

■ 光学工房

テラヘルツ波を利用したセンシング技術

テラヘルツ波 (THz 波) は、可視光と電波の間の周波数帯に存在する電磁波であり、光波と電波の両方の性質を兼ね備えている特殊な光/電磁波です。したがって、テラヘルツ波は、光波のようにレンズやミラーで屈折や反射する一方、電波のように物質を透過する性質をもっています。さらに、波長が数百 μm なので、物質を透過するときの散乱や回折の影響を受けにくく、イメージングに対して必要十分な空間分解能が得ることができ、しかも X 線照射のような物質構造を壊す被曝の心配がまったくない特長をもっています。また、薬物・爆発物などの試薬類は、テラヘルツ帯に固有の吸収スペクトル (指紋スペクトル) を有しており、テラヘルツ波分光計測を利用した物質の非破壊検出が報告されています¹⁾。近年、テラヘルツ波を発生させる光源技術は著しく発展し、テラヘルツ波を利用したさまざまなセンシング方法が提案されています。ここでは、そのうちのいくつかについて、ご紹介します。なお、ここで掲載した図・写真は、名古屋大学大学院工学研究科教授・川瀬晃道先生からご提供いただいたものであり、心より感謝いたします。

図1は、氷 (solid) と水 (liquid) に対する、波長 10 nm~100 mm (30 PHz~3 GHz) の電磁波の吸収係数を示しており、テラヘルツ波 (0.03~1 mm) の吸収係数が可視光 (400~800 nm) に比べて大きく、氷や水に対する感度が高いことがわかります。したがって、わずかな水に対してもその量の変化をテラヘルツ波によって検出することが可能で、その性質を利用して、液体が入っている小袋のヒートシール部の欠陥検出への応用が報告されています。また、テラヘルツ帯において水の吸収係数が氷よりも高いことを利用し、水分の凍結に関する情報を得ることができます。一般的に、医学サンプルを凍結保存したり解凍する場合、細胞内の氷核が大きくなり、細胞が損傷を受けることがあります。テラヘルツ波を利用して凍結状態をモニタリングすること

により、生体試料の凍結・解凍を最適化する技術開発が検討されています。

図2は、郵便物中に隠された覚醒剤・麻薬などを非破壊で検出した実験結果で、世界で初めて成功した例です²⁾。テラヘルツ波は紙でできている封筒を透過し、封筒内の試薬で固有の吸収を受けます。図の左から2番目のイメージは、テラヘルツ波で分光測定した結果であり、それぞれの試薬が照射するテラヘルツ波の周波数によって異なる吸収を示していることがわかります。左から3番目のグラフは、それぞれの覚醒剤・麻薬のテラヘルツ帯における指紋スペクトルで、テラヘルツ帯の電磁波に対して固有な吸収スペクトルを有していることがわかります。したがって、測定結果を主成分分析することにより、麻薬などを特定することができます。図の一番右側は、麻薬などの特定に成功した結果を示しています。

テラヘルツ波の特長のひとつに物質を透過するときの散乱・回折特性があり、テラヘルツ波の波長程度の構造をもっている物質を透過するときは強く散乱されますが、それよりも小さい分子構造などに対しては、ほぼ透明体として通過します。麻薬などは、テラヘルツ波程度の粒径をもつ粉体として輸送されることが多く、テラヘルツ波を照射したときに、強く散乱されます。図3はこの散乱特性を示

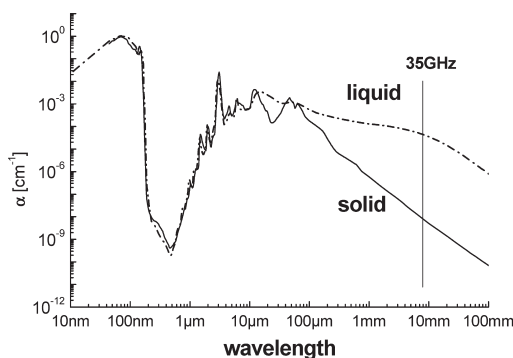
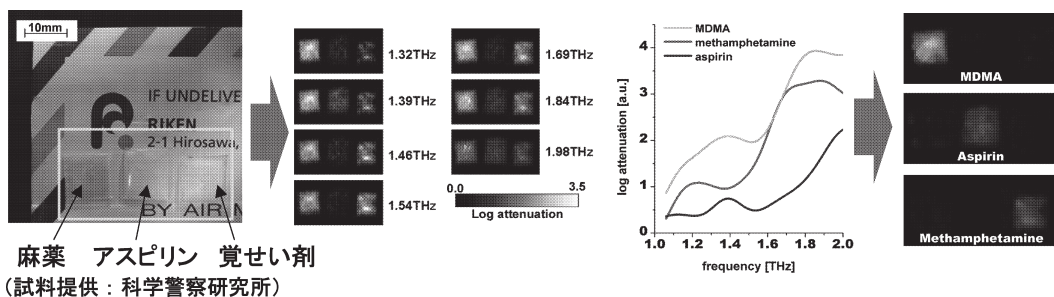


図1 氷と水の吸収特性。



麻薬 アスピリン 覚せい剤
(試料提供：科学警察研究所)

図2 封筒中の薬物検出.

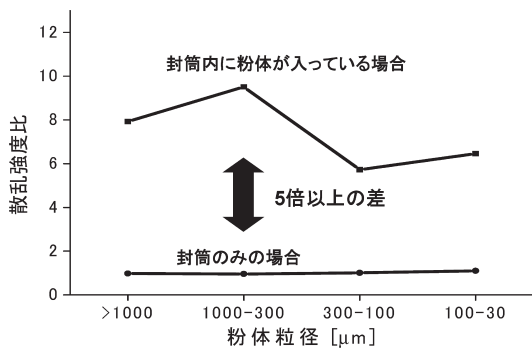


図3 散乱強度の粉体粒子径依存.

し、封筒の中にさまざまな粒径の粉体を入れたときに、テラヘルツ波を照射して散乱光と非散乱光の強度比を測定した実験です。すべての粒径に対して5倍以上の差があり、散乱光を測定する方法が、封筒中の禁止薬物の非破壊検査における第一段階のスクリーニング技術として使用することができます。

テラヘルツを利用したセンシング技術の応用には、ここで紹介したもののほかに、半導体大規模集積回路 (LSI) など電子デバイスの電氣的不良

個所の検出、癌、特に皮膚癌の診断法などがあります。米国防総省の研究機関、国防高等研究計画省 (DARPA) は、テラヘルツイメージング技術を利用して、爆薬を服の下などに隠していないかを判別できるシステムの開発を開始しました。また NASA は、スペースシャトルの外壁タイル内部の欠陥検査技術として、他の非破壊検査技術と公平にテストした結果、テラヘルツイメージング技術を用いた検査システムを利用することを決めました。このように、テラヘルツ波を利用したイメージング、センシング技術は、広範囲な応用分野が見込まれ、今後ますます発展するものと期待されます。

(能開大・小野寺)

文 献

- 1) 斗内政吉監修，テラヘルツテクノロジー動向調査委員会編：テラヘルツ技術（オーム社，2006年）。
- 2) K. Kawase, Y. Ogawa, Y. Watanabe and H. Inoue: "Non-destructive terahertz imaging of illicit drugs using spectral fingerprints," Opt. Exp., 11 (2003) 2549-2554.