

3.12.1 テラヘルツ研究センター テラヘルツ連携研究室

室長 鵜澤佳徳 ほか4名

新たな科学技術のイノベーションの宝庫 ～テラヘルツ技術～

【概要】

テラヘルツ帯電磁波(周波数 100 GHz ~ 10 THz、図1 参照)は電波と光の間にあり、これまで未開拓領域と呼ばれ、その利用は理化学的研究など限定的であった。近年になって、電子デバイスやレーザー技術の進展により急速に開発が進みつつある。テラヘルツ技術は、無線通信、非破壊計測、成分分析、災害復旧、防犯、医療、農業、工業等の様々な分野における社会活動や、物理、化学、生物学等の分野の科学への貢献が見込まれている。

テラヘルツ連携研究室では、共通する技術基盤としてテラヘルツ帯周波数コム技術の研究開発を行うとともに、以下の4つのサブプロジェクトを設け、テラヘルツ技術の研究開発を実施している。

超高速無線

100 Gbit/s 級無線伝送技術

小型高感度分光技術

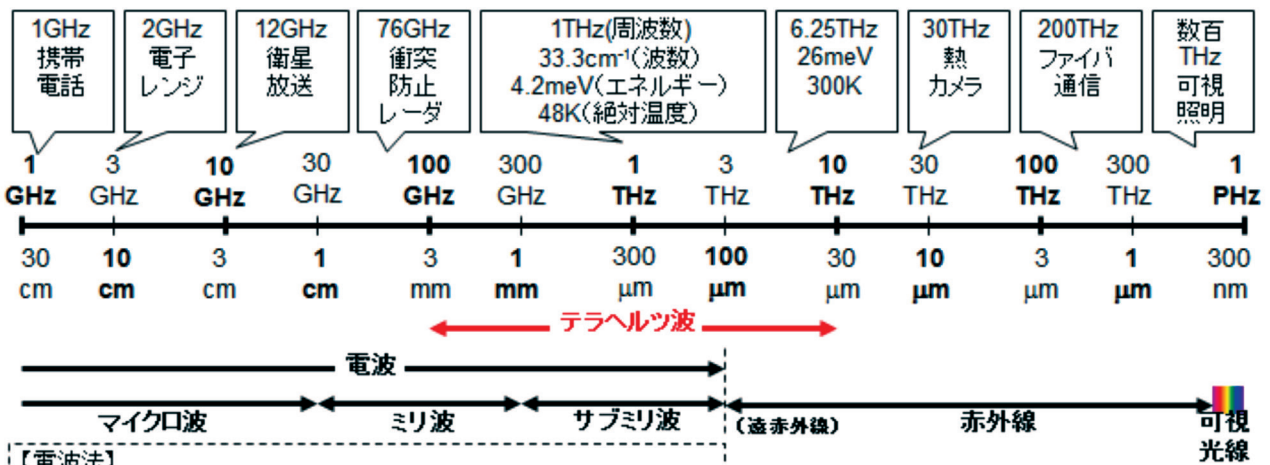
3 THz 帯チューナブル位相ロックループ、高感度精密分光技術の実現、高周波数分解能測定

超高周波計測基盤技術

ppm レベルの感度を持つ高精度定量分析技術

ワンストップラボ

テラヘルツ周波数標準(確度5桁(0.1 ~ 3 THz))、300 GHz までの電力標準技術の確立、非破壊検査法(イメージング)の新領域への展開



【電波法】
 第二条 この法律及びこの法律に基づき命令の規定の解釈に関しては、次の定義に従うものとする。
 一 「電波」とは、三百万メガヘルツ以下の周波数の電磁波をいう。



テラヘルツは、新たな科学技術のイノベーションの宝庫

- ※無線通信、非破壊計測、成分分析、災害復旧、防犯、医療、農業、工業、等の様々な社会活動への貢献
- ※物理、化学、生物学等の様々な科学への貢献

図1 テラヘルツ波とは？ 波長：3 mm ~ 30 μm (周波数：100 GHz ~ 10 THz) の領域

【平成 27 年度の成果】

超高速無線

- ① 空間・周波数利用効率を高めたミリ波～テラヘルツ伝送実証

100 Gbit/s 級のテラヘルツ通信技術実現のため光ファイバ無線技術を援用するテラヘルツ信号伝送技術の検証を行っている。テラヘルツ波は利用可能周波数帯域が大きいいため、潜在的な伝送容量が光ファイバ通信と同等、もしくはそれ以上の無線通信が実現できる可能性が高い。しかしながら大気減衰の大きさや波長の短さに起因する自由空間伝搬損失の大きさから、伝送可能距離が制限されている。そこで、光ファイバ伝送技術とシームレスに融合させたテラヘルツ通信技術を開発することで、光ファイバを用いた総伝送距離の延伸と、所望の場所でのみ無線放射することによる電波干渉の低減の双方が期待される。平成 27 年度は、空間・周波数の利用効率を高めることで、100 Gbit/s 級無線通信の実現への可能性を検証した。図 2 に実験系を示す。40、90、300 GHz バンドを同時に用いたデータ伝送を行った。図 3 に示すように、光周波数コムによる多バンド信号生成により、37 GHz 帯で OFDM-16QAM (7 Gbit/s)、90 GHz 帯で QPSK (20 Gbit/s)、300 GHz 帯で QPSK (40 Gbit/s) の変調信号を同時に伝送することに成功した。総容量は 60 Gbit/s となり、本伝送方式が将来の高速通信に有用であることが示された。

- ② デジュール及びデファクト標準化の進展

デジュール標準化：平成 25 年 6 月及び平成 26 年 6 月の ITU-R WP1A 会合で、日本から提案した研究課題「275-1,000 GHz 帯における能動業務の技術・運用特性」(QUESTION ITU-R 237/1) が実施され、これに対応した「275 GHz 以上の周波数帯での能動業務の技術動向に関するレポートに向けた作業文書」を NICT の発議により日本提案として入力し、平成 27 年 6 月に正式に ITU-R レポート SM.2352-0「275～3,000 GHz の周波数領域における能動業務の技術動向」として承認された。また、275 GHz 付近の周波数帯を用いた陸上移動業務と固定業務についての研究を促進させるため、これらを担当する WP5A と WP5C に上記レポート案に関連するリエゾン文書を送付することを、NICT 発議による日本提案により 6 月開催の WP1A 会合において提案したことに加え、7 月開催の WP5A 会合と WP5C 会合でも同周波数帯における上記業務の使用法についての研究を開始すべきであると提案した。これを受けて、無線通信規則 (RR) における 275 GHz 以上の周波数帯の陸上移動業務と固定業務への分配または特定を WRC-15 における新議題とすることをアジア・太平洋地域各国からの共同提案とするため、Asia-Pacific Telecommunity へ NICT の発議により日本国から寄書を提出した。今後、WRC-19 での RR 改訂に向けて、総務省電波政策課国際周波数政策室と密接に連携を取りながら実施していく。

デファクト標準化：IEEE 802.15 Task Group 3d にて「100 Gbps 級のビーム切替え可能な無線リンク (100 Gbit/s over beam switchable wireless point-to-point links)」の標準化について、平成 29 年に規格が最終承認されることを目指して作業が進められている。NICT は平成 22 年から本格的に参画し、利用

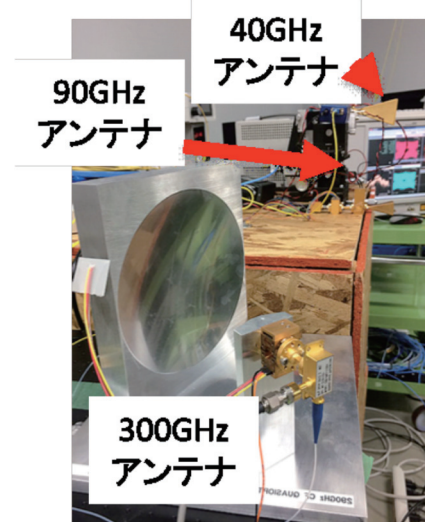


図 2 ミリ波・テラヘルツ波マルチバンド信号伝送実験系

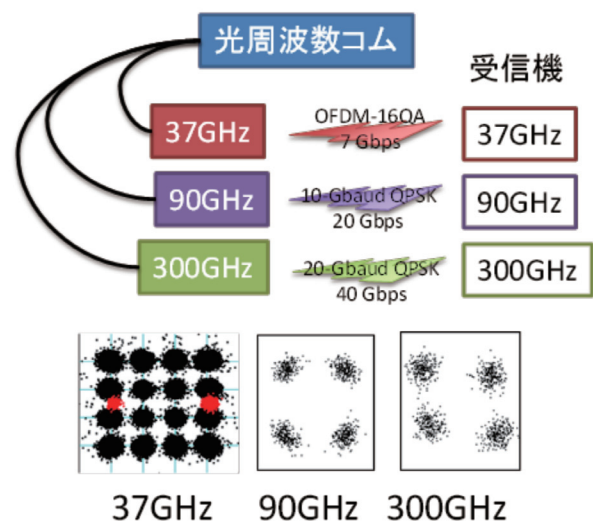


図 3 光周波数コムによるマルチバンド信号生成による同時伝送

モデル、アプリケーション要件、バンドプランなど寄書 11 件を提出、寶迫（当センター副センター長）が副議長に就任するなど、重要な役割を果たしている。

小型高感度分光技術、超高周波計測基盤技術、ワンストップラボ等

- ① THz 帯高感度ヘテロダイン受信機技術のための窒化ニオブホットエレクトロニクスボロメータ (HEB) ミキサの開発

テラヘルツ帯における大気・天体観測、無線通信等を目的とした低雑音ヘテロダイン受信機の開発を行っており、平成 27 年度は、我々の有する高品質窒化ニオブ薄膜作製技術と極微細加工技術を用いて、MgO 基板上に厚さ 3 nm、長さ 0.2 μm 、幅 2 μm 程度の窒化ニオブストリップを有するログスパイラルアンテナを用いた準光学型 HEB ミキサ素子を作製した。本素子が無反射コート付シリコン超半球レンズに取り付け、ヘテロダイン受信機評価システムで性能評価を行った。ミキサ素子からの中間周波増幅用に SiGe ヘテロ接合バイポーラトランジスタによる低雑音低消費電力増幅器を用い、局部発振源には 3.1 THz を発生する量子カスケードレーザー (THz-QCL) を用いた。標準的な性能試験方法である Y-ファクタ法によりミキサ感度の評価を行ったところ、光学的損失を除いたミキサの雑音温度は、同周波数帯で世界最高レベルとなる 810 K (量子雑音の約 5 倍) を達成した (図 4)。

- ② 中赤外光ナノアンテナの開発

HEB の更なる高周波利用を目指し、高速・高感度中赤外光検出器の開発を進めている。これまで、2つのスロットアンテナの位相合成により、そのアンテナ指向性の制御と受信面積の増大を達成するツインスロットアンテナを用い、中赤外光 HEB 検出器を設計・試作し、波長 4.9 μm の量子カスケードパルスレーザー照射に対する応答特性評価を行った。その結果、アンテナ動作に起因する明確な偏波面依存性を確認した (図 5)。また適切に減衰させた入射パルス光のもと、パルス光と同期した検出器出力を観測、個々の出力波形は半値幅約 0.3 nsec. のパルス出力列で構成されていることを確認した。すなわち、同 HEB 素子は半値幅 0.3 nsec. 程度の応答特性を有していると考えられ、これは HgCdTe 等他の半導体中赤外光検出器より 1 ケタ以上速い応答である。

- ③ 有機電気光学ポリマーの誘電特性評価

我々の有機電気光学 (EO) ポリマーは、非線形光学効果が従来材料と比較して圧倒的に大きいため、THz 発生・検出に卓越した性能が期待できる。本有機 EO ポリマーを用いたデバイスの設計に有用な情報となる誘電特性評価 (屈折率分散、吸光係数及び吸収ピークの帰属) を実施した (図 6)。0.09-1 THz までは、吸収係数が小さいことを明らかにし、本有機 EO ポリマーを用いた光・テラヘルツ高効率変換チップによる高感度・超小型テラヘルツ光源・検出器の開発に向けた重要な指針が得られた。

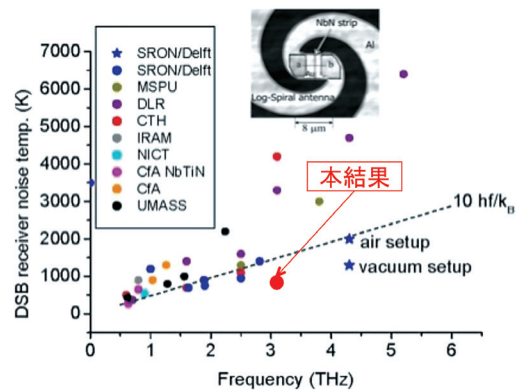


図 4 世界の HEB ミキサ性能における本研究結果の位置づけ

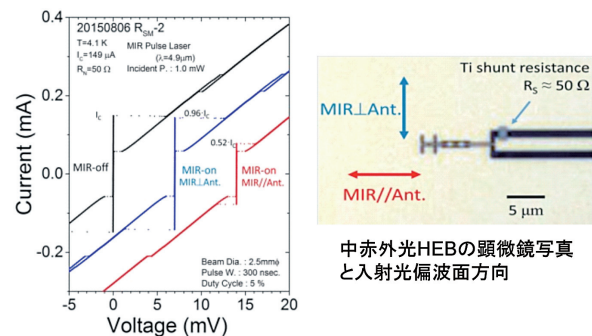


図 5 中赤外光 HEB ナノアンテナ構造の偏波面依存性

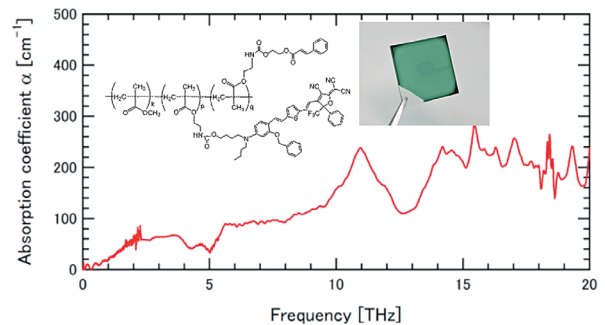


図 6 有機電気光学ポリマーのテラヘルツ帯における吸収特性