

先端国際共同研究推進事業

2023 年度採択

次世代のための ASPIRE

量子分野

2023 年～2024 年度

年次報告書（公開版）

研究課題名	次世代高速通信に向けたテラヘルツ波量子検出の実現
日本側研究代表者	村手 宏輔 名古屋大学 助教
相手側研究代表者	Francois Blanchard, Professor, Department of Electrical Engineering, Ecole de technologie supereiore (ETS)
研究期間	2024 年 2 月 1 日～2027 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

これまで我々が培ってきたテラヘルツパラメトリック検出は高感度なテラヘルツ検出が可能であるだけでなく、テラヘルツ波の周波数情報を空間に置き換えてリアルタイムに取得できる。一方でこれまで単一周波数光源の検出に限定されており、広帯域なテラヘルツ波の検出へは利用が難しいと考えられてきた。広帯域光を高感度にリアルタイム分光が可能となればテラヘルツ測定ของเกมチェンジャーとなりうる可能性を秘めており、広帯域光を専門とするカナダの研究チームとの共同研究を実施している。

今年度はその原理実証と、周波数分解能の詳細な考察を実施した。fs レーザーにより広帯域テラヘルツ波を発生させ、バルクの LiNbO_3 結晶に励起光とともに入射することで近赤外光へとアップコンバートする。その後アップコンバートされた信号をカメラで観測することで広帯域光の周波数情報をシングルショットで観測した。この時、数十 GHz 程度の周波数分解能が得られており、広帯域な fs レーザー励起と考えると想定以上の高い分解能が得られていた。こちらの理由を日本側研究員が中心となって考察し、周波数分解能にはビーム径が重要であることを見出した。本情報を元に fs レーザー励起の広帯域テラヘルツ光源、パラメトリック検出器を組み合わせた分光器を構築し、サンプルとしてバンドパスフィルターを測定した。また、本システムはテラヘルツ波と励起光のタイミングをあわせるために時間遅延ステージを含んでいる。その時間ステージを掃引することで周波数毎の位相波形の取得も試みた。

<得られた成果>

広帯域テラヘルツ波の周波数情報を空間に置き換えて検出できることを実証した。その際の周波数分解能は数十 GHz 程度得られている。これは励起光の帯域とビーム径に大きく依存していることを見出した。テラヘルツ波は励起光を横切り、その際の相互作用により検出光に波長変換される。そのため、「励起光のビーム径が大きい＝サンプリング長が長くなること」に相当し、フーリエ変換の関係からより大きな励起光ビーム径は周波数分解能向上に繋がる。また、構築したシステムを用いてサンプル測定も実施した。バンドパスフィルターを測定した結果を図 1 に示す。ここで横軸はカメラのピクセルつまりテラヘルツの周波数を意味し、(a)-(e)はそれぞれテラヘルツ未入射時、入射時、サンプル挿入時の結果である。フィルターの設計に応じた周波数応答をカメラ上の像として得られており、シングルショットでテラヘルツ波の周波数情報を取得できたといえる。これら結果を元に論文投稿を行い、OPTICA 誌への掲載が決定した。

② 国際頭脳循環の促進にかかる成果

<実施したこと>

相手側研究者の F. Blanchard 教授、研究員の方を日本に招聘しパラメトリック検出について、カナダ側で得られた知見を日本側のシステムへの導入を図るとともに、論文化するにあたって重要な理論的な裏付けについて議論を交わした。日本側からは年度終盤に研究代表者と研究員、学生でカナダに 1 週間程度渡航し、実験に参加することで現地システムについて理解を深めるとともに、お互いの研究成果を発表し現状の理解や今後の方針についての議論、次の論文化に向けた方針の決定などを実施した。また、世界の TOP 研究者を招待した国際的なワークショップを開催した。

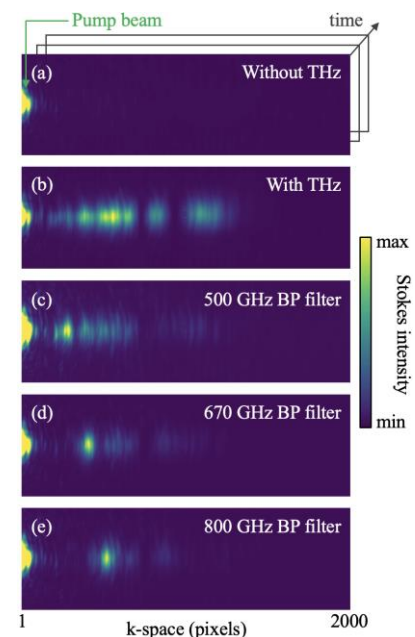


図 1. パラメトリック検出による広帯域 THz 波の検出結果。(a)THz 入射なし、(b)THz 入射時、(c)-(e)バンドパスフィルター挿入時。

<得られた成果>

カナダから F. Blanchard 教授及び研究者を招聘することで、カナダ側の実験で得られた知見を日本側システムへの導入を図った。また、対面で議論を交わすことで当初議論を予定していた項目に留まらず様々な事柄について意見交換ができ、お互いの研究についてより一層の理解が深まった。新たなアイデアも生まれており、対面で議論することの重要性を実感した。加えて今回当該テーマに関係のない学生も F. Blanchard 教授に研究内容について相談する姿も見られ、普段の我々からの助言とはまた異なる視点からアドバイスを頂け、研究室全体として良い刺激を受けたと感じる。

2025 年 1 月末に日本側のメンバーがカナダ現地を訪問した際は、教員、研究員だけでなく、学生同士がお互いの研究内容を発表する研究会を開催した。通常の学会とは異なり、少人数で実施したこともあり学生間で質問が活発に飛び合い大変有意義な時間であった。また、相手側で得られた実験結果についてその場で解析、フィードバックを行い、そちらを元にまた実験を進めてもらった。今年度の渡航は短い期間であったが、内容の濃い日々であったと実感する。

国際会議へも積極的に参加し、会議で知り合った先生から別の国際会議への招待を頂く機会も複数あった。自分の研究が広く認知、評価されていることを認識するとともに、国際的な研究者の輪が広がっていると感じている。今後も継続的に国際会議に参加して研究仲間を増やしていきたい。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
テラヘルツ波量子検出	村手 宏輔	名古屋大学・工学研究科・助教
高ダイナミックレンジ広帯域リアルタイム分光	村手 宏輔	名古屋大学・工学研究科・助教
テラヘルツ波を用いた次世代のパケット通信	François Blanchard	École de technologie supérieure(ÉTS), Department of Electrical Engineering, Professor

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

原著論文

- [1] S. Mine, G. Gandubert, J. Nkeck, X. Ropagnol, K. Murate, F. Blanchard, "Broadband heterodyne electro-optic sampling using a lithium niobate ridge-waveguide" Applied Physics Express, 17, 042001 (2024)
- [2] S. Mine, J. Nkeck, J. Lafreniere-Greig, G. Gandubert, K. Murate, F. Blanchard, "Single-shot up-conversion terahertz spectrometer with high frequency resolution," OPTICA (2025) (In press)

招待講演

- [1] S. Mine, K. Murate, F. Blanchard, "One-shot terahertz parametric detection of broadband terahertz pulse (invited)," 11th International Workshop on Terahertz Technology and Applications, Fraunhofer-Center, Kaiserslautern, Germany (Mar. 12-13 2024)
- [2] K. Murate, "Terahertz parametric generation and detection using LiNbO₃ crystal (Tutorial)," The 1st international terahertz summer school (TSA 2024), Hangzhou, China (Aug. 5-10, 2024).
- [3] K. Murate, S. Mine, K. Kawase, "Single-shot Terahertz Spectroscopy Based on Terahertz Parametric Generator and Detector (invited)," International Conference on Electronics, Photonics and Terahertz Technology (InCEPTT), IIT Delhi R&I Park, New Delhi, India (Dec. 1-4, 2024)

表彰

- [1] 嶺颯太, 最優秀若手発表賞, 受賞題目"広帯域テラヘルツ波の周波数領域におけるワンショット検出," テラヘルツ科学の最先端XI, (Oct. 18 2024)
- [2] S. Mine, Best contributory oral presentation prize, 受賞題目: "One-Shot Detection of Broadband Terahertz Waves in the Frequency Domain," International Conference on Electronics, Photonics and Terahertz Technology (InCEPTT) (Dec. 4, 2024)