



Preface

Three 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 2020, despite various restrictions imposed by the spread of COVID-19, "Test of general relativity by a portable optical lattice clock at Tokyo Sky Tree (Space-Time Engineering Research Team)" , "An optical synthesizer producing intense attosecond pulses (Attosecond Science Research Team)" , "Attomolar sensing by liquid-interface assisted Surface-Enhanced Raman Scattering (Advanced Laser Processing Research Team) ", "Modification of intracellular proteins by terahertz light irradiation (Terahertz Imaging Research Team)" and other remarkable research results were produced.

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3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・・・。見ることができれば、理解し、制御することにも近づきます。光の可能性は無限で、私たちが到達できているのはほんの一部です。光量子工学研究センターは、光科学の地平を広げ、新しい光技術を社会に役立てていきます。

2020年度は、新型コロナウィルスのまん延により様々な制限が課される中にもかかわらず、「東京スカイツリーで可搬型光格子時計による一般相対性理論の検証（時空間エンジニアリング研究チーム）」、「強力なアト秒パルスを作り出す光シンセサイザーの実現（アト秒科学研究チーム）」、「液面支援表面増強ラマン散乱法によるアトモーラーセンシングの実現（先端レーザー加工研究チーム）」、「テラヘルツ光照射による細胞内タンパク質の変化（テラヘルツイメージング研究チーム）」などの顕著な研究成果が得られました。

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

緑川 克美 光量子工学研究センター センター長

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 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.	.....	36
プレスリリース / Press Releases	.....	55
ニュース、会議・イベント / News, Meetings, Events	.....	58
受賞・表彰 / Awards	.....	59
研究紹介記事 / Articles	.....	62

エクストリームフォトニクス研究領域
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

サブ波長フォトニクス研究領域
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	..... 12
生命光学技術研究チーム Biotechnological Optics Research Team	宮脇 敦史 Atsushi Miyawaki	..... 14
画像情報処理研究チーム Image Processing Research Team	横田 秀夫 Hideo Yokota	..... 16
フォトン操作機能研究チーム Innovative Photon Manipulation Research Team	田中 拓男 Takuo Tanaka	..... 18
先端レーザー加工研究チーム Advanced Laser Photonics Research Team	杉岡 幸次 Koji Sugioka	..... 20

テラヘルツ光研究領域
Terahertz-wave Research Group南出 泰亞
Hiroaki Minamide

テラヘルツ光源研究チーム Tera-Photonics Research Team	南出 泰亞 Hiroaki Minamide	..... 22
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	..... 24
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	..... 26

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	..... 28
先端光学素子開発チーム Ultrahigh Precision Optics Technology Team	山形 豊 Yutaka Yamagata	..... 30
中性子ビーム技術開発チーム Neutron Beam Technology Team	大竹 淑恵 Yoshie Otake	..... 32
技術基盤支援チーム Advanced Manufacturing Support Team	山形 豊 Yutaka Yamagata	..... 34

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.



FY2020 Core Members

(専任研究員) 鍋川 康夫、高橋 栄治、
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

(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

(技師) 棚橋 晃宏

(特別嘱託職員) 若林 多起子

(Senior Research Scientist)

Yasuo Nabekawa, Eiji Takahashi,
Yutaka Nagata

(Senior Scientist) Keisuke Isobe

(Research Scientist)

Tomoya Okino, Takashige Fujiwara,
Yu-Chieh Lin, Kaoru Yamazaki

(Special Temporary Research Scientist)

Tohru Kobayashi

(Special Postdoctoral Researcher)

Bing Xue

(Postdoctoral Researcher)

Lu Xu

(Technical Scientist)

Akihiro Tanabashi

(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



「水の窓」アト秒高調波の高出力化

- 高効率中赤外レーザー増幅法：二重チャープ光パラメトリック増幅を開発
- 長尺化が可能な高圧ターゲットガスセルを実現
- ルーズフォーカス法によるナノジュール級水の窓高調波発生
- 水の窓軟X線による単一ショット分光計測が可能に

High efficiency ultrafast water-window harmonic generation

- High efficiency mid-infrared laser amplification method: dual-chirped OPA
- Development of a high-pressure target gas cell
- Nano-joule coherent water window harmonic beam by a loose focusing method
- Towards a single-shot soft x-ray absorption spectroscopy

Yuxi Fu, Kotaro Nishimura, Renzhi Shao, Akira Suda, Katsumi Midorikawa, Pengfei Lan, and Eiji J. Takahashi, "High efficiency ultrafast water-window harmonic generation for single-shot soft X-ray spectroscopy," Communications Physics 3 (1) (2020).

Attosecond Science Research Team

レーザー光の短波長化法である高次高調波発生は軟X線領域においてアト秒のパルス幅を持つコヒーレント光を実現できる光源技術として注目を集めてきました。しかしながら、その発生効率と出力エネルギーが非常に低いことが応用研究にとって大きな問題となっていました。アト秒科学研究チームでは軟X線領域、特に軽元素のK吸収端が含まれる「水の窓」域の高次高調波光源の高出力化研究に取り組みました。

高調波を高出力化するため、独自の中赤外レーザー光増幅技術(DC-OPA)を提案し、100 mJ, 1.55 μm, 40 fs のレーザーシステムを開発しました。また水の窓域における高次高調波発生の位相整合条件を達成するため、数cmの媒質長さで高圧ガスが供給できる特殊セルを開発しました。

開発した高出力レーザーシステムとチーム独自の高調波高出力化法であるルーズフォーカス法を組み合わせることで(図1)、水の窓域においてナノジョール級の高調波出力を実現しました(図2)。さらに高出力化した水の窓高調波ビームを利用して、吸収端近傍X線吸収端微細構造(NEXAFS)の計測を行いました(図3)。その結果、吸収スペクトラルには炭素のK吸収端(284eV)を明瞭に確認でき、その高エネルギー側に微細吸収構造が見られました。この計測では、軟X線高調波の全エネルギーのうち2%のみをプローブ光として使用し、数分間の計測を行いました。今後、残り98%の出力エネルギーも使用することで、シングルショットでの分光スペクトル計測が可能となります。

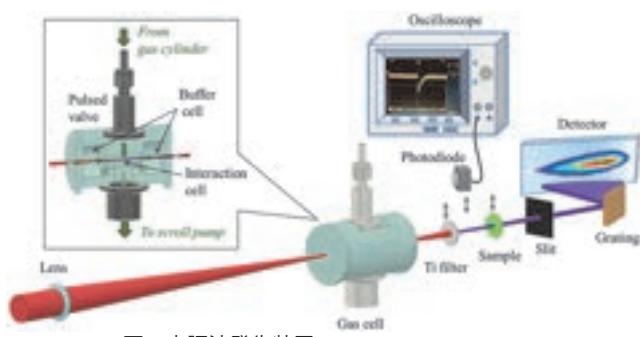


図1 高調波発生装置

Fig.1 Schematic of the experimental setup

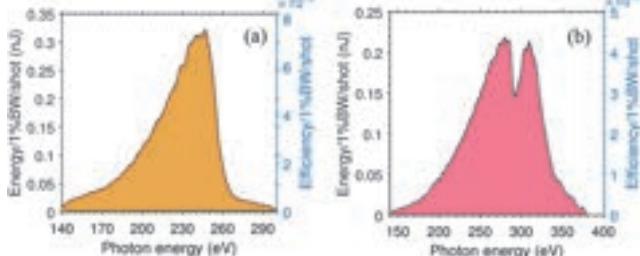


図2 高次高調波の出力エネルギーとレーザーからの変換効率。

(a)ネオンガス高調波媒質、(b)ヘリウムガス高調波媒質。

Fig.2 Energy and conversion efficiency of soft X-rays (a)Ne gas and (b) He gas cells

High-order harmonic generation (HHG), which is a wavelength conversion technique of laser light, has been attracting attention as a light source that can realize an attosecond pulse in the soft x-ray region. However, its generation efficiency and output energy are very low, which is a major problem for the use to for various applications. Attosecond science research team has been working on increasing the output energy of high-order harmonic light sources in the soft x-ray region, especially in the "water window" region.

To increase the output power of HHG, we first proposed a mid-infrared laser amplification technique (DC-OPA) and developed a high power laser system (100 mJ, 1.55 μm, 40 fs). By combining the developed high-power 1.55 μm laser system with the loose-focusing method (Fig. 1), we have demonstrated nano-joule harmonic energy in the water window region (Fig. 2). We also measured the near-edge x-ray absorption fine structure (NEXAFS) using the developed water window harmonic beam (Fig. 3). As a result, the K-edge of carbon (284 eV) was clearly observed in the measured spectrum, and the fine absorption structures appeared at the higher photon energy side of the K-edge. With our current measurement system, only 2% harmonic energy is utilized to take an absorption spectrum and 98% of the energy is lost at the spectrometer slit. By employing a toroidal mirror to collect all water window HHs energy for spectroscopy or imaging, our nano-joule water window harmonic source enables us to take an absorption spectrum by a single-shot.

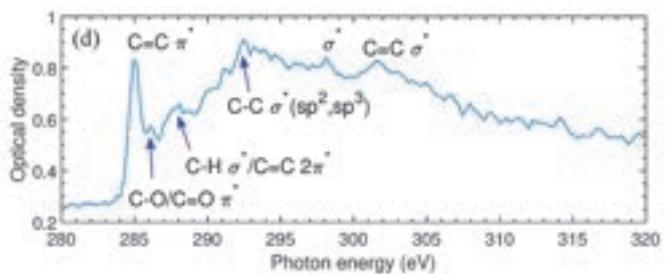


図3 軟X線吸収分光像:パリレン-Cフィルム(0.25 μm)を通過した後の高調波分光スペクトル

Fig.3 Near edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) by soft X-rays. Absorption spectrum near the carbon K-edge after a 0.25-um thick Parylene-C film

エクストリームフォトニクス研究領域

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.



FY2020 Core Members

(専任研究員)

石井 邦彦(兼務)、二本柳 聰史(兼務)
(研究員)

Ahmed Mohammed

(特別研究員)

Pardeep Kumar
(アシスタント)

加藤 智子

(Senior Research Scientist)

Kunihiko Ishii (c),
Satoshi Nihonyanagi (c)

(Research Scientist)

Ahmed Mohammed
(Postdoctoral Researcher)

Pardeep Kumar

(Assistant)

Tomoko Kato

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



日下良二 基礎化学特別
研究員 (研究当時)

水表面のフェノールの光化
学反応は水中の1万倍速く進
む

- 界面選択的時間分解分光法を用いて水界面の光化学反応を初めて直接観測した
- 水表面のフェノールは水中と同様の光化学反応をおこす
- 水表面でこの反応は水中の1万倍以上速く進むことが判明

The photochemical reaction of phenol becomes ultrafast at the air–water interface

- The first application of interface-selective ultrafast spectroscopy to track a chemical reaction at a water interface.
- Photochemical reaction of phenol produces the same products as the reaction in the bulk water phase.
- The rate of this reaction at the water surface was found to be more than 10,000 times faster than in bulk water.

Reference: R. Kusaka, S. Nihonyanagi & T. Tahara, Nat. Chem. 13, 306-311, (2021).

Ultrafast Spectroscopy Research Team

水表面は水中とは異なるユニークな環境を提供し、そこで特殊な溶媒和は水表面の分子の反応性に大きく影響すると考えられます。そのため、水表面に吸着した分子の反応が水中の分子とどのように異なるかについて大変興味が持たれています。超高速分子計測研究チームは、理研で開発された界面選択性の超高速分光である紫外励起時間分解ヘテロダイン検出振動和周波発生（UV-TR-HD-VSFG：図1）分光を水界面の化学反応研究に初めて適用し、基本的分子であるフェノールの光化学反応（光酸解離反応）が水の表面でどのように進んでいるのかを明らかにしました（図2）。これまでの研究から、水中のフェノールは紫外線を吸収すると約5ナノ秒で水素イオン（H⁺）と電子（e⁻）を放出してフェノキシラジカルを生成することが分かっています。これに対して、今回の実験では水表面にあるフェノールに紫外線を当てるとき、これら光反応生成物が100 fs以内で生成することが観測されました。つまり、水表面ではフェノール分子は水中より5万倍も速く反応することが明らかになりました。このような劇的な反応促進効果は、水表面で分子が半分だけ溶けたという特殊な環境あることによって引き起こされたものと考えられます。

Water surface provides molecules with a unique environment, which is considered to greatly affect the reactivity of the interfacial molecules. Therefore, it has been desired to elucidate how differently chemical reactions proceed at the water surface. Ultrafast Spectroscopy Research Team tackled this problem using UV-excited time-resolved heterodyne-detected vibrational sum frequency generation (UV-TR-HD-VSFG) spectroscopy, which is new interface-selective ultrafast spectroscopy developed at RIKEN. The team investigated the photochemical reaction of phenol and observed that phenol molecules at the water surface release protons (H⁺) and electrons (e⁻) to generate phenoxy radicals within 100 fs. It means that the reaction at the water surface proceeds more than 10,000 times faster than that in the bulk water phase. This finding demonstrates that the unique solvation environment at the water surface can drastically change chemical reactions at the surface.

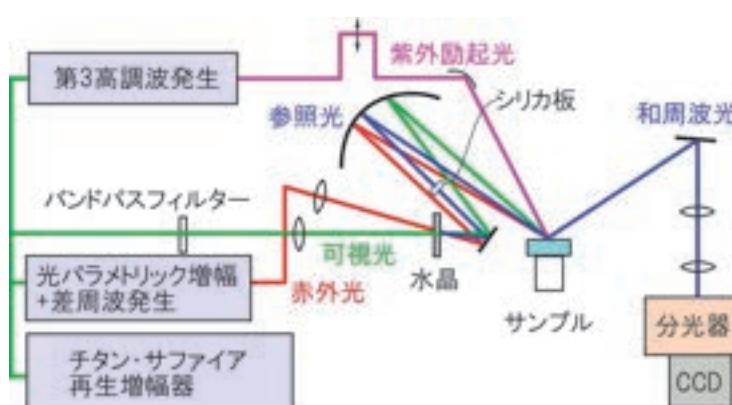
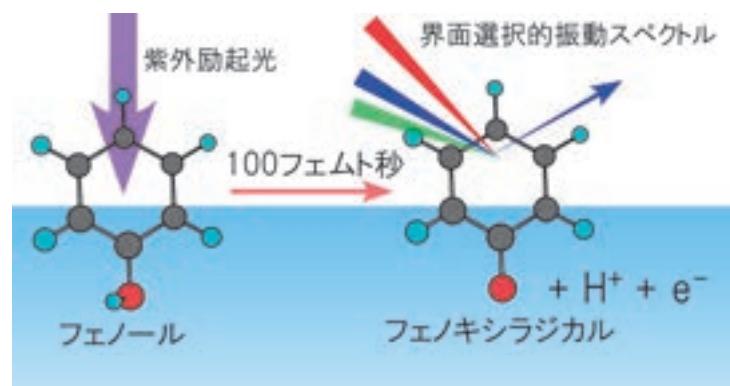


図1 紫外励起時間分解ヘテロダイン検出和周波発生分光法の装置図

図2 水表面のフェノールの光酸解離反応の概念図



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.



FY2020 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
- ✓ 光格子時計の長期安定動作の実現

Research Subjects

- ✓ Relativistic geodesy with optical lattice clocks
- ✓ Development of transportable optical lattice clocks
- ✓ Long-term stable operation of optical lattice clocks

研究成果／Research Output



相対論的測地応用に向けた車載型光格子時計の開発

- 18桁精度の車載型光格子時計の開発
- 車載型時計によるcm精度の標高差計測の実現
- 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

Development of a vehicle-mounted optical lattice clock for relativistic geodesy

- Development of a transportable optical lattice clock with 18-digit precision
- Chronometric levelling with cm-level precision using an on-vehicle clock
- Exploration of relativistic geodesy using optical lattice clocks compared over a long baseline

Reference: "Optical frequency distribution using laser repeater stations with planar lightwave circuits," Opt. Exp. 28. 9186, (2020).

Space-Time Engineering Research Team

時空間エンジニアリング研究チームでは、光格子時計を相対論的測地技術として実用化するために時計の小型化・可搬化を行っています。この一環として現在、18桁精度の超高精度な車載型光格子時計の開発を行っています（図1）。開発した車載型時計を実験室に設置した光格子時計と光ファイバで繋ぎ、時計比較を行った結果、実験室に設置した時計と同等の性能が得られていることが分かりました（図2）。このような可搬性の高い時計を用いれば、重力によって曲がった時空間の精密計測や、センチメートル精度での標高計測が可能となります。

今後は、車載型光格子時計を遠隔地に運び、光ファイバネットワークに繋いで時計比較を行うことで、プレート運動や火山活動などによる地殻の数センチメートル精度の上下変動の観測など、地球物理学への応用を視野に入れます。また、さらなる小型化、可搬化により、GNSS（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ジオポテンシャル・センサー・ネットワークの確立を目指します。



図1 車載型光格子時計。外部の時計と光ファイバーで繋いで時計周波数を比較することで、2台の時計の標高差が一般相対性理論に基づいて測定できます。

Fig.1 A transportable optical lattice clock installed in a vehicle. By connecting to an optical fiber to compare with a distant clock, the height difference between the clocks can be measured based on general relativity.

The Space-Time Engineering Research Team has developed transportable optical lattice clocks that are applicable to relativistic geodesy. The team is currently developing a vehicle-mounted optical lattice clock with 18-digit-precision (Fig. 1). The team compared the on-board clock with an optical lattice clock operated in the laboratory via an optical fiber and found that the performance of the on-vehicle clock was similar to that of the laboratory-based clock (Fig. 2). Such a high-performance transportable clock allows precise measurement of the spacetime affected by the gravitational field and mapping of the altitude with centimeter precision.

In the future, by transporting the on-vehicle clock to remote sites and comparing the clocks over a long baseline, the team will investigate geophysical application of chronometric levelling, such as monitoring of uplift in the earth's crust. Further downsizing and networking of the clocks will allow the clocks to be used as geopotential sensors that are complement to GNSS (Global Navigation Satellite System) and gravimeters.

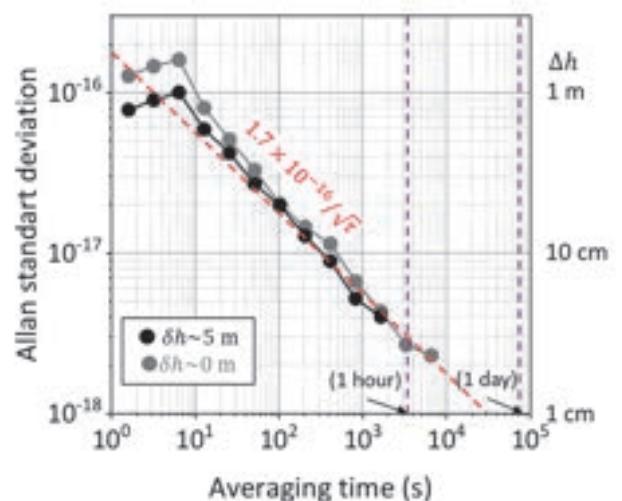
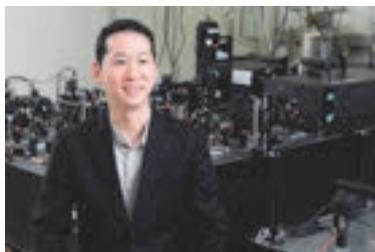


図2 車載型光格子時計と実験室の時計の周波数比較の結果。約1時間の積算時間でcm台の精度の標高差が計測された。

Fig.2 Results of a frequency comparison between an on-vehicle clock and a laboratory clock. Elevation differences with an uncertainty of centimeters were measured in an hour averaging time.

エクストリームフォトニクス研究領域

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.



FY2020 Core Members

(特別研究員)

李 璞

(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 順子(兼務)

(Postdoctoral Researcher)

Zhen Li

(Special Postdoctoral Researcher)

Daichi Kozawa, Shun Fujii

(Visiting Researcher)

Daiki Yamashita

(Assistant)

Yoriko Nissaka (c)

研究テーマ

- ✓ 室温動作通信波長单一光子源の開発
- ✓ 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



フォトニック結晶ナノビーム共振器・導波路に結合した単一カーボンナノチューブ発光

- 単一のカーボンナノチューブを導波路に結合したシリコン微小共振器に集積
- 共振器によって増強された狭線幅成分のみが導波路を通って放出
- シリコン基板上に集積された様々な光部品や光ファイバなどへの接続が容易に

Waveguide coupled cavity-enhanced light emission from individual carbon nanotubes

- Individual nanotube emitters are integrated onto a microcavity and a waveguide
- Only the narrow emission component is extracted from the waveguide facet
- The waveguide-coupled light can easily be connected to various optical components on a monolithic chip and optical fibers.

Reference: D. Yamashita, H. Machiya, K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato, "Waveguide coupled cavity-enhanced light emission from individual carbon nanotubes", APL Photonics **6**, 031302 (2021).

Quantum Optoelectronics Research Team

単層カーボンナノチューブは室温で通信帯域の発光を示し、シリコン基板上に直接成長させることができるために、シリコンフォトニクスにおける発光素子として注目されています。オンチップデバイス化に向けた次のステップとして、他の光デバイスと相互にアクセスできるようにするために、共振器によって増強された光を光導波路に結合することが重要です。

本研究では、単一のカーボンナノチューブを導波路に結合したシリコン微小共振器に集積しました[図1(a)]。有限差分時間領域シミュレーションを用いて共振器と導波路の設計を行い、空気モードフォトニック結晶ナノビーム共振器の片側の穴の数を減らして光閉じ込めを弱めることで、光が一方向に導波するようにしました[図1(b)]。カーボンナノチューブは、化学気相成膜法を用いて SiO_2/Si 基板上に成長させたのち、乾燥スタンプ転写法を使って共振器上に転写しました。

ナノビーム共振器上のカーボンナノチューブからの発光を直接測定するトップ検出測定と、導波路に結合した発光を収集するサイド検出測定の2つの手法を用いてデバイスのフォトルミネッセンス特性を評価しました。まず、トップ検出測定を用いて、共振器と結合している単一のカーボンナノチューブを探査しました。その結果、図2(a)のように、カーボンナノチューブの発光波長で鋭いピークが観測され、発光が共振器によって増幅されているデバイスが得られました。そのようなデバイスに対して、次に、ナノビーム導波路端面から放出される発光をサイド検出測定を用いて調べました。図2(b)にあるように、カーボンナノチューブの広いスペクトルは抑制され、共振器によって増強された鋭いピークを持つ成分のみが導波路を通って放出されていることがわかりました。このような導波路結合光は、シリコン基板上に集積された様々な光部品や、光ファイバに容易に接続することができ、單一カーボンナノチューブ光デバイスの応用性を広げることが期待されます。

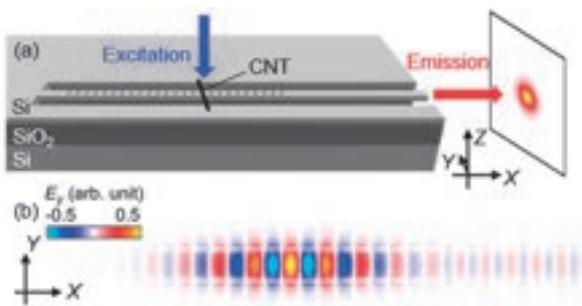


図1 (a)デバイスの概要。(b)フォトニック結晶ナノビーム共振器・導波路の電磁界分布。

Fig.1 (a) Schematic of the device. (b) Simulated spatial distribution of the y-component of the electric field.

Single-walled carbon nanotubes (CNTs) are promising candidates as nanoscale light emitters in silicon photonics because they exhibit photoluminescence (PL) in telecom-wavelength regime at room temperature and can be grown directly on silicon substrates. An important step toward on-chip devices is to couple the light enhanced by the cavity to an optical waveguide, connecting the light emitter and other optical components for mutual access.

In this work, individual CNT telecom-wavelength emitters are integrated onto a microcavity and a waveguide [Fig. 1(a)]. Using finite-difference time-domain simulations, we have modified an air-mode nanobeam cavity to have one thin end mirror for guiding the light into the waveguide [Fig. 1(b)].

We investigate photoluminescence characteristics of the devices using two geometries: a top detection configuration that measures light emission from CNTs on a nanobeam cavity, and a side detection configuration that collects light emission coupled to the waveguide. Figure 2(a) shows a PL spectrum of a CNT coupled to a cavity measured by the top detection configuration. Since the cavity linewidth is considerably narrower than the CNT linewidth at room temperature, devices showing a sharp peak component indicate that CNT emission is coupled to the cavity. Figure 2(b) shows a waveguided CNT PL spectrum of the same device shown in Fig.(a). The light emission from the identified CNT is enhanced at the cavity resonance and extracted from the waveguide facet. Compared to the spectrum in Fig. 2(a), the broad CNT component is suppressed due to the photonic bandgap. The waveguide-coupled light can easily be connected to various optical components on a monolithic chip and optical fibers.

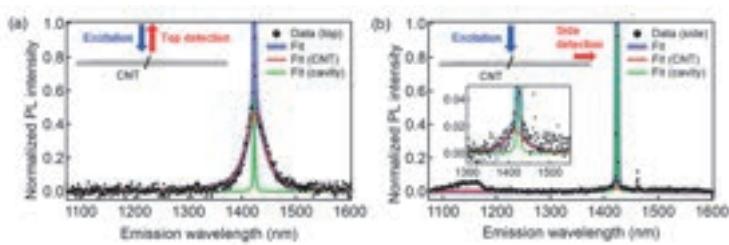


図2 (a)トップ検出測定と(b)サイド検出測定で得られた発光スペクトル。

Fig.2 PL spectra of a CNT coupled to a cavity measured in (a) the top detection configuration and (b) the side detection configuration.

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.



FY2020 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

(特別研究員) 山本 航

(基礎科学特別研究員) 宮代 大輔

(大学院生リサーチアソシエイト)

清水 優太朗

(テクニカルスタッフ)

石井 久美子、和賀 美保

(研究補助パートタイマー)

カラライ マディ ムニアンドイ

(アシスタント) 戸谷 真樹子

(Senior Research Scientist)

Kazuo Kurokawa, Takuro Tojima

(Research Scientist)

Natsuko Jin

(Postdoctoral Researcher)

Wataru Yamamoto

(Special Postdoctoral Researcher)

Daisuke Miyashiro

(Junior Research Associate)

Yutaro Shimizu

(Technical Staff)

Kumiko Ishii, Miho Waga

(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



脂質がタンパク質の選別輸送を制御

- GPIアンカー型タンパク質と膜貫通ドメインを持つタンパク質が小胞体の異なるゾーンに局在化し、異なるER exit sites(ERES)へ選別
- 小胞体膜の脂質セラミドの長さがGPIアンカー型タンパク質のERESへの選別を制御

Lipid chain length-dependent protein sorting

- GPI-anchored proteins and transmembrane proteins are localized to different ER zones and sorted into different ER exit sites (ERES)
- Ceramide chain length in the ER membrane regulates sorting of GPI-anchored proteins into selective ERES

Reference: +Sofia Rodriguez-Gallardo, +*Kazuo Kurokawa, Susana Sabido-Bozo, Alejandro Cortes-Gomez, Atsuko Ikeda, Valeria Zoni, Auxiliadora Aguilera-Romero, Ana Maria Perez-Linero, Sergio Lopez, Miho Waga, Misako Araki, Miyako Nakano, Howard Riezman, Kouichi Funato, Stefano Vanni, Akihiko Nakano, *Manuel Muñiz. "Ceramide chain length-dependent protein sorting into selective endoplasmic reticulum exit sites." *Science Advances*. 6:eaba8237 (2020).

Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team

小胞体で新たに作られたさまざまなタンパク質（積荷タンパク質）は、小胞体に多数存在するER exit sites (ERES)からゴルジ体へ輸送されます。しかし、多様な積荷タンパク質がどのようにERESへと選別されるのか、その機構は未だ十分には解明されていませんでした。

当研究室の黒川（専任研究員）らは、高速高感度レーザー共焦点顕微鏡システム (SCLIM) によって、新たに合成された極長鎖セラミドが付加されるGPIアンカー型タンパク質「Gas1」と膜貫通ドメインを持つタンパク質「Mid2」の輸送を解析しました。その結果、Mid2は小胞体全体に局在する一方、Gas1は小胞体のいくつかのERES近くのゾーンに集積し、両タンパク質がそれぞれ異なるERESに選別されることが明らかになりました。さらに、小胞体膜のセラミドの脂肪酸長が短い細胞では、Gas1が小胞体全体に局在し、Mid2と同じERESへ選別されたことから、脂質の長さがタンパク質の選別輸送を担っていることを証明しました。今後、SCLIMを用いた更なるタンパク質選別の機構の解明により、タンパク質輸送の異常や破綻により発症する疾患研究の発展につながることが期待できます。

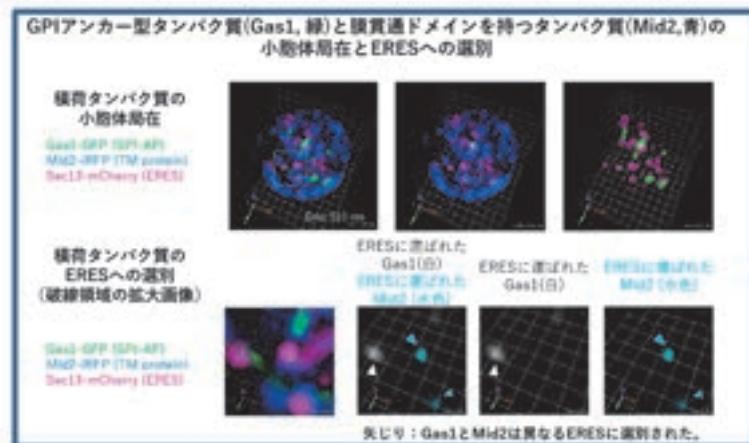


図2 小胞体膜脂質セラミドの長さがGPIアンカー型タンパク質Gas1のERESへの選別を制御する。小胞体膜の脂質セラミドの長さが短い細胞では、Gas1も小胞体全体に局在し、Mid2と同じERESへ選別される。

Fig. 2. Ceramide chain length-dependent protein sorting into selective ERES. GPI-anchored proteins are distributed throughout the ER and sorted into the same ERES as transmembrane proteins in cells with shorter chain length of ceramide in the ER membrane.

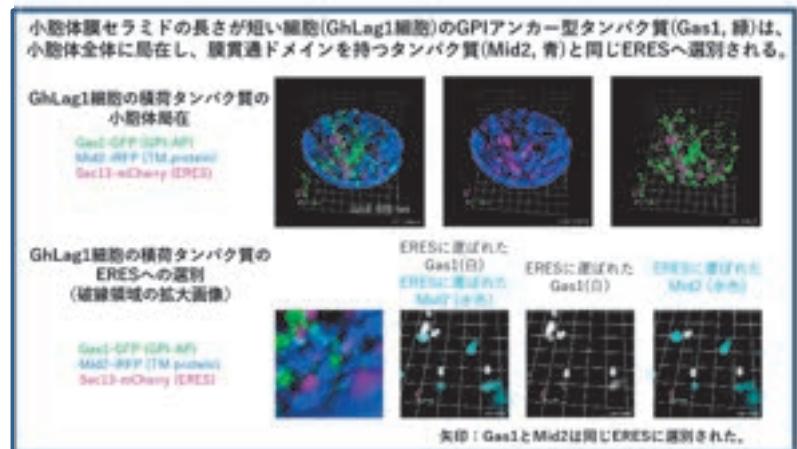
Various cargo proteins are newly synthesized in the endoplasmic reticulum (ER) and then transported to the Golgi apparatus from the ER exit sites (ERES). However, the mechanism of how cargo proteins are sorted into the ERES has still not been fully elucidated.

Using super-resolution confocal live imaging microscopy (SCLIM), Kazuo Kurokawa (Senior Research Scientist) and his collaborators analyzed the sorting of newly synthesized Gas1, a GPI-anchored protein having a very long chain ceramide lipid moiety, and Mid2, a protein with a transmembrane domain. They found that Mid2 localized throughout the ER, while Gas1 made clusters in the zones associated with specific ERES and that both cargos were sorted into different ERES. In addition, they found that, in cells with shorter ceramide in the ER membrane, Gas1 was distributed throughout the ER and was sorted into the same ERES as Mid2, proving that chain length of ceramide in the ER membrane is critical for the sorting selectivity.

SCLIM will help us to further understand the mechanism of protein sorting, which will lead to the development of research on diseases caused by protein transport abnormality and disruption.

図. GPIアンカー型タンパク質Gas1と膜貫通ドメインを持つタンパク質Mid2は、異なる小胞体ゾーンに局在し、異なるERESへ選別される。

Fig. 1. GPI-anchored protein and transmembrane protein localize in distinct ER zones and are sorted into different ERES.



生命光学技術研究チーム



チームリーダー / Team Leader

宮脇 敦史 医学博士

Atsushi Miyawaki, M.D., Ph.D.



FY2020 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

ミトコンドリアのマイトファジーを可視化する 蛍光技術

- パーキンソン病の診断と治療に貢献
- マイトファジーを定量的に可視化する蛍光センサー「mito-SRAI」を開発
- 酸やタンパク質分解酵素に耐性を持つ蛍光タンパク質「TOLLES」を作製

Visualizing and Modulating Mitophagy for Therapeutic Studies of Neurodegeneration.

- Useful for diagnosis and treatment of Parkinson's disease
- Development of an indicator for mitophagy, mito-SRAI
- Investigation of the behaviors and fates of fluorescent proteins inside and outside lysosomes

H.Katayama, H.Hama, K.Nagasawa, H.Kurokawa, M.Sugiyama, R.Ando, M.Funata, N.Yoshida, M.Homma, T.Nishimura, M.Takahashi, Y.Ishida, H.Hioki, Y.Tsujihata, A.Miyawaki: "Visualizing and Modulating Mitophagy for Therapeutic Studies of Neurodegeneration." Cell,181(5):1176-1187 (2020).

ストレスで傷ついたミトコンドリアは活性酸素などを放出し、その蓄積は細胞を死に至らせます。そこで、傷害ミトコンドリアを選択的に細胞内ゴミ処理場リソームに送り込んで分解する仕組み「ミトコンドリア品質コントロール」が働いています。この仕組みに異常が起こると、パーキンソン病などの様々な疾病が起こることが分かっています。

リソームは酸性でタンパク質分解酵素に満ちていますが、こうした環境でも分解されない頑強な蛍光タンパク質TOLLESをまず開発しました。さらにTOLLESを材料にミトコンドリア品質コントロールを定量的に可視化する蛍光プローブmito-SRAIを開発しました。

本研究では、パーキンソン病の病理診断と治療薬開発にmito-SRAIが活躍することを証明しました。まず、パーキンソン病モデル動物において、ミトコンドリア品質コントロールの不全と神経細胞の死が相關することを示しました。さらにハイスクループットスクリーニングを実践し、パーキンソン病治療薬の候補化合物を見出すことに成功しました。

Dysfunctional mitochondria accumulate in many human diseases. Accordingly, mitophagy, which removes these mitochondria through lysosomal degradation, is attracting broad attention. Due to uncertainties in the operational principles of conventional mitophagy probes, however, the specificity and quantitativeness of their readouts are disputable. Thorough investigation of the behaviors and fates of fluorescent proteins inside and outside lysosomes enabled us to develop an indicator for mitophagy, mito-SRAI. Through strict control of its mitochondrial targeting, we were able to monitor mitophagy in fixed biological samples more reproducibly than before. Large-scale image-based high-throughput screening led to the discovery of a hit compound that induces selective mitophagy of damaged mitochondria. In a mouse model of Parkinson's disease, we found that dopaminergic neurons selectively failed to execute mitophagy that promoted their survival within lesions. These results show that mito-SRAI is an essential tool for quantitative studies of mitochondrial quality control.

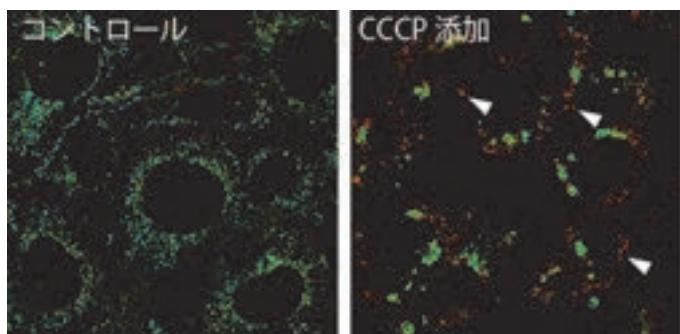
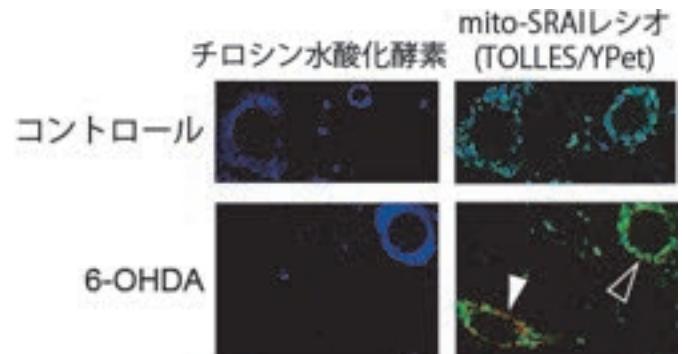


図1 mito-SRAIを用いたミトコンドリア品質コントロールの観察

mito-SRAIを発現した培養細胞を用いてミトコンドリア品質コントロールを可視化しました。コントロールではmito-SRAIはミトコンドリア（緑）に局在していますが、ミトコンドリア毒性を持つ薬物CCCPでミトコンドリアにダメージを与えると、ミトコンドリアがリソームに移行し、シグナル（赤、白矢頭）が検出されます。

図2 mito-SRAIを発現したマウスの神経細胞におけるミトコンドリア品質コントロールの観察

mito-SRAIを発現したマウスの神経細胞の周辺に神経毒を注入することでパーキンソン病のモデルを作り、神経細胞におけるミトコンドリア品質コントロールを観察しました。その結果、チロシンヒドロキシナーゼ（TH）陰性の神経細胞（白矢頭）ではシグナル（赤）が検出されました。パーキンソン病でダメージを受けることが知られているTH陽性の神経細胞（黒矢頭）ではシグナルは観察されませんでした。



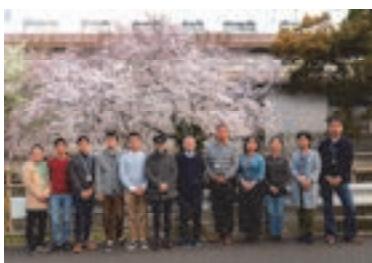
画像情報処理研究チーム



チームリーダー / Team Leader

横田 秀夫 博士(工学)

Hideo Yokota, D. Eng.



FY2020 Core Members

(上級研究員) 吉澤 信、道川 隆士、野田 茂穂

(専任研究員) 太田 聰史

(研究員) 竹本 智子、山下 典理男、森田 正彦

(テクニカルスタッフ)

辻村 有紀、中村 佐紀子、西村 将臣、坂井 良匡

(アシスタント) 田中 晶予、甲田 智恵

(客員研究員)

大山 慎太郎、深作 和明、藤崎 和弘、古城 直道、宮川 雄、村上 幸己、安光州

(Senior Research Scientist)

Shin Yoshizawa, Satoshi Oota, Takashi Michikawa, Shigeho Noda

(Research Scientist)

Satoko Takemoto, Norio Yamashita, Masahiko Morita

(Technical Staff)

Yuki Tsujimura, Sakiko Nakamura, Masaomi Nishimura, Yoshimasa Sakai

(Assistant) Akiyo Takana, Chie Koda

(Visiting Scientist)

Shintaro Oyama, Kazuaki Fukasaku, Kazuhiro Fujisaki, Naomichi Furushiro, Suguru Miyagawa, Yukimi Murakami, Guangzhou An

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

画像情報処理技術を用いた実験用哺乳類（ラット）神経筋骨格モデルの開発と細粒度運動解析の実現



- 高解像度X線CTデータを画像処理技術によりセグメントすることにより、世界で最も自由度の高い骨格モデルを開発
- 3次元内部構造顕微鏡を用いて得られた筋肉系の解剖学的情報から上記モデルを拡張する形でラット神経筋骨格モデルを開発
- 高精度モーションキャプチャーシステムによりラットの運動データを取得し、逆運動学及び逆動力学解析を実現

An image-based approach to develop a rat neuro-musculoskeletal model and a fine-grained motor analysis.

- Development of the world's finest-grained rat skeletal model with high-resolution X-ray CT data;
- Implementation of computational muscle models for the above model by 3D-ISM data.
- Detailed motion analysis of rats by using the neuro-musculoskeletal model and the most advanced motion capture system.

Reference: 1. 嶋根 裕太, 竹村 裕, 金子 秀和, 鮎澤 光, 持丸 正明, 辻村 有紀, 中村 佐紀子, 横田 秀夫, 太田 聰史, 運動の神経メカニズム解明に向けたラット筋骨格シミュレーションモデルの開発, Biomedical Interface Workshop 2021
2. 最優秀発表賞受賞, 研究推進機構総合研究院 脳学際研究部門第4回公開シンポジウム 2020.

Image Processing Research Team

マウスやラットに代表される実験用哺乳動物はヒト疾患モデル生物として長年にわたり科学コミュニティに多大な貢献をしてきました。しかしながら、生体のシステムの複雑さゆえに表現型（遺伝情報に対応する物理世界における生物学的な現象）の細粒度での解析は意外なほど進んでいません。本研究では、表現型の中でも最も複雑な運動機能に光を当てるため、力学的なツールである神経筋骨格モデルを開発し、実際のラットの振る舞いを最新のモーションキャプチャシステムで計測することで、逆動力学解析を含む運動解析を実現しました。

一般に神経筋骨格モデルの開発には大きなコストがかかりますが、本研究では画像情報処理に基づくアプローチに特化することで、低成本かつ短期間での開発に成功しました。具体的には、高精度X線CTデータからは詳細な骨格系の幾何学的データを、3次元構造顕微鏡からは筋肉系の準細胞レベルでのデータを取得し、これを本チームの開発した最新の画像処理技術によって高速かつ正確に分析・統合することで、包括的な解剖学的情報を構築しました。その結果として、186自由度という世界で最も細粒度の骨格モデルと、個々の筋肉の解剖学的な形状も反映した筋肉計算モデルの実装をすることができました。また、産業技術総合研究所の協力により特殊な訓練を受けたラットのモーションキャプチャを実施して、小型動物では難しいとされていた逆動力学解析を実施しました。これにより、外部からは直接観察できない筋肉の力学的な協調作用を推定する道を開くことができました。

本研究は生物学のみならずロボティックスの分野の注目も惹き、学生の嶋根裕太君はこの仕事により複数の賞を受賞しています。

謝辞：本研究は、理研－産研チャレンジ研究の支援を受けて実施されました。

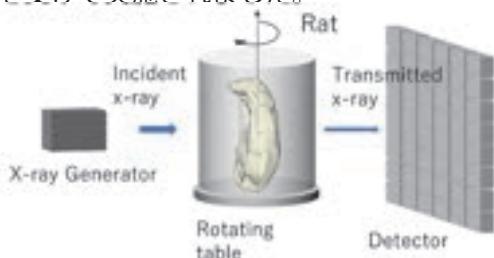


Figure 1 X-ray CT scanning on a rat sample.

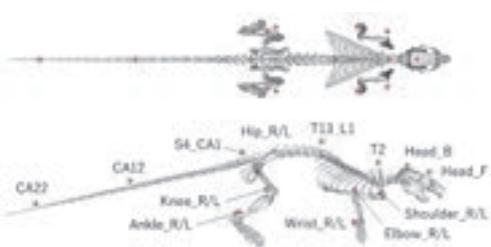


Figure 2 A rat skeletal model based on CT scanning data.

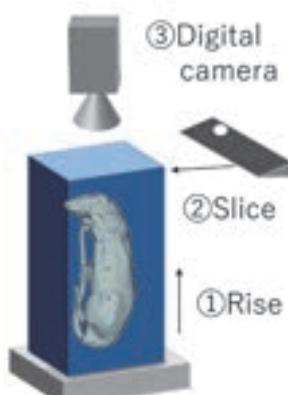


Figure 3 Tomographic data acquisition by the 3D-ISM.



Figure 4 Inverse dynamic analysis of rat gait.

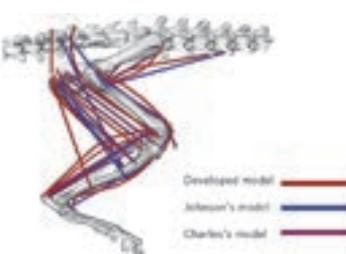


Figure 5 Comparison between our model and the previous studies.

Experimental mammalian animals, like mice and rats, have contributed to the scientific community for more than one century. However, due to the extreme complexity of the biological system, analysis of their fine-grained phenotypes was still in an early stage. By utilizing the Newtonian mechanics framework, we shed light on the neuro-motor function, which is one of the most complex phenotypic traits of organisms. We thus developed a fine-grained rat neuro-musculoskeletal model and conducted various motion analyses, including inverse dynamic (ID) analysis, using an advanced optical motion capture system.

It is notoriously costly to develop neuro-musculoskeletal models. In our research, we have focused on an image-based approach, by which we realized the low-cost and rapid development of the model. We used X-ray CT data and 3D-ISM data for establishing the geometry of the skeletal system and sub-cellular level muscle structure, respectively. We utilized our in-house image information process tools to analyze and integrate the data. As a result, we could implement the world's finest-grained skeletal model and realistic muscle computational model. Collaborating with AIST, we performed motion capture on operand-conditioned rats and achieved the ID, which was supposed to be difficult for small animals. Our achievement paved the way to estimate the internal muscular synergy, which cannot be observed from outside of the body.

Our research also attracted the attention of non-biological areas, like robotics; a cadet, Yuta Shimane, received multiple awards.

This work was supported by the RIKEN-AIST joint project (S.O.), led by the presidents of the two institutes.



チームリーダー / Team Leader

田中 拓男 博士(工学)

Takuo Tanaka, D. Eng.



FY2020 Core Members

(専任研究員)

早澤 紀彦 (兼務)

(基礎科学特別研究員)

Maria Vanessa Balois、

橋谷田 俊

(特別研究員)

Bikas Ranjan、Cheng-Hung Chu、
Maria Herminia Marallag Balgos

(テクニカルスタッフ)

山口 剛史

(客員研究員)

武安伸幸、森竹 勇斗

(アシスタント)

梁 怡蓉

(Senior Research Scientist)

Norihiko Hayazawa (c)

(Special Postdoctoral Researcher)

Maria Vanessa Balois,
Shun Hashiyada

(Postdoctoral Researcher)

Bikas Ranjan, Cheng-Hung Chu,
Maria Herminia Marallag Balgos

(Technical Staff)

Takeshi Yamaguchi

(Visiting Scientist)

Nobuyuki Takeyasu, Yuto Moritake

(Assistant)

Yi-Jung Liang

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
- ✓ 可視光およびTHz波周波数における先端増強分光システム開発

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 spectroscopy in the visible and THz regime

研究成果／Research Output



ランダムに配向されたプラズモンナノ構造アレイ

- 周期的に配置されたナノ構造アレイにランダムな配向を導入する手法の開発
- ランダムな配向を引き起こすメカニズムの研究
- ランダムな配向による光学応答特性の変化
- 新しい光学特性を探求するための数値シミュレーション

Randomly Oriented Plasmonic Nanostructures Arrays

- Developed a method to introduce random orientation in periodically arranged nanostructure arrays
- Investigated the reason for the random orientation
- Study the change in optical response due to random orientation
- Numerical simulation to explore the new optical behaviors

ランダムに配向したプラズモンナノ構造アレイは、近接場光の局在や近接場光同士の相互作用を通して新しい光学特性を生み出します。しかしそのようなランダム配向したナノ構造の加工は難しく、未だその特性は十分に解明されていません。そこで我々は、図1に示すような、電子ビーム描画法で作製したナノ周期構造と選択的なエッティング法を組み合わせて、ランダムな配向を持つ構造の加工技術を開発しました。

図2(a)に示すような周期的な金ナノ構造体の下部の基板を反応性プラズマエッティング法でエッティングすることにより、いくつかの構造が回転し、図2(b)に示すような、ランダムな配向を持つ構造を得ました。ランダム配向を誘起するメカニズムは未だ明らかになっていませんが、プラズマエッティング中の熱による金の膨張と収縮で生じた残留応力が原因だと考えています。

ランダム配向したナノ構造体の光学特性は、フーリエ変換型赤外分光器で評価しました。図2(c)(d)に示すように、ランダム配向を導入したものと導入していないものの赤外透過スペクトルを比較したところ、ランダム配向を導入した試料のスペクトルには、構造間の近接場光の相互作用による透過率の低下(黒矢印)が見られました。

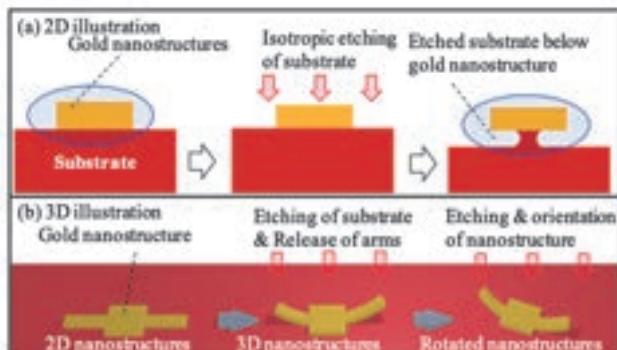


図1(a) 等方的なプラズマエッティングによる金属ナノ構造の下部の基板エッティング。(b) 支持基板のプラズマエッティングによるナノ構造の基板表面からの剥離と回転の模式図。

Fig.1 (a) Schematic of substrate etching for plasmonic nanostructures formed on a substrate. Under isotropic etching, the substrate underneath the metal nanostructure is removed. (b) 3D illustration of substrate etching; along with arms release and orientation of the nanostructure.

Random orientation of plasmonic nanostructures arrays could exhibit new optical behavior through confinement and interaction of near field light. The intricate science of it is yet to be explored because of technical limitations to fabricate such complex arrangements. We developed an etching based strategy to introduce random orientation in periodically arranged nanostructure arrays that was fabricated using electron beam lithography, shown in Fig. 1.

Plasma induced etching of substrate below the periodic nanostructure arrays (Fig.2(a)) resulted in random orientation as shown in Fig. 2(b). The possible reason for the orientation is due to release of tensile stress of present in the center pad of the nanostructures.

The optical response of randomly oriented nanostructures was investigated by Fourier-transform infrared spectroscopy in transmission mode and the changes in the spectra were compared with those of the nanostructure without orientation, shown in Figs. 2 (c-d). The reason for the change in the optical response occurred due to the formation of higher order modes due to near field coupling which was different compared with those of the nanostructure without orientation.

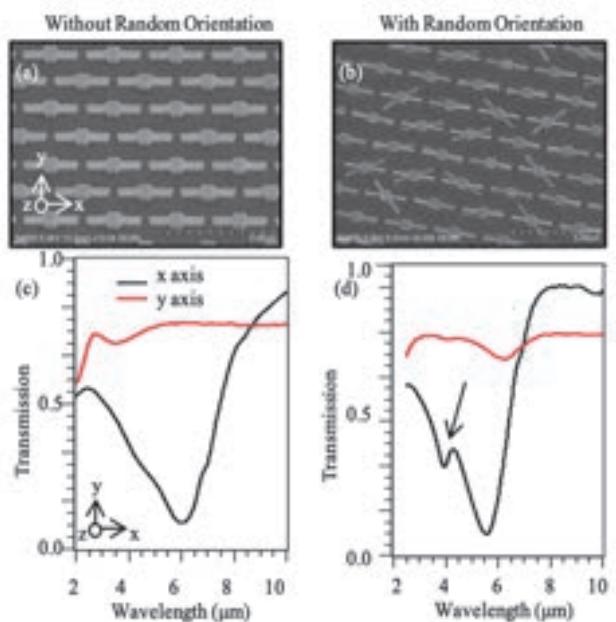
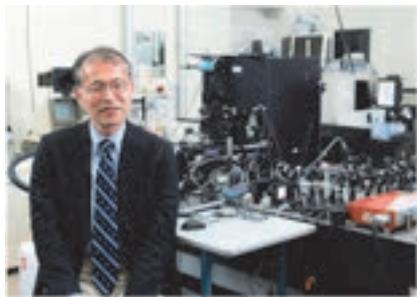


図2(a) and (b) ランダム回転前後のナノ構造の電子顕微鏡写真。(c) and (d) それぞれの構造の赤外透過スペクトル。新たに生じた透過率の低下は黒矢印で示してある。

Fig.2 (a) and (b) show SEM images of fabricated arrays without and with orientation. (c) and (d) show their corresponding transmittance spectra. The new resonance dip is marked by the black arrow.

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.



FY2020 Core Members

(研究員)

小幡 孝太郎

(基礎科学特別研究員)

Shi Bai

(特別研究員)

Daniela Serien,
Caballero Lucas Francesc

(客員研究員)

Xinyuan Qi、Wei Han、
Felix Sima、花田 修賢、
中嶋 聖介

(Research Scientist)

Kotaro Obata

(Special Postdoctoral Researcher)

Shi Bai

(Postdoctoral Researcher)

Daniela Serien,
Caballero Lucas Francesc

(Visiting Scientist)

Xinyuan Qi, Wei Han,
Felix Sima, Yasutaka Hanada,
Seisuke Nakashima

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の創成
- ✓ 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 nanprocessing and application for fabrication of micro and nanodevices
- ✓ Development of high quality, high efficiency, high resolution processing based on beam shaping techniques
- ✓ Synthesis of nanomaterials by ultrafast lasers
- ✓ Elucidation of laser and matter interactions

研究成果／Research Output

マイクロ流体チップを用いた液界面支援表面増強ラマン散乱によるアトモーラーセンシング



- マイクロ流体表面増強ラマン散乱(SERS)チップを作製するための、複合フェムト秒レーザー加工技術を開発
- 作製したチップを用いることにより、新しいラマン分光法である液界面支援SERS(LI-SERS)法を発明
- LI-SERSにより、 1×10^{14} 倍以上の増強度を達成
- LI-SERSにより、アトモーラーセンシングを実証

Attomolar Sensing by Liquid Interface-Assisted Surface-Enhanced Raman Scattering Using Microfluidic Chip

- Development of hybrid femtosecond laser processing for fabrication of microfluidic surface enhanced Raman scattering (SERS) chips
- Invention of a novel technique termed liquid interface-assisted SERS (LI-SERS) using the fabricated Chips
- Achieving the enhancement factor higher than 1×10^{14} by LI-SERS
- Demonstration of attomolar sensing by LI-SERS

S. Bai, D. Serien, Y. Ma, K. Obata and K. Sugioka, ACS Appl. Mater. Interfaces 12, 42328-42338 (2020).

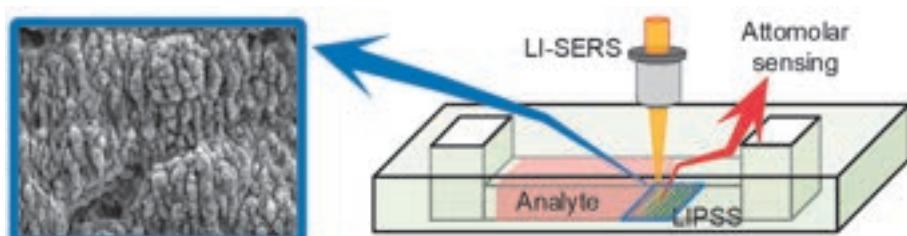
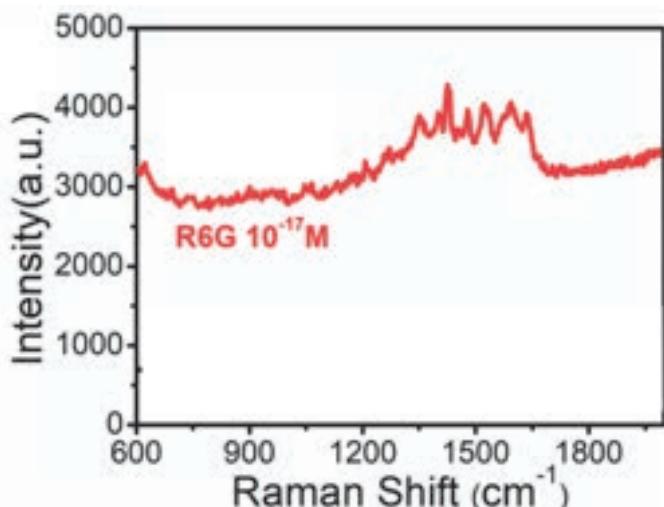


Figure 1 (Left) Nanoripple structure formed on a metal film by femtosecond laser processing. (Right) Scheme of LI-SERS realizing attomolar sensing in the microchannel.

表面増強ラマン散乱 (SERS) は、ナノスケールの構造を持つ銀、金などの金属の表面における局在表面プラズモン共鳴によってラマン散乱の強度が大きく増幅される現象です。SERSは高感度分析手法として、病理診断、組織療法、環境測定、ホログラフィ、食品安全管理など広い分野で利用されています。

2020年度、我々は複合フェムト秒レーザー加工技術により作製したマイクロ流体SERSチップを用いることにより、アトモーラーレベルのセンシングを実現する新しい分析手法を発明しました。マイクロ流体SERSチップの作製は、まず3次元流体構造をガラス基板内に作製し、ガラス流体チャネル内に選択的に金属薄膜を堆積後、堆積した金属薄膜にナノリップル構造(Figure 1左)を形成します。すべてのプロセスは、フェムト秒レーザー直描によって行うことができます。形成した金属のナノリップル構造における溝の平均幅は35 nmであり、照射した光の電解強度が局在表面プラズモン共鳴によって増幅され、SERSセンシングを行うことができます。さらに、マイクロ流体チャネル中に形成された分析物溶液と空気の界面にラマン励起レーザー光を照射すると(Figure 1右)、SERS信号強度が大きく増強される現象を発見しました。我々は、この現象を利用した新しい分析手法を液界面支援SERS(LI-SERS)と名付けました。LI-SERSは 1×10^{14} 倍以上の増強度を達成し、アトモーラーレベルの超高感度センシングを実現しました(Figure 2)。



Surface enhanced Raman scattering (SERS) is a powerful technique for trace analysis due to the extraordinary enhancement of Raman signals by localized surface plasmon resonance (LSPR) on a nanostructure of metal such as silver and gold. The SERS technique has thus been exploited in diverse analytical applications including disease diagnosis, tissue therapy, environmental monitoring, holography, and food safety management.

In FY2020, we invented a novel method to realize attomolar sensing using microfluidic SERS chips fabricated by hybrid femtosecond laser processing. The hybrid femtosecond laser processing consisted of fabrication of 3D microfluidic structure in a glass substrate, selective deposition of a metal thin film in the glass microfluidic channel, and formation of a nanoripple structure on the deposited metal thin film (Figure 1, left), all were carried out by femtosecond laser direct writing. The created metal nanoripple structure included the nanogrooves with an average width of 35 nm, which could amplify the localized electric field of light externally illuminated due to LSPR to perform the SERS sensing. Most strikingly, we found the enhancement of SERS can be significantly amplified when the Raman excitation laser was irradiated at the interface between an analyte solution and air on the metal nanostructure formed in the microfluidic channel (Figure 1 right). We termed this novel method liquid interface-assisted SERS (LI-SERS). The LI-SERS achieved an enhancement factor higher than 1×10^{14} , enabling ultra-highly sensitive sensing of analyte with a concentration down to attomolar (Figure 2).

Figure 2. Raman spectrum for Rhodamine 6G (R6G) solution with a concentration of 10^{-17} M (10 aM) in the fabricated microfluidic SERS chip by LI-SERS. Raman signals associated with RG6 are clearly detected, demonstrating attomolar sensing.

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.



FY2020 Core Members

(研究員) 野竹 孝志、繩田 耕二、
瀧田 佑馬
(パートタイマー)
齋藤 美紀子、八重柏典子
(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、森口祥聖

(Research Scientist)
Takashi Notake, Kouji Nawata,
Yuma Takida
(Part-time Worker)
Mikiko Saito,
Noriko Yaekashiwa
(Assistant) Reiko Sasaki
(Senior Visiting Scientist)
Hiromasa Ito
(Visiting Scientist)
Seigo Ohno,
Yoshikiyo Moriguchi

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

微小3次元金属らせんとテラヘルツ光との異方的な相互作用を可視化



- マイクロメートルスケールの3次元金属らせん構造をバイオテンプレート技術により作製
- 3次元金属らせんからの異方的なテラヘルツ放射を優れた空間・時間分解能でリアルタイムに可視化する事に成功
- テラヘルツ周波数領域の超広帯域アンテナとしての応用

Visualization of anisotropic interaction between Terahertz light and micro metal helix in real-time

- Fabrication of micro-scale three-dimensional metal helical structures using bio-template technology
- The anisotropic THz radiation from the helix was visualized with excellent spatial/temporal resolution in real-time
- Application as an ultra-wideband antenna in THz frequency range

Reference: T. Notake, T. Iyoda, T. Arikawa, K. Tanaka, C. Otani & H. Minamide, Scientific Reports volume 11, Article number: 3310 (2021).

テラヘルツ光は次世代の超高速移動通信規格(beyond 5G)における重要な電磁波資源でもあり、テラヘルツ光を発生・検出・制御するためのさまざまな光・電子デバイスの開発競争が世界中で加速しています。

今回我々は同志社大学のグループと共同で、藻類の一一種で自然ながらに3次元らせん構造を持つ「スピルリナ」を鋳型として金属メッキすることで、長さ約0.1mm、直径約0.03mm、線径約0.007mmの微小な金属らせん構造を作製しました。その後、京都大学のグループと共同で、作成した微小金属らせん構造とテラヘルツ光との相互作用を、高性能テラヘルツ近接場顕微鏡を用いて調べました。その結果、特定の方向へ、異なる周波数のテラヘルツ光が再放射される様子を、回折限界を超えたテラヘルツ光波長の10分の1程度の空間分解能とフェムト秒(100兆分の1秒)の時間分解能で、リアルタイムに可視化することに成功しました。

通信における情報の伝送速度は帯域(周波数の幅)で決まりますが、今回観測に成功した微小金属らせん構造からのテラヘルツ光放射の帯域は、1テラヘルツ以上あることが分かっています。これは、現在の最先端5G通信規格技術で使われている帯域の約1万倍であり、本成果はbeyond 5G規格などにおける超広帯域アンテナとして応用が期待できます。

Terahertz (THz) light is an important resource for the next-generation ultrahigh-speed mobile telecommunication standard (beyond 5G), and the race to develop various optical/electronic devices to generate, detect, and control terahertz light is accelerating over the world.

We fabricated a metal micro helix of about 0.1 mm in length, 0.03 mm in diameter, and 0.007 mm in wire diameter by metal plating for Spirulina in collaboration with Doshisha University. Then, an interaction between the metal micro helix and THz light was measured using THz near-field microscope in collaboration with Kyoto University. As a result, we succeeded in visualizing the re-radiation of THz light of different frequencies in a specific direction in real time with a spatial resolution of about one-tenth of the wavelength of terahertz light beyond diffraction limit and a time resolution of femtosecond.

The transmission speed of information in telecommunication is determined by the bandwidth. The bandwidth of THz radiation from the micro metallic helix structure observed in this study is more than 1 THz, which is about 10,000 times higher than the bandwidth used in the current state-of-the-art 5G communication standard technology. Therefore, our achievement is expected to be applied as an ultra-wideband antenna for beyond 5G platform.

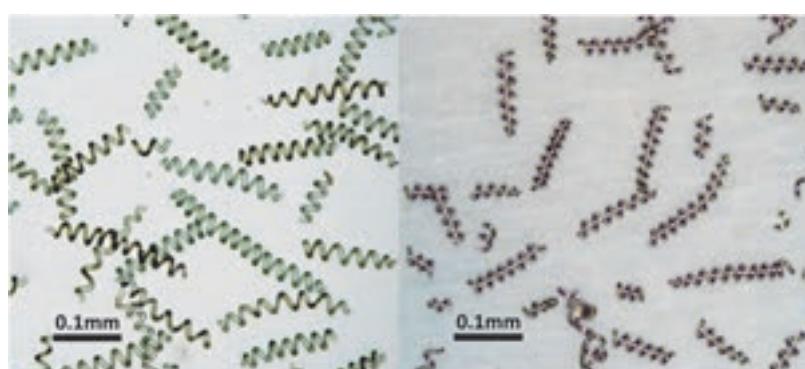
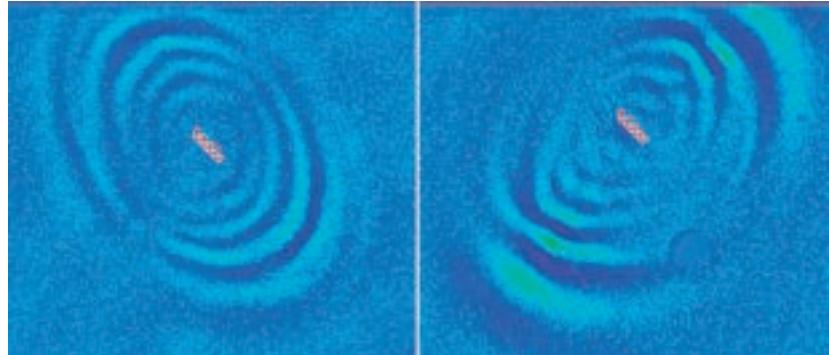


図1 藻類スピルリナ（左）とニッケルメッキ処理後のスピルリナ微小金属らせん（右）

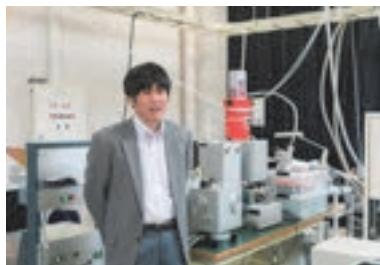
Fig.1 Algae spirulina (left) and spirulina after nickel plating treatment, metal micro helix (right)

図2 実時間で可視化された異なる特定の方向へテラヘルツ光が再放射される様子。それぞれ軸モード(左)ノーマルモード(右)に対応している。

Fig.2 Real-time visualization of terahertz light being re-radiated in different specific directions. They correspond to the axial mode (left) and normal mode (right), respectively.



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.



FY2020 Core Members

(上級研究員) 保科 宏道、山下 将嗣

(研究員) 美馬 覚

(技術) 佐々木 芳彰

(特別研究員) 吉峯 功

(基礎科学特別研究員) 山崎 祥他、

FENG ChaoHui

(客員主管研究員) 川瀬 晃道、野口 卓、
尾崎 幸洋

(大学院生リサーチ・アソシエイト)

沓間 弘樹

(パートタイマー) 古川 昇、渡辺 博、
倉門 雅彦

(Senior Research Scientist)

Hiromichi Hoshina,

Masatsugu Yamashita

(Research Scientist) Satoru Mima

(Technical Scientist) Yoshiaki Sasaki

(Postdoctoral Researcher)

Isao Yoshimine

(Special Postdoctoral Researcher)

Shota Yamazaki, ChaoHui Feng

(Senior Visiting Scientist)

Kodo Kawase, Takashi Noguchi,

Yukihiro Ozaki

(Junior Research Associate)

Hiroki Kutsuma

(Part-time Worker) Noboru Furukawa,

Hiroshi Watanabe, Masahiko Kurakado

研究テーマ

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

Research Subjects

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

研究成果／Research Output



テラヘルツ光照射による衝撃波発生と生体分子の構造変化

- THzパルス光を水溶液に照射すると、衝撃波が発生し、水中を伝搬する事を発見した
- THz光照射で発生した衝撃波により、細胞内の蛋白質重合体が断片化されることがわかった
- 生体へのTHz光照射には非熱作用がある事を実証した

Shockwaves generated by the terahertz irradiation demolish bio-molecules in the cells

- THz irradiation to the aqueous solution generates shockwaves which demolish protein aggregates in the living cells
- Non-thermal THz irradiation effect for the living organisms is demonstrated

Reference: Yamazaki et al. Scientific Reports **10**, 9008 (2020); Tsubouchi, et al. Scientific Reports **10**, 18537 (2020)

Terahertz Sensing and Imaging Research Team

テラヘルツイメージング研究チームの保科宏道上級研究員と山崎祥他基礎科学特別研究員は、東北大、京大、量研機構らと連携し、生体へのTHz光照射影響について研究を進めてきました。

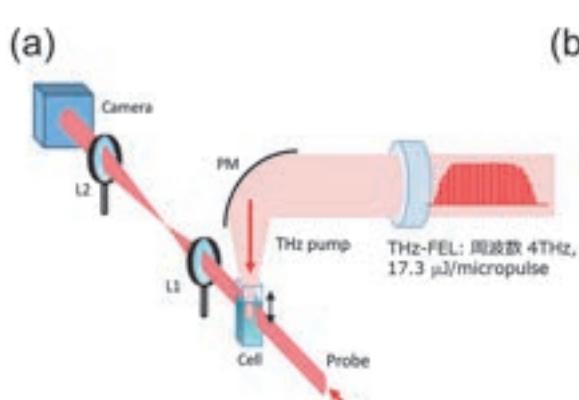
本研究では、周波数4THz付近のピコ秒パルステラヘルツ(THz)光を水溶液に照射した際に、水面で衝撃波が発生し、水中を数mm以上伝搬する事を発見しました。発生した衝撃波を重合反応中のアクチン蛋白質に照射すると、生成したアクチン纖維の数の減少が観測され、THz光による衝撃波が蛋白質重合反応を阻害する事が明らかになりました。さらに、HeLa細胞を培養中の培地にTHz光を照射しながら、細胞内のアクチン重合体を蛍光観察したところ、THz光強度80μJ/cm²以上では、細胞内のアクチン纖維が断片化する事が明らかになりました。

これまで、THz光は水に強く吸収されるために、その照射影響は生体組織表面の熱影響がほとんどであると考えられていました。しかし本研究によって、THz光のエネルギーが衝撃波として生体内部に伝搬する事が明らかになりました。今後、THz帯の電磁波の防護指針を定める上で、このような非熱作用の効果は、無視出来ないと考えられます。

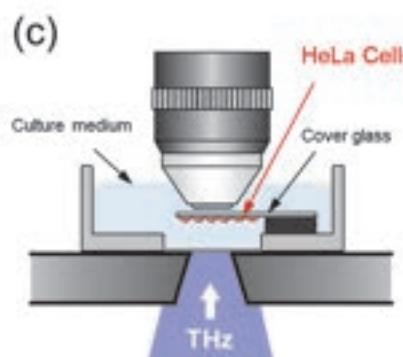
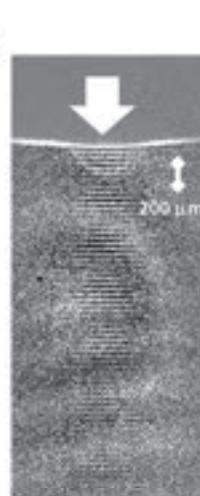
Dr. Hoshina, Dr. Yamazaki et al. have been investigating the effects of THz irradiation on living organisms in collaboration with Tohoku university, Kyoto university and QST.

In this study, we found that THz pulse (~ps, ~4 THz) generates shockwaves at the surface of water that propagate more than a few mm when irradiated to aqueous solution. When the generated shockwaves were irradiated actin proteins undergoing polymerization, decrease in the number of actin filaments was observed, indicating that the shockwaves inhibit the polymerization reaction. Furthermore, THz irradiation to the HeLa cells revealed that the actin filaments in the cells demolished at the THz intensities more than 80 μJ/cm².

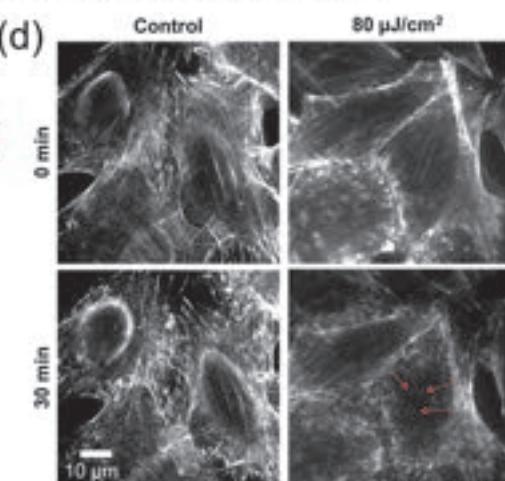
It was thought that the THz irradiation effect was mostly due to thermal effects at the body surface due to strong absorption of water. However, this study revealed that the energy of THz light propagates as a shock wave into the body, which should not be ignored when establishing safety guidelines of the THz light.



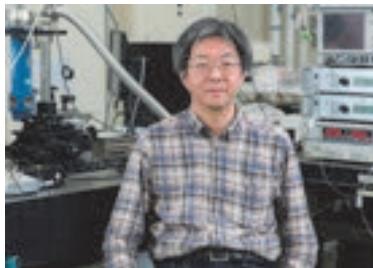
(c)培地中に固定されたHeLa細胞の顕微鏡観察。水面から十分な距離があるため、細胞への光作用、熱作用は無視できる。(d)30分間THz光を照射した際の細胞内アクチン纖維画像。照射による纖維の断片化が見られた。
(c)Microscope observation of HeLa cells in the culture medium. Optical and thermal effect are negligible due to the sufficient distance from the surface. (d) Images of actin filaments in the cells irradiated with THz light for 30 minutes. Fragmentation of the fiber is observed.



(a)シャドウグラフ法によるTHz衝撃波の観測。THzパルス列を石英セル中の水に緩やかに集光し、衝撃波による屈折率分布をプローブ光で観測した。
(b)シャドウグラフ法で得られたTHzパルス列のイメージ。数mm以上伝搬していることが確認された。
(a) Observation of THz shockwaves by the shadowgraph method: THz pulse trains were irradiated to water in a quartz cell. The image of the shockwaves was observed by the probe light. (b) Image of the THz pulse train obtained by the shadowgraph method. The shockwaves propagates more than several millimeters.



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.



FY2020 Core Members

(研究員)

林宗澤、定昌史(兼務)

(特別研究員)

王利

(研修生)

陳明曦

(アシスタント)

佐藤 知子

(Research Scientist)

Tsung-Tse Lin, Masafumi Jo (c)

(Postdoctoral Researcher)

Li Wang

(Trainee)

Mingxi Chen

(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
- ✓ 壕化物半導体を用いた未開拓波長THz/赤外QCLの開発
- ✓ 面発光THz-QCLの開発

Research Subjects

- ✓ Development toward room temperature operation of THz-QCLs
- ✓ Development of watt-class high-power THz-QCLs
- ✓ Research toward realizing unexplored-frequency THz/IR QCL using nitride semiconductors
- ✓ Development of surface emitting THz-QCL

研究成果／Research Output

ワットクラス高出力テラヘルツ量子カスケードレーザ (THz-QCL)を実現



- リーク電流の低減により
4THz帯1.15W出力GaAs系THz-QCLを実現
- 変形2量子井戸型THz-QCLで300Kの光利得を解析で実証
- 面発光THz-QCLで光取り出し効率が100%となる構造を解
析で実証

Development of watt class high-power terahertz quantum cascade laser (THz-QCL)

- Realization of 4 THz-band GaAs-based THz-QCL with 1.15 watt output power
- Operation temperature of THz-QCL up to 300 K is analyzed by using deformed two well QC structure
- 100% light-extraction efficiency is demonstrated in the analysis of surface-emitting THz-QCL

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、高耐久性など優れた特徴を備え持つテラヘルツ光源であるテラヘルツ量子カスケードレーザ(THz-QCL)の開発を行っています。本研究では、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、未踏周波数である5-12 THzを実現するために、窒化物半導体を用いたQCLの開発を行っています。

今年度は、厳密な量子構造の設計に基づいて、THz-QCLの高出力化および動作の高温化に関する設計指針を検討しました。解析に基づき実際のTHz-QCLで高出力、高温動作を実現しました。QCL動作に必要とされる3準位を他の量子準位から完全にアイソレートして熱的な電流リークを阻止し、また、発振準位間遷移を強い対角遷移にして熱励起LOフォノン散乱を大幅に抑える事により、室温における反転分布が可能となり、発振に必要な光利得が得られる事を明らかにしました。電流リークブロック構造をGaAs系THz-QCLに導入し、4.01 THzにおいて最高出力1.15Wの高出力動作を実現した。また最高動作温度も202Kを達成しました。また、面発光THz-QCLで問題となっている光取り出し効率に関して、100%に近い値を実現するフォトニック結晶導波路構造を解析から求めました。

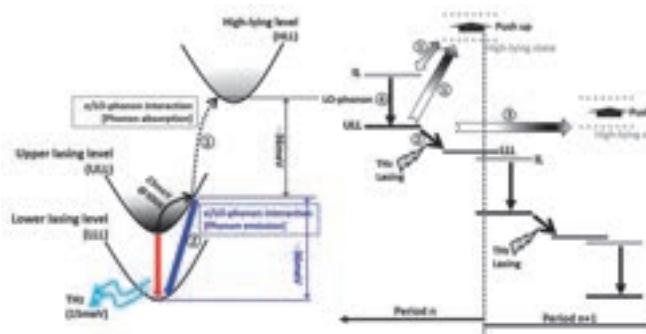


図1 アイソレート3準位、及び、強い対角遷移の導入により得られたGaAs系THz-QCLの300Kにおける光利得の解析結果

Fig.1 Analysis of high-temperature operation of a GaAs-based THz-QCL realized by introducing isolated three levels with diagonal transition

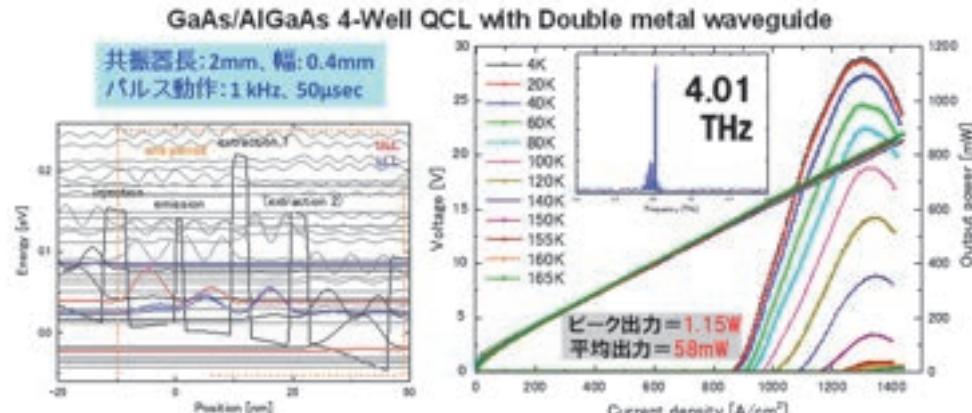
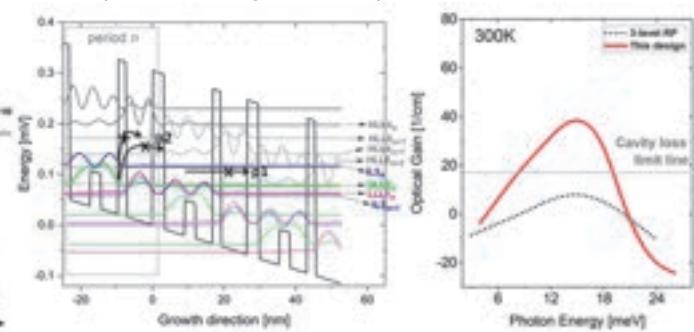


図2 横リーケ電流低減構造の導入、及び、ドーピング量の最適化により得られたGaAs系THz-QCLの高出力1.15W動作

Fig.2 1.15 watt power GaAs/AlGaAs THz-QCL realized by blocking lateral leakage current and by optimizing doping concentration

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

This fiscal year, we demonstrated analytically that the sufficient optical gain for lasing of THz-QCL can be obtained even at room temperature by shutting down the thermal leakage channels of currents by completely isolating the main three levels from other leakage levels and by adopting a strong diagonal transition of lasing levels to suppress the thermally activated LO phonon scattering. By reducing a parasitic current leakage of a GaAs-based THz-QCL, we achieved high output power operation with a maximum power of 1.15 W at 4.01 THz. The maximum operating temperature has also reached 202K. In addition, we demonstrated a light-extraction efficiency (LEE) close to 100% analyzed for a surface-emitting THz-QCL with a photonic crystal (PhC) double-metal waveguide by introducing a prism-type air hole structure.



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.



FY2021 Core Members

(先任研究員) 加瀬 究
 (上級研究員) 斎藤 徳人
 (専任研究員) 佐々 高史、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、宮田 憲太郎、
 村上 武晴、小田切 正人、斎藤 洋太郎
 (特別研究員) 白 ランラン、竹谷 皓規
 (特別嘱託研究員) 小林 峰
 (テクニカルスタッフ) 坂下 亨男、
 国本 幸紀、種石 慶、森下 圭、川田 靖、
 津野 克彦 (兼務)、岡下 敏宏、大野 陽子、
 松本 健
 (アシスタント) 渡邊 博子、中村 真優、
 野々村 真奈美、鈴木 利佳子
 (パートタイマー) 中川 淳子、奈良 美幸、
 北 克則、碓井 民子、高地 勇、植松 洋子

(Senior Research Scientist)
 Kiwamu Kase, Norihito Saito,
 Takafumi Sassa, Tomoki Matsuyama (c)
 (Research Scientist)
 Takayo Ogawa, Masaki Yumoto,
 Katsushi Fujii, Masayuki Murayama,
 Kentaro Miyata, Takeharu Murakami,
 Masato Otagiri, Yotaro Saito
 (Postdoctoral Researcher)
 Lanlan Bai, Akinori Taketani
 (Technical Staff)
 Katsuhiro Tsuno, Michio Sakashita,
 Yukinori Kunimoto,
 Kei Taneishi, Kei Morishita,
 Yasushi Kawata, Toshihiro Okashita,
 Yoko Ono, Takeshi Matsumoto
 (Assistant)
 Hiroko Watanabe, Mayuu Nakamura,
 Manami Nonomura, Rikako Suzuki
 (Part-time Worker)
 Junko Nakagawa, Miyuki Nara,
 Katsunori Kita, Tamiko Usui,
 Isamu Takachi, Yoko Uematsu

研究テーマ

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

Research Subjects

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

研究成果／Research Output

干渉イメージングによる会話飛沫の速度ベクトルとサイズの同時測定

- 発話で発生する飛沫粒子全数に対する測定が可能
- 粒径情報を同時に測定可能
- シングルカメラでの速度ベクトル測定が可能
- 測定対象の気流・軌跡を妨げない

Simultaneous measurement of the velocity and size of speech-generated droplets using interferometric imaging

- Measurement of the total number of droplet particles generated by speech
- Simultaneous measurement of velocity vector and size information for all generated droplet particles
- Velocity vector measurement with a single camera
- No interfere with the airflow or trajectory of the measurement target

Covid-19の流行にともない、会話や咳によって発生する飛沫の量や速度を実測するニーズが急増しています。強力な計算機資源を用いた高度なシミュレーション技術においても、初期条件として設定すべき飛沫粒子のパラメータ情報が不可欠です。

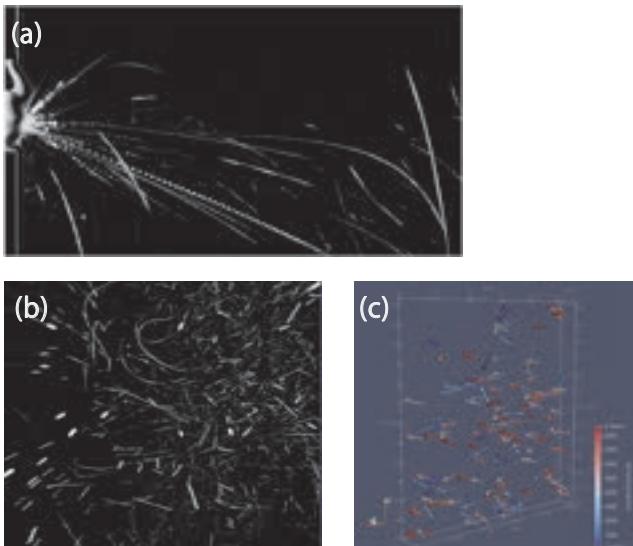
飛沫粒子や気流の速度プロファイルは、一般的にはシート状のレーザー光を用いた Particle Image Velocimetry (PIV)により測定されますが、この方法では特定のシート面内しか測定対象にすることができます、しかも個々の粒子サイズを知ることができません。粒子の総数やサイズ情報はインクと濾紙や吸引式パーティクルカウンタ等で間接的に測定することができますが、これらはPIV測定との同時測定が困難なため、飛沫粒子の全パラメータは統計的な傾向としてしか知ることができませんでした。

我々のチームでは5mm 厚に成型したPIV光シートを全ての飛沫粒子が横切るように配置し、さらにディフォーカス面における光干渉を利用した粒径測定方法であるInterferometric Mie Imaging (IMI)を組み合わせる独自の光計測システムで、イベントごとに発生する飛沫粒子全てに対し個別に速度ベクトル、サイズ情報を同時測定する方法を提案しています。今後は計測企業への技術供与等を通じて、このような高機能計測技術が一般的に利用されることが期待されます。

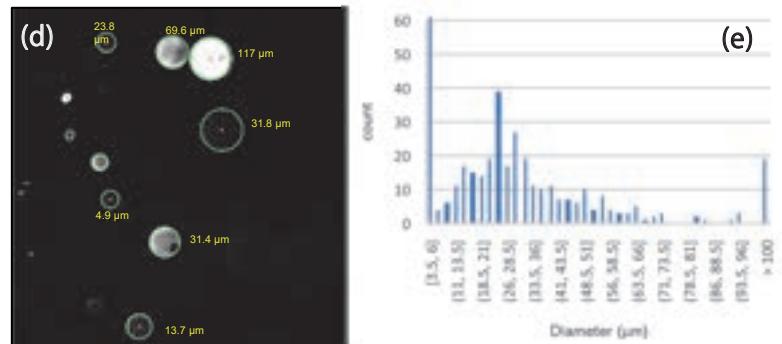
With the recent Covid-19 pandemic, there is an increasing need to measure the kinetic parameters of droplets produced by talking and coughing. Powerful computer simulations also require the input of droplet particle parameters as initial conditions.

The velocity of droplets is usually measured by Particle Image Velocimetry (PIV) using a laser light sheet. However, this method can only measure within a specific sheet plane does not provide particle size information. The total number and size of droplets can be measured indirectly with ink and filter paper or suction particle counters, but not simultaneously with. All parameters of droplet particles can only be obtained statistically.

Our team has developed a unique optical measurement system that combines off-focal plane Interferometric Mie Imaging (IMI) with a precisely formed 5mm thick PIV optical sheet placed so that all droplets pass through it. We propose this system for the simultaneous measurement of velocity vector and size information for all generated droplet particles. It is expected that such a highly functional measurement system will be widely used through the licensing of this system to measurement companies in the future.



(d) 直交型PIV測定と同時計測されたディフォーカス面での干渉像。数値はFFTで求めた粒子の直径
(e) 「パ」発音で発生した飛沫粒子の個数とサイズ分布
(d) Interference image in the off-focal plane measured simultaneously with orthogonal PIV. The numbers are the diameters of particles calculated by FFT.
(e) Count and size distribution of droplet particles generated by the "Pa" pronunciation.



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.



FY2020 Core Members

(先任研究員) 城田 幸一郎

(専任研究員) 田島 右副, 滝澤慶之

(研究員) 青木 弘良, 細畠 拓也,

海老塚 昇

(訪問研究員(JSPS)) 江川 悟

(アシスタント) 佐藤 祐子

(Senior Research Scientist)

Koichiro Shirota, Yusuke Tajima,
Yoshiyuki Takizawa

(Research Scientist) Hiroyoshi Aoki,

Takuya Hosobata, Noboru Ebizuka

(Visiting Researcher (JSPS)) 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がJ-PARC BL-16(SOFIA)に導入され、リチウムイオン電池の界面構造を小型サンプルで短時間で計測*
- 超精密多軸制御加工により製作されたスライスマラーを用いて超高速イメージングを実現**
- TAO望遠鏡のための2次元分光装置 (SWIMS-IFU) のための光学素子の開発が進捗

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

- Neutron Focusing mirror using metallic substrate have introduced to J-PARC BL-16 and is applied to the analysis of laminar structure of lithium-ion battery with small sample *
- Ultrafast imaging has been conducted by slicing mirror manufactured by multiple-axis ultrahigh precision machining**
- Optics developments for 2D spectrometer for TAO telescop (SWIMS-IFU) is still in progress

*N.L.Yamada et al. J.Appl. Cryst. 53 (2020) **T.Saiki et al., Opt. Express 28 (2020)

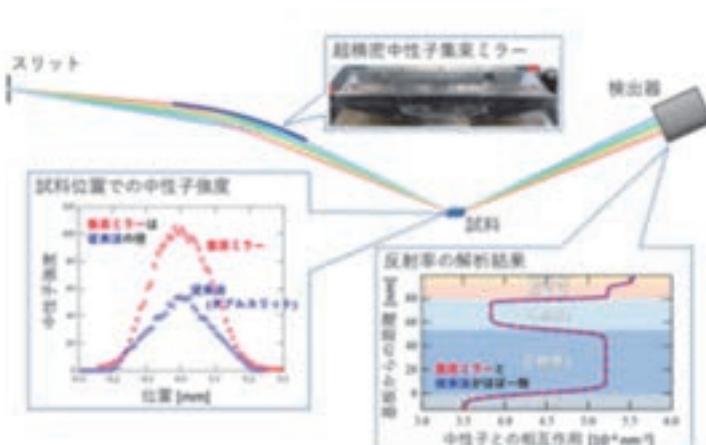
Advanced Photonics Technology Development Group

Ultrahigh Precision Technology Team

先端光学素子開発チームでは、光学素子等の超精密加工、光学設計、超精密計測技術に関する研究開発を推進しています。金属基材を用いた中性子集光ミラーの開発では、高精度な1次元橜円集光ミラーの開発に成功し、J-PARC BL-16(SOFIA)の標準オプションとして装備され、リチウムイオン電池の内部構造の解析に成功しました。中性子集光ミラーの導入により、約10mm角という小型のサンプルでも、従来の約1／3の時間で計測が可能となりました。ユーザープログラムへの供用が始まりました。また、天文観測機器や超高速イメージング向けのスライスミラーなどの複雑な光学系の加工技術の開発も進めています。当チームと東京大学中川准教授らとの共同により加工されたスライスミラーを用いて、超高速イメージングを行った結果が論文として公表されました。

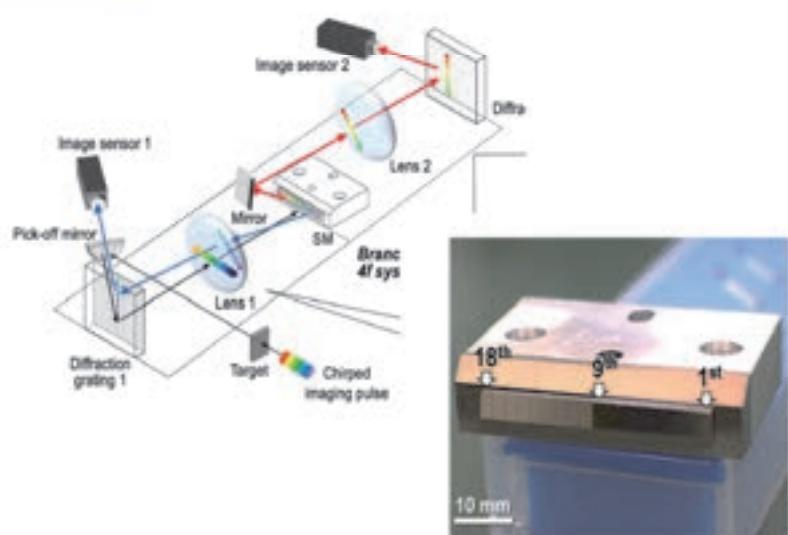
At Ultrahigh Precision Optics Technology Team, we conduct ultrahigh precision machining, metrology and design of optical components and systems. An elliptic neutron focusing mirror for J-PARC BL-16(SOFIA) has been successfully finished and is used for analyzing laminar structure of lithium-ion battery. By using this focusing mirror, the measurement time was reduced to 1/3 even with sample lithium-ion battery as small as 10mm square.

For astronomical instruments or ultrafast imaging experiment, manufacturing technique of complicated precision optical surfaces such as slicing mirror has been established. A result of ultra fast imaging using a slicing mirror manufactured in collaboration with Prof. Nakagawa at University of Tokyo was successfully published.



金属基材を用いた中性子集光ミラーを利用したリチウムイオン電池層構造の解析
N.L.Yamada et al. J.Appl.Cryst. 53 (2020)

超高速イメージングのためのスライスミラー
T.Saiki et al., Opt. Express 28 (2020)



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.



FY2020 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、
松崎義夫、箸蔵晴彦

(アシスタント) 岸野 みゆき

(RAP特別顧問) 池田 裕二郎

(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,

Yoshio Matsuzaki,

Haruhiko Hashikura

(Assistant) Miyuki Kishino

(RAP Senior Advisor) Yujiro Ikeda

研究テーマ

- ✓ いつでもどこでも利用できる安全な中性子線。理研小型中性子源システムRANS高度化開発
- ✓ 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
- ✓ 超小型中性子塩分計 RANS- μ
- ✓ 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
- ✓ Realization of the on-site use compact neutron system
- ✓ Non-destructive test technology with quantitative analysis
- ✓ Ultra compact neutron salt-meter, RANS- μ
- ✓ R&D for the water exploration and elemental analysis on the Moon and Mars

研究成果／Research Output

RANS-II、可搬型プロトタイプによる橋梁劣化モデルの中性子非破壊検出の実証へ
橋梁床版内部や吊り橋ケーブル内の微小劣化の検出ならびに可視化可能へ



- 可搬型プロトタイプであるRANS-IIが日常的に稼働開始
高速中性子ビーム利用可能に
- 吊り橋ケーブルの6mm φ の滯水検出ならびに位置特定の
可視化に成功
- アスファルト下の劣化の検出に成功
- 合成床版の床版土砂化も可能に

RANS-II, the prototype of transportable neutron system, the visualization of small degradation in the degradation inside suspension bridge cables, and the deterioration inside the bridge deck.

- Prototype of transportable neutron system, RANS-II starts daily operation, neutron scattering imaging method is available for large scale structure non-destructive test.
- The 6mm φ water degradation in the suspension bridge cable is visualized.
- The small and thin deterioration inside asphalt floor slab

橋梁や高速道路などのインフラ劣化は年々深刻化し、近年国内外において、内部鋼材破断による橋梁の事故や落橋が発生しています。その理由の一つに、塩分による橋梁内部の劣化があります。塩害は、海岸部のみならず、凍結防止剤が散布される山間部においても今や深刻な問題となっています。塩害により鋼材腐食などが進み構造物を支えている重要な鋼材破断が見えないところで進んでいます。そのため、塩分を非破壊で検出し、劣化の原因となる水やボイドを可視化する技術の開発は、事故の発生を未然に防ぐための喫緊の重要な課題です。

可視化技術については、屋外用可搬型中性子源システムRANS-IIIのプロトタイプであるRANS-IIを用いて、コンクリート構造物のアスファルト床版や合成床版内部の小さな劣化の可視化や、吊り橋のケーブル内部の水分や空隙という深刻な劣化を誘発する原因となる欠陥を非破壊で可視化する技術開発に成功しました。新たに開発した塩分計RANS- μ モデル03は、橋梁点検車を用いた搭載サイズと重量の確認試験に成功した。また、現場で使える小型中性子源システムの開発も、実用化に向けて着実に進んでいます。



図2 橋梁床版内部劣化（滯水、空隙、土砂化）を非破壊で可視化する中性子散乱イメージング技術の高分解能、高度化実験をRANS-IIIにより実施するときの、橋梁床版サンプルを設置している様子。手前側が4層ある橋梁モデル。奥が2次元ToF中性子検出器

Fig. 2 The non-destructive visualization experiment with RANS-II of the internal deterioration of bridge deck slab. The various kinds of the internal deterioration of water, void, and sedimentation of concrete with different thickness, density are set, and measured by RANS-II neutron beam with position sensitive time-of-flight detector with 60*60cm² size.

The deterioration of infrastructures such as bridges and highways is becoming more serious every year, and recently accidents involving bridges such as bridge falls and fracture of steel material are occurring all over the world including Japan. One of the reasons for this is the deterioration of the inside of bridges due to salt penetration. Currently, salt damage is a serious problem not only in coastal areas but also in mountainous areas where antifreeze is sprayed. This is because salt damage corrodes steel and breaks down the important steel that supports the structure in places that cannot be seen from outside. Therefore, the technology for non-destructive detection of salt and visualization of water and voids that because deterioration is an urgent and important issue to prevent accidents.

Regarding to the visualization technology development, using RANS-II which is a prototype of transportable neutron system RANS-III for out-door use, we have succeeded in developing a technology for non-destructive visualization of small deterioration of concrete structures such as bridge floor slabs and cables of suspension bridges. The newly developed salt-meter, RANS- μ model 03 has been successfully tested to confirm its on-board size and weight using a bridge inspection vehicle. The development of a compact neutron source systems is making steady progress toward practical application.

図1 中性子塩分計 RANS- μ モデル03 福島ロボットテストフィールド 試験橋梁にて、橋梁点検車（バケット式）搭載試験の様子。重量、サイズ、可動範囲、電気ノイズなどの確認を実施。また、可動範囲としては、橋梁床版裏、桁部分接近可能を確認。

Fig. 1 Salt-meter with 252Cf neutron source, RANS- μ Model 03 was made as a trail and installed in a bucket and a corridor of bridge inspection vehicle at the test bridge of Fukushima Robot Test Field (RTF). The weight, size, range of motion, and electrical noise were checked. As for the range of motion, it was confirmed that RANS- μ could approach the back of the bridge slab and the girder appropriately.



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.



FY2020 Core Members

(副チームリーダー) 山澤 建二

(専任技師) 洲之内 啓

(先任研究員) 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

(特別嘱託技師) 高橋 一郎、霜田 進

(事務パートタイマー) 伊藤 純子

(Deputy Team Leader)

Kenji Yamazawa

(Senior Technical Scientist)

Kei Sunouchi

(Senior Research Scientist)

Shigeru Ikeda, Yoshiyuki Takizawa

(Expert Technician) Takeshi Fujimoto

(Technical Staff) Masahiro Takeda,

Masaharu Watanuki

(Special Temporary Technical Scientist)

Ichiro Takahashi, Susumu Shimoda

(Administrative Part-time Worker)

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

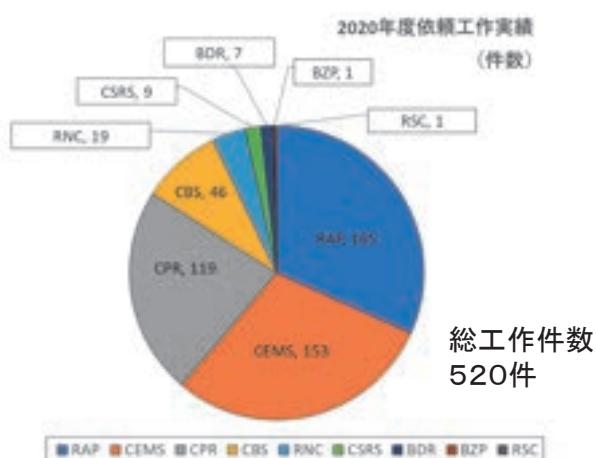
- 研究者の依頼に基づく研究機器の設計、部品の機械加工、組み立て、電子回路設計製作、ガラス加工等を実施
- 2020 年度は、理研全体から520 件の工作依頼を実施
- 3D プリンターや超精密加工による光学素子の開発などの新しい技術開発を推進

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

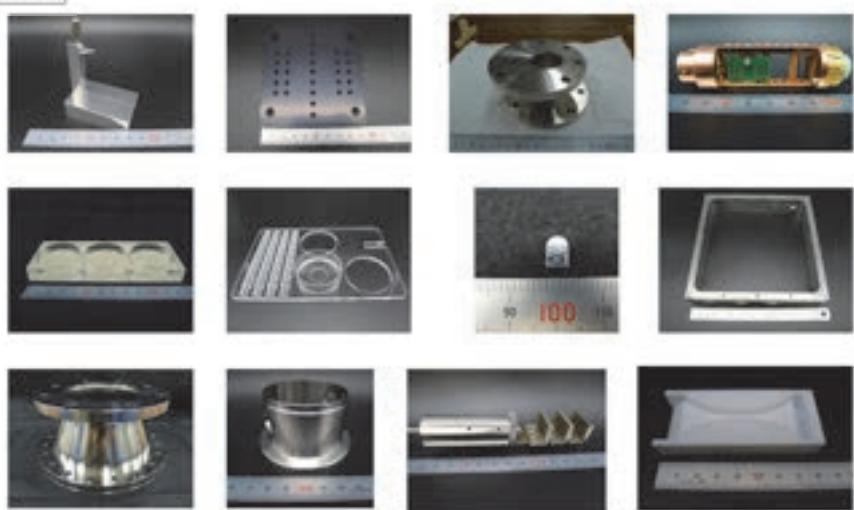
- Experimental apparatus design, parts machining and assembly, electronics design and manufacturing and glassware machining was conducted upon request from RIKEN researchers
- 520 manufacturing request was processed in FY2020 from all RIKEN sectors
- Advanced technological developments such as 3D printer and ultraprecision machining was conducted

Advanced Photonics Technology Development Group
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。2020年度は、コロナウイルス感染拡大に伴う緊急事態宣言等があったにも関わらず、年間で520件の工作依頼がありました。2015年度から、受益者負担金の単価を改訂し、様々な外部資金も利用できるようにするなど、利用者の利便を図りサービスの向上に努めています。工作場には、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。



研究工作製作品の例
Examples of Manufactured Apparatuses



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. Despite an emergency situation caused by the spread of COVID-19, 520 manufacturing requests from all the RIKEN research sectors have been processed in FY2020. 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.

研究セクターごとの研究工作依頼の状況
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. R. Amani, T. Okino, Y. Nabekawa, M. Kuwata-Gonokami, and K. Midorikawa: "Observation of harmonic beams inside a Kerr lens mode-locked thin-disk ring laser oscillator beyond a repetition rate of 10 MHz", *OSA Continuum* 6, 1099 (2021).
2. M. Onda, R. F. Takeuchi, K. Isobe, T. Suzuki, Y. Masaki, N. Morimoto, and F. Osakada, "Temporally multiplexed dual-plane imaging of neural activity with four-dimensional precision", *Neurosci. Res.* 163, 34 (2021).
3. F. Ota, K. Hatada, D. Sebilleau, K. Ueda, and K. Yamazaki: "Theory on polarization-averaged core-level molecular-frame photoelectron angular distributions: II. Extracting the X-ray induced fragmentation dynamics of carbon monoxide dication from forward and backward intensities", *J. Phys. B* 54, 084001 (2021).
4. N. Kanda, T. Imahoko, K. Yoshida, A. Tanabashi, A. A. Eilanlou, Y. Nabekawa, T. Sumiyoshi, M. Kuwata-Gonokami, and K. Midorikawa: "Opening a new route to multiport coherent XUV sources via intracavity high-order harmonic generation", *Light: Science & Applications* 9, 168, (2020).
5. S. Fukahori, T. Matsubara, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, and K. Midorikawa: "Ultrafast electron–nuclear wavepacket in O⁺₂ generated and probed with attosecond pulse trains", *J. Phys B* 53, 164001, (2020).
6. T. Okino, and K. Midorikawa: "Characterization of polarization gating parameters for attosecond pulse generation using an imaging polarimeter", *Phys. Rev. A* 102, 023116, (2020).
7. Y-C. Lin, Y. Nabekawa, and K. Midorikawa: "Optical parametric amplification of sub-cycle shortwave infrared pulses", *Nat. Commun* 11, 3413, (2020).
8. Y. Fu, K. Nishimura, R. Shao, A. Suda, K. Midorikawa, P. Lan, and E. J. Takahashi: "High efficiency ultrafast water-window harmonic generation for single-shot soft X-ray spectroscopy", *Communications Physics* 3, (2020).
9. L. Xu, K. Nishimura, A. Suda, K. Midorikawa, Y. Fu, and E. J. Takahashi: "Optimization of a multi-TW few-cycle 17-μm source based on Type-I BBO dual-chirped optical parametric amplification", *Optics Express* 28, 15138-15147 ,(2020).
10. B. Xue, Y. Tamari, Y. Fu, H. Yuan, P. Lan, O. D. Mücke, A. Suda, K. Midorikawa, and E. J. Takahashi: "Fully stabilized multi-TW optical waveform synthesizer: Toward gigawatt isolated attosecond pulses", *Science Advances* 6, eaay2802, (2020).
11. Y. Fu, K. Midorikawa, and E. J. Takahashi: "Dual-Chirped Optical Parametric Amplification: A method for generating super-intense mid-infrared few-cycle pulses," *IEEE JSTQE* 25, 8800413, (2019).

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

1. 磯部圭佑, "広視野多光子照明と光操作 高速多光子イメージング", *生体の科学*, 71, 169-173, (2020).
2. 磯部圭佑, "広視野多光子照明と光操作 多光子パターン照明", *生体の科学*, 71, 608-61, (2020).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. K. Midorikawa, "Generation of gigawatt isolated attosecond pulses by high-energy optical waveform synthesizer," *Advances in Atomic, Molecular, and Optical Science 2020*, Web Conference, Dec., (2020).
2. E. J. Takahashi, "High-energy mid-infrared femtosecond pulses for attosecond science", *The 22nd International Conference on Ultrafast Phenomena (UP2020)*, virtual format. Nov., (2020).
3. E. J. Takahashi, "Multi-TW optical waveform synthesizer for gigawatt soft-x-ray isolated attosecond pulses", *CLEO/Pacific Rim Conference 2020*, virtual format, Aug., (2020).
4. E. J. Takahashi, "Dual-chirped optical parametric amplification for energy scaling of near-IR, mid-IR, and far-IR pulses", *Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)*, virtual format, May, (2020).
5. 高橋栄治, "軟X線高次調波光源の現状と展開", 第68回応用物理学会春季学術講演会, オンライン, 3月18日, (2021).
6. 磯部圭佑, "超短光パルスの時空間制御による多光子イメージングと光操作", 超高速光エレクトロニクス研究会, オンライン, 2月22日, (2021).
7. 磯部圭佑, "時間多重化時空間集光顕微鏡と多光子/パターン照明", 4th RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar, オンライン, 2月3日, (2021).
8. 高橋栄治, "高強度アト秒パルス発生用光シンセサイザーの開発", 高橋栄治, レーザー学会学術講演会第41回年次大会, オンライン, 1月20日, (2021).

9. 磯部圭佑, 緑川克美, “超短光パルスの時空間分布を制御した多光子イメージング技術”, オンライン, 量子生命科学会第2回大会, 12月23日,(2020).
10. 緑川克美, “光科学の新たな地平を拓く”, 物理学会公開講座, Web開催, 11月21日,(2020).
11. 磯部圭佑, “超短光パルスの時空間制御とその応用”, OPALSの会, オンライン, 7月11日,(2020).
12. 磯部圭佑, 緑川克美, “散乱組織中におけるin situ波面歪み測定とその補償”, 日本顕微鏡学会 第77回学術講演会, 紙上開催, 5月25日,(2020).

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

1. 理研シンポジウム第8回「光量子工学研究」—量子科学技術研究の展開— オンライン, 3月9日,(2021).

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

(1) 原著論文(accept)を含む / Original Papers

1. M. Ahmed, K. Inoue, S. Nihonyanagi, and T. Tahara: "Hidden isolated OH at the charged hydrophobic interface revealed by two-dimensional heterodyne-detected VSFG spectroscopy", *Angew. Chem. Int. Ed.* 59, 9498-9505, (2020).
2. P. Kumar, H. Kuramochi, S. Takeuchi, and T. Tahara: "Time-domain observation of surface-enhanced coherent Raman scattering with $10^5\text{-}10^6$ enhancement", *J. Phys. Chem. Lett.* 11 6305-6311, (2020).
3. K. Kojima, R. Kurihara, M. Sakamoto, T. Takanashi, H. Kuramochi, X. M. Zhang, H. Bito, T. Tahara, and Y. Sudo: "Comparative studies of the fluorescence properties of microbial rhodopsins: Spontaneous emission versus photointermediate fluorescence", *J. Phys. Chem. B.* 124, 7361–7367, (2020).
4. R. Kotani, L. Liu, P. Kumar, H. Kuramochi, T. Tahara, P. Liu, A. Osuka, P. B. Karadakov, and S. Saito: "Controlling the S_1 energy profile by tuning excited-state aromaticity", *J. Am. Chem. Soc.* 142, 14985-14992, (2020).
5. H. Kuramochi, G. Aoyama, H. Okajima, A. Sakamoto, S. Kanegawa, O. Sato, S. Takeuchi, and T. Tahara: "Femtosecond polarization switching in the crystal of a [CrCo] dinuclear complex", *Angew. Chem. Int. Ed.* 59, 15865-15869, (2020).
6. R. Kimura, H. Kuramochi, L Pengpeng, T. Yamakado, A. Osuka, T. Tahara, and S. Saito: "Flapping peryleneimide as a fluorogenic dye with high photostability and strong visible-light absorption", *Angew. Chem. Int. Ed.* 59, 16430-16435, (2020).
7. K. Inoue, M. Ahmed, S. Nihonyanagi, and T. Tahara: "Reorientation-induced relaxation of free OH at the air/water interface revealed by ultrafast heterodyne-detected nonlinear spectroscopy", *Nat. Commun.* 11, 5344/1-7, (2020).
8. M. Iwamura, A. Fukui, K. Nozaki, H. Kuramochi, S. Takeuchi, and T. Tahara: "Coherent vibration and femtosecond dynamics of the platinum complex oligomers upon intermolecular bond formation in the excited state", *Angew. Chem. Int. Ed.* 59, 23154-23161, (2020).
9. R. Kusaka, S. Nihonyanagi, and T. Tahara, "The photochemical reaction of phenol becomes ultrafast at the air–water interface", *Nat. Chem.* 13, 306-311, (2021).
10. W. Kim, S. Tahara, H. Kuramochi, S. Takeuchi, T. Kim, T. Tahara, and D. Kim: "Mode-specific vibrational analysis of exciton delocalization and structural dynamics in conjugated oligomers", *Angew. Chem. Int. Ed. accepted.*, (2021).

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

1. 石井邦彦, 田原太平, “生体分子の速い熱揺らぎを捉える—マイクロ秒1分子蛍光計測への挑戦”, *化学*, 75, 74-75, (2020).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. T. Tahara, "Time-domain Raman spectroscopy: I. Concept & steady-state time-domain Raman", International school on nonlinear vibrational spectro-microscopy, Online, July, (2020).
2. T. Tahara, "Time-domain Raman spectroscopy: II. Femtosecond time-resolved time-domain Raman", International school on nonlinear vibrational spectro-microscopy, Online, July, (2020).
3. 田原 太平, “フェムト秒時間分解吸収分光によって得られた微生物ロドプシンの多様な励起状態ダイナミクスに対する統一的視点 A Unified View for Diverse ultrafast excited-state dynamics of microbial rhodopsins acquired by femtosecond time-resolved absorption spectroscopy”, 第43回日本分子生物学会年会, オンライン, 12月4日, (2020).
4. T. Tahara, "Tracking ultrafast chemical reactions at the aqueous interface with femtosecond time-resolved HD-VSFG spectroscopy",

- 7th Asian Spectroscopy Conference, Online, December, (2020).
5. T. Tahara, "Three researches going on at MLS: What we wish to understand about Nature?", A National Workshop on Fluorescence and Raman Spectroscopy, Online, December, (2020).
 6. P. Kumar, "Time-resolved time-domain Raman spectroscopy for studying the excited-state structural dynamics", A National Workshop on Fluorescence and Raman Spectroscopy, Online, December, (2020).
 7. M. Ahmed, S. Nihonyanagi, and T. Tahara, "Probing ultrafast dynamics of water at aqueous interfaces with femtosecond two-dimensional heterodyne-detected VSFG spectroscopy", National Laser Symposium NLS-29, Online, February, (2021).

(4) 特許出願／Patent Applications

1. 松崎維信, 田原太平, 石井邦彦, "分析方法、発光分析装置、拡散光トモグラフィー装置、撮像装置、反射率測定装置、分析装置、及びプログラム", PCT/JP2021/006681, 2021年2月22日

(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. Angewandte Chemie International Edition, Vol. 59, No. 24, 2021年6月8日発行 Inside Back Cover
2. Angewandte Chemie International Edition, Vol. 59, No. 51, 2020年12月14日発行 Inside Back Cover
3. Nature Chemistry, Vol. 13, No. 4, 2021年4月15日発行 Cover

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. N. Ohmae, F. Bregolin, N. Nemitz, and H. Katori: "Direct measurement of the frequency ratio for Hg and Yb optical lattice clock and closure of the Hg/Yb/Sr loop", Opt. Exp. 28, 15112, (2020).
2. M. Takamoto, I. Ushijima, N. Ohmae, T. Yahagi, K. Kokado, H. Shinkai, and H. Katori: "Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks", Nat. Photon. 14, 411, (2020).

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

1. 大前宣昭, 高本将男, 牛島一朗, 香取秀俊, "可搬光格子時計の開発と実用化への課題", 電子情報通信学会誌, 103, 368-372, (2020).
2. 山口敦史, 香取秀俊, "光格子時計", 数理科学, 58, 67-73, (2020).
3. 香取秀俊, 卷頭言 "超高真空技術が加速する量子技術の実用化", 表面と真空, 63, (2020).

(3) 招待講演／Invited Talks

1. 香取秀俊, "セイコーソリューションズ 技術者フォーラム 特別講演", セイコーソリューションズ 技術者フォーラム, Online, 2月18日, (2020).
2. 香取秀俊, "光格子時計が拓く新たな時空間情報基盤", 第344回科学技術展望懇談会, Online, 1月26日, (2020).
3. 香取秀俊, "Curiosity-drivenなサイエンスから実用化へ", 日本電子株式会社経営交流会, Online, 12月16日, (2020).
4. 香取秀俊, "光格子時計～時空のゆがみを見る時計～", 第16回日立財団科学技術セミナー, Online, 10月31日, (2020).
5. 高本将男, "可搬型光格子時計による東京スカイツリーでの相対論検証実験と測地応用に向けて", 文部科学省第3回研究法人サイエンスカフェ, Online, 10月12日, (2020).
6. 香取秀俊, "光格子時計が拓く新たな時空間情報基盤", 量子ICTフォーラム／合同技術推進委員会(QKD、QMS), Online, 9月25日, (2020).
7. H. Katori, "Transportable Optical Lattice Clocks to Test Gravitational Redshift", OSA Quantum 2.0 Conference, Online, September, (2020).
8. M. Takamoto, "Development of Transportable Optical Lattice Clocks and Test of General Relativity", 2020 NCHU-RIKEN Workshop on Devices and Materials, Online, August, (2020).
9. H. Katori, "Transportable Optical Lattice Clocks to Test Gravitational Redshift", 51st Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics, Online, June, (2020).
10. M. Takamoto, N. Ohmae, I. Ushijima, H. Katori, "Development of transportable optical lattice clocks for geodetic applications", CLEO 2020, Online, May, (2020).

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

1. International workshop on forefront optical lattice clocks, 東京大学本郷キャンパス & オンライン, 12月3日, (2020).

(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. 日経新聞，“18桁精度の可搬型光格子時計の開発に世界で初めて成功－東京スカイツリーで一般相対性理論を検証－”, 2020年4月6日
2. 共同通信，“時間速く進むスカイツリー展望台 10億分の4秒、相対性理論実証”, 2020年4月7日
3. 読売新聞，“スカイツリー展望台は「時間が速く進む」…AINシュタインの理論検証”, 2020年4月7日
4. 毎日新聞，“地上450メートル、時は速く進んだ 東大チーム「100兆分の5秒」実証”, 2020年4月7日
5. 每日新聞，“なぜスカイツリー展望台では時間の進み方が速いのか なぞを解明した時計の秘密”, 2020年4月7日
6. 朝日デジタル，“スカイツリー展望台、時間はやく進む 光格子時計で確認”, 2020年4月7日
7. Forbes, “Three Hundred And Fifty Years Of Testing Gravity With Clocks: Einstein, Popper, And Jean Richer At The Tokyo Skytree”, 2020年4月7日
8. 日本経済業新聞，“日本発最高精度の時計”, 2020年5月8日
9. 日経XTECH, “数センチ差で時間の流れの違いを検知日本発の光格子時計は新産業を切り開くか”, 2020年5月15日
10. The Government of Japan [Twitter & Facebook], “可搬型光格子時計の開発”, 2020年5月16日
11. Physics TODAY, “Search & Discover Transportable atomic clocks achieve laboratory precision”, 2020年6月4日
12. 日本経済業新聞，“春秋”, 2020年6月10日
13. 日経産業新聞，“「光格子時計」相対論で高低差測定”, 2020年6月20日
14. Nature Photonics, “news & views “Earth-based clocks test general relativity””, 2020年6月26日.
15. 日経XTECH, “ノーベル賞候補の超高精度時計、日本発で世界の見方変えるか”, 2021年1月29日
16. 日経エレクトロニクス(2021年3月号), “日本発の超高精度時計、世界の見方を変えるか”, 2021年2月20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. D. Yamashita, H. Machiya, K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato: “Waveguide coupled cavity-enhanced light emission from individual carbon nanotubes”, *APL Photonics* 6, 031302, (2021).
2. N. Fang, K. Otsuka, A. Ishii, T. Taniguchi, K. Watanabe, K. Nagashio, Y. K. Kato: “Hexagonal boron nitride as an ideal substrate for carbon nanotube photonics”, *ACS Photonics* 7, 1773, (2020).

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

1. セミナー, 内藤智也, 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程, “Electronic Structure of 3D Graphene”, 和光, 1月26日, (2021).

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. A. Murakami-Sekimata, M. Sekimata, N. Sato, Y. Hayasaka, and A. Nakano: “Deletion of PIN4 suppresses the protein transport defects caused by sec12-4 mutation in *Saccharomyces cerevisiae*”, *Microbial Physiol.* 30:25-35, (2020).
2. A. Ikeda, P. Schlarbmann, K. Kurokawa, A. Nakano, H. Riezman, and K. Funato: “Tricalbins are required for nonvesicular ceramide transport at ER-Golgi contacts and modulate lipid droplet biogenesis”, *iScience* 23:101603, (2020).
3. S. Rodriguez-Gallardo, K. Kurokawa, S. Sabido-Bozo, A. Cortes-Gomez, A. Ikeda, V. Zoni, A. Aguilera-Romero, A. M. Perez-Linero, S. Lopez, M. Waga, M. Araki, M. Nakano, H. Riezman, K. Funato, S. Vanni, A. Nakano, and M. Muñiz: “Ceramide chain length-dependent protein sorting into selective endoplasmic reticulum exit sites”, *Sci. Adv.* 6:eaba8237, (2020).
4. T. Kanazawa, H. Morinaka, K. Ebine, T. L. Shimada, S. Ishida, N. Minamino, K. Yamaguchi, S. Shigenobu, T. Kohchi, A. Nakano, and T. Ueda: “The liverwort oil body is formed by redirection of the secretory pathway”, *Nat. Commun.* 11:6152, (2020).

5. S. Fujii, K. Kurokawa, T. Tago, R. Inaba, A. Takiguchi, A. Nakano, T. Satoh, and A. K. Satoh: "Sec71 separates Golgi stacks in *Drosophila* S2 cells", *J. Cell Sci.* 133:jcs245571, (2020).
6. R. Rizzo, D. Russo, K. Kurokawa, P. Sahu, B. Lombardi, D. Supino, M. A. Zhukovsky, A. Vocat, P. Pothukuchi, V. Kunnathully, L. Capolupo, G. Boncompain, C. Vitagliano, F. Z. Marino, G. Aquino, D. Montariello, P. Henklein, L. Mandrich, G. Botti, H. Clausen, U. Mandel, T. Yamaji, K. Hanada, A. Budillon, F. Perez, S. Parashuraman, Y. A. Hannun, A. Nakano, D. Corda, G. D'Angelo, and A. Luini: "Golgi maturation-dependent glycoenzyme recycling controls glycosphingolipid biosynthesis and cell growth via GOLPH3", *EMBO J.* 40:e107238, (2021).
7. Y. Shimizu, J. Takagi, E. Ito, Y. Ito, K. Ebine, Y. Komatsu, Y. Goto, M. Sato, K. Toyooka, T. Ueda, K. Kurokawa, T. Uemura, and A. Nakano: "Cargo sorting zones in the trans-Golgi network visualized by super-resolution confocal live imaging microscopy in plants", *Nat. Commun.* 12:1901, (2021).

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

1. K. Kurokawa and A. Nakano: "Live-cell imaging by super-resolution confocal live imaging microscopy (SCLIM): simultaneous three-color and four-dimensional live cell imaging with high space and time resolution", *Bio-protocol* 10:e3732 (2020).
2. 黒川量雄, 宮代大輔, 中野明彦: "超解像ライブイメージング顕微鏡SCLIMの開発とSCLIMの多色4Dライブセルイメージングによるゴルジ体タンパク質輸送機構の解明", レーザー研究, 49:271-275 (2021).

(3) 招待講演／Invited Talks

1. A. Nakano, "Golgi and next-door neighbors - a comparative view of yeast, plant and animal cells", Subgroup Session on Mechanisms and Regulation of Membrane Trafficking, CELL BIO virtual 2020 (Online ASCB | EMBO Meeting), December (2020).
2. 黒川量雄, "4Dライブイメージングによる小胞体, ゴルジ体の積荷タンパク質輸送機構の解明", シンポジウム "生体膜ダイナミクス: 細胞レベルの制御機構から個体レベルの生理機能まで", 第93回日本生化学会大会, オンライン, 9月16日 (2020).
3. 戸島拓郎, "神経成長円錐における膜交通ダイナミクス", ワークショップ "オルガネラQC—細胞小器官の量と質の管理機構", 第43回日本分子生物学会年会, オンライン, 12月2日 (2020).
4. 中野明彦, "細胞内膜交通の超高時空間分解能ライブイメージング", IIRS フォーラム, 第43回日本分子生物学会年会, オンライン, 12月2日 (2020).
5. 戸島拓郎, "出芽酵母におけるトランスゴルジ網の構成要素", 第22回植物オルガネラワークショップ, オンライン, 3月13日 (2021).

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

1. 第2回多次元細胞計測ワークショップ, オンライン, 2月24日 (2021).

(5) 特許出願／Patent Applications

1. 宮代大輔, 中野明彦, "データ復元装置、顕微鏡システムおよびデータ復元方法(誤差評価に基づく帯域外外挿デコンボリューション)", 特許番号 6681068, 2020年3月25日 設定登録

(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. 清水らの Nature Communications 論文が、ジャーナルの Editors' Highlights に選ばれました。
(<https://www.nature.com/collections/jgjcebchgg>)

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

(1) 原著論文(accept)を含む／Original Papers

1. K. Kayamori, Y. Nagai, C. Zhong, S. Kaito, D. Shinoda, S. Koide, W. Kurabayashi, M. Oshima, Y. Nakajima-Takagi, M. Yamashita, N. Mimura, H.J. Becker, K. Izawa, S. Yamazaki, S. Iwano, A. Miyawaki, R. Ito, K. Tohyama, W. Lennox, J. Sheedy, M. Weetall, E. Sakaida, K. Yokote, A. Iwama; "DHODH inhibition synergizes with DNA-demethylating agents in the treatment of myelodysplastic syndromes" *Blood Adv.*, 5 (2) :438-450, (2021).
2. C. Zhong, K. Kayamori, S. Koide, D. Shinoda, M. Oshima, Y. Nakajima-Takagi, Y. Nagai, N. Mimura, E. Sakaida, S. Yamazaki, S. Iwano, A.

- Miyawaki, R. Ito, K. Tohyama, K. Yamaguchi, Y. Furukawa, W. Lennox, J. Sheedy, M. Weetall, A. Iwama: "Efficacy of the novel tubulin polymerization inhibitor PTC-028 for myelodysplastic syndrome" *Cancer Sci.*, 111 (12) :4336-4347, (2020).
3. S. Chen, L. He, A.J.Y. Huang, R. Boehringer, V. Robert, M.E. Wintzer, D. Polygalov, A.Z. Weitemier, Y. Tao, M. Gu, S.J. Middleton, K. Namiki, H. Hama, L. Therreau, V. Chevaleyre , H. Hioki, A. Miyawaki, R.A. Piskorowski, T.J. McHugh: "A hypothalamic novelty signal modulates hippocampal memory" *Nature*, 586 (7828) :270-274, (2020).
 4. Y. Kono, T. Ishizawa, N. Kokudo, Y. Kuriki, R.J. Iwatate, M. Kamiya, Y. Urano, A. Kumagai, H. Kurokawa, A. Miyawaki, K. Hasegawa: "On-Site Monitoring of Postoperative Bile Leakage Using Bilirubin-Inducible Fluorescent Protein" *World J Surg.*, 44 (12) :4245-4253, (2020).
 5. N. Kinoshita, A.J.Y. Huang, T.J. McHugh, A. Miyawaki, T. Shimogori "Diffusible GRAPHIC to visualize morphology of cells after specific cell-cell contact" *Sci. Rep.*, 10 (1): 14437, (2020).
 6. T.M. Takahashi, G.A. Sunagawa, S. Soya, M. Abe, K. Sakurai, K. Ishikawa, M. Yanagisawa, H. Hama, E. Hasegawa, A. Miyawaki, K. Sakimura, M. Takahashi, T. Sakurai: "A discrete neuronal circuit induces a hibernation-like state in rodents" *Nature*, 583 (7814): 109-114, (2020).
 7. H. Katayama, H. Hama, K. Nagasawa, H. Kurokawa, M. Sugiyama, R. Ando, M. Funata, N. Yoshida, M. Homma, T. Nishimura, M. Takahashi, Y. Ishida, H. Hioki, Y. Tsujihata, A. Miyawaki: "Visualizing and Modulating Mitophagy for Therapeutic Studies of Neurodegeneration." *Cell*, 181(5):1176-1187, (2020).
 8. N. Kitada, R. Saito, R. Obata, S. Iwano, K. Karube, A. Miyawaki, T. Hirano, S.A. Maki: "Development of near-infrared firefly luciferin analogue reacted with wild-type and mutant luciferases" *Chirality*, 32 (7): 922-931 (2020).
 9. S. Furukawa, A. Nagamatsu, M. Nenoi, A. Fujimori, S. Kakinuma, T. Katsube, B. Wang, C. Tsuruoka, T. Shirai, A.J. Nakamura, A. Sakaue-Sawano, A. Miyawaki, H. Harada, M. Kobayashi, J. Kobayashi, T. Kunieda, T. Funayama, M. Suzuki, T. Miyamoto, J. Hidema, Y. Yoshida, A. Takahashi: "Space Radiation Biology for "Living in Space". *Biomed Res Int.*, 4703286. (2020).

(2) 招待講演／Invited Talks

1. 宮脇敦史, 群馬大学生体調節研究所, 第 5 回「若手研究者育成プログラムセミナー」, 前橋, 10 月 12 日, (2020).
2. Atsushi Miyawaki, "The real thrill of bioimaging after a phantom FRET", INAUGRAL ROGER TSIEN CELL SIGNALING DISTINGUISHED LECTURE, San Diego(Web), January, (2021).
3. 宮脇敦史, 第 119 回日本皮膚科学会総会, Web, 6 月 7 日, (2020).
4. 宮脇敦史, " 脳循環代謝を可視化するための光イメージング技術 ", 日本脳循環代謝学会, 横浜 (web), 11 月 13 日, (2020).
5. 宮脇敦史 "腫瘍・免疫・炎症を観る技術", 東京医科歯科大学 大学院特別講義, web, 1 月 26 日, (2021) .

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

(1) 原著論文(accept)を含む／Original Papers

1. N. Yamashita, M. Morita, H. Yokota, and Y. Mimori-Kiyosue: "Digital Spindle: A New Way to Explore Mitotic Functions by Whole Cell Data Collection and a Computational Approach", *Cells*, Vol. 9(5), 1255, (2020).
2. M. Umezawa, T. Sera, H. Yokota, M. Takematsu, M. Morita, G. Yeroslavsky, M. Kamimura, and K. Soga: "Computed tomography for in vivo deep over - 1000 nm near - infrared fluorescence imaging", *Journal of Biophotonics*, (2020).
3. K. Fujisaki, N. Yamashita, H. Yokota: "Multipoint indentation for material identification in three-dimensional observation based on serial sectioning", *Precision Engineering*, Vol. 69, pp. 62-67, (2021), DOI: 10.1016/j.precisioneng.2021.01.005
4. R. Ando, T. Matsuno, T. Matsuda, N. Yamashita, H. Yokota, K. Goto, I. Watanabe: "Analysis of nano-hardness distribution near the ferrite-martensite interface in a dual phase steel with factorization of its scattering behavior", *ISIJ International*, Vol. 61, No. 1, pp. 473-480, (2021), DOI: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-546 (Translated Paper from *Tetsu to Hagne 2020*).
5. 安藤玲音, 松野崇, 松田知子, 山下典理男, 横田秀夫, 後藤健太, 渡邊育夢: "Dual Phase 鋼におけるフェライト・マルテンサイト界面近傍のナノ硬さ分布とそのバラつき因子", *鉄と鋼*, Vol. 106, No. 12, p. 944-952, (2020), DOI: 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2020-037.
6. T. Matsuno, R. Ando, N. Yamashita, H. Yokota, K. Goto, I. Watanabe: "Analysis of preliminary local hardening close to the ferrite-martensite interface in dual-phase steel by a combination of finite element simulation and nanoindentation test", *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 180, No.15, 105663, (2020), DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2020.105663.
7. R. Sakaguchi, T. Shiraiwa, P. Chivavibul, T. Kasuya, M. Enoki, N. Yamashita, H. Yokota, Y. Matsui, A. Kazama, K. Ozaki, H. Takamatsu:

- "Multiscale Analysis of MnS Inclusion Distributions in High Strength Steel", ISIJ International, Vol. 60, No. 8, pp.1714-1723, (2020), DOI: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-739.
- 8. N. Yamashita, M. Morita, H. Yokota, and Y. Mimori-Kiyosue: "Digital Spindle: A New Way to Explore Mitotic Functions by Whole Cell Data Collection and a Computational Approach", Cells, Vol.9, No.5, 1255, (2020), DOI: 10.3390/cells9051255.
 - 9. M. Yamamoto,,S. Oyama,S. Otsuka,et al.: "Experimental pilot study for augmented reality-enhanced elbow arthroscopy", Sci Rep 11, 4650, (2021), <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84062-7>.
 - 10. G. An, M. Akiba, K. Omodaka, T. Nakazawa, H. Yokota: "Hierarchical deep learning models using transfer learning for disease detection and classification based on small number of medical images", Scientific Reports, 10.1038/s41598-021-83503-7.
 - 11. J. Inoue, M. Okada, H. Nagao, H. Yokota, Y. Adachi: "Development of Data-Driven System in Materials Integration", MATERIALS TRANSACTIONS 61(11):2058-2066, November, (2020), DOI:10.2320/matertrans.MT-MA2020006.
 - 12. D. Sato, T. Takamatsu, M. Umezawa, Y. Kitagawa, K. Maeda, N. Hosokawa, K. Okubo, M. Kamimura, T. Kadota, T. Akimoto, T. Kinoshita, T. Yano, T. Kuwata, H. Ikematsu, H. Takemura, H. Yokota, K.Soga: "Distinction of surgically resected gastrointestinal stromal tumor by near-infrared hyperspectral imaging", December, (2020), Scientific Reports 10(1), DOI: 10.1038/s41598-020-79021-7.
 - 13. S. Kimura , S. Miura , T. Sera , H. Yokota , K. Ono , D. J. Doorly , R. C. Schroter, G. Tanaka: "Voxel-based simulation of flow and temperature in the human nasal cavity", Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1836166>.
 - 14. T. Kitrungrotsakul, X.-X Han, Y. Iwamoto, S. Takemoto, H. Yokota, S. Ipponjima, T. Nemoto, X. Wei, and Y.-W. Chen: "An end-to-end CNN and LSTM network with 3D anchors for mitotic cell detection in 4D microscopic images and its parallel implementation on multiple GPUs", Neural Computing and Applications, Vol. 32, pp. 5669–5679, (2020).
 - 15. K. Omodaka, S. Fujioka, G. An, T. Udagawa, S. Tsuda, Y. Shiga, S. Morishita, T. Kikawa, K. Pak, M. Akiba, H. Yokota, and T. Nakazawa: "Structural Characterization of Glaucoma Patients with Low Ocular Blood Flow", Current Eye Research, (2020).
 - 16. T. Matsuno, R. Ando, N. Yamashita, H. Yokota, K. Goto, I. Watanabe: "Analysis of preliminary local hardening close to the ferrite-martensite interface in dual-phase steel by a combination of finite element simulation and nanoindentation test", International Journal of Mechanical Sciences, 180, (2020), 105663, DOI:10.1016/j.ijmecsci.2020.105663.
 - 17. T. Sera, S. Higa, Y. Zeshu. K. Takahi, S. Miyamoto, T. Fujiwara, H. Yokota, S. Sasaki, S. Kudo: "A metabolic reaction-diffusion model for PKC α translocation via PIP2 hydrolysis in an endothelial cell", Biochem J ,(2020) 477 (20): 4071–4084. <https://doi.org/10.1042/BCJ20200484>.
 - 18. Y. - H. Chang, H. Yokota, K. Abe, M.-D. Tasi, S. - L. Chu: "Automatic three - dimensional segmentation of mouse embryonic stem cell nuclei by utilizing multiple channels of confocal fluorescence images", Journal of Microscopy 281(1), July (2020), DOI:10.1111/jmi.12949.
 - 19. T. Kitrungrotsakul, Y. Iwamoto, S. Takemoto, H. Yokota, S. Ipponjima, T. Nemoto, L. Lin, R. Tong, J. Li, YW. Chen: "Accurate and fast mitotic detection using an anchor-free method based on full-scale connection with recurrent deep layer aggregation in 4D microscopy images." BMC Bioinformatics, 22(1):91, (2021).
 - 20. T. Kitrungrotsakul, XH. Han, Y. Iwamoto, S. Takemoto, H. Yokota, S. Ipponjima, T. Nemoto, W. Xiong, YW. Chen: "An end-to-end CNN and LSTM network with 3D anchors for mitotic cell detection in 4D microscopic images and its parallel implementation on multiple GPUs." Neural Comput & Applic, 32, 5669–5679, (2020).

(2) 招待講演／Invited Talks

- 1. 山下典理男, 横田秀夫, "3次元内部構造顕微鏡を用いた鉄鋼組織の3次元計測", 日本非破壊検査協会 2020年度第2回 AE部門講演会資料, pp.9-10, (2021).

(3) 会議, シンポジウム, セミナー主催／Meeting, Symposia and Seminars

- 1. 精密工学会 外観検査アルゴリズムコンテスト共催, URL: alcon.itlab.org, (2020).

(4) 特許出願／Patent Applications

- 1. 深堀昂, 梶谷ケビン, 筒雅博, フェルナンドチャリスラサンサ, 孫哲, 吉澤信, 道川隆士, 横田秀夫, 野田茂穂, "画像処理システム, 画像エンコーダ, 画像デコーダ, 画像処理方法及び画像処理プログラム", 特願 2021-028581, 2021年3月25日
- 2. 深堀昂, 梶谷ケビン, 筒雅博, フェルナンドチャリスラサンサ, 孫哲, 吉澤信, 道川隆士, 横田秀夫, 野田茂穂, "画像符号化装置, 画像符号化方法, 画像復号化装置, 及び画像復号化方法", 特願 2021-028534, 2021月3月25日

-
- 深堀昂, 梶谷ケビン, 筒雅博, フェルナンドチャリスラサンサ, 孫哲, 吉澤信, 道川隆士, 横田秀夫, 野田茂穂, “画像符号化装置, 画像符号化方法, 画像復号化装置, 及び画像復号化方法”, 特願 2021-028459, 2021 年 3 月 25 日
 - 野田茂穂, 横田秀夫, “画像処理装置, 画像処理方法, 及び画像処理プログラム 光学計算による視細胞の仕組みを模倣したランダムサンプリング”, 特願 2020-170261, 2020 年 10 月 8 日
 - 村井昭彦, 持丸正明, 野田茂穂, 太田聰史, “仮想空間共有システム, 仮想空間共有方法および仮想空間共有プログラム”, 特願 2021-013755, 2021 年 1 月 29 日

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

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

- M. Bejide, Y. Li, N. Stavrias, B. Redlich, T. Tanaka, V. D. Lam, N. T. Tung, and E. Janssens: "Transient transmission of THz metamaterial antennas by impact ionization in a silicon substrate," *Opt. Exp.* 29, 170-181, (2020).
- C. Olaya, N. Hayazawa, N. Hermosa, and T. Tanaka: "Angular Goos-Hänchen shift sensor using gold film enhanced by surface plasmon resonance," *J. Phys. Chem. A* 125, 451-458, (2021).
- H. Tsai, C. Chen, T. Chen, D. Tsai, T. Tanaka, and T. Yen: "Realization of Negative Permeability in Vertical Double Split-Ring Resonators with Normal Incidence," *ACS Photon.* 7, 3298-3304, (2020).
- T. Fujita, Y. Takeuchi, K. Yamaguchi, T. Yano, T. Tanaka, and N. Takeyasu: "Comparison of hot carrier generation between self-assembled gold and silver nanoparticle arrays tailored to the same hybrid plasmon resonance," *J. Appl. Phys.* 128, 123104, (2020).
- T. Iida, A. Ishikawa, T. Tanaka, A. Muranaka, M. Uchiyama, Y. Hayashi, and K. Tsuruta: "Super-chiral vibrational spectroscopy with metasurfaces for high-sensitive identification of alanine enantiomers," *Appl. Phys. Lett.* 117, 101103, (2020).
- D. Zhang, B. Ranjan, T. Tanaka, and K. Sugioka: "Multiscale hierarchical micro/nanostructures created by femtosecond laser ablation in liquids for polarization-dependent broadband antireflection," *Nanomaterials* 10, 1573, (2020).
- Y. Takeuchi, A. Violas, T. Fujita, Y. Kumamoto, M. Modreanu, T. Tanaka, K. Fujita, and N. Takeyasu: "Hot Carrier Generation in Two-Dimensional Silver Nanoparticle Arrays at Different Excitation Wavelengths under On-Resonant Conditions," *J. Phys. Chem. C* 124, 13936-13941, (2020).
- T. Le, A. Morita, and T. Tanaka, "Refractive index of nanoconfined water reveals its anomalous physical properties," *Nanoscale Horizons* 5, 1016-1024 (2020).
- W. Kubo, Y. Ogata, J. Frame, T. Tanaka, and X. Fang: "Polarization-dependent phase transition temperature in plasmonic thin films," *Jpn. J. Appl. Phys.* 59, 052001, (2020).
- T. Suichi, A. Ishikawa, T. Tanaka, Y. Hayashi, and K. Tsuruta: "Whitish daytime radiative cooling using diffuse reflection of non-resonant silica nanoshells," *Sci. Rep.* 10, 6486, (2020).

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

- 田中拓男, “光メタマテリアルと赤外分光”, O plus E 43, 1, pp. 21-25, (2021).
- 矢野隆章, 山口堅三, 岡本敏弘, 原口雅宣, 田中拓男, “プラズモニクスとメタマテリアルで拓くポスト LED フォトニクス”, オプトロニクス 39, 105-110, (2020).

(3) 招待講演 / Invited Talks

- 田中拓男, “光メタマテリアル、作り方と使い方”, 第 23 回トライボシンポジウム, 理研, 埼玉, 2 月 26 日, (2021).
- 田中拓男, “メタマテリアル吸収体と高感度分光技術”, 分子科学研究所 先端光科学研究分野勉強会, Online, 2 月 17 日, (2021).
- 田中拓男, “メタマテリアル”, 日本オプトメカトロニクス協会セミナー 基礎からよく分かる「ナノ領域の光学」入門, 機会振興会館, 東京, 1 月 22 日, (2021).
- 田中拓男, “メタマテリアルを用いた高感度赤外分光法”, レーザー学会 (Online), 1 月 21 日, (2021).
- 田中拓男, “メタマテリアルと赤外分光”, 第 17 回プラズモニクスシンポジウム (Online), 1 月 11 日, (2021).
- 田中拓男, “メタマテリアル吸収体と高感度分光法への応用”, 第 241 回 有機エレクトロニクス材料研究会 (Online), pp. 21-28, 11 月 30 日, (2020).
- 田中拓男, “光メタマテリアルとその応用”, 2020 年電子情報通信学会ソサエティ大会 ナノフォトニクスの最前線 (Online), 9 月 16 日, (2020).

-
8. T. Yano and T. Tanaka, "Non-plasmonic nanoantenna and metasurface for field-enhanced spectroscopy beyond the plasmonic limit," SPIE Optics+Photonics 2020, San Diego, CA, August 26, (2020).
 9. T. Yano and T. Tanaka, "Multimodal tip-enhanced spectroscopy for nanoscale analysis and imaging", SPIE Optics+Photonics 2020, San Diego, CA, August 25, (2020).
 10. T. Tanaka, "Metamaterials for ultrasensitive IR spectroscopy," SPIE Optics+Photonics 2020, San Diego, CA, August 25, (2020).
 11. 田中拓男, "メタマテリアルとは", 経済産業省メタマテリアル勉強会 (Closed), 経産省, 霞ヶ関, 7月 21 日, (2020).
 12. 田中拓男, "光メタマテリアルとその応用", 第 45 回 光学シンポジウム (held on-line), 東京大学生産技術研究所, 6 月 26 日, (2020).

(4) 特許出願 / Patent Applications

1. 田中拓男, "物質の検出デバイス", 特願 2020-211894, 2020 年 12 月 21 日

(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, "ひみつ道具の現在地「とうめいマント」光を操る素材 視覚に魔法", 朝日新聞石川版朝刊 25 面, 2021 年 2 月 13 日
2. 田中拓男, "アルミニウムのナノ構造体で「色」を作る", Yano E plus, 2020 年 11 月 15 日

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. S. Bai, D. Serien, Y. Ma, K. Obata, and K. Sugioka: "Attomolar Sensing Based on Liquid Interface-Assisted Surface-Enhanced Raman Scattering in Microfluidic Chip by Femtosecond Laser Processing", ACS Appl. Mater. Interfaces 12, 42328-42338, (2020).
2. F. Sima, H. Kawano, M. Hirano, A. Miyawaki, K. Obata, D. Serien, and K. Sugioka: "Mimicking Intravasation-Extravasation with a 3D Glass Nanofluidic Model for the Chemotaxis-Free Migration of Cancer Cells in Confined Spaces", Adv. Mater. Technol. 5, 2000484, (2020).
3. B. Xu, S. Ji, D. Pan, W. Hu, S. Zhu, Y. Hu, J. Li, D. Wu, J. Chu, and K. Sugioka: "Hybrid femtosecond laser fabrication of a size-tunable microtrap chip with a high-trapping retention rate", Opt. Lett. 45, 1071-1074, (2020).
4. A. Dostovalov, K. Bronnikov, V. Korolkov, S. Babin, E. Mitsai, A. Mironenko, M. Tutov, D. Zhang, K. Sugioka, J. Maksimovic, T. Katkus, S. Juodkazis, A. Zhizhchenkoc, and A. Kuchmizhak: "Hierarchical anti-reflective laser-induced periodic surface structures (LIPSSs) on amorphous Si films for sensing applications", Nanoscale 12, 13431-13441, (2020).
5. C. Zhang, J. Zhang, R. Chen, J. Li, C. Wang, R. Cao, J. Zhnag, H. Ye, H. Zhai, and K. Sugioka: "Rapid fabrication of high-resolution multi-scale microfluidic devices based on the scanning of patterned femtosecond laser", Opt. Lett. 45, 3929-3932, (2020).
6. D. Zhang, B. Ranjan, T. Tanaka, and K. Sugioka: "Multiscale hierarchical micro/nanostructures created by femtosecond laser ablation in liquids for polarization-dependent broadband antireflection", Nanomaterials 10, 1573, (2020).
7. D. Zhang, L. C. Wu, M. Ueki, Y. Ito, and K. Sugioka: "Femtosecond laser shockwave peening ablation in liquids for hierarchical micro/nanostructuring of brittle silicon and its biological application", Int. J. Extrem. Manuf. 2, 045001, (2020).
8. F. Jipa, S. Orobetti, C. Butnaru, M. Zamfirescu, E. Axente, F. Sima, and K. Sugioka: "Picosecond laser processing of photosensitive glass for generation of biologically relevant microenvironments", Appl. Sci. 10, 8947, (2020).
9. K. Obata, F. Caballero-Lucas, and K. Sugioka: "Material Processing at GHz Burst Mode by Femtosecond Laser Ablation", J. Laser Micro Nanoeng. Accepted.
10. 小幡孝太郎, カバジェロ ルカス フランセスク, 杉岡幸次, "フェムト秒レーザを用いた GHz バーストモードアブレーション", レーザ加工学会誌 28, 27-32, (2021).

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

1. A. Hu, R. Li, S. Bai, Y. Yu, W. Zhou, D. Bridges, Y. Bao, and L. Zhang, "Introduction to laser micro-to-nano manufacturing", A. Hu (Ed.), Laser Micro-Nano-Manufacturing and 3D Microprinting, (Springer, Switzerland) p. 1-74, (2020).
2. J. Xu, F. Sima, and K. Sugioka, "Femtosecond laser direct writing for 3D microfluidic biochip fabrication", A. Hu (Ed.), Laser Micro-Nano-Manufacturing and 3D Microprinting, (Springer, Switzerland) p. 247-272, (2020).
3. D. Serien, and K. Sugioka, "Laser Printing of Biomaterials", K. Sugioka (Ed.), Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering, (Springer, Cham.), p. 1-32, (2021).

-
4. J. Xu, Y. Cheng, and K. Sugioka, "Basic optics and diagnostics apparatus for ultrashort pulse laser micro/nanoprocessing", K. Sugioka (Ed.), *Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering*, (Springer, Cham.) p. 1-14, (2021).
 5. S. Bai and K. Sugioka, "Recent advances in the fabrication of highly sensitive surface-enhanced Raman scattering substrates: nanomolar to attomolar level sensing", *Light Adv. Manuf.* Accepted.
 6. D. Zhang, L. Zhuguo, and K. Sugioka, "Laser ablation in liquids for nanomaterial synthesis: diversities of targets and liquids", *J. Phys. Photonics* Accepted.
 7. 杉岡幸次, "LASE 2020 報告書", *Photonics West 2020 報告書* (オプトロニクス社, 東京), 4-13, (2020) .
 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", 2019 年度光産業技術に関する報告書 ((財) 光産業技術振興協会編) p.168-171, (2020).
 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", 2019 年度光産業技術に関する報告書 ((財) 光産業技術振興協会編) p.195-196, (2020).
 10. 杉岡幸次, "全フェムト秒レーザー加工による高感度3次元マイクロ流体 SERS センサーの開発", *光技術コンタクト* 58, 36-40, (2020).

(3) 招待講演 / Invited Talks

1. K. Sugioka, "Advanced femtosecond laser 3D micro/nanoprocessing", *Int. Symp. on Laser Precision Microfabrication (LPM 2020)*, Digital Forum, June, (2020). Plenary talk
2. K. Sugioka, "Advanced femtosecond laser micro and nanoprocessing", *Int. Meeting on Nonlinear Optics and Photonics*, Digital Forum, June, (2020). Keynote talk
3. K. Sugioka and F. Sima, "3D glass nanofluidics fabricated by femtosecond laser processing for study on tumor progression", *SPIE Int. Conf. on Microfluidics, BioMEMS, and Medical Microsystems XVIII*, Digital Forumd, March, (2021).
4. S. Bai, and K. Sugioka, "Glass microfluidic SERS chip fabricated by hybrid femtosecond laser processing for Attomolar sensing and DNA discrimination", *SPIE Int. Conf. on Laser-based Micro- and Nanoprocessing XV*, Digital Forum, March, (2021).
5. K. Obata, S. Bai, and K. Sugioka, "Additive and subtractive manufacturing process by hybrid laser material processing", *SPIE Int. Conf. on Advanced Fabrication Technologies for Micro/Nano Optics and Photonics XIV*, Digital Forumd, March, (2021).
6. 杉岡幸次, "レーザ加工分野の最新動向", 令和2年光産業技術振興協会光産業動向セミナー, オンライン, 10月, (2020).
7. 小幡孝太郎, カバジエロ ルカス フランセスク, 杉岡幸次, "GHz バーストモードによるフェムト秒レーザー加工", 第94回レーザ加工学会講演会, Web 会議, 11月, (2020).
8. 小幡孝太郎, カバジエロ ルカス フランセスク, 杉岡幸次, "GHz バーストモードによるフェムト秒レーザー加工とその動向", 令和2年度多元技術融合光プロセス研究会第4回研究交流会, Web 会議, 12月, (2020).
9. 小幡孝太郎, カバジエロ ルカス フランセスク, 杉岡幸次, "GHz バーストモードフェムト秒レーザー加工による材料加工", レーザー学会学術講演会第41回年次大会, Web 会議, 1月, (2021).
10. 杉岡幸次, "フェムト秒レーザー3次元加工と応用", フォトニクス技術フォーラム第5回研究, Web 会議, 3月, (2021).

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

1. Nano Manufacturing Conference in 30th Int. Cong. on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2020), Web Forum, Oct., (2020).

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 杉岡幸次, Bai Shi, "ラマン散乱分光測定装置およびラマン散乱分光法", 2020-103730, 2020年6月16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. D. Zhang and K. Sugioka, Opto-Electronic Advances 2019/2020 Best Paper Award 受賞
2. K. Sugioka, Light: Science & Applications 2019 Top Downloaded Paper Award 受賞
3. K. Sugioka, The Int. J. Extreme Manuf. Outstanding Paper Award 受賞
4. D. Serien, 電気学会研究会奨励賞 for "Fabrication of pure three dimensional proteinaceous microstructures by femtosecond laser cross linking" 受賞
5. D. Zhang, B. Ranjan, T. Tanaka, and K. Sugioka, Outstanding Paper Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2020 受賞
6. K. Sugioka, Best Editor Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2020 受賞

(1) 原著論文(accept)を含む／Original Papers

1. Y. Huang, A. Kosugi, Y. Naito, Y. Takida, H. Minamide, K. Hane, and Y. Kanamori: "Improvement in THz light extraction efficiencies with antireflection subwavelength gratings on a silicon prism", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 60, No. SC, SCCL04, Mar., (2021).
2. T. Notake, T. Iyoda, T. Arikawa, K. Tanaka, C. Otani and H. Minamide: "Dynamical visualization of anisotropic electromagnetic re-emissions from a single metal micro-helix at THz frequencies", Scientific Reports, 11, Article number: 3310, pp. 1-7, 8th of Feb. (2021).
3. Y. Takida*, K. Nawata* and H. Minamide: "Security screening system based on terahertz-wave spectroscopic gas detection", Opt. Express, Vol. 29, Issue 2, pp. 2529-2537, 18 Jan., (2021). (*equal contribution).
4. S. Ohno, Y. Tokizane, J. Shikata and H. Minamide: "Phase and Direction Control of a Terahertz Wave Propagating in a Waveguide Coupled With a Bull's-Eye Structure", URSI RADIO SCIENCE LETTERS, VOL. 2, (2020).
5. Z. Han, S. Ohno and H. Minamide: "Spectral phase singularity in a transmission-type double-layer metamaterial", Optica, Vol. 7, No. 12, pp.1721-1728, December 7, (2020).
6. Y. Huang, K. Nakamura, Y. Takida, H. Minamide, K. Hane and Y. Kanamori: "Actively tunable THz filter based on electromagnetically induced transparency analog hybridized with a MEMS metamaterial", Sci. Rep. 10, 20807 30. Nov., (2020).
7. H. Takeda, H. Yoshioka, H. Minamide, Y. Oki and C. Aadachi: "0.5–4.5 THz band terahertz spectroscopy of thermally activated delayed fluorescence molecules", Optics Communications, Vol. 476 Article Number: 126339, pp1-8, Dec., (2020).
8. H. Minamide, K. Nawata and Y. Takida: "Leading-edge terahertz-wave parametric sources and their applications", Proc. SPIE 11499, Terahertz Emitters, Receivers, and Applications XI, 1149904, 20 August, (2020).
9. Y. Takida, S. Suzuki, M. Asada and H. Minamide: "Sensitive terahertz-wave detector responses originated by negative differential conductance of resonant-tunneling-diode oscillator", Appl. Phys. Lett., Vol. 117, Issue 2, 021107, (2020).
10. J. Shikata, S. Ohno, and H. Minamide: "Terahertz-wave generation from surface phonons at forbidden frequencies of lithium niobate", IEICE Electron. Expr., Vol. 17, No. 11, pp.1-5, (2020).
11. Y. Takida, K. Nawata, and H. Minamide: "Injection-seeded backward terahertz-wave parametric oscillator", APL Photonics, Vol. 5, Issue 6, 061301, (2020).

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

1. (総説) 大野誠吾, “次世代通信技術へつながるテラヘルツ波制御技術”, ケミカルエンジニアリング, vol.65, No. 12, pp.770-775, 12月, (2020)

(3) 招待講演／Invited Talks

1. H. Minamide and K. Nawata, "Extreme Terahertz-wave Parametric Oscillator And Its Application", 45th International Conference on Infrared, Millimeter and THz waves (IRMMW-THz 2020), Online, Nov. 13, (2020).
2. T. Negoro, T. Saito, T. Hosotani, T. Otsuji, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide and A. Satou, "Gate-readout of photovoltage from a grating-gate plasmonic THz detector", 45th International Conference on Infrared, Millimeter and THz waves (IRMMW-THz 2020), Online, Nov. 13, (2020).
3. H. Minamide, K. Nawata and Y. Takida, "Leading-edge terahertz-wave parametric sources and their applications", SPIE Optical Engineering + Applications, 2020, (20 August 2020).
4. 南出泰亜, “高平均出力テラヘルツ波光源の開発と広がる応用”, レーザー学会学術講演会第41回年次大会, オンライン, 1月19日, (2021年)
5. 南出泰亜, “新原理による非線形波長変換テラヘルツ光源の研究と将来展開”, 第5回フォトニクスワークショップ「光の多様性を探求する!!」オンライン, 12月20日, (2020年)
6. 南出泰亜, “高輝度・波長可変テラヘルツ波光源の開発”, 可視赤外線観測装置技術ワークショップ, オンライン, 12月1日, (2020年)
7. 佐藤昭, 根来拓海, 斎藤琢, 鈴木雅也, 細谷友崇, 瀧田佑馬, 伊藤弘昌, 南出泰亜, 尾辻泰一, “二次元プラズモンを用いた THz ディテクタの新展開”, シンポジウム テラヘルツ科学の最先端VII, Inv3, オンライン, 11月19日, (2020年)

(4) 特許出願／Patent Applications

1. 大野誠吾, 南出泰亜, 時実悠, “電磁波制御装置、電磁波制御方法、及び電磁波伝達装置”, 特願 2020-030068, 2020年2月26日

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

(1) 原著論文(accept)を含む／Original Papers

1. S. Yamazaki, Y. Ueno, R. Hosoki, T. Saito, T. Idehara, Y. Yamaguchi, C. Otani, Y. Ogawa, M. Harata and H. Hoshina: "THz irradiation inhibits cell division by affecting actin dynamics", *JCI Inhibit*, submitted, (2021).
2. H. Hoshina, S. Yamazaki, M. Tsubouchi and M. Harata: "Terahertz irradiation effects on the morphology and dynamics of actin biopolymer", *J. Phys.*, submitted, (2020).
3. K. Lee, R. T. Génova-Santos, M. Hazumi, S. Honda, H. Kutsuma, S. Oguri, C. Otani, M. W. Peel, J. Suzuki, O. Tajima and E. Won: "A forecast of the sensitivity on the measurement of the optical depth to reionization with the GroundBIRD experiment", *Astrophys. J.* submitted, (2021).
4. H. Momiyama, Y. Sasaki, I. Yoshimine, S. Nagano, T. Yuasa and C. Otani: "Depth super-resolved imaging of infrastructures defects using a terahertz-wave interferometer", *NDT&E International*, 120, 102431, (2021).
5. M. Yamashita and C. Otani: "Intrinsic and extrinsic effects on intraband optical conductivity of hot carriers in photoexcited graphene", *Physical Review Research*, 3, 013150, (2021).
6. T. Noguchi, S. Mima and C. Otani: "Contribution of residual quasiparticles to the characteristics of superconducting thin-film, resonators", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* vol. 31, 2400205, (2021).
7. R. Smith, M. Ohno, Y. Mitsuya, Y. Miura, H. Takahashi, T. Kikuchi, S. Kohjiro, C. Otani and S. Ikuine: "Optimization for device structure of superconducting transition edge sensor coupled with heavy metal absorber", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* vol. 31, pp. 1-4, (2021).
8. Y. Yamamoto, H. Hoshina and H. Sato: "Differences in intermolecular interactions and flexibility between poly(ethylene terephthalate) and poly(butylene terephthalate) studied by far-infrared/terahertz and low-frequency Raman spectroscopy", *Macromolecules*, 54, 1052-1062, (2021).
9. T. Notake, T. Iyoda, T. Arikawa, K. Tanaka, C. Otani and H. Minamide: "Frequency-decomposed bidirectional re-emissions from a single metal micro-helix dynamically visualized in terahertz electromagnetic region", *Scientific Reports*, 11, 3310, (2021).
10. M. Imashimizu, M. Tanaka and H. Hoshina: "Gre factors prevent thermal and mechanical stresses induced by terahertz irradiation during transcription", *Genes to Cells*, 26, 56-64, (2021).
11. [Review] C. H. Feng and C. Otani: "Terahertz Spectroscopy Technology as an Innovative Technique for Food: Current State-of-the-Art Research Advances", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, published online, (2020).
12. [Review] J. F. García-Martín, M. Cuevas, C. H. Feng, P. Alvarez-Mateos, M. Torres-García and S. Sánchez: "Energetic Valorisation of Olive Biomass: Olive-Tree Pruning, Olive Stones and Pomaces", *Processes*, 8, 511, (2020).
13. C. H. Feng, J. F. García-Martín, M. B. Lavado, M. C. López-Barrera and P. Álvarez-Mateos: "Evaluation of different solvents on flavonoids extraction efficiency from sweet oranges and ripe and immature Seville oranges", *International Journal of Food Science and Technology*, 55, 3123–3134, (2020).
14. C. H. Feng, Y. Makino and J. F. García-Martín: "Hyperspectral imaging coupled with multivariate analysis and image processing for detection and visualisation of colour in cooked sausages stuffed with different modified casings", *Foods*, 9, 1089, (2020).
15. S. Yamazaki, M. Harata, Y. Ueno, M. Tsubouchi, K. Konagaya, Y. Ogawa, G. Isoyama, C. Otani, and H. Hoshina: "Propagation of THz irradiation energy through aqueous layers: Demolition of actin filaments in living cells", *Scientific Reports*, 10, 9008, (2020).
16. S. Yamazaki, C. Gerhold, K. Yamamoto, Y. Ueno, R. Grosse, K. Miyamoto and M. Harata: "The Actin-Family Protein Arp4 Is a Novel Suppressor for the Formation and Functions of Nuclear F-Actin", *Cells*, 9, 758, (2020).
17. H. Kutsuma, Y. Sueno, M. Hattori, S. Mima, S. Oguri, C. Otani, J. Suzuki and O. Tajima: "A method to measure superconducting transition temperature of microwave kinetic inductance detector by changing power of readout microwaves", *AIP Advances*, 10, 095320, (2020).
18. H. Momiyama, Y. Sasaki, I. Yoshimine, S. Nagano, T. Yuasa and C. Otani: "Improvement of the depth resolution of swept-source THz-OCT for non-destructive inspection", *Optics Express*, 28, 12279, (2020).
19. M. Tsubouchi, H. Hoshina, M. Nagai and G. Isoyama: "Plane photoacoustic wave generation in liquid water using irradiation of terahertz pulses", *Scientific Reports*, 10, 18537, (2020).
20. S. Yamazaki, M. Harata, Y. Ueno, M. Tsubouchi, K. Konagaya, Y. Ogawa, G. Isoyama, C. Otani and H. Hoshina: "Propagation of THz irradiation energy through aqueous layers: Demolition of actin filaments in living cells", *Scientific Reports*, 10, 9008, (2020).
21. K. Matsumoto, I. Yoshimine, K. Himeno, T. Shimura and T. Satoh: "Observation of evanescent spin waves in the magnetic dipole regime", *Physical Review B*, 101, 184407, (2020).

-
- 22. D. Marlina, Y. Park, H. Hoshina, Y. Ozaki, Y. M. Jung and H. Sato: "A study on blend ratio-dependent far-IR and low-frequency Raman spectra and WAXD patterns of poly(3-hydroxybutyrate)/poly(4-vinylphenol) using homospectral and heterospectral two-dimensional correlation spectroscopy", *Analytical Sciences*, 36, 731, (2020).
 - 23. H. Hoshina, Y. Saito, T. Furuhashi, T. Shimazaki, M. Sawada, Y. Hioki and C. Otani: "Terahertz Spectroscopy for Characterization of Hydrogen Bonding and Cross-linked Structure Dynamics in Polyurethane", *J. Infra. Milli. TeraHz. Waves*, 41, 265–275, (2020).
 - 24. H. Hoshina, T. Kanemura and M. T. Ruggiero: "Exploring the Dynamics of Bound Water in Nylon Polymers with Terahertz Spectroscopy", *J. Phys. Chem. B*, 124, 422-429, (2020).
 - 25. K. Lee, J. Choi, R. T. Génova Santos, M. Hattori, M. Hazumi, S. Honda, T. Ikemitsu, H. Ishida, H. Ishitsuka, Y. Jo, K. Karatsu, K. Kiuchi, J. Komine, R. Koyano, H. Kutsuma, S. Mima, M. Minowa, J. Moon, M. Nagai, T. Nagasaki, M. Naruse, S. Oguri, C. Otani, M. Peel, R. Rebolo, J. A. Rubiño Martín, Y. Sekimoto, J. Suzuki, T. Taino, O. Tajima, N. Tomita, T. Uchida, E. Won and M. Yoshida: "GroundBIRD: A CMB Polarization Experiment with MKID Arrays", *J. Low Temp. Phys.* 200, 384–391, (2020).
 - 26. R. Smith, M. Ohno, Y. Miura, N. Nakada, Y. Mitsuya, H. Takahashi, T. Ikeda, C. Otani, M. Sakama, N. Matsufuji, T. Irimatsugawa, S. Kohjiro, H. Yamamori and F. Hirayama: "Microcalorimetry of carbon ion beam for medical treatment by transition edge sensor", *J. Low Temp. Phys.* 199, 1012-1017, (2020).
 - 27. M. Naruse, T. Ando, Y. Waga, R. Kubota, S. Mima, C. Otani, T. Taino and H. Myoren: "Superconducting resonators with niobium and $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ for Alpha-particle detectors", *J. Low Temp. Phys.* 199, 614-621, (2020).
 - 28. Y. Minami, Y. Akiba, S. Beckman, M. Hazumi, C. Kuo, N. A. Kurinsky, H. Kutsuma, A. T. Lee, S. Mima, C. R. Raum, T. Sasse, S. L. Stever, A. Suzuki and B. Westbrook: "Irradiation Tests of Superconducting Detectors and Comparison with Simulations", *J. Low Temp. Phys.* 199, 118–129, (2020).

(2) 招待講演／Invited Talks

- 1. C. Otani, Y. Sasaki, "Development of terahertz radar imaging technology and systems", 2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT 2020), Hiroshima, Japan, September 3, (2020).
- 2. 大谷知行, "テラヘルツ応用と概観と展望", 第12回テラヘルツビジネスセミナー (12th THz-biz), 展示会 All About Photonics, 東京 , 12月9日, (2020).
- 3. 保科宏道, 竹内恒, "THz-NMRによる生体と電磁波の相互作用の解明: 未来型「電磁波医療」を目指して", 21世紀イノベーションリーダーワークショップ, オンライン, 12月2日, (2020).
- 4. 山崎祥他, "テラヘルツ光による生体高分子の構造操作", 令和2年度第3回名古屋産学官・医連携研究会 (名古屋連携研究会: NJK) , Online, 12月2日, (2020).
- 5. C. Feng, "Recent advances in non-invasively evaluating the quality of foodstuffs by using hyperspectral imaging and terahertz spectroscopy", 理研 Discovery Afternoon, Online, 11月27日, (2020).
- 6. 大谷知行, "Beyond 5G/6Gの動向とテラヘルツ応用", 第5回マイクロコイル研究会, 川崎, 11月25日, (2020).
- 7. 大谷知行, "テラヘルツ波の基礎とセンシング・イメージング応用", 情報機構セミナー, オンライン, 11月24日, (2020).
- 8. 山崎祥他, "THz光の周波数帯特性を利用した細胞機能制御", テラヘルツ科学の最先端 VII, Online, 11月20日, (2020).
- 9. 山崎祥他, "テラヘルツ光を利用した細胞内タンパク質構造体の操作", 光・量子ビーム科学合同シンポジウム 2020, オンライン, 9月29日, (2020).
- 10. 保科宏道, "テラヘルツ分光で見る高分子と吸着水のダイナミクス", 第69回高分子討論会, オンライン, 9月17日, (2020).

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

- 1. [セミナー主催] 第12回テラヘルツビジネスセミナー (12th THz-Biz), 展示会「All About Photonics – InterOpto 2021」, 東京, 12月9日, (2020).
- 2. [展示会出展] 大谷知行, 佐々木芳彰, 碇智文, "～JST-ACCEL プログラム～300 GHz 帯テラヘルツウォータースルーボディースキナーの研究開発", 第12回テラヘルツビジネスセミナー (12th THz-biz), 展示会「All About Photonics – InterOpto 2021」, 東京, 12月9-11日, (2020).

(4) 特許出願／Patent Applications

- 1. 保科宏道, 山崎祥他, 小川雄一, 大谷知行, "生体高分子操作装置および生体高分子操作方法", 特願 2020-188243, 2020年11月11日

(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. 日刊工業新聞 朝刊 19 面，“テラヘルツ波送受信～理研など微生物で微小アンテナ～”，2021 年 2 月 9 日
2. Laser Focus World JAPAN, World News, “テラヘルツ光照射による細胞内タンパク質重合体の断片化”，2020 年度 11 月号, pp. 8-9 (e.x.press 社)
3. RIKEN Research, Fall 2020, p. 24, Research Highlights, “Radiation hinders protein filaments from forming”, 2020
4. フジサンケイビジネスアイ , Science View “テラヘルツ光照射による細胞内タンパク質重合体の断片化”, 2020 年 7 月 16 日

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. J. Yun and H. Hirayama: "Investigation of light-extraction efficiency of flip-chip AlGaN-based deep-ultraviolet light-emitting diodes adopting AlGaN metasurface", IEEE Photonics Journal, Vol. 13, No. 1, 2700313, (2021).
2. T. T. Lin, L. Wang, K. Wang and H. Hirayama: "Development of high power terahertz quantum cascade lasers by reducing leakage current using non-equilibrium green's function method", The Review of Laser Engineering, Vol. 48, No. 5, pp. 250-254, (2020).
3. M. A. Khan, J. P. Bermundo, Y. Ishikawa, H. Ikenoue, S. Fujikawa, E. Matsuura, Y. Kashima, N. Maeda, M. Jo and H. Hirayama: "Impact of Mg-level on lattice relaxation in a p-AlGaN hole source layer and attempting excimer laser annealing on p-AlGaN HSL of UVB emitters", Nanotechnology 32, 055702, (2020).
4. H. Murotani, R. Tanabe, K. Hisanaga, A. Hamada, K. Beppu, N. Maeda, M. A. Khan, M. Jo, H. Hirayama and Y. Yamada: "High internal quantum efficiency and optically pumped stimulated emission in AlGaN-based UV-C multiple quantum wells", Applied Physics Letters, Vol. 117, Vol. 16, pp. 162106-1-5, (2020).
5. H. Murotani, H. Miyoshi, R. Takeda, H. Nakao, M. A. Khan, N. Maeda, M. Jo, H. Hirayama and Y. Yamada: "Correlation between excitons recombination dynamics and internal quantum efficiency of AlGaN-based UV-A multiple quantum wells", Journal of Applied Physics, Vol. 128, Vol. 10, pp. 105704-1-7, (2020).
6. M. A. Khan, Y. Itokazu, N. Maeda, M. Jo, Y. Yamada and H. Hirayama: "External quantum efficiency of 6.5% at 300nm emission and 4.7% at 310nm emission on bare-wafer of AlGaN-based UVB LEDs", ACS Applied Electronic Materials, Vol. 2, No. 7, pp. 1892-1907, (2020).

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

1. 平山秀樹, “コロナ社会に期待される深紫外 LED”, OplusE 特集：紫外光一殺菌作用に特化してー, 2021 年 3・4 月号 (第 478 号), pp. 1-5, (2021).
2. 平山秀樹, “新型コロナウイルス禍を契機に, 紫外線光デバイスの次なるブレイクスルーを追求へ”, 月刊 OPTRONICS 特別インター ビュー, Vol. 39, No. 467, pp. 88-92, (2020).
3. 永松謙太郎, 安井武史, 平山秀樹, “期待される殺菌用・深紫外 LED”, 応用物理学会 特別 WEB コラム「新型コロナウイルス禍に学ぶ応用物理」, (2020).

(3) 招待講演／Invited Talks

1. 平山秀樹, “深紫外 LED と THz-QCL の最近の進展”, 第 4 回固体レーザーの高速探索と機能開発に向けたレーザー材料研究会, オンライン開催, 3 月 22 日, (2021).
2. 平山秀樹, 林宗澤, 王利, 王科, 陳明曦, “GaAs 及び GaN 系テラヘルツ量子カスケードレーザの進展”, 第 68 回応用物理学会春季 学術講演会, オンライン開催, 3 月 18 日, (2021).
3. H. Hirayama, Y. Kashima, E. Matsuura, N. Maeda, M. Jo, Y. Iwaisako, T. Iwai, M. Kokubo, T. Tashiro, H. Furuta, R. Kamimura, Y. Osada, H. Takagi, Y. Kurashima and T. Nagano, "High-power AlGaN UVC LEDs using PhC reflector p-contact layers", SPIE Photonic West, online conference, March, (2021).
4. H. Hirayama, Y. Kashima, E. Matsuura, N. Maeda and M. Jo, "Progress on high-power UVC LEDs by increasing light-extraction efficiency", SPIE Photonic West, online conference, March, (2021).
5. 平山秀樹, “AlGaN 系深紫外 LED の進展と応用展開”, 第 3 回日本表面真空学会若手部会研究会, オンライン開催, 11 月 27 日, (2020).
6. 平山秀樹, “産業化を目指した深紫外 LED 高効率化の検討”, 応用物理学会 応用電子物性分科会研究例会「紫外材料・デバイス開

- 発の最前線～物性の理解とデバイス開発～」，オンライン開催，11月18日，(2020)。
7. 鹿嶋行雄，前田哲利，松浦恵理子，定昌史，森田敏郎，岩井武，青山洋平，小久保光典，篠原秀敏，田代貴晴，上村隆一郎，古田寛治，長田大和，祝迫恭，大神裕之，長野丞益，高木秀樹，平山秀樹，“反射フォトニック結晶を用いた高効率・高出力殺菌用深紫外LED”，第81回応用物理学会秋季学術講演会，オンライン開催，9月9日，(2020)。
 8. 平山秀樹，“殺菌用深紫外LEDの進展と展望”，UV光源応用実証研究会第3回会員限定研究会「アフターコロナにおけるニューノーマルを支える技術」，オンライン開催，8月7日，(2020)。
 9. 平山秀樹，“AlGaN深紫外LEDの進展と展望”，日本学術振興会 結晶成長の科学と技術第161委員会第114回研究会「AIN・AlGaNの結晶成長と深紫外発光素子への応用」，オンライン開催，5月29日，(2020)。

(4) 特許出願／Patent Applications

1. L. Wang, T.T. Lin, K. Wang, and H. Hirayama, "Quantum cascade laser element", US10666018B2, May 26, 2020
2. 平山秀樹，王利，“量子カスケードレーザー素子”，2020-068706, 2020年4月6日

光量子制御技術開発チーム／Photonics Control Technology Team

(1) 原著論文(accept)を含む／Original Papers

1. H. Chang, L. Siarot, R. Matsuura, C.W. Lo, H. Sato, H. Otsuki, S. Wada and Y. Aida: "Distinct MCM10 Proteasomal Degradation Profiles by Primate Lentiviruses Vpr Proteins", Viruses, Jan 15;12(1). pii: E98, (2020).
2. Z. Zhang, B. Li, W. Zhang, R. Lu, S. Wada and Y. Zhang: "Real-time penetration state monitoring using convolutional neural network for laser welding of tailor rolled blank", Journal of manufacturing system, Vol54, p348-360,(2020).
3. K. Koike, K. Fujii, T. Kawano, and S. Wada: "Bio-mimic energy storage system with solar light conversion to hydrogen by combination of photovoltaic devices and electrochemical cells inspired by the antenna-associated photosystem II", Plant Signaling & Behavior, Vol. 15, No.3, e1723946, (2020).
4. K. Tsuno, S. Wada, T. Ogawa, T. Ebisuzaki, T. Fukushima, D. Hirata, J. Yamada and Y. Itaya: "Impulse Measurement of Laser Induced Ablation in Vacuum", Optics Express. Vol.28, No.18, pp. 25723-5729, (2020).
5. K.L. Wang, J.C. Jiang, C. H. Jhu, S. Wada, T. Sassa and M.Horie: "High-performance organic photorefractive materials containing 2-ethylhexyl plasticized poly (triarylamine)", J. Mater. Chem. C, Vol. 8, pp. 13357-13367, (2020).
6. T. Matsuyama, M. Watanabe, Y. Murota, N. Nakata, H. Kitamura, T. Shimokawa, T. Ebisuzaki, S. Wada, S. Sato and S. Tabata: "Efficient mutation induction using heavy-ion beam irradiation and simple genomic screening with random primers in taro (*Colocasia esculenta* L. Schott)", Scientia Horticulturae, Vol.272, 109568, (2020).
7. A. N. Yamaguchi, N. Kitahata, C. Nishitani, N. Takada, S. Terakami, Y. Sawamura, T. Matsuyama, T. Asami, T. Nakano, T. Saito and T. Yamamoto: "Pattern and Trigger of Fruit Self-thinning in Japanese Pears", The Horticulture Journal, Vol.89, Issue 4, 367-374, (2020).
8. R. Kawamura, K. Mizutani, T. Lin, S. Kakizaki, A. Minata, K. Watanabe, N. Saito, W. Meinzer, T. Iwata, Y. Izumi and A. Aoki: "Ex vivo evaluation of gingival ablation with various laser systems and electroscalpel", Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery, Vol. 38, pp. 364-373, (2020).
9. 津田卓雄，野澤悟徳，斎藤徳人，川原琢也，川端哲也，高橋透，和田智之，中村卓司，江尻省，西山尚典，津野克彦，阿保真：“共鳴散乱ライダーによる地球超高層領域の金属原子層の観測”，レーザー研究，Vol. 48, pp.580-584, (2020)。
10. K. Kato, V. V. Badikov, L. Wang, V. L. Panyutin, K. V. Mitin, K. Miyata and V. Petrov: "Effective nonlinearity of the new quaternary chalcogenide crystal BaGa₂GeSe₆", Optics Letters, Vol.45, No.8, pp.2136-2139, (2020).
11. K. Fujii, T. Goto, S. Nakamura, and T. Yao: "Excitation light intensity dependence of 2.2 eV yellow photoluminescence of n-type GaN", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 60, No. 01, 011002, (2021).
12. K. Kato, K. Miyata and V. Petrov: "Refined Sellmeier equations for AgGaSe₂ up to 18 μm", Applied Optics, Vol.60, No.4, pp.805-808, (2021).
13. H. Yasui, S. Kabayama, T. Tachibana, M. Yumoto, T. Ogawa, Y. Watanabe and S.Wada: "Evaluation of Effect of PlatinumNanoparticles in Aqueous Dispersion on Hydrogen Bonding State Using Attenuated Total Reflectance Infrared Spectroscopy", International State-of-the-art in Surface and Interface Fabrication Technologies, I, pp.78-86, (2021).
14. O. Louchev and S. Wada: "Short-pulsed laser-induced breakdown in dielectrics with strong electron superheating: diffusion-controlled kinetics of impact ionization and recombination", Journal of the Optical Society of America B, Vol. 38, Issue 4, pp.1416-

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

1. L. Bai, T. Hirose, W. Assi, S. Wada, S. Takeshima and Y. Aida, "Bovine Leukemia Virus Infection Affects Host Gene Expression Associated with DNA Mismatch Repair", *Pathogens*, 9(11): E909, (2020).
2. S. Saito, Y. Muramatsu, F. Komine, M. Polat, S. Takeshima, M. Takei, S. Wada and Y. Aida, "Absence of bovine leukemia virus proviral DNA in Japanese human blood cell lines and human cancer cell lines", *Archives of Virology*, Jan;165(1):207-214, (2020).
3. K. Kato, V. V. Badikov, L. Wang, V. L. Panyutin, K. V. Mitin, K. Miyata and V. Petrov, "Effective Nonlinearity of BaGa₂GeSe₆: A Promising Quaternary Chalcogenide Crystal for the Mid-IR", Conference on Lasers and Electro-Optics, OSA Technical Digest, paper SF3R.2, (2020).
4. K. Miyata, K. Kato, V. V. Badikov, L. Wang, V. L. Panyutin, K. V. Mitin, V. Petrov, "Effective Nonlinearity of Trigonal Crystals of Symmetry Class 3 on the Example of the Non-Oxide BaGa₂GeSe₆", Mid-Infrared Coherent Sources, OSA Technical Digest, paper MTu1C.4, (2020).
5. V. Petrov, V. V. Badikov, D. V. Badikov, G. S. Shevyrdyaeva, K. Kato, K. Miyata, K. V. Mitin, L. Wang, V. Panyutin, "Barium Nonlinear Optical Crystals for the Mid-IR: Characterization and Applications", Mid-Infrared Coherent Sources, OSA Technical Digest, paper MTu1C.6, (2020).
6. K. Kato, V. Petrov, K. Miyata, "Phase-matching properties of LiIn(S_xSe_{1-x}) for THG of a CO₂ laser at 10.5910 μ m", Proceedings of SPIE, 11264, 112641W, (2020).
7. W. Assi, T. Hirose, S. Wada, R. Matsuura, S. Takeshima and Y. Aida, "PRMT5 Is Required for Bovine Leukemia Virus Infection In Vivo and Regulates BLV Gene Expression, PRMT5 Is Required for Bovine Leukemia Virus Infection In Vivo and Regulates BLV Gene Expression, Syncytium Formation, and Glycosylation In Vitro", *Viruses*, 12(6):650, (2020).
8. R. Hamada, S. Metwally, M. Polat, L. Borjigin, A. O. Ali, A. A. Hady, A. E. Mohamed, S. Wada and Y. Aida, "Detection and Molecular Characterization of Bovine Leukemia Virus in Egyptian Dairy Cattle", *Frontiers in Veterinary Science*, 7: 608, (2020).
9. S. Metwally, R. Hamada, A. O. Ali, H. Y. Mahmoud, N. M. Baker, A. E. A. Mohamed, S. Wada, Y. Matsumoto and Y. Aida, "Detection and molecular characterization of bovine leukemia virus in beef cattle presented for slaughter in Egypt", *Journal of Veterinary Medical Science*, 82(11):1676-1684, (2020).
10. K. Kamiya, K. Fujii, M. Sugiyama and S. Nakanishi, "CO₂ Electrolysis in Integrated Artificial Photosynthesis Systems", *Chemistry Letters*, Vol. 50, No. 01, p.166-179, (2021).
11. K. Kato, V. Petrov, and K. Miyata: "Accurate Sellmeier equations for AgGaS₂ in the 0.565-10.6321 μ m spectral range", Proceedings of SPIE, 11670, 116701 K, (2021).
12. K. Kato, N. Umemura, T. Okamoto and K. Miyata, "Updated Sellmeier equations of β-BaB₂O₄", Proceedings of SPIE, 11670, 116701E, (2021).
13. 湯本正樹, 斎藤徳人, 和田智之, "Cr²⁺ 添加 II-VI 属カルコゲン化物を用いた中赤外固体レーザー", レーザー研究, Vol.8, No.8, 409-413, (2020).
14. 和田智之, 村上武晴, 斎藤徳人, 重田将宏, Z.Mao, "トンネル壁面画像からのクラック自動検出", 建設機械施工, Vol.72, No.9, P.89-93, (2020).
15. 藤井克司, 小池佳代, 津野克彦, 和田智之, "ユーザーインデマンド再生可能エネルギー供給システム", 化学工業, Vol.71, No.10, 606-612, (2020).
16. 和田智之, 神成敦司, "光を利用した先端農業特集に向けて", オプトロニクス, Vol.39, No.468, P60-62, (2020) .
17. 小川貴代, 斎藤洋太郎, 小田切正人, 坂下亨男, 斎藤徳人, 松山知樹, 和田智之, "光量子を用いた次世代農業技術の開発", オプトロニクス, No.468, No.12, P68-73, (2020) .
18. 藤井克司, 小池佳代, 津野克彦, 和田智之: "再生可能エネルギーを利用したエネルギー供給システムの制御方法", クリーンテクノロジー, Vol.30, No.12, 41-46, (2020).

(3) 招待講演／Invited Talks

1. 和田智之, "次世代植物栽培システムの開発" 理研エンジニアリングネットワーク「気象予測データを再現する人工気象器利用した植物表現形質データ蓄積のための研究手法の開発」, 日本橋ライフサイエンスビルディング東京中央区, 2月19日 (2020) .
2. 和田智之, "「育種を加速するパスウェイ型シミュレータの開発とバイオデータ連携基盤構築」シンポジウム", 慶應義塾大学三田キャンパス東京, 3月18日 (2020).
3. 和田智之, "日本初ユニコーン企業をどうすればつくれるのか~社会実装・事業化の方法、価値とリスク", 第3回研究開発成果の事

- 業化支援セミナー, オンライン, 12月21日,(2020).
4. 和田智之, “光技術を利用した新産業の創成～新たな可能性を求めて～”, 第1回理研イノベーション ONLINE セミナー, オンライン, 10月29日,(2020).
 5. 和田智之, “宇宙用高出力レーザーの開発”, 第3回固体レーザーの高速探索と機能開発に向けたレーザー材料研究会 - 高出力レーザーの最前線と未来 -, オンライン, 2月10日,(2021).
 6. S. Wada, “Photonics for Agriculture -short ver.”, スマート農業ウェビナー, Developments towards a Data-Driven Agriculture for potato production, ONLINE, February, (2021).

(4) 特許出願 / Patent Applications

1. 藤井克司ほか, “水電気分解用積層体及びそれを用いた水電気分解装置”, 2019-013420, 2019年1月29日
2. 小池佳代ほか, “電気化学セルおよびセルスタック”, 2019-037417, 2019年3月1日
3. 藤井克司ほか, “水電気分解用積層体及びそれを用いた水電気分解装置”, 2019-013420, 2019年1月29日

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

(1) 原著論文(accept)を含む / Original Papers

1. T. Saiki, T. Hosobata, Y. Kono, M. Takeda, A. Ishijima, M. Tamamitsu, Y. Kitagawa, K. Goda, S. Morita, S. Ozaki, K. Motohara, Y. Yamagata, K. Nakagawa and I. Sakuma: “Sequentially timed all-optical mapping photography boosted by a branched 4f system with a slicing mirror”, Opt. Express 28, 31914-31922, (2020).
2. N. L. Yamada, T. Hosobata, F. Nemoto, K. Hori, M. Hino, J. Izumi, K. Suzuki, M. Hirayama, R. Kanno and Y. Yamagata: “Application of precise neutron focusing mirrors for neutron reflectometry: latest results and future prospects”, J. Appl. Cryst. 53, (2020).
3. F. Funama, M. Hino, T. Oda, H. Endo, T. Hosobata, Y. Yamagata and S. Tasaki: “Observation of TOF-MIEZE Signals with Focusing Mirrors at BL06, MLF, J-PARC”, J. Synch. Investig. 14, S50–S55, (2020).
4. H. Duan, S. Morita, T. Hosobata, M. Takeda and Y. Yamagata: “Profile measurement using confocal chromatic probe on ultrahigh precision machine tool”, Int. J. of Automation Technology, accepted in press, (2020).

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

1. 第9回 VCADシステム研究会 光学素子分科会 9月15日 (2020).

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. T. Kobayashi, S. Ikeda, Y. Otake, Y. Ikeda and N. Hayashizaki: “Completion of a new accelerator-driven compact neutron source prototype RANS-II for on-site use”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 994, 165091, (2021).
2. B. Ma, M. Teshigawara, Y. Wakabayashi, M. Yan, T. Hashiguchi, Y. Yamagata, S. Wang, Y. Ikeda and Y. Otake: “Optimization of a slab geometry type cold neutron moderator for RIKEN accelerator-driven compact neutron source”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 995, 165079, (2021).
3. K. Saito, C. Inoue, J. Ikegawa, K. Yamazaki, S. Goto, M. Takamura, S. Mihara and S. Suzuki: “Prediction Method of Void Distribution near Punched Surface of Medium-Carbon Steel Sheet using Scrap”, ISIJ Int., 61, 1, pp. 417-423, (2021).
4. Y. Otake: “RIKEN accelerator-driven compact neutron systems, RANS project and their capabilities”, Neutron News, 31, 2-4, pp. 32-36, (2020).
5. 上野一貴, 鈴木裕士, 高村正人, 西尾悠平, 兼松学：“中性子イメージング技術を用いた鉄筋コンクリート内部の変形解析技術に関する研究”, 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, 20, pp. 273-278, (2020).
6. Y. Suzuki, K. Ueno, K. Murasawa, Y. Kusuda, M. Takamura, T. Hakoyama, T. Hama and S. Suzuki: “Effect of surface area of grain boundaries on stress relaxation behavior in pure copper over wide range of grain sizes”, Mater. Sci. Eng. A, 794, 139585, (2020).
7. 上野孝太, 村澤皓大, 鈴木優里菜, 高村正人, 浜孝之, 箱山智之, 鈴木進補：“転位速度 - 応力指数および転位速度係数を用いた転位速度の塑性ひずみ依存性の解明”, 日本金属学会誌, 84, 10, pp. 326-333, (2020).

-
8. 藤田訓裕, 岩本ちひろ, 高梨宇宙, 大竹淑恵, 野田秀作, 井田博之：“散乱中性子を用いた床版内欠陥の非破壊検査システム”, 第 11 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp. 47-52, (2020).
 9. Y. Wakabayashi, C. Iwamoto, M. Mizuta, T. Hashiguchi, Y. Yoshimura, Y. Ikeda and Y. Otake: “Development of a nondestructive diagnostic technique for salt distribution in concrete structures using neutron at RANS”, Advances in Construction Materials, Proceedings of ConMat’20, pp. 1882–1892, (2020).
 10. S. Takada, K. Tateishi, Y. Wakabayashi, Y. Ikeda, T. Yoshioka, Y. Otake and T. Uesaka: “Polarized proton spin filter for epithermal neutron based on dynamic nuclear polarization using photo-excited triplet electron spins”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 12, 123G01, pp. 1-12, (2020).
 11. K. Saito, C. Inoue, J. Ikegawa, K. Yamazaki, S. Goto, M. Takamura, S. Mihara and S. Suzuki: “Effects of Size and Distribution of Spheroidized Cementite on Void Initiation in Punched Surface of Medium Carbon Steel”, Metall. Mater. Trans. A, 51, pp. 4499–4510, (2020).

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

1. 大竹淑恵, “中性子線によるインフラ非破壊検査技術の最新－予防保全を目指して－”J. Jpn. Soc. Colour Mater., 94, 3, pp. 80-84, (2021).
2. 水田真紀, 大竹淑恵, 吉村雄一, “小型中性子源 RANS を利用したコンクリート中の水分の可視化”, 非破壊検査, 70, 3, pp. 127-133, (2021).
3. 大竹淑恵, “小型中性子源による鉄鋼組織解析法研究会Ⅰとその後の展開 Characterization of Microstructure in Steels by Compact Neutron Source”, ふえらむ, 25, 5, pp. 294-303, (2020).
4. 若林泰生, 吉村雄一, 水田真紀, 池田裕二郎, 大竹淑恵, “中性子を用いたコンクリート内塩分濃度分布の非破壊測定手法の開発”, 光技術コンタクト, 58, 8, pp. 32-41, (2020).
5. 水田真紀, “土木学会鋼構造委員会道路橋床版の点検診断の高度化と長寿命化技術に関する小委員会報告書”, 土木学会鋼構造委員会道路橋床版の点検診断の高度化と長寿命化技術に関する小委員会編 (DVD), pp. 43-48, (2020).
6. 水田真紀, “道路橋床版の維持管理マニュアル 2020 (鋼構造シリーズ 35)”, 土木学会鋼構造委員会道路橋床版の点検診断の高度化と長寿命化技術に関する小委員会編, p.74, (2020).

(3) 招待講演／Invited Talks

1. Y. Otake, “RIKEN Accelerator-driven compact neutron source, RANS and its capabilities for industrial use, and on-site use”, Compact Source Vyedeo Workshop, European Spallation Source (online), 29 May., (2020).
2. T. Takanashi, S. Noda, M. Tamura and Y. Otake, “Novel CT reconstruction results of neutron and X-ray based on exact solution method”, 3rd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2020), Tokushima, (online), 26 Aug., (2020).
3. M. Yan, T. Takanashi, Y. Wakabayashi, A. Taketani, Y. Ikeda and Y. Otake, “Evaluation of the fast neutron imaging detector with RANS”, 3rd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2020), Tokushima Univ. (online), 26 Aug., (2020).
4. [Keynote] Y. Otake, “Novel non-destructive test methods based on compact neutron sources, RANS, RANS-II, RANS- μ ”, 3rd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2020), Tokushima Univ. (online), 26 Aug., (2020).
5. Y. Otake, “RIKEN RANS project, RANS, RANS-II, III and RANS- μ ”, 6th Workshop on High Brilliance Neutron Source 2020 (HBS 2020), Jülich Centre for Neutron Science (online), 17 Sept., (2020).
6. Y. Otake, “RIKEN Accelerator-driven Compact Neutron Systems, RANS and their capabilities”, Union for Compact Accelerator-Driven Neutron Source WEB seminar (UCANS-web 2020), Wako (online), 30 Nov., (2020).
7. Y. Wakabayashi, M. Yan, M. Takamura, R. Ooishi, H. Watase, Y. Ikeda and Y. Otake, “RANS- μ salt-meter of bridge inspection for on-site use”, Union for Compact Accelerator-Driven Neutron Source WEB seminar (UCANS-web 2020), Wako, (online), 3 Dec., (2020).
8. 小林知洋, “加速器駆動小型中性子源 RANS とさらなる小型化を目指す RANS-II, III”, 4th RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar, オンライン開催, 2月 3 日, (2021) .
9. 大竹淑恵, “基礎編：中性子線の特徴、利用について—小型中性子源 RANS を中心として—”, 2020 年度 教育プログラム『材料工学のための中性子利用—基礎と利用』講座, 早稲田大学各務記念材料技術研究所, オンライン開催, 2月 10 日, (2021) .
10. 高村正人, “中性子で測る塑性変形挙動”, 2020 年度 教育プログラム『材料工学のための中性子利用—基礎と利用』講座, 早稲田大学

- 各務記念材料技術研究所, オンライン開催, 2月 10 日, (2021) .
11. 小林知洋, 大竹淑恵, “小型陽子線加速器を用いた中性子源開発と材料分析への応用” 2021 年第 68 回応用物理学会春季学術講演会, オンライン開催, 3月 16 日, (2021) .
 12. 大竹淑恵, “理研小型中性子源システム RANS, RANS-II, III, RANS- μ と小型による定量評価の実績と挑戦”, ELPH Symposium 2021 「2020 年度電子光物理学研究拠点共同利用成果報告会」, 仙台, オンライン開催, 3月 5 日, (2021) .

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

1. 4th Joint Workshop of RIKEN RAP and JCNS, オンライン, 6月 22 日 - 6月 24 日, (2020).
2. 第 46 回 理研セミナー 中性子シリーズ, 「物理科学計測のための統計学の最近の問題, コンプトン散乱の偏光, 氷砂糖からの X 線発生, 3D プリンタ, Tsallis 統計と黒体放射とシンクロトロン放射の関係」, 河合潤, 教授, 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻, オンライン, 11月 19 日, (2020).
3. “Union for Compact Accelerator-Driven Neutron Source WEB seminar (UCANS-web 2020)”, 理研シンポジウム, オンライン, 11月 30 日 - 12月 3 日, (2020) .
4. 第 47 回 理研セミナー 中性子シリーズ, 「自動車用次世代高強度鋼製部材に向けた応力測定と数値シミュレーションの複合的解析 / Synergetic analysis of stress measurement and numerical simulation intending achievement of new-generation high strength steel parts for automobile」, 松野崇, 准教授, 鳥取大学学術研究院工学系部門, オンライン, 1月 28 日, (2021).
5. 第 5 回 RAP-J-PARC 連携協力会議, オンライン, 3月 11 日, (2021).

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 大竹淑恵, 若林泰生, 池田裕二郎, “濃度検出装置と濃度検出方法”, PCT/JP2020-084238, 5月 13 日, (2020).
2. 大竹淑恵, 池田義雅, 吉村雄一, 橋口孝夫, 水田真紀, 北川寛和, 加藤健太, “ケーブル検査装置とケーブル検査方法”, 特願 2020-106799, 6月 22 日, (2020).
3. 藤田訓裕, 岩本ちひろ, 高梨宇宙, 大竹淑恵, “非破壊検査装置と非破壊検査方法”, 特願 2020-175252, 10月 19 日, (2020).

(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. 日経産業新聞, “鋼材特性、弱い中性子で分析”, 2020 年 4 月 6 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. T. Fujihira, K. Yamazawa, T. Fujimoto, M. Takeda and Y. Teshima: “Microfabrication of Resin Surface Using Variable-pulse-width-picosecond Laser”, proceedings of the ICPE2020 conference, 452-453, (2020).
2. Y. Teshima, Y. Hosoya, K. Sakai, T. Nakano, A. Tanaka, T. Aomatsu, K. Yamazawa, Y. Ikegami and Y. Watanabe: “Development of Tactile Globe by Additive Manufacturing”, Springer, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 12376, 419–426, (2020).

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

1. 山澤建二, “研究工作支援と積層造形技術”, 精密工学会誌, Vol.86 No.9, 666-670, (2020).
2. 大山慎太郎, 山澤建二, 渡邊政樹, 辻村有紀, 横田秀夫, “3D プリンタ向け新規人工骨材の開発 –結合剤噴射法 (Binder Jetting) による人工骨造形を行う α TCP 材料–”, 3D プリンタ用新規材料開発, 291-299, (2021).

(5) 特許出願 / Patent Applications

1. 横田秀夫, 山澤建二, 辻村有紀 大山慎太郎, 渡邊政樹, “三次元造形物と、その製造方法および制御プログラム”, 2020-169561, 2020 年 10 月 7 日

プレスリリース

2020/4/7 時空間エンジニアリング研究チーム / Space-Time Engineering Research Team

18桁精度の可搬型光格子時計の開発に世界で初めて成功

—東京スカイツリーで一般相対性理論を検証—

Scientists use the Tokyo Skytree to test Einstein's theory of general relativity

Takamoto et al. (2020) Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks. *Nat Photonics*.
doi: 10.1038/s41566-020-0619-8



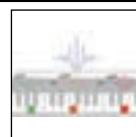
2020/4/18 アト秒科学研究チーム / Attosecond Science Research Team

強力なアト秒パルスを作り出す光シンセサイザーを実現

—アト秒レーザーのピーク出力がギガワット超へ—

Realizing an optical synthesizer that produces intense attosecond pulses—Attosecond laser output exceeds gigawatts-

Xue, B., Tamaru, Y., Fu, Y., Yuan, H., Lan, P., Mücke, O. D., Suda, A., Midorikawa, K. & Takahashi, E. J. Fully stabilized multi-TW optical waveform synthesizer: Toward gigawatt isolated attosecond pulses. *Science Advances* 6, eaay2802 (2020). doi: 10.1126/sciadv.ayy2802



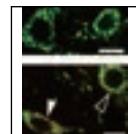
2020/5/21 生命光学技術研究チーム / Biotechnological Optics Research Team

ミトコンドリアのマイトファジーを可視化する蛍光技術

—パーキンソン病の診断と治療に貢献—

Visualizing and modulating mitophagy for therapeutic studies of neurodegeneration

Hiroyuki Katayama, Hiroshi Hama, Koji Nagasawa, Hiroshi Kurokawa, Mayu Sugiyama, Ryoko Ando, Masaaki Funata, Nobuyo Yoshida, Misaki Homma, Takanori Nishimura, Megumu Takahashi, Yoko Ishida, Hiroyuki Hioki, Yoshiyuki Tsujihata, Atsushi Miyawaki, "Visualizing and modulating mitophagy for therapeutic studies of neurodegeneration", *Cell*, 10.1016/j.cell.2020.04.025



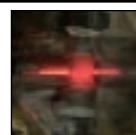
2020/5/22 アト秒科学研究チーム / Attosecond Science Research Team

「水の窓」アト秒X線の高出力化を実現

—軟X線域における高強度アト秒レーザー開発に大きな前進—

Intense attosecond X-rays in the "Water Window" region is generated-A major step forward in the development of high-intensity attosecond lasers in the soft X-ray region-

Yuxi Fu*, Kotaro Nishimura*, Renzhi Shao, Akira Suda, Katsumi Midorikawa, Pengfei Lan, and Eiji J. Takahashi, "High efficiency ultrafast water-window harmonic generation for single-shot soft X-ray spectroscopy", *Communications Physics*, 10.1038/s42005-020-0355-x.



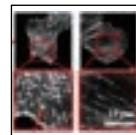
2020/6/2 テラヘルツイメージング研究チーム / Terahertz Sensing and Imaging Research Team

テラヘルツ光照射による細胞内タンパク質重合体の断片化

—THzパルス光が衝撃波として生体内部へ到達する可能性を見出—

Terahertz radiation can disrupt proteins in living cells

Yamazaki et al. (2020). Propagation of THz irradiation energy through aqueous layers: Demolition of actin filaments in living cells. *Sci. Rep.*
DOI: 10.1038/s41598-020-65955-5



2020/6/12 超高速分子計測研究チーム / Ultrafast Spectroscopy Research Team

わずかな粘度の違いを感じとる「羽ばたく蛍光分子」を開発

—ナノサイズの動きで液体のサラサラ度を測る—

Flapping Peryleneimide as a Fluorogenic Dye with High Photostability and Strong Visible-Light Absorption.

Shohei Saito, Ryo Kimura, Hikaru Kuramochi, Pengpeng Liu, Takuya Yamakado, Atsuhiro Osuka, Tahei Tahara (2020). "Flapping Peryleneimide as a Fluorogenic Dye with High Photostability and Strong Visible-Light Absorption". *Angewandte Chemie International Edition*, 59, 16430 (2020). DOI: 10.1002/anie.202006198

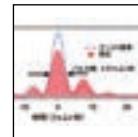


2020/7/8 アト秒科学研究チーム / Attosecond Science Research Team

サブサイクル光を増幅する新手法の開発
－波長の壁を破る極超短パルスレーザー光－

Development of a new method for amplifying subcycle light-Ultrashort laser pulse that breaks the wavelength barrier-

Yu-Chieh Lin, Yasuo Nabekawa, and Katsumi Midorikawa, "Optical parametric amplification of sub-cycle shortwave infrared pulses", Nature Communications, 10.1038/s41467-020-17247-9



2020/8/21 先端レーザー加工研究チーム / Advanced Laser Processing Research Team

アトモーラーセンシングを実現
－東京ドーム 10 個分の水から目薬 1 滴分の物質を検出－

Attomolar Sensing Based on Liquid-Interface Assisted Surface Enhanced Raman Scattering in Microfluidic Chip by Femtosecond Laser Processing

Shi Bai, Daniela Serien, Ying Ma, Kotaro Obata, Koji Sugioka, "Attomolar Sensing Based on Liquid-Interface Assisted Surface Enhanced Raman Scattering in Microfluidic Chip by Femtosecond Laser Processing", ACS Applied Materials & Interfaces, 10.1021/acsami.0c11322



2020/10/8 アト秒科学研究チーム / Attosecond Science Research Team

3MHz の超高繰り返し高次高調波発生
－2 波長の極端紫外超短パルス光の応用に期待－

3MHz ultra-high-repetition high-order harmonic generation-Expected to novel application of 2-wavelength extreme ultraviolet ultrashort pulsed light-huu

Natsuki Kanda, Tomohiro Imahoko, Koji Yoshida, Akihiro Tanabashi, A. Amani Eilanlou, Yasuo Nabekawa, Tetsumi Sumiyoshi, Makoto Kuwata-Gonokami, and Katsumi Midorikawa, "Opening a new route to multiport coherent XUV sources via intracavity high-order harmonic generation", Light: Science & Applications, 10.1038/s41377-020-00405-5



2020/10/27 先端光学素子開発チーム / Ultrahigh Precision Optics Technology Team

超精密中性子集束ミラーによる電極界面のナノ構造解析技術の実用化
－測定精度の劇的な向上に向けた大きなマイルストーン－

Application of Precise Neutron Focusing Mirror of Neutron Reflectometry – Latest Results and Future Prospects

Yamada, Norifumi L., Hosobata, Takuya., Nemoto, Fumiya., Hori, Koichiro., Hino, Masahiro., Izumi, Jun., Suzuki, Kota., Hirayama, Masaaki., Kanno, Ryoji., Yamagata, Yutaka., "Application of Precise Neutron Focusing Mirror of Neutron Reflectometry – Latest Results and Future Prospects ", Journal of Applied Crystallography, vol.53, 6, 1462-1470. DOI: 10.1107/S1600576720013059



2020/10/29 テラヘルツイメージング研究チーム / Terahertz Sensing and Imaging Research Team

テラヘルツ光が姿を変えて水中を伝わる様子の観測に成功！
－これまでの常識を覆すテラヘルツ光の新たな活用法として期待－

Plane photoacoustic wave generation in liquid water using irradiation of terahertz pulses

Masaaki Tsubouchi, Hiromichi Hoshina, Masaya Nagai & Goro Isoyama, "Plane photoacoustic wave generation in liquid water using irradiation of terahertz pulses", Scientific Reports volume 10, Article number: 18537 (2020)

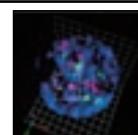


2020/12/12 生細胞超解像イメージング研究チーム / Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team

脂質がタンパク質の選別輸送を制御
－小胞体膜セラミドの長さが鍵－

Ceramide chain length-dependent protein sorting into selective endoplasmic reticulum exit sites

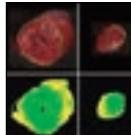
Sofia Rodriguez-Gallardo, Kazuo Kurokawa, Susana Sabido-Bozo, Alejandro Cortes-Gomez, Atsuko Ikeda, Valeria Zoni, Auxiliadora Aguilera-Romero, Ana Maria Perez-Linero, Sergio Lopez, Miho Waga, Misako Araki, Miyako Nakano, Howard Riezman, Kouichi Funato, Stefano Vanni, Akihiko Nakano, and Manuel Muñiz, "Ceramide chain length-dependent protein sorting into selective endoplasmic reticulum exit sites", Science Advances, 10.1126/sciadv.aba8237



2021/2/2 画像情報処理研究チーム /Image Processing Research Team

近赤外光を利用したハイパースペクトル画像から粘膜下腫瘍（GIST）を識別

－ GIST の早期発見、切除部位の最小化につながる画像識別手法の開発に成功－



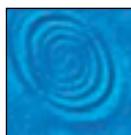
Distinction of surgically resected gastrointestinal stromal tumor by near-infrared hyperspectral imaging

Daiki Sato, Toshihiro Takamatsu, Masakazu Umezawa, Yuichi Kitagawa, Kosuke Maeda, Naoki Hosokawa, Kyohei Okubo, Masao Kamimura, Tomohiro Kadota, Tetsuo Akimoto, Takahiro Kinoshita, Tomonori Yano, Takeshi Kuwata, Hiroaki Ikematsu, Hiroshi Takemura, Hideo Yokota & Kohei Soga, "Distinction of surgically resected gastrointestinal stromal tumor by near-infrared hyperspectral imaging", DOI : 10.1038/s41598-020-79021-7

2021/2/8 テラヘルツ光源研究チーム、テラヘルツイメージング研究チーム /
Tera-Photonics Research Team, Terahertz Sensing and Imaging Research Team

微小金属らせんとテラヘルツ光との相互作用を可視化

－一次世代超高速移動通信などにおける高性能アンテナへ応用－



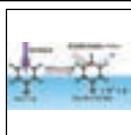
Dynamical visualization of anisotropic electromagnetic re-emissions from a single metal micro-helix at THz frequencies

T. Notake, T. Iyoda, T. Arikawa, K. Tanaka, C. Otani, H. Minamide, Scientific Reports, "Dynamical visualization of anisotropic electromagnetic re-emissions from a single metal micro-helix at THz frequencies", 10.1038/s41598-020-80510-y

2021/2/9 超高速分子計測研究チーム / Ultrafast Spectroscopy Research Team

水表面の光化学反応は水中の1万倍速く進む

－独自の技術で10兆分の1秒の界面化学反応の観測に成功－

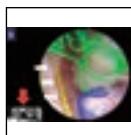


The water surface is a fantastic place for chemical reactions

Ryoji Kusaka, Satoshi Nihonyanagi, Tahei Tahara (2021). The photochemical reaction of phenol becomes ultrafast at the air-water interface. Nat. Chem. doi: 10.1038/s41557-020-00619-5

2021/2/26 画像情報処理研究チーム / Image Processing Research Team

AR（強化現実）を用いた次世代型肘関節鏡手術の開発



Experimental pilot study for augmented reality enhanced elbow arthroscopy

Michiro Yamamoto, MD, PhD, Shintaro Oyama, MD, PhD, Syuto Otuka, Yukimi Murakami, PhD, Hideo Yokota, PhD, Hitoshi Hirata, MD, PhD, DOI:10.1038/s41598-021-84062-7

2021/3/1 画像情報処理研究チーム / Image Processing Research Team

医師の判断プロセスに学んだ緑内障の画像診断システム

－少数医用画像に対する階層的転移学習による機械学習法－



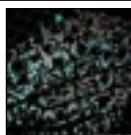
Hierarchical deep learning models using transfer learning for disease detection and classification based on small number of medical images

Guangzhou An, Masahiro Akiba, Kazuko Omodaka, Toru Nakazawa and Hideo Yokota, "Hierarchical deep learning models using transfer learning for disease detection and classification based on small number of medical images", Scientific Reports, 10.1038/s41598-021-83503-7

2021/3/26 生細胞超解像イメージング研究チーム / Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team

トランスゴルジ網における積荷選別様式を可視化

－細胞内物質輸送のハブは明確に区画化されている－



Cargo sorting zones in the trans-Golgi network visualized by super-resolution confocal live imaging microscopy in plants

Yutaro Shimizu, Junpei Takagi, Emi Ito, Yoko Ito, Kazuo Ebine, Yamato Komatsu, Yumi Goto, Mayuko Sato, Kiminori Toyooka, Takashi Ueda, Kazuo Kurokawa, Tomohiro Uemura, and Akihiko Nakano., "Cargo sorting zones in the trans-Golgi network visualized by super-resolution confocal live imaging microscopy in plants", Nature Communications, 10.1038/s41467-021-22267-0

ニュース、会議・イベント開催

November 2020 to January 2021

RAP Seminar, from 68th to 69th

November 20, 2020 **Prof. Kentaro INUI** (Team Leader of Natural Language Understanding Team, AIP, RIKEN)

“Natural Language Understanding and Assessment”
自然言語理解と自然言語アセスメント

January 15, 2021 **Prof. Hidemi SHIGEKAWA** (Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba)

“Laser-combined STM and its applications: new microscopy techniques for nanoscale science”
光励起 STM の開発と応用



March 9th, 2021

理研シンポジウム 第8回「光量子工学研究」 The 8th RAP Symposium



2021年3月9日に、第8回 RAP シンポジウム「光量子工学研究」が Online で開催されました。

NTT 物性科学研究所の増子拓紀特別研究員、東京大学大学院理学系研究科 田中愛幸准教授による招待講演、また、東京大学大学院工学系研究科 古澤明教授、東京工業大学工学院電気電子系 波多野瞳子教授による特別講演のほか、RAP メンバーによる 15 の発表が行われ、定員 200 名の Online 登録者の傍聴を始め、質疑応答など活発な議論が繰り広げられました。

The 8th RAP Symposium entitled “Advanced Photonics” was held by ZOOM Online on March 9th 2021. The symposium consisted of four special lectures by Dr. Hiroki MASHIKO, NTT Basic Research Laboratories, Prof. Akira FURUSAWA, The University of Tokyo, Prof. Mutuko HATANO, Tokyo Institute of Technology, Prof. Yoshiyuki TANAKA, The University of Tokyo, and 15 presentations by RAP members. Approximately 200 candidates were participated on the line.

賞の名称(運営組織等の名称)／氏名・職名(所属) * 授賞当時
Name of award (Sponsoring organization) / Name, position, affiliation

May 28, 2020

日本機械学会若手優秀講演フェロー賞(一般社団法人日本機械学会)／嶋根裕太研修生(画像情報処理研究チーム)
Young Fellow Award 2020 (The Japan Society of Mechanical Engineers) / Yuta Shimane, Research Parttime Worker (Image Processing Research Team)

June 10, 2020

Top downloaded of paper of Light : Science & Applications in 2019 (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)

Top downloaded of paper of Light : Science & Applications in 2019 (Light: Science & applications) / Koji Sugioka, Team Leader (Advanced Laser Processing Research Team)

July 6, 2020

Opto-Electronic Advances 2019-2020 Best Paper Award (Opto-Electronic Advances)／杉岡幸次チームリーダー(先端レーザー加工研究チーム)

Opto-Electronic Advances 2019-2020 Best Paper Award (Opto-Electronic Advances) / Koji Sugioka, Team Leader (Advanced Laser Processing Research Team)

September 1, 2020

Special Thanks from Journal of Nuclear Science and Technology (Journal of Nuclear Science and Technology The Atomic Energy Society of Japan)／若林泰生研究員(中性子ビーム技術開発チーム)

Special Thanks from Journal of Nuclear Science and Technology (Journal of Nuclear Science and Technology The Atomic Energy Society of Japan) / Yasuo Wakabayashi, Research Scientist (Neutron Beam Technology)

September 8, 2020

第42回(2020年度)応用物理学会論文賞(公益社団法人応用物理学会)／平山秀樹チームリーダー(テラヘルツ量子素子研究チーム)

Out Standing Paper Award 2020 (The Japan Society of Applied Physics) / Hideki Hirayama, Team Leader (Terahertz Quantum Device Research Team)

September 10, 2020

2019年電子・情報・システム部門 研究会奨励賞(IEEJ, The Institute of Electrical Engineers of Japan)(一般社団法人 電気学会、電子・情報・システム部門)／ゼリーン・ダニエラ特別研究員(先端レーザー加工研究チーム)

2019 IEEJ Electronics, Information and Systems Technical Meeting Best Presentation Award (IEEJ, The Institute of Electrical Engineers of Japan) / Serien Daniela, Special Postdoctoral Researcher (Advanced Laser Processing Research Team)

September 16, 2020

2020年度武田医学賞(公益財團法人武田科学振興財團)／宮脇敦史チームリーダー(生命光学技術研究チーム)

the Takeda Prize for Medical Science (Takeda Science Foundation) / Atsushi Miyawaki, Team Leader (Biotechnological Optics Research Team)

September 18, 2020

Outstanding Paper Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2019 (IOP Publishing)(英国物理学会出版局: Institute of Physics 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)

Outstanding Paper Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2019 (IOP Publishing) / Koji Sugioka, Team Leader (Advanced Laser Processing Research Team)

October 1, 2020

第25回慶應医学賞（慶應義塾医学振興基金）／宮脇敦史チームリーダー（生命光学技術研究チーム）

Commemorative lectures of The Keio Medical Science Prize 2020 (Keio University Medical Science Fund) / Atsushi Miyawaki, Team Leader (Biotechnological Optics Research Team)

October 9, 2020

第90回服部報公会90周年特別賞（公益財團服部報公会）／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）

November 20, 2020

最優秀若手研究者賞（シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端VII」、日本分光学会 テラヘルツ分光部会、応用物理学会 テラヘルツ電磁波技術研究会）／瀧田佑馬研究員（テラヘルツ光源研究チーム）

The best of young scientist award 2020 (Symposium on Frontier of Terahertz Science VII) (Terahertz Technology Form) / Yuma Takida, Research Scientist (Tera-Photonics Research Team)

November 21, 2020

一般財団法人みやぎ産業科学振興基金研究奨励賞（一般財団法人みやぎ産業科学振興基金）／瀧田佑馬研究員（テラヘルツ光源研究チーム）

Research Encouragement Award (Miyagi Foundation for the Promotion of Industrial Science) / Yuma Takida, Research Scientist (Tera-Photonics Research Team)

December 11, 2020

Micius Quantum Prize 2020 (The Micius Quantum Foundation)／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）

Micius Quantum Prize 2020 (The Micius Quantum Foundation) / Hidetoshi Katori, Team Leader (Space-Time Engineering Research Team)

December 12, 2020

最優秀賞（東京理科大学 研究推進機構総合研究院 脳学際研究部門）／嶋根裕太研修生（画像情報処理研究チーム）

The Best of Research Presentation on the 4th Symposium of Brain Interdisciplinary Research Division (Research Institute for Science & Technology) / Yuta Shimane, Research Parttime Worker (Image Processing Research Team)

January 28, 2021

第11回（令和2（2020）年度）日本学術振興会育志賞（独立行政法人日本学術振興会）／藤井瞬基礎特研究員（量子オプトエレクトロニクス研究チーム）

JSPS 11th IKUSHI Prize (Japan Society for the promotion of science) / Shun Fujii, Postdoctoral Researcher (Quantum Optoelectronics Research Team)

March 1, 2021

Outstanding Paper Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2020 (IOP (Institute of Physics) 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）、田中拓男チームリーダー（フォトン操作機能研究チーム）、Bikas Ranjan 特別研究員（フォトン操作機能研究チーム）

Outstanding Paper Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2020 (IOP (Institute of Physics) Publishing) / Koji Sugioka, Team Leader (Advanced Laser Processing Research Team), Takuo Tanaka, Team Leader (Innovative Photon Manipulation Research Team), Bikas Ranjan, Postdoctoral Researcher (Innovative Photon Manipulation Research Team)

March 8, 2021

第41回学術講演会年次大会優秀論文発表賞（一般社団法人レーザー学会）／松原卓也研修生（アト秒科学研究チーム）

The Excellent Study Award on 41th Annual Meeting of the Laser Society of Japan (The Laser Society of Japan) / Takuya Matsubara, Student Trainee (Attosecond Science Research Team)

March 10, 2021

Best Editor Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2020 (IOP (Institute of Physics) 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）

Best Editor Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2020 (IOP (Institute of Physics) Publishing) /
Koji Sugioka, Team Leader (Advanced Laser Processing Research Team)

March 17, 2021

日本学士院賞（日本学士院）／宮脇敦史チームリーダー（生命光学技術研究チーム）

The Japan Academy Prize (The Japan Academy) / Atsushi Miyawaki, Team Leader (Biotechnological Optics Research Team)

March 18, 2021

日本物理学会論文賞（一般社団法人日本物理学会）／河合利彦研究パートタイマー I（先端光学素子研究チーム）

Outstanding Paper Award of the Physical Society of Japan (the Physical Society of Japan) / Toshihiko Kawai, Research Part-time Worker I (Ultrahigh Precision Technology Team)

March 18, 2021

理研栄峰賞（理研）／高本将男専任研究員、牛島一朗客員研究員、大前宣昭客員研究員、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）

RIKEN EIHO Award (RIKEN) / Masao Takamoto, Senior Research Scientist, Ichiro Ushijima, Visiting Scientist, Noriaki Ohmae, Visiting Scientist, Hidetoshi Kato, Team Leader (Space-Time Engineering Research Team)

March 18, 2021

理研梅峰賞（理研）／高橋栄治専任研究員（アト秒科学研究チーム）

RIKEN BAIHO Award (RIKEN) / Eiji Takahashi, Senior Research Scientist (Attosecond Science Research Team)

March 19, 2021

Excellent Paper Award (The 3rd International Conference Surface and Interface Fabrication Technologies (ICSIF))／和田智之
チームリーダー、安井一、湯本正樹研究員、小川貴代研究員（光量子制御技術開発チーム）

Excellent Paper Award (The 3rd International Conference Surface and Interface Fabrication Technologies (ICSIF)) / Satoshi Wada, Team Leader, Hajime Yasui, Technical Staff, Masaki Yumoto, Research Scientist, Takayo Ogawa, Research Scientist (Photonics Control Technology Team)

研究紹介記事

FBI Science View

テラヘルツ光照射による細胞内タンパク質重合体の断片化

電波と光の両方の特性を持ち、周波数が1兆Hz付近の電磁波を「テラヘルツ(THz)光」という。THz光は近年、物質の内部構造を観察する技術技術や次世代の

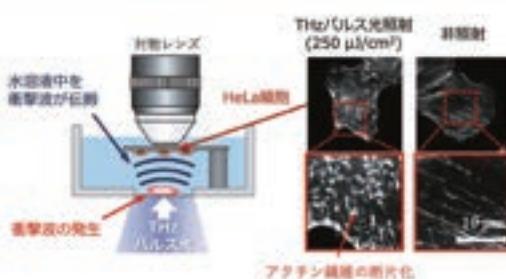


図 水槽表面で吸収されたTHzパルス光が衝撃波を発生させ、細胞内のタンパク質重合体(アクチン網維)を断片化する。

THzパルス光($250 \mu\text{J}/\text{cm}^2$)の照射後、細胞内のアクチン網維を蛍光プローブで染色し、顕微鏡で撮影した。赤印は断片化したアクチン網維を示す。THzパルス光の照射位置から2.8mmの深さでも、アクチン網維の断片化を観察できた。

●理化学研究所 光量子工学研究センター

テラヘルツイメージング研究チーム
基礎科学特別研究員 山崎 拝他

熱療法領域として、その応用が期待されている。この社会的背景から、THz光の導入による生体組織への影響が注目されているが、THz光は水に強く吸収されるため、液体組織のような水を含む組織では、91%に程度しか通過できない。そのため、主に皮膚や骨など生体表面の組織を研究対象としており、生体深部の組織についての研究は進んでいなかった。

今回、頭腦を中心とした東北大、電子科学技術研究開発機構、大阪大、京都大の共同研究グループは、自作電子レーザによって発生させたTHzパルス光を、水槽表面の活潑細胞に向けて照射したところ、細胞内に存在するタンパク質重合体(アクチン網維)が断片化された。断片化することを発見した。この断片化は、THz光が深達できない水溶液をミリメートルで駆逐したことから、THz光がタンパク質重合体に直接作用したのではなく、表面で吸収された光エネルギーが「衝撃波」として水槽中に伝播し、細胞内のタンパク質重合体構造の変化を誘起したと考えられる。

本研究成果は、THzパルス光が生体内部の細胞や組織に作用する可能性を示しており、今後の安全基準策定や、THz光を用いた新しい細胞操作技術の創出につながると期待できる。



■プロフィル

やまとざき・しゅうた 東北大学大学院医学研究科博士後期課程修了、博士(医学)。東北大学大学院医学研究科ポスドク。理化学研究所特別研究員を経て、2018年4月から現職。

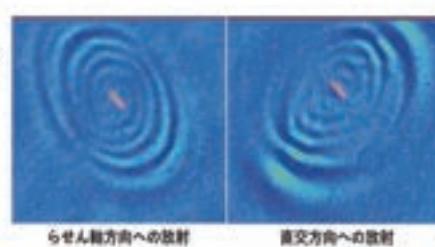
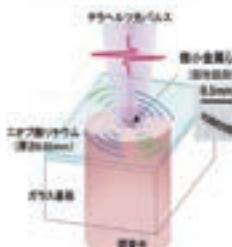
■コメント…細胞内の高分子構造を操作することで、細胞機能を制御する新しい光技術を構成したい。

FBI Science View

微小金属らせんとテラヘルツ光との相互作用を可視化

周波数が1テラヘルツ(電場と磁場が1秒間に1兆周波数)程度の電磁波を「テラヘルツ光」といいます。近年、テラヘルツ光独自の特性を利用して新しいイメージングやセンシング、分子応用が実現しつつあります。また、次世代の超高速運動通信技術(6G)における重要な電磁波資源でもあり、テラヘルツ光を発生・検出・制御するためのさまざまな光・電子デバイスの開発競争が世界中で展開しています。

今回、頭脳、同社北大、京都大の共同研究グループは、渦巻の一様でらせん構造を持つ「スピロリナ」を調査として金属メッシュすることで、長さ約0.1%、直径約0.01%、厚径約0.001%の微小ならせん構造を作製しました。この微小金属らせん構造とテラヘルツ光との相互作用を、テラヘルツ近接場顕微鏡を用いて調べました。その結果、特定の方向へ異なる反射率のテラヘルツ光が再放射される様子を、反射強度を超えたテラヘルツ光波長の10分の1程度の空間分解能とフェムト秒(100兆分の1秒)の時間分解能で、リアルタイムに可視化することに成功しました。



●理化学研究所 光量子工学研究センター

テラヘルツ光源研究チーム
研究員 野竹 孝志

■プロフィル

のなげ・たかし 愛知県豊田市出身。名古屋大学大学院工学研究科エンジニアリング工学科修士後期課程修了。博士(工学)。自然科学研究機構核融合科学研究所CCD研究員等を経て、2009年より現職。

■コメント…最近は、テラヘルツ光子を使って「シミュレーションの箭」状態を生成することに挑戦中。

過去における専門の伝送速度は既に飽和領域で決まりますが、今回初めて成功した微小金属らせん構造からのテラヘルツ光反射の領域は、1%以上あることが分かります。これは、現在の最先端6G伝送技術で使われている帯域の約1万倍であり、6Gなどにおける超広帯域アンテナとして応用が期待できます。

■テラヘルツ近接場顕微鏡による計測の概略(左)と可視化したテラヘルツ光反射(右)

(左) テラヘルツ近接場光を利用した顕微鏡では、衍射限界を超える(超解像)光学像を得ることが可能となる。本研究では、ニオブ酸リチウム薄板(厚さ0.1μm)における電気光学効果を利用してテラヘルツ光を検出しており、撮れた空間分解能を達成している。

(右) テラヘルツ光が異なる特定の方向に反射される様子。色の濃い部分(反射率)の違いを表しており、或として反響している様子が分かる。

PHOTORECEPTOR PROTEINS

First responder to light revealed

The protein component of a light-sensitive molecule in bacteria reacts first to light

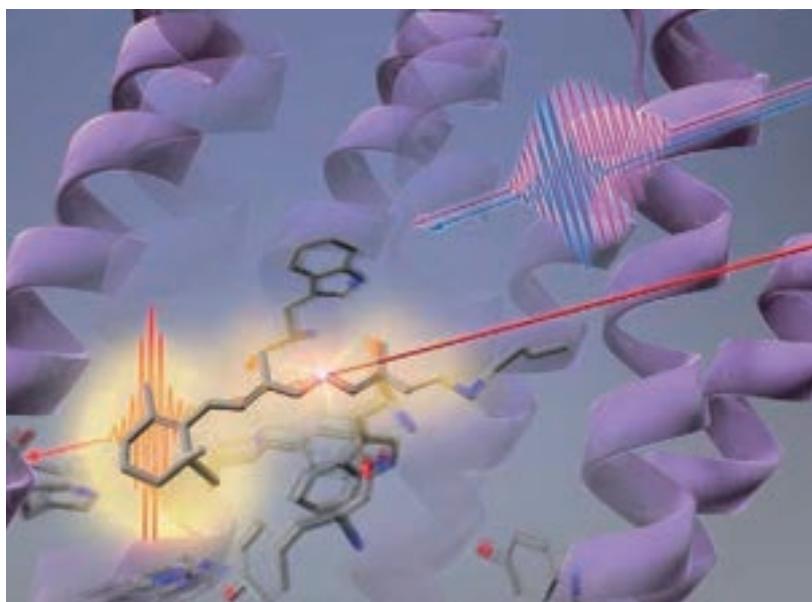
The sequence of changes that light triggers in a bacterial photoreceptor starts with its protein scaffolding rather than the light-absorbing chromophore, an all-RIKEN team has shown¹. This finding goes against conventional wisdom and sheds new insight on how photoreceptors can convert light into chemical energy so efficiently.

Many bacteria use special light-sensitive molecules known as photoreceptor proteins to turn light into chemical energy, which they use to initiate various biological functions.

Scientists have long wanted to know how bacterial photoreceptors are so efficient in converting light. “One of the fundamental questions is how these biomolecules realize such high-efficiency, low-energy photoreactions,” says Tahei Tahara. “This has been a long-standing question.” One motivation for uncovering the mechanism of these photoreceptors is that it could inform efforts to develop artificial versions of these molecules.

The most well-studied bacterial photoreceptor, bacteriorhodopsin, contains a retinal chromophore, which changes shape when it absorbs a photon of yellow light. This configuration change sets off a series of structural changes in bacteriorhodopsin that enables it to pump protons.

Interestingly, when the retinal chromophore of bacteriorhodopsin is placed in solution, its light-conversion efficiency is three times lower than when it is nestled within the protein structure of bacteriorhodopsin. This clearly indicates that the



RIKEN researchers have found that light (long red line) first causes the shape of the protein (purple swirls) to change before the retinal chromophore (stick-like structure) in bacteriorhodopsin undergoes photoisomerization.

protein plays an important role in aiding the conversion of light into chemical energy.

The conformational change of the retinal chromophore was assumed to be the first response of bacteriorhodopsin to light. But Tahara and his co-workers at the RIKEN Molecular Spectroscopy Laboratory and the RIKEN Center for Advanced Photonics have now discovered that there is a step that precedes it—the protein that cradles the retinal chromophore first alters its shape in response to light. This change in the protein could help the retinal chromophore use light efficiently.

The team took a spectroscopic technique known as

femtosecond stimulated Raman spectroscopy, which can observe processes that occur faster than a picosecond (1 picosecond = 10^{-12} seconds), and extended it to the deep ultraviolet region. This allowed them to look at the protein part of bacteriorhodopsin (see image).

This discovery came as a surprise to Tahara. “I didn’t expect that the protein would change shape before chromophore isomerization, but when I saw the experimental results I thought ‘Wow, it’s actually the case,’” he says. “It was most surprising, and we were very excited.”

While the team looked at bacteriorhodopsin in this study, they anticipate that the same effect could well occur in other rhodopsins. ●

Reference

1. Tahara, S., Kuramochi, H., Takeuchi, S. & Tahara, T. Protein dynamics preceding photoisomerization of the retinal chromophore in bacteriorhodopsin revealed by deep-UV femtosecond stimulated Raman spectroscopy. *The Journal of Physical Chemistry Letters* **10**, 5422–5427 (2019).

EXCITONS

When the dark side of nanotubes is good

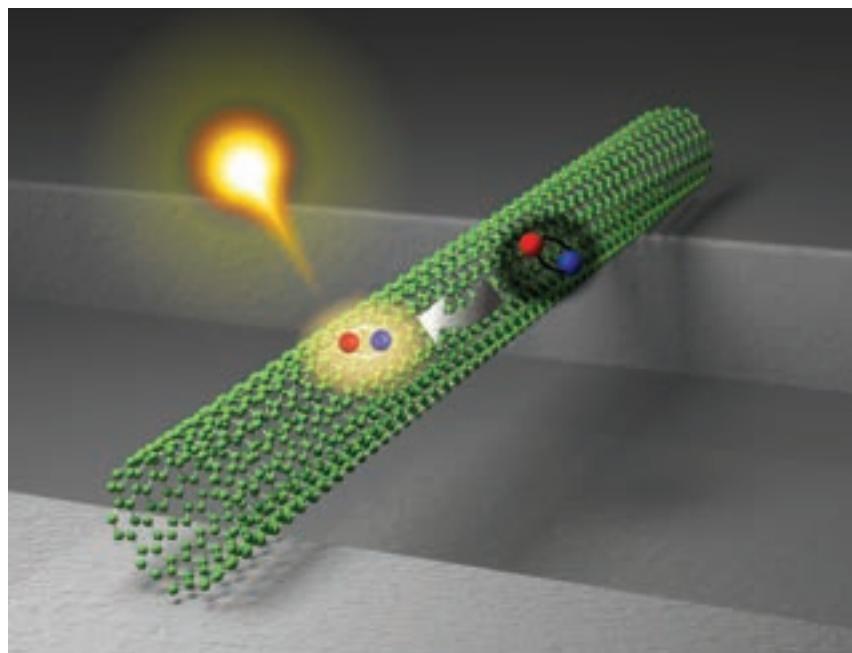
The high conversion of dark to bright excitons in long carbon nanotubes can lead to more efficient optoelectronic devices

Tailoring the dimensions and other attributes of carbon nanotubes can substantially boost the amount of light they emit, three physicists at RIKEN have discovered¹. This finding promises to lead to the development of highly efficient photonic devices.

Carbon nanotubes are tiny cylinders that are just a nanometer to a few nanometers in diameter but can be up to several micrometers in length. Their excellent electronic and mechanical properties make them attractive for use in energy-efficient devices. In particular, a defect in the otherwise pure atomic carbon structures of nanotubes can emit single photons of light—a vital component for many nanoscale devices that are needed for quantum computation and communications.

In a typical light-emitting device, laser light or an electric field creates pairs of electrons and holes known as excitons. Sometime later, the electron and hole recombine and the exciton annihilates. Depending on the symmetry of the exciton, annihilation can result in the emission of light or not.

About half of the created excitons are bright, while the other half are dark and recombine without emitting light. Some dark excitons can become bright excitons and then emit light on annihilation. But carbon nanotubes tend to have low light-emitting efficiencies, mainly because dark excitons often recombine before they can turn into bright excitons (see image).



Schematic drawing showing a dark exciton converting into a bright exciton before emitting light. Three RIKEN physicists have shown that the conversion rate of this process is higher in longer nanotubes.

Now, Yuichiro Kato and two colleagues, all at the RIKEN Nanoscale Quantum Photonics Laboratory, have discovered that by tailoring the specifications of the nanotubes more than half of the dark excitons can be converted into bright ones, thereby greatly enhancing the light output of the nanotubes.

The researchers performed time-resolved luminescence measurements on a range of carbon nanotubes. By fitting the time-resolved luminescence traces with a model, they found that the conversion rate between

dark and bright excitons depends on the length, diameter and chirality of the nanotubes. The trio estimated that in longer nanotubes, the conversion rate of dark to bright excitons was so high that more than half of the dark excitons contributed to the total luminescence.

"This shows that dark excitons can significantly affect the emission kinetics in low-dimensional materials such as nanotubes," says Kato. "They thus point to the potential of using surface interactions to engineer the dark-to-bright conversion process."

The team now intends to explore the potential of harnessing this effect. "We are interested in using this efficient conversion process to achieve carbon-nanotube single-photon emitters that have better performance," says Kato. ●

Reference

- Ishii, A., Machiya, H. & Kato, Y. K. High efficiency dark-to-bright exciton conversion in carbon nanotubes. *Physical Review X* **9**, 041048 (2019).

ATOMIC-LATTICE CLOCKS

Bringing space-based measurements down to earth

Two transportable clocks test relativity to an accuracy rivaling that of satellite-based measurements

RIKEN physicists have used Japan's tallest tower and two ultraprecise clocks to measure the time dilation effect predicted by Einstein's theory of general relativity¹. This measurement demonstrates the power of transportable ultraprecise clocks, which could find application in probing the structures of volcanoes.

Einstein hypothesized that the gravitational field of a massive object will warp space-time and cause time to run slower. Since the Earth's gravitational field gets weaker the further you are from the center of the Earth, a clock at the bottom of a tall building should run ever so slightly slower than one at the top.

But because this difference is minuscule, stringent testing of the theory of relativity requires either extremely precise clocks or a large difference in altitude. The best measurements in the laboratory have involved large, complex clocks such as the optical lattice clocks developed by the RIKEN group, which can measure height differences of around a centimeter. Measurements using satellites whose altitudes differ by thousands of kilometers have attained an even higher accuracy.

Now, a team led by Hidetoshi Katori of the RIKEN Center for Advanced Photonics has developed transportable optical lattice clocks that could precisely test general relativity, but by using Tokyo Skytree rather than satellites. They placed one clock at the base of the tower and one on the observation deck, which is 450 meters above street level. The measurements validated



The tallest tower in Japan, Tokyo Skytree looms over its surroundings. RIKEN physicists have used it and two transportable ultraprecise clocks to test the accuracy of Einstein's theory of general relativity to a precision comparable to that obtained using satellites orbiting the Earth.

Learn more about the experiment and atomic clocks on page 32.

Einstein's theory to a precision comparable to the best space-based measurements.

The ultimate purpose, however, was not to prove or disprove Einstein. "We wanted to demonstrate that we could conduct these accurate measurements anywhere outside the laboratory, with transportable devices," says Katori. The measurements validated

"Ultraprecise clocks can distinguish small differences in altitude, allowing us to measure ground swelling in places such as active volcanoes or crustal deformation, or to define the reference for height. This is the first step toward making ultraprecise clocks into real-world devices."

The key was to miniaturize the laboratory-sized clocks into transportable devices and to make them insensitive to environmental noise such as temperature changes, vibrations and electromagnetic fields. Each clock was enclosed in a magnetic-shield box, around 60 centimeters on each side, while the various lasers and electronic controllers

were housed in two rack-mountable boxes. The two clocks were connected by an optical fiber to measure the beat note.

The team plans to compare clocks hundreds of kilometers apart to monitor the long-term uplift and depression of the ground, a potential application of ultraprecise clocks. ●

Reference

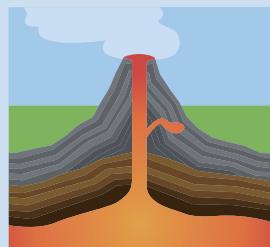
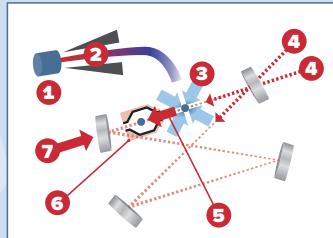
- Takamoto, M., Ushijima, I., Ohmae, N., Yahagi, T., Kokado, K., Shinkai, H. & Katori, H. Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks. *Nature Photonics* **14**, 411–415 (2020).

THE TEST OF TIME

RIKEN researchers and their collaborators have developed two transportable hyper-accurate clocks. By placing one in the Tokyo Skytree tower roughly 450m above ground and the other at ground level, the researchers were able to demonstrate Einstein's theory of general relativity. This theory suggests that a warping of time-space caused by the gravity of a massive object, in this case Earth, causes time to run slightly more slowly close to the ground than high above it. While satellites have demonstrated this effect before, the new portable clocks may have other very practical uses (see *A stitch in time*).

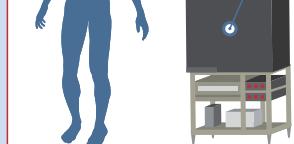
LASER PRECISION

These hyper-accurate clocks are called optical lattice clocks. It would take more than the age of the Universe for one to become out by half a second. To measure time, strontium atoms released by a beam oven (1) are decelerated by a laser (2). The atoms are then cooled by different lasers (blue arrows, 3) and trapped in an optical lattice formed by two further lasers (red arrows, 4). The atoms (blue dot) are transported (5) to a radiation shield (6), which protects the atoms from thermal radiation. Yet another laser excites transitions in the atoms (7). The frequency of these transitions is the 'tick' of the clock.



A STITCH IN TIME

The slope of a volcanic mountain is often slightly lifted when magma fills the chamber beneath it. This makes an optical lattice clock placed on the outerside of a volcano tick measurably faster. Currently, volcanic activity is monitored using satellite systems and instruments that respond to ground motion, called seismometers. A network of local optical lattice clocks could provide additional information on the rate and level of volcanic activity.



IT TAKES TWO

The two miniaturized versions of laboratory-sized clocks (see above) were enclosed in a magnetic-shield box to protect lattice-trapped atoms from environmental magnetic fields. They were connected by an optical fiber to measure the difference in tick rate between them. Scientists also independently evaluated the height difference between the clocks.

THE FINER DETAILS OF FUNDAMENTAL PHYSICS

This work is part of a new collaboration, the Max Planck-RIKEN-Physikalisch-Technische Bundesanstalt Center for Time, Constants and Fundamental Symmetries. Launched in 2019, the center supports scientists working on leading questions in fundamental physics that require high-level precision, including work on the constancy over time of natural constants and subtle differences between matter and antimatter.



© 2020 RIKEN

TERAHERTZ RADIATION

Radiation hinders protein filaments from forming

Terahertz radiation turns out to be more disruptive to living cells than previously thought

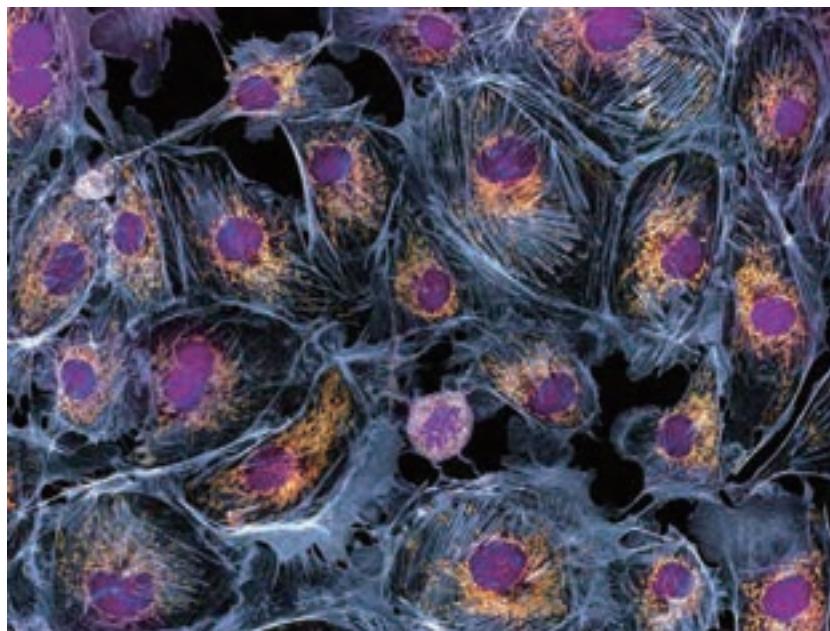
Contrary to conventional belief, terahertz radiation can disrupt proteins in living cells, physicists at RIKEN have discovered¹. This finding raises both the possibility of using terahertz radiation to treat cancer and safety concerns regarding its use in other applications.

Terahertz electromagnetic radiation is more energetic than microwaves but less energetic than infrared light. Because it does not damage DNA in the same way that x-rays do, it is being explored for use in various applications including baggage inspection at airports.

While terahertz radiation has generally been considered safe for tissue, recent studies have found that it may directly affect DNA. But because it does not penetrate tissue much, this would only affect cells on the surface skin. However, it is not known whether terahertz radiation affects biological tissues even after it has been stopped, through the propagation of energy waves into the tissue.

Shota Yamazaki of the RIKEN Center for Advanced Photonics and co-workers recently discovered that the energy from visible light can enter water as a shockwave. The team decided to investigate whether terahertz light has a similar effect on tissue.

They investigated the effect of terahertz radiation on a protein called actin—a key element that provides structure to living cells. It can exist in two forms, globular and filamentous actin, which have different structures and functions. As their names



Immunofluorescence light micrograph of pulmonary endothelial cells in the lungs. Actin filaments, which are major components of the cytoskeleton, are gray. RIKEN researchers have shown that terahertz radiation can prevent globular actin from forming chains and becoming filamentous actin in living cells.

suggest, globular actin is compact, whereas filamentous actin is made up of long protein chains.

Using fluorescence microscopy, the team found that terahertz radiation reduced the lengths of actin filaments growing in an aqueous solution of actin. This indicated that terahertz radiation was somehow preventing the globular actin from forming chains and becoming filamentous actin.

Since the temperature rise caused by the terahertz radiation was too small to induce this kind of change, the team concluded

it was most likely caused by a shockwave. To test this, they performed experiments in living cells and found that the formation of actin filaments was also disrupted in the cells. However, there was no sign that the radiation caused cells to die.

"It was quite interesting for us to see that terahertz radiation can have an effect on proteins inside cells without killing the cells themselves," says Shota Yamazaki. "We will be interested in looking for potential applications in cancer and other diseases. Terahertz radiation is coming to a

variety of applications today, and it is important to come to a full understanding of its effect on biological tissues, both to gauge any risks and to look for potential applications." ●

Reference

- Yamazaki, S., Harata, M., Ueno, Y., Tsubouchi, M., Konagaya, K., Ogawa, Y., Isoyama, G., Otani, C. & Hoshina, H. Propagation of THz irradiation energy through aqueous layers: Demolition of actin filaments in living cells. *Scientific Reports* **10**, 9008 (2020).

© DR TORSTEN WITTMANN/SCIENCE PHOTO LIBRARY

MITOPHAGY

Detecting the death of decrepit mitochondria

A probe that works in both live and fixed cells can give key insights into neurodegenerative disorders

A versatile probe that can detect with pinpoint accuracy the programmed destruction of defective mitochondria—the powerhouses of cells—has been developed by RIKEN researchers¹. They used it to show that damaged mitochondria in dopamine-producing neurons fail to be destroyed in mice with a condition resembling Parkinson's disease.

Mitochondria are organelles that generate most of the chemical energy our cells need to function. But when cells are stressed, mitochondria can malfunction and produce highly reactive oxygen radicals, which damage cells. Thus, cells routinely weed out and destroy defective mitochondria by assigning them to lysosomes, which function as the waste-disposal system of cells, breaking down unwanted components.

If this selective elimination of dysfunctional mitochondria—known as mitophagy—fails, it can lead to various diseases. There is thus much interest in monitoring mitophagy in cells.

Fluorescent probes have been developed that can detect mitophagy. But some can only be used in living cells, while others are vulnerable to destructive processes that do not involve lysosomes.

Now, Atsushi Miyawaki of the RIKEN Center for Brain Science and co-workers have developed a new fluorescent probe that can be used in both living and fixed cells and is highlighted specifically in lysosomes.

Their probe contains two parts: one that can withstand the enzymes in the lysosome and another that is destroyed



Colored transmission electron micrograph of a single mitochondrion in a human pancreas cell. RIKEN researchers have developed a fluorescent probe that can detect the programmed death of defective mitochondria in the lysosomes.

by them. Thus, by monitoring the color of the probe's fluorescence, the researchers could detect when a mitochondrion had entered a lysosome. Unlike their previous mitophagy probe, the new probe is sensitive to the degrading enzymes in lysosomes and acidity, so it works even in fixed cells where lysosomes are no longer acidic.

The team used the probe to investigate Parkinson's disease—a neurodegenerative disease that causes shaking, muscle stiffness and progressive difficulties with movement.

Using a mouse model of Parkinson's disease, the researchers found that neurons that produced the neurotransmitter

dopamine failed to eliminate defective mitochondria, but other neurons that did not produce dopamine did. Since Parkinson's disease is characterized by a dopamine deficiency in the brain, this suggests that the inability of dopamine-producing neurons to perform mitophagy could be a major factor in the disease.

By collaborating with researchers from the pharmaceutical company Takeda, Miyawaki's team identified a compound that can induce the destruction of damaged mitochondria. Such compounds could help to treat Parkinson's disease in the future.

The probe is promising for advancing research into other diseases. "Since many other

neurodegenerative disorders involve mitophagy, our probe can contribute to their study," says Miyawaki. "Furthermore, diseases in other organs involve oxidative stress and hence mitophagy. We're currently using our probe to look at heart disease." ●

Reference

- Katayama, H., Hama, H., Nagasawa, K., Kurokawa, H., Sugiyama, M., Ando, R., Funata, M., Yoshida, N., Homma, M., Nishimura, T. et al. Visualizing and modulating mitophagy for therapeutic studies of neurodegeneration. *Cell* **181**, 1176–1187.e16 (2020).

ATTOSECOND SCIENCE

Pulses that are short on time, but high on energy

Ultrashort, energetic pulses can now be generated by combining three highly controlled pulses

A way to reliably produce x-ray pulses that are both incredibly short and have high energies has been demonstrated by physicists at RIKEN¹. This will allow researchers to investigate ultra-short phenomena that involve multiple photons.

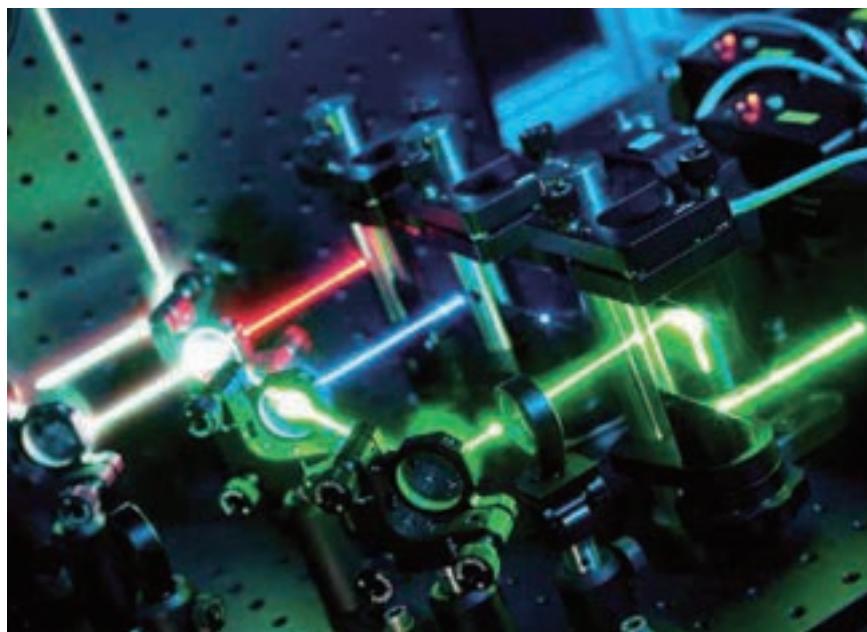
It is hard to appreciate how short an attosecond is. Each second is made up of a quintillion (10^{18}) attoseconds; the equivalent number of seconds would be more than twice the current age of the Universe. Light can travel from the Earth to the Moon in about 1.25 seconds, but it covers a mere 0.3 nanometers in an attosecond.

When scientists produced laser pulses on the timescale of several hundred attoseconds in 2001, they opened up new vistas to researchers. In particular, it became possible to probe and control the motion of electrons in molecules.

Pulse durations have dropped to a few tens of attoseconds today, but one limitation is that the pulses have low energies. Producing more-energetic attosecond pulses will allow researchers to explore nonlinear phenomena that involve two or more photons.

Now, Eiji Takahashi of the RIKEN Center for Advanced Photonics and his co-workers have produced high-energy pulses in the attosecond regime.

"To the best of our knowledge, the combination of the 240-nanojoule energy and 170-attosecond duration of our isolated attosecond pulses represents a new record for studies using synthesizers or other



In a fluorescence microscopy experiment (shown here), white light is split into its component colors. RIKEN scientists have done the reverse—they have combined three laser pulses of different wavelengths using a high-energy waveform synthesizer to generate high-energy pulses in the attosecond regime.

techniques. Moreover, despite being an attosecond pulse, its peak power exceeds a gigawatt,” says Takahashi.

The team produced these pulses by combining, or synthesizing, three pulses with wavelengths ranging from red light to infrared light. Importantly, they were able to achieve precise control over the timing and shape of these pulses, allowing the team to both optimize and accurately reproduce them. The researchers then used the combined pulse to produce an attosecond pulse using a nonlinear process known as high-order harmonic generation in argon gas.

To realize the stability they needed, the team developed a stabilized, high-energy amplifier for driving their synthesizer. This high-energy laser amplifier stretches a pulse in duration, amplifies it, and then compresses it with actively stabilizing carrier-envelope phases. “The development of this amplifier was one of the key achievements in this study,” says Takahashi.

The team anticipates that their method will accelerate research in the attosecond regime. In particular, it will be useful for probing electrons using attosecond spectroscopy. “We’re

convinced our method will pave the way to realize nonlinear attosecond-science experiments in the near future,” says Takahashi. “This will certainly catalyze research on ultrafast phenomena and nonlinear optics.” ●

Reference

- Xue, B., Tamaru, Y., Fu, Y., Yuan, H., Lan, P., Mücke, O. D., Suda, A., Midorikawa, K. & Takahashi, E. J. Fully stabilized multi-TW optical waveform synthesizer: Toward gigawatt isolated attosecond pulses. *Science Advances* **6**, eaay2802 (2020).

A Journal of the German Chemical Society

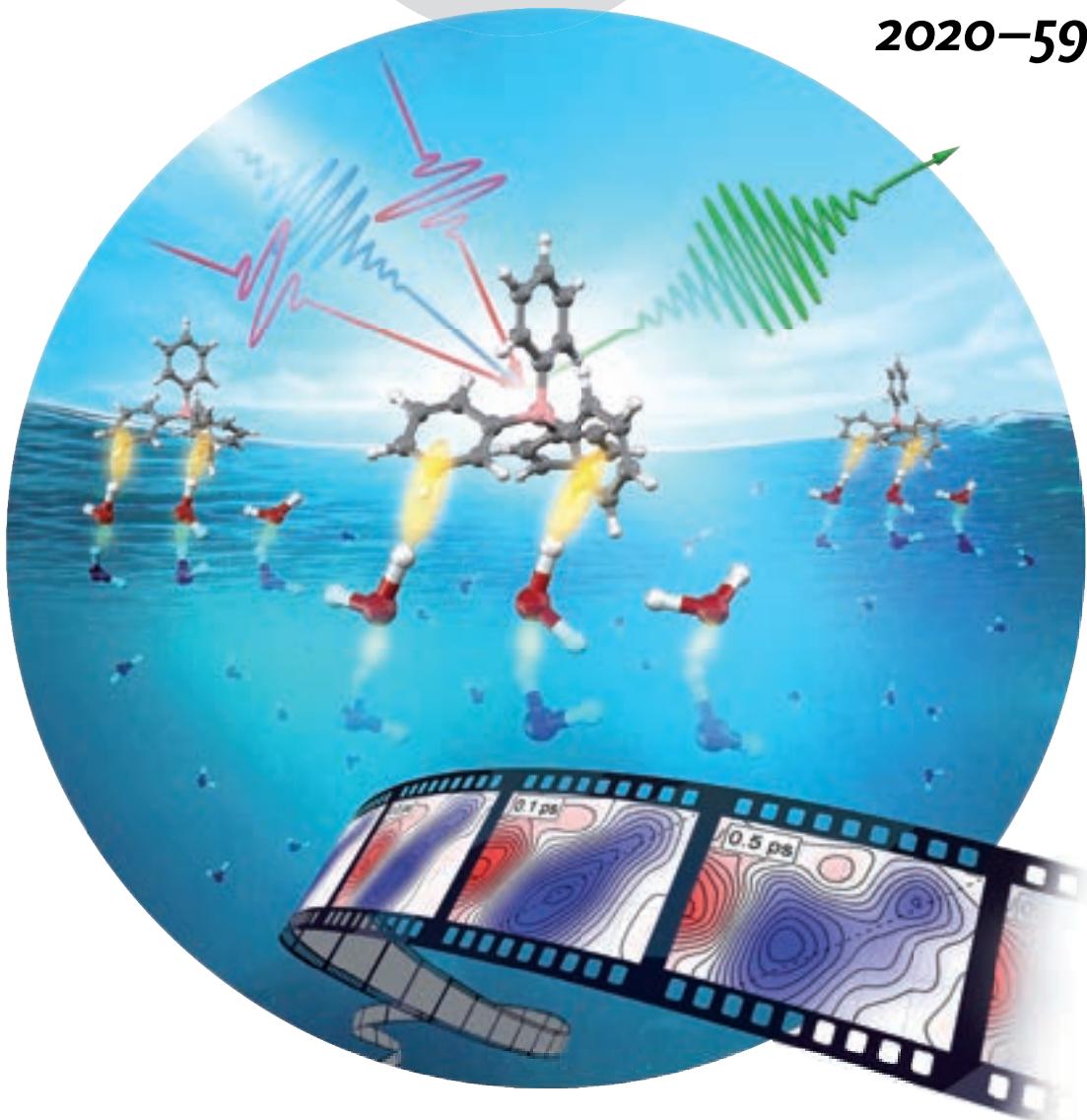
Angewandte Chemie

International Edition

GDCh

www.angewandte.org

2020-59/24



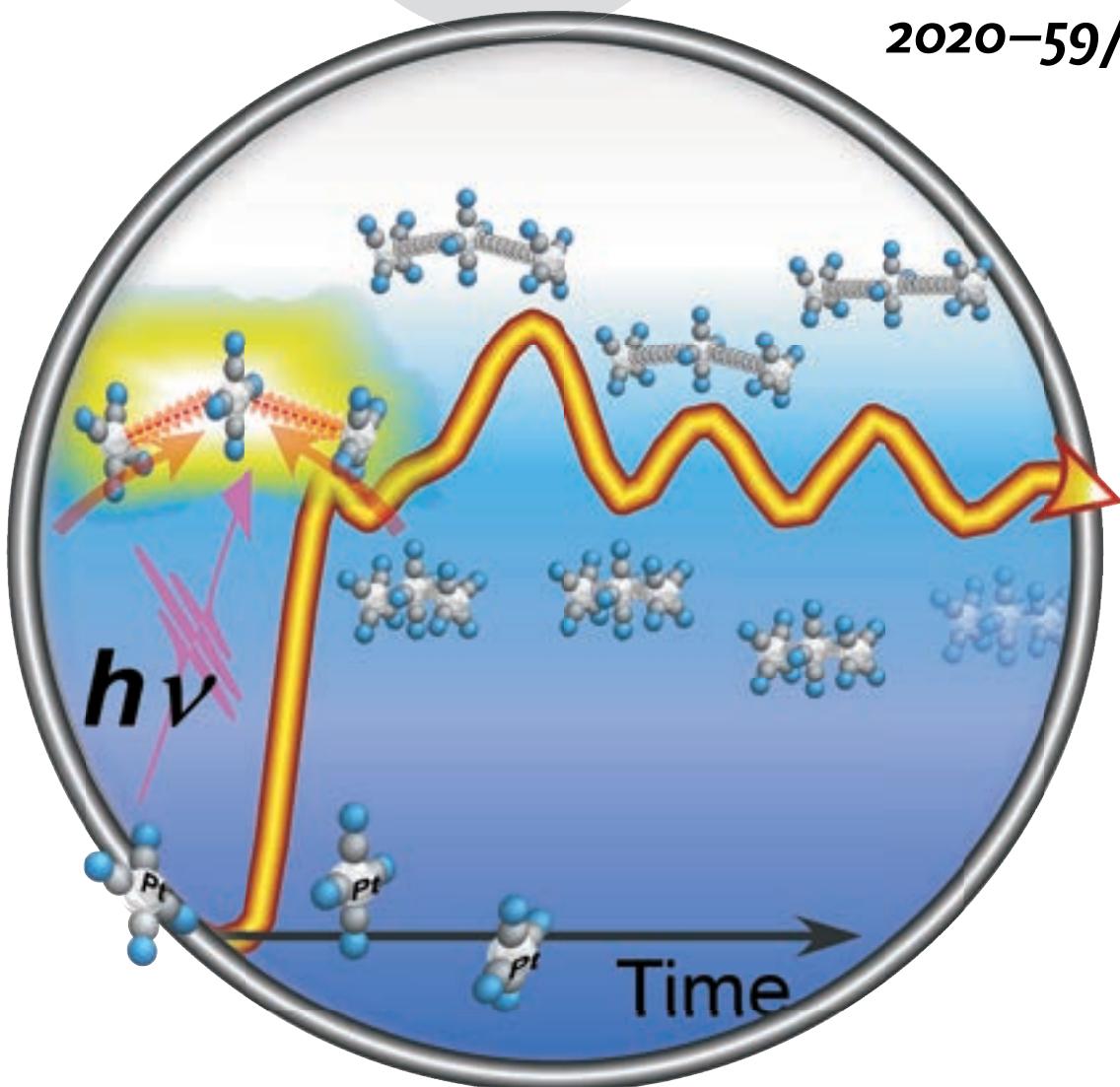
Hidden π -hydrogen bonded OH ...

... of water at negatively charged hydrophobic interfaces was revealed by two-dimensional heterodyne-detected vibrational sum-frequency generation (HD-VSFG) spectroscopy. In their Research Article on page 9498, T. Tahara and co-workers show that the sign of the interfacial charge governs the structure and dynamics of water molecules facing the hydrophobic region. The picture illustrates 2D spectra tracking femtosecond hydrogen-bond dynamics of water at charged hydrophobic interfaces.

WILEY-VCH

転載許可取得済 John Wiley & Sons, Inc.

A Journal of the German Chemical Society
Angewandte
International Edition
Chemie
GDCh
www.angewandte.org
2020-59/51



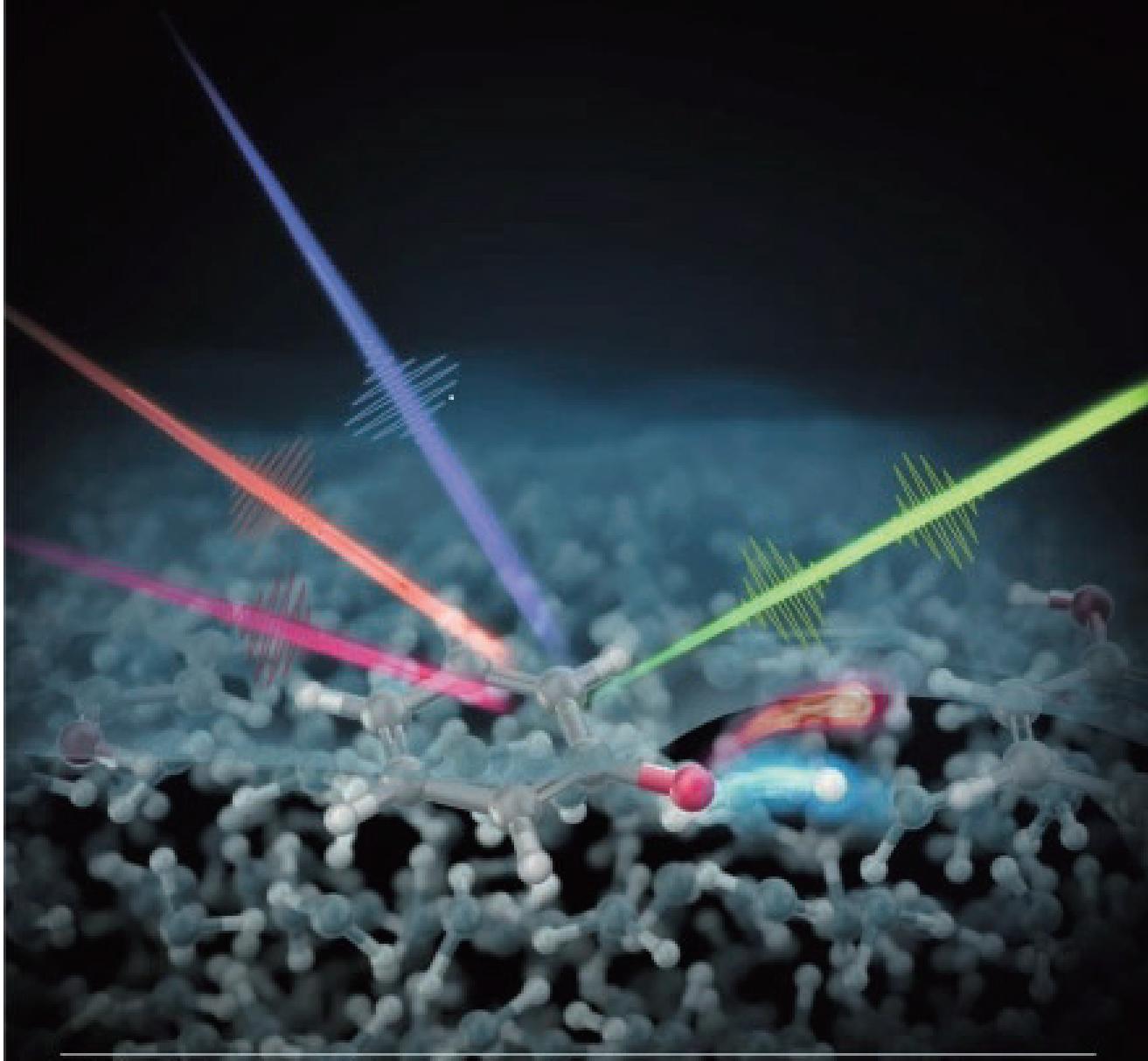
● **Intermolecular bond formations ...**

... among Pt atoms in oligomers of Pt^{II} complexes are induced by photo-irradiation. Femtosecond time-resolved absorption measurements for aqueous solutions of K₂[Pt(CN)₄] recorded clear oscillations of transient absorption in the first few picoseconds with complex dynamics. The oscillations arise from the Pt–Pt stretch motions of the S₁ trimer and S₁ tetramer. Analysis of the oscillations provides clear assignments of the oligomers, as described by M. Iwamura, T. Tahara, and co-workers in their Research Article on page 23154.

WILEY-VCH

www.nature.com/nchem/ / April 2021 Vol. 13 No. 4

nature chemistry



Ultrafast at the interface

転載許可取得済 Springer Nature