

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1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

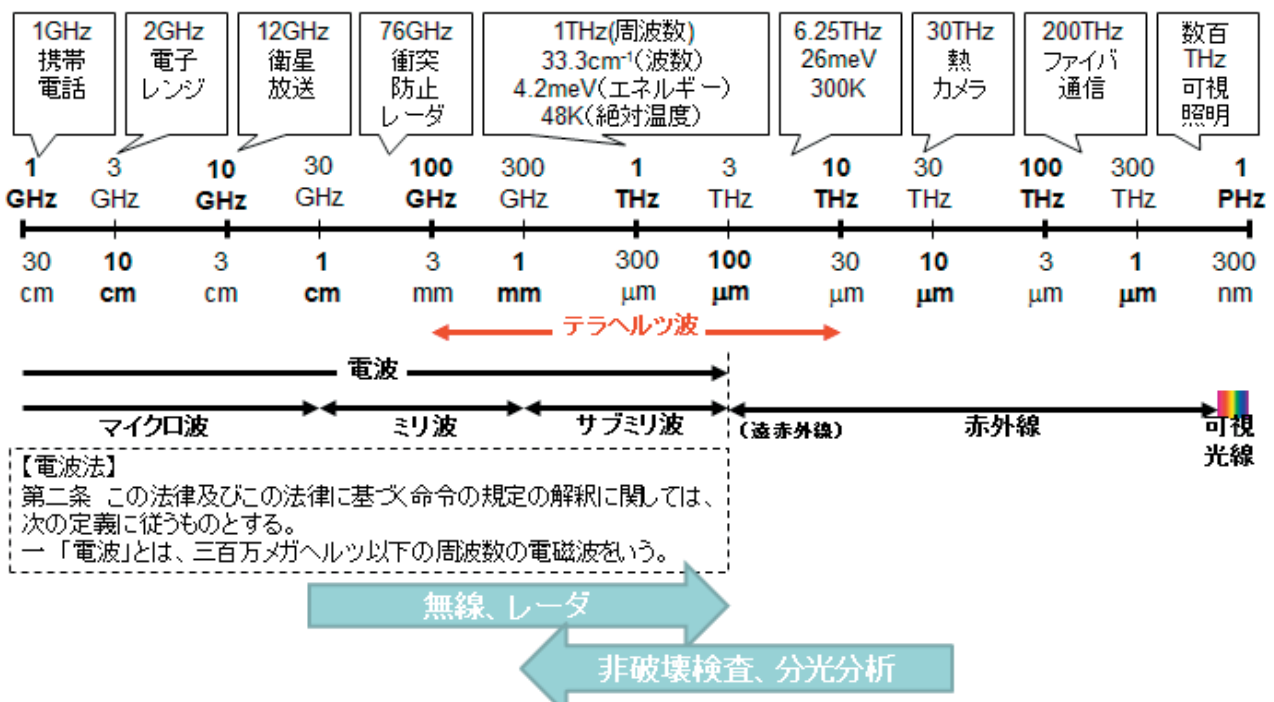
3 THz 帯チューナブル位相ロックループ、高感度精密分光技術の実現、高周波数分解能測定

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



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～30μm(周波数：100 GHz～10 THz)の領域

【平成 26 年度の成果】

超高速無線

① 光ファイバ無線用テラヘルツ信号伝送技術の検証

高速な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た。テラヘルツ波は利用可能周波数帯域が大きいと、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両方が期待される。平成 26 年度は、ビル間・次世代携帯電話基地局間接続等の中～長距離アクセスを指向した 300 GHz 帯 QPSK 信号伝送を、新たに開発した高利得アンテナを用いて評価した。20 Gbaud (40 Gbit/s 級) 伝送に成功し、32 Gbaud (64 Gbit/s 級) 信号の伝送可能性が示された(図 2)。また、更に周波数の高い 600 GHz テラヘルツ波に無線信号重畳技術を適用することで、16 QAM 等の高度な多値変復調技術及びその近接信号伝送の検証に成功した(図 3)。

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 Working Party 1 A (WP1 A) 会合（スペクトラム技術を所掌する作業部会）での議論の結果、NICT から提案した研究課題案「275-1000 GHz における技術・運用特性」(QUESTION ITU-R 237/1) が実施され、これに対応した ITU-R 新レポート案のための「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た。平成 27 年 6 月に完成予定となっている。今後、275 GHz 以上の無線通信規則 (RR) について、世界無線通信会議 WRC-2015 での議題化、及び WRC-2019 での改訂に向けて、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 THz Interest Group (IG thz：テラヘルツ無線の標準化を検討) は、平成 25 年 9 月からの Study Group 3 d (IEEE 802.15 SG 3 d) を経て、平成 26 年 5 月から具体的な規格策定作業を行う Task Group 3 d (IEEE 802.15 TG 3 d) となった。NICT は平成 22 年から本格的に参画し、寄書 11 件を提出、寶迫未来 ICT 研究所長が副議長に就任するなど、重要な役割を担っている。TG 3 d では、「100 Gbit/s 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)」の標準化を目指している。検討対象とする利用モデルは、「固定無線 (Fixed Wireless)」、「データセンタリンク」、「機器内通信 (Intra device)」、「キオスクダウンロード」とされている。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。

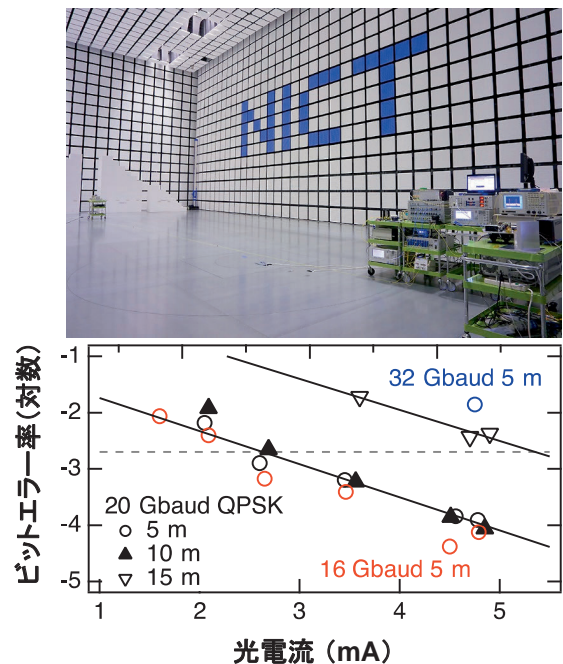


図 2 300 GHz 帯 >60 Gbit/s 15m アンプレス伝送

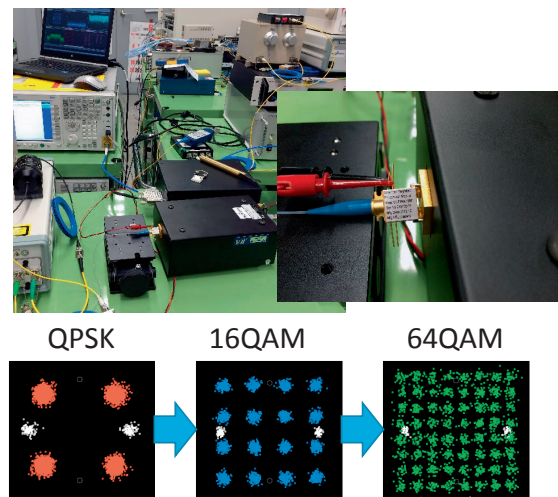


図 3 600 GHz 帯近接・多値信号伝送

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 周波数コムと超伝導技術による THz-QCL の位相ロック技術の開発

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 26 年度は、光周波数コムとフォトミキサによるテラヘルツ参照信号と、ホットエレクトロンボロメーター (HEB) ミキサーを用いて、3.1 THz 量子カスケードレーザー (THz-QCL) の位相ロックシステムを開発した。周波数 230 MHz の中間周波信号をマイクロ波参照信号と比較し、そのエラー信号をループフィルタに入力し、THz-QCL のバイアス電流にフィードバックをかけることで位相ロックをかけることに世界に先駆けて成功した。位相ロックがかかったビート信号の線幅として、スペクトラムアナライザの周波数分解の限界である 1 Hz 以下が達成された (図 4)。

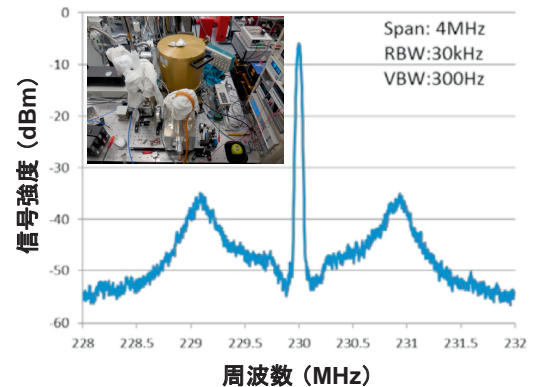


図 4 HEB を用いた 3.1 THz QCL の位相ロック

② 高感度 THz 帯窒化ニオブ HEB ミキサーの開発

高品質窒化ニオブ薄膜作製技術と極微細加工技術により、厚さ 3.5 nm、長さ 0.2 μm、幅数 mm 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 HEB ミキサー素子を作製した。素子を評価するヘテロダイン受信機システムには、新たに SiGe ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (HBT) を用いた低雑音低消費電力中間周波 (IF) 増幅器を導入するなど改良を行っている。局部発振源に 3.1 THz を発生する QCL を用いて、Y-ファクタ法 (標準的な性能試験方法) により受信機感度の評価を行ったところ、同周波数帯で世界最高レベルとなる 1390 K (量子雑音の約 9 倍) を達成した (図 5)。

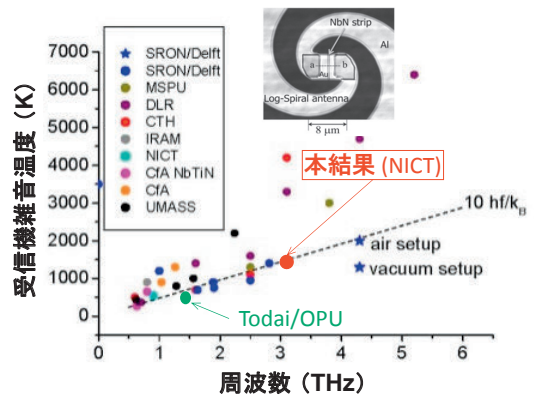


図 5 HEB 受信機の雑音温度性能

③ 光パラメトリック発振による高出力・波長可変中赤外光コムの発生

周波数標準技術として、可視、近赤外、そして遠赤外領域の光コム発生技術を研究してきたが、新たに中赤外光コム発生技術の開発を開始した。1 μm 帯イッテルビウムファイバーモードロックレーザーを用いた光パラメトリック発振により、波長 2.7~3.7 μm の高出力・波長可変中赤外光コム (80~110 THz) の発生に成功した。波長 3.5 μm 付近で最大 234 mW の出力を得ている (図 6)。この結果は、近赤外とテラヘルツ領域間をカバーする新たな周波数標準技術として有望である。

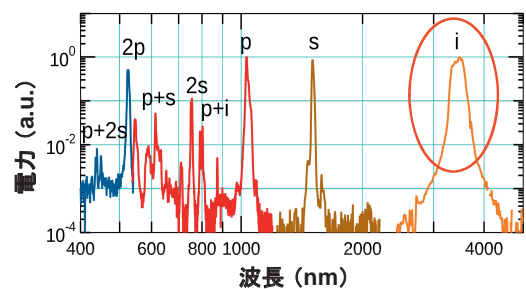


図 6 光パラメトリック発振による中赤外光コムの発生