

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/km<sup>2</sup> 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ところ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アンプが必要となるが、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ルアップ性を有する

### (2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 3 年度 (3 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）

総額 186 百万円（平成 30 年度 47 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 WP2 総合システムコンセプト（高速近接無線技術研究組合 日本電気株式会社）

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	2	2
	その他研究発表	21	19
	標準化提案	3	1
	プレスリリース・報道	16	3
	展示会	1	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 WP2 総合システムコンセプト（日本電気株式会社 高速近接無線技術研究組合）

300GHz 帯リンクのシステム構成基本検討として、システムスループット、伝送距離、アンテナゲインなどの基本仕様を確定するという目標に対し、300GHz 帯において 100Gbps のスループットを実現するために必要な帯域幅、マルチキャリア方式でのピークファクタ増加を考慮したスループットの計算を行い、その結果を成果物 D2.2 に記載した。

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）

PCI express や 10 Gb Ether 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、IEEE 802.15.3e で規定されているベースバンド信号に変換し、それらを今回のシステムにおける中間周波数帯、60.48 GHz および 62.60 GHz のミリ波帯信号へ変換するという、60GHz モジュールの仕様策定及び設計を完了し、結果を成果物 D3.3 に記載した。

また、来年度の 60 GHz モジュール評価に向けて、この仕様を元に 60 GHz 帯モジュールの試作を行い、基礎的なデータの取得を行った。来年度に実施する詳細評価結果と合わせて成果物 D3.5 に記載する予定。

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）

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）

2019 年 10 月までのアンテナ・伝搬に関する検討結果を D5.2 にとりまとめた。テラヘルツ帯電波伝搬のシミュレータで、新宿駅エリアでの建物モデルを利用し、同一周波数を利用する基地

局間の離隔距離条件を決定。TUBS のインハウスの伝搬シミュレータと同一シナリオでのシミュレーションを実施し、ほぼ同等の伝搬ロスが得られることを確認。コンクリートやガラス等の 300GHz での反射・透過特性の計測を実施し、複素誘電率を決定。実験により得られた建材の反射特性やアンテナ放射パターンを伝搬シミュレータに組み込み、より現実に近い伝搬シミュレーションを可能にした。屋外伝搬実験に向けた 300 GHz 帯無線送信機の試作が完了。

また、ミリ波帯における風の影響評価のモデルを基に、テラヘルツ帯での影響を計算し、D5.2 に記載した。近傍界計測と遠方界評価技術に関しては、ヨーロッパで実施された遠方界計測の結果との乖離の原因を特定し、より高い一致度をえる測定条件を見出した。また、直径 152mm のカセグレンアンテナの近傍界計測・遠方界評価を行い、所期の結果を確認するとともに課題を定義した。

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、プロジェクトの統括を行った。全電気部品で構成された伝送システムにおいてスーパーヘテロダインでの通信実験を 300GHz 帯で行い、コンセプトを確認した。また、当初は DEMO2、DEMO3 と続く実験計画を、開発の進捗を鑑みながら、リスクを最小化するために DEMO2 を 3 つのシリーズ実験に分割、また、DEMO3 の前にプレ DEMO3 実験を計画し、それぞれの実験目的、成果について規定した。

#### (8) 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）