

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。

平成30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。

■平成30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ものの、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30年度は、高周波テラヘルツ発生を目指した光周波数コム信号の広帯域化の検討を行った。具体的には、複数の独立駆動する光周波数コム信号を同期・連結し総帯域幅を広げる手法である。図1に構築したフィードフォワード型周波数同期ループの概要を示す。独立して動いている光周波数コム信号から1成分を抜き出し、光周波数コムを生成するマスターレーザと混合させ周波数誤差信号を取得後、その誤差信号を用いて光周波数コムの中心波長をシフトするものである。15 GHz間隔で独立駆動する光周波数コムとマスターレーザで駆動される12.5 GHz間隔の光周波数コムを用い、2成分を抜き出し100 GHz離調した光信号を生成し合成後の周波数揺動を計測したところ、周波数同期ループを動作させない場合の周波数揺動2 MHzと比較し、380 Hzと5桁程度の安定度改善を実現した。本技術を用いることにより、広帯域かつ高純度なテラヘルツ信号生成システム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

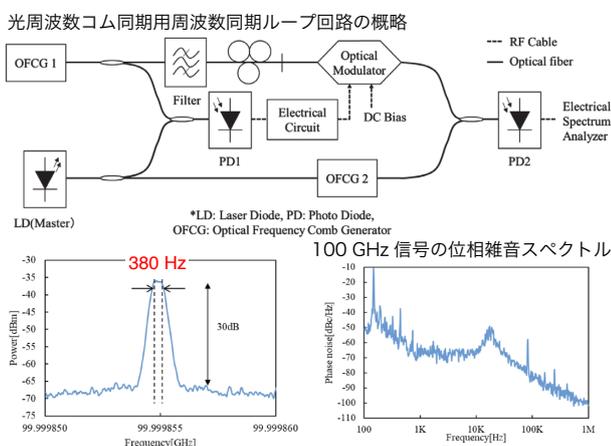


図1 光周波数コム同期システムの概略と得られた100 GHz信号の周波数揺動及び位相雑音スペクトル

30年度は、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発生の開発を行った。図2(a)にサブミリ波周波数コム信号発生システムの概略を示す。外部共振器型1.5 μm 帯CWレーザをファブリペロー電気光(EO)学変調方式による光コム発生器に導入する。マイクロ波シンセサイザを用いて光コム発生器を駆動し、シンセサイザの周波数精度を有する25 GHz間隔の光コム信号を発生する。光フィルタを用いてサブミリ波発生に必要な光信号のみを抽出し、フォトミキサにより光電気変換を行うことによって、マルチバンド受信機用のサブミリ波帯周波数コム信号を得る。図2(b)にフォトミキサへの入力前の1.5 μm 帯光スペクトラムを示す。5-6 dBm程度の電力を有する4つの光信号が得られ、その差周波は300、325、350 GHzとなっている。光信号をフォトミキサであるUTC-PDに入力し、サブミリ波帯出力電力を測定したところ、図2(c)に示すように3つの周波数信号電力の合計で25 μW 程度が得られた。したがって、1つの周波数当たり約8 μW の電力が得られることになり、これは本局発振器がミキサを駆動可能であることを示唆している。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。

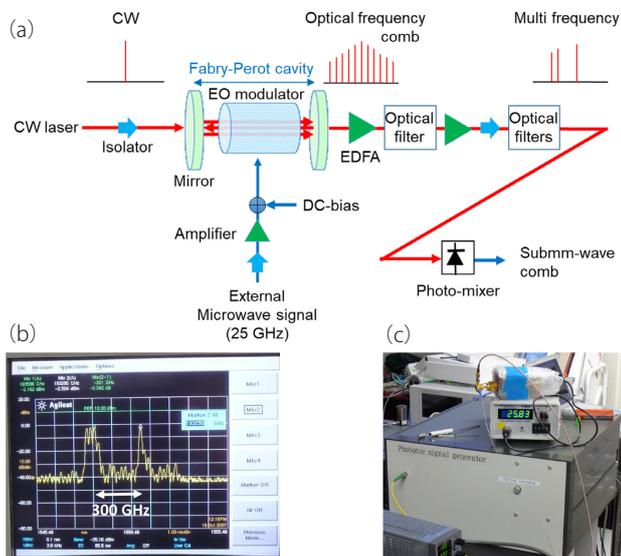


図2 (a) サブミリ波帯周波数コム信号発生ブロック図、(b) 1.5 μm 帯光スペクトラム、(c) サブミリ波帯信号電力測定

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。ITU-R WP 1 A (スペクトラム工学技術)において、WRC-19議題1.15に関するCPMレポート案を完成させ、さらに共用両立性検討に関する新レポート草案の更新を行った。次に、APTのWRC-19準備会合であるAPG19-4会合において、議題1.15に関するAPT暫定見解案をまとめるとともに、CPMレポート案の変更提案を行い、APT ViewとしてCPM19-2に入力することができた。CPM19-2においても日本、APT、ドイツ、米国、カナダ、中国、IUCAFからの寄書に基づきCPMレポート案の変更を行い、2019年11月開催のWRC-19において議論すべき各Methodが明らかになった。それらの比較を表1に示す。なお、Method CとFでは拘束条件付きでそれぞれFS/LMSとLMSのみに全帯域を特定できる新脚注としている。このようにNICT提案のMethodをCPMレポートに反映できたことは今後の無線通信規則改定への大きな寄与と思われる。

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、平成30年度においても引き続き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。平成30年7月からは、担当グループであるTerahertz Interest Groupが改組されて、Technical Advisory Group Terahertz (TAG THz) となり、テラヘルツ研究センター長の寶迫 巖が引き続き同グループの副議長として参画している。平成30年11月の会合では、次世代のテラヘルツ無線規格検討に向けて最新の技術動向を把握することを目的としてチュートリアル講演が企画され、NICTからシリコンCMOS集積回路による300 GHzトランシーバ開発の最新情報を紹介した。

表1 CPMで提案されているMethodによる特定周波数帯

Method	規則の変更方法	応用システム	FS/LMS特定候補周波数 (EESS保護のための特定条件無し)			
			Band 1 (GHz)	Band 2 (GHz)	Band 3 (GHz)	Band 4 (GHz)
A	RRの変更なし	-	-	-	-	-
B (IRN)	脚注5.565の変更	FS & LMS	275-296	306-313	318-333	356-450
C (CAN)	新脚注追加	FS & LMS	275-296	306-313	320-330	356-450
D (USA)	新脚注追加	FS & LMS	275-296	306-313	320-330	356-450
E (CEPT)	新脚注追加	FS & LMS	275-296	306-313	318-333	356-450
F (J)	新脚注追加	FS	275-296	306-313	318-336	348-450
		LMS	275-296	306-313	319-332	356-450
G (CHN)	新脚注追加	FS & LMS	275-296	306-313	320-330	400-420