

採択番号 : 19601
研究開発課題名 : 欧州との連携による Beyond 5G 先端技術の研究開発
副題 : 大容量アプリケーション向けテラヘルツエンドトゥーエンド無線システム
Acronym : ThoR

(1) 研究開発の目的

本研究の目的は、欧州側と日本側が有する最先端の電子技術およびフォトニクス技術の融合による、広帯域性とダイナミックレンジの大きさを特徴とする 300GHz 帯における送受信器の開発である。すでに 60GHz 帯(V-band)や 70/80GHz 帯(E-band)にて Gbps 級の変復調技術(Modem)の開発が進み、標準化もなされているが、本研究ではこれらの信号をアグリゲートすることにより、リアルタイム動作可能なテラヘルツ送受信システムを実現する。Beyond5G 向けのバックホール・フロントホール技術としての高い実用性を目指して、伝送距離・容量積 40Gbps×km を目標とする。

Beyond5G システムでは莫大な数の基地局をネットワークに接続する必要がある。また、通信容量に対する需要も極めて高いものが求められており、Tbps/km² 以上が見込まれている。多数の基地局のためのネットワーク(バックホール・フロントホール)は高い伝送能力が必要とされる場所では光ファイバが用いられることが多かった。一方、途上国を中心にルーラルエリアでは依然として設置の容易性から固定無線が多数用いられているのが現状であるが、伝送能力は光ファイバ通信に比べると劣る。Beyond5G システムでは日欧の都市部においても莫大な数の基地局をすべてファイバで接続するのは困難であると見込まれる。一方で伝送容量への要求は非常に高い。つまり、光ファイバ通信に比肩しうる伝送能力と、従来の固定無線システムが持つ設置の容易性を兼ね備えた、無線技術への期待が高まりつつあるといえる。これを実現するのは利用可能な無線帯域の制限から 300GHz 帯などのテラヘルツ帯を利用するのが唯一の解決策であると考えられるが、いくつかの大きな技術的課題がある。テラヘルツ帯である程度の距離の無線リンクを実現するためにはパワーストックが必要となるが、現状では一般的な半導体アンプで大きな出力のテラヘルツを得ることは困難である。また、実際にネットワークに接続可能なリアルタイム動作可能なテラヘルツ帯通信システムの実証例はほとんどない。本研究では 300GHz 帯における実用性の高いテラヘルツエンドトゥーエンド無線システムを実現することを目的として、以下のような技術課題に取り組む。

1) 屋内・屋外環境における 100Gbps 以上のフロントホール技術に関する研究

10m から 1km の範囲でのリンク性能に関する研究を行い、オフライン処理を用いて 100Gbps 以上の伝送速度を達成する。

2) 双方向のテラヘルツエンドトゥーエンド無線システムの開発

V/E バンドのモデムを用いてリンクの距離 1km で伝送速度 40Gbps 以上のリアルタイム動作可能な 300GHz 無線システムを開発する。現時点で利用可能なモデムの性能から伝送速度の目標値を 40Gbps としているが、研究期間内にさらに高い伝送速度を目指した取り組みも行う予定である。ここで開発する無線装置は IEEE802.15.3d 規格に準拠した 315Gbps 伝送システムへのスケーラビリティを有する。

(2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 3 年度 (4 年間)

(3) 実施機関

学校法人早稲田大学 <代表研究者>
学校法人千葉工業大学
国立大学法人岐阜大学
日本電気株式会社
高速近接無線技術研究組合

(4) 研究開発予算（契約額）

186 百万円（令和 2 年度 16 百万円）

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 WP3 ネットワークインターフェースとミリ波 IF（高速近接無線技術研究組合、学校法人早稲田大学）

研究開発項目 WP4 LO を含む 300GHz RF フロントエンド（日本電気株式会社）

研究開発項目 WP5 伝搬、アンテナ、周波数共用検討（学校法人千葉工業大学、国立大学法人岐阜大学、日本電気株式会社、学校法人早稲田大学）

研究開発項目 WP6 システムデモンストレーション（国立大学法人岐阜大学）

(6) 特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	4	2
	その他研究発表	38	17
	標準化提案・採択	4	1
	プレスリリース・報道	17	1
	展示会	2	1
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 WP3 ネットワークインターフェースとミリ波 IF（高速近接無線技術研究組合 学校法人早稲田大学）

ネットワークインターフェースを通じて入出力されたユーザーデータを中間周波数帯（60.48 GHz および 62.60 GHz）のミリ波帯信号へ変換する機能を担う 60 GHz 帯モジュールの試作・詳細評価を行いその結果を成果物 D3.5 に記載した。本モジュールは IEEE802.15.3e で規定された送受信の機能をもつものである。上記モジュールと WP4 で開発予定の周波数変換部とあわせることで IEEE802.15.3d 準拠（IEEE802.15.3e をベースとしている）のテラヘルツ帯信号の送受信が可能となる。

研究開発項目 WP4 LO を含む 300GHz RF フロントエンド（日本電気株式会社 学校法人早稲田大学）

300GHz 帯 TWTA 用の電源ユニットの仕様を決定し、高電圧部の調達までを行い、TWTA 用電源の調達を完了した。また、TWTA の事前試作機で得られた知見、及び今後の計画をまとめ、共同研究アライアンス内で共有するとともに、今後の TWTA 開発計画を立てた。

研究開発項目 WP5 伝搬、アンテナ、周波数共用検討（学校法人千葉工業大学 国立大学法人岐阜大学 日本電気株式会社 学校法人早稲田大学）

昨年に引き続き EO プローブやネットワークアナライザを用いたアンテナ近傍測定によるアンテナ特性の評価と電波暗室内での測定の比較検討を行った。また、テラヘルツ帯時間分解測定によるコンクリートやガラスなどの材料のテラヘルツ帯における複素誘電率の測定を行った。

屋外伝搬実験向けに試作した 300 GHz 帯無線送信機の免許を取得し、屋外伝搬実験を開始。高利得アンテナ（カセグレインアンテナ）の遠方界を計測した。また、テラヘルツ帯における移動通信と固定通信の干渉の可能性や、ミリ波帯における風・雨・雪の影響評価をもとにテラヘルツ帯における影響の基礎検討を行った。また、フロントホール基地局自動配置プログラムを構築し、自

動配置した基地局の SNR や SINR を評価した。

研究開発項目 WP6 システムデモンストレーション（国立大学法人岐阜大学）

欧州側でこれまでに開発したハードウェアを活用し、任意波形発生装置、オフラインによる信号処理などを駆使したシステムデモンストレーションに関して、昨年に引き続き、プロジェクトの統括を行った。渡航禁止の影響を受け、システムデモンストレーションの準備に遅れが生じたが、システムデモンストレーション実施のために 2022 年 3 月まで研究期間の延長が認められた。新たな研究計画の策定、各要素技術の開発進捗管理などを行った。

（８）今後の研究開発計画

100Gbps 級高速テラヘルツ伝送実現に向けた研究開発を引き続き行う。各要素技術研究を推進するとともに、欧州で実施予定の伝送デモンストレーションのためのシステム構築を欧州側と連携して実施する。300GHz 信号を発生する RF フロントエンド部分の設計・開発に関しては、前年度までの検討結果を反映させ、進行波管アンプの試作ならびに評価を実施し、伝送デモンストレーションへの適用を検討する。また、前年度に免許を取得した 300GHz 帯無線機を使用し、電波伝搬実験及びアンテナ特性評価を実施し、基地局配置シナリオの検討に反映させる。引き続き、テラヘルツ帯無線に関する研究成果を国際会議等に投稿するとともに、国内外の標準化関連団体・組織を通じて、ITU-R や APT への寄書入力を推進する。

（９）外国の実施機関

ブラウンシュヴァイク工科大学（ドイツ）〈代表研究者〉

ドイツテレコム（ドイツ）

フラウンホーファー応用固体物理研究所（ドイツ）

Sikul Communications（イスラエル）

リール第一大学／マイクロエレクトロニクス・ナノテクノロジー電子研究所（フランス）

シュツットガルト大学（ドイツ）

VIVID Components（イギリス）