

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5年度までの総額125百万円(令和5年度25百万円)

2. 研究開発の目標

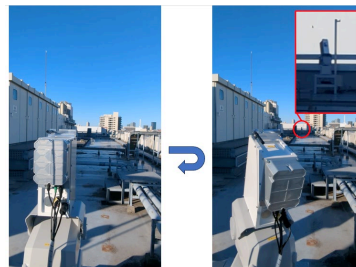
耐候性アンテナモジュール、テラヘルツ帯送受信器等を用いてアンテナパターンや伝送データ等の取得を行う。数ヶ月以上の長期間運用実験を実施し、複数リンク間の伝送特性の相関特性を測定する。アンテナの放射パターンを電波伝搬シミュレータに実装し、自動配置した基地局位置でのリンク間での干渉を評価する。基地局間に干渉が生じる場合には回線間干渉が生じた場合は、干渉が生じた基地局の位置を再配置するアルゴリズムをプログラムに実装する。複数のテラヘルツ帯伝送装置を組み合わせた、安定動作可能なテラヘルツネットワークの構成要件を明らかにする。

3. 研究開発の成果

国内外からアクセス可能なリモートテストベッドを開発

IEEE802.15.3d対応300GHz帯無線機

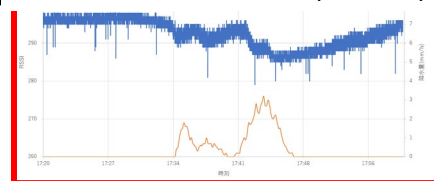
- ・フレキシブル導波管を用いた高精度な機構設計
- ・リアルネットワークにシームレス接続
- ・国内外からリモートでデータ取得可能



屋外環境での実測データ取得

- ・国内外からリモートで無線機方向制御可能
- ・無線機位置座標に基づく回線切り替え可能
- ・直接波・地面での一回反射波による通信路切り替え可能
- ・気象データと伝送特性を屋外で同時取得
- ・長期間データを取得

降水量とRSSIの関係(実測例)



無線機特性・屋外回線特性

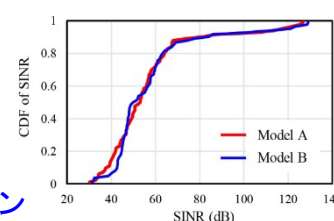
高利得アンテナの精密評価技術

テーブルトップのシステム

- ・直接遠方界測定結果(アンテナ距離53m)と一致する精度
- ・2次元放射パターンが取得可能
- ・高い確度のアンテナ利得計測へ展開

2Dアンテナパターン

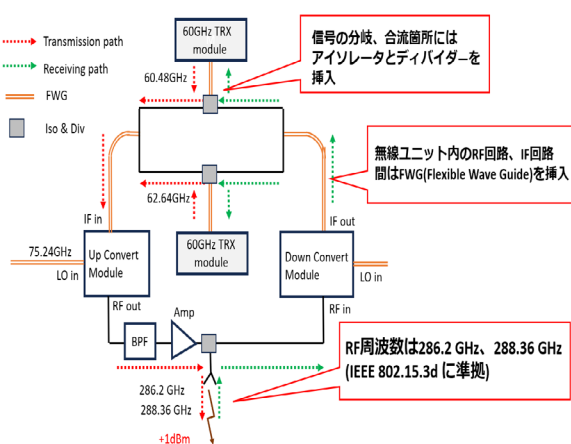
フロントホール無線基地局の自動配置シナリオ



- ・実アンテナ放射パターンを使用し、回線間干渉を計算、稠密に配置しても干渉が生じないことを確認
- ・回線距離を 500 m 以下に設定することで 99.9999 % の稼働率となることを確認

研究開発項目1: 無線装置開発および伝送実験

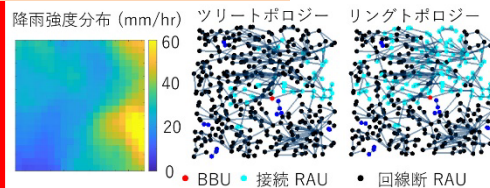
耐候性アンテナモジュールの開発と放射パターン評価を完了する。長期連続運用可能な300GHz帯テラヘルツ帯無線システムを開発し、リンクあたりの伝送性能40Gbpsが可能であることと、50mm/hr、風速20m/sの悪天候下においても動作可能とする設計条件を明らかにする。



- ✓ 利得40dBi, 45 dBi, 50 dBiの耐候性高利得アンテナモジュールを開発
- ✓ 放射パターンを評価
 - ✓ 屋外環境(アンテナ間距離53m)で実測
 - ✓ 研究開発項目3で開発の近傍界計測システムにより実測
 - ✓ ITU-R F.699-8と比較
 - ✓ 研究開発項目2にインプット
- ✓ 電動雲台によるリモートアクセス可能な精密方向制御システムを開発
- ✓ 精密方向制御システムを用いた直接波-地面での一回反射波による通信路切り替えを実証
- ✓ 300GHzリアルタイム動作無線装置を開発
- ✓ 屋外運用実験にて、天候状況との関係性を実証
- ✓ 悪天候下(100mm/h風速20m/s)動作可能とする条件を解析
- ✓ ビル間テラビット級無線通信システム実現可能を検討

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

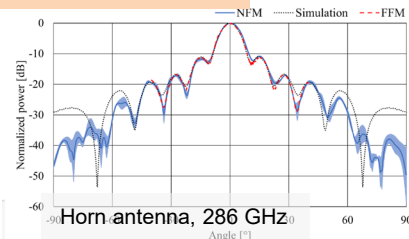
リングトポロジーでのテラヘルツ帯基地局自動配置プログラムおよびゲリラ豪雨発生時の回線稼働率を計算可能なプログラムを開発する。回線切替によるゲリラ豪雨発生時での回線稼働率向上を実現する。



- ✓ 5km × 5km の東京中心部における300 GHz 帯フロントホール回線の自動配置アルゴリズムを開発。ツリー・リング・メッシュトポロジーでの配置に成功
- ✓ 東京の1分間瞬時降雨強度分布データを使用し、回線の稼働率を算出するプログラムを作成。ゲリラ豪雨時、年間の稼働率のトポロジー依存性を評価
- ✓ 中央局を複数設け、回線切替を行うことにより、ゲリラ豪雨時、および、通年での回線稼働率が向上することを確認
- ✓ 隣接セル間での接続を優先する新規自動配置アルゴリズムを開発。セルの分割数 17 × 17 以上、通信最大距離 500 m 以下に設定することにより、通年で 99.9999 % の回線稼働率を達成

研究開発項目3: アンテナ評価技術の開発

光技術に基づく円筒操作型近傍界測定技術を確立する。高利得アンテナ評価に適用した結果を屋外での遠方界測定システムで得られる結果と比較する。



- ✓ 光技術に基づく円筒/球面操作型のアンテナ近傍界測定技術を開発
 - ✓ 測定システムの長期安定度向上技術を開発
 - ✓ 測定システムの感度向上技術を開発
 - ✓ 高利得アンテナの屋外での遠方界直接測定結果とテーブルトップでの近傍界測定結果から求めた遠方界パターンが一致することを確認
- ✓ 高精度アンテナ利得測定技術を開発
- ✓ アンテナ近傍界計測技術をIF帯回路EMI評価へ展開

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	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
2 (2)	0 (0)	4 (1)	45 (18)	3 (3)	0 (0)	1 (1)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- (1)ベルリンにてヨーロッパ側メンバーと議論した
- (2)株式会社KDDI総合研究所とソフトバンク株式会社とネットワークの構成・運用等について議論した
- (3)目標を超える以下の成果を達成した
 - ・国内外からアクセス可能なリモートテストベッドを開発
 - ・電動雲台による直接波-地面での一回反射波による通信路切り替えが可能であることを実証
 - ・近傍界測定系をミリ波EMI評価システムへ展開
 - ・高精度アンテナ利得測定技術を開発
 - ・メッシュポロジで配置したフロントホール回線において、稼働率が最大となる複数の中央局の設定アルゴリズムを開発
- (4)以下の代表的な論文誌/国際会議等で成果を発表した
 - ・Sensors、IEEE Open Journal of Antennas and Propagation
 - ・AMTA2022、ISAP2022、MWP2022(Invited)、IEEE CAMA2022、ISAP2023、EuCAP2024
- (5)本研究開発で関係をさらに深めたドイツ側研究機関と本研究成果を活用して協働する新しいプロジェクト(ASPIRE)を開始した。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- ・本研究課題で構築したテラヘルツ無線機を欧州を含めた国内外からアクセス可能なテストベッドとして用いるリモート共同実験環境を構築
- ・高利得アンテナの遠方界を測定するテーブルトップ装置の実用化(大学発ベンチャーへのライセンス)
- ・高利得アンテナの遠方界と利得を同時に計測する技術の開発とその社会実装
- ・欧州と協調したIEEE802、AWG、IEC、ITU-Tなどでの標準化活動の継続
- ・数年間にわたる屋外環境での長期間通信実験を継続
- ・回線切り替え可能なテラヘルツ(準)固定無線に基づくネットワークの研究への展開
- ・アンテナやアンテナ設置構造物の力学的特性と熱的・力学的外乱を加味したマルチフィジックス回線設計・評価法に関する研究への展開

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)