

## 「ICTによる安全・安心を実現するためのテラヘルツ波技術に関する研究開発」

### (1) 研究の目的

テラヘルツ波（周波数 0.1～10 THz 帯の電磁波）技術の研究開発は、近年のレーザ技術やエレクトロニクス技術の発展のもと、テラヘルツ帯パルス電磁波の発生と検出、非線形光学素子による周波数可変光源をはじめとするいくつかのブレークスルーがきっかけとなって著しく進展し、いよいよ産業応用への展開が可能なレベルに達してきた。

テラヘルツ波の大きな特長は、マイクロ波帯や準ミリ波帯（1～30 GHz）電波に比べ一桁以上の高周波数（短波長）であるため高空間分解性を有すること、赤外線や可視光に比べると波長が長いため伝搬において塵、煙、炎などによる散乱が少ないこと、テラヘルツ帯に存在する物質固有の吸収スペクトルによって有毒ガス、危険物質を検知できること、などである。

そこで、このテラヘルツ波の特長を、大規模地震などの災害発生時におけるイメージング（画像化）やセンシングに活用すれば、従来技術（X線、赤外線、マイクロ波、ミリ波）では困難であった新しい情報収集が可能となり、さらに得られた情報の迅速な流通と利用によって、被災者救援や二次災害防止などに役立て、災害被害を最小限に抑えることに貢献できると考えられる。

本研究は、災害現場において、離れた場所からの遠隔計測（スタンドオフ計測とも呼ぶ）により、テラヘルツ帯の映像を取得するためのシステム（遠隔テラヘルツ帯イメージャ）と、災害時に発生するCOなどの危険ガスを検出するためのシステム（遠隔テラヘルツ帯分光センサ）を開発し、さらに、これらのシステムによって得られたテラヘルツ帯固有の情報を処理することにより災害現場の状況を正確に把握し、災害時に役立つ情報を提供するための技術を開発することを目的としている。

また、ここで研究開発するテラヘルツ帯のイメージング技術、センシング技術、ならびに情報処理技術は、テラヘルツギャップと呼ばれる、未だ未成熟なテラヘルツ波利用技術の発展に広く寄与するものであり、食・農業、自然環境モニタリング、セキュリティなど、様々な分野における新しい製品の開発、新市場の開拓に結びつく可能性がある。さらに、テラヘルツ波技術は、ほとんどの分野で標準的な計測技術や手法が整備されておらず、テラヘルツ波技術の産業化のためにはその確立が焦眉の急である。したがって、本研究開発が災害時だけでなく以上のような分野にも波及効果を有しその発展に少なからず貢献できることを念頭において基盤技術を構築していく。

(2) 研究期間(全期間)

平成18年度から平成22年度(5年間)

(3) 受託者

日本電信電話株式会社<幹事>、国立大学法人東京大学、  
日本電気株式会社(平成18年度は株式会社東芝)、  
国立大学法人名古屋大学、有限会社スペクトルデザイン、  
日本ガイシ株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所

(4) 研究予算(百万円)

平成18年度	209
平成19年度	194
平成20年度	170
平成21年度	150

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：テラヘルツ帯遠隔イメージング技術の研究開発

1. テラヘルツ帯イメージャ技術  
(日本電気株式会社)
2. イメージャ評価用テラヘルツ帯固体光源技術  
(東京大学)
3. 災害環境下テラヘルツ帯分光による生命体データ取得技術  
(東京大学)

課題イ：テラヘルツ帯高速分光センシング技術の研究開発

1. テラヘルツ帯遠隔分光センシングシミュレータ技術  
(名古屋大学)
2. テラヘルツ帯遠隔計測スペクトル解析技術  
(有限会社スペクトルデザイン)
3. テラヘルツ波発生用光サイドバンド制御技術  
(日本ガイシ株式会社)
4. テラヘルツ帯遠隔分光用超高感度受信器構成  
(独)産業技術総合研究所)
5. テラヘルツ帯遠隔分光用高出力テラヘルツ波発生技術  
(日本電信電話株式会社)

(6) これまでの主な研究成果

特許出願： 17件  
外部発表： 90件

## 具体的な成果

(1) 非冷却 THz センサ・カメラの感度向上及び信号雑音比向上に関し、画素構造における梁の熱コンダクタンスの低減により昨年度比で約 1.3 倍の感度向上を、誘電体カバーによる干渉効果で約 3 倍の感度向上を達成した。また平成 20 年度に試作した THz イメージャ 1 号機のレンズ光学系を F/0.8 に明るくしたことにより、画素への入射光量を約 1.5 倍に増やすことができた（信号雑音比の向上）。また Lock-in サーモの信号処理手法の適用によりフレーム積分 16 回の場合、約 4 倍の信号雑音比の向上を達成した。これらを全て合わせた場合、昨年度の信号雑音比に比べて、特定波長 97  $\mu$ m でのアクティブイメージングにおいて約 20 倍、広帯域 THz 波でのパッシブイメージングにおいて約 2 倍の改善を実現することが可能である。その結果、パッシブカメラで 5 m 先の人物を検知することができた。

また白煙発生装置（東大開発）THz 光源および THz イメージャを用い、白煙を通して同イメージャで光源を観測する実験を実施した。その結果、可視・赤外カメラで見えず、THz のみで見えるデモ条件の例を見出した。

(2) 昨年度、p-Ge 結晶の内部全反射による導波管モードで発振を確認した一体化型 p-GeL システムに関して、今年度は凹面鏡と結合平面鏡による軸性モードの発振を得た。

(3) THz-TDS による気体分光システムを用い、水蒸気に加え、有毒ガスの一種 CO ガス測定を実施した。また同システムを用い災害模擬環境の再現として木片チップ、ポリスチレンなどを燃焼原とした白煙・黒煙の in situ 測定を実施した。結果、エアロゾル・水蒸気等を含む白煙・黒煙雰囲気下においても透過率の著しい低下が見られない事を確認した。特に従来の IR イメージャが撮像不可の黒煙環境下での THz 波透過の成果は、火災環境下での本技術の優位を示すものと考えられる。更に当該システム及び実験結果を踏まえ、0.5 m、1.0 m 長尺ガスセルを作製し、NEC パッシブイメージング、実時間アクティブイメージングによる災害模擬環境下におけるテラヘルツ波透過特性評価を実施した結果、IR と比較し透過特性に優れている事を確認した。

(4) 建築材を利用したコーナーリフレクタを試作し、平板材の場合と比較して THz 波の反射率が入射角度に大きく依存せず、実用上の利用可能性を実験的に確認した。また、1 THz 以下の領域において大気窓減衰率の測定に成功した。多種気体混合下で目的気体のスペクトル検出を行った。

(5) 災害現場におけるテラヘルツ波の透過特性を把握するために、煤の透過スペクトルを測定した。煤は中赤外や近赤外領域では不透明であるが、テラヘルツ帯では高い透過率を有していることが分かった。つまり、煤が

発生している環境下で、テラヘルツ波を利用できることが分かった。また、大気中の一酸化炭素(CO)ガス濃度を、テラヘルツ帯の吸収スペクトルから定量する解析アルゴリズムを開発し、計算値を用いて動作検証を行った。

(6) 広帯域テラヘルツ波発生に向けて、最大入力周波数 40 GHz、駆動電圧  $V$  が 2V@DC の光位相変調器を実現した。また、これまで薄板ニオブ酸リチウム変調器構造の課題であった光挿入損失に対し、光ファイバとの結合部にスポットサイズ変換機能を付加することに成功し、今年度目標の光挿入損失 5 dB 以下（従来 8 dB）を達成した。

(7) 冷媒フリーの機械式冷凍方式による超伝導受信器を開発し、ミキサ出力変動の要因であった冷凍機の温度振動を、電気的なフィードバックにより抑制することに成功した。また、振動抑制構造により、冷凍機の機械振動は、ミキサ特性に殆ど影響しないことを明らかにした。さらに、室温からの輻射熱阻止用遠赤外フィルタの最適化により、受信器雑音温度の劣化なく、ミキサ設置ステージの熱負荷を、次年度開発する最終デモ用可搬型冷凍機により冷却可能な 80 mW に抑制できることを見出した。

(8) 光同期型 2 チャンネルテラヘルツ波発生器を開発し、高速周波数掃引可能な 200 ~ 500 GHz 帯送受信器を完成させた。この送受信器と平成 20 年度開発のアンテナを組み合わせ、14 m 先に設置したコンクリートパネルからの反射テラヘルツ波の受信に成功するとともに、その前に置かれたガスセル内に存在するサンプルガスの吸収線の観察に成功した。テラヘルツフォトミキサの開発では、690 GHz 帯フォトミキサについて PD 素子及びモジュール構造の改良を施し、650 GHz において、5~7 $\mu$ W の出力を得た。また、東京理科大学火災科学研究センターの協力のもと、(3) で示された実験法を参考に燃焼生成ガスのテラヘルツ帯透過スペクトル測定を行い、赤外光に対するテラヘルツ波の煙に対する低損失性の実証及び燃焼生成ガス中に含まれるシアン化水素の検知に成功した。