

テラヘルツ電磁波の産業応用が見えてきた



研究ノート

斗 内 政 吉*

Terahertz Technology Opens Industrial Market

Key Words : Terahertz Industry

1. はじめに

今、テラヘルツ電磁波が注目を集めている。いよいよ、産業応用への期待が高まってきたからである¹⁻⁵⁾。テラヘルツ電磁波とは、未開拓電磁波と呼ばれてきた領域で、主には、300GHz から 30THz 程度の電磁波をさす。この未開拓領域の学際的研究は100年に及ぶ歴史がある。その中で、1984年にベル研のオーストンらが、極短光パルス（フェムト秒レーザー）を用いたテラヘルツ電磁波の発生と検出を実現したことが、新しい分野の扉を開いた。その後、透視イメージングをはじめ、様々なブレイクスルーがもたらされ、研究者人口が増え始めた。我が国では約10年遅れて、90年代後半からようやく追試研究が広がりを見せた。欧米では、国プロが導入される中、我が国では2004年に漸く本格的な調査研究が実施された。そのとき、筆者は代表を務め、ヨーロッパのフレームワーク、米国の軍事・防衛予算に対応する視点として、情報通信・エレクトロニクス・センシング3分野の統合を提案する新しい分野形成から、日本独自の産業応用を核とした報告書を取りまとめた。欧米では数百億円規模の投資が行われる中、残念ながら、我が国の予算化には失敗してきたが、そのような状況でも、日本の研究者は頑張っている。本稿では、我々が示してきたテラヘルツ研究の展望、ならびに小生の研究室の成果の少しをあわ

せて紹介させて頂く。

2. テラヘルツ波が拓く新産業への期待

テラヘルツ光科学は、様々な学問と技術の融合分野であり、バイオ・医療・工業・宇宙・環境・安全／安心・情報通信・基礎科学など広範な応用が期待されている。この分野を支える基盤には、テラヘルツ光源・検出・伝搬・制御・イメージング技術ならびにそれらを実現するための基礎科学、様々な物質のテラヘルツ帯物性やテラヘルツ波相互作用、テラヘルツ非線形科学やEMC／標準のための科学技術などがある。

テラヘルツ技術が必要とされる理由としては、1) THz 分光・イメージングなどによる新しいセンシング技術の創製、2) 大容量情報通信を目指した技術革新基盤を提供、3) 新しいサイエンスの創成、4) 先進国としての社会貢献技術基盤の形成などがあげられる。

1) では、THz エネルギーが生体の“ゆらぎ”エネルギーに近く、X線などに比べて安全という観点と、テラヘルツ帯において、様々な有機分子が識別可能な特徴的吸収を有する点などから、バイオ・生体・非破壊検査への展開が期待されている。2) では、極限デバイス・電子回路の開発には次世代電子材料のテラヘルツ波物性評価が不可欠であること、ならびに様々なデバイス開発に伴い、10Gbps を超える無線技術や100GHz を超える周波数で動作可能な論理回路が実現されたことなどを受けて、次世代電子デバイスのテラヘルツ動作を目指した研究開発が加速している。3) では、フェムト秒レーザーの進展により、超高速現象の過渡的観測が可能となり、高輝度テラヘルツパルスの実現とあいまって、固体物理学における本質的電荷相互作用の解明など新しい物理現象を露わにできるようになってきた。4)



*Masayoshi TONOUCHI

1959年7月生
大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程
修了（1988年）
現在、大阪大学レーザーエネルギー学
研究センター 教授 博士（工学） テラ
ヘルツ波工学
TEL：06-6879-7981
FAX：06-6879-7984
E-mail：tonouchi@ile.osaka-u.ac.jp

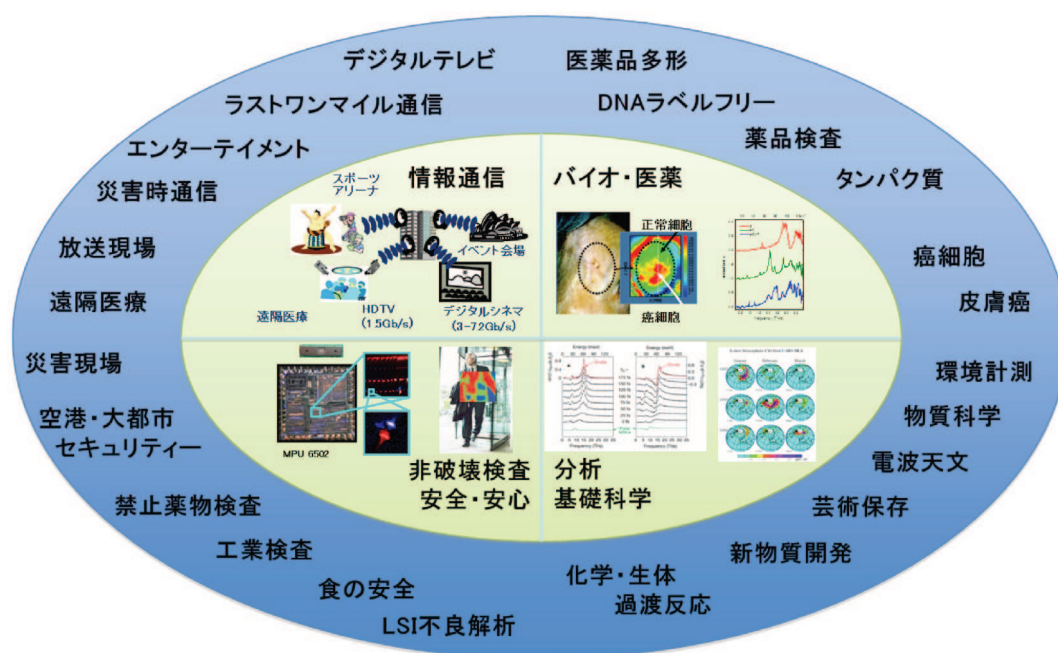


図1. テラヘルツ波が拓く新産業。

としては、まだ商業応用に割り当てられていない電磁波 (275GHz から 3THz) の利用にあたって、標準化、EMC (Electro-Magnetic Compatibility) などの検討が早急に必要であること、ならびに環境計測や電波天文での応用が期待されている。以上のような観点から、テラヘルツ研究は次世代基盤技術として必要不可欠であり、取り組むべき重要研究開発分野である。

図1に、期待される応用分野と項目を示した。大きく分けると、センシングと情報通信に分かれる。情報通信分野では、放送、イベント、エンターテインメント現場などにおける非圧縮ハイビジョン伝送や大容量ストレージ間の極短距離無線など大きなマーケットが期待される。センシングでは、工業製品・食料品の非破壊検査やセキュリティ応用などが、短期のターゲットとなり、長期的には、バイオ・医療などにおける検査・分析・ガン診断など、大型マーケットへの展開が期待されている。一方で、マーケットは小さいが、基礎・分析科学分野では、必要不可欠な新技術で、着実に成長する。

このような応用を目指して、様々なアプローチがなされている。その中で最近の進展を紹介しよう。まず、基盤技術で重要な項目は、テラヘルツ光源と

検出器である。前者においては、フェムト秒レーザー波面を制御することで、高出力テラヘルツパルスの高出力に成功している。また、固体素子では、テラヘルツ量子カスケードレーザーや共鳴トンネルダイオードを用いたテラヘルツ発振などが大きく進展している。後者では、NEC が世界最高感度のテラヘルツカメラを、アドバンテストは、3D 透過イメージングシステムの販売を開始した。

応用面では、既に 125GHz (10Gbps) 無線システムが完成し、北京オリンピックでの非圧縮放送に使われ、最近では、大阪大学永妻教授らのグループが 300GHz を超える無線技術の開発に成功している。センシングでは、情報通信研究機構の福永博士らが、絵画分析への応用分野を開拓し、ループルを始め、多くの国際的美術館がテラヘルツイメージングシステムを導入している。また、理研・名古屋大学らは、郵便物中の禁止薬物非破壊検査システムを開発し、実用化へと進んでいる。ドイツでは、フランフォーファー研究所による産業開拓が精力的に進められ、米国では、DARPA がテラヘルツエレクトロニクスへの巨額の投資を始めていることでもテラヘルツ分野の進展がうかがえる。

以上のような、応用展望と技術開発の現状と課題は、文献 [5] にまとめられている。

3. 研究紹介

我々は、テラヘルツ波工学に関して、新奇材料・デバイスから応用システムの開発まで広く取り組んでいる。ここでは、その一例を紹介する。我々として、特に特徴があるのは、レーザー走査型のテラヘルツイメージングシステムを開発している点にある。フェムト秒レーザー照射することで、局所的にテラヘルツ波を発生させることを利用したもので、強誘電体のドメインや太陽電池の局所的瞬時発生状態の可視化から、複雑化したLSIの不良箇所特定技術応用など、様々な応用を独自に提案し、世界に先駆けて実践している。図2に多結晶太陽電池からのテラヘルツ放射イメージを示す。結晶によって発電状態が異なることが見て取れる⁶⁾。

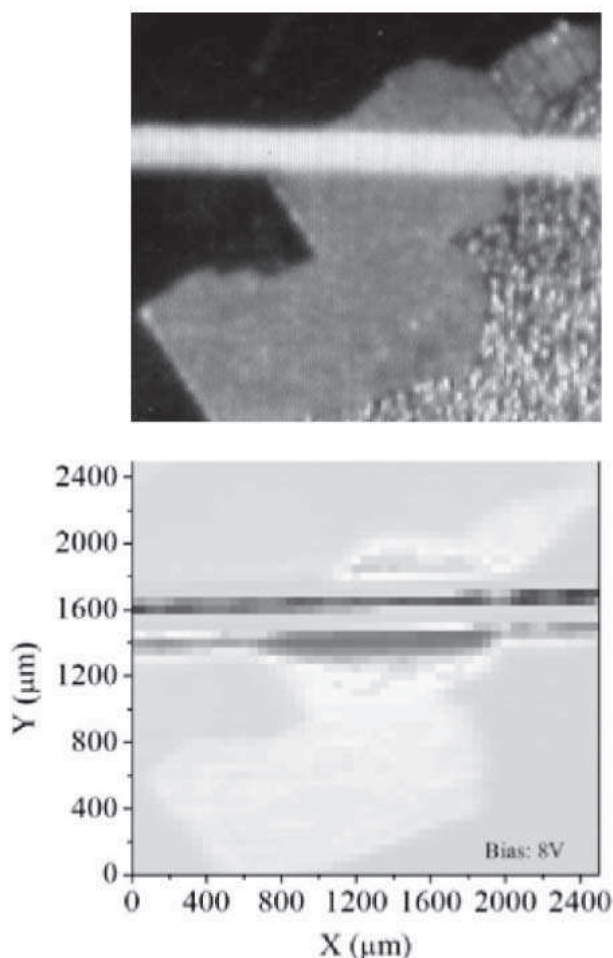


図2. 多結晶太陽電池の顕微鏡写真とテラヘルツ放射イメージ。

また、有機結晶 DAST からのテラヘルツ波発生を利用したイメージングシステムも開発している⁷⁾。

良質の有機結晶は、大阪大学森研究室で育成されたものを用いている。そのイメージングシステムを用いて、可視化した、一本の髪の毛のテラヘルツイメージング像を図3(a)に示す。きれいにイメージングできていることがわかる。また、そのテラヘルツ分光も可能である。小生の黒髪と白髪を比較したスペクトルを図3(b)に示す。両者が異なることが見て取れる。このように、髪の毛一本のイメージングと分光が出来る技術は他には無い。その他、様々な応用が期待される。

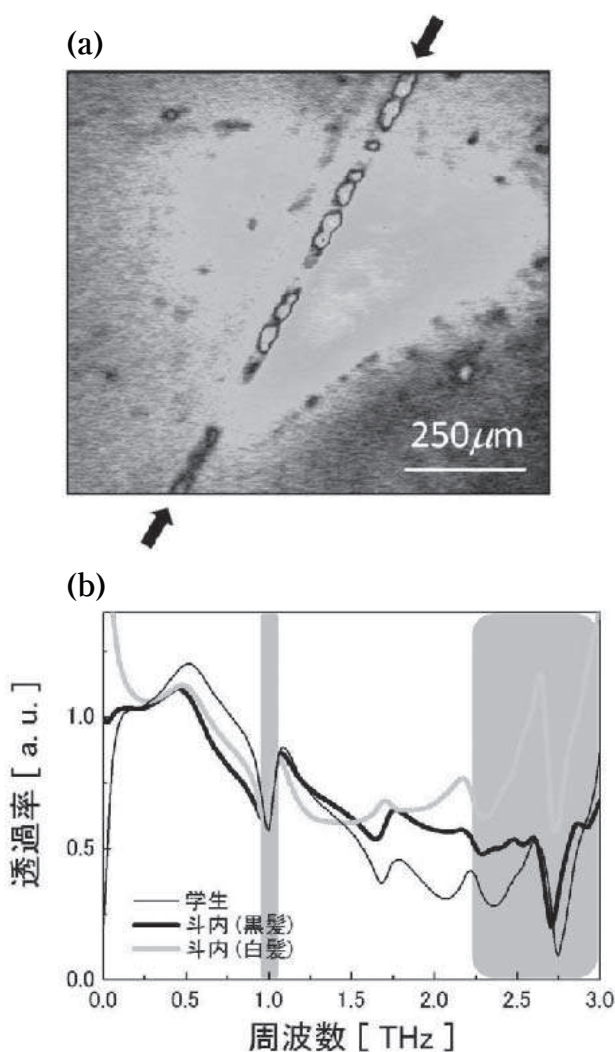


図3. 髪の毛のテラヘルツ透過イメージと透過スペクトル。

4. まとめ

産業応用が期待されるテラヘルツ電磁波分野の概要を紹介した。まだ、これからの分野であるが、バイオ・医療・工業・宇宙・環境・安全／安心・情報

通信・基礎科学など広範な応用が切り拓かれつつあり、極めて重要な分野である。

最後に。小生は、10年前頃から、我が国の新規テラヘルツ分野の立ち上げに勢力を注いできた。その経験から我が国では、ボトムアップの研究分野の立ち上げが極めて困難であることを思い知らされた。科学技術基本法の制定以来、予算は急激に増大した。しかし、その増大は、バブル以前の国土開発に見た既得権の発生に似た現象を生み出し、新規分野への展開をいっそう厳しくしてしまった。我が国の科学技術振興には科学技術政策の抜本的改革（現状政策のスクラップ）が不可欠である。日が沈む前に、その本質に気がついて欲しいものである。

参考文献

- 1) 斗内政吉 “テラヘルツ技術”、(オーム社、2006年5月)
- 2) M.Tonouchi, “Cutting-edge terahertz technology”, *Nature Photonics* 1 (2007) 97-105.
- 3) 斗内政吉: “テラヘルツ波技術が拓く新産業”, *光学* 38 (2009) 64-71.
- 4) 斗内政吉: “テラヘルツ波科学技術の最前線”, *真空* 53 (2010) 296-300.
- 5) 斗内政吉監修: “テラヘルツ波新産業”、(シーエムシー、2011年1月)
- 6) 中西英俊、斗内政吉: “テラヘルツ波利用により太陽電池の発電状態を可視化”、*OHM* 99(2012)2-3.
- 7) 芹田和則、斗内政吉: “レーザー走査型2次元面テラヘルツ波放射イメージングシステム”、*レーザー研究* 40 (2012)496-501.

