

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ビリティを有する。

### (2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 4 年度 (5 年間)

### (3) 受託者

学校法人早稲田大学 <代表研究者>  
学校法人千葉工業大学  
国立大学法人東海国立大学機構  
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）

平成 30 年度から令和 4 年度までの総額 186 百万円（令和 4 年度 0 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 WP6 システムデモンストレーション

（国立大学法人東海国立大学機構、高速近接無線技術研究組合）

他の実施機関は WP7 普及と成果の展開の一環として、システム実証への協力、最終ワークショップ参加などの活動を行った

(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	6	0
	その他研究発表	49	2
	標準化提案・採択	6	0
	プレスリリース・報道	18	1
	展示会	2	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と最終成果

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）においては、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、システム全体の概念設計を行った。

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）においては、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・詳細評価を行った。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 で開発された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）においては、300GHz 帯 TWTA の試作を行い、増幅動作の確認を行った。今後、実システムで利用可能な増幅モジュールとして実用化を進める上で必要な技術要素の抽出を行った。

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 国立大学法人東海国立大学機構 日本電気株式会社 学校法人早稲田大学）においては、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遠方界特性評価技術についての研究を実施した。屋外伝搬実験向け 300 GHz 帯無線送信機と受信機を試作し、これを用いて、300GHz 帯アンテナ・伝搬特性の評価実験を実施した。また、基地局自動配置シミュレータを開発し、新宿都市モデル上で高密度配置された基地局の配置シナリオに必要な共用条件を検討した。

研究開発項目 WP6 システムデモンストレーション（国立大学法人東海国立大学機構、高速近接無線技術研究組合）においては、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を行い、この結果をベースに、リアルタイム動作可能な双方向テラヘルツ伝送システムを構築した。2023年6月にドイツベルリンとブラウンシュヴァイクにて屋外での伝送実験に成功した。伝送距離 160m、伝送速度 20Gb/s x 2（双方向）を実現可能とするもので、300GHz 帯においては世界初の双方向無線伝送システムの実証である。信号帯域幅は 8.64GHz x 2であったが、帯域幅の拡張により、さらなる高速化も可能である。また、

IEEE802.15.3d に準拠した伝送実験にも成功しており、こちらも世界初の実証例となる。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

今後も高速テラヘルツ伝送の社会実装に向けた研究開発を引き続き行う。なお、早稲田大学、千葉工業大学、国立大学法人東海国立大学機構は本研究開発の成果をベースとして日欧連携をさらに発展させ、テラヘルツ通信を用いたネットワーク実現を目指した NICT の委託研究「欧州との連携による 300GHz テラヘルツネットワークの研究開発」を昨年度から実施している。長期にわたり屋外で動作させることが可能な小型のテラヘルツ伝送装置を開発する。さらに、複数のテラヘルツ通信装置を連携させ、悪天候時にもおいても安定的な高速データ伝送を可能とする技術の実現を目指す。

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）