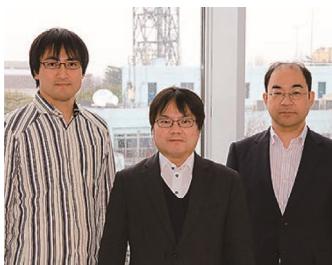


テラヘルツ無線テストベッドに向けた基盤技術

Beyond 5G時代の無線システムの実現を目指して



左から、諸橋功、菅野敦史、関根徳彦

菅野 敦史

(かんの あつし)

経営企画部企画戦略室

プランニングマネージャー

ネットワークシステム研究所

ネットワーク基盤研究室

研究マネージャー

大学院修了後、大学非常勤職員勤務を経て2006年NICT入所。超高速光変調、光ファイバ無線、マイクロ波フォトニクスに関する研究などに従事。博士（理学）。

諸橋 功

(もろはし いさお)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、JST研究員を経て、2007年NICT入所。テラヘルツ計測システムなどに関する研究に従事。博士（工学）。

関根 徳彦

(せきね のりひこ)

テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
室長

大学院修了後、企業勤務・大学職員を経て2005年NICT入所。半導体量子ナノ構造のテラヘルツ領域における物理とデバイス応用に関する研究などに従事。博士（工学）。

Beyond 5Gではミリ波よりも更に高周波なテラヘルツ波の利用が検討されています。高周波化による伝送速度の高速化のみならず、位置などの計測精度の向上、狭ビーム化によるセキュリティ向上も期待されます。NICTではテラヘルツ波の通信・計測利用のためのテストベッドプラットフォームの開発を進めてきました。ここでは、テラヘルツ無線のための送受信システム評価技術と、Beyond 5G以降の無線システムへ向けた信号発生技術について紹介します。

■ テラヘルツ送受信基盤の創出に向けて

5Gモバイル無線サービスの開始に伴い、無線システムが利用している電波の周波数が従来のマイクロ波帯からミリ波帯へ移行が進みつつあります。高周波化により利用できる周波数帯域幅が広がり、毎秒10ギガビットを超える通信速度の実現が可能になります。より周波数の高いテラヘルツ波を利用することで、通信速度の更なる向上が期待されます。そのため、高周波の無線信号を送受信する技術の開発が急ピッチで進んでいます。その開発に並行して研究開発中の送受信機の評価はもとより、周波数の高い

テラヘルツ無線システムそのものが利用可能か否かを検証する必要があるため、NICTではテラヘルツ無線システムを実験的に検証するためのテラヘルツテストベッド基盤技術の研究開発を進めてきました（図1）。本稿では、テストベッド技術の概要と更なる高周波化に向けた取組について紹介します。

■ テストベッド基盤技術の開発

テラヘルツ波は利用可能な周波数帯域幅がマイクロ波に比べ10倍以上広いため、従来活用できていた送受信部や信号処理技術がそのままでは利用できません。また、無線信号の伝搬損失は、周波数の自乗に比例して大きくなるため、増幅器やアンテナなども新規設計・開発する必要があります。そのため、NICTでは広帯域な信号を送信・受信するための基盤技術を開発しています。様々な周波数帯の信号にも対応可能とするため、光技術を利用してテラヘルツ信号発生を行い、毎秒100ギガビットを超える送受信を実現する最先端光ファイバ通信技術と組み合わせることで、テラヘルツ無線信号送受信基盤技術を開発しています。テラヘルツ波においても高い周波数安定度

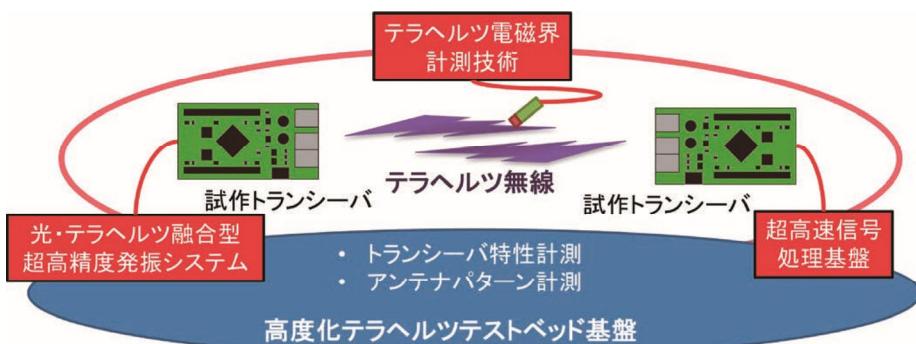


図1 テラヘルツテストベッドプラットフォームの概略

を実現するため、光周波数コム技術によるテラヘルツ波発生技術を開発し、光ファイバ通信技術と最新無線通信技術を組み合わせた光ファイバ無線技術により300 GHz帯での毎秒50ギガビットを超える信号送受信や、600 GHz帯での無線伝送などを実現しました（図2）。また、ビーム幅の狭い無線信号とすることで、伝送損失の低下を抑え効率的な信号の送受信を行なうだけでなく、不要な場所へ無線信号を漏洩させない技術も併せて開発しています。光技術を基盤とするテストベッドプラットフォームを活用することで、将来利用が予定されている300 GHz帯無線システムの開発・評価に役立てるだけでなく、更なる高周波化・広帯域化を行う極限技術の研究も進めています。

■ 極限の電波の利用を目指す

電波法において電波は3 THzが上限と定義されています。2 THzから3 THzの超高周波領域では、信号の発生及び検出そのものが難しく電波天文や分光計測などの限られた用途でしか用いられていません。大気吸収のベースラインは100 dB/km程度と非常に大きく、かつ、分子運動に起因するシャープな吸収線も多数存在しますが、100 GHz幅程度であれば比較的損失の少ない「窓」もいくつか存在しています。つまり、近距離で

あれば超高速・大容量通信に利用できる可能性があります。NICTでは、テラヘルツ帯半導体レーザーや超伝導検出器等の独自技術の研究を行っています。これらを組み合わせることにより、2 THzを超える極限の電波を利用した無線通信技術が可能になります。

図3に示す開発中のテラヘルツ通信システムは、送信システムに光技術をベースとしたものを用い、受信システムに超伝導電子回路を用いています。送信システムは光周波数コム技術を基にしたテラヘルツ信号発生法を用いており、光周波数コムから抽出したテラヘルツ周波数分離された2成分の信号をデータ変調して单一走行キャリアアフォトダイオード（UTC-PD）に入力することにより、テラヘルツ波変調信号を発生させています。この方法は、テラヘルツ波の周波数に関して高い安定性と柔軟性を持たせることができます。

受信システムには、高感度ホットエレクトロンボロメーターミキサー（HEBM）によるヘテロダイン方式を用いています（本号pp.8-9参照）。局部発振器（LO）としてテラヘルツ量子カスケードレーザー（THz-QCL）を用いています。安定的な通信の実現のため、THz帯位同期ループ（PLL）回路を開発しました。THz-QCLからのテラヘルツ波を超格子ミキサー（SLM）で受信し、マイクロ波

基準信号との比較で得られたエラー信号をフィードバックすることにより、数MHz程度の発振線幅を1 Hz以下へ安定化を実現しました（本号pp.6-7参照）。

送信システムから送信されたテラヘルツ変調信号をHEBMで受信し、周波数安定化されたTHz-QCLとのミキシングによりマイクロ波帯に変換された信号をベクトル信号解析システム（VSA）で復調処理を行うようにより、数THzの極限周波数であっても、従来無線通信に近い環境で無線システムの検証が可能となります。

■ 今後の展望

電波利用の主役がマイクロ波からミリ波へ移行が進むにつれ、通信やレーダー、位置計測を更に高度化できるテラヘルツ無線システムへの要求も高まります。サービス実現性の検討には、テラヘルツ無線技術を「試して」「評価し」「フィードバックする」ためのテストベッドプラットフォームが必要不可欠です。光技術を基盤とするテストベッド基盤技術の開発が、電波の枠を超えるテラヘルツ無線システムの検証までをも可能にしました。今後、新しいテラヘルツシステムの検証にテストベッド基盤技術が活用されることが期待されます。

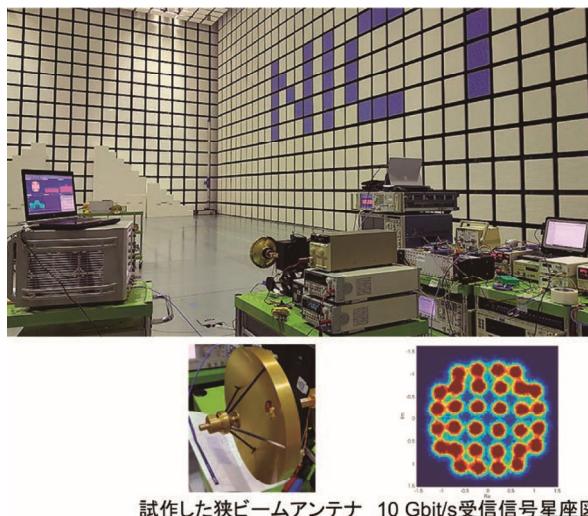


図2 光・テラヘルツ融合基盤技術による高速テラヘルツ通信試験の様子

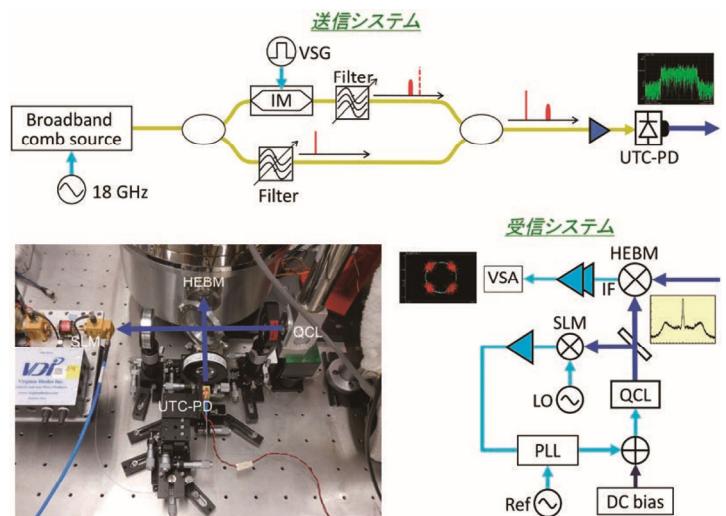


図3 極限周波数テラヘルツ送受信システムの概略