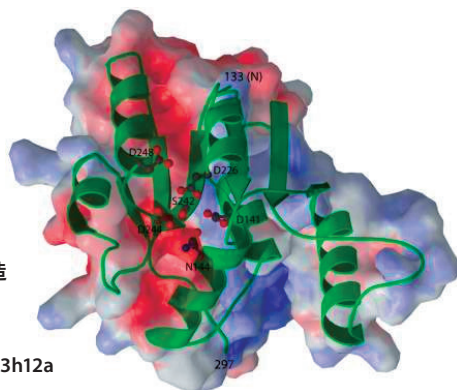


図2
Zc3h12aのタンパク質構造

Figure 2
Protein conformation of Zc3h12a

swiftness of the immunity reaction, rather than the simple transcription of DNA to mRNA, it is rational to consider that posttranscriptional regulation at the mRNA level controls the amount of proteins. In regard to the genetic pathway for the occurrence of cancer, attention was focused about five years ago on the importance of micro-RNA, rather than DNA, and now in the field of immunology, we have also begun to comprehend the real importance of RNA.”

Furthermore, in the investigations being conducted on the characteristics of this new protein, progress is being made in the fusion of fields not previously associated with immunological studies, such as structural biology and systems biology. Already, the structure of the protein Zc3h12a has been clarified, as shown in the illustration, and the structural analysis of the interleukin-6 mRNA complex is underway.

Professor Akira went on to say, “When a TLR catches a pathogen, it stimulates the cell and the activated cell swiftly releases a massive number of genes (molecules), induced from the nucleus, and there is the possibility that a key molecule similar to the TLR exists concealed among these genes. Looking at the velocity of the induction of the genes and for any characteristic behavior, and along with the methods we developed using knockout mice, we will be engaged for some time in the employment of the computer analysis

methods used in the field of systems biology to conduct verification tests in order to discover any key molecules.”

“Another feature of this research will be the incorporation of state-of-the-art imaging technology, frontier technology on a global scale.”

“First, in order to see how the immune reaction occurs within the body of living mice, let me introduce an approach using synthetic chemistry-based probes (material that functions as a marker) and MRI (Magnetic Resonance Imaging). When investigating the characteristics of cells or proteins, we employ fluorescent protein molecules, such as the Green Fluorescent Protein (GFP) that became so famous in association with a Nobel Prize, but because these fluorescent protein molecules require visible light, there are limitations to their permeability, and we cannot see inside a living body. At present, we are engaged in the promotion of the use of synthetic probes that can be detected in living immune cells within a living body through the use of MRI technology, and along with these efforts, we are conducting trials to develop protein-labeling methods that tether functional small molecules and proteins. This research on the design and creation of synthetic chemistry-based probes for imaging biological events in living cells is being conducted by Professor Kazuya Kikuchi and his colleagues (Immunology

ル賞で一躍有名になった緑色蛍光タンパク質(GFP)など蛍光タンパク質のプロープを用いるが、これらの蛍光プロープは可視光を必要とするため、光の透過性に限界のある生体内を見ることができない。現在、進められているのは生体内の生きた免疫細胞をまずMRIで可視化できるプロープとともに、免疫細胞に取り付けて酵素活性が起きた時にシグナルを出す機能性プロープを化学合成によって開発する試みだ。この研究は化学分子プロープのデザイン・合成で唯一生物学応用に成功している菊地和也教授(免疫学フロンティアセンター・工学研究科)らが取り組んでいる。(図3)

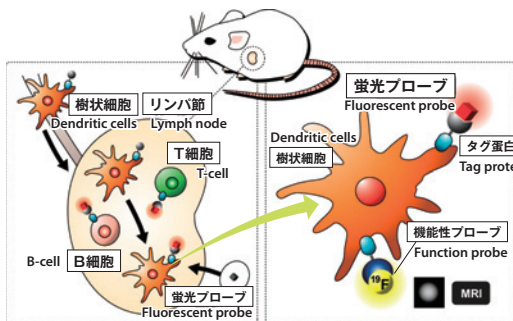


図3 化学分子プロープの免疫学応用

Figure 3

Immunological application of synthetic chemistry-based probes

Frontier Center, and the Graduate School of Engineering of Osaka University)."

"Today, high hopes have been placed on imaging techniques based on two-photon laser scanning microscopy. Employing two-photon laser scanning microscopy, Associate Professor Masaru Ishii (same center as above) conducted research on living mice using two fluorescent markers, one red and one green, that made it possible to visualize bone tissue and bone marrow, clarifying for the first time worldwide the dynamics of bone tissue destruction by osteoclasts. Studies are now being conducted on osteoporosis and rheumatoid arthritis, and attention has been focused on real-time studies on monocytes and macrophages, considered to be the cause of metabolic syndrome, especially on when and how they differentiate as they move about the whole body and cause disease. In this extremely interesting research on mice, red fluorescent markers are employed for osteoclasts and green fluorescent labeling for monocytes, and when differentiation occurs, the fluorescent color turns into yellow (green + red), creating a chameleon-like macrophage mouse."

"The Raman microscope is at the frontier in the field of optical technology, and for the first time, we have employed this new technology in our immunity research. Raman scattering is an optical process that occurs when light hits a target such as a molecule. A portion of the light energy is absorbed by the vibrational modes of the molecules in the cell, resulting in a color shift in the scattered light spectrum, called Raman scattering. The precise measurement and analysis of this scattered light spectra makes it possible to obtain an image of the molecular distribution in the cell. The Raman microscope is a combination of this Raman scattered light analysis method and a microscope. Nicholas Isaac Smith (an Associate Professor at the same center mentioned above), who developed the world's fastest Raman microscope, is the leader of this research, which is focused on imaging in situations where fluorescent labeling cannot be applied, such as studies on the organelle in cells during an immune response and Raman measurements using nanoparticles to study variations in cell characteristics."

ter is an optical process that occurs when light hits a target such as a molecule. A portion of the light energy is absorbed by the vibrational modes of the molecules in the cell, resulting in a color shift in the scattered light spectrum, called Raman scattering. The precise measurement and analysis of this scattered light spectra makes it possible to obtain an image of the molecular distribution in the cell. The Raman microscope is a combination of this Raman scattered light analysis method and a microscope. Nicholas Isaac Smith (an Associate Professor at the same center mentioned above), who developed the world's fastest Raman microscope, is the leader of this research, which is focused on imaging in situations where fluorescent labeling cannot be applied, such as studies on the organelle in cells during an immune response and Raman measurements using nanoparticles to study variations in cell characteristics."

According to Professor Akira, "Our goal is the clarification of the dynamic structure of the immune system, covering the whole realm of innate to acquired immunity, using the latest frontier technology to its full advantage and approaching the issues at hand from a variety of angles, in order to achieve a control method for immunity cells as quickly as possible."

「2光子励起顕微鏡」によるイメージングにも期待が持たれている。石井優特准教授(同センター)は「2光子励起顕微鏡」による研究で、マウスを生かしたままの状態赤と緑の二つの蛍光標識を使って骨組織・骨髄内を可視化し、骨組織を破壊する「破骨細胞」のダイナミクスを世界で初めて解明した。(図4) 現在進めている研究は、骨粗しょう症や関節リウマチ、さらにはメタボリック症候群の元凶としても注目を集めている単球・マクロファージが生体の全身を移動しながら、いつ、どこで、どのように分化して病因を作り出しているかをリアルタイムでとらえようとするものだ。これ

は破骨細胞が分化した時に赤色蛍光を発するマウスと単球細胞を緑色にラベリングしたマウスを掛け合わせ、分化に伴って蛍光色が黄色(緑+赤)になるような「カメレオンマクロファージマウス」を使うという興味深い研究である。

最新の光学技術である「ラマン顕微鏡」も初めて免疫研究に応用される。可視光を分子に当てると、当てた光とは違う光が出るラマン散乱は、散乱した光を精密に計測・分析することによって分子の成分を観察することができる。こうしたラマン散乱の分析法と顕微鏡を組み合わせたものがラマン顕微鏡だ。この研究には世界最高速のラマン顕微鏡を開発したニコラス・スミス特任講師(同センター)が当たり、蛍光プロープでは観察できないような免疫応答時の細胞内小器官(オルガネラ)や細胞質変化などのイメージングに取り組む。

審良教授は「最先端技術を駆使したさまざまな方向からのアプローチによって自然免疫から獲得免疫までの動的機構を明らかにし、一日も早く免疫細胞の制御法を確立したい」と話している。

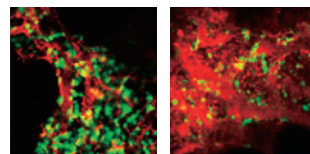


図4 2光子励起顕微鏡を用いた、生きた骨組織内のイメージングの例。血管を赤で、顆粒球(写真右)や破骨前駆細胞(同左)を緑で、それぞれ蛍光標識している。

Figure 4

Image of living bone tissue by two-photon laser scanning microscopy. Red fluorescent marker is used for blood vessel. Green for granulocyte (right) and osteoclasts (left).

生物の遺伝情報を担う物質であるDNA (デオキシリボ核酸)の〈一分子解析技術〉は大阪大学が世界のトップランナーだ。産業科学研究所の川合知二教授は「大阪大学は二つの部分で米国立衛生研究所(NIH)が策定したDNAシーケンスのロードマップの先を走っている」と語る。

DNAを構成するヌクレオチドの塩基配列を識別する「DNAシーケンス」をいかに速くできるか——この技術開発をめぐる世

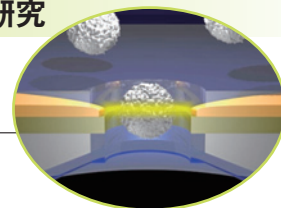
界の研究者がしのぎを削っている。この技術は近年急速な発展を遂げているものの、現在の最新の技術でも、一人一人の全ゲノム(4種類の塩基分子からなるDNA塩基30億個が並んだすべての遺伝情報)を読み取るのに10万ドルもの費用をかけて2カ月もかかる。しかし、2015年には、1日1000ドルシーケンス、つまり一人のすべてのDNA塩基識別が10万円足らずで1日でできる時代に入ると言われている。この技術が確立する

未来の 健康と安全を実現

基礎から出口までの一貫研究開発プロジェクト

1分子解析技術を基盤とした革新ナノデバイスの開発研究

●中心研究者 川合知二 産業科学研究所 教授



Integrated R&D Project to Realize Health and Security for the Future

Research and Development of innovative Nano-Devices
based on single-molecule DNA sequencing

Core Researcher
Tomoji Kawai — Professor,
Institute of Scientific and Industrial Research



一人ひとりが呼気で感染をチェックできる時代に
Infection can be checked by using each person's
breath in the near future.

Osaka University is the leading player in the world for sequencing of a single DNA molecule that conveys genetic information of creatures. “We can manage more advanced researches in two areas than the National Institutes of Health which designed the road map of DNA sequencing” mentioned *Tomoji Kawai*, the professor of the Institute of Scientific and Industrial Research of Osaka University.

DNA consists of base sequence of nucleotide that can be identified by DNA sequencing method. Researchers in the world now are competing intensely to make sequencing much greater speed. Although this latest technology has made a remarkable progress recently it still takes two months to decode all genome in one person with the cost of as much as

と、一人ひとりわずかに違うDNAの塩基配列から情報を得ることによって、がんなどの発病を予測し、予防するというような個人に最適な治療や副作用のない投薬が可能になる高度個別化医療(オーダーメイド医療)が実現するのだ。そして、これを実現するキーテクノロジーがゲーティングナノポア法という、1分子DNA解析技術である。

川合教授が例として挙げた世界初の研究成果の一つ目は1バイオ分子の検出・識別技術だ。2009年に英科学誌「ネイチャーナノテクノロジー」の表紙を飾った1本のDNAのグアニン塩基配列を識別した川合教授らの研究は世界を驚かせた。図1のように10マイクロメートルのミミズのようなDNA一つ一つの塩基がはっきりと見えている。これは基板に対して斜めからDNA溶液を吹きつけ、DNAを並べて、それを走査型トンネル顕微鏡で見たものだ。四つの塩基(AGCT)の中でも発がんに関与するなど重要視されているグアニンの位置も特定できている。

もう一つの最先端は、世界が目指しているゲーティングナノポア法によるDNAシーケンスに使うナノポアの開発だ。これは先に述べた塩基識別を現実のデバイスへとつなぐ技術になる。ナノポアとは、ナノサイズ(10億分の1センチ)の極小の穴のことだ。ゲーティングナノポア法とは、前処理で分離された1本のDNAをゲート電極のついたこの穴に通すことによって塩基配列を読み

の塩基がはっきりと見えている。これは基板に対して斜めからDNA溶液を吹きつけ、DNAを並べて、それを走査型トンネル顕微鏡で見たものだ。四つの塩基(AGCT)の中でも発がんに関与するなど重要視されているグアニンの位置も特定できている。

図1
走査トンネル顕微鏡による1本鎖DNAの塩基分子識別
下の写真の白い点がグアニン。赤の矢印で位置を示している

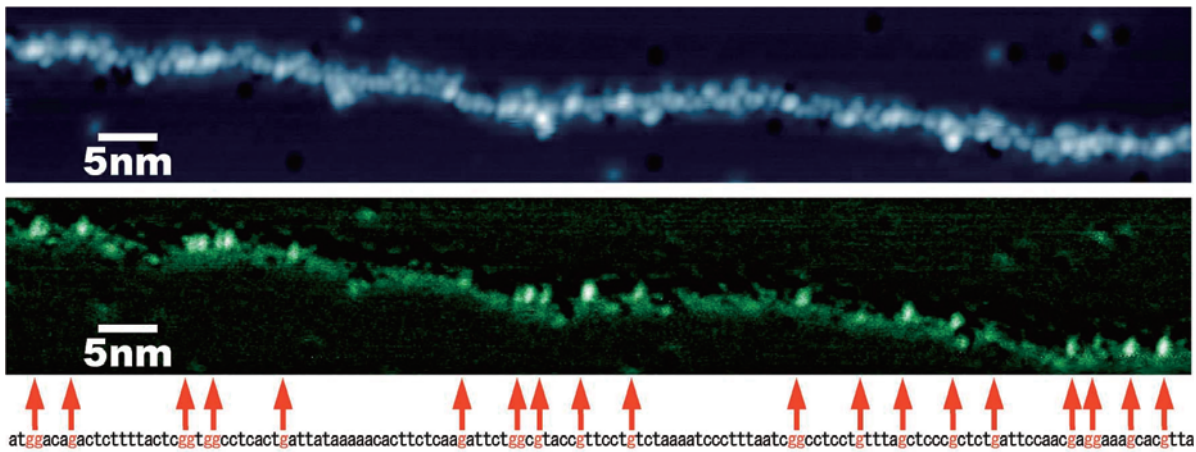


Figure 1
STM(Scanning Tunneling Microscope) imaging of single stranded DNA base molecules.
Red arrows point at guanine sites displayed as white spots.

100,000 dollars due to the vast number of DNA molecules. Genome means all genetic information made by 3 billion DNA bases consisted of four kinds of base molecules.

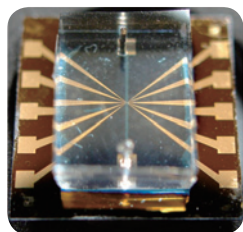
It is said that we are going to enter the age of “1,000 dollars sequencing” per day by 2015. In other words it will take only 100,000 yen or so to identify DNA molecules in a day. This technology will surely help to realize the customized medicine that enables doctors to provide optimized treatment or drugs free of side-effect to each patient. The key technology for this medicine is called as the Gating Nano-pore method that can predict and prevent the incipient of some diseases such as cancer by obtaining the information of DNA base molecules of each person.

One of the results achieved by

Professor *Kawai* is the unprecedented technology for detection and identification of one bio molecule. Guanine base molecules appeared on the cover of Nature Nanotechnology in 2009, that was identified by Professor *Kawai* and his team astonished the world. Individual 10micrometer DNA strand like an earthworm can be seen clearly as in the Figure 1. This is the image of DNA sequence using a scanning tunneling microscope after injecting DNA solution at a glancing angle on to the substrate. Among four bases including adenine, guanine, cytosine and thymine, even the position of guanine which is emphasized as carcinogenic factor has already been identified.

The other result is the development of nano-pore for DNA sequencing with the use of the state-of-the-art Gating

取る技術である。いま、実際にナノポアゲートをつくり、ナノ粒子を検出できているのは大阪大学だけなのだ。「2009年にシリコンナイトライドを材料に作製した30ナノメートルのゲートに電流を通し、金のナノ粒子を確認することができた。(図2)それがさらに進んで、今は1分子を見分けるところまで到達している。現在、ゲート付きナノポアのデモンストレーションを実現できているのは世界で私たちだけ。しかし、まだ1本の長いDNAを見るには至っていない。ただDNAが見えればよいというわけではなく、それをデバイスにするためにはさまざまな周辺技術が必要になる」と川合教授は指摘している。



ゲート付きナノポアシステムの実物サンプル
 Sample of Gating Nanopore System.

従来のDNAシーケンスは長いDNAをバラバラにして、それを増殖させ、旧来のシーケンサーとコンピューターで塩基配列を読み込んでいくという手法がとられていた。そのためにはDNAの前処理、精製、発光させるための化学修飾などさまざまな手間が必要だった。1990年ごろ、全ゲノムのシーケンスは30億ドルをかけて8年を費やした。技法の開発が進み21世紀に入ると、100台の機械を使って3カ月1000万ドル、さ

らに現在の次世代シーケンスは1台の機械で2カ月10万ドルでできるようになった。しかし、それでもこの技術はごく限られた範囲でしか使うことができない。川合教授は「1000ドルシーケンスは基礎技術で、これができなければ広く普及することは望めない。さらに検出速度も重要で、空港などでのウイルス検知にしても現在では30分を切ることができない。所要時間15分以内での検査が求められている」と言う。その壁

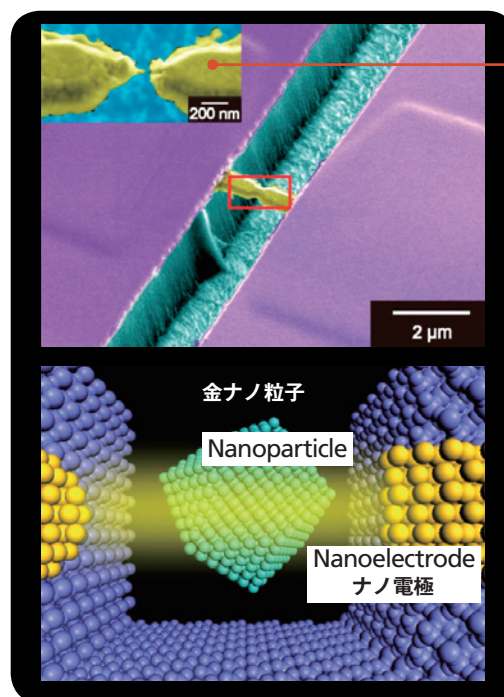


図2
 可変ナノ電極とマイクロ流路による1個の金ナノ粒子の電気的検出

Figure 2
 Electric detection of one gold nanoparticle with the use of variable nano-electrode and microstream.

Nano-pore method that is the target researchers all over the world are now trying to achieve. This technology will turn the base identification into the real devices.

Gating Nano-pore method is the technology to make out the base configuration by putting one DNA strand separated in the pretreatment process through nano-pore attached to the gate electrode. The size of the nano-pore is in the range of 1 billionth of a meter. At present setting nano-pore gate to detect nano particle has been successful only in Osaka University. Professor *Kawai* said that he and his team could identify gold nano particle in 2009 by sending electricity through 30 nanometers gate which was made by silicon nitride.(Fig.2) He also mentioned this technology has furthermore progressed to discriminate

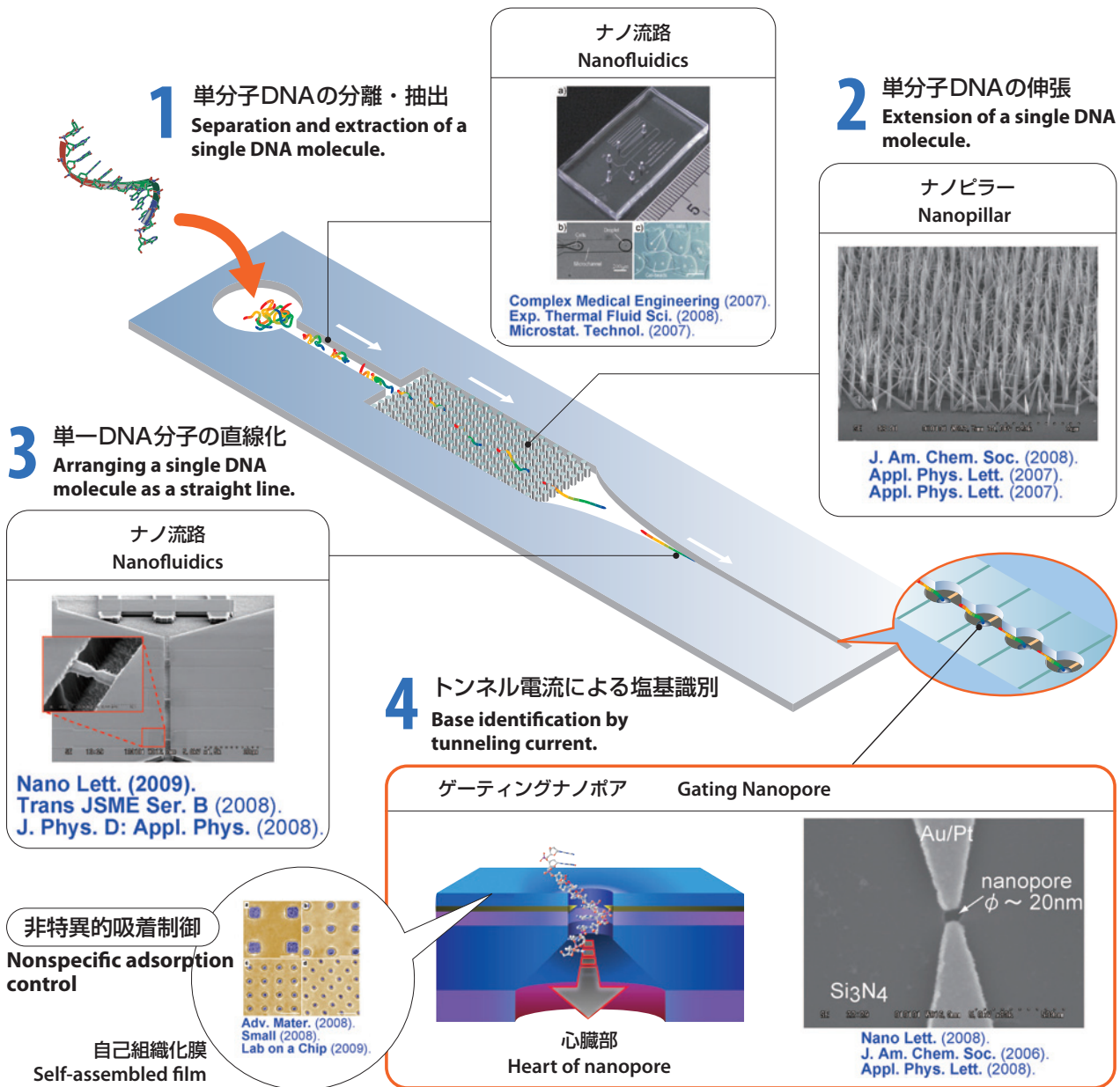
even one molecule now. “We are the only researchers to demonstrate nano-pore with the gate in the world up to now, but we have still not achieved to see a long single DNA yet. I think identifying DNA molecules is not enough. Various peripheral technologies are required to convert it into a device”.

The conventional method for DNA sequencing is to decompose long DNA strands, then amplify them to investigate base arrangement by using traditional sequencer and computers that requires variety of procedures such as pretreatment, purification and some chemical modification for producing fluorescence. Around 1990, all genome sequencing used to take eight years with the cost of 3 billion dollars. But by the early 21 century, thanks to the great development of this kind of method, sequencing

used a hundred machines with the cost of 10 million dollars for three months. Now the next generation sequencing can be managed by one machine for two months at the cost of only 100,000 dollars. Despite such progress this technology can be utilized in a limited area.

“1,000 dollars sequencing is the basic technology which should be managed at the minimum to spread the sequencing method. Detecting speed matters as well. For example virus detection at airports is demanded to finish within fifteen minutes, but at present it takes more than thirty minutes unfortunately” pointed out Professor *Kawai*. In that sense the breakthrough technology must be their Gating Nano-pore method by using the auto detection equipment with 1,000 nano-pores to make sequencing all genome possible only in a day.

図3 ゲーティングナノポア法によるDNAの解析
Figure 3 DNA analysis by Gating Nanopore method



By the way what is the procedure to analyze DNA molecules with the use of the Gating Nano-pore method? As shown in Figure 3, put DNA in the analysis equipment to unravel the entangled DNA strands by passing them through fine hair like bamboo grove. Influenced by electric potential, DNA strands will extend. By placing the extended DNA in nano-pores, base arrangement can be identified. The ultrahigh-speed separation technology is handled by Professor *Yoshinobu Baba* from Nagoya University who has made so far great

achievements in the area of method for separation and analysis of one bio molecule. Taking advantage of the leading technology by Professor *Baba*, who is actually a cosponsor of the program, will surely lead to the development of state-of-the-art nano bio devices.

In this program in addition to Professor *Kawai* and Professor *Baba* who are leaders of the latest technology, five research institutes in universities including Hokkaido, Tohoku, Osaka, Kyushu and Tokyo Institute of Technology are going to collaborate with each other

in the area of basic research as joint research bases for developing material and devices. Furthermore Panasonic, Toray and Toshiba Corporation will try to put this technology to practical use. Also Biochip Consortium, NPO joined by 59 companies, will make efforts to standardize this technology so that it can spread and take root. Faculty of medicine in Osaka and Nagoya University, and faculty of pharmaceutical sciences in Kyoto University are supposed to cooperate in terms of clinical studies and drug discovery research respectively.

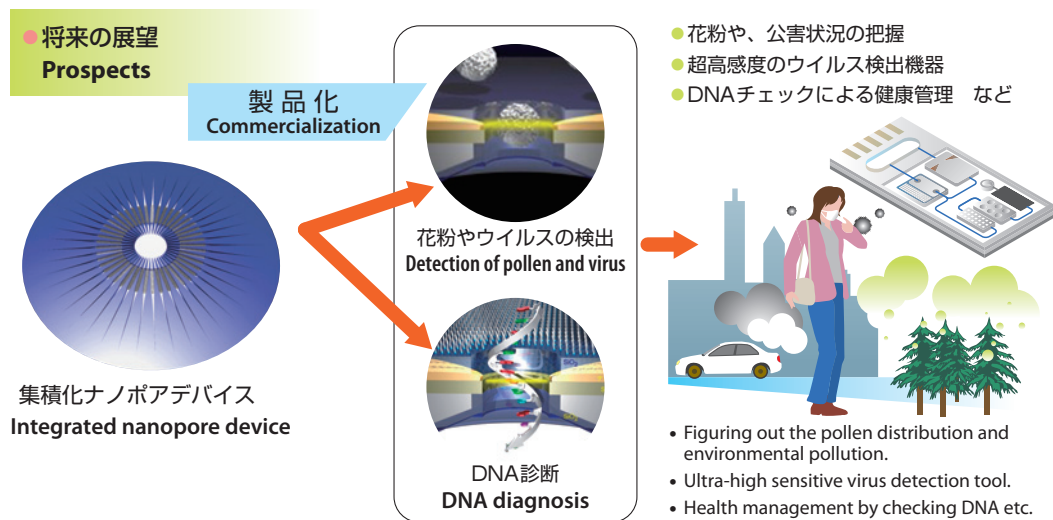
を破るのがナノポアを使ったシーケンスである。1台の自動検出装置の中には1000個のナノポアがあり、1日で全ゲノムのシーケンスが可能になるのだ。

ゲーティングナノポア法によるDNAの解析はどのような手順で進められるのだろうか。まず図3に示すようにDNAを解析装置の中に入れる。最初に複雑に固まったDNAを竹林のような微細な起毛の中をくぐらせて分離していく。さらに電位をかけるとDNAが伸びていく。このDNAの超高速分離技術は1バイオ分子の分離・解析で世界的な成果を上げている名古屋大学の馬場嘉信教授(プログラム共同提案者)が担当する。そして伸びたDNAをナノポアに落とし込んで塩基配列を読み取るという仕組みだ。世界のトップを走る分離と識別の技術を生かして世界に先駆けて革新的なナノバイオデバイスを開発しようとするのがこのプログラムなのだ。

このプログラムでは、世界最先端の技術を持つ川合教授と馬場教授に加え、北海道大、東北大、東京工業大、大阪大、九州大の5大学附置研究所による物質・デバイス共同研究拠点が基礎研究のコラボレーションを展開する。こうした技術を実用化するのはパナソニック、東レ、東芝の3企業だ。また、バイオチップコンソーシアム(59社が加盟する特定非営利活動法人)が技術を根付かせるための標準化に取り組むとともに、大阪大、名古屋大の医学部、京都大薬学部も臨床、創薬面で協力することになっており、いずれもが基礎研究を社会還元につなげるスピードを速める役割を担っている。こうしたオールジャパン体制によって安全で健康な国民生活に役立つナノバイオデバイスを開発し、普及させるという新しい研究開発システムがこのプログラムの全貌だ。

では具体的に大阪大学で行われている基礎研究の出口はどのようなものになるのだ

ろうか。世界で激しい競争となっている単分子高速DNAシーケンシングは先ほども触れたように、遺伝的バックグラウンドの応用によって個別化医療を実現できる。検査時間15分以内のがんマーカー検出DNAチップを搭載した医療機関の診断ツールの開発が視野に入っている。それ以外にも唾液など超低濃度の検体から15分以内でウイルス・病原菌を検出できる技術にも使うことができ、新型インフルエンザに代表されるパンデミック対策やバイオテロ防止のために役立つだろう。また、呼気からウイルスや病原菌を検出する極限ナノバイオチップは家庭でも使える呼気診断センサーへと応用される。花粉の高感度モニターとして公共交通機関内等での花粉分布の把握ときめ細かな予防情報を提供することも可能だ。家庭用電化製品に組み込んで健康管理に役立てることもできるだろうし、さらには食品管理や宇宙開発への応用も期待されている。



All these players take responsibilities to convert the basic research to profits in the society with greater speed. In other words development and dissemination of nano device which is helpful for healthy and safe lives of the people are promoted by Team Japan including influential companies and universities as the new R&D system.

Now what is the specific result of the basic research that is under way in Osaka University? As for the high-speed sequencing of DNA single molecule for which researchers all over the world are

competing fiercely tailor-made medicine, can be realized by applying genetic background knowledge. For example development of a diagnostic tool with DNA chip for medical institutions to detect cancer markers within fifteen minutes is supposed to start soon. In addition this sequencing, method must be effectively used to detect virus or bacteria in less than fifteen minutes from ultralow concentration of specimen like saliva. This is truly useful for taking countermeasures against pandemic such as new influenza and preventing bio

terrorism. Extreme nano biochip which detects virus or bacteria from breath can be applied to breath test sensor, even available for household use. It may also be utilized as a high-sensitive monitor for pollen to grasp the diffusion of pollen in the public transportation system and to provide detailed preventive information as well. Some home electric appliances equipped with the latest nanotechnology can be useful for our health management. It is also expected to apply it to food management as well as space development.

「エレクトロニクス」から 「フォトニクス」へ

光技術「プラズモニクス」でつくる明るい未来

フォトニクス先端融合研究センター

- 総括責任者 鷺田清一 総長
- センター長 河田 聡 工学研究科教授

Evolving from Electronics to **Photonics**

Optical technology “Plasmonics” for a bright future

The Photonics Advanced Research Center

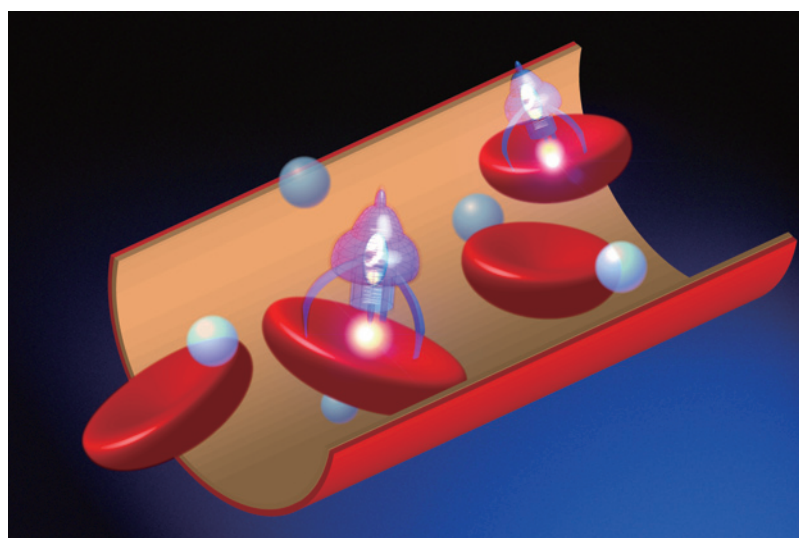
The Program Chair

Kiyokazu Washida — President, Osaka University

The Center Director

Satoshi Kawata — Professor, Graduate School of Engineering

<http://parc.eng.osaka-u.ac.jp/>



光重合法でつくるナノロボットのイメージ。光テクノロジーの融合が進むと、薬を搭載したナノロボットが体の中で副作用のない治療をすることができる。

Image of a nanorobot created using the photopolymerization technique. As the fusion of optical technologies advances, a nanorobot carrying a drug will be able to treat a patient in the body without any adverse reactions.

光は電子とは違い、大気中、水中を容易に伝わるという優れた特性を持つ。しかも安全で人や地球に優しいエネルギーだ。現代の情報社会は、世界中に張り巡らされた光ファイバー網が基盤になっている。情報のみならず医療、科学技術、家電など光の利用は私たちの生活に欠かせない。しかし、私たちの生活を豊かにするうえで今も主役の座を保っているのは約130年前、トーマス・エジソンの発明から始まったエレクトロニクスである。

なぜ電子にはない長所を持つ光がエレクトロニクスを超えられなかったのか。「それは、光は波長が長く、ナノスケールの観察や加工に限界があったから。これが光の産業応用の壁となった」とフォトニクス先端融合研究センター長の河田聡教授は言う。事例を挙げると、光は帯域が広いメリットにより大量のデータを高速に通信できるが、コンピューター内でデータを送るには、半導体チップの回路の幅が光の波長よりもはるかに狭く、光の優れた特性が生かせないのである。河田教授は「その壁を突破し、フォトニクスによって電柱や電線につながっていない社会をつくりたい」と夢を語る。

フォトニクス先端融合研究センターは2007年度の発足時から生物、化学、物理学、数学、機械、電気など多彩な分野にわたる21の研究室と協働機関の企業と一緒に、21世紀の日本を照らす光「フォトニクス」とは何か、産業化の壁をいかに突き抜けるかについて徹底的に議論を重ねてきた。そこで得たのは、ナノ材料と光子(光子)の融合によってイノベーションを起こすという道筋だ。ナノフォトニクス、中でも金属のナノ構造内の自由電子と光子の相互作用が生み出す新たな量子「表面プラズモン・ポラリトン(SPP)」の科学である「プラズモニクス」の研究を進め、医療や情報、環境エネルギー産業などへの応用を図ることを柱としている。

エレクトロニクスが扱うのは電子そのものだが、プラズモニクスが扱うのは「電子の波」だ。電気をよく通す金属は、自由に動き回る電子に満ちた海のようなもので、そこに光を当てると表面に電場を持たないように電子が動き、反射波を生む。ところが金属の表面にナノ構造があると、光の動きが変わって反射してこない。ナノ構造の下の電子を集团的に揺さぶって、電子の波となる。これが金属の中に蓄えられたものがSPPだ。(図1)

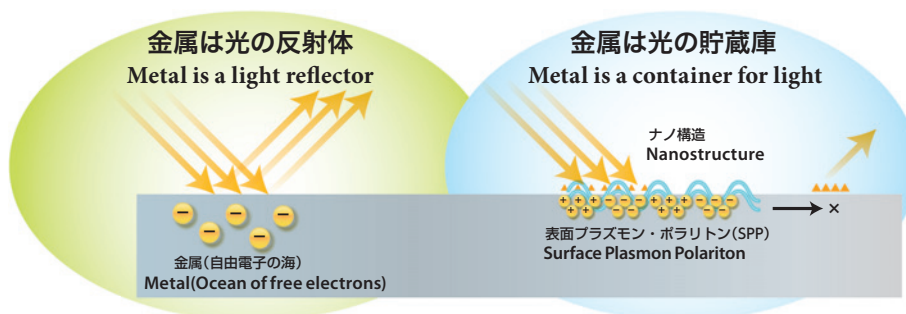


図1
Figure 1

Compared to electrons, photons of light have excellent properties of propagation, moving freely through air and water. Light energy is safe and clean, and it does not harm the environment. Our world is now covered with a network of optical fibres, which has become an essential infrastructure of our modern society. This new growth in light technology is not just confined to the information and communication technologies, but also includes those of medicine, science and technology and home electric appliances. However still to this day, the technical advance to most improve our standard of living in the modern age remains the development of electronics, pioneered by Thomas Edison around 130 years ago.

Is it possible for light, with its unique advantages, to surpass electronics? "There is a limit to the nanometer-scale observation and machining of devices due to the long wavelength of visible

light, and this has become a hindrance to industrial applications of light." says Professor *Satoshi Kawata*, Director of the Photonics Advanced Research Center (PARC). For example, thanks to the broadband nature of light as a carrier for signals, enormous volumes of data can be transmitted at high velocity. However this property cannot be utilized effectively to send and manipulate data within a computer, as the width of the circuit for semiconductor chip is much narrower than the wavelength of light. Professor *Kawata* talks about his dream for the future by saying "We hope to build a society free from utility poles and electric wires by promoting photonics."

PARC was established in the fiscal year 2007 with the cooperation of 21 laboratories as well as collaborating organizations in industry. The research covers a range of disciplines encompassing biology, chemistry, physics, mathematics, mechanical and electrical engineering.

Participating members have carefully discussed the meaning and promise of photonics to Japan in the 21st century, and are developing solutions to the challenges of industrial application. The most promising result of these discussions is a new research direction to develop innovative methods and devices using the fusion of nanomaterials and photonic technology. From this, the research of nanophotonics and especially plasmonics must now begin to advance. Plasmonics is the science of surface plasmon polaritons (SPP), which are quanta created by the interactions between free electrons and photons within a metal nanostructure. The driving force of this research is to seek the application of plasmonics to the medical care, information technology, and renewable energy industries.

While electronics deals with simple electron transport, plasmonics covers the wavelike motion of many electrons. A conductive metal is like an ocean of

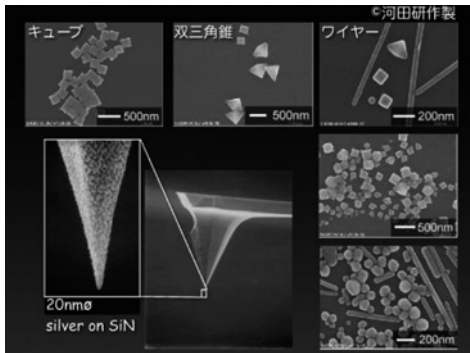
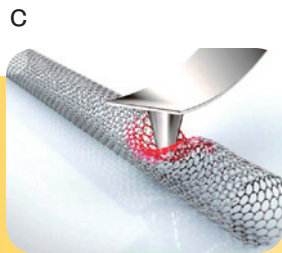
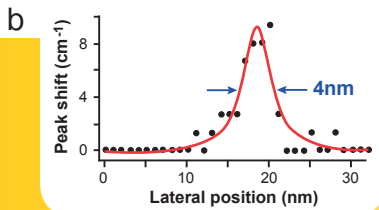
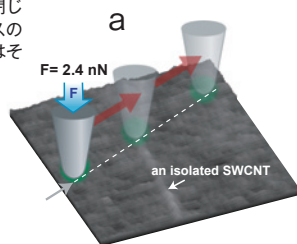


図2 プラズモニクスを生み出すナノ構造
Figure 2 Plasmonic Nanostructures

図3
(a) ナノサイズの針の先に光を照射し、光を閉じ込めてカーボンナノチューブを見る。緑の部分が閉じ込められた光、中央の薄い白い線がカバーガラスの上に載せた1本のカーボンナノチューブ。(b,c)はその解析グラフとイメージ図

Figure 3. (a) Carbon nanotubes observed using nano-sized conical silver-coated tips to confine the incident light. Green colored area is the confined light. Vague white line in the center shows an isolated single-walled carbon nanotube (SWCNT). (b) The line profiles (c) Spatial resolution is enhanced by putting pressure on SWNT with the metallic tips.



DNAの四つの塩基。電子顕微鏡では白黒に見える画像だが、光を使ってDNAの塩基が区別できるような顕微鏡を開発するのもフォトニクスセンターの目標だ。

Four DNA bases, which are only visible in monochrome through an electron microscope. PARC is also working on the development of microscopes capable of distinguishing the bases of DNA according to their colors.

electrons washing around freely. When illuminated with a certain frequency of light, electrons at the metal surface oscillate resonantly with the incident electric field and so do not produce a reflected wave. Collective vibration of the electrons at the surface will produce an electronic wave within the metal, which is called as SPP (Fig.1). A nano-structured geometry can be engineered to affect what incident light will produce an SPP.

Thanks to recent progress in nanotechnology, the energy of SPPs can be accessed. Manipulation of the wavelength of laser light is now experimentally feasible, and so we are now witnessing the birth of new science called plasmonics.

Wavelength is simply a quantitative measure of the color of light, and the use and manipulation of color is a centuries' old tool. Research to examine and utilize the new functions facilitated

by shedding light onto various nano-structured metals is now under way (Fig.2). Here, a single carbon nanotube can be probed with better than 4nm accuracy by light, using nano-sized conical metallic tips. This technology is a new type of microscopy called near-field scanning optical microscopy, which is so accurate that it has the potential to distinguish individual DNA base pairs according to their color (Fig.3).

The "mutual interactive scheme" of the Photonics Center in Osaka University is noteworthy in that it has proven to be very effective. Under this system both universities and collaborating companies have committed laboratories to develop new technology together and integrate basic researches with industrial applications.

The Photonics Center is now working on the development of biosensors for

ナノテクノロジーの進展でSPPのエネルギーは読み出すことができるし、波の長さも思い通りに操れるようになり、プラズモニクスという新しい科学が生まれたのである。

波の長さを調整するだけで、色を変えることもできる。さまざまな構造体の金属を作り、それに光を当てて生み出される機能の研究がすでに進められている。(図2)ナノの先端を持つ金属針を用いると、4ナノメートルのカーボンナノチューブを光で見ることができ。これらの技術を用いると、DNAの個々の塩基を色で識別できる顕微鏡を実現することが出来る。(図3)

そこで注目すべきは、大学、企業に共同研究室を置き、基礎研究からその出口となる産業化までフォトニクス拠点と企業が一体となって開発に取り組む「相互浸透型協働システム」である。

フォトニクス拠点は、SPPを利用し遺伝子や免疫・酵素反応といった生体分子が持つ優れた機能を取り込んだバイオセンサーの開発に取り組んでいる。だが、ナノ金属に光をどう呼び込み、取り出すかなど課題も多い。そこにパートナーとして現れたのが光を回路に導く、つまり光の配線板ともいえる光導波路系チップを開発している日東電工(株)だ。プラズモニクスと光導波路というプラットフォームを融合させたプラズモンチップを用いたバイオセンサーは、非侵襲でウェアラブルな未来の健康測定・管理法として期待を集めている。(図4)

using SPP to monitor important functions of biomolecules such as those of genes, immune and enzyme reactions. However there are still many challenges including how to deliver light into the nano-structured metal and how to work with it. The promising partner to tackle these challenges together is Nitto Denko Corporation. They have developed an optical waveguide chip, which is like an optical circuit board that can bring light onto a circuit. It is predicted that a biosensor using this plasmonic chip, which is the fusion of plasmonics and biotechnology on an optical waveguide platform, could be applied to noninvasive wearable health check tools and other future methods of health management (Fig.4).

The Photonics Center and its partner IDEC Corporation are aiming at making innovations in the markets of "illumina-

フォトニクス拠点とIDEC(株)はナノフォトニクスの技術により「照明」と「セキュリティ」の二つの市場でイノベーションを狙っている。フォトニクス拠点は世界で初めてカドミウムを使わない無毒性の半導体ナノ粒子を開発。この半導体ナノ粒子はサイズや組成を変えるだけで連続的に多彩な色を出すことができる。CO₂削減の掛け声とともに蛍光灯からLED照明へと急速な切り替えを進めているIDECでは、LEDと半導体ナノ粒子を用いた高効率で高機能の新しい照明をフォトニクス拠点とともに開発中だ。(図5) また、この半導体ナノ粒子固有の指紋スペクトルをブランド品や工業製品にコーティングし、世界で約80兆円、日本で10兆円に上るといふ模倣品被害を解決するという壮大な構想もある。

他にもプラズモニクスで細胞内の生体分子を映し出す分析機器(株島津製作所)、デジタル画像情報を大容量、高速で処理できる近接場光アシスト磁気記録再生装置(シャープ(株))、プラズモニクスを導入した高効率有機薄膜太陽電池(株三菱化学科学技術研究センター)——で濃密な共同開発が進められており、イノベーションの芽が膨らんでいる。

こうしたプロジェクトの参加者は毎月拠点に集まって「月例コロキウム」を開催。ゲストを招き、多くの企業、研究室が交り合って議論を重ねている。「1企業と1研究室だけの閉じこもった共同研究ではなく、多くの研究者と企業がn対mの関係で、フォトニ

クス拠点全体を自由に行き来し、必要に応じて有機的に絡んでいけるのがうれしい」というのは企業担当者の感想だ。河田教授は「プラズモニクスがブレイクスルーへの柱となるが、この拠点には他にもイノベーションの可能性を秘めている研究が多い。科学というのはある日突然、芽が出るもの。その芽を注意深く見守って育て続けていきたい」と話している。

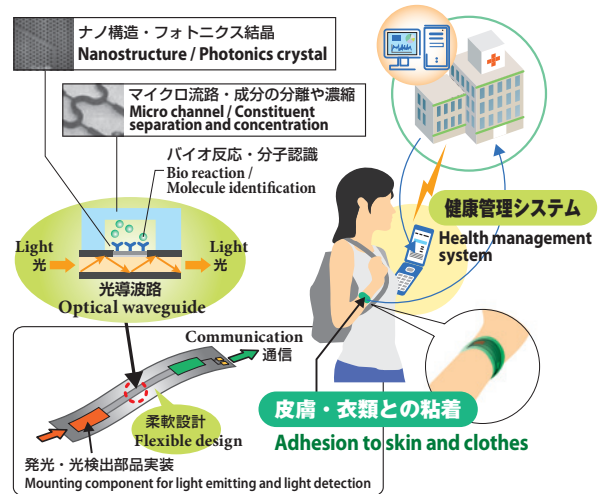


図4 プラズモニクスを用いた光導波路バイオセンサーへの期待
Figure 4 Artists' impression of an optical waveguide biosensor using plasmonics.

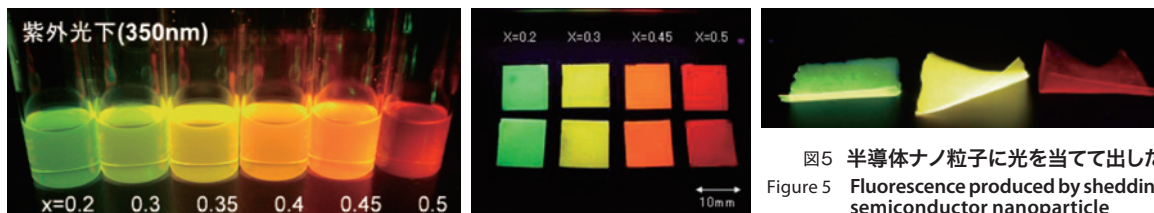


図5 半導体ナノ粒子に光を当てて出した蛍光
Figure 5 Fluorescence produced by shedding light onto semiconductor nanoparticle

tion" and "security" by taking advantage of nanophotonic technology. The Photonics Center has been able to develop nontoxic semiconductor nanoparticles without using cadmium for the first time in the world. These semiconductor nanoparticles are able to produce a variety of colors of continuous light by changing only their size and composition. While efforts across the world are already underway to rapidly switch from fluorescent light to LED lighting under the slogan of cutting CO₂ emissions, IDEC Corporation is in the process of developing more highly effective and sophisticated lighting technology by the use of LED and semiconductor nanoparticles, together in collaboration with the Photonics Center (Fig.5). Additionally in their vision of a future with improved security of intellectual property, brand-name goods and industrial products

could be coated with semiconductor nanoparticles as a specific fingerprint, so that the huge losses by counterfeit brand-name items can be eliminated, saving companies about 80 trillion yen globally (10 trillion yen in Japan alone).

In addition many other innovations are growing supported by joint development projects including that of building next generation analytical instruments for displaying biomolecules in cells using plasmonics with Shimadzu Corporation, near-field laser-assisted magnetic recording systems that can process high-capacity digital image data at high speed with Sharp Corporation and highly-efficient organic thin film solar cell based on plasmonics with Mitsubishi Chemical Group Science and Technology Research Center, Inc.

Participants of these projects gather at the Photonics Center every month to

hold a "Monthly Colloquium" and invite various guest speakers to have discussions among the many companies and laboratories. "Our joint research is not confined to the closed relations between one company and one laboratory. Many researchers and companies are freely involved in joint projects throughout the Center. We are pleased to bring together researchers with various backgrounds for casual discussion" a company leader in the Center is quoted as saying. "Plasmonics surely plays a major role for the breakthrough technology, but many other research projects in this Center have also great potentialities of innovation" says Professor Kawata. "It could be that overnight success occurs in any scientific field. I am glad to keep a watch on such young buds of these innovative projects and hope to nurture them carefully to success."



**Global
COE**

Center of Excellence

**Program
2007**

グローバルCOE
プログラム
(平成19年度採択分)

生命のかたちと 働きをデザイン

高いレベルの異分野融合を実現

高次生命機能システムのダイナミクス

● 拠点リーダー 柳田敏雄 生命機能研究科教授

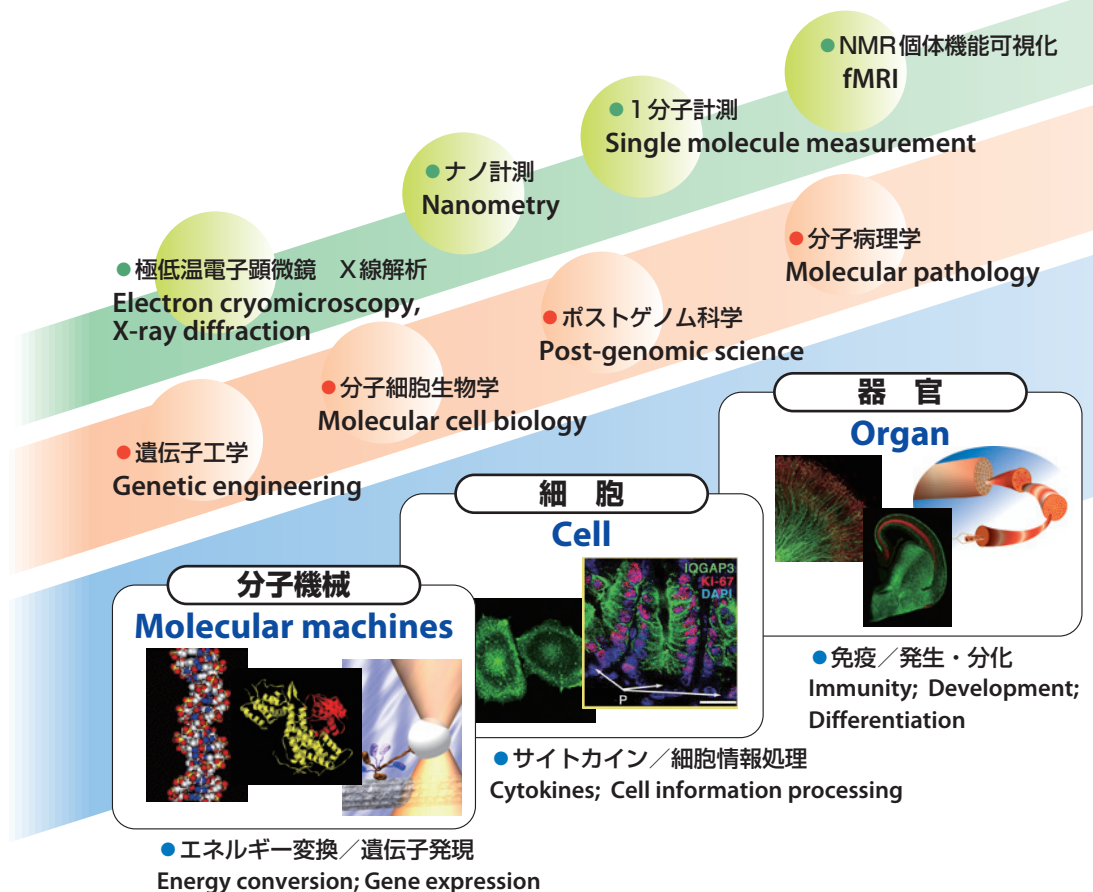
A multidisciplinary approach to designing **biological phenomena**

System Dynamics of Biological Function

Program Leader

Toshio Yanagida — Professor, Graduate School of Frontier Biosciences,
System Dynamics of Biological Functions Project

<http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/gcoe/>

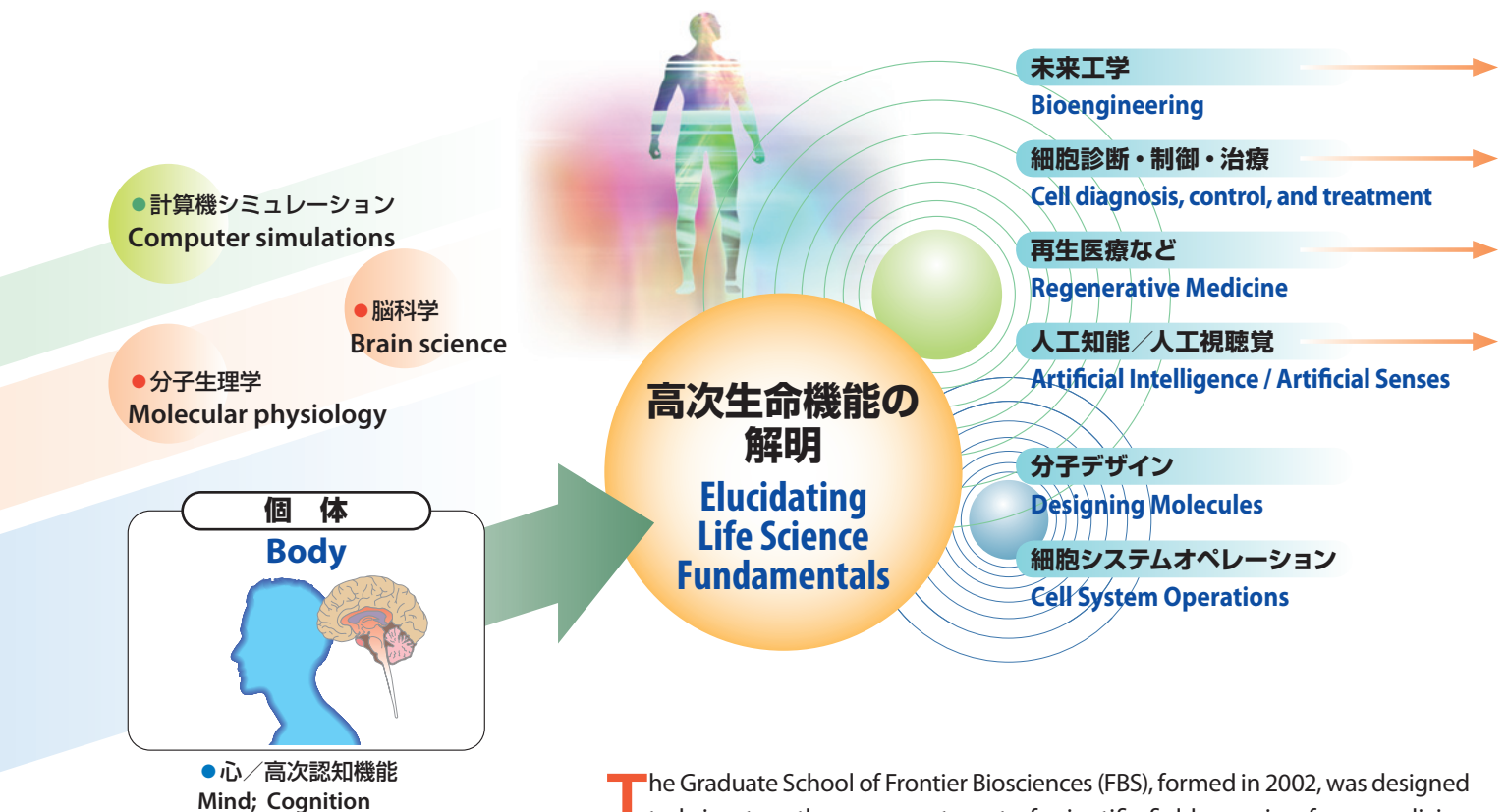


2002年に誕生した「生命機能研究科」は、医学系、理学、工学、基礎工学の各研究科、細胞生体工学センター、微生物病研究所、蛋白質研究所からさまざまな分野で業績をあげている研究者を一堂に集めた。生命機能を融合研究し、生命科学の新たな波を大阪大学でつくろうという試みだった。研究科発足の年から始まった21世紀COE「生体システムのダイナミクス」は遺伝子工学から脳科学まで、生命システムに学び生命機能のダイナミクスを理解するという取り組みで、5年間に生命系と物理工学系のトップジャーナルが混在するという、高いレベルでの異分野融合が進んでいる。

それを引き継いだグローバルCOEでは、個体発生、免疫、脳機能など高次の生命機能をシステムとして理解する。拠点長の柳田敏雄教授は「高次の生命機能は解明が極めて難しい。そこには、遠大な道が果てしなく広がり延びている。この拠点では、目を転じて私たちがとらえることができた高次生命機能をどうデザインし、展開できるかということを考える」と説明する。

それは例えば、細胞システムを操作する、デザインするという研究に発展させる。生命科学が明らかにしてきた生体分子の数々、それらが活動する細胞内の機能やさまざまな細胞の特性——これらのダイナミックな

システムをエンジニアリングと医学につなげる明確な意思を持つことだ。生命機能というと、どうしても医学へのつながりを考えがちになる。もちろん治療法、薬として具体的なデザインを打ち出すのは拠点の大きな目的だ。しかし一方には、生命機能の持つユニークな性質を抽出して、新しいものづくりを発展させるという視点がある。生体ゆらぎの工学的利用は、連綿と続く融合研究から生まれたコンセプトの提案である。また、生命機能研究科で開発された「1分子イメージング」や「個体イメージング」を使って、時々刻々と変化する免疫システムを見極めようとする免疫学フロンティア



The Graduate School of Frontier Biosciences (FBS), formed in 2002, was designed to bring together an assortment of scientific fields ranging from medicine to engineering for the purpose of uncovering the underlying basis of all living systems. Its inauguration was in response to a five year 21st Century COE award for the study of Biological Systems and Dynamics, which has investigated diverse living systems like genes and the brain, and has produced top-level publications and world class research.

This Global COE (GCOE) program is an expansion of that work. The program's head, Prof. *Toshio Yanagida*, describes the challenges ahead. "Understanding how living systems function is an extremely difficult, endless task. We must be open to new approaches to better understand how these systems operate, which will then lead to new and improved applications".

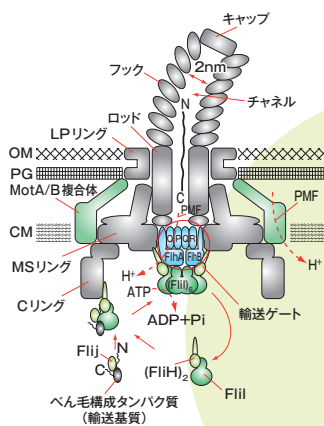
研究センターの取り組みにも大きくかかわっている。

「高次生命機能の解明はまさに人類最後のフロンティアと言っても過言ではない。特に脳には未解明なところが余りに多い。ならば、逆に脳の要素機能を構成論的につくってみる。例えば、脳はノイズを完全に遮断するには使うエネルギーが少なすぎるので、それを巧く利用して働いていると考えられる。では、実際にノイズを利用して働くプロセッサーで情報処理するようなものをつくってみて、同じ理屈が証明できれば、機

能の説明がつかし、理解もできる。頭を開いて見るのではなく、モデルを立て、人工物でつくり、脳のエッセンスは何かを調べて、また生命機能に戻ると、この分子はどういう働きをしているのか、タンパク質の伝達がどういう意味をもっているのかということが見えてくることもある」と柳田教授は言う。

脳の話が続けると、動物がものを見るのは、目の働きだけではなく、大部分は脳の働きによるものだ。近くにあるものと遠くにあるものを識別できるのは、両目から入っ

最新の研究発表
Research Highlights



未来工学
Bioengineering

べん毛タンパク質輸送の仕組み

ATPaseであるFliH量体リングとプロトン駆動力をエネルギー源とする輸送ゲート複合体の協力によってべん毛タンパク質は先端へ輸送され組み込まれる。

Protein subunits of the bacterial flagellum are transported to the distal end for self-assembly by using the energy from ATP hydrolysis by the FliH ring and proton motive force used by the export gate.

人工筋肉/ソフトナノデバイス
Artificial Muscle / Soft nanodevices

One focal point at the FBS is new designs for operating and controlling cell systems. This requires researching the function and activity of a multitude of molecules in order to characterize the behavior of a given cell, which can then lead to new medical technologies, especially diagnostic and treatment systems. However, the attitude at the FBS is that to make these new designs, novel strategies are needed. As such, the FBS is a hub for advanced imaging studies ranging from the single molecule to the entire organism. This has led to various strong collaborations like the one with the Osaka University Immunology Frontier Research Center, which aims to be the international leader in immunology by incorporating imaging and informatics to the field.

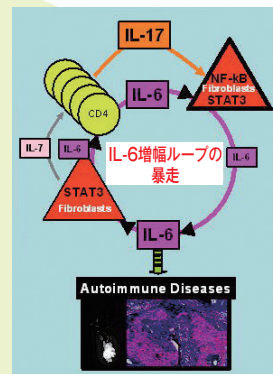
Similar efforts are being applied to understanding how

細胞診断・制御・治療
Cell diagnosis, control, and treatment

IL-6 増幅ループの暴走

繊維芽細胞に存在するIL-6増幅ループが、免疫細胞の出すIL-17依存性に暴走すると自己免疫疾患が発症する。

Interleukin-17 promotes autoimmunity by triggering a positive feedback loop via Interleukin-6 induction.



リウマチ治療/サイトカイン制御
Rheumatoid treatment / Cytokine regulation

the brain computes information. Prof. Yanagida explains, "It is no exaggeration to claim that understanding how life functions is one of science's great challenges, with arguably no better example than the challenges behind understanding the brain. This is especially true when trying to clarify how the brain can conduct complicated tasks despite requiring relatively little energy. One reason for this is that the brain uses the innate noise from a signal. Understanding how it does this offers the potential to design more energy efficient devices. From there, an even greater ambition is to understand how individual neurons are able to integrate this enormous amount of information that forms the basis of our mind".

In relation to this point, the FBS has a number of researchers

た情報をもとに、脳が複雑な計算を瞬時に
行うことによる。この拠点のアプローチの
視点で言うと、まず実際の神経細胞の性質
を調べ、それに基づくシミュレーションを
行う。そのためには脳の処理機能に着目し
た予測が必要で、実験と理論のコラボレー
ションによって機能の解明に迫る。脳と目
だけではなく、耳も同じことであり、そう
した研究の先に見据えているものは人工視
聴覚の実現である。ともすれば、「脳の老
化」も制御可能になるかもしれない。

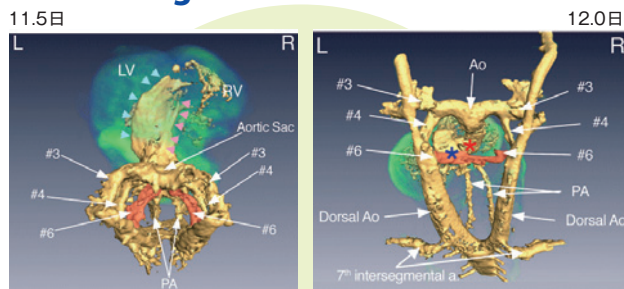
高次生命機能のオペレーションを可能に

するためには、情報科学・生体高次機能イ
メージング技術・システムダイナミクス解
析技術・ナノ計測技術・計算科学・複雑系
理論などとさらなる融合を図っての先端
的な技術開発が不可欠となる。一般にシミュ
レーションは盛んに行われている。ところ
が、コンセプトまではなかなか至らない。基
本コンセプトをものづくりに生かすところ
まで到達するものはさらに珍しい。物理、制
御、複雑な系の理解を治療や薬、ものづく
りにつなげる発想を支える基盤となるのが
このグローバルCOEだ。

この拠点が大きなプロジェクトにつな
がるコンセプトを出し続けていくためには人
材育成も欠かせない。「異分野融合」と「国
際交流・コミュニケーション」をキーワ
ードにさまざまな取り組みを進めている。100
人規模の学生・若手研究者がそれぞれの研
究内容・手法を紹介し、議論しながら異分
野融合の可能性を模索する2泊3日の「研究
交流合宿」を毎年開催。国際会議への参加
支援や国際サマースクールも実施し、これ
を契機に生命機能研究科に入学した留學生
もいる。

再生医療など

Regenerative Medicine



左心室から出る
流出路
(将来の大動脈)

右心室から出る
流出路
(将来の肺動脈)

螺旋形

回転(90°よりを戻す)

第6鯉弓動脈は、発生が進むと右側が細くなり、やがて消滅する。左右の第6鯉弓動脈を赤色で示している。第6鯉弓動脈は、受精後11.5日のマウス胚では左右対称だが、12.0日では右側が細くなっていることに注目。

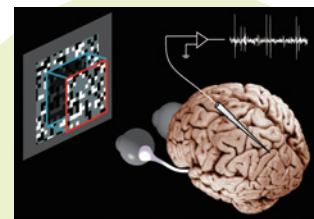
Normal development in the 6th branch arch artery is seen to be symmetrical on the left and right sides in Day 11.5 mouse embryos, but by Day 12.0 the right side has significantly narrowed in size. The mechanism driving this asymmetry could lead to manipulating cells for treatment in the future.

器官形成制御

Developmental control

人工知能／人工視聴覚

Artificial Intelligence / Artificial Senses



大脳皮質における視覚情報処理の解明

ものを見ているときの脳の視覚神経細胞の電気活動を調べることで、見る仕組みを明らかにしていくことができる。

Understanding how electric energy transmits across the optic nerve to generate vision in the cerebral cortex will prove instrumental in the design of artificial visual processing.

ヒト脳認知機能

Human cognition

investigating vision. When seeing an image, we are actually less dependent on our eyes than our brain, which is responsible for computing and deciphering the eye input. For example, to discriminate between near and far objects, we need two eyes to receive information that is then processed by the brain. To unravel this complicated system, the FBS has an assortment of projects that combine experimentalists and theoreticians. Similar strategies are also being applied to hearing, with an aim of providing the building blocks for artificial devices that can mimic these senses.

In general, the design of devices that can control biological systems requires combining and improving an assortment of quantitative approaches including cell imaging, system dynamics analysis techniques, and nanoscale measurements

techniques. Often, this means large-scale simulations. However, these simulations do not always translate into a model that offers a fundamental description of how these systems function. By being more aggressive in its collaborative work, the FBS intends to be different on this matter.

Lastly, and perhaps most important, is the need to train the necessary talent. This means creating an education environment that is interdisciplinary and international. Along with providing state of the art laboratories, the FBS GCOE offers students ample opportunities to interact with internal and external researchers including funding for travel to international conferences and an annual retreat where young researchers and graduate students from the FBS and other institutes gather to discuss their work.



**Global
COE**

Center of Excellence

**Program
2007**

グローバルCOE
プログラム
(平成19年度採択分)

化学が 地球を救う

温暖化問題を根本解決する人工光合成



生命環境化学グローバル教育研究拠点

●拠点リーダー 福住俊一 工学研究科教授

Save the Earth by Bio-Environmental Chemistry

Fundamental solution for global warming lies in
artificial photosynthesis

Global Education and Research Center for
Bio-Environmental Chemistry

Program Leader

Shunichi Fukuzumi — Professor, Graduate School of Engineering

http://www.gcoebec-osaka-u.jp/index_j.php



大阪大学は2008年12月8日から3日間、米国サンフランシスコでカリフォルニア工科大学(Caltech)、マサチューセッツ工科大学(MIT)、カリフォルニア大バークレー校(Berkeley)の地球環境エネルギーに関する大型プロジェクト研究者を招聘し「生命環境化学」をテーマにフォーラムを開催した。年1回海外で大阪大学が開いている国際フォーラムの2008年版である。その中心となったのは、すべてこの拠点の研究者だ。

米国には地球環境エネルギーに関する大型プロジェクトが二つある。まずCaltechとMITの連携による太陽電池を含めた太陽

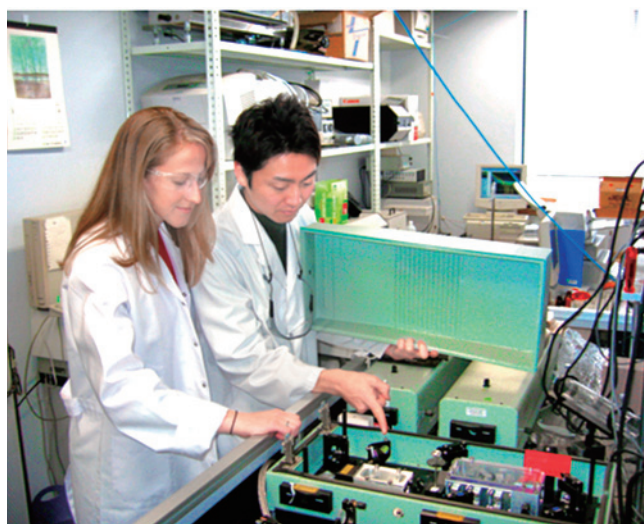
エネルギー利用と人工光合成開発「Powering the Planet」。もう一つは、Berkeleyの太陽光エネルギー活用技術開発プロジェクト「Helios」。この米国の二大プロジェクトとグローバルCOE拠点の合体が今回のフォーラムの大きな目的だ。太陽エネルギー研究開発を次の世代へ継承する意味も込めている。

「人工光合成研究は日本が世界のトップレベル。米国政府は地球温暖化には冷淡だが、カリフォルニアは熱心だ。大阪大学がカリフォルニアでこのフォーラムを開いたのは、Caltech、MIT、Berkeleyが日本と共同でさらに研究を発展させること、米政府への働き

かけという二つの意義がある。大阪大学が間に入ってまとめる」と拠点リーダーの福住俊一教授は意気込む。

この拠点は「エネルギー環境化学」「物質変換環境化学」「分子情報化学」「生命分子化学」「環境生物化学」の5分野で形成している。参画するのは工学、理学、基礎工学の各研究科と太陽エネルギー化学研究センターに所属する29研究グループで、国内のGCOEでも最大規模だ。研究は「太陽エネルギーの利用」に焦点を絞り、化学の知恵を結集する。

拠点の最大の目標は、「人工光合成によっ



人工光合分子の光ダイナミクス測定

Measuring the photodynamics of an artificial photosynthetic compound.

The rapid consumption of fossil fuel has caused unacceptable environmental problems such as the greenhouse effect, which could lead to disastrous climatic consequences. Thus, renewable and clean energy resources are required in order to solve global energy and environmental problems, in which chemistry is expected to play a crucial role. At Osaka University, we have been tackling the underlying issues of these problems through our 21st century COE program that started in 2002.

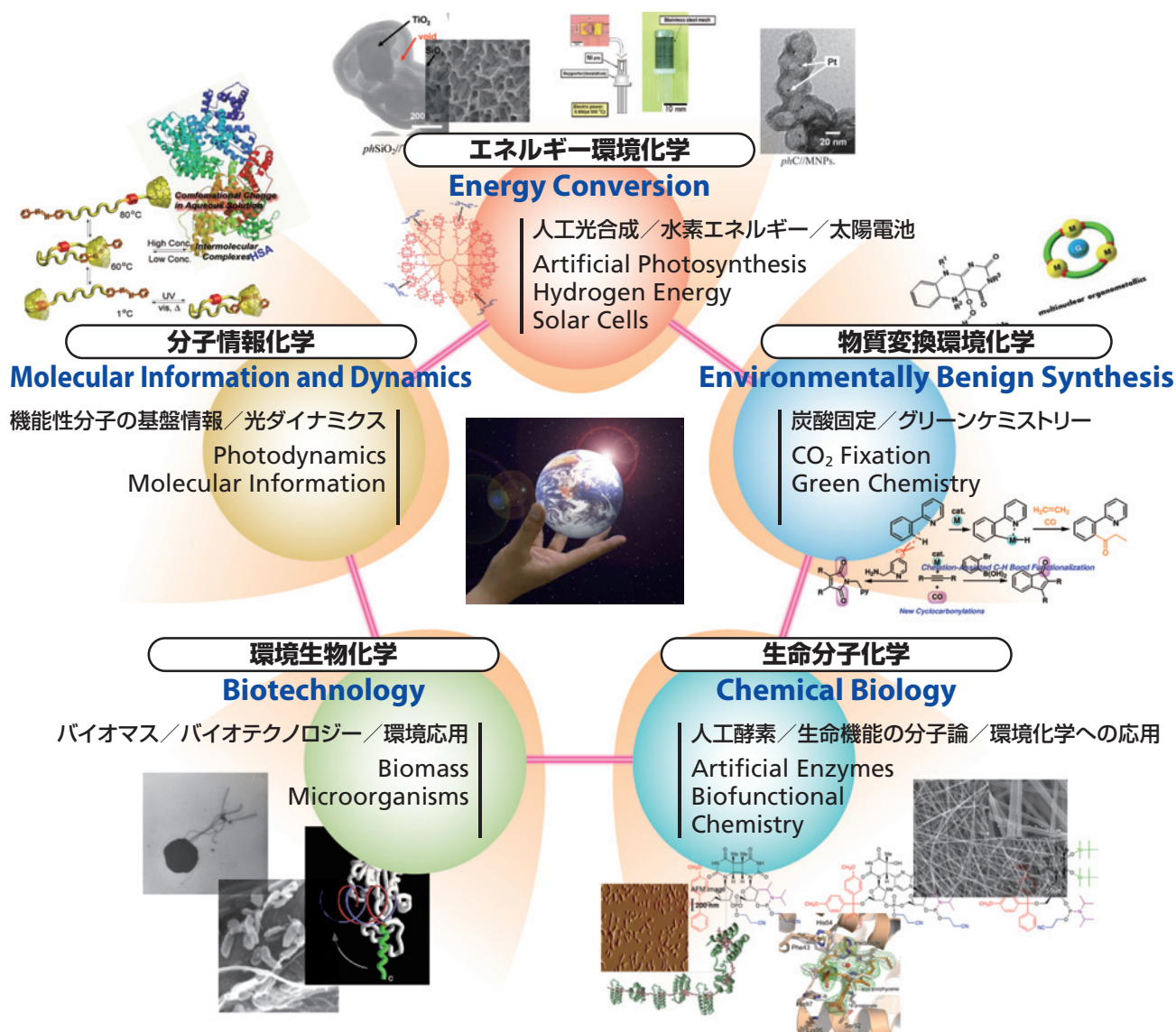
We are now extending and expanding the previous 21st century COE program into a Global COE program by establishing the Global Education and Research Center for Bio-Environmental Chemistry at Osaka University starting in 2007. The specific objective of this center is to establish a new integrated framework comprising not only pure and applied chemistry but also biotechnology with the focus on energy conversion, environmentally benign synthesis, molecular information and dynamics, chemical biology and biotechnology. We plan to achieve significant progress in



擬似太陽光を使って作製した太陽電池の変換効率を測定

Measuring the energy conversion efficiency of solar cell using the solar simulator.

融合する五つの化学分野
Five Research Groups



these areas, which are vital for sustainability, by promoting cooperation and by integrating the underpinning science. In short this is the "Save the Earth" project based on global research and education of Bio-Environmental Chemistry to slow and ultimately reverse the deterioration of our planet.

The research activities required for our "Save the Earth" project span not only the full range of traditional chemistry disciplines but also its emerging interfaces with biology, engineering and biotechnology within three different Schools of Science, Engineering Science and Engineering

at Osaka University. Thus, the Global Education and Research Center for Bio-Environmental Chemistry at Osaka University consists of five research groups with the targets of the research objects:

- (1) Energy Conversion,
- (2) Environmentally Benign Synthesis,
- (3) Molecular Information and Dynamics,
- (4) Chemical Biology, and
- (5) Biotechnology

We have started new educational programs at Global

て、海水から水素を取り出し、水素エネルギー社会を構築すること」だ。しかし、それにはまだ時間がかかる。近い目標として、製造過程で高いエネルギーを使うシリコン太陽電池に代わる新型有機太陽電池の開発や、グリーンケミストリーといわれる、環境に悪影響を及ぼす化学物質の発生・開発を食い止める取り組みも同時に進めている。

「実は日本には最大の資源がある。日本は面積こそ小さいが、海を含めたテリトリーの大きさでは世界6位。海水から水素が取れば、資源大国だ」と福住教授は主張する。従来から「エネルギー環境化学分野」で取り組んでいる「太陽エネルギーを使い、自然に負荷をかけず、人工光合成システムを分子のエネルギーでつくり出す」ためには、他の4分野との融合がなければ実現できない。

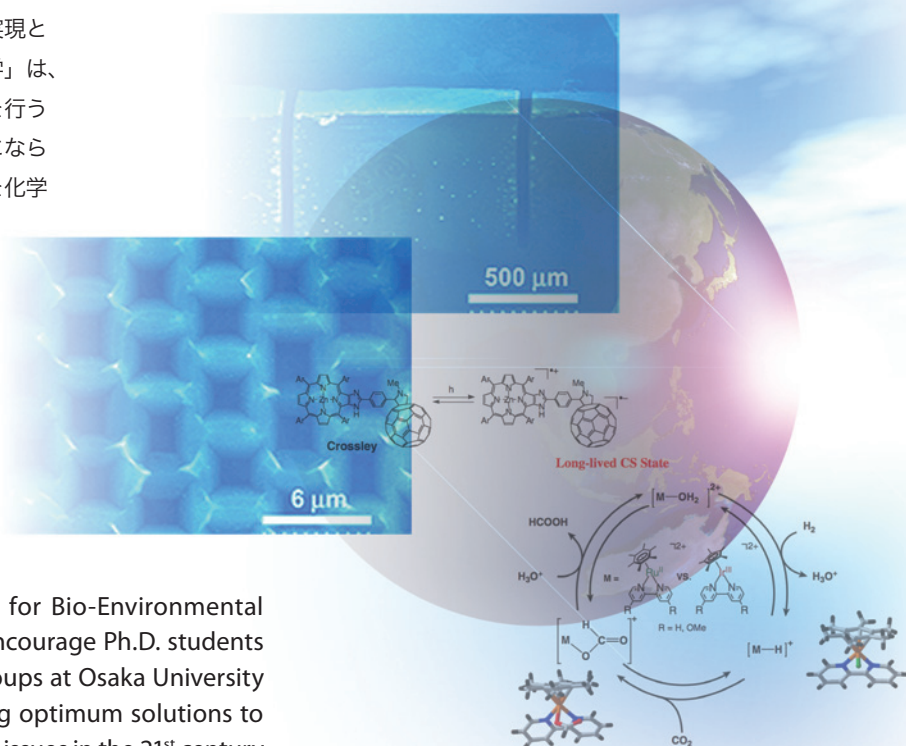
まず水を酸素と水素に分解するためには、さまざまな新しい化合物が必要になる。その化合物の合成には「物質変換環境化学」との連携が欠かせない。この分野はアンモニア工業に代表される高温・高圧プロセスを改善するグリーンケミストリーの実現という役割も担っている。「分子情報化学」は、分子情報の理論解明、反応解析などを行う分野だ。一方で、光合成細菌や植物にない分子をうまく生かすための仕組みを化学

の立場から追究するのが「生命分子化学」である。「環境生物化学」は、生命そのものを扱う。高温・低温の極限状態に生きる菌の環境に適応するタンパク質の機能に着目するなど、環境に負荷のかからない触媒や材料の開発につながる研究を進めている。

「人工光合成の理論的解明は進んでいる。水から電子とプロトンを取り出せば水素になる。光合成反応中心の構造はすでに解明されている。そのダイナミクスもわかっている。それを人工的に再現するための分子をつくれれば、同じことができる。実際人工光合成の要となる反応中心のモデルで水の酸化と還元を同時にすることが可能な分子の開発にも成功している。水を還元する触媒はすでにある。ただ、水を酸化する触媒の開発がまだ十分にできていない」と福住教授は言う。この触媒の開発と、それを組み合わせた光触媒システム全体の完成

がこの拠点のみならず世界の人工光合成研究者の課題なのだ。

一方、太陽電池については、まず触媒を利用した化学的な手法によって結晶シリコン太陽電池のエネルギー変換効率を上げる、シリコンウエハのスライシング技術を開発しコスト削減を図る研究がある。新型開発では、将来の太陽電池の本命といわれる銅、インジウム、ガリウム、セレンで構成するCIGS薄膜太陽電池がある。希少金属を使うというこの太陽電池が持つ欠点を克服するため、電気化学的手法による省資源型のCIGS薄膜形成に挑んでいる。低コスト、製造が容易、軽量など多くの特長を持つ有機太陽電池はエネルギー変換効率を上げるのが課題だ。拠点では、構造制御された異種材料の界面を形成することによって高効率化できることを解明した。さらに有機/有機界面構造の制御手法開発を進めている。



Education and Research Center for Bio-Environmental Chemistry, which support and encourage Ph.D. students in our chemistry and biology groups at Osaka University to be actively engaged in finding optimum solutions to global energy and environmental issues in the 21st century through international collaborations.

This program will take advantage of the rich array of scientific accomplishments and experiences acquired through graduate courses taught in English as well as through the world-class cutting-edge research activities.

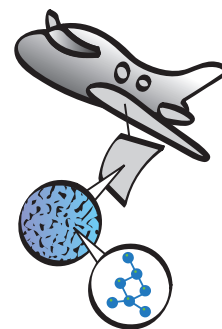


**Global
COE**
Center of Excellence
Program
2007

グローバルCOE
プログラム
(平成19年度採択分)

材料が 切り開く未来

人体から宇宙まで



構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点

●拠点リーダー 掛下知行 工学研究科教授

Materials bringing us the future

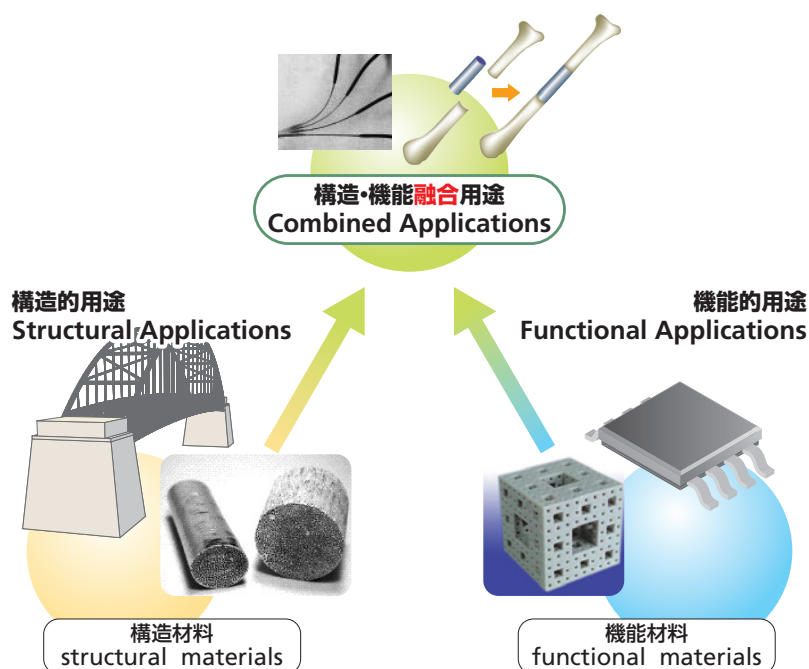
From the human body to the universe

Center of Excellence for Advanced Structural and
Functional Materials Design

Program Leader

Tomoyuki Kakeshita — Professor, Graduate School of Engineering

<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/gcoe/>



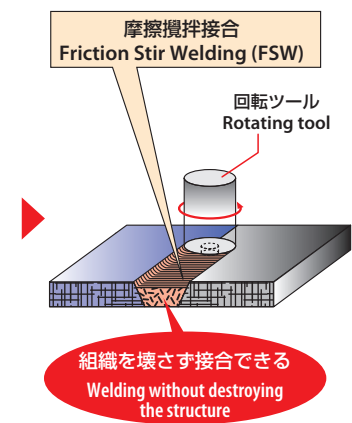
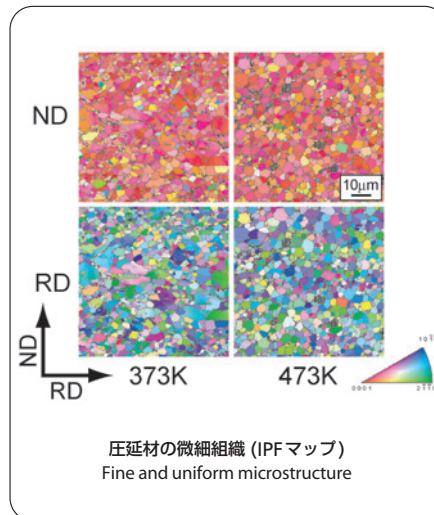
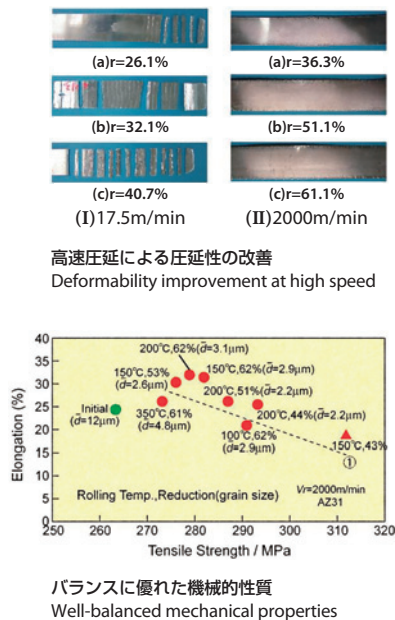
新しい概念の材料の創出と、デザイン・構造化手法の確立
Creation of Materials with New Concept / Establishment of
New Design and Structuring Method

私たちの生活に欠かせない「モノ」はすべて材料でできている。巨大な橋やビル、乗り物などの骨格を成す「構造材」、一方、IT社会を支える半導体シリコンなどは「機能材」と呼ばれる。さらに今では構造と機能を併せ持つ材料が開発されている。では、材料をデザインするとはどういうことなのか。「今の材料づくりは錬金術ではない、ということ。例えば、刀鍛冶は材料である鋼を熱で折り曲げては鍛え、鍛接を繰り返して優れた刀をつくり上げる。経験と勘のなせる技だ。材料デザインは、なぜそれが名刀であるかを説明できなければならない。鍛

接は鉄の結晶粒を徐々に小さくし、強度を増す作業。波紋は炭素が微妙に緩やかに傾斜して入っている、という具合に科学的にそれを説明し、材料の組織を制御して、使えるものをつくれるようになること。組織制御が材料デザインのキーワードだ」と拠点リーダーの掛下知行教授は解説する。材料デザインによって生まれた近未来の構造材がある。マグネシウム合金は、軽くて強い特性を活かして携帯電話やパソコンのケースとしての利用が増えている。しかしながら、もろくて加工することが難しい材料がある。したがって、これまでは溶け

たマグネシウム合金を型に流し込んで固めることで部材が製造されていた。ところが、マグネシウム合金を非常に速い速度で加工すると、もろさを示すことなく大きな加工が可能であることがこの拠点で発見された。金属は、高速で加工するほどもろくなるという常識を覆す発見である。この方法は板材を高速で大量に製造できることに加えて、製造された材料の組織も微細で、機械的性質にも優れていることもまた明らかになった。この方法で製造されたマグネシウム合金が自動車などに使用され、燃費やCO₂排出の削減に貢献する日は近い。

高速強圧延による微細粒マグネシウム合金 Fine Microstructure by Heavy Draught High-Speed Rolling



Everything that we use in our daily life is made of materials. There are structural materials used to create the frames of huge bridges, buildings and vehicles, and functional materials, such as the silicon of semiconductors used to build our IT society. New materials are also being developed that have both structural and functional characteristics simultaneously. So what exactly do we mean by Materials Design?

Program Leader, *Tomoyuki Kakeshita*, explains it like this: “Current materials design is not alchemy. As an example, a sword smith forges and shapes his material, steel, using heat, and repeatedly

tempers it to create a beautiful blade. It is a skill built on experience and intuition. Materials design explains what makes that sword so special. The hammering and folding gradually makes the crystal grain of the steel smaller, increasing its strength. We explain scientifically how the ripples are caused by the slow and delicate, graduated penetration of the carbon, controlling the material structure to create a useful tool. Structural control is a key concept in materials design.”

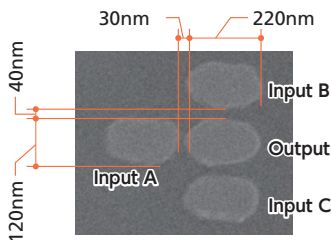
The Center is proud to have produced new structural materials in the materials design field. Magnesium alloys are light and strong so they are used in mobile

phones or laptop PCs. However they are formed only by casting due to its brittleness. We have revealed that magnesium alloys become ductile at high speed deformation. The phenomenon is contrary to the common knowledge that metals become brittle at high speed. This method enables mass production of magnesium alloy sheets. In addition, the processed magnesium shows finer microstructure and well-balanced mechanical properties. The days when these materials will be used in automobiles to improve fuel consumption and CO₂ emission are fast approaching.

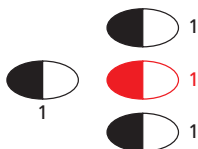
Another revolutionary development is

新しいコンセプトでの次世代メモリー

Magnetic memory with new concept



磁化の方向として情報を記録、磁性体間の相互作用により演算を実行できる
Magnetization direction is referred as digital information and magnetic interaction between magnets executes logical operation.



記録と論理演算を1つの素子で実行できる

Both memory and logical operation are assumed in a single cell.

さらに画期的なことに、構造材を溶融せずに接合する摩擦攪拌接合という方法も研究している。接合する材料同士を機械的に混ぜ合わせる手法で、金属の組織を壊さず、強度と粘りを保ったまま完全に一体化できる技術だ。材料を実際の社会に使えるようにするプロセス、つまり接合技術などの基盤テクノロジー開発もこの拠点のターゲットである。

マクロな構造材に続いて、次はミクロな機能材、次世代のメモリーのデザインを紹介しよう。メモリーと演算は、通常異なる素子で実行される。演算結果のメモリー素子への転送に時間を要し、動作速度が低下する原因である。拠点では、ナノサイズの磁性体を用いて演算も可能なメモリー、ロジック・イン・メモリーを開発している。磁性体の磁化方向をメモリーの0・1に対応させ、磁性体間の相互作用で演算を実行する。磁性体を利用することで待機時に電力を必要としないことから、消費電力も低減される。4つの磁性体をT字型に配置させることが秘訣だという。

新たに構造と機能を併せ持つ材料も注目されている。何者も触れることなく、磁場

を使って自在の方向に曲げることができる「強磁性形状記憶合金」である。非接触で曲がったこの金属に磁場をかけると10%もの伸びを示す。逆に緩めると元に戻る。応力とひずみの磁化が1対1で対応している。この動きをアクチュエーター(エネルギーを機械的な運動に変えて動作させる装置)に、また、ひずみの量を磁化で計ることによって、感度の良いセンサーとしても使える。

もう一つレンコンのように穴の開いた「ポーラス(多孔質)金属」も構造と機能を融合した新材料として期待を集めている。チタン、鉄、銅などに開ける穴の大きさ、長さを自在にコントロールできるプロセスは独自のものだ。高温のガスで金属を溶かし、それを冷やして固まる時に、金属に溶けたガスを一方向に逃がして穴をつくる仕組みである。

ポーラスチタンを骨の再生に使う試みがある。損傷した骨の治療は、骨を復元する再生医療と金属材料で機能を代替するのが二つの流れだ。しかし、この研究は双方を融合させる方向を狙う。骨は、主にアパタイトとコラーゲンでできている。骨の強度を担うアパタイトの配列を材料学的手法で

a technology for joining materials, called friction stir welding that does not melt and re-fuse the structural material. The method mechanically mixes together the materials being welded, creating a completely unified piece while not destroying the fine-grained metallic structure, so that both strength and toughness are maintained. The Center strives to develop these basic technologies, including processes such as welding and joining, which are required for practical use of the materials in society.

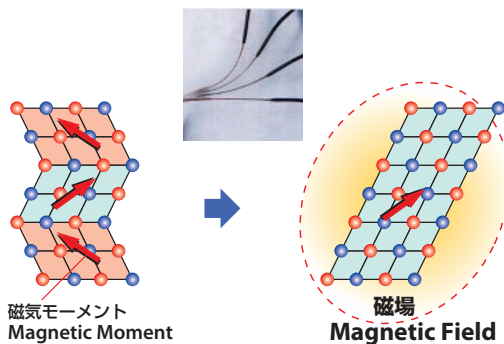
In addition to the macro-level, structural materials, we also have micro-level, functional materials such as those used in next-generation memory devices. A memory and a logical operation are normally assumed in separate devices. Data transfer between two devices takes time, causing operation speed decreases. At the center, we have developed a logic-in-memory using magnets that assumes

both memory and logical operations in a single cell. In the cell, the magnetization direction is referred as digital information; a zero or one and the magnetic interaction between magnets execute the logical operation. In addition to the high-speed operation, standby power consumption is also reduced due to a non-volatility of the magnet. The key to realize both functionalities was to design four magnets in T-shape.

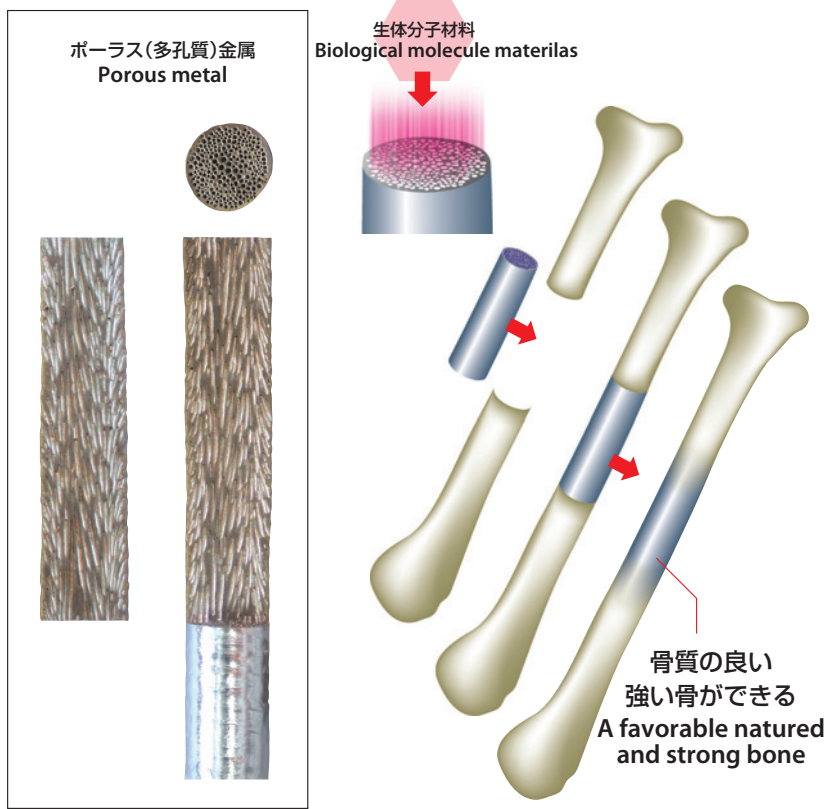
Materials which have both structural and functional properties are receiving new attention. One such type of material is the ferromagnetic shape-memory alloy, which can be bent freely without being touched, using magnetic fields. These contactless bending metals can lengthen by up to 10% when subject to a magnetic field and they return to their original shape when the field is removed. There is a one-to-one cor-

強磁性形状記憶合金

Ferromagnetic Shape Memory Alloy



ポーラス(多孔質)金属の応用例
An application of porous metals



解き明かしたのがこの研究の端緒である。アパタイトの結晶配列は体の部位によって力のかかる方向に沿って向いている。再生医学的方法で治った骨はこの結晶配列が失われ、骨量は増えるものの骨質は元に戻っていない。それを克服するため、この拠点ではポーラスチタンとその孔に骨誘導を引き起こす材料を入れて強い骨の再生を図る。結晶配列の解析は骨粗しょう症などの創薬支援としても期待されている。この研究は、航空・宇宙材料開発のチタン研究とポーラス金属の製造技術を融合し、人体に応用した材料分野ならではの発想によって生まれた。ポーラス金属は航空機や工作機など幅広い分野での応用が見込まれている。

掛下教授は「大阪大学は材料研究のメッカ。その組織力で日常に使われるものだけでなく、宇宙、地底、海底、核融合などの極限条件でも構造と機能をデザインできる材料づくりで大きな成果をあげている。社会から理想的な材料を求められた時、原子レベルから素材の構造、強度、特性を紙と鉛筆だけで説明できるようになるのが我々の夢」と話している。

responsed between stress or strain, and magnetization. This behavior can be used for actuators (devices which convert energy to mechanical motion) or for highly-sensitive sensors, measuring amount of stress via magnetization.

Another new type of material combining structural and functional characteristics is porous metal, containing pores like lotus root. We have an original process which allows the size and length of pores in titanium, iron or copper to be controlled freely. The metal is melted together with high temperature gas, and when it begins to cool and solidify, the gas dissolved in the metal is released in one direction, creating the pores.

Porous titanium has been used experimentally for regenerating bones. Treatment of damaged bones normally involves one of two main processes: treatment to regenerate the bone under Tissue Engineering, or replacement with a

metal implant. Our research, attempts to join both of these approaches. Bones consist mainly of apatite and collagen. This research was prompted by research to understand from a materials-scientific approach, how apatite crystals are arranged to strengthen bones. The crystal arrangement of apatite follows the direction in which stress is applied in the body. Bones regenerated using a tissue engineering technique have failed at achieving this alignment of the crystals, so that although the bone mass increases, the original bone quality does not recover. To overcome this, we hope to regenerate strong bones by using porous titanium, together with material to induce bone growth in the holes. This is also promising in support for new drugs for treatment of diseased conditions such as osteoporosis. This research is a combination of titanium research from aerospace materials development with

porous-metal-manufacturing technology, and was developed through innovative thinking in the field of materials with applications in the human body. Porous metals also hold much promise in a wide range of other fields such as aviation and machine tools.

In the words of Professor *Kakeshita*, "Osaka University is a Mecca of materials research. The power of this organization has produced many results in the manufacture of designed, structural and functional materials for everyday use and also of materials used in the most extreme conditions: in space, deep underground, on the ocean floor, and in nuclear fusion reactors. It is our dream to be able to describe ideal new materials required in society, using just a pencil and paper, from the atomic level up, according to structure, strength and other characteristics."



**Global
COE**

Center of Excellence

**Program
2007**

グローバルCOE
プログラム
(平成19年度採択分)

「いま、ここで、 あなたのために」

生物に学ぶ安全・安心・快適情報環境技術の確立

アンビエント情報社会基盤創成拠点

●拠点リーダー 村田正幸 情報科学研究科教授

For here, for now, and **for you...**

Establishing safe, secure and comfortable information environment technology, learned from biological systems

**Center of Excellence for
Founding Ambient Information Society Infrastructure**

Program Leader

Masayuki Murata — Professor, Graduate School of
Information Science and Technology

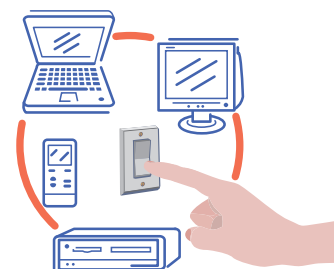
<http://www.ist.osaka-u.ac.jp/GlobalCOE>

●従来のインターフェース

ユーザー自身が周辺機器を制御し、自分自身の嗜好、目的に応じた操作を行う。

Conventional interface

The user has to control his/her peripheral devices to meet his/her own preference and/or purpose.



Construction of the “Ubiquitous Information Society,” in which anyone, anywhere and at any time can enjoy the benefits of information technology, is continuing to advance. Various technologies such as mobile phones, wireless LANs and remote controls for household electronics are being developed. However, these devices still need to be operated directly by people themselves. In contrast, an “Ambient Information Society” is one in which information technology melts into the living space, and provides services to users without any particular awareness from them. The information technology follows the user, in harmony with

「いつでも、どこでも、だれとでも」情報技術の恩恵を受けることができる「ユビキタス情報社会」の構築が進行中だ。携帯電話、パソコンの無線LAN、家電機器でのリモコンの活用——など、さまざまな技術が開発されている。しかし、そこでは人が自ら機械を操作しなければならない。これに対し、アンビエント情報社会とは、情報技術が生活空間に溶け込み、利用者に意識さ

せることなく、サービスを提供することができる社会のことだ。情報技術の方が人に歩み寄り、空間や環境と調和して、「いまここで、あなたのために」という安全・安心と快適さを実現する情報社会である。

情報科学研究科を中心に取り組んだ21世紀COEプログラムでは、「生物に学ぶ」をキーワードに、さまざまな角度からしなやかにロバストな情報技術の創出を目指した。ア

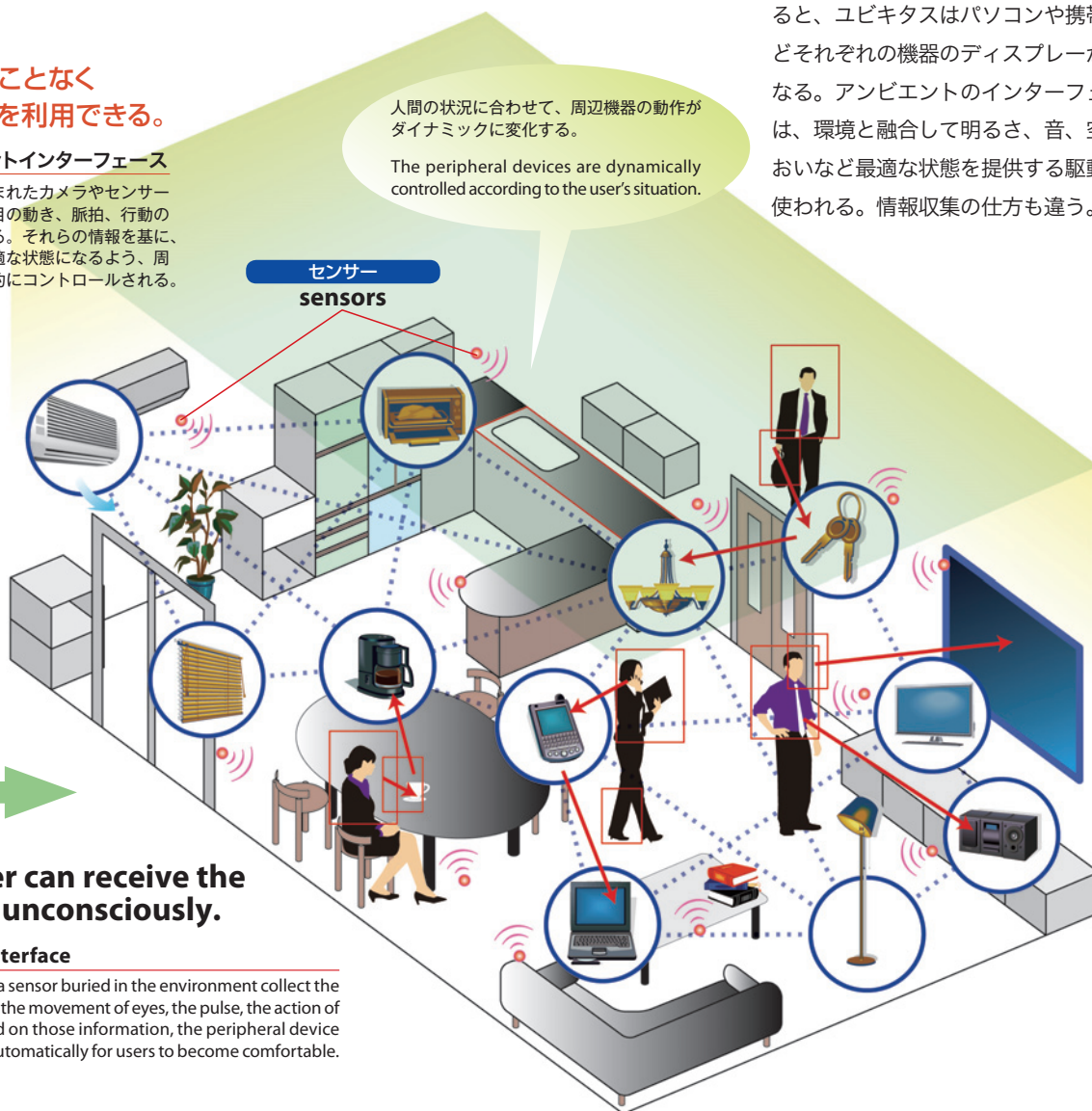
ンビエント情報環境の概念はそうした研究を通じて生まれてきた。このプログラムでは、生物に学ぶことで可能となる、さらに大きなスケールのアンビエント情報環境の構築に必要な技術的アプローチを提案する。

ユビキタスとアンビエントの違いを比較してみよう。ひとことで言えば、アンビエントは環境と密着したインタラクションである。人とのインターフェースを比べてみると、ユビキタスはパソコンや携帯電話などそれぞれの機器のディスプレイが中心になる。アンビエントのインターフェースには、環境と融合して明るさ、音、空調、においなど最適な状態を提供する駆動装置が使われる。情報収集の仕方も違う。現在の

意識することなくサービスを利用できる。

●アンビエントインターフェース

環境に埋め込まれたカメラやセンサーがユーザーの目の動き、脈拍、行動の情報を収集する。それらの情報を基に、ユーザーに最適な状態になるよう、周辺機器が自動的にコントロールされる。



The user can receive the service unconsciously.

Ambient Interface

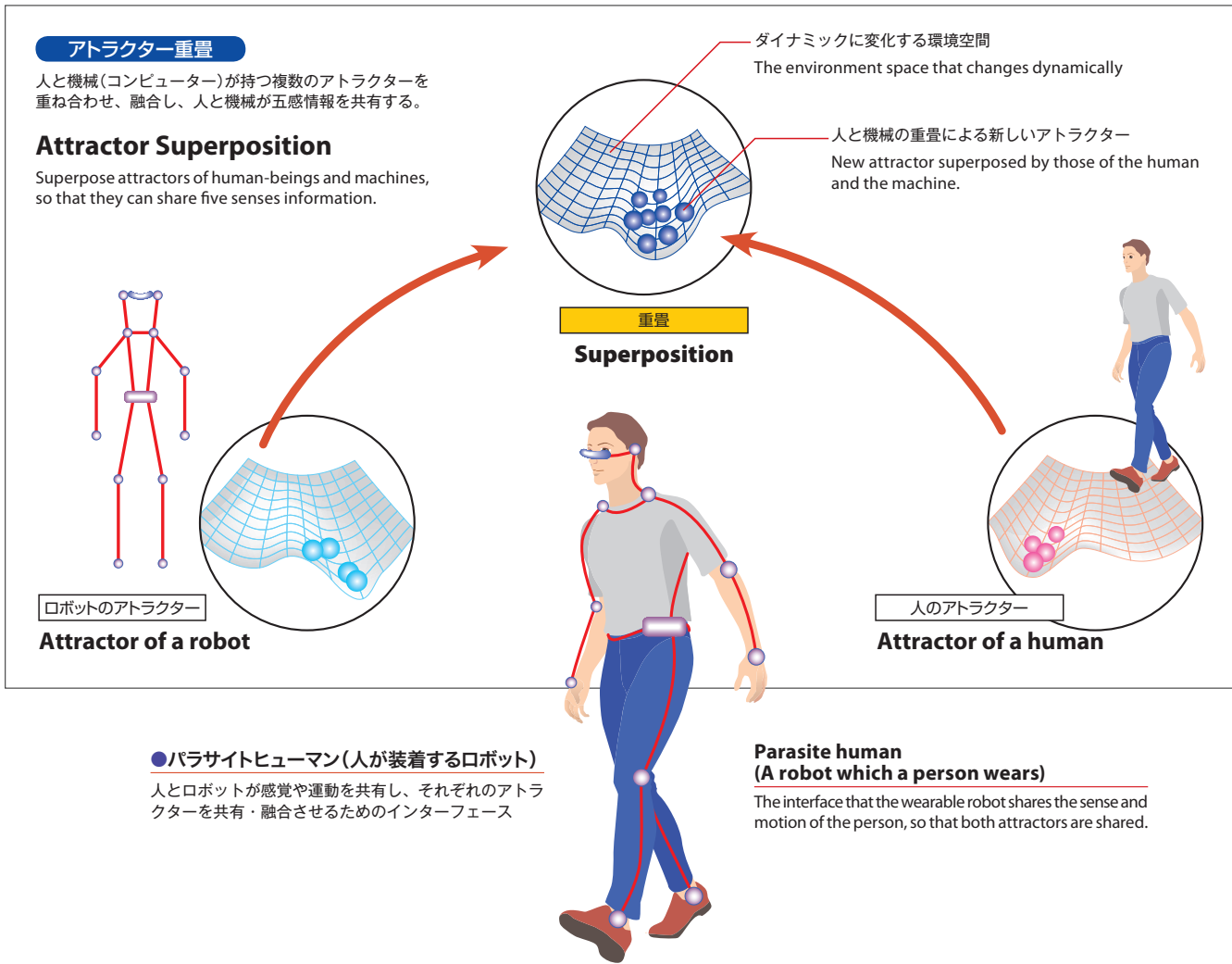
A camera and a sensor buried in the environment collect the information of the movement of eyes, the pulse, the action of the user. Based on those information, the peripheral device is controlled automatically for users to become comfortable.

the user's current space and environment, realizing a safe, secure and comfortable information society: "Here, Now, and for You..."

In the 21st Century COE Program, centering on the Graduate School of Science and Technology, we created information technology that is flexible and robust from various aspects, as signified by the motto, "Learning from Biological Systems." The concept of ambient information environments was born from this that research. In this program we are proposing a technical approach, made possible through the study of biological systems, which will be necessary for building

large-scale ambient information environments.

What are the differences between ubiquitous and ambient information environments? One is that with the ambient information environment, interaction is inseparable from the environment itself. In the ubiquitous information environment, the human interface centers around the display on devices like PCs or mobile phones. In ambient environments, on the other hand, the interface is integrated into the environment, using equipment to provide the optimal conditions, such as brightness, sound, air conditioning, fragrance and others. Methods for gathering information are



also different. With current information technology, the user consciously uses an input device such as a keyboard, and cannot do anything without operating such a device. With the ambient information environment, the user's situation is automatically detected by sensors. Using room temperature as an example, if a user enters a room and is perspiring, the sensors detect this, and the environment notices it to adjust the room temperature for optimum comfort. It continues to maintain a comfortable temperature as the user cools off. This sort of process requires sensing and analysis of huge amounts of information, however, so flexible and robust control methods are also needed.

Technical approaches to building ambient information environments are proceeding in four areas.

In the "Biological Dynamics" research area, we are developing a theory of the Attractor Selection, that biological system is adaptable to even unpredictable and/or unknown environments. The attractor selection is a theory established in the 21st Century COE program. It is a basic theory of biological systems that, when a being is in an unfamiliar environment, it uses fluctuations to move itself into better conditions, i.e., attractors. This principle has enabled biological systems to continue to live over 3.8 billion years. The theory has been modeled mathematically, but we are

now extending it to an Attractor Superposition theory, dealing with multiple overlapping attractors. An example of this is how multiple overlapping networks independently find equilibrium to achieve an optimum communication environment. This example shows a relationship between networking objects, but we are also applying the theory to relationship between people and objects (machines and computers). By superposing the attractors of people and machines, we arrive at a new concept of mutual accommodation.

One example of this is what we call a parasite human. A human puts on a robot with sensing functions using so-called wearable technology-computers that can be worn. The robot shares the senses and movement of its "owner," while also helping him or her. Mathematical models of these are being created, and we are beginning simulation work.

In order to apply the Attractor Superposition theory, "Ambient Interface" research area treats mutual interactions, with cameras and sensors sensing the user's environment and human dynamics (speech, behavior) interacting with dynamics built into the surrounding devices. Thus, researchers in the humanities, in areas like language processing and interpersonal social psychology are also involved in the program.

情報技術では、利用者が意識してキーボードなどの入力装置を使い、機器を操作しなければ何事も始まらない。一方、アンビエントでは、利用者が置かれている状態をセンサーなどで自動的に収集する。部屋の温度調節を例にとると、外から室内に入ってきた人が汗をかいていたら、センサーが直接それを感じ取り、室内を最も快適に感じる温度に調整し、汗がひくと、適切な温度に保つという具合だ。ただ、ここでは膨大な情報の知覚と解析、柔軟でロバスタなコントロールが必要になる。

アンビエント情報環境構築への技術的アプローチは四つの領域で進めている。

「生物ダイナミクス領域」は、生物が未知の環境に適応する原理「アトラクター選択」を発展させる。アトラクター選択は21世紀COEプログラムで確立された原理で、生物が予想しない環境に陥った時、ゆらぎを利用してよりよい状態(アトラクター)に自らを引き込む生体システムの基本原理だ。これにより、生物は38億年も生き延びることができたという。この原理はすでに数理モデル化されたが、今は複数のアトラクター

を重ね合わせる「アトラクター重畳の原理」に発展している。例えば、複数ネットワーク同士を重ねると互いの安定点を自律的に探り、最適な通信環境を実現することができる。それはモノ対モノの関係だが、さらにヒト対モノ(機械・コンピューター)への応用が試みられている。人と機械のアトラクターを合体することによって、双方を調和させるという新しい発想である。

「パラサイトヒューマン」はその一例だ。人がコンピューターを装着するという「ウェアラブル技術」を用いて、センシング機能を持った“ロボット”を人間が装着する。ロボットは「主」である人の感覚や運動を共有し、人を助けるという。すでに数式のモデルができつつあり、シミュレーションが始まる。

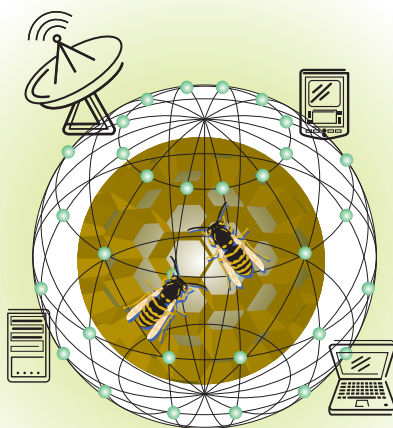
「アトラクター重畳」を応用するため、「アンビエントインタフェース領域」では、カメラやセンサーによるユーザー環境のセンシング、人間のダイナミクス(言語、行動)と周辺の装置群に埋め込まれたダイナミクスとの相互作用などが探求されている。言語処理や対人社会心理に関する文科系の研

究者も研究に加わっている。

「アンビエントネットワーク領域」では、ハチが規則的な巣作りをする自己組織化やアリの危機回避に学んだ最適化の制御を情報ネットワークに生かす研究が進められてきた。今は、複数ネットワークを結合するためのアトラクター重畳、ゆらぎを制御するアトラクター摂動に取り組んでいる。

また、「アンビエント情報基盤技術領域」では、これまでに紹介した三つの領域の成果に基づいたシステムを構築する。そこでは、トンボのような複眼系光インターフェースによる画像情報認識や時々刻々と変化する環境の中で、自律的に利用者に最適なサービスを提供するダイナミック無線技術を実現していく。

拠点リーダーの村田正幸教授は「今後はユビキタス関係の研究開発でもアンビエント情報環境の考え方を取り入れざるを得ないだろう。予見することが難しい人間の行動や極めて変化の激しい大規模情報システムに対応していくには生物に学ぶアンビエント情報環境の構築が欠かせない」と話している。



生物に学んだ環境変化に強い
情報ネットワーク制御を目指す

By learning from biology, we build
information networks robust and reliable
against environmental changes

In the “Ambient Networking” research area, research on how to use optimized control in data networks is progressing, learning from the self-organizing behavior of bees in systematically building a nest, and crisis-avoidance methods used by ants. Currently, we are attempting to combine multiple networks by using the above-mentioned Attractor Superposition theory, and to control fluctuations by the Attractor Perturbation theory.

Finally, in the area of the “Ambient Information Infrastructure Technology” research area, we are building systems based on results from the three areas described above. This includes an optical interface with dragon-fly-like compound eyes for recognizing image data, and dynamic wireless technology that autonomously provides optimized services to the user in an environment which changes over time.

According to Professor *Murata*, the Project Leader, it will be necessary to adopt the concept of ambient information environments in the future, even in research related to ubiquitous information environments. To meet the demands of difficult-to-predict human behavior and the tempestuous changes of large-scale information systems, we cannot afford to miss learning from biological systems in the building of the ambient information environment.



**Global
COE**

Center of Excellence

**Program
2007**

**グローバルCOE
プログラム**
(平成19年度採択分)

「真の博士」とは？

IDERユニットで学生・教員の意識改革

次世代電子デバイス教育研究開発拠点

●拠点リーダー 谷口研二 工学研究科教授

What is a “true Doctor of Philosophy”?

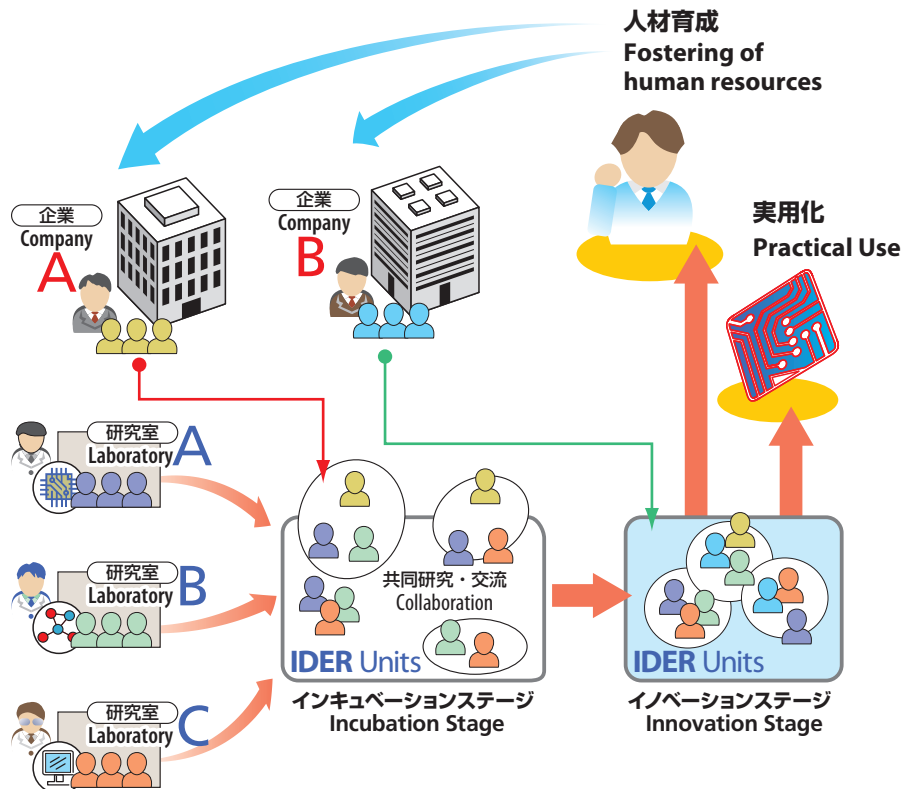
Raising awareness of faculty members and students in IDER units

Center for Electronic Device Innovation (CEDI)

Program Leader

Kenji Taniguchi — Professor of Graduate School of Engineering

<http://www.eei.eng.osaka-u.ac.jp/gcoe/>



大学によく見られがちなタコつぼ型研究からの脱却を目指す「学生と教員の意識改革」がこの拠点の最大の狙いだ。

テーマの「次世代電子デバイス」は材料、デバイス、システムに関する研究室同士の「橋渡し」となる。「IDERユニット」という研究室の枠を超えた数人～十数人のグループがプロジェクト形式で、知識を出し合いながら次世代を担う電子デバイスを開発する。企業、海外研究機関も巻き込み、今までにない成果を出す。

研究室は縦、プロジェクトは横のつながりである。オーケストラに例えれば、演奏

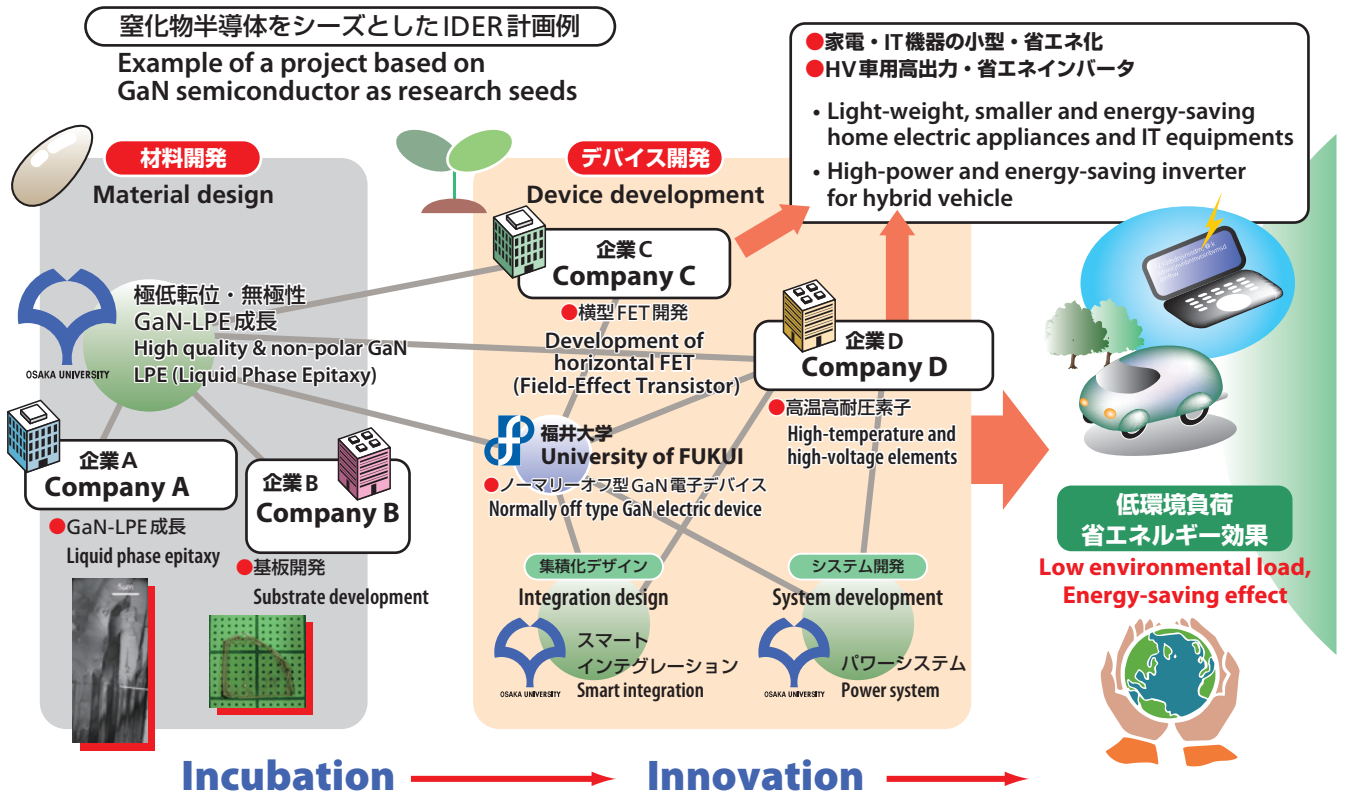
家を養成するのが研究室の教授で、プロジェクトリーダーは指揮者のようなものだ。材料、デバイス、システムの研究開発をインキュベーションステージからイノベーションステージへと向けて、IDERユニットが数々のプロジェクトに取り組んでいる。ユニットは若さが売り物でもある。准教授以下の30歳代を中心に若手がリーダーとなり、協力して国際会議も開く。教授の了解なく横の付き合いを深めることも奨励している。

研究開発は、安全・安心、低環境負荷で信頼性のある社会の実現を目指して「センシングデバイス」「フォトニックデバイス」

「パワーデバイス」の開発、それらの研究を支援する「材料開発」「評価解析」「インテグレーション」の6部門が協力し合う構図となっている。

IDERユニットによるプロジェクトの一例として、青色発光ダイオードなどで注目されているGa_{0.5}N_{0.5}(窒化ガリウム)半導体をパワーデバイスとして応用する研究を紹介しよう。

GaN半導体は、耐圧が非常に高く、高温に強いといった特性があり、次世代デバイスとして期待されているが、元来Ga_{0.5}N_{0.5}の結晶は欠陥が多く使い物にならなかった。こ



The chief aim of this program is to encourage collaborations by raising awareness of faculty members and students who are likely to isolate themselves within their own research specialties. To achieve this goal, Innovation-oriented Dynamic Education and Research (IDER) units were launched to develop next-generation electronic devices. An IDER unit is a group of researchers from different laboratories who work together for a specific project in order to design, develop, characterize, and integrate a device. Hence, IDER is a new education and research platform, which consists of a dozen researchers working together to resolve dozens of issues related to a specific project. Some IDER units pro-

mote cooperation with other institutions, companies, and overseas organizations to achieve epoch-making results.

Although the overall project is vertically managed, horizontal relations between each lab are established through the various projects promoted by an IDER unit to consistently conduct research and development from the incubation stage to the innovation stage. A key feature of IDER is that most researchers are young, mainly in their thirties. Associate professors as well as their juniors actively cooperate with each other to promote each project as well as to occasionally host an international conference. In addition, these young associates are encouraged to deepen horizontal ties.

のユニットのコアは、窒化ガリウムを液体中で結晶育成(LPE成長)し、従来の約10万分の1のオーダーに欠陥を解消する世界一の技術である。最先端の材料開発部門と出来上がったデバイス材料を評価する評価解析部門が協力して最高品質のGaNをつくり上げる。材料づくりと分析が協力すれば融通が利いて研究の進展も早い。そうした動きが企業で仕事をする時にも生きてくる。そして、パワーデバイスを動かすためにアナログをデジタルに変換するグループがある。

接点をつなぐ役割を果たすインテグレーション部門だ。企業の研究員も交え、将来的にパワーデバイスが自動車に搭載できるまで段階的に複数のユニットで完結させる予定である。

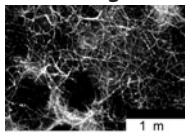
また、環境問題を視野に入れた高精度で消費電力の少ない「ユビキタス環境汚染ガスセンシングシステム」を開発するユニットもある。このシステムは、大気をセンシングするデバイス開発や集めたデータを中央処理装置に無線で送信する技術などで構

成している。さまざまなガスを分離して計測するセンシングデバイスと無線を統合するために、企業の研究員も交えてユニットを組む。このプロジェクトも「超高感度カーボンナノチューブセンシングデバイス」という世界に誇る材料開発がシーズとなっている。この拠点に参加するユニットは14ユニット。それぞれに若手教員のリーダーがおり、ドクターコース、一部マスターコースの学生も入って、プロジェクトを進めている。プロジェクトへの参画によって博士

ガスセンシングデバイス開発のIDER計画例

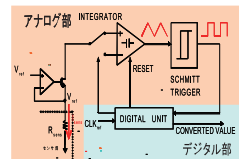
Example of a project for gas sensing device development

ガスセンシング材料創製
Creation of gas sensing material

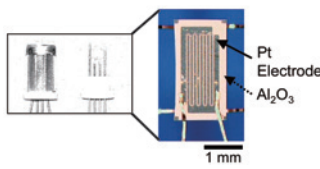


● 単層カーボンナノチューブ (CNT) ネットワーク
Single-walled carbon nanotube network

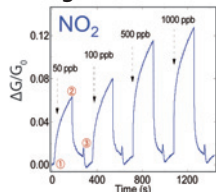
ガスセンシングデバイス・回路シミュレーション
Gas sensing device and circuit simulation



ガスセンシングデバイス作製
Production of gas sensing device



ガスセンシング材料評価
Gas sensing material characterization



The structure of research and development consists of a total of six divisions, including three divisions for developing power, sensing, and photonic devices and three for material development, characterization and analysis, and integration. These divisions work together to create a safe, secure, and highly reliable society with a low environmental impact.

An example of an IDER unit project is research using a GaN semiconductor. GaN, which is resistant to high voltage as well as high temperature, has attracted attention as a material for a power device. Although it has been speculated that GaN would be a promising next-generation electronic device, GaN crystals have not been useful due to the numerous defects. As a world-leader in innovation, this unit has developed core technology to reduce defects to an order of about one hundred thousandth after crystallizing GaN by dissolving it in a liquid. Thus, high quality GaN has been produced through close cooperation between the divisions responsible for developing cutting-edge materials and that for characterization and analysis. This GaN structure, which

may have commercial application, is flexible enough to rapidly advance research. The third group, the integration division, is in charge of analog-to-digital conversion to operate the power device. Several other researchers from different groups, including researchers from private companies, are expected to participate in this IDER unit in order to move forward with a phased approach to equip new cars with the power device in the future.

Furthermore, the unit concerned environmental issues is developing a ubiquitous pollution gas sensing system, which is highly accurate with low power consumption. This system utilizes advances in sensing devices as well as technology to transmit collected data to a CPU via a radio. In order to integrate a radio with sensing devices, which can separate and measure various gases, a new IDER unit has been established in collaboration with researchers from private companies. The research seed for this project is material development called, "Hypersensitive carbon nanotube sensing device". By the way, this COE program now consists

論文が疎かにならないようシニア教員がアドバイザーする体制になっている。

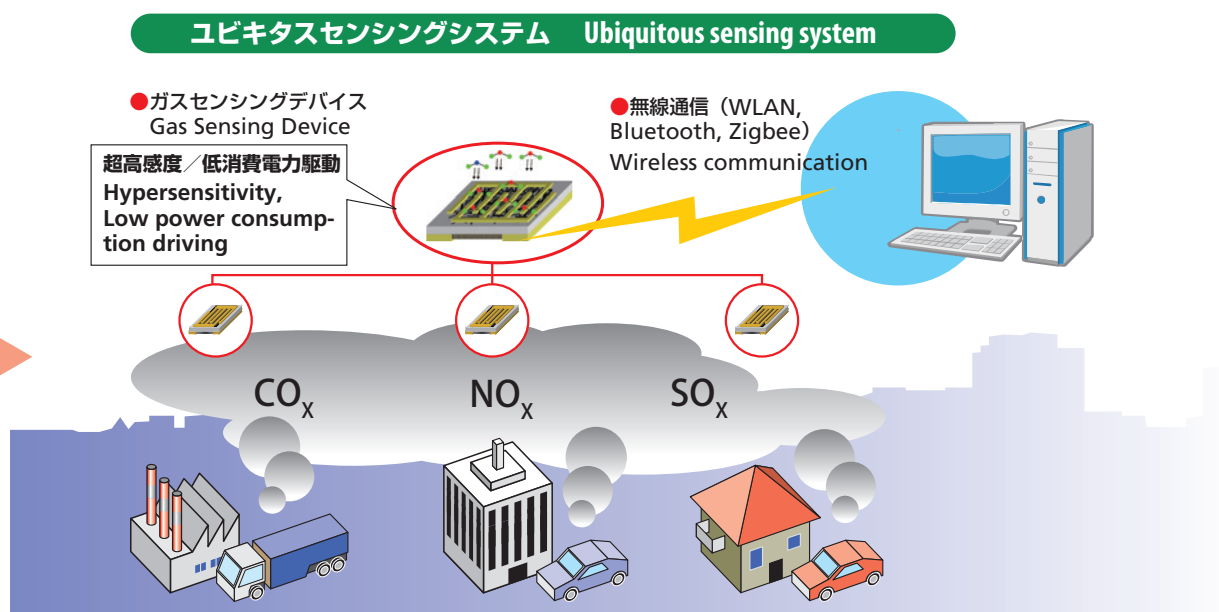
IDERのバックボーンとなる教育スタイルもユニークだ。「社会や企業が求めるのは深い知識よりも、広い視野を持ち全体を俯瞰できる能力のある人材。企業は技術革新の流れに沿って研究の方向を変える。大学院で覚えた知識は、5年もすれば役に立たなくなる。そんな時にも困らない『ドクター・オブ・フィロソフィ(真の博士)』を育てたい」。そう語る拠点リーダーの谷口研二教授

は“教材”として持論の「シリコン学」を活用する。2007年度から宿舎セミナーを何度も実施し、「シリコンを学ばずして、シリコンは超えられない」と学生に説いている。

「ICの素材はすべてシリコン。膨大な人、何兆円という開発費がその技術にかかっている。そこで得た知恵袋のような集合知を新しい材料開発に使う。多量の実験データから普遍的な原理を形式知として抽出する。形式知を使って『この材料とこれを組み合わせればできるけれども、これは無理

だろう』というような仮想実験が頭の中でできるようになると圧倒的に材料開発の効率が変わってくる。多量のデータを覚えるのではなく、物事が成り立つ本質のところをつかむ知恵を身につけた人、それがドクター・オブ・フィロソフィだ」

※IDER(Innovation-oriented Dynamic Education and Research)



of fourteen units. Each unit has a leader working as a young instructor along with students in the doctoral course and master's course. Moreover, senior advisers have also joined the unit to supervise students, who tend to use their IDER research in their doctoral theses.

The educational programs, which support IDER, are distinctive, and enable researchers and students to understand social and corporate needs. Corporations often follow current trends in innovation. Therefore, it is possible that knowledge obtained in graduate school may be outdated and irrelevant after five years. The COE leader, Professor *Kenji Taniguchi*, asserts, "We really need researchers who are highly competent to judge things from a broad perspective rather than only having profound learning in one area. Such people can surely develop as world-class true Doctors of Philosophy." Professor *Taniguchi* emphasizes his own idea of "Silicon-philosophy Education" to train young researchers, and residential training seminars have actually been held many times since FY 2007. He always explains

that, "The scientific methodology acquired by silicon device development must be learned seriously. Otherwise new materials superior to silicon will never be created"

According to Professor *Taniguchi*, the development of silicon as a material for IC will cost as much as several trillion yen and will require a vast number of people. Although a lot of knowledge and information can be obtained in the development process, the massive experiment data, which can be considered collective intelligence, can be used to develop new materials. Moreover, collective intelligence may elucidate universal principles, which can be referred to as explicit knowledge. If virtual experiments can be designed where combinations of known materials can be used to create novel materials using explicit knowledge, then efficiency of material development would be dramatically improved. Professor *Taniguchi* says, "Memorizing a great deal of data is not enough to be a 'true Doctor of Philosophy'. A 'true Doctor of Philosophy' is one who is able to grasp the essence of how things can be constructed".



**Global
COE**
Center of Excellence
Program
2007

グローバルCOE
プログラム
(平成19年度採択分)

徹底して貫かれる 現場主義

コンフリクトの理解と「人間の安全保障」実現に
一歩でも近づくために

コンフリクトの人文学国際研究教育拠点

●拠点リーダー 小泉潤二 人間科学研究科教授(理事・副学長)

Importance of **fieldwork** and involvement in practical issues

Toward a better understanding of
conflict and human security

A Research Base for Conflict Studies in the Humanities

Program Leader

Junji Koizumi — Professor of Anthropology, Graduate School of Human Sciences;
Trustee and Vice President, Osaka University

<http://gcoe.hus.osaka-u.ac.jp/>



中米グアテマラは、先住民と非先住民の二分法のもとに国家が構成されている。
北西部の地方都市のバスターミナルで。

Guatemala, one of the nations in Latin America, is formed under dichotomy between
indigenous people and nonindigenous ones that is clearly shown (in the picture above)
at the bus terminal in a local city in the northwestern part of the country.

本プログラムが研究の対象とする「コンフリクト」とは、とくに1990年代以降、世界のグローバル化、複雑化が急速に進んだことによって生まれた集団間の紛争、摩擦、対立、矛盾などを指す。政治、経済、宗教に限らず、文化、科学、言語、芸術など「価値の違い」に起因するコンフリクトの問題が国内外あらゆるところに横たわっている。グローバルCOEでは、こうした「価値対立」の意味を重視する。価値の違いによって生まれるコンフリクトは、時に人々の日常生活や文化、産業、教育も含めすべてを破壊することがある。

コンフリクトはその内側に置かれている人々の思考や感情や行動によりもたらされ

る。ただ、人間ほど複雑で多様で理解し難い存在はない。そこに法則性や普遍性を見出すことは困難を極め、ほとんど不可能とも思われる。「民族の対立」「利害の対立」「宗教の対立」「階級の対立」といった単純化し図式化された常識的説明は、その解決の糸口となり得る分析として成り立っていないものが余りに多い。

このグローバルCOEはそうした枠組みとは違った立ち位置からコンフリクトを追究している。拠点リーダーの小泉潤二教授は「人文学の立場でのコンフリクト研究は現場を最重要視する。実際に国際的な現場で何が起きているのかを経験的に、実証的にとらえて、問題がどこにあるのかを緻密に、ま

た重層的に考える。上から単純な図式を張り付けるのではなく、現地に足を運んでのデータ収集がすべての出発点」という。

具体的には、人間科学・文学両研究科とグローバルコラボレーションセンター(GLOCOL)・コミュニケーションデザイン・センター(CSCD)に所属する文化人類学、言語学、芸術学、哲学、歴史学、社会学、教育学、国際協力学、人間開発学などの研究者が融合・横断的に問題領域を設定して研究プロジェクトを進めている。テーマは「トランスナショナルリティ(国境を越えた相互作用)」「グローバリゼーション」「言語接触とコンフリクト」「人間の安全保障」「人道と人権」「コンフリクトと価値」「交錯



とくに農村部では、対比的な民族間関係が視覚的に明瞭になることがある。先住民共同体の凝集性と非先住民との対比が現れた例。

In rural areas oppositional ethnic relation is occasionally apparent, as shown in the above picture. A crowd of indigenous people presents a great contrast to a few nonindigenous ones.

What we call “conflict” in this Program refers to confrontations, contradictions, oppositions and frictions in the recent process of globalization that has introduced more diversity, complexity and fluidity into the world after the 1990s. Not only transnational conflicts over political, economic and religious issues but also those over values due to different understandings of language, culture, arts and science abound in the contemporary world. Thus our Research Base emphasizes the meaning of “conflicts over values,” because they are so fundamental and have the potential of bringing about a total destruction of our daily lives, industrial bases, or educational structures.

Conflicts are caused by the views, emotions and actions of those who are

actually involved in them. Analyses of these factors are essential in dealing with the problem, but humans are so complex, varied and difficult to understand that it does not seem feasible to envision a natural or universal law of human behavior. Conventional interpretations in terms of collision of nations, conflict of interests, religious oppositions or class relations are readily available, but most of them are unsatisfactory because they tend to be “reductionistic” (that is, the result of analysis is already presupposed in the analytic concept) and do not actually lead to deeper understanding or improvement of real situations.

This Global COE program attempts to set up a new framework which will enable us to take a different, more human scientific approach to conflict studies.

Professor *Junji Koizumi*, an anthropologist and the program leader, emphasizes “the importance of fieldwork.” He says he wants “detailed research about each and specific cases and construction, based on these, of careful ‘thick’ understanding of what is going on in the world. Empirical data collection, not an imposition of accepted schemes upon them, should be given priority.”

The research base for this program is composed of Graduate School of Human Sciences and Graduate School of Letters together with Global Collaboration Center (GLOCOL) and Center for the Study of Communication-Design (CSCD). It is a collaborative and interdisciplinary effort by researchers in the fields of anthropology, linguistics, philosophy, history, literature, art studies, sociology,

1990年代以降の世界における社会的・文化的・言語＝民族的な対立 Social, cultural and linguistic-ethnic conflicts after the 1990s

● グローバルな普遍主義への展望 Global and universalistic orientation

- 民主主義 Democracy
- ネオリベラリズム Neo-liberalism
- コスモポリタニズム Cosmopolitanism
- 人道主義 Humanitarianism
- 環境主義 Environmentalism
- 先住民主義 Indigenism
- ...

上からのグローバル化 Globalization from above

- 先進諸国政府の活動
Activities of the governments of developed nations
- 多国籍企業の展開
Growth of multinational corporations
- ヒト・モノ・カネの流れの拡大と活発化
International flow of people, goods and money
- コミュニケーション技術の普及と情報化の急速な進展
Advance in communication and information technology

● ローカルな個別主義への志向 Local and parochial orientation

- 言語ナショナリズム Linguistic nationalism
- ネイティヴィズム Nativism
- アイデンティティ・ポリティクス Identity politics
- ゼノフォビア Xenophobia
- ...

受容

Acceptance

積極的受容 Acceptance

進展するグローバル化を積極的に受け容れる。各国政府の対応やナショナルな企業の活動など。
Ongoing globalization is positively valued and accepted as in the case of most of the governments of developing countries and national companies.

順応 Adaptation

現実に順応して生きる方途を探る。一方向的移民、出稼ぎ労働、密輸など。
Adaptation to the reality helps to search for the way to live as in the case of one-way immigration, labor migration and smuggling.

代替 Alternative globalization

「持続的発展」「人間開発」「人間の安全保障」など、新たな代替概念のもとでの開発実践。
Globalization is sought under such alternative notions as sustainable development, human development or human security.

否定 Negation

上からのグローバル化を正面から否定する。反グローバル化、反グローバリズム。
Globalization is received with antagonistic sentiments of anti-globalization or anti-globalism.

拒絶

Denial

閉鎖 Closure

グローバル化自体を否定し、内に閉じこもり閉鎖しようとする。エスノナショナリズム、ゼノフォビアなど。
Globalization receives an outright denial and active closure leads to ethno-nationalism and xenophobia.

- フィールドワークによる綿密な現実理解に基づき、コンフリクトと流動化の中で生きる個々人の視点と実践を、現在進行形のプロセスの内に臨床的に分析する。問題の解消ではなく緩和に向かうような現実的な取り組みを、対話と理解の中に目指す。

Views and practices of each individual living in more complex and fluid states of confrontation should be understood clinically in ongoing processes based on “thick” recognition of the reality obtained through fieldwork. Realistic approach not in the resolution of confrontation and conflict but rather in its reduction must be promoted with an understanding and dialogue.

education, development, international cooperation and so on. Eight research clusters focusing on eight topics have been set up. They are “transnationality,” “globalization,” “language contact and conflict,” “human security,” “humanism and human rights,” “conflict and value,” “crossing arts and media” and “popular culture across borders.”

Professor *Koizumi* explains, “The problem of conflict is difficult to deal with because it is informed by human thoughts and actions. Physical force is often employed as a simple solution, but we need to empirically understand the complexities and difficulties, being careful not to resort to such accepted

schemes as ‘the clash of civilizations’ or ‘the end of history.’ Views and practices of people located in specific conflicts should be paid attention to. Conflict situations should be understood from the point of view of those who live them, and are actually involved in them as real, ongoing processes. This kind of understanding may be imperfect and perhaps partial, but it is the best we can do, and it is at least better than something which is not based on social reality. If it is not perfect, we can simply try continuously to improve it.” He adds, “If we are to have a better understanding of what we call conflict, we need a constant feedback or oscillation between the reality we

think we find ‘out there’ and the analytic framework we come up with. This is probably the only practical measure to alleviate the problem.”

International symposiums make important contributions to academia not only as opportunities for academic discussion, but also as measures to build a significant network of researchers in the world. This program held five successful international symposiums in the previous two years, which include “Globalization, Difference, and Human Security” in 2007/2008, and a joint conference with the University of Sao Paulo, Brazil, “Migration and Identities” in 2008/2009. In this academic year, 2009/2010, four

するアートメディア」「横断するポピュラーカルチャー」の8領域。

「コンフリクトの問題は人が対象なので、極めて複雑で難しい。武力による解決法がとられたりもする。その難解さをまず現場で理解する。『文明の衝突』や『歴史の終焉』といったわかりやすい枠組みに落とし込むのではない。世界各地で生きる人々の視点と行動を『現在進行形』でとらえ、たとえ得られるものが不完全な理解であっても、それを絶えず修正する。その枠組みや理論により得られるものを再び現実に投げかけ、フィードバックして理解を深めていくしかない。そこからコンフリクトを軽減、緩和するための実際的な方策を探る」と小泉教授は話している。

国際シンポジウム等の試みは、各々の研究分野の議論を深めるだけでなく、世界中に濃密なネットワークを築いていく手段として、アカデミズムにとって大きな意義をもつ。本プログラムでは、2007年度・2008年度を通じて六つの国際シンポジウムを開催してきた。代表的なものとして、2007年度の「人間の安全保障」、および2008年度のサン・パウロ大学(ブラジル)との共同企画「移動とアイデンティティ」がある。2009年度にはさらに四つが開催された。4月の「開発を問い直す——脱開発、グローバル化と人間の条件——」には、英、米、豪、カナダ、ニュージーランド、ブラジル、台

湾などから多数の研究者が集い、4日間にわたって活発な議論が交わされた。また、12月のシンポジウム「アンデス言説をめぐるコンフリクト」においても、南北アメリカの多数の研究者とのあいだで対話が行われた。2月には、「哲学治療学と臨床哲学」、および韓国江原大学の研究者を招聘した「コンフリクトを軽減する対話と実践——人文治療学の挑戦」が開催された。本プログラムの主要な活動のひとつである「コンフリクトの人文科学セミナー」は、2009年度の終わりまでに45回を数え、うち21回は海外から講師を招聘した。こうした研究の成果は、多数の個別学術論文や著書として出版されているほか、本プログラムの機関誌

である『コンフリクトの人文科学』(大阪大学学術出版会)として刊行されており、その様子をホームページでも見ることができる。

一方で、大阪大学全体が一致協力して国際貢献に取り組む組織としてのGLOCOLがある。GLOCOLは、鷺田清一現総長が拠点リーダーとして推進した21世紀COE「インターフェイスの人文科学」でのトランスナショナルな研究部門を基盤とし、07年10月の大阪外国語大との統合を契機として、同年4月に小泉教授のイニシアティブのもとで誕生した。コンフリクトの人文科学拠点が基礎研究を積み重ね、連携協力するGLOCOLが具体的な国際貢献活動も推し進めていく。両者は表裏一体の関係にある。



武器の拡散は、世界各地でおおきな問題となっている。内戦下の南部スーダンで、この少年が身に着けているのは、1丁の自動小銃だけだ。写真の井戸は、内戦中でも援助が進行していることを示している。

Dissemination of small arms is a major threat to peace in many parts of the world. For this young boy in the Southern Sudan, an automatic rifle is the only thing that he puts on. The pump well illustrates that development aid is going on even during the war.

international symposiums were organized. In “Reframing Development: Post-Development, Globalization, and the Human Condition” in April, scholars from countries such as the United Kingdom, the United States, Canada, New Zealand, Australia, Taiwan and Brazil, gathered; “Simposio Internacional Aproximación Interdisciplinaria a los Conflictos en torno a los Discursos Andinos” in December put its focus on the controversial nature of the discourse of Andes in the pre-Spanish and Spanish periods, which saw fruitful discussions between program members and researchers from across North and South America. In February, two more symposiums were held: “Dia-

logue and Practice Reducing Conflicts: Challenge of Humanities Therapy”, in which scholars from Kangwon National University, Korea, participated; and “Philosophical Therapy and Clinical Philosophy”. By March 2010, 45 research seminars were held in the seminar series “Conflict Studies in the Humanities”, 21 of which had scholars from abroad as the guest speakers. These activities have resulted in numerous publications, which include the program journal Conflict Studies in the Humanities, published by the Osaka University Press.

The Research Base for Conflict Studies is working closely with GLOCOL, Global Collaboration Center. This center is an

organization for promoting Osaka University’s contribution to global society, and it was created in April 2007 under the initiative of Professor Koizumi. It is a development from the transnationality studies project of the previous 21st Century COE Program “Interface Studies in the Humanities” led by Professor Kiyokazu Washida, the current President of Osaka University. While the Research Base for Conflict Studies in the Humanities seeks to promote academic research on conflict, GLOCOL attempts to promote practical involvement in international cooperation. Professor Koizumi points out that these two are both sides of the same coin.



**Global
COE**

Center of Excellence

**Program
2007**

グローバルCOE
プログラム
(平成19年度採択分)

計算機内に “バーチャル生体”

治療成果や薬の危険度を予測する

医・工・情報学融合による予測医学基盤創成

● 拠点リーダー **野村泰伸** たいしん 臨床医工学融合研究教育センター／基礎工学研究科教授

Toward the **Integrated Biosciences** and Predictive Medicine

Promotion of Physiome and Systems Biology

An *In Silico* Medicine-Oriented Worldwide Open Platform

Program Leader

Taishin Nomura — Professor, The Center for Advanced Medical Engineering
and Informatics, Graduate School of Engineering Science

<http://www.mei.osaka-u.ac.jp/gCOE/index.html>



「医・工・情報学融合による予測医学」は、三つの学問分野の発展が生み出した極めて現代的な新しい学問だ。医学・生命科学レベルでは、ヒトゲノムの配列の決定や細胞内のタンパク質の構造や機能の解明が進み、膨大なデータが蓄積されている。工学では、PET、MRI、レーザー技術の発達で生体機能を時間・空間的に計測できるようになってきた。情報科学では、ITの進化のみならず、生命機能の数理モデル化によるコンピューターシミュレーションも盛んに行われるようになってきている。

この拠点は、こうした成果を統合し、活用するため、生体の構造・機能研究と情報・システム科学によるシステム構築を同時に進めている。ここでは「フィジオーム」「シ

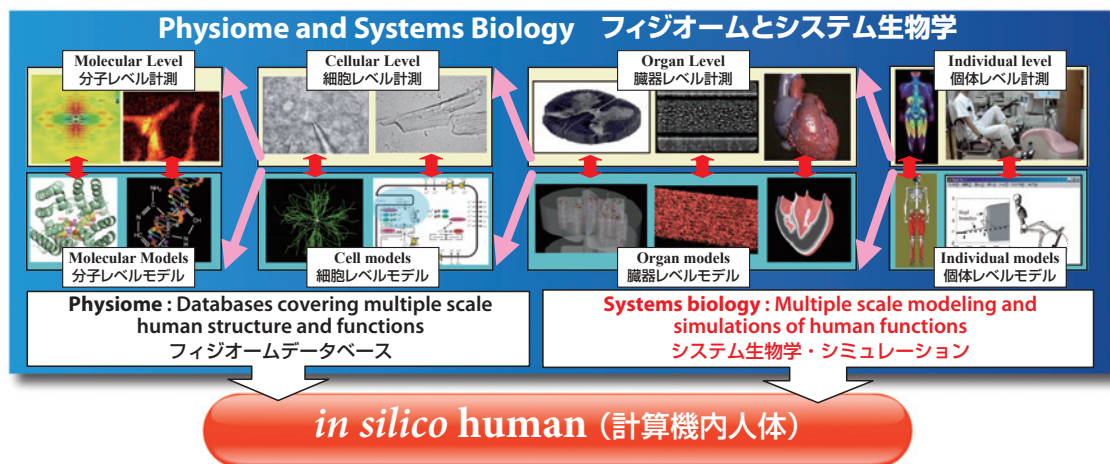
ステムバイオロジー」という新しい学問が展開されている。タンパク質、細胞、臓器、個体の各レベルを横断する形で統合的に生体機能を理解し、それをダイナミックに表現するデータベースを構築する。これを「フィジオーム」という。一方、それぞれの構造や現象のみの説明だけではなく、動的な機能を数理モデル化し、シミュレーションすることで定量的に理解し、治療効果や薬の安全性の予測へとつなげていくのが「システムバイオロジー」である。

フィジオーム・システムバイオロジー研究の場合は、コンピューター内に構成されたプラットフォームだ。こうしたプラットフォームの構築は欧米の幾つかの拠点が先

包括的開発に参入した。

従来からある遺伝子やタンパク質のデータベースは静的な構造を蓄積したものだ。この拠点のデータベースはこれまでとは全く違う枠組みの、時間的にも空間的にもマルチスケールでダイナミックにタンパク質や細胞あるいは臓器・個体の状態が時々刻々と変化する機能そのものを集約する。

「www.physiome.jp」のプラットフォームは構築が始まったばかりだが、この拠点に参画する研究者を含む世界各国の研究者が論文発表した多数の機能モデルを世界に公開している。ヒトの運動制御系を例にとると、神経細胞の動的なネットワークをはじめ、その背後にある論文、数理モデル、さらに違う階層へのつながりが解明されてい



Physiome and systems biology are emerging and interdisciplinary research fields, arising in consequence of development of biological and medical sciences, engineering and information sciences and technology. For biosciences, complete sequencing of human genome was the epoch-making event liberating vast amounts of experimental data. Advanced engineering and technology allow us to measure human physiological functions with high resolution using PET and MRI among others. Information technology and applied mathematics continue remarkable development, enabling modeling and simulating human functions *in silico*, i.e., within the computers.

The project promoted by this global Center of Excellence for *in silico* medicine aims at integrating these developments and contributing to moving the world towards a new generation of life science where physiological and pathological information from the living human body can be quantitatively described *in silico* across multiple scales

of time and size and through diverse hierarchies of organization - from molecules to cells and organs to individuals.

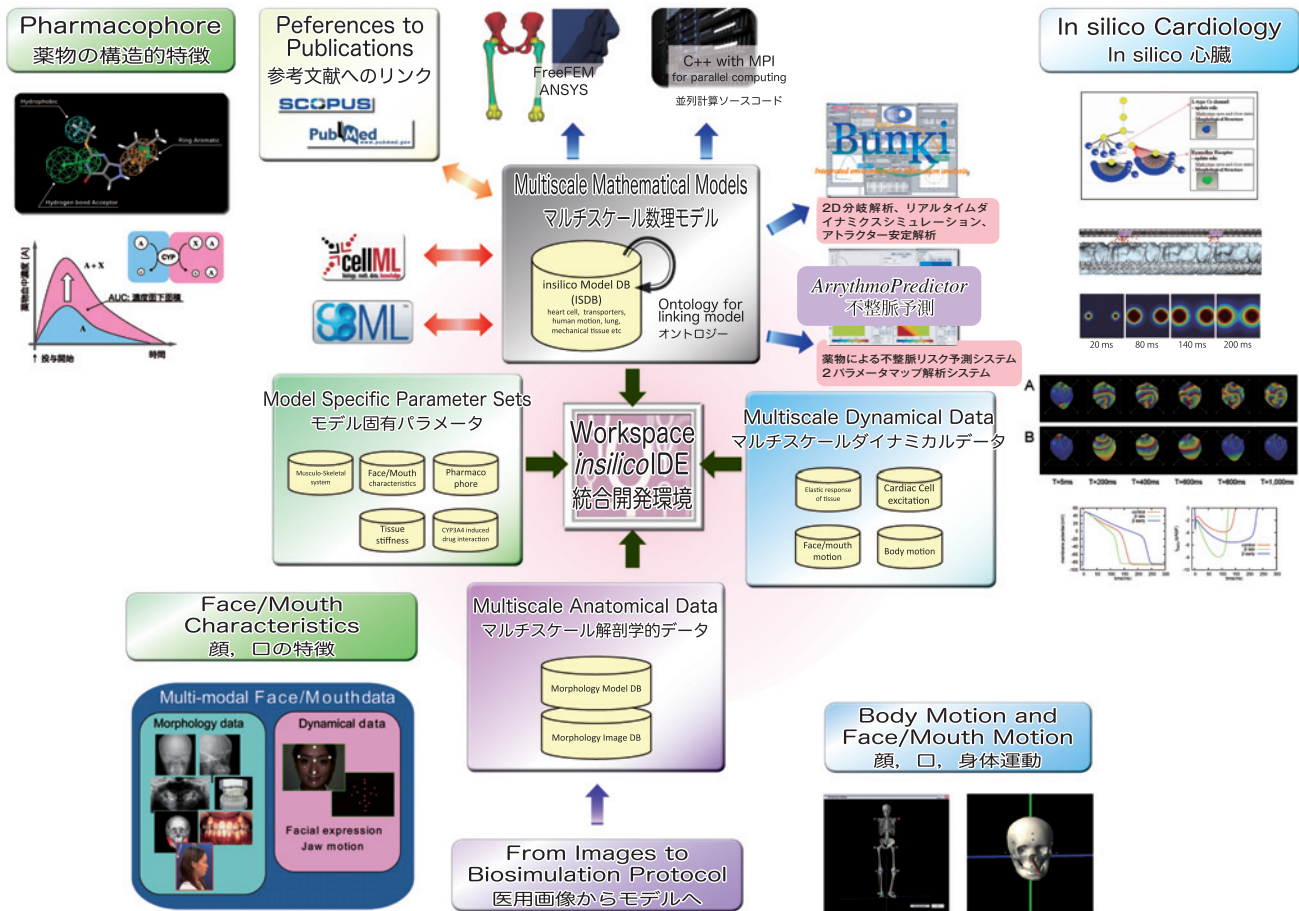
Promotion of physiome and systems biology requires development of mathematical models that are capable of describing structure and function of the human body across multiple scales, which will be integrated into databases of human physiology. Development of simulators is also performed. It enables us to quantitatively analyze the dynamics of physiological functions, eventually leading to the predictive medicine.

In silico platforms established within internet-accessible computers play important roles to promote physiome and systems biology. US and EU countries have been aware of their importance and taking initiative. The *in silico* medicine project has got into the international concerted efforts as a Japanese contribution.

Databases of genes and proteins have been widely utilized. So far, these databases deal with static information.

プラットフォームの全体像

Overview of the physiome platform



Databases established by the *in silico* medicine project try to archive more dynamic information, that is, human physiological functions represented by changes in “states” of proteins, cells and organs along time at multiple scales in time and space. The database of the *in silico* medicine at www.physiome.jp has just been open in the public domain with hundreds of peer-reviewed dynamic models of human physiological functions. Each model in the database is represented by its hierarchical and modular structure, allowing the user to investigate the model across multiple scales.

A promising research in the project is *in silico* cardiology, where an integrated system to evaluate quantitatively and even predict a potential risk of drug effect inducing cardiac arrhythmia based on the electrophysiological data and computer simulations of models.

Dr. Kurachi, a director of the Center for Advanced Medical Engineering and Informatics (MEI center) said that “The platform development must be performed in coherent with

targeted physiological functions. The quantitative risk evaluation and prediction of drug effect inducing cardiac arrhythmia are now going to be possible. This is because we could measure the dynamic changes in the membrane potential of cardiac cells and associated ionic channel current with very high accuracy, from which one could relate the cellular function to the microscopic molecular functions such as interactions between drugs and channel proteins, and to the macroscopic tissue and organ level functions such as spatiotemporal conduction of cellular activations. The platform must be designed so that it can systematically support such processes across different levels and scales, leading to a scientific discovery and a new integrated understanding of the human physiological functions.

The *in silico* medicine project includes a multiple of targets such as *in silico* lung project, *in silico* dentistry, *in silico* neurology among others.

The integrative approach for those varieties of human

るものについては、組織や個体の動きも見る事ができる。

すでに信頼できる研究データの多い心臓機能レベルでは、シミュレーションによって薬物の副作用による心不全の予測を可能にした研究成果も出ている。

この拠点の中核専攻である大阪大学臨床医工学融合研究教育センターの倉智嘉久センター長は「生命機能をすべて解明するのは不可能。ここでは目的を決めてプラットフォームを構築していく。薬による心臓不整脈発生の予測は、心筋細胞膜の活動電位とイオンチャネル電流の計測データの信頼度が高いことから可能になった。そこから細胞膜より小さいスケールであるチャンネルタンパク質と薬の相互作用、大きいスケールである組織・臓器レベルにおけるメカニズムの理解へと階層と時空間スケールを広げていくことができた。さまざまなテーマ設定をし、最も信頼できるデータを基に、各階層をつなぐ意識を持っていると科学的な発見が生まれる」と言う。

薬以外の予測医学では、矯正歯科における抜歯の最適治療計画システムや、人工股関節の手術をナビゲートするシステムも構築中だ。

プラットフォーム開発には大阪大学が得意とする工学・情報技術が活躍する。例えば、インターネットの検索エンジンは、

HTML言語で書かれたホームページの文章や画像から、HTML内にあるさまざまな印をもとに、情報を集めるシステムをつくっている。「www.physiome.jp」では、ISML (insilico Markup Language) というマルチスケールで生体の機能と構造の数理モデルを記述する言語を開発した。そこでは、文字ベースの情報だけではなく、多様な数式・形態モデル、実験データなどにも印をつけ、いかにしてダイナミックな情報を集約するかに知恵を絞っている。

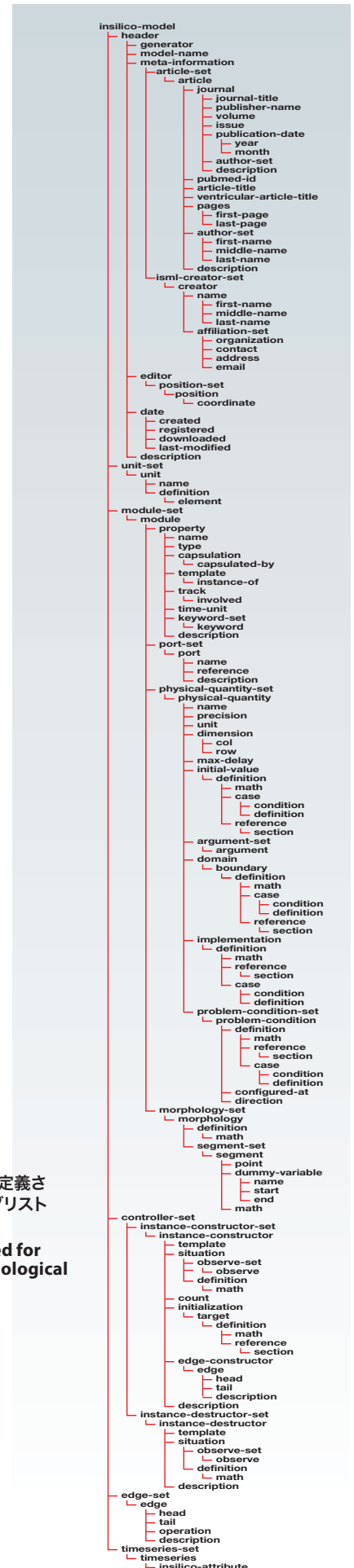
拠点リーダーの野村泰伸教授は「あるモデルを使ってシミュレーションをしたいと考えた時、活用しやすい仕組みにするためには、階層同士のつながりを表現するルールが重要になる。人間の生体機能を集約した優れた表現能力や検索機能を持つプラットフォームを実現したい」と話している。2010年には細胞内シグナル伝達系を主な対象とするSystems Biology Markup Language (SBML) との統合プラットフォームとなる予定である。

世界の拠点とは競争するばかりではない。オックスフォード大学、オークランド大学などのフィジオーム・システムバイオロジー分野の代表的研究者らと締結した、統合生命科学・生体工学の世界規模の連携推進を目指す「大阪宣言」に基づく連携も進めている。

physiology and pathology will eventually allow us to understand the dynamic mechanisms underlying functions. This means that we will be able to explore the logics of proteins and cells through the modeling of nano and microscopic dynamics governed by the first principles of physics, the logics of cells, organs, and individuals through the phenomenological modeling of meso and macroscopic dynamics of systems as the aggregation of the nano and microscopic objects, and finally, the meta-logics that will bridge between the different scales and hierarchies.

The GCOE International Symposia held in Osaka and San Francisco in 2007 and 2008 had participation of key people in Integrative Research worldwide, from EuroPhysiome community, IUPS Physiome Project, European Commission, US-NIH, Systems Biology community and the Japanese Ministry of Science and Technology. These events have been continuously strengthening the international cooperation on Biomedical Integrative Research.

● ISML 1.0 に定義されているタグリスト
XML tags used for describing biological functions





**Global
COE**

Center of Excellence

**Program
2008**

グローバルCOE
プログラム
(平成20年度採択分)



細胞内オルガネラ間の 対話メカニズムを究明

新パラダイムの治療戦略考案へ

オルガネラネットワーク医学創成プログラム

● 拠点リーダー 米田悦啓 生命機能研究科 / 医学系研究科教授

Unraveling the mechanisms behind **organelle networks**

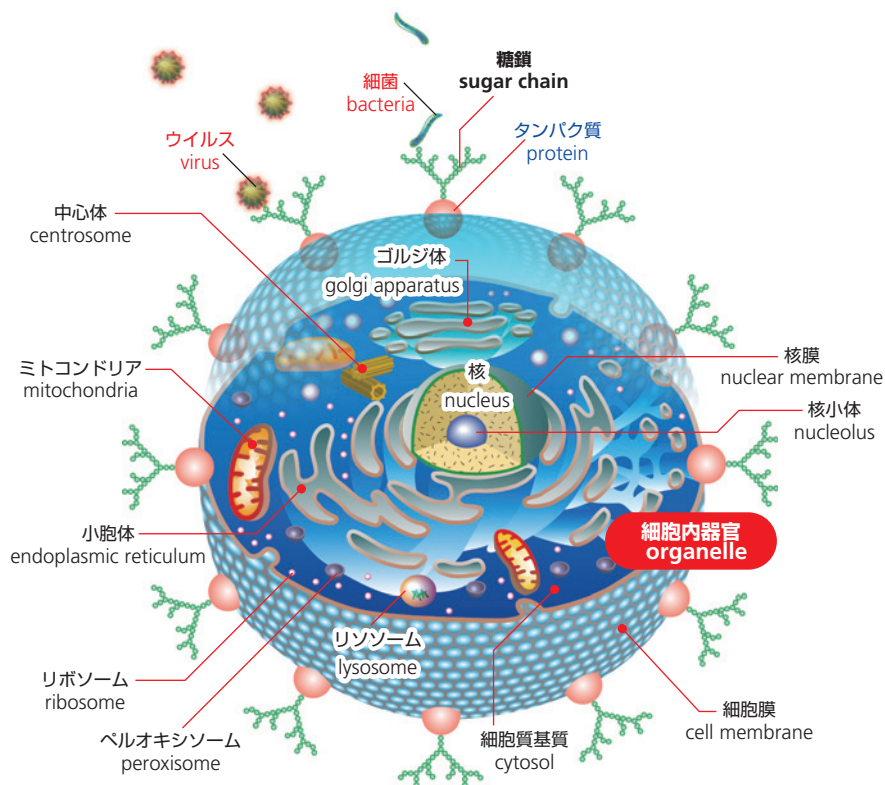
A new paradigm for disease treatment

Frontier Biomedical Science Underlying
Organelle Network Biology

Program Leader

Yoshihiro Yoneda — Professor, Graduate School of Frontier Biosciences /
Graduate School of Medicine

<http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/organelle-network/>



「オルガネラ」はヒトの体に約60兆個ある細胞の中に存在する小部屋のような小器官である。代表的なものに核、小胞体、エンドソーム、ミトコンドリア、ゴルジ体などがある。それぞれがコミュニケーションを取り合い、細胞内の分子輸送に重要な役割を果たして生命の機能を司っている。

「感染症」では、さまざまな病原体が細胞の中に入り込み、オルガネラの一つである核の中で、遺伝子を複製して再生産され増殖していくものがある。病原体は、核だけではなく、細胞内のさまざまなオルガネラを通過し、そのシステムを巧みに利用して子孫を増やしているのだ。

一方、グルコース(ブドウ糖)などの単糖が鎖状につながった「糖鎖」は、細胞の表面に多くあり、「細胞の顔」といわれる。ゲノムの情報を翻訳してつくられるタンパク質の約半分は糖鎖が結びついて機能する。インフルエンザウイルスやエイズウイルスなどは糖鎖とうまく結合して細胞内に侵入する。また、オルガネラ機能には、細胞内タンパク質の糖鎖付加が密接にかかわっている。先天性筋ジストロフィー症、肺気腫な

ど糖鎖異常が原因である疾患が数多く明らかになってきており、大阪大学の研究で、がんの転移に糖鎖が深くかかわっていることが発見された。

大阪大学は、先の21世紀COEで5年間にわたり、糖鎖とタンパク質、感染症学と免疫学の二つの研究テーマで融合を進めてきた。その研究から見えてきた「オルガネラネットワーク」というキーワードに焦点を絞ったのが今回のプログラムだ。「感染症学」「細胞生物学」「糖鎖生物学」の融合を図るものである。

拠点リーダーの米田悦啓・生命機能研究科教授は「生命科学では、遺伝子、タンパク質および、個体の研究は精力的になされてきたものの、細胞がどうやって生きているかを統合的に理解する研究が遅れている。オルガネラという小部屋の個々の機能は発掘されているが、小部屋同士のハーモニーがないと細胞は生きていけない。そこに分子から個体までの統合した理解へのカギがある」という。

例えば、エイズウイルスはいったん核の中に入って増殖するが、その出入りの方法

は未解明である。最近しばしば話題になるインフルエンザウイルスも、輸送という意味での研究は進んでおらず、感染のメカニズムを分子レベルで理解できていない。その点を解き明かし、オルガネラネットワークと病原体の相互関係を遮断する技術を開発できれば、感染を抑える新たな予防・治療法が確立できるはずだ。

オルガネラの中で、小胞体、ゴルジ体は糖鎖サイクルの主役だ。ウイルス感染のステップにも糖鎖が密接に絡んでいるケースが多いといわれる。ウイルスの中には、さまざまなオルガネラを通過する度に、糖鎖を付けて“成長”していくものがあるが、この分野の研究も未知の領域である。また、小胞体でのタンパク質品質管理の破綻による神経変性疾患など、オルガネラ機能の破綻が原因と思われる疾患の診断や治療法の開発は、糖鎖付加の解明が一つのカギを握っている。

アルツハイマー病や老化の秘密も糖鎖とオルガネラにあると推測されている。オルガネラの一つ小胞体は膜タンパク質を合成し、それに糖鎖を付加して機能できるタン

Organelles are small partitioned organs within cells. There are approximately 60 trillion in a human body. Examples of organelles include the nucleus, endoplasmic reticulum, endosome, mitochondria, and golgi apparatus, all of which communicate with each other in order to regulate intracellular molecular transport, which has a fundamental role in the function of life.

Organelles are a common target for infectious diseases. Although pathogens most effectively proliferate by replicating their genes within the host nucleus, they can still propagate upon infecting other organelles.

Another popular target for viruses is polysaccharides, which along with proteins form glycoproteins through the process of glycosylation. Glycoproteins are hallmarks of the cell surface. Viruses then are able to invade the cell by attaching to these glycoproteins. In fact, about half of all proteins translated undergo glycosylation. Many diseases such as hereditary muscular dystrophy and emphysema are caused by abnormal glycosylation while viruses like influenza virus or HIV interact with the host's saccharides in order to invade

the cell. Furthermore, research at Osaka University has revealed that defective glycosylation is closely related to cancer metastasis.

This GCOE utilizes the information gathered from preceding five year 21st Century COE programs involved in infectious diseases and immunology by applying a wide range of biological fields like cell biology, glyco-biology, basic medicine/clinical medicine, and microbiology to create a project that specifically focuses on organelle networks.

The program leader, Professor *Yoshihiro Yoneda* from the Graduate School of Frontier Biosciences / Graduate School of Medicine, says that, 'Although in the life sciences fields like genetics and protein science have advanced, understanding how cells integrate information from these separate fields has lagged. We understand how organelles work individually, but still have a poor grasp of how they function mutually to generate appropriate cell function.'

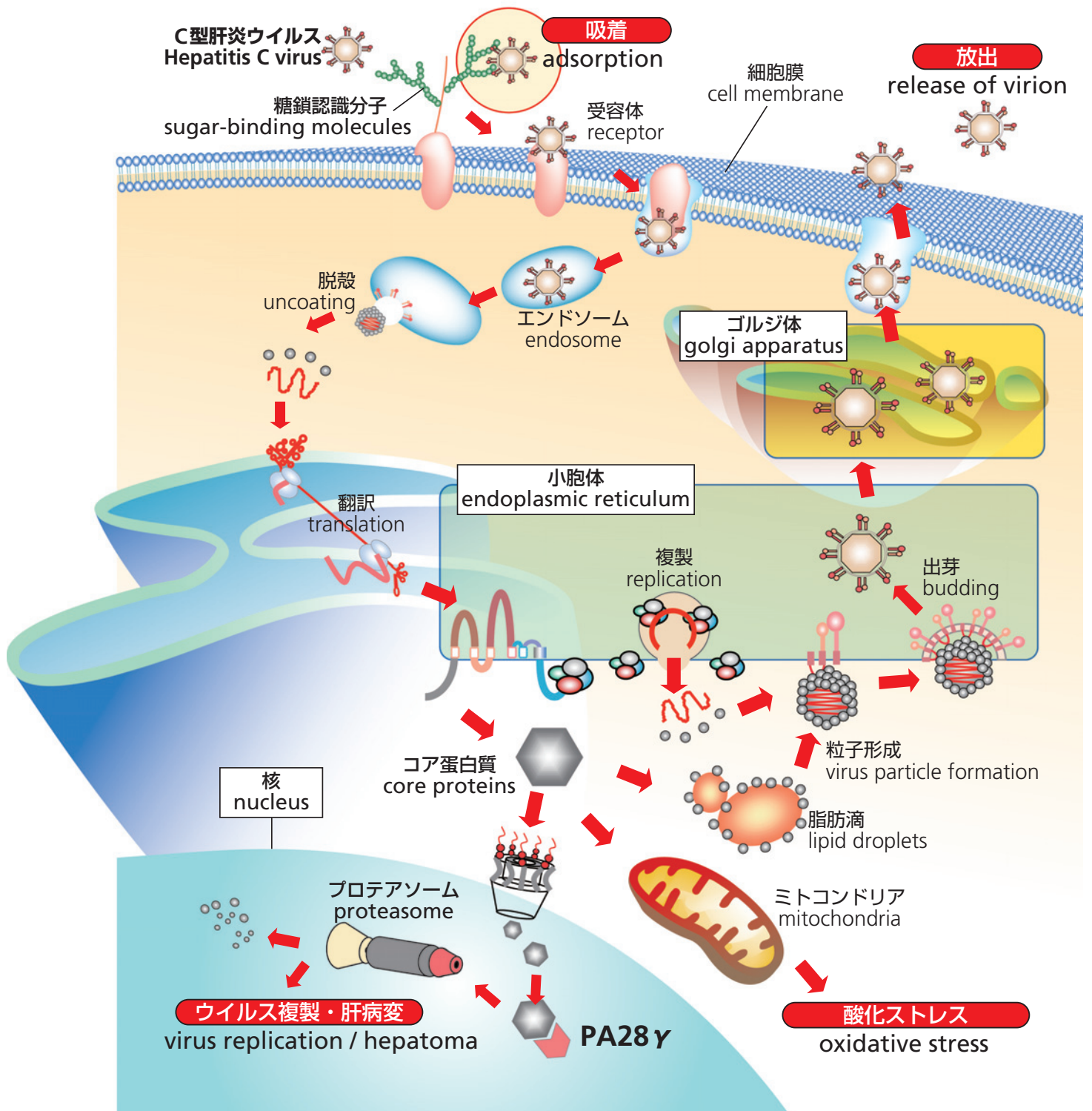
Consider, for example, that while it is known that HIV enters the nucleus to proliferate, the mechanism for entering is still a mystery. Likewise, research for the

●C型肝炎ウイルス(HCV)の感染環

細胞内のオルガネラを渡り歩いて増殖するHCV。HCVのコアタンパク質の一部はミトコンドリアの機能障害を引き起こしたり、核に侵入してプロテアソームの活性化因子「PA28 γ 」と相互作用して、HCVの複製、脂肪肝や肝臓がんの病理性発現に深く関与していると推測されている。

Infection cycle of Hepatitis C Virus; HCV

HCVs wander between organelles. A core part of the HCV protein induces deficient mitochondria function, and interacts with proteasome activator PA28 γ , which results in HCV replication and also triggers the production of fatty liver cells and cause hepatomas.



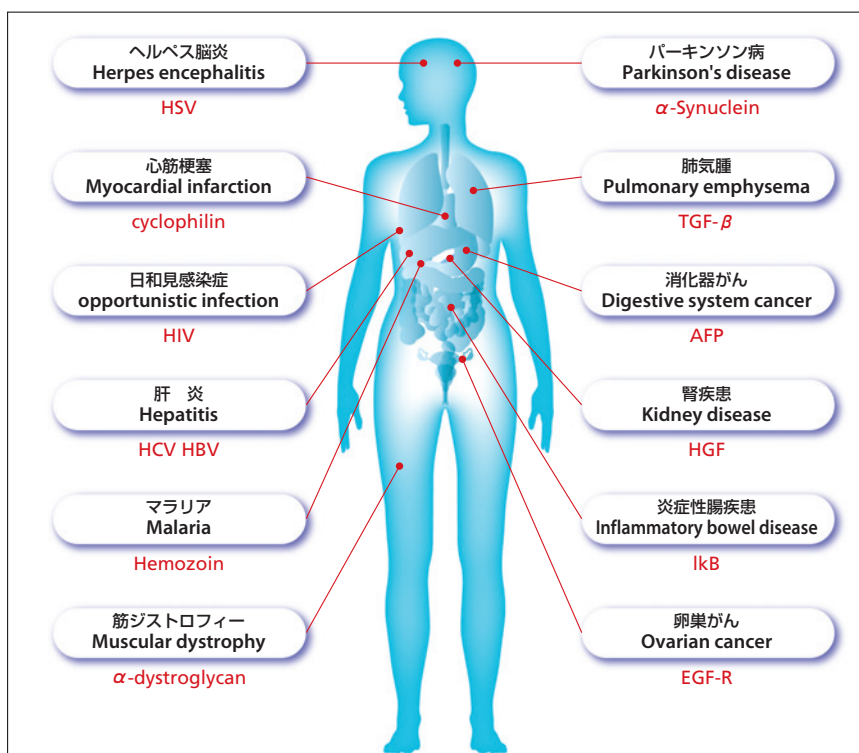
パク質として完成させる役割を持っている。しかし、たまに糖鎖付加がうまくいかず、タンパク質の製造に失敗する場合がある。修理ができないタンパク質がたまってくと、小胞体からミトコンドリアにシグナルが伝えられ、細胞死が起きる。その現象がアルツハイマー病に関連する可能性があるともいわれている。

「オルガネラ」をキーワードとした研究は

教育面にも生かされている。大学院生は、積極的に融合研究のテーマを提案する。研究室の壁を取り払う意識づけを学生時代からできるようにする取り組みだ。医学系、生命機能、理学の3研究科を対象に将来リーダーシップを発揮できる研究者を養成するRD(Researcher Development)プログラムもユニークだ。学内のみならず企業や研究所から講師を招き、コミュニケーションのあ

り方、男女共同参画、企業の求める人材などリーダー育成のためのカリキュラムが組まれている。

米田教授は「世界で唯一のオルガネラネットワーク医学という新しい医学の分野を開拓する。多くの因子や環境が複雑に絡み合う病態の解明と治療に貢献するとともに、従来とは全く違った視点を導入した教育・研究拠点にしたい」と話している。



オルガネラネットワーク研究で期待される医学への貢献

Prospective impacts of this COE on medical science.

influenza virus has not revealed the full mechanism for molecular trafficking during invasion. In general, mechanisms behind pathogen invasion remain major conundrums. Their expectation is that clarifying the interaction between the pathogens and organelles will lead to new approaches for infection prevention and treatment.

As said, viruses often invade cells through the saccharides. Viruses can then use organelles for viral propagation. Certain organelles, like the endoplasmic reticulum and golgi apparatus are thought to be primarily responsible for glycosylation. The endoplasmic reticulum is responsible for synthesizing proteins and also has a part in the protein's glycosylation in order for the protein to achieve function. Defects here can lead to several problems as dysfunctional proteins accumulate, which can signal the mitochondria and ultimately lead to the cell death. Several neuro-degenerative diseases are attributed to a malfunctioning

endoplasmic reticulum. The consequence of cell death is considered to have an association with extremely destructive diseases like Alzheimer's.

A major objective of this GCOE is to sustain strong interest in organelle networks. One strategy to achieve this is to develop an education environment that heavily promotes collaborative research in the medical sciences, life sciences, and natural sciences. The goal is to produce proactive researchers with strong leadership skills to continue this line of research. Students will have the opportunity to work in diverse laboratories, receive lectures from experts in academia and industry, all with the aim of promoting communication between different groups to cultivate collaborative projects that this field needs in order to elucidate the fundamental mechanisms driving organelle cross-talk.

Professor Yoneda says, 'We intend to develop a new field of medicine that focuses on organelle networks that offers a unique and comprehensive perspective.'

夢の「室温超伝導」 物質創成へ

地球にやさしい未来を拓く物性物理学

物質の量子機能解明と未来型機能材料創出

●拠点リーダー 北岡良雄 基礎工学研究科教授

Towards the Fabrication of Room-temperature Superconductor

— Condensed-matter physics contributing to
more prosperous society in 21st century

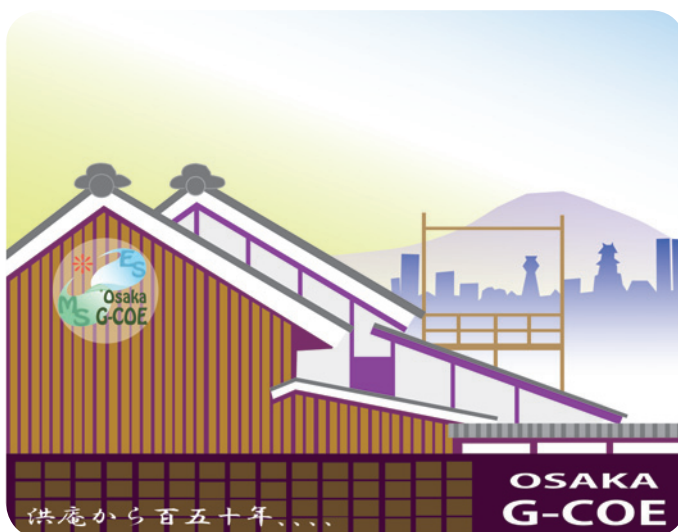
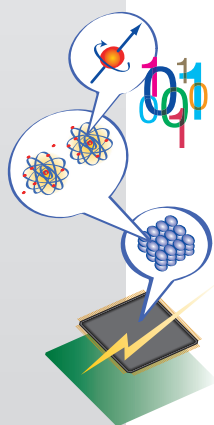
Core Research and Engineering of Advanced Materials

— Interdisciplinary Education Center for Materials Science —

Program Leader

Yoshio Kitaoka — Professor, Graduate School of Engineering Science

<http://www.gcoe.mp.es.osaka-u.ac.jp/>



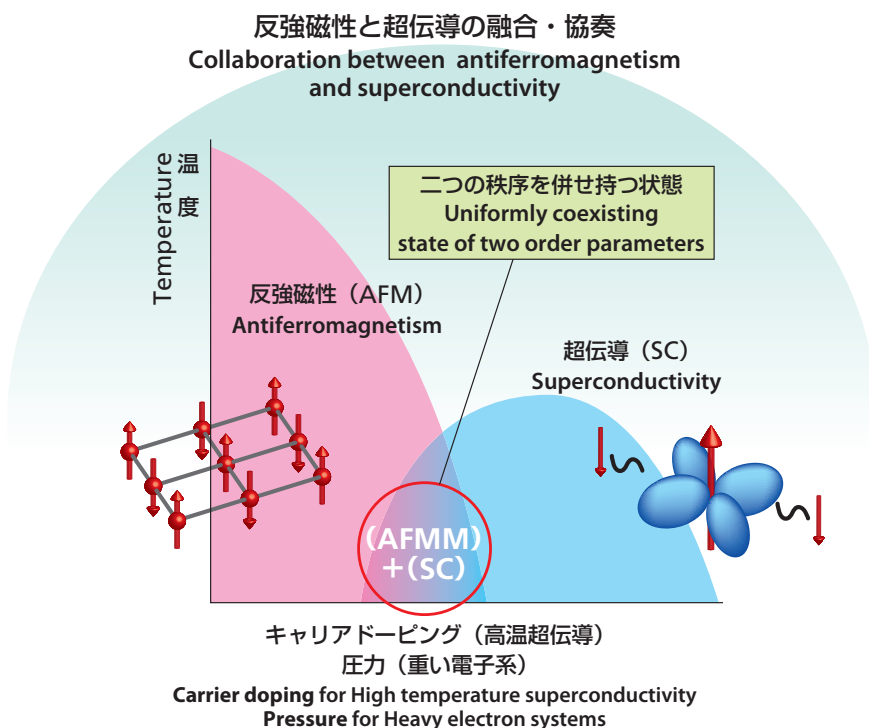
電気抵抗ゼロで電流が流れ、エネルギーのロスがない超伝導を室温で実現するのは夢の技術だ。この拠点は文科省COE、21世紀COEと続いた10年間、高温超伝導に関する研究で数々の輝かしい研究実績を残している。多層型の元素を組み合わせた高温超伝導体に反強磁性と超伝導が共存していることを突き止めた2007年の発見は特筆すべき研究の一つだ。超伝導と反強磁性という二つの性質は独立して存在するという

定説を覆す可能性を持つとともに、超伝導の新しい発現機構の解明に大きく道を開いた。拠点は室温超伝導の実現に向けて着実な歩みを重ねている。

新たに始まったグローバルCOEでは、高温超伝導を実現するために、転移温度の非常に高い反強磁性体に狙いを絞った物質探索の重要性に着目している。2007年秋、独自のNMR(核磁気共鳴法)による観測で、高温超伝導体の超伝導には、母物質の電子状

態と転移温度の高さに重要な関係があるという大きな発見があった。拠点リーダーの北岡良雄教授は「世界中から注目されている高温超伝導がこれまでの常識では考えも及ばない磁石を生み出すのと同じ相互作用で説明できるということだ。似ても似つかないものに現象の融合があることがわかってきた。基礎科学は固定概念を変える発見を積み重ねてきた。それがさまざまな学問を進める契機となり、この拠点がある」と話す。

北岡教授の言う現象の融合とは何か。磁性と共存する高温超伝導や、誘電性と磁性という二つの秩序を併せ持つ物質はマルチフェロイクスと呼ばれている。本来なら相入れない性質が同じ物質で共存している状態だ。従来の研究分野には誘電体、磁性体、超伝導体、絶縁体、金属、半導体という区分けがあった。今では、強誘電性も示す磁性も示す、磁性体だが超伝導になるといった、今まで別々の分野と考えていた学問領域が、あるいは現象が融合している。



New discoveries and developments in solid-state physics, which will can clarify the physics-based relationship between the microworld of atoms and the macroproperties of materials, will give rise to new areas of applied research in engineering, resulting in dramatic advancements in the industry. Through the control of the function of molecules, atoms, and electrons, which determine the characteristics of magnetic matters, superconductors, dielectric matters, semiconductors, organic substances, and substances in living organisms, and the fabrication of future materials that can transmit information through a single electron, spin, or photon, the conservation of natural resources and energy saving can be realized, thus contributing to a more prosperous society in the 21st Century.

Condensed-matter physics based on quantum mechan-

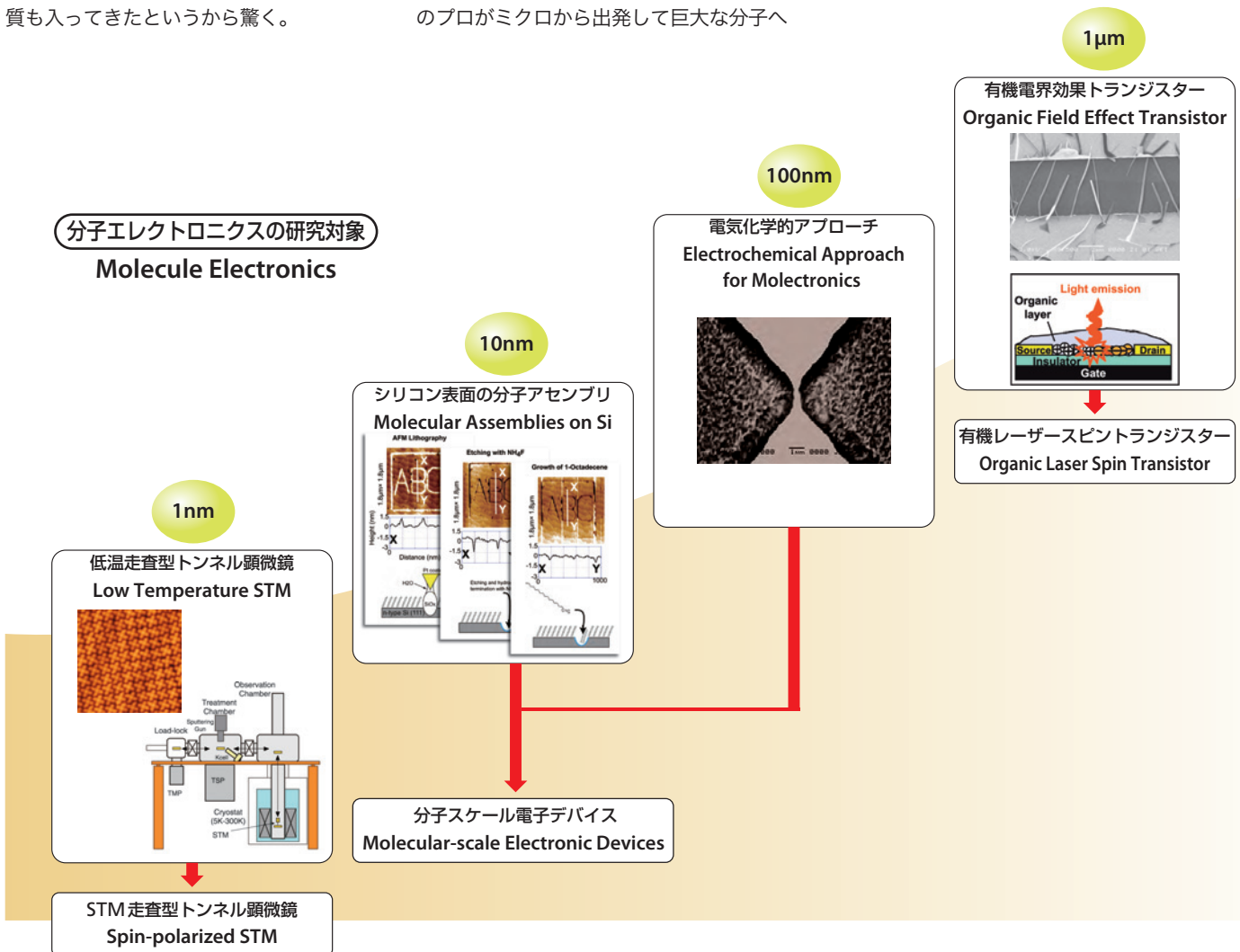
ics has led to the discovery of functional materials required for new advances in the science and technology, and has elucidated the principles underlying these functions. During the past few years, these discoveries have extended beyond inorganic substances to organic substances and even substances found in living organisms; hence, this has developed into a multidisciplinary field. The establishment of innovative next-generation science and technology, which will meet the increasing demand for energy in the 21st Century while conserving natural resources and being environment friendly, is a very important task for mankind. In order to meet the social demand for this groundbreaking research for innovative next-generation science and technology that finds its roots in the development of basic materials science, we have arrived at this conception for the COE.

そうした積み重ねを土台に、新しいタイプの量子物質を創成し、それらの量子機能を解明する基礎研究グループと量子機能を活用する応用研究グループがこの拠点を構成する。

応用研究グループは、電子・分子・スピン・光にかかわる量子機能の制御とデザインがテーマだ。そのターゲットには生命物質も入ってきたというから驚く。

シリコンの微細加工に見られる、大から小へのトップダウンとは逆に、最初から小さいユニットで始める分子エレクトロニクスという分野がある。これはシリコンデバイスに代わる未来型デバイスだ。1個の分子に電場をかけると電気が流れる。分子に金属をくっ付けて電気を流す。どういう分子がそれに適しているかを調べる化学合成のプロがマイクロから出発して巨大な分子へ

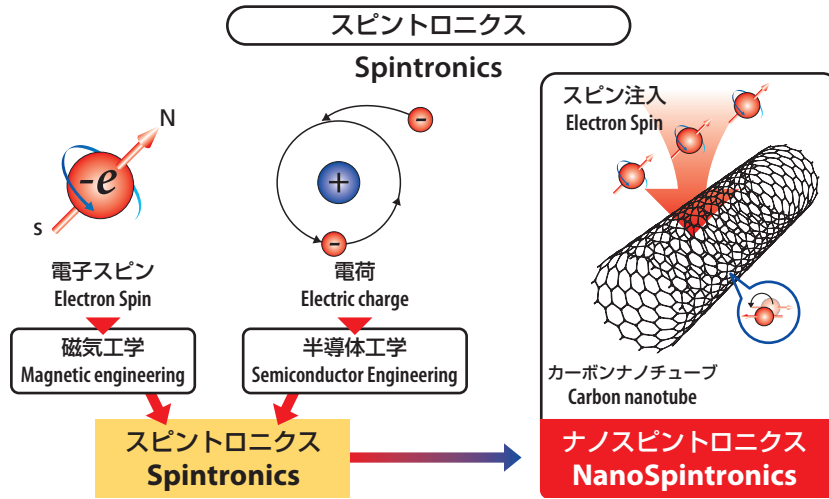
とボトムアップしていく。一方、電子レベルで分子の働きを解明するのは物性物理の役割だ。当面はハンドリングのやさしい高分子から始め、生物分子へと発展させていく。未来型のデバイスは異分野の融合なくして実現できない。



(1) Quantum materials phase research in a multidimensional environment.

Our main objectives include the establishment of new concepts in materials science through the elucidation of the mechanism that underlies the superconductivity and magnetic ordering in strongly-correlated-electron systems, and the creation of materials exhibiting superconductivity at temperatures higher than that shown by any of the presently known materials. Further, new concepts that elaborate the concept of frustration will be developed through

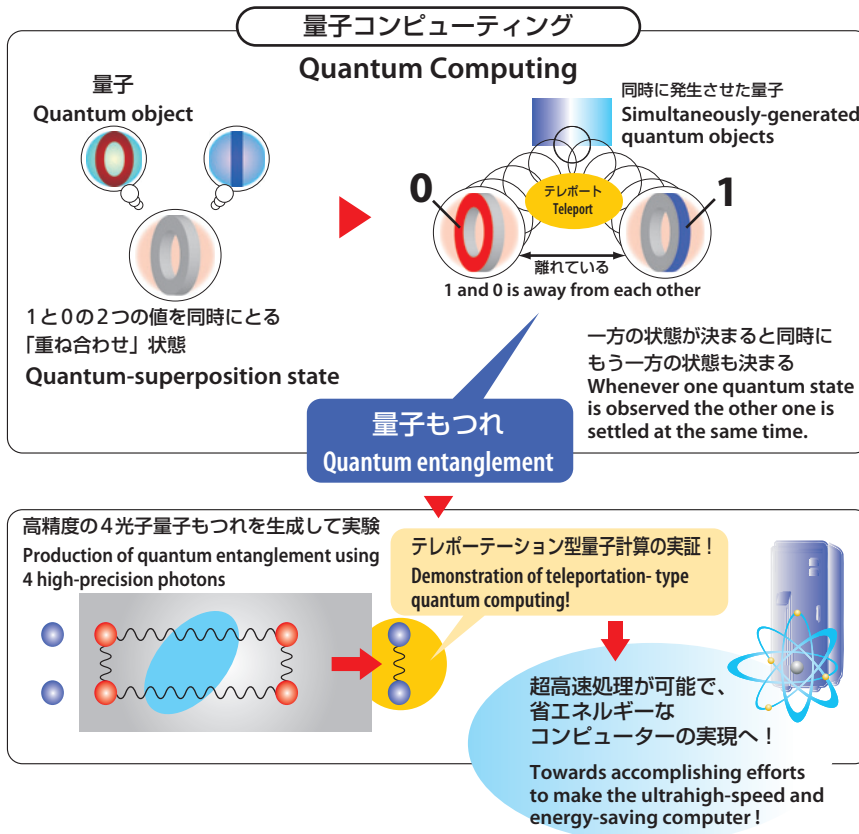
the creation of materials capable of new electromagnetic applications (magnetism control by electric fields), made possible by the collaborating or competing use of solid-state properties (magnetism, ferroelectricity, and structural material properties.) By this research, attempts will be made to elucidate how atomic, molecular, and spin arrangements in microareas and the related electron configurations govern macromaterial properties, and to make rapid progress in the organizing research activities in the field of materials science in Japan.



一方、電子が持っている磁石の性質を使って次世代デバイスをつくるスピントロニクスという新技術が目まぐるしく注目されている。従来の半導体デバイスは電荷（電気を伝える性質）をコントロールして、スイッチのON・OFFでデジタルに対応してきた。スピントロニクスは電荷と電子スピン（磁石になる性質）という電子の持つ二つの性質を利用したデバイスだ。「ナノスピントロニクス」は、高品位なカーボンナノチューブ・フラーレンなどの新物質にスピンを注入して、その制御に取り組んでいる。

また2008年には、世界初のテレポーテーション型量子計算の実証に成功した研究もある。これは従来のコンピューターとはけた違いの計算能力を持つ「量子コンピューター」の実現に一歩近づいたものだ。NTTと共同の研究チームは、量子テレポーテーション（離れた場所に量子状態を転送する）を使った「一方向量子計算」に注目。光子（フォトン）四つを使った実験によってテレポーテーション型量子計算を実証した。

「量子つまり1個の電子、1個の分子、1個のフォトン」を操作する。今はシリコンに多くの電子を流しているから、それを小さく狭くすると電気抵抗が増えて、微細化の限界を迎える。私たちはこうした常識から外れた機能を持ったデバイスをつくり出す。例えば、人工原子をつくり、そこに光を当てる。数少ない1個のフォトンで電子を励起する——そのようなさまざまな量子機能を制御して、地球環境を守る“持続可能な社会”の実現に貢献したい」と北岡教授は物性物理学の新たな展開を語る。



(2) Research on new functional materials for the future through the control and design of quantum properties.

We aim at control and design of the quantum functions relating to electrons, molecules, spin, and light: the establishment of basic science and technology for the new functional materials related to properties of superconductors, magnetic matters, dielectric matters, semiconductors, organic substances, etc. These properties are controlled by localized structures at the atomic level and interface or molecular properties involving both physics and chemistry,

dealing with semiconductors, amorphous matter, carbon nanotubes, conducting molecules, and organic functional molecules, etc. The development of innovative next-generation technologies such as molecule electronics, spin electronics, optotronics, and quantronics relating to quantum information processing, and the development of applied science and technology such as next-generation energy sources and the well-known solar electric devices, are expected to be very important to the future of the Global.

精度・環境負荷の 限界を打ち破る

新たなものづくりパラダイムの創出

高機能化原子制御製造プロセス教育研究拠点

●拠点リーダー 山内和人 工学研究科教授

Beyond the existing limit of accuracy and environmental load

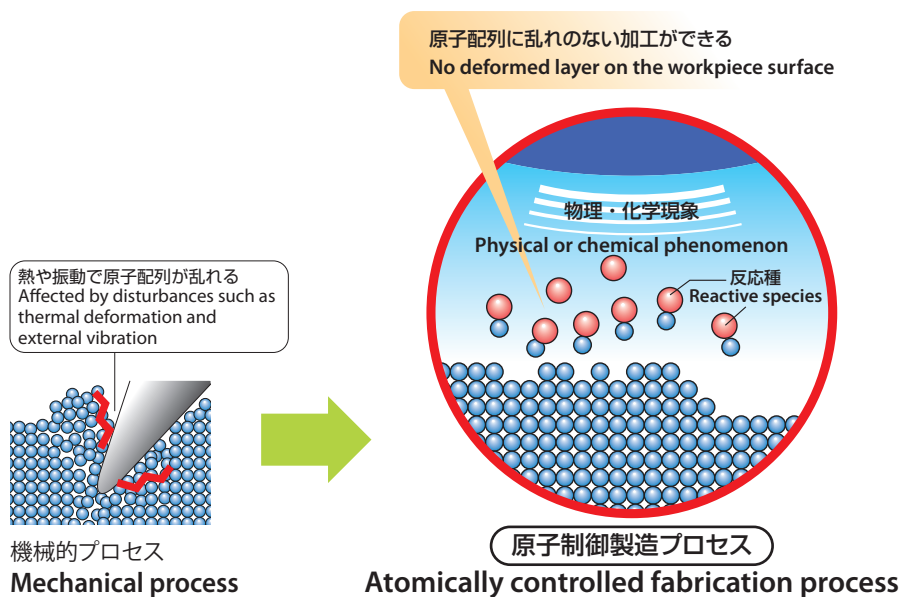
New paradigm for production

Center of Excellence for
Atomically Controlled Fabrication Technology

Program Leader

Kazuto Yamauchi — Professor, Graduate School of Engineering

<http://acftgcoe-osaka-u.kir.jp/index.php>



今日の先端産業を支えている精密加工技術は、既存の加工原理を利用しながら、その装置の性能を極限まで高めることによって発展してきた。だが、達成できる精度や、環境に与える影響から考えても、そうしたものづくりはすでに限界に達している。精密加工分野で、従来の技術の延長線からは実現できない「オンリーワン製造プロセス」の創出に取り組んでいるのがこの拠点だ。ここでは精度や環境負荷の限界を打ち破る新

しいパラダイムを学問として切り開きながら、企業で柔軟に活躍できる人材を育てていく。

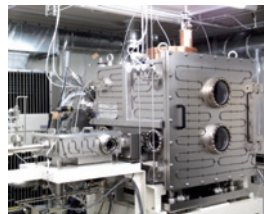
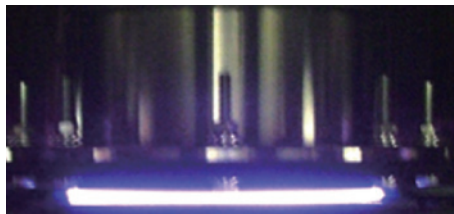
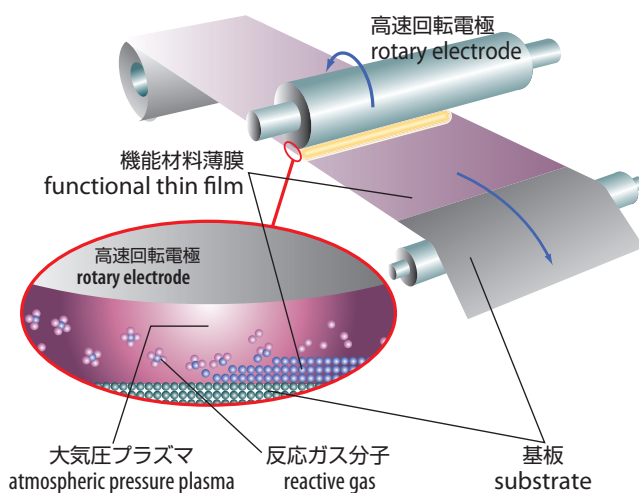
では、いかにして精度と環境負荷の限界を乗り越えるのか——。「それは物質表面での自然現象的な自己組織化現象を利用して、精度の高いものをつくること。一方で、過大なエネルギーや危険な薬剤などを使わず、自然にならった製造プロセスを開発し、環境性能を高める」と拠

点リーダーの山内和人教授は説明する。

例えば、現在主流になっている太陽電池用シリコンをつくるためには大量のエネルギーが必要だ。シリコン使用量を抑えるには薄膜太陽電池が有利だが、現在その製造に使われている減圧プラズマ技術では、原料ガスの精製に大量のエネルギーを使ううえ、シリコン膜形成に時間がかかるため、コストが高くなってしまふ。それに対し、この拠点で研究が進む大気圧プラズマを利用した薄膜形成プロセスは、原料ガスを用いず、低純度の固体シリコン原料から直接、高純度の薄膜形成を行うことを可能にした。原料中のシリコンを90%以上むだなく使って、従来技術の10倍以上の高速でシリコンを成膜できる技術だ。大幅にエネルギーとコストを削減することができ、近い将来、太陽電池による発電を加速させる研究である。

また、「Osaka Mirror」の名で世界に知られるのが、この拠点が進めるX線オプティクス研究である。この拠点は、日本では兵庫県のSPring-8のほか米国、フランス、ドイツの巨大放射光施設との提携を構築し、さまざまな技術を提供している。広い面積を使ったミラーでX線を極小に絞り込む技術は世界の追随を許さず、硬X線集光(波長 0.8\AA)での世界最小集光径25ナノを達成している。その精度といえば、東京一大阪間500^{km}の細長いミラーを表面加工したとして、凸凹は2~5^{nm}。ここまでの表面加工ができないと、世界のチャンピオンデータは取れないという。

大気圧プラズマプロセス Atmospheric Pressure Plasma Process



Precision machining technologies which are the bases of today's frontier industry have developed so far by applying conventional processing principles to maximize the performance of processing facilities. However conventional way of production has already reached the limit in terms of achievable accuracy and negative impact on environment. In the field of precision machining this COE program is working on the development of "Only one fabrication process" that can not be carried out by conventional technology. The mission of this program is to create a new paradigm to exceed existing limit of accuracy and environ-

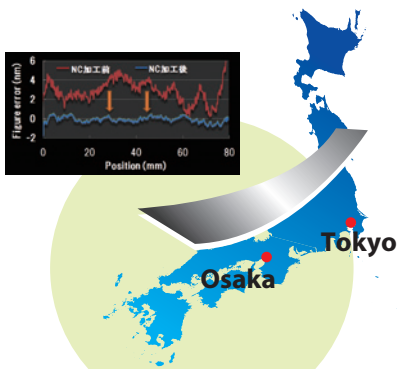
mental load as an academic issue while fostering young promising people who could work actively and flexibly in the industry is another mission.

Then how can we go beyond the existing limit? Professor Kazuto Yamauchi, the program leader explained that natural self-organization phenomenon on the workpiece surface must be utilized to achieve that goal. On the other hand, fabrication process should be developed to enhance the environmental capability naturally as well as reasonably without employing excessive energy or hazardous drugs.

For example massive amount of

energy is required to produce silicon for solar cell which is treated as a common way these days. Thin-film solar cell is advantageous to cut the amount of silicon but conventional low-pressure plasma CVD (chemical vapor deposition) would be costly due to the vast amount of energy required for producing source gas and also long time taken for forming silicon film.

On the contrary, thin film formation process utilizing atmospheric pressure plasma promoted in the program enabled to make high-purity thin film directly from low-purity solid silicon without using source gas. The deposition rate



約500Km(東京—大阪間)を5mmの誤差でフラットにできる技術!

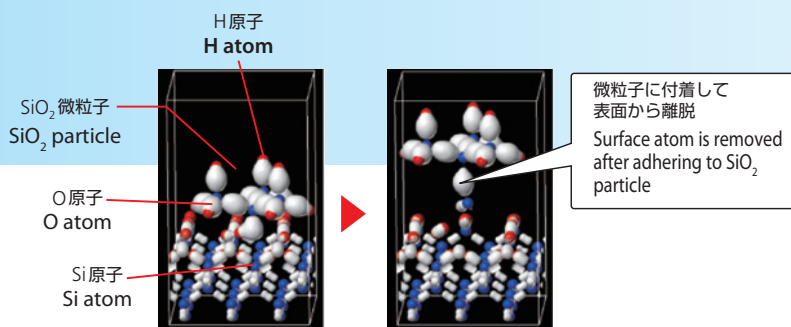
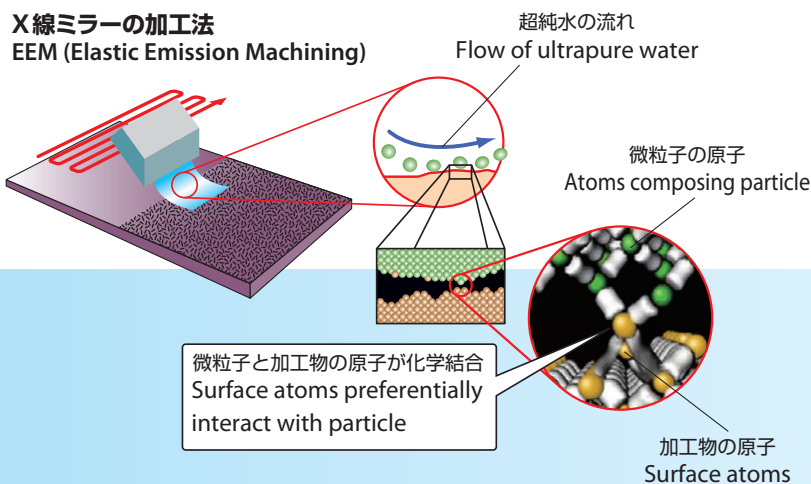
EEM makes flat work surface about 500km (as the same distance between Tokyo and Osaka) in length with the error of only 5mm!

SPring-8に導入したこの技術はさまざまな分析技術に生かされている。3Dイメージ、細胞の分子解析などはナノテクノロジーにとって極めて重要な技術だ。どれだけ小さく光を絞り込めるかが、極小の世界を観察する最大の焦点になる。この技術を使えば、たんぱく質1分子を明確に見ることができる。細胞を使って抗がん剤の効果を調べた実験では、細胞内で局所的に働いている薬の成分まで絞り込むことを可能にした。また、こうした研究のターゲットは、新たに、中性子線オプティクスの開発にも向けられている。

さて、このようなミラーはどのようにしてつくられるのか。X線の波長は 1\AA (0.1 ナノメートル)の原子レベルである。この光を小さく絞り込むためには、原子レベルの精度で目的の形に成形された完全表面のミラーが必要である。機械の刃による加工ではとうてい不可能だ。材料の表面で起きる原子単位の化学反応を利用して表面を磨き、さらにその表面を計測する技術を高めることによって初めてできることなのだ。原子制御製造プロセスの技術はこのミラーに集約されているといっても過言ではない。

こうしたオンリーワン拠点を支える現場が、超精密科学研究センターのクリーンルームだ。さまざまな技術の土台となる表面科学や計算物理学からの提案を実験によって基礎的な検証を行うとともに、その結果を基に、連携する研究機関と共同による装置化や、具体的な物づくりに利用される。世界最高性能のクリーンルーム技術、超高純度ガス供給技術、超純水供給技術が導入された「ウルトラクリーン実験施設」である。超高純度ガス供給技術は、先に紹介した

X線ミラーの加工法 EEM (Elastic Emission Machining)



SiO₂ 微粒子によるSi表面原子の除去加工例
Surface silicon atoms are etched by SiO₂ particles

is more than 10 times faster than that of conventional low-pressure plasma CVD by using more than 90% of low-purity solid silicon. With this technology energy and cost can be reduced substantially which is expected to accelerate the production of electric power by solar cell in the near future.

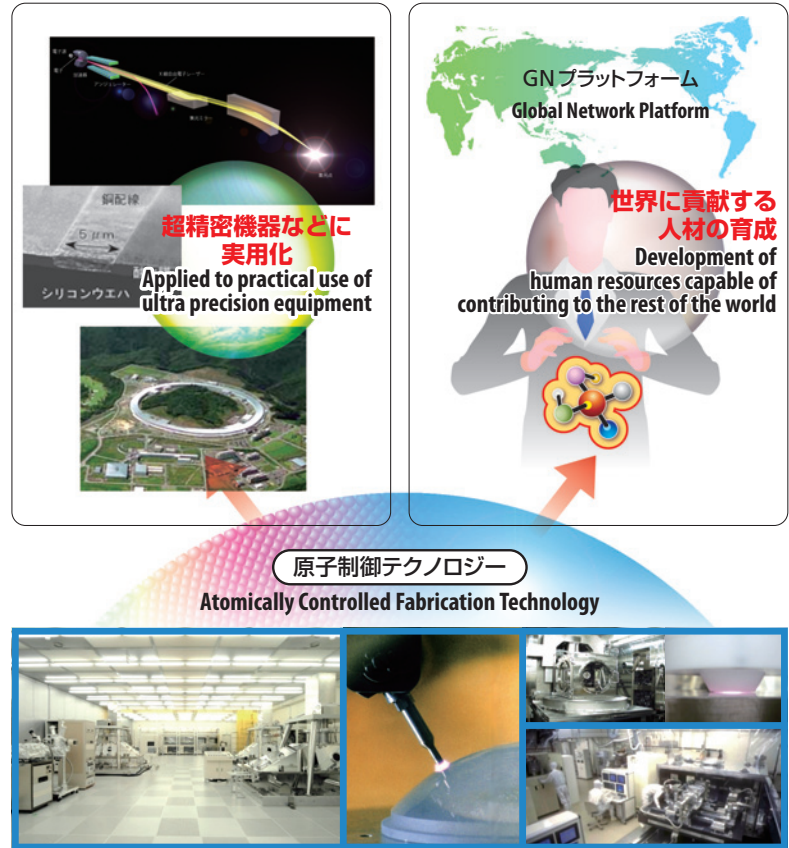
Furthermore the program is promoting the research of X-rays optics in

which "Osaka Mirror" is one of the well known achievements. The program is constructing global network with not only SPring-8 in Hyogo prefecture in Japan but also other gigantic radiation facilities in the United States, France and Germany to offer various technologies. Japan is unrivaled in terms of technique to improve light condensing ability which has been achieved up to the diffraction

limit by using large-size X-ray focusing mirror. Hard X-rays whose wavelength is 0.8\AA can be focused to the size of 25nm that proved to be the smallest spot size in the world. To achieve this size extreme precision surface machining is necessary. In fact the figure error would be only from 2mm to 5mm in case the length of the mirror is 500km which is the same distance between Tokyo and Osaka.

The technology introduced into SPring-8 has been utilized for various analysis techniques including 3D image and molecular analysis of cells which are extremely important for nanotechnology. The point for observing the nano world is how sharply rays can be focused. With this technology even one molecule of protein can be observed clearly. It also enabled to find out any ingredient of drug working locally within a cell in the experiment to see the efficacy of anticancer drug. The research of this

大気圧プラズマを利用した太陽電池薄膜の形成や、次世代デバイス用「大面積(300^{mm})超薄膜SOIウエハー」の作製、やはり次世代デバイスの高性能化に不可欠なhigh-k絶縁膜の形成などに応用されている。この絶縁膜の形成法は、自己組織化の技術とスーパーコンピューターのシミュレーションによって開発されたもので、トランジスタの高集積化を支える未来の薄膜だ。超純水供給技術は、X線や中性子線オプティクス製作に不可欠であると同時に、半導体デバイスの製造過程で大量に使われる薬液や加工液を使わずに、超純水のみで半導体や金属を加工するという極めてクリーンなデバイス製造技術の開発にも応用されている。山内教授は「新たな物づくりのパラダイムを切り開きながら、キーデバイス、キープロセスとなる新たな価値を生み出す拠点にしたい。それとともに、国内外の共同研究拠点や企業との間で構築しているGN(グローバルネットワーク)プラットフォームを使って、研究、人材育成の成果が連鎖的に高まるような仕組みにしたい」と話している。



kind of technology is now advanced to develop neutron rays optics as well.

Then how is the mirror with smooth surface made? Further condensation requires a mirror with a perfect surface machined at the atomic level because wavelength of X-rays is 1Å or 0.1 nm. The perfect surface can never be produced by conventional mechanical machining. It can only be achieved by polishing the surface with the use of chemical reaction at the atomic level on the work surface and improving the technology to measure it. It is no exaggeration to say that atomically controlled fabrication technology is exactly what is developed for and actually is integrated into this mirror.

An important research site for the program promoting “Only one fabrication process” is the Clean Room in the Research Center for Ultra-Precision Science and Technology where proposals from the field of surface science or

computational physics that is the foundation of various technologies would be tested to conduct basic verifications. Based on the results of tests, joint efforts by the researchers in the program and their cooperative research institutions are propelled to develop facilities and also specific production is promoted in this room. It is called Ultra Clean Facility where cutting-edge technologies are introduced such as the clean room technology of the highest quality, ultrapure gas and ultrapure water supply technology.

The ultrapure gas supply technology is applied to the formation of thin film for solar cell utilizing atmospheric pressure plasma 300mm ultra thin film SOI wafer and high-k insulating film which is indispensable for improving next-generation devices. Especially the research for formation of insulating film which is expected to be the future thin film to support highly integrated

transistor was advanced by utilizing self-organization technique as well as simulation by the supercomputer. On the other hand the ultrapure water supply technology is essential for producing X-rays optics and neutron rays optics. It is also applied to the fabrication of semiconductor devices such as machining semiconductors and metals by using not a great deal of chemicals but only ultrapure water.

Professor *Yamauchi* expects to create a new paradigm for production while new value which has possibilities to create a key device or a key process must be generated in this program. He insists “Our research achievements and efforts for human resource development could escalate into chain reaction effectively by taking advantage of GN (Global Network) platform shared by domestic as well as overseas research institutions and companies.”



**Global
COE**
Center of Excellence
Program
2008

グローバルCOE
プログラム
(平成20年度採択分)

社会に役立つ おせっかいとは？

人間の非合理性に踏み込んだ新しい経済学

人間行動と社会経済のダイナミクス

●拠点リーダー 大竹文雄 社会経済研究所教授

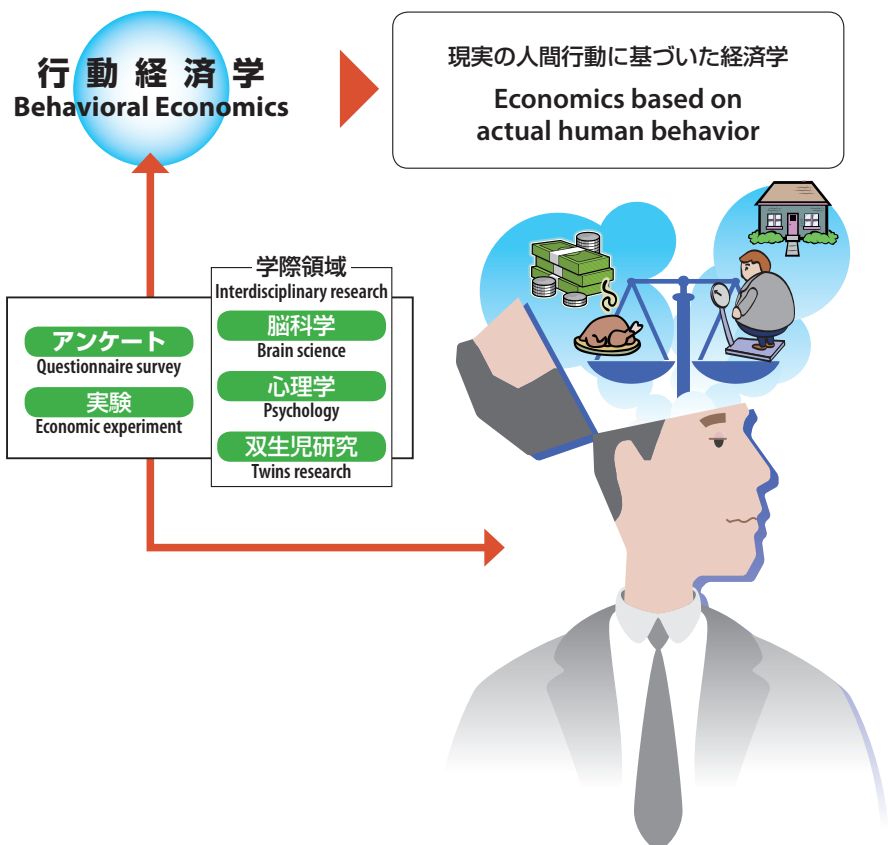
What is **useful intervention** for society?

New economics focuses more deeply on human irrationality

Human Behavior and Socioeconomic Dynamics

Program Leader
Fumio Ohtake — Professor of ISER

<http://www.iser.osaka-u.ac.jp/coe/gcoe.html>



経済学の役割は人を豊かにする世の中の仕組みを考えることである。伝統的な経済学は人間が合理的だということを前提にして、さまざまな仕組みの構築に貢献してきた。個々の消費者や企業が合理的だという仮定は非現実的かもしれないが、市場競争による淘汰を考えると経済全体の動きを説明できることは間違いない。また、人々がなんらかのインセンティブに基づいて行動していると考えて、制度を設計するという視点を経済学が提供してきた。ところが、昨今のバブル崩壊、サブプライム問題…、それらは合理性だけで説明できない。複雑な人間像が絡んでいるのだ。そこを見据えた新しい経済学がいま、世界の潮流となりつつある。

経済全体の動きは、実は個人単位的意思決定から成り立っている。その意味で、多重債務や肥満も新たな経済学の問題なのである。今現在の欲求を満たすうれしさと将来あるべき姿をてんびんにかけて、人は行動を決める。それが合理的だと、人々は貧困や肥満に陥ることはない。だが、往々にして、将来よりも目先のことをつい重視してしまう人がいる。そういう非合理性から生じる問題をいかに解決するのか？

そこに踏み込んだのが「行動経済学」という新たな経済学だ。伝統的な経済学は、市場がうまく機能しない時を除いて、

市場に介入をすべきでないという考え方だった。

肥満を例に考えてみよう。肥満の人が増えると、医療費の社会負担が増える。かといって、政府が食べ過ぎを防ぐために人々の食事の量を規制するわけにいかない。ただ、メタボ検診を義務付けたとすれば、少し状況が変わるかもしれない。なにも食事の量に介入することはないわけだ。経済学がそういう政策決定に介入してよい場合は、社会が損失を被る、人々が迷惑を受けるケースに限られる。公害規制や独占禁止法はその代表的なものだ。

拠点リーダーの大竹文雄・社会経済研究所教授は「メタボ検診なんて、いわばおせっかい。でも、人間は非合理的なもの。その時はおせっかいと思っても、後で考えると“やってもらってよかったなあ”と思えるケースが、行動経済学の政策提言に当たる」と言う。ここ10年来、大阪大学は我が国唯一の行動経済学の研究・教育拠点である。今回のグローバルCOEは現実起きる非合理的な経済問題にさらに多岐にわたってメスを入れる取り組みだ。

ただ、人間の非合理性に政策の介入が必要かどうかは、極めて念入りなチェックが必要になる。これにはいくつかの手法がある。精度の高いアンケート調査で、どのようなパターン

What is the role of economics? Traditional economics has been successful in constructing various institutions to make people wealthier and happier on the assumption that human beings are rational. Trends in the economy as a whole can be clearly explained by the conventional approach since natural selection resulted from intense market competition, but it seems unlikely that each company or consumer behave rationally. Furthermore, traditional economics has so far assumed that people modify their behavior in response to various incentives and has thus emphasized the design of institutions.

However, contemporary issues such as the bursting of the bubble and the subprime mortgage crisis that reflect very complicated aspects of human beings can never be resolved only by understanding human rationality. That

is why the emergence of a new type of economics that complements missing aspects of traditional economics is now becoming a global trend.

Trends in the economy as a whole are the result of a large number of decisions made by individuals. In that sense, the multiple debt problem and even obesity should surely be regarded as economic problems. If people could calmly as well as rationally balance what they want now with what they really want in the future, they would not have to suffer from being poor or fat. Unfortunately, some people are so shortsighted that they do not take account of the long-run implications of their actions.

What, then, is the most effective approach for dealing with such irrational attitudes? That is behavioral economics, a new and emerging branch of economics. While traditional economics has

laid out the idea that one should not intervene in markets except when they do not function well, the new economics tries to focus more deeply and actively on human irrationality.

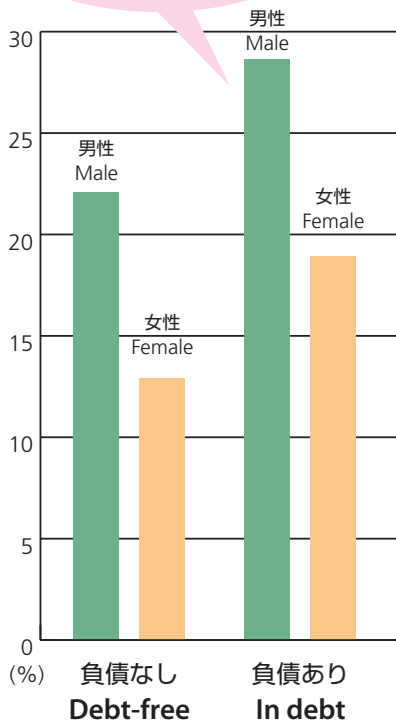
Take obesity as an example. When more people become overweight, a heavier burden of medical costs is imposed on society. But it is not practical for the government to put people on a restricted diet to prevent them from overeating. What then can we do? The only effective way to avoid obesity without interfering with everyone's eating habits is to require people to undergo medical examinations for metabolic syndrome. But policies that interfere with people's behavior should be limited to cases in which society as well as individuals are adversely affected. Some typical examples are anti-pollution regulations and the Antimonopoly Law.

負債の有無と肥満者比率

Relationship between whether debtor or not and obesity rate

借金してでも今を楽しみたい人は肥満になりやすい

People who want to enjoy the present situation even if they have to borrow money are vulnerable to obesity.



を持った人が非合理的な行動をしやすいのかをみる。例えば、多重債務者とそうでない人は、現在と将来との重視の度合いが大きく違う。また、多重債務者は自信過剰の傾向が強い。金融のことをよく知っているかという質問には「よく知っている」と答えるが、具体的な金融の質問をすると、間違える人が多重債務者には多いというデータがある。

被験者を集めて行う「経済実験」という手法もある。「今お金を1万円もらえるのと、1週間後に1万100円もらえるのとどちらがいいか」などの質問をする。3カ月後、1年後はどうか、実際に被験者に対価を支払い、真剣な選択を引き出す。そこから選好データを蓄積し、合理性から外れる人のパターンにずれがあった場合、どういった経済行動をとるのかを理論的に導き出す。そういう人が多いと、社会はどうなるのかまで考えなければならない。

脳科学分野との共同研究も新たな試みだ。人間の非合理的な行動は生物学的な特性があるのか。機能的MRIの中で経済実験をする。その際、脳のどこが活動しているのかを調べる。非合理性研究の多くはもともと心理学の領域であり、経済実験の手法は、心理学と経済学の枠組みを融合したものだ。

医学系研究科と共同で双生児の研究も行っている。経済行動を決める際、時間や危険に対する態度は重要なパラメータとなる。一卵性双生児と二卵性双生児をアンケートなどで比較し、時間選好や危険回避度に対して遺伝的な要素がどれくらいかかっているかを調べる。

Global COE leader *Fumio Ohtake*, a professor at ISER, points out that medical checkups are a sort of intervention. Even if people dislike such interventions and say “It is none of your business,” in some cases they will appreciate it later on. Professor *Ohtake* argues that such irrational aspects of human beings could directly lead to policy proposals based on behavioral economics.

For the past decade, Osaka University has been the only research center for behavioral economics in Japan. In particular, the current global COE project is attempting to shed light on the wide range of irrational economic behaviors occurring in reality. Whether human irrationality requires political intervention must be scrutinized carefully. To achieve this end, we employ a number of new

methods.

One of them is an accurate questionnaire survey to see what kinds of people are most likely to behave irrationally. Take the example of multiple debtors. According to the data, there is a huge difference between people with multiple debts and those with no debts in terms of how much they emphasize the present or the future. In addition, multiple debtors have a tendency to be overconfident. The data also show that many multiple debtors tend to give wrong answers to specific financial questions even though they are confident about their knowledge of financial matters.

Another approach we use in behavioral economics is to conduct economic experiments in which subjects are asked

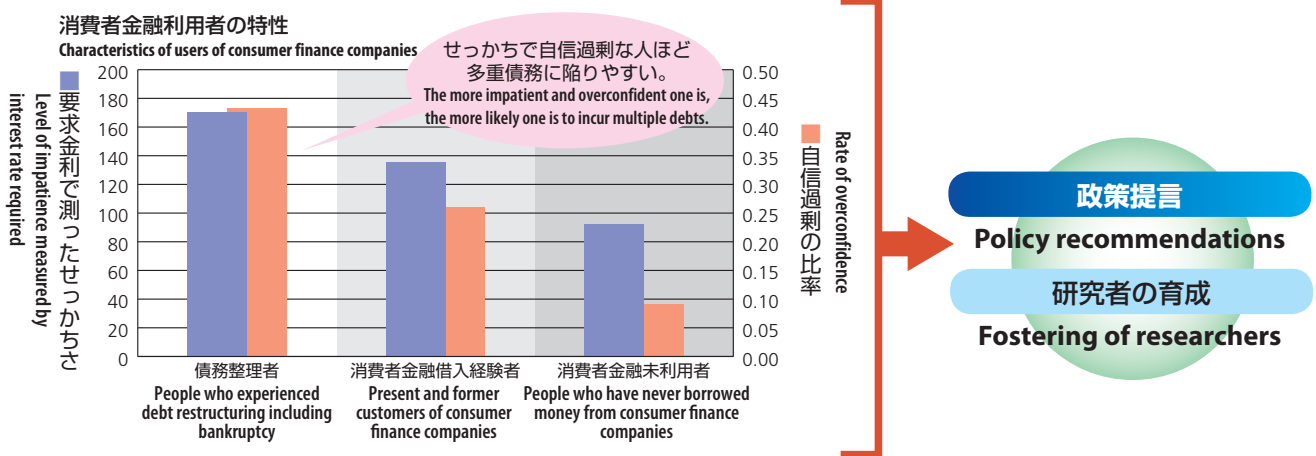
to choose the most preferable answer. For example they are asked “Which do you prefer: to get 10,000 yen now or to get 10,100 yen a week from now?” The subjects are encouraged to think seriously about the most preferable choice by making actual payments to them. Other choices such as receiving payment three months later or a year later are included as well. Among the accumulated data on subjects’ choices, we find some choices that seem to be irrational. We need to explain examples of irrational economic behavior theoretically and if there are many such cases we need to consider what influences they will have on society.

Our new challenge in behavioral economics is to promote joint research with researchers in brain science to see

また、価値観や利他性といった自分以外のひととの比較が人間の経済行動を決めるとすれば、文化も非常に重要な要素になる。それが文化なのか生まれつきのものかを追究する研究もある。例えば、昇進をめぐる男女差が、競争に対する態度の生物学的な差から発生するものなら教育で変えることはできない。ところが、女性の方が競争を好む民族がある。生物学的な差でなければ、男女差別の解消に教育が介入できる。昇進枠を設けた方がいいのか、それとも教育を変えるのがいい

のか、それによってかなり政策は違ってくる。そこまで踏み込んでいかなければわからない問題が幾つもある。

大竹教授は「多重債務でいえば、上限金利を引き下げるのは劇薬だ。そこまでいかない規制もたくさん考えられる。本人の自由も残しながら、間違っただけをさせない規制の仕方にはいろいろな可能性がある。どういう時に、どんなおせっかいをするのが一番いいのかを提案できる経済学のスタイルが今後、主流になるだろう」と話している。



whether the irrational behavior of human beings is caused by biological factors. The approach we take is to conduct an economic experiment inside an fMRI to allow us to observe which part of the brain is working more actively. This method resulted from merging the approaches of psychology and economics because research on irrationality was originally the domain of psychology.

The other joint research we are conducting with medical scientists is research using twins' data. Attitudes toward time or risk might be a significant parameter for determining how individuals behave economically. We plan to shed light on how large the genetic component of risk aversion is by comparing the case of identical twins to the case of fraternal twins in economic experiments.

If comparisons with other individuals such as values and altruism influence the economic behavior of individuals, culture is one of the most important influences on behavior. Another avenue of research we are conducting is to study if human characteristics have been created culturally or biologically. For instance, differences in attitudes toward promotion between men and women can never be changed by promoting education if it is a biological trait. However, if it is not, education could be an effective way of eliminating gender discrimination.

It is true that in some races women like to compete more than men. Given this fact, we should consider what kind of intervention is appropriate. Should we impose quotas on promotions or conduct educational reform? Depend-

ing on which case applies, the optimal policy will be completely different. In that sense, it is important to grasp the cultural or biological aspects of many of the issues that still remain unresolved.

“Concerning the multiple problem, raising the maximum interest rate is a drastic remedy, and we can come up with less drastic regulations,” said Professor *Ohtake*. He argued that various regulations allowing people to do whatever they want while preventing them from doing the wrong thing can be implemented. “What must come first in economics is implementing officious interference appropriately and at the right time,” explained Professor *Ohtake*. “An economics that holds this viewpoint will surely become the mainstream, I believe.”



**Global
COE**

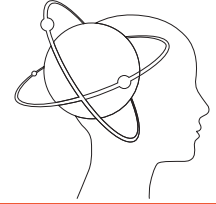
Center of Excellence

**Program
2009**

グローバルCOE
プログラム
(平成21年度採択分)

ロボット研究が深める 人間理解

人に優しい情報・機械システムを実現



認知脳理解に基づく未来工学創成

● 拠点リーダー 石黒 浩 基礎工学研究科教授

Human Understanding Based on Robotics

Development of Human-friendly IRT Systems

Center of Human-friendly Robotics Based on Cognitive Neuroscience

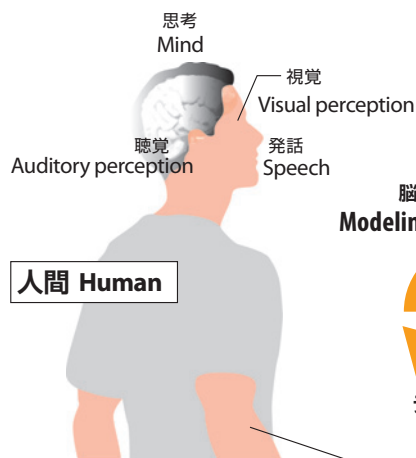
Program Leader

Hiroshi Ishiguro — Professor, Graduate School of Engineering Science

<http://www.gcoe-cnr.osaka-u.ac.jp/>

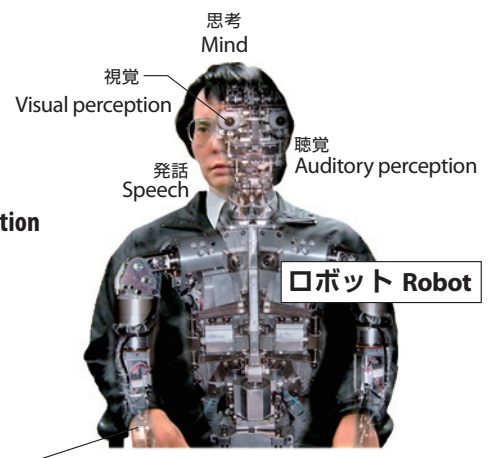
人間の科学的解析 (解析モデル化)

Analysis of human



人間の工学的実現
(ロボットによるモデル化)

Modeling of human



脳機能のモデル化
Modeling of brain function



テストベッド
Testbed

高次脳機能(脳認知)理解

Understanding of cognitive neuroscience

触覚・運動
Tactile perception / Motion

情報・機械システム開発

Development of IRT system



パソコンや携帯電話に代表される現代社会の情報・機械システムは、それを生み出した人間の脳機能すら置き去りにする速さで高度化・複雑化している。その結果、情報・機械システムに過剰依存する子どもや大人たち、逆にシステムから疎外される高齢者たちを大量に生み、人々から人間らしさを奪っている。この拠点は、人間らしい見かけをもったロボットと人間の高次脳機能(認知脳)の研究を通して、人に優しい情報・機械システムの実現を目指す。そして、その新たな学問の枠組みを「認知脳システム学」と名付ける。

拠点リーダーの石黒浩・基礎工学研究科教授は2006年、自分そっくりの遠隔操作型ロボット「ジェミノイド」を作り、一躍注目を集めた。翌07年には英国のコンサルタント企業が発表した「生きている天才100人」で日本人最高位の26位に選ばれ、今、欧米で最も知名度の高い日本人の一人だ。

この拠点は「人間を理解するためのロボット研究」と「ロボット開発のための人間理解」という双方向の視点を持ち、人間の認知脳の解明と人間に親和性の高い機械であるロボットの研究開発を同時に進める。石黒教授は「ロボット開発が人間理解に結

びつくという考え自体はそれほど新しいものではないが、認知科学や心理学、脳科学とロボット開発の距離が接近してきたことで、それらの融合が可能な時代を迎えた。例えば、棒を穴に差し行為を機械と人間にやらせて子どもに見せると、子どもは人間の場合はまねをするが、機械だとまねをしない。ところがロボットを使ってこの実験をすると、子どもはまねをした。つまり、ロボットは意図をもつ行為主体として認められており、ロボットが認知科学や心理学のテストベッド(実験道具)として、研究の手法を変えていく可能性がある」と話す。



人間らしい表情を実現した女性アンドロイド
Female android with human-like facial expression



石黒教授とジェミノイド
Professor Ishiguro and Geminoid

This Global COE program aims to develop human-friendly IRT (Information and Robot Technology) systems based on “cognitive neuroscience.” Cognitive neuroscience concerns meta-level brain functions such as memory and reasoning. In our increasingly mechanized and computerized society, individual technology has been developed without the consideration of its burden on the human brain. In order to build safe and adaptable IRT systems, this program builds a new research area called “Cognitive Neuroscience Robotics,” which tightly integrates robotics with cognitive science and neuroscience.

Prof. *Hiroshi Ishiguro*, Program Leader of this Global COE, is a world-famous researcher because of his android called “Geminoid” developed in 2006. The geminoid is a copy of himself, which can be controlled with a teleoperation

facility. A purpose of the development is to investigate human presence, i.e., where our presence comes from and what makes us humans. The innovative work brought him 26th place in Synectics Survey of Contemporary Genius 2007.

The research goal of this program is twofold: One is to reveal human intelligence based on robotics. Developing human-like artificial systems leads to better understanding of humans. The other is to build human-friendly IRT systems based on understanding of human cognition. Studies in cognitive science and neuroscience enable researchers to design safe and adaptable IRT systems. Prof. *Ishiguro* says, “It is not a very new idea to investigate human intelligence based on robotics. Rather, we now have to more closely integrate robotics with cognitive science, psychology, and neuroscience. For example, robots

can change the way for researchers to study human cognition. Our experiment using a human-like robot showed how children attribute others’ action to their intention. They imitated a goal-directed action presented by the robot as well as by other person, but did not imitate the action presented by a machine, suggesting that robots can be accepted as intentional agents.”

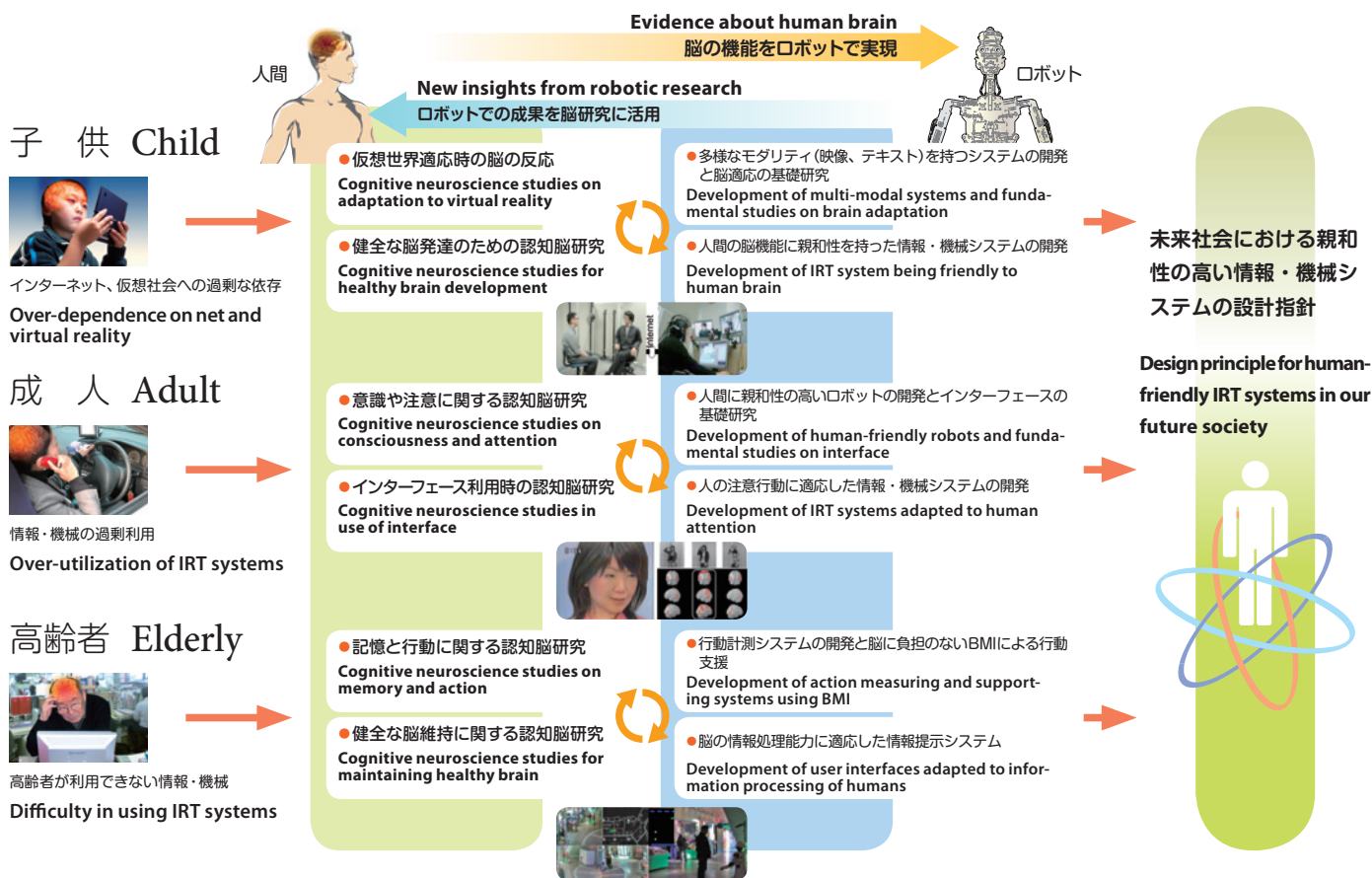
To establish Cognitive Neuroscience Robotics, this program gathers researchers from different faculties of Osaka University: Graduate Schools of Engineering Science, Engineering, Medicine, and Human Sciences. Researchers from Computational Neuroscience Lab. and Intelligent Robotics and Communication Lab. at ATR (Advanced Telecommunications Research Institute International), and ones from Advanced ICT Research Center at NICT (National Institute of Information

石黒教授のもとには、基礎工学研究科、工学研究科、医学系研究科、人間科学研究科のほか、ATR(国際電気通信基礎技術研究所)の脳情報研究所や知能ロボティクス研究所、NICT(情報通信研究機構)の未来ICT研究センターから、さまざまな専門分野をもつ研究者が集まった。本拠点には大きく分けて、「認知科学・脳科学融合研究」「脳科学・工学融合研究」「認知脳システム開発研究」「認知脳システム学」という四つの研究グループが存在し、連携して研究を進めている。

まず、認知科学・脳科学融合研究グループは人間科学研究科が中心となり、fMRI(機能的磁気共鳴画像法)などの脳機能イメージング技術をもとに記憶や推論など認知脳の解明に迫る。生きた脳の働きを画像で視ることで、「記憶と意識の認知脳モデル」や「行動決定の認知脳モデル」「こころの発達」を研究する。一方、脳科学・工学融合研究グループは医学系研究科が中心となって、人間と機械を直接結びつけるBMI(ブレイン・マシン・インターフェイス)を用いた重度身体障害者の脳機能再建の研究や、アンドロ

イドを使った「痛み」の研究などに取り組む。「痛み」の研究では、アンドロイドを痛みの診療現場に持ち込み、アンドロイドが患者に対して共感の表情を見せた時、患者の痛みがどのように変化するかなどを見ていく。認知脳システム開発研究グループは、認知脳研究とBMI研究の成果をもとに、人間の脳への負担を軽減する情報・機械システムのテストベッドを開発。基礎工学研究科と工学研究科が中心となり、人間に親和的なロボットの開発を通して認知脳の理解を深め、「自動化機器を利用する際の脳への

未来工学で実現する情報・機械システム IRT systems developed by future engineering



and Communications Technology) also contribute to the program. They form four interdisciplinary research groups named "Interdisciplinary Studies on Cognitive and Neuroscience," "Interdisciplinary Studies on Neuroscience and Engineering," "Development of Cognitive Neuroscience Robotics," and "Establishment of Research Area of Cognitive Neuroscience Robotics."

The Group for Interdisciplinary Studies on Cognitive and Neuroscience aims to

reveal meta-level brain functions such as memory and reasoning. Brain imaging technologies (e.g., fMRI) are employed to examine the mechanisms for working memory, consciousness, and decision-making of humans. The Group for Interdisciplinary Studies on Neuroscience and Engineering introduces BMI (Brain-Machine Interface) and androids to the study on the human brain. They investigate how the brain of disable people can be reconstructed by the use of BMI, and

whether and how a sympathetic android eases the pain of patients. The goal of the Group for Development of Cognitive Neuroscience Robotics is to invent prototypes of new IRT systems, which are healthy and adaptable to humans. The studies on cognitive neuroscience and on BMI facilitate the understanding of humans and thus the development of IRT systems. All the research activities of the program are encompassed by the Group for Establishment of Research

負担を軽減するインターフェイスの実現」や「高齢者にも利用可能な情報・機械システムの実現」を目指す。最後の認知脳システム学グループは、拠点全体の研究活動を統合・体系化する役割を担う。哲学的な考察を通して教育研究の方向性を見定め、新しい学問体系である「認知脳システム学」を確立する。

研究面のほかに、この拠点は「キャラバン」「創起塾」「創成塾」という三つのユニークな教育カリキュラムを設け、認知脳システム学の視点を備え、人間に親和的な未来

社会づくりに貢献していける人材育成を目指す。キャラバンでは拠点のメンバーが国内外の研究機関や企業に出向いてセミナーやシンポジウムを開くことで、若手研究者たちの国際コミュニケーション能力の向上を図る。2009年12月の初めてのキャラバンでは、拠点の主なメンバーがドイツのピーレフェルト大学とイタリアのIIT(The Italian Institute of Technology)を訪問し、技術や学生の交流を約束した。創起塾では融合研究課題の設定方法や研究の進め方、研究マネジメントについて、拠点の研究者や外部

講師が徹底指導する。そして、創成塾は学位取得のプロセスの中に組み込まれており、博士後期課程入学後の学生に対し、認知脳システム学に関わる研究活動をどのように進めるか提案を求め、報告会や討論会で進捗状況を確認していく。

石黒教授は「情報化社会の先には、ロボット化社会が来る」と予見。ロボットによって人間が進化するロボット化社会へ向けて、大阪大学が認知脳システム学という新たな学問体系を切り開く。



- 偏ったモダリティの集中利用による脳への負担を軽減し、適切な人間関係を築くシステム

IRT systems which support proper relationships between people by reducing their brain overload



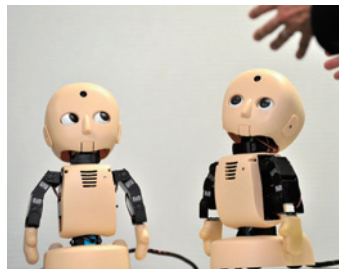
- 自動化情報利用による脳への負担を軽減するインターフェイスの実現

IRT systems which relieve brain overload by using automated information interface

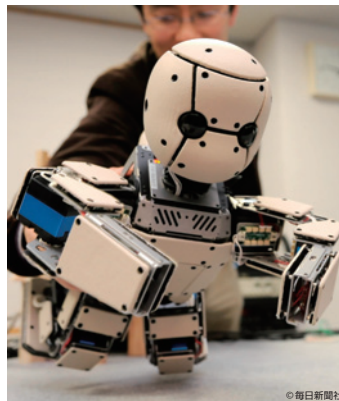


- 高齢者にも利用可能な情報・機械システムの実現

IRT systems usable for elderly people



©毎日新聞社



©毎日新聞社



認知発達テストベッドとして使われるさまざまな赤ちゃんロボット (JST Erato 浅田共創知能システムプロジェクト開発)

Various types of baby robots used as a testbed for cognitive development (Developed by Asada Synergistic Intelligence Project, ERATO, JST)

Area of Cognitive Neuroscience Robotics. It systematizes and promotes the new research area through scientific and philosophical considerations.

This Global COE also offers unique curriculum for young researchers to promote their research: The first is "Caravan," which is a series of workshops held in various countries. Young researchers are encouraged to improve their international communication skills and to expand their network. The caravans held

at Bielefeld University, Germany and at IIT (The Italian Institute of Technology), Italy in December 2009, produced the successful agreement of exchanging researchers and technologies. The second and third unique programs are "Souki-juku (starting school)" and "Sousei-juku (brush-up school)," which support Ph.D. students initiating and promoting their work. Experienced researchers in and out of the Global COE teach the research methodology,

e.g., how to find a new challenge, how to address it, and how to manage their work, especially in the interdisciplinary framework. Students are supposed to present their research progress in regular meetings so as to receive comments from different disciplines.

Prof. Ishiguro foresees a robotic society following the today's information society. This program opens the research area of Cognitive Neuroscience Robotics to guide our future society.



OSAKA UNIVERSITY



大阪大学の最先端研究

Osaka University : A Foothold on Frontier Research

平成22年3月

発行：大阪大学

編集：研究・産学連携室

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘1-1

TEL 06-6877-5111

E-mail : research@ns.jim.osaka-u.ac.jp

URL <http://www.osaka-u.ac.jp/>

March, 2010

Published by : **Osaka University**

Edited by : **Research Promotion and University-Industry Collaboration Board**

1-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, JAPAN

Tel : +81-6-6877-5111

E-mail : research@ns.jim.osaka-u.ac.jp

URL <http://www.osaka-u.ac.jp/eng/>

©Osaka University 2010