

Title	「光」で「物」の「性質」を調べ、その性質をあやつる： テラヘルツテクノロジーが切り拓く、新しい物性の観察と制御
Sub Title	
Author	田井中, 麻都佳(Tainaka, Madoka)
Publisher	慶應義塾大学工学部
Publication year	2014
Jtitle	新版 窮理図解 No.16 (2014. 7) ,p.2- 3
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	研究紹介
Genre	Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001002-00000016-0002

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

「光」で「物」の「性質」を調べ、 その性質をあやつる

テラヘルツテクノロジーが切り拓く、新しい物性の観察と制御

私たち人類は、古くから周波数（振動数）の異なるさまざまな光を使って物を観察したり、物の性質を変えたり、あるいは光のエネルギーを電気エネルギーに変えたりすることで、生活に役立ててきた。そうしたなか、これまで盛んに利用されてきた「可視光」よりも波長の長い「テラヘルツ光」が注目されている。テラヘルツ光を用いた研究を手掛ける渡邊紳一准教授に、研究室で取り組んでいるテラヘルツテクノロジーの最先端について話を聞いた。

テラヘルツ光とは？

物の性質を調べたり、その性質を変えたりする際に不可欠な光。光を利用した研究は、テクノロジーの進化とともに発展を遂げ、現在では宇宙の起源といった人類最大の謎の解明にまで貢献している。そうした道具としての光のなかでも、近年、とくに脚光を浴びているのがテラヘルツ（テラは10の12乗）光だ。このテラヘルツ光を利用した研究を手掛ける渡邊さんは、その利点を次のように説明する。

「テラヘルツ光は、振動数が可視光の1/100～1/1000であるため、きわめて波長の長い光です。光というのは、X線のように振動数が高い（波長が短い）光

のほうがよりエネルギーが高くなることから、テラヘルツ光はエネルギーが低い光ということになります。X線に比べるとエネルギーがきわめて低いので、それだけ人体に与える影響が少なく、安全だとして期待されているのです。

また、物の性質を調べるというのは、言い換えれば物のエネルギー構造を調べるということ。超伝導のように低エネルギー状態にあるものを光で調べようとすると、テラヘルツ光でしか直接見ることができません。つまり、光の種類によって、それぞれ得意分野があるということですね。

さらに、テラヘルツ光が得意とするのが、可視光を透過しない被服やプラスチックパッケージ、紙を通した観察。セ

キュリティ検査や半導体製品検査、建物などの非破壊検査、さらには医療・創薬など、あらゆる産業分野でその利用が期待されている。ただし、水で吸収されてしまうことと、最近までこの光を効率よく発生することが難しかったことから、未開拓の帯域でもあった。

「テラヘルツ光が興味深いのは、ゆっくり振動するため、空気中を飛んでいる波の形が生で見えること。私の興味は物の性質を見たり、操作したりすることにあります。光が物にぶつかった瞬間に何が起きているのか、その相互作用を直接見てとることができるというのはじつに面白いですね。また、振動数があまりに低いと、電波に近い性質を併せもっており、物質に電極をつけることなく、電場や磁場をかけるのと類似した効果を与えられる点も魅力です」。

電波のように多くの物質を透過する性質と、可視光のように直進する性質を両方併せもつことで、計測対象に広がりがあることが、このテラヘルツ光の最大の特徴といえる。

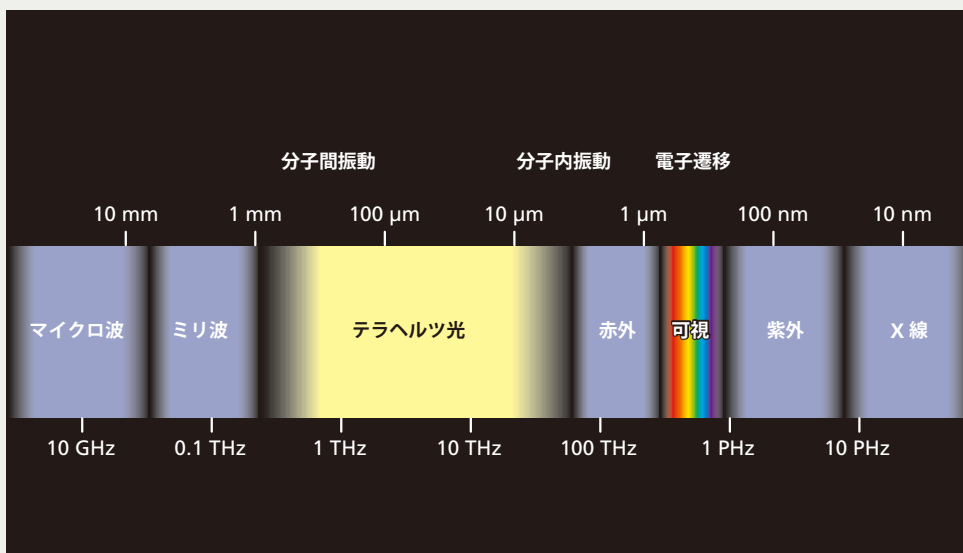


図1 テラヘルツ光とは？

テラヘルツ光は、周波数が 10^{12} ヘルツを中心とした、可視光に比べて波長が100倍～1000倍ほど長い電波と光波の境界に位置する光である。波長が長いということは光子エネルギーが低いということの意味するので、超伝導ギャップや分子間振動などの低エネルギー構造を調べることが可能になる。

「テラヘルツ時間領域分光法」を応用

そうしたなか、現在、渡邊さんの研究室で手掛けるのが、「テラヘルツ時間領域分光法」という手法である。これは、波長の長い「テラヘルツ光」と、波長の短い「近赤外光パルス」を「非線形光学結晶」と呼ばれる透明な物質中でミックスさせることによって、まるでオシロスコープ（電気信号の挙動を観察する波形測定器）のように、テラヘルツ光の波の形がわかるというもの。

「光物性物理学では、光を物に当ててその反射光あるいは透過光の強度がどの程度減るかを見て、その物質のエネルギー構造を調べるのが一般的です。一方、『テラヘルツ時間領域分光法』を用いれば、光強度の変化だけでなく、近赤外光パルスの照射のタイミングをずらすことで、波の『振幅』と『位相』という2つの変化、つまり2倍の情報量を得ることができるのです」。

さらに渡邊さんの研究室では、この手法に工夫をこらし、振幅や位相に加えて、「偏光」の情報を精度よく測ることに成功した。これは、検出に使う半導体結晶を一定の角速度で高速に回転させることにより、テラヘルツ電場ベクトルの大きさと向きを同時に計測できるようにした

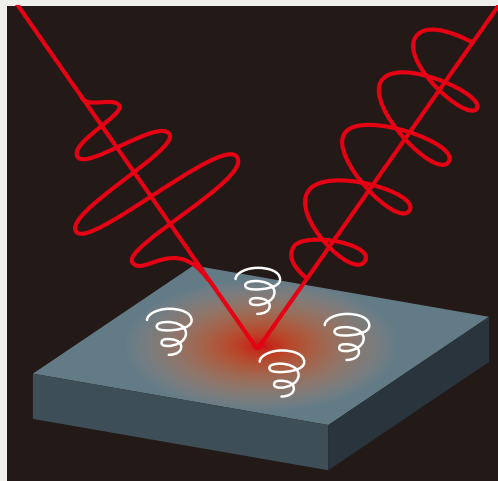


図2 光電場のベクトル波形計測
渡邊研究室では、時間的に振動したり回転したりするテラヘルツ光電場のベクトル波形を、まるで電気信号をオシロスコープで観察するようにコンピュータ上に表示できる。光の「振幅」「位相」「偏光」情報を加えることで、物質の表面形状を細かく観察したり、あるいは物質中の電子スピンの振る舞いや結晶格子の振動の様子など、物質内部の情報を調べることができる。

ものである。これにより、反射波の電場ベクトル成分の方向を精度よく解析することが可能になった。

この半導体結晶の回転に伴う信号の解析には高度な計算が必要だが、当時、学部4年生だった安松直弥さんが膨大な計算を担い、実現に漕ぎ着けた。

「この手法を用いて、高さの違う2点から反射したテラヘルツ電磁波パルス光のある決められた時刻における電場ベクトルの向きの情報を高精度に計測できるようになり、金属などの輪郭や表面の粗さを高精度に検査できるようになりました。その結果、波長の1000分の1以下の深さまで凹凸が識別できるようになりました。この成果は、2012年米国光

学会レター誌『Optics Letters』オンライン速報版に掲載されました」。

今後は、より波長の短い赤外光や可視光の領域までこの手法を拡張していき、より応用分野を広げていきたいと渡邊さんは意気込む。

振幅の大きいテラヘルツ光で物性を変える

さらに渡邊さんは、波の振幅が非常に大きなテラヘルツ光を物質に照射し、その状態を変えるという研究も手掛けている。

「本来、半導体の電子を励起（基底状態から高エネルギー状態への移行）するには可視光くらいの高エネルギーが必要ですが、テラヘルツ光でも振幅をきわめて大きくすることで、それが可能になります。しかも、波の形が見えるので、どの時点で電子がどういう状態になったのかをつぶさに観察できるのです」。

また、テラヘルツ光は物質を構成する分子の振動の共鳴周波数に近いため、共鳴させやすく、格子を大きく揺らすことで構造変化を起こすことも期待できる。これにより、物の性質を自在に変化させることができるため、新しい物質科学への応用に期待が集まっています。今後は物質制御の画期的な新手法を確立していきたいと思っています」。

まだまだ大きな可能性を秘めているテラヘルツ光研究の今後に着目していきたい。

（取材・構成 田井中麻都佳）

図3 光波の1サイクル内での物理現象を調べる

光物性の研究では、物質に光を照射したとき、究極的に短い時間スケールでどのような光と物質の相互作用が起こるかに興味がある。きわめて時間幅の短い「超短パルスレーザー」と「テラヘルツ光発生技術」を組み合わせると、テラヘルツ光を物質に照射したときに、どのタイミングで新しい状態ができ、そして消えるのかといった詳しい物理現象が分かるようになる。

