

# RIKEN

Center for Advanced Photonics 光量子工学研究センター

## Terahertz-wave Research Group

テラヘルツ光研究領域

# *THz*

# *Dynamism*

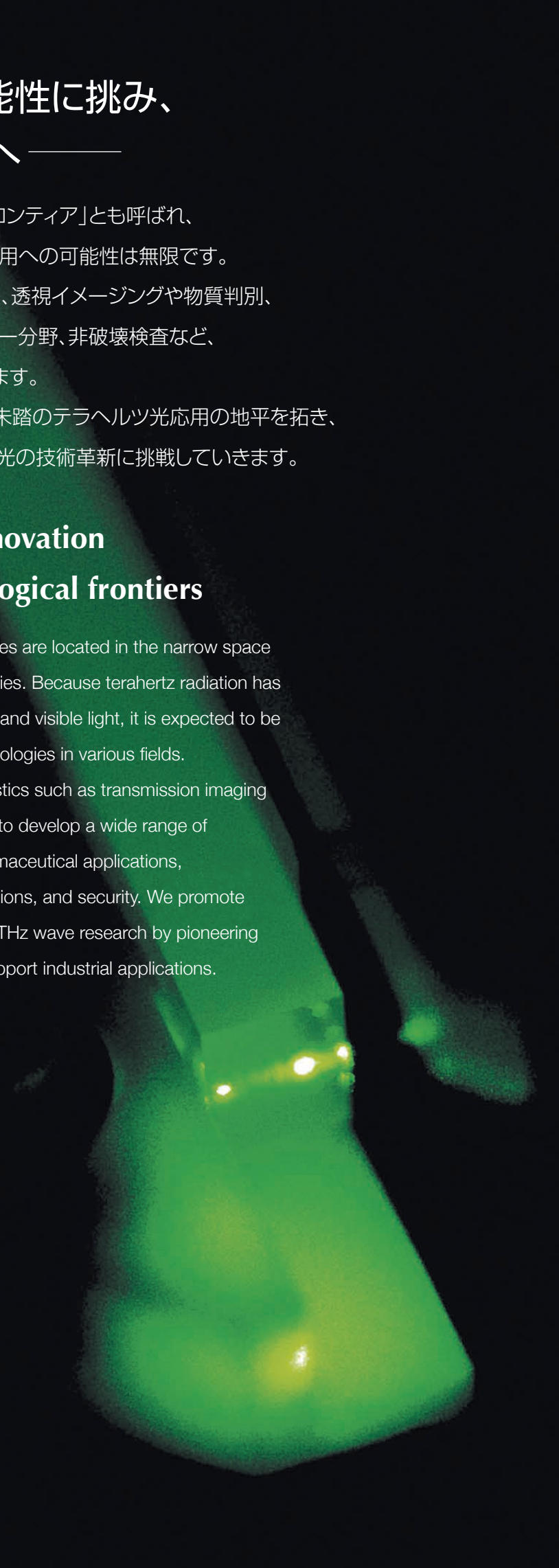
# テラヘルツ光の可能性に挑み、 実用化の技術革新へ

テラヘルツの波は、「光の最後のフロンティア」とも呼ばれ、光と波の良い性質をあわせ持ち、応用への可能性は無限です。この有用なテラヘルツ光を用いると、透視イメージングや物質判別、医療や薬学、情報通信、セキュリティー分野、非破壊検査など、幅広い応用分野の開拓が期待されます。産業技術を支える基盤技術として、未踏のテラヘルツ光応用の地平を拓き、今後も世界をリードするテラヘルツ光の技術革新に挑戦していきます。

## Exploring terahertz innovation by challenging technological frontiers

Terahertz (THz) wave-based technologies are located in the narrow space between electronic and laser technologies. Because terahertz radiation has the characteristics of both radio waves and visible light, it is expected to be used for the development of new technologies in various fields.

By taking advantages of the characteristics such as transmission imaging and material discrimination, we expect to develop a wide range of applications such as medical and pharmaceutical applications, nondestructive inspection, communications, and security. We promote technological innovations and lead the THz wave research by pioneering unexplored technologies which also support industrial applications.



# OUTLINE of Terahertz-wave Research Group

## テラヘルツ光研究領域の概要

テラヘルツ光は電波と光の中間にあり、様々な物質を透視して物質判別ができるなど、他の光にはない特長が注目されます。

理化学研究所は日本のテラヘルツ光研究のフロンティアを担い、仙台は世界屈指の規模を誇るテラヘルツ光研究拠点となっています。ここで世界最高水準のテラヘルツ光研究を通じて、研究、技術開発、応用の開拓を進めています。

世界的な研究開発の歩みの中で、テラヘルツ光に関して様々な特質が解明されてきました。一つは、テラヘルツ光が非金属の物質(ソフトマテリアル)との親和性が高く、利用範囲が広いこと。2つ目は、高分子の骨格の動きや分子同士の運動を見るために最も優れた光であること。加えて、テラヘルツ光を使って物質の構造や機能を変える可能性も注目されます。これらの特質を科学研究にとどまらず産業創出にも応用することで、プラスチック製品、機能性材料、複合材料、化学、バイオなど、様々な分野での利用が期待されます。

理化学研究所では、テラヘルツ光研究領域として3つのチームを編成。特殊な光学結晶(非線形光学結晶)を用いた世界最高強度の卓上テラヘルツ光源の研究開発、先端的イメージング・分光計測や幅広い利用法の研究開発、将来の超小型光源として期待されるテラヘルツ量子カスケードレーザーの研究開発を主軸に、より高度なテラヘルツ光利用のための基盤技術を着々と確立させています。これまで培ってきたキー技術を有機的、戦略的に連携させて、実用化を視野に入れたテラヘルツ光研究のフロンティアとしての歩みを重ねています。

Terahertz (THz) wave falls between radio waves and visible light. The wave has unique characteristics such as transmission imaging of visibly opaque materials and material discrimination by their spectra. Currently, RIKEN's Terahertz-wave Research Group is one of the largest groups performing THz research in the world, and the group is responsible for pioneering THz research in Japan. The group has been promoting state-of-the-art THz research, technological development, and applications.

In the long history of THz-wave research, various characteristics have been discovered, which can be described as follows: 1) THz radiation is suitable for nonmetallic materials, the so called "soft materials." 2) THz frequency corresponds to that of the skeletal motions of large molecules and the dynamics between molecules. Moreover, the many studies have been started to realize the changes of material structures and functions by THz radiation. Thus, by using these characteristics, a plethora of research and practical applications are expected to be developed for various materials such as plastics, functional materials, and composite materials as well as for fields such as chemistry and biology.

There are three teams in the THz-wave Research Group whose principal research topics include development of strong tabletop THz sources by using nonlinear optical crystals, advanced detection, imaging and spectroscopic technologies and small THz-emitting sources of quantum cascade lasers for future practical applications. Moreover, by organizing these technologies strategically, new frontiers for THz research and related applications have opened.

## ORGANIZATION

### テラヘルツ光研究領域の組織



# Laboratory 01

未来を照らす、革新的テラヘルツ光源の開発

## Tera-Photonics Research Team

### テラヘルツ光源研究チーム

テラヘルツ光源研究チームでは、次世代のテラヘルツ光応用開拓のために、非線形光学効果を用いた波長変換により、光波(近赤外光)とテラヘルツ光の間を自在に変換し、常温で動作する高出力な波長可変テラヘルツ光源や、高感度なテラヘルツ光検出の研究開発を行っています。光源開発においては、テラヘルツ光の出力尖頭値としてキロワット(kW)レベルを達成し、卓上サイズの光源でありながらテラヘルツ自由電子レーザーなどの大型テラヘルツ波光源並みの性能を実現しています。また、超広帯域化のために有望な有機非線形光学結晶(BNA, DASTなど)を独自の方式で単結晶育成し、これらを用いてサブTHzから50THzに及ぶ超広帯域での発生を可能にしています。一方、テラヘルツ光の常温・高感度検出では、極低温下で動作する熱型検出器を超えるフェムト・ジュール以下の検出性能を実現しています。これまでに見えなかった現象や信号の捕捉が期待されます。周期分極反転や導波路構造などを用いた高度な非線形光学素子による、より高効率なテラヘルツ光検出の研究開発を行っています。さらに、各種物質の分光スペクトルの計測\*とともに、開発した光源や検出方法を用いた革新的なテラヘルツ光応用の開拓に向け、様々な取り組みを展開しています。

\*THz database URL <http://www.thzdb.org/>

The tera-photonics research team is developing high-output, frequency-tunable THz-wave sources, sensitive THz-wave detection using nonlinear optical effects, and original applications using them. Through the team's research activities, kilowatt peak power has been obtained in a THz-wave parametric source, which is almost the same level as enormous THz sources such as free-electron lasers. Additionally, organic nonlinear optical crystals of DAST and BNA have been identified as promising materials for use in wide-band THz-wave generation and detection. Single crystals are being developed with original growing methods. Ultra-widely tunable THz-wave sources have been demonstrated in the broad range from sub-THz to 50-THz. Sensitive THz-wave detection using nonlinear optical up-conversion exceeds that of a cryogenic-cooled bolometer at room temperature. Minimum THz-wave energy of the attojoule level has been detected. Furthermore, the device provides a greater than ten-digit range of dynamic detection. We have assessed practical THz-wave sources and sensitive THz-wave detection in industrial applications. Our efforts specifically address the investigation of innovative THz-wave applications using our technology along with THz spectra\* of various collected materials.

\* THz database URL <http://www.thzdb.org/>



## Terahertz Sensing and Imaging Research Team

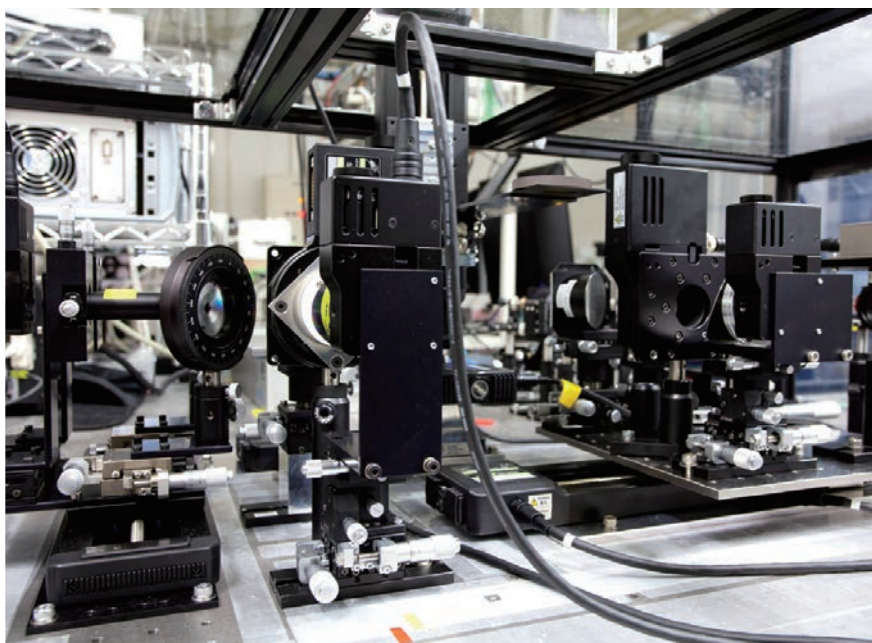
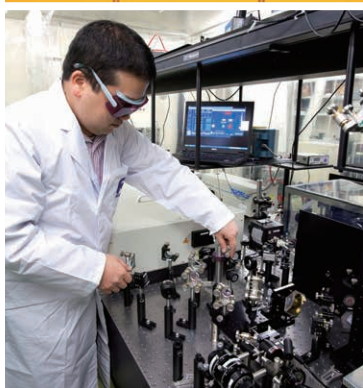
### テラヘルツイメージング研究チーム

テラヘルツ光は新たな光の「目」として期待され、中でもイメージングとセンシングに代表されるテラヘルツ計測の研究開発は非常に重要です。

テラヘルツイメージング研究チームでは、イメージング・分光・応用をキーワードとして、テラヘルツセンシング・イメージングに関する新技術の研究開発と応用開拓を進めています。これまで、テラヘルツ光のビームを自在に操る走査技術を世界に先駆けて開発。従来は分析が困難だった物質の指紋スペクトルの新たな分析法を開発し、計算によるスペクトルの再現にも成功するなど、「テラヘルツ分光学」の基盤の開拓に貢献してきました。また、最先端の宇宙・天文観測用の超高感度ミリ波・テラヘルツ光検出器や、高精度の断層イメージングの技術開発を行っているほか、高強度テラヘルツ光を活用した物質改変に挑戦しています。一方、企業との共同研究をはじめとして、テラヘルツ光応用の開拓も積極的に進めています。

私たち研究チームは、テラヘルツ光のイメージング・分光・応用に関する研究開発を通じて、さらなる利用可能性が広がるテラヘルツ光センシングとイメージングの地平を切り拓きます。

THz radiation is expected to be employed as novel technology for sensing and imaging applications. THz sensing and imaging research has opened new possibilities in THz-radiation technologies and applications. To date, our THz-research team has developed technologies to develop large-angle THz-beam steering as well as to analyze and simulate THz-range spectra to investigate the possibilities in THz-range spectroscopy. In addition, the team has developed highly sensitive millimeter- and THz-wave superconducting detectors for astronomical observations and high-resolution cross-sectional imaging. Our team is also considering the modification of the structures of materials via irradiation with strong THz-range electrical fields. Moreover, by collaborating with other institutions and commercial companies, our team has been developing novel, practical applications of the THz wave. Thus, the team has been addressing the challenges of exploring possibilities in THz sensing and imaging via continuous research and development of THz sensing, imaging, and other applications.



## Terahertz Quantum Device Research Team

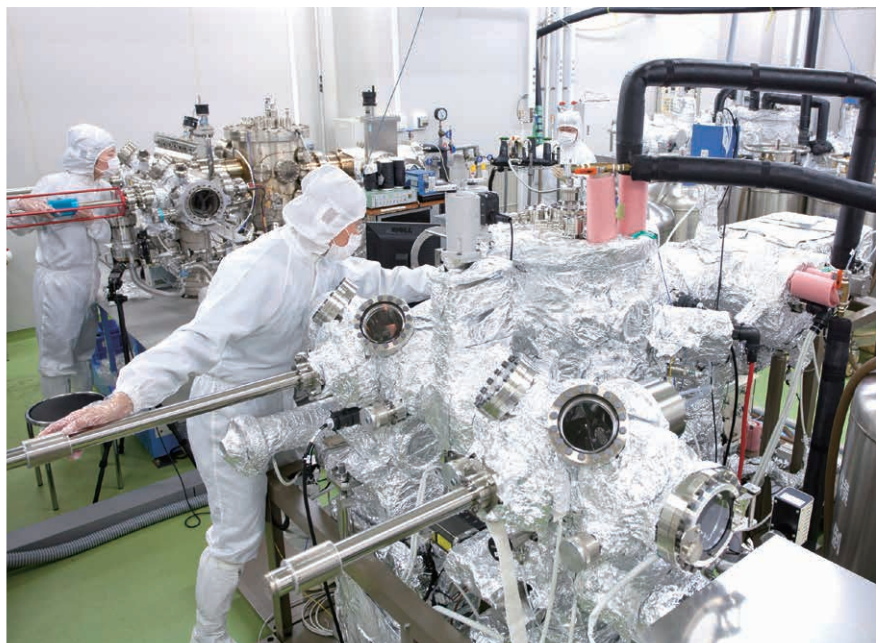
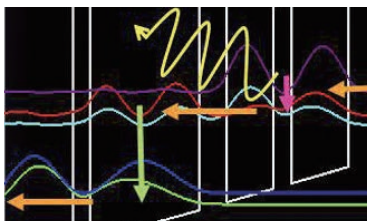
### テラヘルツ量子素子研究チーム

本研究チームでは、誰もが簡単に扱えるテラヘルツ光素子を世の中に広く提供することを目指して、安価でかつ長時間使用可能な高効率・高感度のテラヘルツ半導体発光素子及び検出器の開発を行っています。

異なる半導体をナノオダで交互に積層(超格子)した時に形成されるサブバンド準位間の発光遷移を利用した量子カスケードレーザは、超小型・高出力・高効率・狭線幅・長寿命・連続動作・高耐久といった優れた特長を持っていることから、将来の実用型テラヘルツ光源として期待されています。私たちは、このテラヘルツ量子カスケードレーザの「室温での動作」・「発振周波数領域の拡張」・「低閾値化」・「高効率化」などの新規技術開発に取り組んでいます。その成果の一つとして、世界最高温度に迫る160Kでの動作に成功しています。また、新しい材料(III族窒化物半導体)を用いた構造からも、テラヘルツ光の観察を可能にしています。

今後も、新規量子構造の設計、新規半導体材料の開拓、低損失金属導波路の開発などを通じて、高性能テラヘルツ量子カスケードレーザの実用化を目指します。さらに、量子カスケードレーザの逆過程(サブバンド吸収)を利用した、テラヘルツ検出器の実現に力を尽くします。

We are developing low cost, handy, and high-performance terahertz (THz) semiconductor emission and detection devices, thereby enabling people across the world to enjoy next-generation THz applications. Quantum cascade lasers (QCLs) that utilize optical intersubband transitions in superlattices are promising and practical advanced THz laser sources because QCLs have several advantages over conventional THz light sources. They are compact and maintenance-free, operate as continuous-wave sources, and emit high-power and high-efficiency radiations. Further, the line-width of their lasing spectrum is sharp. We are studying THz-QCLs operations at room temperature, at pioneering frequencies (<1 THz and 5–12 THz), at low threshold current densities, and at high power conversion efficiencies. We have successfully operated THz-QCLs at high temperatures up to 160 K, which is close to the world record. We have also successfully observed THz emissions from structures in new materials (III-nitride semiconductors). We can realize high-performance THz-QCLs by designing novel quantum structures, using new semiconductor materials, and developing low-loss optical waveguides. We can also realize high-sensitivity THz detectors by utilizing inverse emission (*i.e.*, absorption) of QCLs.



# What's RIKEN?

## 理化学研究所とは

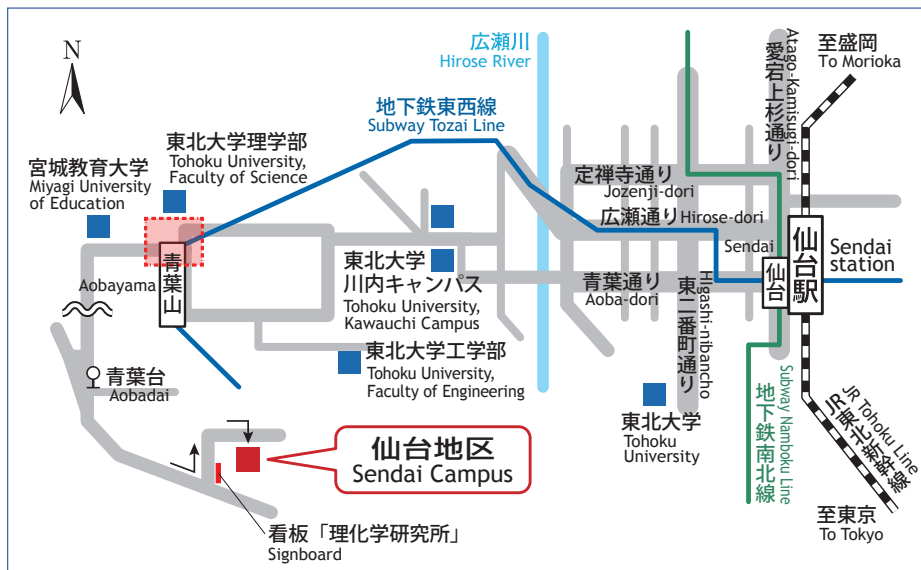
理化学研究所は、日本で唯一の自然科学の総合研究所です。全国に研究拠点、また海外拠点を配し、物理学、工学、化学、生物学、医科学などに及び、広い分野で先導的な研究を進めています。

当研究所は、1917年(大正6年)に財団法人として創設されました。戦後は株式会社「科学研究所」、特殊法人時代を経て、文部科学省所轄の独立行政法人として再発足し、2015年(平成27年)から国立研究開発法人理化学研究所になりました。

研究成果を社会に普及させるため、大学や企業との連携による共同研究、受託研究などを実施しているほか、知的財産などの産業界への技術移転も積極的に進めています。

RIKEN is Japan's largest comprehensive research institute renowned for high-quality research in a diverse range of scientific disciplines. Founded in 1917 as a private research foundation in Tokyo, RIKEN has grown rapidly in size and scope. As a national research institute, today RIKEN has a network of excellent research centers across Japan with state-of-the-art facilities that rank among the best in the world. This high-quality and high-performance research environment, combined with a unique bottom-up approach to scientific innovation, has fostered an environment in which researchers are able to thrive. RIKEN is committed to maintaining its position as Japan's leading research institute by promoting highly creative basic research and focusing on innovation.

### [研究拠点]



▶ 仙台無線タクシー協同組合配車センター  
☎ 0120-632-441 ☎ 022-263-2441



## 理化学研究所仙台地区

〒980-0845

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉519-1399

Tel.022-228-2111 Fax.022-228-2122

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

## RIKEN Sendai Campus

519-1399 Aoba,Aramaki,Aoba-ku,Sendai,

Miyagi 980-0845

Phone.+81-22-228-2111 Fax.+81-22-228-2122

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