

No.13 May 2018

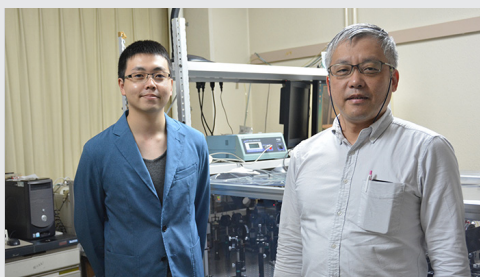
FEATURE STORY

# Realizing 3D Displays and Hologram Memory through Nanomagnetic Materials

Looking back on his career as a researcher, Professor Mitsuteru Inoue, who is celebrating his sixtieth birthday this year, says he has lived up to his former teacher's instruction, "Do not imitate."



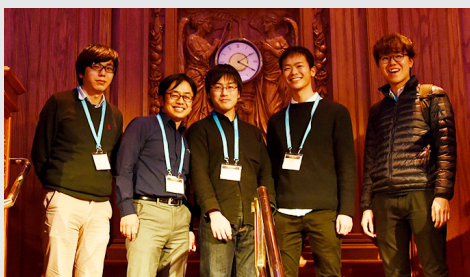
## Research Highlights



### First Step towards Practical Application of Holographic Memory with Magnetic Assistance

Error-free data recording and reconstruction with magnetic-holographic memory

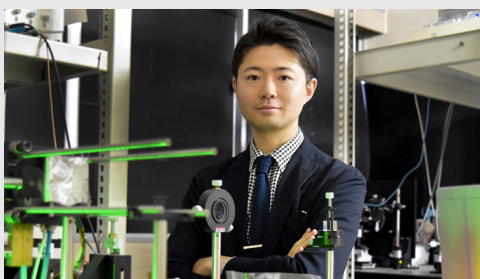
5



### Ultrastretchable and deformable bioprobes using "Kirigami" designs

Revolutionizing electronics technology with the Japanese art of paper cutting

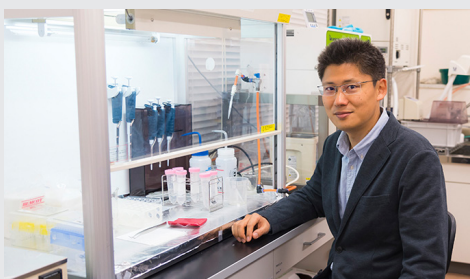
6



### New Smaller Laser Achieved One-Digit Higher Output

By using randomly polarized laser beam with a "Q switch"

7



### "Islands" of Cell Membrane Components

Proteoliposome fusion and domain formation in an artificial lipid bilayer membrane

8

## Pick Up



### TUT receives highest score in midterm assessment for MEXT Top Global University Project

11

# Realizing 3D Displays and Hologram Memory through Nanomagnetic Materials

Mitsuteru Inoue



Looking back on his career as a researcher, Professor Mitsuteru Inoue, who is celebrating his sixtieth birthday this year, says he has lived up to his former teacher's instruction, "Do not imitate." Following these words of wisdom, Professor Inoue has created new devices and systems using groundbreaking magnetic materials. Professor Inoue, is currently pushing the frontiers of research in areas such as 3D displays which do not require special glasses, ultra-high density recording systems using holograms, and new theoretical calculation elements which do not require the flow of an electric current. We caught up with Professor Inoue to talk with him about his main research achievements and future prospects.

*Interview and report by Madoka Tainaka*

## Controlling light with magnetophotonic crystals

"All of my research is based on the interaction between magnetism and some other physical phenomenon. Magnetism and light, magnetism and ultrasonic sound, magnetism and heat—all combine magnetism and some other physical phenomenon. My aim is to develop systems that have never been created before," says Professor Inoue.

Professor Inoue's research usually involves the use of magnetic garnet containing iron as a base material. Magnetic garnet is a magnetic insulator that transmits light and is heavily used in jewelry. When light is transmitted, the magnetism and light combine to develop a magneto-optical effect in which the polarization state changes. In other words, it is said that the characteristic of this material

is that the magnetism can control the characteristics of light.

"However, if you break down what we mean collectively by 'light', it includes various wavelengths of light from infrared to visible light and ultraviolet. Far infrared light used for optical communications has a wavelength of about 1.55  $\mu\text{m}$ , while ultraviolet light used for Blu-ray Discs has a wavelength as short as 0.4  $\mu\text{m}$ . In order to combine magnetism and light in accordance with each wavelength, the material properties must be changed, so to that end we have been developing various materials. However, such development takes a great deal of time. In addition, most of the materials that we develop must be discarded without ever being used for reasons such as prohibitively high cost."

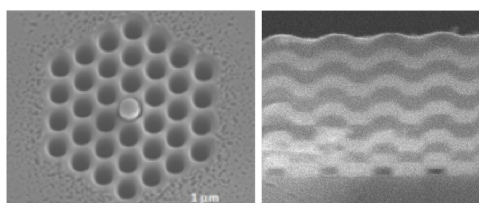
Faced with this situation, Inoue came to look at combining existing materials. He worked on the development of an artificial magnetic lattice with the desired characteristics by sorting magnetic substances on the nanoscale into a lattice pattern. In fact, this idea is the same as the "photonic crystal" concept

proposed by Yablonovitch of the USA in 1987, which offers properties such as three-dimensional confinement of light through the periodic arrangement of materials with different refractive indices. Since magnetic material is used for the photonic crystal, Professor Inoue calls the material he has developed a magnetophotonic crystal.

"All the properties of light can be predicted, and it is a big advantage that we can perform simulations in advance on a computer even with a three-dimensional nanoscale structure. In concrete terms, we interpose magnetic substances between different kinds of dielectric multilayer films, then, by changing the thickness of the magnetic material, we can now control the light flexibly by strengthening the magnetic coupling for each wavelength of light."

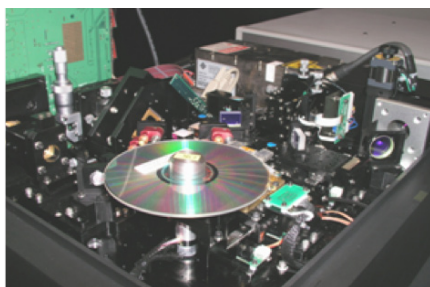
## Enabling ultra high density recording with holographic memory

Inoue and his colleagues are developing various new devices and systems based on these magnetophotonic crystals.





One of these is the world's first hologram memory. This technology can record and playback on media using the interference and diffraction of light from superimposing two light sources. By slightly changing the incidence angle of the reference light, it is possible to write several pieces of data in the same place, so that 200 movies can be stored on one disc the size of a DVD.



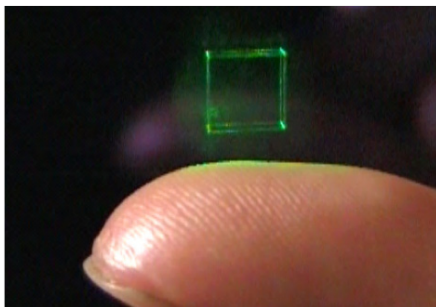
According to Professor Inoue, "In 1999 we launched a venture company from TUT called Optware and worked on the commercialization of a collinear hologram memory that can be miniaturized by coaxially arranging the signal light and the reference light, that we developed at the Research Center for Advanced Photonic Information Memories at TUT. It was certified as an international standard in 2007, and then just before commercialization the financial crisis occurred and the project stopped."

However, the R&D itself has continued until now. The information circulating in the world continues to increase, and innovative technology that can record and playback large amount of data at high density, high speed, and low energy is undoubtedly needed. For this application, the above-mentioned magnetic materials will be useful.

"Previously we used photopolymers that solidify with light on the recording medium, but since they were organic materials, we knew that they would deteriorate over time, so we decided to use a magnetic material that could ensure stable long-term recordings. We have already developed a magnetic hologram that can write and playback with zero error and zero energy."

Another part of Professor Inoue's research that is attracting attention is the world's first 3D display using nano-

magnets. In the movie "Star Wars" (1977), there is a famous scene where R2-D2 projects a three-dimensional hologram of Princess Leia. Professor Inoue says he wants to realize exactly this type of 3D imaging.



"We use a thin film magnetic material for the display, reduce the pixel size to the nanoscale, and reverse the magnetism using the heat of the light. This allows us to create a 3D image with a wide viewing angle of 30 degrees without using special glasses. Currently, the material that we can write on is small, so the playback image is as small as a few centimeters, but we are conducting research aiming at playing larger videos."

Professor Inoue and colleagues are also advancing the miniaturization of the device aiming at 3D display applications such as head up displays for vehicles and projection from mobile devices. In addition, since a huge amount of data is required to project moving images, they are also working in parallel to combine the technology with the above-mentioned hologram memory.

### **Developing new computers that can perform calculations without the flow of a current**

In addition, since the influence of heat generated by electric current is a major problem when creating nano-scale elements in information devices that are indispensable to the advanced information age, Professor Inoue and colleagues are working in collaboration with domestic and overseas research institutions such as MIT, Moscow State University, and Keio University to develop new calculation elements and their peripheral technologies that do not require the flow of current.

"Instead of electrons, we use spin,

which is a magnetic property of an electron. Spin can take two states – upward or downward, and has the property of transmitting waves into the crystal by the interaction between spins. Our idea is to try and make computations using the phase interference of this spin wave by strengthening or weakening the wave. We have already processed magnetic garnet into the form of a fork and succeeded in inputting spin waves from the three prongs, causing phase interference at the connection point and outputting the result at the main part. We have recently created the word 'magnonics' to accelerate research in this field."

Currently, Professor Inoue and his team are conducting studies to process small chips by cutting holes in thin garnet to create lines for miniaturization of elements. Also, although current is not used for calculation, at present it is used for exciting spin waves and detecting the results of calculations, so Inoue is trying to develop methods that do not use current.

Professor Inoue concludes, "We will actively work on launching ventures and strive to develop magnonics as a globally applicable technology."

### **[Reporter's Note]**

Professor Mitsuteru Inoue majored in electromagnetics at Toyohashi University of Technology and taught at a technical college for ten years after acquiring his master's degree. During this time, he had no access to experimental or measurement equipment, so he became absorbed in calculating combinations of magnetic materials and designing devices with the mainframe computer that was the only tool available to him. He says that this became a great help to his later research. "After completing my doctoral degree, I gained confidence and went back to TUT, but I ended up leaving the laboratory after a big argument with my professor. I went back to the situation of no equipment other than a personal computer. Perhaps it is from this experience that I learned to do imaginative and original work." Inoue says, laughing.

Staying true to the philosophy of never imitating has its risks, and three of Inoue's ventures have failed so far, but with no loss of enthusiasm, he is taking on the challenge of the fourth. We have high hopes for him!

### **Reference**

[http://ieemagnetics.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=276:mitsuteru-inoue&catid=83:2018-distinguished-lecturers&Itemid=186](http://ieemagnetics.org/index.php?option=com_content&view=article&id=276:mitsuteru-inoue&catid=83:2018-distinguished-lecturers&Itemid=186)

# 3Dディスプレイやホログラムメモリなどをナノ磁性材料で実現

今年、還暦を迎える井上光輝教授は、これまでの研究者人生を振り返って、恩師の教えである「人の真似をするな」という信念を貫いてきたと語る。その言葉通り、井上教授は磁性材料を用いながら、誰も手がけたことがない新しいデバイスやシステムを生み出してきた。特殊なメガネを必要としない3Dディスプレイをはじめ、ホログラムを使った超高密度記録システム、電流を流さない新しい理論演算素子など、未踏の研究に挑んできた井上教授に、主な研究業績と未来展望について聞く。

**■ 磁性フォトニック結晶で光をコントロールする**  
「私の研究はすべて、磁気と何らかの物理現象との相互作用を基本としています。磁気と光、磁気と超音波、磁気と熱など、いずれも磁気と何らかの物理現象を組み合わせ、これまで誰もつづいたことがないシステムの開発をめざしてきました」と井上教授は語る。

そのベースの材料として用いてきたのが、主に鉄を含んだ磁性ガーネットだ。磁性ガーネットは、磁石の性質を持つ絶縁体で、宝石として重用されるように、光を透過する性質を持つ。そして光が透過する際に、磁気と光が結合して、偏光状態が変化する磁気光学効果を発現する。つまり、磁気で光の特性をコントロールできる点が、この材料の特徴だという。

「ただし、光と一言で言っても赤外から可視光、紫外まで、さまざまな波長の光があります。光通信で使う遠赤外であれば波長は1.55μmほど。一方、ブルーレイディスクに使用される紫色の光の波長は0.4μmと短い。それぞれの波長に合わせて磁気と光を結合させるには、材料特性を変えなければなりません。そのためにこれまで、さまざまな材料が開発されてきました。しかし、材料開発には大変な苦労が付きまとい、開発までには膨大な時間がかかります。しかも、開発された材料のほとんどが、コストが高いなどの理由により使われないまま消えていきます」と井上教授。

そこで目をつけたのが、既存材料の組み合わせだ。井上教授は、磁性体をナノスケールで刻んで並び替え、格子状に組み合わせることで、求める特性を備える人工磁気格子の開発に取り組んできた。じつはこの発想は、1987年に米国のヤプロノビッチによって提案された、屈折率の異なる材料が周期的に並んだ構造により、光の三次元閉じ込め効果などを持つ「フォトニック結晶」と同じであることがわかった。そのフォトニック結晶に磁性材料を用いることから、井上教授は自ら開発した材料を磁性フォトニック結晶と呼んでいる。

「光の特性というのはすべて予測でき、ナノスケールの三次元構造であっても、コンピュータであらかめシミュレーションできるのが大きな特長です。具体的には、磁性体を違う種類の誘電多層膜で挟み、磁性体の厚みを変えることで、それぞれの光の波長ごとに磁気の結びつきを強め、自在に光を制御できるようになりました」

**■ 超高密度記録を可能にしたホログラムメモリ**  
井上教授らは、この磁性フォトニック結晶をベースに、さまざまな新しいデバイスやシステムを開発している。

その一つに、世界初となるホログラムメモリがある。これは、二つの光を重ね合わせた際の光の干渉と回折を利用してメディアに記録・再生するというもの。参照光の入射角をわずかに変えることで、同じ場所にいくつものデータを書き込むことが可能で、DVDと同じ大きさのディスク1枚に200本分の映画を収めることができる。

「1999年にはオプトウエア社という大学発のベンチャー企業を立ち上げ、本校の先端フォトニック情報メモリリサーチセンターで開発してきた、信号光と参照光を同軸に配置することで小型化できるコリア方式ホログラムメモリの製品化を進めてきました。2007年には国際標準規格にも認定され、まさに製品化の目前というところで、リーマンショックが起これ、事業がストップしてしまったのです」と井上教授は言う。

しかし、研究開発自体は現在まで続けてきた。世の中に流通する情報は増え続けており、大容量データを高密度に高速に、そして低エネルギーに記録・再生できる革新的技術は間違いなく必要とされているためだ。その際、先の磁性材料が役立つという。

「以前は記録媒体に、光で固まるフォトリソを使っていたのですが、有機材料なので経年劣化することがわかっていました。そこで、長期に安定的に記録できる材料として磁性体を用いることにしたのです。すでに、低エネルギーで、エラーゼロでの書き込み再生ができる磁気ホログラムを開発しています」

もう一つ、井上教授らの研究で注目されるのが、こちらも世界初となるナノ磁性体を使った三次元ディスプレイだ。映画『スターウォーズ』（1977年）の中で、R2-D2が空間にレイア姫の立体的なホログラムを投射する有名なシーンがあるが、まさにあの立体映像を実現したいのだという。

「ディスプレイに薄膜の磁性材料を用いて、ピクセルサイズをナノスケールまで小さくし、光の熱で磁性を反転させることで、特殊なメガネを用いることなく30度という広視野角を持つ立体画像の再生に成功しています。現在は、書き込むことができる材料が小さいので、再生画像も数cmと小さいのですが、より大きな動画の再生をめざして研究を進めています」

井上教授らは、3Dディスプレイの応用例として車のヘッドアップディスプレイやモバイル機器での投射をめざして、装置の小型化も進めている。また、動画を投影するにはさらに膨大なデータが必要となることから、先述のホログラムメモリとの連携も並行して進めていくという。

**■ 電流を流さずに計算する新しいコンピュータの開発へ**

さらに井上教授らは、高度情報化社会に欠かせない情報機器の素子のナノ化に伴い、電流に由来する発熱の影響が大きな課題となっていることを踏まえて、電流を用いない新たな演算子とその周辺技術について、マサチューセッツ工科大学やモスクワ大学、慶應義塾大学など、国内外の研究機関とさまざまなコラボレーションしながら、共同研究を進めている。

「電子の代わりに用いるのが、電子の持つ磁石の性質であるスピンです。スピンは上向き／下向きなどの二つの状態をとり、スピン間の相互作用によって、結晶内に波を伝える性質を備えています。このスピン波の位相干渉を利用して、波を強めたり弱めたりして、演算をしようというのが我々の考えです。すでに、先の磁性ガーネットをフォーク型に加工して、三つの枝からスピン波を入力して、接点で位相干渉させ、幹の部分で結果を出力することに成功しました。この分野の研究を加速させるため、マグノニクスという言葉をつくって取り組んでいるところです」

現在、素子の微細化に向けて、薄いガーネットに穴を開けてラインをつくり、小さなチップに加工する研究も行なっている。また、現在は演算には電流を使わないものの、スピン波の励起や演算結果の検出には電流を用いているため、電流を使わない方法に挑む。社会実装のために、ベンチャーの立ち上げなども積極的に取り組み、マグノニクスの発展に邁進していくと語った。

(取材・文＝田井中麻都佳)

取材後記

豊橋技科大で電磁気学を専攻、修士を取得した後、高専で教えること10年。その間、実験や測定のための装置や設備は何もなく、実験ができない中で、唯一、自由に使うことができたメインフレームのコンピュータで磁性材料の組み合わせやデバイスの設計などを計算することに没頭したという井上教授。それが後の研究に大いに役立つことになったと語る。「博士を修了した後、自信をつけて豊橋に戻ったのですが、教授と大げんかしてしまい、研究室を離れることになってしまい(笑)。またしてもあるのはパソコンだけという環境を経験しました。そういう経験の中で一から創意工夫をする姿勢が身についたのかもしれない」と笑う。

人と同じことはやらないという信念の下、これまで潰したベンチャーは三つ。それでもめげることなく、四つ目に挑みたいと意気込む。大いに期待しています！

## Researcher Profile

Mitsuteru Inoue

Professor of the Graduate School of Toyohashi University of Technology and IEEE 2018 Distinguished Lecturer  
Mitsuteru Inoue received the B.S. degree in information engineering and the M.S. and Dr.Eng. degrees in electrical and electronic engineering in 1981, 1983, and 1989 from Toyohashi University of Technology (TUT), Japan. He was an associate professor at TUT from 1993 to 1996, and with the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, from 1997 to 1999. From 2001 to 2013 he served as professor in the Department of Electrical and Electronic Engineering, TUT. Since 2014 he is jointly serving as professor of the Graduate School of TUT and as an executive trustee and vice president of TUT. He was a visiting professor at Stanford University in 2003 and at Moscow State University in 2004. His research interests include spin-coupled wave propagation phenomena in amorphous alloy and magnetic garnet thin films, including phase modulation of magneto-surface-acoustic-waves, control and phase modulation of optical waves, and control of high-frequency magnetostatic and spin waves, together with their applications in magneto-optical (MO) spatial light modulators, three-dimensional MO displays, non-destructive MO imaging, magnetic hologram recording, and spin-wave logic circuits.



## Reporter Profile

Madoka Tainaka

is a freelance editor, writer and interpreter. She graduated in Law from Chuo University, Japan. She served as a chief editor of "Nature Interface" magazine, a committee for the promotion of Information and Science Technology at MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology).



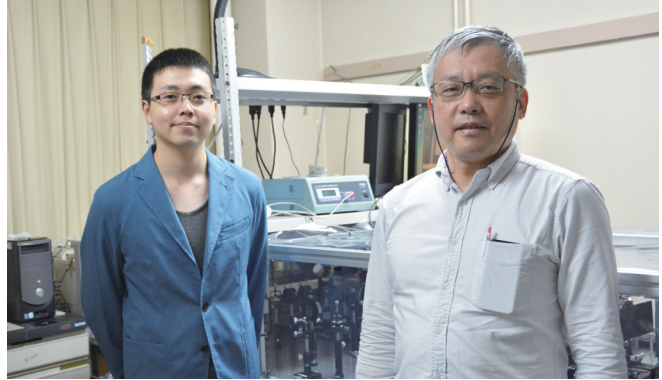


# First Step towards Practical Application of Holographic Memory with Magnetic Assistance

Error-free data recording and reconstruction with magnetic-holographic memory

By Yuichi Nakamura

Yuichi Nakamura, Associate professor at Toyohashi University of Technology, and his group, are the first in the world to have successfully applied magnetically assisted recording to magnetic-holographic memory to reduce recording energy consumption and achieve error-free data reconstruction. This new technology may potentially allow for the practical application of magnetic-holographic memory as a rewritable, ultra-high-density and high-speed optical information storage medium.



Associate Prof. Nakamura (right) and the first author, Ph.D candidate, Zen Shirakashi.

In recent years the volume of information being distributed across the world has sharply risen due to new technologies such as high-speed with mass data transfer of the Internet and 8K broadcasting. In response to this trend, there is increasing demand for an innovative method for storing large volumes of data at ultra-high recording density and at ultra-high speed. Magnetic-holographic memory is one type of technology apparently capable of meeting this demand, since it can be used to record 1 TB worth of data (equivalent to the total capacity of 40 Blu-ray discs, each with a typical capacity of 25 GB) on a disc the size of a DVD or Blu-ray disc.

In magnetic hologram recording, a medium is magnetized in one direction; then the medium is irradiated with an information-bearing beam (signal beam) and a reference beam; and the resulting interference pattern is recorded in the form of the difference in magnetization directions. When this recording proceeds with an external magnetic field applied to it, the recording of the difference in magnetization directions becomes clearer. The latter process is called magnetically assisted recording.

The research group led by Yuichi Nakamura has applied this magnetically assisted recording technology to magnetic-holographic memory and, for the first time in the world, succeeded in reducing recording energy consumption and achieving error-free data reconstruction.

Through simulation, the group investigated the size of the stray magnetic

field required for magnetization reversal in magnetic hologram recording. As a result, they found that the thinner the medium, the smaller the necessary stray magnetic field and the less clear the hologram recording. They also proved through experiments that magnetically assisted recording yields a clear magnetic hologram even with a thin medium, and the magnetic hologram yields a bright reconstruction beam upon irradiation with a reference beam. Through further experiments, they found that magnetically assisted recording and reconstruction of two-dimensional data yields clear reconstruction images. As a result of this research, the group have achieved a world first by managing a significant reduction in errors in data recording and reconstruction for low energy consumption as well as error-free recording and reconstruction with magnetic-holographic memory.

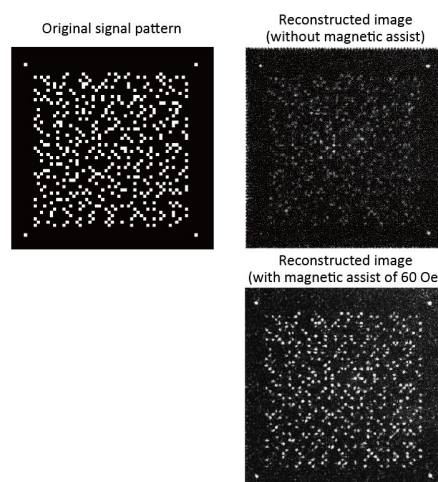


Fig.1 Reconstructed image with and without magnetic

“Until now it has been difficult to obtain a clear reconstruction image with a magnetic hologram, due to strict requirements for material characteristics, optical conditions, and so on. Using magnetically assisted recording, we have relaxed these requirements and also improved the reconstruction performance of recording media. This technology is promising for the future application of magnetic-holographic memory,” says first author Shirakashi.

The research group intends to proceed with their work to improve recording density, and their goal is to apply this technology to make a portable, ultra-high-density and high-speed optical information storage medium (outperforming Blu-ray discs) capable of storing high-volume contents from various sources including 8K Super Hi-Vision broadcasting and 3D films; and to enable wide application of this technology in various types of storage systems, including archive and cold storage for storing information such as medical image data, SNS data on the Internet, and high-volume data in data centers.

This work was supported in part by Grants-in-Aid for Scientific Research (S) 26220902 and (A) 15H02240.

## Reference

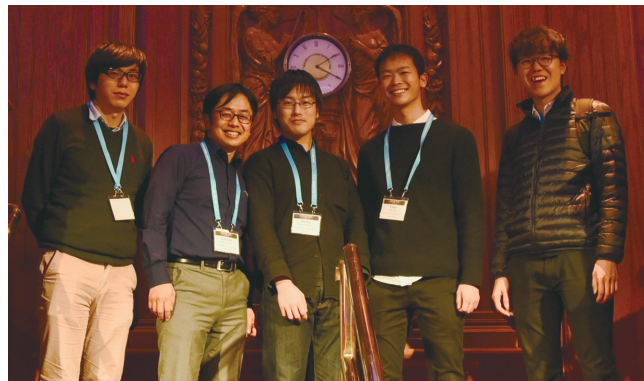
Zen Shirakashi, Taichi Goto, Hiroyuki Takagi, Yuichi Nakamura, Pang Boey Lim, Hironaga Uchida & Mitsuteru Inoue, “Reconstruction of non-error magnetic hologram data by magnetic assist recording” Scientific Reports,7, Article number: 12835 (2017).  
<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-12442-z>

# Ultrastretchable and deformable bioprobes using “Kirigami” designs

Revolutionizing electronics technology with the Japanese art of paper cutting

By Takeshi Kawano

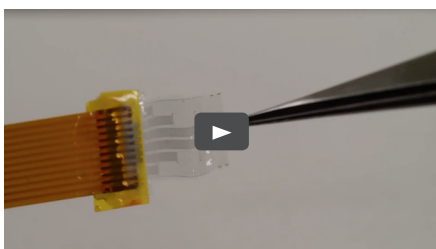
A research team in the Department of Electrical and Electronic Information Engineering and the Electronics-Inspired Interdisciplinary Research Institute (EIIRIS) at Toyohashi University of Technology has developed an ultrastretchable bioprobe using a ‘Kirigami’ design. The *Kirigami*-based bioprobe enables one to follow the shape of spherical and large deformable biological samples such as heart and brain tissues. In addition, its low strain-force characteristic reduces the force induced on organs, thereby enabling minimally invasive biological signal recording.



Associate Prof. Kawano (2nd from left) with the co-author Yusuke Morikawa (rightmost) and Shota Yamagiwa (center).

High stretchability and deformability are very desirable properties when one seeks to increase the applications of flexible film electronics including sensors, actuators, and energy harvesters. In particular, these properties have great potential for applications related to three-dimensional soft biological samples such as organs and tissues that exhibit large and rapid changes in their surface area and volume (e.g., a beating heart). However, conventional elastomer-based stretchable devices require a large strain-force to fully stretch due to their intrinsic material properties. This makes it impossible to follow the deformation of soft biological tissues, thereby preventing natural deformation and growth. For device applications pertaining to soft biological samples, it is extremely important to reduce the strain-force characteristic of the stretchable devices to realize low invasiveness and safe measurements.

A research team in the Department of Electrical and Electronic Information Engineering and the EIIRIS at Toyohashi University of Technology has developed an ultrastretchable bioprobe using Kirigami designs.



“In order to create an ultrastretchable bioprobe with low strain-force character-

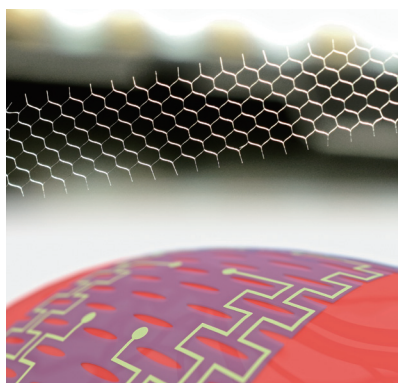


Fig.1 Ultrastretchable ‘Kirigami’ bioprobe device. The stretched device (upper picture) and the device placed over the biological tissue (lower image).

istic, we used a Kirigami design as the device pattern. The remarkable feature of Kirigami is that rigid and unstretchable materials can be rendered more stretchable compared to other elastomer-based stretchable materials. The stretching mechanism is based on an out-of-plane bending of the thin film rather than stretching of the material; therefore, the strain-stress characteristic is extremely low compared to that of elastomer-based stretchable devices,” explains the first author of the article, Ph.D. candidate Yusuke Morikawa.

The leader of the research team, Associate Professor Takeshi Kawano, said, “The idea germinated in my mind one morning when I woke up and saw my son playing with Origami and Kirigami. I saw him realize high stretchability of the paper while creating the Kirigami designs. This made me wonder whether it is possible to develop stretchable electronics using the concept of Kirigami. Surprisingly, our

preliminary studies on Kirigami-based parylene films by microelectromechanical systems technology exhibited high stretchability of 1,100%. In addition, we are extremely excited that the fabricated Kirigami-based bioprobes possess the distinct advantages of high stretchability and deformability, and are capable of recording biological signals from the cortical surface and beating heart of a mouse.”

The research team believes that the Kirigami-based bioprobes can also be used to probe tissues and organs that exhibit time-dependent changes in their surface and volume due to growth or disease. This is expected to lead to the eventual realization of a completely new measurement method that can be instrumental in understanding the mechanisms governing growth and diseases like Alzheimer’s.

This work was supported by Grants-in-Aid for Scientific Research (A) (No. 25249047), (B) (No. 17H03250), for Young Scientists (A) (No. 26709024), the PRESTO Program from JST, and Strategic Advancement of Multi-Purpose Ultra-Human Robot and Artificial Intelligence Technologies program from NEDO. Y.M. was supported by the Leading Graduate School Program R03 of MEXT. R. N. was also supported by Takeda Science Foundation.

## Reference

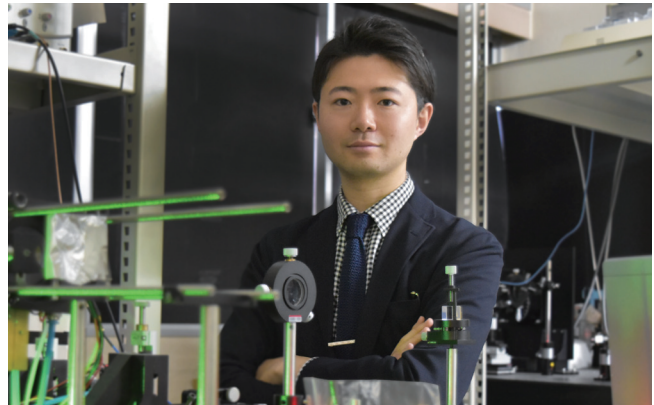
Yusuke Morikawa, Shota Yamagiwa, Hirohito Sawahata, Rika Numano, Kowa Koida, Makoto Ishida and Takeshi Kawano (2017). Ultrastretchable Kirigami bioprobes. *Advanced Healthcare Materials*, <http://dx.doi.org/10.1002/adhm.201701100>

# New Smaller Laser Achieved One-Digit Higher Output

By using randomly polarized laser beam with a “Q switch”

By Taichi Goto

Taichi Goto at Toyohashi University of Technology and his international research team have produced the first high-powered, randomly polarised laser beam with a “Q switch” laser, which typically emits pulses of light so brief that they’re measured in Kilowatts per nano-second. Lasers are a critical part of modern technology—they’re used in everything from our automobiles to medical equipment to the satellites orbiting Earth. Now, researchers are broadening the potential applications of even smaller and more powerful lasers.



“The experimental evidence provided in this study advances this research field toward the realization of actively controllable integrated micro lasers,” said Taichi Goto, second author of the paper and an assistant professor in the Department of Electrical and Electronic Information Engineering at Toyohashi University of Technology.

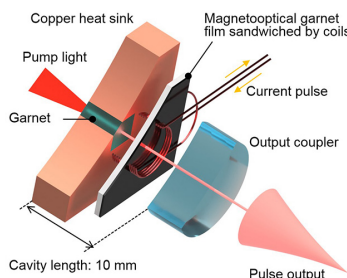


Fig.1 The first high-powered, randomly polarized laser beam with a “Q switch” laser. Optical pulses were controlled by electrical signals.

Other study contributors include scientists from the Institute for Molecular Science at the Laser Research Centre in Japan and the Electrical and Computer Engineering Department at Iowa State University in the United States.

Q switch lasers are used in a variety of applications, including in surgical procedures, and can produce more precise results with less damage than traditional tools. The lasers require integration of active and passive responsibilities for maximum efficiency.

“There are two advantages to actively controlling integrated micro lasers,” said Goto. “Firstly the small size of

the lasers allows for the use of mass production techniques. Secondly, the price of each Q switch laser can be lowered thanks to the integration.”

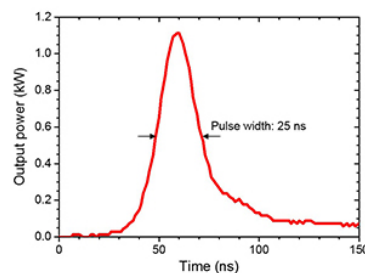


Fig.2 Obtained optical pulse. The peak power was about 1 kW. The pulse width was 25 ns.

A technique called Q switching produces short but high-powered pulse outputs. As in other lasers, an electric current excites electrons in a laser medium—in this case, it’s a crystal used in solid-state lasers—and emits the resulting energy as amplified light. The light can be polarized in one direction or another, but it’s nearly impossible to change the randomly polarized light in a small Q switch laser.

Goto and his team used Q switching, along with a laser a tenth of the size of one cent, to produce a laser beam ten times more powerful than previously reported with larger lasers.

Along with the change of laser size, the researchers also adjusted the magnetic material through which the light travels and amplifies to a more powerful pulse. With the addition of a neodymium-yttrium-aluminum-garnet,

Goto could use magneto-optics to better control how the light moves within the laser cavity.

The short pulses allow the researchers to change the polarization of the laser through manipulation of the photons comprising the light. Instead of a constant light, each pulse can be switched. The laser size means the energy punches out, instead of dissipating as it travels inside the system.

The researchers plan to increase the peak power of their system, according to Goto. They also plan to apply the system as an integrated micro laser for further testing.

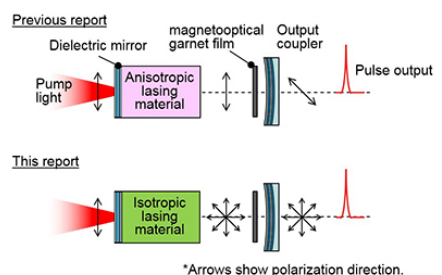


Fig.3 The world-first achievement of a randomly polarized (unpolarized) light generated using an magneto-optical Q-switched laser may lead to groundbreaking new fields of applications.

## Reference

Ryohei Morimoto, Taichi Goto, Takunori Taira, John Pritchard, Mani Mina, Hiroyuki Takagi, Yuichi Nakamura, Pang Boey Lim, Hironaga Uchida and Mitsuteru Inoue, “Randomly polarised beam produced by magneto-optically Q-switched laser”, *Scientific Reports*, 7, 15398 (2017).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-15826-3>

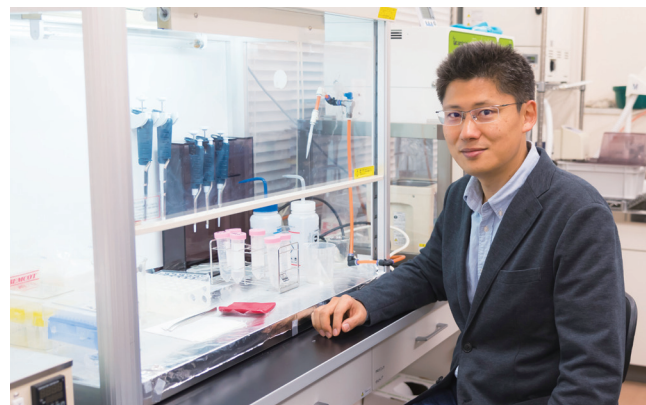


# “Islands” of Cell Membrane Components

Proteoliposome fusion and domain formation in an artificial lipid bilayer membrane

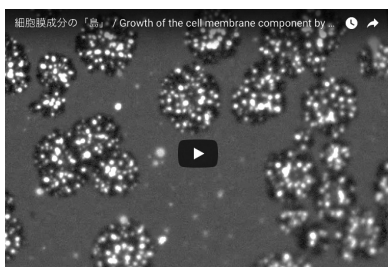
By Ryugo Tero

Research conducted by Ryugo Tero at Toyohashi University of Technology in collaboration with Tohoku University elucidated the fusion process of proteoliposomes with an artificial lipid bilayer and the mechanism behind this process. In addition, it was also discovered that the domains composed of all cell membrane components exist as “islands” that were isolated from the artificial membrane. These findings will lead to further understanding of the functions of membrane proteins, which are an important target of drug development.



All exchanges of materials, signals, and energy in and out of cells to maintain biological activity are performed through membrane proteins and lipids on the cell membrane. Since these processes have a strong influence on neurotransmission and metabolism, they are important research targets in the fields of biology, medicine and drug development. Components of the cell membrane including membrane proteins and lipids are generally derived from cultured cells, and spherical structures of lipid bilayer membranes including these derived proteins are called proteoliposomes.

Because membrane proteins maintain their structure and functions by remaining within a lipid bilayer, artificial lipid bilayers are commonly used for measuring the functions of membrane proteins without affecting their activity. After the fusion of proteoliposomes with an artificial lipid bilayer, the cell membrane environment must be maintained; experimental conditions for this fusion have been derived through accumulated empirical evidence.



The research group led by Ryugo Tero, associate professor at Toyohashi University of Technology in collaboration with Tohoku University, discovered that “islands” made of cell membrane components grow within an artificial lipid bilayer through observation of the fusion of proteoliposomes derived from cultured cells with an artificial lipid bilayer. Furthermore, they also found that the artificial lipid bilayer and proteoliposomes do not mix, and that membrane proteins

and lipids inside the cell membrane formed isolated domains away from the artificial lipid bilayer. The size and distribution of these “islands” were found to be dependent on the type of cells that the proteoliposomes were derived from. In addition, they also clarified that microdomains (domains with a specific composition of lipids) serve as a specific site for the fusion of proteoliposomes.

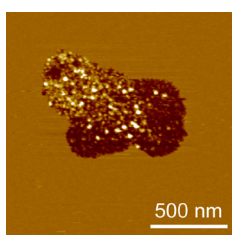


Fig.1 Atomic force microscope image of the domains of the cell membrane component in a flat artificial lipid bilayer membrane.

Ryugo Tero says that “we were very surprised when we saw the spreading of dark islands made of cell membrane components in a sea of the bright artificial lipid bilayer labeled with fluorescence. The phosphatidylcholine, phosphatidylethanolamine and cholesterol used in this study to make the artificial lipid bilayer are major components in the cell membrane. Although proteoliposomes also contain these same lipid components, it was very strange to find that they did not mix with each other. This result provides very valuable information in that the cell membrane components are not being mixed into the surroundings and dispersed, but form clusters in the artificial lipid bilayer. By using this experimental technique, for example, we could also observe the phenomenon of collaborative interaction between multiple proteins and lipids in the cell membrane”.

Professor Ayumi Hirano-Iwata at Tohoku University says that “In our study of ion channels, the most important factor affecting the success rate of measurements is whether proteoliposomes fuse with an artificial lipid bilayer or not. We had been searching for the right experimental conditions each time we

changed the type of cells or membrane proteins. By understanding the membrane fusion process and its mechanism as clarified by this study, the efficiency of our experiments will be greatly improved”.

The research group believes that the fusion process of proteoliposomes and its mechanism elucidated by this research will accelerate the research of ion channels and membrane proteins which are important targets of drug development. In addition, the “islands” made of cell membrane components will provide useful information for understanding complex biological reactions in which multiple proteins and lipids are involved, as well as for developing high-throughput membrane protein screening technology.

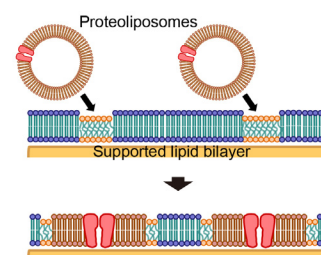


Fig.2 Formation of cell-membrane-component islands through the proteoliposome fusion to an artificial lipid bilayer.

This work was supported by CREST, Japan Science and Technology Agency (JST) Grant Number JPMJCR14F3; Japan Society for the Promotion of Science KAKENHI Grant Numbers JP15H03768, JP15H00893, and JP15H03822; A-STEP, JST; and Research Foundation for Opto-Science and Technology.

## Reference

Ryugo Tero, Kohei Fukumoto, Toshinori Motegi, Miyu Yoshida, Michio Niwano & Ayumi Hirano-Iwata (2017). Formation of Cell Membrane Component Domains in Artificial Lipid Bilayer, Scientific Reports, 7(1), 17905.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-18242-9>



## 磁気アシストによるホログラムメモリ実用化への第一歩

磁気ホログラムメモリのエラーゼロでの記録・再生に成功

中村 雄一

中村雄一准教授らのグループは、磁気アシスト記録によって、世界で初めて磁気ホログラムメモリの記録エネルギーの低エネルギー化とエラーゼロでの再生に成功しました。これは、書き換え可能な超高密度高速光情報ストレージとして、磁気ホログラムメモリの実用化に貢献する技術です。

近年、インターネットや8K放送をはじめ、世の中に流通する情報は増え続けており、そうした大容量データを超高記録密度・超高速で保管する革新的な技術が求められています。磁気ホログラムメモリはそうした要求を満たす技術の1つであり、DVDやBlu-ray Discと同じサイズのディスクに1TB(通常の容量25 GBのBlu-rayディスク40枚分)を超える情報を記録できる技術です。

磁気ホログラムは、記録の際、一方向に磁化させたメディアに情報を持った光(信号光)と参照光を照射すると両者が干渉して、その結果生じる光の強弱のパターンが磁化の向きの違いとして記録されます。このとき、外部から磁場をかけながら記録することで、磁化の向きの違いをはっきりと記録することが可能となり、これを磁気アシスト記録といいます。

中村雄一准教授らの研究グループは、この磁気アシスト記録という手法を用いて、世界で初めて磁気ホログラムメモリの記録エネルギーの低エネルギー化

とエラーゼロでの再生に成功しました。

研究グループは、シミュレーションにより、磁気ホログラム記録時に磁化を反転させるのに必要な浮遊磁界の大きさを評価し、メディアの膜厚が薄いほど浮遊磁界が小さくホログラムの記録が不鮮明になる傾向があることを見いだしました。そして、メディアの膜厚が薄い場合であっても、磁気アシスト記録を行うことにより、はっきりとした磁気ホログラムが形成でき、形成できた磁気ホログラムへ参照光を照射することで、明るい再生光が得られることを実験で示しました。その後、二次元データを磁気アシスト記録し、再生したところ、明瞭な再生像が得られ、より小さなエネルギーで書き込んでも記録・再生したデータのエラー数を劇的に低減でき、エラーゼロでの記録・再生ができることを初めて実験で示しました。

第一著者の白樫は「これまで磁気ホログラムで明瞭な再生像を得るためには、材料特性や光学条件など

が厳しく困難でしたが、今回、実証した磁気アシスト記録ではこれらの記録条件を緩和し、かつ記録媒体の再生特性を向上させることができるようになりました。今後の磁気ホログラムメモリの実用化に向けて、この手法が貢献できると期待しています。」と述べています。

今後は記録密度の向上に向けた研究を推し進め、最終的にはBlu-rayディスクを超える超高密度高速光情報ストレージとして、8Kのスーパーハイビジョンや3D映画などの大容量コンテンツを入れて持ち運べたり、医療生体画像データやインターネットにおけるSNS、データセンターなどの大容量データのアーカイブ・コールドストレージなどに広く利用できる技術として確立することを目指しています。

本研究の一部は科学研究費補助金 基盤(S) 26220902 および 基盤(A) 15H02240の補助を受けて実施しました。

## 切り紙がエレクトロニクス技術を変える

切り紙構造による超伸縮性バイオブローブデバイス

河野 剛士

豊橋技術科学大学電気・電子情報工学系とエレクトロニクス先端融合研究所の研究チームは、切り紙構造を用いた超伸縮性神経電極を開発しました。切り紙神経電極は、複雑な三次元形状を持ち、また、大きな変形を示す心臓や脳組織などの生体サンプルに対して、その変形に沿って伸縮することを可能とします。加えて、伸縮に必要な力を低減できる特徴は、生体サンプルに対するデバイスの圧迫を抑えて、これまでにない低侵襲な生体信号の計測を可能とします。

デバイスの高い伸縮性と高い変形性は、これまでのセンサやアクチュエータ、エナジーハーベスタといったエレクトロニクスの応用をさらに拡大することが期待されます。特に、三次元的な形状を持ち、速くて大きな変形を示す臓器(例えば心臓)や組織といった各種の生体サンプルへの応用が期待されます。しかし、ゴムのような弾性材料を基にした従来の伸縮性デバイス(ストレッチャブルデバイス)では材料自体の特性によってデバイスの伸縮時に大きな力が必要でした。そのため、従来のストレッチャブルデバイスは、柔らかい生体サンプルに対して追従することはできず、また、生体の自由な変形や成長を阻害する可能性もありました。柔らかい生体組織へのストレッチャブルデバイスの応用には、デバイスの低侵襲性や安全な計測を実現する上で伸縮に必要な力を最小限に抑えることが重要な課題でありました。

そこで、研究チームは切り紙構造を用いて超伸縮性を実現したバイオブローブ(神経電極)デバイスを開発しました。

「微小な応力で伸縮可能な伸縮性神経電極を実現するために、我々は切り紙構造をデバイスの基盤と

して使いました。切り紙構造の驚くべき特徴は、硬く、伸縮性を持たない材料に対しても切り紙構造を適用することで、他の弾性材料を用いるより、むしろ高い伸縮性が実現できることです。これは、切り紙構造における伸縮性が材料の伸縮ではなく、薄いフィルムの三次元的な曲げによって生じているからです。そのため、伸縮に必要な力は弾性材料を用いた伸縮性デバイスと比較しても遥かに小さくなります。」と筆頭著者である博士後期課程の森川雄介は説明します。

研究チームのリーダーである河野剛士准教授は「このアイデアは実は、朝起きたときに折り紙や切り紙をして遊んでいる息子を見てひらめきました。彼は高い伸縮性を持ったフィルムを、紙を使って実現していました。それを見て私は、切り紙のコンセプトを用いた伸縮性エレクトロニクスができるのではないかと考えました。驚いたことに、予備実験として行った、バリレンに微細パターンを施して製作した切り紙フィルムは1,100%という革新的な伸縮性を実現しました。また、次に製作した切り紙神経電極デバイスが、高い伸縮性と変形性といった特性を活かし、マウスの大脳皮質と拍動する心臓からの神経信

号記録を実現したことにも驚かされました。」

研究チームは、切り紙神経電極が長期における成長や病気などによる組織や臓器の表面積ないしは体積の増加・減少を伴う状況でも適用可能であると考えています。最終的には、これまでにない新たな計測手法を実現し、成長やアルツハイマーに代表される脳の変形を伴うような病気についてのメカニズムの解明や治療に役立てていきたいとも考えています。

本研究は、文部科学省・日本学術振興会科学研究費基盤研究A(25249047)、基盤研究B(17H03250)、若手研究A(26709024)、科学技術振興機構さきがけ(PRESTO)、及び国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)次世代人工知能・ロボット中核技術開発の助成によって実施しました。また、筆頭著者の森川は文部科学省・日本学術振興会の実施する博士課程教育リーディングプログラム(R03)の支援を受けました。また共著者沼野は公益財団法人武田科学振興財団の支援を受けました。

## 世界初!磁気を使って小型レーザーで1キロワット出力を達成

ランダム偏光に対する磁気を使ったQスイッチを用いて

後藤 太一

豊橋科学大学、自然科学研究機構分子科学研究所、アイオワ州立大学の研究者らは、共同で磁場と光の相互作用である磁気光学効果を発現する膜を用いた、集積化可能なQスイッチレーザーのピークパワーを1キロワットまで高めました。さらに、従来不可能と考えられてきたランダム偏光(無偏光)の光に対しても磁気を使ったQスイッチが有効であることを示しました。集積可能であるため、大量生産により大幅に価格が下がることが期待できます。

高出力かつ小型で丈夫なレーザーは、自動車の衝突防止センサーや医療機器、機械加工、レーザー点火などで使われ、その活躍の場は現在急激に広がっています。

豊橋技術科学大学、自然科学研究機構分子科学研究所、アイオワ州立大学の研究者らのグループは、最近開発に成功した迷路状の磁気ドメインをもつ透明磁性材料を用いた薄膜Qスイッチレーザーの高出力化に成功しました。このレーザーのピークパワーは、1.1キロワットに達しました。これは、同手法を用いた従来報告されていたパワーよりも1桁大きな値です。

そのしくみについて、「レーザーを形作る共振器(キ

ャビティー)を、他の制御可能なQスイッチ素子では達成が難しい10 mmまで縮めることで、パルス幅を短くしています。」と本論文の責任著者の後藤助教は、述べています。

同グループは、これまでも、磁気光学効果を使ったQスイッチレーザーを報告してきていますが、出力光の偏光状態は、直線偏光に限られていました。今回の研究で初めて、同構成のレーザーにより、ランダム偏光(無偏光)の光出力も得られることが明らかになり、これにより扱える光の状態が大幅に広がりました。

さらに今回の研究結果は、ガーネット構造をもつレーザー結晶と、同じくガーネット構造をもつ透明磁性

膜の組合せで実証されました。これにより従来よりも、レーザー結晶と透明磁性膜の融合が速かに容易になり、集積化の可能性を大きく高めました。今後、レーザー結晶とQスイッチ膜の一体化が進めば、素子1つあたりの価格が大幅に安くなることが期待されます。

本研究は、以下の助成を受けて行われました。

- ・ 日本学術振興会 科研費 26220902, 17K19029, 17J05958
- ・ 国立研究開発法人 科学技術振興機構 さきがけ JPMJPR1524
- ・ 矢崎科学技術振興記念財団

## 細胞膜成分の「島」を発見

人工脂質二重膜へのプロテオリボソームの融合とそのしくみ

手老 龍吾

豊橋技術科学大学の手老龍吾准教授は東北大学と共同で、人工脂質二重膜へのプロテオリボソームの融合過程とそのしくみを明らかにしました。また、細胞膜成分を全て含む領域が、人工膜から独立した「島」として存在する様子を初めて見出しました。これらの知見は、重要な創薬ターゲットである膜タンパク質の働きを理解し、そのための実験手法を開発することにつながります。

生命活動に必要な物質・情報・エネルギーの細胞内外でのやり取りは全て、細胞膜に存在する膜タンパク質と脂質を通して行われています。これらは神経伝達や代謝などに深く関わることから、生物学・医療・創薬分野での重要な研究対象です。膜タンパク質と脂質を含む細胞膜の成分は、培養細胞から取得するのが一般的で、取得したタンパク質を含む脂質二重膜の球状構造体がプロテオリボソームです。

膜タンパク質は脂質二重膜内に存在することで正しい構造と機能を保つため、膜タンパク質の働きを損なわずに計測するには人工的に作製した脂質二重膜が用いられます。細胞膜の環境を保ちつつ、プロテオリボソームを人工脂質二重膜に融合させる必要がありますが、そのための実験条件は経験的な積み重ねで得られてきました。

手老龍吾准教授と東北大学の共同研究グループは、培養細胞から取得したプロテオリボソームが人工脂質二重膜に融合する過程をその場観察することで、人工脂質二重膜中に細胞膜成分で出来た「島」が成長することを初めて見出しました。さらに、人工脂質二重膜とプロテオリボソームは混ざり合わず、細胞膜内の膜タンパク質や脂質は人工脂質膜から分離して存在することが分かりました。この「島」の大

きさと分布は、プロテオリボソームを取得する細胞の種類に依存することが分かりました。また、研究グループは人工脂質二重膜内に存在する微小ドメイン(特定の組成の脂質が集合した領域)が、プロテオリボソームの融合を起こす特別な場所として働いていることを明らかにしました。

手老龍吾准教授は「蛍光標識した明るい人工脂質二重膜の海の中に、真っ黒な細胞膜成分の島が広がっていく様子を見た時は、とても驚きました。この研究で人工脂質二重膜を作るために使ったフォスファチジルコリン(phosphatidylcholine)、フォスファチジルエタノールアミン(phosphatidylethanolamine)、コレステロールは、細胞膜内にも主要な成分として含まれています。プロテオリボソームにもこれらの脂質は含まれているはずなのに、なぜ両者が混じり合わないのか、とても不思議です。細胞膜内の成分が周囲と混ざって分散せずに、集まっているということはとても貴重な情報です。例えば細胞膜内の複数のタンパク質や脂質が協働する現象も、この実験手法を用いて調べられるということです。」と話しています。

共同研究者である東北大学の平野愛弓教授は、「私達がイオンチャネルの研究を行う上で、プロテオリ

ボソームが人工脂質二重膜に融合するかどうかは計測の成功率に一番強く関わる要因です。これまでには細胞や膜タンパク質の種類を変えるたびに手探りで実験条件を探していました。この研究で膜融合の過程としくみが明らかになったことで、実験の効率を大きく向上させることにも繋がります。」と話しています。

本研究成果によって解明されたプロテオリボソームの融合過程とそのしくみが、創薬ターゲットとして重要なイオンチャネルや膜タンパク質の研究を加速させると研究グループは信じています。さらに、細胞膜成分で作られた「島」は、複数のタンパク質や脂質が関わる複雑な生体反応を理解したり、高効率な膜タンパク質スクリーニング技術を開発したりするのに役立つと期待されます。

本研究は、科学技術振興試行(JST)、CREST、JPMJCR14F3、日本学術振興会(JSPS)科研費JP15H03768、JP15H00893、JP15H03822、JST、A-STEP、光科学技術研究振興財団からの支援を受けて行われました。



## Pick Up

### TUT receives highest score in midterm assessment for MEXT Top Global University Project

On February 2018, the midterm evaluation results of the Top Global University Project (April 2014 - March 2024) were announced. Toyohashi University of Technology was one of only 6 universities out of the 37 originally selected for this project to be awarded the highest possible "S" grade.



This Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan (MEXT) project is designed to support top level Japanese universities to take the next step to join the ranks of the best universities worldwide. This is to be achieved by globalizing these universities' outlook and activities, while concentrating on delivering world class education and research.

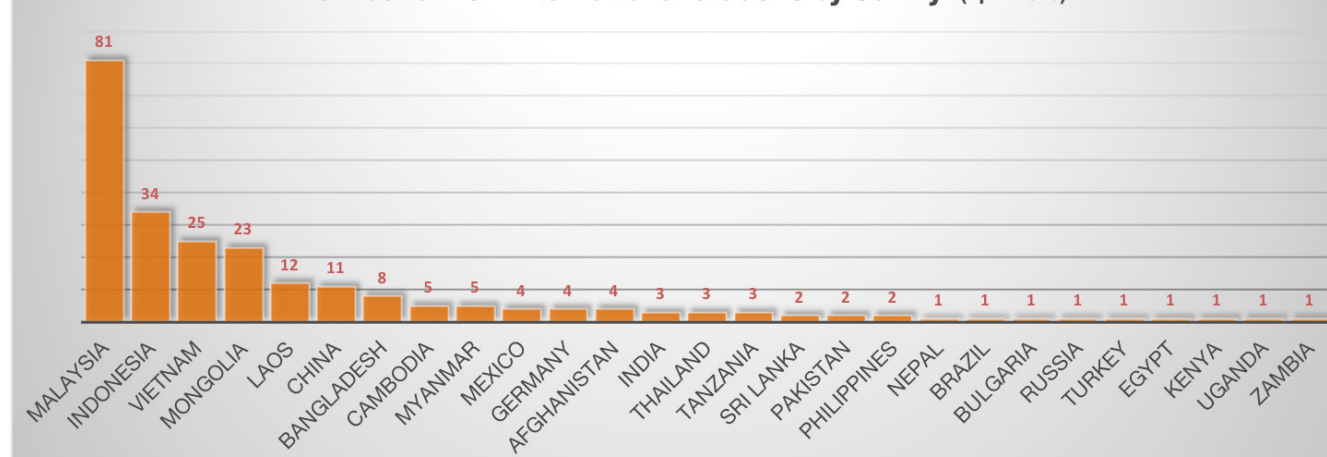
In the evaluation report, TUT's progress was praised as "being excellent and expected to achieve project goals." In particular, "Global Technology Architects Course Program", "English/Japanese Bilingual lectures throughout the university" and "Global House - share-room type of student boarding house" earned particular praise.

The increase in the ratio of international students is one of the fundamental goals of the university's globalization efforts, and we are continuing to work towards that objective. Accordingly, the academic year 2018 from this April began with a total of 240 international students from 27 countries. This represents about 12% of all TUT students, which makes it our highest ratio to date.



International students welcome party, April 2018

Number of TUT International Students by Contry (April 2018)





#### ■ Toyohashi University of Technology

The Toyohashi University of Technology (TUT) is one of Japan's most innovative and dynamic science and technology based academic institutes. TUT Research is published to update readers on research at the university.

1-1 Hibarigaoka, Tempaku, Toyohashi, Aichi, 441-8580, JAPAN

Inquiries: Committee for Public Relations

E-mail: [press@office.tut.ac.jp](mailto:press@office.tut.ac.jp)

Website: <https://www.tut.ac.jp/english/>

#### ■ Editorial Committee

Michiteru Kitazaki, Committee Chairman

Department of Computer Science and Engineering

Takaaki Takashima, Chief Editor

Institute for Global Network Innovation in Technology Education

Saburo Tanaka Research Administration Center

Ryoji Inada Department of Electrical and Electronic Information Engineering

Kojiro Matsuo Department of Architecture and Civil Engineering

Eugene Ryan Institute for Global Network Innovation in Technology Education

Yuko Ito Research Administration Center

Tetsuya Oishi International Affairs Division

Tomoko Kawai International Affairs Division