

テラヘルツ帯の有効利用による快適な社会の実現

■概要

機構内外と連携して、テラヘルツ波を利用した100 Gbit/s級の無線通信システムの実現を目指したデバイス技術や集積化技術、計測基盤技術等の研究開発を行う。また、テラヘルツ帯等の超高周波領域における通信等に必要不可欠である信号源や検出器等に関する基盤技術の研究開発を行う。これらの研究開発成果を基に、テラヘルツ帯における無線通信技術及びセンシング技術の実用化を目指した標準化活動の推進に貢献する。

平成29年度は、引き続きテラヘルツ無線テストベッドや、テラヘルツスペクトラム計測のための基盤技術を重点課題として研究開発を推進し、研究開発成果を最大化するための業務として、ITU-RやIEEE802等のテラヘルツ国際標準化活動を推進した。

■平成29年度の成果

1. テラヘルツ無線テストベッド基盤技術

100 Gbit/s級のテラヘルツ通信技術実現のため、最先端光ファイバ通信技術を援用したファイバ無線技術によるテラヘルツ波信号発生技術の検証を行っている。超大容量テラヘルツ通信の実現にあたり、利用可能帯域が広いテラヘルツ帯といえども周波数利用効率の高い変復調方式（例えば4値位相遷移変調や16値直交振幅変調など）の適用が肝要である。しかし、一般的にテラヘルツ帯において信号源の有する位相雑音の影響により位相情報を用いる変復調方式の実現は難しい。加えて将来テラヘルツ無線の評価を行うテストベッド環境においては、発生されるテラヘルツ信号の周波数の拡大及びその可変性も重要である。平成29年度は、周波数利用効率の高いテラヘルツ信号発生実現を目指した低位相雑音・高純度光周波数コム信号の発生手法の検討を行った。図1に、構築した光周波数コム装荷型光電気発振器の概要を示す。光・電気共振器構造により自励発振した高純度マイクロ波信号により直接光周波数コムを発生させることにより、周波数安定度が高く、かつ、300 GHz帯域幅を有した光周波数コム信号の発生に成功した。自励発振信号の単側波帯位相雑音を計測したところ、従来駆動に用いていたマイクロ波発振器に比べ周波数オフセット

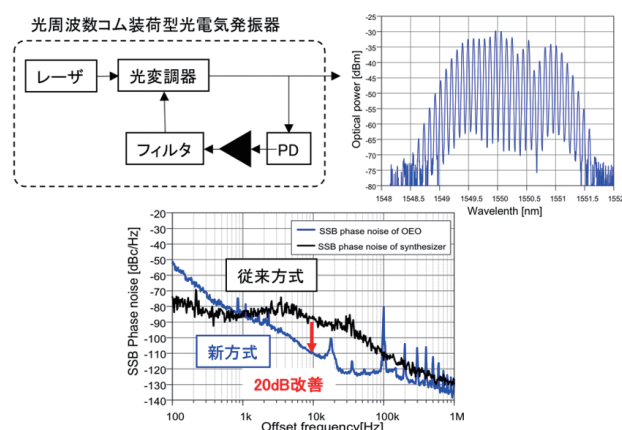


図1 光周波数コム装荷型光電気発振器の発振と位相雑音特性の改善の様子

10 kHz時に-110 dBc/Hzとなり20 dBの改善がみられた。周波数が11.87 GHzであるため、1 THz信号発生時には38 dBの通倍雑音劣化により-72 dBc/Hzとなることが推測され、前年度達成した-60 dBc/Hzの位相雑音に対して10 dB以上の改善の見込みが立った。本技術を用いることにより、高精度な多値変復調のテラヘルツ帯通信への適用が可能になると考えられる。

2. テラヘルツスペクトラム計測基盤技術

スペクトラム計測においては、電波法の定めるスプリアス特性を計測可能とするため、オクターブ(0.3-0.6 THz)の超広帯域とする。この帯域を1台の計測装置で担いながら、これまでにない高速、高精度で、スペクトラム計測を可能にする基盤技術の確立を目指している。これを実現する方法の1つとして、計測周波数帯域をいくつかの帯域に等分割するフィルタバンクを用いてマルチバンド化し、周波数コムを局部発振波とすることで、分割した周波数帯のそれぞれを同時に計測することを提案している。このための要素技術のうち、フィルタバンクについては平成28年度に400 GHz帯において設計通りに動作させることに成功した。平成29年度は、フィルタバンクで等分割された周波数帯域を一度に中間周波数(IF)にダウンコンバート可能なミキサについて、400 GHz帯において設計、試作、評価を行った。ミキサのIF帯域をできるだけ広くすることで、計測周波数帯域

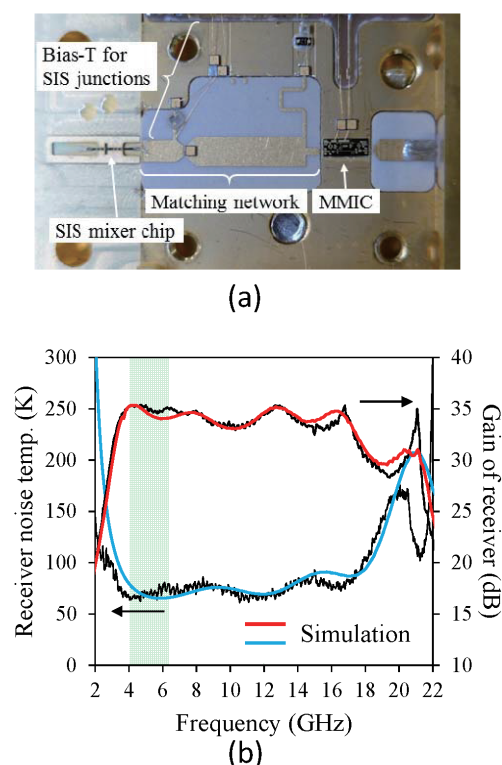


図2 (a) ミキサチップとIFアンプの集積化部の写真、
(b) 雑音・ゲイン特性のシミュレーションと測定結果との比較

をカバーするフィルタバンクの分割数が減る。このため、ミキサ数を減らすことが可能となり、システムが簡略化される。従来のミキサでは、ミキサに接続するIFアンプとのインピーダンス不整合を解消するためにアイソレータを用いるが、これがIF帯域を制限している。本研究では図2(a)に示すように、400 GHz帯ミキサブロック内に3–21 GHz帯IFアンプを集積化し、ミキサチップとモノリシックマイクロ波集積回路(MMIC)を広帯域整合回路によって結合した。測定したミキサの雑音温度とゲインのIF帯域依存性を図2(b)に示す。また同図に等価回路モデルによるシミュレーション結果も示す。従来アイソレータで制限されていた4–12 GHzの帯域を大きく拡張することに成功しており、シミュレーションとも非常に良く一致している。等価回路モデルによる解析から、IFアンプの帯域まで性能を向上することが可能である。このように、テラヘルツスペクトラム計測の要素技術として、有益な指針を得た。

3. 国際標準化活動

2015年世界無線通信会議(WRC-15)において、NICTが提案した「275–450 GHz周波数領域の陸上移動業務応用と固定業務応用への特定」に関するWRC-19議題1.15に向けた標準化活動を行っている。WP 1 A(スペクトラム工学技術)において、議題1.15に関する作業

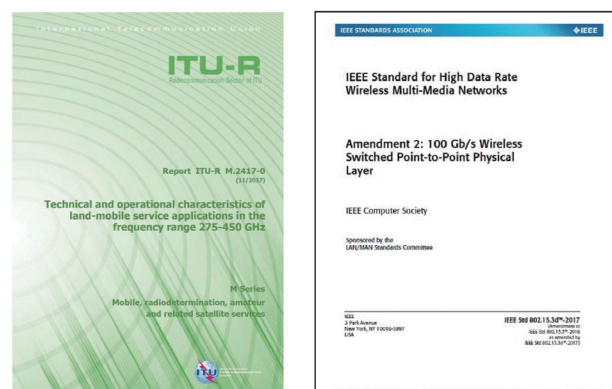


図3 平成29年11月に出版された新ITU-RレポートM.2417-0の表紙(左)及び2017年9月に出版されたIEEE std 802.15.3d-2017の表紙(右)

計画案、CPMテキスト案、共用両立性検討に関する新レポート草案の更新のための寄書を入力した。その結果、275–450 GHzで運用する陸上移動・固定業務応用と受動業務間の共用両立性検討に関する新レポート草案とCPMテキスト案に向けた各作業文書において、LMS及びFS特定周波数候補の暫定案及びCPMテキストのためのMethodと新脚注案を作成した。一方、WP5A(陸上移動業務)とWP5C(固定業務)においては、275–450 GHzで運用するLMS及びFS応用システムのための技術運用特性及びスペクトラム要求値に関する新レポート2件を完成させ、Report ITU-R M.2417-0(図3の左)とReport ITU-R F.2416-0として出版した。WP3K(ポイント・ツー・エリア伝搬)において、300 GHz帯陸上移動応用システムの伝搬モデルの入力による勧告P.1238の改定案が成立した。一方、APTのWRC-19準備会合であるAPG19-3会合において、NICT関係者が議題1.15のDG(Drafting Group)議長を担当し、議題1.15に関するAPT暫定見解案の取りまとめを行った。

また、無線機器の標準化を進めているIEEE(The Institute of Electrical and Electronic Engineers)標準協会802.15.3dにおいては、300 GHz帯短距離WPAN(Wireless Personal Area Network)システムの標準規格の検討が進められてきたが、テラヘルツ研究センター長の寶迫 巖が作業グループの副議長として参画し、強力に規格化作業をドライブした結果、当初の作業スケジュールが大幅に前倒しとなり、平成29年9月28日にシステム規格が最終承認され、IEEEstd 802.15.3d-2017として出版された(図3の右)。今後は、IEEE 802.15 Terahertz Interest Groupにおいて、WRC-19で検討される周波数との整合性を図るための検討や、センサー等の応用分野を考慮したPoint to Multipoint接続の検討、ビームステアリングの検討を行っていくことを想定している。