

## テラヘルツ帯の有効利用による快適な社会の実現

## ■概要

NICT内外と連携して、テラヘルツ波を利用した100 Gbps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。

令和2年度は、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。

## ■令和2年度の成果

## 1. テラヘルツ無線テストベッド基盤技術

100 Gbps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の適用が肝要であるものの、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。令和2年度は、テラヘルツ帯での多値変復調を実現するための高精度信号源の開発と超小型アンテナによるテラヘルツ帯通信試験を実施した。前述のとおり、多値信号などの高度な変復調の実現には信号源の有する位相雑音の低減が必須であるが、マイクロ波帯信号源を周波数通倍す

ることによる位相雑音劣化（通倍次数mの場合に $20 \log m$ で位相雑音が劣化）が影響を与える。そこで発振回路に光回路を組み入れることで高いQ値と長い共振器長を実現する光電気発振技術を採用し、かつ、最先端光ファイバ通信デバイスを用いることで発振周波数100 GHzを実現した。図1に光電気発振回路の概略図と得られた単側波帯位相雑音スペクトルを示す。高精度計測器による100 GHz信号の位相雑音に比べ、オフセット周波数10~100 kHzにおいて10 dB以上の位相雑音改善が得られた。本技術を基準信号として採用することでテラヘルツ帯送受信システムの高精度な評価が実現できると期待される。また、外部機関と共同で300 GHz帯における波長(1 mm)と同等程度のサイズを実現する誘電体超小型アンテナを開発し、その通信応用について評価した(図1)。一般的なホーンアンテナと同等程度の利得により17 Gbps以上の通信が可能であることを示した。以上のことから、300 GHz帯テラヘルツ通信における信号発生、受信、評価技術について基盤技術の確立がなされたといえる。

## 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-

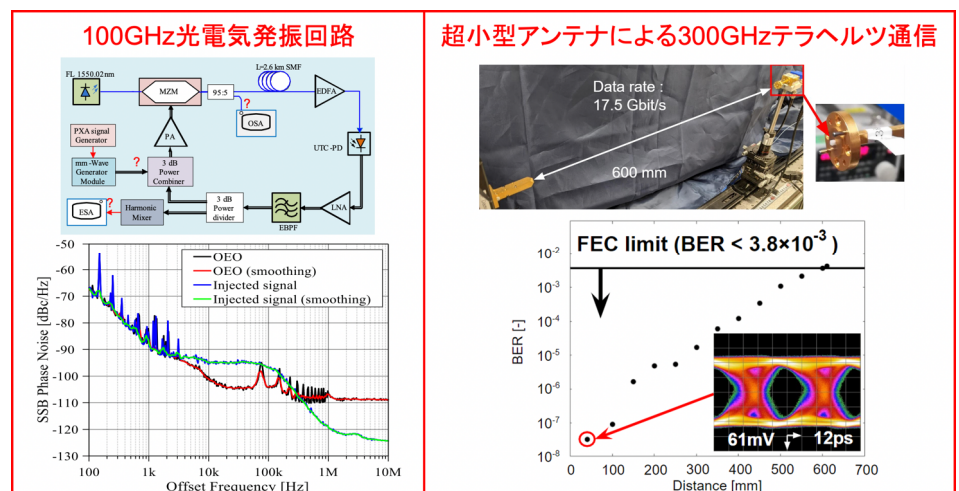


図1 (左) 100 GHz光電気発振回路のブロック図と得られた位相雑音スペクトル、(右) 超小型アンテナによる300 GHz帯17 Gbpsオンオフ変調伝送試験の様子とビット誤り率曲線

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ひとつとして、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帯において設計どおりに動作させることに成功した。フィルタバンクからの信号を中間周波数 (IF) にダウンコンバートするIFアンプ集積型ミキサについて平成29年度に試作し、IF帯域の広帯域化に成功するなど設計指針を得た。平成30年度には高精度光周波数コムを利用したサブミリ波帯周波数コムの発生、令和元年度には開発したコンポーネントを用いてマルチバンドスペクトラム計測の原理確認実験に成功した。

第4期中長期計画の最終年度となる令和2年度は、広帯域IF信号のスペクトラム計測の高速化を実施した。図2(a)に、高速アナログデジタルコンバータ(ADC)を用いた広帯域瞬時スペクトラム計測実証の実験系を示す。本実験では、フィルタバンクからの1チャンネル分を想定している。265-315 GHz帯で100 MHz間隔を有する周波数コム信号をホーンアンテナから入力し、局部発振周波数を315 GHzとしたミキサにより、IF信号に周波数変換する。このIF信号を増幅後、高速ADCで瞬時計測を行う。使用したADCは32 Gsps、1入力あたりの帯域幅は12.5 GHz、有効ビット数は6.5の仕様である。増幅後のIF帯域は4-21 GHz帯であり、17 GHzの帯域幅があるため、

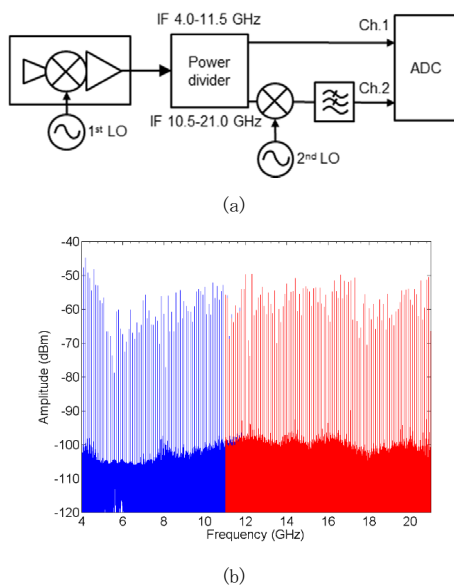


図2 (a) 高速アナログデジタルコンバータ(ADC)を用いた広帯域瞬時スペクトラム計測実証の実験系、(b) 100 MHz間隔のサブミリ波帯コム信号を入力したときのIF出力結果

IF信号を4-11.5 GHz帯と10.5-21 GHz帯に分け、それぞれをADCに入力することで、4-21 GHz帯をカバーする。図2(b)に上記の100 MHz間隔のサブミリ波帯コム信号を入力したときのIF出力結果を示す。従来の周波数掃引型スペクトラムアナライザと比較すると、およそ4桁の計測時間短縮に成功し、テラヘルツスペクトラムの広帯域高速計測技術の実現に向け、重要な実証結果を得た。

### 3. 国際標準化活動

WRC-19の結果を受けて引き続きITU-Rでの活動を行い、以下の成果を得た。

- (1) 2020年11月WP 1 A会合にレポートSM.2352の改定に向けた作業文書改定案の入力を行い、改定作業文書を次会合にキャリアフォワードした。
- (2) 2020年7月WP 5 A会合に新レポートM. [252-296 GHz.LMS.FS.COEXIST] に向けた作業文書の作業計画を提案し、さらに11月の会合に新レポート案の骨子案を入力し、作業文書として次会合にキャリアフォワードした。
- (3) 2020年11月WP 5 C会合にレポートF.2416のアンテナパターンを改定する作業文書案を入力し、作業文書として次会合にキャリアフォワードするとともに、追加したアンテナパターンは勧告F.699の改定にも貢献した。
- (4) 2020年9月及び2021年3月のAWG会合において、252-296 GHz帯固定システムに関するAPTレポートの作業文書案及びウークスルーイメージングシステムに関するAPTレポートの作業文書案を入力し、2件の作業文書を次会合にキャリアフォワードした。

また、無線機器の標準化を進めているIEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers) 802標準委員会においては、短距離WPAN (Wireless Personal Area Network) システムで初めての300 GHz帯無線標準規格であるIEEE std 802.15.3 dが平成29年10月に出版されたが、ITU-R WRC-19で追加された新脚注5.564 Aの周波数帯域に合わせた修正検討を開始した。また、引き続き無線標定などを含めた将来的なテラヘルツ無線機器規格について意見交換が行われている。令和2年11月からは、担当グループであるTechnical Advisory Group Terahertz (TAG THz) が改組されて、Standing Committee Terahertz (SC THz) となり、テラヘルツ研究センター長の實迫 巖が引き続き同Committeeの副議長として参画している。ITU-Rの該当Working Partyとの連携を取りつつ、IEEE std 802.15.3 dの周波数テーブルの修正等を行う予定である。