



**RIKEN**  
**Center for Advanced Photonics**  
**2021 Annual Report**

光量子工学研究センター 2021 Annual Report



RIKEN Center for Advanced Photonics

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



RIKEN Center for Advanced Photonics 2021 Annual Report



# Preface

Four 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 2021, we welcomed two young team leaders and “Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team” (Yuya Morimoto RIKEN Hakubi Team Leader) and “Ultrafast Coherent Soft X-ray Photonics Research Team” (Eiji J. Takahashi Team Leader) have launched. In addition, several world-leading outputs have been achieved, such as “Measurement of 300 as response of a molecule (Attosecond Science Research Team)” , “Large-scale optical measurement of mouse cerebellum activity (Biotechnological Optics Research Team)” , and “Elucidation of the coronavirus inactivation by ultraviolet light (Photonics Control Technology Team)” .

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

Katsumi Midorikawa  
Director,  
RIKEN Center for Advanced Photonics

## はじめに

2013年4月に発足した光量子工学研究領域が、2018年4月に光量子工学研究センター（RAP）となり、第二期を開始してから4年が経過しました。

光量子工学研究センターでは、光の新しい使い方を提案・追究し、今まで見えなかったものを見ようとしています。例えば、アト秒パルスレーザーによる電子の観察、メタマテリアルによる光の操作、超高精度な光格子時計による相対論的な測地学、小型中性子源によるコンクリート構造物の非破壊検査・・・。見る事ができれば、理解し、制御することにも近づきます。光の可能性は無限で、私たちが到達できているのはほんの一部です。光量子工学研究センターは、光科学の地平を広げ、新しい光技術を社会に役立てていきます。

2021年度は、2名の若手チームリーダーを迎え、「超短パルス電子線科学理研白眉研究チーム」（森本裕也理研白眉研究チームリーダー）と「超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム」（高橋栄治チームリーダー）が発足しました。また、「300アト秒以下での分子応答計測（アト秒科学研究チーム）」、「マウス小脳の大規模可視化（生命光学技術研究チーム）」、「紫外線照射による新型コロナウイルス不活性化メカニズムの解明（光量子制御技術開発チーム）」などの顕著な研究成果が出ました。

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

緑川 克美 光量子工学研究センター センター長

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.	40
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

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

エクストリームフォトンクス研究領域  
Extreme Photonics Research Group

緑川 克美  
Katsumi Midorikawa

アト秒科学研究チーム Attosecond Science Research Team	緑川 克美 Katsumi Midorikawa	4
超高速分子計測研究チーム Ultrafast Spectroscopy Research Team	田原 太平 Tahei Tahara	6
時空間エンジニアリング研究チーム Space-Time Engineering Research Team	香取 秀俊 Hidetoshi Katori	8
量子オプトエレクトロニクス研究チーム Quantum Optoelectronics Research Team	加藤 雄一郎 Yuichiro Kato	10
超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム Ultrafast Coherent Soft X-ray Photonics Research Team	高橋 栄治 Eiji J. Takahashi	12
超短パルス電子線科学理研白眉研究チーム Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team	森本 裕也 Yuya Morimoto	14

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

中野 明彦  
Akihiko Nakano

生細胞超解像イメージング研究チーム Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team	中野 明彦 Akihiko Nakano	16
生命光学技術研究チーム Biotechnological Optics Research Team	宮脇 敦史 Atsushi Miyawaki	18
画像情報処理研究チーム Image Processing Research Team	横田 秀夫 Hideo Yokota	20
フォトン操作機能研究チーム Innovative Photon Manipulation Research Team	田中 拓男 Takuo Tanaka	22
先端レーザー加工研究チーム Advanced Laser Photonics Research Team	杉岡 幸次 Koji Sugioka	24

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

南出 泰垂  
Hiroaki Minamide

テラヘルツ光源研究チーム Tera-Photonics Research Team	南出 泰垂 Hiroaki Minamide	26
テラヘルツイメージング研究チーム Terahertz Sensing and Imaging Research Team	大谷 知行 Chiko Otani	28
テラヘルツ量子素子研究チーム Terahertz Quantum Device Research Team	平山 秀樹 Hideki Hirayama	30

光量子技術基盤開発領域  
Advanced Photonics Technology Development Group

和田 智之  
Satoshi Wada

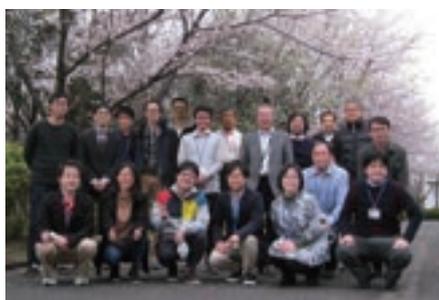
光量子制御技術開発チーム Photonics Control Technology Team	和田 智之 Satoshi Wada	32
先端光学素子開発チーム Ultrahigh Precision Optics Technology Team	山形 豊 Yutaka Yamagata	34
中性子ビーム技術開発チーム Neutron Beam Technology Team	大竹 淑恵 Yoshie Otake	36
技術基盤支援チーム Advanced Manufacturing Support Team	山形 豊 Yutaka Yamagata	38

## アト秒科学研究チーム



チームリーダー / Team Leader

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



### FY2021 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、道川貴章  
(特別嘱託研究員) 小林 徹  
(基礎科学特別研究員) Bing Xue  
(特別研究員) Lu Xu、Giang Nhan Tran  
(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,  
Takayuki Michikawa  
(Special Temporary Research Scientist)  
Tohru Kobayashi  
(Special Postdoctoral Researcher)  
Bing Xue  
(Postdoctoral Researcher)  
Lu Xu, Giang Nhan Tran  
(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



#### 300アト秒の分子応答

- 多原子分子にアト秒パルスを照射して、種類の異なる解離分子イオンを発生
- 3種類の解離分子イオンについてアト秒パルスの干渉自己相関波形及び包絡線自己相関波形測定に成功
- イオン化／解離の分子応答時間に差があることを発見
- 最短自己相関時間：300 as

#### 300 attosecond response of a molecule

- Generation of multi-kinds of fragment ions by irradiating an attosecond pulse to a polyatomic molecule
- Observations of interferometric and envelope autocorrelation traces of an attosecond pulse for three kinds of fragment ions
- Difference of the response time depending on the ionization/dissociation process
- The shortest correlation time of 300 as in the autocorrelation measurements

Takuya Matsubara, Shinichi Fukahori, Erik Lötstedt, Yasuo Nabekawa, Kaoru Yamanouchi, and Katsumi Midorikawa, "300 attosecond response of acetylene in two-photon ionization/dissociation processes," *Optica* 8 (8) (2021) 1075.

# Attosecond Science Research Team

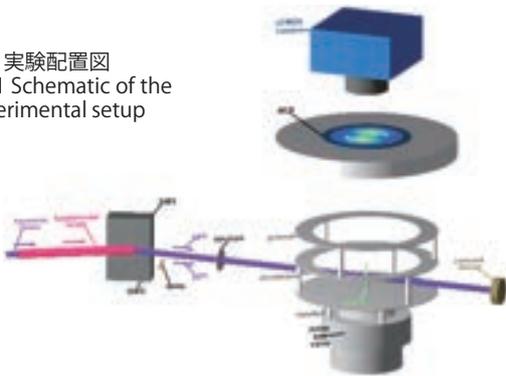
レーザー技術の進展に伴い、我々は今や物質中で生じる超高速の現象を、時間スケールが1fsを切るような領域まで観測できるようになりました。このような光科学を「アト秒科学」と呼んでいます。アト秒科学に於いては高強度のフェムト秒レーザー光によって発生する高次高調波発生が重要な役割を果たします。高次高調波はそのパルス幅がアト秒領域にあるので、これを利用して分子がどのくらい早くイオン化し解離するのかを調べました。

2つのレプリカ高次高調波パルスは、アセチレン(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)ガスジェットの中に集光され、これにより生じたCH<sup>+</sup>, C<sup>+</sup>, 及びH<sup>+</sup>の3種の解離フラグメントイオンを速度マップ画像型イオン分光器によって検知しました(図1)。時間遅延を走査しながら、各解離フラグメントイオンの生成量を記録すると、高次高調波パルスの干渉自己相関(IAC)波形が各フラグメントイオンごとに3種類得られます(図2(a))。各IACに対して干渉縞をバンドパスフィルターで取り除くと、アト秒パルスの波形を反映した包絡線自己相関(EAC)波形が得られます(図2(b))。中央のピークの相関幅は各フラグメントイオンごとに異なりました。この事実は各イオン化・解離の過程で分子の応答時間がアト秒時間スケールで異なることを意味しています。またC<sup>+</sup>で得られた300asの相関時間は自己相関測定における最短の相関幅です。さらにIACのフーリエ変換解析からCH<sup>+</sup>発生には共鳴励起が併存していることも明らかになりました(図3(a), (b))。

Thanks to the significant progress of laser technologies, we are now able to resolve the ultrafast dynamics of matters even in a time scale of less than 1 fs. The study on this scientific field is so-called 'Attosecond Science'. High-order harmonic (HH) pulse generated from an intense femtosecond laser pulse plays a crucial role in this field. We have investigated how fast a molecule is ionized/dissociated with the HH pulses by taking advantage of the attosecond pulse duration of the HH pulse.

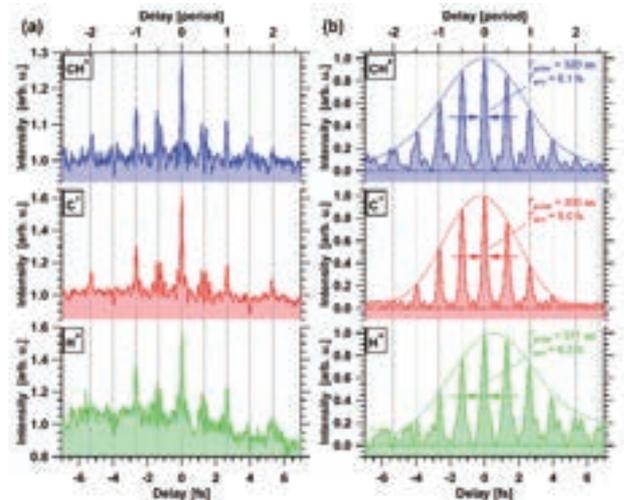
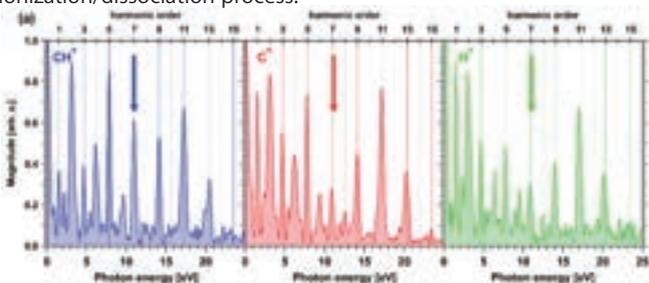
The two replica HH pulses were focused into a gas jet of C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> molecule, and then the fragment ions of CH<sup>+</sup>, C<sup>+</sup>, and H<sup>+</sup> were detected by using a velocity mapping ion spectrometer (Fig. 1). We found three kinds of interferometric autocorrelation (IAC) traces of the HH pulses by accumulating these fragment yields upon scanning delay, as shown in Fig. 1(a). By applying the band pass filter to each IAC trace, we found the envelope autocorrelation (EAC) trace for each fragment shown in Fig. 1(b). The correlation width of the central peak in each EAC trace differs by each fragment. This is the evidence that the response time for each fragment yield differ by each ionization and dissociation process in attosecond time scale. The correlation time of 300 as of the EAC trace of C<sup>+</sup> yield is the shortest ever obtained in the AC measurements. We also found that resonant excitation process coexisted for the CH<sup>+</sup> fragment yield by Fourier analysis of the IAC traces (Figs. 3 (a), (b)).

図1 実験配置図  
Fig.1 Schematic of the experimental setup



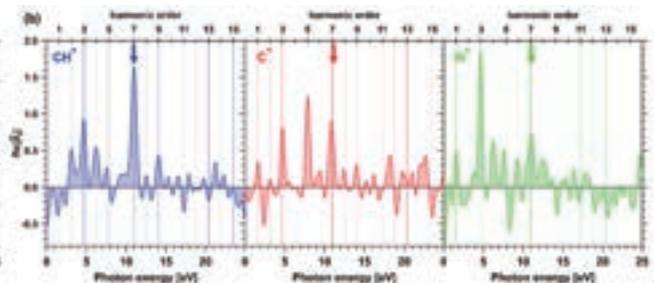
↓ 図3 (a) IACのフーリエ変換スペクトル (b) 角度分布のフーリエ変換スペクトル。いずれもCH<sup>+</sup>のみ7次高調波のピークが高く、共鳴励起の存在を示している

Fig.3 (a) Fourier spectra of IAC traces (b) Fourier spectra of angular distributions. Distinct peak at the 7th harmonic frequency for CH<sup>+</sup> in both figures indicates the resonant excitation in the ionization/dissociation process.



↑ 図2 (a)各イオン生成量によるアト秒パルスの干渉自己相関波形 (b) 同、包絡線自己相関波形

Fig.2 (a) Interferometric autocorrelation (IAC) traces of three kinds of fragment ions (b) Corresponding envelope autocorrelation (EAC) traces



## 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.



### FY2021 Core Members

(専任研究員)

石井 邦彦(兼務)、二本柳 聡史(兼務)

(研究員)

松崎 維信

(研究員)

Ahmed Mohammed

(アシスタント)

加藤 智子

(Senior Research Scientist)

Kunihiko Ishii (c),

Satoshi Nihonyanagi (c)

(Research Scientist)

Korenobu Matsuzaki

(Research Scientist)

Ahmed Mohammed

(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

#### 微生物型ロドプシンで起こる光反応初期過程の超高速ダイナミクスに関する統一視



Chun-Fu Chang 特別研究員

- フェムト秒時間分解吸収分光法で微生物型ロドプシンの超高速ダイナミクスを広いpH範囲で測定し、劇的な変化を観測
- 従来個別に理解されてきた微生物型ロドプシンの光初期過程の複雑な励起状態緩和ダイナミクスを、発色団の対イオン残基のプロトン化／脱プロトン化の観点に立って統一的理解

#### A Unified View on Varied Ultrafast Dynamics of the Primary Process in Microbial Rhodopsins

- The ultrafast dynamics of the microbial rhodopsins were studied by femtosecond time-resolved absorption spectroscopy in a wide pH range
- It was revealed that protonation/deprotonation of the counterion residue of the retinal chromophore is the molecular origin of the complicated excited-state relaxation dynamics in the primary process of microbial rhodopsins

Reference: C.-F. Chang et al. A unified view on varied ultrafast dynamics of the primary process in microbial rhodopsins, *Angew. Chem. Int. Ed.* **61**, e202111930 (2022). <https://doi.org/10.1002/anie.202111930>

# Ultrafast Spectroscopy Research Team

微生物型ロドプシンは、太陽光を捕らえて様々な生物学的機能を実現する膜タンパク質です。これらの生物学的機能はすべて同一の光反応初期過程、すなわち、プロトン化レチナル Schiff 塩基 (PRSB) 発色団の全トランス型から13シス型への光異化によって引き起こされます。ただし、この光異化を起こす電子励起状態の緩和ダイナミクスは、ロドプシンごとに大きく異なります。超高速分子計測研究チームは、微生物型ロドプシンの多様な光反応初期過程ダイナミクスを統一的に理解するため、プロテオロドプシン (PR)、PRのD97N変異体、バクテリオロドプシン (BR) (図1) の超高速ダイナミクスをフェムト秒時間分解吸収分光法によって広いpH範囲で観測しました。その結果、励起状態の緩和速度が、基底状態のPRSB発色団の対イオン残基の酸塩基平衡滴定曲線と同じ変化を示すことが分かりました (図2)。この結果は、様々な微生物型ロドプシンの複雑な励起緩和ダイナミクスが、主として基底状態でのPRSB対イオン残基のプロトン化状態の違いに起因することを示しています。我々の研究は、微生物型ロドプシンの光受容過程の最初の励起状態ダイナミクスに対して新しい、統一的な視点を与えました (図3)。

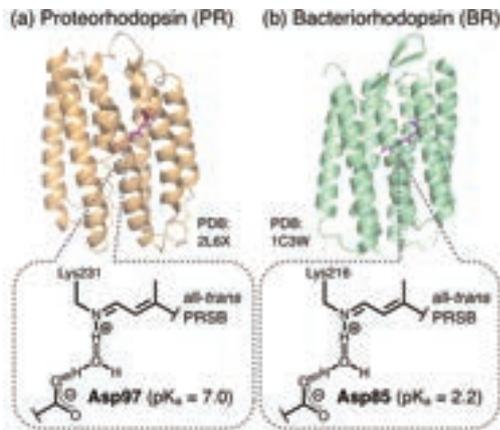


図1 (a) PR および (b) BR のタンパク質構造。 Schiff 塩基結合領域における全トランスPRSB発色団とその対イオン残基の化学構造が下部に示されています。<sup>1</sup>

Fig.1 Protein structure of (a) PR and (b) BR. The chemical structures of the all-*trans* PRSB chromophore and its counterion in the Schiff base linkage region are shown at the bottom.<sup>1</sup>

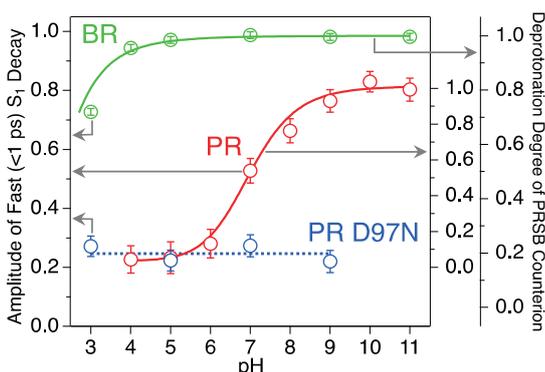


図2 PR、BR、およびPRのD97N変異体の全S<sub>1</sub>緩和成分に対する高速 (<1 ps) 緩和成分割合のpH依存性。PRとBRについては、PRSB対イオン残基の滴定曲線も実線で合わせて示してあります。<sup>1</sup>

Fig.2 pH dependence of the relative amplitude of the fast (<1 ps) decay component in the total S<sub>1</sub> relaxation of PR, BR, and the D97N mutant of PR. For PR and BR, the titration curves of the counterions are plotted with solid lines.<sup>1</sup>

Microbial rhodopsins are membrane proteins that capture sunlight to realize various biological functions. These biological functions are triggered by the same primary process, i.e., all-*trans* to 13-*cis* photoisomerization of the protonated retinal Schiff base (PRSB) chromophore. However, the relevant S<sub>1</sub> excited-state relaxation dynamics varies significantly from one rhodopsin to another. To obtain a unified view of the varied excited-state relaxation dynamics in different rhodopsins, Ultrafast Spectroscopy Research Team studied the ultrafast dynamics of proteorhodopsin (PR), its D97N mutant, and bacteriorhodopsin (BR) (Fig. 1) by femtosecond time-resolved absorption spectroscopy in a wide pH range. The data showed that the excited-state relaxation dynamics correlates well with the titration curve of the counterion residue of the PRSB chromophore in the ground state (Fig. 2). This result reveals that the complicated excited-state relaxation dynamics in different rhodopsins mainly originate from the difference of the protonation state of the PRSB counterion in the ground state. Our study provides a new, unified view of the primary process in microbial rhodopsins (Fig.3).

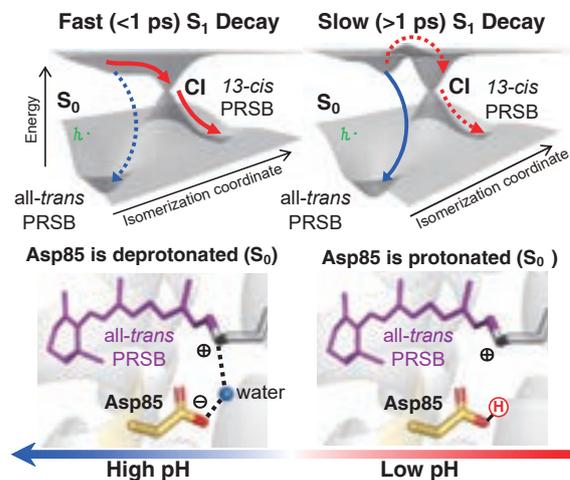


図3 微生物型ロドプシンで起こる光反応初期過程の励起状態ダイナミクス。PRSB対イオン残基のプロトン化状態変化に伴って大きく変化します。<sup>1</sup>

Fig.3 The excited-state relaxation of microbial rhodopsins. It drastically changes with the change of the protonation state of the PRSB counterion.<sup>1</sup>

## 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.



### FY2021 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 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
- 次世代小型光格子時計の開発
- 光格子時計の長距離比較による相対論的測地の応用開拓

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

- Chronometric levelling with cm-level precision using an on-vehicle clock
- Development of the next generation of compact optical lattice clocks
- Exploration of relativistic geodesy using optical lattice clocks compared over a long baseline

## 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システムの小型化・可搬化を行っています。この一環として、18桁精度の車載型光格子時計の開発と次世代小型光格子時計の開発を行っています。光格子時計の車載化では、開発した車載機（図1）と実験室機を周波数比較することによって、24時間の積算で1 cmの高さの測定精度を実現する衛星測位に比べて、短時間の時計比較で高精度測地が実現できることが実証されました（図2）。また、更なる可搬性の向上を目指して、体積250 L（従来の7分の1）の次世代小型光格子時計を開発しました。このような可搬型時計を用いれば、重力ポテンシャルのフィールド計測やcm精度の標高マッピングが可能となります。

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、プレートの運動や火山活動などによる地殻変動の観測など、地球物理学への応用を進めていきます。また、光格子時計の更なる小型化・可搬化やネットワーク化を進めることで、全球測位衛星システムや高感度重力計と補完的に利用できる光格子時計ネットワークの確立を目指します。



図1 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 is working on the development of a transportable optical lattice clock for practical applications in relativistic geodesy. As part of this, the team is developing a vehicle-mounted clock with 18-digit accuracy and a next-generation compact clock. Frequency comparison between the vehicle-mounted clock (Fig. 1) and the laboratory clock has demonstrated high-precision geodetic positioning that can be achieved in a short averaging time compared to satellite positioning, which achieves 1 cm accuracy in a 24-hour integration (Fig. 2). To further improve transportability, a next-generation compact clock with a volume of 250 L (one-seventh of an existing setup) has been developed. Such a transportable clock would allow field measurement of gravitational potential and cm-accurate elevation mapping.

In the future, the on-vehicle clock will be transported to remote locations and connected to an optical fiber network for clock comparisons over a long baseline, with applications in geophysics, such as monitoring of crustal deformation caused by plate movement and volcanic activity. Further downsizing and networking of the clocks will also enable the establishment of an optical lattice clock network that can be used complementary to the Global Navigation Satellite System (GNSS) and high-sensitivity gravimeters.

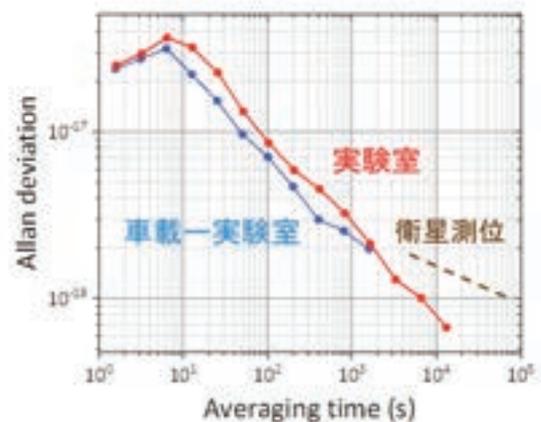
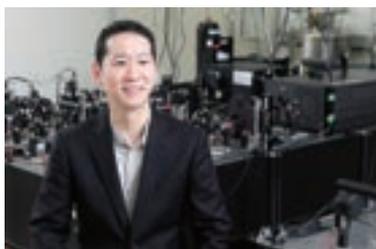


図2 車載型光格子時計と実験室の時計の周波数比較の結果。約1時間の積算時間でcm台の精度の標高差が計測された。

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.

# 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.



## FY2021 Core Members

(基礎科学特別研究員)

小澤 大知、藤井 瞬、李 臻

(訪問研究員)

山下 大喜

(アシスタント)

新坂 頼子 (兼務)

(Special Postdoctoral Researcher)

Daichi Kozawa, Shun Fujii, Zhen Li

(Visiting Researcher)

Daiki Yamashita

(Assistant)

Yoriko Nissaka (c)

## 研究テーマ

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

## Research Subjects

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

## 研究成果 / Research Output



### ペンタセン装飾カーボンナノチューブによる量子発光

- カーボンナノチューブをペンタセンのナノ粒子で非共有結合的に装飾
- 装飾された部位の励起子のエネルギーが誘電遮蔽効果により低下
- 光子相関測定により室温単一光子発生を実証

### Quantum emission assisted by energy landscape modification in pentacene-decorated carbon nanotubes

- Carbon nanotubes are noncovalently decorated with nanoscale pentacene particles
- The exciton energies at the decorated site is lowered/extracted from the waveguide facet
- Room-temperature single-photon emission is demonstrated

Reference: Z. Li, K. Otsuka, D. Yamashita, D. Kozawa, Y. K. Kato, "Quantum emission assisted by energy landscape modification in pentacene-decorated carbon nanotubes," ACS Photonics **8**, 2367 (2021).

# Quantum Optoelectronics Research Team

単一光子源は量子情報処理技術において極めて重要な要素で、その有力な候補の一つとしてカーボンナノチューブが挙げられています。カーボンナノチューブの発光は、電子と正孔が強く束縛された励起子の挙動に左右されますが、原子1層からなる構造をしているため、励起子のエネルギーは誘電環境に非常に敏感です。本研究では、架橋カーボンナノチューブをペンタセンのナノ粒子で装飾することで、励起子のエネルギー環境を局所的に変化させ、室温での単一光子発生を誘発する新しい手法を確立しました。

まず、真空蒸着法によってカーボンナノチューブをペンタセンナノ粒子で装飾しました。次に、フォトルミネッセンス励起分光測定により調査したところ、装飾された部位の励起子のエネルギーが誘電遮蔽効果により低下し、赤方偏移したピークが新たに検出されることが分かりました。二つの異なる発光ピークに対応するフォトルミネッセンス強度の励起パワー依存性の測定からは、ペンタセン装飾部位への励起子移動により励起子対消滅が増強されていることが分かりました。さらに、光子相関測定により室温単一光子発生を実証し、光アンチバンチングを強めるためにペンタセンによる装飾が有効であることが示唆されました。

Single-photon sources are a crucial component for quantum information processing, and carbon nanotubes (CNTs) have emerged as a promising candidate. Because of the atomically thin nature, excitons in CNTs are highly sensitive to the dielectric environment. Here, by noncovalently decorating air-suspended CNTs with nanoscale pentacene particles, we demonstrate a novel approach to modify the exciton energy landscape and induce single-photon emission at room temperature.

Pentacene particles are decorated on individual CNTs by thermal evaporation, and photoluminescence excitation (PLE) spectroscopy is performed. Due to the dielectric screening effect introduced by the decorated pentacene particle, the exciton energy at the decorated site is lowered, which gives rise to redshifted resonance energies. Excitation power dependence indicates that enhanced exciton-exciton annihilation is achieved at the decorated site. Room-temperature single-photon emission is demonstrated, suggesting that pentacene particles are beneficial for stronger photon antibunching.

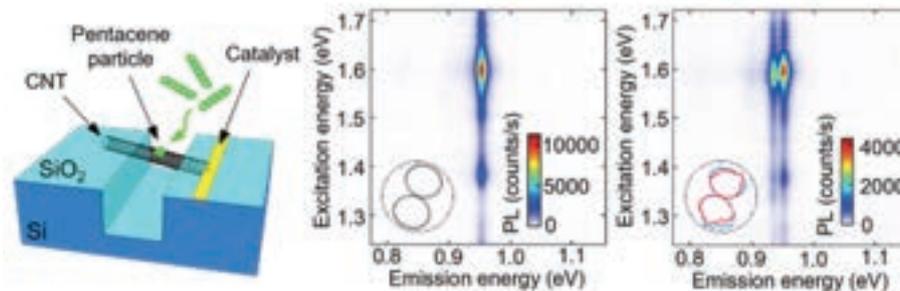


図1 (左) 架橋カーボンナノチューブへのペンタセンの修飾。ペンタセン修飾前 (中) と後 (右) のフォトルミネッセンス励起スペクトルマップ

Fig.1 (left) Schematic of pentacene decoration onto an air-suspended CNT. PLE maps of an individual CNT before (middle) and after (right) pentacene decoration, respectively

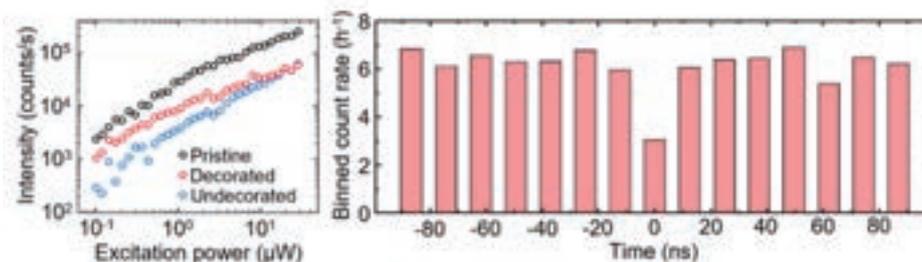


図2 (左) フォトルミネッセンス強度の励起パワー依存性 (右) 室温での単一光子発光  
Fig.2 (left) Excitation power dependence of PL intensities (right) Binned count-rate histogram showing single-photon emission at room temperature

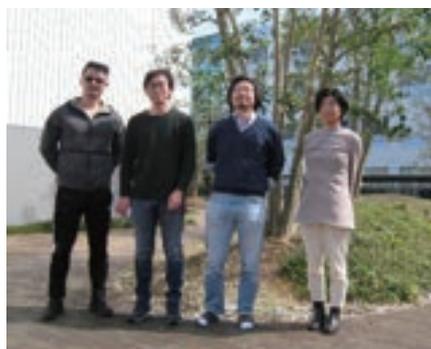
## 超高速コヒーレント軟X線光学研究チーム



チームリーダー / Team Leader

高橋 栄治 博士 (工学)

Eiji J. Takahashi, D. Eng.



### FY2021 Core Members

(専任研究員)

鍋川 康夫 (兼務)

(特別研究員)

Lu Xu (兼務)

(アシスタント)

松下 美由紀 (兼務)

(Senior Research Scientist)

Yasuo Nabekawa (c)

(Postdoctoral Researcher)

Lu Xu (c)

(Assistant)

Miyuki Matsushita (c)

### 研究テーマ

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

### Research Subjects

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

### 研究成果 / Research Output

#### 世界最高出力のアト秒レーザーを実現

- 光シンセサイザーによりギガワットのピーク出力をもつアト秒パルス発生を実現
- 光シンセサイザーの電場制御を利用してアト秒パルスの時間幅を可変化
- アト秒パルスによる微細イメージングやナノ加工へ道筋

#### Realization of the world's most intense attosecond laser

- Generation of GW-scale attosecond pulse using a fully stabilized three-channel optical waveform synthesizer
- Controlling the attosecond pulses duration via electric field synthesis of the optical waveform has been demonstrated
- Intense attosecond sources pave the way for the demonstration of novel applications such as optical imaging, nanofabrication, and nonlinear optics

Bing Xue, Katsumi Midorikawa, and Eiji J. Takahashi, "Gigawatt-class, tabletop, isolated-attosecond-pulse light source", *Optica* 9, 360 (2022).

# Ultrafast Coherent Soft X-ray Photonics Research Team

高次高調波発生はアト秒のパルス幅を持つ短パルス光を実現できる光技術として注目を集めてきました。しかしながら、高調波発生で得られるアト秒パルスの出力エネルギーが非常に低いことが光源利用において大きな問題となっていました。超高速コヒーレント軟X線光学研究チームではアト秒パルス光源の高出力化及び、パルス幅の可変技術の開発に取り組みました。

アト秒パルスの高出力化の為、波長の異なるフェムト秒レーザーパルスを時空間で精密に合成して発生した光シンセサイザーと、チーム独自の高次高調波エネルギースケリング法を組み合わせた発生系を構築しました。結果、パルス幅226アト秒、パルスエネルギー0.24マイクロジュール、ピーク出力1.1ギガワットのアト秒パルス光源の開発に成功しました(図1、2)。同時に、シンセサイザーの電場を制御することで、アト秒レーザーのパルス波形をコントロールすることにも成功しました。

本成果により、基礎科学分野に利用が制限されてきたアト秒レーザーを、微細加工やイメージングなどの光学分野においても利用することが可能になると期待できます。また、励起レーザーの電場制御を用いたアト秒波形の可変は、利用対象に応じて最適化されたアト秒レーザー波形を供給する手法として重要な役割を果たすと期待できます。

High-order harmonic generation can create short-pulse light with the attosecond pulse duration. However, its output energy based on high-order harmonic generation is very poor, which has been a major problem to use for real applications. Ultrafast coherent soft x-ray photonics research team has demonstrated dramatically improve the output energy of attosecond pulses using the optical waveform synthesizer.

To increase the output energy of attosecond pulses, we constructed a harmonic generation apparatus that combines an "optical waveform synthesizer", which is created by precisely synthesizing femtosecond laser pulses with three different wavelengths, and a "loose focus method for scaling up the harmonic energy".

As a result, we succeeded in developing an intense attosecond pulse light source with a pulse duration of 226 as, pulse energy of 0.24 uJ, and peak power of 1.1 GW (Figs 1 and 2). At the same time, we also demonstrated controlling the pulse duration of the attosecond pulse by precisely controlling the electric field of the optical waveform synthesizer.

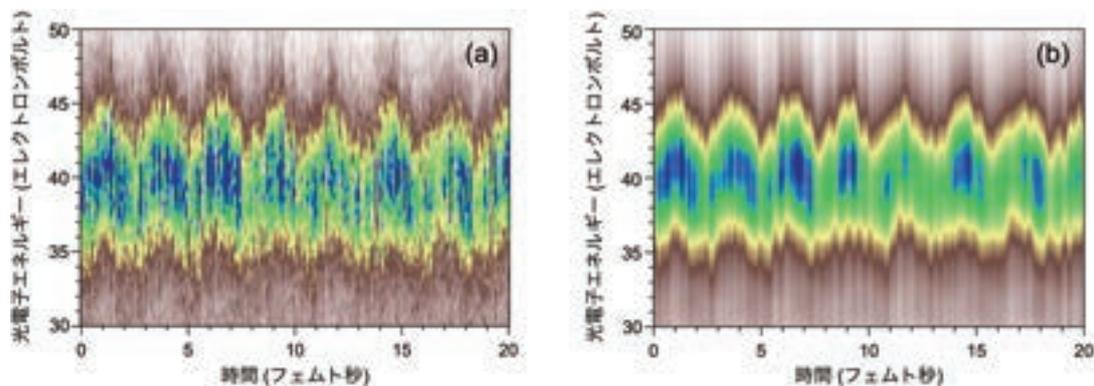


図1 (a) アト秒ストリーク法により得られた光電子スペクトログラム (b) 再構築した光電子スペクトログラム  
Fig.1 (a) Experimental obtained streaking trace and (b) trace retrieved using FROG-CRAB with the PCGP algorithm

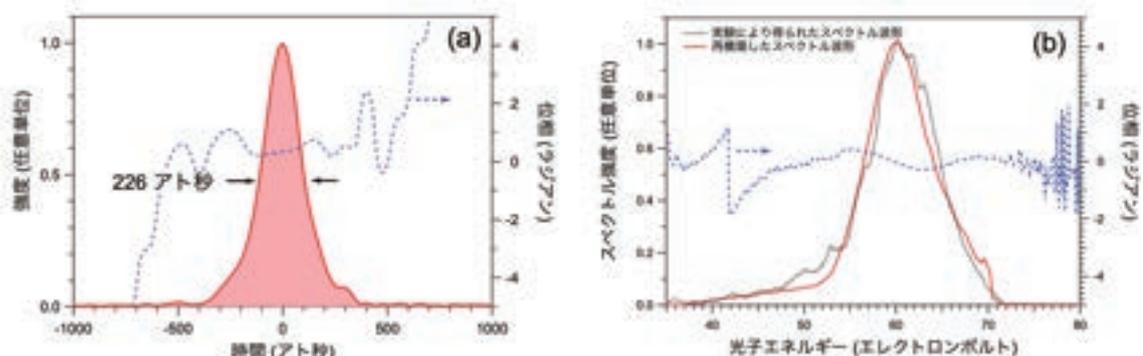


図2 (a) アト秒パルスのパルス波形 (赤線) と時間位相 (青点線) (b) スペクトル波形 (赤実線) とスペクトル位相 (青点線)  
Fig.2 (a) Retrieved results for the pulse duration and phase of the isolated attosecond pulse and (b) the experimentally measured photoelectron spectrum and the retrieved spectrum

## 超短パルス電子線科学理研白眉研究チーム



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

**森本 裕也** Ph.D.  
Yuya Morimoto, Ph.D.



### FY2021 Core Members

(アシスタント)  
松下 美由紀(兼務)

(Assistant)  
Miyuki Matsushita (c)

### 研究テーマ

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

### Research Subjects

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

### 研究成果／Research Output

#### グラフェン内部の超高速電子ダイナミクス



- 高強度数サイクルレーザーパルスで励起されたグラフェン内部の超高速電子ダイナミクスについての理論研究
- 光誘起電流と電荷密度分布を原子レベルで明らかに
- パルス電子線による原子レベル超高速イメージングの重要性を実証

#### Ultrafast electronic dynamics in graphene

- Theoretical investigation of ultrafast electron dynamics in graphene excited by a strong few-cycle laser pulse
- Atomic-scale images of light-driven residual current and charge density
- Demonstration of the importance of atomic-level imaging with ultrashort electron pulses

Yuya Morimoto, Yasushi Shinohara, Kenichi L. Ishikawa, and Peter Hommelhoff, "Atomic real-space perspective of light-field-driven currents in graphene," *New Journal of Physics* 24, 033051 (2022).

Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team

計算機の性能を比較的に向上させる次世代技術の1つとして、ペタヘルツ・エレクトロニクスが注目を集めています。この研究分野では、物質の性質（例えば、電気伝導率や磁性）を光電磁場によって超高速で制御することで、光周波数（ペタヘルツ）での演算を可能とすることを目的としています。ペタヘルツ・エレクトロニクスのより一層の発展には、その基礎物理、つまり、光と物質の超高速の相互作用を原子レベルで理解する必要があります。我々は、東京大学、エアランゲン・ニュルンベルグ大学と共同で、ペタヘルツ・エレクトロニクスにおいて代表的な物質であるグラフェン内の電子が、高強度数サイクルレーザーパルスに応答する様子を理論的に明らかにしました。

我々は、グラフェン内電子のダイナミクスを明らかにするために、強結合近似と半導体ブロッホ方程式を組み合わせた独自の理論モデルを使用しました。図1は、数サイクルパルスに誘起された残余電流の分布です。白丸がグラフェンを構成する炭素原子です。残余電流の存在は既に知られていましたが、本研究によって、グラフェン内のどの部分を流れているかが明らかになりました。光電場の振動方向（偏光方向）が横（左図）、縦（右図）、いずれの場合でも、電流は偏光方向と並行な結合上を主に流れることが分かりました。更に、数サイクルレーザーパルス照射によるグラフェン内の電子密度分布の変化を調べたところ（図2）、興味深いことに、原子間（図中B）の電子密度分布の量が、照射するレーザー強度に対して振動することが発見されました。我々は、観測された振動を、高強度レーザーに誘起されたラビ振動に由来すると結論付けました。本研究は、電子ダイナミクスを原子レベルで観測することで、光と物質の相互作用に関する多くの情報が得られ、そして、将来的なパルス電子線を用いた実験観測が重要であることを示しました。

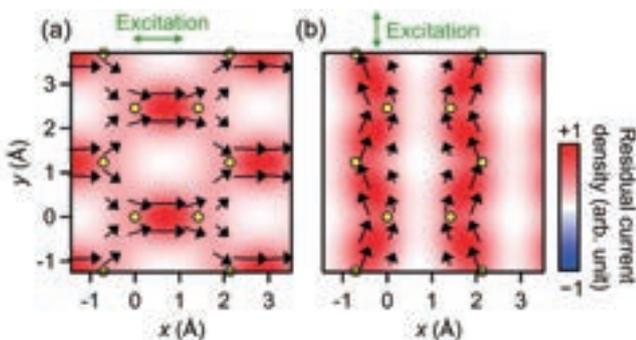


図1 光照射によってグラフェン中に誘起された残余電流 (a)x偏光 (b)y偏光  
Fig.1 Vectorial real-space images of the light-field-induced residual currents in graphene. (a)x-polarization. (b)y-polarization

Petahertz electronics is an emerging technology that can significantly improve the speed of computation. The goal of this research field is to control the properties of matter (e.g., electrical conductivity and magnetism) at optical frequencies. Further development of petahertz electronics requires an understanding of its fundamental physics, i.e., the ultrafast interaction of light and matter at atomic level. In collaboration with the University of Tokyo and the University of Erlangen-Nuremberg, we have theoretically investigated how electrons in graphene, a typical material in petahertz electronics, respond to intense few-cycle laser pulses.

We used a unique theoretical model based on the tight-binding approximation and the semiconductor Bloch equation. Figure 1 shows the microscopic maps of the residual currents induced by few-cycle pulses. Regardless of the laser polarization direction, e.g., horizontal (left panel) or vertical (right panel), the current flows mainly through the bonds parallel to the polarization direction. Furthermore, we found that the charge density between atoms (B in Fig. 2) after the excitation oscillates with the excitation laser field amplitude. The observed oscillation was attributed to the strong-field-driven Rabi oscillation. This theoretical study showed that electron dynamics occurring at the atomic level contains rich information about the light and matter interaction, which is the basis of petahertz electronics, and facilitates future experimental works using pulsed electron beams.

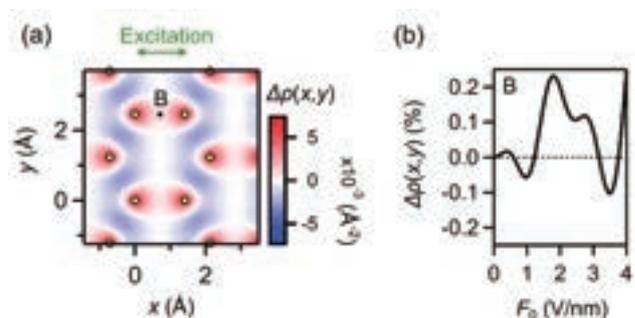
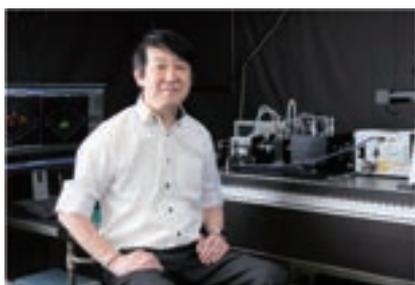


図2 数サイクルパルス照射による電子密度分布の変化 (a)2次元分布 (b) Bの位置における電子密度の変化  
Fig.2 Changes of the real-space charge densities after the few-cycle laser excitation (a) Two-dimensional image (b) Laser-induced change of charge density at B

## 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.



FY2021 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

(テクニカルスタッフ)

石井 久美子、和賀 美保、蛭川 英男

(研究パートタイマー)

カライ マディ ムニアンディ

(アシスタント) 戸谷 真樹子

(Senior Research Scientist)

Kazuo Kurokawa, Takuro Tojima

(Research Scientist)

Natsuko Jin

(Postdoctoral Researcher)

Wataru Yamamoto

(Special Postdoctoral Researcher)

Daisuke Miyashiro

(Technical Staff)

Kumiko Ishii, Miho Waga,

Hideo Hirukawa

(Research Part-time Worker)

Kalai Madhi Muniandy

(Assistant)

Makiko Toya

### 研究テーマ

- ✓ 超解像ライブイメージング顕微鏡技術の開発
- ✓ 細胞内膜交通の分子機構

### Research Subjects

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

### 研究成果 / Research Output

#### トランスゴルジ網における積荷選別 ゾーンの可視化

- トランスゴルジ網 (TGN) における積荷タンパク質の選別を世界で初めて可視化
- 細胞膜への輸送と液胞への輸送の選別が、単一のTGN上の異なるゾーンで起こっていることを証明



#### Visualization of cargo sorting zones in *trans*-Golgi network

- Sorting of cargo proteins in *trans*-Golgi network (TGN) has been visualized for the first time
- Presence of distinct sorting zones in a single TGN for transport to the plasma membrane and vacuole has been demonstrated

Reference: Shimizu, Y., Takagi, J., Ito, E., Ito, Y., Ebine, K., Komatsu, Y., Goto, Y., Sato, M., Toyooka, K., Ueda, T., Kurokawa, K., Uemura, T., and Nakano, A.: "Cargo sorting zones in the *trans*-Golgi network visualized by super-resolution confocal live imaging microscopy in plants", Nat. Commun. 12, 1901 (2021).

## Live Cell Super-Resolution Imaging Research Team

小胞体で新しく合成された「積荷タンパク質」は、ゴルジ体に運ばれて修飾を受けた後、トランスゴルジ網 (TGN) へと受け渡されます。TGNはさまざまな積荷タンパク質を仕分けて、それぞれが働くべき細胞膜/細胞外や液胞などの目的地へ送り出すこと (選別) で、細胞内タンパク質輸送経路の"ハブ"として重要な役割を担っています。しかし、TGNがどのようにして異なる目的地へ輸送される積荷タンパク質を同時に選別しているかは分かっていませんでした。

今回、清水優太郎 (大学院生リサーチアソシエイト) らは、研究室が独自に開発した「高感度共焦点顕微鏡システムSCLIMを用いて、植物細胞のTGNに存在する「細胞膜あるいは液胞膜に輸送される積荷タンパク質」と「積荷の選別を担う被覆タンパク質」の詳細な局在と動態を観察しました。その結果、細胞膜あるいは液胞膜へ輸送される積荷タンパク質の選別に特化したゾーンが単一のTGN上に分離して存在することを証明しました。

"Cargo proteins" newly synthesized in the endoplasmic reticulum are transported to the Golgi apparatus for modification, and then passed to the *trans*-Golgi network (TGN), which sorts the various cargo proteins and delivers them to their destinations, such as the plasma membrane/extracellular space or vacuole where they function. TGN plays an important role as the "hub" of intracellular protein traffic pathways. However, it was not known how TGN sorts cargo proteins for different destinations at the same time.

In this study, Yutaro Shimizu (Junior Research Associate) and his colleagues observed the detailed localization and dynamics of "cargo proteins to be transported to the plasma membrane or vacuole membrane" and "coat proteins responsible for cargo sorting" in the TGN of plant cells using SCLIM, the high-speed and super-resolution confocal microscopy system developed in the laboratory. The results demonstrate that there are separate zones on a single TGN that are dedicated to sorting cargo proteins to the plasma membrane or vacuole membrane.

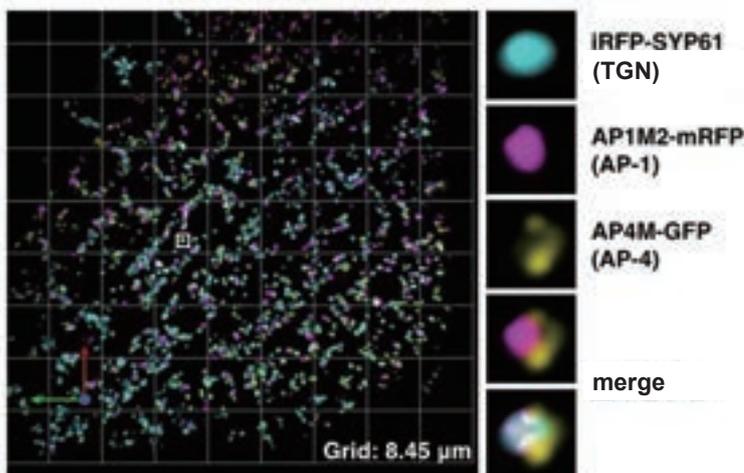


図1 細胞膜への輸送を担うゾーン (AP-1で可視化、マゼンタ) と液胞への輸送を担うゾーン (AP-4で可視化、黄色) が、単一TGN上 (水色) に独立して存在する

Fig.1 Zones responsible for transport to the plasma membrane (visualized by AP-1, magenta) and to the vacuole (visualized by AP-4, yellow) exist independently on a single TGN (light blue)

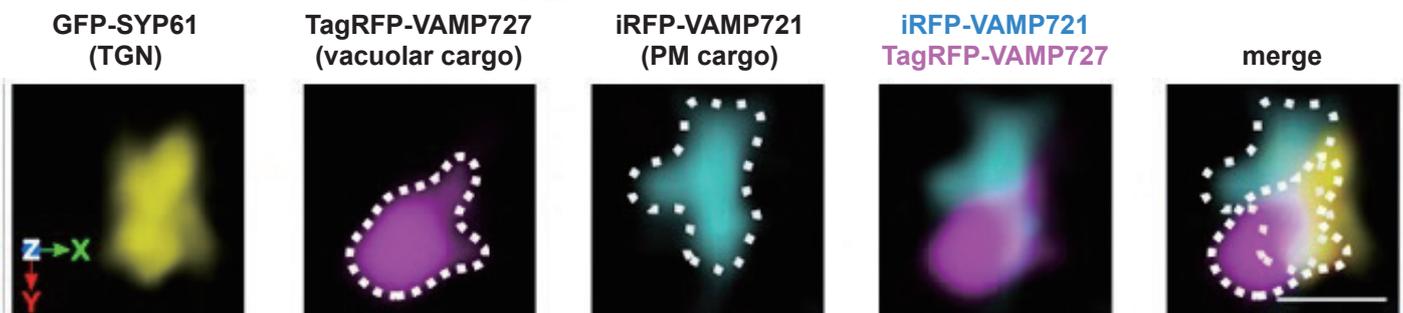


図2 異なる目的地へ輸送される積荷タンパク質のTGN上での局在。TGNを示すSYP61、液胞膜へ輸送される積荷VAMP727、細胞膜へ輸送される積荷VAMP721を、それぞれ異なる蛍光タンパク質 (GFP、TagRFP、iRFP) を用いて可視化した。液胞膜へ輸送される積荷VAMP727 (マゼンタ) と細胞膜へ輸送される積荷VAMP721 (水色) は、単一のTGN (黄色) 上で分離して局在した。スケールバーは 1 μm。

Fig.2 Localization on the TGN of cargo proteins transported to different destinations. SYP61 (TGN marker), VAMP727 (cargo transported to the vacuolar membrane), and VAMP721 (cargo transported to the plasma membrane PM) were visualized using different fluorescent proteins (GFP, TagRFP, and iRFP). Vacuolar cargo VAMP727 (magenta) and PM cargo VAMP721 (light blue) were localized separately on a single TGN (yellow). Scale bar, 1 μm



チームリーダー / Team Leader

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



### FY2021 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

#### 小脳の大規模可視化に成功

—マウス小脳における感覚情報表現の仕組みを解明—

- 蛍光カルシウムセンサーにより、生きたマウスの小脳の背側全域のニューロン活動を可視化
- 末梢刺激による小脳の応答を観察
- 小脳全体が集団としてリアルタイムに感覚情報を符号化していることを発見

#### Large-scale optical measurements of cerebellar neuronal activity

- Visualizing cerebellar Purkinje cell activity in the entire dorsal surface of mouse cerebellum using genetically encoded calcium sensor yellow cameleon 2.60
- Analyzing cerebellar responses upon electrical stimulation of limb muscles
- Discovering distributed population coding in the cerebellum

Michikawa, T., Yoshida, T., Kuroki, S., Ishikawa, T., Kakei, S., Kimizuka, R., Saito, A., Yokota, H., Shimizu, A., Itohara, S., and Miyawaki, A., "Distributed sensory coding by cerebellar complex spikes in units of cortical segments" Cell Rep 37, 109966 (2021)

脳には「ホムンクルス」と呼ばれるこびとがいるのを知っていますか？ 手や足の皮膚や筋肉を刺激すると、その信号は神経細胞のパルスとして脳に伝えられます。そのパルスが到達する部位を大脳皮質の上に描いてみると、脳にはあたかもこびとがいるような絵が出来上がります。身体からの感覚入力には運動制御に関係している小脳にも届きます。では小脳皮質にもホムンクルスはいるのでしょうか？

小脳に関しては、ホムンクルスが「いる」「いない」という二つの意見があります。どちらも細い電極を使って小脳の一部を調べた結果に基づいた仮説です。そこで、神経細胞の活動を光の反応で見ることができるyellow cameleon2.60

(YC2.60) 発現マウスを使い、小脳皮質を丸ごと観察しました。四肢の筋肉をそれぞれ刺激したところ、いずれの場合も小脳全体で反応していることがわかりました。マウスの小脳全体の反応をまとめてベイズ推定で確率的に検証したところ、どこの四肢が刺激されたかを識別できることがわかりました。以上の結果から、小脳の活動は全体で感覚入力を表していることが明らかとなりました。

Have you ever heard of the homunculus—a small human being—in your brain? When you stimulate your skin, the incoming signals are transmitted to the brain as neuronal pulses. If you were to map out the pulses on the cerebral cortex, the same order as these parts are laid out in the body. That is, you get a map as if there is a small human in the brain. The sensory inputs also reach the cerebellum, which is involved in motor control. Do you think there is also a homunculus in the cerebellum?

To investigate how the cerebellum responds to sensory inputs, we used genetically engineered yellow cameleon2.60-expressing mice, whose neuronal activity can be monitored optically. This technique showed that the entire cerebellum responds to stimuli coming from all limbs. Using a statistical method called Bayesian inference, we dug deeper to see if it was possible to distinguish where the inputs came from by analyzing the entire activated cerebellum. We found that we can in fact tell exactly where each stimulus originated. We therefore concluded that the cerebellum's activity as a whole represents sensory input.

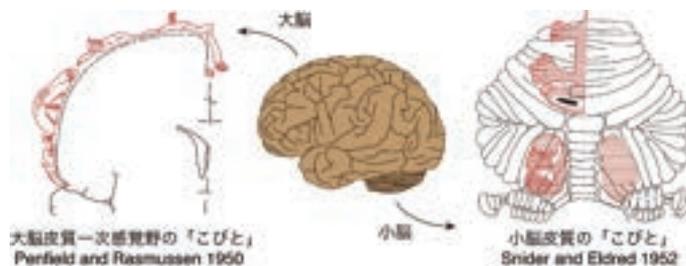


図1/ Fig.1 大脳および小脳の体部位再現地図仮説

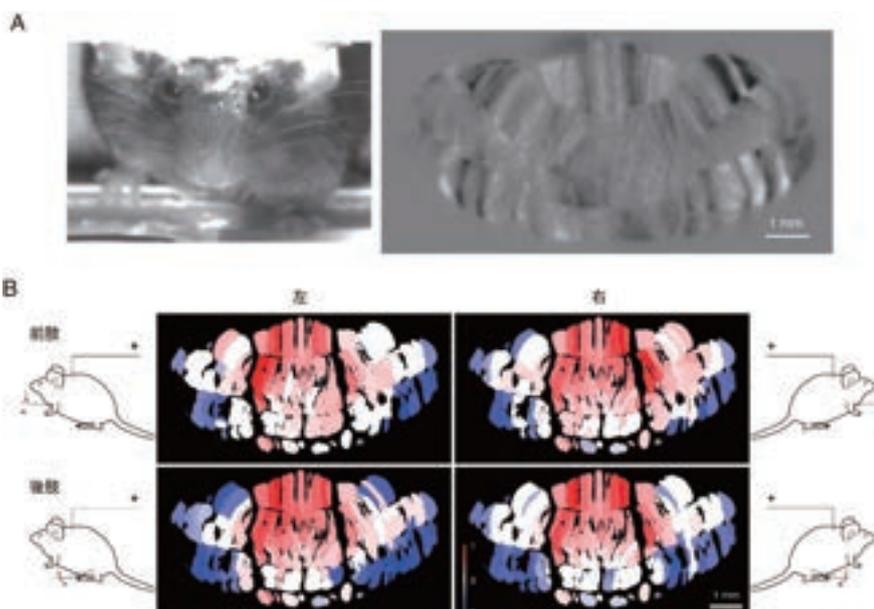


図2/ Fig.2 マウス小脳皮質の大規模イメージング

- A. YC2.60発現マウスの小脳皮質背側全域のイメージング
- B. 四肢の筋肉に個別に電気刺激を加えた時に生じた小脳皮質の応答

## 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.



### FY2021 Core Members

(上級研究員) 吉澤 信、道川 隆士、  
野田 茂穂

(特別嘱託研究員) 太田 聡史

(研究員) 竹本 智子、山下 典理男、  
森田 正彦、孫 哲

(テクニカルスタッフ)

辻村 有紀、中村 佐紀子、西村 将臣、  
蜷川 英夫

(アシスタント) 岩崎 久美、田中 晶予

(研究パートタイマー) 村上 幸己

(客員研究員) 大山 慎太郎、深作 和明、  
藤崎 和弘、古城 直道、宮川 雄

(Senior Research Scientist)

Shin Yoshizawa, Takashi Michikawa,  
Shigeho Noda

(Special Temporary Research Scientist)

Satoshi Oota

(Research Scientist)

Satoko Takemoto, Norio Yamashita,  
Masahiko Morita, Zhe Sun

(Technical Staff)

Yuki Tsujimura, Sakiko Nakamura,  
Masaomi Nishimura, Hideo Hirukawa  
(Assistant) Akiyo Takana, Kumi Iwasaki  
(Research Part-timer)

Yukimi Murakami

(Visiting Scientist)

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

### 研究テーマ

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

### Research Subjects

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

### 研究成果 / Research Output

#### 画像処理技術による鉄鋼材料の3次元微細組織抽出 および解析

- 鉄鋼材料の微細組織の抽出・解析技術の開発
- 様相の異なる光顕・SEM画像の位置合わせによる、微細構造の同一平面・他原理観察の実現

#### Extraction and analysis of 3D microstructure of steel using image processing technology

- Development of extraction and analysis methods of the microstructure of the steel.
- Microstructure observation by optical microscope images and SEM images using image registration.

#### Reference:

1. R. Suzumura, N. Yamashita, T. Michikawa, S. Morita, M. Inomoto, Y. Okazaki, and H. Yokota, "3D Shape Evaluation of Martensite-Austenite Constituents in High Tensile Steel using a 3D Internal Structure Microscope", Material Research Meeting 2021.
- 2, T. Michikawa, S. Yoshizawa, N. Yamashita, T. Hara, M. Inomoto, Y. Okazaki, and H. Yokota, "Image registration of steel images acquired by optical microscope and SEM using phase-only correlation", Material Research Meeting 2021

当チームでは、鉄鋼材料を精密切削し、その断面画像を光学顕微鏡で撮影することを繰り返すことにより、材料内部の3次元構造を観察するシステム(Fig. 1)を開発しています。観察した鉄鋼材料の観察画像から、微細構造を解析するための画像処理技術を開発しました。

#### (1) 島状マルテンサイトの抽出

島状マルテンサイト(Martensite-Austenite(M-A constituent))とは、鉄鋼材料の熱影響部に現れる微細組織であり、靱性低下の要因であることが知られています。当チームでは、機械学習を用いた代表的な領域分け手法であるU-Netを用いたM-A抽出手法を開発しました(Fig. 2)。ユーザが観察画像から作成した少数の領域分け画像から、分類器を構築して領域分けを実施します。抽出結果を積層することでM-Aの3D形状を抽出でき、アスペクト比や配向の分布などといった特徴量を抽出できるようになりました(Fig. 3)。アスペクト比は、特性シミュレーションにおける重要なパラメータであり、高精度化に貢献します(Ref. 1)。

#### (2) 光学顕微鏡画像とSEM画像の位置合わせ技術

理研で開発した光学顕微鏡とSEMで同一平面を観察した画像を共通の座標系に変換する手法(Ref. 2)を開発しました。これらの観察機器は撮影原理が異なるため、観察画像の見目が大きく変わり、位置合わせが困難です。提案手法は、位置合わせ手法の一つである位相限定法をベースに、結果の投票によって安定的に位置合わせを計算できます(Fig. 4)。同一箇所を異なる原理で観察した情報を得ることができるため、より多角的な材料解析への利用が期待できます。

謝辞：本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」(管理人：JST) によって実施されました。

Our team developed a serial sectioning system for steel by repetitive precision cutting and optical imaging (Fig. 1). We also developed image processing techniques for extracting and analyzing the microstructure of the steel from the acquired images.

#### (1) Extraction of martensite-austenite(M-A) constituent

M-A is a microstructure that appears in the heat-affected zone of the steel, and it is known that it causes low toughness. We developed an M-A extraction system using U-Net, a popular ML-based segmentation method(Fig. 2). Our system extracts M-As from a few training images created by the users. 3D M-As can be obtained by stacking 2D results and we can compute descriptors of the M-As such as distribution of aspect ratio and directions (Fig. 3). The aspect ratios are important parameters of manufacturing simulation, and the results will contribute to the improvement of the characteristics simulation (Ref. 1).

#### (2) Image registration of microscope and SEM images

We developed a method for converting an optical microscope image and an SEM image into a common coordinate system (Ref. 2). Since each image is acquired by a different principle, their appearances are different and difficult to align. We combined a voting strategy with an image registration by phase-only correlation for stable alignment (Fig. 4). The results integrate material information acquired by different principles and will contribute to advanced materials analysis.

This work was supported by Council for Science, Technology and Innovation(CSTI), Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), "Materials Integration for revolutionary design system of structural materials"(Funding agency:JST).

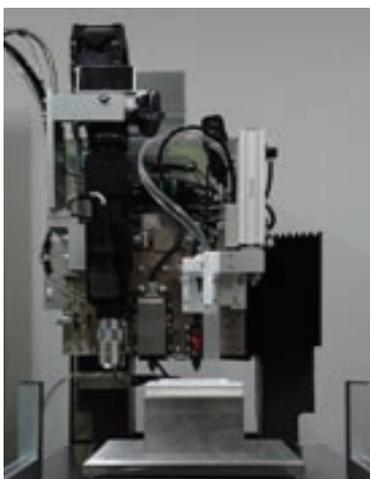


Fig.1 3D internal structure microscope (3D-ISM).

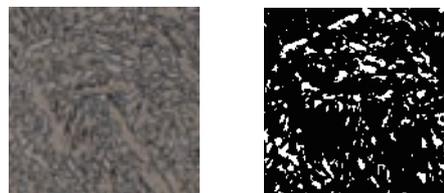


Fig.2 M-A extraction from microscope images.

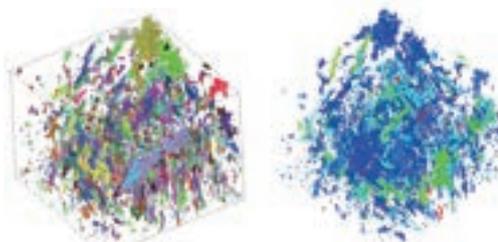


Fig.3 3D analysis of M-As colored by connected components(left) and aspect ratio(right).

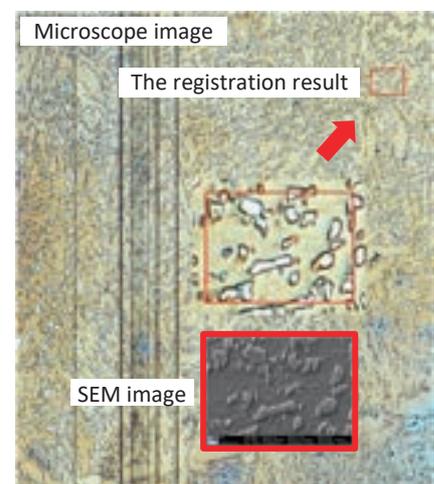


Fig.4 Image registration of SEM and microscope images.



チームリーダー / Team Leader

田中 拓男 博士(工学)

Takuo Tanaka, D. Eng.



### FY2021 Core Members

(専任研究員)

早澤 紀彦 (兼務)

(特別研究員)

Maria Vanessa Balois Oguchi,

Bikas Ranjan、

橋谷田 俊、

Cheng-Hung Chu

Maria Herminia Marallag Balgos

(テクニカルスタッフ)

山口 剛史

(アシスタント)

梁 怡蓉

(Senior Research Scientist)

Norihiko Hayazawa (c)

(Postdoctoral Researcher)

Maria Vanessa Balois Oguchi,

Bikas Ranjan,

Shun Hashiyada,

Cheng-Hung Chu,

Maria Herminia Marallag Balgos

(Technical Staff)

Takeshi Yamaguchi

(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



#### 高感度ガスセンサーのための高アスペクト比プラズモニックメタマテリアル

- ナノメートルギャップを有する高アスペクト比垂直配向金属-誘電体-金属プラズモニックメタマテリアル構造の加工技術の開発
- 背景信号の影響を低減するガスセルの提案
- 高アスペクト比垂直配向プラズモニック構造と気体分子の相互作用によるファノ共鳴信号の取得

#### High aspect ratio plasmonic metamaterial for gas sensor

- Developed a fabrication process for vertically oriented metal-insulator-metal (MIM) plasmonic metamaterial structure with a tens of nanometer gap and a high aspect ratio
- Proposed a prototype of sealed gas cell which can reduce the background influence from analyte gas
- Obtained the Fano resonance signal produced by the mutual coupling of the plasmonic resonance in the high aspect ratio metamaterial and the butane molecular vibration mode

## Innovative Photon Manipulation Research Team

基板表面に垂直方向に配向させた金属-誘電体-金属メタマテリアル構造は、誘電体層内部に強い局在場（ホットスポット）を生成でき、光波と分子の相互結合を最大化できます。このような高いアスペクト比を持つ垂直配向MIMメタマテリアル構造を加工する新しい手法を電子ビームリソグラフィ法と斜め真空蒸着法ならびにイオンエッチング法などを活用して開発しました（図1(a)）。図1(b-e)は、各プロセス過程におけるナノ構造の電子顕微鏡像です。Si基板の表面に形成したストライプ構造の側面にMIM構造が形成されています。このMIM構造の高さは、Siストライプの高さと金属蒸着時の角度によって制御できます。そして、2つの金ナノフィン間のギャップ幅は犠牲層とするSiO<sub>2</sub>の膜厚によってnm精度で制御できます。

実験ではガス試料としてブタンガスを用いて、ブタンガス分子とMIMメタマテリアルとの相互作用をフーリエ変換型分光器で測定しました。その結果が図2です。この実験では、背景光の影響を抑制するように設計したガスセル内で行いました。そしてブタンガス分子とMIM構造に励起された表面プラズモンとの共鳴相互作用によるファノ共鳴スペクトルを検出することに成功しました。

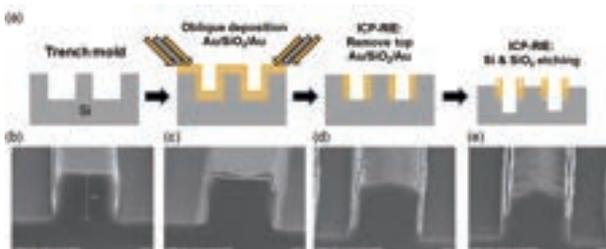


図1 (a) 垂直配向MIMメタマテリアルの加工プロセス (b)-(e) 各加工プロセスにおける試料の電子顕微鏡像 (b) Si基板表面に形成したストライプ構造 (c) 金/SiO<sub>2</sub>/金の多層薄膜形成後 (d) 上部の金薄膜エッチング後の構造 (e) 試作した高アスペクト比垂直配向MIMメタマテリアル構造

Fig.1 (a) Schematic diagram of the fabrication procedure for vertical oriented MIM metamaterials structure. The fabrication procedure is carried out by using EB lithography, EB oblique deposition system, and ICP-RIE. (b)-(c) SEM images the structure at each step (b) Si stripes template (c) the structure obtained after Au/SiO<sub>2</sub>/Au multi-layers deposition (d) the structure obtained after removing top layers (e) high-aspect ratio MIM metamaterial nanostructures

The vertically oriented metal-insulator-metal (MIM) metamaterial could offer large trenchlike hot spot region to maximize plasmonic-molecular coupling. We developed a new fabrication procedure for high aspect ratio MIM metamaterial structures consisting of e-beam lithography, oblique angle deposition, and reactive ion etching (RIE), shown in Fig. 1(a). Figs. 1(b-e) show the SEM images of corresponding structures at different steps. The MIM nanostructures attached on the sidewall of the Si stripes are obtained. The height of MIM nanostructure is determined by the trench depth and deposition angle. The gap between two vertical Au nano-walls is controlled by the deposition parameters with nm accuracy.

The optical response of butane with MIM nanostructures is measured by Fourier-transform infrared spectroscopy in transmission mode, shown in Fig. 2. The home-made gas cell is used to reduce the background influence. The coupling spectrum exhibits a typical Fano-like shape, originating from the interference between channel plasmon polaritons mode and butane molecular vibration mode.

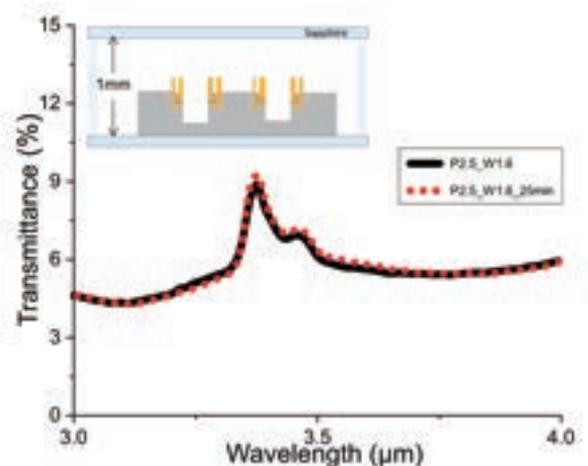
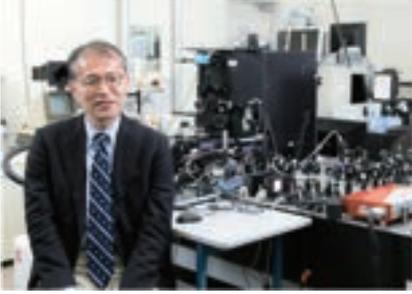


図2 垂直配向MIMメタマテリアル(周期2.5μm, Siストライプ幅1.6μm)構造を組み入れた背景光抑制ガスセルで測定したブタンガスの赤外スペクトルとそのデバイスの断面図。ガス導入後25分経過してもスペクトルには変化がなくガスセルの気密性

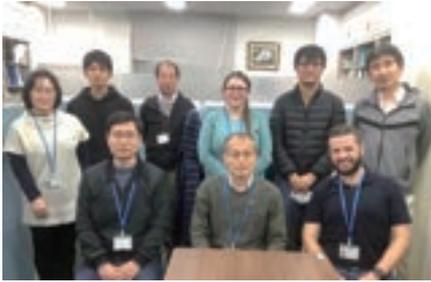
Fig.2 Transmittance spectra of MIM (period: 2.5 μm, linewidth: 1.6 μm) in a low concentration butane environment under a x-polarized mode excitation. The inset shows the optical length in home-made gas cell. The transmittance spectra after 25 minutes is also shown and it shows almost the same as the original.

## 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.



### FY2021 Core Members

- (研究員) 小幡 孝太郎  
(特別嘱託研究員) 尾笹 一成  
(基礎科学特別研究員) Shi Bai  
(特別研究員)  
Francesc Caballero Lucas、  
Jiawei Zhang  
(客員主管研究員) 青柳克信  
(客員研究員)  
Daniela Serien、Xinyuan Qi、  
Felix Sima、花田 修賢、  
中嶋 聖介、黒瀬 範子  
(研修生) 川端祥太  
(特別嘱託職員) 若林 多起子
- (Research Scientist) Kotaro Obata  
(Special Temporary Research Scientist)  
Kazunari Ozasa  
(Special Postdoctoral Researcher)  
Shi Bai  
(Postdoctoral Researcher)  
Francesc Caballero Lucas  
Jiawei Zhang  
(Senior Visiting Scientist)  
Yoshinobu Aoyagi  
(Visiting Scientist)  
Daniela Serien, Xinyuan Qi,  
Felix Sima, Yasutaka Hanada,  
Seisuke Nakashima, Noriko Kurose  
(Student trainee) Shota Kawabata  
(Special Temporary Employee)  
Takiko Wakabayashi

### 研究テーマ

- ✓ 3次元マイクロ・ナノレーザー加工技術の開発とマイクロ・ナノデバイス作製への応用
- ✓ ビーム整形による高品質・高効率・高解像度加工技術の開発
- ✓ 超短パルスレーザーによるナノ材料創成および表面ナノ構造化
- ✓ レーザー光と物質との相互作用の解明に関する研究

### Research Subjects

- ✓ Development of laser-based 3D micro and nanoprocessing and application for fabrication of micro and nanodevices
- ✓ Development of high quality, high efficiency, high resolution processing based on beam shaping techniques
- ✓ Nanomaterials synthesis and surface nanostructuring by ultrafast lasers
- ✓ Elucidation of laser and matter interactions

### 研究成果 / Research Output



#### BiBurstモードフェムト秒レーザー加工によるシリコンの高品質・高効率加工

- 超高速繰り返し (GHz) のフェムト秒レーザーパルス列を高繰り返し (MHz) で複数回照射することによりアブレーションを行う、BiBurstモードフェムト秒レーザー加工法を開発
- BiBurstモード照射により、高強度超短パルスレーザーが誘起する空気のイオン化を抑制したシリコンの高品質加工を実現。
- BiBurstモード照射により、シリコンのアブレーション加工において、約23倍の高速加工を達成

#### High-quality and high-efficiency laser ablation of silicon using BiBurst mode femtosecond laser pulses

- BiBurst mode femtosecond laser ablation process using multiple bursts at a high repetition rate (MHz), each containing multiple intra-pulses at an ultrafast repetition rate (GHz), was developed
- BiBurst mode demonstrated high-quality ablation of silicon due to suppression of air ionization induced by intense ultrashort laser pulses
- BiBurst mode achieved 23 times larger ablation speed in volume compared with conventional single mode ablation

## Advanced Laser Processing Research Team

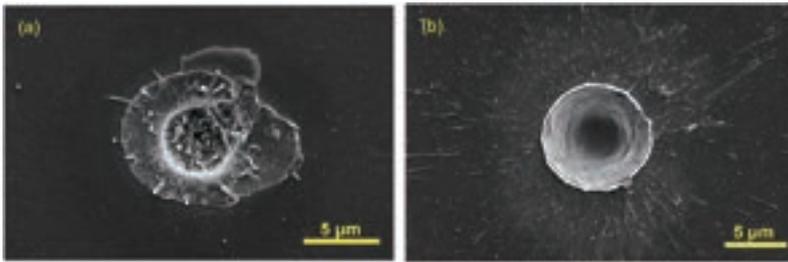


図1 アブレーション加工領域のSEM観察像（単結晶シリコン基板）(a) 従来加工(シングルモード)、(b) BiBurstモード加工

Figure 1 SEM images of ablated spots on silicon surfaces with different configurations: (a) Conventional scheme (single-mode) and (b) BiBurst mode

GHzの超高繰り返しフェムト秒パルス列（イントラパルス）からなるGHzバーストモードフェムト秒レーザー加工は、従来のフェムト秒レーザー加工ではなしえなかった高品質、高効率加工を実現することが期待されています。

本研究では、複数のGHzバーストパルスをMHzの高繰り返しで照射するBiBurstモードを用いることにより、単結晶シリコン基板の高品質・高効率アブレーション加工を実現しました。BiBurstモードでは、1つのパルスを複数のイントラパルスに分割して超高繰り返し照射することで、シリコンへのエネルギー付与が制御できます。その結果、従来のフェムト秒レーザー加工（シングルモード）と比較して、はるかに優れた加工品質が得られ（図1）、アブレーション効率が劇的に向上することが明らかになりました（図2）。特にBiBurstモードアブレーションでは、1つのパルス（イントラパルス）のエネルギーを小さくすることができるため、パルスエネルギーが臨界値を超えた際に発生する、シリコン表面近傍での空気のイオン化を抑制できました。その結果、より多くのレーザーパワーを投入することが可能となり、従来のシングルモードと比較して、約23倍のアブレーション速度が得られ、加工の高速化を達成しました。このように、BiBurstモードアブレーションは、高品質加工を維持したまま、高い加工スループットを提供できる新しいレーザー加工法として期待されます。

Ablation using burst-mode femtosecond laser which is composed of femtosecond laser pulse trains (intra-pulses) at ultra-high repetition rates in the range of GHz is expected to realize high quality, high efficiency processing that cannot be achieved by conventional femtosecond laser ablation.

In this study, we have demonstrated high-quality, high-efficiency ablation of single-crystalline silicon using a BiBurst mode, which consists of multiple bursts at a repetition rate in MHz, each containing multiple intra-pulses at an ultrafast repetition rate in GHz. In the BiBurst mode, a single femtosecond laser pulse is divided into multiple intra-pulses in the burst, which are irradiated at an ultra-high repetition rate to precisely control energy deposition on silicon. As a result, not only ablation quality can be significantly improved (Fig. 1), but also ablation efficiency can be drastically increased (Fig. 2) as compared with a conventional femtosecond laser irradiation scheme (single mode). In particular, significantly smaller intra-pulse energy in the Burst can eliminate air ionization induced when the pulse energy exceeds a critical value. Consequently, the BiBurst mode enables us to input larger total pulse energy to the silicon, resulting in achievement of approximately 23 times higher ablation speed than the conventional single-mode. Thus, BiBurst mode ablation is expected to be a novel laser processing method that can provide high throughput while maintaining high-quality processing.

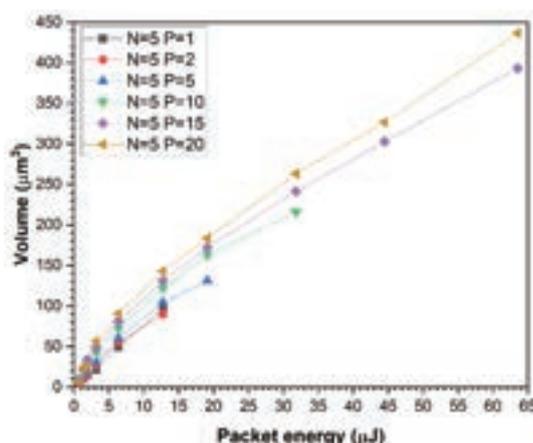
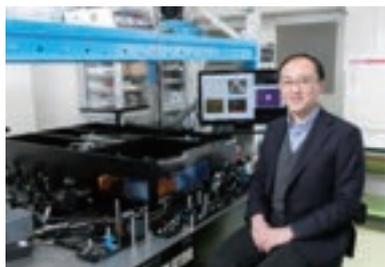


図2 アブレーションによる除去体積の照射パケットエネルギー（全投入エネルギー）依存性。BiBurstモードの構成：MHzバーストパルス数：5、GHzバーストモードのイントラパルス数：1（シングルモード）、2、5、10、15、20

Figure 2 Dependence of ablated volume on the packet energy (total pulse energy) for different BiBurst mode configurations. (Number of MHz burst pulses = 5, Number of Intra-pulses in GHz burst = 1 (single-mode), 2, 5, 10, 15, and 20)

## 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.



### FY2021 Core Members

(研究員) 野竹 孝志、縄田 耕二、  
瀧田 佑馬

(パートタイマー)

齋藤 美紀子、八重柏 典子、  
山下 美保子、福田 航一

(アシスタント)

佐々木 玲子

(客員主管研究員) 伊藤 弘昌

(客員研究員) 大野 誠吾、森口 祥聖

(Research Scientist)

Takashi Notake, Kouji Nawata,  
Yuma Takida

(Part-time Worker)

Mikiko Saito, Noriko Yaekashiwa,  
Mihoko Yamashita,  
Koichi Fukuda

(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

#### アップコンバージョン相互相関による サブナノ秒テラヘルツ波パルスの 高感度検出とパルス幅評価



- 非線形光学波長変換により  
テラヘルツ波パルスを高感度に検出
- 近赤外パルスレーザー光との相互相関波形から  
サブナノ秒領域のテラヘルツ波パルス時間波形を評価

#### Optical up-conversion-based detection and cross-correlation characterization of sub-nanosecond THz-wave pulses

- Sensitive THz-wave detection by  
nonlinear optical wavelength conversion
- Accurate characterization of sub-nanosecond  
THz-wave pulse width by intensity cross-correlation  
between near-infrared laser and THz-wave pulses

Reference: Takida, Y., Nawata, K., Notake, T., Otsuji, T., and Minamide, H.:  
"Optical up-conversion-based cross-correlation for characterization of  
sub-nanosecond terahertz-wave pulses", Opt. Express 30, 11217 (2022).

近年、テラヘルツ波電子デバイス技術の進展に伴って、高速応答性を有する様々な検出器デバイスが市販されるようになってきました。しかしながら、高ピークパワーのテラヘルツ波パルス入力に対しては検出器デバイス内で非線形性が顕著に発現して出力波形が歪んでしまうため、サブナノ秒領域のテラヘルツ波パルス幅を正確に評価することは未だ困難です。そこで、本研究では、高感度なテラヘルツ波検出手法であるニオブ酸リチウム(MgO:LN)結晶を用いたアップコンバージョン過程に基づき、相互相関波形を測定することで、サブナノ秒テラヘルツ波パルスの時間波形の評価を行いました(図1)。

具体的には、光注入型テラヘルツ波パラメトリック発生器(is-TPG)により発生したテラヘルツ波パルスと、光学遅延ステージにより時間遅延を調整可能な近赤外レーザー光パルスとの相互相関幅について測定を行いました。図2(a)に、周波数1.0 THzのテラヘルツ波パルスに対して得られた強度相互相関波形を示します。この測定結果に対するガウシアン波形を仮定したフィッティングにより、テラヘルツ波のパルス幅(FWHM)を161 psと算出しました。図2(b)に、is-TPGの各周波数において測定したテラヘルツ波パルス幅を示します。この測定の結果、is-TPGから出力されるテラヘルツ波パルス幅は周波数に対して一定ではなく、パラメトリック利得が最大となる周波数付近でピークを持つ周波数依存性を示すことを初めて明らかにしました。今後は、is-TPGのサブナノ秒テラヘルツ波パルスを用いることで、テラヘルツ波電子デバイスの時間応答特性の正確な評価につながることを期待できます。

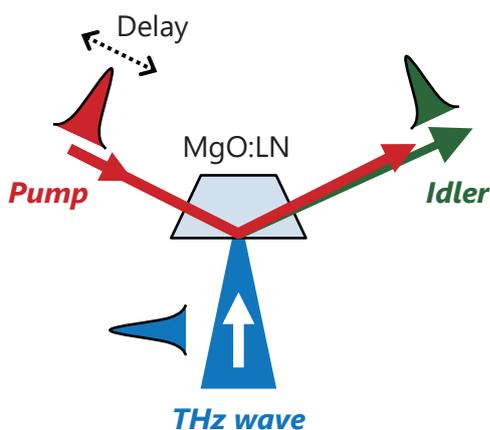


図1 実験概略図。近赤外レーザー光パルスとテラヘルツ波パルス間の遅延時間に対するアイドラー光強度を計測することで、強度相互相関波形を測定しました。

Fig.1 Schematic of the experimental setup. We performed the intensity cross-correlation by measuring the Idler intensity as a function of delay time between near-infrared pump and THz-wave pulses.

High-speed electronic devices for the Terahertz (THz)-wave region have been developing in recent years. However, it is still difficult to characterize the temporal profile of sub-nanosecond THz-wave pulses using electronic devices because of the complex nonlinearities due to high-peak-power THz-wave pulses. In this work, we demonstrate an optical cross-correlation technique based on nonlinear optical frequency up-conversion in MgO:LN crystal for the sensitive detection and accurate characterization of sub-nanosecond THz-wave pulses, as shown schematically in Fig. 1.

We measured the intensity cross-correlation between near-infrared pump pulses and THz-wave pulses from an injection-seeded THz-wave parametric generator (is-TPG). Fig. 2(a) shows the measured cross-correlation trace at 1.0 THz in the non-amplification region of the up-conversion process. From a Gaussian fitting of this trace, the THz-wave pulse width was derived to be 161 ps at FWHM. Fig. 2(b) shows the measured frequency dependence of the THz-wave pulse width of the sub-ns is-TPG. We revealed for the first time that the THz-wave pulse width of the sub-ns is-TPG is slightly frequency-dependent while tuning the THz-wave frequency. This cross-correlation technique provides more reliable results compared with the current high-speed electronic THz-wave detectors.

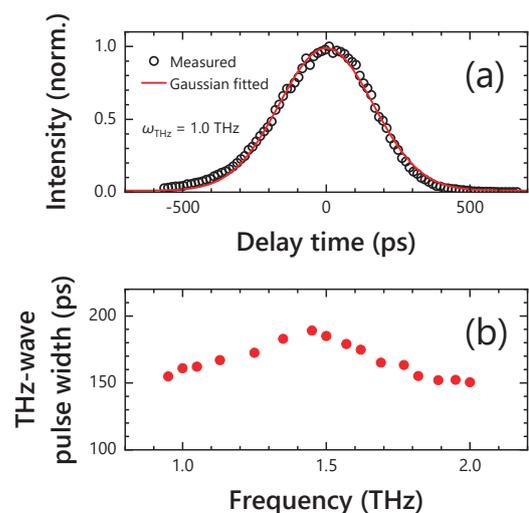


図2 (a) 周波数1.0 THzのテラヘルツ波パルスに対して測定した強度相互相関波形 (b) is-TPG光源におけるテラヘルツ波パルス幅の周波数依存性

Fig.2 (a) Measured intensity cross-correlation trace for 1.0-THz pulse (b) Measured THz-wave pulse width at FWHM as a function of is-TPG frequency

## 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.



### FY2021 Core Members

(上級研究員) 保科 宏道、山下 将嗣  
(技師) 佐々木 芳彰  
(基礎科学特別研究員) Miguel Hernandez Javier  
(客員主管研究員) 川瀬 晃道、野口 卓、尾崎 幸洋  
(大学院生リサーチ・アソシエイト) 上野佑也、Chen Mingxi  
(アシスタント) 山田 真美  
(パートタイマー) 渡辺 博、倉門 雅彦、喜多村 卓也、河村 優貴、小林 裕美子、阿部 りら、南川 理利

(Senior Research Scientist) Hiromichi Hoshina, Masatsugu Yamashita  
(Technical Scientist) Yoshiaki Sasaki  
(Special Postdoctoral Researcher) Javier Miguel Hernandez  
(Senior Visiting Scientist) Kodo Kawase, Takashi Noguchi, Yukihiro Ozaki  
(Junior Research Associate) Yuya Ueno, Mingxi Chen  
(Assistant) Mami Yamada  
(Part-time Worker) Hiroshi Watanabe, Masahiko Kurakado, Takuya Kitamura, Hiroki Kawamura, Yumiko Kobayashi, Rira Abe, Riri Minamikawa

### 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
- ✓ 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

### Research Subjects

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

### 研究成果 / Research Output

#### 300 GHz帯FM-CW方式を用いたテラヘルツウォークスルーボディスキャナの開発



- 安全・安心のためのテラヘルツウォークスルーボディスキャナを開発
- 300 GHz帯によるFMCW方式レーダ技術を導入
- 衣服の中に隠された物体のイメージング特性を検証

#### Development of Terahertz walk-through body scanner using 300 GHz FM-CW radar

- Development of terahertz walk-through body scanner for safety and security
- We are developing the frequency-modulated continuous wave (FMCW) imaging method around 300 GHz band
- Imaging of objects hidden in clothing was performed

Reference: C. Otani, T. Ikari, Y. Sasaki. "Development of 300 GHz walk-through body scanner for the security gate applications", Proc. SPIE, 11827, 11927N (2021).

# Terahertz Sensing and Imaging Research Team

テラヘルツイメージング研究チームの佐々木芳彰技師らは、安心・安全に資する応用技術として、テラヘルツ光を用いたウォークスルーボディスキャナーのプロトタイプ開発に成功しました。このシステムは、テラヘルツ光の良好な透過性と空間分解能を活用し、かつ、ビームスキャンと300 GHz帯連続波周波数変調（FMCW）方式を組み合わせることで（図1）、通常速度（時速約4 km）で通過するウォークスルーの状態でのリアルタイム検査を実現することを目指しています。全体のシステムは前後左右に配置された複数のユニットで構成することを想定しており（図2）、各ユニット内に周波数掃引光源・ヘテロダイン検波器・光学系が配置されます。今回開発したプロトタイプは、この1ユニットの機能を実現したものです（図3）。このプロトタイプを用いて得られた衣服下の模擬危険物像を図4に示します。このように、テラヘルツ光の利用により、歩行者の流れを遮ることなく隠された危険物検査が可能であることが示されました。

Dr. Yoshiaki Sasaki and his colleagues in Terahertz Sensing and Imaging Research Team have succeeded to develop a prototype of a walk-through body scanner using terahertz wave. It aims to realize real-time inspection at normal speed (about 4 km/h) by combining beam scanning and a 300 GHz continuous wave frequency modulation (FMCW) technique. It will consist of multiple units stacked top to bottom and left to right as shown in Fig. 1, and each unit consists of a frequency-tunable transmitter and a heterodyne receiver with the optical system (Fig. 2). Fig. 3 shows 3D images of a pedestrian holding a hazardous material hidden under his clothing. Thus, they have shown that the use of terahertz wave can realize the inspection of hidden hazardous material with a normal walking speed and without interrupting the flow of pedestrians.

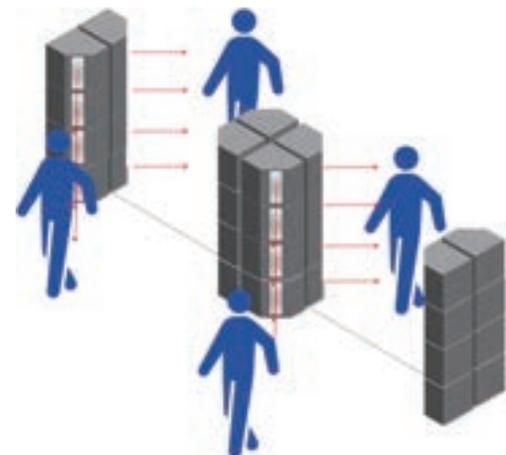
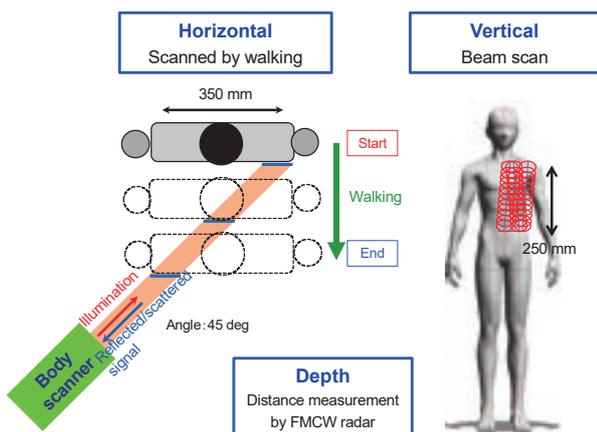


図1 テラヘルツ光を用いた3Dリアルタイムイメージングの測定概念図  
Fig.1 Concept of 3D real-time imaging using terahertz wave

図2 複数のユニットを組み合わせたゲートシステムの概念図  
Fig.2 Diagram of a gate system combining multiple units

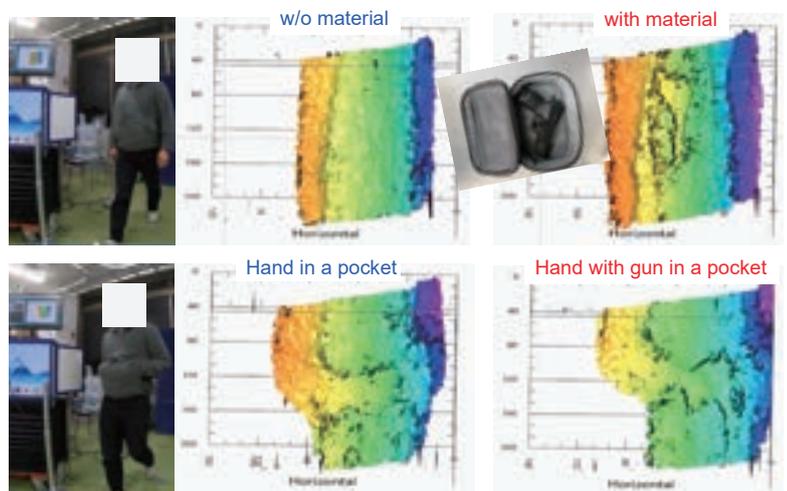
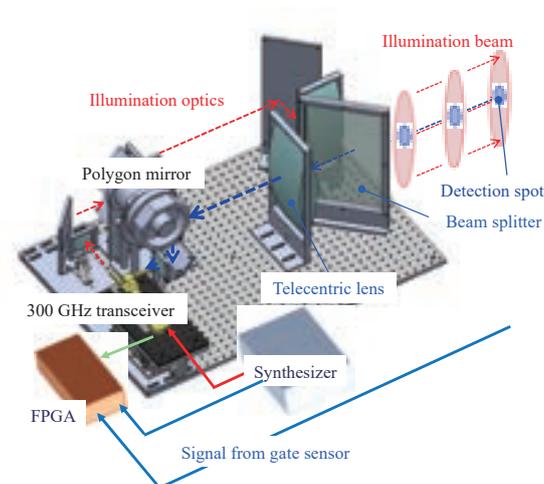
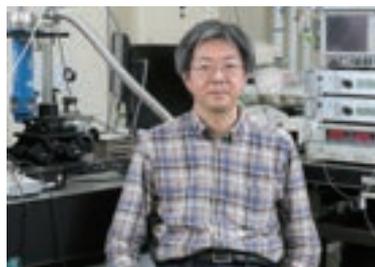


図3 1つのユニットの実験光学系の模式図  
Fig.3 Schematic of the experimental optical setup of the prototype

図4 (上) 衣服下に模擬銃を入れたバッグを隠した場合の実験風景と取得像  
(下) 上着のポケットに手を入れた場合  
Fig.4 (Top) Experimental view and acquired terahertz images of a fake gun in a bag hidden under clothing. (Bottom) Hand in the pocket without and with a fake gun

## 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.



### FY2021 Core Members

(研究員)

林 宗澤、王 利、定 昌史 (兼務)

(研修生)

陳明曦、三好 哲平

(アシスタント)

佐藤 知子

(Research Scientist)

Tsung-Tse Lin, Li Wang,

Masafumi Jo (c)

(Trainee)

Mingxi Chen, Teppei Miyoshi

(Assistant)

Tomoko Sato

### 研究テーマ

- ✓ 室温動作THz-QCLの実現へ向けた量子構造設計
- ✓ ワットクラス高出力THz-QCLの技術開拓
- ✓ 窒化物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

#### テラヘルツ量子カスケードレーザー (THz-QCL) の高出力化と動作の高温化



- 高温動作THz-QCLの提案と厳密解析による温度340K発振動作の理論実証
- ドーピング制御によるTHz-QCLの高出力化を実現
- ZnO/ZnMgO系を用いた3THz帯室温光利得を解析により実証

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

- Proposal of high temperature operation THz-QCL demonstrating 340K lasing operation by calculation
- Realization of high power THz-QCL by doping control
- First demonstration of room temperature optical gain in ZnO/ZnMgO THz-QCL by analysis

# Terahertz Quantum Device Research Team

本研究では、小型、高効率・高出力、狭線幅、連続発振、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。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遮断し、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、GaAs系の動作温度は室温以上の340Kまで可能になる事を示しました。この構造に基づき、GaAs系THz-QCLの光利得の周波数と温度依存性を系統的に解析しました(光利得マッピング)。本構造を取り入れ作製したTHz-QCLにおいて、200K以上の動作温度を達成しました。また、THz-QCLの注入層に比較的高濃度のドーピングを行うとQCLの出力が大幅に向上することが分かり、ドーピングによるバンドベンディングの効果を設計に取り入れた結果、1.6倍程度の出力向上を実現しました。

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 operation temperature and output power THz-QCL by introducing novel scheme quantum cascade structures.

This fiscal year, we demonstrated analytically that the sufficient optical gain of THz-QCL can be obtained even above room temperature by introducing the "isolated three-level scheme" in the cascade structure. We demonstrated that the maximum operation temperature is higher than 340K for GaAs/AlGaAs THz-QCL with frequency range of 3-4 THz. By reducing a parasitic current leakage of a THz-QCL, we achieved the maximum operating temperature over 200K. In addition, we demonstrated the significant enhancement of output power of THz-QCL is obtained by introducing relatively high-doping level injection layers. We achieved 1.6 times higher out put power by taking into account the band-bending effect of doping in the quantum cascade structure.

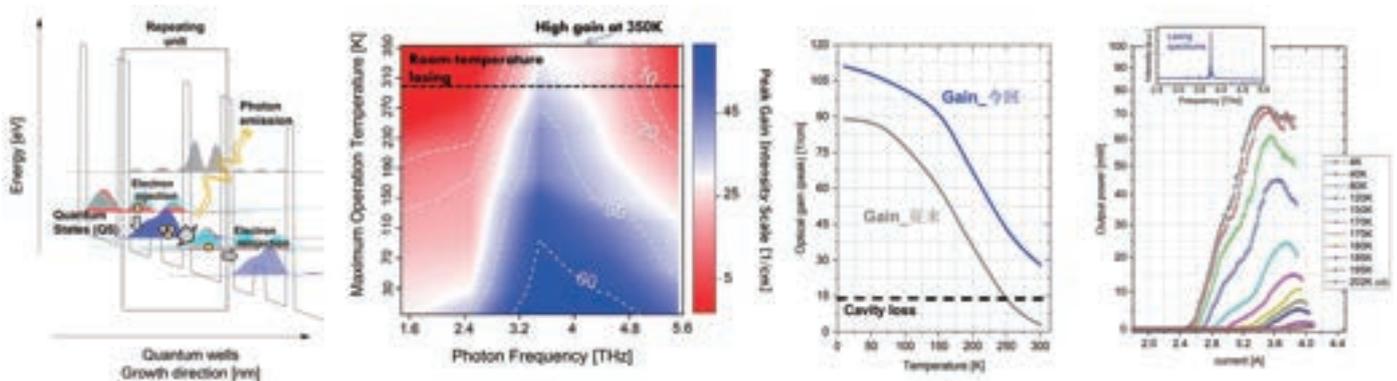


図1 高温動作GaAs系THz-QCLの提案と光利得の解析結果、及び、同構造を用いた200K異常温度動作の実現

Fig.1 Analysis of high-temperature operation (>300K) of a GaAs-based THz-QCL and demonstration of lasing operation over 200K

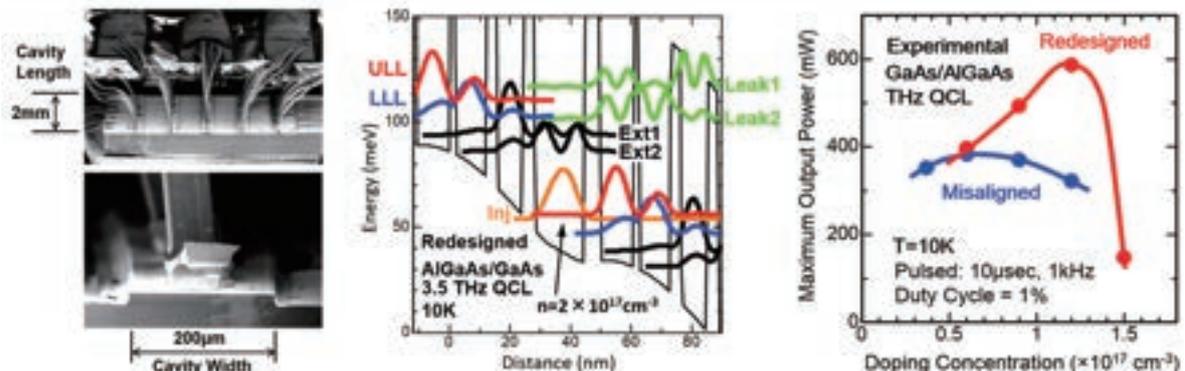
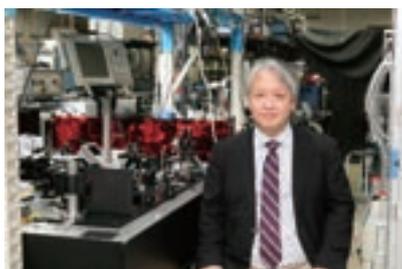


図2 高濃度ドーピング時のバンドベンディングを考慮した設計によるGaAs系THz-QCLの高出力動作

Fig.2 High power operation of GaAs/AlGaAs THz-QCL realized with the design taking into account the band-bending effect by doping

# 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 (兼務), 村上 武晴,  
宮田 憲太郎, 小田切 正人  
(特別研究員) 伊敷 喜斗  
(テクニカルスタッフ) 坂下 亨男, 種石 慶,  
国本 幸紀, 川田 靖, 岡下 敏宏, 森下 圭,  
津野 克彦 (兼務), 宮島 早紀, 大野 陽子,  
松本 健  
(アシスタント) 渡邊 博子, 野々村 真奈美,  
鈴木 利佳子  
(パートタイマー) 松井 大知, 中川 淳子,  
奈良 美幸, 北 克則, 碓井 民子, 高地 勇,  
植松 洋子, 小池 一輝

(Senior Research Scientist)  
Kiwamu Kase, Norihito Saito,  
Takafumi Sassa, Tomoki Matsuyama (c)

(Research Scientist)  
Takayo Ogawa, Masaki Yumoto,  
Katsushi Fujii, Masayuki Murayama (c),  
Takeharu Murakami, Kentaro Miyata,  
Masato Otagiri

(Postdoctoral Researcher)  
Yoshito Ishiki

(Technical Staff)  
Michio Sakashita, Katsuhiko Tsuno (c),  
Kei Taneishi, Yukinori Kunimoto,  
Yasushi Kawata, Toshihiro Okashita,  
Kei Morishita, Saki Miyajima, Yoko Ono,  
Takeshi Matsumoto

(Assistant)  
Hiroko Watanabe, Manami Nonomura,  
Rikako Suzuki

(Part-time Worker)  
Daichi Matsui, Junko Nakagawa,  
Miyuki Nara, Katsunori Kita,  
Tamiko Usui, Isamu Takachi,  
Yoko Uematsu, Kazuki Koike

## 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次世代のバイオ・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

### 植物放出C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>の非破壊かつリアルタイムなセンシングを可能にする中赤外量子カスケードレーザー吸収分光法

- サブppbレベルの微量なエチレン検出
- 植物放出エチレンの非破壊かつリアルタイムな検出
- 環境応答による植物放出エチレンのモニタリング

### Non-destructive mid-IR spectroscopy with quantum cascade laser can detect C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> gas released from plant in real time

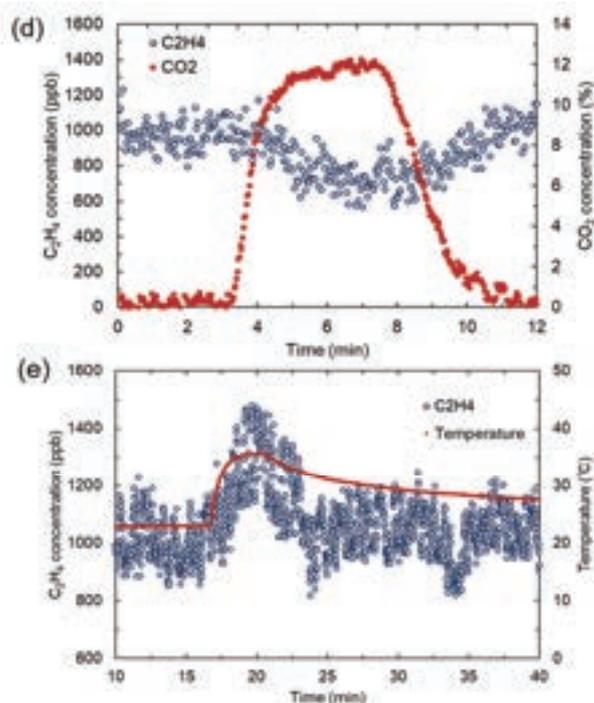
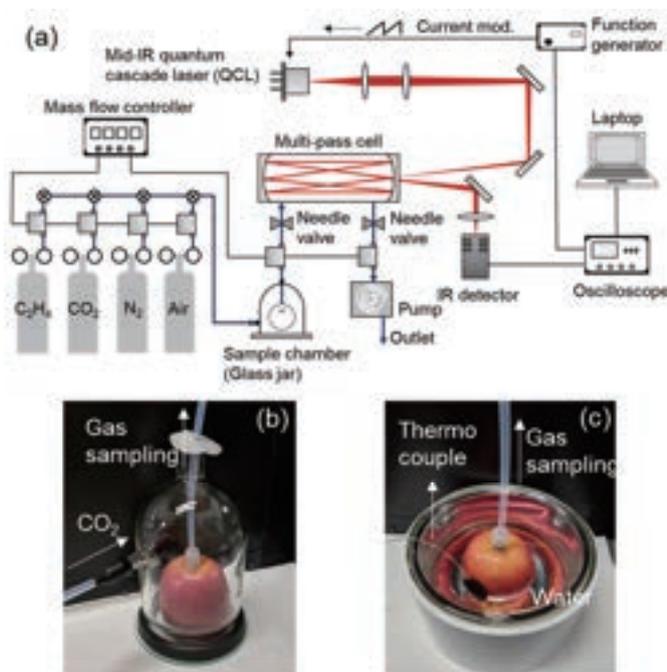
- Ultra-low C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> detection limit (sub-ppb level)
- Non-destructive and real-time monitoring of C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> released from plant
- Visualisation of C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dynamics in plant environmental response

植物は生育環境の変化や病害虫感染により、様々な植物ホルモンを体内で生成し、微量ながらもその一部を体外へ揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds: VOC) として放出しています。そのVOCには、環境応答と相関のある物質も含まれており、バイオマーカーとして利用することで植物の育成状態を非破壊モニターすることができます。中でも、最も分子量の小さな植物ホルモンであるエチレン( $C_2H_4$ )を *in-situ* サンプリングで非破壊かつリアルタイムに検出できる技術は、植物の老化や防御反応を可視化するのに役立ちます。

本研究では、波長10.5  $\mu m$ の中赤外量子カスケードレーザーと超光路マルチパスセルを組み合わせたシンプルな半導体レーザー分光法により、 $C_2H_4$ を0.8 ppbの検出下限でモニター可能なシステムを開発しました。さらに、マルチパスセルの内圧を低圧に維持したまま、リンゴ(フジ)の放出ガスを *in-situ* サンプリングし、ガス中の $C_2H_4$ 濃度変化をリアルタイムで観測することを可能にしました。さらに、リンゴの雰囲気ガス濃度や表面温度を変化させ、時々刻々と $C_2H_4$ 濃度が変化する様子を1sの時間分解能でモニターすることで、リンゴから放出される $C_2H_4$ 濃度が環境応答により数分の時定数で変化することを初めて捉えることに成功しました。これらの結果は、植物環境応答におけるより詳細な $C_2H_4$ 動態を可視化し、農学や植物生理学、食品工学のさらなる発展に貢献することが期待されます。

Plants generate various phytohormones and substances in their tissues and organs at all growth stages, and their expression can change in response to infectious diseases. Ethylene ( $C_2H_4$ ) is the lightest gaseous phytohormone. It is involved in many functions, such as leaf and flower senescence, promotion of seed germination and flowering, and softening and ripening of fruit. Non-destructive and in-situ gas sampling technology to detect trace  $C_2H_4$  released from plants in real time would be attractive for visualising the ageing, ripening, and defence reactions of plants.

In this study, we developed a  $C_2H_4$  detection system with a detection limit of 0.8 ppb ( $3\sigma$ ) using laser absorption spectroscopy. The  $C_2H_4$  detection system consists of a mid-infrared quantum cascade laser oscillated at 10.5  $\mu m$ , a multi-pass gas cell, a mid-IR photodetector, and a gas sampling system. Using non-destructive and in-situ gas sampling, while maintaining the internal pressure of the multi-pass gas cell at low pressure, the change in trace  $C_2H_4$  concentration released from apples can be observed in real time. We succeeded in observing  $C_2H_4$  concentration changes with a time resolution of 1 s, while changing the atmospheric gas and surface temperature of apples from the 'Fuji' cultivar. This technique allows the visualisation of detailed  $C_2H_4$  dynamics in plant environmental response, which may be promising for further progress in plant physiology, agriculture, and food science.



(a)  $C_2H_4$  検出システムの概略図 (b) 雰囲気ガス濃度および(c)表面温度を変化させながらリンゴ放出ガスをサンプリングする様子 (d) 雰囲気ガス濃度および (e) 表面温度を変化させたときの $C_2H_4$ 濃度変化  
(a) Schematic diagram of the  $C_2H_4$  detection system. In-situ gas sampling with (b) the atmospheric  $CO_2$  concentration change and (c) the surface temperature change. Real-time detection of  $C_2H_4$  released from apples with (d)  $CO_2$  concentration change and (e) the temperature change the of apple surface

## 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.



### FY2021 Core Members

(前任研究員) 城田 幸一郎

(専任研究員) 田島 右副, 滝澤慶之、青山 哲也

(上級研究員) 細島 拓也

(研究員) 青木 弘良、海老塚 昇

(基礎科学特別研究員) 江川 悟

(アシスタント) 佐藤 祐子

(Senior Research Scientist)

Koichiro Shirota, Yusuke Tajima,

Yoshiyuki Takizawa, Takuya

Hosobata,

(Research Scientist) Hiroyoshi Aoki,

Noboru Ebizuka

(Special Postdoctoral Researcher)

Satoru Egawa

(Assistant) Yuko Sato

### 研究テーマ

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

### Research Subjects

- ✓ Fabrication, design, metrology and simulation of ultrahigh precision optics
- ✓ Fabrication of micro structure by precision machining
- ✓ Prototyping of precision optics in collaboration with Advanced Manufacturing Support Team

### 研究成果 / Research Output

#### 超精密光学素子加工技術で 先端科学研究機器開発に貢献

- 超精密加工されたシリコン結晶により中性子線によるペンデル干渉の精密測定実験に貢献\*
- 金属基材を用いた中性子集光ミラーがJ-PARC BL-16(SOFIA),BL-06に導入される
- TAO望遠鏡のための2次元分光装置 (SWIMS-IFU) を多軸同時制御超精密加工にて実現\*\*

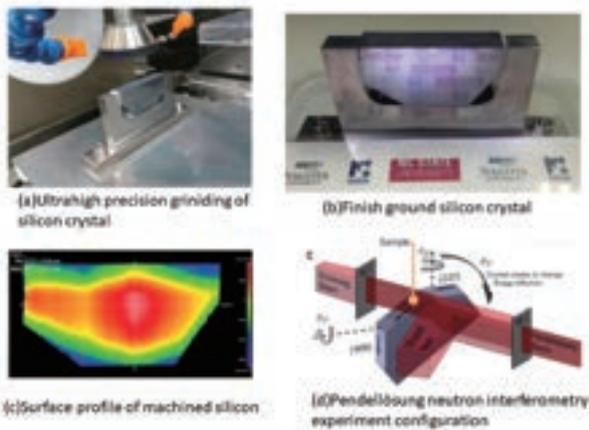
#### Contributing most advanced scientific apparatus by using ultrahigh precision optics manufacturing technology

- Contributed to the precision measurement of neutron pendellösung interferometry by ultrahigh precision machining of silicon crystal
- Neutron Focusing mirror using metallic substrate have introduced to J-PARC BL-16 and BL-06
- Successful optics developments for 2D spectrometer for TAO telescope (SWIMS-IFU)

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。米国NISTおよび名古屋大学との共同によりシリコン結晶の超精密加工により、中性子線によるペンデル干渉実験に成功し、基礎物理学の研究に貢献しています。この干渉計は、未知の力の存在領域を最大で一桁近く狭めることに成功しています。

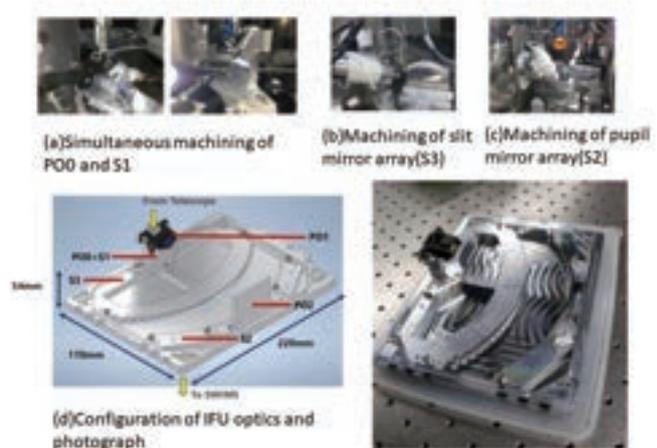
また、国立天文台、東大天文教育研究センターとの協力により複雑なミラーアレイを複数有する2次元面分光装置 (SWIMS-IFU) の試作に成功し、すべてのコンポーネントを完成させることに成功しました。これらの複雑なミラーアレイは、スライスミラー、瞳ミラーアレイ、スリットミラーアレイであり、いずれも20面以上の微細かつ複雑な光学面を有しており、超精密多軸制御による加工で初めて実現されました。

At Ultrahigh Precision Optics Technology Team, we conduct ultrahigh precision machining, metrology and design of optical components and systems. A silicon crystal was machined by ultrahigh precision grinding, which contributed to the neutron pendellösung interferometry experiment. This experiment contributed to the fundamental physics study and has narrowed the region of “unknown” force by one decade. Also, a 2D spectrometer (SWIMS-IFU) with complicated multi-surface mirror arrays have been successfully manufactured. Those complicated mirror arrays are slicing mirror array, pupil mirror array and slit mirror arrays with more than 20 complicated optical surfaces, which was manufactured for the first time by multiple-axis ultrahigh precision simultaneous machining.



中性子ペンデル干渉実験のためのシリコン結晶の超精密加工  
 Ultrahigh precision machining of silicon crystal for neutron pendellösung interferometry experiment  
 Heacock, B., et al., Science 373, (2021)

TAO望遠鏡のための2次元面分光ユニット  
 SWIMS-IFUの加工  
 Manufacturing of 2D spectrometer unit SWIMS-IFU for TAO telescope



## 中性子ビーム技術開発チーム



大竹 淑恵 理学博士  
Yoshie Otake, D. Sci.



### FY2021 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

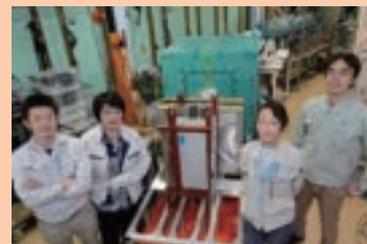
- ✓ いつでもどこでも利用できる安全な中性子線。理研小型中性子源システムRANS高度化開発
- ✓ ものづくり現場導入可能な普及型小型中性子源システムの実現
- ✓ 中性子線による非破壊観察、可視化・非破壊定量評価
- ✓ 超小型中性子塩分計 RANS- $\mu$
- ✓ 月・火星の水探査、元素分析を目指した中性子システム開発

### 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- $\mu$
- ✓ R&D for the water exploration and elemental analysis on the Moon and Mars

### 研究成果／Research Output

橋梁の床版内部土砂化・滞水の新たな検知法の開発に成功。  
ーコンクリート劣化の定量評価が可能にー



- 可搬型小型中性子源RANS-IIIと同じ性質の中性子を発生するRANS-IIによる現場模擬計測技術実証
- 橋梁劣化の重大な要因である土砂化の可視化に成功
- アスファルト舗装の下にある鉄筋コンクリート床版劣化、滞水土砂化、乾燥土砂化の見分け法を開発
- コンクリート内部劣化の定量評価を行うシステムを開発

**Successful development of a new detection method for sedimentation and water retention inside bridge slabs. -Allows quantitative assessment of concrete deterioration**

- Utilises RANS-II, which produces neutrons with the same properties as the RANS-III portable compact neutron source under construction
- Successful visualisation of sedimentation, a critical factor in bridge deterioration
- Development of a system for quantitative assessment of concrete internal degradation

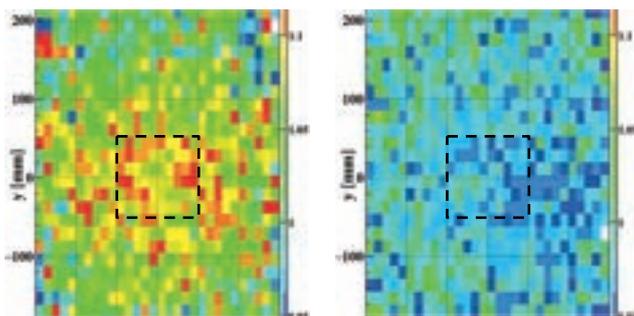
近年、国内外において橋梁劣化が原因の事故が増えています。道路橋の床版は車や人の荷重を直接支える重要な部材で、経年劣化や初期施工不良などから発生する損傷は、利用者に重大な被害を及ぼす恐れがあります。事故につながる重大な損傷を阻止するためには、劣化状況が正確に壊さずに可視化できる「非破壊検査技術」の現場での実用化が待たれています。我々は屋外で将来利用可能な小型の中性子源システムを開発しております。屋外利用を想定した、劣化可視化の新たな技術開発に成功しました。具体的には、可搬型プロトタイプタイプのRANS-IIを利用して、これまで可視化が困難であった「土砂化」の可視化を可能とし、「水を含む土砂化」と「乾燥した土砂化」を見分けることができるようになりました。図1は中性子散乱イメージング法によりアスファルト舗装の上からその下の2種の土砂化を可視化したイメージング画像です。さらに劣化の位置、大きさの定量評価だけでなく、図2に示すように土砂化厚さの定量評価ならびに劣化の水の有無の分離識別を行えることを実証しました。

これらの可視化、評価は、6m長さのコンテナ内に可搭載可能な、現在開発中の可搬型中性子源システムRANS-IIIにより、屋外実施される予定です。

### 2種の土砂化の非破壊可視化: Non-destructive visualization of sedimentation

滞水している土砂化  
Wet sedimentation

乾燥している土砂化  
Dry sedimentation



散乱中性子数の増加  
**Increase** in the  
number of scattered  
neutrons

散乱中性子数の減少  
**Decrease** in the  
number of scattered  
neutrons

図1 RANS-IIによるアスファルト舗装下床版の土砂化イメージング

左：滞水土砂化の場合、散乱中性子数が増加 右：乾燥土砂化の場合、散乱中性子数が減少

Fig.1 Visualisation and detection of the deterioration of reinforced concrete slabs under asphalt pavements using a scattering imaging method with RANS-II., left set sedimentation, right, dry sedimentation

In recent years, the number of accidents caused by bridge deterioration has increased both at home and abroad. The floor slabs of road bridges are important components that directly support the loads of vehicles and people, and damage resulting from age-related deterioration or poor initial construction can cause serious damage to users. In order to prevent serious damage leading to accidents, the on-site application of 'non-destructive inspection technology' is awaited, which enables the deterioration status to be accurately visualized without breaking. We are developing a compact neutron source systems for outdoor use. A new degradation visualization technique for outdoor use is successfully developed. Specifically, RANS-II, the prototype of transportable has been used to visualize 'sedimentation', which has been difficult to visualize in the past. It is now possible to distinguish between 'water-bearing sedimentation' and 'dry sedimentation'. Fig. 1 shows the image of two types of sedimentation visualized from above and below an asphalt pavement using neutron scattering imaging technology. In addition to quantitative assessment of the location and size of the degradation, it has also been demonstrated that it is possible to quantitatively assess the thickness of the sedimentation and separately identify the presence or absence of water in the degradation, as shown in Figure 2.

Visualizations and evaluations will be carried out outdoors using the RANS-III, a portable neutron source system currently under development that can be mounted inside a 6 m long container.

### 土砂化厚さの定量評価 Quantitative assessment of sedimentation thickness and discrimination of wet and dry

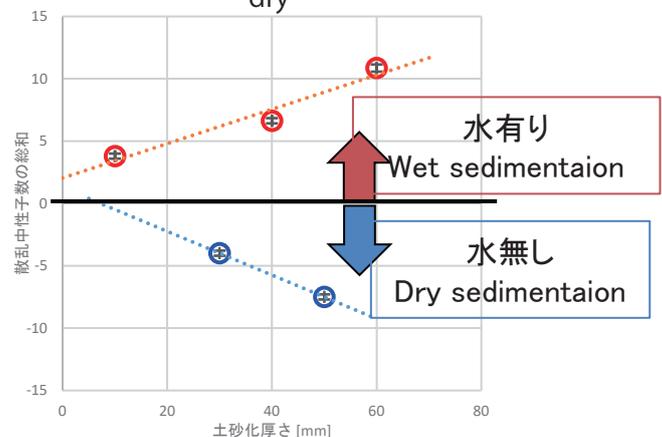


図2 土砂化厚さならびに水の有無の識別

Fig.2 Quantitative assessment of sedimentation thickness and discrimination of wet and dry

## 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.



### FY2021 Core Members

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

(Deputy Team Leader)

Kenji Yamazawa

(Senior Research Scientist)

Shigeru Ikeda, Yoshiyuki Takizawa

(Expert Technician) Takeshi Fujimoto

(Technical Staff) Masahiro Takeda,

Masaharu Watanuki

(Assistant) Junko Ito

### 研究テーマ

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

### Research Subjects

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

### 研究成果 / Research Output

#### 研究者の依頼に基づく研究機器開発支援と先端的加工技術開発を実施

- 研究者の依頼に基づく研究機器の設計、部品の機械加工、組み立て、電子回路設計製作、ガラス加工等を実施
- 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

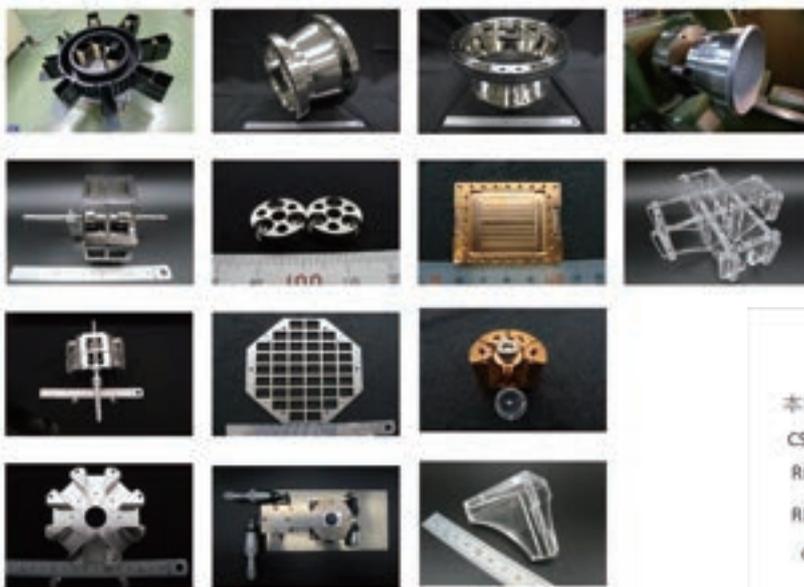
- Experimental apparatus design, parts machining and assembly, electronics design and manufacturing and glassware machining was conducted upon request from RIKEN researchers
- 520 manufacturing request was processed in FY2020 from all RIKEN sectors
- Advanced technological developments such as 3D printer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

## Advanced Photonics Technology Development Group

# Advanced Manufacturing Support Team

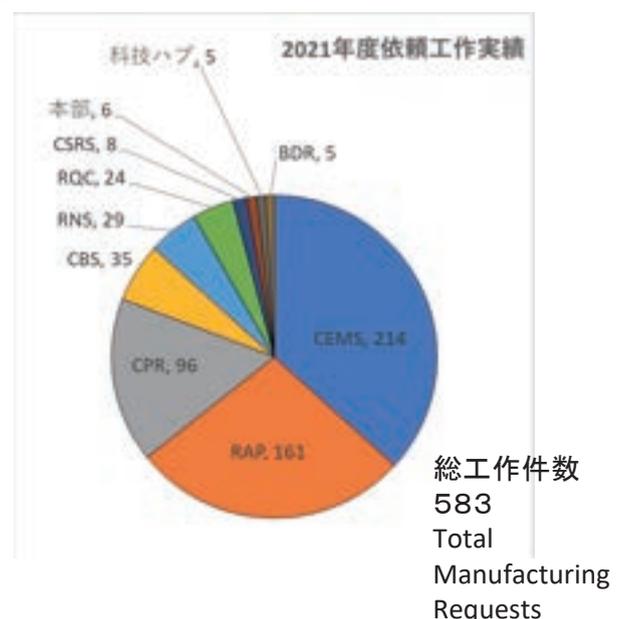
技術基盤支援チームでは、研究者の依頼に基づき、研究に必要な実験装置等の設計・部品の機械加工、組み立て、電気・電子回路の設計・製作、ガラス加工などを通じて研究機器の構築を支援することを目的としています。こうした工作支援の範囲は、顕微鏡のステージの改造などから、部品製作、新規の検出装置の開発、生物実験用機器の製作など多岐にわたっています。2021年度は、コロナウイルス感染拡大の影響があつたにも関わらず、年間で583件の工作依頼がありました。2015年度から、受益者負担金の単価を改訂し、様々な外部資金も利用できるようにするなど、利用者の利便を図りサービスの向上に努めています。工場には、NCマシニングセンター、放電加工装置、レーザー切断機、手動旋盤・フライス盤などの装置を有しています。また、研究本館地下と基盤技術棟に研究者自身が作業可能なマシンショップを運営しており、こうした作業のための工作機械の取り扱い安全講習も実施しています。機械加工以外にも溶接やガラス加工も行っています。超精密加工のように研究者と密接に協力したサンプル加工も実施しています。

At Advanced Manufacturing Support Team, manufacturing support for the construction of experimental apparatus is performed through mechanical design and machining, electric/electronics and glassware fabrication etc. Those apparatus manufacturing support include modification of microscope stages, parts machining, construction of detector systems, and devices for biological experiments. Despite the spread of COVID-19, 583 manufacturing requests from all the RIKEN research sectors have been processed in FY2021. 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.



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

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. Ito, K. N., Isobe, K., and Osakada, F.: "Fast z-focus controlling and multiplexing strategies for multiplane two-photon imaging of neural dynamics", *Neurosci. Res.* In press (2022).
2. Ishikawa, T., Isobe, K., Inazawa, K., Michikawa, T., Namiki, K., Miyawaki, A., Kannari, F., and Midorikawa, K.: "Fringe- and speckle-free holographic patterned illumination using time-multiplexed temporal focusing", *Appl. Phys. Express* 15, 042005 (2022).
3. Lin, Y.-C., Midorikawa, K., and Nabekawa, Y.: "Carrier-envelope phase control of synthesized waveforms with two acousto-optic programmable dispersive filters", *Opt. Express* 30, 10818-10832 (2022).
4. Xue, B., Midorikawa, K., and Takahashi, E.J.: "Gigawatt-class, tabletop, isolated-attosecond-pulse light source", *Optica* 9(4), 360-363 (2022).
5. Matsubara, T., Fukahori, S., Lötstedt, E., Nabekawa, Y., Yamanouchi, K., and Midorikawa, K.: "300 attosecond response of acetylene in two-photon ionization/dissociation processes", *Optica* 1075-1083 (2021).
6. Ishikawa, T., Isobe, K., Inazawa, K., Namiki, K., Miyawaki, A., Kannari, F., and Midorikawa, K.: "Adaptive optics with spatio-temporal lock-in detection for temporal focusing microscopy", *Opt. Express* 29, 29021-29033 (2021).
7. Inazawa, K., Isobe, K., Ishikawa, T., Namiki, K., Miyawaki, A., Kannari, F., and Midorikawa, K.: "Enhancement of optical sectioning capability of temporal focusing microscopy by using time-multiplexed multi-line focusing", *Appl. Phys. Express* 14, 082008 (2021).
8. Nishimura, K., Fu, Y., Suda, K., Midorikawa, K., and Takahashi, E.J.: "Apparatus for generation of nanojoule-class water-window high-order harmonics", *Rev. Sci. Instrum.* 92, 063001 (2021).
9. Xue, B., Tamaru, Y., Fu, Y., Yuan, H., Lan, P., Mücke, O.D., Suda, A., Midorikawa, K., and Takahashi, E.J.: "A Custom-Tailored Multi-TW Optical Electric Field for Gigawatt Soft-X-Ray Isolated Attosecond Pulses", *Ultrafast Science* 2021, 9828026 (2021).
10. Onda, M., Takeuchi, R. F., Isobe, K., Suzuki, T., Masaki, Y., Morimoto, N., and Osakada, F.: "Temporally multiplexed dual-plane imaging of neural activity with four-dimensional precision", *Neurosci. Res.* 171, 9-18 (2021).
11. Michikawa, T., Yoshida, T., Kuroki, S., Ishikawa, T., Kakei, S., Kimizuka, R., Saito, A., Yokota, H., Shimizu, A., Itohara, S., and Miyawaki, A., "Distributed sensory coding by cerebellar complex spikes in units of cortical segments", *Cell Rep.* 37, 109966 (2021).
12. Michikawa, T., Isobe, K., and Itohara, S., "A spike-sorting method based on hierarchical clustering to discriminate extracellularly recorded simple spikes and complex spikes from cerebellar Purkinje cells", *bioRxiv*, doi: <https://doi.org/10.1101/2021.09.30.462526> (2021).
13. Ota, F., Yamazaki, K., Sebilliau, D., Ueda, K. and Hatada K., "Theory of polarization-averaged core-level molecular-frame photoelectron angular distributions: III. New formula for p- and s-wave interference analogous to Young's double-slit experiment for core-level photoemission from hetero-diatom molecules", *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 54, 244002 (2021).

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

1. Midorikawa, K., "Progress on table-top isolated attosecond light sources", *Nat. Photo.* 16, 267-278 (2022).
2. Michikawa, T., Miyawaki, A., "Olivocerebellar somatotopy revisited" in *Cerebellum as a CNS Hub*, eds Mizusawa, H., and Kakei, S., Springer, (2021).
3. 高橋栄治, "強力なアト秒パルスを作り出すフェムト秒光シンセサイザー", *光学*, 50 巻 12 号, 501 (2021) .
4. 沖野友哉, "超高速電荷マイグレーションによる反応制御へ向けた運動量画像法の開発", *レーザー研究* 49, 339-343 (2021).
5. 磯部圭佑, "多細胞の相互作用を可視化する多光子イメージング技術", *生体の科学*, 72, 266-271 (2021).
6. 磯部圭佑, "光の時空間強度分布制御に基づく蛍光イメージング技術", *Oplus E*, 43, 381-387 (2021).

### (3) 招待講演 / Invited Talks

1. Okino, T., K. Midorikawa, K., "Development of multiplex ion momentum imaging methods for investigating ultrafast molecular dynamics of polyatomic molecules", *International Symposium on Recent Development in Atomic, Molecular, and Optical Science 2022*, 東京, 3月28日 (2022).
2. Takahashi, E.J., "High efficiency ultrafast soft x-ray harmonic generation which is a complementary partner to Free Electron Lasers", *High-Intensity Lasers and High-Field Phenomena (HILAS)*, Hungary, March (2022).
3. Xue, B., Midorikawa, K., and Takahashi, E.J., "Realization of Compact GW-Scale Soft x-ray Isolated Attosecond Pulses", *High-Intensity*

Lasers and High-Field Phenomena (HILAS), Hungary, March (2022).

4. Midorikawa, K., "Generation of GW isolated attosecond pulses by high-energy multi-color optical synthesizer", International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science Online V, July (2021).
5. Midorikawa, K., "Multi-TW optical waveform synthesizer for generating GW isolated attosecond pulses", The 4th Int. Symposium on High Power Laser Science and Engineering, Suzhou, China (online), April (2021).
6. 鍋川康夫, "高次高調波を用いた極端紫外域におけるアト秒分光", レーザー学会学術講演会第42回年次大会, オンライン, 1月14日 (2022).
7. 磯部圭佑, 緑川克美, "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", レーザー学会学術講演会第42回年次大会, オンライン, 1月14日 (2022).
8. 道川貴章, "見て理解する小脳の情報表現: 複雑スパイクは何を表しているのか?", 東京都医学総合研究所セミナー, 東京, 12月8日 (2021).
9. 磯部圭佑, "多平面同時多光子イメージングと多光子パターン照明" レーザー顕微鏡研究会, オンライン, 11月5日 (2021).
10. 沖野友哉, "アト秒レーザーで物質内の電子の動きを観る アト秒物理からアト秒化学へ", 分子科学若手の会夏の学校全体講演, オンライン, 8月18日 (2021).
11. 高橋栄治, "次世代アト秒レーザー光源を実現するための理研独自のレーザー技術", 第1回 Q-LEAP 次世代レーザー領域シンポジウム, オンライン, 8月12日 (2021).
12. 磯部圭佑, "超短光パルスの時空間分布制御による多光子イメージングと光操作技術", 強光子場科学研究懇談会, オンライン, 7月9日 (2021).
13. 神田夏輝, "簿ディスクモードロックレーザー共振器内での高次高調波発生による高繰り返し XUV 光源 - フォトンリングの現状と展望 -", 理研光量子工学研究センター・COI STEAM「コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点」合同シンポジウム "超短パルス高出力簿ディスクレーザーの新展開", オンライン, 6月30日 (2021).
14. 棚橋晃宏, "共振器内高次高調波発生のための簿ディスクリングレーザーの最適化と熱歪みへの対応策", 理研光量子工学研究センター・COI STEAM「コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点」合同シンポジウム "超短パルス高出力簿ディスクレーザーの新展開", オンライン, 6月30日 (2021).
15. 沖野友哉, 緑川克美, "多原子分子の超高速ダイナミクス追跡のためのマルチフラグメント運動量画像法の開発", 光・量子デバイス委員会, 革新的材料の創出とデバイス応用, オンライン, 6月16日 (2021).
16. Yamazaki, K., "Toward multiscale simulation on femtosecond x-ray absorption spectroscopy for x-ray chemistry," 第7回 Q-Leap アト秒懇談会, オンライン, 4月20日 (2021).

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

1. RAP-XIOPM Joint Webinar on Photonics, online, November 16 (2021).
2. 理研光量子工学研究センター・COI STEAM「コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点」合同シンポジウム "超短パルス高出力簿ディスクレーザーの新展開", オンライン, 6月30日 (2021).

#### (5) 特許出願 / Patent Applications

1. 沖野友哉, 緑川克美, "撮像素子、撮像装置、および、撮像システム", 特願 2021-110704, 2021年7月2日.

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

1. 理研クローズアップ科学道, "小脳全体の可視化がもたらした新発見", [https://www.riken.jp/pr/closeup/2022/20220214\\_1/index.html](https://www.riken.jp/pr/closeup/2022/20220214_1/index.html) 2022年2月14日.
2. MONOist, "小脳の同時計測により、感覚情報表現の仕組みを解明", <https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2111/29/news009.html> 2021年11月29日.
3. 理研研究最前線, "超高速の世界を捉えるアト秒の光", [https://www.riken.jp/pr/closeup/2021/20211110\\_1/index.html](https://www.riken.jp/pr/closeup/2021/20211110_1/index.html) 2021年11月10日.
4. 科学新聞, "小脳は全体が協調して機能する", 2021年11月26日.
5. 日本工業新聞, "小脳皮質 背側全域を同時計測", 2021年11月10日.

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

1. Matsuzaki, K., and Tahara, T.: "Superresolution concentration measurement realized by sub-shot noise absorption spectroscopy", *Nat. Commun.*, 13, 953/1-8 (2022).
2. Sartin, M. M., Osawa, M., Takeuchi, S., and Tahara, T.: "Ultrafast dynamics of an azobenzene-containing molecular shuttle on rotaxane", *Chem. Comm.* 58, 961-964 (2022).
3. Chang, C.-F., Kuramochi, H., Singh, M., Abe-Yoshizumi, R., Tsukuda, T., Kandori, H., and Tahara, T.: "A unified view on varied ultrafast dynamics of the primary process in microbial rhodopsin", *Angew. Chem. Int. Ed.* 61, e202111930/1-9 (2021).
4. Fujisawa, T., Masuda, S., Takeuchi, S., and Tahara, T.: "Femtosecond time-resolved absorption study of signaling state of a BLUF protein PixD from *Cyanobacterium Synechocystis*: Hydrogen bond rearrangement completes during forward proton-coupled electron transfer", *J. Phys. Chem. B* 125, 44, 12154-12165 (2021).
5. Kumar, P., Fron, E., Hosoi, H., Kuramochi, H., Takeuchi, S., Mizuno, H., and Tahara, T.: "Excited-state proton transfer dynamics in LSSmOrange studied by time-resolved impulsive stimulated Raman spectroscopy", *J. Phys. Chem. Lett.* 12, 7466-7473 (2021).
6. Kuramochi, H., Takeuchi, S., Kamikubo, H., Kataoka, M., and Tahara, T.: "Skeletal structure of the chromophore of photoactive yellow protein in the excited state investigated by ultraviolet femtosecond stimulated Raman Spectroscopy", *J. Phys. Chem. B* 125, 23, 6154-6161 (2021).

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

1. Kuramochi, H., Tahara, T., "Tracking ultrafast structural dynamics by time-domain Raman spectroscopy", *J. Am. Chem. Soc.*, 143, 26, 9699-9717 (2021).

**(3) 招待講演 / Invited Talks**

1. Tahara, T., "Ultrafast chemical dynamics at the water surface revealed by femtosecond time-resolved phase-sensitive nonlinear spectroscopy", Symposium "Multiscale Chemistry and Dynamics at Surfaces and Interfaces", Spring 2002 American Chemical Society (ACS) meeting, U. S. A (Hybrid), March (2022).
2. Tahara, T., "A chemical reaction becomes ultrafast at the water surface", 16th biennial DAE – BRNS Trombay Symposium on Radiation & Photochemistry (TSRP-2022), India (Online), January (2022).
3. Tahara, T., "Ultrafast vibrational dynamics of water at aqueous interfaces studied by infrared-excited time-resolved HD-VSFG and 2D HD-VSFG spectroscopy", Pacificchem 2021, Symposium on "Recent Advances in Coherent Multidimensional Spectroscopy (Physical #391)", U. S. A. (Online), December (2021).
4. Tahara, T., "Tracking ultrafast chemical processes at aqueous interfaces by time-resolved heterodyne-detected vibrational sum-frequency generation", Pacificchem 2021, Symposium on "Advanced Understanding of Soft Interfaces at the Molecular-Scale (Physical #392)", U. S. A. (Online), December (2021).
5. Tahara, T., "Revealing chemical reactions at the water surface by phase-sensitive ultrafast nonlinear spectroscopy", XIOPM-RAP Joint Webinar on Photonics, XIOPM and RAP, China-Japan (Online), November (2021).
6. Tahara, T., "Dynamics of complex molecular systems unveiled by new ultrafast spectroscopy", 7th Theme Meeting on Ultrafast Science 2021 (UFS-2021), India (Online), November (2021).
7. Tahara, T., "Revealing ultrafast reaction dynamics at the water surface by femtosecond time-resolved phase-sensitive nonlinear spectroscopy", 11th Asian Photochemistry Conference (APC 2021), Korea (Online), October (2021).
8. Tahara, T., "Ultrafast dynamics at the water surface revealed by time-resolved HD-VSFG spectroscopy", 20th International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (TRVS2021), U. S. A. (Online), June (2021).
9. Tahara, T., "Vibrational dynamics of interfacial water revealed by 2D HD-VSFG spectroscopy", CMDS Webinar (Online), May (2021).
10. Mohammed, A., Nihonyanagi, S., Tahara, T., "Femtosecond two-dimensional heterodyne-detected VSFG spectroscopy: A novel technique to probe ultrafast dynamics at aqueous interfaces", International web-conference "Laser Spectroscopy and Ultrafast Science (LSUS-2021)", India (Online), April (2021).

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

1. *J. Am. Chem. Chem. Vol.* 143, No. 26, Front Cover, 2021年7月7日発行.

2. 日本経済新聞（地方経済面 関西経済）, “島津賞に理研の田原氏”, 2021年12月18日.
3. 京都新聞, “島津賞に理研・田原氏 先端分光計測で功績”, 2021年12月18日.
4. 電波新聞, “21年度島津賞受賞者を発表 理化学研の田原氏選ぶ”, 2021年12月20日.
5. 日刊工業新聞, “島津賞に理研・田原氏 島津科技振興財団 独創的な先端分光計測法 開発”, 2021年12月23日.
6. 毎日新聞（京都面）, “理化学研・田原氏「分光計測」評価”, 2022年1月10日.

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

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

1. Ohmae, N., Takamoto, M., Takahashi, Y., Kokubun, M., Araki, K., Hinton, A., Ushijima, I., Muramatsu, T., Furumiya, T., Sakai, Y., Moriya, N., Kamiya, N., Fujii, K., Muramatsu, R., Shiimado, T., and Katori, H.: “Transportable strontium optical lattice clocks operated outside laboratory at the level of  $10^{-18}$  uncertainty”, *Advanced Quantum Technologies* 4, 2100015 (2021).
2. Katori, H.: “Longitudinal Ramsey spectroscopy of atoms for continuous operation of optical clocks”, *Applied Physics Express* 14, 072006 (2021).
3. Tanaka, Y. and Katori, H.: “Exploring potential applications of optical lattice clocks in a plate subduction zone”, *Journal of Geodesy*, 95, 93 (2021).

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

1. 香取秀俊, “新しい時計が未来の物理と社会を変える”, 東京書籍「教えて！最先端の研究」2022年春号 (2022).

### (3) 招待講演 / Invited Talks

1. Katori, H., “Transportable Optical Lattice Clocks to Test and Use Gravitational Redshift”, Quantum Frontiers General Assembly 2021, オンライン, 5月18日 (2021).
2. Takamoto, M., “Test of gravitational redshift with optical lattice clocks and their applications to relativistic geodesy”, Sixteenth Marcel Grossmann Meeting, オンライン, 7月5日 (2021).
3. Katori, H., “Transportable Optical Lattice Clocks to Test and Use Gravitational Redshift”, 2021 Joint Virtual Conference of European Frequency and Time Forum & the IEEE International Frequency Control Symposium, オンライン, 7月7日-17日 (2021).
4. 香取秀俊, “原子時計研究の概要、ミッション”, 量子 ICT フォーラム 量子計測・センシング基礎講座, オンライン, 8月20日 (2021).
5. Katori, H., “Transportable Optical Lattice Clocks to Test and Use Gravitational Redshift”, MPLP-2021, The IX International Symposium, “MODERN PROBLEMS OF LASER PHYSICS”, オンライン, 8月22日-26日 (2021).
6. Katori, H., “Transportable Optical Lattice Clocks to Test and Use Gravitational Redshift”, IMEKO XXIII World congress (IMEKO2021), オンライン, 8月30日-9月3日 (2021).
7. 香取秀俊, “光格子時計が社会に与えるインパクト”, マイクロメカトロニクス学術講演会特別講演, オンライン, 9月17日 (2021).
8. 香取秀俊, “光格子時計ネットワークが切り拓く未来”, NTT R&D フォーラム 2021 技術セミナー, 収録後オンライン配信, 9月28日 (2021).
9. 香取秀俊, “光格子時計が拓く新たな時空間情報基盤”, 第33回情報伝送と信号処理ワークショップ, オンライン, 10月14日 (2021).
10. 香取秀俊, “光格子時計が拓く新たな時空間情報基盤”, 応用物理学会フォトニクス分科会 第6回フォトニクスワークショップ, オンライン, 11月5日 (2021).
11. Katori, H., “Transportable optical lattice clocks to test and use gravitational redshift”, Quantum Innovation 2021, オンライン, 12月7日 (2021).
12. 香取秀俊, “可搬型・光格子時計による重力赤方偏移の検証と利用”, 海底ケーブルの科学利用と関連技術に関する将来展望 - 第4回, オンライン, 12月9日 (2021).
13. Katori, H., “Transportable Optical Lattice Clocks to Test and Use Gravitational Redshift”, International Symposium on Novel Materials and quantum Technologies (ISNTT2021), オンライン, 12月16日 (2021).
14. 香取秀俊, “光格子時計が拓く新たな時空間情報基盤”, 一般社団法人電子情報技術産業協会招待講演「Society5.0実現 / SDGs達成に向けたセンシング技術分科会」, オンライン, 12月17日 (2021).
15. 高本将男, “光格子時計の小型化と相対論的測地技術応用”, 第5回 RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar, オンライン, 2月4日 (2022).

- 香取秀俊, “レーザー冷却技術と光格子時計”, 光センシング技術部会、日本オプトメカトロニクス協会, オンライン, 2月17日 (2022).
- 高本将男, “光格子時計の小型化と相対論的測地技術応用”, 神戸大 CPS セミナー, オンライン, 3月1日 (2022).

#### (4) 特許出願 / Patent Applications

- 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “低速原子ビーム生成装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム”, 特願 2021-066149, 2021年5月.
- 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “低速原子ビーム生成装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム”, JP2021/041036, 2021年11月.
- 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “原子ビーム生成装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム”, 特願 2022-006668, 2022年1月.
- 香取秀俊, 高本将男, 楊曉達, 辻成悟, “磁気光学トラップ装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム”, 特願 2022-014486, 2022年2月.
- 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “原子ビーム生成装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム”, JP2022/005302, 2022年2月.
- 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “原子の電子状態スプリッター、原子干渉計、原子遷移周波数測定装置、原子発振器、光格子時計、量子コンピュータおよび原子の電子状態重ね合わせ状態の生成方法”, JP2022/006110, 2022年2月.
- 香取秀俊, 高本将男, 辻成悟, “低速原子ビーム生成装置、物理パッケージ、光格子時計用物理パッケージ、原子時計用物理パッケージ、原子干渉計用物理パッケージ、量子情報処理デバイス用物理パッケージ、及び、物理パッケージシステム”, JP2022/010404, 2022年3月.

#### (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

- 株式会社 島津製作所 コミュニケーション誌ぶーめらん 第44巻, “人類の歴史を変える次世代の秒の再定義の有力候補 光格子時計を実現した物理学者の信念”, 2021年5月1日.
- Advanced Quantum Technologies, “Front Cover: Transportable Strontium Optical Lattice Clocks Operated Outside Laboratory at the Level of  $10^{-18}$  Uncertainty”, Volume4, Issue8, 2021, 2021年8月10日.
- Nature Photonics, “Ever-evolving optical lattice clocks (Breakthrough Award Winning Interview)”, Volume 15 Issue 12, December 2021, 2021年12月23日.
- BS プレミアム・BS4K, コズミックフロント “宇宙をひらく 究極の「時間」に迫れ!”, 2022年1月6日.
- BS4K コズミックフロントΩ, “アインシュタインの宿題”, 2022年3月25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

- Nakashima, A., Fujii, S., Imamura, R., Nagashima, K., and Tanabe, T.: “Deterministic generation of a perfect soliton crystal microcomb with a saturable absorber”, Optic Lett. 47, 1458-1461 (2022).
- 今村陸, 鈴木 S. L. P. 智生, 石田蘭丸, 藤井瞬, Sze Yun Se, 山下真司, 田邊孝純: “小型モード同期レーザー開発に向けたエルビウム添加微小光共振器の作製と可飽和吸収特性”, 電気学会電子・情報・システム論文誌 (C 部門誌) 142, 3, 395-400 (2022).
- Zeng, Y., Gordiichuk, P., Ichihara, T., Zhang, G., Emil, S.-R., Wetzel, E. D., Tresback, J., Yang, J., Kozawa, D., Yang, Z., Kuehne, M., Quien, M., Yuan, Z., Gong, X., He, G., Lundberg, D., Liu, P., Liu, A. T., Yang, J., Kulik, H. J., and Strano, M. S.: “Irreversible Synthesis of an Ultra-Strong Two-Dimensional Polymeric Material”, Nature 602, 91 (2022).
- Fujii, S., Tanaka, S., Ohtsuka, T., Kogure, S., Wada, K., Kumazaki, H., Tasaka, S., Hashimoto, Y., Kobayashi, Y., Araki, T., Furusawa, K., Sekine, N., Kawanishi, S., and Tanabe, T.: “Dissipative Kerr soliton microcombs for FEC-free optical communications over 100 channels”, Opt. Express 30, 1351 (2022).

- Fong, C. F., Ota Y., Arakawa, Y., Iwamoto, S., and Kato, Y. K.: "Chiral modes near exceptional points in symmetry broken H1 photonic crystal cavities", *Phys. Rev. Research* 3, 043096 (2021).
- Suzuki, T. S. L. P., Nakashima, A., Nagashima, K., Ishida, R., Imamura, R., Fujii, S., Set, S. Y., Yamashita, S., and Tanabe, T.: "Design of a passively mode-locking whispering gallery mode microlaser", *J. Opt. Soc. Am. B* 38, 3172 (2021).
- Li, Z., Otsuka, K., Yamashita, D., Kozawa, D., and Kato, Y. K.: "Quantum emission assisted by energy landscape modification in pentacene-decorated carbon nanotubes", *ACS Photonics* 8, 2367 (2021).
- Otsuka, K., Fang, N., Yamashita, D., Taniguchi, T., Watanabe, K., and Kato, Y. K.: "Deterministic transfer of optical-quality carbon nanotubes for atomically defined technology", *Nature Commun.* 12, 3138 (2021).
- Wang, S., Yang, Y., Zhang, Z., Zhang, C., Huang, X., Wang, W. J., Li, B. G., Kozawa, D. and Liu, P.: "Toward Covalent Organic Framework Metastructures", *J. Am. Chem. Soc.* 143, 13, 5003 (2021).

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

- 大塚慶吾, 加藤雄一郎, "ナノ材料を狙った位置へ正確に配置! 一原子レベルで構造が定まった物質の操作へ大きく前進", 月刊「化学」76, 48 (2021).
- 藤井瞬, "超精密機械加工技術が拓くマイクロ周波数コム応用", 応用物理学会フォトニクスニュース7, 60 (2021).
- Liu, K., Kato, Y. K., Maruyama, S., "Optical Spectroscopy of Individual Single-Walled Carbon Nanotubes", in *Progress in Nanophotonics* 6, edited by T. Yatsui, (Springer Nature, 2021), Chap. 5, p. 135-163.

## (3) 招待講演 / Invited Talks

- Kato, Y. K.: "Optical properties of 1D/2D mixed dimensional heterostructures and their integration into photonic devices", 第69回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川県相模原市, 年3月23日 (2022) .
- Imamura, R., Fujii, S., Kogure, S., Tanabe, T., "Optical frequency comb generation with microresonators and applications of WGM laser", The 42nd Annual Meeting of The Laser Society of Japan, Online, January 12 (2022).
- Kato, Y. K., "Excitons in covalently and non-covalently functionalized air-suspended carbon nanotubes", The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacifichem2021), Online, USA, December 19 (2021).
- Kato, Y. K., "Bright- and dark-exciton dynamics in carbon nanotubes", The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Pacifichem2021), Online, USA, December 18 (2021).
- Otsuka, K., Fang, N., Yamashita, D., Taniguchi, T., K. Watanabe, Kato, Y. K., "Deterministic transfer of optical-quality carbon nanotubes for atomically defined technology", The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, Online, September 3 (2021).
- Machiya, H., Yamashita, D., Ishii, A., Kato, Y. K., "Near-Unity Radiative Quantum Efficiency of Excitons in Carbon Nanotubes", 239th Electrochemical Society Meeting, Online, USA, June 2 (2021).

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

- セミナー, 瀬尾優太, 東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 生産技術研究所町田研究室博士課程, "グラフェン/h-BN ファンデルワールストーン接合における電子物性評価", 和光, 3月10日 (2022).
- セミナー, Yih-Ren Chang, 東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻長汐研究室博士課程, "Non-centrosymmetric structures in 2D Tin(II) Sulfide", 和光, 2月21日 (2022).
- セミナー, 西留比呂幸, 東京都立大学大学院理学研究科物理学専攻柳研究室博士課程, "ナノカーボン材料を用いた高次高調波発生の解明と制御", 和光, 1月21日 (2022).

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

- RIKEN RESARCH, Fall, p.11, Research Highlights, "Manipulating atomically defined nanotubes", 2021年.
- Laser Focus World Japan, "理研、原子精度で定義されたナノ物質を正確に配置", 2021年5月28日.
- TECH+, "理研 カーボンナノチューブなどのナノ材料を緻密に配置する技術を開発", 2021年5月27日.
- オプトロニクスオンライン, "理研、高品質のCNTを緻密に配置する技術を開発", 2021年5月26日.
- Architecture.net, "Engineering matter at the atomic level", 2021年5月25日.
- Tech Explorist, "Engineering matter at the atomic level", 2021年5月25日.
- ScienceDaily, "Engineering matter at the atomic level", 2021年5月25日.
- Nanowerk, "Engineering matter at the atomic level", 2021年5月25日.

9. EurekAlert AAAS Science News, "Engineering matter at the atomic level", 2021 年 5 月 25 日 .
10. Newsfeeds.Media, "Carbon Nanotube Breakthrough: Engineering Matter at the Atomic Level", 2021 年 5 月 25 日 .
11. BtoB プラットフォーム 業界 Ch, "原子精度で定義されたナノ物質を正確に配置—ナノテクノロジーを超える技術への道を拓く—", 2021 年 5 月 25 日 .

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

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

1. Xue, B., Midorikawa, K., and Takahashi, E.J.: "Gigawatt-class, tabletop, isolated-attosecond-pulse light source", *Optica* 9, 360 (2022).
2. Nishimura, K., Fu, Y., Suda, K., Midorikawa, K., and Takahashi, E.J.: "Apparatus for generation of nanojoule-class water-window high-order harmonics", *Rev. Sci. Instrum.* 92, 063001 (2021).
3. Xue, B., Tamaru, Y., Fu, Y., Yuan, H., Lan, P., Mücke, O.D., Suda, A., Midorikawa, K., and Takahashi, E.J.: "A Custom-Tailored Multi-TW Optical Electric Field for Gigawatt Soft-X-Ray Isolated Attosecond Pulses", *Ultrafast Science* 2021, 9828026 (2021).

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

1. 高橋栄治, "強力なアト秒パルスを作り出すフェムト秒光シンセサイザー", *光学*, 50 巻 12 号, 501 (2021) .

### **(3) 招待講演 / Invited Talks**

1. Takahashi, E.J., "High efficiency ultrafast soft x-ray harmonic generation which is a complementary partner to Free Electron Lasers", *High-Intensity Lasers and High-Field Phenomena*, Hungary (2022).
2. 高橋栄治, "次世代アト秒レーザー光源を実現するための理研独自のレーザー技術", 第 1 回 Q-LEAP 次世代レーザー領域シンポジウム, オンライン, 8 月 12 日 (2021) .

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

1. 5th RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar, オンライン, 2 月 4 日 (2022).

## **超短パルス電子線科学理研白眉研究チーム / Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team**

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

1. Morimoto, Y., Shinohara, Y., Ishikawa, K. L, and Hommelhoff, P.: "Atomic real-space perspective of light-field-driven currents in graphene", *New Journal of Physics* 24 033051 (2022).

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

1. 森本裕也, "解説: レーザー光による電子線制御技術の開発とアト秒イメージングへの応用: アト秒電子パルスの発生と検出", *しょうとつ*, 18, 6, 125-141 (2021).

### **(3) 招待講演 / Invited Talks**

1. 森本裕也, "アト秒電子パルスの発生と超高速イメージング応用への試み", 日本顕微鏡学会 超高分解能顕微鏡法分科会 研究会, オンライン, 2 月 18 日 (2021) .
2. Morimoto, Y., "Attosecond Electron Beams generation, detection and potential applications", *The 4th Workshop of the Reaction Infography*, オンライン, 11 月 5 日 (2021).

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

1. 第 6 回ドイツ物理学・応用物理学セミナー, オンライン, 1 月 28 日 (2022).

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

1. 日刊工業新聞 朝刊 26 面 2 段 1 枚, “ 桑原氏ら 6 人に風戸賞 風戸研究奨励会 電子顕微鏡で業績 ”, 2022 年 3 月 8 日.

## 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. Rodriguez-Gallardo, S., Sabido-Bozo, S., Ikeda, A., Araki, M., Okazaki, K., Nakano, M., Aguilera-Romero, A., Cortes-Gomez, A., Lopez, S., Waga, M., Nakano, A., Kurokawa, K., Muñoz, M., and Funato, K.: “Quality-controlled lipid-based protein sorting into selective ER exit sites”, Cell Rep. in press.
2. Hasegawa, Y., Reyes, T.H., Uemura, T., Baral, A., Fujimaki, A., Luo, Y., Morita, Y., Saeki, Y., Maekawa, S., Yasuda, S., Mukuta, K., Fukao, Y., Tanaka, K., Nakano, A., Takagi, J., Bhalerao, R., Yamaguchi, J., and Sato, T.: “TGN/EE SNARE protein SYP61 and ubiquitin ligase ATL31 cooperatively regulate carbon/nitrogen-nutrient responses in Arabidopsis”, Plant Cell 34, 1354-1374 (2022).
3. Shimizu, Y., Takagi, J., Ito, E., Ito, Y., Ebine, K., Komatsu, Y., Goto, Y., Sato, M., Toyooka, K., Ueda, T., Kurokawa, K., Uemura, T., and Nakano, A.: “Cargo sorting zones in the *trans*-Golgi network visualized by super-resolution confocal live imaging microscopy in plants”, Nat. Commun. 12, 1901 (2021).
4. Rizzo, R., Russo, D., Kurokawa, K., Sahu, P., Lombardi, B., Supino, D., Zhukovsky, M.A., Vocat, A., Pothukuchi, P., Kunnathully, V., Capolupo, L., Boncompain, G., Vitagliano, C., Marino, F.Z., Aquino, G., Montariello, D., Henklein, P., Mandrich, L., Botti, G., Clausen, H., Mandel, U., Yamaji, T., Hanada, K., Budillon, A., Perez, F., Parashuraman, S., Hannun, Y.A., Nakano, A., Corda, D., D’Angelo, G., and Luini, A.: “Golgi maturation-dependent glycoenzyme recycling controls glycosphingolipid biosynthesis and cell growth via GOLPH3”, EMBO J. 40, e107238 (2021).

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

1. Nakano, A., “The Golgi apparatus and its next-door neighbors”, Frontiers Cell Dev. Biol. in press.
2. Tojima, T., Miyashiro, D., Kosugi, Y., Nakano, A., “Super-resolution live imaging of cargo traffic through the Golgi apparatus in mammalian cells”, Methods Mol. Biol. in press.
3. Rodriguez-Gallardo, S., Kurokawa, K., Sabido-Bozo, S., Cortes-Gomez, A., Perez-Linero, A.M., Aguilera-Romero, A., Lopez, S., Waga, M., Nakano, A., Muñoz, M., “Assay for dual cargo sorting into endoplasmic reticulum exit sites imaged by 3D super-resolution confocal live imaging microscopy (SCLIM)”, PLOS ONE 16, e0258111 (2021).
4. 中野明彦, “分子夾雑の細胞生物学”, CSJ カレントレビュー, 印刷中.
5. 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).
6. 田沼精一, 中野明彦 (監修), “学びなおし 中学・高校の生物”, Newton 別冊, ニュートンプレス (2022).
7. 田沼精一, 中野明彦ほか (協力), “ゼロからわかる人体と細胞 (改訂第 2 版)”, Newton 別冊, ニュートンプレス (2022).

### (3) 招待講演 / Invited Talks

1. Nakano, A., “Super-resolution confocal live imaging microscopy (SCLIM) as a powerful tool for exosome research”, Symposium on Extracellular Fine Particles: Chemistry, Biology, and Biomedical Applications, Pacificchem 2021 (The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021), On-line, December 21 (2021).
2. Nakano, A., “Golgi apparatus and its next-door neighbors”, EMBO | Japan Virtual Lectures, On-line, August 31 (2021).

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

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

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

---

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

1. Michikawa, T., Yoshida, T., Kuroki, S., Ishikawa, T., Kakei, S., Kimizuka, R., Saito, A., Yokota, H., Shimizu, A., Itoharu, S., and Miyawaki, A.:

“Distributed sensory coding by cerebellar complex spikes in units of cortical segments”, *Cell Rep.*37(6), 109966 (2021).

## (2) 招待講演 / Invited Talks

1. 宮脇敦史, “バイオイメージング技術と泌尿器科学との交差点”, 第 109 回日本泌尿器科学会総会, パシフィコ横浜, 12 月 9 日 (2021).
2. 宮脇敦史, “色素と顕微鏡の相性”, 第 44 回日本分子生物学会年会ランチョンセミナー, パシフィコ横浜, 12 月 3 日 (2021).
3. 宮脇敦史, “Interplay between Light and Life バイオイメージングに関わる学際的技術開発”, 第 47 回日本神経内分泌学会学術集会, 奈良, 10 月 31 日 (2021).
4. 宮脇敦史, “ルミネッセンスメディカル”, 特定非営利活動法人バイオ計測技術コンソーシアム (JMAC) 第 141 回定例会, Zoom, 10 月 28 日 (2021).
5. Atsushi Miyawaki, “GENETICALLY ENCODED TOOLS FOR STEM CELL RESEARCH AND REGENERATIVE MEDICINE”, ISSCR/JSRM International Symposium, Virtual, December (2021).
6. 宮脇敦史, “革新的バイオイメージング技術”, 第 40 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT 2021), 慶応義塾大学日吉キャンパス, 10 月 15 日 (2021).

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

1. EMBO|EMBL Symposium, “Seeing is Believing: Imaging the Molecular Processes of Life”, Virtual, December (2021).

## (4) 特許出願 / Patent Applications

1. 宮脇敦史, 安藤亮子, 平野雅彦, “蛍光特性を示す新規なポリペプチド、およびその利用 (光安定性が高い蛍光タンパク質)”, PCT/JP2022/13700, 2022 年 3 月 23 日

## 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. Hu, R., Monebhurrn, V., Himeno, R., Yokota, H., and Costen, F.: “A general framework for building surrogate models for uncertainty quantification in computational electromagnetics”, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation* Vol.70, pp.1402-1414 (2022).
2. Takematsu, M., Umezawa, M., Sera, T., Kitagawa, Y., Kurahashi, H., Yamada, S., Okubo, K., Kamimura, M., Yokota, H., and Soga, K.: “Influence of the difference in refractive index on the interface of an object and the surrounding in near-infrared fluorescence tomography”, *Applied Optics* (2021).
3. Michikawa, T., Yoshida, T., Kuroki, S., Ishikawa, T., Kakei, S., Kimizuka, R., Saito, A., Yokota, H., Shimizu, A., Itoharu, S., and Miyawaki, A.: “Distributed sensory coding by cerebellar complex spikes in units of cortical segments”, *Cell Reports* 37,6 (2021).
4. Xanthos, L., Yavuz, M. E., Himeno, R., Yokota, H., and Costen, F.: “Resolution Enhancement of UWB Time-Reversal Microwave Imaging in Dispersive Environments”, *IEEE Transactions on Computational Imaging*. Vol.7, pp.925-934 (2021).
5. Chen, M., Wu, J., Li, S., Liu, J., Yokota, H., and Guo, S.: “Accurate and real-time human-joint-position estimation for a patient-transfer robot using a two-level convolutional neural network”, *Robotics and Autonomous Systems* 139(1), 103735 (2021).
6. Takamatsu, T., Kitagawa, Y., Akimoto, K., Iwanami, R., Endo, Y., Takashima, K., Okubo, K., Umezawa, M., Kuwata, T., Sato, D., Kadota, T., Mitsui, T., Ikematsu, H., Yokota, H., Soga, K., and Takemura, H.: “Over 1000 nm Near-Infrared Multispectral Imaging System for Laparoscopic In Vivo Imaging”, *Sensors* 21(8), 2649 (2021).
7. Sonoda, S., Shiihara, H., Terasaki, H., Kakiuchi, N., Funatsu, R., Tomita, M., Shinohara, Y., Uchino, E., Udagawa, T., An, G., Akiba, M., Yokota, H., and Sakamoto, T.: “Artificial intelligence for classifying uncertain images by humans in determining choroidal vascular running pattern and comparisons with automated classification between artificial intelligence”, *PLOS ONE* (2021).
8. An, G., Aloba, M., Omodaka, K., Nakazawa, T., and Yokota, H.: “Hierarchical deep learning models using transfer learning for disease detection and classification based on small number of medical images”, *Scientific Reports* (2021).
9. Yoshizawa, S., and Yokota H.: “Fast and faithful scale-aware image filters”, *The Visual Computer* Vol. 37, Issue 12, pp. 3051–3062 (2021).
10. Takahashi, K., Sun, Z., Solé-Casals, J., Cichocki, A., Huy Phan, A., Zhao, Q., Zhao, H., Deng, S., and Micheletto, R.: “Data Augmentation For Convolutional LSTM based Brain Computer Interface System”, *Applied Soft Computing* (2022).
11. Yamashita, N., Matsuno, T., Maeda, D., Kikuzuki, M., and Yokota, H.: “Efficient 3D observation of steel microstructure using serial

sectioning with precision cutting and on-site etching”, Precision Engineering Vol. 75, pp. 37-45 (2022).

12. 竹本智子, 吉澤信, 山下典理男, 森田正彦, 西村将臣, 横田 秀夫: “画像処理による細胞集団の形態と機能の定量解析”, Drug Delivery System Vol. 36, No.4, pp. 277-285 (2021).
13. Fujisaki, K., Yamashita, N., and Yokota, H.: “Multipoint indentation for material identification in three-dimensional observation based on serial sectioning”, Precision Engineering Vol. 69, pp. 62-67 (2021).
14. Hori, K., Ikematsu, H., Yamamoto, Y., Matsuzaki, H., Takeshita, N., Shinmura, K., Yoda, Y., Kiuchi, T., Takemoto, S., Yokota, H., and Yano, T.: “Detecting colon polyps in endoscopic images using artificial intelligence constructed with automated collection of annotated images from an endoscopy reporting system”, Digestive endoscopy (2021).
15. Kitrungrotsakul, T., Han, X-X., Iwamoto, Y., Takemoto, S., Yokota, H., Ipponjima, S., Nemoto, T., Wei, X., and Chen, Y.-W.: “A Cascade of 2.5D CNN and Bidirectional CLSTM Network for Mitotic Cell Detection in 4D Microscopy Image”, IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics vol. 18, no. 2, pp. 396-404 (2021).
16. Kitrungrotsakul, T., Iwamoto, Y., Takemoto, S., Yokota, H., Ipponjima, S., Nemoto, T., Lin, L., Tong, R., Li, J., and Chen, T.-W.: “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 Vol. 22, Article number: 91 (2021).
17. 堀圭介, 竹本智子, 横田秀夫, 池松弘朗, 矢野友規, “高効率な学習スキームによる胃癌の領域検出 AI”, 胃と腸 Vol. 56(4), 423-431 (2021).

## (2) 招待講演 / Invited Talks

1. Sun, Z., “スーパーコン富岳に基づく脳シミュレーション”, 静岡大学テニユアトラック浜松セミナー, (2021).

## (3) 会議、シンポジウム、セミナー主催 / Meeting, Symposiums 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, オンライン, 12月 (2021) .

## (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, “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, “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年3月25日 .
3. 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, “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 .
4. 和田智之, 佐々高史, 道川隆士, 国本幸弘, 重田将宏, “異常音判定方法、異常音判定プログラム及び異常音判定システム”, 特願 2021-158823, 2021年 .

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

---

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

1. Tanaka, T., Yano, T., and Kato, R.: “Nanostructure-enhanced infrared spectroscopy”, Nanophotonics (published online) (2021).
2. Olaya, C., Hayazawa, N., Balois-Oguchi, M., Hermosa, N., and Tanaka, T.: “Molecular Monolayer Sensing Using Surface Plasmon Resonance and Angular Goos-Hänchen Shift”, Sensors 21, 4593 (2021).
3. Luo, Y., Chu, C., Vyas, S., Kuo, H., Chia, Y., Chen, M., Shi, X., Tanaka, T., Misawa, H., Huang, Y., and Tsai, D.: “Varifocal Metalens for Optical Sectioning Fluorescence Microscopy”, Nano Letters 21, 5133-5142 (2021).
4. Katsumata, S., Tanaka, T., and Kubo, W.: “Metamaterial perfect absorber simulations for intensifying thermal gradient across a thermoelectric device”, Optics Express 29, 16396-164065 (2021).
5. Jung, W., Jung, Y., Pikhitsa, P., Feng, J., Yang, Y., Kim, M., Tsai, H., Tanaka, T., Shin, J., Kim, K., Choi, H., Rho, J., and Choi, M.: “Three-dimensional nanoprinting via charged aerosol jets”, nature 592, 54-59 (2021).

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

1. 田中拓男, “メタマテリアル吸収体と赤外分光”, 光アライアンス, 32, 37-41 (2021).

2. Yoon, G., Tanaka, T., Zentgraf, T., Rho, J., "Recent progress on metasurfaces: applications and fabrication", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 54, 383002 (2021).
3. 田中拓男, "光メタマテリアル", *日本ファイバセラミックス協会 Fine Ceramics Report (FCReport)*, 39, 55-59 (2021).
4. 田中拓男, "光メタマテリアルとその応用", *オプトニュース テクノロジートレンド*, 15 (2021).

### (3) 招待講演 / Invited Talks

1. Tanaka, T., "Metamaterials for IR spectroscopy", *Global Nanophotonics 2022 (Core-to-Core Symposium GNP2022)*, Osaka, March (2022).
2. Kato, R., Yano, T., Tanaka, T., "Visualizing Optical Fields of Dielectric-Based Metamaterials via Mid-Infrared Photothermal Imaging", *Global Nanophotonics 2022 (Core-to-Core Symposium GNP2022)*, Osaka, March (2022).
3. Yano, T., Kato, R., Tanaka, T., "Ultrasensitive plasmonic sensing of single biomolecular complexes", *Global Nanophotonics 2022 (Core-to-Core Symposium GNP2022)*, Osaka, March (2022).
4. Balois-Oguchi, M., Hayazawa, N., Tanaka, T., "Analyzing sub-nanometer strain in monolayer graphene via tip-enhanced Raman spectroscopy", *Global Nanophotonics 2022 (Core-to-Core Symposium GNP2022)*, Osaka, March (2022).
5. 田中拓男, "メタマテリアルと赤外分光", *日本分光学会 赤外・ラマン分光部会シンポジウム『超高感度振動分光の最前線』*, 徳島, 12月17日 (2021).
6. Tanaka, T., "Ultrasensitive IR spectroscopy inspired by metamaterials", *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (PacifiChem 2021)*, USA, December (2021).
7. Tanaka, T., "Ultrasensitive and Selective Gas Molecule Detection using Vertically Oriented Metamaterial Absorber", *2021 MRS Fall Meeting*, USA, November (2021).
8. Tanaka, T., "Optical metamaterial absorber and its application for ultrasensitive spectroscopy", *The 10th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology (IWAMSN 2021)*, Vietnam, November (2021).
9. Tanaka, T., "Metamaterial enhanced ultrasensitive vibrational spectroscopy techniques", *SPIE Optics+Photonics 2021*, USA, August (2021).
10. Yano, T., Tanaka, T., "Plasmon-enhanced vibrational nanoscopy for molecular imaging and analysis", *SPIE Optics+Photonics 2021*, USA, August (2021).
11. Tanaka, T., "Metasurface enhanced high-sensitive IR spectroscopy", *The 11th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META2021)*, Poland, July (2021).
12. Tanaka, T., "Optical metamaterial absorber and its application for spectroscopy", *International Conference on Nano-photonics and Nano-optoelectronics (ICNN2021)*, Japan, September (2021).

## 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. Bai, S., Ren, X., Obata, K., Ito, Y., and Sugioka, K.: "Label-Free Trace Detection of Bio-Molecules by Liquid Interface Assisted Surface-Enhanced Raman Scattering Using Microfluidic Chip", *Opto-Electron. Adv.* (in press).
2. Bai, S., Hu, A., Hu, Y., Ma, Y., Obata, K., and Sugioka, K.: "Plasmonic Superstructure Arrays Fabricated by Laser Near-Field Reduction for Wide-Range SERS Analysis of Fluorescent Materials", *Nanomaterials* 12, 970 (2022).
3. Caballero-Lucas, F., Obata, K., and Sugioka, K.: "Enhanced ablation efficiency for silicon by femtosecond laser microprocessing with GHz bursts in MHz bursts (BiBurst)", *Int. J. Extrem. Manuf.* 4, 015103 (2022).
4. Zhang, D., Li, X., Fu, Y., Yao, Q., Li, Z., and Sugioka, K.: "Liquid vortexes and flows induced by femtosecond laser ablation in liquid governing formation of circular and crisscross LIPSS", *Opto-Electron. Adv.* 5, 210066 (2022).
5. Suzuki, D., Serien, D., Obata, K., Sugioka, K., Narazaki, A., and Terasaki, N.: "Improvement in laser-based micro-processing of carbon nanotube film devices", *Appl. Phys. Express* 15, 026503 (2022).
6. Wang, H., Ji, K., Wang, Y., Liu, Z., Gao, Y., Shen, Y., Bai, S., Sugioka, K., and Qi, X.: "Anti-parity-time topologically undefined state", *New J. Phys.* 23, 123039 (2021).
7. Ma, Y., Tao, L., Bai, S., and Hu, A.: "Green Synthesis of Ag Nanoparticles for Plasmon-Assisted Photocatalytic Degradation of Methylene Blue", *Catalysts* 11, 1499 (2021).

8. Sugiyama, H., Tsunemitsu, K., Onoe, H., Obata, K., Sugioka, K., and Terakawa, M.: "Microfabrication of cellulose nanofiber-reinforced hydrogel by multiphoton polymerization", *Sci. Rep.* 11, 10892 (2021).
9. Lu, G., Wang, L., Li, H., Ji, Z., Wang, Q., Pei, X., and Sugioka, K.: "Methods for the suppression of "residual stress holes" in laser shock treatment", *Mater. Today Commun.* 28, 102486 (2021).
10. Lu, G., Li, J., Ji, Z., Li, H., Yao, C., Li, J., Sugioka, K., and Zhao, G.: "How does the pulsed laser turn into 'force'?", *Measurement* 185, 110016 (2021).
11. Zhang, C., Hanchang, Y., Wang, C., Zhang, J., Zhao, L., Zhang, H., Zhu, W., Zhai, H., Wu, D., and Sugioka, K.: "Real-time capture of single particles in controlled flow by a rapidly generated foci array with adjustable intensity and pattern", *Opt. Lett.* 46, 5308 (2021).
12. Wang, C., Hu, Z., Yang, L., Zhang, C., Zhang, L., Ji, S., Xu, L., Li, J., Hu, Y., Wu, D., Chu, J., and Sugioka, K.: "Magnetically driven rotary microfilter fabricated by two-photon polymerization for multimode filtering of particles", *Opt. Lett.* 46, 2968 (2021).
13. Obata, K., Caballero-Lucas, F., and Sugioka, K.: "Material processing at GHz burst mode by femtosecond laser ablation", *J. Laser Micro/Nanoengin.* 16, 19 (2021).

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

1. Zhnag J., Sugioka, K., "Basics and Applications of Optical Interferometers Integrated by Femtosecond Laser", *Appl. Res.* (2022). (in press)
2. Sugioka, K., "Sugioka, K. (Ed.), Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering", Vol. 1 - Vol. 3, (Springer, Berlin), (2021).
3. Xu, J., Cheng, Y., Sugioka, K., "Optics for beam shaping in laser processing", Sugioka, K. (Ed.), Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering Vol. 1, (Springer, Berlin) p.495-494 (2021).
4. Xu, J., Cheng, Y., Sugioka, K., "Basic optics and diagnostics apparatus for ultrashort pulse laser micro/nanoprocessing", Sugioka, K. (Ed.), Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering Vol. 1, (Springer, Berlin) p.671-684 (2021).
5. Serien, D., Sugioka, K., "Laser printing of biomaterials", Sugioka, K. (Ed.), Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering Vol. 3, (Springer, Berlin) p.1767-1798 (2021).
6. Sugioka, K., "Will GHz burst mode create a new path to femtosecond laser processing?", *Int. J. Extrem. Manuf.* 3, 043001 (2021).
7. Zhang, D., Zhuguo, L., Sugioka, K., "Laser ablation in liquids for nanomaterial synthesis: diversities of targets and liquids", *J. Phys. Photonics* 3, 042002 (2021).
8. Bai, S., Sugioka, K., "Recent Advances in the fabrication of highly sensitive surface-enhanced Raman scattering substrates: Nanomolar to attomolar level sensing", *Light Adv. Manuf.* 2, 13 (2021).
9. Sima, F., Sugioka, K., "Ultrafast laser manufacturing of nanofluidic systems", *Nanophotonics* 10, p.2389-2406 (2021).
10. 杉岡幸次, "フェムト秒レーザープロセッシングの最近の進展", *レーザー研究*, 50, 117-121 (2022).
11. 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", 2020 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), 159-163 (2021).
12. 小幡孝太郎, "4.3.1 パルスレーザー加工", 2020 年度「光技術動向調査報告書」((財) 光産業技術振興協会編), 214-217 (2021).

## (3) 招待講演 / Invited Talks

1. Sugioka, K., "Advanced laser processing for fabrication of functional micro and nanodevices", XIOPM-RAP Joint Webinar on Photonics, Online, November (2021).
2. Sugioka, K., Bai, S., "Hybrid femtosecond laser processing for fabrication of microfluidic SERS chip enabling attomolar sensing", 13th Int. Photonics and OptoElectronics Meetings (POEM 2021), Wuhan, China (Hybrid), November (2021).
3. Sugioka, K., Bai, S., "Metal nanostructuring inside 3D glass microfluidics by hybrid femtosecond laser processing for attomolar SERS sensing", 30th Int. Cong. on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO 2021), Web conference, October (2021).
4. Sugioka, K., Bai, S., "3D microfluidic SERS chips fabricated by hybrid femtosecond laser processing for attomolar sensing", 4th Int. Conf. on Ultrafast Optical Science (UltrafastLight-2021), Moscow, Russia (Hybrid), October (2021). Plenary talk
5. Sugioka, K., Caballero-Lucas, F., Obata, K., "Improvement of Fabrication Resolution in Multi-Photon Polymerization by Using GHz Burst Mode", 29th International conference on Advanced Laser Technology (ALT 21), Moscow, Russia (Hybrid), September (2021).
6. Sugioka, K., Sima, F., Kawano, H., Miyawaki, A., "Femtosecond laser 3D processing: fabrication of manofluidics for mechanism study of cancer cell metastasis", 2nd Int. Workshop on Frontiers in Lasers and Applications (FLA-2), Online, July (2021). Keynote talk
7. Sugioka, K., "Advanced femtosecond laser micro and nanoprocessing", 2nd Int. Summit on Photonics & Laser Technol. (Optics & Lasers 2021), Online, June (2021). Keynote talk

8. Sugioka, K., "Ultrafast laser processing: Recent progress and future perspective", 6th UKP-Workshop: Ultrafast Laser Technology, Online, April (2021).
9. 杉岡幸次, "フェムト秒レーザー 3次元加工と高性能マイクロデバイス作製への応用", バイオミメティクス加工技術研究会第6回インタラクティブシンポジウム, オンライン, 3月2日 (2022).
10. 小幡孝太郎, Francesc Caballero-Lucas, 杉岡幸次, "GHzバーストモードフェムト秒レーザーパルスによる材料加工", 第96回レーザー加工学会講演会, オンライン, 1月18日 (2022). 特別講演
11. 杉岡幸次, "レーザー加工分野の最新動向", 令和3年光産業技術振興協会光産業動向セミナー, オンライン, 7月2日 (2021).
12. 杉岡幸次, "フェムト秒レーザー 3次元加工と応用", レーザ協会第190回研究会, オンライン, 5月26日 (2021).

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

1. 2nd Int. Workshop on Frontiers in Lasers and Applications (FLA-2), Online, July (2021).

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

1. 杉岡幸次, 光産業技術振興協会功労者表彰.
2. 杉岡幸次, 応用物理学会フェロー表彰.
3. 杉岡幸次, Outstanding Paper Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2020 受賞.
4. 杉岡幸次, Best Editor Award of International Journal of Extreme Manufacturing in 2020 受賞.
5. Bai, S., 第6回フォトリクスワークショップ「光が拓く科学技術の未来!!」, 優秀プレゼンテーション賞受賞.
6. Bai, S., RIKEN, The 13th Research Incentive Award 受賞.
7. Zhang, D., Li, X., Fu, Y., Yao, Q., Li, Z., Sugioka, K., "Liquid vortexes and flows induced by femtosecond laser ablation in liquid governing formation of circular and crisscross LIPSS". が Opto-Electron. Adv. 5 (2022). の Front Cover Page に掲載.

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

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

1. Takida, Y., Nawata, K., Notake, T., Otsuji, T., and Minamide, H.: "Optical up-conversion-based cross-correlation for characterization of sub-nanosecond terahertz-wave pulses", Opt. Express 30, 11217–11227 (2022).
2. Minamide, H., Nawata, K., Moriguchi, Y., Takida, Y., and Notake T.: "Injection-seeded terahertz-wave parametric generator with timing stabilized excitation for nondestructive testing applications", Rev. Sci. Instrum. 92, 093002 (2021).
3. Shibuya, K., Nawata, K., Nakajima, Y., Fu, Y., Takahashi, E., Midorikawa, K., Yasui, T., and Minamide, H.: "Characteristics of nonlinear terahertz-wave radiation generated by mid-infrared femtosecond pulse laser excitation", Appl. Phys. Express 14, 092004 (2021).
4. Han, Z., Ohno, S., and Minamide, H.: "Electromagnetic wave tunneling from metamaterial antiparallel dipole resonance", Adv. Photonics Res. 2, 2000186 (2021).

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

1. 縄田耕二, 瀧田佑馬, 野竹孝志, 南出泰垂, "バックワード・テラヘルツ波パラメトリック発振におけるカスケード波長変換", 応用物理, 91, 32–36 (2022).
2. 南出泰垂, "「多様化するテラヘルツ波光源とその応用」をまとめるにあたって", 日本赤外線学会誌, 31(2), 5 (2022).
3. 縄田耕二, 瀧田佑馬, 野竹孝志, 南出泰垂, "高効率バックワード・THz波パラメトリック光源とその応用", 日本赤外線学会誌, 31(2), 14–21 (2022).
4. 南出泰垂, "後進テラヘルツ波パラメトリック光源", CSJ 42 Current Review42 赤外線の化学利用 - 近赤外からテラヘルツまで -, 32–36 (2021).
5. 瀧田佑馬, 齊藤輝雄, 清紀弘, "a. 光源", 日本赤外線学会誌, 31(1), 63–68 (2021).

#### (3) 招待講演 / Invited Talks

1. Minamide, H., "Leading-edge THz-wave research opened up by nonlinear photon-conversion devices", 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental and Applied Problems of Terahertz Devices and Technologies (RJUSE TeraTech-2021), Japan, November (2021).

- Minamide, H., "Advanced optical parametric oscillator to generate tunable terahertz waves", The IX International Symposium "Modern Problems of Laser Physics (MPLP2021)", Online, August (2021).
- Minamide, H., "High-brightness terahertz-wave parametric sources for nondestructive application", The 12th International Conference on Information Optics and Photonics (CIOP2021), Online, July (2021).
- Minamide, H., "High-brightness backward terahertz-wave parametric oscillators for 3D nondestructive applications", CLEO:2021, Online, May (2021).
- 縄田耕二, "高効率小型テラヘルツ波パラメトリック光源とその応用", レーザ協会第 192 回研究会 先端レーザ光源と応用技術, オンライン, 2月 21 日 (2022).
- 南出泰亜, "最先端テラヘルツ波研究-非線形光学効果を用いた光量子変換-", A-STEP「自由曲面の研磨を可能とする熱可塑性樹脂ボンド砥石による脆性材料の加工技術」研究報告会, 仙台, 12月 28 日 (2021).
- 大野誠吾, "人工構造の立体性に基づくテラヘルツ波制御", 電子情報通信学会研究会 ED 研・THz 研共催, 仙台, 12月 20 日 (2021).
- 南出泰亜, 大野誠吾, 韓正利, "薄膜型テラヘルツ波制御素子の研究開発", 令和 3 年度日本分光学会中部支部北陸ブロック福井地区講演会 (第 25 回 2021 年度 福井セミナーと併催), オンライン, 8月 13 日 (2021).

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

- 理研シンポジウム「光量子工学研究」, オンライン, 2月 28 日 -3 月 1 日 (2022).
- 2021 年度理研- NICT 合同テラヘルツワークショップ, オンライン, 1月 12 日 (2022).

#### (5) 特許出願 / Patent Applications

- 縄田耕二, 南出泰亜, "ダイクロイックミラー及び光学調整方法", 特願 2022-21012, 2022 年 2 月 15 日.

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

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

- [Review] 坪内雅明, 山崎祥他, 保科宏道, 永井正也, 磯山悟朗: "テラヘルツ自由電子レーザーによる水中音響波発生とその応用", 光学, 50 巻, 12 号, 509-516 (2022).
- Sueno, Y., Honda, S., Kutsuma, H., Mima, S., Otani, C., Oguri, S., Suzuki, J., and Tajima, O.: "Characterization of two-level system noise for a microwave kinetic inductance detector comprising niobium film on a silicon substrate", Prog. Theor. Exp. Phys. 2022, 033H01 (2022).
- Ikeda, S., Yamashita, M., and Otani, C.: "Hot carrier dynamics and electron-phonon coupling in photoexcited graphene via time-resolved ultrabroadband terahertz spectroscopy", Phys. Rev. Research 3, 043143 (2021).
- Yamashita, M., and Otani, C.: "Intrinsic and extrinsic effects on intraband optical conductivity of hot carriers in photoexcited graphene", Phys. Rev. Research 3, 013150 (2021).
- [Review] Feng, C. H., and Otani, C.: "Terahertz spectroscopy technology as an innovative technique for food: Current state-of-the-art research advances", Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 61, 2523 (2021).
- Feng, C. H., Otani, C., Ogawa, Y., and García-Martín, J. F.: "Evaluation of properties in different casings modified by surfactants and lactic acid using terahertz spectroscopy-A feasibility study", Food Control 127, 108152 (2021).
- Yamazaki, S., Ueno, Y., Hosoki, R., Saito, T., Idehara, T., Yamaguchi, Y., Otani, C., Ogawa, Y., Harata, M., and Hoshina, H.: "THz irradiation inhibits cell division by affecting actin dynamics", PloS One 16, e0248381 (2021).
- Hoshina, H., Yamazaki, S., Tsubouchi, M., and Harata, M.: "Terahertz irradiation effects on the morphology and dynamics of actin biopolymer", J. Phys. Photonics 3, 034015 (2021).
- Lee, K., Génova-Santos, R. T., Hazumi, M., Honda, S., Kutsuma, H., Oguri, S., Otani, C., Peel, M. W., Suzuki, J., Tajima, O., and Won, E.: "A forecast of the sensitivity on the measurement of the optical depth to reionization with the GroundBIRD experiment", Astrophys J. 915, 88 (2021).
- Wang, L., Lin, T.T., Chen, M.X., Wang, K., and Hirayama, H.: "Engineering of electron-longitudinal optical phonon coupling strength in m-plane GaN terahertz quantum cascade lasers", Appl. Phys. Express 14, 112003 (2021).
- Wang, L., Lin, T.T., Chen, M.X., Wang, K., and Hirayama, H.: "Leakages suppression by isolating the desired quantum levels for high temperature terahertz quantum cascade lasers", Sci. Rep. 10, 1038 (2021).

12. Otani, C., Ikari, T., and Sasaki, Y.: "Development of 300 GHz walk-through body scanner for the security gate applications", Proc. SPIE 11827, 11827N (2021).
13. Momiyama, H., Sasaki, Y., Yoshimine, I., Nagano, S., Yuasa, T., and Otani, C.: "Depth super-resolved imaging of infrastructure defects using a terahertz-wave interferometer", NDT & E International. 120, 102431 (2021).

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

1. Feng C.H., Otani, C., García-Martín, J. F., "Flavonoids as a starting point for therapeutics against COVID-19: Current state of the art research advances", The Book of Flavonoids (2021).
2. 保科宏道, "第 I 部 第 1 章 Basic concept : テラヘルツ光の科学の基礎概念", 赤外線化学利用 近赤外からテラヘルツまで (日本化学会編), 化学同人 (2021).
3. 保科宏道, "第 I 部 第 2 章 Interview : フロントランナーに聞く", 赤外線化学利用 近赤外からテラヘルツまで (日本化学会編), 化学同人 (2021).
4. 保科宏道, "第 II 部 第 11 章 生体高分子の THz 光照射影響", 赤外線化学利用 近赤外からテラヘルツまで (日本化学会編), 化学同人 (2021).
5. [対談記事] Feng C.H., Moravec, E., Nanut, T., Raducha, T., Reshef, O., Sivakumar, C., Williams, L.N. A., "The spectrum of early career physics", Nat. Rev. Phys. 3, 772-776 (2021).
6. 椴山誉, "テラヘルツ OCT によるインフラ構造物壁面検査技術の開発", 光アライアンス, 2021 年 12 月号 (2021).
7. 保科宏道, "テラヘルツ分光で見る高分子の構造とダイナミクス", 高分子, 70, 436-440 (2021).
8. 大谷知行, "テラヘルツ波センシング・イメージング技術と応用", 表面技術, 72, 429-432 (2021).
9. 大谷知行, "二重の変革の時期を迎えて", テラヘルツテクノロジーフォーラム通信, 19, 1 (2021).

## (3) 招待講演 / Invited Talks

1. Otani, C., Ikari, T., Sasaki, Y., "Development of 300 GHz walk-through body scanner for the security-gate application", International Symposium on Future Trends of Terahertz Semiconductor Technologies 2022 (TST2022), Kyoto and online, Japan, March 5-6 (2022).
2. Otani, C., Ikari, T., Sasaki, Y., "Development of 300 GHz walk-through body scanner", 9th Russia-Japan-USA-Europe symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE 2021), Sendai and online, Japan, November 1-4 (2021).
3. 大谷知行, "テラヘルツ技術の最近の動向", 日本オプトメカトロニクス協会 フォトンテクノロジー技術部会 2021 年度第 2 回講演会, Online, 10 月 6 日 (2021).
4. 保科宏道, "Dynamics of bound water in macromolecules studied by THz spectroscopy", 令和 3 年度化学系学協会東北大会, Online, 10 月 2-3 日 (2021).
5. 大谷知行, "ミリ波・テラヘルツ波レーダーを用いた 3D イメージング", 令和 3 年度日本分光学会中部支部北陸ブロック福井地区講演会, Online, 8 月 13 日 (2021).
6. Otani, C., Ikari, T., Sasaki, Y., "Development of 300 GHz walk-through body scanner", SPIE Optics+Photonics, Terahertz Emitters, Receivers and Applications, Online (Hybrid 開催), August 1-5 (2021).
7. Hoshina, H., Yamazaki, S., Tsubouchi, M., Harata, M., "Effects of Terahertz irradiation to the morphology and dynamics of actin biopolymer", E-MRS Spring meeting 2021, Online, May 31 (2021).
8. 大谷知行, "テラヘルツ波によるイメージング・センシング応用と展望", 電子情報通信学会 Webinar テクノロジートレンドシリーズ, Online, 4 月 9 日 (2021).

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

1. [セミナー主催] 第 13 回テラヘルツビジネスセミナー, 参加者 約 100 名 (現地約 35 名, オンライン約 65 名), 東京 (ハイブリッド開催), 10 月 27 日 (2021).
2. [展示会出展] 大谷知行, 佐々木芳彰, 碓智文, "〜 JST-ACCEL プログラム〜 300 GHz 帯テラヘルツウォークスルーボディースキャナーの研究開発", 展示会 All About Photonics, 東京, 10 月 27-29 日 (2021).

## (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. 応用物理学会誌の表紙に GroundBIRD 望遠鏡が紹介される, 2022 年 1 月号.
2. 月刊星ナビ, 2021 年 8 月号, pp. 60-61, "マユコの星ナビ ch 突撃! ラボ訪問 #12 「宇宙の始まりを望遠鏡で観る? 『観測的宇宙論』の世界", 2021 年 7 月 5 日.

3. YouTube, “【星ナビ】ビッグバンより昔の宇宙を観測で探る！小栗秀悟さんインタビュー【マユコラボ vol.12】”, 2021年7月5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. Yun, J., Lin, T. T., and Hirayama, H.: “Surface-emitting photonic crystal terahertz quantum cascade laser adopting uniform triangular prism photonic crystal with a double-metal waveguide”, Japanese Journal of Applied Physics (2022).
2. Wang, L., Lin, T. T., Wang, K., Grange, T., and Hirayama, H.: “Leakages suppression by isolating the desired quantum levels for high temperature terahertz quantum cascade lasers”, Scientific reports 11, 23634 (2021).
3. Wang, L., Lin, T. T., Wang, K., Grange, T., and Hirayama, H.: “Engineering of electron–longitudinal optical phonon coupling strength in m-plane GaN terahertz quantum cascade lasers”, Applied physics Express 14, 112003 (2021).
4. Zhenhua, L., Pengfei, S., Yaozheng, W., Genjun, S., Tao, T., Zili, W., Peng, C., Yugang, Z., Xiangqian, X., Dunjun, C., Bin, L., Wang, K., Youdou, Z., Rong, Z., Lin, T. T., Wang, L., and Hirayama, H.: “Plasma assisted molecular beam epitaxy growth mechanism of AlGaIn epilayers and strain relaxation on AlN templates”, Japanese Journal of Applied Physics 60, 075504 (2021).
5. Khan, M. Ajmal., Maeda, N., Itokazu, Y., Jo, M., and Hirayama, H.: “High injection current density via Al-graded undoped-AlGaIn cladding layer and Al-graded p-AlGaIn hole source layer in AlGaIn UVB LEDs”, Proceedings of SPIE 11891 (2021).

### (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”, 光アライアンス, 32, 9-14 (2021).
2. 平山秀樹, “ウィルスを不活化するこれからの時代の LED”, Beyond Health, Key Person (2021).
3. 平山秀樹, “総論：コロナ社会に期待される深紫外光源”, オプトロニクス誌, 6, 120-122 (2021).

### (3) 招待講演 / Invited Talks

1. [Keynote] Kjan, M. Ajmal., Maeda, N., Itokazu, Y., Jo, M., Hirayama, H., “Exploring to the AlGaIn-based far-UVC LEDs for SARS CoV-2 deactivation instead of using toxic mercury UV lamps”, V-Optics2021, Online, October (2021).
2. Kjan, M. Ajmal., Maeda, N., Itokazu, Y., Jo, M., Hirayama, H., “Progress on p-AlGaIn UVB LEDs and our approach toward the real world applications”, International Conference on Global Challenges in Sustainable Energy and Environment, The Women University Multan, Pakistan, May (2021).
3. Hirayama, H., Kashima, Y., Maeda, N., Jo, M., Kjan, M. Ajmal., “Recent progress of high-efficiency AlGaIn deep-UV LED”, Conference on Lasers and Electro-Optics 2021 (CLEO 2021), San Jose, Online conference, May (2021).
4. 平山秀樹, “ポストコロナ社会を支える深紫外 LED の開発”, InterAqua2022, 東京, 1月26日 (2022).
5. 【基調講演】平山秀樹, “深紫外及びテラヘルツ発光素子の最近の進展と展望”, ソニー株式会社, 1月19日 (2022).
6. 平山秀樹, “対策に期待される高出力深紫外 LED の開発”, フォトニクス技術フォーラム第3回研究会, オンライン開催, 11月30日 (2021).
7. 平山秀樹, “コロナ社会に期待される深紫外 LED”, 光とレーザーの科学技術フェア 2021, 紫外線セミナー ポストコロナ時代の紫外線技術, 東京, 11月19日 (2021).
8. 平山秀樹, 林宗澤, 王利, 王科, 陳明曦, “GaAs 系及び GaN 系テラヘルツ量子カスケードレーザーの進展”, 電気学会「高機能化合物半導体エレクトロニクス技術と将来システムへの応用」専門調査委員会, オンライン研究会, 8月23日 (2021).
9. 平山秀樹, “AlGaIn 深紫外 LED の進展と展望—ポストコロナ社会への期待—”, 一般社団法人日本オプトメカトロニクス協会 フォトンテクノロジー技術部会, オンライン研究会, 6月21日 (2021).
10. 林宗澤, “高出力テラヘルツ QCL の進展”, テラヘルツ波科学技術と産業開拓第182委員会 第45回研究会, オンライン開催, 4月8日 (2021).

### (4) 特許出願 / Patent Applications

1. Yun, J., Lin Tsung-Tse, 平山秀樹, “量子カスケードレーザー素子”, 特願 2021-184428, 2021年11月11日.
2. 定昌史, 平山秀樹, “紫外発光ダイオードおよびそれを備える電気機器”, 特願 2021-127756, 2021年8月3日.
3. 王利, 林宗澤, 平山秀樹, “量子カスケードレーザー素子”, 特願 2021-092638, 2021年6月1日.

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

1. Fujii, K., Goto, T., Nakamura, S., and Yao T.: "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).
2. Kato, K., Miyata, K., and Petrov V.: "Refined Sellmeier equations for AgGaSe<sub>2</sub> up to 18 μm", Applied Optics Vol.60, No.4, pp.805-808 (2021).
3. Yasui, H., kabayama, S., Tachibana, T., Yumoto, M., Ogawa, T., Watanabe, Y. and Wada, S.: "Evaluation of Effect of Platinum Nanoparticles 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).
4. Louchev, O., and Wada, S.: "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. 1416-1434 (2021).
5. Bacholle, S., Barrillon, P., Battisti, M., Belov, A., Bertaina, M., Bisconti, F., Blaksley, C., Blin-Bondil, S., Cafagna, F., Cambie, G., Capel, F., Casolino, M., Crisconio, M., Churilo, I., Cotto, G., de la Taille, C., Djakonow, A., Ebisuzaki, T., Fenu, F., Franceschi, A., Fuglesang, C., Gorodetzky, P., Haungs, A., Kajino, F., Kasuga, H., Khrenov, B., Klimov, P., Kochevasov, S., Kuznetsov, V., Marcelli, L., Marszal, W., Mignone, M., Mascetti, G., Miyamoto, H., Murashov, A., Napolitano, T., Olinto, A., Ohmori, V. H., Osteria, G., Panasyuk, M., Porfilio, M., Poroshin, A., Parizot, E., Picozza, P., Piotrowski, L. W., Plebaniak, Z., Prevot, G., Przybylak, M., Reali, E., Ricci, M., Sakaki, N., Shinozaki, K., Szabelski, J., Takizawa, Y., Turriziani, S., Traiche, M., Valentini, G., Wada, S., Wiencke, L., Yashin, I., and Zuccaro-Marchi, A.: "Mini-EUSO Mission to Study Earth UV Emissions on board the ISS", Astrophys. J. Suppl. Ser., 253, 36 (2021).
6. Narayanan, V.L., Nozawa, S., Oyama, S., Mann, I., Shiokawa, K., Otsuka, Y., Saito, N., Wada, S., Kawahara, T.D., and Takahashi, T.: "Formation of an additional density peak in the bottom side of the sodium layer associated with the passage of multiple mesospheric frontal systems", Atmospheric Chem. Phys., 21, 2343-2361 (2021).
7. Lo, C.W., Takeshima, S.N., Okada, K., Saitou, E., Fujita, T., Matsumoto, Y., Wada, S., Inoko, H., and Aida, Y.: "Association of bovine leukemia virus-induced lymphoma with BoLA-DRB3 polymorphisms at DNA, amino acid, and binding pocket property levels", Pathogens 10, 437 (2021).
8. Lo, C.W., Matsuura, R., Iimura, K., Wada, S., Shinjo, A., Benno, Y., Nakagawa M., Takei, M., and Aida, Y.: "UVC disinfects SARS-CoV-2 by induction of viral genome damage without apparent effects on viral morphology and proteins", Scientific Reports 11, 13804 (2021).
9. Tsuyama, S., Taketani, A., Murakami, T., Sakashita, M., Miyajima, S., Ogawa, T., Wada, S., Maeda, H., and Hanada, Y.: "Quantitative prediction of a functional ingredient in apple using Raman spectroscopy and multivariate calibration analysis", Appl. Phys. B 127, 92 (2021).
10. Giang, H., Sassa, T., Fujihara, T., Tsujimura, S., Kinashi, K., Sakai, W., Wada, S., and Tsutsumi, N.: "Triphenylamine-based plasticizer in controlling traps and photorefractivity enhancement", ACS Appl. Mater. 3, 2170-2177 (2021).
11. Lo, C.W., Takeshima, S., Wada, S., Matsumoto, Y., and Aida, Y.: "Bovine major histocompatibility complex (BoLA) heterozygote advantage against the outcome of bovine leukemia virus infection", HLA 98, 132-139 (2021).
12. Matsuura, R., Lo, C.W., Wada, S., Somei, J., Ochiai, H., Murakami, T., Saito, N., Ogawa, T., Shinjo, A., Benno, Y., Nakagawa, M., Takei, M., and Aida, Y.: "SARS-CoV-2 disinfection of air and surface contamination by TiO<sub>2</sub> photocatalyst-mediated damage to viral morphology, RNA, and protein", Viruses 13, 942 (2021).
13. Yumoto, M., Kawata, Y., Abe, T., Matsuyama, T., and Wada, S.: "Non-destructive mid-IR spectroscopy with quantum cascade laser can detect ethylene gas dynamics of apple cultivar 'Fuji' in real time", Sci. Rep. 11, 20695 (2021).

**(2) 招待講演 / Invited Talks**

1. Aikawa, S., Yumoto, M., Saito, T., Wada, S., "Mid-infrared tunable laser based on Cr<sup>2+</sup> doped II-VI chalcogenide", The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-8), Online, March (2021).
2. Murakami, T., Saito, N., Ogawa, T., Tsuno, K., Sakashita, M., Wada, S., "Simultaneous laser measurement of the velocity and size of speech-generated droplets", OPIC2021 Laser Solutions for Space and the Earth 2021, Online, April (2021).
3. Aida, Y., Matsuura, R., Lo, C.W., Somei, J., Ochiai, H., Iimura, K., Nakazawa, M., Takei, M., Benno, Y., Murakami, T., Saito, N., Ogawa, T., Shinjo, A., Wada, S., "Light-based disinfection for SARS-COV2", OPIC2021 Laser Solutions for Space and the Earth 2021, Online, April (2021).

4. Iimura, K., Takei, M., Gon, Y., Sakamoto, T., Wada, S., "The effect of the UV sterilization robot UVBuster on the SARSCoV-2", OPIC2021 Laser Solutions for Space and the Earth 2021, Online, April (2021).
5. Fukushima, T., Hirata, D., Adachi, K., Itaya, Y., Yamada, J., Tsuno, K., Ogawa, T., Wada, S., Ebisuzaki, T., "End-of-Life Deorbit Service with a Pulsed Laser Onboard a Small Satellite", OPIC2021 Laser Solutions for Space and the Earth 2021, Online, April (2021).
6. Saitoh, K., Taketani, A., Murakami, T., Sakashita, M., Miyajima, S., Ogawa, T., Wada, S., Maeda, H., Hanada, Y., "Noninvasive quantitative prediction of functional ingredient in apple using Raman spectroscopy and multivariate calibration", OPIC2021 Laser Solutions for Space and the Earth 2021, Online, April (2021).
7. 和田智之, "飛沫計測システムの開発", 理研シンポジウム 第8回光量子工学研究, 理研光量子工学研究センター, オンライン, 3月9日 (2021).
8. 和田智之, "マイクロ飛沫計測のための小型気流計測システムの開発", 第5回新機能イメージングデバイスおよび周辺技術分科会, オンライン, 10月12日 (2021).
9. 湯本正樹, 斎藤徳人, 和田智之, "Cr<sup>2+</sup> + 添加カルコゲン化物を用いた中赤外レーザー", レーザー学会学術講演会 第41回年次大会, レーザー学会, オンライン, 1月19日 (2021).
10. 大石裕, 斎藤徳人, 和田智之, 三宅康博, 岩崎雅彦, "大強度パルスライマン $\alpha$ 真空紫外光源の開発と課題", レーザー学会学術講演会 第41回年次大会, レーザー学会, オンライン, 1月19日 (2022).
11. 和田智之, "紫外線によるコロナウイルスの不活化", 紫外線セミナー 光とレーザーの科学技術フェア 2021, 東京, 11月19日 (2021).
12. 和田智之, "光を利用したスマート農業現状と将来", 光技術×スマート農業, オプトロニクスWEBセミナー, オンライン, 8月27日 (2021).
13. 和田智之, "スマート農業", OPIE'21 カーボンニュートラルと光・レーザー技術セミナー, OPIE'21, 横浜, 6月30日 (2021).

### (3) 特許出願 / Patent Applications

1. 小川貴代ほか, "エアシャワー装置", 2021-164967, 2021年10月6日.
2. 小川貴代ほか, "エアシャワー装置及びその作動方法", 2021-165043, 2021年10月6日.
3. 和田智之ほか, "レーザー増幅媒体及びレーザー増幅媒体の製造方法", 2021-097759, 2021年6月11日.
4. 佐々高史ほか, "異常音判定方法、異常音判定プログラム及び異常音判定システム", 2021-158823, 2021年9月29日.
5. 和田智之ほか, "感染リスク推定方法及び感染リスク推定装置", 2021-012319, 2021年1月28日.
6. 和田智之ほか, "エアシャワー装置及びその作動方法", 2021-165043, 2021年10月6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. Heacock, B., Fujiie, T., Haun, R.W., Henins, A., Hirota, K., Hosobata, T., Huber, M.G., Kitaguchi, M., Pushin, D.A., Shimizu, H., Takeda, M., Valdillez, R., Yamagata, Y., and Young, A.R.: "Pendellosung interferometry probes the neutron charge radius, lattice dynamics, and fifth forces", Science 373, 1239-1243 (2021).
2. Funama, F., Hino, M., Oda, T., Endo, H., Hosobata, T., Yamagata, Y., Tasaki, S., and Kawabata, Y.: "A study of Focusing TOF-MIEZE Spectrometer with Small-angle Neutron Scattering", Proc. 3rd J-PARC Symposium (J-PARC2019) JPS Conf. Proc. 33, 011088 (2021).
3. 段昊, 森田晋也, 細島拓也, 竹田真宏, 山形豊: "リアルタイム座標取得による非軸対称非球面形状の多軸同時制御超精密加工の精度予測", 砥粒加工学会誌, 66(2), 89-96 (2022).
4. Duan, H., Morita, S., Hosobata, T., Takeda, M., and Yamagata, Y.: "Profile measurement using confocal chromatic probe on ultrahigh precision machine tool", Int.J.of Automation Technology Vol.15 No.2, pp.225-233 (2021).

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

1. VCAD システム研究会 "第11回光学素子分科会", 和光 (リモート開催), 3月8日 (2022).
2. VCAD システム研究会 "第10回光学素子分科会", 和光 (リモート開催), 4月23日 (2021).

### (3) 特許出願 / Patent Applications

1. 海老塚昇, 岡本隆之, 山形豊ほか, "回折格子の製作方法", 2022年2月21日.
2. 山形豊, 森田晋也, ほか, "ガラス成形用金型及びガラス成形物の成形方法", 2021年9月2日.

3. 山形豊, 石山英二, 船田浩良, “ガラス成形シミュレーションソフトウェア”, (著作権), 2021年3月9日.

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

1. Scientific American, "New Universal Force Tested by Blasting Neutrons through Crystal", 2021年10月12日.
2. Gigazine, "中性子ビームを用いた最新の分析がシリコン結晶の特性や「第5の力」に関する知見をもたらす", 2021年9月15日.

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

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

1. Yan, M., Ma, B., Hashiguchi, T., Taketani, A., Iwamoto, C., Wakabayashi, Y., Fujita, K., Takanashi, T., Takamura, M., Kobayashi, T., Ikeda, S., Mizuta, M., Ikeda, Y., and Otake, Y.: "Investigation of Dose Rate Distribution in an Experimental Hall of a RIKEN Accelerator-Driven Compact Neutron Source Based on the  ${}^9\text{Be}(p, n)$  Reaction With 7 MeV Proton Injection", IEEE. Trans. Nucl. Sci. Volume 69, Issue 2, pp118-125 (2022).
2. Fujiwara, T., Miyoshi, H., Mitsuya, Y., Yamada, L. N., Wakabayashi, Y., Otake, Y., Hino, M., Kino, K., Tanaka, M., Oshima, N., and Takahashi, H.: "Neutron Flat-Panel Detector using In-Ga-1 Zn-O Thin-Film Transistor", Rev. Sci. Instrum. Vol.93, pp013304 -01-08 (2022).
3. Wakabayashi, Y., Yan, M., Takamura, M., Ooishi, R., Watase, H., Ikeda, Y., and Otake, Y.: "Conceptual study of salt-meter with 252Cf neutron source for on-site inspection of bridge structure", J. Neutron Res. vol. 23, no. 2-3, pp. 207-213 (2021).
4. Okamoto, T., Igari, T., Fukui, T., Tozawa, R., Gotoh, Y., Sato, N., Okuno, Y., Kobayashi, T., Imaizumi, M., and Akiyoshi, M.: "Gamma-ray irradiation effects on CdTe solar cell dosimeter", J. Appl. Phys. 60, SB (2021).
5. Otake, Y.: "RIKEN Accelerator-driven compact Neutron systems, RANS project -RANS, RANS-II, III, RANS-  $\mu$  -", J. Neutron Res. vol. 23, no. 2-3, pp.119-125 (2021).
6. 藤田訓裕, 岩本ちひろ, 高梨宇宙, 大竹淑恵, 野田秀作: "散乱中性子イメージング法を用いた道路橋床版の滞水・土砂化検知システム", 日本材料学会第21回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文集 Vol. 21, pp484-489 (2021).
7. 大竹淑恵: "理研小型中性子源システム RANS プロジェクトとインフラ非破壊観察技術開発", コンクリート工学会「中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム」論文集 pp190-195 (2021).
8. 若林泰生, Mingfei Yan, 岩本ちひろ, 藤田訓裕, 水田真紀, 高村正人, 大石龍太郎, 渡瀬博, 池田裕二郎, 大竹淑恵: "小型中性子源 RANS ならびにカリフォルニウム線源を利用したコンクリート構造物の塩害に対する非破壊検査装置の開発", コンクリート工学会「中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム」論文集 pp202-209 (2021).
9. 藤田訓裕, 岩本ちひろ, 高梨宇宙, 大竹淑恵: "小型加速器を用いた中性子散乱イメージングによる橋梁構造物の非破壊検査", コンクリート工学会中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム論文集 pp196-201 (2021).
10. Li, X., Ikeda, Y., Kobayashi, T., Wang, S., and Otake, Y.: "Study on the edge-cooling target structure for transportable accelerator-driven neutron source", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. Vol.1017,165793, pp1-9 (2021).
11. Watanabe, A., Nakai, S., Wada, Y., Sekiguchi, K., Deltuva, A., Akieda, T., Etoh, D., Inoue, M., Inoue, Y., Kawahara, K., Kon, H., Miki, K., Mukai, T., Sakai, D., Shibuya, S., Shiokawa, Y., Taguchi, T., Umetsu, H., Utsuki, Y., Watanabe, M., Goto, S., Hatanaka, K., Hirai, Y., Ino, T., Inomoto, D., Inoue, A., Ishikawa, S., Itoh, M., Kanda, H., Kasahara, H., Kobayashi, N., Maeda, Y., Mitsumoto, S., Nakamura, S., Nonaka, K., Ong, J. H., Oshiro, H., Otake, Y., Sakai, H., Taketani, A., Tamii, A., Tran, T. D., Wakasa, T., Wakabayashi, Y., and Wakui T.: "Proton- 3He elastic scattering at intermediate energies", Phys. Rev. Vol.C 103, pp44001-1-9 (2021).
12. 鈴木浩明, 水田真紀, 上原元樹, 大竹淑恵: "コンクリートの断面修復部における水分挙動と鉄筋腐食", JCI 年次論文 43(1), 413-418 (2021).
13. 菊地晃平, 酒井雄也, 水田真紀, 大竹淑恵: "コンクリート内の水分浸透性状に高炉スラグ微粉末が与える影響の中性子イメージングによる検討", JCI 年次論文 43(1), 101-106 (2021).

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

1. 大竹淑恵, 水田真紀, "小型中性子源の開発と維持管理への活用最前線", コンクリート工学 Vol.60, No.4, 346-350 (2022).
2. 高村正人, "プレス成形シミュレーションと残留応力", 素形材 Vol.63, No.2, 14-2 (2022).
3. 高村正人, "理研における塑性加工研究", ぶらすとす 4, 047, 740-744 (2021).
4. 徐平光, 高村正人, 岩本ちひろ, 箱山智之, 大竹淑恵, 鈴木裕士, "小型加速器中性子源 RANS を使用した鋼材特性の分析技術開発一も

のづくり現場で中性子線を使った材料分析が可能にー”, アイソトープニュース No.774, 7-10 (2021).

- 小林知洋, “小型加速器中性子源の開発と材料解析”, 放射線 (応用物理学会放射線分科会編) 47, 1, 35-38 (2021).

### (3) 招待講演 / Invited Talks

- Otake, Y., “RIKEN Accelerator-driven compact neutron systems, RANS project and their capabilities”, UCANS9(Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources), Wako(online), March (2022).
- Otake, Y., “RIKEN Accelerator-driven compact Neutron Systems, RANS project and their capabilities”, GWMSE-2021<2nd Global Webinar on Materials Science and Engineering>, online, November (2021). \*Plenary Speaker
- Otake, Y., “Novel technology on site with compact neutron systems -RANS project”, International Forum - Advanced technology for Industry 4, Tokushima University (Web Symposium) , November (2021). \*Keynote speech
- Mizuta, M., Otake, Y., “Towards Standardization, Manual publication, Technology research Association, T-RANS”, 5th RAP-JCNS Workshop, Wako(online), June (2021).
- Wakabayashi, Y., “Development of RANS-  $\mu$  salt-meter with 252Cf for on-site inspection of chloride attack”, 5th RAP-JCNS Workshop, Wako(online), June (2021).
- Taketani, A., Kobayashi, T., “RANS, RANS-II, latest operation Status”, 5th RAP-JCNS Workshop, Wako(online), June (2021).
- Ikeda, S., “Development status of an accelerator and an ion source for RANS-III”, 5th RAP-JCNS Workshop, Wako(online), June (2021).
- Fujita, K., “Experiment RANS-II towards RANS-III: backscattering imaging with fast neutron”, 5th RAP-JCNS Workshop, Wako(online), June (2021).
- Kobayashi, T., “Performance improvement and operation of RANS-II”, 5th RAP-JCNS Workshop, Wako(online), June (2021).
- Iwamoto, C., “Development of high-resolution engineering diffraction via TOF method with RANS”, 5th RAP-JCNS Workshop, Wako(online), June (2021).
- Ikeda, Y., “Upgrade of RANS TMRwith a new cold source systemimplementation”, 5th RAP-JCNS Workshop, Wako(online), June (2021).
- 水田真紀, “中性子透過イメージを利用したコンクリート中の水分挙動の評価”, 日本材料学会 第 205 回コンクリート工用樹脂部門委員会, オンライン開催, 3月18日 (2022).
- 高梨宇宙, “自宅で粒子加速器を自作する”, 榎戸極限自然現象理研白眉研究チームセミナー知の共有ゼミ (玉川研・榎戸研) 講演, (和光市) WEB, 3月14日 (2022).
- 高梨宇宙, “理研小型中性子源を用いたイメージング技術の開発”, 日本物理学会第77回年次大会 領域1, 実験核物理領域シンポジウム, (岡山市) 岡山大, 岡山理科大/オンライン, 3月18日 (2022).
- 高梨宇宙, “自宅加速器”, SOKENDAI 社会連携事業「高専生による小型加速器製作ならびにワークショップの地域展開」, 長野市, 12月20日 (2021) .
- 若林泰生, “「塩害予防保全を目指した中性子非破壊検査装置 RANS-  $\mu$ の開発現状II」”, T-RANS ニュートロン次世代システム技術研究組合第3回研究会, 大洗市, 11月12日 (2021) .
- 大竹淑恵, “「RANS プロジェクトの現状—RANS-II による可視化」”, T-RANS ニュートロン次世代システム技術研究組合第3回研究会, 大洗市, 11月12日 (2021) .
- 小林知洋, “小型加速器中性子源によって形成される高線量試験環境”, 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会, オンライン開催, 9月10日 (2021) .
- 大谷将士, 阿部優樹, 岩下芳久, 岡田貴文, 奥村紀浩, 小野寺礼尚, 加藤清考, 北口雅暁, 高橋将太, 高梨宇宙, 竹谷篤, 高橋光太郎, 内藤富士雄, 服部綾佳, 広田克也, 古坂道弘, 三宅晶子, 山口孝明, 渡邊康, “「高専における加速器製作活動～AxeLatoon～」”, 第18回日本加速器学会年会, オンライン, 8月9日 (2021) .
- 高梨宇宙, “「サイクロトロン」”, SOKENDAI 社会連携事業「高専生による小型加速器製作ならびにワークショップの地域展開」, 小山市, 11月10日 (2021) .
- 大竹淑恵, “中性子線で非破壊検査 理研小型中性子源 RANS プロジェクト”, 理研 科学講演会, オンライン和光市, 11月3日 (2021) .
- 高梨宇宙, “「離散ラドン変換の解析解法に基づく CT 画像再構成」”, JCANS 講演, オンライン, 6月25日 (2021) .
- 大竹淑恵, “「理研小型中性子源 RANS による基礎研究、産業利用と社会インフラ応用」”, 科技ハブセミナー, オンライン, 6月18日 (2021) .

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

- International Symposium, “UCANS9 (Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources 9)”, RIKEN オンライン, 3月28-31日

(2022).

2. シンポジウム, “2021 年度 RANS シンポジウム (理研シンポジウム)-いよいよ見えてきた小型中性子源の現場利用と拓けて来たさらなる応用 (コンクリート反射イメージングから宇宙へ)”, RIKEN オンライン, 5 月 13 日 (2021).
3. Workshop, “5th Joint Workshop of RIKEN RAP and JCNS”, RIKEN オンライン, 6 月 (2021).
4. 第 51 回 理研セミナー 中性子シリーズ, “RI 計器で土の密度・水分量をはかるしくみ (その 2)”, 池永太一次長 ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社 機械部, 和光市オンライン, 11 月 4 日 (2021).
5. 第 50 回 理研セミナー 中性子シリーズ, “コンクリート中鉄筋との導通を要しない腐食状態推定手法”, 橋本永手 研究官 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所, 和光市オンライン, 9 月 13 日 (2021).
6. 第 49 回 理研セミナー 中性子シリーズ, “太陽電池素子の動作原理および応用研究から放射線検出器への適応可能性の検討”, 奥野泰希 助教 東北大学 金属材料研究所, 和光市オンライン, 6 月 2 日 (2021).
7. 第 48 回 理研セミナー 中性子シリーズ, “原子核反応三次元カメラと中性子ビーム実験への応用”, 大田晋輔 助教 東京大学大学院理学系研究科附属原子核科学研究センター, 和光市オンライン, 4 月 22 日 (2021).

## (5) 特許出願 / Patent Applications

1. 藤田訓裕, 岩本ちひろ, 高梨宇宙, 大竹淑恵, “観察装置と断面画像取得方法”, 2021-190288, 2021 年 11 月 24 日.
2. 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”, 2020-175252, 2021 年 10 月 19 日.
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”, JP2021/038273, 2021 年 10 月 15 日.
4. 若林泰生, 藤田訓裕, 池田翔太, 鈴木亜希, “高周波四重極線形加速器、中性子源システム及び高周波四重極線形加速器の製造方法”, 2021-160864, 2021 年 9 月 30 日.
5. 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, “合成床版の非破壊検査装置と非破壊検査方法”, 2021-159483, 2021 年 9 月 29 日.
6. 竹谷篤, 高村正人, 小林知洋, 高梨宇宙, “中性子画像取得装置と中性子画像取得方法”, 2021-111611, 2021 年 7 月 5 日.
7. 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”, JP2021/023242, 2021 年 6 月 18 日.
8. 大竹淑恵, 若林泰生, 高村正人, 永野繁憲, 弥延聡, 矢島明, 愛甲華子, 石黒哲, “非破壊検査装置及び非破壊検査システム”, 2021-087199, 2021 年 5 月 24 日.
9. 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”, JP2021/017704, 2021 年 5 月 10 日.
10. 大竹淑恵, 若林泰生, 高村正人, 永野繁憲, 弥延聡, 矢島明, 愛甲華子, 石黒哲, “非破壊検査システム”, 2021-062001, 2021 年 3 月 31 日.
11. 大竹淑恵, 若林泰生, 高村正人, 永野繁憲, 弥延聡, 矢島明, 愛甲華子, 石黒哲, “非破壊検査装置”, 2021-059665, 2021 年 3 月 31 日.

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

1. 橋梁新聞, “RC 床版内の土砂化や滞水 非破壊で検査 理研、JFE エンジが開発”, 2022 年 1 月 21 日.
2. 日経コンストラクション, “中性子を当て橋の塩分濃度を計測”, 2022 年 1 月 10 日号.
3. しんぶん赤旗, “構造物を非破壊検査 理研などがシステム開発”, 2021 年 12 月 16 日.
4. 科学新聞, “中性子散乱使った定量評価手法開発 コンクリート橋梁の床版劣化を検知”, 2021 年 12 月 10 日.
5. 理研プレスリリース, “理化学研究所 JFE エンジニアリング株式会社 - 橋梁の床版内部土砂化・滞水の新たな検知法ーコンクリート劣化の定量評価が可能にー”, 2021 年 12 月 1 日.
6. しんぶん赤旗, “橋などの塩害を非破壊で診断”, 2021 年 11 月 22 日.
7. 産経新聞朝刊, “科学の目でインフラを守る”, 2021 年 11 月 7 日.
8. 橋梁新聞, “橋梁の塩害調査 コア不要に”, 2021 年 11 月 1 日.
9. 日経クロステック (xTECH), “中性子でコンクリート橋の塩害を調査、点検車に積める非破壊装置”, 2021 年 10 月 25 日.
10. 検査機器ニュース, “中性子で塩分濃度を NDT”, 2021 年 10 月 20 日.
11. 建設通信新聞, “非破壊で塩分濃度測定”, 2021 年 10 月 18 日.
12. 理研プレスリリース, “理化学研究所オリエンタル白石株式会社” 超小型非破壊検査装置「中性子塩分計 RANS- $\mu$ 」を開発ー鉄筋腐食に対するインフラの予防保全に貢献ー”, 2021 年 10 月 14 日.

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

1. Heacock,B., Fujiie,T., Haun,R.W., Henins,A., Hirota,K., Hosobata,T., Huber,M.G., Kitaguchi,M., Pushin,D.A., Shimizu,H., Takeda,M., Valdillez,R., Yamagata,Y., and Young, A.R.: “Pendellosung interferometry probes the neutron charge radius, lattice dynamics, and fifth forces”, Science 373, 1239-1243 (2021).

**(2) 特許出願 / Patent Applications**

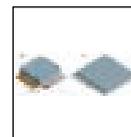
1. 山澤建二ほか, “マイクロームと試料切断方法”, 特願 2022-021485, 2022 年 2 月 15 日 .

2021/5/13 フォトン操作機能研究チーム / Innovative Photon Manipulation Research Team

均一温度環境における熱電発電を可能にするメタマテリアル熱電変換素子を提案

Metamaterial perfect absorber for intensifying thermal gradient across thermoelectric device

Shohei Katsumata, Takuo Tanaka, and Wakana Kubo, "Metamaterial perfect absorber simulations for intensifying thermal gradient across a thermoelectric device," *Optics Express* 29, pp. 16396-164065 (2021).



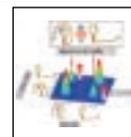
2021/5/19 超高速分子計測研究チーム / Ultrafast Spectroscopy Research Team

遺伝子の転写制御に関わる RNA のマイクロ秒構造変化

—最新の1分子蛍光計測法で観測—

Microsecond Folding of preQ<sub>1</sub> Riboswitch and Its Biological Significance Revealed by Two-Dimensional Fluorescence Lifetime Correlation Spectroscopy

Bidyut Sarkar, Kunihiko Ishii, and Tahei Tahara, "Microsecond Folding of preQ<sub>1</sub> Riboswitch and Its Biological Significance Revealed by Two-Dimensional Fluorescence Lifetime Correlation Spectroscopy", *Journal of the American Chemical Society*, 10.1021/jacs.1c01077



2021/5/25 量子オプトエレクトロニクス研究チーム / Quantum Optoelectronics Research Team

原子精度で定義されたナノ物質を正確に配置

—ナノテクノロジーを超える技術への道を拓く—

Deterministic transfer of optical-quality carbon nanotubes for atomically defined technology

Keigo Otsuka, Nan Fang, Daiki Yamashita, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Yuichiro K. Kato, "Deterministic transfer of optical-quality carbon nanotubes for atomically defined technology", *Nature Communications*, 10.1038/s41467-021-23413-4



2021/7/2 量子オプトエレクトロニクス研究チーム / Quantum Optoelectronics Research Team

単一分子の精密ナノ分光

—観察しているナノ物質の性質を正確に評価する手法の確立—

Single-molecule laser nanospectroscopy with micro-electron volt energy resolution

Hiroshi Imada, Miyabi Imai-Imada, Kuniyuki Miwa, Hidemasa Yamane, Takeshi Iwasa, Yusuke Tanaka, Naoyuki Toriumi, Kensuke Kimura, Nobuhiko Yokoshi, Atsuya Muranaka, Masanobu Uchiyama, Tetsuya Taketsugu, Yuichiro K. Kato, Hajime Ishihara, Yousoo Kim, "Single-molecule laser nanospectroscopy with micro-electron volt energy resolution", *Science*, 10.1126/science.abg8790



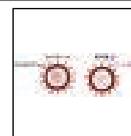
2021/7/5 光量子制御技術開発チーム / Photonics Control Technology Team

紫外線照射による新型コロナウイルス不活化のメカニズム

—ウイルス RNA の損傷が原因だった—

UVC disinfects SARS-CoV-2 by induction of viral genome damage without apparent effects on viral morphology and proteins

Chieh-Wen Lo, Ryosuke Matsuura, Kazuki Iimura, Satoshi Wada, Atsushi Shinjo, Yoshimi Benno, Masaru Nakagawa, Masami Takei and Yoko Aida, "UVC disinfects SARS-CoV-2 by induction of viral genome damage without apparent effects on viral morphology and proteins", *Scientific Reports*, 11, Article number:13804 (2021).



2021/8/19 光量子制御技術開発チーム / Photonics Control Technology Team

レーザー及びデータサイエンスを駆使したリンゴ内健康機能性成分「プロシアニジン」の簡便な計測技術開発

Quantitative prediction of a functional ingredient in apple using Raman spectroscopy and multivariate calibration analysis

Shinsaku Tsuyama, Akinori Taketani, Takeharu Murakami, Michio Sakashita, Saki Miyajima, Takayo Ogawa, Satoshi Wada, Hayato Maeda & Yasutaka Hanada, "Quantitative prediction of a functional ingredient in apple using Raman spectroscopy and multivariate calibration analysis", *Applied Physics B* 127, 92 (2021).



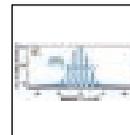
2021/8/19 アト秒科学研究チーム / Attosecond Science Research Team

### 1 京分の 3 秒の分子応答

—世界最短の自己相関時間の計測—

300 attosecond response of a molecule -The shortest autocorrelation time measurement-

Takuya Matsubara, Shinichi Fukahori, Erik Lötstedt, Yasuo Nabekawa, Kaoru Yamanouchi, Katsumi Midorikawa, "300 attosecond response of acetylene in two-photon ionization/dissociation processes", Optica, 10.1364/OPTICA.426071



2021/10/14 中性子ビーム技術開発チーム / Neutron Beam Technology Team

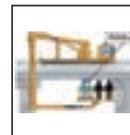
### 超小型非破壊検査装置「中性子塩分計 RANS- $\mu$ 」

—鉄筋腐食に対するインフラの予防保全に貢献—

Ultra-compact non-destructive testing system 'Neutron salt-meter RANS- $\mu$ ' - Contributing to preventive maintenance of infrastructures against rebar corrosion

若林泰生・Mingfei Yan・岩本ちひろ・藤田訓裕・水田真紀・高村正人・大石龍太郎・渡瀬博・池田裕二郎・大竹淑恵, "小型中性子源 RANS ならびにカリフォルニウム線源を利用したコンクリート構造物の塩害に対する非破壊検査装置の開発", 日本コンクリート工学会「中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム」論文集, pp.202-209 (2021)

Development of non-destructive diagnostic device for chloride attack of concrete structures by utilizing an accelerator-based compact neutron source RANS and a RI neutron source  $^{252}\text{Cf}$



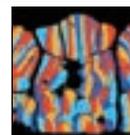
2021/11/10 生命光学技術研究チーム / Biotechnological Optics Research Team

### 小脳の大規模可視化に成功

—マウス小脳における感覚情報表現の仕組みを解明—

Distributed sensory coding by cerebellar complex spikes in units of cortical segments

Takayuki Michikawa, Takamasa Yoshida, Satoshi Kuroki, Takahiro Ishikawa, Shinji Kakei, Ryo Kimizuka, Atsushi Saito, Hideo Yokota, Akinobu Shimizu, Shigeyoshi Itoharu and Atsushi Miyawaki, "Distributed sensory coding by cerebellar complex spikes in units of cortical segments", Cell Reports, 10.1016/j.celrep.2021.109966



2021/12/01 中性子ビーム技術開発チーム / Neutron Beam Technology Team

### 橋梁の床版内部土砂化・滞水の新たな検知法

—コンクリート劣化の定量評価が可能に—

A new detection method of sedimentation and water erosion inside bridge decks - a new technology for quantitative assessment of concrete deterioration

藤田訓裕, 岩本ちひろ, 高梨宇宙, 大竹淑恵, 野田秀作, "散乱中性子イメージング法を用いた道路橋床版の滞水・土砂化検知システム", 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 第 21 巻 pp.484-489  
Detection System for Water and Void in Bridge Decks using Neutron Scattering Imaging



2022/2/25 画像情報処理研究チーム / Image Processing Research Team

### いつでもどこでも血管内治療トレーニングが可能に

—医師が X 線被爆しない血管内治療シミュレータを開発—

On-Demand Endovascular Treatment Training System-Endovascular treatment simulator developed to eliminate X-ray exposure to physicians-

深作和明, 横田秀夫, 中濱彰生, 岩淵成志, 大屋祐輔, "非被曝血管内治療シミュレータの開発", ChemBioChem, 『第 51 回日本神経放射線学会』  
Development of a non-exposure endovascular treatment simulator



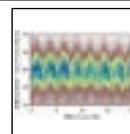
2022/03/24 超高速コヒーレント軟 X 線光学研究チーム / Ultrafast Coherent Soft X-ray Photonics Research Team

### 世界最高出力のアト秒レーザー

—アト秒パルスによる微細イメージングやナノ加工へ道筋—

Gigawatt-class, tabletop, isolated-attosecond-pulse light source

Bing Xue, Katsumi Midorikawa, Eiji J. Takahashi, "Gigawatt-class, tabletop, isolated-attosecond-pulse light source", Optica, 10.1364/OPTICA.449979



June 30, 2021

## COI STREAM 「コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点」 合同シンポジウム COI STREAM joint symposium “New Development of Ultra-Short High Power Thin-Disc Lasers”

2021年6月30日に理研光子工学研究センターと東京大学光子科学連携機構の共催で、「超短パルス高出力薄ディスクレーザーの新展開」と題してCOI STREAM 「コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点」との合同シンポジウムがオンライン形式で開催されました。当該テーマに関して、我が国を代表する研究者による最近の成果が発表され、参加人数は、約50名でした。

Co-sponsored by RIKEN Center for Advanced Photonics and University of Tokyo Research Institute for Photon Science and Laser Technology, a joint symposium entitled “New Development of Ultra-Short High Power Thin-Disc Lasers” was held on June 30, 2021. Recent achievements on this subject were presented by leading researchers in Japan. The number of participants was approximately 50.

August 31, 2021

## EMBO | Japan Virtual Lectures The 4th EMBO | Japan Virtual Lectures

2021年8月31日、EMBO（欧州分子生物学機構）と理研の共催による、“細胞内区画化と膜交通の新しいパラダイム”と題したEMBO | Japan Virtual LecturesがWebinarで開催されました。理研の小安重夫理事、EMBOのGerlind Wallon副会長の挨拶の後、ゲッティンゲン大学（ドイツ）のBlanche Schwappach教授の司会で、バーゼル大学（スイス）のAnne Spang教授、そして光子工学研究センター・中野明彦副センター長がそれぞれ講演を行い、活発な質疑応答が行われました。ヨーロッパと日本の研究者を中心に約150名の参加がありました。またバーゼル大学と理研の研究者はMeet the Speakersというセッションにも招待され、両演者とさらに深い討論に参加しました。

The EMBO | Japan Virtual Lectures Webinar event entitled “New paradigms of intracellular compartmentalization and trafficking” was held on August 31, 2021, which EMBO (European Molecular Biology Organization) and RIKEN hosted. After the welcome address by Dr. Shigeo Koyasu (RIKEN Executive Director) and Dr. Gerlind Wallon (EMBO Deputy President), two speakers, Prof. Anne Spang (Biozentrum, University of Basel, Switzerland) and Dr. Akihiko Nakano (RAP Deputy Director) gave lectures under the moderation by Prof. Blanche Schwappach (University Medical Center Göttingen, Germany). Very active discussions took place among 150 participants from Europe and Japan. “Meet the Speakers” session was also held to which researchers of University of Basel and RIKEN were invited.

November 16, 2021

## XIOPM-RAP Joint Webinar on Photonics

### The 2th XIOPM-RAP Joint Webinar on Photonics

2021年11月16日に西安光学精密機械研究所と理研光量子工学研究センターの第2回目の共同セミナー“XIOPM-RAP Joint Webinar on Photonics”がオンライン形式で開催されました。約50名が参加し、それぞれの代表による研究所の紹介に続いて、双方各5チームが最近の成果について発表した後、連携を加速するための方策に関するパネルディスカッションを行い、成功裡に終了しました。

The second joint seminar between the Xian Institute of Optics and Precision Mechanics and the RIKEN Center for Advanced Photonics “XIOPM-RAP Joint Webinar on Photonics” was held online on November 16, 2021. Following the introduction of the institute by each representative, each of the five teams presented their recent achievements. Then, a panel discussion on “How to accelerate collaboration between XIOPM and RIKEN” was held. The number of participants was around 50.



January 12, 2022

## RIKEN-NICT Joint Terahertz Workshop

### RIKEN-NICT Joint Terahertz Workshop in FY2021

2022年1月12日、2021年度 理研-NICT 合同テラヘルツワークショップが理研光量子工学研究センターと情報通信研究機構（NICT）と共催でオンライン開催されました。

次世代無線通信規格（Beyond5G/6G）に関する研究開発が活発に行われるなかで、関連する議論や広くテラヘルツ波技術に関して議論を行いました。招待講演者として、東京工業大学の安藤真名誉教授、浜松ホトニクス（株）の河合直弥氏のほか、NICTとRAPメンバーによる発表が行われ、参加者数約50名参加で、質疑応答など活発な議論が繰り広げられました。

The FY2021 RIKEN-NICT Joint Terahertz Workshop was held on January 12, 2022 at Online.

In the midst of active research and development on next-generation wireless communication standards (Beyond 5G/6G), related discussions and broad discussions were held on terahertz-wave technology. In addition to Dr. Makoto Ando, Professor Emeritus of Tokyo Institute of Technology, and Mr. Naoya Kawai of Hamamatsu Photonics K.K. as invited speakers, presentations were made by NICT and RAP members, and active discussions including Q&A sessions were held with the participation of approximately 50 participants.

2021年度 理研-NICT 合同テラヘルツワークショップ	
日程：2022年1月12日（木）13:00～17:20	
場所：オンライン（Zoom Meeting）	
主催：理化学研究所 光量子工学研究センター、情報通信研究機構	
13:00～13:05	開会挨拶 高橋 剛（NICT, Beyond5G 研究開発推進ユニット, ユニト長）
13:05～13:55	特別講演 「電波科学の動向と、3D波、テラヘルツ波の役割 -アレーアテナの開発と活用-」 安藤 真（東京工業大学, 名誉教授）
13:55～14:20	「テラヘルツ波通信時代に向けた光通信技術の現在」 菅野 敦史（NICT）
14:20～14:45	「テラヘルツセンシング/イメージングに関する研究開発の進展」 大谷 知行（RIKEN）
14:45～15:05	— 休憩 —
15:05～15:35	招待講演 「THz-PMT の開発と展望」 河合 直弥（浜松ホトニクス株式会社）
15:35～16:00	「EO 波長を用いたテラヘルツ波検出」 大友 明（NICT）
16:00～16:25	「新原理に基づく特撮型 THz 光源の開発と将来展望」 南出 泰希（RIKEN）
16:25～16:50	「Hot-wire CVD 法を用いた SiN マイクロリング共振器からの高効率コム発生」 古澤 健太郎（NICT）
16:50～17:15	「THz-QCL の進展と展望」 平山 秀樹（RIKEN）
17:15～17:20	閉会の挨拶 南出 泰希（RIKEN, テラヘルツ光研究チーム, チームリーダー）

※講演時間に質疑応答（5分目安）を含みます

## 第5回 RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar The 5th RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar

**The 5th RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar**

**SPEAKERS**

- Opening Remarks - 尾辻 泰一 RAP, RIKEN
- 尾辻 泰一 RAP, RIKEN
- アト秒科学研究チーム RAP, RIKEN
- HUANG Kai 高強度レーザー科学研究G, KPSI, QST
- 高本 智樹 先端エンジニアリング研究チーム RAP, RIKEN
- 長谷川 豊 X線レーザー研究G, KPSI, QST
- 永島 圭介 超高速光物性研究G, KPSI, QST
- 渡田 佑馬 テラヘルツ光線研究チーム RAP, RIKEN
- 野山 隆光 先端レーザー技術開発G, KPSI, QST
- 西村 光太郎 超高速コヒーレント光線研究チーム RAP, RIKEN
- 渡藤 友直 超高速光物性研究G, KPSI, QST
- 二本柳 健史 超高速分子計測研究チーム RAP, RIKEN
- Closing Remarks - 西谷 直樹 KPSI, QST

February 4th (Fri), 9:40-16:20, 2022  
理化学研究所 和光キャンパス 本部棟2F 大会議室

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

\* 感染症の状況によってはオンライン開催となる可能性があります。  
CONTACT: info@rap.riken.jp

2022年2月4日に、「第5回 RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar」が理研光量子工学研究センターと量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所の共催でオンライン開催されました。

RAP・量研関西研より各5名、計10名のメンバーによる発表が行われ、講演者含む約50名で質疑応答など活発な議論が繰り広げられました。次回2023年は、量子科学技術開発機構・関西光科学研究所が幹事となり、オンサイトで開催予定です。

The 5th RIKEN-RAP and KPSI Joint Seminar was held online organized with QST-KPSI on February 4, 2022. The seminar consisted of 10 presentations each 5 presentations by RAP and QST-KPSI members.

The active discussion and Q&A were performed with approximately 50 participations including panelists. Next time, in 2023, will be an in-person event, hosted by QST-KPSI.

## RAP シンポジウム 第9回「光量子工学研究」 The 9th RAP Symposium

東北大学電気通信研究所の尾辻泰一教授、桐蔭横浜大学の宮坂力教授による招待講演、また、東京大学大学院理学系研究科の五神真教授、NTT先端技術総合研究所の寒川哲臣所長による特別講演のほか、RAPメンバーによる発表が行われ、200名以上のオンライン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 9th RAP Symposium entitled “Advanced Photonics” was held by Online on March 8th, 2022. The symposium consisted of four special lectures by Prof. Taiichi OTSUJI, Research Institute of Electrical Communication Tohoku University, Prof. Tsutomu MIYASAKA, Toin University of Yokohama, Prof. Makoto GONOKAMI, The University of Tokyo, Tetsuomi SOGAWA, Director of NTT Communication Science Laboratories and a few RAP members presented. More than 200 candidates were participated online.

**RIKEN Symposium**  
**The 9th RAP Symposium**  
**第9回「光量子工学研究」**  
— エクストリームフォトニクスが拓く未来の光科学 —

**【特別講演】**  
2/28 13:10-14:00 五神 真 (東京大学大学院理学系研究科 教授)  
Society5.0実現に向けた光・量子技術への期待

3/1 10:00-10:50 寒川 哲臣 (NTT先端技術総合研究所 所長)  
IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)時代に向けた新たな光技術への挑戦

**【招待講演】**  
2/28 15:20-15:55 尾辻 泰一 (東北大学 電気通信研究所 教授)  
テラヘルツプラスモック機能性ハイスの創出とその次世代Beyond 5G無線通信への応用

3/1 15:10-15:45 宮坂 力 (桐蔭横浜大学 教授)  
ハライドペロブスカイト半導体の光電変換特性と高電圧出力の開発

2022年2月28日(月) 13:00 - 17:35  
3月1日(火) 10:00 - 17:30  
オンライン開催  
主催：光量子工学研究センター

**【協賛】**  
応用物理学会、テラヘルツテクノロジーフォーラム、日本細胞生物学会、日本生物物理学会、日本中性子科学会、日本イオン光学学会、日本分光学会、日本非破壊検査協会、日本物理学会、日本分光学会、フロンティアニューブテック学会、分子科学会、レーザー学会、レーザ技術研究会

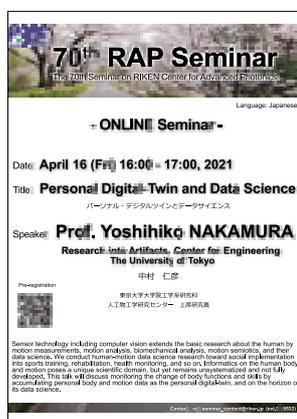
**【参加費】** 無料  
**【事前参加登録締切】** 2022年2月21日(月) 17時  
**【参加申込】**  
[https://zoom.us/join/registration/10rcioq18E9WrdxKRYuz\\_nQVok8E9TXZ](https://zoom.us/join/registration/10rcioq18E9WrdxKRYuz_nQVok8E9TXZ)  
**【お問い合わせ先】** rap-sym10\_2021@ml.riken.jp

\* 詳細はシンポジウムHPをご覧ください。 <https://rap.riken.jp/events/the-9th-rap-symposium/>  
\*\* 2022年2月28日(月) 13:00-17:35、3月1日(火) 10:00-17:30開催。This Symposium is a part of the RIKEN Symposium Series.

April 2021 to February 2022

## RAP Seminar, from 70th to 75th

- April 16, 2021 **Prof. Yoshihiko NAKAMURA** (Research into Artifacts, Center for Engineering The University of Tokyo)  
“Personal Digital-Twin and Data Science”  
パーソナル・デジタルツインとデータサイエンス
- June 18, 2021 **Prof. Hiroaki NISHIYAMA** (Graduate School of Science and Engineering Yamagata University)  
“Nonlinear light-based controls of bottom-up assembly toward direct laser writing beyond material limitation”  
材料の感光性に制限されないダイレクトレーザライティング  
—レーザ多光子反応を起点とした新規ナノ粒子集積固化法を中心に—
- July 16, 2021 **Prof. Shoichi TOYABE** (Graduate School of Engineering Tohoku University)  
“Elucidating the energetics of biological molecular machines”  
生体分子マシンのエナジェティクスに迫る
- October 15, 2021 **Prof. Takashi WASHIO** (The Institute of Scientific and Industrial Research Osaka University)  
“Innovation of Super-resolution Imaging by Measurement Informatics”  
計測インフォマティクスによる超解像イメージングの革新
- December 10, 2021 **Dr. Yuya MORIMOTO** (RIKEN Hakubi Team Leader, Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team, RIKEN Center for Advanced Photonics)  
“Attosecond electron beams : production, characterization, and potential applications”  
アト秒電子ビームの発生、検出、応用
- February 18, 2022 **Prof. Sadao OTA** (Research Center for Advanced Science and Technology The University of Tokyo)  
“Hybrid or network cell analysis technologies”  
細胞解析技術の融合と結合



**70<sup>th</sup> RAP Seminar**  
The 70th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

ONLINE Seminar

Date: **April 16 (Fri) 16:00 - 17:00, 2021**

Title: **Personal Digital-Twin and Data Science**  
パーソナル・デジタルツインとデータサイエンス

Speaker: **Prof. Yoshihiko NAKAMURA**  
Research into Artifacts, Center for Engineering The University of Tokyo  
中村 仁彦  
東京大学大学院工学系研究科  
人工知能工学研究センター 北見研究室

Phonographic: 

Abstract: Sensor technology including computer vision extends the basic research about the human by motion measurements, motion analysis, biomechanical analysis, motion synthesis, and their data science. We conduct human-motion data science research toward social implementation into sports training, rehabilitation, health monitoring, and so on. Information on the human body can be measured in a large scientific domain. All of sensors, algorithms and are fully developed. This talk will discuss monitoring the change of body functions and skills by accumulating personal body and motion data as the personal digital-twin, and on the horizon of its data science.

Contact: [yoshihiko.nakamura@riken.jp](mailto:yoshihiko.nakamura@riken.jp)



**71<sup>st</sup> RAP Seminar**  
The 71st Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

ONLINE Seminar

Date: **June 18 (Fri) 16:00 - 17:00, 2021**

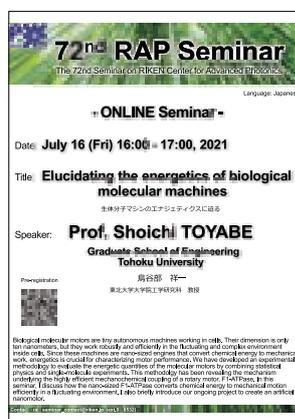
Title: **Nonlinear light-based controls of bottom-up assembly toward direct laser writing beyond material limitation**  
材料の感光性に制限されないダイレクトレーザライティング  
—レーザ多光子反応を起点とした新規ナノ粒子集積固化法を中心に—

Speaker: **Prof. Hiroaki NISHIYAMA**  
Graduate School of Science and Engineering Yamagata University  
西山 宏明  
山形大学大学院工学系研究科 建築部

Phonographic: 

Abstract: Nonlinear light-based writing (NLB) can fabricate material microstructures, offers opportunities for fundamental and technical applications in materials engineering, life science, and optical manufacturing. NLB is a nonlinear optical effect of nonlinear interaction of light with matter. However, generalizing NLB to arbitrary 3D control is difficult in the conventional materials. Here, we will discuss nonlinear light-based writing, phenomena of nonlinear light in the sub-wavelength region, and generally, the characteristic features of nonlinear light with respect to nonlinear interaction. We will also discuss the NLB based on the light-matter interaction. Such nonlinear optical effects can be used to control the light-matter interaction in the size of sub-wavelength region, by means of the NLB. The nonlinear optical process, which requires the conventional materials, will provide new production for microstructure and their topology. In this talk, we will discuss the mechanism and dynamics of the nonlinear optical system, phenomena of NLB, and the emerging topics of NLB in the materials processing of the advanced manufacturing.

Contact: [h.nishiyama@yz.yamagata-u.ac.jp](mailto:h.nishiyama@yz.yamagata-u.ac.jp)



**72<sup>nd</sup> RAP Seminar**  
The 72nd Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

ONLINE Seminar

Date: **July 16 (Fri) 16:00 - 17:00, 2021**

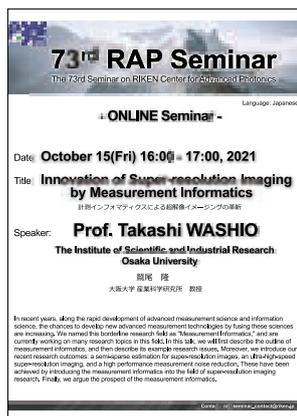
Title: **Elucidating the energetics of biological molecular machines**  
生体分子マシンのエナジェティクスに迫る

Speaker: **Prof. Shoichi TOYABE**  
Graduate School of Engineering Tohoku University  
高谷部 祥一  
東北大学大学院工学系研究科 数研

Phonographic: 

Abstract: Biological molecular motors are tiny autonomous machines working in cells. Their dimension is only few micrometers, but they work stably and efficiently in the fluctuating and complex environment. In this talk, I will introduce our recently developed great cellular method for fast and accurate measurement of work, energetics is crucial for characterizing motor performance. We have developed an experimental methodology to measure the energetic quantities of the molecular motors by combining statistical physics and single-molecule experiments. This methodology has been revealing the mechanism underlying the work-efficient mechanism of a motor against the fluctuating environment. In this talk, I will discuss the mechanism of cell-based control: chemical energy to mechanical motion efficiently in a fluctuating environment. I will also introduce our ongoing project to create an artificial ecosystem.

Contact: [toyabe@ipc.tohoku.ac.jp](mailto:toyabe@ipc.tohoku.ac.jp)



**73<sup>rd</sup> RAP Seminar**  
The 73rd Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

ONLINE Seminar

Date: **October 15 (Fri) 16:00 - 17:00, 2021**

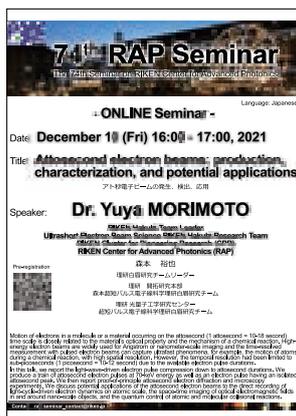
Title: **Innovation of Super-resolution Imaging by Measurement Informatics**  
計測インフォマティクスによる超解像イメージングの革新

Speaker: **Prof. Takashi WASHIO**  
The Institute of Scientific and Industrial Research Osaka University  
渡尾 隆  
大阪大学 産業科学研究センター 数研

Phonographic: 

Abstract: In recent years, along the rapid development of advanced measurement science and information science, the chance to develop new advanced measurement technologies by fusing these sciences are increasing. We report the breakthrough research in "Measurement Informatics" and are currently working on many research topics in this field. In this talk, we will first describe the culture of measurement informatics, and then describe the emerging research issues, historical, an illustration of recent research outcomes, a certain quantitative estimation for super-resolution images, an advanced super-resolution imaging, and its high performance measurement cost reduction. These have been achieved by introducing the measurement informatics into the field of super-resolution imaging research. Finally, we give the prospect of the measurement informatics.

Contact: [washio@ipc.osaka-u.ac.jp](mailto:washio@ipc.osaka-u.ac.jp)



**74<sup>th</sup> RAP Seminar**  
The 74th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

ONLINE Seminar

Date: **December 10 (Fri) 16:00 - 17:00, 2021**

Title: **Attosecond electron beams: production, characterization, and potential applications**  
アト秒電子ビームの発生、検出、応用

Speaker: **Dr. Yuya MORIMOTO**  
RIKEN Hakubi Team Leader  
Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team  
RIKEN Center for Advanced Photonics (RAP)  
木本 裕巳  
理研 超短時間科学センター  
理研 超短時間科学センター 超短時間科学センター  
理研 超短時間科学センター 超短時間科学センター

Phonographic: 

Abstract: Motion of electrons in a metallic or a material surface in the attosecond (1 attosecond = 10<sup>-18</sup> second) time scale is crucial to understand the photo and the mechanism of a photochemical reaction. For measurement of such ultrafast motion, precise generation of attosecond electron beams is essential. In this talk, we report the femtosecond-laser-pulse compression technique to generate attosecond electron beams. The generation of attosecond electron beams is achieved by the photochemical reaction of a femtosecond laser pulse with a metal surface. In this talk, we report the femtosecond-laser-pulse compression technique to generate attosecond electron beams. The generation of attosecond electron beams is achieved by the photochemical reaction of a femtosecond laser pulse with a metal surface. In this talk, we report the femtosecond-laser-pulse compression technique to generate attosecond electron beams. The generation of attosecond electron beams is achieved by the photochemical reaction of a femtosecond laser pulse with a metal surface.

Contact: [yuya.morimoto@riken.jp](mailto:yuya.morimoto@riken.jp)



**75<sup>th</sup> RAP Seminar**  
The 75th Seminar on RIKEN Center for Advanced Photonics

Language: Japanese

ONLINE Seminar

Date: **February 18 (Fri) 16:00 - 17:00, 2022**

Title: **Hybrid or network cell analysis technologies**  
細胞解析技術の融合と結合

Speaker: **Prof. Sadao OTA**  
Research Center for Advanced Science and Technology The University of Tokyo  
太田 敏雄  
東京大学大学院科学研究センター 数研

Phonographic: 

Abstract: In the rapid progress in information science, what kind of network world will be, who do not fully understand cells and its, to measure the information and use a beyond bits of our knowledge. To answer this, we are working on a hybrid method for fast and accurate information, and material technologies to achieve speed, scale, and information content. In this talk, I will introduce our recently developed great cellular method for fast and accurate classification of image information without producing an image, and the high-speed cell sorting technology that integrates the method of flow cytometry. I will also like to introduce further new technology directions that are different from flow cytometry and that may answer the first question I posed.

Contact: [sadao.ota@riken.jp](mailto:sadao.ota@riken.jp)

April 21, 2021

Best Student Award（一般社団法人レーザー学会）／オラヤ・チェリーメイ 国際プログラム・アソシエイト（フォトン操作機能研究チーム）

Best Student Award (The Laser Society of Japan) / Cherrie May Olaya, International Program Associate (Innovative Photon Manipulation Research Team)

June 14, 2021

創立40周年記念功労者表彰（一般社団法人光産業技術振興協会）／杉岡幸次チームリーダー（先端レーザー加工研究チーム）  
40th Anniversary Commemorative Award Winners (The Optical Industry Technology Promotion Association) / Koji Sugioka, Team Leader (Advanced Laser Processing Research Team)

July 22, 2021

第15回大阪大学近藤賞（国立大学法人大阪大学）／リン・ユーチー研究員（アト秒科学研究チーム）

The 15th Osaka University Kondo Prize ~ Research Paper Award ~ (Osaka University) / Yu-Chieh Lin, Research Scientist (Attosecond Science Research Team)

September 9, 2021

2021-2022年度獣医学奨励賞（公益社団法人日本獣医学会）／バイ・ランラン特別研究員（光量子制御技術開発チーム）

FY2021-2022 Veterinary Science Young Investigator Awards (The Japanese Society of Veterinary Science) / Lanlan Bai, Postdoctoral Researcher (Photonics Control Technology Team)

September 10, 2021

ブレイクスルー賞 (Break Through Initiatives) / 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）

Breakthrough Prize in Fundamental Physics (Break Through Initiatives) / Hidetoshi Katori, Team Leader (Space-Time Engineering Research Team)

September 21, 2021

第15回（2021年度）応用物理学会フェロー表彰（公益社団法人応用物理学会）／杉岡幸次チームリーダー（先端レーザー加工研究チーム）

The 15th (2021) JSAP Fellow Award (The Japan Society of Applied Physics) / Koji Sugioka, Team Leader (Advanced Laser Processing Research Team)

November 6, 2021

第6回フォトニクスワークショップ 優秀プレゼンテーション賞（公益社団法人応用物理学会フォトニクス分科会）／バイ・シ基礎科学特別研究員（先端レーザー加工研究チーム）

The 6th Photonics Workshop, Best Presentation Award of Photonics Workshop (Photonics division, the Japan Society of Applied Physics) / Shi Bai, Special Postdoctoral Researcher (Advanced Laser Processing Research Team)

November 22, 2021

Highly Cited Researchers 2021 にクロスフィールド分野で宮脇敦史チームリーダーが選出

Highly Cited Researchers 2021, M.D., Ph.D. Atsushi Miyawaki at Cross Field (Clarivate Analytics) / Atsushi Miyawaki, Team Leader (Biotechnological Optics Research Team)

December 1, 2021

---

日本中性子科学会第19回技術賞（日本中性子学会）／細島拓也上級研究員、山形豊チームリーダー（先端光学素子開発チーム）  
19th The JSNS Technology Prize (The Japanese Society for Neutron Science) ／ Takuya Hosobata, Senior Scientist, Yutaka Yamagata, Team Leader (Ultrahigh Precision Optics Technology Team)

December 3, 2021

---

第18回放射線プロセスシンポジウムポスターセッション最優秀賞（放射線利用振興協会）／若林泰生研究員、藤田訓裕研究員、池田翔太特別研究員、イエン・ミンフェイ特別研究員、高村正人上級研究員、大竹淑恵チームリーダー（中性子ビーム技術開発チーム）

18th Radiation processing symposium, Award for best poster presentation (Radiation Application Development Association) ／ Yasuo Wakabayashi, Research Scientist, Kunihiro Fujita, Research Scientist, Shota Ikeda, Postdoctoral Researcher, Yan Mingfei, Postdoctoral Researcher, Masato Takamura, Senior Scientist, Yoshie Otake, Team Leader (Neutron Beam Technology Team)

December 3, 2021

---

第18回放射線プロセスシンポジウムポスターセッション優秀賞（放射線利用振興協会）／竹谷篤副チームリーダー、高梨宇宙研究員、小林知洋専任研究員、高村正人上級研究員（中性子ビーム技術開発チーム）

18th Radiation processing symposium, Award for excellent poster presentation (Radiation Application Development Association) ／ Atsushi Taketani, Deputy Team Leader, Takaoki Takanashi, Research Scientist, Tomohiro Kobayashi, Senior Research Scientist, Masato Takamura, Senior Scientist (Neutron Beam Technology Team)

December 17, 2021

---

2021年度島津賞（公益財団法人島津科学技術振興財団）／田原太平チームリーダー（超高速分子計測研究チーム）  
2021 Shimadzu Award (Shimadzu Zaidan) ／ Tahei Tahara, Team Leader (Ultrafast Spectroscopy Research Team)

February 3, 2022

---

令和3年度SCOPE研究開発奨励賞（総務省戦略的情報通信研究開発事業（SCOPE））／加藤雄一郎チームリーダー（量子オプトエレクトロニクス研究チーム）

2021 R&D Encouragement Award (Strategic Information and Communications R&D Promotion Program) ／ Yuichiro Kato, Team Leader (Quantum Optoelectronics Research Team)

March 3, 2022

---

風戸研究奨励賞（公益財団法人風戸研究奨励会）／森本裕也理研白眉研究チームリーダー（超短パルス電子線科学理研白眉研究チーム）

Kazato Research Encouragement Prize (The Kazato Research Foundation) ／ Yuya Morimoto, RIKEN Hakubi Team Leader (Ultrashort Electron Beam Science RIKEN Hakubi Research Team)

March 11, 2022

---

13th HOPE meeting with Nobel Laureates “Best Team Presentation Award”（日本学術振興会）／相川脩研修生（光量子制御技術開発チーム）

13th HOPE meeting with Nobel Laureates “Best Team Presentation Award”（JSPS）／ Shu Aikawa, Student Trainee (Photonics Control Technology Team)

March 18, 2022

---

丹羽保次郎賞（学校法人東京電機大学）／ハオ・デュエン研修生（先端光学素子開発チーム）

YASUJIRO NIWA OUTSTANDING PAPER AWARD (Tokyo Denki University) / Duan Hao, Student Trainee (Ultrahigh Precision Optics Technology Team)

March 23, 2022

---

理研梅峰賞（理化学研究所）／南出泰亜チームリーダー（テラヘルツ光源研究チーム）

RIKEN BAIHO Award (RIKEN) / Hiroaki Minamide, Team Leader (Tera-Photonics Research Team)

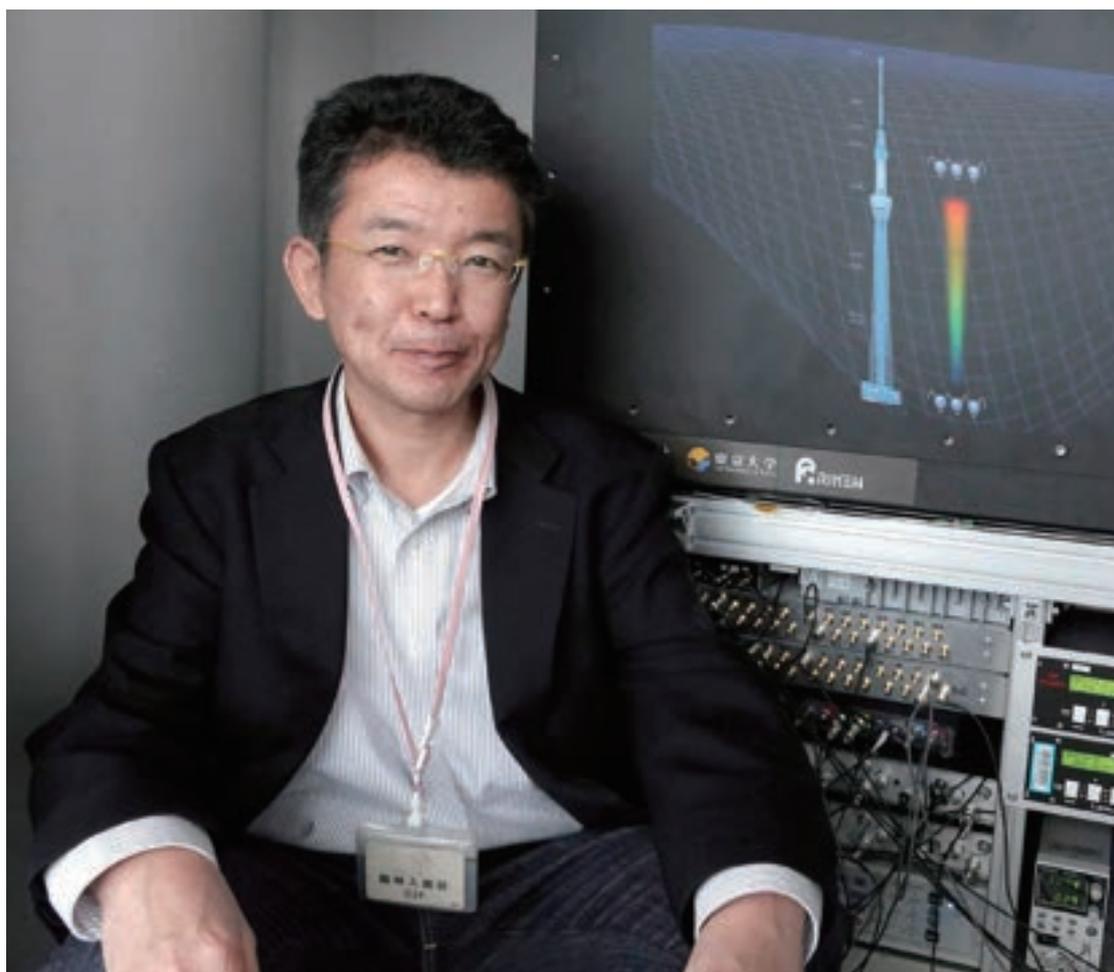
March 23, 2022

---

理研桜舞賞（理化学研究所）／バイ・シ基礎科学特別研究員（先端レーザー加工研究チーム）、森口祥聖客員研究員（テラヘルツ光源研究チーム）

RIKEN Obu Award (RIKEN) / Shi Bai, Special Postdoctoral Researcher (Advanced Laser Processing Research Team), Yosikiyo Moriguchi, Visiting Scientist (Tera-Photonics Research Team)

BRIEFS



Optical lattice clock pioneer Hidetoshi Katori is the team leader of the Space-Time Engineering Research Team at the RIKEN Center for Advanced Photonics.

## Hidetoshi Katori, Breakthrough Prize winner

Hidetoshi Katori, team leader of the Space-Time Engineering Research Team at the RIKEN Center for Advanced Photonics, has been awarded the prestigious Breakthrough Prize in Fundamental Physics for his work in developing the optical lattice clock, a phenomenally precise type of atomic clock. He won the award alongside Jun Ye from the National Institute of Standards and Technology and the University of Colorado. The

clocks, which were developed independently by Katori's and Ye's teams, are so accurate that they will not go out of sync by even a second even after a period of time that reflects the amount of time the Universe has existed. In addition to measuring time, these clocks can be used to perform 'relativistic geodesy', meaning the measurement of heights using Einstein's theory of relativity. The Breakthrough Prize is a prestigious set

of international awards presented by the Breakthrough Prize Foundation and its founding sponsors—Sergey Brin, Priscilla Chan and Mark Zuckerberg, Yuri and Julia Milner, and Anne Wojcicki. *Katori is also the Chief Scientist of the Quantum Metrology Laboratory in the RIKEN Cluster for Pioneering Research and a professor at the University of Tokyo.*

<https://breakthroughprize.org/News/65>

© 2021 Hidetoshi Katori

# 超高速の世界を捉えるアト秒の光

アト秒はとても短い時間の単位で、0.000000000000000000001(1×10<sup>-18</sup>)秒だ。物の動きを捉えるには、ストロボを使って連続写真を撮る方法があるが、もし電子のように素早く動く物を捉えようとする、アト秒レベルの短い間隔の光が必要だ。300アト秒だけ光って消えるパルス光をつくらせた光量子工学研究センター アト秒科学研究チームの鍋川康夫 専任研究員(以下、研究員)に、アト秒の世界の光の話聞いた。

## 世界一の短パルス光のつくり方

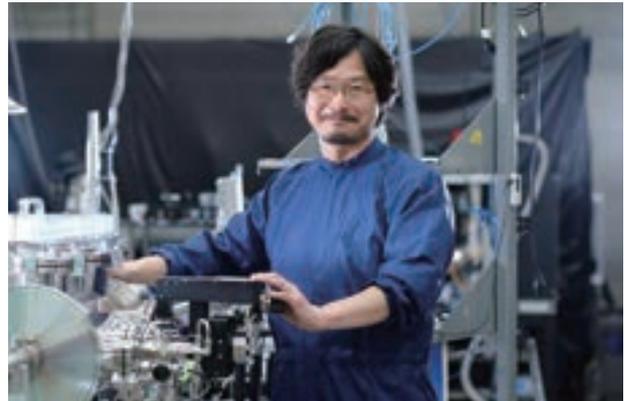
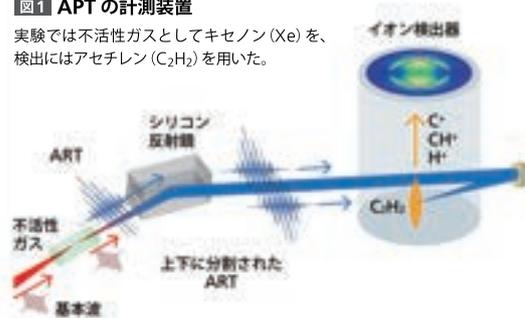
アト秒レベルで短く光り、しかも計測に使えるほど強いパルス光は、どのように作るのだろうか。光の研究の面白さについて「光には波の性質があり、波の山と山が重なって強まったり、山に谷が重なって強さを打ち消したりと、干渉します。そして電子などの粒子に当たっても、その性質は引き継がれます」と鍋川研究員。つまり、干渉をいかに使いこなすかが鍵となる。反応を起こしにくい不活性ガスに、強いレーザー光(基本波、**図1**の赤線)を当てると、基本波の波長の奇数分の1の波長の光(高次高調波)が発生する。それらの光は精密に干渉しているので、さらに波長の短いアト秒のパルス光(APT:アト秒パルス列、**図1**の青線)となっている。この時点では基本波が混ざっているが、シリコン反射鏡に当てるとシリコン反射鏡に吸収され、APTだけを取り出すことができる。

## 1パルスの時間をどうやって測るのか

しかし、アト秒という短い光の時間幅を計測できる機器はないため、生成したAPTの時間幅はAPT自身で計測するしかない。これを自己相関計測という。シリコン反射鏡は上下に分かれており、入射したAPTの半分を上鏡で、残り半分を下鏡で反射する。そして、下の鏡だけを数nm(1nmは10億分の

図1 APTの計測装置

実験では不活性ガスとしてキセノン(Xe)を、検出にはアセチレン(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)を用いた。



鍋川 康夫 (なべかわ やすお)  
光量子工学研究センター  
アト秒科学研究チーム  
専任研究員

1966年千葉県生まれ。早稲田大学大学院理工学研究科物理及応用物理専攻博士課程前期(修士)修了。博士(工学)。2001年理研入所、2018年より現職。

1m)単位で後ろに動かすと反射にわずかな時間差が生じ、上下の反射光の波形が重なったときは光強度が高まり、離れたときは光強度が低くなる。その光をイオン検出器内でアセチレン分子(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)に当ててイオン化する(**図1**)。

「光強度が高まるとイオンの生成量が多くなり、低くなると少なくなります。鏡を少しずつずらしながらイオンの生成量の増減を調べることでAPTの時間幅を計測できるのです」と鍋川研究員。この装置を使って、自己相関計測で世界最短の300アト秒を記録した(**図2**)。

## 温度管理の重要性

この成果には、鍋川研究員のある工夫があった。シリコン反射鏡は基本波を吸収すると発熱して位置がずれてしまう。そこで、シリコン反射鏡の温度を一定に保つ装置を導入し、影響を最小限に抑えたところ、**図2**のグラフが得られた。鍋川研究員は「これほど鋭いピークのグラフを見たことがなかった」とデータを得たときの興奮を振り返る。

さらなる発展のために、強い単一アト秒パルスを生成したり、高次高調波で検出イオン種を自在に制御したりするなどの新たな試みが注目されている。

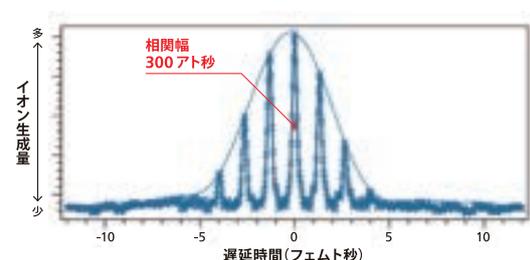


図2 アセチレン分子(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)から生じた炭素イオン(C<sup>+</sup>)のAPT自己相関波形

1フェムト秒は1,000アト秒。炭素イオン(C<sup>+</sup>)以外にも、メチンイオン(CH<sup>+</sup>)、水素イオン(H<sup>+</sup>)の自己相関波形を得ている。これまでの研究では単一イオンしか発生しない単純な分子を用いていた。複数のイオン種を検出に用いたことも本研究の特長だ。

取材・構成: 大石かおり / 撮影: 相澤正。

# 光を操り「安全安心な空間づくり」

「今こそ研究者はその専門性を生かして状況の打開に当たるべき」。国難とも言えるコロナ禍に当たり、光量子工学研究センター光量子制御技術開発チームの和田智之チームリーダー（TL）は光技術による安全安心な空間づくりを目指して、2020年3月には研究をスタートさせた。独自の光計測技術を使って、飛沫が拡散する様子の可視化やマスクの性能評価の手法を開発。さらに、レーザー光による「コロナ不活性化光カーテン」も開発した。

## ウイルスの可視化とマスクの性能評価

新型コロナウイルスは、口から出る飛沫を介して感染が広がる。そのため感染予防には、人との間に十分な距離を取り、マスクで口と鼻を覆う。しかし、コロナ禍が始まった当初は、どれほどの距離を取れば良いのか、マスクの感染予防効果はどの程度なのか、よりどころとなる科学的な情報がなかった。

「飛沫は唾液が細かく散ったものですから、水分です。大気中を気流に乗って漂う“水分を簡単に見る”ことができる方法を開発しました」。和田TLが開発したライダー技術では、対象に向かって光を照射し、跳ね返ってきた光を観測することで対象を“見る”ことができるのが特長だ。このライダーを使い、まず人の口から出る飛沫の数とサイズ、スピードを計測するシステムを開発した。計測結果から、どの程度のサイズの飛沫が、気

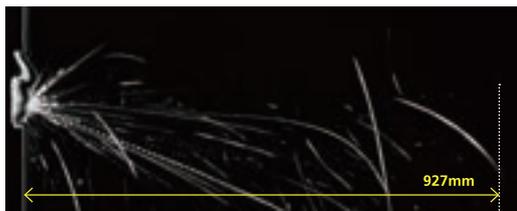


図1 ライダーによる飛沫の可視化  
口から飛んだ飛沫の軌跡。約1m先まで飛んでいることがわかる。

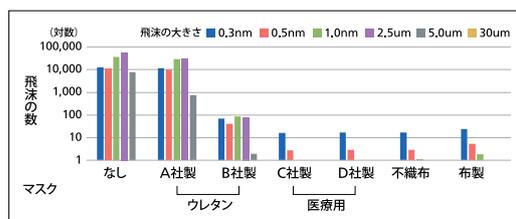


図2 マスクを透過する飛沫のサイズと数の比較  
ウレタンマスクの飛沫の透過度は高いが、不織布マスクは医療用マスク同様、透過度は低い。

### 和田 智之 (わださとし)

光量子工学研究センター  
光量子制御技術開発チーム  
チームリーダー

1963年埼玉県生まれ。東京理科大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。1992年、理研基礎科学特別研究員を経て、2013年より研究室を主宰、2018年より現職。



流に乗ってどこまで飛ぶかを可視化できるのだ(図1)。

これを発展させて、飛沫がマスクをどれだけ透過するかを計測する装置もつくり、さまざまなマスクの性能を比較した(図2)。「医療用マスクはもちろん、一般的な不織布や布のマスクも飛沫を99%通していません。一方で、一部のウレタンマスクはほとんど透過しているため、マスク選びが重要だ」と結果について説明する。さらに、「感染力の強いデルタ株の出現で、より少量のウイルス、すなわち、より小さくて遠くへ飛ぶマイクロ飛沫にも注意が必要になりました。一時はどうなることか心配でしたが、この結果から不織布マスクをしていれればまず安全だと言えます」と和田TL。

## 紫外線カーテンでウイルスを不活性化

光でできることは、飛沫の可視化や計測だけではない。新型コロナウイルスは、紫外線によって不活性化させることで、感染力が減少することが分かっていた。そこで和田TLは、紫外線を使った「コロナ不活性化光カーテン」を開発した。

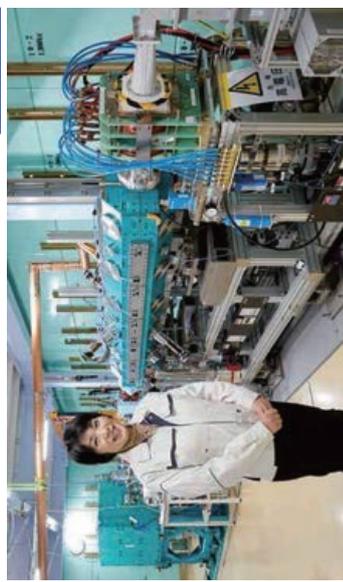
「装置の基本技術は公開できませんが、人に害を及ぼさないと考えられている波長230nm(1nmは10億分の1m)以下の紫外線ビームを発生させて、それをカーテンにしました」と和田TL。トンネルなどのコンクリート構造物の非破壊検査や宇宙観測など、これまでライダーで培ってきた、目的にあった光源をつくり制御する技術が、コロナ対策技術にも生かされている。実用化に向け、波長230nm以下の紫外線の安全性確認も行われていく。

飛沫に関するデータや開発した紫外線発生技術は、すでに企業で利用され始めている。そこから、また多くのコロナ対策が提案されるだろう。

# Vol.2 理研の博士と考えよう!

特集 かかれたものを見る

科学道  
Dive into the Future



かかれたものを見る  
スペシャリスト  
おおたけ によしえ  
大竹淑恵 博士  
光電子工学研究センター  
中性子ビーム応用チーム  
チームリーダー

## 「鉄やコンクリート」の中を見る?!

みなさんは、大きな岩や建物の太い柱を見て、「この中はどうなっているんだろう?」と想像したことはありませんか? 石やコンクリートの中身を透視できれば、きつと面白い、便利なこともあるでしょう。私はこれまで、「中性子をビームにする」技術を使って、ものの中身をみる研究をしています。

中性子は、この世界のすべてのものをつくっている「原子」という粒の中に必ずある、とてもありふれたもの「陽子」という粒の中にも必ずある、安全にとり出して使う技術がなかったために、これまでは私たちが開発した装置です。この写真に写っているのは私たちが開発した装置です。この装置でつくった中性子ビームは、コンクリートや鉄など、社会で使われている厚みのあるものに入り込むこ

とができます。たとえば、40cmの深さにできすぎまやたまった水などを見つけたら、数cmの深さにふくまれる物質を分析したりするのに使われます。

中性子ビームを使って何をやるか、私が最初に考えたのは、世の中の役に立つために、大きなものの中を見ることでした。日々の生活で使われている道路や建物は、外見はきれいで中が割れてさびていたり、こわれていたりすることがあります。コンクリートの中を見て、さまざまな事故を防ぎたい、と考えました。

装置は初め、全長15mの大きさのものでしたが、最近ではトラックのせて運べる3mぐらいの装置の開発も進んでいます(右下の完成予想図)。今ではくらしの中さまざまなものの点検を頼まれることが多くなり、私たちはその期待に応えようと、毎日研究を進めています。

博士がらみんなへ  
考えてみよう

キライ!  
外は茶色で毛だらけ、中は緑でジュシーなくはものだよ!

面白いおみ!  
クマになってくれたら、中はふわふわのわたをよ!



外から見た印象と  
中身がちがうものって  
何かな?

## どんなものが見える? 中性子ビーム 透視の術

私たちのくらしの街には、コンクリートや鉄でできたものがたくさんある! その中は目では見えないけれど、中性子ビームで見ることができよ。

アスファルトの中が見えた!

水がたまっている!

コンクリートの中が見えた!

丸い形状のトをコンクリートの上から見た

横から見た

コンクリートの中に入っている石が見えた!

中性子ビームで見るといつも見ているかたいものがちがって見えるね!

小さな鉄の粒の集まり方が変化している!

透視の術を使えばできる!

建物の健康診断

道路や橋の中を中性子ビームで見ると、どんな状態なのかが見えて、異変に気づくことができる。事故が起きる前に防ぐことにつながるよ。

さまざまな場所に装置を運んで健康診断するためには、装置を小さくすることが重要なんだ。



完成予想図

# 小脳全体の可視化がもたらした新発見

脳は、どのように働いているのか。神経細胞のレベルでの研究は進んできたが、全容を捉えるには、より広い範囲で脳の活動を見る必要がある。20年にわたって小脳の観察に挑んできた道川貴章 研究員は、小脳全体の活動の可視化に成功。その先には、感覚入力に関する大きな発見があった。

## 小脳に「体部位再現地図」はあるか？

脳の働き方には、特定の領域がそれぞれ異なる身体機能を担うと考える「局在論」と、脳全体が協調してさまざまな機能を担うと考える「全体論」の二つの考え方があり、長年議論が続いている。大脳皮質の局在論では、身体を動かす指示を出す部分や触覚情報を受け取る部分など、身体の各部位に対応する脳の領域があることを示す「体部位再現地図」があるとされてきた。では、小脳はどうか。道川研究員らの発見により、小脳には「体部位再現地図」がないことが分かった。

これを可能にしたのは、小脳の表面全体でニューロン（神経細胞）のシグナルを可視化する技術。「ニューロンが活動するとカルシウム濃度が上がります。脳内のカルシウムを感知できる



図1 小脳の大規模可視化に成功

小脳皮質の背側全域を同時に計測可能な実験システムの開発に成功し、時々刻々と変化する細胞の様子を可視化した。

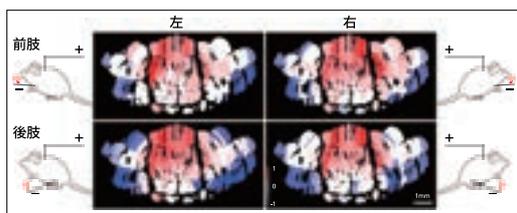


図2 マウスの四肢への電気刺激に対するスパイク発火

筋肉への電気刺激により発火が増加したセグメントを赤、減少したセグメントを青で示している。四肢への刺激から、小脳内に局在した反応の領域がないことが分かる。

道川 貴章

(ミチカワ・タカユキ)

光子工学研究センター  
生命光学技術研究チーム  
研究員

1964年東京都生まれ。東京大学大学院医学系研究科修了。博士(医学)。東京大学医科学研究所、英国ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン、埼玉大学脳科学融合研究センターなどを経て、2013年より現研究チーム。2018年より現職。



よう遺伝子組換えをしたマウスと、広い範囲を観察できるマクロ顕微鏡システムを組み合わせ、小脳皮質からの出力を担うブルキンエ細胞の活動を計測しました(図1) 」

## 浮き上がってきた十字形の構造

小脳皮質の表面全体を可視化することで観察できるブルキンエ細胞は2万個以上。その全ての活動電位(スパイク発火)を測定して小脳の見え方を調べた結果、身体刺激に対する反応は小脳全体に及んでいることが分かった。さらに、個々のブルキンエ細胞が独立して活動しているのではなく、道川研究員らが「セグメント」と名付けたブルキンエ細胞の小集団(クラスター)ごとに同期して発火していることも分かった。

マウスの四肢を前後左右別々に刺激した場合には、常に小脳全体が反応するが、そこに整然とした構造があることも見えた(図2)。「小脳皮質の活動は十字形の構造になっており、十字の中央部分の発火が増加すると、四つの先端の発火が減少するというように、相互相関があったのです。このような構造は予想外だったため、モニターに目がくぎ付けになりました」

## 統計手法で応答から刺激を読み解く

次に、現象から原因を推定する統計手法(ベイズ推定)を用いて、観測で得た小脳皮質の発火から、どの筋肉が刺激されたかを読み取った。その結果、単一のセグメントではなく、集団でのセグメントの活動パターンの組み合わせが、時々刻々と変化する感覚入力(筋肉の刺激)の情報伝達を担っていることが明らかになったのだ。

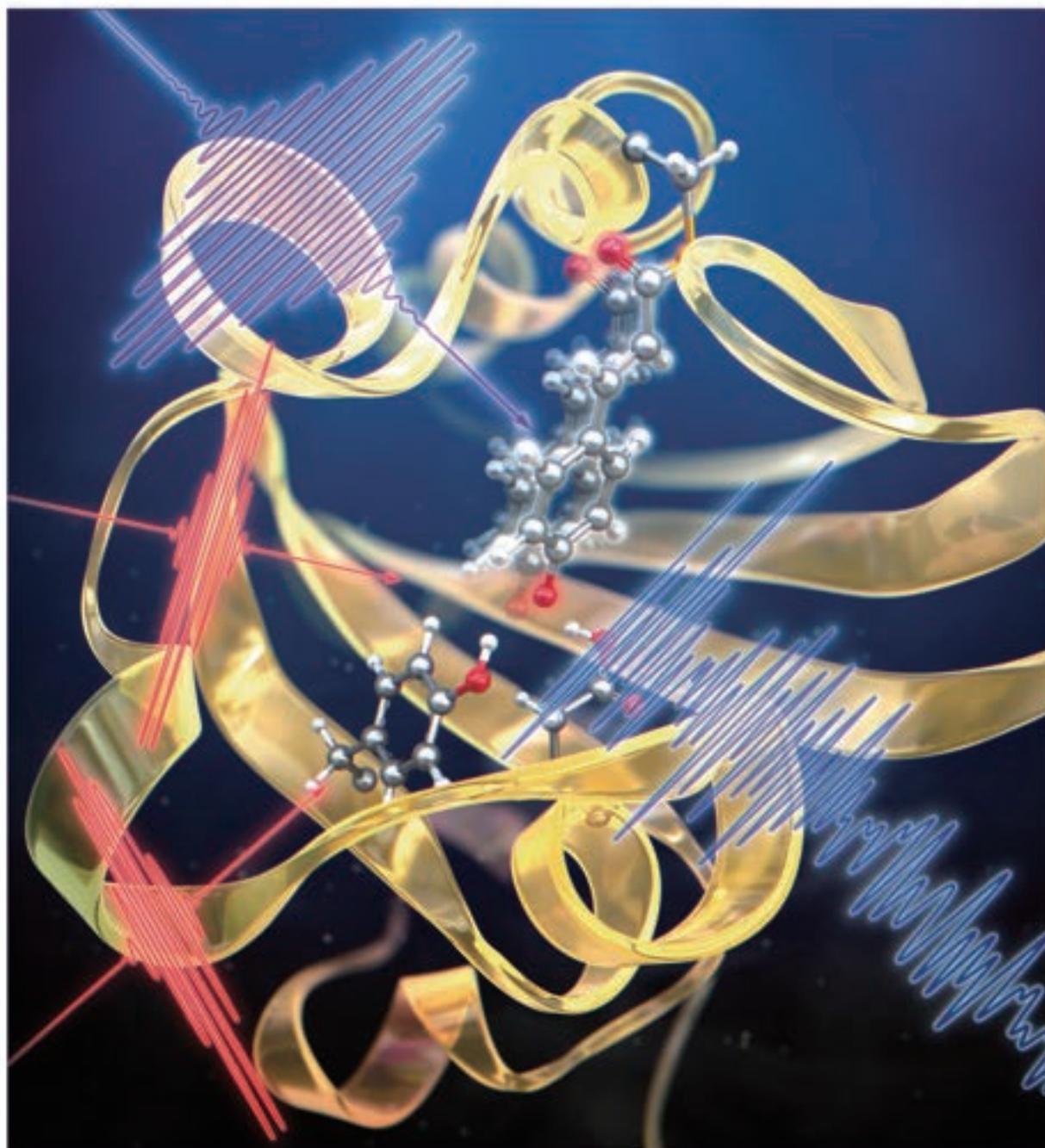
「1秒に1回とゆっくりしたリズムで発火するブルキンエ細胞の働きは長年の謎でしたが、細胞2万個に及ぶ全体像が見えたことで、小脳の神経回路の動作原理に関する全く新たな知見を得ることができました。感覚入力と運動制御の相互作用を明らかにすることで、将来的には運動障害などのリハビリテーションやブレイン・マシン・インターフェイスなどの開発にも役立つと思います」

取材・構成：牛島美苗／撮影：相澤正。

July 7, 2021  
Volume 143  
Number 26  
pubs.acs.org/JACS

# J | A | C | S

JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY



 ACS Publications  
Most Trusted. Most Cited. Most Read.

[www.acs.org](http://www.acs.org)

轉載許可取得済 American Chemical Society