

## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 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
- ◆受託者 国立大学法人東海国立大学機構、学校法人早稲田大学、学校法人千葉工業大学
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和5年度(3年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和3年度から令和4年度までの総額100百万円(令和4年度78百万円)

## 2. 研究開発の目標

- ・屋外で長期間連続動作可能で、実際のネットワークに接続可能な300GHzテラヘルツ帯伝送システム装置を開発する。伝搬状況の変化に合わせて、複数リンクの協調動作や、再送アルゴリズムの最適化により、可用性向上と高速伝送特性の両立を実現する。
- ・高層ビル群が密集する新宿エリアや大手町エリアで、リンク間干渉を生じることなく、自動的に基地局やRAUを配置するプログラムを開発する。
- ・300GHzテラヘルツ帯伝送システム装置で測定した無線機特性および回線特性を、電波伝搬シミュレータに実装することにより、開発したテラヘルツ帯伝送システムを使用した300GHz帯無線バックホール/フロントホールリンクの回線特性や稼働率のシミュレーションを可能にする。

## 3. 研究開発の成果

ThoRプロジェクトで開発した300GHz帯周波数変換器、増幅器を用いて、複数チャネル対応の連続動作可能なテラヘルツ帯送受信器を開発する。耐候性アンテナモジュールを開発し、アンテナモジュールの放射パターンをNICTの共用設備等を用いて実測することで所望の特性測定が得られていることを確認する。



### 研究開発項目1:無線装置開発および伝送実験

初年度に開発したテラヘルツ帯送受信器をベースとして複数チャネル対応の長期間運用実験装置を開発した。4チャネル同時使用時(偏波多重または空間多重併用を想定)に40Gbpsの伝送が可能となることを技術実証し、屋外実環境でリアルタイム動作が可能で、様々な天候条件での数ヶ月以上の連続実験に対応する送受信機を製作した。中間周波数部(60GHz)モジュールに各種特性測定のための新機能の実装も行った。開発のアンテナモジュールの放射パターンの実測値をNICTの共用設備と本課題で開発した近傍界測定システムを用いて取得し、所望の特性測定が得られていることを確認した。

2021年度に開発したリングトポロジーによる基地局配置のアルゴリズムをプログラムに実装する。また、ゲリラ豪雨のモデルを用いて、リングトポロジーにより配置した回線のゲリラ降雨時の回線稼働率を算出するプログラムを構築する。



### 研究開発項目2:フロントホール無線基地局の自動配置シナリオ

300 GHz帯フロントホール回線を自動配置アルゴリズムにより配置してその接続確率のセルサイズ依存性を検証し、90%以上の接続確率が得られる条件を明らかにした。300 GHz帯フロントホール回線を自動配置プログラムにより配置し、その中の冗長な回線をグラフ理論によりノード間の接続を減らすことなく、エッジを10%以下まで減らすことに成功した。ゲリラ豪雨時、および、年間の稼働率を評価した。また、中央に配置したBBUと各RAUをマルチホップ無線回線で接続した場合、降雨分布に応じてルートを切り替えることにより回線の稼働率を20%向上可能であることを実証した。

円筒走査システムを球面走査に拡張する。また、長時間計測においても測定精度を保持する計測アルゴリズムの開発に取り組む。



### 研究開発項目3:アンテナ評価技術の開発

円筒操作システムを球面操作システムに拡張した。また、長時間計測においても測定精度を保持する計測システムを構築し、これを用いて研究開発項目1で開発の高利得アンテナモジュールの放射パターン測定を行った。加えて、アンテナ近傍界計測技術をIF帯回路EMI評価へ展開した。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
0 (0)	0 (0)	3 (3)	27 (24)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、（ ）内は当該年度の件数です。

- (1) 社会実装協力者と広く議論を展開した。
- (2) 当初計画にはなかったが、開発のアンテナ近傍界計測技術をIF帯回路EMI評価へ展開し、送受信機開発に役立てた。
- (3) 測定により得られた300GHz帯高利得アンテナの放射パターンをRecommendation ITU-R F.699-8に記載のモデルと比較した。

5. 今後の研究開発計画

研究開発項目 1 無線装置開発および伝送実験

長期間伝送実験を実施し、複数リンク間の伝送特性の相関特性を明らかにする。この結果に基づき、テラヘルツ帯ネットワークの構成最適化を行う。伝送特性変動の影響を抑えるために必要な制御時定数などを求め、複数のリンクをアグリーゲーションし、天候変動を考慮に入れた上で、最大400Gbpsの伝送を可能とするネットワークの設計を行う。

研究開発項目 2 テラヘルツフロントホール無線基地局の自動配置シナリオの研究開発

実測したアンテナの放射パターンを電波伝搬シミュレータに実装し、2022年度に開発したプログラムで配置した基地局位置でのリンク間での干渉を評価する。基地局間に干渉が生じる場合には回線間干渉が生じた場合は、干渉が生じた基地局の位置を再配置するアルゴリズムをプログラムに実装する。さらに、完成したプログラムを東京駅周辺などの新宿以外の都市部での基地局配置に適用し、開発したプログラムの汎用性を検証する。2021~2022年度に研究開発項目 1 で評価した 300 GHz 帯無線回線の回線特性を電波伝搬シミュレータ、および、2022年度に開発した回線特性評価プログラムに実装することにより、開発した無線装置を使用したリングトポロジーによるフロントホール回線の回線特性および稼働率のシミュレーションを可能にする。

研究開発項目3 アンテナ評価技術の開発

低利得アンテナを対象とし、開発の近傍界測定法の不確かさについての評価を行う。また、中程度の利得、あるいは高利得アンテナの放射パターンを測定し、これを研究開発項目2で開発のシミュレーションへインプットすることで、様々なシナリオへの対応を実現する。

6. 外国の実施機関

- ブラウンシュヴァイク工科大学（ドイツ）
- フラウンホーファー応用固体物理研究所（ドイツ）
- 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）