

2026年6月2日

早稲田大学

岡山大学

科学技術振興機構 (JST)

テラヘルツバイオフォトンクスが拓く次世代バイオ計測 ～テラヘルツ技術の医療・生命科学応用に向けた課題と技術ロードマップを提示～

【発表のポイント】

- 生体組織や細胞、分子の状態を非侵襲・非破壊で調べることができる電磁波としてテラヘルツ波が注目されてきましたが、医療・生命科学への実利用は大きく進んでいませんでした。
- 本研究では、テラヘルツ波を生体計測に応用する研究分野である「テラヘルツバイオフォトンクス」の発展を妨げてきた本質的課題を整理し、その克服に向けた技術の進展を体系的にまとめました。
- 加えて、新しい顕微鏡技術や高感度センサー技術などの研究動向を整理し、医療・バイオ計測分野への応用に向けた現実的な技術ロードマップを示しました。
- 本成果により、テラヘルツバイオフォトンクスを次世代の医療・生体計測を支える候補技術として社会に広く示すとともに、産学連携や異分野融合の加速が期待されます。

生体の水和状態や分子間相互作用などを捉えられる新しい技術として、テラヘルツ波を用いた生体計測が注目されています。しかし、可視光などの光技術と比べると、医療や生命科学への実利用は大きく遅れていました。

早稲田大学大学院情報生産システム研究科 芹田和則（せりたかずのり）准教授、岡山大学学術研究院先鋭研究領域異分野基礎科学研究所 斗内政吉（とのうちまさよし）教授（特任）の研究グループは、テラヘルツバイオフォトンクス研究の歴史と最新技術を整理し、分野の発展を妨げてきた本質的課題を体系的に分析しました。さらに、顕微鏡技術や高感度センサーなどの新しい研究動向を整理し、医療・バイオ計測への応用に向けた技術ロードマップを提示しました。本成果は、テラヘルツバイオフォトンクスを次世代の医療・生体計測技術として発展させるための重要な指針となります。

本研究成果は2026年5月29日に「Journal of Physics Photonics」に掲載されました。

テラヘルツバイオフォトンクスの創成





キーワード：

テラヘルツ波、テラヘルツバイオフィotonics、テラヘルツ時間領域分光、テラヘルツ点光源顕微鏡、メタマテリアル

(1) これまでの研究で分かっていたこと

テラヘルツ波^{※1}は、分子間相互作用や水素結合、水和状態など、生体の状態を反映する物理情報に敏感に応答する電磁波です。2000年代以降、医療や生命科学への応用を目指した研究が世界的に進められてきました。これまでの研究では、がん組織、創傷、血液、細胞、DNA、タンパク質など様々な対象で有望な結果が報告されてきました。しかし、可視光や近赤外光を用いた光学顕微鏡に比べると、テラヘルツ技術の実利用は以下の技術的課題が存在していたため、大きく遅れていました。

- ・ 空間分解能^{※2}が低いこと
- ・ 水による強い吸収によって感度が低下すること
- ・ 計測速度が遅いこと
- ・ 装置が大型で高コストになりやすいこと

また、先行研究では、テラヘルツ信号によって観測された信号の違いが病気特有の情報ではなく、単に水分量の違いを反映している可能性が指摘されるなど、テラヘルツ信号の観測解釈に懐疑的な見方も多く、「測定できた」という段階にとどまる研究も少なくありませんでした。そのため、テラヘルツ波が生体のどのような情報を実際に捉えているのかを検証する研究が求められていました。

(2) 新たに実現しようとしたこと、明らかになったこと

本研究では、テラヘルツバイオフィotonics^{※3}分野の研究動向を体系的に整理し、この分野の発展を妨げてきた本質的課題と、それを克服するための技術進展を明らかにしました。

まず、テラヘルツバイオフィotonics研究の歴史を俯瞰し、分野の停滞要因の本質的課題を以下の4つとして再定義しました。

- (1) 空間分解能の不足
- (2) 水への強い吸収による感度不足
- (3) 計測速度の遅さ
- (4) 装置の大型化

次に、これらの課題を克服するための技術進展を整理しました。特に、テラヘルツ時間領域分光法^{※4}による分光技術、テラヘルツ顕微鏡を使ったイメージング技術、テラヘルツメタマテリアル^{※5}を使ったセンシング技術が、どのように進展し、どの課題の解決に寄与していくのかを体系的に整理しました。

例えば、テラヘルツ時間領域分光法による高精度な分光技術が進展することで、生体の水和状態などの変化を定量的に評価することが可能となり、テラヘルツ信号の解釈の信頼性向上に寄与します。また、テラヘルツ顕微鏡技術の進展により、従来課題であった空間分解能の向上が進み、現在では、細胞、分子、微細構造レベルでの観察が可能になりつつあります。さらに、テラヘルツメタマテリアルを用いたセンシング技術は、テラヘルツ波の電場を局所的に強く集中させることで、微量な生体物質の検出感度を高め、小型・高感度なバイオ分析チップへの応用が期待されています。

特に、筆者らがテラヘルツバイオフィotonics応用の要となる技術として開発を進めているテラヘルツ点光源顕微鏡^{※6}は、これまでのテラヘルツ計測の主要課題であった上記4つ（空間分解能、感度、計測



速度、装置サイズ)を同時に克服する技術として位置づけられ、細胞レベルでの生体計測や微量試料分析への応用可能性にも言及しています。

さらに、皮膚がん診断や創傷評価では、すでに臨床応用を見据えたテラヘルツ診断装置も進みつつあることを示し、比較的早期の実用化が期待される応用分野として、医療分野での社会実装に向けた現実的なシナリオを提示しました。

本研究により、テラヘルツバイオフォトニクス研究は、単に「測れるかどうか」を示す段階から、テラヘルツ波が生体のどのような情報を捉えているのかを検証しながら実用化へと進む段階に入りつつあることが明らかになりました。

(3) 研究の波及効果や社会的影響

本研究は、テラヘルツバイオフォトニクスという新しい研究領域の可能性を社会に広く示すものです。テラヘルツ技術は、非侵襲・ラベルフリーで生体情報を取得できる可能性を持つため、将来的には皮膚がん診断、創傷評価、生体組織分析、微量バイオ分析などの医療分野への応用が期待されています。また、メタマテリアルセンサーやマイクロ流路技術との統合により、小型で高感度なバイオ分析チップの開発にもつながる可能性があります。こうした技術は医療だけでなく、創薬、食品、環境、半導体、バイオ産業など幅広い分野への応用が期待されます。

さらに、テラヘルツ技術は、大きなマーケットを担うバイオ産業の一翼を担うことが期待されています。本研究は、テラヘルツバイオフォトニクス技術がこのバイオ産業の開拓に貢献できる具体的な道筋を明らかにしたものです。

加えて、テラヘルツバイオフォトニクスは物理学、光工学、電子工学、生命科学、医学などが交差する学際分野であり、本成果の社会発信により、新しい研究コミュニティの形成や産学連携の加速が期待されます。

(4) 課題、今後の展望

テラヘルツバイオフォトニクスは大きな可能性を持つ一方で、依然としていくつかの課題が残されています。特に、生体内でのテラヘルツ信号の起源をより正確に理解すること、計測装置の小型化・高速化・低コスト化を進めることなどが重要です。今後は、顕微鏡技術やセンサー技術のさらなる発展に加え、AIによるデータ解析や医療機関との連携を進めることで、実際の医療現場への応用が期待されます。また、近年急速に発展しているナノフォトニクスやメタマテリアル技術との融合により、これまでにない高感度な生体計測技術が生まれる可能性があります。

(5) 研究者のコメント

テラヘルツ波は長年、医療や生命科学への応用が期待されながらも、実用化には多くの課題が残されていました。本研究では、これまでの研究を整理し、分野が直面している本質的課題とその解決に向けた技術の方向性を示しました。テラヘルツ技術が、将来の医療や生体計測を支える新しい技術として発展することを期待しています。また、「テラヘルツ波」をより身近に扱える未来社会の実現に向けた重要な指針となる論文になることを期待しています。

(6) 用語解説

※1 テラヘルツ波

周波数が約 1 テラヘルツ (1 兆ヘルツ) 付近にある電磁波の総称で、光と電波の中間に位置する。波長は



約 0.3 ミリメートルで、光のように直進しやすく、電波のように物質を透過する性質を併せ持つ。また、生体内の水や分子の動きに敏感に反応する特徴がある。1 光子のエネルギーは X 線の約 100 万分の 1 と小さく、生体にダメージを与えにくい非侵襲計測が可能とされる。医療・生命科学、半導体検査、食品品質管理、次世代通信など幅広い分野での応用が期待されている。

※2 空間分解能

どれだけ細かい構造を見分けられるかを示す指標。空間分解能が高い（良い）ほど、小さな対象（細胞や微細構造）をよりはっきりと観察することができる。

※3 テラヘルツバイオフィotonics

テラヘルツ波を利用して、生体組織、細胞、分子などの状態を計測・分析する研究分野。テラヘルツ波は水和状態や分子間の相互作用などに敏感に反応するため、生体の状態を非侵襲・非破壊で調べられる可能性がある。医療診断、生体計測、バイオ分析などへの応用が期待されている学際的な研究領域である。

※4 テラヘルツ時間領域分光法

テラヘルツパルスを発生させ、物質を透過・反射した波形を時間領域で測定することで、物質の吸収特性や屈折率などを調べる計測手法。テラヘルツ領域の代表的な計測技術であり、物質の構造や分子振動の情報を得ることができるため、生体分子や材料の分析に広く利用されている。

※5 メタマテリアル

自然界には存在しない特殊な電磁特性を人工的に実現するために設計された微細構造材料。電磁波の共鳴や電場増強などの効果を利用できるため、センサーや光学デバイスなどに応用されている。テラヘルツバイオセンサーでは、メタマテリアル構造によって電場を強く集中させることで、微量な生体物質を高感度に検出できる可能性がある。

※6 テラヘルツ点光源顕微鏡

局所的にテラヘルツ波を発生させ、その微小なテラヘルツ光源を走査することで試料を観察する顕微鏡技術。従来のテラヘルツ計測よりも高い空間分解能で測定できるため、細胞や微小構造などの生体試料を詳細に観察できる可能性がある。

(7) 論文情報

雑誌名 : Journal of Physics Photonics

論文名 : Recent advances and emerging directions in terahertz biophotonics

執筆者名 (所属機関名) : Kazunori Serita (Waseda University), *Masayoshi Tonouchi (Okayama University)

掲載日時 : 2026 年 5 月 29 日

DOI : <https://doi.org/10.1088/2515-7647/ae7490>

* : 責任著者



(8) 研究助成

研究費名：JST 創発的研究支援事業

課題番号：JPMJFR2029

研究課題名：近接場テラヘルツ励起プローブ顕微鏡による 1 細胞・1 分子分光イメージング解析とその
応用

研究代表者名（所属機関名）：芹田 和則（早稲田大学）

研究費名：JSPS 科学研究費助成事業 基盤研究 B

課題番号：JP25K01294

研究課題名：高分解能テラヘルツ内視鏡の開発

研究代表者名（所属機関名）：芹田 和則（早稲田大学）

研究費名：JSPS 科学研究費助成事業 基盤研究 A

課題番号：JP23H00184

研究課題名：局所場における光テラヘルツ波変換モデルリングと半導体分析応用

研究代表者名（所属機関名）：斗内 政吉（岡山大学）

【本報道に関するお問い合わせ先】

早稲田大学 広報室

Tel : 03-3202-5454 E-mail : koho@list.waseda.jp

岡山大学 総務部広報課

E-mail : www-adm@adm.okayama-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

Tel : 03-5214-8404 E-mail : jstkoho@jst.go.jp

【JST 事業に関するお問い合わせ先】

科学技術振興機構 創発的研究推進部 加藤 豪

Tel : 03-5214-7276 E-mail : souhatsu-inquiry@jst.go.jp