



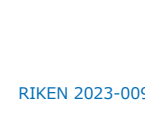
RIKEN
Center for Advanced Photonics
2022 Annual Report

光量子工学研究センター 2022 Annual Report



RIKEN Center for Advanced Photonics

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



RIKEN Center for Advanced Photonics 2022 Annual Report



Preface

Five years have passed since we started our second stage from 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 relativistic geodesy using ultra precision optical lattice clocks and nondestructive inspection of concrete structures with a compact neutron source. Being able to see objects helps us to understand and manipulate them. Besides, the work of RAP focuses not merely on making discoveries that will be recognized by the research community, but also on contributing to society by developing practical applications.

In 2022, several world-leading results have been obtained, such as “Formation of organic color centers in air-suspended carbon nanotubes” (Quantum Optoelectronics Research Team), “A highly photostable and bright green fluorescent protein” (Biotechnological Optics Research Team), “Over 1 Watt output power terahertz quantum cascade lasers” (Terahertz Quantum Device Research Team), and “Agarose gel microcapsules enable easy-to-prepare, picolitre-scale, single-cell genomics” (Ultrahigh Precision Optics Technology Team).

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が、2018年4月に光量子工学研究センター（RAP）となり、第二期を開始してから5年が経過しました。

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、超高精度な光格子時計による相対論的な測地学、小型中性子源によるコンクリート構造物の非破壊検査……。見る事ができれば、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。

2022年度は、「架橋カーボンナノチューブへの量子欠陥発光体の注入－通信波長帯量子光源の高性能化へ新手法－」（量子オプトエレクトロニクス研究チーム）、「色褪せない蛍光タンパク質の開発－細胞微細構造やウイルスの定量的観察を可能にする技術－」（生命光学技術研究チーム）、「1.3W 高出力 THz 量子カスケードレーザーを実現－透視検査用光源として実用化に期待－」（テラヘルツ量子素子研究チーム）、並びに「1 細胞ゲノム解析用マイクロカプセルの開発－微生物のゲノム DNA 解析を簡便かつ高精度に－」（先端光学素子開発チーム）等の顕著な成果が得られています。

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

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
cemsrap@riken.jp

RIKEN Emergent Matter Science and Advanced Photonics Promotion Office
2-1, Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198, Japan
cemsrap@riken.jp

はじめに / Director's Message	2
組織図 / Organization Chart	3
業績リスト / Publications, etc.	40
プレスリリース / Press Releases	63
ニュース、会議・イベント / News, Meetings, Events	66
受賞・表彰 / Awards	70
研究紹介記事 / Articles	73

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領域
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
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	8
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	10
超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム Ultrafast Coherent Soft X-ray Photonics Research Team	高橋 栄治 Eiji J. Takahashi	12
超短パルス電子線科学理研白眉研究チーム Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team	森本 裕也 Yuya Morimoto	14

サブ波長フォトンクス研究領域
Subwavelength Photonics Research Group

中野 明彦
Akihiko Nakano

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	16
生命光学技術研究チーム Biotechnological Optics Research Team	宮脇 敦史 Atsushi Miyawaki	18
画像情報処理研究チーム Image Processing Research Team	横田 秀夫 Hideo Yokota	20
フォトン操作機能研究チーム Innovative Photon Manipulation Research Team	田中 拓男 Takuo Tanaka	22
先端レーザー加工研究チーム Advanced Laser Photonics Research Team	杉岡 幸次 Koji Sugioka	24

テラヘルツ光研究領域
Terahertz-wave Research Group

南出 泰垂
Hiroaki Minamide

テラヘルツ光源研究チーム Tera-Photonics Research Team	南出 泰垂 Hiroaki Minamide	26
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	28
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	30

光量子技術基盤開発領域
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	32
先端光学素子開発チーム Ultrahigh Precision Optics Technology Team	山形 豊 Yutaka Yamagata	34
中性子ビーム技術開発チーム Neutron Beam Technology Team	大竹 淑恵 Yoshie Otake	36
技術基盤支援チーム Advanced Manufacturing Support Team	山形 豊 Yutaka Yamagata	38

アト秒科学研究チーム



チームリーダー / Team Leader

緑川 克美 工学博士
Katsumi Midorikawa, D. Eng.



FY2022 Core Members

(専任研究員) 鍋川 康夫、永田 豊
(上級研究員) 磯部 圭佑
(研究員) 沖野 友哉、藤原 孝成、
Yu-Chieh Lin、山崎 馨、道川貴章
(特別嘱託研究員) 小林 徹
(基礎科学特別研究員) Bing Xue
(特別研究員) Lu Xu、Giang Nhan Tran
(特別嘱託職員) 若林 多起子

(Senior Research Scientist)
Yasuo Nabekawa, Yutaka Nagata
(Senior Scientist) Keisuke Isobe
(Research Scientist)
Tomoya Okino, Takashige Fujiwara,
Yu-Chieh Lin, Kaoru Yamazaki,
Takayuki Michikawa
(Special Temporary Research Scientist)
Tohru Kobayashi
(Special Postdoctoral Researcher)
Bing Xue
(Postdoctoral Researcher)
Lu Xu, Giang Nhan Tran
(Special Temporary Employee)
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
- ✓ 超短パルス高強度レーザー
- ✓ 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
- ✓ Ultrashort intense lasers
- ✓ Multiphoton microscopy

研究成果 / Research Output



アト秒光学干渉からアト秒量子干渉へ

- 極端紫外のアト秒パルス対とサブ10フェムト秒の紫外プローブパルスを発生する組合せ型干渉計の開発。
- 極端紫外パルス対で共鳴励起したHe原子の2p状態をイオン化し、発生した電子の角度分解光電子スペクトルを測定。
- 測定した電子の収量に現れるアト秒領域の光学干渉が継ぎ目なく量子干渉につながっていく様子を観測することに成功。

Seamless transition from attosecond optical interference to quantum interference

- Development of a hybrid interferometer delivering an XUV attosecond pulse pair and a sub-10 fs UV probe pulse.
- Observation of the angularly resolved electron spectrum ionized from the resonantly excited 2p state of He atom with an XUV pulse pair.
- Attosecond optical interference on the electron yield seamlessly continues quantum interference beyond the delay range much longer than the XUV pulse duration.

Takuya Matsubara, Yasuo Nabekawa, Kenichi L. Ishikawa, Kaoru Yamanouchi, and Katsumi Midorikawa, "Attosecond Optical and Ramsey-Type Interferometry by Postgeneration Splitting of Harmonic Pulse," *Ultrafast Science* 2022, ID 9858739.

Attosecond Science Research Team

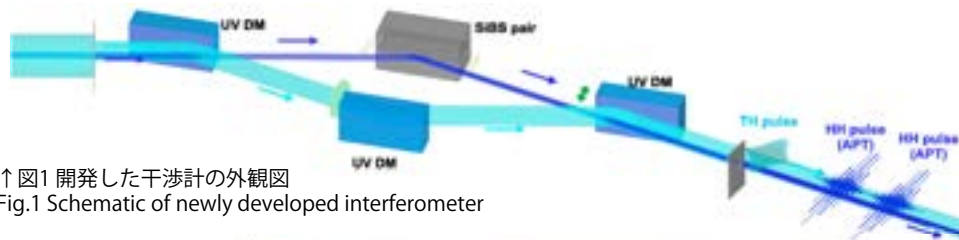
複数の量子状態間に生ずる時間領域のラムゼイタイプの干渉測定は、物質中の量子ダイナミクスを探るための重要な手段の1つです。特にアト秒時間領域の量子ダイナミクスを時間分解して観測するためには、20eVを超える光子エネルギーの光源(極端紫外光)が必要です。高次高調波はこの研究に相応しい光源ですが、コヒーレントなパルス対を発生することが困難でした。極端紫外域には半透鏡が無いからです。我々は高次高調波の空間分割でこれを解決しました。また新たな干渉計の開発により、3倍波紫外パルス光を高次高調波の後で照射することが可能となりました。3倍波紫外パルス光は高次高調波の集光点にタイトフォーカスされます。これにより、高次高調波の干渉効果が作用している原子のみが3倍波紫外パルス光によってイオン化され、電子生成量に干渉効果が現れる仕組みです。

実験ではHe原子をターゲットとしました。He原子の2p状態は13次高調波の1光子吸収によって生じます。ここに3倍波紫外パルス光を184 fs後に照射してイオン化し、発生した電子の角度分解スペクトルを速度マップ画像型(VMI)電子分光器によって測定しました。2つの高次高調波間の時間遅延を掃引しながら、2p状態からの電子生成量を記録しました。その結果、電子の発生量は約200アト秒の周期で変化する極端紫外パルスの光学干渉を示し、この干渉縞は切れ目なくラムゼイタイプの量子干渉縞に移行していくことがわかりました。量子干渉縞は極端紫外パルス光のパルス幅よりも、遥かに長く続きました。

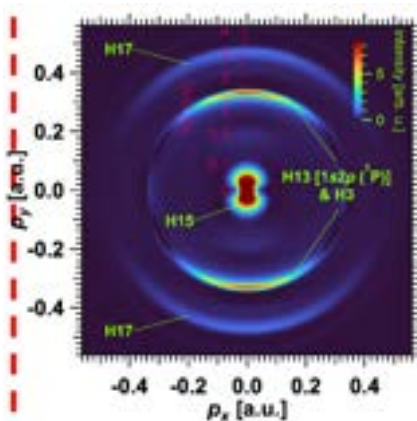
Ramsey-type interference among multiple quantum states in the time domain is one of the crucial techniques to investigate the quantum dynamics in a matter. In particular, the photon energy of more than 20 eV (XUV photon) is required for resolving the quantum dynamics in attosecond time regime. High-order harmonic (HH) pulse is a promising light source for this technique. However, it was very difficult to generate a pair of coherent HH pulse, because we cannot fabricate a half mirror in the XUV region. We have resolved this issue by putting a newly developed interferometer behind the HH generator to spatially split the HH pulse into a pair. Key idea is that we pick up the atoms only in the region where the HH pulse pair spatially interferes by tightly focusing the 3rd harmonic (TH) UV probe pulse delivered from a newly designed interferometer.

In the experiment, we adopted a He atom as a target exhibiting Ramsey-type interference. The 2p state was resonantly excited by absorbing one photon of the XUV 13th order pulse pair and then ionized with one-photon absorption of the TH irradiated 184-fs after the XUV pulse pair. The angularly resolved electron spectra of the electrons were recorded with a VMI spectrometer upon changing the delay between the XUV pulse pair.

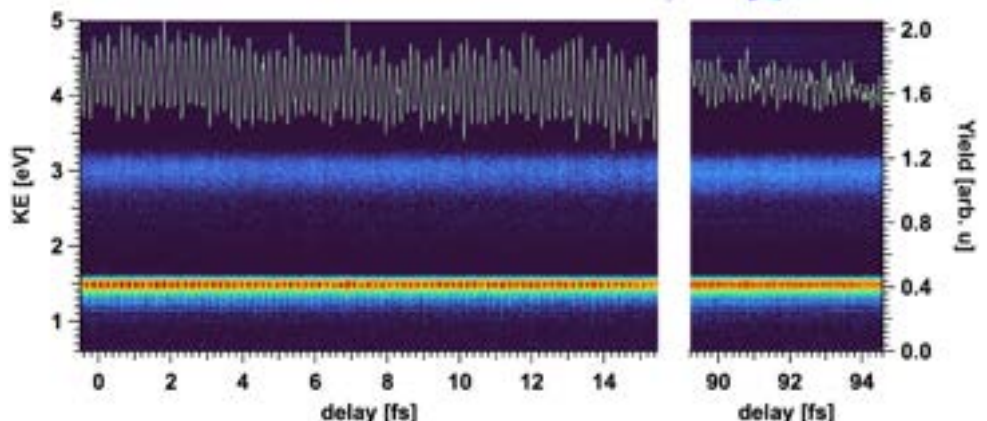
We successfully observed that the optical interference fringes with a period of ~200 as on the electron yield seamlessly continued to Ramsey-type quantum interference fringes with the same period beyond the delay range much longer than the XUV pulse duration.



↑ 図1 開発した干渉計の外観図
Fig.1 Schematic of newly developed interferometer



↑ 図2 測定した速度マップ画像から再生した角度分解電子スペクトル。
Fig.2 Angularly resolved spectrum of electrons retrieved from the measured velocity map image.



↑ 図3 極端紫外パルス対間の遅延時間を掃引したときの電子の運動エネルギースペクトルの変化。左パネル：遅延0fsから14 fs付近。右パネル：遅延92 fs付近。ラインプロファイルも挿入されている。
Fig.3 Evolution of kinetic energy spectrum upon changing delay between XUV pulse pair. Left panel: around zero delay to more than 14 fs. Right panel: around a delay of 92 fs. Line profiles are superposed.

超高速分子計測研究チーム



チームリーダー / Team Leader

田原 太平 理学博士
Tahei Tahara, D. Sci.



FY2022 Core Members

(専任研究員)

石井 邦彦(兼務)、二本柳 聡史(兼務)

(研究員)

松崎 維信

(研究員)

Ahmed Mohammed

(アシスタント)

加藤 智子(兼務)

(Senior Research Scientist)

Kunihiko Ishii (c),

Satoshi Nihonyanagi (c)

(Research Scientist)

Korenobu Matsuzaki

(Research Scientist)

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

光励起プラズモンで誘起された吸着分子の超高速ダイナミクスをフェムト秒時間分解表面増強ラマン分光で観測



Pardeep Kumar 特別研究員

- フェムト秒時間分解表面増強ラマン分光測定を時間領域ラマン分光の原理を利用して世界で初めて実現
- プラズモンによって大きい電場が生じる金属ナノ粒子会合体のホットスポットに吸着した分子が、プラズモンの光励起で示す超高速ダイナミクスを初めて観測

Photoexcited Plasmon-Driven Ultrafast Dynamics of the Adsorbate Probed by Femtosecond Time-Resolved Surface-Enhanced Raman spectroscopy

- Realizing femtosecond time-resolved surface-enhanced Raman spectroscopy for the first time using the time-domain Raman approach
- Observing photoexcited plasmon-driven ultrafast dynamics of the molecules adsorbed at the hot spot of metal nanoparticle assemblies, where a gigantic electric field appears due to plasmon

Reference: P. Kumar et al. Photoexcited plasmon-driven ultrafast dynamics of the adsorbate probed by femtosecond time-resolved surface-enhanced time-domain Raman spectroscopy, J. Phys. Chem. Lett. in press.

Ultrafast Spectroscopy Research Team

金属ナノ粒子は、吸収した光エネルギーを吸着分子に効率的に移動させることで、高い光捕集機能を示す可能性を持っています。しかし、金属ナノ粒子に吸着した分子が光励起プラズモンによってどのような動的変化を示すのかはよく分かっていません。本研究では、フェムト秒時間分解表面増強インパルスシブ誘導ラマン分光 (TR-SE-ISRS) を初めて実現し、これを金ナノ粒子集合体 (GNA) に吸着したBPE分子の光励起プラズモン駆動超高速ダイナミクスの研究に適用した。GNAの局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) バンドを光励起すると、吸着BPE分子の時間分解ラマンスペクトルがフェムト秒からピコ秒の時間スケールで劇的な変化を示すことがわかりました (図1)。得られたTR-SE-ISRSデータは、LSPRバンドの光励起によって吸着分子とGNAの化学相互作用が大きく変化し、BPE分子はGNAと異なる相互作用を持つ2種類の過渡状態 (図2) を経て、初期状態に戻るということがわかりました (図3)。本研究は、GNA上の吸着分子の光励起プラズモン駆動ダイナミクスを明らかにしただけでなく、ナノ粒子上の吸着分子の超高速構造ダイナミクスを研究するための新しい観測手法を提示するものです。

Metal nanoparticles have high potential in light-harvesting applications by transferring absorbed photon energy to the adsorbates. However, photoexcited plasmon-driven ultrafast dynamics of the adsorbate on metal nanoparticles have not been well understood. In this study, we realized femtosecond time-resolved surface-enhanced impulsive stimulated Raman spectroscopy (TR-SE-ISRS) for the first time and applied it to the study on the ultrafast photoexcited plasmon-driven processes of the adsorbates, i.e., BPE molecules, on gold nanoparticle assemblies (GNAs). After photoexciting the localized surface plasmon resonance (LSPR) band of the GNAs, we found that time-resolved surface-enhanced Raman spectra exhibit drastic changes on a femtosecond - early picosecond time scale (Fig. 1). The TR-SE-ISRS data indicate that photoexcitation of the LSPR band alters chemical interaction between the adsorbate and the GNAs on an ultrafast timescale, resulting in the sequential appearance of two types of the transient state of the adsorbate that have different chemical interactions with the GNAs (Fig. 2) before the adsorbate is relaxed to the initial state, as illustrated in Fig. 3.

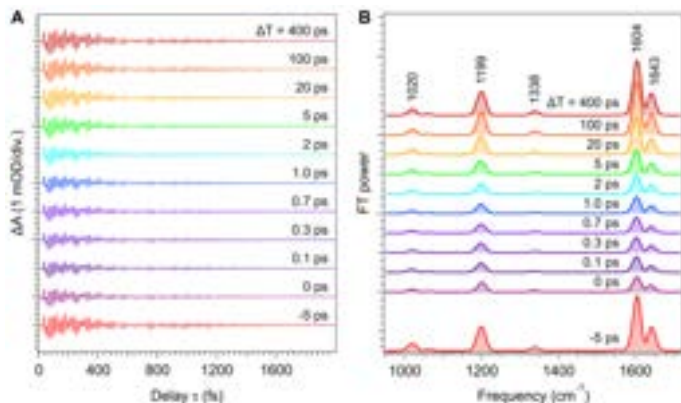


図1 TR-SE-ISRSで測定した金ナノ粒子集合体に吸着したBPE分子の時間領域ラマン信号 (A) とフェムト秒時間分解ラマンスペクトル (B)。¹

Fig.1 Time-domain Raman signal (A) and femtosecond time-resolved Raman spectra (B) of BPE adsorbed on gold nanoparticle assemblies.

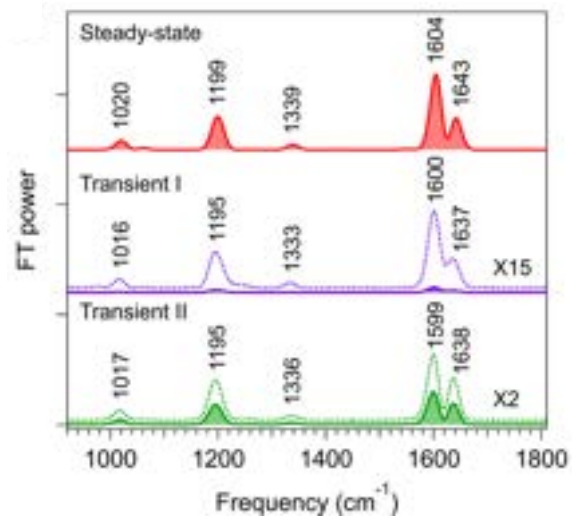


図2 金ナノ粒子集合体に吸着したBPE分子の、定常状態と光励起プラズモン誘起超高速ダイナミクス中に現れる2つの過渡状態のラマンスペクトル。¹

Fig.2 Raman spectra of steady-state and two transients appearing during the photoexcited plasmon-driven ultrafast dynamics.

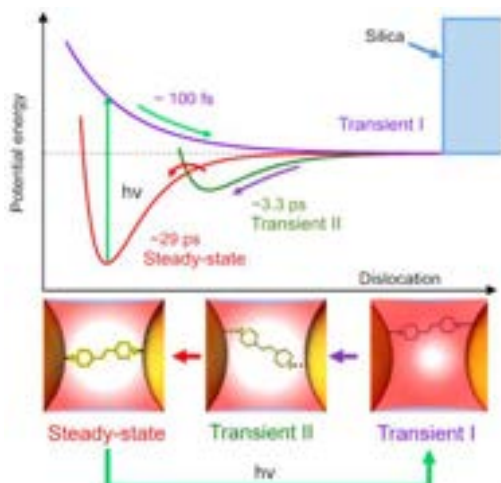
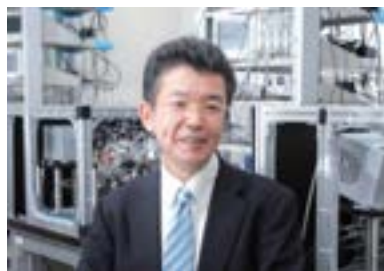


図3 金ナノ粒子集合体に吸着したBPE分子の光励起プラズモン誘起の超高速緩和ダイナミクス。¹

Fig.3 Photoexcited plasmon-induced ultrafast relaxation process of BPE adsorbed on gold nanoparticle assemblies.¹

Reference: 1. Kumar et al. *J. Phys. Chem. Lett.* in press.

時空間エンジニアリング研究チーム



チームリーダー / Team Leader

香取 秀俊 博士(工学)

Hidetoshi Katori, D. Eng.



FY2022 Core Members

(専任研究員)

高本 将男 (兼務)

山口 敦史 (兼務)

(アシスタント)

小林 恵

(Senior Research Scientist)

Masao Takamoto (c)

Atsushi Yamaguchi (c)

(Assistant)

Megumi Kobayashi

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
- ✓ 長距離光ファイバリンクを用いた光格子時計の遠隔比較

Research Subjects

- ✓ Relativistic geodesy with optical lattice clocks
- ✓ Development of transportable optical lattice clocks
- ✓ Remote comparison of optical lattice clocks with long-distance optical fiber link

研究成果 / Research Output

相対論的測地応用に向けた 光格子時計の開発



- 光格子時計の長距離比較による相対論的測地の応用開拓
- 次世代小型光格子時計の開発
- 可搬型光格子時計のフィールド実証実験

Development of transportable optical lattice clocks for relativistic geodesy

- Exploration of relativistic geodesy using optical lattice clocks compared over a long baseline
- Development of the next generation of compact optical lattice clocks
- Field operation of transportable optical lattice clocks

Space-Time Engineering Research Team

時空間エンジニアリング研究チームでは、光格子時計の実用化に向けた技術開発を行っています。この一環として現在、可搬型光格子時計を用いた相対論的測地技術応用の実証実験と次世代小型光格子時計の開発を行っています。

時間の進み方は一般相対論的な効果として重力による影響を受け、標高の低い時計は高い時計よりもゆっくり進みます。標高の違う2台の時計の周波数を比較することで、標高差を時間の進み方の違いから計測することができます。このような相対論的測地技術を利用すれば、従来の測量を上回る精度での標高計測や、地殻変動による標高の時間変化の実時間計測なども可能となります。本年度、可搬型光格子時計を水沢江刺の国立天文台に運び、直線距離500 kmを繋ぐ長さ800 kmの光ファイバを用いて、理研の時計と水沢江刺の時計の周波数を遠隔比較する実験に着手しました（図1）。6時間の積算で1 cmの標高計測精度を実現できれば、12時間周期で振動する潮汐効果の観測も可能となります。また、1年のスケールで1 cmの標高計測の再現性が実現できれば、地震後の長期的な地面の隆起も観測できる可能性があります。

次世代小型光格子時計の開発では、更なる可搬性の向上を目指して、体積250 L（従来の7分の1）の時計システムを開発しました（図2）。今後、このような小型光格子時計を日本各地に設置し、光ファイバに繋いで時計比較を行うことで、プレートの運動や火山活動などによる地殻変動の観測など、地球物理学への応用を進めていきます。また、光格子時計のネットワーク化を進めることで、全球測位衛星システムや高感度重力計と補完的に利用できる光格子時計ネットワークの確立を目指します。



図1 和光市（理研）と水沢江刺（国立天文台）を繋ぐ長距離光ファイバリンク。可搬型光格子時計を水沢江刺に輸送し、理研との間を繋ぐ光ファイバを用いて、理研の時計と水沢江刺の時計の周波数を遠隔比較する。

Fig.1 Long-distance optical fiber link between RIKEN (Wako) and NAOJ (Mizusawa Esashi). An optical lattice clock is transported to NAOJ, and the frequencies of the RIKEN clock and the NAOJ clock are remotely compared using the optical fiber.

The Space-Time Engineering Research Team is developing technologies for the practical use of optical lattice clocks. As part of the activities, the team is currently demonstrating geodetic applications and developing next-generation compact clocks.

The way time advances is affected by gravity through general relativity. Clocks at lower elevations advance more slowly than clocks at higher elevations. By comparing the frequencies of two clocks, differences in elevation can be measured as the beat note. Such “chronometric leveling” enables measuring elevation more precisely and rapidly than conventional leveling techniques; the real-time changes in elevation due to crustal deformation may be measurable. This year, the team started an experiment to remotely compare the frequency of the clocks at RIKEN and at NAOJ by using an optical fiber (800 km long) that connects the two clocks over a distance of 500 km (Fig. 1). If the height uncertainty of 1 cm over a 6-hour period is achieved, the tidal effect is measurable. Measurement reproducibility of 1 cm over a year may allow observing long-term uplift of the ground after earthquakes.

In the development of next-generation compact optical lattice clocks, the team has developed a clock system with a volume of 250 L (one-seventh of our previous clock) (Fig. 2). In the future, the team plans to install such compact clocks in various parts of Japan, connect them by optical fibers, and compare the clocks for applications in geophysics, such as observation of crustal deformation caused by plate motions and volcanic activities. The team also aims to establish a network of optical lattice clocks that can be used complementary to global positioning satellite systems and high-sensitivity gravimeters by networking optical lattice clocks.



図2 次世代小型光格子時計の物理パッケージ。物理パッケージとレーザー光源システムを含めて総体積250 L（従来の7分の1）のシステムを開発しました。

Fig.2 Physical package for the next generation of compact optical lattice clocks. The team has developed a system with a total volume of 250 L (one-seventh of our previous system), including the physical package and laser system.

量子オプトエレクトロニクス研究チーム



チームリーダー / Team Leader

加藤 雄一郎 Ph.D.

Yuichiro Kato, Ph.D.



FY2022 Core Members

(基礎科学特別研究員)

小澤 大知、藤井 瞬

(訪問研究員)

山下 大喜

(アシスタント)

新坂 頼子 (兼務)

(Special Postdoctoral Researcher)

Daichi Kozawa, Shun Fujii

(Visiting Researcher)

Daiki Yamashita

(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

架橋カーボンナノチューブ における気相化学反応を用いた量子欠陥の導入



- 清浄な架橋カーボンナノチューブに量子欠陥を導入
- カーボンナノチューブ直径に依存した反応性
- 量子光源に適した低密度な量子欠陥を導入

Formation of organic color centers in air-suspended carbon nanotubes using vapor-phase reaction

- Functionalization of air-suspended carbon nanotubes
- Chemical reactivity explained by the diameter of carbon nanotubes
- Introduction of very low-density defects that is desirable for quantum light sources

Reference: D. Kozawa, X. Wu, A. Ishii, J. Fortner, K. Otsuka, R. Xiang, T. Inoue, S. Maruyama, Y. Wang, and Y. K. Kato, "Formation of organic color centers in air-suspended carbon nanotubes using vapor-phase reaction," *Nature Commun.* **13**, 2814 (2022).

Quantum Optoelectronics Research Team

従来の情報処理・通信を超える技術として、量子光を用いる手法が注目されています。カーボンナノチューブは室温かつ通信波長帯域で単一光子発生が可能であることから、量子光源としての大きな可能性を秘めています。特に、合成直後の架橋カーボンナノチューブは、溶液分散のナノチューブと比較して数倍発光効率が高いため、量子光源としての応用が期待されています。しかし、従来の化学修飾は溶液プロセスであるため、架橋ナノチューブには適用できませんでした。

そこで本研究では、ヨードベンゼンの蒸気を用いた気相化学反応法により、架橋カーボンナノチューブの化学修飾を行う手法を実証しました(図1)。量子欠陥の導入は、反応前後で同じナノチューブの発光スペクトルを比較することでわかります(図2左)。また、同様の発光分光測定を2000本以上のカーボンナノチューブに対して行うことで、ナノチューブの直径ごとの反応性や発光特性が明らかになりました。さらに、本手法は、ナノチューブの長さ1マイクロメートルあたり1-2個という、非常に低密度の欠陥が導入できることを示しました(図2右)。

架橋カーボンナノチューブへの気相化学反応が可能になったことで、反応分子数の精密なコントロールが実現し、単一分子レベルで量子欠陥を導入できる技術となることが期待されます。また、今後さらに反応条件を最適化し、ナノチューブ1本に対して量子欠陥が1個だけある構造が作製できれば、単一光子源としての性能向上につながる考えられます。

The use of quantum light attracts attention as a technology that goes beyond conventional information processing and communication. Carbon nanotubes have great potential as a quantum light source because they can generate single photons at room temperature in the telecom wavelength range. Air-suspended carbon nanotubes immediately after synthesis are expected to be used as a quantum light source because their photoluminescence (PL) quantum yield is several times higher than that of solution-dispersed nanotubes. Existing methods, however, are limited to a solution process which is incompatible with air-suspended carbon nanotubes.

We here demonstrate a method for functionalization of air-suspended carbon nanotubes by a vapor-phase chemical reaction method using iodobenzene vapor (Fig. 1). The introduction of quantum defects can be verified by comparing emission spectra of the same nanotubes before and after the reaction (Fig. 2 left). We find that tubes with smaller diameter shows higher reactivity and denser defects (Fig. 2 right). This technique will lead to telecom single photon sources with improved performance.

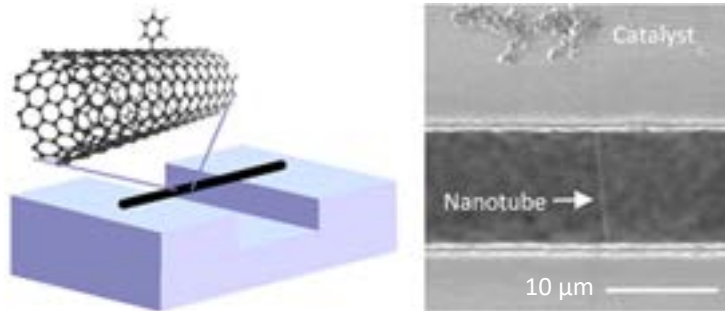


図1 (左) 量子欠陥を導入した架橋カーボンナノチューブの模式図と(右) 走査電子顕微鏡像。

Fig.1 (left) Scanning electron micrograph, (right) tube after the functionalization

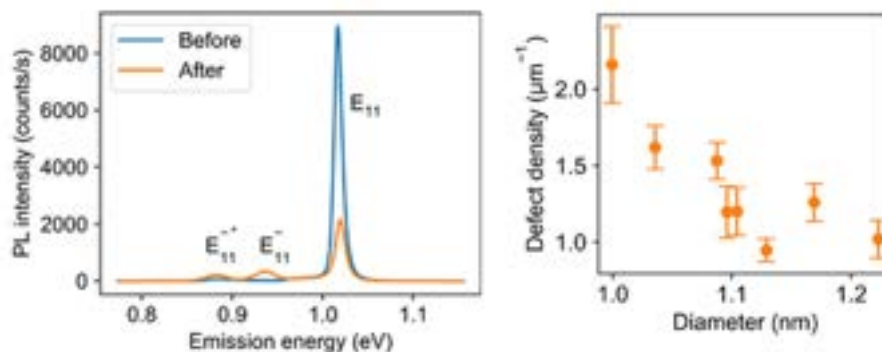


図2 (左) 反応前後の同一カーボンナノチューブにおける発光スペクトル (右) 欠陥密度のナノチューブ直径依存性

Fig.2 (left) PL spectra for an identical air-suspended carbon nanotubes before and after the functionalization, (right) Diameter dependence of estimated defect density

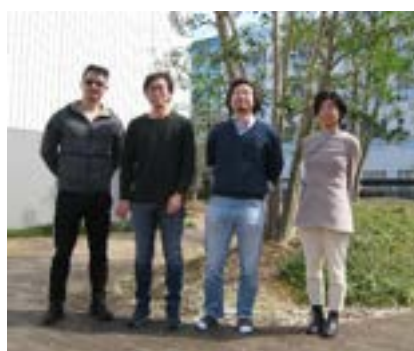
超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム



チームリーダー / Team Leader

高橋 栄治 博士 (工学)

Eiji J. Takahashi, D. Eng.



FY2022 Core Members

(専任研究員)

鍋川 康夫 (兼務)

(研究員)

Lu Xu (兼務)

(特別研究員)

今坂光太郎 (本務)

Tran Giang Nhan (兼務)

(アシスタント)

松下 美由紀 (兼務)

(国際プログラム・アソシエイト)

Dong Dianhong (本務)

(Senior Research Scientist)

Yasuo Nabekawa (c)

(Research Scientist)

Lu Xu (c)

(Postdoctoral Researcher)

Kotaro Imasaka

Tran, Giang Nhan (c)

(Assistant)

Miyuki Matsushita (c)

(International Program Associate)

Dong Dianhong

研究テーマ

- ✓ 高強度・単一サイクルレーザーの開発
- ✓ 高出力・コヒーレント軟X線光源の開発
- ✓ 超高速軟X線科学の開拓
- ✓ 次世代光量子ビーム源に関する研究

Research Subjects

- ✓ High-intensity single-cycle laser pulse
- ✓ High-power coherent soft x-ray attosecond pulse
- ✓ Ultrafast soft x-ray science
- ✓ Next-generation quantum beam sources

研究成果 / Research Output

100 mJ 級 サブ 2 サイクル レーザーシステムの開発



- 理研独自のレーザー増幅法 (DC-OPA) を採用
- 従来の数サイクルレーザーに対して100倍の高出力化
- アト秒パルスの短波長化、及び高エネルギー化へ貢献

100-mJ class, sub-two-cycle, carrier-envelope phase-stable dual-chirped optical parametric amplification

- RIKEN's original laser amplification method called DC-OPA
- 100 times higher output energy than conventional few-cycle laser systems
- Pave the way to shorter wavelength and higher output energy attosecond pulses

L. Xu, B. Xue, N. Ishii, J. Itatani, K. Midorikawa and E. J. Takahashi, "100-mJ class, sub-two-cycle, carrier-envelope phase-stable dual-chirped optical parametric amplification", Opt. Lett. **47**, 3371-3374 (2022).

Ultrafast Coherent Soft X-ray Photonics Research Team

レーザー光と物質の相互作用を取り扱う高強度レーザー科学研究においてパルス包絡線内に含まれる「レーザー電場のサイクル数」は、物質と光の相互回数を決定する極めて重要なパラメーターとなります。超高速コヒーレント軟 X 線光学研究チームでは独自のレーザー増幅法である DC-OPA を用いて 100 mJ 級の出力を持つサブ 2 サイクルレーザーシステムの開発に取り組みました。

DC-OPA の増幅媒質には BiBO (BiB_3O_6) 結晶を使用し、3段構成としました (図 1)。また数サイクル化を実現する為に、シード光発生には自己位相変調と自己差周波発生を採用し、搬送波位相が安定した広帯域シード光を発生させました。DC-OPA 増幅の結果、パルス幅 10.4 フェムト秒、パルスエネルギー 102 ミリジュール、ピーク出力 10 テラワットのレーザーシステムの開発に成功しました (図 2)。レーザーの中心波長は 1.7 マイクロメートルであることから、強度包絡線の半値全幅内の電場サイクル数において 2 サイクル以下を達成しました。

これまでの水の窓高調波発生実験より、開発したレーザー光源を励起光として使用することで、光子エネルギー 500 – 300 eV 域において、10 ナノジュールを超える単一アト秒パルスの発生が可能になります。結果、サブギガワット級の出力を持つ軟 X 線アト秒パルスの実現が期待できます。

In high-intensity laser science dealing with an interaction of light and matter, the "cycle number of electric field" within a pulse envelope becomes an extremely important parameter. Ultrafast coherent soft x-ray photonics research team has demonstrated a sub-two-cycle pulse with 100 mJ pulse energy via DC-OPA.

Our DC-OPA consists of three-stage BiBO (BiB_3O_6) crystals (see Fig. 1). To achieve a CEP-stabilized sub-two-cycle pulse, SPM and self-DFG have been employed for generating a broadband seed pulse. Thanks to the DC-OPA scheme, we have succeeded in developing a laser system with a pulse duration of 10.4 fs, pulse energy of 102 mJ, and peak power of 10 TW (see Fig.2). The center wavelength of the output pulse is around 1.7 μm , which achieves sub-two cycles electric field within the FWHM of the intensity envelope. From our previous experiments on water window harmonic generation, it is possible to generate 10-nJ class isolated attosecond pulses with photon energy region in the 500 - 300 eV using our developed IR source. This result is expected to realize soft x-ray attosecond pulses with sub-GW peak power.

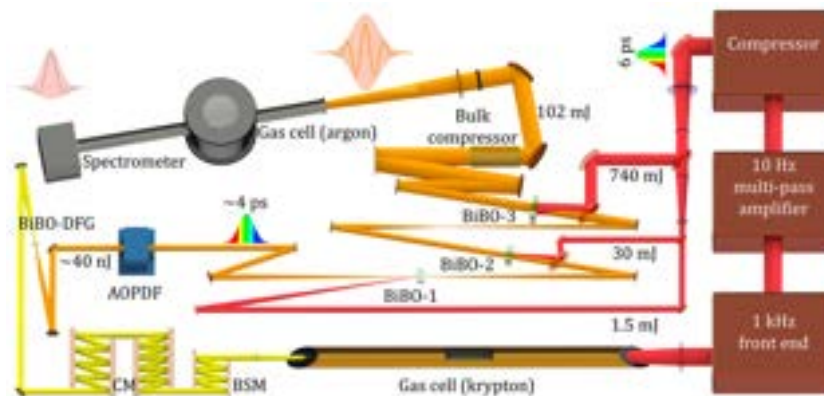


図1 レーザーシステムの概略図

Fig.1 10-TW sub-two-cycle IR source based on DC-OPA.

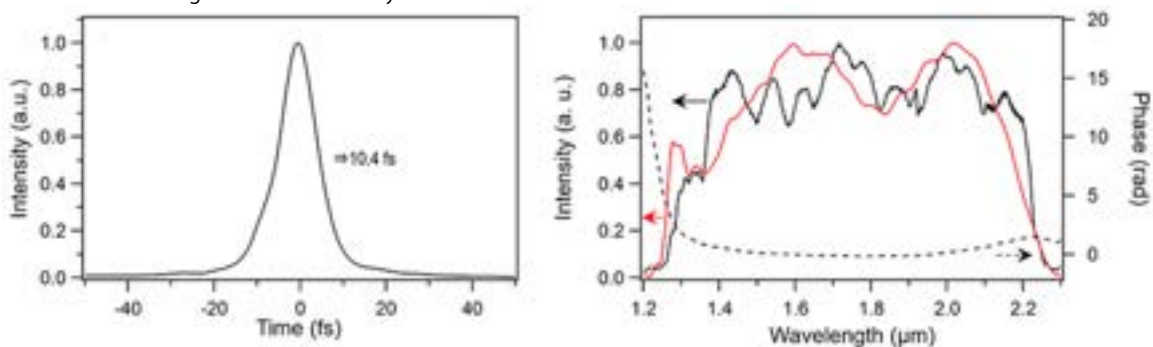


図2 (左) 出力されたレーザーパルスの時間波形, (右) スペクトル強度とスペクトル位相

Fig.2 (left) Reconstructed temporal profile with a pulse duration of 10.4 fs (FWHM), (right) Reconstructed spectrum (red solid line), reconstructed spectral phase (black dashed line) and measured spectrum after the 3rd DC-OPA stage (black solid line).

超短パルス電子線科学理研白眉研究チーム



理研白眉研究チームリーダー /
RIKEN Hakubi Team Leader

森本 裕也 Ph.D.
Yuya Morimoto, Ph.D.



FY2022 Core Members

(特別研究員)

立花 佑一

Marie Ouillé

(アシスタント)

松下 美由紀(兼務)

(事務パートタイマー)

石川 朱美

(Postdoctoral Researcher)

Yuichi Tachibana

Marie Ouillé

(Assistant)

Miyuki Matsushita (c)

(Part-time worker)

Akemi Ishikawa

研究テーマ

- ✓ 電子線のアト秒制御
- ✓ 電子パルスによる化学反応の超高速イメージング
- ✓ コヒーレント電子線を用いた原子衝突過程制御
- ✓ 赤外領域の高強度超短パルスレーザー光源の開発とその応用

Research Subjects

- ✓ Attosecond control of electron beams
- ✓ Ultrafast electron-beam imaging of chemical reactions
- ✓ Control of collisional processes using coherent electron beams
- ✓ Development of ultrashort and intense infrared laser pulses and their applications

研究成果／Research Output

電子ビームによる数サイクルレーザー波形の観測



- 数サイクルレーザー波形の電子ビームによる計測技術を開発
- 不可能と考えられていた線形光学過程による超短パルス計測を実現
- 波長レベルの空間分解能でレーザー波形を顕微測定

Measurement of few-cycle laser waveforms with electron beams

- Development of a novel characterization method of optical waveforms using electron beams
- Demonstration of ultrashort-pulse characterization based on a linear optical process, which was considered to be unrealistic
- Microscopic measurement of optical waveforms with wavelength-scale resolution

Yuya Morimoto, BoHan Chen, and Peter Baum, "Free-electron tomography of few-cycle optical waveforms," *Ann Phys* 534, 2200193 (2022).

Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team

パルス内で電場が数回しか振動しないような超短レーザー光（以下、数サイクルパルス）は、アト秒レーザー光の発生や粒子加速器、次世代高速演算であるペタヘルツエレクトロニクスなど、様々な研究分野で使用されています。それらの研究においては、試料上でのレーザー光の電場波形を精密に測定することが重要です。

本研究では、電子ビームを利用した数サイクルパルスの新しい測定方法を開発しました。電子は電荷を有しており、レーザー光の電磁場に線型に応答します。電子とレーザー光の相互作用を媒介する目的でナノメートル厚の薄膜を設置し、その薄膜上で電子ビームとレーザー光を交差させました。薄膜を通過した電子は通過する瞬間のレーザー波形に応じて、異なる方向に飛んでいきます（偏向あるいはストリークと呼ばれます）。電子線の偏向像を解析することで、レーザー光の波形を得ることに成功しました。また、電子顕微鏡と本手法を組み合わせることで、光の波長と同程度の空間分解能で、試料上の各点におけるレーザー波形の観測に成功しました。

超高速レーザー科学の分野では、超短パルス光の測定には、非線型光学過程か、測定するパルスよりも短い観測パルスのどちらか一つが最低でも必要だと知られています。しかし、本研究の電子ビームを利用した手法は、完全な線形現象を用いており、かつ、超短い測定用パルスも必要としません。従って、超高速レーザー科学の分野の通説を覆す手法の開発となりました。

Ultrashort few-cycle laser pulses are used in various research fields, such as attosecond light generation, particle acceleration, and petahertz electronics. In those researches, it is important to observe a shape of laser waveform on a sample.

In this study, we have developed a method for the characterization of few-cycle laser pulses using an electron beam. An electron has an electric charge and responds linearly to electromagnetic field of laser light. In our experiment, electrons in a beam intersected with a laser beam on a film and got deflected into different directions depending on the instantaneous laser fields at the moment of passage. By analyzing an image of deflected electrons, we succeeded in obtaining a waveform of the laser light. By combining this method with electron microscopy, we measured laser waveform at each point on a sample with a spatial resolution equivalent to the wavelength of light.

In the field of ultrafast science, it is known that the measurement of an ultrashort pulse requires a nonlinear optical process or a probe pulse that is shorter than the pulse to be sampled. However, our method with beamed electrons is based on a linear optical process and no ultrashort pulses are required. We thus overturned the common belief in the field.

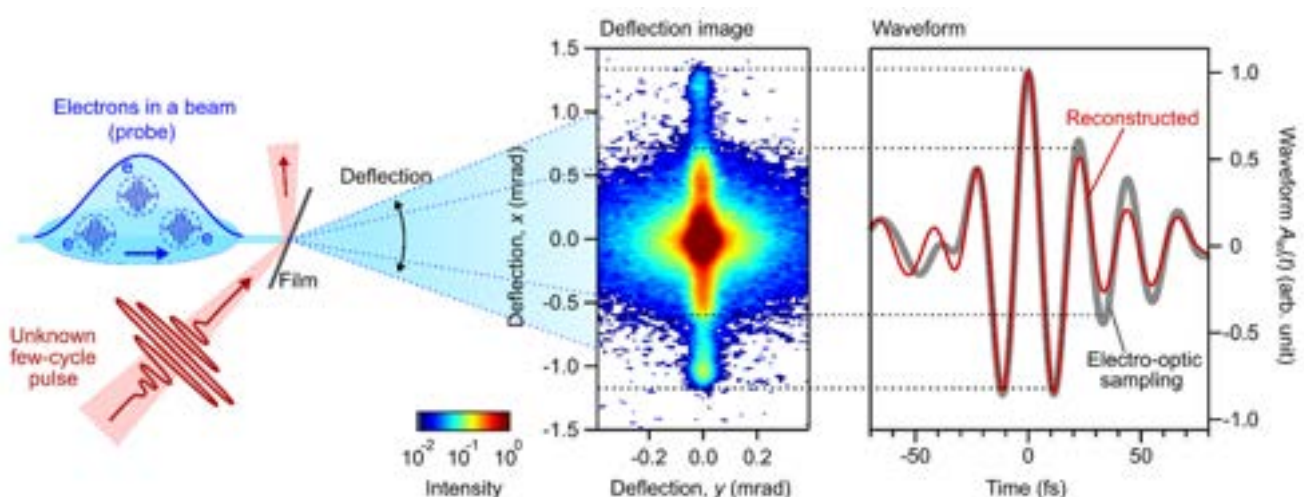
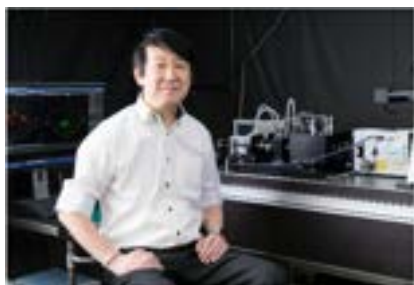


図1 電子ビームによる数サイクルパルス波形の計測。概念と実験の様子。時間幅0.5 psの70 keV電子ビーム（青色）が数サイクルレーザー光（赤色）と自立薄膜上で交差した。電子はレーザー光の電磁場によって偏向を受けた。電子ビームの偏向像（中央の図）を解析することで、レーザー光の波形（右図）が得られた。

Fig.1 Characterization of few-cycle laser waveforms using electron beams. Concept and Experiment. A 70-keV electron beam of 0.5-ps duration (blue) intersected with a laser field (red) at a free-standing film. Electrons in a beam got deflected by the electromagnetic field of the laser field. By analyzing the deflection image (middle panel), the optical waveform was obtained (right panel).

生細胞超解像イメージング研究チーム



チームリーダー / Team Leader

中野 明彦 理学博士
Akihiko Nakano, D. Sci.



FY2022 Core Members

(専任研究員・上級研究員)

黒川 量雄、戸島 拓郎

(研究員) 神奈亜子、松浦 公美

(技師) 宮代 大輔

(テクニカルスタッフ)

石井 久美子、和賀 美保、蛭川 英男

(研究パートタイマー)

カライ マディ ムニアンディ

(アシスタント) 戸谷 真樹子

(Senior Research Scientist)

Kazuo Kurokawa, Takuro Tojima

(Research Scientist)

Natsuko Jin, Kumi Matsuura

(Technical Scientist)

Daisuke Miyashiro

(Technical Staff)

Kumiko Ishii, Miho Waga,

Hideo Hirukawa

(Research Part-time Worker)

Kalai Madhi Muniandy

(Assistant)

Makiko Toya

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



ゴルジ体とその隣接区画の包括的理解

- 高速超解像顕微鏡SCLIMを用い、ゴルジ体とその隣接区画の挙動と物質輸送のダイナミクスを解析
- 酵母、植物、動物細胞の比較により、一見異なる体制に見えながら、関わる鍵因子、根源的なメカニズムが驚くほど共通していることを示し、新たな包括的モデルを提唱

Comprehensive understanding of the Golgi apparatus and its neighbors

- Dynamic behaviors and trafficking around the Golgi apparatus and its neighbors have been analyzed by high-speed and super-resolution microscopy SCLIM.
- Their organizations appear different among yeast, plant and animal cells, but the key machineries involved and the fundamental mechanisms of traffic are amazingly conserved, leading us to propose a comprehensive new model.

Reference: Nakano, A., "The Golgi apparatus and its next-door neighbors", Front. Cell Dev. Biol., 10, 884360 (2022).

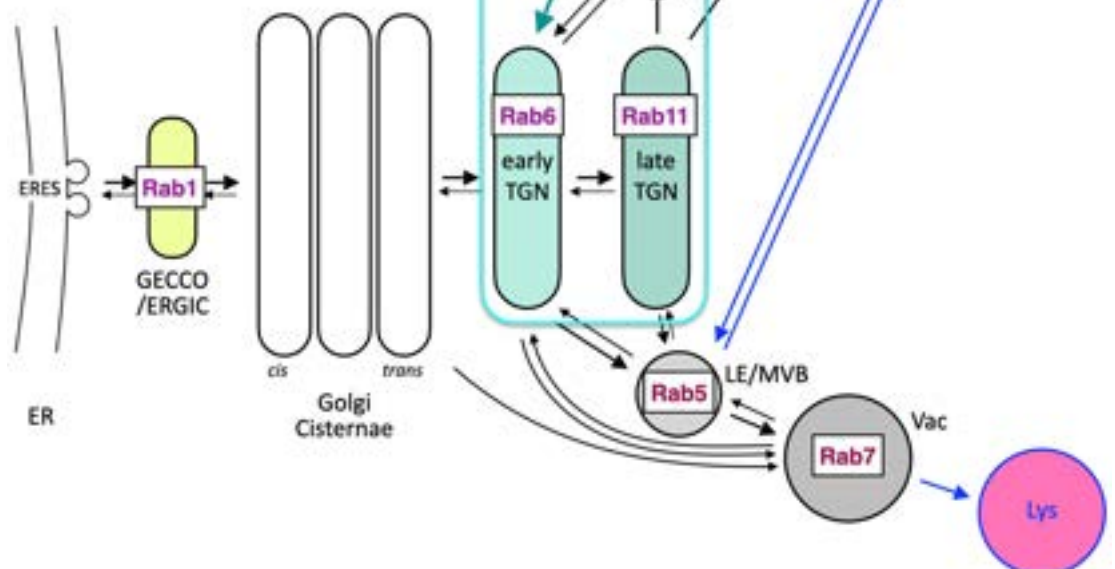
Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team

私たちが開発した最先端の顕微鏡（SCLIM：super-resolution confocal live imaging microscopy）は、ゴルジ体周辺の膜交通現象を驚くほど詳細に観察することを可能にしました。ゴルジ体に隣接する区画である ERGIC（ER-Golgi intermediate compartment）と TGN（trans-Golgi network）がタンパク質の選別に重要な役割を果たすことは広く知られています。動物細胞では古くから ERGIC の存在が知られていましたが、最近では植物細胞や酵母細胞でも機能的に相同な区画（GECCO, Golgi entry core compartment）が見つっています。エンドサイトーシスにおける TGN の役割はこれまで不明瞭でしたが、植物や酵母細胞だけでなく、動物細胞においても TGN とエンドソームの密接な関係が明らかにされつつあります。ゴルジ体とその隣接区画の構造は生物種によって大きく異なるように見えますが、注意深く比較すると、関与する主要なプレイヤーや基本的な基礎メカニズムに驚くべき類似性があることがわかってきました。

これらの研究から得られた新たな知見から、私たちはいま、区画の定義を再考し、その役割を包括的に説明する新しいモデルを提案しようとしています（図）

図. ゴルジ体およびその周辺の輸送の包括的モデル。(A) ゴルジ体およびその隣接区画（GECCO/ERGIC、TGN/RE）周辺、およびゴルジ体から液胞前区画（PVC）を経て液胞（Vac）へ輸送される経路を示した。酵母、植物、動物細胞に共通する区画の目印として、保存された Rab GTPases の役割を考慮した。青字の経路は哺乳動物細胞だけに見られることに注意。

Fig. Comprehensive models of trafficking around Golgi and post Golgi. Trafficking pathways around Golgi and its next-door neighbors (GECCO/ERGIC and TGN/RE) as well as post-Golgi trafficking to vacuole (Vac) via prevacuolar compartment (PVC). Presence of conserved Rab GTPases is considered as signboards of compartments, which may be common to yeast, plant, and animal cells. Note that the routes indicated by blue arrows are seen only in mammalian cells.



The state-of-the-art microscopy we developed (SCLIM: super-resolution confocal live imaging microscopy) now enables us to observe membrane traffic events around the Golgi apparatus in amazing details. It has been widely accepted that the neighboring compartments of the Golgi, namely ERGIC (ER-Golgi intermediate compartment) and TGN (trans-Golgi network), play pivotal roles in protein sorting. The presence of ERGIC has been long known in animal cells, and we now find their functional counterparts (named GECCO, Golgi entry core compartment) in plant and yeast cells. The role of TGN in endocytic functions has been obscure, but now the close relationship between TGN and endosomes becomes clear, not only in plant and yeast cells but also in animal cells. The apparent architecture of the Golgi and its neighbors varies considerably among species, but careful comparison between them reveals amazing similarities in the key players involved and the underlying fundamental mechanisms.

Emerging examples of our imaging analysis have led us to propose reconsideration of compartments and suggest a new comprehensive model to describe their roles (Fig).



チームリーダー / Team Leader

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



FY2022 Core Members

(研究員)
平野 雅彦

(テクニカルスタッフ)
戸崎 麻子

(Research Scientist)
Masahiko Hirano

(Technical Staff)
Asako Tosaki

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

光安定性に優れる蛍光タンパク質、StayGoldの開発

超解像顕微鏡と組み合わせることにより、

- 小胞体の動きが細胞内のカルシウムイオン分布様式に依存することを発見
- SARS-CoV-2の細胞内分布様式を解明

Development of an extremely photostable fluorescent protein, StayGold

Applying StayGold and super-resolution microscopy,

- Discovering the effects of the calcium ion distributions on the mobility of the endoplasmic reticulum
- Revealing the SARS-CoV-2 spike protein within a cell in 3D

Hirano M, Ando R, Shimozono S, Sugiyama M, Takeda N, Kurokawa H, Deguchi R, Endo K, Haga K, Takai-Todaka R, Inaura S, Matsumura Y, Hama H, Okada Y, Fujiwara T, Morimoto T, Katayama K, Miyawaki A.

A highly photostable and bright green fluorescent protein.
Nat Biotechnol. 40(7):1132-1142 (2022)

タマクラゲは日本全国に広く分布するクラゲです。我々は青森県の浅虫沿岸に生息するタマクラゲから新たな蛍光タンパク質をクローニングしました。この蛍光タンパク質を細胞に発現させて観察させて注意深く観察すると、EGFPなど現在よく用いられている蛍光タンパク質と比較して数十倍褪色しにくいということを発見しました。しかし、一方で非常に暗いという欠点も同時に認識することになりました。これまで世界の蛍光タンパク質の研究開発の歴史において、蛍光タンパク質の明るさと光安定性は両立しない、と信じられてきました。しかしながら、我々は1アミノ酸の変異を導入することで光安定性を保ったまま明るさを改善することに成功し、この改良した蛍光タンパク質をStayGoldと名付けました。

超解像顕微鏡法は光安定性の強い蛍光プローブを必要とします。超解像顕微鏡法の1つ、構造化照明顕微鏡法 (SIM) とStayGold組み合わせ、細胞内小器官の詳細な動きの解析や新型コロナウイルスの細胞内での3次元分布の解明に成功しています。

The jellyfish *Echinoderma lucidum* is widely found along the coast of Japan. From the jellyfish inhabiting the sea in Asamushi, Aomori prefecture, we cloned a green fluorescent protein (FP).

When the researcher in our team expressed the FP in cultured mammalian cells, he unexpectedly found that it is highly resistant to photobleaching. But at the same time he also noticed that it is dim. Hoping to make it brighter, he set out to introduce mutations while it is generally believed that an increase in the brightness of an FP results in a decrease in its photostability. After characterizing many mutants, he finally found a single mutation that makes the FP brightest among the FPs currently known while keeping the photostability. We named the protein, StayGold.

Taking advantage of the extreme photostability of StayGold, we combined it with the super-resolution microscopy (SRM). Using SRM, we revealed calcium ion-dependent motions of the endoplasmic reticulum. We also detailed the 3D-distributions of the SARS-CoV-2 spike protein in infected mammalian cells.

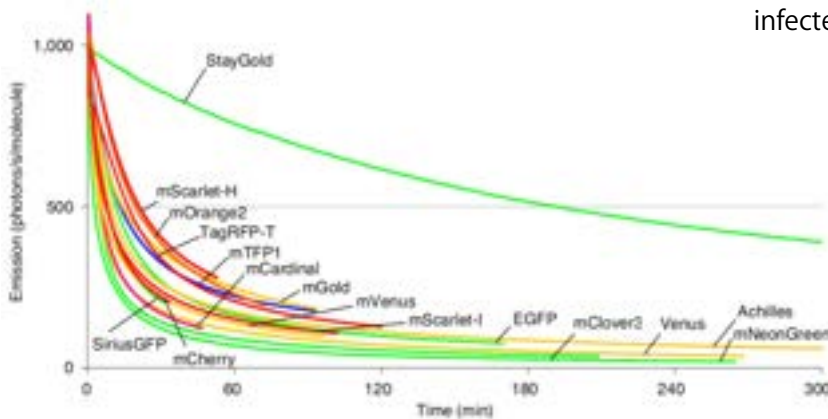


図1/ Fig.1 様々な蛍光タンパク質とStayGoldの光安定性の比較。3.4 – 5.6 W/cm²の強い励起光を照射した際のフォトブリーチングを定量した。

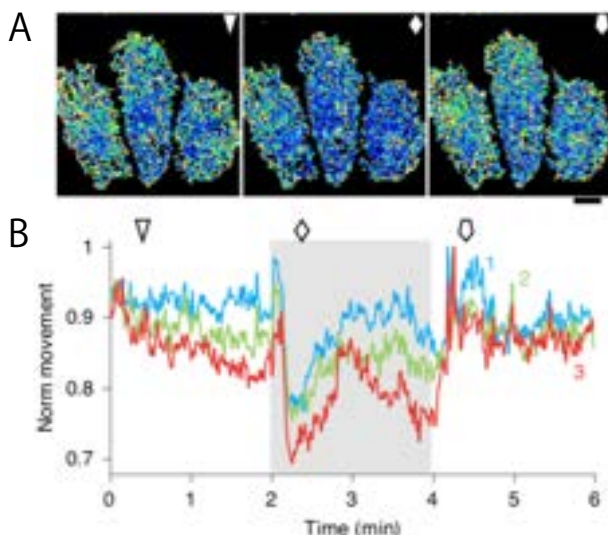


図2/ Fig.2 StayGoldと超解像顕微鏡法を用いた小胞体の動きの解析

- 小胞体の動きのヒートマップ (図の右上の記号は下のグラフと対応)
- 小胞体の動きの詳細な時間経過。灰色で示す時間で小胞体から細胞質へのカルシウムイオンの移動を誘起している。

画像情報処理研究チーム



チームリーダー / Team Leader

横田 秀夫 博士(工学)

Hideo Yokota, D. Eng.



FY2022 Core Members

(上級研究員) 吉澤 信、道川 隆士、
野田 茂穂

(特別嘱託研究員) 太田 聡史

(研究員) 竹本 智子、山下 典理男、
森田 正彦、孫 哲

(テクニカルスタッフ)

辻村 有紀、中村 佐紀子、西村 将臣、
蛭川 英男

(アシスタント) 岩崎 久美、田中 晶予

(研究パートタイマー) 村上 幸己

(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

(Senior Research Scientist)

Shin Yoshizawa, Takashi Michikawa,
Shigeho Noda

(Special Temporary Research Scientist)

Satoshi Oota

(Research Scientist)

Satoko Takemoto, Norio Yamashita,
Masahiko Morita, Zhe Sun

(Technical Staff)

Yuki Tsujimura, Sakiko Nakamura,
Masaomi Nishimura, Hideo Hirukawa

(Assistant) Akiyo Takana, Kumi Iwasaki

(Research Part-timer)

Yukimi Murakami

(Visiting Scientist)

Shintaro Oyama, Kazuaki Fukasaku,
Kazuhiro Fujisaki, Naomichi Furushiro,
Suguru Miyagawa

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

画像解析技術による機能性膜タンパク質の動態解析



- 世界で初めて観察・画像取得した細胞膜上のインスリンシグナル受容体の膜環境変化を解析
- ノイズを多く含む大量のタイムラプス画像から、細胞膜上の受容体周辺領域を自動認識する技術を開発
- シグナル伝達前後に生じた受容体周辺の膜流動性の微小変化を解析・可視化する技術を開発

Dynamic analysis of functional membrane proteins using image analysis technology

- Analysis of changes in the membrane environment of insulin signaling receptors on the plasma membrane observed for the first time globally.
- Development of an automatic image recognition technique for the membrane environment surrounding receptors from many time-lapse images containing a lot of noise.
- Development of analysis and visualization techniques for the minute changes in membrane fluidity around the insulin receptors before and after signal transduction.

Reference:

Umebayashi, M., Takemoto, S., Reymond, L., Sundukova, M., Hovius, R., Bucci, A., Heppenstall, P.A., Yokota, H., Johnsson, K., Riezman, H., "A covalently linked probe to monitor local membrane properties surrounding plasma membrane proteins", *Journal of Cell Biology*, 222(3): e202206119 (2023).

Image Processing Research Team

当チームは、情報科学的アプローチから生命科学研究の発展に寄与しています。最近、国内外の共同研究者とともに、細胞膜に存在する機能性タンパク質の動態を解析する新たな画像処理技術を開発しました。

細胞膜上に存在する機能性膜タンパク質の一つである受容体は、外界からの刺激を細胞内に伝達します。受容体周辺の膜環境は刺激の伝達時に変化しますが、その全容はまだ明らかになっていません。我々のグループでは、共同研究者が世界で初めて取得した、生細胞のインスリン受容体周辺の膜環境のタイムラプス画像を対象に、インスリンシグナル伝達時の膜環境変化を定量解析する技術を開発しました。

開発した主な技術は、ノイズを多く含む画像から受容体周辺領域を自動認識するための画像のセグメンテーション技術（図1）と、受容体周辺領域の膜流動性を示すGP値（Generalized polarization value）について、インスリンシグナル伝達の前後で生じる微小な時間変化量を解析・可視化する技術です（図2）。これらの技術を活用して約50万枚の画像を解析し、インスリン受容体の局所膜環境は、平均的な細胞膜の膜流動性とは異なり、非常に動的で不均質であることなどを明らかにしました。

本研究の成果による受容体周辺の膜環境変化の理解は、シグナル伝達に留まらず、細胞内輸送や免疫応答など、機能性タンパク質の多様な機能や病態発現の機序を解明する一助となることが期待されています。

謝辞：本研究の一部は、JSPS科研費JP16K16153の助成を受けて実施されました。

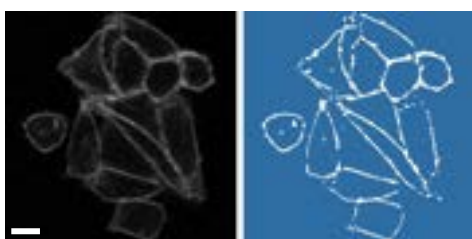
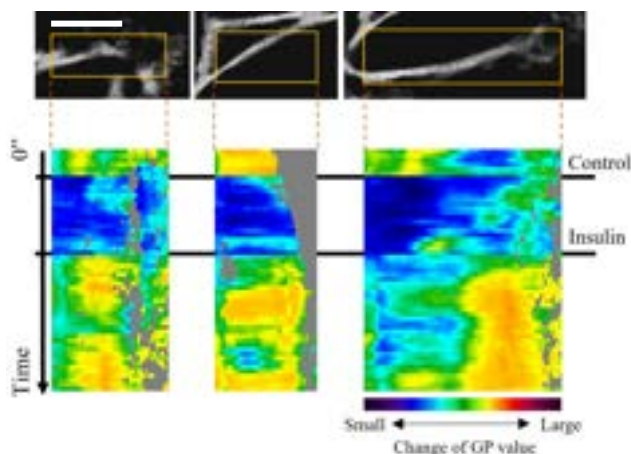


Fig.1 Segmentation of the target probe surrounding the insulin receptor from confocal microscope images. Scale bar, 10 μm .



From an information science perspective, our team contributes to life science research. Together with national and international collaborators, we recently developed an image analysis technique for analyzing the dynamics of functional membrane proteins in the plasma membrane.

Receptors, which are functional membrane proteins in the plasma membrane, play signal transduction role from exterior of a cell to its interior. The membrane environment surrounding the receptors changes during signal transduction; however, the detailed mechanism of this change should be clarified. We developed a technique for quantitative image analysis of the membrane environment during insulin signaling based on the time-lapse images of membrane environment surrounding the insulin receptors in live cells, which were obtained using our collaborators' world's first imaging technique.

We developed two main techniques. The first technique entails image segmentation for automatic recognition of the target probe surrounding the insulin receptor from many time-lapse images containing a lot of noise (Fig. 1). The second technique analyzes and visualizes the minute change that occurs before and after insulin signaling based on the generalized polarization (GP) value, indicating the fluidity of the region surrounding the receptor (Fig. 2).

By utilizing these techniques and analyzing more than 500,000 images, we established that the local environment of the insulin receptor was distinct from the average plasma membrane fluidity and it was dynamic and heterogeneous.

From our research, understanding the membrane environment surrounding receptors elucidates signal transduction, and mechanisms of diverse functions and pathological manifestations of functional proteins, such as intracellular transport and immune responses.

Acknowledgements: part of this work was funded by JSPS Grants-in-Aid for Scientific Research JP16K16153.

Fig.2 Kymographs of chosen areas show time-course changes of GP value. The horizontal dimension of the kymograph represents the vertically averaged changes of GP value within the rectangular area, and the vertical dimension of the kymograph represents the time shift (from $t = 0$ to $t = 540$ s) of its changes. Scale bar, 10 μm .

フォトン操作機能研究チーム



チームリーダー / Team Leader

田中 拓男 博士(工学)

Takuo Tanaka, D. Eng.



FY2022 Core Members

(専任研究員)

早澤 紀彦 (兼務)

(特別研究員)

Maria Vanessa Balois Oguchi,
Maria Herminia Marallag Balgos,
Cherrie May Mogueis Olaya

(テクニカルスタッフ)

山口 剛史

(アシスタント)

梁 怡蓉

(研修生)

藤田 優人

(Senior Research Scientist)

Norihiko Hayazawa (c)

(Postdoctoral Researcher)

Maria Vanessa Balois-Oguchi,
Maria Herminia Marallag Balgos,
Cherrie May Mogueis Olaya

(Technical Staff)

Takeshi Yamaguchi

(Assistant)

Yi-Jung Liang

(Trainee)

Yuto Fujita

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と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
- ✓ チューナブルメタマテリアルに向けた新規な材料開発
- ✓ 可視～THz帯にわたる先端増強ナノ分光システムの開発
- ✓ 機能性表面増幅グースヘンシェンシフトバイオセンサーの開発

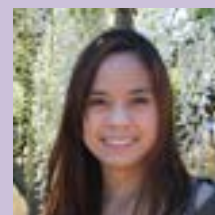
Research Subjects

- ✓ Novel metamaterials such as 3D metamaterials and perfect absorbers
- ✓ Infra-red spectroscopy using metamaterials for ultra-sensitive detection and identification of molecules and single molecule analysis
- ✓ Alternative materials for tunable metamaterials
- ✓ Tip-enhanced nanospectroscopy from visible to THz region
- ✓ Functional surface-enhanced Goos-Hänchen shift biosensor

研究成果 / Research Output

表面プラズモン共鳴増幅された角度グースヘンシェンシフトによる高感度センサー

- グースヘンシェンシフトを用いた高感度バイオセンサーの提案
- 表面プラズモン共鳴による角度グースヘンシェンシフトのサブミリメートル巨大シフトの手法開発
- 開発したセンシング手法の常温大気中環境～液中に至る多様な環境への適応
- 金薄膜への自己組織化単分子膜の形成ダイナミクスの高感度検出



Enhanced angular Goos-Hänchen shift at surface plasmon resonance for high sensitivity sensor

- Proposed a highly sensitive optical biosensor based on the enhancement of angular Goos-Hänchen (GH) shift
- Developed a scheme to significantly enhance the measured GH shift up to sub-millimeter range at the surface plasmon resonance (SPR) region
- Demonstrated sensing capability of the proposed scheme at different sensing environments
- Dynamic measurements of self-assembled monolayer formation on gold substrate

Innovative Photon Manipulation Research Team

角度 Goos-Hänchen (GH) シフトは、平面界面との相互作用により、入射面に沿った反射光ビームの反射角に角度シフトが生じる光学現象です。この角度GHシフトは、界面での反射率の角度変化に依存しているため、金属薄膜での表面プラズモン共鳴(SPR)の励起に伴う急峻な反射率の低下は、大きな角度GHシフトを誘起するであろうと注目しました。図1に示しますように、入射ビームを半球プリズムにより金属表面に収束することでSPR励起し、角度GHシフトを増幅することで、短い検出器距離でもサブミリメートルに至る巨大なGHシフトを誘起できることを実証しました。

水・エタノール (EtOH) の混合溶液の濃度を変化させた場合のSPR領域周辺のGHシフトを図2に示します。EtOH濃度が高くなるに従い、EtOHと水の間での分子間相互作用による非線形な屈折率変化が発生し、その非線形性が角度GHシフトにより検出できることが示されました。

本手法は屈折率変化のダイナミクス計測も可能です。SPR角度固定でのGHシフトの時間変化測定や、SPR及びGHシフトの入射角度依存測定により、分子吸着に伴う屈折率の時間変化ダイナミクスを追従することが可能であることを示しました。

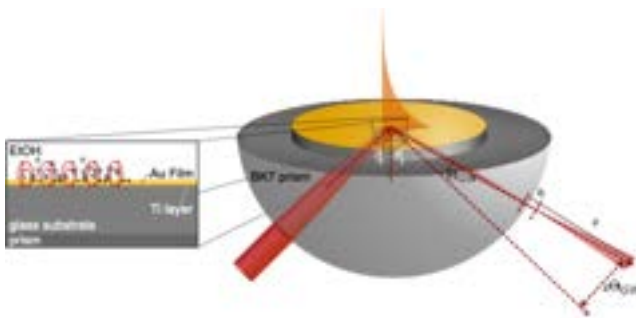


図1 金薄膜表面へのビーム入射に伴うSPR励起時の巨大角度GHシフト発生概念図。半球プリズムを用いることでビームを金表面へ収束し、位置センシング検出器を距離 z に配置することでビームシフトを検出

Fig.1 Schematic diagram of enhancement of angular GH shift at the SPR region. A position sensitive detector is placed at a distance z from the beam waist. The hemispherical prism focuses the incident beam to a small beam waist

Angular Goos-Hänchen (GH) shift is the deflection of a real optical beam along the incident plane upon interaction with a planar interface. This shift is dependent on the angular change in reflectivity, as such, the sharp reflectivity dip upon the excitation of surface plasmons at resonance has been shown to induce large GH shifts. We exploit the beam propagation dependence of angular GH shift and focus the incident beam to a small beam waist resulting to a significantly large GH shift at the SPR region even at short detector distance as shown in Fig. 1.

The GH shift around the SPR region for varying ethanol (EtOH) concentrations in water is shown in Fig. 2. The measurements at higher EtOH concentrations reflect the nonlinear change in the refractive index due to the intermolecular interaction between EtOH and water.

Temporal interrogation can also be performed for dynamic measurement of the refractive index change. Hence, both spectroscopic measurements for accurate location of the SPR angle and spectrophotometric measurements for analyte adsorption kinetic analysis are feasible.

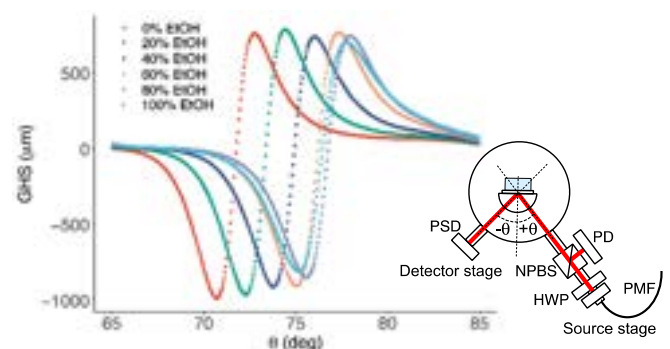
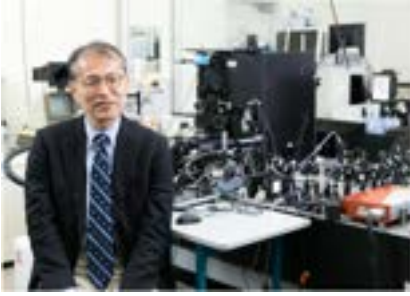


図2 EtOH濃度を変化させた際の、SPR励起角度周辺での角度GHシフト測定結果。挿入図は図1の半球プリズムを含む装置の基本構成図。入射ビームと反射ビームをそれぞれ $+\theta$, $-\theta$ 回転アームに搭載しコンピュータ制御で角度走査した

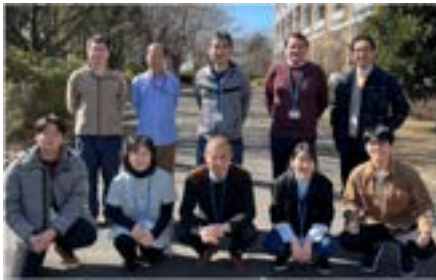
Fig.2 Angular spectrum of GH shift measurements within the SPR region in different EtOH concentrations. The inset shows the schematic diagram of the experimental setup used in the measurement

先端レーザー加工研究チーム



チームリーダー / Team Leader

杉岡 幸次 工学博士
Koji Sugioka, D. Eng.



FY2022 Core Members

(研究員) 小幡 孝太郎
(特別嘱託研究員) 尾笹 一成
(特別研究員)

Jiawei Zhang,
Ashkan MomeniBidzard
(客員主管研究員) 青柳克信
(客員研究員)

Daniela Serien, Xinyuan Qi,
Felix Sima, Shi Bai, 花田 修賢,
中嶋 聖介, 黒瀬 範子

(研修生) 川端祥太, 森本純至,
半澤未来

(特別嘱託職員) 若林 多起子

(Research Scientist) Kotaro Obata
(Special Temporary Research Scientist)
Kazunari Ozasa

(Postdoctoral Researcher)
Jiawei Zhang,
Ashkan MomeniBidzard

(Senior Visiting Scientist)
Yoshinobu Aoyagi
(Visiting Scientist)

Daniela Serien, Xinyuan Qi,
Felix Sima, Shi Bai, Yasutaka,
Hanada, Seisuke Nakashima,
Noriko Kurose

(Student trainee) Shota Kawabata,
Junji Morimoto, Mirai Hanzawa

(Special Temporary Employee)
Takiko Wakabayashi

研究テーマ

- ✓ 3次元マイクロ・ナノレーザー加工技術の開発とマイクロ・ナノデバイス作製への応用
- ✓ 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
- ✓ 超短パルスレーザーによるナノ材料創成および表面ナノ構造化
- ✓ 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 laser-based 3D micro and nanoprocessing and application for fabrication of micro and nanodevices
- ✓ Development of high quality, high efficiency, high resolution processing based on beam shaping techniques
- ✓ Nanomaterials synthesis and surface nanostructuring by ultrafast lasers
- ✓ Elucidation of laser and matter interactions

研究成果 / Research Output

GHzバーストモードフェムト秒レーザー加工によるシリコン表面への2次元レーザー誘起ナノ周期構造 (2D LIPSS) の形成



- 超高速繰り返し (GHz) のフェムト秒 (fs) レーザーパルス列を複数回照射することにより、シリコン表面へ2次元ナノ周期構造 (2D LIPSS) を形成する技術を開発。
- 2D LIPSSの形成メカニズムとして、1D LIPSSのナノ溝壁面への周期的電界増強 (ホットスポット) の生成を提案。
- 提案した形成メカニズムに基づき、GHzバーストパルス内のイントラパルスエネルギー分布を制御することにより、2D LIPSS加工の高品質化を達成。

Formation of two-dimensional laser-induced periodic surface structures (2D-LIPSS) on silicon surface using GHz burst mode femtosecond laser pulses

- Technique to form two-dimensional laser-induced periodic surface structures (2D LIPSS) on silicon surfaces was developed by irradiation with ultrafast repetition rate (GHz) femtosecond (fs) laser pulse trains.
- Formation mechanism of 2D-LIPSS based on generation of the periodic enhancement of electric fields (hot spots) at the side walls of nanogrooves in 1D LIPSS was proposed.
- Fabrication of higher-quality 2D LIPSS was realized by tailoring the intra-pulse energy distribution in GHz burst pulses, based on the proposed mechanism.

Advanced Laser Processing Research Team

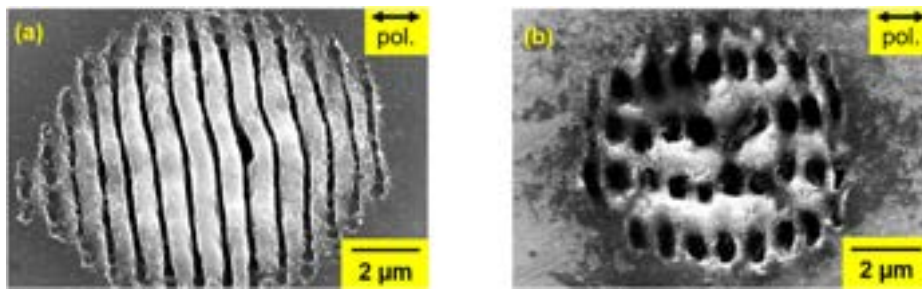


図1 単結晶シリコン基板表面に形成したLIPSSのSEM観察像: (a) 従来加工(シングルパルスモード)、(b) GHzバーストモード加工。

Figure 1 SEM images of LIPSS formed on silicon surfaces with different configurations: (a) conventional irradiation scheme (single-pulse mode) and (b) GHz burst mode.

近年、パルス間隔が数100ピコ秒 (ps) のフェムト秒 (fs) レーザパルス (イントラパルス) 列から成るGHzバーストモードfsレーザー加工は、従来のfsレーザー加工 (シングルパルスモード) と比較して、高効率・高品質な材料加工が行えることが実証され、大きな注目を集めています。

本研究では、特異な加工特性を提供するGHzバーストモードfsレーザー加工を、レーザー誘起表面微細周期構造 (LIPSS) 形成に応用することにより、シリコン表面へ新奇2次元 (2D) LIPSS構造が形成できることを示しました。

直線偏光のシングルパルスモードfsレーザーを、アブレーション閾値近傍でシリコン表面に照射すると、レーザー偏光方向に垂直な方向に1次元

(1D) LIPSSが形成されます (図1 (a))。一方、GHzバーストモードを用いると、垂直な方向に加えて平行な方向にも周期を有する2次元 (2D) LIPSSが形成できることを明らかにしました (図1 (b))。2D LIPSSの形成メカニズムとして、GHzバーストパルスの前半のイントラパルスによって形成された1D LIPSSのナノ溝の壁面において、後続のイントラパルス照射によって周期的な電界増強 (ホットスポット) が生じるモデルを提案しました (図2)。提案したメカニズムに基づき、GHzバーストパルス内のイントラパルスエネルギー分布を制御することにより、2D LIPSSの高品質化を実現しました

(図1 (b))。以上より、GHzバーストモードfsレーザーは従来のシングルパルスモードとは異なる表面微細加工を実現することができ、新たな微細加工技術としての応用が期待されます。

Recently, femtosecond (fs) laser processing with a GHz burst mode, which consists of fs laser pulse (intra-pulse) trains with a pulse-to-pulse interval of several hundred picoseconds (ps), has been attracting considerable interest, since it has some distinct characteristics in material processing as compared with the conventional fs laser irradiation scheme (single-pulse mode).

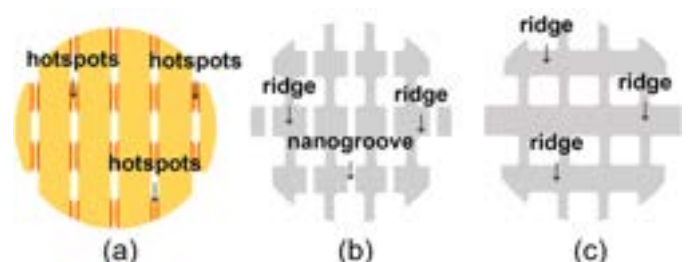
In this study, we applied the GHz burst mode fs laser processing to the formation of laser-induced periodic surface structures (LIPSS) to explore the possibility of forming novel nanostructures, that are different from LIPSS fabricated by the single-pulse mode.

Single-pulse mode of linearly polarized fs laser can create one-dimensional (1D) LIPSS whose direction is perpendicular to the laser polarization direction on silicon surfaces (Fig. 1 (a)). Meanwhile, we have demonstrated that GHz burst mode can form unique two-dimensional (2D) LIPSS consisting of periodic surface structures both perpendicular and parallel to the laser polarization direction (Fig. 1 (b)). As the formation mechanism of 2D LIPSS, we proposed a model in which irradiation of subsequent intra-pulses in the GHz burst pulse causes periodic enhancement of electric field (hot spots) at the nanogroove walls of 1D LIPSS formed by preceding intra-pulses. (Fig. 2). Based on this mechanism, we successfully formed high-quality 2D LIPSS by tailoring the energy distribution of intra-pulses in the GHz burst pulse (Fig. 1 (b)).

Consequently, GHz burst mode fs laser can realize surface micro- and nano-fabrication different from conventional single pulse mode and is expected to be applied as a new microfabrication technology.

図2 2D LIPSS形成メカニズムの模式図: (a) GHzバーストパルスの先行イントラパルスで形成された1D-LIPSS に、後続イントラパルスが照射されることによりホットスポットが生じる。(b)ホットスポットによって、1D LIPSSのナノ溝壁面がアブレーションされ、リッジ部分が細くなる。(c) ホットスポットでない部分はわずかな電解増強によって溶融が生じ、ナノ溝がつながることにより2D LIPSSを形成する。

Figure 2 Schematic illustrations of the formation mechanism of 2D LIPSS: (a) 1D LIPSS formed by the preceding intra-pulses of a GHz burst pulse is irradiated by the subsequent intra-pulses, resulting in generation of hot spots. (b) Hot spots ablate the sidewalls of the nanogroove in 1D-LIPSS to narrow ridges. (c) The other parts are melted to be connected, resulting in the formation of 2D-LIPSS.



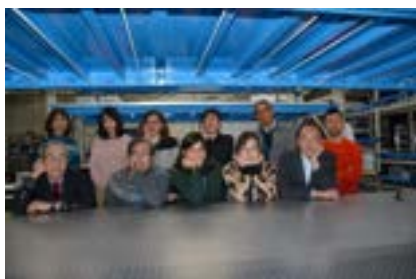
テラヘルツ光源研究チーム



チームリーダー / Team Leader

南出 泰亜 博士(工学)

Hiroaki Minamide, D. Eng.



FY2022 Core Members

(研究員) 瀧田 佑馬、
Joselito Muldera, Deepika Yadav,
Yuehong Xu

(パートタイマー)
齋藤 美紀子、八重柏 典子、
山下 美保子、福田 航一

(アシスタント)
佐々木 玲子

(客員主管研究員) 伊藤 弘昌
(客員研究員) 大野 誠吾、鈴木 哲

(Research Scientist)
Yuma Takida, Joselito Muldera,
Deepika Yadav, Yuehong Xu

(Part-time Worker)
Mikiko Saito, Noriko Yaekashiwa,
Mihoko Yamashita,
Koichi Fukuda

(Assistant) Reiko Sasaki
(Senior Visiting Scientist)
Hiromasa Ito

(Visiting Scientist)
Seigo Ohno, Tetsu Suzuki

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



0.87 THz帯・光注入型周波数可変バックワードテラヘルツ波パラメトリック発振

- BW-TPO (Backward THz-wave Parametric Oscillation) に基づく高周波数0.87 THz帯での発振に成功
- BW-TPO方式では、非線形光学結晶の設計によって利用したい周波数帯でTHz波を発生させることができる

Tunable Injection-Seeded Backward Terahertz-Wave Parametric Oscillator Centered at ~0.87 THz

- First demonstration of a tunable THz-wave source based on Backward THz-wave Parametric Oscillation (BW-TPO) with a frequency of ~ 0.87 THz
- The BW-TPO scheme can be utilized to design nonlinear optical crystals to emit THz waves at a specific range of frequencies

In preparation for submission.

斜周期型のマグネシウム添加周期分極反転ニオブ酸リチウム (PPLN) 結晶を用いて、擬似同軸位相整合による光注入型周波数可変THz波パラメトリック発振器 (BW-TPO) を周波数0.87 THz帯で初めて実証しました。PPLN結晶をレーザー励起することでTHz波とアイドラー光が発生し、THz波は励起光とアイドラー光に対して逆方向に伝搬します (図1(a))。発振周波数はPPLN結晶への励起光の入射角度によって決まり、図1(b)に示すようにアイドラー光のスペクトルがピーク (BW1) のように励起光とは異なる波長で現れます。また同時に、カスケード過程による2次のアイドラー光 (BW2) の発振も観測できました。カスケード過程が確認できたことで、高効率にTHz波を発生させることに成功しました。さらに、PPLN結晶を回転させるだけでBW1とBW2のスペクトルの位置を変化させることができ、結果としてBW-TPOの発振周波数を0.84 THzから0.90 THzまで同調させることができました。発振周波数の可変範囲は、結晶の設計パラメータによって決定することが可能です。

加えて、BW-TPOの発振閾値エネルギーと変換効率を算出するために、アイドラー光の出力エネルギーの励起光エネルギー依存性を測定しました。このとき、BW1と同じ波長の連続光 (CW) レーザーを用いて光注入を行いました。その結果、注入光がない場合に比べて、光注入を行った場合に発振閾値エネルギーを26%低く、最大変換効率を1.3倍に向上させることができました。本研究の応用として、通信分野や非破壊イメージングへの応用が考えられます。

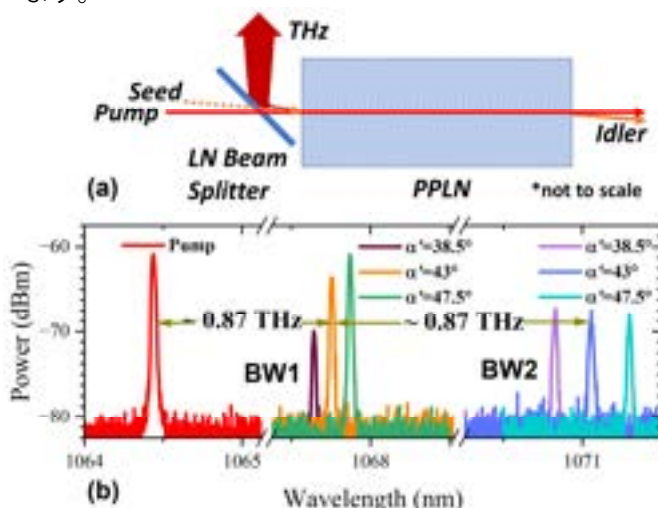


図1 (a) 実験配置の概略図。(b) 励起光とアイドラー光 (BW1、BW2) のスペクトル。PPLN結晶を回転させるとBW1やBW2の波長がシフトすることから、THz波周波数を同調できることがわかる。
Fig.1 (a) Schematic of the experimental setup. (b) Spectra of pump and two idler beams, BW1 and BW2. The THz frequencies can be tuned as seen by the shift in wavelengths of BW1 from the pump and BW2 from BW1 when the PPLN crystal is rotated.

A tunable injection-seeded backward THz-wave parametric oscillator (BW-TPO), centered at ~ 0.87 THz, is first demonstrated using a slant-stripe magnesium oxide-doped periodically-poled lithium niobate (PPLN) crystal via a quasi-collinear phase matching scheme. An idler beam appears along with the THz wave upon laser excitation, with the THz wave propagating in the backward direction as the pump and idler (Fig. 1(a)). The oscillation frequency is dictated by the PPLN slant angle α and indicated by the spectral separation of the idler peak (BW1) from the pump as seen in Fig. 1(b). A cascading process was also observed with the presence of another idler (BW2). Moreover, the BW-TPO frequency can also be tuned from 0.84 to 0.90 THz with a simple rotation of the PPLN as observed from the shifts in the spectra of both BW1 and BW2. The tunability is limited by design parameters such as the crystal dimensions.

The idler beam energy was also measured as a function of pump energy to determine the threshold energy at which BW-TPO occurs, as well as the conversion efficiency of the process. In addition, injection seeding was also performed using a CW laser with the same wavelength as BW1, resulting in a lower oscillation threshold energy (26%) and improved conversion efficiency (1.3x), compared to the unseeded case. The possible applications for this study are in telecommunications and nondestructive imaging.

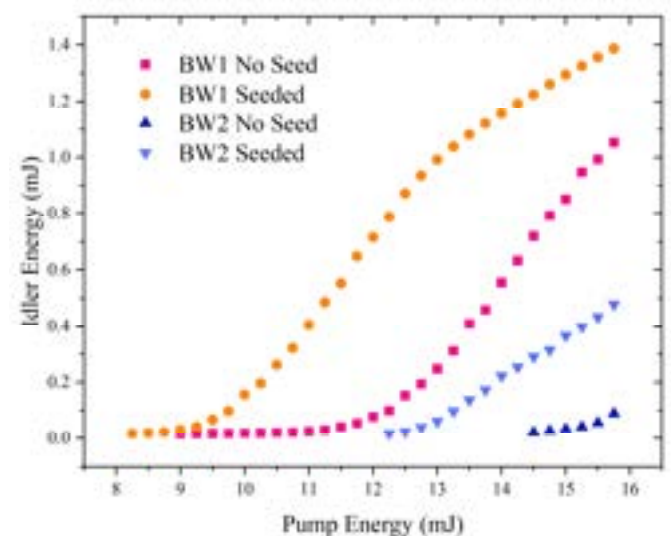
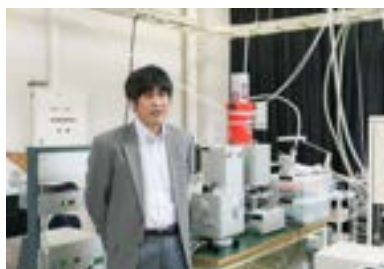


図2 注入光の有無によるアイドラー光の出力エネルギーの励起光エネルギー依存性。光注入よりBW-TPOの発振閾値エネルギーが減少し、最大変換効率が増加することがわかる。
Fig.2 Idler energy dependence on pump energy with and without injection seeding showing reduced BW-TPO threshold energy and increased pump energy conversion with seeding.

テラヘルツイメージング研究チーム



チームリーダー / Team Leader

大谷 知行 博士(理学)

Chiko Otani, D. Sci.



FY2022 Core Members

(上級研究員) 保科 宏道

(技師) 佐々木 芳彰

(特別研究員) 亀井 雄斗

(基礎科学特別研究員) Miguel Hernandez Javier

(客員主管研究員) 川瀬 晃道、野口 卓、尾崎 幸洋、彌田 智一

(大学院生リサーチ・アソシエイト)

上野 佑也、Chen Mingxi

(アシスタント) 山田 真美

(パートタイマー) 渡辺 博、倉門 雅彦、

喜多村 卓也、村山 亮介、小林 達哉、

小林 裕美子、阿部 りら、南川 理利

(Senior Research Scientist)

Hiromichi Hoshina

(Technical Scientist) Yoshiaki Sasaki

(Postdoctoral Researcher) Yuto Kamei

(Special Postdoctoral Researcher)

Javier Miguel Hernandez

(Senior Visiting Scientist)

Kodo Kawase, Takashi Noguchi,

Yukihiro Ozaki, Tomokazu Iyoda

(Junior Research Associate)

Yuya Ueno, Mingxi Chen

(Assistant) Mami Yamada

(Part-time Worker) Hiroshi Watanabe,

Masahiko Kurakado, Takuya Kitamura,

Ryosuke Murayama, Tatsuya Kobayashi,

Yumiko Kobayashi, Rira Abe, Riri

Minamikawa

研究テーマ

- ✓ 細胞内タンパク質のテラヘルツ光による構造・機能の制御
- ✓ 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

- ✓ Terahertz control of molecular structures and functions of biological protein
- ✓ Development of high-sensitivity superconducting detectors for CMB polarization observations
- ✓ Applications of terahertz sensing and imaging

研究成果 / Research Output

超高Q値の薄膜超伝導マイクロ波共振器の研究開発

- 高感度な超伝導マイクロ波力学インダクタンス検出器 (MKIDs) を実現する非常に高い共振Q値のマイクロ波薄膜共振器を開発
- 共振器の内部Q値として従来の約100-1,000倍、世界最高値となる 10^8 を約0.1 Kで実現
- 熱励起準粒子の多い4.2 Kという環境下でも従来の約10倍となる 10^4 という値を実現



Development of thin-film superconducting microwave resonators with ultra-high Q factors

- Development of microwave thin-film resonators with ultra-high quality factors for Microwave Dynamic Inductance Detectors (MKIDs).
- We have achieved internal Q factor of 10^8 around 0.1 K, about 100-1,000 times higher than our previous value.
- We have also achieved the factor of 10^4 at 4.2 K, about 10 times higher than our previous value.

Reference: S. Mima, T. Taino, R. Murayama, T. Noguchi, C. Otani, "Development of superconducting resonator with ultra-high quality factor", in preparation (2023).
Patent application: S. Mima, T. Taino, R. Murayama, T. Noguchi, C. Otani, "Superconducting passive devices, methods of manufacturing superconducting passive devices, and devices containing such passive devices," Patent Number: 2022-129567, Aug. 16, 2022.

Terahertz Sensing and Imaging Research Team

マイクロ波力学インダクタンス検出器(MKIDs)は、高い共振Q値を持つ超伝導共振器を利用した検出器で、宇宙観測や素粒子実験への応用が期待されます。また、同様の超伝導共振器は、超伝導量子コンピュータの超伝導量子ビットにも使用されています。MKIDs検出器の感度は内部共振Q値(Q)に反比例し、値が高いほど感度が良くなりますが、このような薄膜型の超伝導共振器の Q は通常 10^{5-6} 程度が限度でした。

この限界の克服のため、本研究では上部電極と下部電極の構造を別々の基板にマイクロストリップ線路で作製する新たな構造を提案しました(図1)。ニオブ薄膜を用いてこのデバイスを作製し、専用のチップキャリアに搭載して(図2)希釈冷凍機を用いて約0.3 Kで Q 値を評価した結果、約 10^8 という非常に大きな値が得られました(図3)。この Q 値は、従来構造に比べ約1,000倍高く、超伝導薄膜共振器としては世界最高の Q 値です。この結果は、誘電体損失を最小化することで Q 値を飛躍的に向上したことを意味しています。また、液体ヘリウム(4.2 K)に浸した状態でも $Q \sim 10^4$ という高い値を示しました。この値は従来より10倍高いものです。またこの結果は、超伝導量子コンピュータで量子状態の維持時間を飛躍的に長くできる可能性が開けたことを意味します。

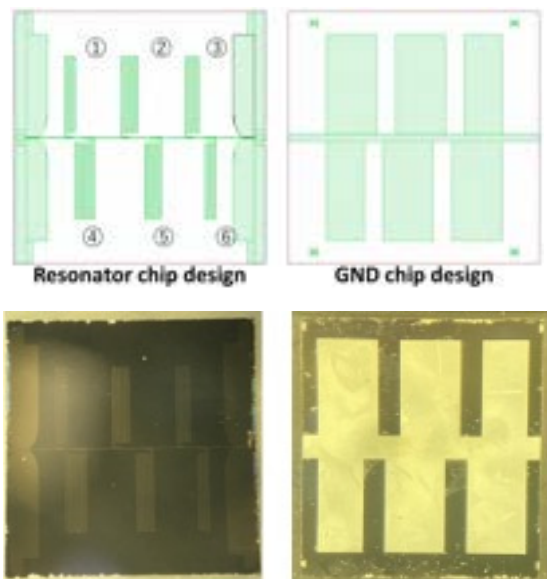


図1 マイクロ波共振器6個を含む共振器チップとGNDチップ
Fig.1 Resonator chip containing 6 resonators and GND chip



図2 希釈冷凍機内のチップマウントの様子
Fig.2 Schematic of chip mounting in a dilution refrigerator

The Microwave Kinetic Inductance Detector (MKIDs) is a detector utilizing a superconducting resonator with a high resonant quality factor (so-called, Q factor), and is expected to be used for space observations and particle experiments. In addition, such resonators are also used in quantum bits in superconducting quantum computers. The sensitivity of MKIDs detectors is inversely proportional to the internal resonance Q factor (Q), and the higher the value, the better the sensitivity. However, in such thin-film superconducting resonators Q remained typically around 10^{5-6} .

To overcome the limitation, we have proposed a new structure where the top and bottom electrode structures were fabricated as microstrip lines on separate substrates (Fig.1). We have fabricated the actual device by using Nb film and evaluated Q at 0.26 K mounted on a chip carrier in a dilution refrigerator (Fig.2), and then obtained $Q \sim 10^8$ (Fig.3). Such high values are about 1,000 times than previous and are the world's highest Q for thin-film superconducting resonators. In addition, it has also shown $Q \sim 10^4$ even at 4.2 K. These values are 10 times than previous. These results have also opened the possibility for a superconducting quantum computer to dramatically increase the time to maintain a quantum state.

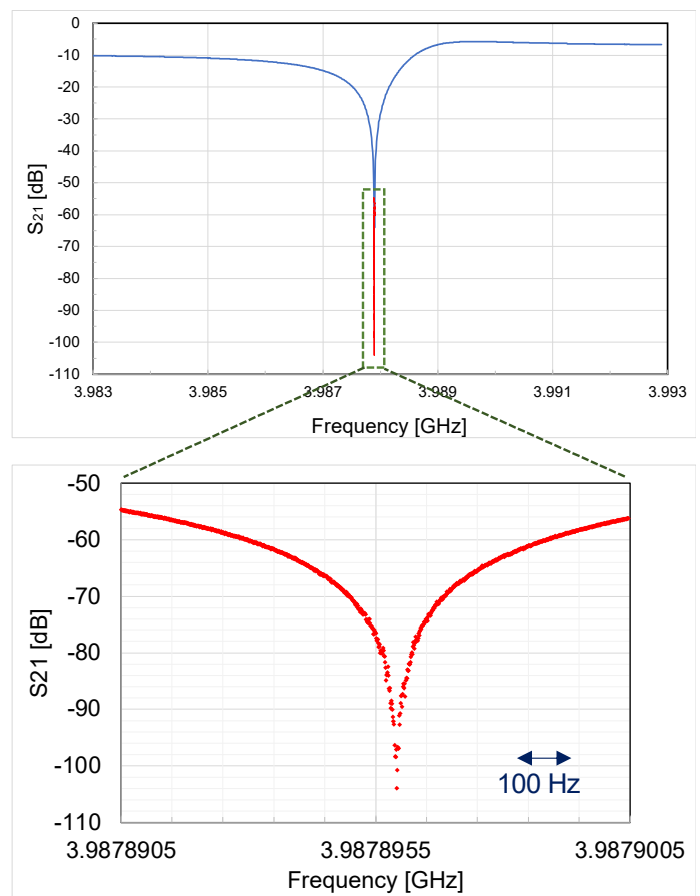
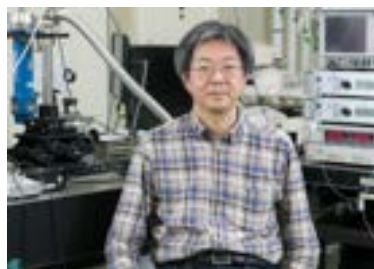


図3 希釈冷凍機で測定した共振構造 (全体と拡大図)

Fig.3 Resonant structure measured in a dilution refrigerator, Overall (top) and magnified (bottom) features.

テラヘルツ量子素子研究チーム



チームリーダー / Team Leader

平山 秀樹 博士(工学)

Hideki Hirayama, D. Eng.



FY2022 Core Members

(研究員)

王利、林宗澤、定昌史(兼務)

(研修生)

陳明曦、三好哲平

(アシスタント)

佐藤 知子

(Research Scientist)

Li Wang, Tsung-Tse Lin,
Masafumi Jo (c)

(Trainee)

Mingxi Chen, Teppei Miyoshi

(Assistant)

Tomoko Sato

研究テーマ

- ✓ 室温動作THz-QCLの実現へ向けた量子構造設計
- ✓ ワットクラス高出力THz-QCLの技術開拓
- ✓ 窒化物、及び、酸化物半導体を用いた未開拓波長QCLの開発
- ✓ 面発光THz-QCLの開発
- ✓ 非破壊検査のためのモバイルTHz-QCL光源の開発

Research Subjects

- ✓ Development toward room temperature operation of THz-QCLs
- ✓ Development of watt-class high-power THz-QCLs
- ✓ Development of unexplored-frequency QCL using nitride and oxide semiconductors
- ✓ Development of surface emitting THz-QCL
- ✓ Development of mobile THz-QCL light source for non-destructive inspection

研究成果 / Research Output

テラヘルツ量子カスケードレーザー(THz-QCL)の高出力化と動作の高温化



- 高濃度ドーピングによる1.4ワット高出力THz-QCLの実現
- アイソレート3準位系機構を用いたTHz-QCLの230 K 温度動作の実現
- ZnO/ZnMgO系を用いた2.5-11THz帯室温光利得を解析により実証

Development of high power and high temperature operation terahertz quantum cascade laser (THz-QCL)

- Realization of 1.4 watt power THz-QCL by using highly doping layers
- THz-QCL operation at 230K by using "Isolated 3-level scheme" QC structure
- Demonstration of room temperature optical gain of ZnO/ZnMgO QCL at 2.5-11 THz by NEGF analysis

Terahertz Quantum Device Research Team

本研究では、小型、高効率・高出力、狭線幅、連続発振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。新規量子構造の導入やデバイス構造の開拓を行う事により、高性能なTHz-QCLの実現を目指しています。また、未踏周波数の5-12THz発振を実現するために、窒化物や酸化物半導体を用いたQCLの開発を行っています。

今年度は、高濃度ドーピング層を導入することでTHz-QCLの高出力化を図り、パルス動作で1.4Wの高出力動作を実現しました。このサンプルではエピ面を直接ヒートシンクに接合することで高出力化を実現しました。また、厳密な量子構造の設計に基づいて、高温動作が可能なTHz-QCLを設計しました。“アイソレート3準位機構”という量子カスケード構造を取り入れたGaAs系THz-QCLを作製し、最高動作温度230K (-43℃)を実現し、室温動作まであと1歩まで迫りました。また、THz-QCLにとって未開拓周波数領域である5-12THzを実現するために、GaN/AlGaN系、及びZnO/ZnMgO材料を用いたTHz-QCLの動作解析を行い、未開拓周波数を含む2.5~13THzの可能性と室温以上の高温動作をグリーン関数を用いた厳密な解析を行う事により予測しました。

Terahertz quantum-cascade laser (THz-QCL) is promising as an advanced THz laser source with small size, high power and narrow emission linewidth, and are expected for wide variety of applications. We are researching on higher operation temperature and output power THz-QCL by introducing novel scheme structures.

In this fiscal year, we introduced a highly impurity doped layers to increase the output power of the THz-QCL, and obtained output power of 1.4 W under pulse operation. The output power was also enhanced by bonding the epitaxial surface directly to the heat sink. We also designed a THz-QCL capable of over 300K temperature operation based on new concept design. We fabricated a GaAs-based THz-QCL incorporating a QC structure called an “isolated three-level scheme”, and achieved a maximum operating temperature of 230K. This is one step closer to room-temperature operation. Also, we performed rigorous simulation analysis for GaN and ZnO-based THz-QCLs, and predicted 2.5 to 13 THz operation of QCL including unexplored frequencies operating at over 300K.

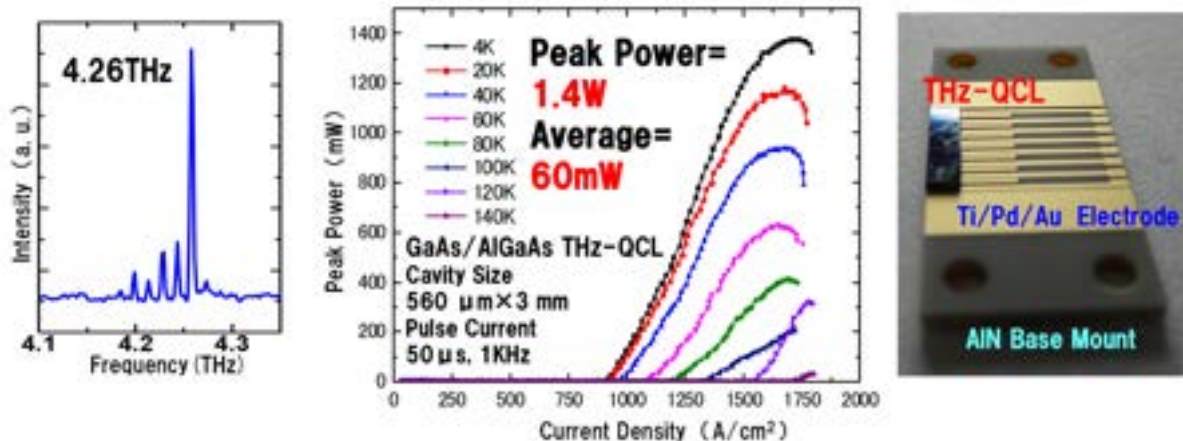


図1 高濃度ドーピングを用いて高出力化した1.4W (ワット) 出力GaAs/AlGaAs THz-QCL (ヒートシンクに直接ボンディングして高出力化)
Fig.1 1.4W power GaAs/AlGaAs THz-QCL developed by highly impurity doping (enhanced the out put power by direct bonding to heat sink)

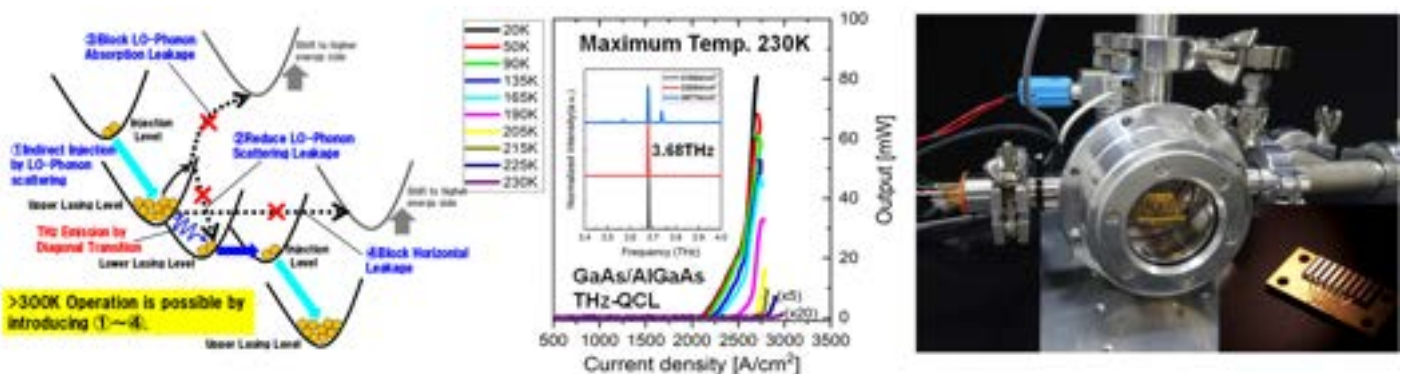
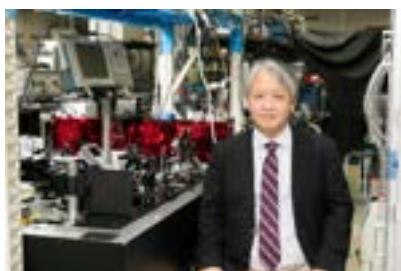


図2 “アイソレート3準位機構”によるTHz-QCLの230K温度動作、及び、手のひらサイズTHz-QCL光源 (80Kで動作、ピーク出力300mW)
Fig.2 Realization of 230K operation of THz-QCL with “isolated 3-level scheme” structure, and, palm-size THz-QCL source operating at 80K

光量子制御技術開発チーム



チームリーダー / Team Leader

和田 智之 Ph.D.

Satoshi Wada, Ph.D.



FY2022 Core Members

(前任研究員) 加瀬 究
(上級研究員) 齋藤 徳人
(専任研究員) 佐々 高史, 守屋 繁春,
松山 知樹 (兼務)
(研究員) 小川 貴代, 湯本 正樹, 藤井 克司,
丸山 真幸, 村上 武晴, 宮田 憲太郎,
小田切 正人
(特別研究員) 伊敷 喜斗
(テクニカルスタッフ) 坂下 亨男, 種石 慶,
川田 靖, 岡下 敏宏, 棚橋 晃宏, 森下 圭,
宮島 早紀, 津野 克彦 (兼務), 大野 陽子,
松本 健
(アシスタント) 渡邊 博子, 野々村 真奈美,
鈴木 利佳子
(パートタイマー) 国本 幸紀, 松井 大知,
小池 一輝, 奈良 美幸, 北 克則, 高地 勇,
植松 洋子, 碓井 民子, 中川 淳子
(Senior Research Scientist)
Kiwamu Kase, Norihiro Saito,
Takafumi Sassa, Shigeharu Moriaya,
Tomoki Matsuyama (c)
(Research Scientist)
Takayo Ogawa, Masaki Yumoto,
Katsushi Fujii, Masayuki Murayama,
Takeharu Murakami, Kentaro Miyata,
Masato Otagiri
(Postdoctoral Researcher)
Yoshito Ishiki
(Technical Staff)
Michio Sakashita, Kei Taneishi,
Yasushi Kawata, Toshihiro Okashita,
Akihiro Tanabashi, Kei Morishita,
Saki Miyajima, Katsuhiko Tsuno (c),
Yoko Ono, Takeshi Matsumoto
(Assistant)
Hiroko Watanabe, Manami Nonomura,
Rikako Suzuki
(Part-time Worker)
Yukinori Kunimoto, Daichi Matsui,
Kazuki Koike, Miyuki Nara,
Katsunori Kita, Isamu Takachi,
Yoko Uematsu Tamiko Usui,
Junko Nakagawa

研究テーマ

- ✓ リモートセンシング、微量ガス計測応用の中赤外パルスレーザー開発
- ✓ 農業における光技術を駆使した土壌環境制御・計測システム開発
- ✓ レーザーアブレーションによるレーザー照射技術・宇宙用レーザー開発
- ✓ 水素エネルギー製造・貯蔵・利用に関するエネルギー供給システム開発
- ✓ インフラ診断における人の判断の可視化技術
- ✓ 紫外線を用いたCOVID-19の不活性化開発
- ✓ レーザーおよび光音響の医療・農業・工業計測への応用

Research Subjects

- ✓ Mid-infrared Electronic Wavelength Tuning via Intracavity Difference-frequency Mixing in Cr:ZnSe Laser
- ✓ Development of Next-Generation Agri-photonics Research
- ✓ Development of laser irradiation technology and a laser for space
- ✓ Development of renewable energy supply systems for hydrogen energy production, storage, and utilization
- ✓ Visualizing human judgment in diagnostics of infrastructure
- ✓ Application to biomedical, agricultural, and industrial measurement using lasers and photoacoustic wave

研究成果 / Research Output

Cr:ZnSeレーザーの共振器内差周波発生を用いた中赤外電子波長掃引の実現

- 電子波長制御Cr:ZnSeレーザーの共振器内差周波発生にZnGeP₂を利用した広帯域中赤外光発生
- 非臨界位相整合条件の利用により、8-11 μm帯の電子波長掃引と100 μJを超えるパルスエネルギーを実現

Development of Mid-infrared Electronic Wavelength Tuning via Intracavity Difference-frequency Mixing in Cr:ZnSe Laser

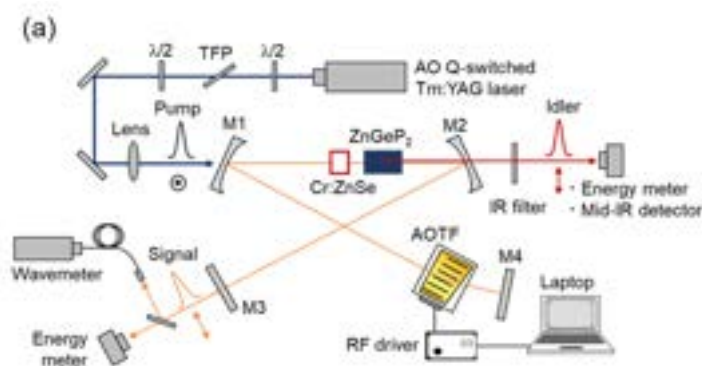
- Mid-infrared generation by configuring intracavity difference-frequency generation (DFG) using ZnGeP₂ in an electronically tuned Cr:ZnSe laser
- The DFG tunability in the 8-11 μm was achieved with maximum pulse energy exceeding 100 μJ under the spectral noncritical phase-matching condition

中赤外領域の中でも分子の指紋領域かつ大気窓としても知られる8-13 μm 帯の波長可変固体パルスレーザーは、様々な気体分子のリモートセンシングや微量分析において重要な光源であり、現在もその発展が望まれている。そこで当チームでは、共振器内差周波発生 (DFG) を電子波長制御Cr:ZnSe (ET-Cr:ZnSe) レーザーに利用することで、8-11 μm の電子波長掃引領域と100 μJ を超えるパルスエネルギーを併せ持つ光源の開発に成功しました。共振器内DFGのポンプ光とシグナル光には、それぞれET-Cr:ZnSeレーザーの共振器内ビームと、その励起光源であるTm:YAGレーザーを利用します。共振器内DFGのための非線形光学材料にはZnGeP₂ (ZGP) を利用しました。ZGPのスペクトル非臨界位相整合とシグナル光の電子波長制御を組み合わせることで、ZGPの位相整合角を回転制御することなく共振器内DFGにより広帯域な中赤外波長掃引を実現しました。中赤外波長掃引領域は8.3-9.2 μm であり、最大パルスエネルギーは100 μJ を超えました。さらに、僅かなZGPの位相整合角の調整($\Delta\theta < 0.5^\circ$)と組み合わせることで、波長掃引領域を8.3-11 μm へ拡張することにも成功しました。

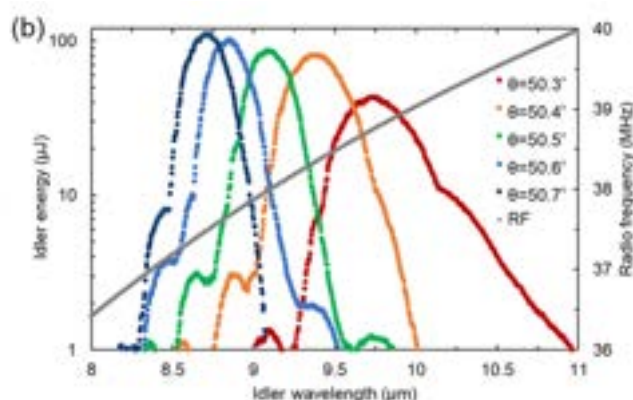
一般的なDFGプロセスには、2つの励起レーザーが必要となりますが、この共振器内DFGでは、2つの励起レーザーを必要としないためDFGプロセスを簡略化することができます。またET-Cr:ZnSeレーザーを用いることで電子波長掃引法を活用することができ、中赤外領域における高い波長制御性も実現できます。さらに非線形光学材料を変更することで、20 μm まで出力も可能であり、今後は8-16 μm 領域で特徴的な赤外吸収スペクトルを示す芳香族炭化水素 (トルエン、キシレン等)、冷媒 (HFC、CFC等) といった高分子量ガス成分の分析に展開されることが期待されます。

In this research, we developed the technology for intracavity difference-frequency generation (DFG) in an electronically tuned Cr:ZnSe (ET-Cr:ZnSe) laser for the realization of rapid wavelength tuning in the 8–13 μm range with a maximum pulse energy exceeding 100 μJ . To eliminate the need for two input laser sources in the general DFG process, the ET-Cr:ZnSe laser field pumped by a Tm:YAG laser is used as the signal beam and is subsequently frequency-mixed with the residual pump source in a ZnGeP₂ (ZGP) to generate mid-IR spectra. Here, we apply the electronic wavelength tuning of the signal beam under the spectral noncritical phase-matching (NCPM) condition realized in ZGP to enable broadband mid-IR spectral tuning by combining the electronic tuning with a small angle adjustment of the ZGP. Consequently, we demonstrated the first intracavity DFG ET-Cr:ZnSe laser operating in the mid-IR region. The electronic tuning in the 8.3–9.2 μm spectral range was obtained under the spectral NCPM condition of ZGP ($\theta=50.3^\circ$). The corresponding pulse energy reached 110 μJ at maximum. The broader tuning range of 8.3–11 μm was also recorded from the same compact setup by combining the electronic tuning with a slight angle adjustment ($\Delta\theta < 0.5^\circ$) of the nonlinear material.

We believe that the proposed method for generating the mid-IR spectra not only simplifies the DFG process by eliminating the need for two input laser sources but also enables rapid and broadband wavelength scanning at high energy, which is highly suitable for trace gas detections with CRDS and PAS targeting high-molecular-weight components such as aromatic hydrocarbons (i.e., toluene and xylene), and refrigerants (i.e., HFC and CFC) that exhibit broadband mid-IR absorption spectra in the 8–16 μm range.



(a) ET-Cr:ZnSeレーザーによる共振器内DFGの概略図
(b) 中赤外光 (アイドラー光) の波長掃引領域、位相整合角は5つの異なる角度を選択、グレーのプロットは、電子波長制御の際に、AOTFに供給されるRFの周波数



(a) Schematic of an electronically-tuned Cr:ZnSe laser with an intracavity ZGP-DFG.
(b) Electronic tuning range of idler at five different phase-matching angles. Gray plots are RFs fed into the AOTF.

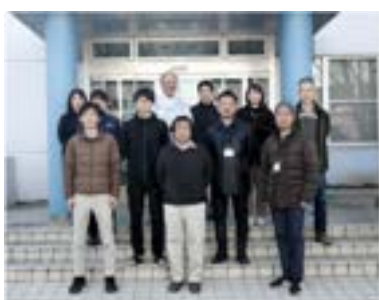
先端光学素子開発チーム



チームリーダー / Team Leader

山形 豊 博士(工学)

Yutaka Yamagata, D. Eng.



FY2022 Core Members

(前任研究員) 城田 幸一郎

(専任研究員) 田島 右副, 滝澤慶之、青山 哲也

(上級研究員) 細島 拓也

(研究員) 青木 弘良、海老塚 昇

(基礎科学特別研究員) 江川 悟

(アシスタント) 佐藤 祐子

(Senior Research Scientist)

Koichiro Shirota, Yusuke Tajima,

Yoshiyuki Takizawa, Takuya

Hosobata

(Research Scientist) Hiroyoshi Aoki,

Noboru Ebizuka

(Special Postdoctoral Researcher)

Satoru Egawa

(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

超精密光学素子加工技術で 先端科学研究機器開発に貢献

- 金属基材を用いた中性子集光ミラーの更なる高精度化に関する研究が進行中
- J-PARC BL-16のための多入射集光光学系を加工し設置
- アガロースゲルマイクロカプセルによる1菌体ゲノム解析手法を開発

Contributing most advanced scientific apparatus by using ultrahigh precision optics manufacturing technology

- Research and developments toward precision improvement of metallic-substrate neutron focusing mirror are in progress
- Multiple incident angle neutron focusing mirror system for J-PARC BL-16 has been successfully manufactured
- Development of agarose gel micro capsule technology for single-cell genome analysis

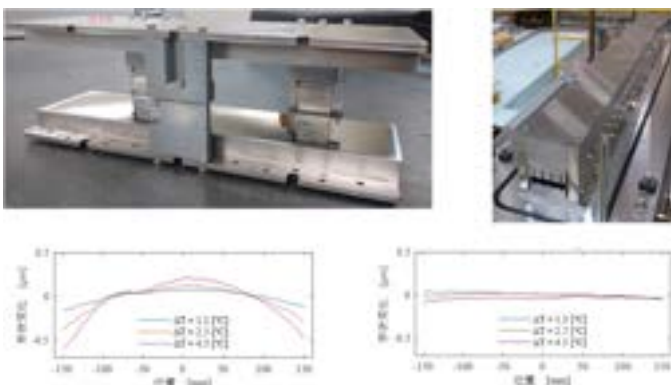
先端光学素子開発チームでは、光学素子等の超精密加工、光学設計、超精密計測技術に関する研究開発を推進しています。

金属基材を用いた中性子集光ミラー開発において、J-PARC BL-16 (SOFIA) における多入射角反射率計に対応可能な高精度なミラーの試作に成功しました。このミラーは特殊な低熱膨張アルミニウム合金を用いて製作されており、温度変化による変形による焦点位置の移動がほとんど無いという優れた性能を持つことが確認されています。また、集光特性の向上につながるスロープエラーの低減についても研究開発が進捗しています。また、理研BRC,東京工業大学との共同研究により、実験室で一般的に使われる安価な器材をもちいて製作可能なアガロースから構成される数十 μm 程度のカプセルに菌体を包埋し、この中でゲノム増幅を行うことで、増幅バイアスおよびコンタミネーションの少ない1細胞ゲノム解析を行う技術の開発に成功しました。

At Ultrahigh Precision Optics Technology Team, we conduct ultrahigh precision machining, metrology and design of optical components and systems.

A new metallic-substrate neutron focusing mirror has been manufactured for J-PARC BL-16(SOFIA) multi-incident-angle reflectometry. This mirror is made of special aluminum alloy having low CTE and its focal point variation due to temperature change is very small. Also precision improvement of those mirrors to reduce slope errors are in progress.

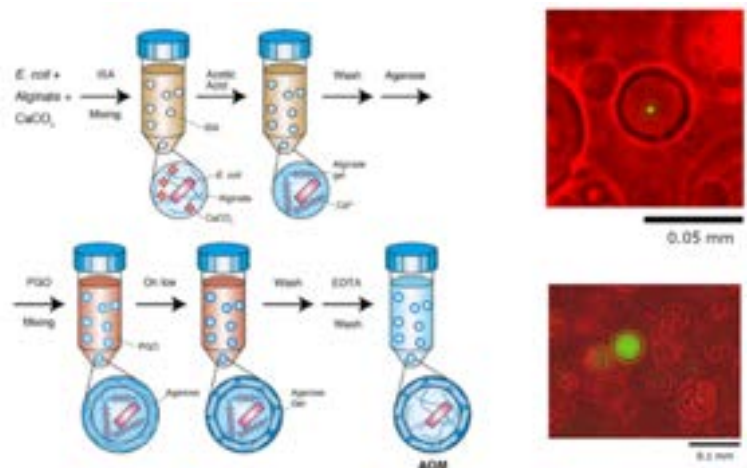
In collaboration with RIKEN-BRC and Tokyo Institute of Technology, a new technology to analyze single-cell genomics has been developed using several tens of micrometer agarose hydrogel capsule. This technology reduces the contamination and genome amplification bias by conducting amplification in very small volume.



J-PARC BL-16 多入射反射率計のためのガイド管 (右上) および低熱膨張アルミニウム合金を用いた中性子集光ミラー (左上) および温度変化による通常のアルミニウム合金 (左下) および低熱膨張アルミニウム合金 (右下) の変形

Neutron focusing mirror (Left Top) and guide tube (Right Top) for J-PARC BL-16(SOFIA) Multi-incident-angle system and thermal deformation of ordinary aluminum alloy mirror (Left Bottom) and Low CTE aluminum (Right Bottom)

アガロースゲルマイクロカプセルの製造方法およびこれを用いた1菌体ゲノム解析
 Manufacturing of agarose gel microcapsule and its application to single-cell genome analysis



中性子ビーム技術開発チーム



チームリーダー / Team Leader

大竹 淑恵 理学博士

Yoshie Otake, D. Sci.



FY2022 Core Members

(副チームリーダー) 竹谷 篤
(上級研究員) 高村 正人
(専任研究員) 小林 知洋
(研究員) 水田 真紀、高梨 宇宙、若林 泰生、藤田 訓裕、岩本 ちひろ
(特別研究員) 池田 翔太, Yan Mingfei
(テクニカルスタッフ) 後藤 誠、
(アシスタント) 岸野 みゆき
(RAP特別顧問) 池田 裕二郎
(パートタイマー) 橋口孝夫、大橋勝美、
山本 哲
(Deputy Team Leader)
Atsushi Taketani
(Senior Research Scientist)
Masato Takamura,
Tomohiro Kobayashi
(Research Scientist) Maki Mizuta,
Takaoki Takanashi,
Yasuo Wakabayashi, Kunihiro Fujita,
Chihiro Iwamoto
(Postdoctoral Researcher)
Shota Ikeda, Mingfei Yan
(Technical Staff) Makoto Goto,
(Assistant) Miyuki Kishino
(RAP Senior Advisor) Yujiro Ikeda
(Part-timer) Takao Hashiguchi,
Katsumi Ohashi, Satoshi Yamamoto

研究テーマ

- ✓ いつでもどこでも利用できる安全な理研小型中性子源システム4種のRANS高度化開発
- ✓ 橋梁塩害事故を防ぐ！超小型中性子塩分計 RANS- μ 実用化開発
- ✓ ものづくり現場導入可能な普及型小型中性子源システムの実現
- ✓ 中性子線による非破壊観察、可視化・非破壊定量評価
- ✓ 月・火星の水探査、元素分析を目指した中性子システム開発

Research Subjects

- ✓ Research and development of compact neutron system for practical use at anytime, anywhere
- ✓ Ultra compact neutron salt-meter, RANS- μ , against salt-damage
- ✓ Realization of the on-site use compact neutron system
- ✓ Non-destructive test technology with quantitative analysis
- ✓ R&D for the water exploration and elemental analysis on the Moon and Mars

研究成果 / Research Output

超小型中性子塩分計RANS- μ 実用化！
実橋梁での計測成功—橋梁の落橋事故を未然に防ぐ、塩害の予防保全へむけて—

- 橋梁点検車のバケットに搭載可能
- 超小型の中性子塩分計RANS- μ
- ラジオアイソトープ ^{252}Cf 中性子線源を利用
- 遮蔽材に中性子反射材の遮蔽作用により小型化軽量化を実現
- 橋梁現場で非破壊計測実施破壊検査結果と一致！

Ultra-compact Neutron Salt meter: RANS- μ on-site!
Measurement on an actual bridge - Toward preventive maintenance of concrete salt damage

- Ultra-compact RANS- μ neutron salt meter can be mounted on the bucket of a bridge inspection vehicle
- Utilizes radioisotope ^{252}Cf neutron source
- Shielding action of neutron reflective material on shielding material to reduce size and weight
- Non-destructive measurement at a bridge site, consistent with destructive testing results!



Neutron Beam Technology Team

中性子塩分計 RANS- μ 開発：実橋梁での塩分計測成功。

中性子塩分計RANS- μ は、橋梁点検車のバケット (Bucket) に搭載可能な、重さ約70kgという超小型を実現しました (Fig1参照)。非破壊で橋梁内部の塩分濃度分布を計測することができます。2022年12月には岩手県の橋梁で雪の降る中、塩分の非破壊計測に成功しました(Fig2.参照)。2023年度には、国交省の計測技術支援性能カタログに掲載され、いよいよ世界初の塩分濃度の非破壊計測が全国の橋梁や高速道路の現場で利用可能となります。

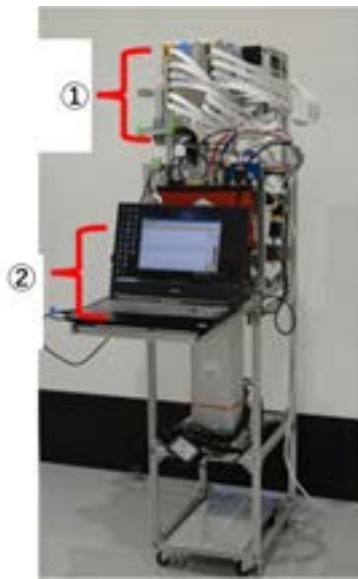


図1 RANS- μ 中性子塩分計 ①中性子源と高S/N γ 線検出システム ②結果表示部と制御システム
Fig.1 RANS- μ Neutron Salt Meter
①Cf neutron source, High S/N γ -ray detection system ② Display and control system

Development of Neutron Salt meter RANS- μ :

Successful measurement of salt content on an actual bridge. RANS- μ neutron salt meter is ultra-compact, weighing only 70 kg, and can be mounted on the bucket of a bridge inspection vehicle (see Fig. 1). In December 2022, it succeeded in the nondestructive measurement of salt density on a bridge in Iwate Prefecture under snowy conditions (as shown in Fig.2). In FY2023, this will be included in the Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism's Catalogue of Measurement Technology Support Performance. From now on, this world's first non-destructive measurement of the neutron salt meter RANS- μ will be available at the bridge and highway sites nationwide.



図2 実橋梁でのRANS- μ 計測の様子。左上：橋梁上から見た橋梁点検車 右：橋梁点検車バケット様子
Fig.2: RANS- μ measurement on a real bridge. Top left: Bridge inspection vehicle seen from the bridge top Right: Salt-density measurement by RANS- μ installed in the bucket

RANS:高度化: 応力計測可能に

非結合型コリメータシステムと遅延中性子成分を逆畳み込みする新たな解析法により、強度を損なうことなく中性子回折の高分解能化を可能としました(図3参照)。これにより130MPaの応力計測が可能となります。ニーズの高い現場での非破壊応力計測に応える技術です。

RANS: Up-grade Development: Stress Measurement

A non-coupled collimator system and a new analysis method for the de-convolution of delayed neutron components have made it possible to increase the resolution of neutron diffraction without loss of intensity (see Figure 3). This has made stress measurements of 130 MPa possible.

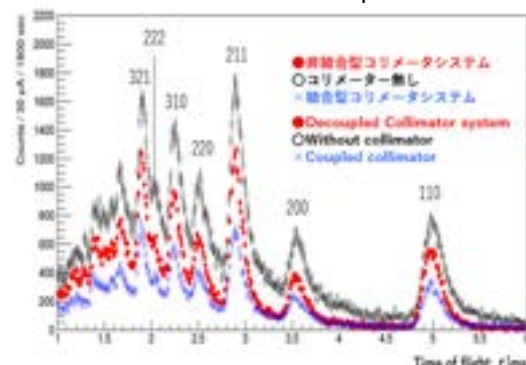
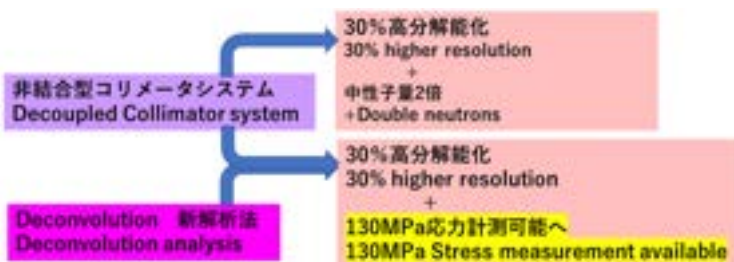


図3 RANSでの回折パターン比較 コリメータ 非結合型、無し、結合型
Fig.3 Diffraction pattern with, without collimator, and with decoupled collimator

技術基盤支援チーム



チームリーダー / Team Leader

山形 豊 博士(工学)

Yutaka Yamagata, D. Eng.



FY2022 Core Members

(副チームリーダー) 山澤 建二
(前任研究員) 池田 滋、滝澤慶之
(専門技術員) 藤本 武
(テクニカルスタッフ) 竹田 真宏、
綿貫正大
(アシスタント) 伊藤 純子

(Deputy Team Leader)

Kenji Yamazawa

(Senior Research Scientist)

Shigeru Ikeda, Yoshiyuki Takizawa

(Expert Technician) Takeshi Fujimoto

(Technical Staff) Masahiro Takeda,

Masaharu Watanuki

(Assistant) Junko Ito

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

研究成果 / Research Output

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
- 2022年度は、理研全体から591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

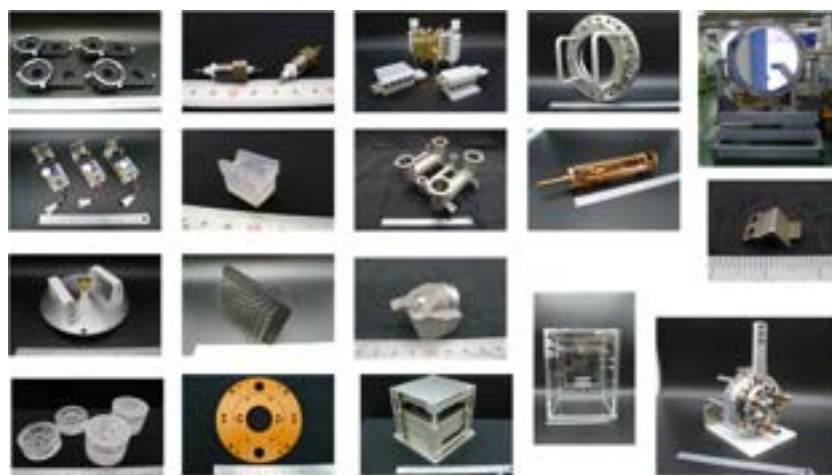
Experimental apparatus manufacturing by the requests from RIKEN researchers and advanced technological developments such as 3D printer and ultraprecision machining

- Experimental apparatus design, parts machining and assembly, electronics design and manufacturing and glassware machining was conducted upon request from RIKEN researchers
- 591 manufacturing request was processed in FY2022 from all RIKEN sectors
- Advanced technological developments such as 3D printer and ultraprecision machining was conducted

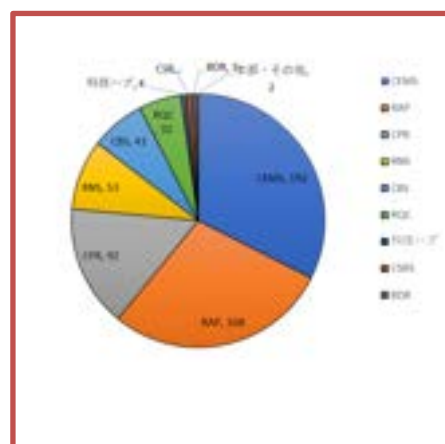
Advanced Manufacturing Support Team

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。2022年度は、591件の研究ワーク依頼がありました。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。超精密加工のように研究者と密接に協力したサンプル加工も実施しています。

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. There have been manufacturing request accepted 591 for FY2022. User fee was updated from FY2015 and several external fund can be accepted. Various 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. Also, a close collaboration with RIKEN researchers has been conducted such as ultrahigh precision machining.



研究ワーク製作品の例
Examples of Manufactured Apparatuses



工作件数
591
Total Manufacturing Requests

研究セクターごとの研究ワーク依頼の状況
Numbers of Manufacturing Requests for each
research sectors of RIKEN

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. Xu, L., Xue, B., Ishii, N., Itatani, J., Midorikawa, K., and Takahashi, E.J., "100-mJ class, sub-two-cycle, carrier-envelope phase-stable dual-chirped optical parametric amplification", *Opt Lett* 47, 3371-3374 (2022).
2. Matsubara, T., Nabekawa, Y., Ishikawa, K. L., Yamanouchi, K., and Midorikawa, K., "Attosecond optical and Ramsey-type interferometry by post-generation splitting of harmonic pulse", *Ultrafast Science 2022*, article ID 9858739 (2022).
3. Ishikawa, T., Isobe, K., Inazawa, K., Michikawa, T., Namiki, K., Miyawaki A., Kannari, F., and Midorikawa, K., "Fringe- and speckle-free holographic patterned illumination using time-multiplexed temporal focusing", *Appl. Phys. Express* 15, 042005 (2022).
4. Ito, K. N., Isobe, K., and Osakada, F., "Fast z-focus controlling and multiplexing strategies for multiplane two-photon imaging of neural dynamics", *Neurosci. Res.* 179, 15 (2022).
5. Tamura, Y., Yamazaki, K., Ueda, K., and Hatada, K., "A multiple scattering theoretical approach to time delay in high energy core-level photoemission of heteronuclear diatomic molecules", *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 55, 10LT01 (2022).
6. Kastirke, G., Ota, F., Rezvan, D. V., Schöffler, M. S., Weller, M., Rist, J., Boll, R., Anders, N., Baumann, T. M., Eckart, S., Erk, B., De Fanis, A., Fehre, K., Gatton, A., Grundmann, S., Grychtol, P., Hartung, A., Hofmann, M., Ilchen, M., Janke, C., Kircher, M., Kunitski, M., Li, X., Mazza, T., Melzer, N., Montano, J., Music, V., Nalin, G., Ovcharenko, Y., Pier, A., Rennhack, N., Rivas, D. E., Dörner, R., Rolles, D., Rudenko, A., Schmidt, P., Siebert, J., Strenger, N., Trabert, D., Vela-Perez, I., Wagner, R., Weber, T., Williams, J. B., Ziolkowski, P., Schmidt, L. Ph. H., Czasch, A., Tamura, Y., Hara, N., Yamazaki, K., Hatada, K., Trinter, F., Meyer, M., Ueda, K., Demekhin, Ph. V., and Jahnke, T., "Investigating charge-up and fragmentation dynamics of oxygen molecules after interaction with strong X-ray free-electron laser pulses", *Phys. Chem. Chem. Phys.* 24, 27121-27127 (2022).

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

1. 緑川克美, "超短パルス", 光と物質の量子相互作用ハンドブック, (株) エヌ・ティー・エス (2023).
2. 山崎馨, "芳香族分子におけるX線誘起無輻射失活過程の動力学", 分子シミュレーション学会誌「アンサンブル」, 25, 1, 28-33 (2023).
3. 沖野友哉, 「強光子場分子科学」(山内 薫 編著, 分担執筆), 第6章「原子のイオン化と再衝突およびアト秒パルス発生」, 262-346, 朝倉書店 (2022).
4. 道川貴章, 宮脇敦史, "マウス小脳皮質の大規模イメージングで明らかとなった複雑スパイクによる感覚情報表現の仕組み", *Clinical Neuroscience Vol. 40 No. 6* (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Midorikawa, K., "The third-generation table-top attosecond light sources", *Ultrafast Optics XIII*, Bariloche, Argentina, March (2023).
2. Okino, T., "Development of multifragment 3D ion momentum imaging methods for investigating ultrafast dynamics of polyatomic molecules", 19th International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS2022), Honolulu, USA, December (2022).
3. Okino, T., "Multiscale Ion Momentum Imaging: Investigating Ultrafast Dynamics of Polyatomic Molecules", 12th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS12), NTU, Singapore, December (2022).
4. Lin, Y., Nabekawa, Y., and Midorikawa, K., "Development of a sub-cycle short-wave infrared laser and its application", 12th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS12), Singapore, December (2022).
5. Xu, L., Takahashi, E.J., "Over 60-mJ, Mid-IR Single-Cycle Pulses based on the Advanced DC-OPA", 12th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS12), Singapore, December (2022).
6. Nabekawa, Y., "Attosecond Control of Simple Molecules and Atoms Using XUV High-harmonic Pulse Pairs", ANSO Symposium on Basic Science for Sustainable Development, Xi'an (+Online), China, September 9-9 (2022).
7. Midorikawa, K., "Increase in photon flux of isolated attosecond pulses", 8th Int. Conf. on Attosecond Sci. & Tech. Orland FL, USA, July (2022).
8. Lin, Y., Nabekawa, Y., and Midorikawa, K., "Optical Parametric Amplification of sub-Cycle Shortwave Infrared Pulses", *Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2022*, San Jose & Online (Hybrid), USA, May (2022).
9. Isobe K., "Adaptive optics for temporal focusing and two-photon patterned illumination", *International Symposium on Comprehensive understanding of scattering and fluctuated fields and science of clairvoyance*, Yokohama, April (2022).
10. Midorikawa, K., "Recent progress of isolated attosecond pulses", 1st Int. Conf. on Ultrafast X2021, online, April (2022).

- 山崎馨 “X 線光化学反応の X 線過渡吸収分光理論”, 第 6 回 RIKEN RAP-QST KPSI 合同セミナー, QST 関西光科学研究所, 京都, 2 月 8 日, (2023).
- 磯部圭佑, 道川貴章, “多細胞イメージング・操作のための光技術開発とその展望” 光量子工学センター臨時セミナー, 和光, 2 月 7 日, (2023).
- 山崎馨 “X 線光化学反応追跡のための X 線過渡吸収分光法”, Q-LEAP 第 21 回アト秒懇談会, 東京, 9 月 28 日, (2022).

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

- Extreme Photonics Seminar, “Attosecond coincidence spectroscopy on molecular, cluster and liquids”, Prof. Hans Jakob Wörner, Wako, November 25 (2022).

(5) 特許出願 / Patent Applications

- 藤原孝成, 緑川克美, “液体薄膜フラットジェット・モジュールと真空中における回収・再循環機構”, 2023 年 3 月.

(6) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

- Lin. Y., “JSAP Diversity & Inclusion Awards”, March 2023.
- Lin. Y., “The 15th Osaka University Kondo Prize”, July 2022.

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

- Iwamura, M., Urayama, R., Nozaki, K., Liu, L., Kuramochi, H., Takeuchi, S., Tahara, T., “Spectroscopic mapping of the gold complex oligomers (dimer, trimer, tetramer, and pentamer) by excited-state coherent nuclear wavepacket motion in aqueous solution”, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 25, 966-974 (2022).
- Ahmed, M., Nihonyanagi, S., Tahara, T., “Ultrafast vibrational dynamics of the free OD at the air/water interface: Negligible isotopic dilution effect but large isotope substitution effect”, *J. Chem. Phys.* 156, 224701/1-9 (2022).
- Hanaoka, K., Iwaki, S., Yagi, K., Myochin, T., Ikeno, T., Ohno, H., Sasaki, E., Komatsu, T., Ueno, T., Uchigashima, M., Mikuni, T., Tainaka, K., Tahara, S., Takeuchi, S., Tahara, T., Uchiyama, M., Nagano, T., Urano, Y., “A general design strategy to precisely control the emission of fluorophores via a twisted intramolecular charge transfer (TICT) process”, *J. Am. Chem. Soc.* 144, 19778-19790 (2022).
- Ishiyama, T., Tahara, T., Morita, A., “Why the photochemical reaction of phenol becomes ultrafast at the air-water interface: The effect of surface hydration”, *J. Am. Chem. Soc.* 144, 6321-6325 (2022).
- Matsuzaki, K., Tahara, T., “Superresolution concentration measurement realized by sub-shot noise absorption spectroscopy”, *Nat. Commun.* 13, 953/1-8 (2022).

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

- 倉持光, 田原太平, “フェムト秒時間分解時間領域ラマン分光で観る光化学反応の超高速構造ダイナミクス”, *光化学*, 53 (3), 132-139 (2022).
- 倉持光, 竹内佐年, 岩村宗高, 田原太平, “フェムト秒時間分解インパルス誘導ラマン分光による光誘起結合生成ダイナミクスの実時間構造追跡”, *光学*, 51 (1), 8-14 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

- 松崎維信, “量子もつれ光を用いた超高感度吸収分光法の実現とその応用”, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 東京 (ハイブリッド), 3 月 15 日 -18 日, (2023).
- Tahara, T., “Ultrafast dynamics at the water interfaces revealed by time-resolved phase-sensitive nonlinear spectroscopy”, Seminar, The Hebrew University of Jerusalem, Israel, February (2023).
- 松崎維信, “量子もつれ光を用いたショット・ノイズ限界を超える超高感度吸収分光測定”, レーザー学会学術講演会第 43 回年次大会, 名古屋, 1 月 19 日, (2023).
- Tahara, T., “Structure and ultrafast dynamics at the water interface revealed by phase-sensitive nonlinear spectroscopy”, Guest Seminar, Weizmann Institute of Science, Israel, January (2023).

5. Mohammed, A., Nihonyanagi, S., Tahara, T., "Mechanism of vibrational relaxation of free OH/OD at the water surface by TR-HD-VSFG spectroscopy", Saitama SFG Colloquium II, さいたま市, 11月22日, (2022).
6. 松崎維信, "量子もつれ光を光源とするサブ・ショット・ノイズ吸収分光法", 理研・開拓研究本部ワークショップ, 箱根町, 11月14日, (2022).
7. 松崎維信, "量子もつれ光を光源とする超高感度吸収分光装置の開発", 九州大学加納研究室セミナー (オンライン), 福岡市, 11月11日, (2022).
8. Nihonyanagi, S., "Studies of buried material interfaces using heterodyne-detected vibrational sum frequency generation spectroscopy", 2022 RIKEN-NCHU Joint Symposium, Online, August (2022).
9. Tahara, T., "Ultrafast dynamics at the water interfaces revealed by femtosecond phase-sensitive nonlinear vibrational spectroscopy", 27th International Conference on Raman Spectroscopy (XXVII ICORS), USA, August (2022) (Keynote).
10. Matsuzaki, K., "Ultrasensitive absorption spectroscopy realized by entangled photon pairs", The 13th International Conference on Information Optics and Photonics (CIOP 2022), China, Webinar, August (2022).
11. Tahara, T., "Ultrafast Dynamics at Aqueous Interface Revealed by Heterodyne-Detected Vibrational Sum-Frequency Generation Spectroscopy", Gordon Research Conference on Water and Aqueous Solutions, USA, July (2022).
12. Tahara, T., "Vibrational relaxation of OH stretch at the air/water interface", CMDS2022, USA, June (2022).
13. Nihonyanagi, S., "Structure and dynamics of water at interfaces", Annual Summer School Solvation Science, Germany, June (2022).
14. Tahara, T., "Ultrafast chemical dynamics at the water surface revealed by femtosecond time-resolved phase-sensitive nonlinear spectroscopy", Symposium "Multiscale Chemistry and Dynamics at Surfaces and Interfaces", Spring 2022 American Chemical Society (ACS) meeting, USA, March, (2022).
15. Tahara, T., "A chemical reaction becomes ultrafast at the water surface", The 16th biennial DAE – BRNS Trombay Symposium on Radiation & Photochemistry (TSRP-2022), India, Webinar, January, (2022).

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

1. Seminar, "Time-resolved spectroscopy techniques and applications to the field of life science", 和光, 1月13日 (2023).
2. Seminar, "Surface SFG spectroscopy of water", 和光, 5月24日 (2022).
3. Seminar, "Semiconductor Photocatalysts for Artificial Photosynthesis: Operando Characterization under Water", 和光, 4月28日 (2022).
4. Seminar, "Developments of density functional theory and integral equation theory for solvation and phase equilibrium", 和光, 4月25日 (2022).
5. Seminar, "Development of a highly stable Fourier transform limited picosecond time-resolved Raman spectrometer: vibrational dynamics of transient molecules near metal nanoparticles", 和光, 4月22日 (2022).

(5) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. J. Am. Chem. Soc. Vol. 144, No. 14, 2022年4月4日発行 Supplementary Cover
2. J. Chem. Phys. Vol. 156, No. 22, 2022年6月8日発行 Front Cover, Editor's pick
3. Phys. Chem. Chem. Phys. Vol. 25, 2022年11月30日発行 Inside Back Cover, Hot Paper

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. Takamoto M., Tanaka Y., and Katori H., "A perspective on the future of transportable optical lattice clocks", Appl. Phys. Lett. 120, 140502 (2022).

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

1. 香取秀俊, "新しい時計が未来の物理と社会を変える", 東京書籍「教えて!最先端の研究」, 2022年春号, (2022).
2. 香取秀俊, "原子を制御するトランジスタ技術", トランジスタ技術 2023年1月号 (700号記念号), 発行12月10日, (2022).
3. 香取秀俊, 高本将男, "量子計測", 光と物質の量子相互作用ハンドブック (第5編 応用 - 第4章), 発行3月, P.761-772 (2023).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. 香取秀俊, “光格子時計〜共創により変える未来〜”, Shimadzu みらい共創ラボ開所式講演, 奈良 (Video 録画講演), 5月26日, (2022).
2. Katori H., “Making optical lattice clocks compact and useful for real-world applications”, APS DAMOP 2022 Meeting A01 Breakthrough Prize in Fundamental Physics, Florida, May (2022).
3. 香取秀俊, “光格子時計による超高精度時間計測と応用”, 原子力システム研究懇話会 総会特別講演, 東京, 6月21日, (2022).
4. Katori H., “(Plenary) Making optical lattice clocks compact and useful for real-world applications”, The 27th International Conference on Atomic Physics (ICAP2022), Canada, July (2022).
5. Katori H., “(Plenary) Making optical lattice clocks compact and useful for real-world applications”, The 22nd international vacuum congress IVC-22, Sapporo, September (2022).
6. Katori H., “Making optical lattice clocks compact and useful for real-world applications”, Quantum sensors and tests of new physics (QSNP), Canada, October (2022).
7. Takamoto M., “Test of gravitational redshift with optical lattice clocks and their applications”, ACES Workshop 2022, France, October (2022).
8. 香取秀俊, “光格子時計〜新しい時間をつくる〜”, 三井住友 PreEMP, 東京, 10月27日, (2022).
9. 香取秀俊, “好奇心が駆動するサイエンスを未来の技術につなぐ”, 本田賞受賞講演, 東京, 11月17日, (2022).
10. 香取秀俊, “光格子時計〜新しい時間をつくる〜”, 市民大学 東京大学 EMP 特別講座, 茨城, 1月17日, (2023).

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

1. 第4回未来社会プロジェクトメンバーワークショップ, 和光, 12月13日 (2022).

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “原子ビーム生成装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム” 特願 2022-078839, 2022年5月12日.
2. 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “磁気光学トラップ装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム” 特願 2022-096079, 2022年6月14日.
3. 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “冷却原子生成装置、冷却原子生成方法、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム” 特願 2022-114807, 2022年7月19日.
4. 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “磁気光学トラップ装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム” JP2023/000305(PCT), 2023年1月10日.

(6) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. 香取秀俊チームリーダーが本田賞を受賞 (本田財団), “300億年に1秒しか狂わない光格子時計を発明”, 2022年9月30日.

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. E. R., Ahmed, Kozawa, D., Kameda, T., Kato, Y. K., Ito, Y., Kawamoto, M., “Diameter-selective sorting of single-walled carbon nanotubes using π -molecular tweezers for energy materials”, ACS Appl. Nano Mater. 6, 1919-1926 (2023).
2. Kozawa, D., Li, S. X., Ichihara, T., Rajan, A. G., He, G., Komano, V. B., Zeng, Y., Kuehne, M., Silmore, K. S., Parviz, D., Liu, P., Liu, A. T., Faucher, S., Yuan, Z., Warner, J., Blankshtein, D., Strano, M. S., “Discretized Hexagonal Boron Nitride Quantum Emitters and their Chemical Interconversion”, Nanotechnology 34, 115702 (2023).
3. Fujii, S., Wada, K., Sugano, R., Kumazaki, H., Kogure, S., Kato, Y. K., Tanabe, T., “Versatile tuning of Kerr soliton microcombs in crystalline microresonators”, Commun. Phys. 6, 1-8 (2023).

- Yu, B., Naka, S., Aoki, H., Kato, K., Yamashita, D., Fujii, S., Kato, Y. K., Fujigaya, T., Shiraki, T., "ortho-substituted aryldiazonium design for the defect configuration-controlled photoluminescent functionalization of chiral single-walled carbon nanotubes", *ACS Nano* 16, 21452-21461 (2022).
- Fang, N., Yamashita, D., Fujii, S., Otsuka, K., Taniguchi, T., Watanabe, K., Nagashio, K., Kato, Y. K., "Quantization of mode shifts in nanocavities integrated with atomically thin sheets", *Adv. Opt. Mater.* 10, 2200538 (2022).
- Zhang, R., Feng, Y., Li, H., Kumamoto, A., Wang, S., Zheng, Y., Dai, W., Fang, N., Liu, M., Tanaka, T., Kato, Y. K., Kataura, H., Ikuhara, Y., Maruyama, S., Xiang, R., "Fabricating one-dimensional van der Waals heterostructures on chirality-sorted single-walled carbon nanotubes", *Carbon* 199, 407-414 (2022).
- Kozawa, D., Wu, X., Ishii, A., Fortner, J., Otsuka, K., Xiang, R., Inoue, T., Maruyama, S., Wang, Y.-H., Kato, Y. K., "Formation of organic color centers in air-suspended carbon nanotubes using vapor-phase reaction", *Nature Commun.* 13, 2814 (2022).
- Otsuka, K., Ishimaru, R., Kobayashi, A., Inoue, T., Xiang, R., Chiashi, S., Kato, Y. K., Maruyama, S., "Universal Map of Gas-Dependent Kinetic Selectivity in Carbon Nanotube Growth", *ACS Nano* 16, 5627-5635 (2022).
- Machiya, H., Yamashita, D., Ishii, A., Kato, Y. K., "Evidence for near-unity radiative quantum efficiency of bright excitons in carbon nanotubes from the Purcell effect", *Phys. Rev. Research* 4, L022011 (2022).

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

- Otsuka, K., Kato, Y. K., "Deterministic manipulation of carbon nanotubes for optical devices", *JSAP Review* 2023, 230406 (2023).
- 大塚慶吾, 加藤雄一郎, "カーボンナノチューブの自在配置と光デバイス", *応用物理* 91, 736 (2022)
- 小澤大知, 加藤雄一郎, "架橋カーボンナノチューブに量子欠陥を導入", *化学と工業* 75, 744 (2022).
- 木暮蒼真, 藤井瞬, 田邊孝純, "超並列光通信のための集積光周波数コム光源", *レーザー学会誌 レーザー研究* 50, 248-253 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

- 小澤大知, "低次元ナノ物質の励起子光物性研究", 日本物理学会 2023 年春季大会 (物性) 若手奨励賞受賞記念講演, Online, 3 月 25 日, (2023).
- Kozawa, D., Wu, X., Ishii, A., Fortner, J., Otsuka, K., Xiang, R., Inoue, T., Maruyama, S., Wang, Y. H., Kato, Y. K., "Formation of Organic Color Centers in Air-Suspended Carbon Nanotubes Using Vapor-Phase Reaction", *JSAP-Optica Joint Symposia, the 83rd JSAP Autumn Meeting 2022, Miyagi, Japan, September 21* (2022).
- Kato, Y. K., "Excitons in carbon nanotubes meet layered materials: Mixed-dimensional heterostructures for nanoscale photonics", 8th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (WONTON2022), Madison, Wisconsin, USA, July 27 (2022).
- Kato, Y. K., "Exciton physics and cavity quantum electrodynamics in air-suspended carbon nanotubes", The 22nd International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT22), Suwon, Korea, June 23 (2022).
- Otsuka, K., Inoue, T., Xiang, R., Chiashi, S., Kato, Y. K., Maruyama, S., "Kinetic Selectivity of Chemical Vapor Deposition Growth of Carbon Nanotubes", 241st Electrochemical Society Meeting, Vancouver, Canada, June 2 (2022).
- Otsuka, K., Fang, N., Yamashita, D., Taniguchi, T., Watanabe, K., Kato, Y. K., "Deterministic Transfer of Optical-Quality Carbon Nanotubes for Atomically Defined Technology", 241st Electrochemical Society Meeting, Vancouver, Canada, June 2 (2022).
- Li, Z., Otsuka, K., Yamashita, D., Kozawa, D., Kato, Y. K., "Quantum Emission Assisted By Energy Landscape Modification in Pentacene-Decorated Carbon Nanotubes", 241st Electrochemical Society Meeting, Vancouver, Canada, May 31 (2022).
- Fujii, S., "Systematic microresonator dispersion engineering for frequency comb generation", The 11th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS2022), Yokohama, Kanagawa, Japan, April 18, (2022).

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

- セミナー, 小松夏実, Postdoctoral Scholar, Quantum Biology Tech (QuBiT) Lab., University of California, Los Angeles, "Macroscopically aligned carbon nanotubes: preparation and their optical, electronic and thermoelectric properties", 和光, 2 月 27 日 (2023).
- セミナー, 今村陸, 慶應義塾大学理工学部電気情報工学科田邊フォトリック構造研究室博士課程, "Design and fabrication toward passively mode-locked microlaser", 和光, 2 月 21 日 (2023).
- セミナー, Zhiwei Dai, 東京大学生産技術研究所岩本研究室博士課程, "Towards the generation of optical skyrmions on nanophotonic devices", 和光, 2 月 14 日 (2023).
- セミナー, Mengyue Wang, 大阪大学大学院工学研究科物理学系専攻小林研究室博士課程, "Investigation on high-temperature growth of single-walled carbon nanotubes from solid carbon nanoparticle seeds", 和光, 2 月 6 日 (2023).

(5) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. アドコム・メディア, “超小型「光周波数のものさし」の精密制御を実証”, 2023年1月19日.
2. Tii 技術情報, “超小型「光周波数のものさし」の精密制御を実証～精密分光や低雑音マイクロ波発生源への応用へ向けて～”, 2023年1月11日.
3. BtoB プラットフォーム 業界 Ch, “超小型「光周波数のものさし」の精密制御を実証”, 2023年1月11日.
4. 日本の研究 .com, “超小型「光周波数のものさし」の精密制御を実証—精密分光や低雑音マイクロ波発生源への応用へ向けて—”, 2023年1月11日.
5. NIKKEI Tech Foresight, “九大など、カーボンナノチューブ高機能化 量子通信に”, 2022年12月15日.
6. 日経 XTECH, “九州大学などカーボンナノチューブ近赤外発光を長波長化、1000nm 以上実現”, 2022年12月15日.
7. TECH +, “修飾カーボンナノチューブが切り開く欠陥制御技術と期待される未来とは”, 2022年12月6日.
8. 電波新聞, “九州大など CNT 近赤外発光の波長制御・高機能化技術を開発 バイオイメージングや先端光科学技術の開発に期待”, 2022年12月1日.
9. Laser Focus World, “カーボンナノチューブの近赤外発光の波長制御・高機能化技術を開発”, 2022年11月25日.
10. EE Times Japan, “長波長化した発光を選択的に創出 新たな設計手法で CNT 上に任意の欠陥構造を形成”, 2022年11月25日.
11. Tii 技術情報, “カーボンナノチューブの近赤外発光の波長制御・高機能化技術を開発～バイオイメージングや先端光科学技術の開発に期待～”, 2022年11月22日.
12. OPTRONICS ONLINE, “九大ら, CNT 発光の波長制御と高機能化に成功”, 2022年11月22日.
13. RIKEN Research Highlight, “A cleaner, better way to produce single-photon emitters”, 2022年11月2日.
14. TECH+, “理研など、架橋 CNT に発光体「量子欠陥」を導入する手法を開発”, 2022年5月24日.
15. Mapion ニュース, “理研など、架橋 CNT に発光体「量子欠陥」を導入する手法を開発”, 2022年5月24日.
16. Lase Focus World, “清浄な架橋カーボンナノチューブに量子欠陥を導入”, 2022年5月23日.
17. オプトロニクスオンライン, “理研ら, 清浄な架橋 CNT に量子欠陥を導入”, 2022年5月23日.
18. 日本経済新聞, “理研と東大、清浄な架橋カーボンナノチューブに量子欠陥を導入”, 2022年5月20日.

超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム / Ultrafast Coherent Soft X-ray Photonics Research Team

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

1. Xu, L., Xue, B., Ishii, N., Itatani, J., Midorikawa, K., Takahashi, E.J., “100-mJ class, sub-two-cycle, carrier-envelope phase-stable dual-chirped optical parametric amplification”, Opt Lett 47, 3371-3374 (2022).

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

1. 高橋栄治, “光パラメトリック増幅を利用したテラワット級高強度中赤外パルスレーザーの開発”, レーザー研究, 第50巻第6号 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Takahashi, E.J., “Novel ultrafast laser technologies for generating GW-scale isolated attosecond pulses”, The 1st International Conference on UltrafastX, Xi'an, China, Apr. (2022).
2. Takahashi, E.J., “Intense single-cycle pulses via serial waveform synthesis”, International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 2022, Hawaii, USA, Dec. (2022).
3. Takahashi, E.J., “Novel laser sources for driving an intense attosecond pulse”, The 13th International Conference on Information Optics and Photonics (CIOP 2022), Online, Aug. (2022).
4. Xu, L., Takahashi, E.J., “Over 60-mJ, Mid-IR Single-Cycle Pulses based on the Advanced DC-OPA”, The 12th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS12), Singapore, Dec. (2022).

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

1. 6th RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar, 京都, 2月8日 (2023).

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

1. Morimoto, Y., Chen B. H., Baum, P., "Free-electron tomography of few-cycle optical waveforms", *Ann. Phys.* 534, 2200193 (2022).

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

1. Morimoto, Y., "Attosecond electron-beam technology: a review of recent progress", *Microscopy*, 72, 2-14 (2023).
2. 森本裕也, "解説: 中赤外パルスを用いたアト秒電子ビーム制御", *レーザー研究*, 50, 308-312 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. 森本裕也, "アト秒電子パルスの発生と実時間物性計測の試み", *レーザー学会学術講演会第43回年次大会*, 名古屋, 1月19日, (2023).
2. Morimoto, Y., "Generation of attosecond electron beams and the potential applications to electron-atom collisions", 14th Asian International Seminar on Atomic and Molecular Physics virtual meeting, Online, February (2023).

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. Hasegawa, Y., Reyes, T. H., Uemura, T., Baral, A., Fujimaki, A., Luo, Y., Morita, Y., Saeki, Y., Maekawa, S., Yasuda, S., Mukuta, K., Fukao, Y., Tanaka, K., Nakano, A., Takagi, J., Bhalerao, R., Yamaguchi, J., and Sato, T., "TGN/EE SNARE protein SYP61 and ubiquitin ligase ATL31 cooperatively regulate carbon/nitrogen-nutrient responses in Arabidopsis", *Plant Cell* 34, 1354-1374 (2022).
2. Rodriguez-Gallardo, S., Sabido-Bozo, S., Ikeda, A., Araki, M., Okazaki, K., Nakano, M., Aguilera-Romero, A., Cortes-Gomez, A., Lopez, S., Waga, M., Nakano, A., Kurokawa, K., Muñiz, M., and Funato, K., "Quality-controlled lipid-based protein sorting into selective ER exit sites", *Cell Rep.* 39, 110768 (2022).
3. Kakimoto-Takeda, Y., Kojima, R., Shiino, H., Shinmyo, M., Kurokawa, K., Nakano, A., Endo, T., and Tamura, Y., "Dissociation of ERMES clusters plays a key role in attenuating the endoplasmic reticulum stress", *iScience* 25, 105362 (2022).
4. Jin, Y., Jin, N., Oikawa, Y., Benyair, R., Koizumi, M., Wilson, T.E., Ohsumi, Y., Weisman, L.S., "Bur1 functions with TORC1 for vacuole-mediated cell cycle progression", *EMBO Rep.* 23, e53477 (2022).

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

1. Nakano, A., "The Golgi apparatus and its next-door neighbors", *Frontiers Cell Dev. Biol.* 10, 884360 (2022).
2. Andrews, B., Chang, J.-B., Collinson, L., Dong Li, Lundberg, E., Mahamid, J., Manley, S., Mhlanga, M., Nakano, A., Schöneberg, J., Van Valen, D., Wu, T. C., and Zaritsky, A., "Viewpoint: Imaging cell biology", *Nat. Cell Biol.* 24, 1180-1185 (2022).
3. 中野明彦, "超解像で何を見るか?", *超解像イメージングで見る生命現象*, *BIO Clinica* 37, 979 (2022).
4. 宮代大輔, "高速超解像顕微鏡法の開発", *Plant Morphol.* 34, 25-27 (2022)
5. Tojima, T., Miyashiro, D., Kosugi, Y., and Nakano, A., "Super-resolution live imaging of cargo traffic through the Golgi apparatus in mammalian cells", *Methods Mol. Biol.* 2557, 127-140 (2023).
6. 中野明彦, "分子夾雑の細胞生物学", *CSJ カレントレビュー "生体分子環境の化学"*, 45, 22-25, 日本化学会 (2023).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Nakano, A., "Golgi and its neighbors as seen by super-resolution live imaging", *FASEB Science Research Conference "The Small GTPases in Membrane Processes"*, Nova Scotia, Canada, May 16 (2022).
2. Nakano, A., "Mechanisms deduced from comparison between yeast, plant and animal cells", *FASEB Science Research Conference "The Small GTPases in Membrane Processes"*, Nova Scotia, Canada, May 19 (2022).
3. Tojima, T., "Dynamics of membrane traffic in the neuronal growth cone revealed by super-resolution live imaging", *Symposium on "Fantastic Voyage into the Intra- and Inter-cellular Structures in the Brain"*, the 45th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuro2022), Ginowan, Japan, July 2 (2022).

- Nakano, A., "Organization of the Golgi apparatus and its neighbors -- Insights from the comparison between yeast, plant and animal cells", Symposium on Recent Advances in Interorganellar Dynamics and Network, International Conference of the Korean Society for Molecular and Cellular Biology 2022, Jeju, Korea, September 29 (2022).
- Nakano, A., "Golgi and its neighbors as seen by super-resolution live imaging", EMBO Members' Meeting, Heidelberg, Germany, October 28 (2022).
- 中野明彦, 戸島拓郎, " ゴルジ体とその周辺における選別輸送—可視化によるメカニズム解明 ", シンポジウム " 糖鎖生物学の革新へ ", 第 95 回日本生化学会大会, 名古屋, 11 月 9 日 (2022).
- 戸島拓郎, " ゴルジ体形成・成熟の時空間ダイナミクス ", シンポジウム " オルガネラの機能連携から見える生命現象の新たな実像 ", 第 95 回日本生化学会大会, 名古屋, 11 月 9 日 (2022).
- 宮代大輔, 中野明彦, " 生細胞観察のための高速超解像顕微鏡の開発 ", シンポジウム " 情報フォトンクスとホログラフィが織りなす新価値創造 ", Optics & Photonics Japan 2022, 宇都宮, 11 月 14 日 (2022).
- 戸島拓郎, " 高速超解像顕微鏡によるゴルジ体の時空間動態の解析 ", ExCELLS セミナー, 岡崎, 3 月 14 日 (2023).

(4) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

- 中野明彦, NHK BS プレミアム " ヒューマニエンス 40 億年のたくらみ ", " 膜 " ~それは生命の真理", 2022 年 4 月 5 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

- Hirano, M., Ando, R., Shimozono, S., Sugiyama, M., Takeda, N., Kurokawa, H., Deguchi, R., Endo, K., Haga, K., Takai-Todaka, R., Inaura, S., Matsumura, Y., Hama, H., Okada, Y., Fujiwara, T., Morimoto, T., Katayama, K., Miyawaki, A., "A highly photostable and bright green fluorescent protein", Nat Biotechnol. 40(9):14122022. (2022)

(2) 招待講演 / Invited Talks

- 宮脇敦史, "Cruising in the Cell", 第 51 回日本免疫学会学術集会イブニングセミナー, 熊本 (ハイブリッド), 12 月 7 日, (2022).
- 宮脇敦史, "Cruising inside cells" The 1st Korea-Japan Science and Technology Forum of Innovation (韓国大使館主催), 東京 (ハイブリッド), 11 月 25 日, (2022).
- Miyawaki, A., "Cruising in the Cells", 2022 ICCB & APOCB JOINT MEETING, Taiwan (Hybrid), November (2022).
- 宮脇敦史, "Cruising inside cells", 第 42 回キャピラリー電気泳動シンポジウム, 鶴岡, 10 月 26 日, (2022). (特別講演)
- 宮脇敦史, "Intra Vital Imaging", 第 41 回日本運動器移植・再生医学研究会, 横浜, 10 月 1 日, (2022). (特別講演)
- 宮脇敦史, "Continuity in Space and Time", メーキングサポート拠点キックオフシンポジウム シン・ミクロの世界, 大阪 9 月 7 日, (2022).
- 宮脇敦史, "Light and Life in Medicine", エキスパートに学ぶ会 2022, Zoom, 5 月 20 日, (2022). (特別講演)

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

- Chu, S-L., Abe, K., Yokota, H., Tsai, M-D., "Recurrent Neural Network for Monitoring Mouse Embryonic Stem Cell Colony in vitro Using Time-lapse Fluorescence Microscopy Images", Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications. 34, 05, 2250030 (2022).
- Chu, S-L., Sudo, K., Yokota, H., Abe, K., Nakamura, Y., M.D. Tsai, "Human induced pluripotent stem cell formation and morphology prediction during reprogramming with time-lapse bright-field microscopy images using deep learning methods", Computer Methods and Programs in Biomedicine. 229, 10, 107264 (2023).
- Umebayashi, M., Takemoto, S., Reymond, L., Sundukova, M., Hovius, R., Bucci, A., Heppenstall, P.A., Yokota, H., Johnsson, K., Riezman, H., "A covalently linked probe to monitor local membrane properties surrounding plasma membrane proteins", Journal of Cell

Biology, 222(3):e202206119 (2023).

4. Ando, N., Kono, T., Ogihara, N., Nakamura, S., Yokota, H., Kanzaki, R., "Modeling the musculoskeletal system of an insect thorax for flapping flight", *Bioinspiration & Biomimetics*. 17,6 (2022).
5. Tamura, N., Goto, S., Yokota, H., and Goto, S., "Contributing role of mitochondrial energy metabolism on platelet adhesion, activation and thrombus formation under blood flow conditions", *Platelets*. 33, 7, 1083-1089 (2022).
6. Furukawa, T., Oyama, S., Yokota, H., Kondoh, Y., Kataoka, K., Johkoh, T., "A comprehensible machine learning tool to differentially diagnose idiopathic pulmonary fibrosis from other chronic interstitial lung diseases", *Respirology* (2022).
7. Yamashita, N., Matsuno, T., Maeda, D., Kikuzuki, M., Yokota, H., "Efficient 3D observation of steel microstructure using serial sectioning with precision cutting and on-site etching", *Precision Engineering*. 75, 37-45, May (2022).
8. Hu, R., Monebhurrin, V., Himeno, R., Yokota, H., Costen, H., "A general framework for building surrogate models for uncertainty quantification in computational electromagnetics", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*. 70, 1402 – 1414, Feb (2022).
9. Takematsu, M., Umezawa, M., Sera, T., Kitagawa, Y., Kurahashi, H., Yamada, S., Okubo, K., Kamimura, M., Yokota, H., Soga, K., "Influence of the difference in refractive index on the interface of an object and the surrounding in near-infrared fluorescence tomography", *Applied Optics* (2022).
10. Fukatsu, M., Yoshizawa, S., Takemura, H., and Yokota, H., "Adaptive and Dynamic Regularization for Rolling Guidance Image Filtering", *Proc. of Pacific Graphics Short Papers, Posters, and Work-in-Progress Papers*. 43-48, Eurographics Digital Library (2022).
11. 深津美薫, 吉澤信, 竹村裕, 横田秀夫, "定義域分割法と Ridge 回帰を用いた高精度 Rolling Guidance 画像フィルタ", *情報処理学会研究報告*, 2022-CG-186, 2, 1-11, 情報処理学会 (2022).
12. Hori, K., Ikematsu, H., Yamamoto, Y., Matsuzaki, H., Takeshita, N., Shinmura, K., Yoda, Y., Kiuchi, T., Takemoto, S., Yokota, H., Yano, T., "Detecting colon polyps in endoscopic images using artificial intelligence constructed with automated collection of annotated images from an endoscopy reporting system", *Digestive Endoscopy* 34, 5, 1021-1029 (2022).
13. Feldotto, B., Eppler, J., Romero, C., Bignamini, C., Gutierrez C., Albanese, U., Retamino, E., Vorobev, V., Zolfaghari, V., Upton, A., Sun Z., Yamaura, H., Heidarinejad, M., Klijn, W., Morrison, A., Cruz, F., McMurtrie, C., Knoll, A., Igarashi, J., Yamazaki, T., Doya, K., Morin, F., "Deploying and optimizing embodied simulations of large-scale spiking neural networks on HPC infrastructure", *Frontiers in neuroinformatics*. 16, 884180 (2022).
14. Oota, S., Abe, K., Yokota, H., et al., "Real-Time Course: Reconstruction of cellular diversity and lineage trajectory based on somatic mutational patterns detected from low-pass single-cell transcriptome data", *Research Square* (2022).

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

1. 医療情報みらい会議 第3回合同会議, 琉球大学医学部, 2月15日

(3) 特許出願 / Patent Applications

1. 横田秀夫, "情報処理装置、情報処理方法、および、コンピュータプログラム", 特願 2022-043291, 2022年3月18日
2. Hideo Yokota, "SYSTEMS FOR IDENTIFYING CELLS AND USES THEREOF", US 17/715975, 2022年4月8日
3. 和田智之, 道川隆士, 佐々高史, 国本幸紀, "打撃点分析システム、打撃点分析方法、及びプログラム", 特願 2022-14019, 2022年9月2日 特願 2022-140194
4. 横田秀夫, "情報処理装置、情報処理方法、および、コンピュータプログラム", 特願 2022-175512, 2022年11月1日
5. 太田聡史 "シングルセル RNA-seq データから得た細胞変異情報を利用する細胞系列の追跡方法", 海外特許出願中

(4) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. 日経テクノロジー展望 2023 世界を変える 100の技術, 日経 BP, 2022年9月15日
2. Riken クローズアップ科学道

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

1. Kato, R., Yano, T., Minamikawa, T., and Tanaka, T., "High-Sensitivity Hyperspectral Vibrational Imaging of Heart Tissues by Mid-Infrared Photothermal Microscopy", *Analytical Sciences* 38, 1497-1503 (2022).
2. Chen, M.K., Chu, C. H., Liu, X., Zhang, J., Sun, L., Yao, J., Fan, Y., Liang, Y., Yamaguchi, T., Tanaka, T., and Tsai, D.P., "Meta-Lens in the Sky", *IEEE Access* 10, 46552-46557 (2022).
3. Kato, R., Yano, T., and Tanaka, T., "Multi-modal vibrational analysis of blend polymers using mid-infrared photothermal and Raman microscopies", *Vibrational Spectroscopy* 118, 203333 (2022).
4. Kato, R., Uesugi, M., Komatsu, Y., Okamoto, F., Tanaka, T., Fumihisa Kitawaki, and Yano, T., "Highly Stable Polymer Coating on Silver Nanoparticles for Efficient Plasmonic Enhancement of Fluorescence", *ACS Omega* 7, 4286-4292 (2022).
5. Tanaka, T., Yano, T., and Kato, R., "Nanostructure-enhanced infrared spectroscopy", *Nanophotonics* 11, 2541-2561 (2022).

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

1. 田中拓男, "メタマテリアルと超高感度振動分光への応用", *電子情報通信学会誌* 105, 1454-1456 (2022).
2. 田中拓男, "三次元メタマテリアルによる高効率赤外吸収体と赤外分光応用", *光ライアンス* 33, 1-4 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Kato, R., Yano, T., and Tanaka, T., "Visualizing enhanced optical fields of dielectric-based metamaterials by mid-infrared photothermal microscopy", *SPIE Photonics ASIA 2022 (Nantong, Jiangsu, China, China) (2022.12.5) (2022)*.
2. Oguchi, M.V., Hayazawa, N., and Tanaka, T., "Tip-enhanced Raman spectroscopy: Probing physicochemical properties at the nanoscale in ambient", *SPIE Photonics ASIA 2022 (Nantong, Jiangsu, China, China) (2022.12.5) (2022)*.
3. Tanaka, T., "Three-dimensional broadband metamaterial absorbers for IR gas molecules sensing", *SPIE Optics+Photonics 2022 (San Diego, CA, USA) (2022.8.24) (2022)*.
4. Tanaka, T., "Metamaterials for infrared spectroscopy: metals vs dielectrics", *SPIE Optics+Photonics 2022 (San Diego, CA, USA) (2022.8.21) (2022)*.
5. Tanaka, T., "Metamaterial absorber and reflector for ultra-sensitive infrared spectroscopy", *SPIE Optics+Photonics 2022 (San Diego, CA, USA) (2022.8.22) (2022)*.
6. Oguchi, M. V. and Tanaka, T., "Characterization of monolayer graphene wrinkles via tip-enhanced Raman spectroscopy", *SPIE Optics+Photonics 2022 (San Diego, CA, USA) (2022.8.24) (2022)*.
7. Yano, T., Kato, R., and Tanaka, T., "Active plasmon-enhanced Raman microscopy for nanoscale control of chemical reactions", *SPIE Optics+Photonics 2022 (San Diego, CA, USA) (2022.8.24) (2022)*.
8. Yano, T., Kato, R., and Tanaka, T., "Ultrasensitive plasmonic sensing of single biomolecular complexes", *SPIE Optics+Photonics 2022 (San Diego, CA, USA) (2022.8.21) (2022)*.
9. Tanaka, T., "Metamaterial enhanced IR spectroscopy for solid, liquid, gas, and chiral materials", *The 12th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (Torremolinos, Spain) (2022.7.21) (2022)*.
10. Tanaka, T., "Metamaterials-Nanofluidics hybrid device for ultra-high-sensitive IR spectroscopy", *The 9th Forum on New Materials (CIMTEC2022) (Montecatini Terme, Italy) (2022.6.25) (2022)*.
11. Tanaka, T., "Metamaterials and their applications", *NRC-RIKEN joint workshop on nanoscale quantum physics and devices (Closed) (Online,) (2022.5.11) (2022)*.
12. Tanaka, T., "Metamaterials for IR spectroscopy", *Global Nanophotonics 2022 (Core-to-Core Symposium GNP2022) (Osaka International Convention Center, Grand Cube, Osaka, Japan) (2022.3.15) (2022)*.
13. Kato, R., Yano, T., and Tanaka, T., "Visualizing Optical Fields of Dielectric-Based Metamaterials via Mid-Infrared Photothermal Imaging", *Global Nanophotonics 2022 (Core-to-Core Symposium GNP2022) (Osaka International Convention Center, Grand Cube, Osaka, Japan) (2022.3.15) (2022)*.
14. Yano, T., Kato, R., and Tanaka, T., "Ultrasensitive plasmonic sensing of single biomolecular complexes", *Global Nanophotonics 2022 (Core-to-Core Symposium GNP2022) (Osaka International Convention Center, Grand Cube, Osaka, Japan) (2022.3.14) (2022)*.

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

1. SPIE Photonics ASIA 2022, "Plasmonics VII", 2022 年 10 月 14 (2022).
2. SPIE Optics+Photonics 2022, "Plasmonics: Design, Materials, Fabrication, Characterization, and Applications XX", 8 月 21 日 (2022).

(5) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. 田中拓男, "【ほのぼのの物理】#5「メタマテリアル」シャコ", Youtube 東京大学 ほのぼの物理 2022 年 5 月 16 日. (<https://www.youtube.com/watch?v=HcDEx1G7b4>)

先端レーザー加工研究チーム / Advanced Laser Processing Research Team

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

1. Obata, K., Caballero-Lucas, F., Kawabata, S., Miyaji, G., and Sugioka, K., "GHz bursts in MHz burst (BiBurst) enabling high-speed femtosecond laser ablation of Silicon due to prevention of air ionization", *The Int. J. Extreme Manuf.* (in press).
2. Tamaki, S., Ozasa, K., Nomura, T., Ishikawa, M., Yamada, K., Suzuki, K., and Mochida, K., "Zeaxanthin is required for eyespot formation and phototaxis in *Euglena gracilis*", *Plant Physiol.* (in press).
3. Bai, S., Obata, K., Kawabata, S., and Sugioka, K., " $\lambda/20$ surface nanostructuring of zinc oxide by mask-less ultrafast laser processing for SERS applications", *Nanophotonics* <https://doi.org/10.1515/nanoph-2022-0657> (published online).
4. Bai, S., Ma, Y., Obata, K., and Sugioka, K., "Ultraminaturized microfluidic electrochemical surface-enhanced Raman scattering chip for analysis of neurotransmitters fabricated by ship-in-a-bottle integration", *Small Sci.* 3, 2200093 (2023).
5. Kawabata, S., Bai, S., Obata, K., Miyaji, G., and Sugioka, K., "Two-dimensional laser-induced periodic surface structures formed on crystalline silicon by GHz burst mode femtosecond laser pulses", *Int. J. Extreme Manuf.* 5, 015004 (2023).
6. Bai, S., Ren, X., Obata, K., Ito, Y., and Sugioka, K., "Label-free trace detection of bio-molecules by liquid-interface assisted surface-enhanced Raman scattering using a microfluidic chip", *Opto-Electron. Adv.* 5, 210121 (2022).
7. Staicu, C. E., Jipa, F., Porosnicu, I., Bran, A., Stancu, E., Dobrea, C., Radu, B. M., Axente, E., Tiseanu, I., Sima, F., and Sugioka, K., "Glass lab-on-a-chip platform fabricated by picosecond laser for testing tumor cells exposed to X-ray radiation", *Appl. Phys.* A128, 770 (2022).
8. Bai, S., Obata, K., and Sugioka, K., "Femtosecond laser near-field reduction for fabrication of 3D gold nanocluster array assisted by MoS₂ quantum dots", *Front. Phys.* 10, 917006 (2022).
9. Bai, S., Hu, A., Hu, Y., Ma, Y., Obata, K., and Sugioka, K., "Plasmonic Superstructure Arrays Fabricated by Laser Near-Field Reduction for Wide-Range SERS Analysis of Fluorescent Materials", *Nanomaterials*, 12, 970 (2022).
10. Ishikawa, M., Nomura, T., Tamaki, S., Ozasa, K., Suzuki, T., Toyooka, K., Hirota, K., Yamada, K., Suzuki, K., and Mochida, K., "CRISPR/Cas-9-mediated generation of non-motile mutants to improve the harvesting efficiency of mass-cultivated *Euglena gracilis*", *Plant Biotech. J.*, 1-3 (2022).

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

1. Sugioka, K., "Nanofluidics fabricated by 3D femtosecond laser processing", Bonse J., and Stoian R. (Ed.), *Ultrafast Laser Nanostructuring - The Pursuit of Extreme Scales*, (Springer, Berlin) p.1085-1104 (2023). (in press)
2. Bai S., and Sugioka, K., "Strategies in surface-enhanced Raman scattering (SERS) for single-molecule detection and biomedical applications", *Biomed. Mater. Devices*, (2022). <https://doi.org/10.1007/s44174-022-00053-w> (published online).
3. Zhang J., and Sugioka, K., "Basics and applications of optical interferometers integrated by femtosecond laser", *Appl. Res.* 1, e202200002 (2022).
4. 杉岡幸次, "超短パルスレーザー複合 3 次元微細加工技術の開発と高機能デバイス作製への応用", レーザ加工の最新動向 (シーエムシー出版, 東京) (2023). (in press)
5. 小幡 孝太郎, カバジェロ ルカス フランセスク, 杉岡 幸次, "フェムト秒 GHz パーストパルスによるアブレーション加工", レーザ加工学会誌, 29, 136-140 (2022).
6. 杉岡幸次, "液界面支援表面増強ラマン分光 (LI-SERS) = フェムト秒レーザー複合加工により作製した 3 次元マイクロ流体 SERS チップを用いたアトモラーセンシング =", *光アライアンス* 33(10), 41-44 (2022).
7. 小幡 孝太郎, カバジェロ ルカス フランセスク, 杉岡 幸次, "GHz パーストモードフェムト秒レーザー加工", *光アライアンス*, 33(7),

10-14 (2022).

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”, 2021 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) 163-167 (2022).
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”, 2021 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) 188-191 (2022).
10. 小幡 孝太郎, カバジェロ ルカス フランセスク, 杉岡 幸次, “金属・半導体の GHz バーストモードフェムト秒レーザー加工”, オプトロニクス, 41, 148-152 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Sugioka, K., Obata, K., and Kawabata, S., “GHz burst mode processing: ablation, LIPSS, TPP, LIPAA”, SPIE Int. Conf. on Laser-based Micro- and Nanoprocessing XIV (LBMN XIV), San Francisco, USA, February (2023).
2. Sugioka, K., and Bai, S., “Attomolar sensing using 3D microfluidic SERS chips fabricated by hybrid femtosecond laser processing”, 3rd Int. Workshop on Frontiers in Lasers and Applications (FLA-3), Nassau, The Bahamas, December (2022). **Keynote talk**
3. Sugioka K., and Bai, S., “Hybrid femtosecond laser processing for fabrication of highly sensitive SERS sensor”, 2022 Intl. Conf. on Adv. Mater. Near-Net Form Technol., Hebei, China (Hybrid), November (2022). **Plenary talk**
4. Sugioka, K., and Bai, S., “Attomolar sensing using microfluidic SERS chip fabricated by hybrid femtosecond laser 3D Pprocessing”, 3rd Int. Conf. on Optics, Photonics, and Lasers (OPL-2022), Web conference, November (2022). **Keynote talk**
5. Sugioka, K., “Ultrafast laser 3D processing”, Academic Summer Camp of Inst. Photon. Technol, Jinan Univ, Web conference, August (2022). **Tutorial talk**
6. Obata, K., Caballero-Lucas, F., Kawabata, S., Miyaji, G., and Sugioka, K., “High-speed ablation of crystalline silicon by femtosecond laser BiBurst mode with GHz burst in MHz burst”, CLEO Pacific Rim 2022, Sapporo, Japan (Hybrid), August, (2022).
7. Sugioka, K., Obata, K., Caballero-Lucas, F., and Kawabata, S., “Femtosecond laser GHz burst mode: a new pathway to advanced materials processing”, 12th Int. Conf. on Information Optics and Photonics (CIOP2021), Web conference, August (2022).
8. Sugioka, K., “Ultrafast laser 3D processing”, 7th Int. School on Lasers in Materials Science (SLIMS 2022), Venice, Italy, July (2022). **Tutorial talk**
9. Sugioka K., and Bai, S., “Metal nanostructuring inside 3D glass microfluidics by hybrid femtosecond laser processing for attomolar SERS sensing”, INFLPR Conference, Bucharest, Romania (Hybrid), June (2022).
10. 小幡 孝太郎, カバジェロ ルカス フランセスク, 川端 祥太, 宮地 悟代, 杉岡 幸次, “GHz バーストモードフェムト秒レーザーによる高品質・高効率アブレーション加工”, 第 70 回応用物理学学会春季学術講演会, 東京, 3 月 16 日, (2023).
11. 杉岡幸次, “ガラス内部への 3 次元精密加工と高感度バイオチップの作製”, 令和 5 年電気学会全国大会シンポジウム「レーザー精密加工の知見・技術の最前線」, 名古屋, 3 月 15 日, (2023).
12. 杉岡幸次, “複合超短パルスレーザー 3 次元微細加工技術の開発と高機能デバイス作製への応用”, 日本光学会 X 線・EUV 結像光学研究グループ 第 2 回研究会「2 光子リソグラフィの最前線」, オンライン, 2 月 21 日, (2023).
13. 杉岡幸次, “フェムト秒レーザー 3 次元加工と応用”, 第 7 回応用物理学学会フォトニクスワークショップ, 那覇, 1 月 25 日, (2022). **基調講演**
14. 杉岡幸次, “フェムト秒レーザー複合加工: 3 次元マイクロ流体 SERS チップの作製とアトモラーセンシングへの応用”, レーザー学会九州支部の特別講演会, 福岡, 10 月 17 日, (2022).
15. 杉岡幸次, “超短パルスレーザー 3 次元加工: 基礎と応用”, 第 29 回レーザー夏の学校, 札幌, 10 月 2 日, (2022).
16. 杉岡幸次, “3 次元マイクロ流体 SERS チップを用いたアトモラーセンシング”, 大阪公立大学講演会, 大阪, 9 月 30 日, (2022).
17. 杉岡幸次, “レーザーを用いたガラス加工と応用”, 第 83 回応用物理学学会秋季学術講演会シンポジウム「最先端で活躍するガラスとガラス状態~ 2022 年国際ガラス年 IYOG 記念シンポジウム」, 仙台 (ハイブリッド), 9 月 20 日, (2022).
18. 杉岡幸次, “アトモラー分析を可能にする LI-SERS”, 2022 年度 JST 新技術説明会, オンライン, 6 月 7 日, (2022).
19. 杉岡幸次, “レーザー加工分野の最新動向”, 2021 年光産業技術振興協会光産業動向セミナー, 横浜, 4 月 22 日, (2022).

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

1. 3rd Int. Workshop on Frontiers in Lasers and Applications (FLA-3), Nassau, The Bahamas, December (2022).
2. 3rd Int. Conf. on Optics, Photonics, and Lasers (OPL-2022), Web conference, November (2022).
3. 16th Int. Conf. on Laser Ablation (COLA'2021/2022), Matsue, Japan (Hybrid), April. (2022).

(5) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. 杉岡幸次: 2021 Outstanding Editor Award of Opto-Electronic Advances 受賞.
2. Kawabata, S.: 16th International Conference on Laser Ablation (COLA2021/2022), Student Paper Award (On-demand Video) 受賞.
3. Kawabata, S., Bai, S., Obata, K., Miyaji, G., and Sugioka, K., "Two-dimensional laser-induced periodic surface structures formed on crystalline silicon by GHz burst mode femtosecond laser pulses", *Int. J. Extreme Manuf.* 5, 015004 (2023). が EurekaAlert より ニュースリリース (<https://www.eurekaalert.org/news-releases/977538>, 2023 年 1 月 24 日). これを受け, *Phys.org* (<https://phys.org/news/2023-01-ghz-mode-femtosecond-laser-pulses.html>, 2023 年 1 月 24 日), *ScienMag* (<https://scienmag.com/ghz-burst-mode-femtosecond-laser-pulses-can-create-unique-two-dimensional-2d-periodic-surface-nanostructures/>, 2023 年 1 月 24 日), *Bioengineer.org* (<https://bioengineer.org/ghz-burst-mode-femtosecond-laser-pulses-can-create-unique-two-dimensional-2d-periodic-surface-nanostructures/>), *Optics.org* (<https://optics.org/news/14/1/42>, 2023 年 1 月 31 日), *Azonano* (<https://www.azonano.com/news.aspx?newsID=40034>, 2023 年 2 月 1 日) に紹介記事が掲載.
4. Caballero-Lucas, F., Obata, K., and Sugioka, K.: "Enhanced ablation efficiency for silicon by femtosecond laser microprocessing with GHz bursts in MHz bursts (BiBurst)", *Int. J. Extrem. Manuf.* 4, 015103 (2022). EurekaAlert より ニュースリリース (<https://www.eurekaalert.org/news-releases/970117>, 2022 年 11 月 2 日).
5. Bai, S., Ren, X., Obata, K., Ito, Y., and Sugioka, K., "Label-free trace detection of bio-molecules by liquid-interface assisted surface-enhanced Raman scattering using a microfluidic chip", *Opto-Electron. Adv.* 5, 210121 (2022). が EurekaAlert より ニュースリリース (<https://www.eurekaalert.org/news-releases/964327>, 2022 年 9 月 12 日). これを受け, *Phys.org* (<https://phys.org/news/2022-09-liquid-interface-sers-earlier-alzheimer-disease.html>, 2022 年 9 月 12 日), *TRENDRADARS* (<https://www.trendradars.com/channels/article-1820538-liquid-interface-assisted-sers-could-see-earlier-detection-of-alzheimers-disease/>, 2022 年 9 月 12 日), *Spectroscopy* (<https://www.spectroscopyeurope.com/news/liquid-interface-assisted-sers-improves-enhancement-factor-biomolecules>, 2022 年 9 月 23 日) に紹介記事が掲載.

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

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

1. Tamura, K., Tang, C., Ogiura, D., Suwa, K., Fukidome, H., Takida, Y., Minamide, H., Suemitsu, T., Otsuji, T., and Satou, A., "Fast and sensitive terahertz detection with a current-driven epitaxial-graphene asymmetric dual-grating-gate field-effect transistor structure", *APL Photonics*. 7, 12, 126101 (2022).
2. Wang, Y., Hu, C., Yan, C., Chen, K., Takida, Y., Minamide, H., Xu, D., and Yao, J., "Highly sensitive multi-stage terahertz parametric upconversion detection based on a KTiOPO₄ crystal", *Opt. Lett.*, 47, 22 (2022).
3. Suzuki, D., Takida, Y., Kawano, Y., Minamide, H., Terasaki, N., "Carbon nanotube-based, serially connected terahertz sensor with enhanced thermal and optical efficiencies", *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 23, 1, 2090855 (2022).
4. Han, Z., Takida, Y., Ohno, S., and Minamide, H., "Terahertz Fresnel-zone-plate thin-film lens based on high-transmittance double-layer metamaterial phase shifter", *Opt. Express*, 30, 11, 18730-18742 (2022).
5. Tokizane, Y., Ohno, S., Takida, Y., Shikata, J., and Minamide, H., "Incident-angle-dependent extraordinary transmission of the terahertz bull's eye structure", *Physical Review Applied*, 17, 5, 054020 (2022).
6. 南出泰垂, 縄田耕二, 瀧田佑馬, 野竹孝志, "バックワード・テラヘルツ波パラメトリック発振の研究と非破壊検査応用", *レーザー研究*, 50, 4, 172-176, (2022).

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

1. 南出泰垂, "レーザーとテラフォトンクス —光と電波の技術が融合する領域—", *レーザー研究*, 50, 6, 283, (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Minamide, H., "Backward terahertz-wave parametric oscillation and its future advancement and prospectives", *International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS)*, Honolulu, USA, December (2022).
2. Minamide, H., "RIKEN advanced tera-photonics research", *The 40th SPP Physics Conference and Annual Meeting*, Legazpi City,

Philippines, October (2022).

3. Minamide, H., "Intense multicycle Terahertz-wave generation for electron acceleration", 11th International Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy with Accelerator Based Sources (WIRMS 2022), Hiroshima, Japan, October (2022).
4. Minamide, H., "Mirrorless backward terahertz-wave parametric oscillator", International Conference on Microwave & THz Technologies, Wireless Communications and OptoElectronics 2022 (IRPhE' 2022), Online, September (2022).
5. Minamide, H., "Advanced laser-driven terahertz-wave parametric source for nondestructive testing applications", The IEEE Summer Topicals Meeting Series, Cabo San Lucas, Mexico, July (2022). (Plenary)
6. Minamide, H., "Advanced Terahertz-wave source and applications based on nonlinear optics", AES2022, Marrakech, Morocco and Online (Hybrid), May (2022).
7. Ohno, S., "Phase control of THz-wave in multi-port waveguide structure coupled with bull's-eye antenna", AES2022, Marrakech, Morocco and Online (Hybrid), May (2022).
8. Minamide, H., "Thin-film-type advanced Terahertz-wave optics based on metamaterials(tentative)", Metamaterials and Plasmonics World Forum (PlasmoMat-2022), online, May (2022). (Keynote).
9. Minamide, H., "High-intensity 300-GHz Terahertz-wave generation based on nonlinear optical down-conversion", International Workshop on Breakdown Science and High Gradient Technology (HG2022), online, May (2022).
10. Han, Z., Ohno, S., and Minamide, H., "THz wave spectral phase singularity in transmission type double-layer metamaterial", The 11th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2022), ALPS22-02, Yokohama, Japan, April (2022).
11. 南出泰亜、縄田耕二、時実悠、瀧田佑馬、野竹孝志, "バックワード非線形光学波長変換によるテラヘルツ波発生検出技術の開発", 光・量子ビーム科学合同シンポジウム (OPTO2022) 京都府木津川市, 6月29日 (2022).
12. 瀧田佑馬, "高出力バックワード・テラヘルツ波パラメトリック光源の研究開発と非破壊検査応用", テラヘルツテクノロジーフォーラム第14回テラヘルツビジネスセミナー, ハイブリッド, 東京都, 6月15日 (2022).

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

1. RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop, December 14, 2022.
2. CLEO-PR 2022, July 31- August 5, 2022.

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 山本修作, 梶川敬介, 神納祐一郎, 南出泰亜, 縄田耕二, "検査装置", 特願 2022-036002, 2022年3月9日
2. 山本修作, 梶川敬介, 神納祐一郎, 南出泰亜, 縄田耕二, "検査装置", 特願 2022-036204, 2022年3月9日

(6) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. マイナビニュース, "室温下の高感度テラヘルツ検出素子実現にグラフェンが有用 東北大など", 2022年12月16日.
2. 日経クロステック, "新原理グラフェントランジスタによる高速・高感度テラヘルツ波の検出に成功", 2023年1月18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. Ikari, T., Sasaki, Y., and Otani, C., "275-305 GHz FM-CW radar 3D imaging for walk-through security body scanner", Photonics, submitted (2023).
2. 大谷知行, Feng, C. H., 小川雄一, "テラヘルツ波を用いた食品計測技術の現状と展望", 分光研究, 出版中 (2023).
3. J. De Miguel, and Otani, C., "Axion-photon multimessenger astronomy with giant flares", Phys. Rev. D. 106, L041302 (2022).
4. J. De Miguel, and Otani, C., "Superdense beaming of axion dark matter in the vicinity of the light cylinder of pulsars", J. Cosmol. Astropart. Phys. 8, 026 (2022).
5. J. De Miguel, C. Franceschet, S. Realini, and P. Fuerte-Rodríguez, "A metamaterial with applications in broad band antennas used in radio astronomy and satellite communications", J. Instrum. 17, 026 (2022).
6. 保科宏道, 山崎祥他, 上野佑也, 小川雄一, 原田昌彦, "テラヘルツ光照射による蛋白質の構造変化と細胞機能への影響", 信学技報, 122, 319, ED2022-71, pp.1-4 (2022).

7. 村山亮介, 美馬寛, 野口卓, 大谷知行, 田井野徹, “超高 Q の薄膜型超伝導共振器に関する研究”, 信学技報, 122, 240, SCE2022-11, pp. 11-14 (2022).
8. Feng, C. H., Otani, C., and Ogawa, Y., “Innovatively identifying naringin and hesperidin by using terahertz spectroscopy and evaluating flavonoids extracts from waste orange peels by coupling with multivariate analysis”, Food Control. 137, 108897, pp.1-6 (2022).

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

1. [総説] 大谷知行, 彌田智一, “藻類由来金属微小コイル分散を用いた GHz・THz 帯電磁波吸収材料”, 月刊機能材料, 出版中 (2023).
2. [総説] 大谷知行, 碓智文, 佐々木芳彰, “周波数掃引連続波レーダーを用いたテラヘルツ波イメージング”, レーザー研究, 50, pp. 468-472 (2022).
3. [書籍] 大谷知行, “第 7 章 安全安心・非破壊検査応用, 第 1 節 総説”, テラヘルツ波産業創成の課題と展望 (監修: 斗内政吉), pp.254-260 (2022).
4. [書籍] 大谷知行, “第 7 章 安全安心・非破壊検査応用, 第 2 節 テラヘルツレーダーと安全安心応用”, テラヘルツ波産業創成の課題と展望 (監修: 斗内政吉), pp.261-271 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. 保科宏道, 山崎祥他, 上野佑也, 小川雄一, 原田昌彦, “テラヘルツ光照射による蛋白質の構造変化と細胞機能への影響”, 電子情報通信学会 電子デバイス研究会 (ED) マイクロ波テラヘルツ光電子技術研究会 (MWPTHz), 仙台市, 12 月 19 日 (2022).
2. Ikari, T., Sasaki, Y., and Otani, C., “Development of Terahertz security body scanner using sub THz FMCW radar imaging”, 3rd International Symposium on Frontiers of Terahertz Technology, Fukui, Japan and online, November 16-18 (2022).
3. 大谷知行, 佐々木芳彰, “見えないものを見る光～テラヘルツ光の魅力と利用可能性～”, 特色ある学校づくりに伴う外部講師活用事業, 気仙沼市, 10 月 28 日 (2022).
4. Otani, C., Ikari, T., and Sasaki, Y., “Development of 300 GHz walk-through body scanner for security-gate applications”, 8th Advanced Photonics and Processes in Optoelectronic Materials and Systems, APROPOS 18 (2022), Vilnius, Lithuania and online, October 5-7 (2022).
5. Otani, C., Ikari, T., and Sasaki, Y., “Development of 300 GHz Walk-through Body Scanner for Security Gate Applications using THz Radar Technology”, 2022 年第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 仙台市, online, 9 月 20-23 日 (2022).
6. 保科宏道, “THz 分光によるポリマー吸着水ダイナミクスの観測”, 第 71 回高分子討論会運営委員会, 札幌市, 9 月 5-7 日 (2022).
7. [Keynote] Ikari, T., Sasaki, Y., and Otani, C., “Development of Terahertz walk-through body scanner using 300 GHz FMCW radar”, 47th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz) 2022, Delft, Netherland and online, August 28 - September 2 (2022).
8. 大谷知行, Feng, C.H., “テラヘルツ波の食品科学への応用可能性と展望”, 令和 4 年度 日本分光学会中部支部北陸ブロック福井地区講演会, 福井市, 8 月 12 日 (2022).
9. [Keynote] Otani, C., and Feng, C.H., “Potential and prospects of terahertz technology for the food applications”, IEEE Photonics Society 2022 Summer Topicals Meeting Series, Cabo San Lucas, Mexico and online, July 11-13 (2022).
10. 大谷知行, 佐々木芳彰, 碓智文, “300 GHz 帯ウォークスルーボディースキャナーの開発”, 学振 182 委員会 第 49 回研究会, 東京, Online, 5 月 13 日 (2022).

(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, “8th RIKEN-NICT Joint Workshop on Terahertz Technology & 23rd East Asia Submillimeter-Wave Receiver Technology Workshop”, Wako and online, December 14-15 (2022).
2. 理研セミナー, Associate Prof. Withawat Withayachumnankul (University of Adelaide), “Substrateless Integrated Platform towards Terahertz Frontends”, Sendai and online, December 7 (2022).
3. International Symposium, “3rd International Symposium on Frontiers of Terahertz Technology (FTT 2022)”, Fukui, Japan, November 16-18 (2022).
4. International Conference, “2022 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2022)”, Delft, Netherland, August 22 - September 2 (2022).
5. International Meeting, “DALI collaboration meeting”, Tenerife, Spain and online, June 27 (2022).
6. セミナー主催, “第 14 回テラヘルツビジネスセミナー (THz-biz2022) ～テラヘルツ分野の最新動向と展望～”, 東京, online, 6 月 15

日 (2022).

1. 展示会出展, “～ JST-ACCEL プログラム～ 300 GHz 帯テラヘルツオックスルーボディースキャナーの研究開発”, 展示会 All About Photonics, 東京, 6月 15-17 日 (2022).

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 美馬寛, 田井野徹, 村山亮介, 野口卓, 大谷知行, “超伝導受動素子、超伝導受動素子の製造方法、およびその受動素子を含む機器”, 特願 2022-129567, 2022 年 8 月 16 日.
2. 保科宏道, 上野佑也, 原田昌彦, 山崎祥他, “DNA 修復促進装置および方法”, 特願 2022-106286, 2022 年 6 月 30 日.
3. 山崎祥他, 保科宏道, 大谷知行, 原田昌彦, 小川雄一, 山口裕資, “細胞質分裂の阻害方法および細胞質分裂の阻害装置”, 特願 2022-021133, 2022 年 2 月 15 日.

(6) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. The MagPi.119, pp. 10-13, “GroundBIRD telescope”, July (2022).
2. 応用物理学会誌, 表紙, “GroundBIRD 望遠鏡断面図”, 1 月 (2022).
3. NHK サラメシ, “旅行気分を満喫! サラメシ海外特派員 SP (スペイン領カナリア諸島他)”, 6 月 (2022).

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. Wang, L., Lin, T., Wang, K., and Hirayama, H., “Optical gain reduction caused by nonrelevant subbands in narrow-period terahertz quantum cascade laser designs”, scientific reports. 12 (2022).
2. Lin, T., Wang, L., Wang, K., Grange, T., Birner, S., Miyoshi, T., and Hirayama, H., “Increasing the output power of a heavily doped terahertz quantum cascade laser by avoiding the subband misalignment”, Journal of Applied Physics. 132, 173101 (2022).
3. Wang, L., Lin, T., Wang, K., and Hirayama, H., “Nonrelevant quantum levels effecting on the current in 2-well terahertz quantum cascade lasers”, scientific reports. 12 (2022).
4. Wang, L., Lin, T., Wang, K., and Hirayama, H., “Nonrelevant quantum levels limited laser dynamic in narrow-period terahertz quantum cascade lasers”, Japanese Journal of Applied Physics. 61, 102003 (2022).
5. Shao, P., Li, S., Li, Z., Zhou, H., Zhang, D., Tao, T., Yan, Y., Xie, Z., Wang, K., Chen, D., Liu, B., Zheng, Y., Zhnag, R., Lin, T., Wang, L., and Hirayama, H., “Step-flow growth of Al droplet free AlN epilayers grown by plasma assisted molecular beam epitaxy”, Journal of Physics D: Applied Physics. 55, 364002 (2022).
6. Lin, T., Wang, L., Wang, K., Grange, T., Birner, S., and Hirayama, H., “Over one watt output power terahertz quantum cascade lasers by using high doping concentration and variable barrier-well height”, physica status solidi rrl. 15year of pss RRL, 2200033 (2022).
7. Wang, L., Lin, T., Wang, K., and Hirayama, H., “Limitation of parasitic absorption in designs of three-state terahertz quantum cascade lasers with direct-phonon injection”, Applied Physics Express. 15, 052002 (2022).

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

1. Wang, L., “High-lying confined subbands in terahertz quantum cascade lasers”, Terahertz, Ultrafast Lasers and Their Medical and Industrial Applications (2022).
2. Wang, L., Lin, T., Grange, T., Wang, K., and Hirayama, H., “Room-temperature optical gain in terahertz quantum cascade lasers based on GaAs/AlGaAs, GaN/AlGaN, ZnO/ZnMgO”, IEEE Xplore, 22505134 (2022).
3. Maeda, N., Kashima, Y., Matsuura, E., Iwaisako, Y., and Hirayama, H., “0.57% EQE and 4.2 mW Power of 232 nm AlGaN Far-DVC LED with Modulation Mg doped p-interlayer and Polarization Doped Transparent p-Contact Layer”, IEEE Xplore, 22505179 (2022).
4. Lin, T., Wang, L., Wang, K., Grange, T., Birner, S., and Hirayama, H., “1.39- Watt Operation of THz Quantum Cascade Laser with Highly Doped Depopulation Layers”, IEEE Xplore, 22505187 (2022).
5. Khan, M. A., Maeda, N., Yun, J., Jo, M., Hirayama, H., and Yamada, Y., “UVB LEDs: refining the design”, Compound Semiconductor, 28, 36-42 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. 平山秀樹, “ サファイア基板上 230nmLED の開発とウイルス不活化応用 ”, 学術振興会 第 10 回研究会「AIN および AlGaIn の結晶成長と深紫外 LED の最前線」, 三重, 1 月 13 日, (2023).
2. Hirayama, H., Wang, L., and Lin, T., “Recent progress of GaAs/AlGaAs THz-QCLs toward room temperature and high-power operation”, The Third International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT2022), Japan, November (2022).
3. Wang, L., Lin, T., Grange, T., and Hirayama, H., “Terahertz quantum cascade lasers based on different semiconductor quantum structures”, 7th European congress on Advanced Nanotechnology and Nanomaterials (NANO 2022), Italy, November (2022).
4. Wang, L., Lin, T., Wang, K., Chen, M., and Hirayama, H., “High-temperature operating terahertz quantum cascade lasers”, International Conference and Expo on Lasers, Optics & Photonics, Spain, November (2022).
5. 平山秀樹, “ 人体無害ウイルス不活化を目指した 230nm 帯高効率 LED の開発 ”, オプトロニクス 光とレーザーの科学技術フェア 2022, 紫外線セミナー「深紫外光源の最新動向」, 東京, 11 月 9 日, (2022).
6. Hirayama, H., “M-plane GaN terahertz quantum cascade lasers”, The International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2022), Germany, October (2022).
7. 平山秀樹, “ コロナ社会に期待される深紫外 LED の進展と展望 ”, 第 177 回ラドテック研究会講演会, on-line, 10 月 27 日, (2022).
8. 平山秀樹, “ 人体無害ウイルス不活化 230nmLED の新たな展望 ”, 第 4 1 回電子材料シンポジウム, 奈良, 10 月 21 日 (2022).
9. 平山秀樹, “ 人体無害ウイルス不活化 Far-UVC LED の新たな展望 ”, ウイルス不活化共創会議, 和光, 9 月 28 日 (2022).
10. 平山秀樹, 前田哲利, 定昌史, 林宗澤, 王利, “AlGaIn 系 far-UVC 発光デバイスおよび GaAs 系 QCL の結晶成長技術”, 2022 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, オンライン開催, 9 月 6-9 日 (2022).
11. Hirayama, H., Jo, M., Maeda, N., Khan, M. A., and Kashima, Y., “Recent progress and future prospects of AlGaIn Deep-UV LED”, RadTech Asia 2022, Japan, August (2022).
12. Hirayama, H., “Development of 230nm Far-UVC LED panel for application to human-safe virus inactivation”, 20th International Conference Laser Optics (ICLO 2022), Russia, June (2022).
13. 【Plenary Talk】Hirayama, H., “Progress of deep-UV LEDs by increasing light-extraction efficiency”, The 5th International Workshop on Ultraviolet Materials and Devices (IWUMD 2022), Korea, May (2022).
14. Lin, T., Wang, L., Wang, K., Grange, T., Birner, S., and Hirayama, H., “Over 1 watt THz QCLs with high doping concentration and variable Al composition in active structure”, CLEO Laser Science to Photonic Application, U.S.A., May (2022).
15. 鹿嶋行雄, “UVC-LED 高効率化の現状と最新応用例 ”, Optics & Photonics International Exhibition (OPIE' 22) 紫外線応用技術セミナー, 横浜, 4 月 20 日 (2022).
16. 平山秀樹, “ コロナ社会に期待される深紫外線 ”, Optics & Photonics International Exhibition (OPIE' 22) 紫外線応用技術セミナー, 横浜, 4 月 20 日 (2022).

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

1. RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop, RIKEN Wako Campus, December 14-15 (2022).

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 平山秀樹, 鹿嶋行雄, 松浦恵里子, 篠原秀敏, 岩井武, 長野丞益, 上村隆一郎, 長田大和, 祝迫恭, 大神裕之, 毛利健吾, “ 深紫外 LED ”, 2022-169829, 2022 年 10 月 24 日 .
2. 平山秀樹, Yun Joosun, Lin Tsung-Tse, “ 量子カスケードレーザー素子 ”, JP2022/039093, 2022 年 10 月 20 日 .
3. 前田哲利, 平山秀樹, Khan Muhammad Ajmal, 祝迫恭, 大神裕之, 毛利健吾, “ 紫外発光素子およびそれを備える電気機器 ”, 2022-121562, 2022 年 7 月 29 日 .
4. 定昌史, 平山秀樹, “ 紫外発光ダイオードおよびそれを備える電気機器 ”, JP2022/027508, 2022 年 7 月 13 日 .
5. 平山秀樹, Wang Li, “ 酸化亜鉛系量子カスケードレーザー素子 ”, 2022-106750, 2022 年 7 月 1 日 .
6. Wang Li, 平山秀樹, Lin Tsung-Tse, “ 量子カスケードレーザー素子 ”, PTC/JP2022/022136, 2022 年 5 月 31 日 .

(6) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. [出展] CEATEC 2022, “ 1.3W 高出力 THz 量子カスケードレーザーを実現 ”, 2022 年 10 月 18-21 日 .

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

1. Nozawa, S., Saito, N., Kawahara, T., Wada, S., Tsuda, T. T., Maeda, S., Takahashi, T., Fujiwara, H., Narayanan, V. L., Kawabata, T., and Johnsen, M. G., "A statistical study of convective and dynamic instabilities in the polar upper mesosphere above Tromsø", *Earth, Planets and Space* volume 75, Article number: 22 (2023).
2. Zhang, Y., Xue, Y., Ogawa, T., Wada, S., and Wang, J.Y., "3D Printed Alginate Hydrogels with Stiffness-Gradient Structure in a Carbomer Supporting Bath by Controlled Ca²⁺ Diffusion *ACS Appl. Eng. Mater.* 2023, 1, 2, 802–812, (2023).
3. Battisti, M., Belov, A., Bertaina, M.E., Bisconti, F., Blin, S., Eser, J., Filippatos, G., Klimov, P., Manfrin, M., Mignone, M., Miyamoto, H., Parizot, E., Piotrowski, L.W., Prévôt, G., Mormile, E. S., Sarazin, F., Szabelsk, J., Wiencke, L., on behalf of the JEM-EUSO Collaboration, "EUSO-SPB2 Fluorescence Telescope trigger test within the EUSO@TurLab Project", *Nucl.Instrum.Meth.A* 1045, 167611 (2023).
4. Mao, Z., Fukuma, Y., Tsukada, H., and Wada, S., "Risk prediction of chronic diseases with a two-stage semi-supervised clustering method", *Preventive Medicine Reports*, Volume 32, 102129 (2023).
5. Muneem, A., Yoshida, J., Ekawa, H., Hino, M., Hirota, K., Ichikawa, G., Kasagi, A., Kitaguchi, M., Kodaira, S., Mishima, K., Nabi, J.U., Nakagawa, M., Sakashita, M., Saito, N., Saito, T. and R., Wada, S., and Yasuda, N., "Study on the reusability of fluorescent nuclear track detectors using optical bleaching", *Radiation Measurements*, Volume 158, 106863 (2022).
6. Yumoto, M., Miyata, K., Kawata, Y., and Wada, S., "Mid-infrared electronic wavelength tuning through intracavity difference-frequency mixing in Cr:ZnSe laser", *Scientific Reports* volume 12, Article number: 16576 (2022).
7. Jia, C., Zhang, Y., Wang, Y., Gao, J., Raza, A., Ogawa, T., Wada, S., and Wang, J.Y., "Positively charged and neutral drug-loaded liposomes as the aerosolized formulations for the efficacy assessment of tumor metastases to lungs", *Journal of Drug Delivery Science and Technology* 80(3):104081, (2022).
8. Tsuno, K., Wada, S., Ogawa, T., Saito, Norihito, Fukushima, Tadanori, Ebisuzaki, T., Nakamura, Y., and Sasoh, A., "Laser ablation induced impulse study for removal of space debris mission using small satellite", *Applied Physics A* volume 128, Article number: 932 (2022).
9. Matsuura, R., Lo, C.W., Ogawa, T., Nakagawa, M., Takei, M., Matsumoto, Y., Wada, S., Aida, Y., "Comparison of the inactivation capacity of various UV wavelengths on SARS-CoV-2", *Biochemistry and biophysics reports*, December 2022, 2022-12-00, 20221201, 20221107 (2022).
10. Miyata, K., Yumoto, M., Kawata, Y., Imai, S., and Wada, S., "Parametric downconversion via vibronic transition", *Optics Letters* Vol. 47, Issue 14, pp. 3383-3386 (2022).
11. Miyata, K., Kato, K., Wada, S., and Petrov, V., "Thermo-optic dispersion properties of CdSe for parametric nonlinear interactions", *Optical Materials Express* Vol. 12, Issue 3, pp. 963-969 (2022).
12. Koike, K., Nare, M., Fukushima, M., Bae, H., HA, J. S., Fujii, K., WADA, S., "Effects of Ag Nanoparticle Coated Metal Electrodes on Electrochemical CO₂ Reduction in Aqueous KHCO₃", *Electrochemistry* 2022 Volume 90 Issue 3 Pages 037009 (2022).
13. Yumoto, M., Miyata, K., Kawata, Y., and Wada, S., "Mid-infrared electronic wavelength tuning through intracavity difference-frequency mixing in Cr:ZnSe lasers", *Scientific Reports* volume 12, Article number: 16576 (2022).
14. Yumoto, M., Kawata, Y., and Wada, S., "Mid-infrared-scanning cavity ring-down CH₂F₂ detection using electronically tuned Cr:ZnSe laser", *Scientific Reports* volume 12, Article number: 7879 (2022).
15. Miyata, K., Yumoto, M., Kawata, Y., Imai, S., and Wada, S., "Parametric downconversion via vibronic transition" *Optics Letters*. 2022. 47. 14. 3383-3386 Preprint, (2022).
16. Miyamoto, H., Kawachi, N., Kurotani, A., Moriya, S., Suda, W., Suzuki, K., Matsuura, M., Tsuji, N., Nakaguma, T., Ishii, C., Tsuboi, A., Shindo, C., Kato, T., Udagawa, M., Satoh, T., Wada, S., Masuya, H., Miyamoto, H., Ohno, H., Kikuchi, J., "Computational estimation of sediment symbiotic bacterial structures of seagrasses overgrowing downstream of onshore aquaculture", *Environmental Research*, Vol.219, 115130 (2023).

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

1. 和田智之, "宇宙開発の新展開", *OPTRONICS*, 2022, 7, N0.487, (2022).
2. 小川貴代, 津野克彦, 福島忠徳, 戎崎俊一, 和田智之, 中村友祐, 佐宗章弘, "これからの宇宙環境とデブリ除去技術", *OPTRONICS*, 2022, 7, N0.487, (2022).
3. 江尻省, 中村卓司, 西山尚典, 津田卓雄, 津野克彦, 阿保真, 川原琢也, 小川貴代, 和田智之, "宇宙開発の新展開", *OPTRONICS*, 2022,

7, N0.487, (2022).

4. 和田智之, 野田進, 大高一雄, 波多腰玄一, 迫田和彰, 鯉沼秀臣, “フォトニック 結晶: 研究の系譜と新しい半導体レーザーの進化”, 科学, 22/05, p.411-422, (2022).
5. 半田敬信, 松山剛, 藤井克司, 和田智之, “分散型水素エネルギーシステムの展望とその要素技術の開発”, スマートグリッド, 2022, 7, p.9-13 (2022).
6. 和田智之, 小川貴代, 斎藤徳人, “アグリバイオ”, Jan. 2022, vol.6, No.1, p33-36, (2022).
7. 村上武晴, 斎藤徳人, 小町祐一, 坂下亨男, 和田智之, “光技術を用いたインフラ計測の研究 - インフラ計測におけるライダー技術の利用”. 計測技術, 2022, 4, 657, vol.50, No.5, p1-5, (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. S. Wada, “Inactivation of coronavirus (SARS-CoV-2) by deep ultraviolet irradiation”, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022, Online, April 2022. (keynote)
2. S. Wada, “Removal of Sparce debris with Laser Induced Ablation”, COLA 2021/2022 16th International Conference on Laser Ablation, Matsue, Japan&online, April 2022. (invited)
3. S. Wada, “レーザーアブレーションによるデブリ衛星の位置制御”, 98th Japan Laser Processing Society Conference, Okayama, Japan, January 2023. (Plenary)
4. M.Yumoto, Saito, N, and Wada, S, “Cr²⁺ 添加カルコゲン化物を用いた中赤外レーザー”, The 41st Annual Meeting of The Laser Society of Japan, January 2021 (Invited)
5. 和田智之, “光技術を利用したスマート農業”, OPTICS & PHOTONICS International Exhibition OPIE'22 レーザー基礎&応用技術セミナー, April 2022 (Invited)

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

1. ウイルス不活化共創会議、“成果報告会”, 和光, 9月28日 (2022)

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 和田智之, 斎藤徳人, 松山知樹, 坂下亨男, 他, “人工気象装置及び人工気象システム”, 2022-006991, 2022年1月20日.
2. 湯本正樹, 川田靖, 和田智之, “分光システムおよび分光方法”, 2022-08235, 2022年1月21日.
3. 和田智之, 小川貴代, 他, “無人飛行体を用いた光照射システム”, 2022-030993, 2022年3月1日.
4. 和田智之, 小川貴代, 他, “無人飛行体を用いた光照射システム”, 2022-030986, 2022年3月1日.
5. 和田智之, 小川貴代, 他, “飛沫感染防止のための衝立”, 2022-03173, 2022年3月2日.
6. 和田智之, 神成淳司, 前田浩希, 坂本達也, “感染リスク推定方法及び感染リスク推定装置”, JP2022-001308, 2022年1月17日.
7. 和田智之, 小川貴代, 他, “レーザー増幅媒体およびレーザー増幅媒体の製造方法”, JP2022-005808, 2022年2月15日.
8. 丸山真幸, 加瀬久, 斎藤徳人, 和田智之, “光音響顕微鏡及び光音響計測方法”, 2022-154072, 2022年2月15日.
9. 湯本正樹, 宮田憲太郎, 川田靖, 他, “レーザー発振器およびレーザー発振方法”, 2022-089698, 2022年6月1日.
10. 和田智之, 種石慶, 他, “疾病リスク評価方法、疾病リスク評価システム及び健康情報処理装置”, JP2022/021744, 2022年5月27日.
11. 藤井克司, 小池佳代, 和田智之, 他, “カソード電極、カソード電極と基材との複合体及びカソード電極と基材との複合体の製造方法”, US17/815149, 2022年7月26日.
12. 和田智之, 他, “建屋内構造物認識システム及び建屋内構造物認識方法”, JP2022/033305, 2022年9月5日.
13. 和田智之, 小川貴代, 竹谷皓規, “成分分析装置および成分分析方法”, JP2022/030901, 2022年8月15日.
14. 津野克彦, 藤井克司, 小池佳代, 和田智之, “直流バス制御システム”, JP2022/045490, 2022年12月9日.
15. 津野克彦, 藤井克司, 小池佳代, 和田智之, “直流バス制御システム”, JP2022/036033, 2022年9月27日.
16. 和田智之, 道川隆士, 佐々高史, 国本幸紀, 吉村倅平, “打撃点分析システム、打撃点分析方法、及びプログラム”, 2022-140194, 2022年9月2日.
17. 和田智之, 佐々高史, 道川隆士, 国本幸紀, 重田将宏, 吉村倅平, “異常音判定方法、異常音判定プログラム及び異常音判定システム”, JP2022/035838, 2022年9月27日.

(6) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. 理化学研究所 WebPage, 広報活動、お知らせ 2022, “秋篠宮皇嗣殿下が AOI-PARC をご視察”. 2022年7月28日.
2. RIKEN NEWS, “光を操り「安心安全な空間づくり」”, Winter 2022, No.480.

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. Iwaguchi S, Nishizawa A, Chen Y, Kawasaki Y, Ishikawa T, Kitaguchi M, Yamagata Y, Wu B, Shimizu R, Umemura K, Tsuji K, Shimizu H, Michimura Y, Kawamura S., "Displacement-noise-free interferometric gravitational-wave detector using unidirectional neutrons with four speeds", *Physics Letters A* 458, 128581 (2023).
2. Aoki H, Yuki M, Shimizu M, Hongoh Y, Ohkuma M, Yamagata Y., "Agarose gel microcapsules enable easy-to-prepare, picolitre-scale, single-cell genomics, yielding high-coverage genome sequences", *Sci. Rep.* 12, 17014–17026 (2022).

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

1. VCAD システム研究会 光学素子分科会 第 11 回 (2022/03/08) リモート開催, 第 12 回 (2022/12/15) Coredo 日本橋 (ハイブリッド)

(3) 特許出願 / Patent Applications

1. 海老塚昇、山形豊 「ガラス成形用金型およびガラス成形物の成型方法」 JP2022-024346 (2022/06/17)

(4) 特筆すべき事項・トピックス (雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. 理化学研究所 プレスリリース 「1 細胞ゲノム解析用マイクロカプセル - 簡便で高精度な、微生物のゲノム DNA 解析 -」 2022 年 10 月 18 日
2. 日刊工業新聞 2022 年 10 月 19 日号 「微生物 1 細胞ゲノム解析 理研など要素技術開発」
3. ニュースイッチ「微生物の 1 細胞ゲノム解析、理研が要素技術を開発した意義」 2022 年 10 月 24 日
4. TOYO Technical Magazine 「超精密加工・バイオ工学がゲノム研究を助ける—微生物 1 細胞ゲノム解析用「AGM™ 試薬キット」の開発について」 2022 年 12 月号

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. Teshigawara, M., Ikeda, Y., Yan, M., Muramatsu, K., Sutani, K., Fukuzumi, M., Noda, Y., Koizumi, S., Saruta, K., and Otake, Y., "New Material Exploration to Enhance Neutron Intensity below Cold Neutrons: Nanosized Graphene Flower Aggregation", *Nanomaterials* 2023. 13(1), 76 (2023).
2. Watanabe, A., Sekiguchi, K., Inoc, T., Inoue, M., Nakai, S., Otake, Y., Taketani, A., and Wakabayashi, Y., "Absolute He polarimetry for a double-chambered cell using transmission of thermal neutrons", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.* 1043, 167486 (2022).
3. Kawamura, H., Takanashi, T., Ohe, A., and Nemoto, M., "Development of optical computed tomography system for polymer gel dosimetry", *Phys. Med.* 92.S239(22), 00516-6 (2022).
4. Takano, H., Wu, Y., Samoto, T., Taketani, A., Takanashi, T., Iwamoto, C., Otake, Y., and Momose, A., "Demonstration of Neutron Phase Imaging Based on Talbot-Lau Interferometer at Compact Neutron Source RANS", *Quantum Beam Sci.* 6(2), 22, (2022).
5. Ikeda, S., Kobayashi, T., Otake, Y., Matsui, R., Okamura, M., and Hayashizaki, N., "Fabrication and RF test of the 500 MHz-RFQ linear accelerator for a transportable neutron source RANS-III", *J. Neutron Res.* 24, no. 3-4, pp. 249-259, (2022).
6. Ikeda, Y., Teshigawara, M., Yan, M., Iwamoto, C., Fujita, K., Abe, Y., Wakabayashi, Y., Taketani, A., Takanashi, T., Harada, M.b., Hashiguchi, T., Yamagata, Y., Matsuzaki, Y., Ma, Baolong., Takamura, M., Mizuta, M., Goto, M., Ikeda, S., Kobayashi, T., and Otake, Y., "Experimental validation of cold neutron source performance with mesitylene moderator installed at RANS", *J. Neutron Res.* 24, no. 3-4, pp. 373-383, (2022).
7. Taketani, A., Takanashi, T., Iwamoto, C., Kobayashi, T., and Takamura, M., "Sample-motion-synchronized neutron stroboscope at RANS", *J. Neutron Res.* 24, no. 3-4, pp. 421-426, (2022).
8. Sugihara, K., Ikeda, Y., Kobayashi, T., Fujita, K., Ikeda, S., Shigyo, N., and Otake, Y., "Radiation field characterization with emphasis on the collimator configuration at the compact neutron source RANS-II facility", *J. Nucl. Sci. Tech.* 60, Issue 2, pp.110-123 (2023).
9. Mori, T., Tong, K., Yamamoto, S., Chauhan, S., Kobayashi, T., Isaka, N., Auchterlonie, G., Wepf, R., Suzuki, A., Ito, S., and Ye, F., "Active Pt-Nanocoated Layer with Pt-O-Ce Bonds on a CeOx Nanowire Cathode Formed by Electron Beam Irradiation", *ACS Omega.* 7, 29, pp.

25822–25836 (2022).

10. Lee, S. Ran., Kim, A., Choi, S., Ikeda, T., Kobayashi, T., Isoshima, T., Cho, S., Kim, Y., "Amorphous to Polycrystalline Phase Transition in La2O3 Films Grown on a Silicon Substrate Forming Si-Doped La2O3 Films", *PHYS STATUS SOLIDI A*. 219, Issue 23, 2200318 (2022).
11. Okuno, Y., Matsui, T., Kobayashi, T., Imaizumi, M., Jimba, Y., Hao, Y., Kondo, S., Kaneko, Y., and Kasada, R., "Hybrid Organic-Inorganic Perovskite Semiconductor-Based High-Flux Neutron Detector with BN Converter", *ACS Appl. Electron. Mater.* 4, 7, pp. 3411–3420 (2022).
12. 大竹淑恵, 水田真紀, "中性子技術を用いたコンクリートの評価技術の最前線③小型中性子源の開発と維持管理への活用最前線", *コンクリート工学*, 6, No.4, pp.346-350,(2022).
13. 千頭啓司, 鈴木浩明, 水田真紀, 上原元樹, "表面含浸材を施工したモルタルのスケーリング抑制効果", *コンクリート工学年次論文集*, 44, No.1, pp.562-567 (2022).
14. 久保善司, 小黒拓郎, 水田真紀, 大竹淑恵, "水分浸透の中性子イメージング観察によるシリカフェームの緻密化に関する基礎的検討", *コンクリート工学年次論文集*, 44, No.1, pp.406-411, (2022).
15. 久保善司, 小黒拓郎, 水田真紀, 大竹淑恵, "中性子イメージングによるコンクリート中の水分浸透現象に関する一考察", *日本材料学会, 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*, 22, pp.119-122 (2022).
16. Suzuki, H., Uehara, M., Mizuta M., and Otake, Y., "Moisture Behavior in Concrete Repaired by Patching Observed with Neutron Imaging, _206", *Quarterly Report of RTRI*. 63, No.3, pp.206-211 (2022).
17. 藤田訓裕, 岩本ちひろ, 高梨宇宙, 大竹淑恵, "RI 中性子源を用いた床版内部劣化の 2 次元イメージングの実証試験", *道路橋床版シンポジウム論文報告集*, 12, pp. 135-140 (2022).
18. 岩本ちひろ, "小型中性子源を用いた中性子回折高度化の多様性と魅力", *日本鉄鋼協会会報ふえらむ*, 27, pp.31-38 (2022).
19. Iwamoto, C., Takamura, M., Ueno, K., Kataoka, M., Kurihara, R., Xu, P.G., and Otake, Y., "Improvement of Neutron Diffraction at Compact Accelerator-driven Neutron Source RANS Using Peak Profile Deconvolution and Delayed Neutron Reduction for Stress Measurements", *ISIJ Int.* 62, No. 5, pp. 1013–1022 (2022).
20. 若林泰生, Yan Mingfei, 高村正人, 池田裕二郎, 大竹淑恵, "コンクリート内塩分の非破壊検査のための中性子塩分計 RANS- μ の開発", *検査技術* 27, (5), pp.16-22 (2022).
21. Ikeda, Y., Teshigawara, M., Yan, M. F., Iwamoto, C., Fujita, K., Abe, Y., Wakabayashi, Y., Taketani, A., Takanashi, T., Harada, M., Hashiguchi, T., Yamagata, Y., Matsuzaki, Y., Ma, M. B. L., Takamura, M., Mizuta, M., Goto, M., Ikeda, S., Kobayashi, T., and Otake, Y., "Experimental validation of cold neutron source performance with mesitylene moderator installed at RANS", *J. Neutron Res.* 24, no. 3-4, pp. 373-383 (2022).
22. Yan, M., Ma, B., Hashiguchi, T., Taketani, A., Iwamoto, C., Wakabayashi, Y., Fujita, K., Takanashi, T., Takamura, M., Kobayashi, T., Ikeda, S., Mizuta, M., Ikeda, Y., and Otake, Y., "Investigation of Dose Rate Distribution in an Experimental Hall of a RIKEN Accelerator-Driven Compact Neutron Source Based on the $^9\text{Be}(p, n)$ Reaction With 7 MeV Proton Injection", *IEEE. Trans. Nucl. Sci.* 69, Issue: 2, pp.118 – 125 (2022).
23. Yan, M., Wakabayashi, Y., Takamura, M., Ikeda, Y., and Otake, Y., "Optimization study of chlorine detection sensitivity in concrete based on prompt gamma analysis using ^{252}Cf neutron source", *Appl Radiat Isot.* 188, 110393 (2022).
24. Wakabayashi, Y., Yan, M., Takamura, M., Ooishi, R., Watase, H., Ikeda, Y. and Otake, Y., "Development of neutron salt-meter RANS- μ for non-destructive inspection of concrete structure at on-site use" *J. Neutron Res.* 24, no. 3-4, pp. 411-419 (2022).
25. Koshikawa, N., Omata, A., Masubuchi, M., Kataoka, J., Kadonaga, Y., Tokoi, K., Nakagawa, S., Imada, A., Toyoshima, A., Matsunaga, K., Kato, H., Wakabayashi, Y., Kobayashi, T., Takamiya, K., and Ueda, M., "
26. "Activation imaging of drugs with hybrid Compton camera: A proof-of-concept study", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* A.1045, 167599 (2022).
27. Koshikawa, N., Omata, A., Masubuchi, M., Okazaki, Y., Kataoka, J., Matsunaga, K., Kato, H., Toyoshima, A., Wakabayashi, Y., and Kobayashi, T., "Activation imaging of drugs with hybrid Compton camera: A proof-of-concept study", *J. Appl. Phys.* 121, 193701 (2022).
28. Fujiwara, T., Miyoshi, H., Mitsuya, Y., Yamada, L. N., Wakabayashi, Y., Otake, Y., Hino, M., Kino, K., Tanaka, M., Oshima, N., and Takahashi, H., "Neutron Flat-Panel Detector using In-Ga-1 Zn-O Thin-Film Transistor", *Rev. Sci. Instrum.* 93, pp.013304-01-08 (2022).

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

1. 藤田訓裕, "中性子によるコンクリート構造物の非破壊イメージングおよび定量評価法", *Isotope News*, [No.783] 2022年10月号 p.11-15 (2022).

2. 大竹淑恵、水田真紀, “小型中性子源の開発と維持管理への活用最前線”, コンクリート工学, Vol.60, No.4, p.346-350 (2022).
3. 若林泰生、Yan Ming fei、高村正人、大竹淑恵、大石龍太郎、渡瀬博, “コンクリート内塩分の非破壊検査のための中性子塩分計 RANS- μ の開発”, 月刊検査技術, Vol.27, No.5, p.16-22 (2022).
4. 高村正人, “プレス成形シミュレーションと残留応力”, 素形材, Vol.63, No.2, p.14-20 (2022).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. Hatsuda, M., Taketani, A., Takanashi, T., Wakabayashi, Y., Otake, Y., Kawasaki, H., Shigenaga, A., Ichinose, A., Kamata, Y., Kimura, H., Koganei, Y., Komoriya, S., Sakai, M., Hamano, Y., Yoshida, M., Ikeda, K., and Yamakura, F., “Effects of neutron radiation on food in deep space environments”, AMACEE2022/ ATSA2022/ LEA2022/ACLIBS Joint International Conference, Online, December(2022).
2. Takanashi, T., and Otake, Y., “Compact neutron systems RANS and novel mathematical algorithms to expand the possibilities of neutron CT”, AMACEE2022/ATSA2022/LEA2022 Joint International Conference-WEB, Tokushima Japan, Online, December (2022).
3. Takanashi, T., “The Power of Mathematics in Biological Research (3D image by tomography)”, Riken-Unistra Networking seminar [A potential interdisciplinary project between mathematics and immunology] IBMC-Salle des séminaires, Mercredi 2 (Strasbourg France), November (2022).
4. Otake, Y., “RIKEN Compact Neutron Systems and RANS Project and their capabilities. -RANS Upgrade and Achievements for a Preventive Maintenance”, TWNSS annual meeting 2022, Taiwan, November (2022). Keynote
5. Otake, Y., “RIKEN Accelerator-driven compact neutron systems and RANS project -Towards stress measurement and preventive maintenance of infrastructures-”, International Conference on Neutron scattering 2022, Buenos Aires, Argentine Republic, August(2022).
6. Otake, Y., “RIKEN Accelerator-Driven Compact Neutron Systems and their Capabilities for Material Science and Engineering”, PHYSICS AND ITS APPLICATIONS San Francisco, CA, Hybrid, July (2022).
7. Otake, Y., “RIKEN Accelerator-Driven Compact Neutron Systems, RANS Project and Their Capabilities -”, 13th International Particle Accelerator Conference IPAC22, Bangkok, online, June (2022). INVITED
8. Otake, Y., “RIKEN Accelerator-Driven Compact Neutron Systems and RANS Project-RANS Upgrade and Achievements for a Preventive Maintenance”, 4th Global Webinar on Materials Science and Engineering (GWMSE-2022), June (2022). Organizing Committee Member and Plenary Speaker
9. Otake, Y., “RIKEN Accelerator-driven compact neutron systems and RANS project”, International Conference on Accelerators for Research and Sustainable Development: From Good Practices Towards Socioeconomic Impact (AccConf'22), online+ Vienna, Austria, May (2022). plenary overview talk
10. Otake, Y., “RIKEN Accelerator-driven compact neutron systems, RANS project and their capabilities”, UCANS9 (9th Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources), Wako(online), March (2022).
11. 高梨宇宙, “小型中性子源による CT イメージング”, 第2回中性子産業利用の研究会, 茨城, 1月11日 (2022).
12. 大竹淑恵, “限りなく軽量な小型中性子源ならびにインフラ非破壊計測技術の開発と普及”, 日本中性子科学会 第22回年会, 幕張, 10月26日 (2022).
13. 大竹淑恵, “理研小型中性子源システム RANS での非破壊計測ならびに最新の応力計測へ向けての開発状況の紹介”, 日本鉄鋼協会, 若手交流フォーラム テーマ: 最先端の非破壊計測技術, オンライン, 9月14日 (2022).
14. 大竹淑恵, “理研小型中性子源 RANS プロジェクトの実績と今後の展開 -普段使いの加速器中性子源の実績-”, 第46回中国地区放射線影響研究会, オンライン, 9月7日 (2022).
15. 高梨宇宙, “チュートリアル -産業利用のためのイメージング- 小型中性子源 RANS のイメージング-CT イメージングの新たな再構築法 2”, 第3回中性子産業利用の研究会 (茨城県中性子利用研究会 令和4年度第1回 iMATERIA 研究会 合同開催), 北大、オンライン, 4月21日 (2022).
16. 大竹淑恵, “チュートリアル -産業利用のためのイメージング- 小型中性子源 RANS のイメージング- RANS プロジェクトの最新状況”, 第3回中性子産業利用の研究会 (茨城県中性子利用研究会 令和4年度第1回 iMATERIA 研究会 合同開催), 北大、オンライン, 4月21日 (2022).

(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, “2022年度 RANS シンポジウム「ついに始まった中性子現場利用 - 中性子のものづくり・インフラ産業での利用とサイエンスへの挑戦 -」”, 和光, 11月30日 (2022).
2. Work Shop, “6th Joint Workshop of RIKEN RAP and JCNS”, RIKEN, Wako, Saitama, Japan, (online), 12月2日 (2022).

3. International Symposium "9th Union for Compact Accelerator-Driven Neutron Source (UCANS9)", RIKEN, Wako, Saitama, Japan, (online),3月28-31日(2022).
4. 第55回理研セミナー 中性子シリーズ「X線・中性子回折の基礎、装置開発と応用 ―日本の中性子科学の変遷―」,野田幸男,名誉教授 東北大学,和光市,ハイブリッド,20230323
5. 4. 第54回理研セミナー 中性子シリーズ「IAEA activity」,Danas Ridikas,IAEA,和光市,ハイブリッド,20230130
6. 5. 第53回理研セミナー 中性子シリーズ「Neutron scattering in Sweden: A look into liquid flow」Max_Wolff, Professor in Uppsala University, Sweden, 和光市,ハイブリッド 202201107
7. 6. 第52回理研セミナー 中性子シリーズ放射光利用による「応力」を中心とした材料強度評価,菖蒲敬久,教授,国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 中性子材料解析研究ディビジョン,階層構造研究グループ グループリーダー,和光市,ハイブリッド,20220711

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 岩本ちひろ,“飛跡検出による速中性子エネルギー分布検出手法”,特願 2022-069011, 2022年4月19日.
2. 池田裕二郎,“炭素構造体”,特願 2022-161968, 2022年10月6日.(インキュベーションアライアンス、JAEAとのグラフェンの共願。)

(6) 特筆すべき事項・トピックス(雑誌表紙などの掲載記事) / Topics

1. プレスリリース、早稲田大学,大阪大学,理化学研究所,京都大学,岡山大学,科学技術振興機構 片岡淳,豊嶋厚史,加藤弘樹,角永悠一郎,松永恵子,小林知洋,若林泰生,高宮幸一,上田真史,“様々な元素の分布を可視化する「放射化イメージング」に成功―これまで難しかった薬物動態の可視化など、診断・治療への応用に期待―”,2022年11月9日
2. プレスリリース、岩本ちひろ、高村正人、大竹淑恵,“小型中性子源で鋼材内部の応力の測定が可能に―現場での応力測定実現へ向けた技術開発―”,2022年5月17日

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

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

1. Kobayashi T, Ohnishi T, Osawa T, Pratt A, Tear S, Shimoda S, Baba H, Laitinen M, Sajavaara T. "In - Operando Lithium - Ion Transport Tracking in an All - Solid - State Battery", Small 18, e2204455 (2022).

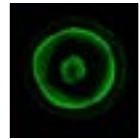
2022/4/26 生命光学技術研究チーム / Biotechnological Optics Research Team

色褪せない蛍光タンパク質

—細胞微細構造やウイルスの定量的観察を可能にする技術—

A highly photostable and bright green fluorescent protein

Masahiko Hirano, Ryoko Ando, Satoshi Shimozono, Mayu Sugiyama, Noriyo Takeda, Hiroshi Kurokawa, Ryusaku Deguchi, Kazuki Endo, Kei Haga, Reiko Takai-Todaka, Shunsuke Inaura, Yuta Matsumura, Hiroshi Hama, Yasushi Okada, Takahiro Fujiwara, Takuya Morimoto, Kazuhiko Katayama, Atsushi Miyawaki, "A highly photostable and bright green fluorescent protein", *Nature Biotechnology*, 10.1038/s41587-022-01278-2



2022/5/6 生細胞超解像イメージング研究チーム / Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team

タンパク質の選別輸送の品質管理

—糖脂質（GPI アンカー）のリモデリングによる制御—

Quality-controlled ceramide-based GPI-anchored protein sorting into selective ER exit sites

Sofia Rodriguez-Gallardo, Susana Sabido-Bozo, Atsuko Ikeda, Misako Araki, Kouta Okazaki, Miyako Nakano, Auxiliadora Aguilera-Romero, Alejandro Cortes-Gomez, Sergio Lopez, Miho Waga, Akihiko Nakano, Kazuo Kurokawa, Manuel Muñiz, and Kouichi Funato, "Quality-controlled ceramide-based GPI-anchored protein sorting into selective ER exit sites", *Cell Reports*, DOI: org/10.1016/j.celrep.2022.110768



2022/5/17 中性子ビーム技術開発チーム / Neutron Beam Technology Team

小型中性子源で鋼材内部の応力の測定が可能に

—現場での応力測定実現へ向けた技術開発—

Improvement of Neutron Diffraction at Compact Accelerator-driven Neutron Source RANS Using Peak Profile Deconvolution and Delayed Neutron Reduction for Stress Measurements

Chihiro IWAMOTO, Masato TAKAMURA, Kota UENO, Minami KATAOKA, Ryo KURIHARA, Pingguang XU and Yoshie OTAKE, "Improvement of Neutron Diffraction at Compact Accelerator-driven Neutron Source RANS Using Peak Profile Deconvolution and Delayed Neutron Reduction for Stress Measurements", *ISIJ International*, 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-420



2022/5/20 量子オプトエレクトロニクス研究チーム / Quantum Optoelectronics Research Team

清浄な架橋カーボンナノチューブに量子欠陥を導入

—通信波長帯量子光源の高性能化へ新手法—

Formation of Organic Color Centers in Air-Suspended Carbon Nanotubes Using Vapor-Phase Reaction

Daichi Kozawa, Xiaojian Wu, Akihiro Ishii, Jacob Fortner, Keigo Otsuka, Rong Xiang, Taiki Inoue, Shigeo Maruyama, YuHuang Wang, Yuichiro K. Kato, "Formation of Organic Color Centers in Air-Suspended Carbon Nanotubes Using Vapor-Phase Reaction", *Nature Communications*, 10.1038/s41467-022-30508-z



2022/6/14 テラヘルツ量子素子研究チーム / Terahertz Quantum Device Research Team

テラヘルツレーザーの室温発振を理論実証

—透視検査用光源として実用化に期待—

Limitation of parasitic absorption in designs of three-state terahertz quantum cascade lasers with direct-phonon injection

Li Wang, Tsung-Tse Lin, Thomas Grange, Ke Wang, and Hideki Hirayama, "Limitation of parasitic absorption in designs of three-state terahertz quantum cascade lasers with direct-phonon injection", *Applied Physics Express*, 10.35848/1882-0786/ac4e26



2022/6/22 テラヘルツ量子素子研究チーム / Terahertz Quantum Device Research Team

1.3W 高出力 THz 量子カスケードレーザーを実現

—透視検査用光源として実用化に期待—

Over 1 Watt output power terahertz quantum cascade lasers by using high doping concentration and variable barrier-well height

Tsung-Tse Lin, Li Wang, Ke Wang, Thomas Grange, Stefan Birner, and Hideki Hirayama, "Over 1 Watt output power terahertz quantum cascade lasers by using high doping concentration and variable barrier-well height", *Physica Status Solidi Rapid Research Letters*, 10.1002/pssr.202200033



2022/6/24 画像情報処理チーム / Image Processing Research Team

特発性肺線維症の自動診断 AI の共同開発に成功

A comprehensible machine learning tool to differentially diagnose idiopathic pulmonary fibrosis from other chronic interstitial lung diseases

Taiki Furukawa, Shintaro Oyama, Hideo Yokota, Yasuhiro Kondoh, Kensuke Kataoka, Takeshi Johkoh, Junya Fukuoka, Naozumi Hashimoto, Koji Sakamoto, Yoshimune Shiratori, Yoshinori Hasegawa, "A comprehensible machine learning tool to differentially diagnose idiopathic pulmonary fibrosis from other chronic interstitial lung diseases", *Respirology*, DOI : 10.1111/resp.14310



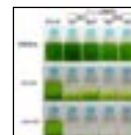
2022/9/9 先端レーザー加工研究チーム / Advanced Laser Processing Research Team

ゲノム編集で遊泳不全ミドリムシの作出に成功

—産業利用における回収効率の向上に期待—

CRISPR/Cas9-mediated generation of non-motile mutants to improve the harvesting efficiency of mass-cultivated *Euglena gracilis*

Marumi Ishikawa, Toshihisa Nomura, Shun Tamaki, Kazunari Ozasa, Tomoko Suzuki, Kiminori Toyooka, Kikue Hirota, Koji Yamada, Kengo Suzuki, and Keiichi Mochida, "CRISPR/Cas9-mediated generation of non-motile mutants to improve the harvesting efficiency of mass-cultivated *Euglena gracilis*", *Plant Biotechnology Journal*, 10.1111/pbi.13904



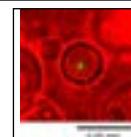
2022/10/18 先端光学素子開発チーム / Ultrahigh Precision Optics Technology Team

1細胞ゲノム解析用マイクロカプセル

—微生物のゲノム DNA 解析を、簡便かつ高精度に—

Agarose gel microcapsules enable easy-to-prepare, picolitre-scale, single-cell genomics, yielding high-coverage genome sequences

Hiroyoshi Aoki, Masahiro Yuki, Michiru Shimizu, Yuichi Hongoh, Moriya Ohkuma, and Yutaka Yamagata, "Agarose gel microcapsules enable easy-to-prepare, picolitre-scale, single-cell genomics, yielding high-coverage genome sequences", *Scientific Reports*, 10.21203/rs.3.rs-147972/v2



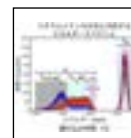
2022/10/25 光子制御技術開発チーム / Photonics Control Technology Team

全固体電池内のリチウムイオンの動きを捉えることに成功

—全固体電池の研究開発を加速—

In-Operando Lithium-Ion Transport Tracking in an All-Solid-State Battery

Takane Kobayashi, Tsuyoshi Ohnishi, Takahito Osawa, Andrew Pratt, Steve Tear, Susumu Shimoda, Hidetada Baba, Mikko Laitinen, Timo Sajavaara, "In-Operando Lithium-Ion Transport Tracking in an All-Solid-State Battery", *Small*, 10.1002/smll.202204455



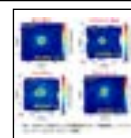
2022/11/9 中性子ビーム技術開発チーム / Neutron Beam Technology Team

様々な元素の分布を可視化する「放射化イメージング」に成功

—これまで難しかった薬物動態の可視化など、診断・治療への応用に期待—

Activation imaging of drugs with hybrid Compton camera: A proof-of-concept study.

N. Koshikawa, A. Omata, M. Masubuchi, Y. Okazaki, J. Kataoka, K. Matsunaga, H. Kato, A. Toyoshima, Y. Wakabayashi, and T. Kobayashi, "Activation imaging of drugs with hybrid Compton camera: A proof-of-concept study", *Applied Physics Letters*, DOI : 10.1063/5.0116570



2022/11/22 量子オプトエレクトロニクス研究チーム / Quantum Optoelectronics Research Team

カーボンナノチューブの近赤外発光の波長制御・高機能化技術を開発

—バイオイメージングや先端光科学技術の開発に期待—

ortho-Substituted Aryldiazonium Design for the Defect Configuration-Controlled Photoluminescent Functionalization of Chiral Single-Walled Carbon Nanotubes

Boda Yu, Sadahito Naka, Haruka Aoki, Koichiro Kato, Daiki Yamashita, Shun Fujii, Yuichiro K. Kato, Tsuyohiko Fujigaya, Tomohiro Shiraki, "ortho-Substituted Aryldiazonium Design for the Defect Configuration-Controlled Photoluminescent Functionalization of Chiral Single-Walled Carbon Nanotubes", *ACS Nano*, DOI : 10.1021/acsnano.2c09897



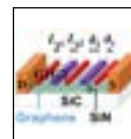
2022/12/15 テラヘルツ光源研究チーム / Tera-Photonics Research Team

新原理グラフェントランジスタによる高速・高感度テラヘルツ波の検出に成功

—次世代 6G & 7G 超高速無線通信の実現に明るい光—

Fast and Sensitive Terahertz Detection with an Epitaxial Graphene Asymmetric Dual-Grating-Gate Field-Effect Transistor Structure

K. Tamura, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T., Suemitsu, T. Otsuji1 and A. Satou, "Fast and Sensitive Terahertz Detection with an Epitaxial Graphene Asymmetric Dual-Grating-Gate Field-Effect Transistor Structure", APL Photonics, vol. 7, pp. 126101-1-126101-10 (2022). DOI: 10.1063/5.0122305



2023/1/11 量子オプトエレクトロニクス研究チーム / Quantum Optoelectronics Research Team

超小型「光周波数のものさし」の精密制御を実証

—精密分光や低雑音マイクロ波発生源への応用へ向けて—

Versatile tuning of Kerr soliton microcombs in crystalline microresonators

Shun Fujii, Koshiro Wada, Ryo Sugano, Hajime Kumazaki, Soma Kogure, Yuichiro K. Kato, and Takasumi Tanabe, "Versatile tuning of Kerr soliton microcombs in crystalline microresonators", Communications Physics, Vol.6, No.1 (2023)



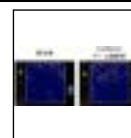
2023/1/30 先端レーザー加工研究チーム / Advanced Laser Processing Research Team

ユーグレナの眼点をつかさどる色素を同定

—微細藻類の光認識機構と色素合成に関する新たな知見—

Zeaxanthin is required for eyespot formation and phototaxis in *Euglena gracilis*

Shun Tamaki, Kazunari Ozasa, Toshihisa Nomura, Marumi Ishikawa, Koji Yamada, Kengo Suzuki, Keiichi Mochida, "Zeaxanthin is required for eyespot formation and phototaxis in *Euglena gracilis*", Plant Physiology, 10.1093/plphys/kiad001



July 20, 2022

秋篠宮皇嗣殿下が AOI-PARC をご視察 Crown Prince Akishino visits AOI-PARC



2022年7月20日、秋篠宮皇嗣殿下が静岡県沼津市の静岡県農業技術産学官連携研究開発センター（AOI-PARC）をご視察されました。AOI-PARCは、静岡県内外の研究機関や企業等が互いの技術力やアイデアを持ち寄り、協創し、農業の生産性革新に取り組むイノベーション拠点であり、理化学研究所（理研）光量子工学研究センターも同拠点で研究開発に取り組んでいます。この度のご視察では、まず、小安重夫理事がAOI-PARCにおける最新の研究成果を紹介しました。その後、同センター光量子制御技術開発チームの和田智之チームリーダーの案内で「次世代栽培システム」装置をご覧いただきながら、研究内容の説明が行われました。



On July 20, His Imperial Highness Crown Prince Akishino visited AOI-PARC in Shizuoka.

The Agri Open Innovation Practical and Applied Research Center (AOI-PARC) is an innovation center where research institutes and companies from Shizuoka and other prefectures bring their technological capabilities and ideas to work together to create innovations in agricultural productivity. The RIKEN Center for Advanced Photonics (RAP) contributes to AOI-PARC by developing practical applications. During the visit, RIKEN Executive Director Shigeo Koyasu first introduced the latest research results from AOI-

PARC, and following that, Team Leader Satoshi Wada of the Photonics Control Technology Team at RAP showed the visitors the “Next Generation Cultivation System” and explained the details of his group’s research.

August 6, 2022

理化学研究所仙台地区一般公開「テラヘルツ研究を知ろう!!」 “Discover Terahertz Electromagnetic Waves!”

理化学研究所仙台地区で実施しているテラヘルツ光研究を一般に公開することで、来場者に研究の内容や意義等について一層の理解を促し、一般公開を通じて仙台市民の科学技術への理解増進に寄与することを趣旨及び目的としている。今年は新型コロナウイルス感染防止を考慮し、オンラインによる開催となった。オンラインビデオ会議ツール（Zoom）を使用し「テラヘルツ研究を知ろう！」をテーマに、テラヘルツ光の説明や、各チームの紹介、「不思議な偏光箱を作ろう！」と題したオンラインでの工作教室を行った。当日は55名の参加者があり、質問も沢山出て大変盛り上がった。参加者の皆様に我々がやっている研究を身近に感じていただくことができた。



The purpose of the open-house event is to promote understanding of science and technology among Sendai citizens by opening the terahertz-wave research at RIKEN Sendai and to encourage visitors to further their understanding of the content and significance of the research. The event of this year was held online using the online video conferencing tool (Zoom) in order to prevent the infection of the new coronavirus. The event was themed “Discover Terahertz Electromagnetic Waves!” including what’s terahertz, team activities, and an online craft class entitled “Let’s Make a Mysterious Polarized Light Box!”. The event was attended by 55 participants who made questions and discussions. We succeeded in making the participants feel familiar with our research.

December 14-15, 2022

RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop in FY2022

RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop in FY2022

2022年度 理研ー NICT ー東アジア受信機合同ワークショップが、2022年12月14～15日に理研鈴木梅太郎ホールとオンラインのハイブリッド方式にて、理研光量子工学研究センター、情報通信研究機構（NICT）、および東アジア受信機コミュニティの共催で開催されました。

今回の合同ワークショップは、2018年以来およそ5年ぶりに対面を含めた開催となり、計118名の参加者（内、現地57名、オンライン61名）が集まりました。

5名の招待講演者と若手研究者・学生による発表を中心に、テラヘルツ波およびミリ波技術に関して活発な議論が行われました。



The FY2022 RIKEN-NICT-East Asia Receiver Joint Workshop was held on December 14-15, 2022 as Hybrid meeting (Suzuki Umetaro Hall, RIKEN Wako Campus & Online).

This joint workshop including face-to-face meetings was held for the first time in about five years since 2018, and a total number of participants were 118, including 57 on-site and 61 online.

Presentations were made by five invited speakers and young researchers and students of RAP, NICT and East asia Receiver community, and active discussions including poster sessions were held.

December 20-21, 2022

RAP シンポジウム：第10回「光量子工学研究」ーポストコロナ時代の新しい光科学ー

The 10th RAP symposium : "Optical Quantum Engineering Research - A New Photonics Science for the Post-Corona Era



理研シンポジウム：第10回「光量子工学研究」ーポストコロナ時代の新しい光科学ー

物質・材料研究機構の出村雅彦部門長、大阪大学の永井健治教授、電気通信大学の美濃島薫教授、京都大学の野田進教授、理研開拓研究本部の渡邊力也主任研究員、理研放射光科学研究センターの香村芳樹チームリーダーによる招待講演のほか、RAPメンバーによる口頭発表18件、および42件のポスター発表が行われた。3年ぶりの対面での開催で、オンライン参加を含め190名の参加者による活発な議論が繰り広げられました。



The 10th RAP Symposium entitled "The New Optical Science in Post-Corona Era" was held on-site and virtually on December 20-21, 2022.

The symposium consisted of six invited talks by Dr. Masahiko Demura, National Institute for Materials Science (NIMS), Prof. Takeharu Nagai, Osaka University, Prof. Kaoru Minoshima, The University of Electro-Communications (UEC), Prof. Susumu Noda, Kyoto University, Dr. Rikiya Watanabe, CPR, RIKEN, Dr. Yoshiki Kohmura, RIKEN SPring-8 Center, and 18 oral presentations and 42 poster presentations were given by RAP members. It was highly successful with 190 participants.

第6回 RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar 6th RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar

2023年2月8-9日に、「第6回 RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar」が理研光量子工学研究センターと量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所の共催でハイブリッド開催されました。

RAP・量研関西研より各3名、計6名のメンバーによる発表が行われ、講演者含む約40名で質疑応答など活発な議論が繰り広げられました。次回2024年は、理研光量子工学研究センターが幹事となり、オンサイトで開催予定です。

The 6th RIKEN-RAP and KPSI Joint Seminar was held hybrid style organized with QST-KPSI on February 8-9, 2023. The seminar consisted of 6 presentations each 3 presentations by RAP and QST-KPSI members.

The active discussion and Q&A were performed with approximately 40 participations including panelists. Next time, in 2024, will be an in-person event, hosted by RIKEN-RAP.

**6th
RIKEN-RAP and QST-KPSI
Joint Seminar**

Date: February 8(Wed.)-9(Thu.), 2023
Place: 大会議室A119 KPSI, QST (Hybrid: Microsoft Teams)

[Wed. 8 Feb.]
13:00-13:05 Opening Remarks 河内 哲哉 (QST-KPSI)
13:05-13:40 「プラズマミラーシステムによるJ-KAREN-PLレーザーの高時間コントラスト化」
今 亮 (QST-KPSI 高強度レーザー科学研究グループ)
13:40-14:15 「High energy, ultrashort CEP-stable IR driving source towards GW
isolated attosecond pulses in the water window」
Lu XU (RIKEN-RAP 超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム)
— Break (20 min.) —
14:35-15:10 「PW級J-KARENレーザーと水素クラスターとの相互作用による準単色陽子加速」
福田 祐仁 (QST-KPSI 先端レーザー技術開発グループ)
15:10-15:45 「中性子光学のための超精密加工」
細島 拓也 (RIKEN-RAP 先端光学素子開発チーム)
— Break (20 min.) —
16:05-16:40 「X線光化学反応のX線透過吸収分光理論」
山崎 馨 (RIKEN-RAP アト秒科学研究チーム)
16:40-17:15 「10 kHz サブ10 fs可視光パルス光源の開発とその二次元電子分光への応用」
坪内 雅明 (QST-KPSI 超高速光物性研究グループ)
17:15-17:20 Closing Remarks 緑川 克美 (RIKEN-RAP)

[Thu. 9 Feb.]
9:30-11:50 Laboratory tour & Free discussion @QST-KPSI (Kizu)

参加登録：2/1 までに kizu-symposium@qst.go.jp へ氏名、所属、現地 or Web参加をご連絡ください

理化学研究所 光量子工学研究センター (RIKEN-RAP)
量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 (QST-KPSI)

April 2022 to February 2023

RAP Seminar, from 76th to 80th

- April 15, 2022 **Prof. Mikio KURITA**
(Division of Physics and Astronomy Graduate School of Science Kyoto University)
“Technology of Seimei Telescope and Revealing 3-D Structure of Orion Nebula”
せいめい望遠鏡の技術とオリオン星雲の3次元構造
- June 17, 2022 **Prof. Riichiro HIRA**
(Graduate School of Medical and Dental Sciences Tokyo Medical and Dental University)
“Visualization of neuronal activity by multiphoton excitation microscopy and its Limitations”
多光子励起顕微鏡による脳神経活動の可視化とその限界
- September 16, 2022 **Prof. Yoshikazu OHARA**
(Graduate School of Engineering Tohoku University)
“Recent progress on ultrasonic phased array imaging method for accurate measurement of cracks”
高精度き裂計測のための超音波フェーズドアレイ映像法の新展開
- October 21, 2022 **Prof. Daisuke KOGA**
(Department of Microscopic Anatomy and Cell Biology Asahikawa Medical University)
“Scanning electron microscopy for 3D morphological analysis of organelles”
走査電子顕微鏡法 - オルガネラの3D構造解析を目指して -
- February 17, 2023 **Prof. Kazuto SAIKI**
(Department of Earth and Space Science Graduate School of Science Osaka University)
“Exploration of Lunar Water Ice Resources by Near-Infrared Spectroscopy”
近赤外分光による月の水氷資源探査



76th RAP Seminar
The 76th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

- ONLINE Seminar -

Date: **April 15(Fri) 16:00 - 17:00, 2022**

Title: **Technology of Seimei Telescope and Revealing 3-D Structure of Orion Nebula**
せいめい望遠鏡の技術とオリオン星雲の3次元構造

Speaker: **Prof. Mikio KURITA**
Division of Physics and Astronomy
Graduate School of Science
Kyoto University
栗田 光樹夫
京都大学理学部宇宙物理学専攻 准教授

Seimei Telescope constructed in Chiyama 2020 is the largest one in East Asia and the first segmented telescope in Japan. In the Seimei project, we developed three key technologies, such as manufacturing process for free-form and large optics, aligned control system, and optimization method of light-weight structure. Focus on new metrology system and data editing algorithm for free-form optics.

I will introduce a 3-dimensional structure of Orion nebula as science topic, which is revealed by near-infrared polarimetric observation by SPIN in South African Astronomical Observatory. This is a unique technique newly developed and has potential to lead 3-D information of the reflection nebulae in the universe.

Contact: rd.hara@riken.jp (Sat. 18:21-19)



77th RAP Seminar
The 77th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

- Hybrid Format -

Date: **June 17(Fri) 16:00 - 17:00, 2022**

On-site: **W319, 3F, Cooperation Center, Wako Campus, RIKEN**
Online: **Zoom**

Title: **Visualization of neuronal activity by multiphoton excitation microscopy and its limitations**
多光子励起顕微鏡による脳神経活動の可視化とその限界

Speaker: **Prof. Riichiro HIRA**
Graduate School of Medical and Dental Sciences
Tokyo Medical and Dental University
平 理一郎
東京医科歯科大学 准教授

Two-photon calcium imaging has enabled simultaneous recording of hundreds of thousands of neuronal activities in the living brain of rodents. This technological innovation was realized by ultrashort pulsed lasers capable of two-photon excitation and calcium-sensitive dyes (indicators) and lens lens (microendoscopes) extended by optical technologies such as high-speed scanners, large optical elements, laser multiplexing, adaptive optics and a laser for three-photon excitation. In this seminar, I will outline the structure of optical activity recording methods that can be achieved with the current state of the art, and introduce the methods being developed by us in particular. We also discuss future technology methods through the current limitations of multiphoton microscopy in neural activity recording methods.

Contact: rd.hara@riken.jp (Sat. 18:21-19)



78th RAP Seminar
The 78th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

- Hybrid Format -

Date: **September 16(Fri) 16:00 - 17:00, 2022**

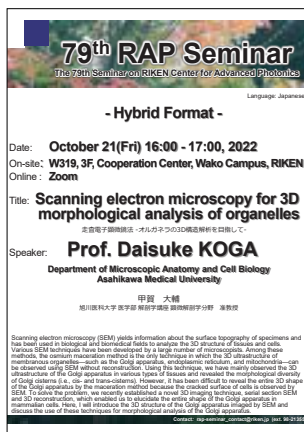
On-site: **1F Seminar Room, RIKEN Sendai Campus**
Online: **Zoom**

Title: **Recent progress on ultrasonic phased array imaging method for accurate measurement of cracks**
高精度き裂計測のための超音波フェーズドアレイ映像法の新展開

Speaker: **Prof. Yoshikazu OHARA**
Graduate School of Engineering
Tohoku University
小原 良和
東北大学大学院工学研究科 准教授

Nondestructive evaluation (NDE) is indispensable to assure the safety and reliability of aging structures, mechanical components, and manufactured materials. Among various NDE methods, ultrasonic testing (UT) has been widely used to detect and size internal defects in industrial fields since ultrasonic can propagate in solids and is highly sensitive to crack-type defects, which can markedly weaken material strength. Note that the traditional UT is array has gained attention as a powerful NDE method because of its excellent imaging capability. This lecture will start with the fundamentals of UT and ultrasonic phased array, followed by introducing a state-of-the-art technique, nonlinear ultrasonic phased array, for imaging the closed cracks that conventional UT cannot measure. Recent progress on ultrasonic phased array toward high-resolution 3D imaging is also introduced.

Contact: rd.hara@riken.jp (Sat. 18:21-19)



79th RAP Seminar
The 79th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

- Hybrid Format -

Date: **October 21(Fri) 16:00 - 17:00, 2022**

On-site: **W319, 3F, Cooperation Center, Wako Campus, RIKEN**
Online: **Zoom**

Title: **Scanning electron microscopy for 3D morphological analysis of organelles**
走査電子顕微鏡法 - オルガネラの3D構造解析を目指して -

Speaker: **Prof. Daisuke KOGA**
Department of Microscopic Anatomy and Cell Biology
Asahikawa Medical University
中野 大輔
旭川医科大学 医学部解剖学講座 顕微鏡学分野 准教授

Scanning electron microscopy (SEM) yields information about the surface topography of specimens and has been used in biological and biomedical fields to analyze the 3D structure of tissues and cells. Various SEM techniques have been developed by a large number of microscopists. Among these methods, the optical observation method is the one in which the 3D information of the microstructure can be obtained using SEM without reconstruction. Using this technique, we have mainly observed the 3D structures of the Golgi apparatus in various types of cells and revealed the morphology of organelles of Golgi apparatus, i.e., the 3D morphology of Golgi apparatus. However, it has been difficult to reveal the 3D structure of Golgi apparatus by the observation method because the tracked surface of cells is covered by SEM. To solve this problem, we recently established a novel imaging technique, serial-section SEM and 3D reconstruction, which enables us to elucidate the entire angle of the Golgi apparatus in mammalian cells. Here, I will introduce the 3D structure of the Golgi apparatus imaged by SEM and the use of this technique for morphological analysis.

Contact: rd.hara@riken.jp (Sat. 18:21-19)



80th RAP Seminar
The 80th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

- Hybrid Format -

Date: **February 17(Fri), 16:00 - 17:00, 2023**

On-site: **W319, 3F, Cooperation Center, Wako Campus, RIKEN**
Online: **Zoom**

Title: **Exploration of Lunar Water Ice Resources by Near-Infrared Spectroscopy**
近赤外分光による月の水氷資源探査

Speaker: **Prof. Kazuto SAIKI**
Department of Earth and Space Science
Graduate School of Science
Osaka University
佐伯 和人
大阪大学大学院理学研究科 宇宙地球科学専攻 准教授

Several studies that focus on searching for water ice resources in the lunar permanently shadowed regions (PSRs) reported positive results. However, the abundance, condensation mechanism, and lateral and vertical distribution of water at the PSRs remain unclear. To solve these problems, the Lunar Polar Exploration (LPE) project funded by Japan Science and Technology Agency (JST) and the members of ALIS team proposed the near-infrared imaging spectrometer named Advanced Lunar Imaging Spectrometer (ALIS) for LRO/LEO and it was selected as a candidate instrument for the next. I will present our strategy to explore water ice resources at the lunar South Pole by using near-infrared spectroscopy.

Contact: rd.hara@riken.jp (Sat. 18:21-19)

April 29, 2022

Student Paper Award (16th International Conference on Laser Ablation(COLA2021/2022)) / 川端翔太研究パートタイマーII、
(先端レーザー加工研究チーム)

Student Paper Award (16th International Conference on Laser Ablation(COLA2021/2022)) / Shota Kawabata, Research
Part-time Worker II (Advanced Laser Processing Research Team)

May 23, 2022

2022年度（第19回）日本植物学会賞 学術賞（公益社団法人日本植物学会） / 中野明彦チームリーダー（生細胞超解像イメージング研究チーム）

19th BSJ Academic Prize (The Botanical Society of Japan) / Akihiko Nakano, Team Leader (Live Cell Super-Resolution
Imaging Research Team)

June 29, 2022

The 16th Osaka University Kondo Prize Technological Contribution Award（大阪大学レーザー研究所） / 南出泰垂チーム
リーダー、縄田耕二客員研究員、瀧田佑馬研究員、野竹孝志客員研究員（テラヘルツ光源研究チーム）

The 16th Osaka University Kondo Prize Technological Contribution Award (Institute of laser Engineering, Osaka
University) / Hiroaki Minamide, Team Leader, Kouji Nawata, Visiting Scientist, Yuma Takida, Research Scientist, Takashi
Notake, Visiting Scientist (Tera-Photonics Research Team)

July 13, 2022

2021 Outstanding Editor Award of Opto-Electronic Advances (IOP Publishing) / 杉岡幸次チームリーダー（先端レーザー加工研究チーム）

2021 Outstanding Editor Award of Opto-Electronic Advances (IOP Publishing) / Koji Sugioka, Team Leader (Advanced
Laser Processing Research Team)

September 1, 2022

Kenneth J. Button賞 (Infrared, Millimeter, and Terahertz Society) / 伊藤弘昌客員主管研究員（テラヘルツ光源研究チーム）

Kenneth J. Button Prize (Infrared, Millimeter, and Terahertz Society) / Hiromasa Ito, Senior Visiting Scientist (Tera-
Photonics Research Team)

September 19, 2022

第15回分子科学会奨励賞（分子科学会） / 森本裕也理研白眉研究チームリーダー

15th Young Scientist Awards of the Japan Society for Molecular Science (Japan Society for Molecular Science) / Yuya
Morimoto, RIKEN Hakubi Team Leader (Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team)

September 21, 2022

2022年度 北海道・東北支部合同支部 優秀発表賞（公益社団法人日本農芸化学会） / 上野佑也大学院生リサーチ・アソシエイト
兼研修生（テラヘルツイメージング研究チーム）

The excellent presentation award for students at JSBBA Hokkaido/Tohoku Branch Joint Conference (The Japan Society for
Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry) / Yuya Ueno, Junior Research Associate and Student Trainee (Terahertz
Sensing and Imaging Research Team)

September 30, 2022

2022年度本田賞（公益社団法人本田財団）／香取秀俊チームリーダー（時空間エンジニアリング研究チーム）

2022 Honda Prize (HONDA FOUNDATION) / Hidetoshi Katori, Team Leader (Space-Time Engineering Research Team)

October 15, 2022

ROOB2022 最優秀賞（The 6th Workshop of Robotics Ongoing Breakthroughs (ROOB2022) 実行委員会）／深津美薫 研究パート
タイマーⅡ 兼研修生（画像情報処理研究チーム）

ROOB2022 Most Excellent Award（The 6th Workshop of Robotics Ongoing Breakthroughs Executive Committee）／
Miku Fukatsu, Student Trainee and Research Part-time Worker II & Trainee（Image Processing Research Team）

October 26, 2022

日本中性子科学会第20回学会賞（日本中性子科学会）／大竹淑恵チームリーダー（中性子ビーム技術開発チーム）

The 20th Society Award（The Japanese Society for Neutron Science）／Yoshie Otake, Team Leader（Neutron Beam
Technology Team）

November 25, 2022

2022年度エヌエフ基金 研究開発奨励賞（一般社団法人エヌエフ基金）／森本裕也白眉研究チームリーダー（超短パルス電子
線科学理研白眉研究チーム）

NF Foundation R&D Encouragement Award（NF Foundation）／Yuya Morimoto, RIKEN Hakubi Team Leader（Ultrashort
Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team）

December 15, 2022

令和4年度 日本学術振興会賞（日本学術振興会）／加藤雄一郎チームリーダー（量子オプトエレクトロニクス研究チーム）

JSPS PRIZE（Japan Society for the Promotion of Science）／Yuichiro Kato, Team Leader（Quantum Optoelectronics
Research Team）

February 8, 2023

理研桜舞賞 - 研究奨励賞／Wang, Li 研究員（テラヘルツ量子素子研究チーム）

RIKEN "Obu" Award（Incentive Award, Technician Incentive Award RIKEN）／Li Wang, Research Scientist（Terahertz
Quantum Device Research Team）

February 17, 2023

優秀ポスター賞（東北大学大学院／理学・生命科学研究所共同シンポジウム実行委員会）／辻井未来研修生（テラヘルツイメージン
グ研究チーム）

Poster Award（Joint Symposium Organizing Committee of Graduate Schools of Science and Life Sciences）／Miku Tsujii,
Student Trainee（Terahertz Sensing and Imaging Research Team）

March 10, 2023

2022 IJEM Outstanding Contribution Award（International Journal of Extreme Manufacturing）／杉岡幸次チームリーダー（先
端レーザー加工研究チーム）

2022 IJEM Outstanding Contribution Award（International Journal of Extreme Manufacturing）／Koji Sugioka, Team
Leader（Advanced Laser Processing Research Team）

March 15, 2023

応用物理学会ダイバーシティ&インクルージョン (D & I) 賞: 女性研究者研究奨励賞 (公益社団法人応用物理学会) / Yu-Chieh Lin 研究員 (アト秒科学研究チーム)

Women in Ultrafast Science Global Award (The Japan Society of Applied Physics) / Yu-Chieh Lin, Research Scientist (Attosecond Science Research Team)

March 16, 2023

応用物理学会フォトンクス奨励賞 (公益社団法人応用物理学会フォトンクス分科会) / 松崎維信研修生 (超高速分子計測研究チーム)

Photonics Encouragement Award (Photonics Division, The Japan Society of Applied Physics) / Korenobu Matsuzaki, Research Scientist (Ultrafast Spectroscopy Research Team)

March 23, 2023

理研梅峰賞 (理化学研究所) / Xue, Bing 基礎科学特別研究員 (アト秒科学研究チーム)、高橋栄治チームリーダー (超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム)、加藤雄一郎チームリーダー、小澤大知研究員 (量子オプトエレクトロニクス研究チーム)

RIKEN BAIHO Award (RIKEN) / Bing Xue, Special Postdoctoral Researcher (Attosecond Science Research Team), Eiji Takahashi, Team Leader (Ultrafast Coherent Soft X-ray Photonics Research Team), Yuichiro Kato, Team Leader, Daichi Kozawa (Quantum Optoelectronics Research Team)

March 31, 2023

Highly Cited Paper Award January 2023 (Light: Science & Applications) / 杉岡幸次チームリーダー (先端レーザー加工研究チーム)

Highly Cited Paper Award January 2023 (Light: Science & Applications) / Koji Sugioka, Team Leader (Advanced Laser Processing Research Team)



血管内治療の腕を磨く トレーニング装置を開発

心筋梗塞や動脈瘤などの治療に用いられる血管内治療デバイスは操作が難しく、トレーニング環境の整備が求められている。そのニーズに応える装置の開発に取り組んでいる横田秀夫チームリーダー（TL）と深作和明 客員研究員に話を聞いた。

トレーニングが困難な血管内治療

動脈の血管の一部が膨らんだ動脈瘤は破裂すると大きな出血を引き起こす。脳動脈瘤の破裂には死亡や後遺症のリスクがあるので、破裂リスクが高いと考えられた場合、治療の対象となる。その治療法としては、動脈瘤の中に微細な金属を詰める「コイル塞栓術」が世界的に主流になりつつある。

コイル塞栓術では、カテーテルと呼ばれる中空の細い管を血管に挿入し、動脈瘤に到達したらコイルを送り込む。血管には多くの分岐があるため、X線で位置を確認しながら慎重にカテーテルを操作する必要がある。操作は治療を行っている医師の感触に頼るしかないため、技術伝承は難しい。そこで、さまざまなトレーニング装置が考案・製品化されている。

治療用のX線透視装置を使い、実物の治療用カテーテルを人体模型の血管に入れるトレーニング方法は、実際の治療に近い

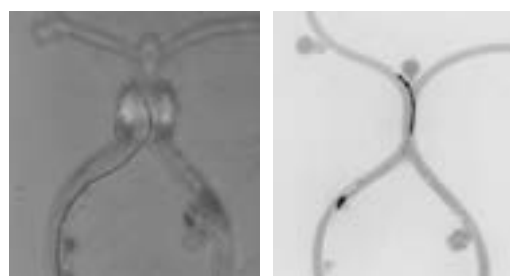


図1 血管モデルの可視光による画像(左)と非被ばく血管内治療シミュレータによるX線模擬画像(右)

可視光による画像(左)は立体感があり、奥行き方向の位置関係が分かるので、実際のX線画像より操作が容易になってしまう。今回開発した装置の画像(右)は平坦でX線画像に近い。

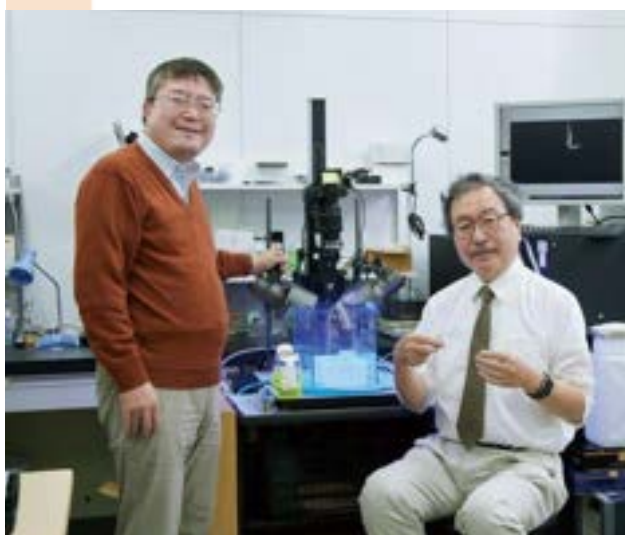
という点で有用だが、治療以外で医師がX線被ばくしてしまうという問題点があった。また、透明な血管模型をカメラで撮影した映像を用いるトレーニング機器もあるが、実際に手術で用いるX線透視と映像の特徴が異なり、トレーニング環境としては不十分だった。

蛍光色素でX線像に近い画像表示を実現

横田TLと深作客員研究員らが開発したトレーニング装置では、生命科学系などでよく用いられる「蛍光観察技術」を利用した。透明な血管モデルを用意して、カテーテルの先端などに蛍光色素を付け、人工血管にも同じ蛍光色素を薄めた液を満たした。蛍光色素が発する光だけを通すフィルターを装着したカメラで撮影したところ、X線透視に近い平坦な画像を再現できたという(図1)。

血管内治療の熟練者に本機を評価してもらったところ、X線透視下での実際の治療に近いという評価が得られた。今後、初学者に使ってもらい、本機によるトレーニングと上達度の関係を科学的に評価する予定だという。

今後の研究目標について、東京都にある南町田病院脳神経外科の医師でもある深作客員研究員は、「臨床医として、治療成績の向上に役立つ知見を集め、こんなものをつくってほしいという要望を出していくのも私の仕事」という。また横田TLは「新しい技術で人の命をどう救うか、医療に携わる医師と研究者で共に考えていきたい」と語る。ベテラン二人のコラボレーションが後継者の道を切り拓いていくことに期待したい。



(左) 横田 秀夫(ヨコタ・ヒデオ) チームリーダー
(右) 深作 和明(フカサク・カズアキ) 客員研究員

光量子工学研究センター
画像情報処理研究チーム

取材・構成：中沢真也／撮影：古来拓也

世界最高出力のアト秒レーザーを開発

化学反応には原子の構成要素である電子の運動が深く関わっている。その電子運動の観察を可能にするのが非常に短い時間だけ光るアト秒レーザーだ。これまでは出力が弱いため、アト秒レーザーの利用は一部の分野に限定されてきた。2022年3月、世界最高出力を実現し、アト秒レーザー利用の用途拡大に向け一石を投じた高橋栄治チームリーダー（TL）に話を聞いた。

電子の動きを捉える

化学反応のメカニズムを解明するためには、分子内での電子運動を調べる必要がある。しかし、電子は絶えず超高速で動いているため、その動きを捉えるには、アト秒（100京分の1秒、 10^{-18} 秒）という非常に短い時間だけ光るフラッシュ（パルス）が不可欠だ。2001年にドイツの研究グループが「アト秒レーザー」の開発に成功したものの、出力が非常に弱いことが光源利用において長年課題になっていた。2022年3月、理研で開発したアト秒レーザーは従来の100倍以上の1.1GW（1GWは10億W）という世界最高出力を達成し、大幅な性能向上を果たしたのだ。これにより、アト秒レーザーの用途拡大への道筋が見えてきた。

高橋 栄治
（タカハシ・エイジ）

光量子工学研究センター
超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム
チームリーダー

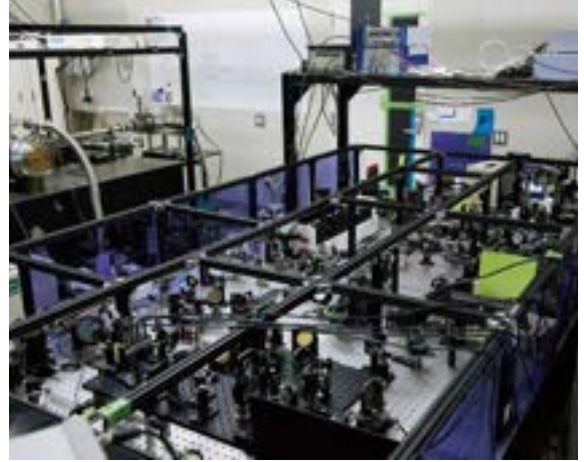
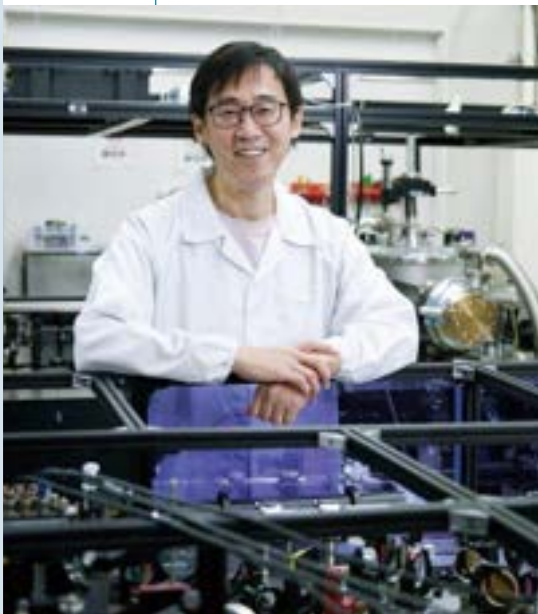


図1 光シンセサイザー

2015年から5年の歳月をかけて開発した高強度光シンセサイザー。ここでは3色のレーザーパルスにより光シンセサイザーを実現している。光シンセサイザー内の電場を変化させることで、アト秒レーザーの強度や時間幅を制御できる。

成功の鍵は「光シンセサイザー」

「成功の鍵は、2020年に開発した『光シンセサイザー』（図1）です。光シンセサイザーの電場制御により、強いアト秒レーザーを発生できることが過去の研究から分かっていました。そこで、この光シンセサイザーと研究室独自の光技術を組み合わせることでアト秒パルス発生を行い、従来の100倍以上の高出力のアト秒レーザーを実現させたのです」と高橋TL。

従来のアト秒レーザー発生に使用されるレーザー光の波長は1色のみ。それに対し、光シンセサイザーは波長の異なる複数色のレーザーを重ね合わせることで、アト秒レーザー発生に最適化した電場分布の光をつくり出すことができる。

「高出力のアト秒レーザーの実現には、波長の異なる複数色の光を非常に高い精度、距離に置き換えるとナノメートル（nm、1nmは10億分の1m）単位で制御する必要があります。そこが最も苦労した点ですね」

今後、電子運動の観測はもとより、アト秒レーザーによる微細イメージングや物質加工といった応用が期待される。加えて、光シンセサイザーの電場制御によりアト秒レーザーのパルス波形を変えることが可能なことから、ニーズに応じて幅広い分野への応用も期待できる。

「私にとってアト秒レーザー開発の醍醐味は、オリンピックで世界新記録を狙うのに例えられるような明快さにあります。例えば、『世界一高出力のレーザーをつくりました！』ってすごく分かりやすいじゃないですか。しかもそれによって、さまざまな研究分野の発展に貢献できることに、研究者としての大きなやりがいを感じます。開発競争は激しいですが、今後も世界一、世界初のレーザー開発を目指します」

取材・構成：山田久美／撮影：古末拓也

StayGoldが放つあせない蛍光

特定の分子に目印となる蛍光分子を結合させる蛍光標識の技術は、現代の生命科学研究に欠かせないものである。数多くの蛍光タンパク質技術を開発してきた宮脇敦史チームリーダー（TL）は、従来の蛍光タンパク質の色あせやすいという弱点を克服し、長く光り続ける新たな蛍光タンパク質「StayGold」を開発した。

明るさを目指すほど早く光が失われるという問題

オワンクラゲから発見された緑色蛍光タンパク質（GFP：Green Fluorescent Protein）は、青い光（励起光）を照射すると、その光を吸収し緑色の蛍光を発する。GFPで標識することで、生きた細胞内の細胞小器官（小胞体やミトコンドリアなど）の形や動きをリアルタイムに可視化できる。

蛍光タンパク質は、光を吸収する構造単位としての発色団を自らつくり出す。光を吸収すると、初めは蛍光を発するが、次第に発色団を壊して「褪色」し蛍光活性をまったく失う。実はGFPなどの既存の蛍光タンパク質には褪色しやすいという弱点がある。サンプルに当てる励起光を強くすると褪色が目立って定量的な観察ができなくなってしまう。

この問題を克服したのが、タマクラゲの緑色蛍光タンパク質CU17Sから生まれた変異体だ。GFPなど既存の蛍光タンパク質に比べてより明るく、しかも10～100倍も長く褪色せずに光り続ける（図1）。

「いつの日か蛍光タンパク質の褪色問題を克服できたら『StayGold』と名付けようと思っていました。明るくいつまでも輝き続けて、という期待をほのめかして」と話す宮脇TL。

一般的に、超解像光学顕微鏡観察においては強い励起光が必要だが、StayGoldを使うと長時間の連続的な超解像観察が可

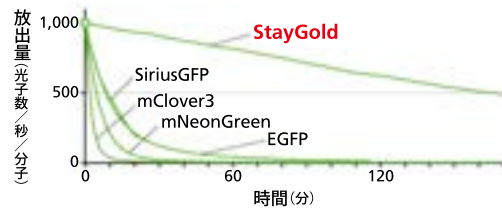


図1 生きた細胞における蛍光タンパク質ごとの蛍光持続時間 StayGoldと既存の緑色蛍光タンパク質（EGFP、SiriusGFP、mClover3、mNeonGreen）をそれぞれ発現する培養細胞に強い青色光を連続的に照射して蛍光強度をプロット。蛍光タンパク質1分子が1秒間に放出する光子の数が1,000個から減少する速度を定量的に比較。StayGoldは高い光安定性（褪色しにくさ）を示した。



図2 StayGoldによる小胞体の標識

培養細胞の小胞体の内腔にStayGoldを設置して、毎秒134枚の高速度で超解像観察を行った。細胞全体に張り巡らされる小胞体ネットワークの動きが解析できる。

能になる。実際に、小胞体の細管が高速で振動する様子を、6分間にわたってしかも細胞全体にわたって観察することに成功した（図2）。

試験管内で数億年の生物進化を超える

蛍光タンパク質の実用的開発の極意を、「試験管内で蛍光タンパク質を人工的に進化させることは、クラゲやサンゴが何億年もかけて遂げた進化をわずか数日で上回る試み」と宮脇TLは表現する。さまざまな生物（主に刺胞動物）の蛍光タンパク質に対して遺伝子変異を重ね、その中から突出した性質を示すものを見つけ出す。そうやってタマクラゲの蛍光タンパク質からStayGoldは開発された。

現時点でStayGoldは二量体を形成するという問題を抱えている。標識した分子の局在や機能が影響を受ける可能性がある。安心して他のタンパク質に連結できるように、単量体StayGoldを鋭意開発中だ。

「バイオイメージングの醍醐味は生きた状態で見える“ライブイメージング”と宮脇TL。「StayGoldが褪色しにくい機序が分かれば同様の蛍光タンパク質が赤色領域で開発される可能性も。褪色に向き合う研究は始まったばかりです。蛍光タンパク質技術にゲノム編集技術など日進月歩の遺伝子発現技術を融合することで、バイオイメージングの時空間スケールを自在に拡張させたい」と抱負を語った。

宮脇 敦史（ミヤワキ・アツシ）

脳神経科学研究センター細胞機能探索技術研究チーム
光量子工学研究センター生命光学技術研究チーム
チームリーダー

取材・構成：牛島美苗／撮影：古末拓也

TERAHERTZ TECHNOLOGY

Hitting the bull's eye at an angle

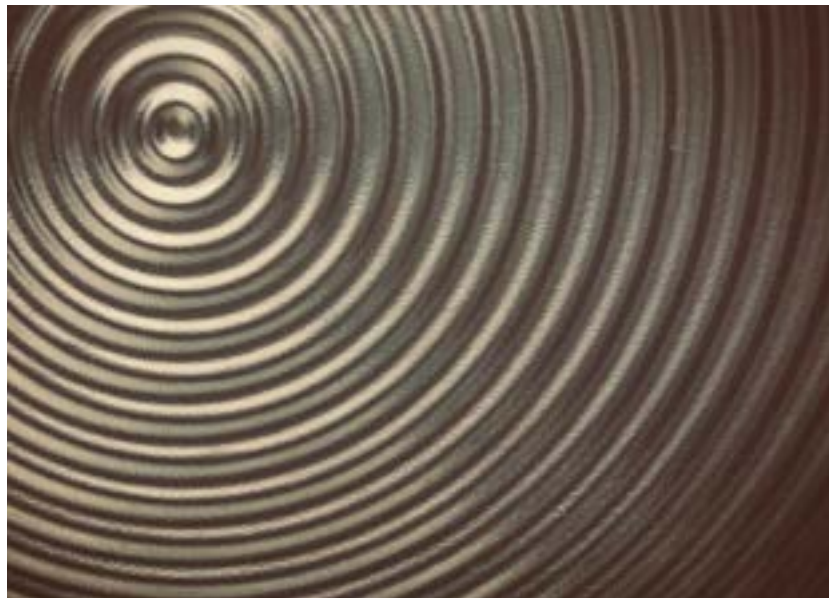
Researchers explore how terahertz waves, which are finding use in an expanding range of practical applications, interact with lenses with bull's-eye patterns

New terahertz devices such as biosensors and antennas in rapid communication systems stand to benefit from an analysis of a terahertz lens with a bull's-eye structure conducted by an all-RIKEN team¹.

Terahertz waves are so-called because they typically have frequencies between 0.1 and 10 terahertz (1 terahertz is a trillion cycles per second). They are sandwiched between the microwave and infrared regions on the electromagnetic spectrum. New technologies based on terahertz waves are taking off in areas such as imaging, wireless communication and sensors.

Lenses consisting of concentric grooves are commonly used to focus terahertz waves in applications such as high-resolution imaging and antennas for rapid wireless communication. These bull's-eye structures funnel propagating terahertz waves into apertures smaller than the wavelength of the terahertz radiation. But so far their focusing performance has been measured only for terahertz waves hitting them square on and not for waves that strike them obliquely.

"These lenses depend strongly on the angle of the impinging terahertz wave," says Yu Tokizane of the RIKEN Center for Advanced Photonics. "This angle dependence has been ignored in previous studies because measurements at oblique incidence are difficult due to the low signal intensity. However, many practical applications of the terahertz bull's-eye structure require various incident angles."



RIKEN researchers have investigated how terahertz waves behave when they pass through lenses with a bull's-eye structure at an oblique angle of incidence.

Now, Tokizane, Hiroaki Minamide and three co-workers, all at the RIKEN Center for Advanced Photonics, have measured the response of a bull's-eye structure lens to terahertz waves hitting it at angles between 0 and 8 degrees.

"Our results will be useful for optimizing the coupling efficiency of bull's-eye antennas, a type of device that could be used in spectroscopic and ranging applications," says Tokizane.

The team discovered that the lenses set up two resonances: a main resonance that varies with the incident angle and a side lobe

to the main resonance. These results could be well reproduced by a simple model.

"The measured spectra of the bull's-eye structure look complicated at first sight," notes Tokizane. "However, our model describes the experimental results including tiny peaks, which makes us confident that the experimental results are not artifacts. In this study, it was interesting to discover that apparently complicated results are correct and only consequences of simple physical phenomena without fancy assumptions."

Tokizane, who has

subsequently taken up a post at Tokushima University, will be working on terahertz imaging and communication technologies. "Both research areas require resonating terahertz waves generated using devices such as bull's-eye structure lenses," he notes. ●

Reference

1. Tokizane, Y., Ohno, S., Takida, Y., Shikata, J. & Minamide, H. Incident-angle-dependent extraordinary transmission of the terahertz bull's-eye structure. *Physical Review Applied* **17**, 054020 (2022).

© Adrienne Brieseman/Moment/Getty Images

QUANTUM COMMUNICATIONS

A cleaner, better way to produce single-photon emitters

A vapor-phase reaction makes carbon nanotubes even more attractive as single-photon emitters for quantum technologies

RIKEN scientists have created an effective source of single photons for emerging quantum technologies. They did this by adding molecules to carbon nanotubes using a reaction that occurs in the vapor phase¹.

Quantum technologies are on the verge of revolutionizing computing and communications, promising benefits such as secure communication, ultrasensitive sensing and parallel computing. Many of these applications require light sources that can generate single photons—the smallest packets of light possible—on demand.

“This method allowed us to introduce organic molecules without also incorporating undesirable defects.”

A promising source of single photons in the infrared wavelength range used in telecommunications is carbon nanotubes—cylinders of graphene sheets that are a mere nanometer or so in diameter—that have been imparted with new functions, or functionalized, by adding an organic molecule.

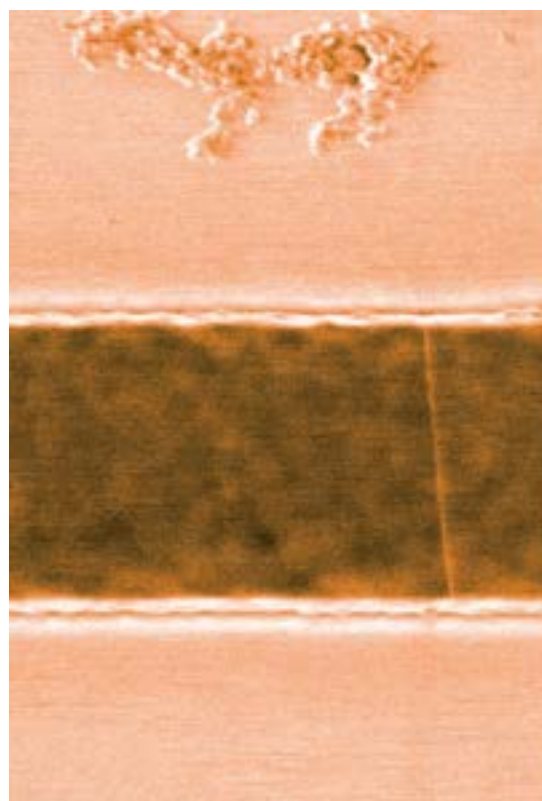
The cleanest way to do this would be to use carbon

nanotubes suspended across an air gap, but unfortunately this isn't compatible with the usual approach of functionalizing carbon nanotubes, which takes place in solutions. “Carbon nanotubes functionalized in solution tend to be really short and have defects all over them,” notes Yuichiro Kato of the RIKEN Center for Advanced Photonics (RAP).

Now, Kato and Daichi Kozawa, also of RAP, and their co-workers have developed a method for functionalizing carbon nanotubes that can be done in the vapor phase, and hence on nanotubes suspended across a trench in a silicon substrate (see image).

“We grew fairly long nanotubes and functionalized them in the vapor phase, so they had no contact with solutions, which contain a lot of impurities,” says Kato. “This method allowed us to introduce organic molecules without also incorporating undesirable defects.”

The study was a collaboration born out of a pre-pandemic interaction at an international conference. Kato and Kozawa's team at RAP produced the suspended nanotubes and then sent them to chemists in the University of Maryland in the United States for functionalization, who then sent them back for analysis. “YuHuang Wang at the University of Maryland is a



A carbon nanotube suspended across a trench in a silicon substrate. By developing a method that allows such suspended nanotubes to be functionalized with organic molecules, RIKEN researchers have enhanced their usefulness for sources of single photons.

great chemist, and he's the one who got curious about the possibility of doing these reactions in the vapor phase,” says Kato. “It took us a few rounds, but we were able to see good emission from the organic molecules on the nanotubes.”

The team verified the optical performance of their carbon nanotubes by performing spectroscopic measurements on more than 2,000 of them. They discovered that the number of organic molecules introduced per nanotube increased with smaller diameter nanotubes, and they were able to model this effect in terms of the greater reactivity of

narrower nanotubes.

The team now intends to optimize the functionalization process so that just one organic molecule is introduced per nanotube. ●

Reference

1. Kozawa, D., Wu, X., Ishii, A., Fortner, J., Otsuka, K., Xiang, R., Inoue, T., Maruyama, S., Wang, Y. & Kato, Y. K. Formation of organic color centers in air-suspended carbon nanotubes using vapor-phase reaction. *Nature Communications* **13**, 2814 (2022).

Reproduced from Ref. 1 and licensed under CC BY 4.0 [https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/] © 2022 D. Kozawa et al.

