



RIKEN Center for Advanced Photonics

<https://rap.riken.jp/>

RIKEN Center for Advanced Photonics 2017 Annual Report

RIKEN Center for Advanced Photonics 2017 Annual Report

光量子工学研究領域 2017 Annual Report



Preface

RAP was inaugurated in April, 2013 and we start its second stage in 2018.

RAP is working to realize the dream of making the invisible visible. The center is pursuing research to push the possibilities of light to the extreme, in order to allow us to see previously invisible things. For example, attosecond lasers make it possible to see the movements of electrons, metamaterials are allowing us to manipulate light waves, and we can conduct environmental monitoring with fluorescent proteins and with relativistic geodesy using ultra precision optical lattice clocks. Being able to see objects helps us to understand and manipulate them. Besides, the work of RAP focuses not simply on making discoveries that will be recognized by the research community, but also on contributing to society by developing practical applications.

In 2017, several world-leading outputs have been achieved, such as, “demonstration of full color plasmonic pixels made of aluminum with controllable” hue and brightness and “demonstration of backward THz-wave parametric oscillator.”

Please kindly review the attached report. I would like to take this opportunity to express my gratitude for your continued advice and assistance.

Katsumi Midorikawa
Director,
RIKEN Center for Advanced Photonics

はじめに

2013 年 4 月に発足した光量子工学研究領域は、6 年目を迎えた 2018 年 4 月に光量子工学研究センター（RAP）となり、第二期を開始しました。

光量子工学研究センターでは、光の新しい使い方を提案・追究し、今まで見えなかったものを見ようとしています。例えば、アト秒パルスレーザーによる電子の観察、メタマテリアルによる光の操作、蛍光タンパク質を用いた環境モニタリング、超高精度な光格子時計による相対論的な測地学……。見ることができれば、理解し、制御することにも近づきます。光の可能性は無限で、私たちが到達できているのはほんの一部です。光量子工学研究センターは、光科学の地平を広げ、新しい光技術を社会に役立てていきます。

2017 年度は光量子工学研究領域としての最終年度にあたり、「アルミニウムのナノ構造体で「色」を作る（フォトン操作機能研究チーム）」、「光波長変換による後進テラヘルツ波発振を実現（テラヘルツ光源研究チーム）」などの顕著な研究成果が出ました。

皆様には、本報告をご高覧のうえ、引き続きご指導並びにご助言を賜りますようお願い申し上げます。

緑川 克美 光量子工学研究センター センター長

理化学研究所 RIKEN

光量子工学研究領域
RIKEN Center for Advanced Photonics

アドバイザー・カウンシル
RAP Advisory Council (RAPAC)

エクストリームフォトンクス研究グループ
Extreme Photonics Research Group

緑川 克美
Katsumi Midorikawa

アト秒科学研究チーム Attosecond Science Research Team	緑川 克美 Katsumi Midorikawa	4
超高速分子計測研究チーム Ultrafast Spectroscopy Research Team	田原 太平 Tahei Tahara	6
生細胞超解像イメージング研究チーム Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team	中野 明彦 Akihiko Nakano	8
生命光学技術研究チーム Biotechnological Optics Research Team	宮脇 敦史 Atsushi Miyawaki	10
時空間エンジニアリング研究チーム Space-Time Engineering Research Team	香取 秀俊 Hidetoshi Katori	12
画像情報処理研究チーム Image Processing Research Team	横田 秀夫 Hideo Yokota	14
フォトン操作機能研究チーム Innovative Photon Manipulation Research Team	田中 拓男 Takuo Tanaka	16
量子オプトエレクトロニクス研究チーム Quantum Optoelectronics Research Team	加藤 雄一郎 Yuichiro Kato	18
眼疾患クラウド診断融合連携研究チーム Cloud-Based Eye Disease Diagnosis Joint Research Team	秋葉 正博 Masahiro Akiba	20
理研-SIOM 連携研究ユニット RIKEN-SIOM Joint Research Unit	杉岡 幸次 Koji Sugioka	22

テラヘルツ光研究グループ
Terahertz-wave Reseach Group

大谷 知行
Chiko Otani

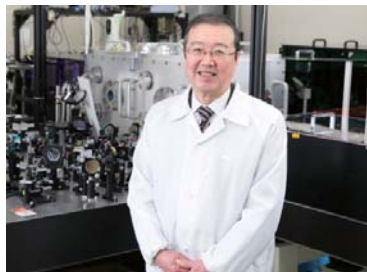
テラヘルツ光源研究チーム Tera-Photonics Research Team	南出 泰亜 Hiroaki Minamide	24
テラヘルツイメージング研究チーム Terahertz Sensing and Imaging Research Team	大谷 知行 Chiko Otani	26
テラヘルツ量子素子研究チーム Terahertz Quantum Device Research Team	平山 秀樹 Hideki Hirayama	28

光量子技術基盤開発グループ
Advanced Photonics Technology Development Group

和田 智之
Satoshi Wada

光量子制御技術開発チーム Photonics Control Technology Team	和田 智之 Satoshi Wada	30
先端光学素子開発チーム Ultrahigh Precision Optics Technology Team	山形 豊 Yutaka Yamagata	32
中性子ビーム技術開発チーム Neutron Beam Technology Team	大竹 淑恵 Yoshie Otake	34
技術基盤支援チーム Advanced Manufacturing Support Team	山形 豊 Yutaka Yamagata	36

はじめに / Director’s Message	2
組織図 / Organization Chart	3
業績リスト / Publications, etc.	38
プレスリリース / Press Releases	59
ニュース、会議・イベント / News, Meetings, Events	62
受賞・表彰 / Awards	66
研究紹介記事など / Articles	68



チームリーダー / Team Leader
緑川 克美 工学博士
Katsumi Midorikawa D. Eng.



- FY2017 Core Members**
- (専任研究員) 鍋川 康夫、
高橋 栄治、永田 豊、小林 徹、
杉岡 幸次 (兼務)
- (研究員) 磯部 圭佑、中野 友哉、
アマニ レザ、Yuxi Fu、
Clayton Locke、藤原 孝成、
神田 夏輝
- (基礎科学特別研究員) Yu-Chieh Lin
(特別研究員) Vinh Hoai Trinh、
Bing Xue
- (技師) 棚橋 晃宏
(JRA) 戸田 圭亮
(研究技術員) 若林 多起子
- (Senior Research Scientist)
Yasuo Nabekawa, Eiji Takahashi,
Yutaka Nagata, Tohru Kobayashi,
Koji Sugioka (c)
- (Research Scientist) Keisuke Isobe,
Tomoya Okino, Reza Amani,
Yuxi Fu, Clayton Locke,
Takashige Fujiwara, Natsuki Kanda
(Special Postdoctoral Researcher)
Yu-Chieh Lin
- (Postdoctoral Researcher)
Vinh Hoai Trinh, Bing Xue
- (Technical Scientist) Akihiro Tanabashi
(JRA) Keisuke Toda
(Technical Assistant)
Takiko Wakabayashi

研究テーマ

- ・ アト秒パルスの発生と計測
- ・ 原子・分子のアト秒ダイナミクス
- ・ XUV 領域における非線形光学
- ・ 多光子イメージング

Research Subjects

- ・ Generation and measurement of attosecond pulses
- ・ Attosecond dynamics in atoms and molecules
- ・ XUV nonlinear optics
- ・ Multiphoton microscopy

研究成果 / Research Output

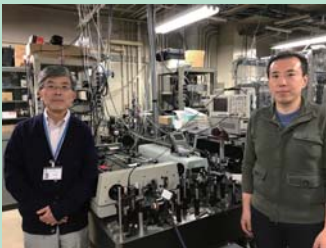
高効率レーザー偶奇分離法の開発

- ・ 円偏光を用いる従来法に比べて
実験上簡便な直線偏光による偶奇分離スキームを実証
- ・ 偶奇分離に必要なレーザー装置を従来法の 3 台から 2 台に減らす
ことで、設備の簡略化とコスト低減を実現
- ・ 自動イオン化準位への共鳴励起・イオン化の導入等により、従来
法に比べて約 10 万倍のイオン化効率達成

Development of efficient selective ionization scheme
for odd-mass number isotopes

- ・ Realized selective ionization with linearly-polarized lasers
- ・ Successfully reduced number of lasers from 3 to 2, which
contributes to both simplification of the experimental setup and
the cost effectiveness
- ・ Achieved ca. 10^5 times ionization efficiency through resonant
transition to an autoionizing state

Reference: from C. R. Locke, T. Kobayashi, T. Fujiwara, and K. Midorikawa, Appl. Phys. B123, 240 (2017).



当研究チームでは高レベル放射性廃棄物 (HLW) に含まれ
資源として有効利用が期待されるパラジウムおよびジルコニ
ウムを対象に、高効率レーザー偶奇分離法の開発を行って
います。「偶奇分離」とは、元素の同位体混合物の中から質量
数が奇数のものを選択的にイオン化して抽出することで、光
吸収選択則を組み合わせることにより実現します。従来の同
位体分離法で技術的困難であった高分解能レーザーが不要で
あることが、偶奇分離法の大きなメリットです。

HLW に含まれるパラジウムの場合、7 種類の同位体
(Pd-102,104,105,106,107*,108,110) が混在しています (* は
放射性同位体)。偶奇分離法では、このうち奇数同位体
(Pd-105,107*) を選択的に励起・イオン化して抽出します。
図 1 に示すオリジナル励起スキームでは、電子遷移エネ
ルギーに相当する 2 つの左円偏光レーザーを照射した場合、核
スピンの 0 である偶数同位体では 2 段目の光吸収が起こら
ないのに対して、核スピンの 0 でない奇数同位体は光を吸収し、
さらに 3 段目のレーザー光によってイオン化されて抽出され
ます。しかしオリジナルスキームには (1) 円偏光劣化によ
る分離効率低下 (2) 低効率な非共鳴イオン化 (3) レーザー
が 3 台必要で高コスト、という問題点がありました。

研究チームでは、これらの問題点を解決するために図 2
(A) ~ (C) に示す新励起スキームを提案・実証しました。い
ずれも直線偏光レーザーと自動イオン化準位への共鳴イオン
化の組み合わせで高効率偶奇分離を実現しており、最終的に
(C) では 2 台のレーザーで偶奇分離を実現しました。奇数同
位体イオンの純度は 99.7 % 以上であり (図 3)、イオンの生
成効率は、オリジナルスキームに比べて 10 万倍に達します。

本成果は、高レベル放射性廃棄物低減と資源化の実現に寄
与する技術であり、日本の核安全性と資源確保に大きく貢献
するものと期待されます。

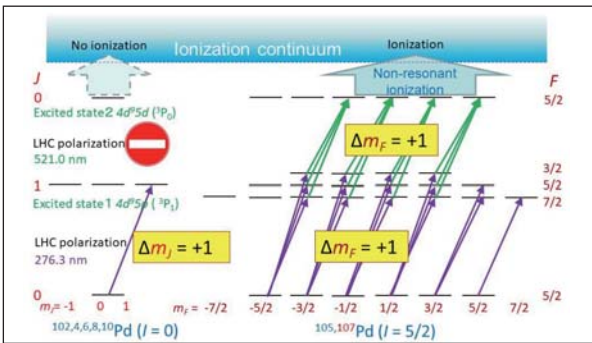
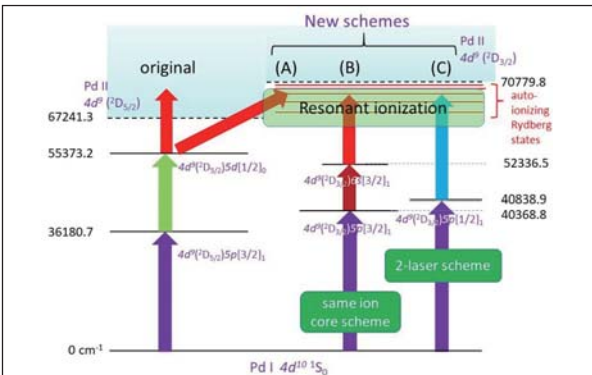


図 1 : パラジウム偶奇分離 (オリジナルスキーム) における偶数・奇数質量数同位体の
光吸収選択則

Fig 1: Transition selection rules for even-mass and odd-mass Pd isotopes.



We are developing efficient selective laser ionization
scheme for radioactive odd-mass number isotopes of
palladium and zirconium for the reduction and resource
recycling of high-level nuclear wastes (HLW). The method
is promising because it does not require ultra-high
resolution tunable laser which was indispensable for the
conventional isotope separation method.

In the case of palladium in HLW, 7 isotopes coexist, that
is, Pd-102, 104, 105, 106, 107*, 108, and 110. (* indicates
radioactivity) According to the original scheme shown in
Fig.1, selective ionization of Pd-105 and Pd-107* can be
achieved by the combination of circularly-polarized lasers
due to the transition selection rule. Because the nuclear
spin of even-mass number isotopes is 0, the second
excitation step is forbidden although non-zero nuclear spin
of odd-mass number isotopes allows the transition occur
and successive ionization with the third laser enables the
extraction of the ions. However, the original scheme has
some drawbacks such as (1) decrease in the selectivity due
to degradation of circular polarization, (2) low ionization
efficiency due to non-resonant ionization, and (3) high cost
for 3 lasers.

Our team developed new excitation schemes in Fig.2 (A)
- (C). Combination of linearly-polarized lasers and resonant
transition to autoionizing state realizes efficient selective
ionization and cost-effective 2-laser scheme (C) was finally
demonstrated. High selectivity (> 99.7 % as shown in Fig.3)
and high ionization efficiency (ca. $\times 10^5$ to the original
scheme) are achieved.

The result will promote the reduction and resource
recycling of nuclear wastes and greatly contribute to the
nuclear security and the resource strategy in Japan.

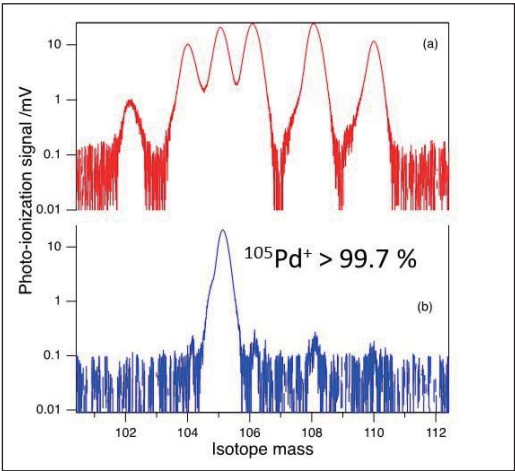


図 3 : パラジウム同位体イオンの質量スペクトル (縦軸は対数表示)

(a) 非選択的イオン化の場合 (b) 奇数選択的イオン化の場合

Fig.3: Mass spectrum of palladium isotope ions.

(a) Obtained by non-selective ionization.

(b) Obtained by odd-mass selective ionization.

図 2 : オリジナル励起スキームと、本研究で提案・実証された新励起スキーム (A) ~ (C)

Fig 2: Original excitation scheme and newly-developed excitation schemes (A) ~ (C).



チームリーダー / Team Leader

田原 太平 理学博士
Tahei Tahara D. Sci.



FY2017 Core Members

(専任研究員) 竹内 佐年 (兼務)、
石井 邦彦 (兼務)、二本柳 聡史 (兼務)
(研究員) 倉持 光 (兼務)
(特別研究員)
Ahmed Mohammed
(アシスタント) 加藤 智子 (兼務)

(Senior Research Scientist)
Satoshi Takeuchi (c),
Kunihiko Ishii (c),
Satoshi Nihonyanagi (c)
(Research Scientist)
Hikaru Kuramochi (c)
(Postdoctoral Researcher)
Ahmed Mohammed
(Assistant) Tomoko Kato (c)

研究テーマ

- 超短パルス光の発生とそれを用いた超高速分光計測法の開発
- 超高速分光を用いた凝縮相分子ダイナミクスの解明と制御
- 非線形分光を用いた界面分子ダイナミクスの観測と解明

Research Subjects

- Generation of ultrashort pulses and development of ultrafast spectroscopic methods
- Elucidation and control of molecular dynamics in the condensed phase by ultrafast spectroscopy
- Observation and elucidation of molecular dynamics at interfaces by nonlinear spectroscopy

研究成果 / Research Output

複雑な分子が反応する力学的機構を解明するための新しいアプローチの提案



- 可視極短パルスを用いた新しい超高速多次元分光法を開発
- 光受容タンパク質の反応性ポテンシャルエネルギー曲面の非調和性の直接観測に成功

Proposal of a new approach for elucidating reactive potential energy surfaces of polyatomic molecules

- Development of a new multi-dimensional Raman spectroscopy using sub-7-fs pulses
- Observation of the distortion (anharmonicity) of reactive potential energy surfaces of a photoreceptor protein

化学反応の途中で分子はその構造を徐々に変えていきますが、この構造変化の詳細は、分子がそれぞれの形を取った時に持つエネルギーを多次元的に表した「分子のポテンシャルエネルギー曲面」を元に理解することができます。したがって、化学反応を理解する上でこの分子のポテンシャルエネルギー曲面の形状を明らかにすることが本質的です。分子の振動はポテンシャルエネルギー曲面の形を反映しており、特に異なる振動モードの間の結合（非調和性）は、反応性ポテンシャルエネルギー曲面に特徴的な、“曲面の歪み”を直接反映しています。したがって反応する分子の振動の非調和性を知ることは、反応途中の構造変化のメカニズムやエネルギーの流れを解明するために大変重要です。当研究チームは 3 つの極短フェムト秒パルスを用いて異なる振動モード間の相関を計測する新しい分光法を開発しました。この方法では 2 つの異なるタイミングで極短パルス光を分子に照射して、分子に振動を誘起し、その後の振動の様子を 3 番目の極短パルスにより実時間で観測します (図 1a,b)。こうして得られるデータをフーリエ解析することで得られる 2 次元スペクトルには、第一、第二のパルスで励起された異なる振動モード間の結合に関する情報が含まれています (図 1c)。光受容タンパク質であるイエロープロテインに対して実験を行ったところ、得られた 2 次元スペクトルは振動モード間の非調和結合の存在を意味する非対角成分を明瞭に示しており (図 1c 矢印)、本手法によって反応性ポテンシャルエネルギー曲面の歪みを選択的に検出することができることが示されました。

本研究で得られたような情報は反応性励起状態ポテンシャル曲面の全貌を分子レベルで解明する上で不可欠なものです。既存の分光法では得ることが出来ませんでした。今後この手法を様々な光反応系に用いることで、反応ダイナミクス研究に新たな展開が期待されます。

Chemical reactions proceed on the complex potential energy surface (PES), which consists of a vast degree of freedom of nuclear coordinates for polyatomic molecular systems. For unraveling the true reaction coordinate and molecular mechanisms that underlie the reaction, it is desirable to map out the PES, which has been a long-lasting central subject in both experimental and theoretical chemistries. In this quest, understanding of the vibrational coupling between normal mode coordinates is essential, since it actually characterizes the complex shape of the PES.

Ultrafast Spectroscopy Research Team developed a new multidimensional ultrafast spectroscopy that can interrogate the correlation among the different vibrational coordinates, and applied it to a bacterial photoreceptor, photoactive yellow protein (PYP). In this technique, two ultrashort pulses are used to induce coherent molecular vibrations at two different timings, which are subsequently observed directly in the time domain (Fig.1a,b). Fourier analysis of the obtained data provides a two-dimensional correlation map, which reveals and visualizes the correlation between low and high frequency vibrational modes of the excited state (Fig.1c). The data obtained for PYP show a clear cross peak that signifies the anharmonicity (distortion) of its reactive PES. Because such information can be barely obtained by other existing spectroscopic techniques, this new approach will provide a wealth of new insights into chemical reactions and their dynamics.

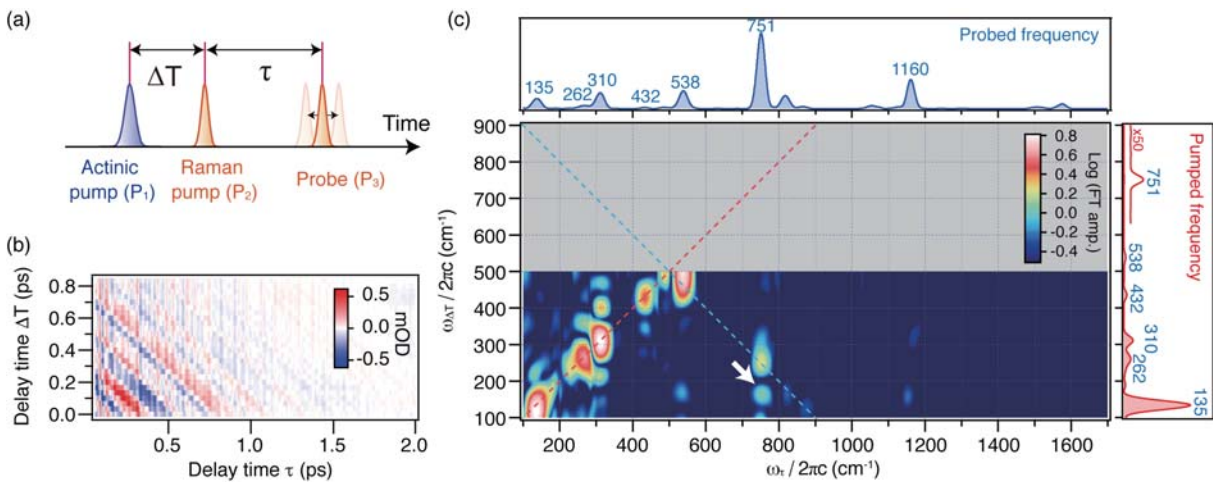
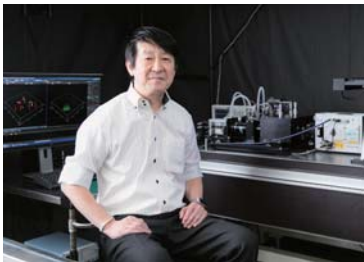


Fig.1 : (a) Principle of the multi-dimensional spectroscopy developed in the present study. (b) Obtained raw data that have two time axes. (c) Two-dimensional frequency-frequency correlation map obtained by Fourier transform of the raw data shown in (b). Cross peak, indicative of the vibrational coupling, is marked with an arrow.

生細胞超解像イメージング研究チーム

Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team



チームリーダー / Team Leader

中野 明彦 理学博士
Akihiko Nakano D. Sci.



FY2017 Core Members

- (専任研究員)
黒川 量雄
(研究員)
戸島 拓郎
(特別研究員)
伊藤 容子、宮代 大輔
(アシスタント)
深谷 香織
- (Senior Research Scientist)
Kazuo Kurokawa
(Research Scientist)
Takuro Tojima
(Postdoctoral Researcher)
Yoko Ito, Daisuke Miyashiro
(Assistant)
Kaori Fukaya

研究テーマ

- 超解像ライブイメージング顕微鏡技術の開発
- 細胞内膜交通の分子機構

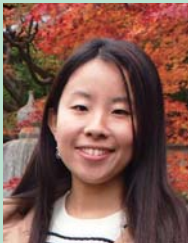
Research Subjects

- Development of super-resolution live imaging microscopy
- Molecular mechanisms of intracellular membrane trafficking

研究成果 / Research Output

ゴルジ体形成の足場「GECCO」

- COPII 小胞に依存しないゴルジ体の入口
- 超解像共焦点ライブイメージング顕微鏡システム (SCLIM) による発見



“GECCO,” the scaffold for generation of the Golgi apparatus

- Golgi entry sites formed independently of COPII vesicles
- Discovery by super-resolution confocal live imaging microscopy (SCLIM)

Reference: Y. Ito, T. Uemura, and A. Nakano: “Golgi Entry Core Compartment functions as the COPII-independent scaffold for ER-Golgi transport in plant cells,” J. Cell Sci. 131, jcs203893 (2018).

真核細胞の細胞小器官の一つであるゴルジ体は、扁平な袋状の膜（槽）が重なってできた、非常に特徴的な形（層板構造）をしています。しかし、この構造がどのようにして形成されるのかは、ゴルジ体の発見から約 120 年たった現在でも、ほとんど明らかになっていません。

当チームの伊藤容子（特別研究員）らは 2012 年に、植物細胞で BFA 薬剤処理によってゴルジ体を消失させたとき、いくつかのタンパク質がそれまで報告されたことのないドット状の構造体に局在することや、薬剤を洗い流した後のゴルジ体の再形成の際この構造をもとにして層板構造が作られていくように見えることを発見しました。そこで今回、伊藤容子、植村知博（客員研究員／東京大学助教）、中野明彦チームリーダーは、多色・超解像・高速で 3D 蛍光イメージングが可能な「高感度共焦点顕微鏡システム SCLIM」をはじめとした最先端のイメージング技術によって、このドット状の構造体を詳しく調べました。その結果、ドット状の構造体は、ゴルジ体再形成の際に他のゴルジ体タンパク質を受け取るゴルジ体の入口としての機能を果たすことが分かりました。このことから、このドット状の構造体を「Golgi Entry

Core Compartment（GECCO）」と名付けました。さらに、GECCO がこれまでに知られている COPII 小胞を介した輸送システムとは独立に形成されることも明らかになりました。

ゴルジ体の層板構造は、ほぼ全ての真核生物に共通しているにも関わらず、この形をとることにどのような意味があるのかは全く不明です。今後 GECCO の機能についてさらに詳しく調べることで、ゴルジ体形成の分子メカニズムや層板構造をとることの意義など、細胞生物学上の長年の謎を解決できる可能性があります。

The Golgi apparatus, an organelle in eukaryotic cells, generally displays a very unique structure consisting of several flattened bladders called cisternae in the form of stacks. However, how this stacked structure is generated and maintained remains obscure even at 120 years after its discovery.

Yoko Ito (postdoctoral researcher) discovered in 2012 that the treatment of plant cells by a drug BFA caused not only the already-known disappearance of the Golgi apparatus but also the emergence of a novel small punctate structures. She also demonstrated that the removal of the drug led to the reassembly of the whole Golgi with these punctate structures as a scaffold. Now, Yoko Ito, Tomohiro Uemura (visiting researcher/assistant professor of the University of Tokyo) and Akihiko Nakano (team leader) characterized these punctate structures in more detail by the cutting-edge super-resolution confocal live imaging microscopy (SCLIM) we developed, which enables multicolor, super-resolution, and high-speed 3D fluorescence imaging. By extensive SCLIM analysis we have demonstrated that these punctate structures have a role as the entry compartment of Golgi resident proteins, when the Golgi is reformed. Thus we have named these structures the “Golgi entry core compartment” or GECCO in short. We could also show that GECCO is formed independently of the well-known mechanism using COPII vesicles.

These new findings shed light on understanding of the molecular mechanisms of the Golgi biogenesis and the significance of the stacked structures, long-lasting mystery of cell biology.

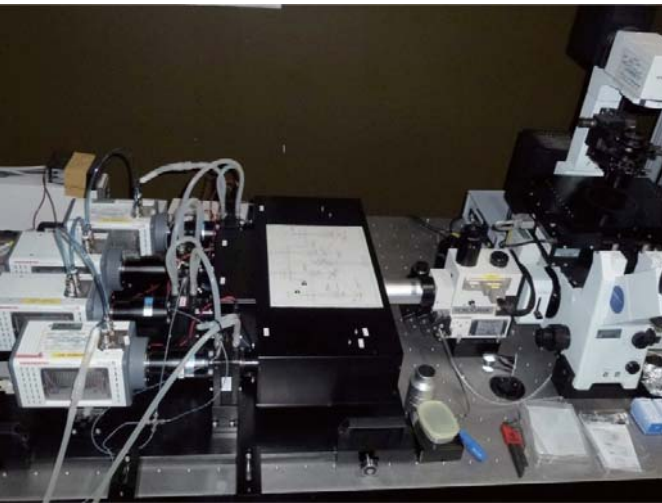


図 1：多色・超解像・高速で 3D 蛍光イメージングが可能な「超解像共焦点ライブイメージング顕微鏡 SCLIM」
Fig.1：Setup of super-resolution confocal live imaging microscopy (SCLIM), which enables multicolor, super-resolution and high-speed 3D fluorescence imaging.

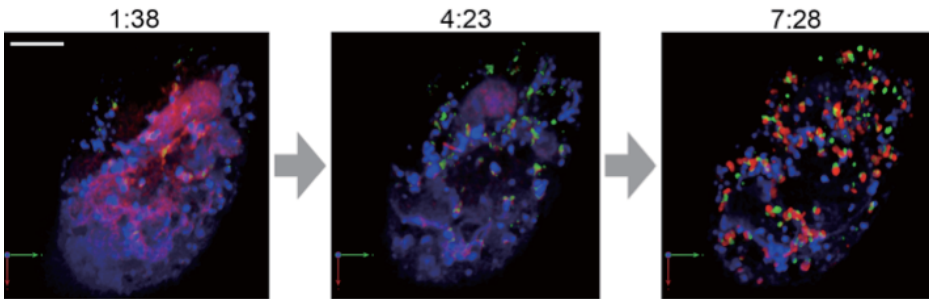


図 2：SCLIM で撮影したゴルジ体の再形成。
GFP-SYP31（緑；シス槽マーカータンパク質）、ST-mRFP（赤；トランス槽マーカータンパク質）、SP-iRFP-HDEL（青；小胞体マーカータンパク質）を、SCLIM で 3D タイムラプス観察した画像。上の数字は薬剤 BFA 除去後の時間（時：分）を表す。小胞体から出たトランス槽マーカーが、ドット状構造（GECCO）を通して運ばれ、ゴルジ体層板構造が再形成される。スケールバーは 10 μ m。

Fig.2：Regeneration of the Golgi apparatus observed by SCLIM.
3D Time-lapse images were observed by SCLIM on GFP-SYP31 (green, cis-Golgi), ST-mRFP (red, trans-Golgi) and SP-iRFP-HDEL (blue, ER). Indicated times mean the elapsed time after drug removal (hour:minute). Note that the trans-Golgi protein exits the ER, passes through the punctate structures (GECCO) and then the whole stacks are completed. Scale bars, 10 μ m.



チームリーダー / Team Leader

宮脇 敦史 医学博士
Atsushi Miyawaki M.D., Ph.D.



FY2017 Core Members

(研究員) 平野 雅彦、 道川 貴章
(テクニカルスタッフ)
戸崎 麻子、星田 哲志

(Research Scientist) Masahiko Hirano,
Takayuki Michikawa
(Technical Staff)
Asako Tosaki, Tetsushi Hoshida

研究テーマ

- 蛍光タンパク質の発色団の構造と機能
- 生命と光との相互作用
- 微小生物の水中運動の高速ビデオ撮影

Research Subjects

- Structure-function relationships of fluorescent protein chromophores
- Interplay between ambient light and organisms
- Ultra-fast observation of swimming behavior of micro-organisms

研究成果 / Research Output

脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム
AkaBLI

- 人工基質 AkaLumine に合わせて、ホタルルシフェラーゼ Fluc から人工酵素 Akaluc を開発
- 非侵襲的深部観察

Single cell bioluminescence imaging of deep tissue in
freely moving animals

- in vivo bioluminescence imaging
- AkaBLI, an all-engineered bioluminescence system

Reference: Iwano S, Sugiyama M, Hama H, Watakabe A, Hasegawa N, Kuchimaru T, Tanaka KZ, Takahashi M, Ishida Y, Hata J, Shimozono S, Namiki K, Fukano T, Kiyama M, Okano H, Kizaka-Kondoh S, McHugh TJ, Yamamori T, Hioki H, Maki S, Miyawaki A. (2018) Single-cell bioluminescence imaging of deep tissue in freely moving animals. Science, 359 (6378): 935-939.

人工基質 AkaLumine に合わせて、ホタルルシフェラーゼ Fluc をもとに人工酵素 Akaluc を開発しました。

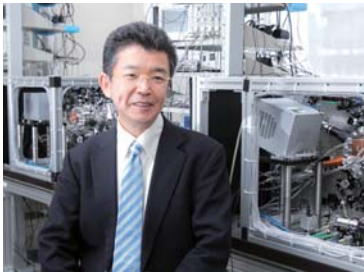
生物発光は基質（ルシフェリン）と酵素（ルシフェラーゼ）から構成され、ルシフェリンがルシフェラーゼによって酸化されることで発光が起こります。動物個体レベルの生物発光バイオイメーjingでは、主に D-luciferin というルシフェリンが用いられます。

多くの場合、基質の全身投与は腹腔内投与や経静脈投与によって行われますが、基質（ルシフェリン）を全身に行きわたらせることが求められます。しかし、D-luciferin は血液脳関門 BBB を通過しにくいいため、これまで脳の生物発光イメージングはほとんど行われてきませんでした。AkaBLI は、2013 年に開発した人工基質 AkaLumine と、AkaLumine に合わせて今回開発した人工酵素 Akaluc から構成されます。AkaBLI を用いると深部からの発光シグナルを従来と比べ 100 ～ 1,000 倍の強さで検出できることがわかりました。AkaBRI を用いて、マウスやマーモセットの線条体の中の少数標識神経細胞からの発光を、無麻酔かつ自由行動の状態で（ビデオレートで）非侵襲的に可視化することに成功しました。AkaBLI を使えば、注目する神経回路を遺伝的に Akaluc で標識し、その活性化を非侵襲的かつ包括的にモニタすることができます。また、Akaluc で標識した腫瘍細胞がマウスの肺の毛細血管にトラップされる現象を一細胞レベルで可視化することにも成功しました。AkaBLI は、少数の腫瘍細胞や幹細胞の新生や移入、さらにその後起こる生着、増殖、転移などの現象を高感度にかつ定量的に観察することを可能にし、動物個体を扱う生命科学分野で幅広い活躍が期待されます。

Bioluminescence is a natural light source based on the catalysis of luciferin by luciferase enzyme. We used a red-shifted and highly deliverable luciferin analogue (AkaLumine) to perform directed evolution on the firefly luciferase (Akaluc) to create AkaBLI (=AkaLumine/Akaluc), an all-engineered *in vivo* bioluminescence imaging system. AkaBLI produced a 100 to 1,000 fold brighter emission in vivo than conventional systems, enabling the non-invasive visualization of small numbers of labeled cells in deep internal organs of behaving animals. We observed single transplanted tumor cells in mouse lung vasculature. In the mouse hippocampus, we combined AkaBLI and genetic labeling with neural activity sensors to detect small groups of neurons activated in response to the animal' s exploration of novel environments. Finally, we recorded video-rate bioluminescence from neurons in a deep brain area, striatum, of a naturally behaving marmoset repetitively over one year. As a biologically-based engineered light source, AkaBLI will enable unprecedented scientific, medical, and industrial applications.

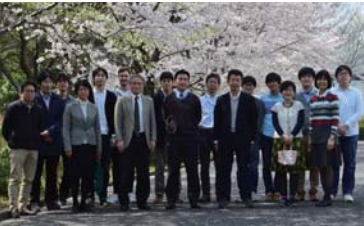


図 1：自由行動マウスの線条体からの AkaBLI 発光シグナル（自由行動下）
Fig .1 : In vivo bioluminescence imaging



チームリーダー / Team Leader

香取 秀俊 博士（工学）
Hidetoshi Katori D. Eng.



FY2017 Core Members

(専任研究員) 高本 将男 (兼務)
(研究員) 大前 宣昭、山口 敦史 (兼務)
(基礎科学特別研究員) 岡場 翔一、
Andrew Hinton

(Senior Research Scientist)
Masao Takamoto (c)
(Research Scientist)
Noriaki Ohmae,
Atsushi Yamaguchi (c)
(Special Postdoctoral Researcher)
Shoichi Okaba, Andrew Hinton

研究テーマ

- 相対論的測地技術の開拓
- 可搬型光格子時計の開発
- 光格子時計の長期安定動作の実現

Research Subjects

- Relativistic geodesy with optical lattice clocks
- Development of portable optical lattice clocks
- Realization of long-term stable operation

研究成果 / Research Output

実験室外での測地計測にむけた
可搬型光格子時計の開発



- 25 日間の長期無人運転を実現
- センチメートル精度の標高計測を可能とする高精度可搬型光格子時計の開発

Development of transportable optical lattice clocks for geodetic applications

- Demonstration of unmanned continuous operation of optical lattice clock for 25 days
- Development of high-accuracy optical lattice clocks to detect height difference with centimeter-precision

一般相対性理論の効果により、重力ポテンシャルの異なる場所では時間の進み方が異なります。地球上では、標高が高いほど時間は速く進みます。したがって、標高の異なる 2 地点に精密な時計を設置すると、両地点の標高差が、時計の進み方の差（重力シフト差）として検出されます。たとえば、 1×10^{-18} の精度をもった原子時計を使えば、1 cm の標高差を検出することができます。時空間エンジニアリング研究チームでは、これまでに 10^{-18} の精度を持つ超高精度な光格子時計を開発してきました。我々は、このような高精度な時計を、相対論的な効果を利用した標高測定（相対論的測地技術）へと応用することを目指しています。

実験室外での測地計測を視野に入れ、本研究チームでは現在、光格子時計の小型化・可搬化をすすめています（図 1(a)）。これまでに、超高真空槽と精密分光レーザー装置の可搬化を行い、5 日間の連続運転を実現しました。本年度は、さらにレーザー装置の堅牢化を行い、加えて各種制御装置を遠隔操作できるようにし、25 日間以上、長期無人運転させることに成功しました（図 1 (b)）。

今後は、可搬型光格子時計を実験室外に持ち出し、重力ポテンシャル計としての有用性を実証します。さらに将来、光格子時計を使った地殻変動の検出、地下資源の探索、従来の水準点を置き換える量子水準点の構築など、社会を支える基盤技術として様々な分野への応用を目指します。

Clocks in different gravitational potentials tick differently due to relativistic effects, with clocks in higher positions ticking faster. Precise measurement of the frequency difference between two clocks at different heights, therefore, tells us their height difference. For example, atomic clocks which possess 1×10^{-18} precision enable us to determine the height difference with 1 cm accuracy. The Space-Time Engineering Research Team has been developing optical lattice clocks with an accuracy of 10^{-18} . The team is exploring the application of such high-accuracy atomic clocks to geodetic measurements through relativistic effects.

Development of transportable optical lattice clocks is also a key issue to use clocks as a practical tool for geodetic measurements. We have developed a transportable system and achieved continuous operation of the portable optical lattice clock system for 5 days. This year, by improving the robustness of the laser system and building a remote control system, we achieved unmanned continuous operation of portable optical lattice clock for more than 25 days (Fig. 1 (a) (b)).

In the near future, we will bring the entire system outside the laboratory and demonstrate a clock-based gravitational potential meter. Such potential meters will be applicable to a variety of fields in social infrastructure such as monitoring the earth's crust, searching for underground resources, and establishing a quantum benchmark as a replacement for the conventional benchmark.

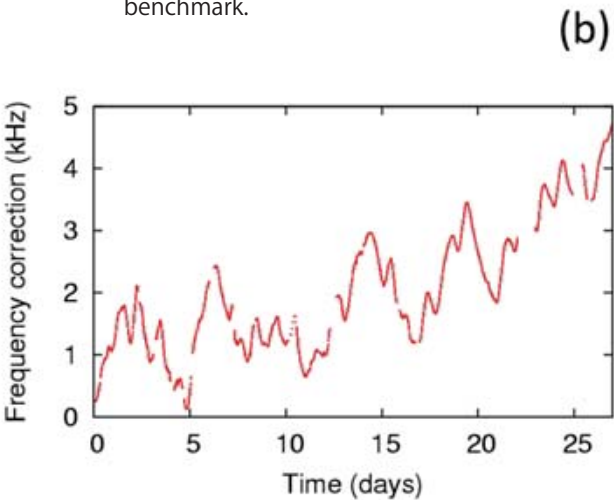


図 1 : (a) 可搬型光格子時計用真空システム。原子を分光する真空チャンバーは、黒い磁気シールドの箱の中に設置されている。(b) 光格子時計による時計遷移分光用レーザーの周波数補正の様子。25 日を超える長期無人運転を実現。

Fig.1 : (a) Transportable optical lattice clock system. Vacuum chamber for spectroscopy of atoms is installed in the black magnetic shield box. (b) Correction of the clock laser frequency by an optical lattice clock. Unmanned operation of the system for more than 25 days has been demonstrated.

画像情報処理研究チーム

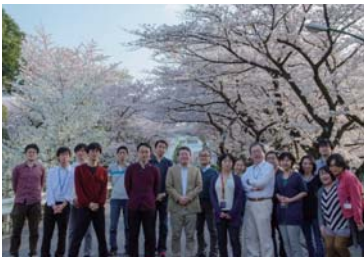
Image Processing Research Team



チームリーダー / Team Leader

横田 秀夫 博士 (工学)

Hideo Yokota D. Eng.



FY2017 Core Members

(上級研究員) 吉澤 信
(研究員) 竹本 智子
(特別研究員) 山下 典理男、森田 正彦
(テクニカルスタッフ) 辻村 有紀、
中村 佐紀子、西村 将臣
(IPA) Dina Bashkirova
(アシスタント) 田中 聖子、田中 晶予、
古本 佳代
(客員研究員) 大山 慎太郎、深作 和明、
藤崎 和弘、古城 直道、宮川 雄、
村上 幸己

(Senior Research Scientist) Shin Yoshizawa
(Research Scientist) Satoko Takemoto
(Postdoctoral Researcher) Norio Yamashita, Masahiko Morita
(Technical Staff) Yuki Tsujimura, Sakiko Nakamura, Masaomi Nishimura
(IPA) Dina Bashkirova
(Assistant) Seiko Tanaka, Akiyo Tanaka, Kayo Furumoto
(Visiting Scientist) Shintaro Oyama, Kazuaki Fukasaku, Kazuhiro Fujisaki, Naomichi Furushiro, Suguru Miyagawa, Yukimi Murakami

研究テーマ

- 画像情報処理に関するアルゴリズム研究
- 画像情報処理システムの開発
- 生物情報データ作成のための計測システムの構築

Research Subjects

- Development of algorithms for image processing
- Development of image processing systems
- Construction of instrumentation system for bio-research data creation

研究成果 / Research Output



定量的画像解析による核膜動態の解明

- 細胞計測技術と画像処理技術を駆使し、大量画像から核膜動態を定量解析するフレームワークを開発
- 核膜孔複合体の形成と Pore-free island の消失には関連があることを発見
- 核膜上には核膜孔複合体形成の場を制御するメカニズムが存在する可能性

Image analysis framework for elucidation of the mechanisms underlying NPC assembly

- Development of a novel framework for quantitative image analysis of NPC assembly using the techniques of measurement for cellular dynamics and the image processing.
- The disappearance of pore-free islands, one of the nuclear envelope subdomains, is highly related to de novo NPC.
- Our framework suggested the existence of specific regulatory mechanisms for the spatial arrangement of NPC assembly on nuclear envelopes.

Reference: Y. Mimura, S. Takemoto, T. Tachibana, Y. Ogawa, M. Nishimura, H. Yokota, and N. Imamoto, "A statistical image analysis framework for pore-free islands derived from heterogeneity distribution of nuclear pore complexes", Scientific Reports, Vol. 7, Article number: 16315, 2017.

真核生物の核膜は、細胞周期間期に次の細胞分裂に備えて成長を続け、その過程で核膜上の核膜孔複合体 (NPC) は倍加します。しかし NPC 形成にはまだ不明点が多く、形成に関わる核膜動態の定量解析法が求められていました。そこで当チームと今本細胞核機能研究室、大阪市立大学の共同研究グループは、細胞計測技術と画像情報処理技術を駆使し、大量の観察画像に対する定量解析フレームワークを開発しました。

フレームワークは「観察」、「画像処理」、「数値定量化」、「シミュレーション」で構成されています。解析対象は、核膜サブドメイン構造の一つである Pore-free island です。Pore-free island は NPC 分布の濃密だけで定義される不明瞭な領域ですが、本研究で提案した領域分割法によって、数千枚の画像から Pore-free island 領域を自動認識しました。その後、領域内に存在する NPC 前駆体の輝点を自動的に検出しました。これらの処理を薬剤処理した数千枚の観察画像に実行することで、Pore-free island の面積や NPC 前駆体の数及び空間分布に関する数値定量化データを獲得しました。その結果、細胞周期の進行に伴う Pore-free island の消失が、NPC 形成に関連していることが明らかとなりました。

また、獲得した Pore-free island の形状情報と、その内部の NPC 前駆体数をもとに、NPC 前駆体出現のシミュレーション実験を行いました。NPC 前駆体の Pore-free island 内の空間配置に関して、何のバイアスもない場合をシミュレーションにより求め、実際の観察結果と比較をしたところ、NPC 前駆体は Pore-free island の境界から遠い位置に存在しやすい傾向があることが分かりました。この結果は、核膜上の NPC 密度が NPC 形成を制御する機構に関わる可能性を示唆しており、今後の核膜孔研究に新たな方向性を示すものです。

本研究で提案したフレームワークは、Pore-free island の解析のためにオーダーメイドで考案したものです。しかし、フレームワークを支える個々の技術は、輝点分布の濃密に注目した領域分割や、輝点の自動検出など、細胞画像解析の多くの場面で求められる方法であり、本フレームワークを汎用的に役立てられることが期待できます。

The number of nuclear pore complexes (NPC) on the nuclear envelope (NE) almost double during interphase of the eukaryotic cell cycle. NPC assembly, however, is still unclear and requires an analysis method. Our group developed a novel framework for image-based analysis to explore the NPC assembly process.

Our framework was constructed using image acquisition, image processing, numerical quantification, and simulation techniques. The target of our analysis is a pore-free island, one of the NE subdomains. The region of pore-free islands is distinguished only by differences in mature NPC density; thus, there is no obvious structural boundary between them. We achieved automatic recognition of pore-free islands and automatic detection of internal foci, which are intermediates of NPC, from the large quantity of immunofluorescence images (Fig. 1). Quantified data (e.g., pore-free island size, number of foci, and their spatial distribution) were measured from these results, clarifying the relationship between the disappearance of pore-free islands and de novo NPC assembly.

In addition, we performed numerical simulation to investigate the position of the intermediate foci in the pore-free islands to determine whether their distribution was spatially biased by comparing the observed and simulated data (Fig. 2). The results suggest the existence of specific regulatory mechanisms for the spatial arrangement of NPC assembly on NE, and show a new research direction for NPC. The proposed framework was tailor-made for pore-free islands analysis. The individual techniques supporting the framework are also useful for other topics such as region segmentation foci detection in noisy cell images.

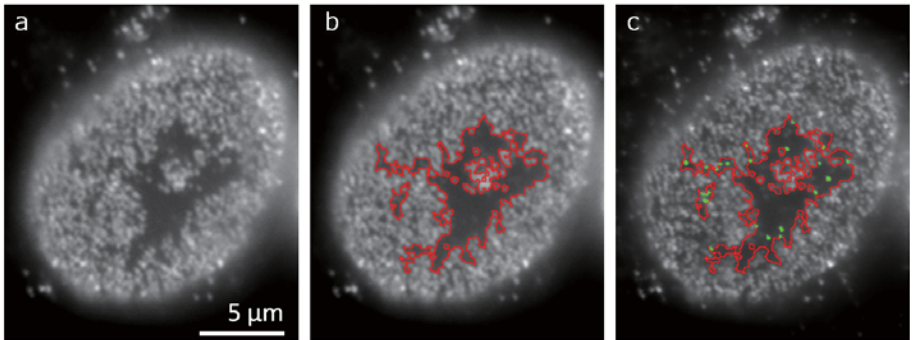


図 1：本研究によって自動認識した Pore-free island と内部の NPC 前駆体。a) mAb414 の染色画像。b) mAb414 の染色画像上で認識された pore-free island の境界 (赤線)。c) NPC 構成因子 (POM121) の染色画像上で自動検出された NPC 前駆体 (緑点)。
Fig.1 : Results of pore-free island recognition and NPC intermediates detection. a) the mAb414-staining image. b) the red lines indicate the boundary of the pore-free island. c) the green points indicate the results of POM121 foci.

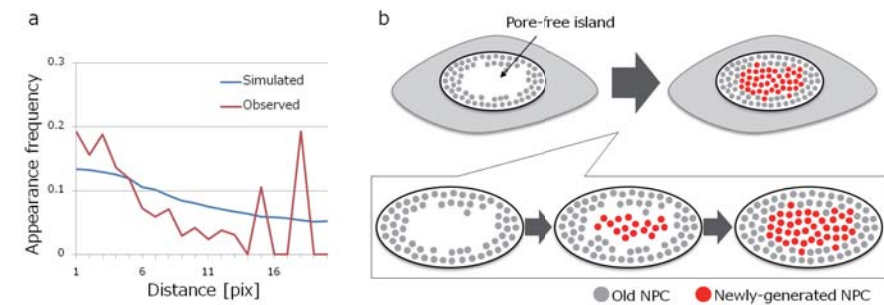


図 2：本研究から推察される Pore-free island の消失機構。a) NPC 前駆体の分布に関するシミュレーションと実測値の比較。b) Pore-free island の内部に形成される NPC 前駆体は、古い NPC から離れた領域に形成されやすい。
Fig.2 : Schematic illustration of the hypothesis regarding the disappearance of pore-free islands with cell cycle progression. a) Comparison of appearance frequency between the observed and the simulated NPC intermediates. b) Newly-generated NPC intermediates in pore-free islands tend to localize away from old NPCs.



チームリーダー / Team Leader

田中 拓男 博士(工学)
Takuo Tanaka D. Eng.



FY2017 Core Members

(専任研究員) 早澤 紀彦 (兼務)
(国際特別研究員) Hac Huang Thu Le
(特別研究員) Maria Vanessa Balois、
森竹 勇斗、Bikas Ranjan
(客員研究員) 河田 聡、武安 伸幸、
石川 篤
(パートタイマー) 栗野 佳子、
梁 怡蓉、中村 泉

(Senior Research Scientist)
Norihiro Hayazawa (c)
(Foreign Postdoctoral Researcher)
Hac Huang Thu Le
(Postdoctoral Researcher)
Maria Vanessa Balois,
Yuto Moritake, Bikas Ranjan
(Visiting Scientist) Satoshi Kawata,
Nobuyuki Takeyasu,
Atsushi Ishikawa
(Part-time Worker) Keiko Awano
Yi-Jung Liang, Izumi Nakamura

研究テーマ

- 3次元メタマテリアルや完全吸収メタマテリアルなど、メタマテリアルの設計と加工技術の開発
- メタマテリアルを用いた新規な赤外分光法の創成
- 高感度な分子の定性・定量分析法及び単一分子分析デバイスの開発
- 可視光周波数および THz 波周波数における先端増強分光システムの開発

Research Subjects

- Design and fabrication of novel metamaterials such as 3D metamaterials and perfect absorbers
- Development of infra-red spectroscopy using metamaterials
- Device development for ultra-sensitive detection and identification of molecules and single molecule analysis
- Development of tip-enhanced spectroscopy systems in the visible and THz regime

研究成果 / Research Output

3次元構造による光メタマテリアル性能の向上

- 3次元構造を用いて光メタマテリアルの電磁場応答を制御する技術を確立
- 光の磁場のみに応答する光メタマテリアルを実現
- 1cm 角の大きな面積を持つ広帯域 3次元メタマテリアルの作製



Improving optical metamaterials by three dimensional structures

- Establishing electromagnetic response control in optical metamaterials via three-dimensional structures
- Realizing optical metamaterials with purely magnetic response
- Fabricating cm-scale three-dimensional structures with broad band operation

Reference: Y. Moritake and T. Tanaka, "Controlling bi-anisotropy in infrared metamaterials using three-dimensional split-ring-resonators for purely magnetic resonance," Scientific Reports, 7, 6726 (2017).

光学領域（可視光～赤外光の周波数領域）では、自然界の物質は光の電場のみにしか応答しないため、これが光学材料の設計の自由度を極端に狭めていました。しかし、光と共鳴する金属微細構造の集合体である光メタマテリアルを用いることで、光領域においても人工的な磁気応答が実現でき、それによってさまざまな屈折率をもつ光材料の実現が期待されています。これまでのメタマテリアルでは、そのほとんどが2次元（平面的）な構造であるために、電場応答と磁場応答を自在に制御することが困難でした。そこで本研究では、3次元構造を用いることで、光メタマテリアル応答の制御性を大きく向上させました。

本研究では、3次元構造の作製において、当研究室で開発してきた self-folding 法を用いました。この手法は、2次元の金属パターンから3次元構造を自発的な屈曲によって作製する手法であり、大面積な3次元構造を簡単に作製できます。この手法を進展させ、図1のようなスプリットリングと呼ばれる構造を回転させることで、電場応答と磁場応答の制御を可能にしました。これにより、これまで難しかった、光の磁場成分のみに応答する光メタマテリアルの開発に成功しました（図2）。また、大きさの異なる二種類の構造を組み合わせることで、複数の共振器が互いに干渉する状態（ファノ共鳴）においても、同様の光学特性の制御が可能であることを示しました。さらにこれを拡張し、3種類の構造を用いることで、約 3~5 μm の広帯域で動作する光メタマテリアルを実証するとともに、高速な電子線描画技術と組み合わせることで 1cm 角の領域に大量の共振器を集積化した3次元光メタマテリアルの作製に成功しました（図3）。これらの技術により、光メタマテリアルの電場応答と磁場応答を利用した新しい現象や、高性能レンズや光学迷彩といった光デバイスへの応用が期待されます。

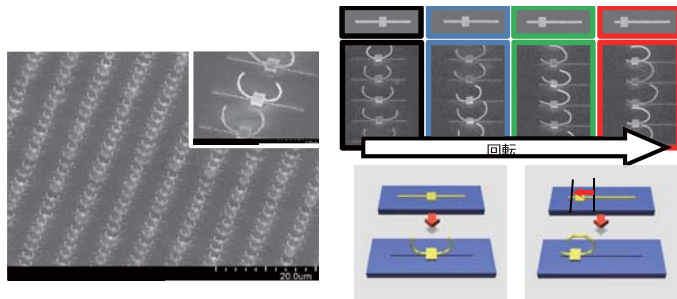
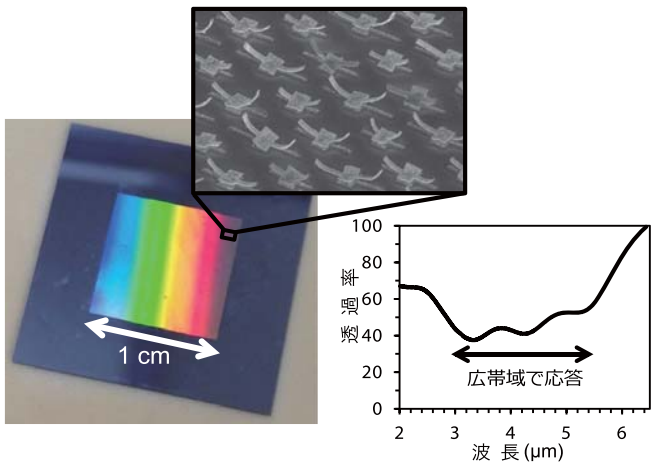


図1：(左) 作製した3次元光メタマテリアル (右) 開発した3次元構造の回転手法
Fig.1 : (Left) Fabricated three-dimensional metamaterials. (Right) Rotation of three dimensional structures.



Naturally occurring materials have negligible magnetism at optical frequencies because interaction between a magnetic component of light and matters are significantly weak compared with the interaction with electric component of light. This situation was fundamentally changed by emergence of metamaterials which can realize artificial magnetism at optical frequencies. Metamaterials are artificial materials composed of sub-wavelength metal structures and they allow us to design their electromagnetic properties even if these properties cannot be found in nature. So far, controllability of electric and magnetic response in optical metamaterials was restricted because the most of metamaterials are two-dimensional (planar) structures. In this study, we demonstrated improvement of controllability in optical metamaterials by using three-dimensional (3D) structures.

We experimentally demonstrated optical metamaterials fabricated by a metal-stress-driven self-folding method we developed so far. The self-folding method enables to mass and easy fabrication of 3D structures due to self-organized nature of the process. Developing this method, split ring structures shown in Fig. 1 were rotated to realize electromagnetic response control. By manipulating electromagnetic response via rotation, purely magnetic resonance that is excited by only magnetic component of light was achieved. Capability of controlling electromagnetic response was extended to more complex resonance such as Fano resonance (interference effect among multiple resonances) through combination of different sized structures. Moreover, 1 cm-size 3D metamaterials composed of three kinds of structures for broad band operation were successfully fabricated with the help of high speed electron beam writer. These results will contribute to develop functional applications using optical metamaterials at the optical frequencies.

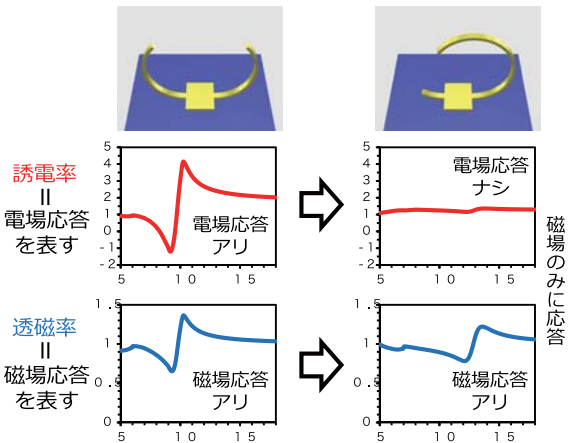
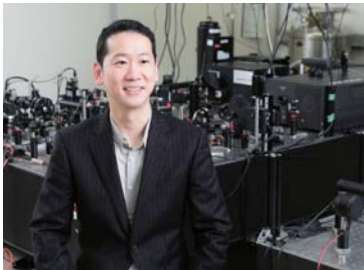


図2：構造の回転による電磁場応答の制御。回転後は、磁場応答のみが存在し、電場にはほとんど応答しない構造が実現されている。
Fig.2 Controllability of electromagnetic response via structure rotation. After rotation, only magnetic response exists although electric response was eliminated.

図3：(左) 1 cm 角に形成された3次元メタマテリアル。(右) 透過率測定結果。約 3~5 ミクロンのディップが応答範囲を示している。
Fig.3 : (Left) 1 cm-size three dimensional metamaterials fabricated by the self-folding method. (Right) Transmission spectra showing broad band operation (3~5 μm).



チームリーダー / Team Leader

加藤 雄一郎 Ph.D.
Yuichiro Kato Ph.D.



FY2017 Core Members

(特別研究員)
Widianta Gomulya、田中 駿介、
石井 晃博 (兼務)
(アシスタント)
新坂 頼子 (兼務)

(Postdoctoral Researcher)
Widianta Gomulya,
Shunsuke Tanaka, Akihiro Ishii (c)
(Assistant) Yoriko Nissaka (c)

研究テーマ

- 室温動作通信波長単一光子源の開発
- 極低消費エネルギー発光素子の開発
- 新機能性光センサーの開発

Research Subjects

- Room-temperature telecommunication-wavelength single photon source
- Electroluminescence devices with extremely low energy dissipation
- Optical sensors with novel functionalities

研究成果 / Research Output

単一カーボンナノチューブによる超小型全光メモリ

- 架橋カーボンナノチューブ一本の発光状態を光だけで制御することに成功
- 表面に吸着した分子の着脱による発光および吸収波長の変化を利用
- 直径が波長の1/1000程度のナノチューブを用いた超小型光メモリ

Single carbon nanotubes as ultrasmall all-optical memories

- Demonstrated control over the emission state of a single suspended carbon nanotube
- Utilized the changes in the emission and absorption wavelengths due to molecular adsorption and desorption
- Ultrasmall optical memories using nanotubes with diameters that are 1/1000 of the operating wavelengths

Reference: T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato, "Single carbon nanotubes as ultrasmall all-optical memories", ACS Photonics 5, 559 (2018). DOI: 10.1021/acsp Photonics.7b01104

全光メモリとは入力、出力、制御の全てにおいて光だけで動作させることのできるメモリのことです。従来電気で行われていた信号処理を光で置き換えた光情報処理などへの応用が期待されます。全光メモリは材料の非線形光学効果を利用して実現されるため、通常は光と物質との相互作用を強めるための共振器構造を必要とします。光構造は波長程度以上の長さであるため、光の波長よりも小さな全光メモリを作製することは困難とされてきました。

本研究では、表面に吸着した分子に由来した特殊な非線形光学効果を利用して、単一のカーボンナノチューブを光メモリとして動作させることに成功しました。単一のカーボンナノチューブが架橋したサンプルを化学気相成長法により作製し、フォトルミネッセンスの励起強度依存性を調べました (図1)。すると非常によく吸収する波長より僅かに短い光で励起した場合、ある励起強度から発光スペクトルが大きく変わることがわかりました。これは吸着している分子が急激に脱離した結果であると考えられます。さらに励起強度を強くしていく方に変えた場合と、弱くしていく方に変えて行く場合とでスペクトルが大きく変わる励起強度が異なることもわかりました。この結果はナノチューブが同一の入力状態に対し、励起強度の履歴に依存して異なる2つの出力状態をとることを示しています。励起レーザーの強度を時間的に変化させることで、この2つの出力状態を光学的に繰り返し切り替え可能が検証しました (図2)。その結果、たしかに単一のナノチューブが繰り返し読み書き可能な全光メモリとして安定に動作するということが確認できました。カーボンナノチューブの直径は波長の1/1000分の1程度と非常に小さいため、全光メモリの高集積化にむけた第一歩として意義のある成果といえます。

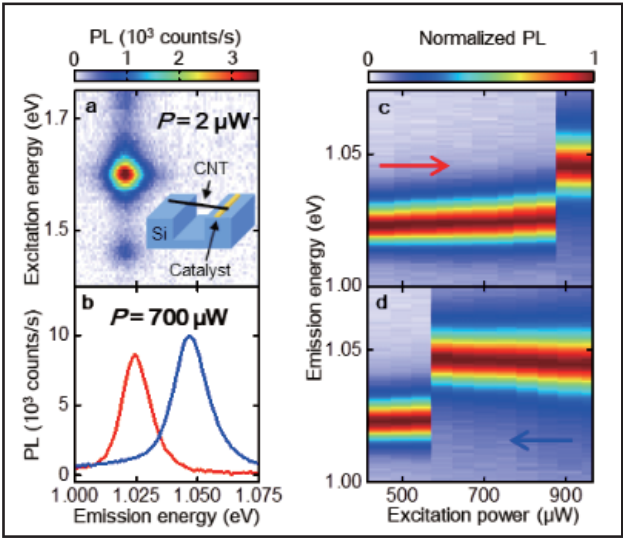


図1：フォトルミネッセンスの励起強度依存性
Fig.1：Power dependence of photoluminescence

All-optical memories are storage devices that can be entirely operated by light including input, output, and control. It can be exploited to achieve all-optical information processing which can potentially boost the capabilities of modern information-processing systems. Since all-optical memories employ nonlinear optical effects, these devices usually require periodic dielectric structures that can enhance the light-matter interactions. The periodicity needs to be comparable to the wavelength of light, and therefore the size reduction of all-optical memories to the nanoscale limit has been difficult.

Here we report on the operation of single carbon nanotubes as optical memories, where we utilize a unique nonlinear optical effect induced by molecular screening. Our samples are individual carbon nanotubes suspended over trenches on silicon substrates. The nanotubes are synthesized by alcohol chemical vapor deposition from catalyst particles placed near the trenches. For one of such suspended nanotubes, we have investigated the excitation power dependence of photoluminescence (PL) spectra (Fig. 1). In the up-sweep power dependence, an abrupt spectral change is observed at 870 μW, which is attributed to the laser-heating induced molecular desorption. Interestingly, we find that the abrupt spectral change occurs at a much lower power for the down sweep. This result shows that the nanotube can take two different output states for the same input depending on the excitation history. In order to confirm that these two output states can be switched by optical means, we have excited another nanotube with an excitation pattern shown in Fig. 2. The nanotube state can be reversibly switched from one to the other depending on the excitation laser power, demonstrating the rewritability and the stability of the single nanotube optical memory. Our results may lead to an unconventional route for high density integration of all-optical memories.

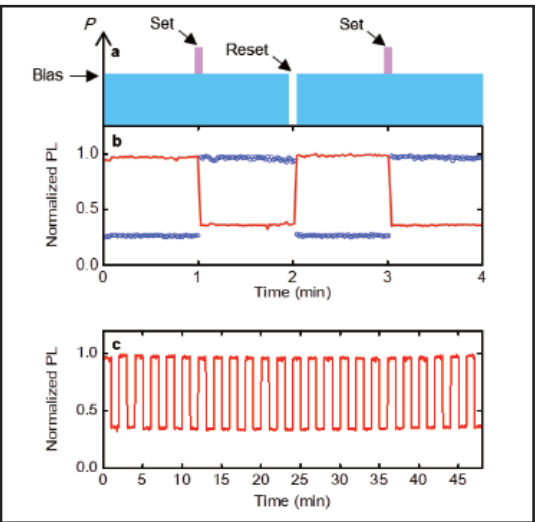


図2：全光メモリとしての動作
Fig.2：All-optical memory operation

眼疾患クラウド診断融合連携研究チーム

Cloud-Based Eye Disease Diagnosis Joint Research Team



チームリーダー / Team Leader

秋葉 正博 工学博士
Masahiro Akiba D. Eng.



FY2017 Core Members

(副チームリーダー) 横田 秀夫 (兼務)
(上級研究員) 吉澤 信 (兼務)
(研究員) 竹本 智子 (兼務)、
俵 丈展 (兼務)、工藤 重樹
(特別研究員) 森田 正彦 (兼務)、
山下 典理男 (兼務)
(テクニカルスタッフ) 西村 将臣 (兼務)
(客員研究員) 安 光州

(Deputy Team Leader)
Hideo Yokota (c)
(Senior Research Scientist)
Shin Yoshizawa (c)
(Research Scientist)
Satoko Takemoto (c),
Takehiro Tawara (c),
Shigeki Kudo
(Postdoctoral Researcher)
Masahiko Morita (c),
Norio Yamashita (c)
(Technical Staff)
Masaomi Nishimura (c)
(Visiting Scientist)
Guangzhou An

研究テーマ

- 眼疾患の診断および疾患の分類のための機械学習手法・モデルの構築
- 3次元 OCT 画像を用いた眼疾患特徴量の抽出と臨床評価
- 画像情報処理研究チームの研究成果を用いた疾患眼を早期に検出および診断するための特徴量抽出

Research Subjects

- Development of machine learning classifier and its system integration for screening and classifying the eye disease using ophthalmic examination data
- Characterization of ocular parameters and its clinical evaluation from three-dimensional OCT images
- Quantification of ocular disease parameters from OCT images using recently developed RIKEN' s information processing technology

研究成果 / Research Output

光干渉断層画像を利用した緑内障および加齢黄斑変性の機械学習モデルの構築



- 眼科診断画像から網膜内層厚の特徴を抽出し、緑内障の早期発見のために機械学習モデルを開発。複数の層厚および偏差マップを利用することで、96%の精度の緑内障検診モデルを実証。
- 加齢黄斑変性の初期症状である前駆病変を抽出するため、OCT 断層画像のみを用いた機械学習モデルを開発し、98%の精度で健常眼と加齢黄斑変性の区分を実現。

Evaluation of machine learning classifier between normal and glaucoma eye or normal and age related macular degeneration (AMD) eye for early detection using optical coherence tomographic images

- Glaucoma machine learning model using thickness and deviation maps from 3D OCT image as well as color fundus image has been created. Such model enables us to discriminate between healthy normal and glaucoma eye with 96% accuracy.
- Machine learning classifier using customized CNN model has been created and tested for AMD screening purpose. AMD precursor lesions were identified with 98% accuracy.

当研究チームは光干渉断層画像などの眼科診断情報を利用した機械学習モデルの構築を目指しております。中途失明原因の主要な病気である緑内障と加齢黄斑変性の早期発見を目指した原理開発を行いました。最初に緑内障の早期発見のために、健常眼と緑内障を区分する機械学習モデルを構築しました。確定診断付きの緑内障 74 眼と健常 130 眼の 1) カラー眼底写真、視神経乳頭部の神経線維層 2) 層厚マップ、3) デビエーションマップ、黄斑部の神経節細胞複合体 4) 層厚マップ、5) デビエーションマップを 3 次元 OCT 画像から抽出しました。サポートベクターマシン (SVM)、ランダムフォレスト、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いて各入力データの機械学習モデルを計 5 つ作成し、更に、それぞれのモデルが計算した緑内障確信度を入力とする SVM モデルを作り、各モデルの結果を統合しました。トレーニングデータと別の緑内障 50 眼、正常 50 眼を用いて本モデルの性能を検討したところ、正解率が 96.0% であることがわかりました。(Figure 1.)

他方、加齢黄斑変性 (AMD) の早期発見のために、健常眼と AMD 眼を区分する CNN モデルを構築しました。眼科専門医に確定診断された AMD 眼 120 眼、健常眼 49 眼のラジアル・クロススキャンを含む複数の OCT 画像から水増し手法で AMD 画像 2,385 枚、健常画像 456 枚をトレーニング画像 (224*224 pixel) として準備しました。AMD 眼の特徴を活かしつつ独自に設計した CNN を用いて上記データを訓練致しました。トレーニング画像とは別の AMD 眼 77 眼 1,911 枚、健常眼 25 眼 149 枚の OCT 画像を用いて検証したところ、正解率は 98.8% であることがわかりました。(Figure 2.) もう一つの研究テーマとして、OCT からのデータを高度定量化するため初手段として境界検出を行っています。境界検出は、2D 面上の境界を奥行き方向に繋げた 3 次元曲面を作成する事から 3 D 情報を同時に用いる戦略に変更しました。データの構造テンソルの固有値からエッジ強度、Hessian の固有値から尾根形状を算出してエッジを繋ぎ、更に弱いエッジに対しは Frangi filter の高出力値の点をエッジと見做す幾何学特徴に基づいた方法を採用しました。この情報を初期境界として 3D Level Set 法で連続に繋いで境界検出を行いました。

A machine-learning system was developed for glaucoma screening. We enrolled 180 normal eyes, 124 glaucoma eyes, and 50 normal eyes and 50 glaucoma eyes were randomly selected as test data. Five different kinds of images were used in this machine learning: 1) color fundus images, 2) disc RNFL thickness maps, 3) macular GCC thickness maps, 4) disc RNFL deviation maps, and 5) macular GCC deviation maps. Random forest, convolutional neural network, and support vector machine were used for building 5 separate machine learning models with training data. To achieve higher accuracy, we combined the five different calculated confidence level as the input of a superordinate SVM classification model. Finally, the validated accuracy of this system was achieved to be 96.0%. (Figure 1)

A CNN model was built for classification of healthy and AMD eyes for early detection of AMD. In this study, 120 AMD eyes and 49 healthy eyes were enrolled where multiple OCT images from radial or cross scans were enrolled. Random cropping was used to increase the numbers of training images (224*224 pixels) to 2,385 AMD images and healthy 456 healthy images to build the CNN model. All these images, labelled each image as either normal or AMD by an ophthalmologist, were randomly separated into training and test data. A self-designed CNN classification model was built with training data, and validated with the test data. With the built CNN classification model, we got an accuracy of 98.8% on each individual OCT image. (Figure 2)

Boundary detection is performed as the first step to get highly effective data from OCT. It was changed to a strategy using 3D information from a method to create a three-dimensional curved surface connecting the boundary on the 2D surface in the depth direction. So, to get more continuous edges, we adopted the method based on geometric features which are calculated as the edge strength from the eigenvalues of the structure tensor, as the ridge shape from the eigenvalues of Hessian, and as positions with the high output value of the Frangi_filter for weaker edges. Then boundary detection was performed by connecting these discontinuous edges by 3D Level Set method. In the current state, there is still an erroneous detection region and further improvement is necessary.

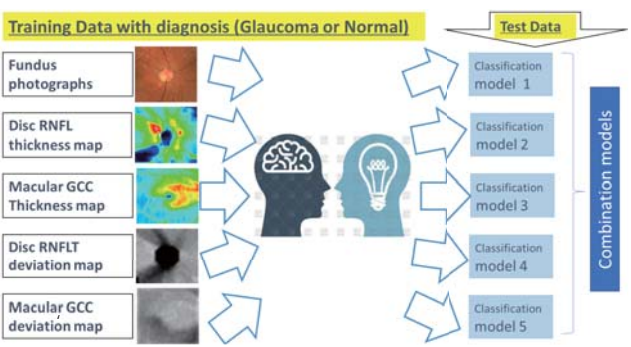


Fig. 1. Proposed approach for building machine learning model for classification of normal and glaucoma

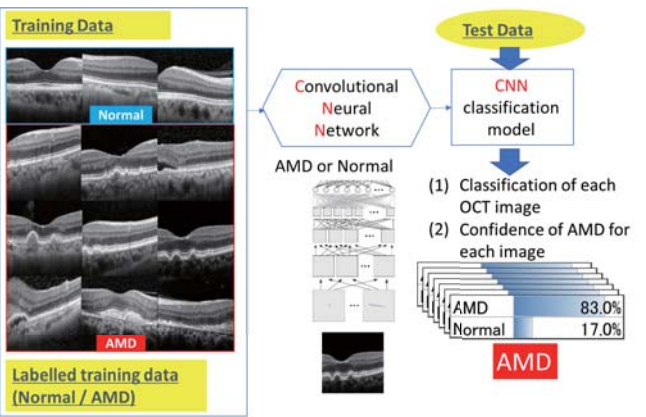
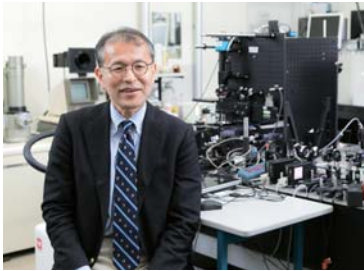
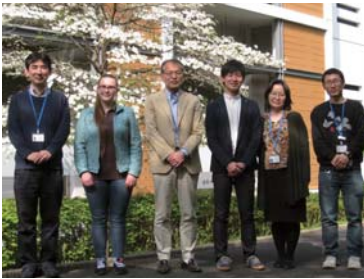


Fig. 2. Proposed approach for building machine learning model for classification of normal and AMD



ユニットリーダー / Unit Leader

杉岡 幸次 工学博士
Koji Sugioka D. Eng.



FY2017 Core Members

- (研究員) Manoj Bhuyan、小幡 孝太郎
(基礎科学特別研究員) Daniela Serien
(特別研究員) Dongshi Zhang
(客員研究員) 花田 修賢、中嶋 聖介、Felix Sima、Yang Liao
- (Research Scientist) Manoj Bhuyan、Kotaro Obata
(Special Postdoctoral Researcher) Daniela Serien
(Postdoctoral Researcher) Dongshi Zhang
(Visiting Scientist) Yasutaka Hanada、Seisuke Nakashima、Felix Sima、Yang Liao

研究テーマ

- 3次元マイクロ・ナノ加工技術の開発とバイオチップ作製への応用
- ビーム整形による高品質・高効率・高解像度加工技術の開発
- レーザー光と物質との相互作用の解明に関する研究

Research Subjects

- Development of 3D micro and nanoprocessing and application for fabrication of biochips
- Development of high quality, high efficiency, high resolution processing based on beam shaping techniques
- Elucidation of lase and matter interactions

研究成果 / Research Output

フェムト秒レーザー多光子重合によるガラスマイクロ流体へのタンパク質 3次元微細構造のボトルシップ集積

- ナノ形状の3次元タンパク質微細構造の造形
- 3次元ガラスマイクロ流体素子への3次元タンパク質微細構造の集積化
- グリセロール溶液を用いた屈折率整合によるボトルシップ集積の加工解像度の改善

Ship-in-a-bottle integration of 3D proteinaceous microstructures into 3D glass microfluidic devices by femtosecond laser multiphoton cross-linking

- Fabrication of 3D proteinaceous structures with a nanometer feature size
- Integration of 3D proteinaceous microstructures in 3D glass microfluidic devices
- Improvement of fabrication resolution of ship-in-a-bottle integration by refractive index matching using a glycerol solvent

Reference: Reference: D. Serien, H. Kawano, A. Miyawaki, K. Midorikawa, and K. Sugioka. "Femtosecond laser direct write integration of multi-protein patterns and 3D microstructures into 3D glass microfluidic devices", Appl. Sci. 8, 147 (2018).



マイクロ流体素子は、小型、高効率、高感度、多機能性により、学術分野のみならず産業界からも注目されています。マイクロ流体素子を、薬剤スクリーニングや生化学分析に応用しようとした場合、それに応じた機能素子を集積化する必要があります。理研-SIOM 連携研究ユニットでは、3次元マイクロ流体素子内部に3次元ポリマーマイクロ・ナノ構造体を集積化するボトルシップ集積加工技術を開発しました。本手法により、ガラスマイクロ流体素子中にポリマーによる微小擬似生体構造を構築し、がん細胞の体内での転移のメカニズム解明のための研究に応用することを提案しました。3次元ポリマー構造の造形は、フェムト秒レーザー多光子吸収を利用し、フォトレジストに3次元レーザー直描を行うことにより実現されます。

一方我々は、同様の手法（フェムト秒レーザー多光子重合）を用いタンパク質の3次元マイクロ・ナノ構造の造形にも成功しました。さらに本手法とボトルシップ集積加工技術を組み合わせることにより、タンパク質本来の性質を利用して、より生体に近い環境をガラスマイクロ流体素子中に創成することを試みました。図1に、埋め込み型ガラスマイクロ流体素子中に、タンパク質を造形する原理を示します。ガラスマイクロ流体素子に、タンパク質と光重合開始剤を混合した溶液を充填し、フェムト秒レーザーの3次元直描を行います。その結果、溶液中の光重合開始剤分子が多光子吸収により励起され、励起された光重合開始剤分子がタンパク質分子をさらに励起します。励起されたタンパク質分子はさらに他のタンパク質分子を励起し、最終的には励起されたタンパク質分子同士が重合し、固体のタンパク質3次元構造が形成されます。図2に、ガラスマイクロ流体素子中に集積化されたウッドパイル構造のタンパク質の光学顕微鏡写真および電子顕微鏡写真を示します。グリセロール溶液をタンパク質溶液に混合することによって屈折率の整合が得られ、チャンネル内でも高解像の造形を実現することができました。

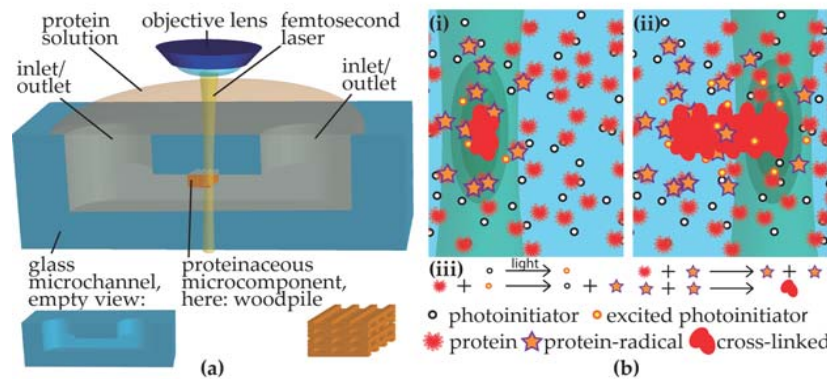
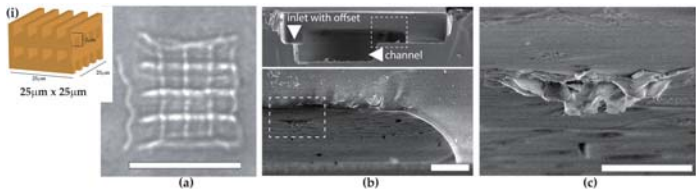


Fig.2 : 3D BSA woodpile structures integrated inside glass microchannels by femtosecond laser multiphoton cross-linking. (a) *In-situ* CCD image of the created structure before conservation by drying, inset (i) illustrates a 4-layer woodpile structure with 2 μm layer pitch and 25 μm side length. (b) SEM image of the view into the microchannel. (upper) The position of the woodpile is highlighted by a dashed rectangular. (lower) 5°-tilted SEM view of a woodpile structure formed inside the microchannel. Scale bar represents 5 μm. (c) magnified image of the 5°-tilted SEM view. Scale bar represents 10 μm.

Microfluidic devices benefit from small footprint sizes, high efficiency, high sensitivity, and feature diversity. It is necessary to integrate desired functions into the microfluidic devices to perform relevant applications including drug screening and micro total analysis systems. RIKEN-SIOM Joint Research Unit has recently succeeded in integrating functional three-dimensional (3D) polymer micro- and nanocomponents in a closed glass microfluidic channel to create biomimetic structures for cancer cell migration studies. The technique is termed ship-in-a-bottle integration technique.

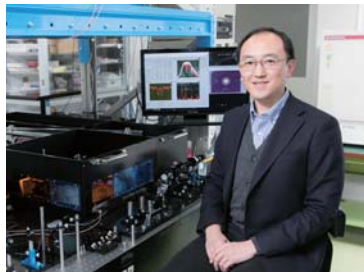
Meanwhile, we also demonstrated creation of 3D proteinaceous micro- and nanostructures by femtosecond laser multiphoton cross-linking. Then, this technique was combined with ship-in-a-bottle integration technique to create more biomimetic environment in the glass microfluidic devices. Integration of 3D proteinaceous microstructures might increase versatility of biomimetic features such as elasticity and inherent protein function. Figure 1 illustrates the scheme of a 3D proteinaceous structure integration into the closed glass microchannel. In Fig. 1a, the laser beam is focused in the microchannel filled with a solution including protein molecules and photoinitiator. Figure 1b shows the multiphoton cross-linking mechanism to construct a solid protein structure at the laser focal volume from the solution. Photoinitiator molecules are first excited due to multi-photon absorption, which further generate radical protein molecules. Radical protein molecules create more radicals, which eventually cross-link each other to be solidified. Figure 2 shows integration of 3D proteinaceous microstructures into the glass microfluidic channel. Mixing glycerol solvent with the solution enabled improving the fabrication resolution for the in-channel integration due to refractive index matching.

Fig.1 : Schematic illustration of scheme of proteinaceous microcomponent integration inside the closed microfluidic channel. (a) The laser beam is focused in the microchannel filled with a drop-cast solution including protein molecules and photoinitiator for ship-in-a-bottle integration of 3D proteinaceous micro- and nanostructures by femtosecond laser multiphoton cross-linking. (b) Schematic illustration of mechanism of protein cross-linking initiated by two-photon excitation of a photoinitiator along the relative laser movement from (i) to (ii). (iii) Excited photoinitiator induces radicalization of the protein and the generated protein radicals cause further radicalization, some of which eventually cross-link with proximate other protein radicals to growingly form the 3D proteinaceous component.



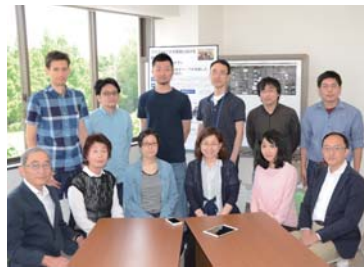
テラヘルツ光源研究チーム

Tera-Photonics Research Team



チームリーダー / Team Leader

南出 泰亜 博士 (工学)
Hiroaki Minamide D. Eng.



FY2017 Core Members

(研究員) 野竹 孝志、縄田 耕二、
時実 悠
(特別研究員) 小山 美緒、
Andreas Karsaklian Dal Bosco
(基礎科学特別研究員) 瀧田 佑馬、
韓 正利
(大学院リサーチ・アソシエイト)
竹田 晴信
(パートタイマー) 鎌田 優子、
齋藤 美紀子、庄子 鉄雄
(アシスタント) 佐々木 玲子
(客員研究員) 森口 祥聖
(THz 光研究グループ 客員主管研究員)
伊藤 弘昌

(Research Scientist) Takashi Notake,
Kouji Nawata, Yu Tokizane
(Postdoctoral Researcher)
Mio Koyama,
Andreas Karsaklian Dal Bosco
(Special Postdoctoral Researcher)
Yuma Takida, Zhengli Han
(JRA) Harunobu Takeda
(Part-time Worker) Yuko Kamata,
Mikiko Saito, Tetsuo Shoji
(Assistant) Reiko Sasaki
(Visiting Scientist) Yoshikiyo Moriguchi
(THz Group Senior Visiting Scientist)
Hiromasa Ito

研究テーマ

- ・ 高出力・超広帯域波長可変 THz 波光源の開発
- ・ 高感度 THz 波検出
- ・ 広帯域周波数可変 THz 波光源を用いた THz 波応用
- ・ THz スペクトルデータベース

Research Subjects

- ・ High-output, frequency-agile, ultra-widely tunable THz-wave sources
- ・ High-sensitive THz-wave detection
- ・ THz-wave applications using frequency-agile THz-wave sources
- ・ THz spectroscopic database

研究成果 / Research Output

有機材料の非線形光学定数精密計測



- ・ 単結晶ダイヤモンドによる超精密切削技術を有機非線形光学材料へ適用
- ・ 脆弱な有機材料であっても、ナノレベルの表面粗さかつ任意の結晶軸方位での切削加工に成功
- ・ 今まで不明瞭であった有機 BNA 結晶の非線形光学定数テンソルの全成分が高精度に計測可能に

Accurate measurement of nonlinear optical coefficients for organic materials

- ・ Ultra-precise processing by using single crystalline diamond for organic nonlinear optical materials
- ・ Precise processing with nm-level surface roughness for arbitrary crystal axis orientations is achieved
- ・ Full characterization of the nonlinear optical tensor of organic BNA can be possible with high accuracy

共役 π 電子系が物性を支配している有機系材料は、従来の無機系材料を凌駕する光学的非線形性を有しており様々な光デバイスへの応用が期待されています。しかし有機材料の非線形性を正確に測定する事は難しく、例えば有機イオン塩結晶 DAST に関する過去の報告では、2 次非線形光学定数 d_{11} に対して 3 倍、 d_{12} に対しては 7 倍もの差異があります。非線形光学定数の値を正確に計測する為には、表面粗さがコヒーレンス長（非位相整合条件下では典型的に $1\mu\text{m}$ 程度）以下で、かつ両面平行度の高い平板試料からのメーカーフリンジを測定する必要がありますが、脆弱な有機材料に対しては従来の光学研磨や精密加工が難しく、非線形光学定数の決定に大きな誤差が生じています。また、加工が困難であるため有機結晶を任意の面・軸方位及び形状で使用する事も出来ず、有機系材料が十分に活用されていないのが現状です。

そこで我々は先端光学素子開発チームの協力の下、有機分子性結晶 BNA を対象として単結晶ダイヤモンドによる超精密切削加工を試みました。被切削 BNA の包埋方法や精密旋盤への固定方法、更に刃送り速度や切込み量等の切削条件を最適化した結果、As-grown バルク結晶から厚さ数 $100\mu\text{m}$ で表面粗さ Ra が 5nm 以下、両面平行度 0.005 度程度の良質な光学面を有する BNA 平行平板を得る事に成功しました (図 1)。この BNA 平板を用いる事で、図 2 に示す様に理論と極めて良く一致するメーカーフリンジを計測する事に成功し、励起波長 1064nm において d_{33} 値を $221 \pm 4\text{pm/V}$ と評価しました。この値は、代表的な無機 KTiOPO_4 結晶の 15 倍もの大きさであり、有機材料の非線形性の大きさを定量的に明確に示しています。また、 d_{15} 、 d_{24} 等のこれまで未知であった成分の計測や、それらの CT 励起に伴う共鳴的な波長分散の計測にも成功しており、今後、有機結晶を活用してテラヘルツ光発生及び検出の更なる高効率化を目指します。

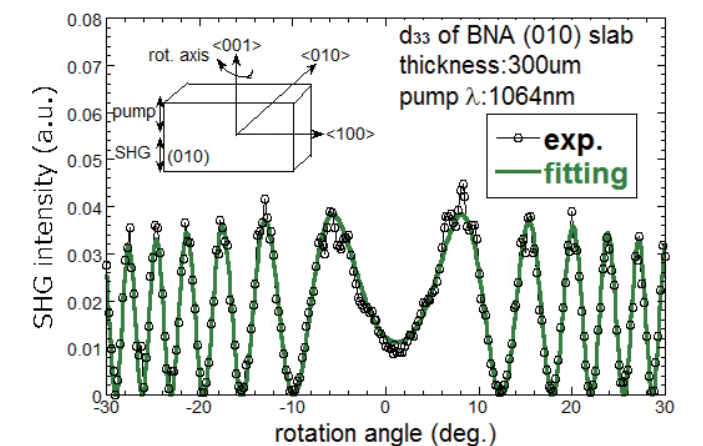


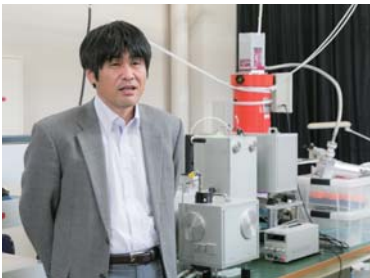
図 1：超精密切削加工による BNA 結晶 (010) 面
Fig.1: Precisely processed BNA (010) plane

Although organic materials are known for possessing significant optical nonlinearities, the absolute values of such nonlinearities have not been quantified explicitly. For example, second-order nonlinear optical coefficients d_{11} and d_{12} of DAST crystals have three- and seven-fold discrepancies, respectively, according to past reports. To determine such d -coefficients accurately, Maker fringe patterns of precisely processed thin slab samples with high-quality optical surfaces should be measured. However, such precise processing of fragile organic materials was difficult.

To process fragile organic crystals precisely, we applied an ultra-high-precision cutting process using a mono-crystalline diamond with a support of ultrahigh precision optics technology team. After several optimizations of the processing parameters, plane-parallel organic BNA thin plates with fine optical surfaces whose roughness of Ra less than 5nm were obtained successfully as shown in Fig.1. Fig. 2 shows the measured Maker fringe pattern contributed by d_{33} of the processed BNA. The pattern agrees well with theoretical fitting and d_{33} -value is determined as $221 \pm 4\text{pm/V}$ at $1.064\text{-}\mu\text{m}$ pumping. This d_{33} -value is 15 times larger than that of representative inorganic KTiOPO_4 and clearly shows largeness of optical nonlinearity of organic material. Moreover, unknown elements in d-tensor such as d_{15} , d_{24} and their resonant wavelength-dispersion owing to CT excitation can be also measured successfully. In this way, ultra-precise processing and accurate d -coefficient measurements obtained in this manner are extremely useful for utilizing the potentials of organic materials.

図 2：BNA の 2 次非線形光学テンソル d_{33} に対するメーカーフリッジパターン
Fig.2: Maker fringe pattern for 2nd-order nonlinear optical coefficient d_{33} of BNA





チームリーダー / Team Leader

大谷 知行 博士（理学）

Chiko Otani D. Sci.



FY2017 Core Members

（上級研究員）保科 宏道、山下 将嗣
（研究員）美馬 寛
（技師）佐々木 芳彰
（協力研究員）八重柏 典子
（特別研究員）山崎 祥他、吉峯 功
（基礎科学特別研究員）小栗 秀悟、
木内 建司
（パートタイマー）古川 昇、岩崎 洋、
渡辺 博

(Senior Research Scientist)
Hiromichi Hoshina,
Masatsugu Yamashita
(Research Scientist) Satoru Mima
(Technical Scientist) Yoshiaki Sasaki
(Contract Researcher)
Noriko Yaekashiwa
(Postdoctoral Researcher)
Shota Yamazaki, Isao Yoshimine
(Special Postdoctoral Researcher)
Shugo Oguri, Kenji Kiuchi
(Part-time Worker) Noboru Furukawa,
Yoh Iwasaki, Hiroshi Watanabe

研究テーマ

- ・ 高分子のテラヘルツ分光と構造・機能の制御
- ・ 超高速・超広帯域光励起テラヘルツプローブシステムの開発と応用
- ・ 超高感度の超伝導検出器の研究開発と宇宙マイクロ波背景放射（CMB）偏光観測
- ・ テラヘルツセンシング・イメージングに関する応用開拓

Research Subjects

- ・ THz spectroscopy of polymers and the control of molecular structures and functions
- ・ Development of high-sensitivity superconducting detectors for CMB polarization observations
- ・ Development of ultrafast and ultra-broadband optical-pump THz-probe systems and its applications
- ・ Applications of terahertz sensing and imaging

研究成果 / Research Output

生体高分子アクチンの繊維化を THz 光照射により操作
—THz 光による生体高分子の制御—



- ・ アクチンの繊維形成過程へ THz 光が与える影響を評価
- ・ THz 光の照射により繊維化の促進を確認
- ・ THz 光照射により繊維の凝集・変性は誘起しないことを確認

The Manipulation of Actin Filamentation by THz Irradiation

- ・ The effects of THz irradiation on the process of actin filamentation were analyzed
- ・ Actin filamentation is activated by THz irradiation
- ・ THz irradiation did not induce actin denaturation or aggregation

テラヘルツイメージング研究チームの山崎祥他研究員は、東北大学、京都大学および福井大学の共同研究グループとして、テラヘルツ (THz) 光を生体高分子アクチンタンパク質の繊維形成過程に照射することで、アクチンの繊維化が顕著に促進されることを見出しました。

細胞内において、アクチンは骨格を構成するタンパク質の一つであり、細胞の遊走や接着、構造の維持など様々な生命現象の基盤となっています。そのため、アクチンダイナミクスの制御技術は広い分野で応用が期待されています。当研究チームでは、THz 光照射による影響を解析する目的で、ピレン蛍光標識したアクチンを使用しました。繊維の形成率はピレン蛍光から評価可能で、アクチンの繊維化に伴い蛍光強度が増加します（図 1）。ピレン標識アクチンの繊維形成過程において、ジャイロトロンを光源とした THz 光 (0.46 THz) を照射することにより、アクチンの繊維化が顕著に促進されることを見出しました。一方で、THz 光照射と未照射のアクチン繊維を顕微鏡により観察したところ、繊維構造に変性や凝集は生じていないことを明らかにしました（図 2）。アクチンダイナミクスの制御技術として、これまで化学的な薬剤処理や生物学的な遺伝子組換えによる操作も報告されていますが、これらの手法では高い細胞傷害性や遺伝毒性が問題となります。当研究チームでは、THz 光照射によりアクチンの繊維形成が活性化される一方で、タンパク構造へは影響を与えないことを明らかにしており、これらの結果は THz 光が従来法とは異なった、新たなアクチンダイナミクスの制御技術として有用であることを示しています。

Dr. Yamazaki et al. have investigated the effect of THz irradiation on the process of actin filamentation and discovered that THz irradiation activates actin filamentation remarkably.

In the cytoplasm, actin is an integral component of the cytoskeleton, which plays crucial roles in a variety of cell functions, including cell migration, adhesion, polarity and shape change. Therefore, the manipulation technology of actin dynamics is expected in a variety of research fields. To confirm the effect of THz irradiation, the research group used pyrene fluorophores introduced actin (pyrene actin). The filamentation is generally quantified by measuring the fluorescence of pyrene. Upon actin filamentation, the fluorescence of pyrene actin is increased. The increase in fluorescence from pyrene actin was significantly enhanced by irradiation with the 0.46 THz generated by Gyrotron. Then, we observed filamentous structures with or without THz irradiation under microscopy and clarified THz irradiation did not induce protein denaturation or aggregation. There are some techniques to regulate actin dynamics by using chemical or biological methods. However, these methods have cytotoxicity and genotoxicity, highlighting the importance of alternate methods. The research group showed that THz irradiation enhances actin filamentation without denaturing its molecular structures. Therefore, this physical method using THz irradiation should be a safe and novel technology for regulating actin dynamics.

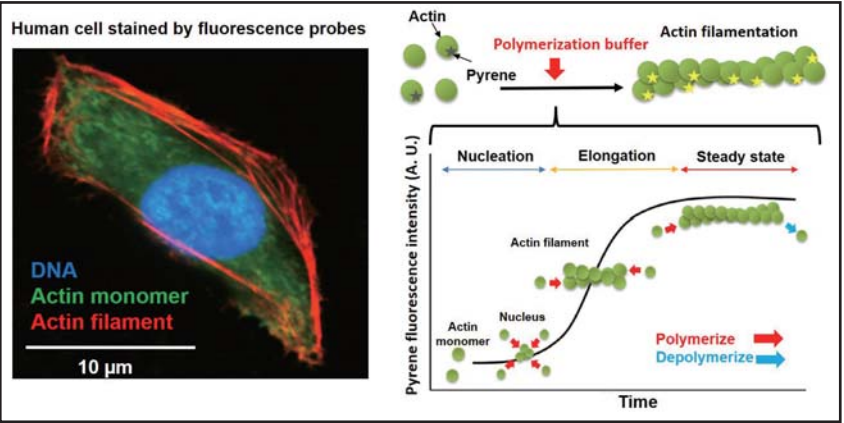


図 1：アクチンは細胞内で単量体と繊維の二つの形態を持つ。組織から精製したアクチンは繊維形成能を維持し、ピレン標識することで、蛍光強度の増加から繊維の形成率を評価できる。
Fig.1：In the cytoplasm, actin has two functional forms; monomeric and filamentous actin. The rate of filamentation is evaluated using pyrene fused actin.

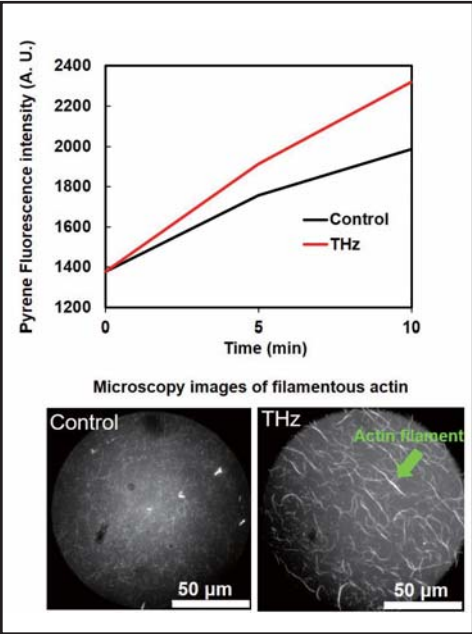
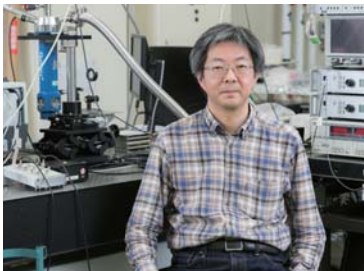


図 2：ピレン蛍光によるアクチン繊維化の評価とその顕微鏡像。THz 光照射によりアクチンの繊維化は顕著に促進される。
Fig.2：The analysis of actin filamentation by using pyrene fluorescence and microscopy imaging.

テラヘルツ量子素子研究チーム

Terahertz Quantum Device Research Team



チームリーダー / Team Leader

平山 秀樹 博士 (工学)
Hideki Hirayama D. Eng.



FY2017 Core Members

(研究員) 林 宗澤、王 科、寺嶋 亘、
定 昌史 (兼務)
(特別研究員) 王 利
(アシスタント) 佐藤 知子

(Research Scientist)
Tsung-Tse Lin, Wang Ke,
Wataru Terashima, Masafumi Jo (c)
(Postdoctoral Researcher) Li Wang
(Assistant) Tomoko Sato

研究テーマ

- 新しい量子構造を用いた低周波数 THz-QCL の高性能化
- 室温動作 THz-QCL の実現に向けた技術開拓
- 窒化物半導体を用いた未開拓波長 5-12 THz 帯 QCL の開発

Research Subjects

- Development of low-frequency THz-QCLs by introducing novel quantum structures
- Development toward room temperature operation of THz-QCLs
- Research toward realizing unexplored-frequency QCL using nitride semiconductors

研究成果 / Research Output

GaN 系 THz 量子カスケードレーザの光利得と導波路光閉じ込め効果を解析

- 非平衡グリーン関数法を用いた光利得解析を実施
- 室温で GaN 系 QCL のレーザ発振可能な光利得を解析により検証
- シングルメタル導波路で大きな光閉じ込め係数を解析により検証

Optical gain and waveguide confinement in GAN-based THz-QCL were systematically analyzed

- Optical gain was analyzed by non-equilibrium Green' s function (NEGF) method.
- Optical gain for room temperature lasing was confirmed.
- Large optical confinement was obtained for single metal waveguide GaN-QCL structure.

Reference: K. Wang, T. T. Lin, L. Wang, W. Terashima and H. Hirayama, "Controlling loss of waveguides for potential GaN terahertz quantum cascade lasers by tuning the plasma frequency of doped layers", Japanese Journal of Applied Physics, in press 2018.

本研究では、超小型、高効率・高出力、狭線幅、連続発振、高耐久性など優れた特徴を備え持つテラヘルツ光源であるテラヘルツ量子カスケードレーザ (THz-QCL) の開発を行っています。我々は、新しい量子構造の導入や新規半導体材料の導入などを通して、高性能 THz-QCL の実現を目指しています。特に THz-QCL は低温での動作しか得られずまた動作周波数は 1-5 THz に限られているため、室温動作と高出力化、動作周波数領域の拡大が重要な課題となっています。本研究では、量子構造として新しく間接注入機構を用いた THz-QCL を作製し、低周波数 THz-QCL の高温動作、ならびに 3-4 THz 領域 QCL の室温発振を目指しています。また、未踏周波数である 5-12 THz を実現するために、窒化物半導体を用いた QCL 開発を行っています。窒化物半導体は GaAs 半導体などと比べ LO フォノン散乱エネルギーが約 3 倍大きいため、これまで不可能であった 5-12 THz 帯の THz-QCL が期待できます。

これまで、GaN 系 QCL の光利得や導波路光閉じ込めの適切な解析は未だ行われていませんでした。そこで今年度は、GaN 系 THz-QCL の光利得と導波路光閉じ込めの解析を行いました。非平衡グリーン関数 (NEGF) 法を用いて光利得の解析を行いました。解析では、電子・LO フォノン散乱、電子・電子散乱、電子・不純物散乱効果による量子準位のレベルブロードニングの効果を取り入れ設計をしました。解析の結果、室温でレーザ発振に必要な光利得が得られることが明らかになりました。また、サファイア基板上 GaN 系 THz-QCL の導波路光閉じ込めの解析を行い、シングルメタル導波路を用いた場合でも大きな光閉じ込め係数が得られることが分かりました。これらの結果は、今後の GaN 系 QCL 実現に向けた大きな成果といえます。

Terahertz quantum-cascade laser (THz-QCL) is promising as an advanced THz laser source with quite small size, high output power and narrow emission linewidth. We are developing a high-performance THz-QCL by introducing a novel quantum design structure and/or using a new semiconductor material. As the operating conditions for THz-QCLs are quite limited, i. e., the maximum operating temperature is 200 K and the frequency range is 1 – 5 THz, the next developing targets of the THz-QCLs are room temperature operation and developing unexplored frequency of 5 – 12 THz. We are researching on higher temperature THz-QCL by introducing novel indirect injection scheme quantum cascade structures, and recently obtained highest operation temperature of low frequency (<2 THz) QCL. Also, we are developing unexplored frequency QCLs (5 to 12 THz) by using nitride-based semiconductors.

In this fiscal year, we performed the analysis of optical gain and optical confinement of GaN THz-QCLs. An appropriate analysis to obtain an optical gain was conducted by using non-equilibrium Green' s function (NEGF) method, taking into account the level broadening effects by electron (e-) longitudinal optical (LO-) phonon, e-e, and e-impurity scatterings. As a result of the analysis, we confirmed high optical gain required for GaN-QCL room temperature lasing. We also obtained by analysis a large optical confinement factor for a single-metal waveguide GaN-THz-QCL fabricated on sapphire substrate. These results are major achievements for realizing future high-performance GaN-QCL.

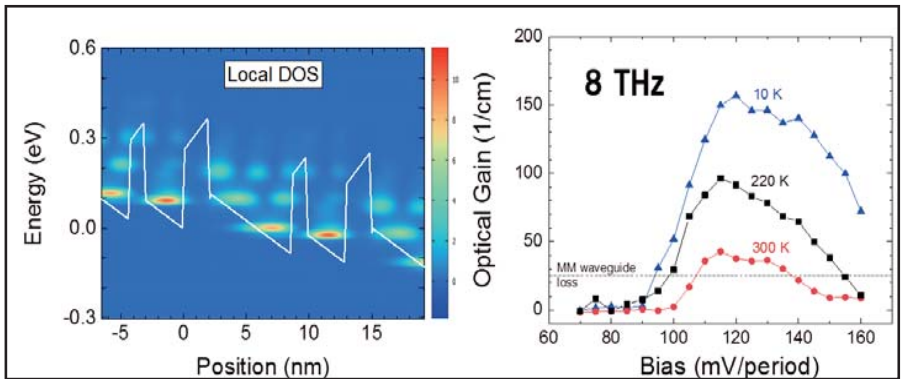


図 1 : NEGF 法による GaN/AlGaIn 2 量子井戸型 THz-QCL の光利得解析
Fig.1 : Analysis of optical gain in 2-quantum well type GaN/AlGaIn THz-QCL using NEGF method

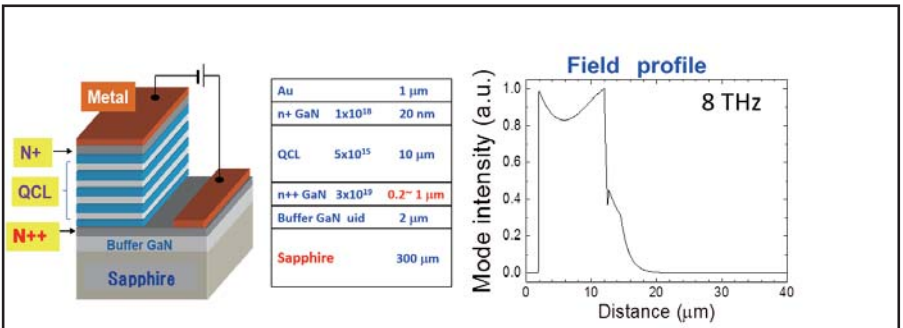
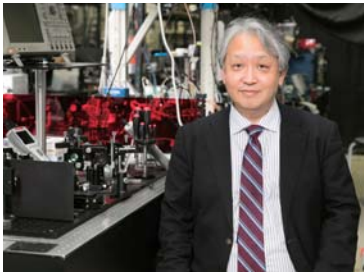


図 2 : サファイア基板上に作製した GaN 系 THz-QCL の導波路への光閉じ込めの解析
Fig.2 : Analysis of optical confinement in the waveguide of GaN-based THz-QCL fabricated on sapphire substrate



チームリーダー / Team Leader

和田 智之 Ph.D.

Satoshi Wada Ph.D.



FY2017 Core Members

(前任研究員) 加瀬 究
(上級研究員) 斎藤 徳人
(専任研究員) 松山 知樹 (兼務)
(研究員) Oleg Anatolievich Loutchev,
小川 貴代、湯本 正樹、道川 隆士、
藤井 克司、宮田 憲太郎
(協力研究員) 丸山 真幸、村上 武晴
(特別研究員) 小町 祐一
(基礎科学特別研究員) 前田 康大
(テクニカルスタッフ) 月花 智博、
薮地 繁之、津野 克彦、三和田 靖彦、
日下部 和人、坂下 亨男、木暮 繁、
安井 一
(JRA) 北沢 桃子
(アシスタント) 渡邊 博子
(パートタイマー) 湯沢 由弥子、
小倉 優司、福岡 陽子、大野 陽子、
松岡 直之、菅原 美希

(Senior Research Scientist)
Kiwamu Kase, Norihito Saito,
Tomoki Matsuyama (c)
(Research Scientist)
Oleg Anatolievich Loutchev,
Takayo Ogawa, Masaki Yumoto,
Takashi Michikawa, Katsushi Fujii,
Kentarō Miyata
(Contract Researcher)
Masayuki Maruyama,
Takeharu Murakami
(Postdoctoral Researcher)
Yuichi Komachi
(Special Postdoctoral Researcher)
Yasuhiro Maeda
(Technical Staff) Tomohiro Tsukihana,
Shigeyuki Kenchi, Katsuhiko Tsuno,
Yasuhiko Miwata, Kazuto Kusakabe,
Michio Sakashita, Shigeru Kogure
Hajime Yasui
(JRA) Momoko Kitazawa
(Assistant) Hiroko Watanabe
(Part-time Worker) Yumiko Yuzawa,
Yuji Ogura, Yoko Fukushima,
Yoko Ono, Nobuyuki Matsuoka,
Miki Sugawara

研究テーマ

- ・ 中赤外線レーザーを用いた微量ガスの遠隔検知システムの開発
- ・ レーザー遠隔検知によるインフラ計測
- ・ 太陽光を用いた自然エネルギー研究
- ・ 真空紫外線レーザーによる超低速ミュオン発生
- ・ レーザーおよび光超音波の医療・農業・工業計測への応用

Research Subjects

- ・ Development of trace gas remote-sensing system with mid-infrared laser
- ・ Development of infrastructure measurement system with laser remote-sensing system
- ・ Research of renewable energy using solar light
- ・ Generation of ultraslow muon with vacuum ultraviolet laser
- ・ Application to biomedical, agricultural, and industrial measurement using lasers and photoacoustic wave

研究成果 / Research Output

光リモートセンシングによる超高層大気の研究

- ・ 高高度 (~ 100km) の大気物理量測定
- ・ 広い波長可変範囲と超高精度の波長制御を実現した波長可変レーザー
- ・ 複数の原子、イオンをターゲットとして選択可能

Observations of the upper atmosphere using resonance scatter lidars, Laser Solution for Space and the Earth

- ・ The observation of the physical parameters of the mesosphere and lower thermosphere at about 100km in altitude.
- ・ Tunable laser with wide range and very high accurate wavelength.
- ・ A few spices of atoms and ions can be chosen for observation target.

天気予報には成層圏の高層気象観測データ（地上 30 km 付近まで）が重要になります。より長期の予報にはさらに上層の中間圏（高度 50–80 km）の大気まで数値モデルに含める必要があります。流体としての地球大気上端である中間圏界面・下部熱圏と呼ばれる高度 100km 付近の超高層大気から地表までを一つのシステムとして正しくモデル化することが急務になっています。そのためにはこの流体上端部の 100 km 付近の物理量をより多く計測してモデルを検証することが重要なのです。レーザーによる遠隔計測が威力を発揮する場です。我々は国立極地研究所、首都大学東京、信州大学、および電気通信大学と協力して、中間圏界面・下部熱圏の温度や大気微量成分の密度を測定可能な共鳴散乱ライダーを開発しました。

このライダーのターゲットは、金属原子・イオンです。地球外から流星として飛来する鉄 (Fe) やカリウム (K) 等の金属元素は大気が希薄なこの高度では原子として存在します。原子の「基底状態と励起状態のエネルギー準位差」に対応する波長のレーザー光を照射すると、レイリー散乱より 12–15 桁も強い共鳴散乱（共鳴蛍光）が起こり、大気に混合した微量の原子が観測できます。その散乱強度や散乱断面積スペクトルから密度や温度等の物理量を導出するのが共鳴散乱ライダー観測です。

共鳴散乱ライダーではレーザー波長を 2pm 程度の狭い共鳴散乱線の波長幅の数%の安定度で制御する必要があります。波長計で高精度に制御制御した種レーザーによるインジェクション・シーディング型アレキサンドライト・リングレーザーを用いることで、長期安定度を満たし 768–788 nm の範囲で自由に波長が変えられるシステムを実現しました。 繰返し周波数は約 25 Hz で出力 120–160 mJ/pulse が得られ、さらに第 2 高調波発生装置 (SHG) によって 384–394 nm の観測も可能になっています。受信には、大口径 80cm の望遠鏡を用いた高感度光子計数システムを採用しています。

2012 年から開発を進めたこのシステムは、第 58 次日本南極地域観測隊が 2017 年 1 月に南極昭和基地に設置し観測を行っています。K 原子 (770 nm)、Fe 原子 (386 nm)、Ca⁺ イオン (393 nm)、オーロラ活動で生じる N₂⁺ イオン (391 nm) の散乱から大気温度、原子やイオンの密度変動を観測中です。観測データは現在解析中で、2018 年度まで南極での観測を継続します。

Recently, the observation of the mesosphere and lower thermosphere (MLT) around 100km altitude are known to be very important to improve for the global atmospheric numerical models for better forecast of longer periods. One of the attractive method to investigate such an upper atmosphere region is the resonance scattering lidar (RSL), which can observe various physical parameters at this altitude for the model evaluations. We have developed a frequency tunable RSL under collaborations with National Institute for Polar Research (NIPR), Tokyo Metropolitan University, Shinshu University and The University of Electro-Communication.

RSL detects the scattering signal generated by metallic atoms and ions, such as Iron (Fe) and Potassium (K) etc., which exists in rare atmosphere with very small density around MLT. Such atoms/ions very strongly scatter light, of which the wavelength exactly corresponds to the energy difference between the ground state and the excited state. This is, so called, ‘resonant scattering (RS)’ . Since the cross section of RS is 12 to 15 orders larger than Rayleigh scattering, RSL can detect particles with a very small mixing ratio at MLT region.

RSL is required to have very accurate wavelength tuning with a few percent of line width of resonance line of 2 pm. This requirement has been satisfied by the injection seeding alexandrite ring laser system, whose wave length is controlled by a very high resolution and stable wavelength meter. The laser produces Q-switched output with 120 to 160mJ/pulse in about 25Hz repetition at any wavelength between 768 and 788 nm. The pulse with wavelength between 384 and 394 nm can also be generated with the secondary harmonics generator. A photon counting system with an 80cm aperture telescope is employed for high sensitive receiving.

The RSL has been installed at Syowa Station (SS) in the Antarctic by the 58th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE58) as a prioritized project of the 9th term JARE observations in January 2017. The observations of K(770nm), Fe (386nm), Ca⁺(393nm) and Auroral N₂⁺(391nm) has been successfully conducted. The recorded data in the first year are under analysis. The observation will be carried out until the end of 2018.



図 1：南極昭和基地に設置されたアレキサンドライトレーザー

Fig.1：The injection seeding alexandrite ring laser system has been installed at SS by JARE58

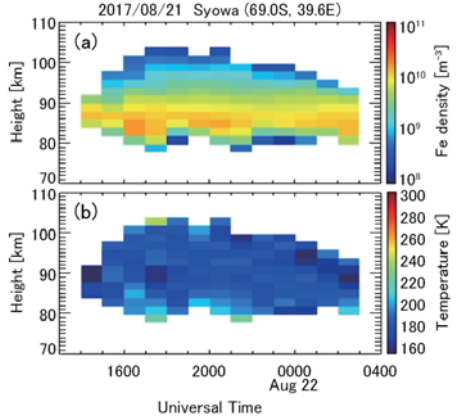
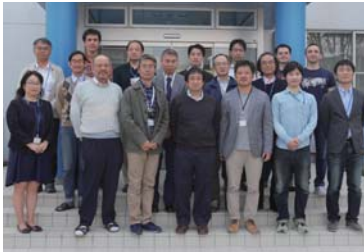


図 2：2017 年 8 月 21 日に鉄層共鳴散乱ライダー観測によって得られた (a) 鉄密度と (b) 中間圏・下部熱圏温度の時間高度断面図。

Fig.2：Temporal variations of (a) iron density and (b) MLT temperature derived from the RSL photon count profiles.



チームリーダー / Team Leader
山形 豊 博士（工学）
Yutaka Yamagata D.Eng.



FY2017 Core Members

(前任研究員) 城田 幸一郎
(専任研究員) 田島 右副
(研究員) 青木 弘良、細島 拓也、
海老塚 昇
(特別研究員) 武田 晋
(アシスタント) 佐藤 祐子

(Senior Research Scientist)
Koichiro Shirota, Yusuke Tajima
(Research Scientist)
Hiroyoshi Aoki, Takuya Hosobata,
Noboru Ebizuka
(Postdoctoral Researcher)
Shin Takeda
(Assistant) Yuko Sato

研究テーマ

- 超精密光学素子の加工・設計・計測・シミュレーション技術の研究開発
- 超精密機械加工等による微細構造形成技術の研究開発
- 技術基盤支援チームとの連携による超精密光学素子等の試作開発

Research Subjects

- Fabrication, Design, Metrology and Simulation of ultrahigh precision optics
- Fabrication of micro structure by precision machining
- Prototyping of precision optics in collaboration with Advanced Manufacturing Support Team

研究成果 / Research Output

理研小型中性子源 RANS において冷中性子源を構築し
集光実験に成功

- メチルベンゼン冷中性子源を開発し、理研小型中性子源 RANS に設置
- 冷中性子ビームを用いて中性子集光を実現

Neutron focusing experiment was successfully
conducted by developing cold neutron source at RANS

- A cold neutron source using methyl-benzene was developed and mounted on RANS
- Neutron beam focusing experiment was successful

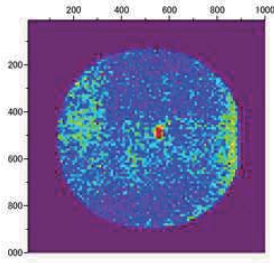
先端光学素子開発チームでは、光学素子等の超精密加工、光学設計、超精密計測技術に関する研究開発を推進しています。金属基材を用いた中性子集光ミラーの開発では、性能向上とアプリケーションの拡大を進めています。引き続き、J-PARC BL-16 (SOFIA) 用の 1 次元集光光学系の性能向上に努めると共に、全周型 900mm 回転楕円ミラーの開発を BL-06 (VIN ROSE) ビームライン向けに進めています。更に、メチルベンゼンを用いた冷中性子源の開発を成功させ、理研小型中性子源 RANS にて、冷中性子ビームを発生させ、300mm の回転楕円ミラーを用いた中性子集光実験に成功しました。また複数の民間企業との共同研究・技術指導により産業界の技術力向上にも貢献しています。



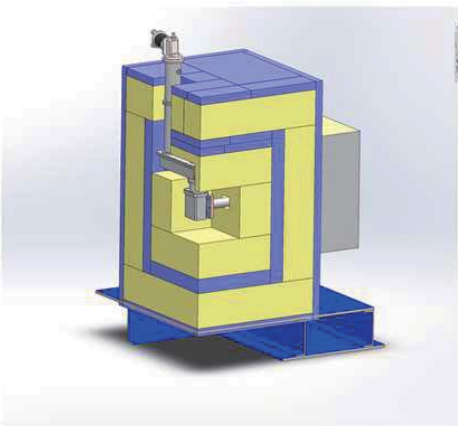
図 1：全周型 900mm 中性子集光用回転楕円ミラー
Fig.1：An entire circumference 900mm ellipsoidal neutron focusing supermirror



(a) An ellipsoidal neutron focusing mirror on RANS neutron beamline



(b) Focused neutron beam spot on detector



(c) Methyl-benzene cold neutron source mounted in RANS target station

図 2：RANS におけるメチルベンゼンを用いた冷中性子源とこれを用いた中性子集光実験
Fig.2：A cold neutron source using methyl-benzene and neutron focusing experiment at RANS



チームリーダー / Team Leader

大竹 淑恵 理学博士

Yoshie Otake D.Sci.



FY2017 Core Members

(副チームリーダー) 竹谷 篤
(上級研究員) 須長 秀行、高村 正人
(専任研究員) 小林 知洋
(研究員) 水田 真紀、若林 泰生
(特別研究員) 池田 義雅、箱山 智之
(客員研究員) 吉村 雄一
(テクニカルスタッフ) 柳町 信三、
見原 俊介、後藤 誠
(アシスタント) 石澤 浩美
(RAP 特別顧問) 池田 裕二郎

(Deputy Team Leader)
Atsushi Taketani
(Senior Research Scientist)
Hideyuki Sunaga, Masato Takamura,
Tomohiro Kobayashi
(Research Scientist)
Maki Mizuta, Yasuo Wakabayashi
(Postdoctoral Researcher)
Yoshimasa Ikeda,
Tomoyuki Hakoyama
(Visiting Scientist) Yuichi Yoshimura
(Technical Staff) Shinzo Yanagimachi,
Shunsuke Mihara, Makoto Goto
(Assistant) Hiromi Ishizawa
(RAP Senior Advisor) Yujiro Ikeda

研究テーマ

- いつでも、どこでも利用できる安全な中性子線。小型中性子源システム RANS 高度化開発。
- 中性子線による社会インフラ劣化非破壊可視化・定量評価。
- ものづくり現場のための中性子線金属サブリノ組織非破壊評価。

Research Subjects

- Research and development of compact neutron system for practical use at anytime, anywhere.
- Non-destructive test technology for infrastructure.
- Characterization of microstructure in steels by compact neutron source.

研究成果 / Research Output

軽量化鋼材開発へ向けた 新たな分析手法の確立



- 自動車などの軽量化を可能にする、「高張力鋼板」の組織特性を、バルクサンプルで計測評価可能。
- 高強度と良加工性を両立するためのカギとなる「オーステナイト相」を、小型中性子源 RANS で高精度計測可能な技術開発に成功。
- RANS による複相鋼のオーステナイト相分率計測結果は、大型実験施設結果と差 1% 以内で一致。

Development of on-site measurement technique of retained austenite volume fraction by compact neutron source RANS

- Realization of micro structure of high-strength steel sheets with RANS.
- Austenite phase, which has a significant influence on the characteristics of advanced high-strength steels with good formability was successfully measured accurately by compact neutron source “RANS” .
- The volume fraction of the austenite phase measured by “RANS” showed a good agreement with the measurement results obtained by large neutron facilities.

高い透過能と優れた分析能を有する中性子線は、ものづくり分野などでの広い利用が期待され、J-PARC などの大型施設での産業利用も飽和状態となっています。私たちは「いつでも、どこでも中性子線」利用を可能とする「役に立つ小型中性子源システム」の開発、高度化を進めています。その開発内容は、中性子源の小型化開発と中性子線を最大限有効とする計測解析技術の研究開発であり、小型中性子源を利用した新たな計測解析技術については、2017 年度に代表的な 3 つの成果が挙げられます。

自動車鋼板などの材料の軽量化は世界的喫緊の課題であり、新たな革新的構造材料開発の現場では計測評価結果の早いフィードバックが必要とされています。そこで、軽量化を可能にする鋼材開発に向けた新たな分析手法の確立に取り組み、低バックグラウンド中性子回折装置の開発により、特に薄くかつ高強度の「高張力鋼」のバルクサンプルの組織特性を 1% という高精度で評価することに成功しました。この技術を搭載した小型中性子源システムの現場導入が待たれます。

次に、橋梁や高速道路、鉄道など、高齢化や厳しい環境により内部劣化が見えないうちに進んでいる社会インフラの維持管理メンテナンスを高効率かつ経済的に行うことのできる新たな技術の開発に成功しました。それは、特に日本では深刻な塩害によるコンクリート劣化を非破壊で評価できる手法です。冬季には山間部の道路や橋梁は連日凍結防止剤として塩が散布され、構造物の塩害が深刻化しており、従来認識されていた沿岸部に加え分厚いコンクリート内部の塩分評価は重要な課題となっています。RANS を利用した中性子線誘導即発 γ 線解析 (NPGAA) 法により、厚さ 10 cm 以上のコンクリート内部の塩分量を、1kg/m³ 未満から定量評価することに成功しました。将来小型中性子源システムを屋外利用することにより、現場で塩害の進行度の非破壊評価を可能とする技術へと発展します。最後に、さらなる小型化軽量化を目指した 2 号機、RANS2 の開発を開始しました。新しいイオン源、高周波加速空器の立上げは順調に進み、全長 5m ほどでさらに遮蔽もコンパクトな小型中性子源を目指しています。

In the field of innovative structural materials development for weight reduction, new non-destructive observation methods with structural analysis technique on-site is pressing issue. The RIKEN accelerator-driven compact neutron source, RANS, has been developed and up-dated for such important needs. Micro structure of high-strength steel sheets, which achieve lightweight vehicles due to thickness reduction, can be measured with a form of bulk sample. Austenite phase, which has a significant influence on the characteristics of advanced high-strength steels with good formability was successfully measured, and the volume fraction of the austenite phase showed a good agreement with the measurement results obtained by large neutron facilities, i.e., the discrepancy was only 1%, which demonstrated the possibility of compact neutron sources to be used on-site in the manufacturing field.

For the non-destructive test methods with fast and slow neutrons for such infrastructures as bridges, high-ways, common roads, its high penetration power and high sensitivity for many elements play quite important roles. Salt damage of bridges not only around sea coasts but mountain area is now serious problem. We have succeeded to evaluate salt concentration less than 1kg/m³ to 20kg/m³ for the thick concrete slab with using neutron induced prompt gamma ray analysis method. 1.2 ~ 2.5 kg/m³ is shown in “Standard Specification for Concrete Structures” as the limit with which steel corrosion starts.

Proto-type of transportable compact neutron source, RANS2 accelerator has been developed with ECR-ion source, and three folds RFQ for 2.49 MeV proton energy.

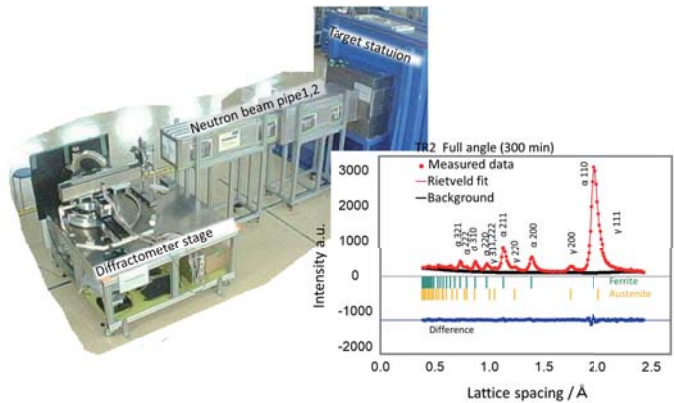


図 1：RANS での低バックグラウンド中性子回折実験装置（左）とオーステナイト相分率計測結果（右）

Fig.1：Low background neutron diffractometer at RANS (left) and diffraction peaks for dual phase steel for austenite volume fraction analysis (right).

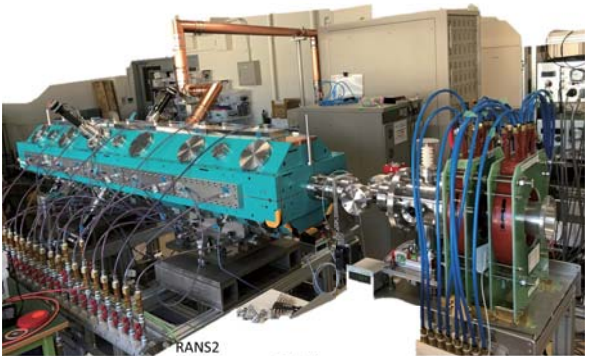


図2:RANS2用陽子線加速器 ECRイオン源(右)とRFQ。半導体アンプ(中央奥)

Fig.2：Proton linac for RANS2, ECR ion source (right), RFQ (left). Solid state Amplifire (center behind)



チームリーダー / Team Leader

山形 豊 博士（工学）
Yutaka Yamagata D.Eng.



FY2017 Core Members

(副チームリーダー) 高橋 一郎、
山澤 建二
(専任技師) 霜田 進、洲之内 啓
(前任研究員) 池田 滋
(テクニカルスタッフ) 藤本 武、
竹田 真宏
(アシスタント) 金子 直恵

(Deputy Team Leader)
Ichiro Takahashi, Kenji Yamazawa
(Senior Technical Scientist)
Susumu Shimoda, Kei Sunouchi
(Senior Research Scientist)
Shigeru Ikeda
(Technical Staff) Takeshi Fujimoto,
Masahiro Takeda
(Assistant) Naoe Kaneko

研究テーマ

- 研究機器・装置の開発、設計・製作、改造
- 共同利用施設の運用とプロジェクトに対する機器開発支援
- 3D プリンターや超精密加工による研究開発支援の高度化

Research Subjects

- Design, manufacturing, modification and development of experimental apparatuses
- Facility management of the machine shop and technical assistance for project
- Advanced manufacturing development and support such as 3D printer or ultraprecision machining

研究者の依頼に基づく研究機器開発支援と先端的加工技術開発を実施

- 研究者の依頼に基づく研究機器の設計、部品の機械加工、組み立て、電子回路設計製作、ガラス加工等を実施
- 2017 年度は、理研全体から 586 件の工作依頼を実施
- 3D プリンターや超精密加工による光学素子の開発などの新しい技術開発を推進

Experimental apparatus manufacturing by the requests from RIKEN researchers and advanced technological developments such as 3D printer and ultraprecision machining

- Experimental apparatus design, parts machining and assembly, electronics design and manufacturing and glassware machining was conducted upon request from RIKEN researchers
- 586 manufacturing request was processed in FY2017 from all RIKEN sectors
- Advanced technological developments such as 3D printer and ultraprecision machining was conducted

技術基盤支援チームでは、研究者の依頼に基づき、研究に必要な実験装置等の設計・部品の機械加工、組み立て、電気・電子回路の設計・製作、ガラス加工などを通じて研究機器の構築を支援することを目的としています。こうした工作支援の範囲は、顕微鏡のステージの改造などから、部品製作、新規の検出装置の開発、生物実験用機器の製作など多岐にわたっています。2017 年度は、全体で 586 件の工作依頼がありました。2015 年度から、受益者負担金の単価を改訂し、様々な外部資金も利用できるようにするなど、利用者の利便を図りサービスの向上に努めています。工場には、NC マシニングセンター、放電加工装置、レーザー切断機、手動旋盤・フライス盤などの装置を有しています。また、研究本館地下と基盤技術棟に研究者自身が作業可能なマシンショップを運営しており、こうした作業のための工作機械の取り扱い安全講習も実施しています。機械加工以外にも溶接やガラス加工も行っています。より先進的な工作支援業務のため、先端光学素子開発チームと協力し、超精密加工による光学素子等の加工を含んだ装置開発を進めました。

At Advanced Manufacturing Support Team, manufacturing support for the construction of experimental apparatus is performed through mechanical design and machining, electric/electronics and glassware fabrication etc. Those apparatus manufacturing support include modification of microscope stages, parts machining, construction of detector systems, and devices for biological experiments. We received 586 manufacturing requests from all the RIKEN research sectors in FY2017. Especially requests from Brain Science Research Institute is increasing. User fee was updated for FY2015 and several external funds can be accepted. A number of machining systems are used in the factory such as NC machine tool, Electro-discharge machining system, laser cutter, and manually operated milling and lathing machine and so on. Do-it-yourself machine shops are maintained at main building and Instrumentation center and necessary safety training is given by the staff. Manufacturing of precision optics are conducted in collaboration with ultrahigh precision optics technology team.

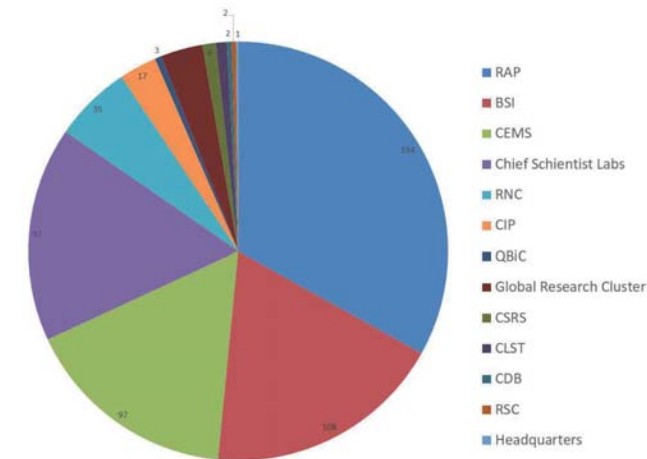


図 1：2017 年度の工作受注件数および依頼元
Fig.1：Manufacturing request in number and sectors of RIKEN as for FY2017

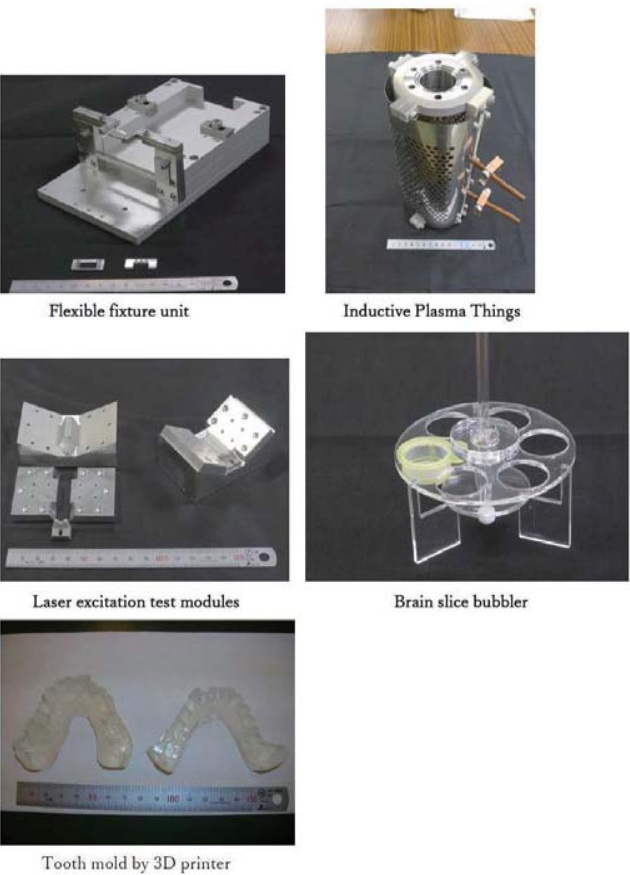


図 2：研究機器試作品の例
Fig.2：Examples of manufactured apparatuses

アト秒科学研究チーム / Attosecond Science Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. K. Toda, K. Isobe, K. Namiki, H. Kawano, A. Miyawaki, and K. Midorikawa, "Interferometric temporal focusing microscopy using three-photon excitation fluorescence," *Biomed. Opt. Express* 9, 1510-1519, (2018).
2. D. Serien, H. Kawano, A. Miyawaki, K. Midorikawa, and K. Sugioka, "Femtosecond Laser Direct Write Integration of Multi-Protein Patterns and 3D Microstructures into 3D Glass Microfluidic Device," *Appl. Sci.-Basel* 8, 147, (2018).
3. V. H. Trinh, T. Morishita, E. J. Takahashi, and K. Midorikawa, "Probing two-electron dynamics of helium in time domain via fluorescence channel," *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 220, 133-136, (2017).
4. C. R. Locke, T. Kobayashi, T. Fujiwara, and K. Midorikawa, "Selective photoionization of palladium isotopes using a two-step excitation scheme," *Appl. Phys. B* 123, 240, (2018).
5. T. Murakami, N. Saito, Y. Komachi, K. Okamura, T. Michikawa, M. Sakashita, S. Kogure, K. Kase, S. Wada, and K. Midorikawa, "High spatial resolution survey using frequency-shifted feedback laser for transport infrastructure maintenance," *Journal of Disaster Research* 12, 546, (2017).
6. Y. Fu, E. J. Takahashi, and K. Midorikawa, "Energy Scaling of Infrared Femtosecond Pulses by Dual-Chirped Optical Parametric Amplification," *IEEE Photonics Journal* 9, 1-8, (2017).
7. K. Toda, K. Isobe, K. Namiki, H. Kawano, A. Miyawaki, and K. Midorikawa, "Temporal focusing microscopy using three-photon excitation fluorescence with a 92-fs Yb-fiber chirped pulse amplifier," *Biomed. Opt. Express*, 8, 2796-2806, (2017).

(2) 著書・解説など / Book Editions, Review Papers

1. 村上武晴, 斎藤徳人, 道川隆士, 小町祐一, 岡村幸太郎, 坂下亨男, 木暮繁, 加瀬究, 和田智之, 緑川克美, "高空間分解スキャニングライダー: トンネル内壁面の精密調査に向けて", *レーザー研究*, 45, 403-407, (2017).
2. 沖野友哉, 鍋川康夫, 緑川克美, "高強度数ナノ秒アト秒パルス列を用いたアト秒電子波束の観測", *レーザー研究*, 第 45 巻第 4 号, 212-216, (2017).
3. 沖野友哉, 鍋川康夫, 緑川克美, "アト秒科学の進展", *光技術コンタクト*, 第 55 巻, 第 3 号, 24-30, (2017).
4. 磯部圭佑, "深部イメージング性能を向上させる多光子蛍光顕微鏡技術", *生体の科学*, 68, 394-395, (2017).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. T. Okino, Y. Nabekawa, K. Midorikawa, "Observation of ultrafast molecular dynamics with a-few-pulse attosecond pulse train," 14th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering (ICCMSE 2018), Thessaloniki, Greece, March, (2018).
2. T. Okino, Y. Nabekawa, K. Midorikawa, "Attosecond Molecular Dynamics Investigated with A-few-pulse Attosecond Pulse Train," The 10th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS10), Dubai United Arab Emirates, March, (2018).
3. K. Midorikawa, "Multi-Port Intra-Cavity High Harmonic Generation in Yb:YAG Thin Disk Mode-Locked Oscillator with MHz Repetition Rate," 10th Asian Symposium on Intense Laser Science, Sharjah, UAE, March, (2018).
4. E. J. Takahashi, "Generation of TW-scale mid-IR femtosecond pulse using dual-chirped optical parametric amplification," *SPIE. Photonics USA*, West, January, (2018).
5. K. Midorikawa, "Next generation high-order harmonic sources," International Conference on Extreme Light, Szeged, Hungary, November, (2017).
6. K. Midorikawa, "Next generation high-order harmonic sources," International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 2017, Lijiang, China, November, (2017).
7. E. J. Takahashi, "High-energy ultrafast infrared femtosecond pulse by dual-chirped OPA - towards multi-TW infrared pulses -, " 2017 Ireland-Japan Collaboration Workshop, Ireland, November, (2017).
8. K. Midorikawa, "High power laser technology for next generation high-order harmonic sources," Advanced solid state lasers conference, Nagoya, Japan. October, (2017).
9. K. Midorikawa, "High-order harmonics: Application and Prospects," OSA Laser Congress, Nagoya, Japan. October, (2017).
10. E. J. Takahashi, "High-energy infrared femtosecond pulse for attosecond sciences," Ultrafast Optics 2017, USA, October, (2017).
11. Y. Nabekawa, T. Okino, and K. Midorikawa, "Observation and control of sub-10 fs dynamics in molecules using intense XUV attosecond pulse trains," 2nd International Symposium on Attosecond Science, Japan, August, (2017).
12. E. J. Takahashi, Y. Fu, and K. Midorikawa, "High energy infrared technology for intense high harmonic generation," The 12th

CLEO-PR, Singapore, August, (2017).

13. K. Midorikawa, "Next generation high-order harmonic sources," Nonlinear Optics, Waikoloa, Hawaii, July, (2017).
14. K. Midorikawa, "Next generation high-order harmonic sources and applications," The 8th Shanghai-Tokyo Advanced Research symposium on Ultrafast Intense Laser Science, Dunhuang, China, May, (2017).
15. K. Midorikawa, "Next generation high harmonic sources and applications," The 2017 CLEO Conference, San Jose, CA, USA, May, (2017).
16. 磯部 圭佑, 並木 香奈, 河野 弘幸, 宮脇 敦史, 緑川 克美, "波面歪み情報の in-situ 非線形読み出しとその補償による深部イメージング能力改善," 日本光学会フォトダイナミズム研究グループ主催シンポジウム「フレキシブルイメージング: 光源から揺らぐ媒質、光学系、データ解析までの統合と柔軟な制御への挑戦」, 東京, 2月6日, (2018).
17. 磯部 圭佑, 並木 香奈, 河野 弘幸, 宮脇 敦史, 緑川 克美, "時空間変調技術を用いた多光子顕微鏡の深部イメージング能力向上," レーザー学会学術講演会第38回年次大会, 京都, 1月26日, (2018).
18. 沖野友哉, 鍋川康夫, 緑川克美, "アト秒非線形フーリエ分子分光," レーザー学会学術講演会第38回, 京都, 1月24日, (2018).
19. 沖野友哉, 鍋川康夫, 緑川克美, "アト秒科学の進展: パルス計測から分子ダイナミクス計測へ," 光量子科学連携研究機構・レーザーアライアンス合同シンポジウム/第37回先端光量子科学アライアンスセミナー, 東京, 12月14日, (2017).
20. 緑川克美, 沖野友哉, 鍋川康夫, "原子・分子のアト秒量子ダイナミクスの計測," 2017年第78回応用物理学会秋季学術講演会, 福岡, 9月5日, (2017).
21. 磯部圭佑, 緑川克美, "超短光パルスの時空間制御による非線形顕微イメージング," OPIE' 17 オープンセミナー『バイオイメージングと応用への期待』, 横浜, 4月21日, (2017).

(4) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meeting, Symposiums and Seminars

1. 2nd International Symposium on Attosecond Science, Wako, Japan, August 26, (2017).

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 磯部圭佑, 緑川克美, 松本健志, 田辺 綾乃, "適応光学素子", 特願 2018-033251, 出願日 2018年2月27日.

超高速分子計測研究チーム / Ultrafast Spectroscopy Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. H. Kuramochi, S. Takeuchi, K. Yonezawa, H. Kamikubo, M. Kataoka, and T. Tahara, "Probing the early stages of photoreception in photoactive yellow protein with ultrafast time-domain Raman spectroscopy," Nat. Chem. 9, 660-666, (2017).
2. T. Otosu, K. Ishii, H. Oikawa, M. Arai, S. Takahashi, and T. Tahara, "Highly heterogeneous nature of the native and unfolded states of the B domain of protein A revealed by two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy," J. Phys. Chem. B, 121, 5463-5473, (2017).
3. W. Pao, K. Hanaoka, T. Fujisawa, S. Takeuchi, T. Komatsu, T. Ueno, T. Terai, T. Tahara, T. Nagano, and Y. Urano, "Development of an azo-based photosensitizer activated under mild hypoxia for photodynamic therapy," J. Am. Chem. Soc., 139, 13713-13719, (2017).
4. K. Inoue, P. C. Singh, S. Nihonyanagi, S. Yamaguchi, and T. Tahara, "Cooperative hydrogen-bond dynamics at a zwitterionic lipid/water interface revealed by 2D HD-VSFG spectroscopy," J. Phys. Chem. Lett., 8, 5160-5165, (2017).
5. J. B. Swadling, K. Ishii, T. Tahara, and A. Kitao, "Origins of biological function in DNA and RNA hairpin loop motifs from replica exchange molecular dynamics simulation," Phys. Chem. Chem. Phys., 20, 2990-3001, (2018).
6. S. Tahara, S. Takeuchi, R. A. Yoshizumi, K. Inoue, H. Ohtani, H. Kandori, and T. Tahara, "Origin of the reactive and non-reactive excited states in the primary reaction of rhodopsins: pH dependence of femtosecond absorption of light-driven sodium ion pump rhodopsin KR2," J. Phys. Chem. B, 122, 4784-4792, (2018).
7. H. Kuramochi, S. Takeuchi, and T. Tahara, "Ultrafast photodissociation dynamics of diphenylcyclopropenone studied by time-resolved impulsive stimulated Raman spectroscopy," Chem. Phys. in press.

(2) 著書・解説など / Book Editions, Review Papers

1. S. Nihonyanagi, S. Yamaguchi, and T. Tahara, "Ultrafast dynamics at water interfaces studied by vibrational sum-frequency generation spectroscopy," Chem. Rev., 117, 10665-10693, (2017).

- 倉持光, “時間領域ラマン分光法の極限化とその光応答性タンパク質への応用,” 分光研究, 66, 155-163, (2017).
- 石井邦彦, 田原太平, “二次元分光法: タンパク質のダイナミクスを可視化する二次元蛍光寿命相関分光法を中心として,” 日本物理学会誌, 72, 854-861, (2017).

(3) 招待講演 / Invited Talks

- 倉持光, “時間領域ラマン分光法の極限化とその光応答性タンパク質への応用,” 平成 29 年度 日本分光学会年次講演会, 東京, 5 月 23 日～25 日, (2017).
- 井上賢一, “ヘテロダイナミクス検出振動和周波発生分光法を用いた界面水の超高速ダイナミクス,” 分子研研究会「水の局所構造・物性解析の最先端」, 愛知, 6 月 12 日, (2017).
- 田原太平, “新しい分光計測の開発と応用による複雑分子系ダイナミクスの研究,” 東京工業大学理学院化学系 講演会, 東京, 6 月 15 日, (2017).
- 田原太平, “二次元蛍光寿命相関分光によるタンパク質のマイクロ秒ダイナミクスの研究,” シンポジウム: 蛋白質の柔らかさと機能 Flexibility and function of proteins, 第 17 回日本蛋白質科学会年会, 宮城, 6 月 20 日～6 月 22 日, (2017).
- T. Tahara, “Femtosecond nuclear dynamics of photo-induced structural changes of metal complexes,” 22nd International Symposium on Photochemistry and Photophysics of Coordination Compounds (ISPPCC 2017), Oxford, UK, July 9-14, (2017).
- S. Takeuchi, H. Kuramochi, M. Iwamura, K. Nozaki, T. Tahara, “Ultrafast time-domain Raman study of bond strengthening in oligomers of Au(I) complex,” International Conference on Time Resolved Vibrational Spectroscopy (TRVS2017), Cambridge, UK, July 16-21, (2017).
- T. Tahara, “Ultrafast dynamics at water interfaces studied by time-resolved HD-VSFG,” The International Workshop on Nonlinear Optics at Interfaces, Dalian, China, July 24-28, (2017).
- T. Tahara, “Tracking structural dynamics of complex molecules by femtosecond time-domain Raman spectroscopy,” Telluride Science Research Center (TSRC) Workshop “Vibrational Dynamics”, Telluride, USA, July 31-August 4, (2017).
- K. Ishii, T. Tahara, “Development and application of two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy,” The 6th Asian Spectroscopy Conference, Hsinchu, Taiwan, September 3-6, (2017).
- T. Tahara, “Ultrafast dynamics at water interfaces revealed by time-resolved heterodyne-detected vibrational sum-frequency generation,” The 6th Asian Spectroscopy Conference, Hsinchu, Taiwan, September 3-6, (2017).
- H. Kuramochi, S. Takeuchi, M. Iwamura, K. Nozaki, T. Tahara, “Capturing structural snapshots of tight Au-Au bond formation in [Au(CN)₂]⁻ oligomers by ultrafast time-domain Raman spectroscopy,” The 6th Asian Spectroscopy Conference, Hsinchu, Taiwan, September 3-6, (2017).
- 二本柳聡史, “新しい非線形分光法による固液界面の分子科学,” 富山大学工学部セミナー, 富山, 11 月 17 日, (2017).
- T. Tahara, “Primary process of photo-responsive proteins studied by femtosecond time-domain Raman spectroscopy,” DAE - BRNS Trombay Symposium on Radiation & Photochemistry, Mumbai, India, January 3-7, (2018).
- T. Tahara, “Femtosecond dynamics of photo-induced structural changes of metal complexes,” Department Seminar, Indian Institute of Science Education and Research (IISER) Bhopal, India, January 8, (2018).
- H. Kuramochi, S. Takeuchi, M. Iwamura, K. Nozaki, T. Tahara, “Direct observation of ultrafast structural dynamics in [Au(CN)₂]⁻ oligomers upon photo-induced tight Au-Au bond formation,” The 10th Asian Conference on Ultrafast Phenomena (ACUP 2018), Hong Kong, January 7-10, (2018).
- T. Tahara, “Novel single-molecule spectroscopy: microsecond structural dynamics of protein, DNA and RNA revealed by two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy (2D-FLCS),” Department Seminar, Indian Institute of Technology (IIT) at Bombay, Mumbai, India, January 9, (2018).
- 倉持光, “時間領域ラマン分光法で観る分子の超高速構造ダイナミクス,” 理研 研究員会議・分野横断ワークショップ, 浜松, 1 月 23 日～24 日, (2018).
- 倉持光, “超高速時間領域ラマン分光法で観る光応答性タンパク質のフェムト秒構造ダイナミクス,” レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会, 京都, 1 月 24 日～26 日, (2018).
- 石井邦彦, “生体高分子のマイクロ秒ダイナミクスの一分子計測,” 第 14 回エクストリームフォトンクス研究会, 和光市, 2 月 6 日, (2018).
- T. Tahara, “Femtosecond time-domain Raman spectroscopy,” Symposium on “90 Years of Raman Effect: Current Status and Future Direction,” Indian Institute of Science, Bangalore, India, February 27-March 2, (2018).
- 倉持光, “極短パルス光を用いた光応答性タンパク質の実時間構造ダイナミクス追跡,” 2017 年度第 2 回水和ナノ構造研究会, 宮城,

3月6日～7日, (2018).

22. T. Tahara, "Ultrafast primary process of photo-responsive proteins revealed by femtosecond Raman spectroscopy," 255th ACS National Meeting & Exposition, Symposium: Ultrafast Spectroscopy Meets Chemistry, Materials and Biology (ANYL), New Orleans, USA, March 18 – 22, (2018).
23. K. Ishii, "Microsecond biomolecular dynamics observed at the single molecule level using two-dimensional fluorescence lifetime correlation spectroscopy," 日本化学会第 98 回春季年会アジア国際シンポジウム, 船橋, 3月20日～23日, (2018).

(4) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meeting, Symposiums and Seminars

1. RAP セミナー, "Raman microscopy beyond the limit - 限界を超えるラマン顕微鏡 -, " 和光, 4月14日, (2017).
2. セミナー, "Using Molecular Vibrations to Observe and Control Electronic Dynamics in Organic Materials and Devices," 和光, 4月20日, (2017).
3. セミナー, "Adsorption characteristic of halide anion in Langmuir monolayer / water interfaces," 和光, 4月24日, (2017).
4. セミナー, "Bio-molecules on solid supported model cell membranes investigated by SFG-VS," 和光, 12月4日, (2017).
5. セミナー, "Photo-physical properties of new molecular materials for solar cells," 和光, 12月20日, (2017).
6. セミナー, "Energy Transfer Dynamics of Natural and Artificial Photosynthetic Reaction Investigated by Femtosecond Transient Absorption Spectroscopy," 和光, 3月29日, (2018).

生細胞超解像イメージング研究チーム / Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. N. Minamino, T. Kanazawa, R. Nishihama, K. T. Yamato, K. Ishizaki, T. Kohchi, A. Nakano, and T. Ueda: "Dynamic reorganization of the endomembrane system during spermatogenesis in *Marchantia polymorpha*," J. Plant Res. 130, 433-441, (2017).
2. Y. Ito, K. Toyooka, M. Fujimoto, T. Ueda, T. Uemura, and A. Nakano: "The *trans*-Golgi network and the Golgi stacks behave independently during regeneration after Brefeldin A treatment in tobacco BY-2 cells," Plant Cell Physiol. 58, 811-821, (2017).
3. S. S. Sharma, K. Yamamoto, K. Hamaji, M. Ohnishi, A. Anegawa, S. Sharma, S. Thakur, V. Kumar, T. Uemura, A. Nakano, and T. Mimura: "Cadmium-induced changes in vacuolar aspects of *Arabidopsis thaliana*," Plant Physiol. Biochem. 114, 29-37, (2017).
4. A. Yamagami, C. Saito, M. Nakazawa, S. Fujioka, T. Uemura, M. Matsui, M. Sakuta, K. Shinozaki, H. Osada, A. Nakano, T. Asami, and T. Nakano: "Evolutionarily conserved BIL4 suppresses the degradation of brassinosteroid receptor BRI1 and regulates cell elongation," Sci. Rep. 7, 5739, (2017).
5. K. Kobayashi, F. Suemasa, H. Sagara, S. Nakamura, Y. Ino, K. Kobayashi, H. Hiramatsu, T. Haraguchi, K. Kurokawa, T. Todo, A. Nakano, and H. Iba: "MiR-199a inhibits secondary envelopment of herpes simplex virus-1 through the downregulation of Cdc42-specific GTPase activating protein localized in Golgi apparatus," Sci. Rep. 7, 6650, (2017).
6. N. Inada, K. Ebine, E. Ito, A. Nakano, and T. Ueda: "Constitutive activation of plant-specific RAB5 GTPase confers increased resistance against adapted powdery mildew fungus," Plant Biotech. 34, 89-95, (2017).
7. A. Yamagami, C. Saito, M. Sakuta, K. Shinozaki, H. Osada, A. Nakano, T. Asami, and T. Nakano: "Brassinosteroids regulate vacuolar morphology in root meristem cells of *Arabidopsis thaliana*," Plant Signal. Behav. in press.
8. Y. Ito, T. Uemura, and A. Nakano: "Golgi Entry Core Compartment functions as the COPII-independent scaffold for ER-Golgi transport in plant cells," J. Cell Sci. 131, jcs203893, (2018).
9. C. Sanchez-Rodriguez, Y. Shi, C. Kesten, D. Zhang, G. Sancho-Andrés, A. Ivakov, E. R. Lampugnani, K. Sklodowski, M. Fujimoto, A. Nakano, A. Bacic, I. S. Wallace, T. Ueda, D. van Damme, Y. Zhou, and S. Persson: "The cellulose synthases are cargo of the TPLATE adaptor complex," Mol. Plant 11, 346-349, (2018).
10. Y. Suda, H. Tachikawa, I. Inoue, T. Kurita, C. Saito, K. Kurokawa, A. Nakano, and K. Irie: "Activation of Rab GTPase Sec4 by its GEF Sec2 is required for prospore membrane formation during sporulation in yeast *Saccharomyces cerevisiae*," FEMS Yeast Res. 18, fox095, (2018).
11. K. Takemoto, K. Ebine, J. C. Askani, T. Goh, K. Schumacher, A. Nakano, and T. Ueda: "Distinct sets of tethering complexes, SNARE complexes, and Rab GTPases mediate membrane fusion at the vacuole in *Arabidopsis*," Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., in press.
12. S. Tanabashi, K. Shoda, C. Saito, T. Sakamoto, T. Kurata, T. Uemura, and A. Nakano: "A missense mutation in the *NSF* gene causes

abnormal Golgi morphology in *Arabidopsis thaliana*," Cell Struct. Funct. 43, 41-51, (2018).

13. N. Minamino, T. Kanazawa, A. Era, K. Ebine, A. Nakano, and T. Ueda: "RAB GTPases in the basal land plant *Marchantia polymorpha*," Plant Cell Physiol., in press.

(2) 著書・解説など／ Book Editions, Review Papers

1. Y. Suda, K. Kurokawa, and A. Nakano, "Regulation of ER-Golgi transport dynamics by GTPases in budding yeast," Frontiers Cell Dev. Biol. 5, 122, (2018).

(3) 招待講演／ Invited Talks

1. K. Kurokawa, "4D imaging of cargo delivery in maturing Golgi cisternae in *S. cerevisiae*," Gordon Research Conference on Molecular Membrane Biology, Andover, NH, USA, July 17, (2017).
2. A. Nakano, "Membrane traffic unveiled by super-resolution live imaging: expectations for exosome research," 9th Annual Meeting of the Japanese Association for RNAi and 4th Annual Meeting of Japanese Society of Extracellular Vesicles, Hiroshima, Japan, September 1, (2017).

(4) 会議、シンポジウム、セミナー主催／ Meeting, Symposiums and Seminars

1. 理研シンポジウム "「観る・測る・解く」4次元細胞計測の現状と未来," 和光, 6月28日, (2017).
2. Taiwan-Japan Joint Meeting on Bioimaging for Young Researchers, Taipei, November 1-2, (2017).

(5) 特許出願／ Patent Applications

1. 中野明彦, 市原 昭, "対物レンズの駆動制御方法及び蛍光顕微鏡システム," 特許番号 6143098, 設定登録 2017年5月19日.
2. 宮代大輔, 中野明彦, "データ復元装置、顕微鏡システムおよびデータ復元方法 (誤差評価に基づく帯域外挿デコンボリューション)," 国際出願番号 PCT/JP2017/021420, 2017年6月9日.

(6) 特筆すべき事項・トピックス／ Topics

1. 伊藤容子論文 (Plant Cell Physiol.) が同誌の Editor-in-Chief's Choice に選ばれました。(「掲載記事」参照)
2. 理研プレスリリース, "ゴルジ体形成の足場「GECCO」", 2017年11月14日
3. 伊藤容子論文 (J. Cell Sci.) が同誌の First Person Interview に選ばれました。(「掲載記事」参照)
4. 理研研究奨励賞, 伊藤容子 "植物細胞におけるゴルジ体形成・維持機構の可視化による解析", 2018年3月15日

生命光学技術研究チーム／ Biotechnological Optics Research Team

(1) 原著論文 (acceptを含む)／ Original Papers

1. Iwano S, Sugiyama M, Hama H, Watakabe A, Hasegawa N, Kuchimaru T, Tanaka KZ, Takahashi M, Ishida Y, Hata J, Shimozone S, Namiki K, Fukano T, Kiyama M, Okano H, Kizaka-Kondoh S, McHugh TJ, Yamamori T, Hioki H, Maki S, Miyawaki A.: "Single-cell bioluminescence imaging of deep tissue in freely moving animals," Science, 359 (6378): 935-939, (2018).
2. Toda K, Isobe K, Namiki K, Kawano H, Miyawaki A, Midorikawa K.: "Interferometric temporal focusing microscopy using three-photon excitation fluorescence," Biomed. Opt. Express, 9 (4): 1510-1519, (2018).
3. Shitashima Y, Shimozone T, Asahi T, Miyawaki A.: "A dual-ligand-modulable fluorescent protein based on UnaG and calmodulin," Biochem. Biophys. Res. Commun., 496 (3): 872-879, (2018).
4. Sakaue-Sawano A, Yo M, Komatsu N, Hiratsuka T, Kogure T, Hoshida T, Goshima N, Matsuda M, Miyoshi H, Miyawaki A.: "Genetically Encoded Tools for Optical Dissection of the Mammalian Cell Cycle," Mol. Cell, 68(3): 626-640. e5., (2017).
5. Toda K, Isobe K, Namiki K, Kawano H, Miyawaki A, Midorikawa K.: "Temporal focusing microscopy using three-photon excitation fluorescence with a 92-fs Yb-fiber chirped pulse amplifier," Biomed. Opt. Express, 8 (6): 2796-2806., (2017).
6. Watanabe T, Seki T, Fukano T, Sakaue-Sawano A, Karasawa S, Kubota M, Kurokawa H, Inoue K, Akatsuka J, Miyawaki A.: "Genetic visualization of protein interactions harnessing liquid phase transitions," Sci. Rep., 7: 46380, (2017).

(2) 招待講演 / Invited Talks

1. Atsushi Miyawaki "Cruising inside cells: New Fluorescent Probes and New Perspectives in Bioscience," 2017 SGP Meeting, Woods Hole, September 8, (2017).
2. 宮脇敦史 "がん代謝の可視化技術," 第5回がん代謝研究会, 札幌, 7月13日, (2017).
3. Atsushi Miyawaki "Cruising inside cells," International Symposium on Imaging Frontier 2017, Tokyo, July 9, (2017).
4. Atsushi Miyawaki "" 8th International Symposium on Autophagy (ISA), Nara, May 29 - June 1, (2017).

(3) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meetings, Symposiums and Seminars

1. セミナー Luke D. Lavis "Designing brighter dyes for advanced fluorescence microscopy" 東京大学, 1月30日 (2018) .

(4) 特筆すべき事項・トピックス / Topics

1. 中国新聞 11面 「脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム AkaBLI」, 2018年3月11日
2. 科学新聞朝刊 「脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム AkaBLI」, 2018年3月9日
3. 毎日新聞 17面 「脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム AkaBLI」, 2018年3月8日
4. 読売新聞 5面 「脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム AkaBLI」, 2018年3月1日
5. 化学工業日報 4面 「脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム AkaBLI」, 2018年2月28日
6. 日刊工業新聞 33面 「脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム AkaBLI」, 2018年2月23日
7. テレビ朝日 「グッド! モーニング」 「脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム AkaBLI」, 2018年2月23日

時空間エンジニアリング研究チーム / Space-Time Engineering Research Team

(1) 原著論文 (acceptを含む) / Original Papers

1. T. Takano, R. Mizushima, and H. Katori: "Precise determination of the isotope shift of ^{88}Sr - ^{87}Sr optical lattice clock by sharing perturbations," Appl. Phys. Express 10, 072801, (2017).
2. N. Ohmae, N. Kuse, M. E. Fermann, and H. Katori: "All-polarization-maintaining, single-port Er:fiber comb for high-stability comparison of optical lattice clocks," Appl. Phys. Express 10, 062503, (2017).

(2) 著書・解説など / Book Editions, Review Papers

1. 香取秀俊, "「量子計測」～光格子時計をつくる～," 数理科学 (サイエンス社), 2018年4月号 No.658.
2. 香取秀俊, "イーサクロックーどこでも光格子時計ー," 電子情報通信学会誌 (電子情報通信学会), Vol.100, No.11, p.1303-1308, (2017).
3. 玉川徹, 真貝寿明, 野田篤司, 香取秀俊, 牧野淳一郎, 戎崎俊一, "光格子時計による重力波検出," 科学 (岩波書店), 2017年12月号.
4. 高野哲至, 高本将男, 黒石裕樹, 香取秀俊, "光格子時計の遠隔周波数比較による標高差計測," 応用物理 (応用物理学会), 第86巻, 第11号, p.972, (2017).
5. 大前宣昭, "低雑音光コムによる光周波数の精密リンク," パリティ (丸善出版株式会社), Vo.33, No.1, (2018).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Hidetoshi Katori, "Reading 18th decimal places of time with optical lattice clocks: miniaturization and new application," MEMS Engineer Forum, Tokyo, April 26-27, (2017).
2. Hidetoshi Katori, "Optical lattice clocks and their applications," International Conference on Laser Spectroscopy, ICOLS2017, Palais des Congres, Arcachon, France, July 2-8, (2017).
3. Hidetoshi Katori, "Connecting optical lattice clocks at 10^{-18} uncertainty," The 24th Congress of the International Commission for Optics, ICO-24, Tokyo, Japan, August 21-25, (2017).
4. Hidetoshi Katori, "Optical Lattice Clocks: Reading the 18th Decimal Place of Frequency," SPIE Photonics West 2018, San Francisco, United States, January 30 - February 1, (2018).
5. Noriaki Ohmae, "Frequency comparison of optical lattice clocks," The 3rd Australia New Zealand Conference on Optics and Photonics (ANZCOP 2017), Queenstown, New Zealand, December 4-7, (2017).

6. 大前宣昭, 久世直也, M. E. Fermann, 香取秀俊, “光格子時計の高安定比較に向けた超低雑音全偏波保持エルビウムファイバコムの開発,” レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会, 京都市勧業館みやこめっせ, 1 月 24 日 ~ 26 日, (2018).
7. 高本将男, “光格子時計が実現する高精度周波数計測とその実用化に向けて,” 第 33 回先端光量子科学アライアンスセミナー「光周波数コムの技術の新展開」, 慶應義塾大学日吉キャンパス, 3 月 3 日, (2017).
8. 高本将男, “光格子時計による超精密計測の実現とその応用,” 第 37 回先端光量子科学アライアンスセミナー, 東京大学小柴ホール, 12 月 14 日, (2017).

画像情報処理研究チーム / Image Processing Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. A. Sakane, S. Yoshizawa, H. Yokota, and T. Sasaki, “Dancing Styles of Collective Cell Migration: Image-Based Computational Analysis of JRB/MICAL-L2,” *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, Vol. 6, Article 4, pp. 1-7, (2018).
2. D. Bashkirova, S. Yoshizawa, R. Latypov, and H. Yokota, “Fast L1 Gauss Transforms for Edge-Aware Image Filtering,” *Proceedings of the Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences (Proc. ISP RAS)*, Vol. 29, issue 4, pp. 55-72, (2017).
3. D. Bashkirova, S. Yoshizawa, R. Latypov, and H. Yokota, “Fast L1 Gauss 2D Image Transforms,” *Proceedings of Spring/Summer Young Researchers’ Colloquium on Software Engineering*, pp. 145-149, (2017).
4. N. Furushiro, H. Yokota, S. Nakamura, K. Fujisaki, Y. Yamagata, M. Kokubo, R. Himeno, A. Makinouchi, T. Higuchi, “Three-Dimensional Observation of Microstructure of Bone Tissue Using High-Precision Machining,” *International Journal of Automation Technology* 11 (6):883-894, 2017. DOI 10.20965 /ijat.2017.p0883
5. 吉澤 信, 中村 佐紀子, 横田 秀夫, “3 次元スライス画像のノイズ除去,” *Proceedings of Symposium on Sensing via Image Information (Proc. SSII)*, pp. S02-IS2-07: 1-6, (2017).
6. H. Saito, H. Nishizumi, S. Suzuki, H. Matsumoto, N. Ieki, T. Abe, H. Kiyonari, M. Morita, H. Yokota, N. Hirayama, T. Yamazaki, T. Kikusui, K. Mori, and H. Sakano, “Immobilization responses are induced by photoactivation of single glomerular species responsive to fox odour TMT” , *Nature Communications*, Vol. 8, Article number: 16011, (2017).
7. K. Omodaka, G. An, S. Tsuda, Y. Shiga, N. Takada, T. Kikawa, H. Takahashi, H. Yokota, M. Akiba, T. Nakazawa, “Classification of optic disc shape in glaucoma using machine learning based on quantified ocular parameters,” *PLOS ONE*, (2017). , DOI: 10.1371/journal.pone.0190012
8. V. Odedo, M. Yavuz, F. Costen, R. Himeno, H. Yokota, “Time Reversal Technique based on Spatio-Temporal Windows for Through the Wall Imaging,” *Article in IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 65, 6, PP.3065 – 3072, DOI: 10.1109/TAP.2017.2696421 (June 2017)
9. A. M. Abduljabbar, M. E. Yavuz, F. Costen, R. Himeno, H. Yokota, “Continuous Wavelet Transform-Based Frequency Dispersion Compensation Method for Electromagnetic Time-Reversal Imaging,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65, 3, pp.1321-1329, (2017).
10. Y. Chang, H. Yokota, K. AbeChia-Tong, T. Tasi, “Automated Detection and Tracking of Cell Clusters in Time-Lapse Fluorescence Microscopy Images,” *Journal of Medical and Biological Engineering*, 37, 1, pp 18–25, February, (2017), DOI:10.1007/s40846-016-0216-y
11. Y. Mimura, S. Takemoto, T. Tachibana, Y. Ogawa, M. Nishimura, H. Yokota, and N. Imamoto, “A statistical image analysis framework for pore-free islands derived from heterogeneity distribution of nuclear pore complexes,” *Scientific Reports*, Vol. 7, Article number: 16315, (2017).
12. 竹本 智子, 梅林 美和, 森田 正彦, Howard Riezman, 横田 秀夫, “画像処理法の性能評価システムを用いた細胞膜認識手順の自動化,” *画像センシングシンポジウム (SSII2017)*, *Proc.* pp. S01-IS1-18: 1-7, (2017).
13. S. Oyama, “Intraoperative Minute Body Structure Image Separation via Near Infrared Camera,” *JSSH(Japanese)*, 898–901, 2018.
14. 船井 孝, 横田 秀夫, 袴田 恭正, 深作 和明, 姫野 龍太郎, 鈴木 敬明, 前嶋 文明, 中村 佐紀子, “X線 CTを用いたウレタンフォーム製マットレスの変形形状計測手法の検討,” *日本機械学会論文集*, 84 巻 859 号 p. 17-00443, (2018).

(2) 招待講演 / Invited Talks

1. 吉澤 信, 横田 秀夫, “超解像へ向けた高速画像フィルタ,” 第 69 回日本細胞生物学会大会, 招待講演, 仙台, (2017).
2. S. Takemoto, “Performance evaluation of image segmentation methods for better objectivity of cell image analysis,” Invited, NCCR

Special Lecture series, Geneva Univ., Geneva, Switzerland, June 26, (2017).

3. 竹本 智子, “細胞画像解析の信頼性獲得のためのイメージセグメンテーション法の性能評価,” 国際女性科学者コロキウム「生命科学与物理・科学の知の融合」, 和光, 理研, 9月26日, (2017).
4. 横田 秀夫, “鉄鋼組織の三次元解析を目指した全自動観察システムと組織形状の特徴量抽出のための画像処理システム,” 日本金属学会 2017 年秋季講演大会, 札幌, 9月6日, (2017).

(3) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meetings, Symposiums and Seminars

1. 理研セミナー「名城大学 堀田一弘先生 講演会」, 和光, 8月31日, (2017).
2. 第2回バイオメカニクス・ヴィジュアルゼーション・ワークショップ, 篠島, 10月9-10日 (2017).
3. 「レゾナンスバイオ専門用語講習会」, 京都大学, 1月9日, (2018).

(4) 特許出願 / Patent Applications

1. 横田 秀夫, 大屋 祐輔, 岩淵 成志, 特願 2018-077822, 「トレーニング装置、カテーテル、画像処理方法、プログラム、および情報記録媒体」
2. 吉澤 信, 横田 秀夫, 宮川 雄, 特願 2017-037620, 「点群データの抽出方法、及び点群データの抽出装置」, 出願日: 2017 年 2 月 28 日.
3. 吉澤 信, 横田 秀夫, 宮川 雄, 特願 2017-037621, 「点群データの分割方法、及び点群データの分割装置」, 出願日: 2017 年 2 月 28 日.
4. 吉澤 信, 横田 秀夫, 宮川 雄, 特願 2017-037624, 「点群データからの基準平面生成方法、及び装置」, 出願日: 2017 年 2 月 28 日.

(5) 特筆すべき事項・トピックス / Topics

1. 科学新聞, “定量的画像解析で核膜動態解明,” 2018 年 1 月 12 日
2. 理研プレスリリース, “定量的画像解析で核膜動態解明,” 2017 年 12 月 12 日

フォトン操作機能研究チーム / Innovation Photon Manipulation Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. R. Mudachathi and T. Tanaka, “Broadband plasmonic perfect light absorber in the visible spectrum for solar cell applications,” Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotech. 9, 15010, (2018).
2. N. T. Tung and T. Tanaka, “Characterizations of an infrared polarization-insensitive metamaterial perfect absorber and its potential in sensing applications,” Photo and Nanostruct Fund. and Appl. 28, 100-105, (2018).
3. Y. Moritake and T. Tanaka, “Impact of substrate etching on plasmonic elements and metamaterials: preventing red shift and improving refractive index sensitivity,” Opt. Express 26, 3, 3674-3683, (2018).
4. A. Ishikawa, S. Hara, T. Tanaka, X. Zhang, and K. Tsuruta, “Robust plasmonic hot-spots in a metamaterial lattice for enhanced sensitivity of infrared molecular detection,” Appl. Phys. Lett. 111, 243106, (2017).
5. A. Abumazwed, W. Kubo, T. Tanaka, and A. Kirk, “Improved self-referenced biosensing with emphasis on multiple-resonance nanorod sensors,” Opt. Express 25, 24803-24815, (2017).
6. T. H. H Le and T. Tanaka, “Plasmonics Nanofluidics Hybrid Metamaterial: An Ultra-Sensitive Platform for Infrared Absorption Spectroscopy and Quantitative Measurement of Molecules,” ACS Nano 11, 9780-9788, (2017).
7. Y. Moritake and T. Tanaka, “Controlling bi-anisotropy in infrared metamaterials using three-dimensional split-ring-resonators for purely magnetic resonance,” Sci. Rep. 7, 6726, (2017).
8. G. Wang, T. Bu, T. Zako, R. W-Tamaki, T. Tanaka, and M. Maeda, “Dark field microscopic analysis of discrete Au nanostructures: understanding the correlation of scattering with stoichiometry,” Chem. Phys. Lett. 684, 310-315, (2017).
9. A. Ishikawa, S. Hara, T. Tanaka, Y. Hayashi, and K. Tsuruta, “Cross-Polarized Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy by Fano-Resonant Asymmetric Metamaterials,” Sci. Rep. 7, 3205, (2017).

(2) 著書・解説など / Book Editions, Review Papers

1. 田中拓男, “メタマテリアル吸収体とその応用,” 日本赤外線学会誌 27, 10-17, (2018).
2. 田中拓男, “メタマテリアルカラー,” Convertech 538, 46, 62-64, (2018).
3. 田中拓男, “メタマテリアルで「色」をつくる—アルミニウムのナノ構造体で可視光全域を再現,” 化学 72, 29-32, (2017).

4. 田中拓男, “メタマテリアル吸収体とカラー,” プラズモニク化学研究会 Web ニュースレター, (2017).
5. 田中拓男, “アルミニウムのナノ構造で「色」を作る,” セラミックス 52, 481, (2017).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. T. Tanaka, “Metamaterial absorbers and their applications,” Seminar at Research Center for Applied Sciences, Academia Sinica, Taiwan, March 13, (2018).
2. 田中拓男, “光メタマテリアルとその応用,” 岡山大学次世代研究コア形成支援事業「ラマン分光法を利用した極微量化学 / 生体分子動態解析のための先端ナノマテリアル開発」, 岡山大学, 岡山, 1 月 25 日, (2018).
3. 田中拓男, “光メタマテリアルとその応用,” 応用物理学会応用電子物性研究会研究例会「プラズモニクス / メタマテリアルの応用展開最前線」, 1 月 17 日, (2018).
4. 田中拓男 Takuo Tanaka, “メタマテリアル,” 日本オプトメカトロニクス協会セミナー 基礎からよく分かる「ナノ領域の光学」入門, 機会振興会館, 東京, 1 月 16 日, (2018).
5. 田中拓男 Takuo Tanaka, “光メタマテリアル,” 応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会, 軽井沢, 12 月 14 日, (2017).
6. T. Tanaka, “3D Metamaterials and 2D Metamaterials,” 1st NIP-RIKEN Joint Workshop, Univ. of Philippines, Quezon, Philippines, Nov. 10, (2017).
7. 田中拓男, “光メタマテリアル,” 第 14 回 UUO サロン (光学技術者の集い), 板橋区立グリーンホール, 東京, October 18, (2017).
8. T. Tanaka, “Metamaterial absorbers and their applications,” 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 JSAP-OSA Joint Symposia, Fukuoka Convention Center, 福岡, September 8, (2017).
9. Y. Moritake and T. Tanaka, “Bi-anisotropic response in three-dimensional split ring resonators fabricated by a self-folding method,” The 8th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'17), Songdo Convensia, Incheon, Korea, July 28, (2017).
10. T. Tanaka, “Absorption band engineering by metamaterials,” The 8th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'17), Songdo Convensia, Incheon, Korea, July 27, (2017).
11. 田中拓男, “光メタマテリアルとその加工法,” 第 110 回有機デバイス研究会「メタマテリアルズの展開」, 静岡大学電子工学研究所, 浜松, 静岡, July 14, (2017).
12. T. Tanaka, “Three-dimensional Metamaterials and Their Application for High-Sensitive Molecular Detection,” Collaborative Conference on Materials Research 2017 (CCMR2017), Jeju island, Korea, June 29, (2017).
13. T. Tanaka, “Fabrication of Three-dimensional Metamaterials and Their Applications,” 9th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2017), Suntec, Singapore, Singapore, June 22, (2017).
14. N. Takeyasu, S. Ikegami, T. Tanaka, and T. Kaneta, “Hydrophobic assembly of gold nanoparticles into dimers with Langmuir-Blodgett film,” The 8th International Conference on Surface Plasmon Photonics, Academia Sinica, Taipei, Taiwan, May 23, (2017).
15. T. Tanaka, “Metamaterial absorbers and their applications,” The 6th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS'17), Pacifico Yokohama, Yokohama, Kanagawa, April 19, (2017).

(4) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meetings, Symposiums and Seminars

1. 2nd International Symposium on Optically-assisted Mechanical Systems & the 2nd RIKEN-nCOMS Joint Symposium, Yonsei University, Seoul, Korea, 12 月 18 日, (2017).

(5) 特筆すべき事項・トピックス / Topics

1. 産経ニュース (Web 記事), “【びっくりサイエンス】透明マントだけじゃない「メタマテリアル」の世界 がん発見やカラフルな硬貨も,” 2018 年 3 月 10 日.
2. RIKEN News No.437, “構造で光を操るメタマテリアルの実用化を目指す,” 2017 年 11 月号
3. 科学新聞, “人工光学材料で赤外分光計測の飛躍的な感度向上を実現,” 2017 年 7 月 14 日, 2 面.
4. 朝日新聞, “七色の凸凹 塗らないナノ技術,” 2017 年 6 月 1 日, 朝刊 23 面.
5. 読売新聞, “ナノ構造で色を作る 塗料使わぬ絵,” 2017 年 5 月 25 日, 夕刊 5 面.
6. 日刊工業新聞, “黒猫はなぜ黒い,” 2017 年 5 月 17 日, 29 面.
7. 産経新聞, “アルミに凸凹で色彩表示 理研、微細加工し波長制御,” 2017 年 5 月 11 日, 11 面 (大阪版は 2017 年 5 月 30 日 夕刊 2 面).
8. 科学新聞, “アルミニウムのナノ構造体利用,” 2017 年 5 月 12 日, 4 面.

9. 毎日新聞, “微細な凸凹で多様な彩色 アルミの薄い膜を使い,” 2017 年 5 月 11 日, 朝刊 14 面 (大阪版は 16 面) .
10. 日刊工業新聞, “物質表面のナノ構造アルミ 思い通りの色彩に,” 2017 年 4 月 27 日, 朝刊 24 面 .
11. 化学工業日報, “発色自在なナノ構造体 大きさや間隔調整 特定波長を反射 表示材料などに期待,” 2017 年 4 月 27 日, 朝刊 1 面 .
12. 日経産業新聞, “金属使い微細凹凸加工で彩色,” 2017 年 4 月 27 日, 朝刊 8 面 .

量子オプトエレクトロニクス研究チーム / Quantum Optoelectronics Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato, “Single carbon nanotubes as ultrasmall all-optical memories,” ACS Photonics 5, 559, (2018).
2. H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato, “Spectral tuning of optical coupling between air-mode nanobeam cavities and individual carbon nanotubes,” Appl. Phys. Lett. 112, 021101, (2018).
3. A. Ishii, T. Uda, Y. K. Kato, “Room-Temperature Single-Photon Emission from Micrometer-Long Air-Suspended Carbon Nanotubes,” Phys. Rev. Applied 8, 054039, (2017).
4. N. Higashide, M. Yoshida, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato, “Cold exciton electroluminescence from air-suspended carbon nanotube split-gate devices,” Appl. Phys. Lett. 110, 191101, (2017).

(2) 著書・解説など / Book Editions, Review Papers

1. 加藤雄一郎, “カーボンナノチューブから一粒の光を取り出す” (第二章 2-4), 藤田静雄編著『カーボンが創る未来社会——種類の元素の様々な構造に支えられて』, 丸善プラネット, pp.81-92, (2017).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Y. K. Kato, “Single-carbon-nanotube photonics and optoelectronics,” JSAP-OSA Joint Symposia, the 78th JSAP Autumn Meeting 2017, Fukuoka, Japan, September 7, (2017).
2. Y. K. Kato, “Single-carbon-nanotube photonic devices,” Fundamental Optical Processes in Semiconductors (FOPS), Stevenson, Washington, USA, August 30, (2017).
3. Y. K. Kato, “Exciton-exciton annihilation and exciton-carrier interactions in carbon nanotubes,” PKU-UTokyo NanoCarbon Workshop, Tokyo, Japan, July 28, (2017).
4. Y. K. Kato, “Single-carbon-nanotube photonics and optoelectronics,” 2nd Japan-China International Workshop on Quantum Technologies (QTech2017), Tokyo, Japan, June 13, (2017).
5. Y. K. Kato, “Optical Bistability in Air-Suspended Carbon Nanotubes,” 231st Electrochemical Society Meeting, New Orleans, Louisiana, USA, May 31, (2017).

眼疾患クラウド診断融合連携研究チーム / Cloud-Based Eye Disease Diagnosis Joint Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. K. Omodaka, et al., “Classification of optic disc shape in glaucoma using machine learning based on quantified ocular parameters,” PLoS ONE 12(12): e0190012, (2017).

(2) 招待講演 / Invited Talks

1. 秋葉正博, “OCT の新しい展開 —技術の立場から—,” 眼光学アップデートセミナー, 東京, 8 月 17 日, (2017).

(3) 特許出願 / Patent Applications

1. 秋葉正博, 横田秀夫, 安光州, 中澤徹, 面高宗子, “眼科情報処理システム, 眼科情報処理方法, プログラム, 及び記録媒体,” 特願 2017-124825, 2017 年 6 月 27 日 .

(4) 特筆すべき事項・トピックス / Topics

1. 理研プレスリリース, “緑内障の視神経乳頭形状の自動分類,” 2017 年 12 月 27 日 .

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. B. Xu, W. J. Hu, W. Q. Du, Y. L. Hu, C. C. Zhang, Z. X. Lao, J. C. Ni, J. W. Li, D. Wu, J. R. Chu, and K. Sugioka, "Arch-like microsorters with multi-modal and clogging-improved filtering functions by using femtosecond laser multifocal parallel microfabrication," *Opt. Express* 25, 16739-16753, (2017).
2. B. Xu, Y. Shi, Z. Lao, J. Ni, G. Li, Y. Hu, J. Li, J. Chu, D. Wu, and K. Sugioka, "Real-time two-photon lithography in controlled flow to create a single-microparticle array and particle-cluster array for optofluidic imaging," *Lab Chip* 18, 442-450, (2018).
3. D. Serien, H. Kawano, A. Miyawaki, K. Midorikawa, and K. Sugioka, "Femtosecond laser direct write integration of multi-protein patterns and 3D microstructures into 3D glass microfluidic devices," *Appl. Sci.* 8, 147, (2018). Invited paper
4. Y. Hu, S. Rao, S. Wu, P. Wei, W. Qiu, D. Wu, B. Xu, J. Ni, L. Yang, J. Li, J. Chu, and K. Sugioka, "All-glass 3D optofluidic microchip with built-in tunable microlens fabricated by femtosecond laser-assisted etching," *Adv. Opt. Mater.* 1701299, (2018). Online DOI: 10.1002/adom.201701299.
5. S. Bai, D. Serien, A. Hu, and K. Sugioka, "Three-dimensional microfluidic SERS chips fabricated by all-femtosecond-laser-processing for real-time sensing of toxic substances," *Adv. Func. Mater.* 1706262, (2018). Online DOI: 10.1002/adfm.201706262.

(2) 著書・解説など / Book Editions, Review Papers

1. K. Sugioka, "Progress in ultrafast laser processing and future prospects," *Nanophotonics* 6, 393-413, (2017).
2. F. Sima, K. Sugioka, R. Martínez Vázquez, R. Osellame, L. Kelemen, and P. Ormos, "Three-dimensional femtosecond laser processing for lab-on-a-chip applications," *Nanophotonics* 6, <https://doi.org/10.1515/nanoph-2017-0097>
3. F. Sima, J. Xu, and K. Sugioka, "Ultrafast laser-induced phenomena inside transparent materials," A. Caricato et al. (Eds.) *Pulsed Laser Ablation: Advances and Applications in Nanoparticles and Nanostructuring Thin Films*, (Pan Stanford Publishing, Singapore) p. 357-398, (2017).
4. M. K. Bhuyan and K. Sugioka, "Ultrafast laser micro and nano processing of transparent materials – From fundamentals to applications," P. Ossi (Ed.), *Lasers in Materials Science*, (Springer, Berlin). in press
5. K. Sugioka, T. Matsuda, and Y. Ito, "Photofabrication," Y. Ito (Ed.), *Photochemistry for Biomedical Applications*, (Springer, Berlin). in press
6. 杉岡幸次, "超短パルスレーザープロセッシング - 最新の研究動向から産業応用まで -", *光アライアンス*, 28, 36-41, (2017).
7. 杉岡幸次, "フェムト秒ベッセルビームによる微細加工," *OPTRONICS*, 424, 133-138, (2017).
8. 杉岡幸次, "2.7 レーザ加工分野の市場動向 : 2.7.1 はじめに," 平成 28 年度光産業技術に関する報告書 ((財) 光産業技術振興協会編), p.209-213, (2017).
9. 杉岡幸次, "2.7 レーザ加工分野の市場動向 : 2.7.3 おわりに," 平成 28 年度光産業技術に関する報告書 ((財) 光産業技術振興協会編), p.245-246, (2017).
10. 杉岡幸次, Manoj Kumar Bhuyan, "フェムト秒ベッセルビームによる微細穴あけ加工," *機械技術*, 11, 22-27, (2017).
11. 杉岡幸次, "フェムト秒レーザーによる 3 次元加工とそのバイオ応用," *レーザー協会誌*, 42(3), 1-6, (2018).
12. 杉岡幸次, "整形フェムト秒ベッセルビーム加工 - 高アスペクト比シリコン貫通穴の作製 -," *レーザー加工学会誌*, 25, (2018). in press
13. 杉岡幸次, "ビームマニピュレーションによる超短パルスレーザープロセッシング," *プラズマ核融合学会誌*, (2018). in press

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. K. Sugioka, "Advanced femtosecond laser processing for electronic and biological applications," 4th UKP-Workshop, Aachen, Germany, April, (2017). Keynote Talk
2. K. Sugioka, D. Serien, and K. Midorikawa, "3D Printing and Ship-in-a-Bottle Integration of Proteinaceous Microstructures by Femtosecond Laser Multiphoton Cross-Linking," 5th Int. Academy of Photon. and Laser Engin. (IAPLE) Conference, Kos, Greece, August, (2017). Keynote Talk
3. K. Sugioka, "Femtosecond laser 3D microprocessing for fabrication of advanced biochips: hybrid approach of subtractive, additive and undeformative processing," *Int. Laser Symp. & Int. Symp. Tailored Joining 2018*, Dresden, Germany, February, (2018). Keynote Talk
4. K. Sugioka, "Hybrid and tailored femtosecond laser microprocessing," 2017 Int. Pioneer Forum on Laser-Enabled Micro/Nano-Applications (LEMA 2017), Changzhou, China, May, (2017).

5. D. Serien and K. Sugioka, "Integrating biomimetic proteinaceous microstructures into glass microfluidics by femtosecond laser direct writing," The 8th Shanghai-Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (STAR8), Hayama, Dunhuang, China, May, (2017).
6. K. Sugioka, F. He, and Y. Cheng, "Tailored femtosecond laser beams for high aspect ratio Si drilling," 2017 Light Conference, Changchun, China, July, (2017).
7. K. Sugioka, F. He, and Y. Cheng, "Tailored Femtosecond Bessel Beam Processing - Application to Through Si Vias for 3D Si ICs -," JSAP - OSA Joint Symp. 2017, Fukuoka, Japan, (2017).
8. K. Sugioka, F. He, and Y. Cheng, "Tailored Femtosecond Bessel Beam for High Aspect-Ratio Through Hole Drilling," 25th Int. Conf. on Advanced Laser Technology (ALT' 17), Busan, Korea, September, (2017).
9. K. Sugioka, D. Serien and K. Midorikawa, "Femtosecond laser 3D printing of proteinaceous micro and nanostructures," 26th Int. Cong. on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2017), San Diego, USA, October, (2017).
10. K. Sugioka, F. Sima, D. Serien, and K. Midorikawa, "Ship-in-a-bottle femtosecond laser integration of 3D polymer nano-channels inside a closed glass microfluidic structure for study of cancer cell migration," SPIE Int. Conf. on Synthesis and Photonics of Nanoscale Materials XV (SPNsM-XV), San Francisco, USA, January, (2018).
11. 杉岡幸次, "複合フェムト秒レーザー 3次元加工によるバイオチップの作製," 第 87 回レーザー加工学会講演会, 東京, 4 月, (2017) . 特別講演
12. 杉岡幸次, "超短パルスレーザー加工の基礎と応用," 平成 29 年度レーザー加工技術展専門技術セミナー, 東京, 4 月, (2017).
13. 杉岡幸次, Fei He, Ya Cheng, "最適化した超短パルスベッセルビームによる高品質・高アスペクト Si 貫通穴の形成," 第 1 回レーザープロセッシング助成研究成果発表会, 伊勢原市, 6 月, (2017).
14. 杉岡幸次, "整形ビームによる高機能レーザー加工," 光産業技術振興協会平成 29 年度第 1 回多元技術融合光プロセス研究会, 東京, 7 月, (2017).
15. 杉岡幸次, "フェムト秒ベッセルビームによる微細加工," 月刊オプトロニクス特集連動特別セミナー『光波・ビーム制御技術によるレーザー加工法を考察!』, 東京, 9 月, (2017).
16. 杉岡幸次, "レーザー加工分野の最新動向," 平成 29 年光産業技術振興協会光産業動向セミナー, 千葉, 10 月, (2017) .
17. 杉岡幸次, Fei He, Ya Cheng, "整形フェムト秒ベッセルビームによる Si 貫通穴加工," 第 88 回レーザー加工学会講演会, 大阪, 10 月, (2017) .
18. 杉岡幸次, F. SIMA, 河野 弘幸, 宮脇 敦史, 緑川克美, "複合フェムト秒レーザー 3 次元加工による疑似生体バイオチップの作製と応用," レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会, 京都, 1 月, (2018) .

(4) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meetings, Symposiums and Seminars

1. 18th Int. Sym. on Laser Precision Microfabrication (LPM 2017), Toyama, Japan, June, (2017).
2. SPIE Photonics West LASE 2018, San Francisco, USA, January-February, (2018).
3. エクストリームフォトリクスセミナー, 熊谷寛, "超解像技術 - 3 次元空間への応用展開," 和光, 4 月 12 日, (2017).
4. エクストリームフォトリクスセミナー, 中村大輔, "レーザー生成ドロップレットを利用した半導体ナノ・マイクロ結晶球の合成," 和光, 4 月 12 日, (2017).
5. エクストリームフォトリクスセミナー, Reinhart Poprawe, "Innovation of Digital Photonic Production along the lines of Industrie 4.0," 和光, 4 月 20 日, (2017).
6. エクストリームフォトリクスセミナー, Jan Dubowski, "Digital Photocorrosion of GaAs/AlGaAs Heterostructures: Biosensing Applications," 和光, 6 月 12 日, (2017).
7. エクストリームフォトリクスセミナー, Wolfgang Kautek, "Mechanical and Thermal Coupling of Ultrashort Laser Pulses with Solids," 和光, 2 月 22 日, (2018).

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. 小山美緒, 野竹孝志, 伊藤弘昌, 南出泰亜, “非位相整合第二高調波発生による光学結晶の品質計測と非線形係数相対評価,” レーザー研究, Vol.45, No.12, pp.773-778, (2017.12)
2. Kouji Nawata, Shin'ichiro Hayashi, Hideki Ishizuki, Kousuke Murate, Kazuki Imayama, Yuma Takida, Vincent Yahia, Takunori Taira, Kodo Kawase, and Hiroaki Minamide, “Effective Terahertz Wave Parametric Generation Depending on the Pump Pulse Width Using a LiNbO₃ Crystal,” IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol., Vol. 7, No.5, PP. 617-620, (Sep. 2017).
3. Y. Takida, K. Nawata, S. Suzuki, M. Asada, and H. Minamide, “Nonlinear optical detection of terahertz-wave radiation from resonant tunneling diodes,” Opt. Express, Vol. 25, No. 5, pp. 5389-5396, Featured in Advances In Engineering, (Aug. 4, 2017).
4. Yuta Ishii, Yuma Takida, Yoshiaki Kanamori, Hiroaki Minamide and Kazuhiro Hane, “Fabrication of Metamaterial Absorbers in THz Region and Evaluation of the Absorption Characteristics,” 電気学会論文誌 E, 第 136 巻, 第 5 号, pp. 172-179 (2016) (selected by Electronics and Communications in Japan, Vol. 100, No. 4, pp.15-24.), (March 8, 2017).

(2) 著書・解説など / Book Editions, Review Papers

1. 南出泰亜, “テラヘルツ波電磁波領域を切り開くニオブ酸リチウム結晶,” レーザー研究, Vol.45, No.12, pp.757-761, (2017.12)
2. 南出泰亜, 縄田耕二, 瀧田佑馬, “高効率非線形光学波長変換によるテラヘルツ波発生検出技術,” フォトニクスニュース Photonics Division, Vol.3, No.3, pp.105-109, (2017.12)

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. H. Ito, “THz-wave Coherent Sources,” Mid-Infrared Coherent Sources 2018, MT1C.1, Hilton Strasbourg, Strasbourg, France, March 27, (2018).
2. Hiroaki Minamide, “STATE-OF-THE-ART NONLINEAR OPTICAL WAVELENGTHCONVERSION BETWEEN TERAHERTZ WAVE AND NEAR-INFRARED LIGHT,” The 10th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS10), American University of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates, March 10-13, (2018).
3. Hiroaki Minamide, Kouji Nawata, “Backward THz-wave parametric oscillation with tenability,” The International Workshop on Terahertz Technology (IWOTT 2018), Pyeongchang, Korea, January 7-10, (2018).
4. Hiroaki Minamide, “Lithium niobate as a nonlinear optical crystal exploring Terahertz-wave region,” The 4th International Symposium on Microwave/Terahertz Science and Applications & the 8th International Symposium on Terahertz Nanoscience, Okayama, Japan, November 19-23, (2017).
5. Y. Takida and H. Minamide, “Nonlinear optical detection of terahertz waves from sub-nanosecond pulses to continuous wave,” 6th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2017), #4, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA, October 2, (2017).
6. Hiromasa Ito, “Nonlinear materials and their efficient THz-wave generation / detection -Progress and prospects-,” Advanced Solid State Lasers Conference, AW3A.1, Nagoya Congress Center, October 4, (2017).
7. K. Nawata, and H. Minamide, “Pioneering Terahertz-wave Technology based on Nonlinear Optics,” The 24th Congress of the International Commission for Optics (ICO-24), W1E-06, Keio Plaza Hotel, Tokyo, Japan, August 23, (2017).
8. H. Minamide and Y. Takida, “Intense tera-photonics source and power calibration,” XXXIInd International Union of Radio Science General Assembly & Scientific Symposium (URSI GASS 2017), A11-2, Montreal convention center, Montreal, Canada, August 23, (2017).
9. Hiroaki Minamide, “Terahertz-wave technology based on nonlinear optics,” 9th International Conference on Advanced Materials (ROCAM 2017), Bucharest, Romania, July 11-14, (2017).
10. Hiroaki Minamide, “Efficient terahertz-wave generation and detection based on dynamic nonlinear effect,” XXXVII Dynamics Days Europe 2017 (DDE2017), Szeged, Hungary, June 5-9, (2017).
11. Y. Takida and H. Minamide, “Frequency-domain spectroscopy using high-power tunable THz-wave sources: towards THz sensing and detector sensitivity calibration,” SPIE Defense + Commercial Sensing, 10210-28, Anaheim, CA, USA, April 11, (2017).
12. 縄田耕二, 南出泰亜, “究極の波長変換による社会実装を目指したテラヘルツ波デバイス開発” テラヘルツ科学の最前線IV, Inv06, KKR ホテル熱海, 静岡, 12 月 6 日, (2017).
13. 瀧田佑馬, 南出泰亜, “非線形光学波長変換によるテラヘルツ波検出の最先端～サブナノ秒パルスから CW まで～,” 電子情報通信学会テラヘルツ応用システム研究会, 京都大学, 8 月 7 日, (2017).

(4) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meeting, Symposiums and Seminars

1. 理研セミナー, 理研仙台, “新材料の理論設計は可能 -90 年も間違って教えられて来た磁性理論の正しい理解-,” 川添良幸, 東北大学, 9 月 19 日, (2017)
2. 理研セミナー, 理研仙台, “THz cyclotron emission from Dirac-like fermions in bulk HgCdTe,” Wojciech KNAP, Montpellier University, 11 月 14 日, (2017)
3. 理研セミナー, 理研仙台, “ALD (Atomic Layer Deposition) プロセス技術現状と課題,” 熊野勝文, 東北大学, 12 月 20 日, (2017)
4. 理研セミナー, 理研仙台, “デュアル THz コム分光の応用と汎用化,” 安井 武史, 徳島大学, 3 月 1 日, (2018)

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 南出泰亜, 森口祥聖, “テラヘルツ波発生方法、及びテラヘルツ波発生装置,” 特願番号 2017-155165, 2017 年 8 月 10 日出願

(6) 特筆すべき事項・トピックス / Topics

1. マイナビニュース, “小型の疑似位相整合デバイスだけでテラヘルツ波の発振が可能に,” 2018 年 2 月 15 日

テラヘルツイメージング研究チーム / Terahertz Sensing and Imaging Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. S. Yamazaki, M. Harata, T. Idehara, K. Konagaya, H. Hoshina, Y. Ogawa “Actin polymerization is activated by terahertz irradiation,” Scientific Reports, Submitted, (2017).
2. I. Yoshimine, Y. Y. Tanaka, T. Shimura and T. Satoh, “Unidirectional control of optically induced spin waves,” EPL (Europhysics Letters), Vol. 117, No.6, 67001, (2017).
3. T. Nagasaki *et al.*, “GroundBIRD - observation of CMB polarization with a high-speed scanning and MKIDs,” J. Low Temperature Phys., submitted, (2017).
4. H. Kutsuma *et al.*, “Optimization of geomagnetic shielding for MKIDs mounted on rotating cryostat,” JLTP に投稿中, JLTP-D-17-00329.
5. N. Yaekashiwa, S. Otsuki, S. Hayashi, and K. Kawase, “Investigation of the non-thermal effects of exposing cells to 70-300 GHz irradiation using a widely tunable source,” Journal of Radiation Research, Vol. 59, Issue 2, pp. 116-121, (2018).
6. M. Mizuno, N. Yaekashiwa, and S. Watanabe, “Analysis of Dermal Composite Conditions Using Collagen Absorption Characteristics in THz Range,” Biomedical Optics Express, Vol. 9, No. 5, 2277-2283(2018).
7. D. Marlina, H. Sato, H. Hoshina, Y. Ozaki, “Intermolecular interactions of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (P(HB-co-HV)) with PHB-type crystal structure and PHV-type crystal structure studied by low-frequency Raman and terahertz spectroscopies,” Polymer, Vol. 135, 17, pp. 331-337(2018).
8. C. Funaki, S. Yamamoto, H. Hoshina, Y. Ozaki, H. Sato, “Three different kinds of weak C-H/O^{1/4}C inter- and intramolecular interactions in poly(ε-caprolactone) studied by using terahertz spectroscopy, infrared spectroscopy and quantum chemical calculations,” Polymer, Vol.137, 14, pp.245-254(2018).
9. H. Watanabe, S. Mima, S. Oguri, M. Yoshida, M. Hazumi, H. Ishino, H. Ishitsuka, A. Kibayashi, C. Otani, N. Sato, O. Tajima, N. Tomita, “Development of Novel Optical Coupling with Ground-side Absorption for Antenna-coupled Kinetic Inductance Detectors,” IEICE Trans. Electron. vol. E100-C, pp. 298-304, (2017).
10. [Invited Paper] M. Ohno, T. Irimatsugawa, H. Takahashi, C. Otani, S. Kohjiro, T. Yasumune, K. Takasaki, C. Ito, T. Ohnishi, S. Koyama, S. Hatakeyama, R. M. Thushara. Damayanthi, “Superconducting Transition Edge Sensor for Gamma-ray spectroscopy,” IEICE Trans. Electron. vol. E100-C, no. 3, pp. 283-290, (2017).
11. C. Funaki, T. Toyouchi, H. Hoshina, Y. Ozaki, H. Sato, “Terahertz imaging of the distribution of crystallinity and crystalline orientation in a poly(ε-caprolactone) film,” Applied Spectroscopy, 71(7), pp.1537-1542, (2017).
12. S. Yamamoto, M. Miyada, H. Sato, H. Hoshina, Y. Ozaki, “Low-Frequency Vibrational Modes of Poly(glycolic acid) and Thermal Expansion of Crystal Lattice Assigned Based on DFT-Spectral Simulation Aided with a Fragment Method,” The Journal of Physical Chemistry Part B, 121, pp.1128-1138, (2017).
13. J. Choi, R. Génova-Santos, M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, F. Kanno, K. Karatsu, K. Kiuchi, R. Koyano, H. Kutsuma, K. Lee, S. Mima, M. Minowa, M. Nagai, T. Nagasaki, M. Naruse, S. Oguri, T. Okada, C. Otani, R. Rebolo, J. Rubiño-Martín, Y. Sekimoto, J. Suzuki, T.

Taino, O. Tajima, N. Tomita, T. Uchida, E. Won and M. Yoshida, "Status of the GroundBIRD Telescope," The European Physical Journal Conferences, 168(2):01014, (2018).

14. C. Funaki, S. Yamamoto, H. Hoshina, Y. Ozaki, H. Sato, "Three different kinds of weak C-H/O $\frac{1}{4}$ C inter- and intramolecular interactions in poly(ϵ -caprolactone) studied by using terahertz spectroscopy, infrared spectroscopy and quantum chemical calculations," Polymer, 137, (2018).
15. P. Tapsanit, M. Yamashita, C. Otani, S. Krongsuk, C. Ruttanpun, "Closed-form formulae of effective parameters of hyperbolic metamaterial made by stacked hole-array layers working at terahertz or microwave radiation," Journal of the Optical Society of America B, Vol. 34, No. 9, pp. 1930-1936, (2017).

(2) 著書・解説など／Book Editions, Review Papers

1. 大谷知行, "テラヘルツ波によるイメージングとセンサー技術," 化学工業, 2017 年 7 月号, pp. 47-51, (2017).
2. 大谷知行, 竇迫巖, "テラヘルツ波応用のベンチマーク," 国立国会図書館「冷戦後の科学技術政策の変容: 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Transformation of Science and Technology Policies in the Post-Cold War Era), pp. 121-142, (2017).
3. 大谷知行, "1.2.4 テラヘルツ波利用技術の動向と展望," 平成 28 年度光技術動向調査報告書, pp. 20-27, (2017).
4. 大谷知行, "総論 - テラヘルツ波利用の幕明け -," 月刊 OPTRONICS, 2017 年 11 月号 (Vol.36, No.431) pp.100-103, (2017).

(3) 招待講演／Invited Talks

1. 大谷知行, "テラヘルツ波利用応用への期待," 月刊オプトロニクスセミナー「テラヘルツ波利用の幕明け」, 東京, 2 月, (2018).
2. 大谷知行, "有機材料のテラヘルツ分光と物質改変の可能性", 日本学術振興会第 142 委員会「インテリジェント有機材料部会 第 136 回研究会」, 東京, 2 月, (2018).
3. C. Otani, "Terahertz Sensing, Imaging and Applications," Seminar at Seoul University, Seoul, South Korea, January, (2018).
4. 美馬寛, "はじめての超伝導デバイスプロセス+国内インフラ紹介," TIA かけはし事業「簡単・便利な超伝導計測」研究会, 和光市, 1 月, (2018).
5. C. Otani, "Terahertz Sensing, Imaging and Applications," 1st NIP-RIKEN Joint Research Workshop, Quezon City, Philippines, November, (2017).
6. H. Hoshina, "Macromolecular Structures Investigated by Terahertz Waves," MTSA2017, Okayama, Japan, November, (2017).
7. 保科宏道, 岩崎洋, 米谷英里子, 岡本真人, 大谷知行, "テラヘルツ分光によるポリマー結合水のダイナミクスの解明", 第 5 回 光量子工学研究, 仙台, 11 月, (2017).
8. 大谷知行, "[基調講演] はじめに," 第 9 回テラヘルツビジネスセミナー (THz-biz 2017), 東京, 10 月, (2017).
9. H. Hoshina, C. Otani, "Observation and manipulation of polymer structures by terahertz wave," Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2017), Troy, NY, USA, October, (2017).
10. C. Otani, H. Hoshina, H. Suzuki, M. Nagai, K. Kawase, A. Irizawa, G. Isoyama, "Enhanced crystallization of polymer by high-power THz radiation," 25th International Conference on Advanced Laser technologies (ALT'17), Pusan, South Korea, September, (2017).
11. 大谷知行, "テラヘルツ光～見えない光の魅力と可能性～," 理研仙台一般公開, 仙台, 7 月, (2017).
12. 大谷知行, "宇宙の始まりを超伝導ミリ波検出器で探る," 公開講演会「マイナス約 270 度の冷たい検出器で探る暑い宇宙と宇宙の創生」, 久留米, 7 月, (2017).
13. 大谷知行, "テラヘルツセンシング・イメージングと応用可能性～テラヘルツ光が拓くイノベーション～," 理研イブニングセミナー, 東京, 6 月, (2017).
14. H. Hoshina, "Application of Terahertz Waves for Polymer Science," The 6th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2017), Fukui, Japan, June, (2017).
15. H. Hoshina, "Potential of THz waves for manipulating macromolecular structure," THz Mansion Meeting, Newport, RI, USA, May, (2017).
16. 大谷知行, "ソフトマテリアルのテラヘルツ分光と応用," 学振 182 委員会, 東京, 4 月, (2017).
17. C. Otani, "Crystallization of Polymer by Intense THz radiation," 10th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS10), Sharjah, UAE, March, (2017).

(4) 会議、シンポジウム、セミナー主催／Meeting, Symposiums and Seminars

1. 第 9 回テラヘルツビジネスセミナー, 幕張, 10 月, (2017).

2. The 4th International Symposium on Microwave and Terahertz Science and Applications (MTSA 2017), Okayama, Japan, November, (2017).

(5) 特許出願／Patent Applications

1. 保科宏道, 大谷知行, 岩崎洋, 米谷恵里子, 岡本真人, “樹脂組成物、並びにそれを用いた成形体及び多層構造体,” 特願 2017-169019, 2017 年 9 月 1 日.

(6) 特筆すべき事項・トピックス／Topics

1. Nature Photonics, “Terahertz surprises,” vol.12, 124-130, February 26, (2018).
2. Chemical & Engineering News, “Terahertz radiation probes polymers,” August 16, (2016).

テラヘルツ量子素子研究チーム／Terahertz Quantum Device Research Team

(1) 原著論文 (accept を含む)／Original Papers

1. K. Wang, T. T. Lin, L. Wang, W. Terashima and H. Hirayama: “Controlling loss of waveguides for potential GaN terahertz quantum cascade lasers by tuning the plasma frequency of doped layers,” Japanese Journal of Applied Physics, accept. (2018).
2. M. Jo, H. Hirayama: “Effects of Ga supply on the growth of (11-22) AlN on m-plane (10-10) sapphire substrates,” Phys. Status Solidi B, pp. 1700418-1-4, (2018).
3. N. Maeda, M. Jo and H. Hirayama: “Improving the light-extraction efficiency of AlGaIn DUV-LEDs by using a superlattice hole spreading layer and an Al reflector,” Phys. Status Solidi A, pp. 1700436-1-5, (2018).
4. Y. Kashima, N. Maeda, E. Matsuura, M. Jo, T. Iwai, T. Morita, M. Kokubo, T. Tashiro, R. Kamimura, Y. Osada, H. Takagi and H. Hirayama: “High external quantum efficiency (10%) AlGaIn-based deep-ultraviolet light-emitting diodes achieved by using highly reflective photonic crystal on p-AlGaIn contact layer,” Applied Physics Express, No. 11, Vol. 1, pp. 012101-1-4, (2018).
5. T. T. Lin and H. Hirayama: “Variable Barrier Height AlGaAs/GaAs Quantum Cascade Laser Operating at 3.7 THz,” physica status solidi (a), pp. 1700424, (2017).
6. T. T. Lin and H. Hirayama: “Design for stable lasing of an indirect injection THz quantum cascade laser operating at less than 2 THz,” International Journal of Materials Science and Applications, Vol. 6, No. 5, pp. 230-234, (2017).
7. M. Jo, I. Oshima, T. Matsumoto, N. Maeda, N. Kamata and H. Hirayama: “Structural and electrical properties of semipolar (11 - 22) AlGaIn grown on m - plane (1 - 100) sapphire substrates,” physica status solidi c, Vol. 14, No. 8, pp. 1600248-1-3, (2017).
8. B. T. Tran, H. Hirayama, M. Jo, N. Maeda, D. Inoue and T. Kikitsu: “High-quality AlN template grown on a patterned Si (111) substrate,” Journal of Crystal Growth, Vol. 468, No. 15, pp. 225-229, (2017).

(2) 著書・解説など／Book Editions, Review Papers

1. 平山秀樹: “AlGaIn 深紫外 LED の進展と応用への展望,” 電気評論 9 月号, 2017 年 9 月 8 日.
2. 平山秀樹: “殺菌用深紫外 LED の進展と今後の展望,” 光アイアンス・Vol. 28, No. 10, pp. 52-55, 2017 年 10 月号.
3. 平山秀樹: “AlGaIn 深紫外 LED の進展と応用への展望,” 電気計算, 特集「LED の利用動向」, Vol. 85, No. 5, pp. 15-20, 2017 年 5 月号.
4. 平山秀樹, 光産業技術振興協会, 平成 29 年度光技術動調査, 「1.4.2 UVLED」, 2018 年 3 月
5. 鹿嶋行雄, 前田哲利, 松浦恵里子, 定昌史, 岩井武, 森田敏郎, 小久保光典, 田代貴晴, 上村隆一郎, 長田大和, 倉島優一, 高木秀樹, 平山秀樹, オプトロニクス誌, 2「フォトリック結晶深紫外 LED の実現」, 第 37 巻, 第 2 号, No. 434, pp. 76-81, 2018 年 2 月 10 日刊行.
6. 鹿嶋行雄, 前田哲利, 松浦恵里子, 定昌史, 岩井武, 森田敏郎, 小久保光典, 田代貴晴, 上村隆一郎, 長田大和, 倉島優一, 高木秀樹, 平山秀樹, “フォトリック結晶深紫外 LED の実現,” 信学技報, Vol. 117, No. 331, pp. 55-60, 2017.
7. 定昌史, 南聡史, 平山秀樹, “m 面サファイア上半極性 AlN のアニールによる高品質化,” 信学技報, Vol. 117, No. 331, pp. 91-94, 2017.
8. H. Hirayama, N. Kamata and K. Tsubaki, “AlGaIn-based deep-ultraviolet light-emitting diodes,” Chapter 10, “III-Nitride Based Light Emitting Diodes and Applications,” Springer, Part of the Topics in Applied Physics book series volume 133, pp. 267-299, 2017. DOI 10.1007/978-981-10-3755-9_10, ISSN 0303-4216.

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. 平山秀樹：“ノーベル賞受賞中村先生のご紹介，青色発光半導体開発のインパクト，”サイエンスシンポジウム，鈴木梅太郎ホール，理研，2月22日，(2018).
2. 平山秀樹：“AlGaN 深紫外 LED の進展と今後の展望，”LED 総合フォーラム 2018 in 徳島，徳島グランウィリオホテル，徳島，2月12日，(2018).
3. 平山秀樹：“高効率・深紫外線 LED の普及に向けて，”先端的低炭素化技術開発（ALCA）新技術説明会，JST 東京本部別館，東京，1月30日，(2018).
4. 平山秀樹：“AlGaN 深紫外 LED の高効率化技術，”サイエンス&テクノロジー社セミナー，大井町きゅりあん，東京，1月25日，(2018).
5. 平山秀樹：“殺菌用・深紫外 LED の進展，”第32回 JFCA テクノフェスタ「ニーズとシーズの出会いを求めて」，メルパルク東京，1月22日，(2018).
6. T. T. Lin: “Recent progress and future prospects of THz quantum cascade lasers,” National Chiao Tung University, Zhubei, Taiwan, December 25, (2017).
7. M. Jo and H. Hirayama: “Recent progress of AlGaIn-based deep-ultraviolet light-emitting diodes,” 8th International Conference and Exhibition on LASERS, OPTICS & PHOTONICS, Las Vegas, USA, November 16, (2017).
8. 平山秀樹：“深紫外 LED 高効率化の進展と展望，”光とレーザーの科学技術フェア 2016，科学技術館，11月16日，(2017).
9. 鹿嶋行雄，平山秀樹：“深紫外 LED の高効率光取り出し技術，”光とレーザーの科学技術フェア 2016，科学技術館，11月16日，(2017).
10. [Tutorial] H. Hirayama: “Recent progress of AlGaIn-based deep-UV LED,” The international workshop on UV materials and devices (IWUMD-2017), Fukuoka, Japan, November 14, (2017).
11. H. Hirayama: “Recent progress of high-efficiency AlGaIn deep-UV LEDs,” The International Forum on Wide Bandgap Semiconductors (IFWS 2017), Beijing, China, November 3, (2017).
12. 平山秀樹：“AlGaIn 深紫外 LED の最近の進展と展望，”第3回 JLEDS セミナー，LED 照明推進協議会会議室，2017年10月20日．
13. [Plenary] H. Hirayama: “Progress of AlGaIn UVC LED and challenge to GaN THz-QCL,” The 11th International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED 2017), Banff, Canada, October 12, (2017).
14. [Plenary] H. Hirayama: “Recent progress and future prospects of AlGaIn deep-UV LEDs,” The 8th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (APWS2017), Qingdao, China, September 27, (2017).
15. H. Hirayama, M. Jo, W. Terashima, N. Maeda, T. T. Lin, and K. Wang: “Current status and future of III-nitride ultraviolet and THz emitters,” 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2017), Sendai, Japan, September 20, (2017).
16. H. Hirayama, Y. Kashima, E. Matsuura, H. Takagi, N. Maeda, M. Jo, T. Iwai, T. Morita, M. Kokubo, T. Tashiro, R. Kamimura and Y. Osada: “Recent progress of high-efficiency AlGaIn deep-UV LED,” The 2017 European Materials Research Society Fall Meeting (2017 E-MRS), Warsaw, Poland, September 18, (2017).
17. 【注目講演】平山秀樹，鹿嶋行雄，松浦恵里子，高木秀樹，前田哲利，定昌史，岩井武，森田敏郎，小久保光典，田代貴晴，上村隆一郎，長田大和：“透明コンタクト層とレンズを用いた AlGaIn 深紫外 LED の WPE9.6%動作，”第78回応用物理学会秋季学術講演会，福岡国際会議場，9月5日，(2017).
18. 平山秀樹：“AlGaIn 系深紫外 LED の最近の進展と展望，”ナノ茶論，新川崎・創造のもり「NANOBIJ」，8月22日，(2017).
19. 平山秀樹：“殺菌・医療を目指した紫外線 LED の開発，”第39回日本光医学・光生物学会，JP タワー名古屋ホール，7月21日，(2017).
20. 平山秀樹：“殺菌用紫外 LED の開発と今後の展望”，OPIE' 17 赤外・紫外特別セミナー「紫外線技術の基礎，LED，レーザー」，パシフィコ横浜アネックスホール，4月21日，(2017).

(4) 特許出願 / Patent Applications

1. 王利，林宗澤，平山秀樹，“量子カスケードレーザー素子，”出願番号：2018-037012，出願日：2018年3月1日．

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. Shengyong Geng, Yuzhu Wang, Liping Wang, Tsutomu Kouyama, Toshiaki Gotoh, Satoshi Wada & Jin-Ye Wang : "A Light-Responsive Self-Assembly Formed by a Cationic Azobenzene Derivative and SDS as a Drug Delivery System," Scientific Reports, 7, Article number: 39202, (2017).
2. T. D. Kawahara, S. Nozawa, N. Saito, T. Kawabata, T. T. Tsuda, S. Wada : "Sodium temperature/wind lidar based on laser-diode-pumped Nd:YAG lasers deployed at Tromsø, Norway (69.6° N, 19.2° E)," Optics Express, 25, 12, A491-A501, (2017).
3. O. A. Louchev, S. Wada, V. Y. Panchenko : "Laser-Matter Interaction in Dielectrics: Insight from Picosecond-Pulsed Second-Harmonic Generation in Periodically Poled LiTaO₃," Physical Review Applied, 8, 024025, (2017).
4. T. Murakami, N. Saito, Y. Komachi, K. Okamura, T. Michikawa, M. Sakashita, S. Kogure, K. Kase, S. Wada, K. Midorikawa : "High Spatial Resolution Survey using Frequency-Shifted Feedback Laser for Transport Infrastructure Maintenance," Journal of Disaster Research, 12, 3, 546-556, (2017).
5. Nao Hidaka, Takashi Michikawa, Ali Motamedi, Nobuyoshi Yabuki, Tomohiro Fukuda : "Polygonization of point clouds of repetitive components in civil infrastructure based on geometric similarities," Automation in Construction, 86, 99-117, (2017).
6. M. Yumoto, N. Saito, S. Wada : "50 mJ/pulse, electronically tuned Cr:ZnSe master oscillator power amplifier," Opt. Exp, 25, 26, 32948-32956, (2017).

(2) 著書・解説など / Book Editions, Review Papers

1. 加瀬究, 斎藤徳人, 村上武晴, 坂下亨男, 小町祐一, 道川隆士, 岡村幸太郎, 木暮繁, 和田智之, 緑川克美 : "インフラの長寿命化を支える先進レーザー診断技術の研究開発," 自動車技術, 71, 4, 102-103, (2017).
2. 村上武晴, 斎藤徳人, 道川隆士, 小町祐一, 岡村幸太郎, 坂下亨男, 木暮繁, 加瀬究, 和田智之, 緑川克美 : "高空間分解スキャニングライダー: トンネル内壁面の精密調査に向けて," レーザー研究, 45, 7, 403-407, (2017).
3. 三和田靖彦 : "X線CTを用いた現物の三次元モデル化とCAEへの応用," シミュレーション, 36, 3, 30-31, (2017).
4. 湯本正樹, 斎藤徳人, 和田智之 : "電子波長制御 Cr:ZnSe レーザーと遠隔環境計測への応用," OplusE, 39, No.11, pp. 1077-1082, (2017).
5. 松山知樹 : "産地判別・品種内識別のためのDNAマーカー開発" 平成28年度アグリプラットフォームコンソーシアム年次報告書, 41-44, (2017).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Norihito Saito, Tomohiro Tsukihana, Takuya D. Kawahara, Satonori Nozawa, Tetsuya Kawabata, Takuo T. Tsuda, Satoshi Wada : "All-Solid-State Coherent Sodium Resonance Light Source: toward Stable Lidar Observation," 18th EISCAT symposium, Tokyo, Japan, May, (2017).
2. T. Ogawa, A. Eilanlou, M. Higuchi, S. Wada, K. Midorikawa : "Characterization of Yb-doped CaYAlO₄ single crystal for ultrafast lasers," The 12th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology, Hawaii, USA, May, (2017).
3. Satoshi Wada : "Advanced optical noninvasive sensing technology for health science," The 4th RIKEN/Karolinska Institutet/SciLifeLab Joint Symposium "Life Science Frontiers in Health, Disease and Aging," Kobe, Japan, November, (2017).
4. Satoshi Wada, Takayo Ogawa, Katsuhiko Tsuno : "Development of on-demand lasers and their sensing applications," The Eighth Symposium on Polar Science, Tachikawa, Japan, December, (2017)
5. Katsushi Fujii, Kayo Koike, Shinichiro Nakamura, Masakazu Sugiyama, Satoshi Wada : "Electric Energy System using Solar Cells with Hydrogen Storage," EMN 2018 Singapore Meeting, Singapore, January, (2017)
6. 和田智之 : "固体レーザー、ファイバーレーザーを利用した産業用紫外線レーザー," OPTICS & PHOTONICS International Exhibition (OPIE'17), 横浜市, 4月, (2017).
7. 和田智之, 樋口幹雄, 小川貴代 : "レーザーの高性能化のためのレーザー材料研究への要望," 日本結晶成長学会第100回バルク成長分科会研究会, 東京都千代田, 9月, (2017).
8. 和田智之 : "持続可能な社会に向けた光量子技術の応用," 理研シンポジウム 第1回 北九州市立大学X理化学研究所「未来を考える会」, 北九州市, 11月, (2017).
9. 和田智之 : "地上・宇宙からの光による地球環境計測," 第60回光波センシング技術研究会講演会「新分野・新産業を創出する光波センシング」, 新宿区(東京), 12月, (2017).

10. 和田智之, 小川貴代, 藤井克司, 小池 佳代: “太陽光励起レーザーの開発および水素によるエネルギーの貯蔵,” レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会, 京都市, 1 月, (2018).
11. 斎藤 徳人, 戎崎 俊一, 和田 智之: “宇宙デブリ除去とレーザー開発,” レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会, 京都市, 1 月, (2018).
12. 藤井 克司: “理研の水素エネルギーシステム研究開発 PJ の概要,” 理研と未来を創る会 第 23 回セミナー, 東京, 12 月, (2017).
13. 和田 智之: “光量子工学領域におけるエネルギー研究の目指すもの,” 理研と未来を創る会 第 23 回セミナー, 東京, 12 月, (2017).
14. 和田 智之: “香川県における植物栽培システム開発の進展および健康計測の実施例の紹介,” 健康・長寿の産業化・地域ブランド化推進セミナー, 高松市, 3 月, (2018).
15. Jen-Ye Wang: “Application of Solid-State Laser Technique in the Field of Biomedical Material,” 中国科技部 - 日本理研共同研究プロジェクト成果報告会, 杭州市, 中国, March, (2018)

(4) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meeting, Symposiums and Seminars

1. 理研セミナー “Development of compact high-power Nd:YAG laser for ophthalmology,” 和光, 12 月 19 日, (2017)
2. RAP セミナー “Laser and Gamma beam systems at the ELI-Nuclear Physics Project,” 和光, 8 月 14 日, (2018)
3. RAP セミナー “極冷ミュオンビームによる新しいミュオン異常時期能率・電気双極子能率の精密測定,” 和光, 2 月 16 日, (2018)
4. 理研シンポジウム “第一回「未来を考える会」,” 北九州市, 11 月 22 日, (2017)

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 山下大之, “直流バス電圧制御システム,” 2017-223808, 2017 年 11 月 21 日
2. 村上武晴, “撮像装置及び撮像システム,” 2018-035886, 2018 年 2 月 28 日
3. 道川隆士, “写真画像に映ったトンネル内壁の位置を同定する同定装置、同定方法、ならびに、プログラム,” 2018-006576, 2018 年 2 月 22 日

(6) 特筆すべき事項・トピックス / Topics

1. 山陽新聞 8 月 25 日: 和田智之「香川・土庄の太陽光植物工場」
2. NHK 高松放送「ゆう 6 かがわ」3 月 5 日: 和田智之「健康に着目した野菜の次世代栽培システムの研究・実証事業」
3. 時事通信社 iJAMP 12 月 17 日: 「機能性野菜の研究所開設 = 香川県」
4. 山陽新聞 6 月 17 日: 「(香川県、理研がレシピ集作成) 県産食材でヘルシーに」
5. 四国新聞 7 月 10 日: 「県産品で健康になろう (県と理研が「元気ごはん」レシピ)」
6. 四国新聞 12 月 9 日: 「土庄の植物工場取り組みを紹介 (理研が住民向けセミナー)」
7. NHK NEWS WEB、香川 NEWS WEB 12 月 10 日: 「水耕栽培で低コスト野菜目指す」
8. 山陽新聞 12 月 12 日: 「(人工光と太陽光併用) 低コスト植物工場開所」
9. 四国新聞 12 月 15 日: 「大型事業にどう対応 (産官学連携で活力創出)」
10. 四国新聞 3 月 1 日: 「県、疾病リスク解析へ (理研と連携 健康測定で実証実験)」
11. 静岡新聞 3 月 29 日: 「AOI プロジェクト研究開発状況を発表」
12. 山陽新聞 7 月 19 日: 「太陽光光源に農作物栽培」
13. 日経新聞 12 月 15 日: 「小豆島で植物工場 (香川県や理研、効率生産を研究)」

先端光学素子開発チーム / Photonics Control Technology Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. T. Hosobata, N. L. Yamada, M. Hino, Y. Yamagata, T. Kawai, H. Yoshinaga, K. Hori, M. Takeda, S. Takeda, and S. Morita, “Development of precision elliptic neutron-focusing supermirror,” Opt. Express 25, 20012-20024, (2017)
2. Yoshichika Seki, Atsushi Taketani, Takao Hashiguchi, Sheng Wang, Maki Mizuta, Yasuo Wakabayashi, Yoshie Otake, Yutaka Yamagata, Hidetada Baba, Koichi Kino, Katsuya Hirota, Shuji Tanaka, “Fast neutron transmission imaging of the interior of large-scale concrete structures using a newly developed pixel-type detector,” Nuclear Instruments and Methods A, 870 (2017) 148-155

3. N. Ebizuka, T. Okamoto, M. Uomoto, T. Shimatsu, M. Sasaki, A. Bianco, C. Packham, W. Aoki, "Diffraction Gratings for the Latest Visible and Infrared Astronomical Observations," 日本赤外線学会誌 26 (2), 32-39, (2017).

(2) 招待講演 / Invited Talks

1. Y. Yamagata, "Development of safe and easy-to-use compact neutron source," International conference on Neutron Optics (NOP2017), Nara, July, (2017)

(3) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meetings, Symposiums and Seminars

1. 理研セミナー, "光超音波イメージングによる皮膚の非侵襲計測技術," 伊田 泰一郎 (株式会社アドバンテスト), 和光, 7月11日 (2017).
2. 理研セミナー, "自動車の開発を支える計測・解析技術," 頼永 宗男 (株式会社 SOKEN), 東京, 7月11日, (2017).
3. 理研セミナー, "パルス中性子ブラッグエッジイメージング用結晶組織構造解析プログラム「RITS」," 佐藤 博隆 (北海道大学), 和光, 8月23日, (2017).
4. 理研セミナー, "AI・ICTを活用したスマート工場の実現とデータ人材," 高井 努 (アズビル株式会社), 東京, 2月14日, (2017).
5. VCAD システム研究会, 光学素子分科会, 和光, 2月15日, (2018)

(4) 特許出願 / Patent Applications

1. 特願 2017-157321 「レンズ一体光ファイバおよびその製造方法」 山形豊, 細島拓也, 森田晋也, 下平誠一郎, 町田祐太郎, 出願日 2017年8月17日
2. JP2017/013798 「透過型回折格子、光導波路、ならびに透過型回折格子の使用法および設計方法」 海老塚昇, 細島拓也, 山形豊, 岡本隆之, 尾崎忍夫, 出願日 2017年3月31日

中性子ビーム技術開発チーム / Neutron Beam Technology Team

(1) 原著論文 (accept を含む) / Original Papers

1. Yasuo Wakabayashi, Atsushi Taketani, Takao Hashiguchi, Yoshimasa Ikeda, Tomohiro Kobayashi, Sheng Wang, Mingfei Yan, Masahide Harada, Yujiro Ikeda, and Yoshie Otake: "A function to provide neutron spectrum produced from the $9\text{Be} + p$ reaction with protons of energy below 12 MeV," Journal of Nuclear Science and Technology, (2018.3), DOI:10.1080/00223131.2018.1445566
2. Yoshie Otake: "RIKEN Compact Neutron Systems with Fast and Slow Neutrons", Plasma and Fusion Research, Vol.13, (2018.3), DOI: 10.1585/pfr.13.2401017
3. Y. Ikeda, Y. Otake, M. Mizuta: "Nondestructive measurement for water and voids in concrete with compact neutron source," Plasma and Fusion Research Vol.13, (2018.3) DOI: 10.1585/pfr.13.2406005
4. Mingfei Yan, Huasi Hu, Yoshie Otake, Atsushi Taketani, Yasuo Wakabayashi, Shinzo Yanagimachi, Sheng Wang, Ziheng Pan, and Guang Hu: "Improved adaptive genetic algorithm with sparsity constraint applied to thermal neutron CT reconstruction of two phase flow," Measurement Science and Technology, (2018.2), DOI:10.1088/1361-6501/aaea4
5. 池田義雅, 高村正人, 箱山智之, 大竹淑恵, 熊谷正芳, 鈴木裕士: "小型中性子源の現場利用を目指した残留オーステナイト相分率測定手法の開発," 鉄と鋼 vol.104, No.3 (2018), DOI:10.2355/tetsutohagane.TETSU-2017-080
6. Tomohiro Kobayashi, Yota Matsubayashi, and Takayuki Terai: "Metallic particle formation by MeV proton irradiation in liquid," Surface and Coatings Technology, Volume 331, (2017.12), pp.206-210, DOI:10.1016/j.surfcoat.2016.09.070
7. T. Hakoyama, H. Nakano, and T. Kuwabara: "Fracture Prediction of Hole Expansion Forming Using Forming Limit Stress Criterion," AIP Conference Proceedings 1896, (2017) 20024, DOI:10.1063/1.5007981
8. C. Sekiguchi, T. Hakoyama, T. Kuwabara, and H. Fukiharu: "Development of Draw-bending Testing Method Using Digital Image Correlation System," AIP Conference Proceedings 1896, (2017), 20012, DOI:10.1063/1.5007969
9. 吉村雄一, 水田真紀, 須長秀行, 大竹淑恵, 林崎規祐: "小型加速器中性子源を利用したコンクリートにおける水の浸透性状評価," コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.17, (2017), pp.653-658
10. 池田義雅, 水田真紀, 大竹淑恵: "後方散乱中性子を利用した道路橋床版内の損傷可視化技術," コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.17, (2017), pp.285-290

11. 若林泰生, 吉村雄一, 水田真紀, 大竹淑恵, 池田裕二郎: “小型中性子源および即発ガンマ線を用いたコンクリート構造物内塩分濃度分布の非破壊診断技術の開発,” コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.17, (2017), pp.659-664
12. Yoshimiasa Ikeda, Yoshie Otake, and Maki Mizuta: “Nondestructive Measurement Method to Detect Water/Void inside Slabs using Compact Neutron Source by Backscattered Neutrons,” Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.15, No.10, (2017), pp.603-609, DOI:10.3151/jact.15.603
13. Yoshichika Seki, Atsushi Taketani, Takao Hashiguchi, Sheng Wang, Maki Mizuta, Yoshie Otake, Yutaka Yamagata, Hidetada Baba, Yasuo Wakabayashi, Koichi Kino, Katsuya Hirota, and Shuji Tanaka: “Fast neutron transmission imaging of the interior of large-scale concrete structures using a newly developed pixel-type detector,” Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 870, (2017), pp. 148-155, DOI:10.1016/j.nima.2017.07.022
14. Yoshie Otake, Yoshichika Seki, Yasuo Wakabayashi, Yoshimasa Ikeda, Takao Hashiguchi, Yuichi Yoshimura, Hideyuki Sunaga, Atsushi Taketani, Maki Mizuta, Yoshinobu Oshima, and Masahiro Ishida: “Research and Development of a Non-destructive Inspection Technique with a Compact Neutron Source,” Journal of Disaster Research, Vol.12 No.3, (2017), pp.585-592, DOI:10.20965/jdr.2017.p0585
15. Yoshichika Seki, Takenao Shinohara, Joseph D Parker, Wataru Yashiro, Atsushi Momose, Kosuke Kato, Hidemi Kato, Maryam Sadeghilaridjani, Yoshie Otake, and Yoshiaki Kiyonagi: “Development of Multi-colored Neutron Talbot-Lau Interferometer with Absorption Grating Fabricated by Imprinting Method of Metallic Glass,” Journal of the Physical Society of Japan, Vol.86 No.4, (2017), pp.044001-1-5, DOI:10.7566/JPSJ.86.044001
16. 高村正人: “せん断加工の有限要素シミュレーション,” 塑性と加工, 58-673, (2017.2), pp.120-124, DOI:10.9773/sosei.58.120
17. T. Kimata, S. Kato, T. Yamaki, S. Yamamoto, T. Kobayashi, and T. Terai: “Platinum nanoparticles on the glassy carbon surface irradiated with argon ions,” Surface and Coatings Technology, Volume 306 Part A, (2016.11), pp.123-126
18. 小峯隼人, 浅倉雅之, 外賀太朗, 木曾拓真, 高村正人, 杉山隆司, 浅川基男: “高張力鋼板を用いたハットチャンネルの絞り - 絞り戻り加工によるスプリングバック低減,” 塑性と加工, 57-660, (2016), pp.60-65

(2) 著書・解説など／Book Editions, Review Papers

1. Y.Otake: “Neutron Diffraction and Neutron Imaging with Compact Neutron Source,” Encyclopedia of Analytical Chemistry, eds R.A. Meyers, John Wiley: Chichester, (2018.3)
2. 高村正人: “590 ～ 980MPa 級ハイトン適用のためのシミュレーション活用のポイント,” プレス技術, 55-8, (2017.7), pp.50-53
3. 大竹淑恵: “橋や道路を非破壊検査する RANS” ,CROSS T&T, Vol.57, (2017.6), pp.46-48
4. 大竹淑恵: “小型パルス中性子源による鉄鋼研究の現状,” 入門鉄鋼分析技術III, 日本鉄鋼協会評価分析解析部会編, (2017), pp.307-315
5. 水田真紀, 吉村雄一, 若林泰生, 池田義雅, 小林知洋, 須長秀行, 大竹淑恵: “社会インフラのメンテナンスに貢献する小型中性子源”, 理研シンポジウム 第5回「光量子工学研究」, OS-08, (2017), pp.33-34
6. 大竹淑恵: “手元の中性子源で計測する鉄鋼材料特性,” 第54回X線材料強度に関する討論会講演論文集, 日本材料学会X線材料強度部門委員会, (2017), pp.3-7
7. 大竹淑恵: “加速器利用による小型中性子源とその応用,” 放射線と産業 / 放射線利用振興協会高崎事業所編, (142).6, (2017), pp.4-8

(3) 招待講演／Invited Talks

1. 大竹淑恵: “理研小型中性子源 RANS 回折装置による鉄鋼組織評価の現状と今後の小型の展開,” 日本鉄鋼協会第175回春季講演大会シンポジウム 茨城県中性子利用促進研究会 平成29年度集合組織分科会, “材料強度特性のミクロ組織メカニクスーX線・中性子の新しい視点ー,” 習志野市, 千葉, 3月19日, (2018).
2. 大竹淑恵: “小型中性子源 RANS とその応用例,” 豊田中央研究所講演会, 長久手, 愛知, 1月24日, (2018).
3. 大竹淑恵: “手元の中性子源で計測する鉄鋼材料特性,” 第54回X線材料強度に関する討論会 日本材料学会X線材料強度部門委員会, 東京都, 12月1日, (2017).
4. 大竹淑恵: “RANS1 による回折実験～中性子実験への新たな入口～ H29 年度金属組織研究会,” 東京都, 11月24日, (2017).
5. 高村正人: “板成形シミュレーションの進化と中性子ビーム計測技術,” 早稲田大学各務記念材料技術研究所 2017 年度教育プログラム, 東京都, 11月 (2017).
6. 高村正人: “FEM シミュレーションによる残留応力予測,” 日本金属プレス工業協会平成29年度第2回残留応力研究部会, 東京都, 1月, (2017).
7. M. Takamura, Y. Ikeda, H. Suzuki, M. Kumagai, Y. Oba, T. Hama and Y. Otake: “In-house texture measurement using compact

- neutron source," 18th International Conference on Textures of Materials (ICOTOM-18) Utah, USA, 5-8 November, (2017).8.
- Y.Otake : "RIKEN Accelerator-driven compact Neutron Source (RANS) with fast and slow neutron applications," Helmholtz Zentrum Berlin, Berlin, Germany, 11 October, (2017).
9. Y.Otake : "RIKEN compact neutron systems and its new application results," Laboratoire Leon Brillouin, Centre de Saclay, Saclay, France, October 9, (2017).
 10. Y.Otake: "RANS facility at RIKEN," The 3rd International H.B.S Meeting, Unke, Germany, October 6, (2017).
 11. Y.Otake : "RIKEN compact neutron systems and its new application results," Heinz Maier-Leibnitz Zentrum, Juelich Center for Neutron Scattering, Garching, Germany, October 4, (2017)
 12. 大竹淑恵: "理研小型中性子源システム RANS とその応用と検出器," 日本結晶成長学会 第 100 回バルク成長分科会研究会「最先端ユーザーが語るこれからの光学結晶 - レーザー関連材料および放射線計測材料を中心に -」, 東京都, 9 月 30 日, (2017).
 13. K.Mochiki, T.Uragaki, J.Koide, Y.Kushima, J.Kawarabayashi, A.Taketani, Y.Otake, Y.Matsumoto, Y.Su, K.Hiroi, T.Shinohara, and T.Kai : "Pulsed-Neutron Imaging by a High-Speed Camera and Center-of-Gravity Processing," Position sensitive detectors 11, Milton Keynes, England, September 3-8, (2017).
 14. 大竹淑恵: "ニーズから始まる理研加速器駆動小型中性子源 RANS、RANS2," 日本電機工業会加速器特別委員会, 東京都, 9 月 1 日, (2017).
 15. 大竹淑恵: "使える! 理研小型中性子源 RANS, RANS2," 平成 29 年度県内中性子利用連絡協議会 総会, ひたちなか市, 茨城県, 7 月 27 日, (2017).
 16. Yoshie Otake : "RIKEN Compact Neutron Systems and its New Application Results," International Conference on Neutron Scattering 2017 (ICNS2017), Daejeon, KOREA, July 11, (2017).
 17. Yoshie Otake : "RIKEN compact neutron systems with fast and slow neutron," 1st Joint Workshop RAP-JCNS, Wako, Japan, July 5, (2017).
 18. 高村正人: "小型中性子源 RANS による金属集合組織の計測," 第 33 回先端塑性加工技術コロキウム「放射光、中性子でわかる塑性変形の真実—基礎から実用へ」, 日本塑性加工学会 関西支部 若手の会, 佐用町, 兵庫, 6 月, (2017)
 19. 大竹淑恵: "中性子! 反射で見える! 橋の劣化や道路の中," 理化学研究所和光一般公開特別講演, 和光市, 埼玉, 4 月 22 日, (2017).
 20. 須長秀行: "材料計測の高度化による次世代の材料破断予測技術について," 第 3 回自動車技術に関する CAE フォーラム, 御茶ノ水, 東京, 3 月 7 日, (2017).

(3) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meetings, Symposiums and Seminars

1. 理研セミナー "中性子ミラーの応用," 田崎誠司准教授 (京都大学工学研究科原子核工学専攻), 和光市, 2 月 2 日, (2018).
2. 理研セミナー "中性子反射・屈折の原理と応用," 田崎誠司准教授 (京都大学工学研究科原子核工学専攻), 和光市, 1 月 16 日, (2018).
3. 理研セミナー 中性子シリーズ第 33 回 "米国における非破壊検査技術の社会インフラへの適用—日本の技術の海外展開の経験から—, 松本正人氏 (NEXCO-West USA, Inc., President and CEO), 和光市, 12 月 22 日, (2017).
4. 理研シンポジウム "小型中性子源 RANS が拓く中性子利用と大型施設との連携—インフラ・ものづくり産業利用での非破壊定量評価への挑戦—," 和光市, 12 月 21 日, (2017).
5. 理研セミナー "The Research Reactor BER II and Neutron Optics at the Helmholtz-Center Berlin," Dr.Thomas Krist, Helmholtz - Center Berlin for Materials and Energy, 和光市, 7 月 18 日, (2017).
6. "RIKEN Center for Advanced Photonics (RAP) - Jülich Centre for Neutron Science (JCNS) 1st Joint Workshop," Wako, July 4-5, (2017).
7. 理研セミナー "Neutron Scattering at MLZ and European Prospectives for New Neutron Sources," Dr. Alexander Ioffe, Head of Jülich Center for Neutron Science at Heinz Maier-Leibnitz Zentrum, 和光市, 7 月 3 日, (2017).
8. 理研セミナー "研究炉中性子ビームを利用した即発 γ 線分析とその応用," 松江秀明氏 (日本原子力研究開発機構研究炉加速器管理部 研究利用課マネージャー), 和光市, 6 月 19 日, (2017).
9. 理研セミナー "先進中性子デバイスと表面界面研究—中性子反射率計「写楽」を中心に—," 曾山和彦氏 (日本原子力研究開発機構原子力科学研究所部門 J-PARC センター物質・生命科学ディビジョン副ディビジョン長), 和光市, 6 月 13 日, (2017).
10. 理研セミナー "中性子が拓くセメント・コンクリート研究の可能性," 森一広准教授 (京都大学原子炉実験所粒子線基礎物性研究部門), 和光市, 3 月 30 日, (2017).

(5) 特筆すべき事項・トピックス／Topics

1. 電気新聞, “高性能鋼板 人室管理施設、小型に 原子力機構理研など 加速器中性子活用,” 2018 年 2 月 15 日
2. 化学工業日報, “理研、小型中性子源で成功 ハイテン高性能化に期待 鋼材相分率測定,” 2018 年 2 月 14 日
3. 科学新聞, “小型加速器中性子源システム RANS で オーステナイト相分率測定に成功,” 2018 年 2 月 9 日
4. 日刊工業新聞, “小型中性子源で分析 鋼材組織 製造現場の活用拡大 理研など新手法,” 2018 年 2 月 8 日
5. 日本経済新聞, “小型中性子源で材料分析 理研など 室内に入る大きさに,” 2018 年 2 月 6 日
6. 日本経済新聞 WEB “東京都市大と理研など、軽量化を可能にする鋼材開発に向けた新たな解析手法を確立,” 2018 年 2 月 5 日
7. 理研プレスリリース, “軽量化を可能にする鋼材開発に向けた新たな分析手法の確立—ものづくり現場における小型中性子源の貢献—,” 2018 年 2 月 5 日
8. New MOU with Jülich Center for Neutron Science, “ユーリッヒ中性子科学研究センター (JCNS) と RAP との研究協力覚書を締結,” 2017 年 8 月 22 日

技術基盤支援チーム／Advanced Manufacturing Support Team

(1) 著書・解説など／Book Editions, Review Papers

1. 掛下知行, 田中敏宏, 中野貴由, 古城直道, 山澤建二, 精密工学の最前線「金属材料のサイエンスを駆使したカスタム Additive Manufacturing」, 精密工学会, 精密工学会誌 83 巻 5 号, 387-390, (2017).

(2) 招待講演／Invited Talks

1. 山澤建二, 理研における 3D Printer 技術の開発 -Rapid Prototyping から Additive Manufacturing-, 次世代ものづくり技術研究会, 砥粒加工学会, 和光, 12 月 13 日, (2017).

(3) 会議、シンポジウム、セミナー主催／Meetings, Symposiums and Seminars

1. 第 47 回光量子工学研究領域セミナー (RAP セミナー), 和光, 10 月 20 日, (2017).

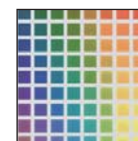
2017/4/26 フォトン操作機能研究チーム / Innovative Photon Manipulation Research Team

アルミニウムのナノ構造体で「色」を作る

ー半永久的に失われず塗料より軽い「メタマテリアルカラー」ー

Up Scalable Full Colour Plasmonic Pixels with Controllable Hue, Brightness and Saturation

- Renilkumar Mudachathi and Takuo Tanaka, "Up Scalable Full Colour Plasmonic Pixels with Controllable Hue, Brightness and Saturation", Scientific Reports, doi: 10.1038/s41598-017-01266-6



2017/6/22 フォトン操作機能研究チーム / Innovative Photon Manipulation Research Team

赤外分光計測の飛躍的な感度向上に成功

ー背景光を除去し、分子からの光信号のみを高いコントラストで検出ー

Cross-Polarized Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy by Fano-Resonant Asymmetric Metamaterials

Atsushi Ishikawa, Shuhei Hara, Takuo Tanaka, Yasuhiko Hayashi, and Kenji Tsuruta, "Cross-Polarized Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy by Fano-Resonant Asymmetric Metamaterials", doi: 10.1038/s41598-017-03545-8



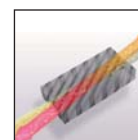
2017/10/2 テラヘルツ光源研究チーム / Tera-Photonics Research Team

光波長変換による後進テラヘルツ波発振を実現

ー複雑な共振器構造のない究極の小型化へー

Backward THz-wave parametric oscillation with tunability

Kouji Nawata, Yu Tokizane, Yuma Takida, and Hiroaki Minamide, "Backward THz-wave parametric oscillation with tunability", Advanced Solid State Lasers Conference, technical session" Optical Parametric Conversion in Crystals and Fibers", Abstract



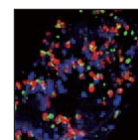
2017/11/14 生細胞超解像イメージング研究チーム / Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team

ゴルジ体形成の足場「GECCO」

ーCOP II 小胞に依存しないゴルジ体の入口ー

Golgi entry core compartment functions as the COPII-independent scaffold for ER-Golgi transport in plant cells

Yoko Ito, Tomohiro Uemura, Akihiko Nakano, "Golgi entry core compartment functions as the COPII-independent scaffold for ER-Golgi transport in plant cells", Journal of Cell Science, doi: 10.1242/jcs.203893



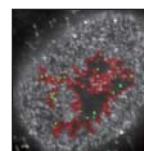
2017/12/12 画像情報処理研究チーム / Image Processing Research Team

定量的画像解析による核膜動態の解明

ー核膜孔複合体の形成は Pore-free island を消失させるー

A statistical image analysis framework for pore-free islands derived from heterogeneity distribution of nuclear pore complex

Yasuhiro Mimura, Satoko Takemoto, Taro Tachibana, Ogawa Yutaka, Masaomi Nishimura, Hideo Yokota, Naoko Imamoto, "A statistical image analysis framework for pore-free islands derived from heterogeneity distribution of nuclear pore complex.", Scientific Reports, doi: 10.1038/s41598-017-16386-2



2017/12/27 眼疾患クラウド診断融合連携研究チーム / Cloud-Based Eye Disease Diagnosis Joint Reserach Team

緑内障の視神経乳頭形状の自動分類

ー機械学習モデルで緑内障の診断に貢献ー

Classification of optic disc shape in glaucoma using machine learning based on quantified ocular parameters

Kazuko Omodaka, Guangzhou An, Satoru Tsuda, Yukihiro Shiga, Naoko Takada, Tsutomu Kikawa, Hidetoshi Takahashi, Hideo Yokota, Masahiro Akiba, Toru Nakazawa, "Classification of optic disc shape in glaucoma using machine learning based on quantified ocular parameters", PLOS ONE, doi: 10.1371/journal.pone.0190012

項目	単位	値
右眼視力	logMAR	0.00
左眼視力	logMAR	0.00
右眼眼圧	mmHg	12.0
左眼眼圧	mmHg	12.0
右眼中央角膜厚	μm	540
左眼中央角膜厚	μm	540
右眼視神経乳頭径	mm	2.5
左眼視神経乳頭径	mm	2.5
右眼視神経乳頭形状	円形度	0.8
左眼視神経乳頭形状	円形度	0.8

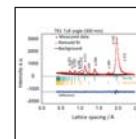
2018/2/5 中性子ビーム技術開発チーム / Neutron Beam Technology Team

軽量化を可能にする鋼材開発に向けた新たな分析手法の確立

—ものづくり現場における小型中性子源の貢献—

Development of on-site measurement technique of retained austenite volume fraction by compact neutron source RANS

池田義雅、高村正人、箱山智之、大竹淑恵、熊谷正芳、鈴木裕士「小型中性子源の現場利用を目指した残留オーステナイト相分率測定手法の開発」"Development of on-site measurement technique of retained austenite volume fraction by compact neutron source RANS", 鉄と鋼 Vol. 104, No. 3, doi: 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2017-080



2018/2/23 生命光学技術研究チーム / Biotechnological Optics Research Team

脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システム AkaBLI

—霊長類動物にも適用可能、高次脳機能のリアルタイム可視化への応用—

Single cell bioluminescence imaging of deep tissue in freely moving animals

Satoshi Iwano, Mayu Sugiyama, Hiroshi Hama, Akiya Watakabe, Naomi Hasegawa, Takahiro Kuchimaru, Kazumasa Z. Tanaka, Megumu Takahashi, Yoko Ishida, Junichi Hata, Satoshi Shimozono, Kana Namiki, Takashi Fukano, Masahiro Kiyama, Hideyuki Okano, Shinae Kizaka-Kondoh, Thomas J. McHugh, Tetsuo Yamamori, Hiroyuki Hioki, Shojiro Maki, Atsushi Miyawaki, "Single cell bioluminescence imaging of deep tissue in freely moving animals", Science, doi: 10.1126/science.aag1067



News, Meetings, Events

ニュース、会議・イベント開催

April 19, 2017

田原太平チームリーダーが文部科学大臣表彰を受賞

Team Leader Tahei Tahara received the Commendation for Science and Technology by MEXT



科学技術に関する研究開発、理解増進等において顕著な成果を収めた者を表彰する「科学技術分野の文部科学大臣表彰」の表彰式が、2017年4月19日に文部科学省で開催されました。RAPからは田原チームリーダーが「新しい分光計測法の開発とそれを用いた複雑分子系の研究」の業績で、文部科学大臣表彰を受賞しました。

Team Leader Tahara received the Commendation for Science and Technology by Ministry of Education (MEXT) for his research, "Study of complex molecular systems by development and application of novel spectroscopy", on April 19, 2017 at MEXT.

November 2, 2017

宮脇敦史チームリーダーが紫綬褒章を受章

Team Leader Atsushi Miyawaki received the Medal with Purple Ribbon

宮脇敦史チームリーダーは、生物物理学分野におけるバイオイメーjing技術開発において先駆的な研究を重ねた業績が評価され、平成29年秋の紫綬褒章を受章しました。伝達式は11月14日に執り行われました。

Team Leader Miyawaki received the Medal with Purple Ribbon for his research, "Pioneering development of novel tools and methods for bioimaging.", on November 14, 2017 at MEXT.



April 2017 to March 2018

RAP Seminar, from 42nd to 51st, and special seminar

- | | |
|--------------------|--|
| April 14, 2017 | Prof. Katsumasa Fujita (Department of Applied Physics, Osaka University)
“Raman microscopy beyond the limit” 限界を超えるラマン顕微鏡 |
| April 17, 2017 | Prof. Gerard Mourou (Ecole polytechnique)
“CAN (Coherent Amplification Network) laser system to achieve high-intensity and high-repetition frequency” |
| May 12, 2017 | Prof. Kazuyuki Ishii (Institute of Industrial Science, The University of Tokyo)
“Photophysical properties and photofunctions based on the magnetic properties of porphyrinic compounds” ポルフィリン化合物の磁気的性質に基づく光物性と光機能 |
| June 16, 2017 | Prof. Hiroyuki Hioki (Graduate School of Medicine, Kyoto University)
“Grand design of the neocortex” 大脳皮質のグランドデザイン解読を目指して |
| July 14, 2017 | Prof. Shinichiro Iwai (Department of Physics, Tohoku University)
“Dressed charge state with driving light field in strongly correlated organics materials”
単一サイクル赤外光がつくる強相関電子系のドレスド電子状態 |
| August 14, 2017 | Prof. Kazuo A. Tanaka (Extreme Light Infrastructure-Nuclear Physics (ELI-NP) Bucharest-Magurele, Romania)
“Laser and Gamma beam systems at the ELI-Nuclear Physics Project” |
| September 15, 2017 | Prof. Shuji Sakabe (Institute for Chemical Research, Kyoto University)
“Ultrafast electron diffraction/deflectometry and generation of intense sub-terahertz surface wave using laser accelerated electrons”
レーザー加速電子を用いた超高速電子線回折・偏向法と高強度サブテラヘルツ表面波発生 |
| October 20, 2017 | Prof. Hidekazu Mimura (Graduate School of Engineering, The University of Tokyo)
“Nanofocusing mirror for soft x-rays” 軟 X 線のためのナノ集光ミラー |
| December 15, 2017 | Prof. Akihiro Yamanaka (Research Institute of Environmental Medicine Nagoya University)
“Neural activity manipulation and behavior control by using fiber-less optogenetics”
ファイバーレス光遺伝学を用いた神経活動操作と行動制御 |
| January 19, 2018 | Prof. Susumu Komiyama (Dept. of Basic Science, The University of Tokyo / Terahertz Technology Research Center, NICT)
“Visualization of non-equilibrium electrons on nanoscales: Scanning noise microscopy”
非平衡電子のナノスケール画像化： 掃引雑音顕微鏡 |
| February 16, 2018 | Prof. Tsutomu Mibe (Institute of Particle and Nuclear Studies, High Energy Accelerator Research Organization)
“New precision measurement of muon’s anomalous magnetic moment and electric dipole moment with ultra-cold muon beam ” 極冷ミューオンビームによる新しいミューオン異常時期能率・電気双極子能率の精密測定 |
| March 16, 2018 | Prof. Ryoichi Hajima (National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology)
“Generating attosecond photon pulses from high-harmonic generation driven by a mid-infrared free electron laser ”
中赤外自由電子レーザーで駆動する高次高調波アト秒光源の提案 |
- 



49th RAP Seminar
The 49th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Date: Jan.19 (Fri) 16:00 - 17:00, 2018
Location: W319, 3F, Cooperation Center, Wako Campus
(国研 和光キャンパス 研究交流棟3階会議室W319)





45th RAP Seminar

The 45th Seminar on R&P&EN (Center for Advanced Materials)

Language: Japanese

Date: July 14 (Fri) 15:30 - 16:30, 2017

Location: 1F Seminar Room, RIKEN Sendai Campus
〒980-8578 茨城県 稲佐 1-1-1 (〒980-8578 茨城県 稲佐 1-1-1)

Wako Campus: Cooperation Center, 3F, WQ19, TV relay
(東京・研究・技術交流棟3F西館 WQ19 (TV放送))

Topic: Dressed charge state with driving light field in strongly correlated organic materials
準・イソカルトの光誘起する強相関電子系中のドレスト電子状態

Speaker: Prof. Shinichiro Iwai
Department of Physics, Tohoku University
岩井 伸一郎
(東北大学大学院理学研究科 教授)

Abstract: In molecular organic conductors, we have reported various types of photoinduced phase transitions, i.e. a melting charge order (CO) [1-3], a dimer Mott (DM) model to metal transition [4], a growth of dicationic ferromagnetic CO domains [5]. On the other hand, recent advances of newly single-molecule infrared light (with a width of several fm) enables us to apply 10-MW infrared laser on solid surface. Such strong light field can realize a counter intuitive electronic responses which are referred as a dressed charge state with the driving field. Here, we discuss the following topics: (i) a reverse process of the melting of CO, i.e. the heating of charge order in layered organic conductor (ET) [6, 7], (ii) a well-defined phase which reflectively edge indicating a decrease of an effective transfer integral in quasi-one-dimensional (1D) conductor (TMTTF) [8, 9], and (iii) strong light field effects of Mott volatility and superconducting state in layered dimer Mott system such as ET(Cu) [10, 11].

[1] W. et al., Phys. Rev. Lett. 96, 080422 (2007).
[2] Kawasumi et al., Phys. Rev. Lett. 110, 146402 (2013).
[3] K. Ishi, Appl. Phys. Lett. 104, 173602 (2014).
[4] Kawasumi, Phys. Rev. Lett. 103, 096402 (2009).
[5] K. Ishi, Phys. Rev. Lett. 113, 104601 (2015).
[6] Johansson, et al., Phys. Rev. B, 80, 154405 (2009).
[7] Kawasumi et al., Phys. Rev. B, 80B, 201405 (2009).
[8] Nishin, et al., Phys. Rev. B, 89, 180428 (2014).
[9] Nishin, et al., Phys. Rev. B, 89, 180428 (2014).
[10] Nishin, et al., Phys. Rev. B, 89, 180428 (2014).
[11] Nishin, et al., Phys. Rev. B, 89, 180428 (2014).



49th RAP Seminar

The 49th Seminar on R&P&EN (Center for Advanced Materials)

Language: Japanese

Date: Jan.19 (Fri) 16:00 - 17:00, 2018

Location: WQ19, 3F, Cooperation Center, Wako Campus, RIKEN
(〒351-0198 埼玉県 和光市 中央研究院 西館3F WQ19)

Topic: Visualization of non-equilibrium electrons on nanoscales: Scanning noise microscopy
ナノスケールでのノイズを用いた、非平衡電子状態の可視化

Speaker: Prof. Susumu KOMIYAMA
Department of basic science, The University of Tokyo
Terahertz Technology Research Center, NICT

小宮山 進
(筑波大学大学院物質科学科ADアビオゾノ 専任客員教授)

Abstract: Matter is composed of positive and negative charge particles, and the charge particles cannot be well fluctuate except at absolute zero temperature. If the system is in thermal equilibrium, current (physical noise) is a thermally activated. If the system is out of thermal equilibrium, the current fluctuation increases noise or shot noise, brings novel and contrived information of local charge dynamics in non-equilibrium phenomena.

Novel scanning noise microscopy (SNCM) is described, with which ultrahigh frequency current (up to 10-30 terahertz) is locally produced with nanometer resolution (20 nm), a sharp edge for studying electronic structure in a nanoscale field generated by a laser pulse. In addition, the scanned noise are detected with a magnified contact microscope. Measurements of current response have been made on (i) graphenolically made sheet in thermal equilibrium, (ii) nanowire structures under non-thermal photo-heating, and (iii) MoS2 electrons in GAA nanotransistors, which become non-linear under photo-heating.

Link: rap-seminar.nict.go.jp/49th/ (http://rap-seminar.nict.go.jp/49th/)

理研シンポジウム「観る・測る・解く」4次元細胞計測の現状と未来

理研公開シンポジウム

「観る・測る・解く」 4次元細胞計測の現状と未来

日時: 2017年6月28日 9:30-18:00
会場: 理化学研究所和光キャンパス (和光市広沢2-1)
生物科学研究棟 鈴木梅太郎記念ホール
主催: 理化学研究所戦略的研究展開事業
「多階層をつなぐ4D細胞計測の次世代化による細胞動態の理解と操作」

幹細胞からの機能的な立体組織形成	CDB	永樂元次
4D細胞計測の究極を目指して: 小さく速く、そして深く	RAP	中野明彦
バイオイメージングの次元に関する考察	BSI/RAP	宮脇敦史
4D細胞計測のその先にあるもの: 知識抽出、データ共有、そして	QBIC	大浪修一
未知の細胞機能を照らし出す全次元解析の未来	CLST	清末優子
情報処理による4D細胞現象の“見る”から“観る”そして“わかる”へ	RAP	横田秀夫
4D細胞計測の次世代化を目指して: 見て、測って、操作する	QBIC	岡田康志
散乱光から生物学的情報を取り出す	QBIC	渡邊朋信
形態形成のロジックを読み解く	CDB	林 茂生
腸管上皮M細胞の細胞生物学	JMS	大野博司
細胞内情報伝達のイメージング	ILS	佐甲靖志

ポスターセッションも行います。
終了後、意見交換会 (広沢クラブ) 参加費 5,000円 (学生 2,500円)

詳しいプログラムは http://fourd.riken.jp/news/170628_symposium/ をご覧ください。

問合せ先: 理化学研究所 量子工学研究領域
生細胞超解像イメージング研究チーム、中野明彦
TEL: 048-462-4679 E-mail: 4Ds Symposium2017@ml.riken.jp



2017年6月28日に、中野チームリーダーが代表をつとめる戦略的研究展開事業「多階層をつなぐ4D細胞計測の次世代化による細胞動態の理解と操作」の最終年度にあたり、「観る・測る・解く」と題する公開シンポジウムを和光地区で開催し、4次元細胞計測の現状と未来について議論しました。

At the final fiscal year of the all-RIKEN project “4D Measurements for Multilayered Cellular Dynamics” headed by Team Leader Nakano, a symposium entitled “See, Measure and Solve” was held and the present and future of the project was discussed.



July 4, 2017 and August 22, 2017

RAP-JCNS 合同 Workshop 開催、研究協力覚書を MOU 締結 RAP-JCNS 1st Joint Workshop, New MOU with Jülich Center for Neutron Science

ドイツ ユーリッヒ中性子科学研究センター (JCNS) と加速器中性子源開発にかかる研究協力および研究交流の促進を目的とする覚書を2017年8月22日付けで締結しました。締結に先んじて、第1回 RAP-JCNS ジョイントワークショップを7月4日、5日に開催しました。今後毎年ジョイントワークショップを日独相互開催、RANS を利用した加速器中性子源の共同研究を開始しさらなる研究協力の進展が期待されます。

Jülich Center for Neutron Science (JCNS) and RAP held 1st Joint Workshop at Wako campus. Also on August 22, 2017, a new MOU with JCNS was signed for promoting collaborative research on the neutron science.



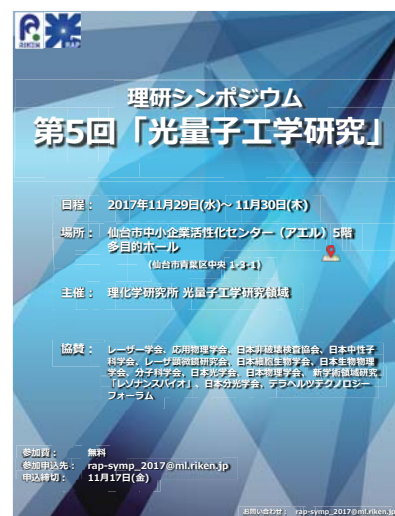
理研シンポジウム 第5回「光量子工学研究」

2017年11月29日、30日の2日間にわたり、第5回RAPシンポジウム「光量子工学研究」が仙台で開催されました。

北海道大・三澤 弘明先生、情報通信研究機構・寶迫 巖先生による特別講演、理研の4つのセンターからの招待講演のほか、RAPメンバーによる口頭発表15件とポスター発表90件が行われました。

150名超の参加者による、最先端の光量子工学に関する活発な議論が繰り広げられました。

The 5th RAP Symposium was held in Sendai on November 29 and 30, 2017. The symposium consisted of two special lectures by Prof. Hiroaki Misawa (Hokkaido University) and Dr. Iwao Hosako (NICT) and four invited talks from other centers in RIKEN as well as 15 oral and 90 poster presentations by RAP members. More than 150 participants discussed on the state-of-the-art photonics and quantum research and engineering.

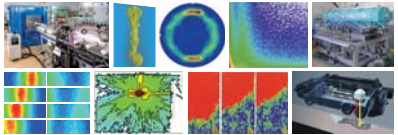


理研シンポジウム「小型中性子源 RANS が拓く中性子利用と大型施設との連携」開催

平成29年度 理研シンポジウム

小型中性子源RANSが拓く中性子利用と大型施設との連携

— インフラ・ものづくり産業利用での非破壊定量評価への挑戦 —



日 時：2017年12月21日(木) 10:00~17:40(受付開始:9:30)
会 場：理化学研究所 鈴木梅太郎記念ホール(埼玉県和光市広沢2-1)
参 加：参加は無料ですが事前のお申込が必要です
申込先：<http://rans.riken.jp/sympo2017.html>
主 旨：理化学研究所が開発する小型中性子源RANSは、ターゲット・モデレータの刷新等継続的な改良・改善により高性能化と安定的稼働の両立を実現させています。ハルス中性子線源の特性を生かした物質内部に存在する水の変化や材料組織の変化観察等、物質・構造解析研究も発展し、さらに超小型軽量化の実現に向けたRANS2の開発が着実に進んでいます。本シンポジウムでは、中性子利用の最大化に向けて一翼を担う小型中性子源と大型施設J-PARCとの連携が果たす役割について展望するとともに、RANSが目指す社会インフラ・ものづくりに貢献する非破壊計測技術開発の進展を概観し今後の展開の検討を行います。
主 催：国立研究開発法人理化学研究所 光量子工学研究領域(RAP)
共 催：J-PARCセンター(JAEA/KEK)
後 援：国立研究開発法人土本研究所
土本学術研究CPDプログラム：6.8単位



2017年12月21日に、理研シンポジウム「小型中性子源 RANS が拓く中性子利用と大型施設との連携」および見学会が開催されました。土木建築、製造業を主とする産業界を含め約300名の参加者があり、活発な質疑が行われました。

The RANS symposium was held in December 29, 2017 at Wako campus with around 300 participants. Major part of them came from manufacturing civil engineering and construction companies, and had discussion among them.

April 19, 2017

文部科学大臣表彰 科学技術賞（文部科学大臣）／田原太平・チームリーダー（超高速分子計測研究チーム）

Commendation for Science and Technology by MEXT (MEXT) / Tahei Tahara, Team Leader (Ultrafast Spectroscopy Research Team)

May 4, 2017

IOP Highlights of 2016 (IOP) / 森田晋也・客員研究員、山形豊・チームリーダー（先端光学素子開発チーム）

IOP Highlights of 2016 (IOP) / Shinya Morita, Visiting Scientist, Yutaka Yamagata, Team Leader (Ultrahigh Precision Optics Technology Team)

May 25, 2017

日本分光学会「学会賞」（日本分光学会）／田原太平・チームリーダー（超高速分子計測研究チーム）

The Spectroscopical Society of Japan Award (Spectroscopical Society of Japan) / Tahei Tahara, Team Leader (Ultrafast Spectroscopy Research Team)

May 25, 2017

日本分光学会「奨励賞」（日本分光学会）／倉持光・研究員（超高速分子計測研究チーム）

The Spectroscopical Society of Japan Award for Young Scientists (Spectroscopical Society of Japan) / Hikaru Kuramochi, Research Scientist (Ultrafast Spectroscopy Research Team)

May 31, 2017

レーザー学会奨励賞（一般社団法人レーザー学会）／沖野友哉・研究員（アト秒科学研究チーム）

Incentive Award, Laser Society of Japan (The Laser Society of Japan) / Tomoya Okino, Research Scientist (Attosecond Science Research Team)

May 31, 2017

レーザー学会優秀論文発表賞（一般社団法人レーザー学会）／戸田圭亮・JRA（アト秒科学研究チーム）

Paper Award, Laser Society of Japan (The Laser Society of Japan) / Keisuke Toda, JRA (Attosecond Science Research Team)

June 2, 2017

レーザープロセッシング助成研究成果発表優秀賞（公益財団法人天田財団）／杉岡幸次・ユニットリーダー（理研-SIOM 連携研究ユニット）

Laser Processing Presentation Award (The Amada Foundation) / Koji Sugioka, Unit Leader (RIKEN-SIOM Joint Research Unit)

July 17, 2017

Light: Science & Applications 2017 Outstanding Paper Award (Nature Publishing Group) / 杉岡幸次・ユニットリーダー（理研-SIOM 連携研究ユニット）

Light: Science & Application 2017 Outstanding Paper Award (Nature Publishing Group) / Koji Sugioka, Unit Leader (RIKEN-SIOM Joint Research Unit)

September 17, 2017

分子科学会学会賞（分子科学会）／田原太平・チームリーダー（超高速分子計測研究チーム）

Distinguished Scientist Awards of the Japan Society for Molecular Science (Japan Society for Molecular Science) / Tahei Tahara, Team Leader (Ultrafast Spectroscopy Research Team)

September 28, 2017

土木情報学賞論文賞（土木情報学委員会）／道川隆士・研究員（光量子制御技術開発チーム）

Paper Award of Japan Society of Civil Engineers (The Society of Civil Engineers) ／ Takashi Michikawa, Research Scientist (Photonics Control Technology Team)

September 29, 2017

電子・情報・システム部門 技術委員会奨励賞（一般社団法人電気学会）／前田康大・基礎科学特別研究員（光量子制御技術開発チーム）

Incentive Award, The Institute of Electrical Engineers of Japan Award (IEE) ／ Yasuhiro Maeda, Special Postdoctoral Researcher (Photonics Control Technology Team)

October 25, 2017

Fellow of the Laser Institute of America (The Laser Institute of America) ／ 杉岡幸次・ユニットリーダー（理研-SIOM 連携研究ユニット）

Fellow of the Laser Institute of America (The Laser Institute of America) ／ Koji Sugioka, Unit Leader (RIKEN-SIOM Joint Research Unit)

November 14, 2017

紫綬褒章／宮脇敦史・チームリーダー（生命光学技術研究チーム）

Purple Ribbon Medal ／ Atsushi Miyawaki, Team Leader (Biotechnological Optics Research Team)

November 21, 2017

Best Paper Award (China-Japan International Conference) ／ 村上武晴・協力研究員、斎藤徳人・上級研究員、小町裕一・特別研究員、道川隆士・研究員、木暮繁・テクニカルスタッフ、加瀬究・前任研究員、和田智之・チームリーダー（光量子制御技術開発チーム）、緑川克美・センター長

Best Paper Award (China-Japan International Conference) ／ Takeharu Murakami, Contract Researcher, Norihito Saito, Senior Research Scientist, Yuichi Komachi, Postdoctoral Researcher, Takashi Michikawa, Research Scientist, Shigeru Kogure, Technical Staff, Kiwamu Kase, Senior Research Scientist, Satoshi Wada, Team Leader (Photonics Control Technology Team), and Katsumi Midorikawa

December 6, 2017

最優秀若手研究者賞（日本分光学会）／山崎祥他・特別研究員（テラヘルツイメージング研究チーム）

Best Young Researcher Award (Spectroscopical Society of Japan) ／ Shota Yamazaki, Postdoctoral Researcher (Terahertz Sensing and Imaging Research Team)

February 16, 2018

nano tech 大賞プロジェクト賞（nano tech 2018）／南出泰亜・チームリーダー、瀧田佑馬・基礎科学特別研究員（テラヘルツ光源研究チーム）

nano tech Project Award (nano tech 2018) ／ Hiroaki Minamide, Team Leader, Yuma Takida Special Postdoctoral Researcher (Terahertz Photonics Research Team)

March 15, 2018

理研研究奨励賞（理化学研究所）／竹本智子・研究員（画像情報処理研究チーム）、伊藤容子・特別研究員（生細胞超解像イメージング研究チーム）

RIKEN Researcher Incentive Award (RIKEN) ／ Satoko Takemoto, Research Scientist (Image Processing Research Team), Yoko Ito, Postdoctoral Researcher (Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team)



写真左から 竹本研究員、松本理事長、松本理事、伊藤特別研究員

研 | 究 | 最 | 前 | 線

高度経済成長期に大量につくられた橋や高速道路、トンネルなどのインフラの老朽化が進み、その補修・維持が大きな社会的課題になっている。しかし、厚さ40cm以上のコンクリートの内部を非破壊で検査して水や空隙、塩分、鉄筋の劣化を調べる手法はこれまで存在しなかった。光量子工学研究領域（RAP）中性子ビーム技術開発チームの大竹淑恵チームリーダー（TL）たちは、理研小型中性子源システム「RANS」を車に搭載して、橋や高速道路の老朽化を非破壊で検査できる手法の実用化を進めている（図1・図2）。さらに、中性子をものづくりの現場で活用できるようにして、加工性の向上や材料の開発を加速させようとしている。

橋や道路を非破壊検査するRANS

インフラ・ものづくりの現場で中性子利用を可能に

■ 車載RANSをインフラの老朽化対策の切り札に

物を透過して内部を見る手法として、X線が広く使われている。「X線と中性子では、物の種類によって透過力が異なり、見えるものが異なります。レントゲン撮影で体の中の骨が陰影となって写るのは、X線が体の大部分を占める水は透過しやすく、骨のカルシウムは透過しにくいからです。一方、中性子は水を

透過しにくいので、体の中を見るには適していません」と大竹TLは説明する。

X線は金属を透過しにくく、既存のX線CT装置で透過できる鉄板の厚さは1cmほどだ。「ナットをはめたボルトをX線で撮影すると、ボルトのねじ山はナットに遮られて見えません。一方、中性子は厚さ3cm以上の鉄板でも透過するので、ねじ山がはっきり見えます」（図3）

X線でコンクリート内部を透過観察す

ることは難しいが、中性子ならば可能だ。中性子によって橋や道路を非破壊で検査することができれば、老朽化したインフラ対策の切り札になる。

ただし従来、中性子が利用できるのは研究用原子炉や加速器がある大型施設に限られていた。インフラの点検に中性子を利用するには、中性子源と計測システムの大幅な小型化が必要だ。大竹TLたちは、全長約15mの小型中性子源シ



図1 理研小型中性子源システム RANS 1号機
奥が陽子の加速器（7MeV）、手前（青）が中性子を発生させるターゲットステーション。写真手前に試料と検出器を設置すると全長15mほどになる（「理研ニュース」2013年8月号「SCIENCE VIEW」参照）。

撮影：STUDIO CAC

大竹淑恵（おおたけ・よしえ）

光量子工学研究領域
中性子ビーム技術開発チーム
チームリーダー

1960年、東京都生まれ。理学博士。早稲田大学大学院理工学研究科後期博士課程（物理学及応用物理学素粒子及原子核理論専攻）修了。国立茨城工業高等専門学校電子情報学科 専任講師、京都大学大学院素粒子物性研究室 研究員、フランスILL研究所 研究員などを経て、1996年、理研研究員。2013年より現職。西安交通大学 客員教授を兼務。



システム「RANS」（RIKEN Accelerator-driven Neutron Source）1号機を開発し、さまざまな試料の計測技術開発を進めてきた（図1）。そして現在、さらに小型軽量化した全長約5mのRANS 2号機の開発を進め、将来の車への搭載へ向けて一歩近づこうとしている（図2）。

日本のインフラの老朽化対策は待ったなしの状況だ。全国に約72万基の橋があり、建設後50年を経過したものが2015年時点で18%、2025年になると42%に達する。「半世紀前の技術で建設された橋は、40年を超えると8割に補修工事が必要になるそうです。2014年から、全ての橋やトンネルを5年ごとに点検することが義務化されました」

橋やトンネルの主な点検方法は、まずは目視。そして、表面をハンマーで軽たたき、音を聞く打音検査だ。「打音検査は内部の状態を知るための優れた方

法です。ただし、30cmほどの間隔でたいて調べる必要があり、時間とコストがかかります。しかも、橋の下やトンネルの天井など、打音検査が容易にできない場所がたくさんあります」

橋やトンネルの老朽化が進む主な原因は、コンクリート内部に染み込んだ水により鉄筋がさびることだ。「内部を観察するには、一部をくり抜いてコア（円柱形の試料）を取り出して調べるしか方法がありません。建設当時の図面が残っていなかったり、図面と異なる場所に鉄筋が走っていたりして、コアをくり抜くときに鉄筋を切断してしまうトラブルもあるそうです。そこで、コンクリート内部を非破壊で検査できる手法が強く望まれているのです」

高速道路では、小さな陥没でもオートバイが転倒して大事故につながる危険性がある。「道路の陥没の主な原因は、

アスファルトの下にあるコンクリートに水が滞留して、土砂化してしまうことです」と大竹TL。

土砂化した道路を補修するには、車両を通行止めにして、アスファルトを剥がす必要がある。アスファルトの下のコンクリートの空隙や水がたまった場所を非破壊で検査することができれば、無駄のない補修工事の計画を立て、交通渋滞をできるだけ避けることができる。

「私たちは、中性子源と検出器の間に試料を挟み込む、レントゲン撮影と同様の方法を研究開発しています。しかし、挟み込める構造の場所は橋の一部などに限られます。一般的な高速道路の路面のアスファルトの下は、中性子源と検出器の間に挟み込めないで、その方法では計測できません。そこで、地表近くからアスファルトに向けて中性子ビームを当て、アスファルトの下のコ



図2 組み立て中のRANS 2号機

イオン源（右）で生み出した陽子を加速器（左）で加速する。ターゲットステーションなどを含めたシステムの全長は約5m、重さ約3トンで車に搭載可能なサイズに近づく。

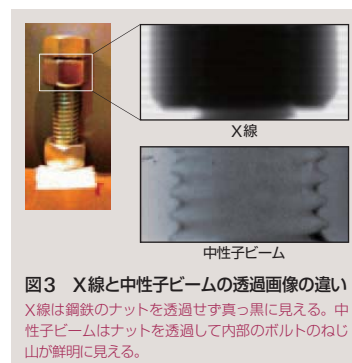


図3 X線と中性子ビームの透過画像の違い

X線は鋼鉄のナットを透過せず真っ黒に見える。中性子ビームはナットを透過して内部のボルトのねじ山が鮮明に見える。

撮影：山形 豊チームリーダーほか／
光量子工学研究領域 先端光学素子開発チーム

図4 RANSによるコンクリート下にある空隙とアクリルの検知

中性子ビームを当て、反射して戻ってくる後方散乱中性子の時間と量を検出器で計測することで、厚さ6cmのコンクリートの下にある幅10cmの空隙（深さ6cm）やアクリル（深さ5.5cm）の検知に成功した。後方散乱中性子の量は、空隙のある位置で2割以上少なく（青）、アクリルのある位置で4倍以上多くなっている（赤）。アクリルは、水に近い水素密度を持つため、水と同様の見え方になる。

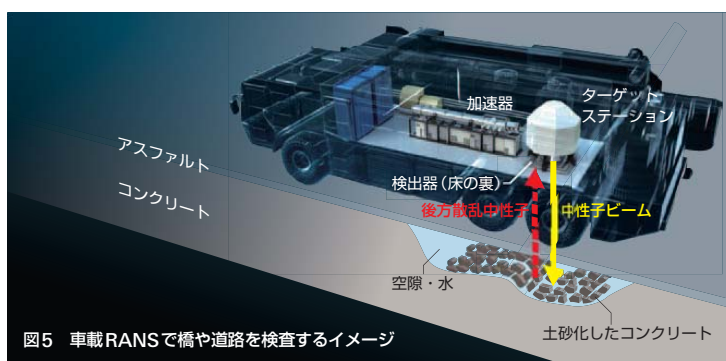
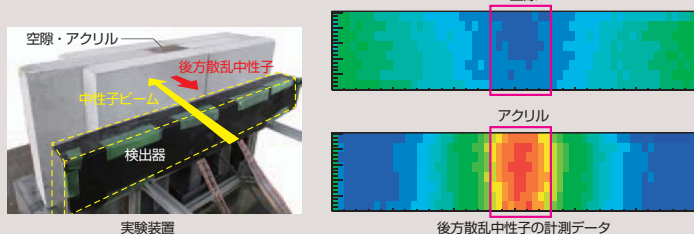


図5 車載RANSで橋や道路を検査するイメージ

ンクリート内部で反射して戻ってくる中性子（後方散乱中性子）に注目しました。後方散乱中性子を地表の検出器で捉え、その戻ってくるまでの時間と量を計測することで、コンクリート内部の空隙や水分を検知できる手法を開発したのです。RANSを用いた実験により、厚さ6cmのコンクリートの下にある幅10cmの空隙やアクリルを可視化することができました（図4）。将来、RANSを搭載した車で人が歩くほどの速さで橋や高速道路を走り、アスファルトの下の幅5～10cmの空隙を見つけることができるようになるでしょう」（図5）

冬季に雪が積もる山間部の橋では、融雪剤としてまかれる塩が、コンクリート内部の鋼材の腐食を進める大きな原因となっている。「中性子を塩素に当てると、特定の波長のガンマ線が発生します。コンクリート内部に1m³当たり約1kgの塩分が存在すると鋼材の腐食が始まります。その塩分濃度を中性子を当てたときのガンマ線から計測できることを、RANSで実証しました」

■ 暗い中性子で鮮明に見る

そもそも中性子は陽子と共に原子核を構成する粒子だ。中性子を発生させるには、原子核反応を起こす必要がある。「そのため、中性子の利用は、原子核反応を起こすことができる研究用原子炉や加速器がある大型施設に限られてきたのです」

加速器を使った手法では、陽子を高速に加速して標的に当てて中性子を発生させる。茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設「J-PARC」では、世界最高レベルの明るさ（強度）を持つ中性子を発生させてビーム化し、さまざまな計測が行われている。

J-PARCでは中性子だけでなく、ミューオンやニュートリノなども発生させており、その敷地面積は東京ドーム14個分と広大だ。「一方、RANSの1号機は全長が約15mです。一つの部屋に入る、実用化を目指した加速器中性子源システムは世界初だと思います」

なぜ、大幅な小型化を実現できたのか。「1号機の加速器は米国のメーカー

から購入したものです。それで陽子を加速して標的（ベリリウム）に当てれば中性子を発生させることができます。ただし、標的で発生する中性子の明るさはJ-PARCの3,000分の1以下。その暗い（強度の低い）中性子でも計測ができるようにする必要がありました」

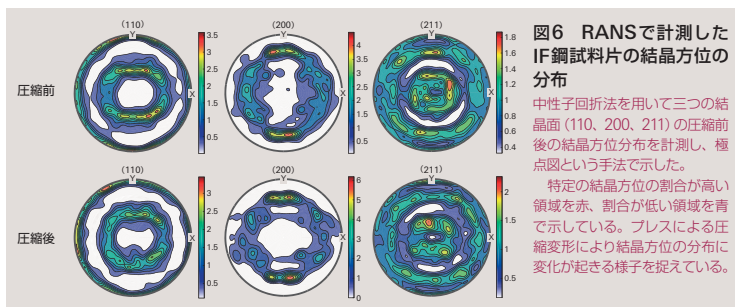
中性子の明るさは、1cm²当たり毎秒何個の中性子が通過するか、という単位で表される。1号機の標的付近で発生する中性子は1cm²当たり毎秒1兆個ほどだ。中性子線は放射線の一種なので、外部に漏れないように遮蔽する必要がある。さらに、計測に適した中性子ビームにするために、標的の周りを反射材や減速材、遮蔽材で囲んだターゲットステーションを設ける。そこから出てきた中性子ビームを試料に当てて検出器で計測する。「試料に当てる中性子ビームの明るさは、1cm²当たり毎秒数万～数十万個になります」

中性子は透過力に優れている分、検出が容易ではない。「中性子検出器の性能が向上したことにより、暗い中性子でも計測ができるようになったのです」

その検出法には、中性子を光に変換する手法と、荷電粒子に変換する手法がある。「対象によって最適な検出法を選び、検出データから必要な情報を引き出す情報処理技術を組み合わせて、暗い中性子でも鮮明に観察できる手法の開発を、私たちはRANSの1号機で積み重ねてきたのです」

■ 装置内部を丸ごと見る

RANSで何を見るのか。大竹TLは、



サンプル提供：浜 孝之 准教授／京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻資源エネルギー学講座

企業を訪ね回って中性子計測のニーズを探った。主な分野は、冒頭で紹介したインフラ検査と、ものづくりの現場だ。

「今、自動車メーカーは電気自動車などに使うバッテリーの開発にしのぎを削っています。中性子を使って見たいものの代表例が、リチウムイオン電池などバッテリーの内部です」

リチウムイオン電池は、外側が金属、内部に有機溶媒やリチウム、ホウ素などの軽元素が使われている。「中性子は金属を透過し、それら軽元素の観察に向いています。さらにビーム照射面を60cm四方と大きくできるので、バッテリー全体の内部を観察して、性能向上や安全対策を図ることができます」

ただし、その観察画像を示すことはできない、と大竹TLは苦笑する。「中性子を使うと製品内部の企業秘密が見えになります。メーカーの人たちが理研に来てRANSで計測を行っています、その画像から得られる詳細情報は私達にも決して知らせてくれません」

■ 軽くて加工しやすく丈夫な 材料の開発に

ものづくりにおける中性子利用のもう一つの大きなターゲットは、材料開発だ。例えば、自動車のボディは、厚さ1～3mmの鋼板をプレスして成形する。成形しやすく、成形された後も強度と耐久性を保ち、しかも軽い材料が開発できれば、自動車の燃費を向上させることができる。「そのような材料を開発するには、材料を構成する結晶の並び方（方位）が重要になります。試作した材料が設計

どおりの結晶方位の割合になっているか、プレスした後に結晶方位の割合がどのように変化するのかを確かめるために、電子線回折やX線回折という手法が広く使われています。しかし、これらの手法では材料表面から0.01～0.02mmの深さまでしか見ることができません。空気などと接する表面は内部と状態が異なる場合も多いので、内部がどうなっているのかは分かりません」

大竹TLたちは、厚さ1～2cmの鋼板内部の結晶方位をRANSで計測する中性子回折の手法を開発。その手法で、プレスする前後の結晶方位の変化を計測した（図6）。「同じ材料を、従来の電子線回折法やJ-PARCでも計測して、RANSの計測データが正しいことを確かめました。このような計測がものづくりの現場で可能になれば、材料開発やプレス技術の向上に大きく役立つはず」

■ 中性子利用の裾野を広げる

RANSの2号機では、標的で発生する中性子の明るさは、1号機の10分の1とさらに暗くなる。しかし、実際の試料に当てる中性子ビームの明るさは、1号機とそれほど変わらないという。

「加速する陽子のエネルギーを7MeVから2.49MeVに低くするため、発生する中性子のエネルギーも低くなります。それにより放射線量は1号機に比べて30分の1に低減します。1号機では1.8m四方だったターゲットステーションのサイズが、2号機では約70cm四方で済みます。その分、中性子が発生する標的から近い距離に試料を置けるので、試料に

関連情報

- 2017年3月16日プレスリリース
鋼材の塗膜下腐食における水の動きを可視化
- 2016年11月1日プレスリリース
中性子によるコンクリート内損傷の透視
- 2013年9月9日プレスリリース
小型中性子源システムで鋼材内部腐食を非破壊で可視化することに成功
- 「理研ニュース」2013年8月号「SCIENCE VIEW」
現場で使える小型中性子源を開発

当てる中性子ビームの明るさはあまり変わらないのです」

2号機では小型化とともに、コストダウンにも取り組む。「1号機のコストの大部分を、米国メーカーから購入した加速器の値段が占めています。それを下げるため、2号機では日本メーカーから部品を調達して、自分たちで加速器を立ち上げています（図2）。量産化が進めば、1機の値段は数千万円になると期待しています」

小型化とコストダウンが実現できれば、RANSを車に載せてインフラの非破壊検査に使うだけでなく、ものづくりの現場や検査会社にも普及するだろう。研究用原子炉やJ-PARCのような共同利用施設では、申請してもすぐに計測できないケースが多い。試作した装置や材料をすぐに中性子で計測できるようになれば、開発が大きく加速するはずだ。

では、RANSが普及すれば、J-PARCのような明るい中性子源は必要なくなるのか。

「そんなことはありません。J-PARCで計測できて、RANSではできないことは、やはりたくさんあります。例えば動画撮影です。暗いRANSでは、1枚の静止画の撮影に数分かかります。まずRANSで計測して、さらに詳しい計測や動画撮影はJ-PARCで行うといったように、RANSが中性子利用の裾野を広げる役割を果たすことを期待しています」

大竹TLたちは2017年度中にRANSの2号機で中性子を発生させ、計測を始める計画だ。

（取材・執筆：立山 晃／フotonクリエイト）

FIRST PERSON

SPECIAL ISSUE: PLANT CELL BIOLOGY

First person – Yoko Ito

First Person is a series of interviews with the first authors of a selection of papers published in Journal of Cell Science, helping early-career researchers promote themselves alongside their papers. Yoko Ito is the first author on 'The Golgi entry core compartment functions as a COPII-independent scaffold for ER-to-Golgi transport in plant cells', published in Journal of Cell Science. Yoko is a postdoctoral researcher in the Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team in the lab of Akihiko Nakano at the RIKEN Center for Advanced Photonics, Wako, Saitama, Japan. She is studying the mechanisms of biogenesis and maintenance of the Golgi apparatus in plant cells.

How would you explain the main findings of your paper to non-scientific family and friends?

The Golgi, one of the membrane-bound organelles inside eukaryotic cells, is known for its unique stacked structure. While almost all the eukaryotes have this structure, little is known about how it is formed and maintained. In our previous work, we found that only specific Golgi proteins localize to unknown punctate structures when the Golgi stacks are disassembled after treatment with a drug in tobacco cells. Because the Golgi stacks reassemble from these punctate structures after removal of the drug, we thought of them as the 'seeds' of the Golgi, and analyzed them further in the present study. By high-resolution live-cell imaging, we found that the punctate structures contain the proteins originating from the entry face of the Golgi stacks, and receive other Golgi components during Golgi regeneration. Therefore, we named the structure the Golgi entry core compartment (GECCO). Furthermore, the GECCO was revealed to form independently of the known Golgi trafficking systems, indicating that a novel transport route exists.

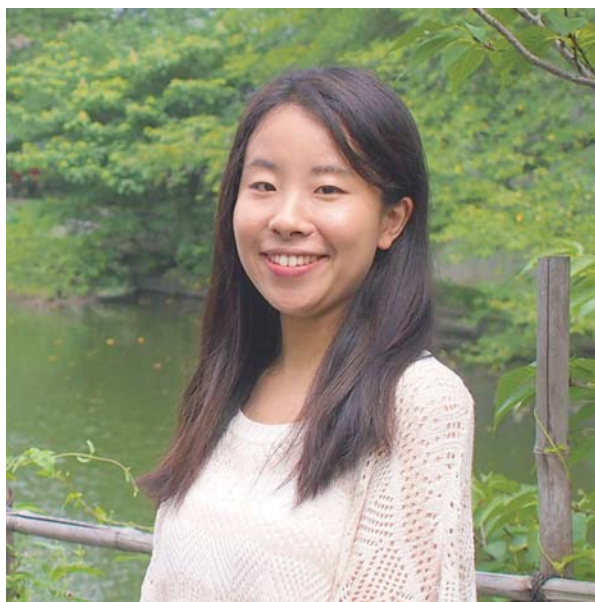
Were there any specific challenges associated with this project? If so, how did you overcome them?

This work required very long time-lapse 3D imaging (for about 6 h) in high resolution, and minor differences in the environment during observations easily affected the cells and stopped their Golgi trafficking. We had no choice but to try many experimental patterns and find the best condition. This was a tough trial of live-cell imaging we had to face, but once we overcame it, the obtained images were very meaningful scientifically, and really beautiful.

When doing the research, did you have a particular result or 'eureka' moment that has stuck with you?

Because I expected that the GECCO would disappear by inhibiting the only known endoplasmic reticulum-to-Golgi trafficking route, I was shocked by the opposite result. Unexpected data are often hard to deal with, but I think such a moment is one of the best parts of doing science.

Yoko Ito's contact details: Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team, RIKEN Center for Advanced Photonics, Wako, Saitama 351-0198, Japan. E-mail: yoko.ito@riken.jp



Yoko Ito

"Don't be disappointed by unexpected results. You might find something that nobody knows."

What's the most important piece of advice you would give first-year PhD students?

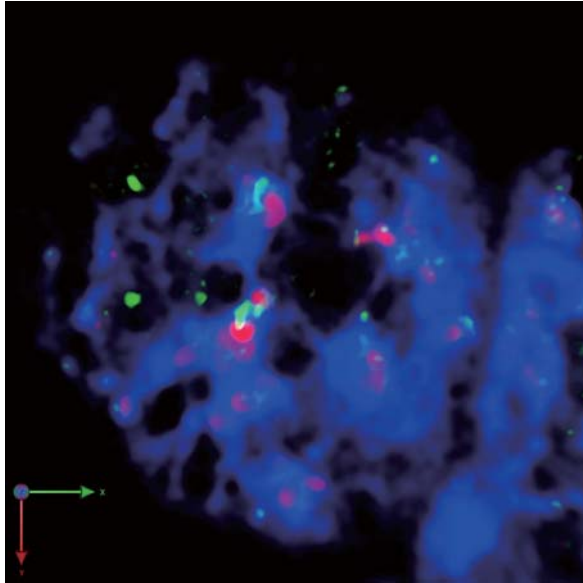
Related to the previous answer, this project itself started from an unexpected result when I was a graduate student. I originally planned to disassemble the Golgi stacks completely, but I couldn't do it at all, no matter how many times I tried. I was really confused at that time, but I received my PhD thanks to this data and I am still working on its continuation. Don't be disappointed by unexpected results. You might find something that nobody knows.

What changes do you think could improve the professional lives of early-career scientists?

As many scientists say, I think job stability is necessary in academic fields. We cannot do creative work when we are busy worrying about the near future.

What's next for you?

I would like to do my next postdoc abroad. I am now planning to isolate the GECCO, identify what proteins and lipids localize there, and analyze how such molecules contribute to the formation of the Golgi stacks and plant life.



A 3D image of cis-Golgi (green), trans-Golgi (red), and the ER (blue) in tobacco cells.

Reference

Ito, Y., Uemura, T. and Nakano, A. (2018). The Golgi entry core compartment functions as a COPII-independent scaffold for ER-to-Golgi transport in plant cells. *J. Cell Sci.* **131**, jcs203893.

Reproduced with permission of Journal of Cell Science

Science View

●理化学研究所 量子工学研究領域

中性子ビーム技術開発チーム

副チームリーダー 竹谷 篤

鋼材の塗膜下腐食における水の動きを可視化

建築物や橋梁といった社会インフラなどに使われる鋼材は、水で腐食しやすい。塗装をしても時間がたつにつれて、水が塗膜下に浸入して腐食が進む。そこで、腐

食の進行を遅らせる塗料や耐食合金鋼などの開発が行われている。そのためには鋼材の腐食メカニズムの解明が必要であり、水に対する感度が高い中性子を用いた非破壊検査が注目を集めている。

理研と神戸製鋼所を中心とする共同研究チームは、「理研小型中性子源システム RANS」を用いて開発した鋼材塗膜下の水の動きを定量的に評価する解析手法を、「大強度陽子加速器施設 J-PARC」での実験に適用した。これは、小回りの利く小型中性子源で開発・テストした解析手法を大強度中性子源での長時間・高空間分解能イメージングに適用するという、中性子源の相補利用のモデルケースとして注目されている。まず、簡易塗装された普通鋼と合金鋼に対して、それぞれ塗膜に人工的な欠陥をつくり、JISが定める促進腐食試験により塗膜下に腐食を成長させた。これらの腐食跡に水を含ませ、自然乾燥するまでの数時間、塗膜下の水の動きを J-PARC での中性子イメージングにより詳細に観察した。その結果、普通鋼よりも合金鋼の方が欠陥からの水の浸入が少なく、乾燥も速いことが分かった。

今後、鋼材腐食に関する多くの定量的データを得ることで鋼材の腐食メカニズムが解明され、維持管理コストの低減につながると期待できる。

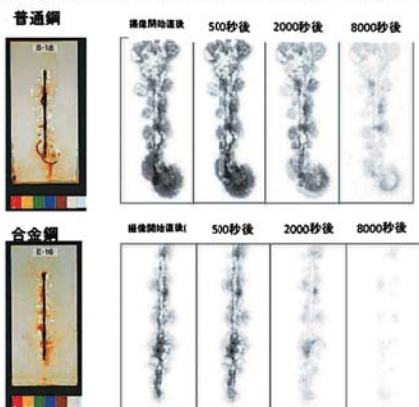


図 普通鋼と合金鋼の試料の水の分布の時間変化

普通鋼と合金鋼の塗膜に人工的に欠陥を作り、そこを起点にできた膨れを成長させた後に水を含ませ、その後自然乾燥する間、中性子透過像を撮影した。普通鋼よりも合金鋼のほうが水の浸入が少なく、乾燥も速いことがよく分かる。なお、この中性子透過像は日本金属学会第67回金属組織写真賞の優秀賞を受賞した。

■プロフィール

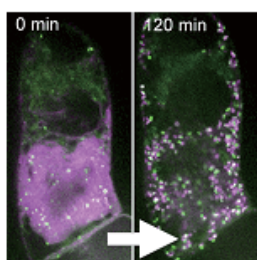
たけたに・あつし 1990年広島大学大学院理学研究科後期博士課程修了。理学博士。フェルミ国立加速器研究所博士研究員、理化学研究所研究員（SPRING-8、理研ブルックヘブン研究センター、仁科加速器研究センター）などを経て、2013年から現職。

■コメント＝検出原理から出発して、中性子でモノがどこまで見えるのかを究めたい。



Research Highlights April 2017

Golgi-autonomous behavior of the TGN



Editor-in-Chief's Choice – Free Access

Although the *trans*-Golgi network (TGN) is a hub of intracellular trafficking, its dynamic behavior in plant cells is not well documented. Ito et al reveal that the TGN begins to regenerate earlier than the completion of the Golgi apparatus following BFA treatment – when the TGN is dispersed into small vesicular structures –, and that regeneration of both

proceeds independently for a while, thus indicating a degree of autonomy in the regeneration of the TGN and Golgi.

About the author: Yoko Ito received her Ph.D. from the Department of Biological Sciences, University of Tokyo, in 2014 with a Research Encouragement Award, and thereafter joined the Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team at RIKEN as a postdoctoral researcher. She was first drawn to the elegant structure of the Golgi apparatus during her undergraduate days, and has since been working on plant membrane trafficking around the Golgi apparatus using live-imaging techniques. She is currently developing her own research on Golgi biogenesis using custom-made, super-resolution microscopy in RIKEN. Yoko's other passions include classical music, and playing the piano and violin.



RIKEN NEWS

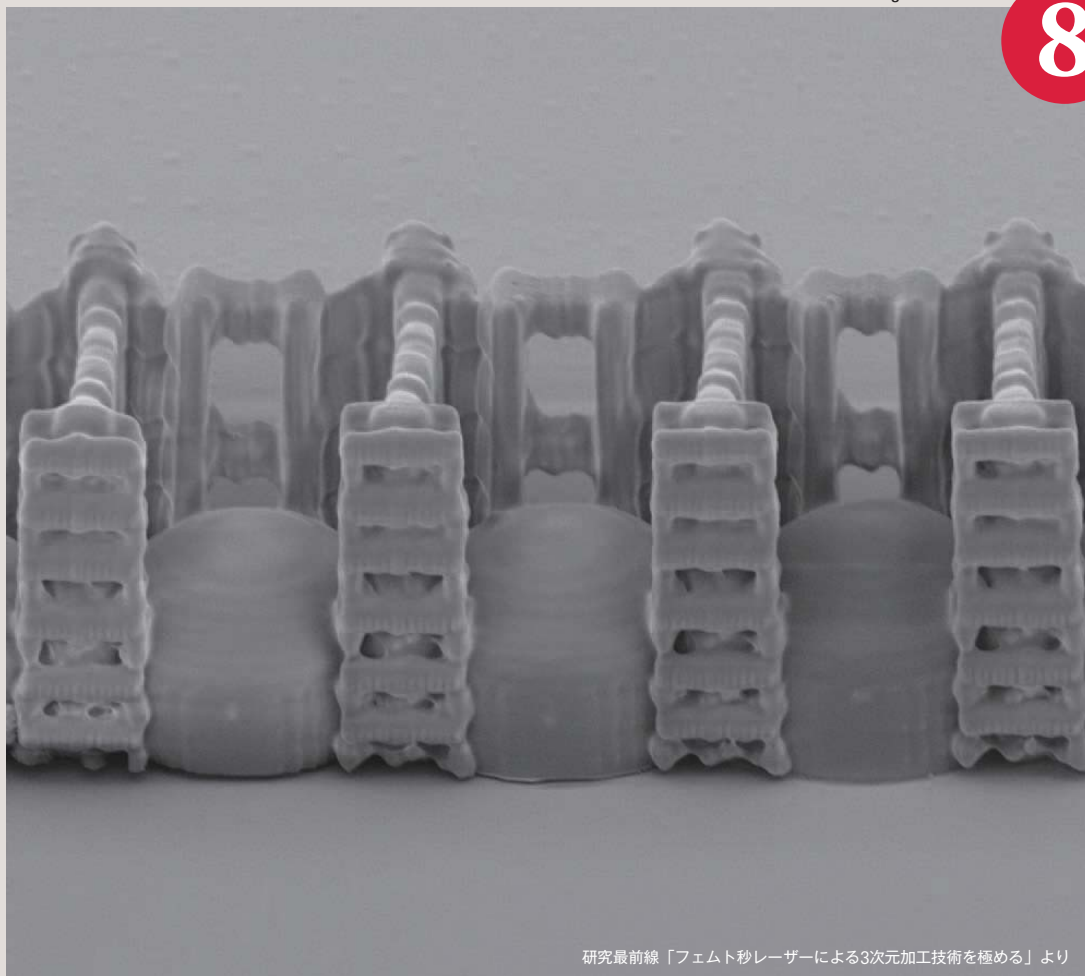
ISSN 1349-1229



理化学研究所

No.434 August 2017

8



研究最前線「フェムト秒レーザーによる3次元加工技術を極める」より

研究最前線

02

ビタミンB₁の体内動態をPETで見る

研究最前線

06

フェムト秒レーザーによる 3次元加工技術を極める

SPECIAL TOPIC

10

独立主幹研究員制度・国際主幹研究員制度を
振り返って

TOPICS

14

- ・横浜地区一般公開のお知らせ
- ・和光移転50周年記念式典開催
- ・新研究室主宰者の紹介

原酒

16

イラスト描きと研究

理 研
百 年

RIKEN CENTENNIAL
Since 1917

1パルス当たりの照射時間が非常に短いフェムト秒レーザーを使って

今まで不可能だった加工技術を開発し、高性能な材料やデバイスをつくること。

それが、杉岡幸次ユニットリーダー（UL）率いる理研—SIOM連携研究ユニットの大きなテーマである。

「理研は、レーザー研究の歴史も古く、フェムト秒レーザーに関しては基礎から応用まで世界トップクラス」。

そう語る杉岡ULらが実現したフェムト秒レーザー3次元加工技術の数々を紹介しよう。

フェムト秒レーザーによる 3次元加工技術を極める

■ フェムト秒レーザーに注目する理由

「レーザーを用いて今まで不可能だった加工技術を開発し、高性能な材料やデバイスをつくりたいのです。そのためにいろいろな種類のレーザーを扱ってきましたが、今注目しているのは超短パルスレーザーです」と杉岡ULは語る。

レーザーは位相と波長がそろった光で、指向性や収束性に優れている。レーザー光を照射している時間（パルス幅）が非常に短いものを、超短パルスレーザーという。「私たちは、主に二つの理

由から、パルス幅が数十～数百フェムト秒のフェムト秒レーザーを使っています」。1フェムト秒は1000兆分の1秒だ。

超短パルス以外のレーザーで材料を加工すると、1パルス当たりの照射時間が長いのでレーザーが当たった部分で発生する熱が拡散して、周囲を損傷したり変性させたりしてしまう。一方、フェムト秒レーザーは照射時間が非常に短いので、熱による損傷や変性がないきれいな加工ができる。これが一つ目の理由だ。

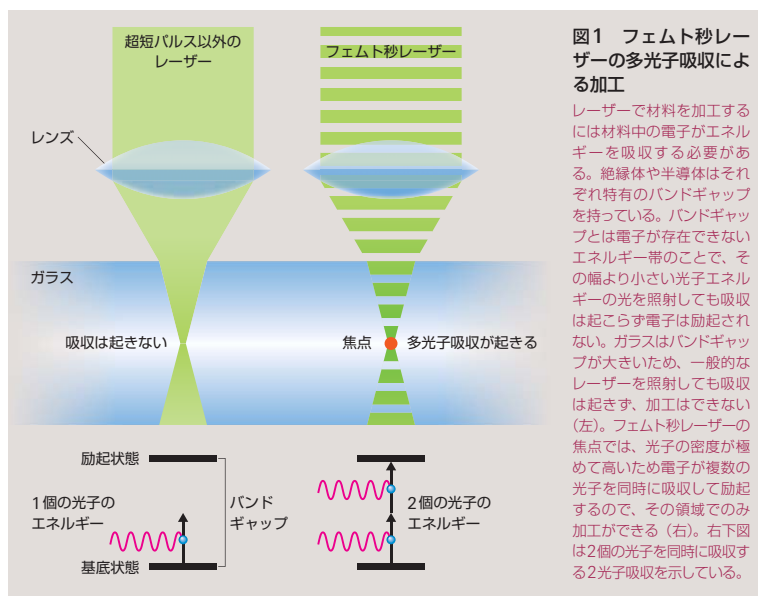
レーザーで材料を加工するには材料

中の電子がエネルギーを吸収する必要がある。ガラスのような透明な材料では、光子エネルギーの低い（波長の長い）レーザーを照射してもそのエネルギーは吸収されず通り抜けてしまう。一方、フェムト秒レーザーは単位時間当たりの光子の密度が極めて高いため、材料中の電子が光子を複数個同時に吸収する「多光子吸収」という特殊な現象が起こる（図1）。そのため透明材料でも加工が可能だ。これが二つ目の理由である。

「特に二つ目の理由が重要」と杉岡UL。「レーザーのエネルギーをうまく調整すると多光子吸収は焦点近傍でのみ起きるので、透明材料の内部に設定した焦点を動かすことで内部を3次元的に加工できるのです」。ではフェムト秒レーザーを使って、どのような加工を実現しているのだろうか。

■ 高アスペクト比のシリコン貫通孔

まず、中国科学院上海光学精密機械研究所（SIOM）との連携で実現したシリコン貫通孔の作製技術を紹介しよう。SIOMは1964年に設立された、中国で最初の光学専門研究所である。理研と中国科学院は1982年に研究協力協定を締結し、2013年、連携研究ユニットが理研に、連携研究室がSIOMに設置された。SIOM側の責任者であるヤ・チェ



杉岡幸次（すぎおか こうじ）
光量子工学研究領域
理研—SIOM連携研究ユニット
ユニットリーダー

1961年、広島県生まれ。工学博士。早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。1986年より理研半導体工学研究室研究員補。レーザー科学研究グループ研究員、緑川レーザー物理工学研究室研究員を経て、2014年より現職。



ン（Ya Cheng）教授は以前、杉岡ULの研究室でポスドク研究員をしていたというつながりもある。

電気機器の高機能化や小型化のために素子の集積化が進んでいる。1枚の基板に数万個の素子を集めた大規模集積回路（LSI）がつくられているが、微細化による集積は技術的な限界に近く、ほかの手法が求められている。そこで注目されているのが、3次元シリコンLSIだ。シリコンLSIを複数枚積み重ねることで高集積を実現しようというものである。

「3次元シリコンLSIは、シリコン基板を垂直に貫通する孔を開けて重ね、孔に金属を充填して配線する必要があります。孔は小さく、そして基板を貫通する深さが必要です。孔の深さを径で割った値をアスペクト比と呼び、高アスペクト比のシリコン貫通孔をつくる技術は、3次元シリコンLSI作製のキーテクノロジーなのです」と杉岡ULは解説する。

現在、シリコン貫通孔の作製には、反応性イオンエッチングの一種であるボッシュ法が主に用いられている。しかし、工程が多く時間がかかるという問題がある。「私たちは、フェムト秒レーザーからつくった『フェムト秒ベッセルビーム』が使えるのではないかと考えました」と杉岡UL。フェムト秒ベッセルビームはガラスの加工では使われていたが、シリコンの加工に応用した例はなかった。

伝播によってビームが広がる通常の光をガウスビーム、広がることなく伝播する光をベッセルビームという。レーザーはガウスビームなので、高アスペクト比の孔の作製には限界がある。一方

で、完全なベッセルビームをつくることは技術上不可能だが、レーザーをアキシコンレンズという円すい状のレンズを透過させると、直径数 μm の小さな集光スポットが数mm以上の長い距離にわたって広がらずに伝播する光を生成できる。

「SIOMで実験を行ったところ、狙いどおり高アスペクト比の貫通孔ができました。しかし、大きな問題があったのです」と杉岡ULは声を落とす。シリコン貫通孔の断面を電子顕微鏡で見ると、加工壁に傾斜がなく高アスペクト比を実現している（図2左上）。しかし孔の周りに同心円状の損傷がある。ベッセルビームは、中心のセントラルローブと、同心円状の複数のサイドローブで構成されている。同心円状の損傷はサイドローブによって発生したと考えられる。

「サイドローブのエネルギーを低くできれば損傷を防げるはずだ。問題は、その方法です」。杉岡ULが頭を悩ませて

いるとき、SIOMにベッセルビームを使っている研究者がいるという情報を入手。「彼らは、アキシコンレンズと光に位相差を与える位相板を組み合わせて、ベッセルビームを整形する手法を開発していました。セントラルローブのエネルギーをサイドローブに移し、中心スポットを細くすることに成功したと聞き、ひらめいたのです。逆をやればいいんだ、と」。

早速、サイドローブのエネルギーをセントラルローブに移すための位相板のデザインに着手。そして、アキシコンレンズと最適化したデザインの位相板を組み合わせると、セントラルローブに対するサイドローブのエネルギー比を15.6%から0.6%に低減できるというシミュレーション結果が得られた（図2下）。

杉岡ULらはその結果に基づいて位相板を作製し、アキシコンレンズと組み合わせて生成したフェムト秒ベッセルビームを用いて厚さ100 μm のシリコン基板

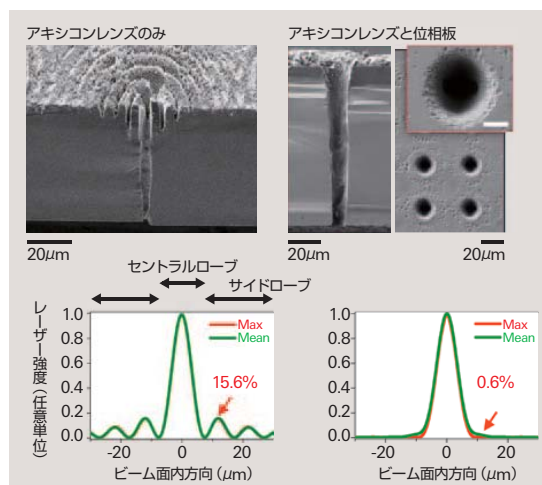


図2 フェムト秒ベッセルビームによるシリコン貫通孔の作製

上はシリコン貫通孔の電子顕微鏡写真、下はベッセルビームの空間強度分布のシミュレーション。アキシコンレンズのみで生成したベッセルビームの場合、サイドローブによって同心円状の損傷が生じている。アキシコンレンズに位相板を組み合わせて整形すると、セントラルローブのエネルギーに対するサイドローブのエネルギー比が15.6%から0.6%に低減する。整形したベッセルビームを用いて作製した貫通孔は、同心円状の損傷がない。

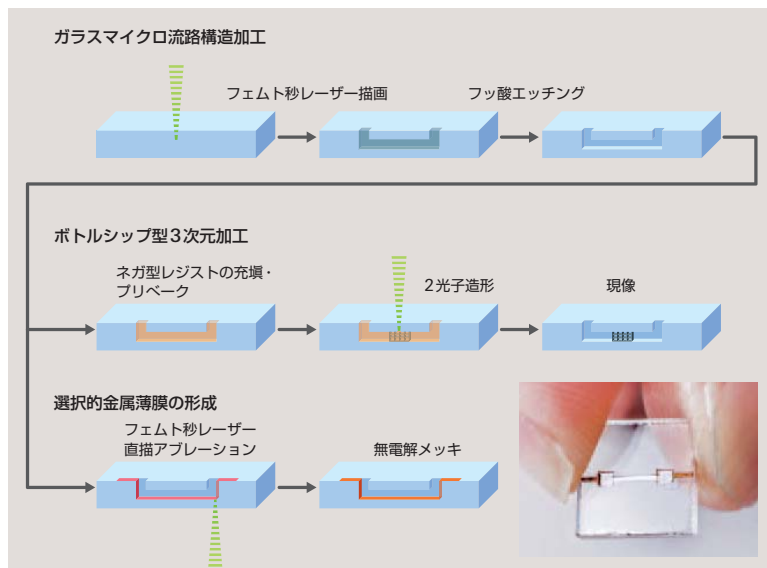


図3 フェムト秒レーザー3次元加工によるバイオチップの作製手順

いずれの加工も同一のフェムト秒レーザーで可能である。それは実用化においても大きな利点になる。

を加工。損傷がない高アスペクト比の貫通孔の作製に成功した(図2右上)。孔の直径は $7\mu\text{m}$ で、アスペクト比は15だ。これは、将来の3次元シリコンLSIに必要なとされている値の3倍に相当する。

「この技術は、ガラスなどさまざまな基板の孔開けや切断の加工に応用できます。この成果を2017年1月に発表すると、国内外の企業から多くの問い合わせがありました。産業界からの大きな期待を感じ、実用化に向けてハイスループット化などの検討を始めています」。現在、1秒間に開けられる孔は2~3個だ。産業界からの要求は1秒間に1,000個。パルスの間隔を短くしたり、複数のスポットを同時に生成するマルチビームにしたりすることで、要求に応えようとしている。

■ ナノ水族館でミドリムシの鞭毛を観察

杉岡ULが研究ユニットの立ち上げ以前から取り組んでいたのが、高機能バイオチップの作製である。バイオチップの一つが、ガラスなどの基板上に微小な流路や反応容器を作製したマイクロ流体デバイスである。反応や分離、検出などさまざまな操作を、少量の試料で高速・高感度に行えることから、生命科学や医療などの分野で注目されている。

バイオチップは普通、土台となるガラスの上に、流路を加工したガラスを重

ね、さらに入り口と出口となる孔を開けたガラスを載せ、それらを貼り合わせてつくる。一方、フェムト秒レーザーを使えば、ガラスを貼り合わせることなく、ガラスの内部に3次元的な流路を直接つくり出ることができる。具体的には、感光性ガラスを用意し、そのガラス内部につくりたい構造の形に沿ってレーザーの焦点を移動させていく。レーザーが当たった部分では多光子吸収が起きて化学的な性質が変わる。このレーザー描画の後、フッ酸に浸してエッチングすると、レーザーが当たった部分だけが選択的に削れ、ガラス内部にくりぬいたような構造ができる(図3上)。ガラス内部に流路を何層も形成することも可能だ。

この加工技術を使って最初に製作したのは、単細胞生物ミドリムシの鞭毛の高速運動を観察するためのバイオチップだった。ミドリムシは体の前方に付いている1本の鞭毛を回転させて高速で進む。ミドリムシの体長は $70\mu\text{m}$ 、幅は $30\mu\text{m}$ ほ

ど。それに対して鞭毛は、太さ 200nm 、長さ $30\mu\text{m}$ しかない。なぜ大きな推進力が得られるのかが分かっていなかった。鞭毛が細い上に、わずか30~40ミリ秒で1回転するため、肉眼や普通のビデオカメラではその動きを追うことが難しいのだ。高倍率の顕微鏡が必要になるが、それは視野が狭く焦点距離も短い。ミドリムシをシャーレに入れて観測しようとすると、偶然、焦点位置に来たときしか観察できず、効率が非常に悪い。そこで杉岡ULは考えた。「ミドリムシの自由度は失わないが限られた空間しか泳げないようにすれば、効率よく観察できるはずです。そこで、1cm角のガラス基板の内部に、太さ数十 μm の流路とその左右の端から表面まで縦孔を作製したバイオチップをつくりました。名付けて『ナノ水族館』です」(図4左)。

狙いどおり、実験開始からわずか数秒でミドリムシの高倍率の顕微鏡写真を撮ることに成功。思わぬ成果もあった。流路の端まで来たミドリムシは、縦孔を上に向かって泳ぎ始めた。そこに顕微鏡をセットして、鞭毛の動きを前方から観察することに成功したのだ(図4右)。「ミドリムシの鞭毛の動きを前方から観察したのは私たちが初めてです。上からの観



図4 ナノ水族館によるミドリムシの鞭毛の観察

左はフェムト秒レーザー3次元加工で作製したナノ水族館の模式図。右は、ミドリムシの前進運動を前方から観察した光学顕微鏡画像。鞭毛を回転する様子を捉えることができる。

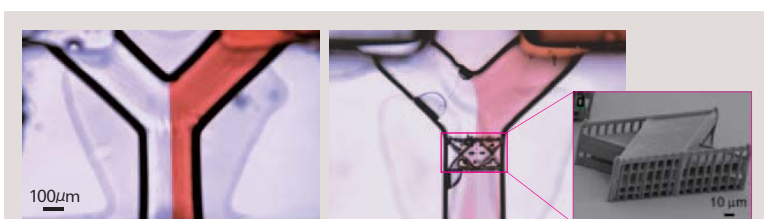


図5 マイクロミキサーが形成されたY字形マイクロ流体素子

マイクロミキサーがないと、透明な溶液と赤い溶液は混ざらずに別々の層となって流れていく（左）。マイクロミキサーがあると、二つの溶液が効率よく混合される（右）。

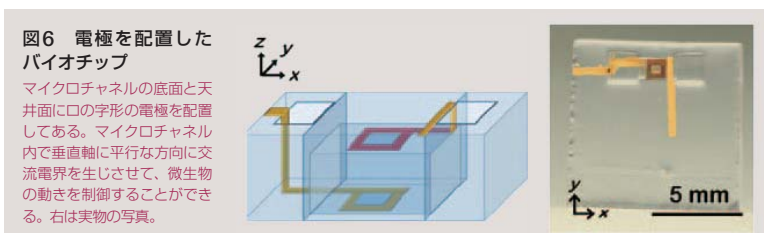


図6 電極を配置したバイオチップ

マイクロチャンネルの底面と天井面にY字形の電極を配置してある。マイクロチャンネル内で垂直軸に平行な方向に交流電界を生じさせて、微生物の動きを制御することができる。右は実物の写真。

察だけでは分からない、3次元的な動きを解析できるようになりました」。これは、理研脳科学総合研究センター（BSI）細胞機能探索技術開発チーム（宮脇敦史チームリーダー）との共同研究である。

■ ボトルシップのように加工する

「ナノ水族館の作製に使った手法は単純な流体構造をつくるには十分ですが、加工精度はそれほど高くありません。そこで、ナノメートルスケールの微細な3次元加工が可能な新しい技術を開発しました。それが、2015年に発表した『ボトルシップ型3次元加工技術』です」

ガラス内部につくった流路構造にネガ型レジストと呼ばれるポリマーを流し込み、加熱して固める（プリバーク）。そして、つくりたい構造の形に沿ってレーザーの焦点を移動させると、その領域のポリマーが連結する。現象液でレーザーが照射されていない部分を洗い流すと、流路の中にポリマーの3次元構造体が姿を現す（図3中）。瓶の中で船の模型を組み立てるボトルシップに似ていることから、ボトルシップ型3次元加工技術と名付けた。「ほかの手法では、固体の内部に後から微細な3次元構造を形成するのは不可能です」と杉岡UL。

この加工技術を用いてY字形の流路構造に細かい孔がたくさん開いたZ字形

のマイクロミキサーを組み込んだバイオチップを作製（図5）。マイクロミキサーを通過することで、2種類の溶液を効率よく混合できる。また、細胞を検出して数を数えるマイクロレンズアレイ（表紙）を組み込んだバイオチップも作製し、その機能を実証している。1個のバイオチップに異なる機能の3次元構造を複数集積した高機能バイオチップも実現可能だ。

■ がん細胞が転移の様子を観察

ボトルシップ型3次元加工技術で作製したバイオチップを用いて、がん細胞の転移の研究も進めている。がん細胞は、基底膜や組織の間を擦り抜けて別な器官へ転移していく。擦り抜けるとき細胞は変形しているはずだが、どのように変形するのか、細胞内の核や小器官がどのようになるのかなど詳細は分かっていない。それが分かれば、がんの転移を防ぐヒントが得られるかもしれない。

杉岡ULらは、ガラス内部の流路構造に、数十μmのがん細胞より小さい2μmの孔が開いた構造をポリマーで作製して組み込んだ。「がん細胞がチャンネルに変形しながら入り込んでいく様子を観測することに成功しています。今後は、ポリマーを生体分子に換えるなど、より生体を模倣したバイオチップで実験をしていく計画です」

関連情報

- 2017年2月28日プレスリリース
マイクロ閉空間での微生物の3次元運動制御に成功
- 2017年1月18日プレスリリース
高アスペクト比シリコン貫通穴の作製技術
- 2015年1月16日プレスリリース
ボトルシップ型フェムト秒レーザー3次元加工技術を開発

■ 微生物の動きを3次元で制御

杉岡ULらは、ガラス内部につくった流体構造に金属配線をする技術も開発。配線をしたい場所にフェムト秒レーザーを当てて表面を軽く削り、無電解メッキを施すだけだ（図3下）。金属イオンと還元剤の化学反応でできた金属粒子の薄膜を表面に付着させるのだが、ガラスは密着力が弱いので金属粒子が付着できない。そこで、レーザーで表面を削ってざらざらな状態にする（アブレーション）ことで金属粒子が付着しやすくなり、選択的に金属膜をつくれるのだ。

ナノ水族館と金属配線の技術を組み合わせると、より効率的にミドリムシを観察できる。金属配線技術で電極を配置して電界方向を変えることで、ミドリムシの運動方向を制御できるのだ。上と下に電極を配置し、垂直方向に電界をかければ、ミドリムシは上に向かって泳ぐ（図6）。偶然に頼らなくても前方から鞭毛の動きを観察することができる。

電界による運動方向の制御はほかの微生物にも有効で、それらの移動メカニズムの解明にも役立つだろう。金属配線はヒーターにもなるので、温度制御ができるバイオチップも実現可能だ。

「フェムト秒レーザーを用いると多様なバイオチップを作製できます」と杉岡UL。「しかし私たちは生命科学が専門ではないのでアイデアには限りがあります。私たちのレーザー加工技術を生命科学の研究者に知ってもらい、ぜひいろいろな実験に使ってもらいたいですね」

（取材・執筆：鈴木志乃／フotonクリエイト）

RIKEN NEWS

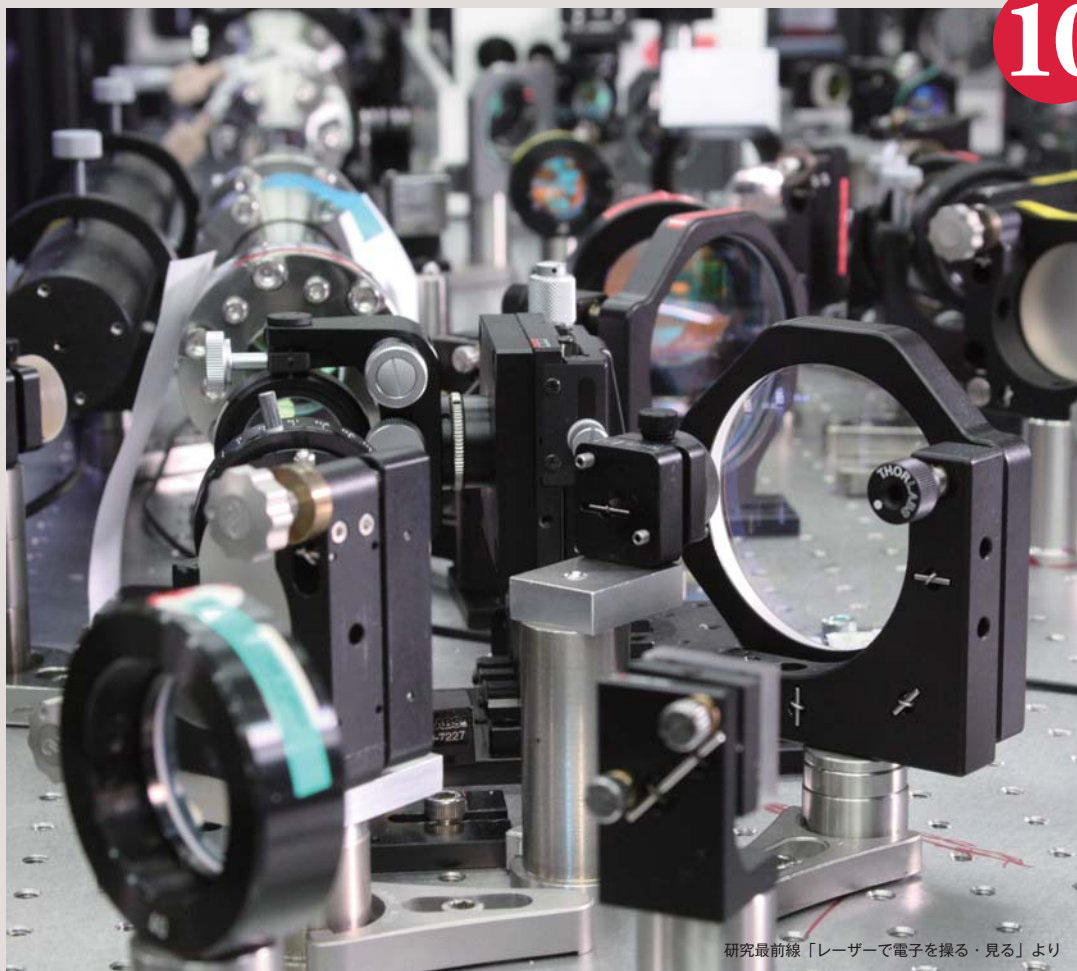


理化学研究所

ISSN 1349-1229

No.436 October 2017

10



研究最前線「レーザーで電子を操る・見る」より

研究最前線

02

レーザーで電子を操る・見る

放射性同位体の分離技術とアト秒レーザーの開発

研究最前線

06

糖鎖の分解機構を理解し 難病の治療につなげる

特集

10

牛白血病撲滅へ

「CoCoMo[®]-BLV検出キット」を発売

FACE

14

統一的シミュレーションで
ものづくりの革新を目指す研究者

TOPICS

15

- ・ 林 芳正 文部科学大臣が理研横浜地区を視察
- ・ 大阪地区一般公開のお知らせ
- ・ 2018年度「産業界との融合的連携研究制度」、研究課題の募集を開始

原酒

16

グラウンド

理 研
百 年

RIKEN CENTENNIAL
Since 1917

光量子工学研究領域 アト秒科学研究チームが、放射性同位体を分離するレーザー偶奇分離を高効率で行う技術を開発して、大きな注目を集めている。内閣府 総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）の一つとして、「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」が実施されており、その一環として行われた研究による成果だ（本誌2017年9月号大特集「LLFP核変換」）。同チームでは、新しいレーザーの開発でも大きな成果を上げている。アト秒レーザーという一瞬の光を使えば、原子中の電子の動きを見ることができると期待されている。しかし従来のアト秒レーザーは低出力なため、さまざまな実験への利用が困難だった。同チームでは、多波長合成レーザー法という独自の手法を開発して世界最高出力のアト秒レーザーを実現した。

レーザーで電子を操る・見る

放射性同位体の分離技術とアト秒レーザーの開発

■ 高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化

ImPACTプログラムでは、原子力発電で生じる高レベル放射性廃棄物に含まれる「長寿命核分裂生成物（LLFP）」を、放射能のない安定な原子核（安定核）や短寿命の原子核に核変換するとともに、有用な元素を分離回収して資源として再利用することを目指している。

使用済み核燃料には、パラジウム（Pd）やロジウム（Rh）などの有用な元素が含まれている。Pdは自動車の排ガス浄化の触媒などとして使われる。ただ

し、使用済み核燃料に含まれるPdの中には放射能を持つものと安定核が混在しているため、再利用するには、放射能を持つ原子核を分離する必要がある。

そもそも原子は電子と原子核から成り、原子核は、プラスの電荷を持つ陽子と電気的に中性の中性子が結合したものだ。

Pdの原子核は46個の陽子を持つ。陽子数（原子番号）が原子核の周りを回る電子の数に対応し、元素の種類と化学的性質を決める。ただし、同じPdでも、中性子数の違いにより質量数（陽子数+

中性子数）が異なる同位体が複数存在し、放射能レベルや崩壊するまでの寿命が大きく異なる。

使用済み核燃料には、7種類のPd同位体（質量数：102、104、105、106、107、108、110）が存在する。その中で¹⁰⁷Pdだけが半減期（放射性同位体が崩壊して数が半分の時間）が650万年の長寿命放射性同位体であり、核変換の対象となるLLFPの一種だ。残りの6種類は安定核である。

高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化を実現するには、安定同位体と放射性同位体を分離することが必要だ。Pd同位体でいえば、7種類から¹⁰⁷Pdだけを分離できれば、残りの安定同位体を資源として利用できる。しかし同位体には化学的性質の違いがないため、化学的手法で¹⁰⁷Pdだけを分離することは不可能である。

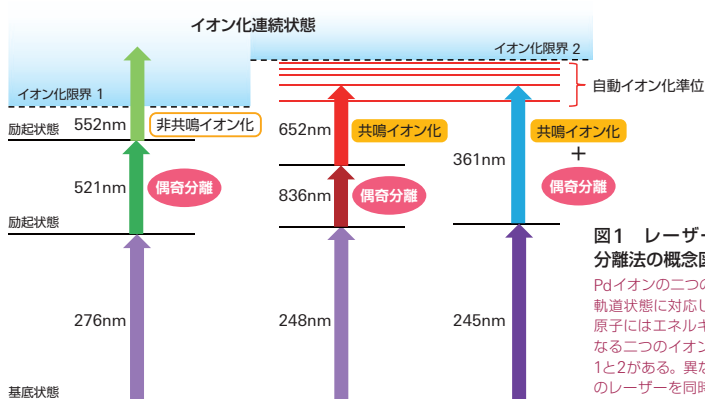


図1 レーザー偶奇分離法の概念図

Pdイオンの二つのスピン軌道状態に対応して、Pd原子にはエネルギーの異なる二つのイオン化限界1と2がある。異なる波長のレーザーを同時に照射して電子を励起させると、①～③とも2段階目で偶奇分離が起きる。質量数が奇数の同位体は、2段階目の偏光を吸収して励起され最終的にイオン化する。偶数の同位体は、2段階目の偏光を吸収せずイオン化しない。

- ① 従来法
従来法では、イオン化連続状態に電子を励起するために光吸収のしやすさとは無関係な波長のレーザーを照射していた。そのため、イオン化効率が低かった。
- ② 新規法(3レーザー)
新規法では、特定の自動イオン化準位に共鳴励起することで、イオン化効率を既存法の1万倍に向上させることに成功した。
- ③ 新規法(2レーザー)
さらに2段階目で偶奇分離とイオン化を同時に行う手法により、既存法の10万倍のイオン化効率を達成した。

■ レーザー偶奇分離の

10万倍の高効率化に成功

放射能が強く半減期が長い同位体には、質量数が奇数のものが多い。Pdの場合も質量数が偶数の同位体は全て安定核である。使用済み核燃料に含まれる7種類のPd同位体を質量数が偶数と奇数のもので分離（すなわち偶奇分離）できれば、偶数の安定核を資源として再利用し、LLFPである¹⁰⁷Pdを含む奇

緑川克美（みどりかわ・かつみ）

量子工学研究領域
領域長
アト秒科学研究チーム
チームリーダー

1955年、福島県生まれ。工学博士。慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。1983年、理研レーザー科学研究グループ 研究員。1997年、レーザー物理工学研究室 主任研究員。2005年、エクストリームフォトニクス研究推進グループ グループヘッド、テラヘルツ光研究プログラム プログラムディレクター。2008年、先端光科学研究領域 領域長。2013年4月より現職。



数の同位体を核変換の対象にすることができる。

1980年、米国の研究者たちが3種類の波長のレーザー光を使って奇数と偶数の同位体を分離する「レーザー偶奇分離法」を考案した。しかし旧 動力炉・核燃料開発事業団によって1995年に行われた試験実験では、偶奇分離効率が低く、実用化に向けて大幅な効率化が必要であることが判明していた。

そこでImPACTプログラムの立ち上げに際して、量子工学研究領域の領域長であるアト秒科学研究チームの緑川克美チームリーダー（TL）に白羽の矢が立った。「私は、1983年に理研に入ったとき、レーザーでウラン同位体を分離する研究に携わりました。そのような経験から、ぜひ、レーザー偶奇分離法の高効率化を実現したいと思いました。そこで、レーザーを使った分光研究を続けてきた小林 徹さんに担当してもらうことにしました」

レーザーを原子・分子に照射して生じる光やイオンの信号強度を波長ごとに測定することで、原子・分子の性質や電子状態を探ることができる。それが分光研究だ。「レーザー偶奇分離は手持ちの分光装置でできる、とても面白い研究テーマだと思いました」と小林 徹 専任研究員（以下、研究員）。

ある波長の偏光（光の電場と磁場が特定の方向に振動する光）を原子に照射すると、質量数が奇数の同位体だけが偏光を吸収して高エネルギー状態に励起され、原子がイオン化する。偶数の同位体はその波長の偏光を吸収しないので

イオン化しない。レーザー偶奇分離法では、そのような光吸収の選択則を利用して偶奇分離を行う。

2017年1月、小林研究員らは、従来法の1万倍の効率でPd奇数同位体だけをイオン化することに成功した。どのような方法で高効率化を実現したのか。「原子に照射するレーザーの波長を変えただけです」と小林研究員は言う。

「従来法では、原子のイオン化が起きる一定以上の高エネルギー状態（イオン化連続状態）に電子を励起することだけを考えて、原子の光吸収のしやすさを考慮していない波長のレーザーを照射してイオン化していました（非共鳴イオン化）。それが、イオン化効率が低い原因でした」（図1-①）

小林研究員たちはまず、効率的にイオン化が起きる特定のエネルギー状態（自動イオン化準位）を実験で探し出した。「自動イオン化準位に共鳴励起できる波長のレーザーを照射する共鳴イオン化により、イオン化効率を格段に向上させることに成功しました」（図1-②）

小林研究員たちは、さらに2種類の波長のレーザー光で効率よく励起できる波長の組み合わせを見つけて、従来法の10万倍の効率でPd奇数同位体だけをイオン化することに成功した（図1-③）。使用するレーザーの台数が減ることは、処理コスト削減にも大きく貢献するだろう。

ImPACTプログラムが核変換の主な対象にしているLLFPには、 ^{107}Pd のほかに、セシウム-135（半減期230万年）やジルコニウム-93（半減期153万年）、セレン-79（半減期29万5000年）があ

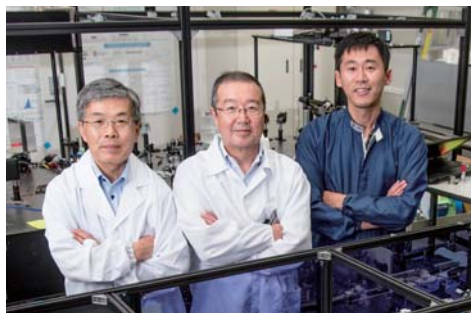
る。「私たちはジルコニウム同位体の偶奇分離の実験も始めています。セレンにも偶奇分離の手法が使えますが、セシウムの場合は安定核も奇数同位体なので、別の分離法の開発が必要です」と小林研究員。

■ さらに5万倍の効率化を目指して

高レベル放射性廃棄物の低減・資源化を実用化するには、偶奇分離のイオン化効率をさらに向上させる必要がある、と緑川TLは指摘する。「100万kW級の原子炉1基分で発生するPd同位体を処理するには、1日当たり50gのイオン化が必要とされていますので、それが目標です。現在、小林さんたちが開発した手法でイオン化できるのは1日当たりせいぜい0.001gなので、約5万倍の効率化が必要です」

現在のレーザーの強度でも、理論的には1日当たり50gのイオン化は十分に可能だ、と小林研究員は言う。「課題は、いかにたくさんの数の原子に効率よくレーザー光を照射できるかです。ミラーで100回レーザーを往復させながら原子に当てれば、100倍ほどイオン化効率が上がると期待して、試験装置の開発を進めているところです」

その方法で100倍の効率を達成できたとしても、5万倍という目標を達成するには、さらに500倍の効率化が必要だ。偶奇分離する原子を容器内で気化させてレーザーを当てているが、容器内の圧力を10倍にして原子を高密度にすれば、イオン化効率が10倍ほど向上するかもしれない。



撮影：STUDIO CAC

左から、アト秒科学研究チームの小林 徹 専任研究員、緑川克美チームリーダー、高橋栄治 専任研究員。

「レーザー発振技術の発展にも大きく期待しています」と小林研究員は語る。偶奇分離に用いるレーザーはパルス光として繰り返し発振される。現在、Pd偶奇分離には、毎秒10パルス（10Hz）で波長が245nmと361nmの紫外線レーザーを照射している（図1-③）。「波長が長いレーザーに比べて、波長の短い紫外線レーザーの出力は低いという現状もあります。出力が高く、発振回数がkHz級の紫外線レーザーが開発されれば、偶奇分離の処理能力をさらに大きく向上できるはずです」と小林研究員。

■ 出力が極めて低いアト秒パルス

次に、レーザー発振技術の最前線を紹介しよう。波長や位相（波の山や谷の位置）がそろった光であるレーザーは、極めて短い時間だけ光るパルスをつくることができる。パルスをフラッシュ撮影のように使うことで短時間の現象の観測

が行われている。1990年代、光る時間（パルス幅）がフェムト（ 10^{-15} = 1000兆分の1）秒のレーザーが普及し始め、化学反応によって分子を構成する原子の原子核が動いて、分子の形が変わったりする過程を観測することができるようになった。

ただし、化学反応で最初に動くのは電子だ。それに追従するように原子核が動く。従って、化学反応をさらに深く理解するためには、電子の動きを観測することが望まれる。それには電子が動く時間スケールであるアト（ 10^{-18} = 100京分の1）秒のパルスが必要だ。

2001年、欧州のグループがアト秒レーザーの発生に成功したと発表した。しかし現在でも、アト秒レーザーはフェムト秒レーザーほどには普及していない。それは、アト秒レーザーの出力エネルギーがナノジュール（nJ）程度と極めて低い

■ アト秒パルスは波長変換でつくる

なぜ、アト秒レーザーの出力は低いのか。「波長が短い光でなければアト秒パルスはつくれません。波長800nmの光の波が1回振動するのに、約2.6フェムト秒かかります。波長300nmでやっと1フェムト秒を切ります。アト秒パルスをつくるには、波長100nm以下の光が必要なのです。レーザー発振にはレーザー媒質と呼ばれる物質が必要ですが、波長100nm以下でアト秒パルスを発振できるようなレーザー媒質は存在しません」と高橋栄治 専任研究員（以下、研究員）は説明する。

では、どのようにしてアト秒パルスをつくるのか。強度の強いフェムト秒レーザーを励起光としてキセノンなどの希ガスに照射する。励起光の強度があるレベル（高調波発生閾値）を超えた際に、レーザー電場により電子が原子から離れてイオン化され、その電子が原子に再結合することがある。その再結合のときに、励起光の波長の数十分の1から数百分の1に波長が短くなった光（高次高調波）が発生する。

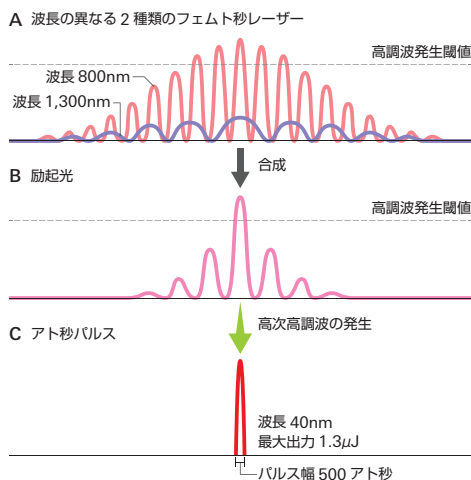
「その現象を利用して近赤外域のフェムト秒レーザーを波長変換してアト秒レーザーにします。しかし波長変換によって、出力が励起光の10万分の1から100万分の1に低下します。そのため、アト秒パルスは低出力、つまり暗いのです」と高橋研究員。

■ 2種類のレーザー波長を合成して、世界最高出力を実現

アト秒パルスの出力を上げるにはどう

図2 多波長合成レーザー法の概念図

時間的に単一なアト秒パルスをつくるには、レーザー強度（縦軸）が高調波発生閾値を1回だけ超える励起光をつくる必要がある。既存のフェムト秒レーザーでは、そのような励起光は低出力なものしかつくり出せなかった。高橋研究員たちは、高出力の2種類の波長のフェムト秒レーザーを合成することで高出力の励起光をつくり、希ガスの中のたくさんの原子で高次高調波を発生させることで、世界最高出力のアト秒パルスを実現した。



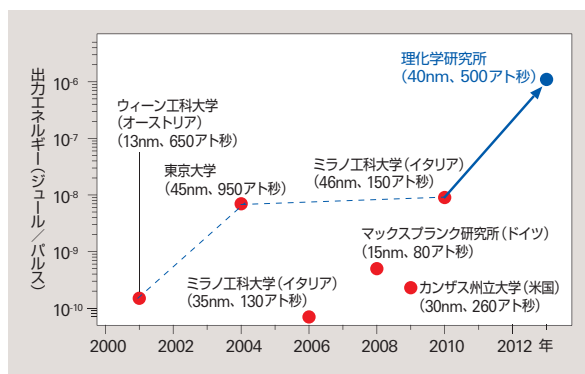


図3 各研究機関が開発したアト秒レーザー

カッコ内は、波長とパルス幅。

すればよいのか。「波長を変換する前の励起光の出力を高くして、希ガス中のたくさんの原子で効率よく高次高調波が発生するようにする必要があります」と高橋研究員。

時間的に単一なアト秒パルス（図2C）を発生させるには、レーザー強度が1回だけ高調波発生閾値を超えるような励起光（図2B）を希ガスに当てる必要がある。既存のフェムト秒レーザーでは、そのような励起光は低出力なものしかつくれなかった。すると希ガス中のわずかな原子でしか高次高調波が発生しない。そのため発生するアト秒パルスは非常に低出力だった。

そこで高橋研究員たちは、独創的な手法を考案した。「既存のフェムト秒レーザー装置を2台使った多波長合成レーザー法を開発しました。高出力化が可能な波長の異なる2種類のフェムト秒レーザーを時間的に干渉させて高出力の励起光を合成して、希ガス中のたくさんの原子で高次高調波を発生させるのです」（図2A）

高橋研究員たちは2013年、波長800nmと1,300nmのフェムト秒レーザーを合成することで高出力の励起光をつくり、それを波長変換することで、波長40nm、パルス幅500アト秒の単一パルスをつくることに成功した。その出力は最大1.3マイクロジュール（μJ）と、既存のアト秒レーザーの出力であるナノジュールより100倍以上高い世界最高出力のアト秒パルスだ（図3）。

世界最高出力を達成するために、高橋研究員たちは、もう一つの独自手法も取り入れた。「高次高調波が発生する強度の励起光をなるべく大きな断面積で希ガスに当てた方が、ガス中のたくさんの原子で高次高調波が発生して、高出力のアト秒パルスが発生できます。そのために私たちが2001年に提案・実証したルーズフォーカス法と呼ばれる高調波エネルギースケールリング法を用いました」

■ 電子の動きを見る時代へ

アト秒パルスの出力を高めると、何が可能になるのか。分光実験では、一つのパルスを二つに分岐させ、一方をポンプ光として原子・分子に当てて反応をスタートさせ、ある一定の時間間隔後に、もう一方のパルスをプローブ光として原子・分子に当てて観測するポンプ・プローブ法が広く用いられている。

しかし、アト秒パルスは出力が弱いため、それを二つに分けると弱くなり過ぎて観測が困難になる。そこでポンプ光だけにアト秒パルスを使い、プローブ光にはフェムト秒パルスを使うといったことが行われている。すると、電子の動きがぼやけて見えてしまう。高橋研究員たちがアト秒パルスの出力を100倍以上に高めたことで、ポンプ光とプローブ光の両方にアト秒パルスが使えるようになった。電子の動きがはっきり見えるようになるはずだ。

「高出力のアト秒パルスは、化学だけ

関連情報

- 2017年1月10日プレスリリース
パラジウム同位体を選択的・高効率に分離するレーザー技術
- 2013年10月25日プレスリリース
世界最高出力の孤立アト秒パルスレーザーを開発

でなく電子工学の発展にも大きく貢献するはずです」と緑川TLは指摘する。理研の創発物性科学研究センターでは、強相関電子系という物質で起きる新しい現象を利用して、高性能の太陽電池や省エネルギー機器の開発に貢献することを目指している。強相関電子系は、物質中の電子が強く相互作用することで、わずかな刺激で絶縁体が電気を通す金属に変わったりする。「そのときの電子の動きをアト秒パルスで観測することで、強相関電子系の物性をさらに深く理解できるようになるでしょう」と緑川TL。

アト秒パルスの活用は、基礎研究だけでなく、さまざまな応用研究、イノベーションにとっても重要だ。欧州では、世界初のアト秒光源共同利用施設「ELI-ALPS」の建設が進められており、2018年に共同利用が開始される予定だ。ELI-ALPSでは、高橋研究員たちが考案した高調波エネルギースケールリング法が採用される。

一方、高橋研究員たちは、多波長合成レーザー法をさらに発展させる実験を進めている。「3種類の波長のフェムト秒レーザーを合成して波長変換することで、波長10nm以下、100アト秒を切る高出力のアト秒パルスの発生を目指しています。それにより、空間と時間の分解能をさらに高めて電子の動きを観測できるようになります」

アト秒レーザーで電子の動きを見てサイエンスやイノベーションを進める時代が本格的に到来しようとしている。

（取材・執筆：立山 晃／フotonクリエイト）

CHEMISTRY

Lasers pick up good vibrations

The changes to the structure of a light-sensing protein have been tracked over incredibly short time scales

Captured just a few quadrillionths of a second after it absorbed a photon, a light-absorbing protein has been observed for the first time using a newly developed ultrafast technique. This information will provide scientists with valuable clues about why some proteins are so sensitive to light.

Light-sensitive proteins form a key part of the sensory systems by which organisms detect light around them. For example, the aquatic light-harvesting bacterium *Halorhodospira halophila* detects blue light

using the photoactive yellow protein (PYP). The organism swims away from blue wavelengths—a response thought to avoid exposure to harmful blue light.

Previous studies had shown that blue light triggers a structural twist known as *trans*-to-*cis* isomerization at the light-capturing heart of PYP. But this photon-triggered rearrangement of the protein occurs so rapidly that it has proved difficult to observe, generating contradictory results.

Since previous studies using x-rays and infrared spectroscopy did not provide consistent structural details, Tahei

Tahara from the RIKEN Molecular Spectroscopy Laboratory and co-workers adopted a different approach.

They used Raman spectroscopy, which is similar to infrared spectroscopy in that it uses laser pulses to probe the molecular vibrations

of compounds, but employs visible light rather than longer wavelength infrared radiation.

The team used a Raman technique that they had developed called time-resolved impulsive stimulated Raman spectroscopy (TR-ISRS). “I believe TR-ISRS is one of the ultimate forms of Raman spectroscopy,” Tahara says.

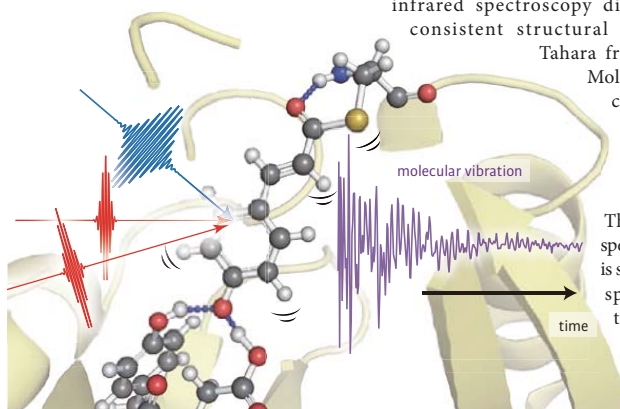
Using three precisely timed light pulses, the team could trigger photon uptake in the PYP molecules in a sample, synchronize their motion, and then monitor any changes in the protein’s structure over the next few hundreds of femtoseconds (see image; one femtosecond is 10^{-15} second).

Most of PYP’s vibrational signals remained steady over this time frame, showing that the protein does not flip from the *trans* to the *cis* conformational state until later in the process. But one vibrational signal dropped rapidly in intensity following photon absorption. The team showed this change relates to the rapid weakening of a hydrogen bond that normally anchors the protein’s light-capturing portion, allowing PYP to flex during the subsequent isomerization.

“TR-ISRS is a very versatile vibrational spectroscopic method, having extremely high time resolution and sensitivity,” Tahara says. “We would like to apply it to a wide range of problems, from studying fundamental molecules to understanding the mechanism of newly found photoresponsive proteins, as well as new materials. We have already started research in this direction,” he adds. ●

Reference

1. Kuramochi, H., Takeuchi, S., Yonezawa, K., Kamikubo, H., Kataoka, M. & Tahara, T. Probing the early stages of photoreception in photoactive yellow protein with ultrafast time-domain Raman spectroscopy. *Nature Chemistry* **9**, 660–666 (2017).



Three light pulses were used to excite vibrations in photoactive yellow protein molecules.

連載 2018/02/15 12:14:25

nano tech 2018

第8回

小型の疑似位相整合デバイスだけでテラヘルツ波の発振が可能に

小林行雄

2018年2月14日～16日にかけて東京ビッグサイトにて開催されているナノテクノロジーの展示会「nano tech 2018 第17回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」において、理化学研究所(理研)ブースでは、産業連携を見据えた物理・工

学系分野の最先端技術の紹介を行っている。

例えば、理研が2017年10月に発表した小型の疑似位相整合デバイスのみでテラヘルツ波発振を表現する技術を用いた光

源や、燃料電池として水を活用した際に、配管などの隙間から漏れ出る水を安全に常温・常圧で吸蔵することが可能な水素フィルターの紹介などが行われている。

電波と光波の境界にあるテラヘルツ電磁波は、紙やプラスチックなどの物体を透過して内部を観測できるといった特長などを活用することで、さまざまな産業への応用が期待されているが、従来、必要な性能を得るためには、大型の近赤外線レーザーを励起光として利用する複雑な光学設計に基づいた装置が必要であった。

今回、理研が展示しているテラヘルツ波光源は、そうした課題の解決を目的に開発されたもの。発振波長が固定されているレーザー光を、テラヘルツ波などに変換する光波長変換技術として、ニオブ酸リチウム結晶を用いて、人工的に位相整合条件を設計・制御することで、波長1064nmの近赤外励起光の後進波としてテラヘルツ波を発振できる小型の疑似位相整合デバイスを開発。疑似位相整合デバイスを回転させるだけでテラヘルツ波の発振周波数を制御可能であることも確認したほか、ほかの光学素子を用いないで済むため、振動などの外乱にも強いことを確認したという。

転載許可：マイナビニュース



理研が開発した小型のテラヘルツ波光源

一方の水素フィルターは、水素吸蔵合金をナノレベルまで微細化することで、常温・常圧での水素吸蔵をシート状可能としたもの。吸蔵された水素は大気中の酸素と結合し、水として放出されるため、燃料電池やその周辺のパイプなどから水素が漏れ出ている場合でも、水素を無害化することが可能となる。そのため、実験や試験設備の天井や壁、換気設備などにフィルターとして貼り付けることで、大気中の水素を安全な水へと変換したり、水素燃料の入れ替え時の安全対策などへの応用が期待できるとしている。



ナノ微細化により常温・常圧で水素の吸蔵を可能とした水素フィルター

国立研究開発法人理化学研究所
創発物性科学・光量子工学研究推進室
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1
TEL : 048-467-9258
cemsrap@riken.jp

RIKEN Advanced Photonics Promotion Office
2-1, Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198, Japan
TEL: +81-(0)48-467-9258
cemsrap@riken.jp