産学連携 project 151

「テラヘルツ時間領域分光法とその応用」

■研究者のプロフィール

福井大学 先進部門
遠赤外領域開発研究センター教授 工学博士

谷（たに） 正彦（まさひこ）

電話：0776-27-8659
Fax ：0776-27-8770
E-mail：tani@fir.u-fukui.ac.jp
URL：http://fir.u-fukui.ac.jp/thzlab/ja/home.html

研究シーズの概要

はじめに

筆者の属する遠赤外領域開発研究センター（遠赤センター）では、広帯域テラヘルツ波（遠赤外光）に関する最先端技術の研究開発を行っている。テラヘルツ（THz）波は波長が約30 μm（マイクロメートル）から３mm（周波数ではおよそ0.1～10 THz）の電磁波を指し、THz波による非破壊計測は先端計測技術として近年注目を集めている。非破壊計測にはさまざまな方法があるが、THz波はプラスチックや紙などの一般的な包装材を透過するため、郵便物検査、包装物の検査、危険物・違法薬物などの非破壊検査に有効である。

筆者の研究グループでは新規テラヘルツ波発生・検出素子の開発、テラヘルツ波による生体分子分光、非破壊計測・イメージングなどの応用研究を幅広く展開している。本稿では、筆者が主に取り組んでいるテラヘルツ時間領域分光法とその応用について紹介する。

テラヘルツ時間領域分光法の概要

図１は筆者の研究室で開発したテラヘルツ時間領域分光装置の外観写真である。この装置では、フェムト※1秒レーザー（光パルス幅が100フェムト秒程度のレーザー光を出力するレーザー光源）で光伝導アンテナという半導体素子（ガリウムヒ素でできている）を光励起※2することで、パルス状のテラヘルツ波（パルス幅が約１ピコ※3秒）を発生させる。そのパルステラヘルツ波を検出用の光伝導アンテナでサンプリング検出することで、テラヘルツ波の時間領域波形を得ることができるようになっている（サンプリングオシロスコープと同じ原理）。

装置中央のテラヘルツ波ビームの集束位置に測定対象の試料を置いてテラヘルツ波の波形を測定し、試料がない場合との波形比較から、試料の吸収と屈折率、すなわち複素屈折率を得ることができる。

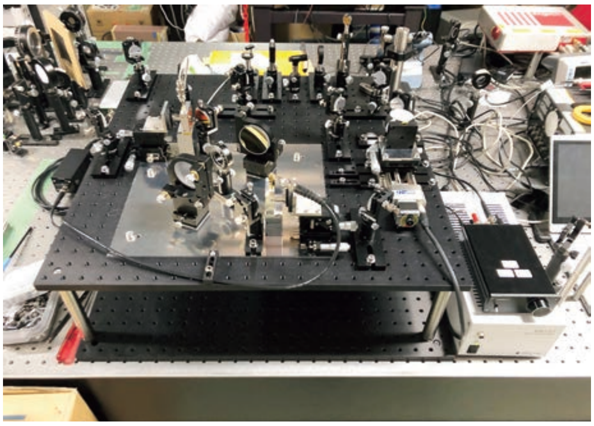

図１ 研究室で開発したテラヘルツ時間領域分光装置

プラスチック材料評価、組成分析への応用

図２はこの装置で測定した0.2～3 THzの領域のポリプロピレン（PP）の複素屈折率（屈折率実部 n と消

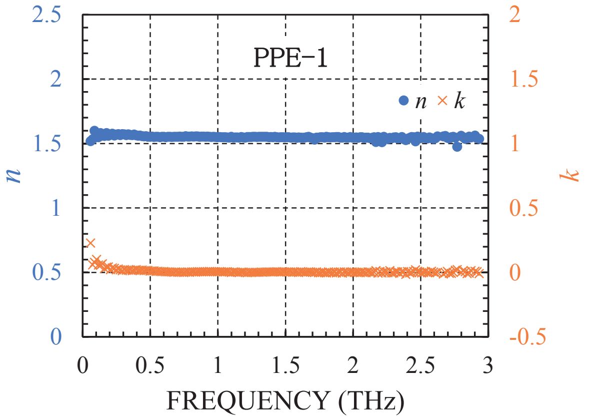

図２ ポリプロピレンのテラヘルツ帯（0.2～3 THz）の複素屈折率スペクトル

衰係数κ)スペクトルである。ポリプロピレンなどほとんどのプラスチック材料はこの周波数領域で特徴的な吸収バンド(吸収帯)※4や分散を示さないが、屈折率実部と消衰係数には種別ごとに差がみられる。

図３はPP、ポリエチレン(PE)、ポリスチレン(PS)の0.5〜1 THzにおける屈折率実部ｎと消衰係数κを２次元面にプロット（n-κプロット）したものである。

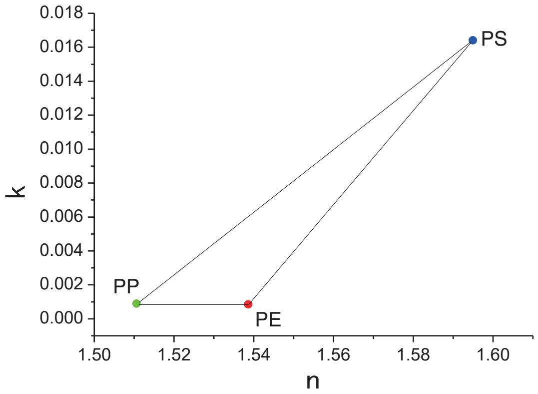

図３　0.5〜1 THz帯のPE、PP、PSのn-κプロット

PP、PE、PSの混合物はその比率に応じて、PP、PE、PSの純粋材料に対応した３つのデータ点で囲まれる三角形の内部の点で表される。したがって、PP、PE、PSの混合物に対してテラヘルツ帯の複素屈折率を測定すれば、その組成比を推定することができる。組成比の決定には、部分的最小二乗回帰分析など多変量解析の手法を用いることにより、組成比の精度を高めることが可能である。

家庭から出るプラスチックごみの大半はPP、PE、PSの３種類で構成されているため、廃プラスチックの組成比の決定に、このテラヘルツ時間領域分光を適用することは有用である。

テラヘルツ時間領域分光の利点は、テラヘルツ波のプラスチックへの透過率が高いため、表面だけではなく、内部の情報も得られる点にある。

またテラヘルツ帯のスペクトルが結晶構造、高次構造、金属や水分量に敏感であるため、プラスチック材の品質管理や劣化診断にも応用可能である。現在、地元の廃プラ材生産を行っているリサイクル企業と連携して、テラヘルツ時間領域分光法を利用した廃プラ材の定量分析法の研究開発を進めている。

今後の応用展開

テラヘルツ時間領域分光法は、非金属系のほぼすべての物質に適用することが可能で、プラスチックのほか、半導体、繊維、紙、ゴム、ガス、液体、その他の複合材料の複素屈折率測定が可能である。最近話題となっている次世代無線通信Beyond5G/6Gに利用される材料には、テラヘルツ帯における反射率や吸収などの特性を把握したうえで使用する必要がある。またテラヘルツ波の人体への影響、特に生体組織への曝露閾値(ばくろいきち)※5の評価を系統的に評価する必要があるが、そのためには生体組織のテラヘルツ帯域の複素屈折率が基礎データとして必要となる。このような物性評価研究にテラヘルツ時間領域分光法は評価手法として無くてはならないものになっている。

※１　フェムト：1000兆分の１
※２　光励起：電磁波を吸収させることによって、分子や半導体が特定のエネルギー状態（低い安定した状態から高い状態）へと移ること
※３　ピコ：１兆分の１
※４　吸収バンド（吸収帯）：電磁波をある物質に照射すると、その一部は物質に吸収され、透過した電磁波の周波数分布には、帯(バンド)状の吸収が観測される。物質の種類や状態によって吸収バンドのパターンは異なる
※５　曝露閾値（ばくろいきち）：曝露とは、電磁波などの物理的刺激に生体がさらされること。閾値とは、一定量までは毒性や障碍を示さないという値

研究キーワード

◎ テラヘルツ分光
◎ 廃プラ定量分析

利用が見込まれる分野

◎ プラスチックなど非金属材料のテラヘルツ帯複素屈折率評価
◎ 導波管などテラヘルツ領域での無線通信構成部品の評価
◎ 熱遮蔽材料、生体組織のテラヘルツ領域の反射、吸収特性の評価

今後の展望

テラヘルツ時間領域分光装置は、市販品が国内外で販売されるようになっています。分光スペクトル情報を二次元マッピングすることで、テラヘルツ分光イメージング画像を取得できる装置もあります。現在、その測定帯域は〜6 THz（〜200cm-1）までですが、今後はより広帯域な装置も開発されると思われます。これまでは光源に用いられているフェムト秒レーザーが高価であったため、装置価格も高価でしたが、安価な1.56 μmの通信波長帯のフェムト秒レーザーを使用するなど、低価格化の技術開発も行われています。

産業界へのメッセージ

テラヘルツ時間領域分光法は、プラスチック以外にも半導体、建材など産業素材の評価、品質管理に有効です。企業の材料持ち込みによる評価も研究室で受け付けていますので、もし評価案件があればご連絡ください。

産学連携をお考えの方は上記または次の担当部署までお問い合わせください。
◎北陸経済研究所 調査研究部　米屋　TEL：076-433-1134
◎北陸銀行 コンサルティング営業部 地域創生室　水上　TEL：076-423-7180