

採択番号 04301

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

(1) 研究開発の目的

ThoR プロジェクトの成果と国際共同研究の体制を発展させ、実環境でのテラヘルツ伝送の特性の詳細を明らかにし、それをもとに、安定動作可能なテラヘルツネットワークの実現を目指す。具体的には、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。さらに、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。また、開発した 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。さらに、基地局・RAU を接続するテラヘルツリンクにリングトポロジーを導入することにより、局地的にゲリラ豪雨が発生し、一部のリンクで回線断が発生しても、エリアの回線稼働率を向上させる回線構成法を開発する。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 5 年度 (3 年間)

(3) 受託者

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

(4) 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)
※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 1 無線装置開発および伝送実験

研究開発項目 1-a) 高利得アンテナモジュールの開発と評価 (岐阜大)

研究開発項目 1-b) THz ネットワーク開発及び伝送実験 (早稲田大)

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

研究開発項目 2-a) リングトポロジーでのテラヘルツ帯フロントホール回線の
自動配置アルゴリズムの研究開発 (千葉工大)

研究開発項目 2-b) テラヘルツ帯フロントホール回線の稼働率向上の
研究開発 (千葉工大)

研究開発項目 3 アンテナ評価技術の開発

研究開発項目 3-a) 高利得アンテナを対象とした近傍界測定法の開発 (岐阜大)

研究開発項目 3-b) アンテナ測定結果の国際比較 (岐阜大)

(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	2	2
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	4	1
	その他研究発表	46	19
	標準化提案・採択	3	3
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	1	1
	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 1：無線装置開発および伝送実験

研究開発項目 1-a)：高利得アンテナモジュールの開発と評価

R5 年度には、当初目標を超えて(1)自動光軸制御システムの開発とアンテナ放射パターンの評価、(2)自動光軸調整システムを用いた直接波-反射波による通信の切り替え実験を行った。具体的には、放射パターンが測定可能となる精密雲台を用いた光軸調整システムを開発し、研究開発項目 1-b)で開発された送受信機と連携させた実験を行った。最終成果として、以下の5項目を達成した。

1. 研耐候性高利得アンテナモジュールを開発した
2. 屋外での放射パターン測定のための耐候性受信機を開発した
3. 高利得アンテナモジュールの放射パターンを 3-a)で開発の光技術に基づく近傍界測定と遠方界直接測定により評価した
 - (ア) 屋外での放射パターン直接測定結果と比較した
 - (イ) Recommendation ITU-R F.699-8 と実測結果を比較検討した
 - (ウ) 得られた 2D 放射パターンの測定結果を研究開発項目 1-b)に入力した
4. 自動光軸調整システムを開発し、これを用いたアンテナ放射パターンを評価した
5. 自動光軸調整システムを用いた直接波通信-地面での一回反射波通信の切り替えを実証した

研究開発項目 1-b) THz ネットワーク開発及び伝送実験

R5 年度には、アンテナ共用 300GHz リアルタイム動作無線装置を屋外環境に設置し、長期間にわたって伝送特性等を測定した。最終成果として、以下の2項目を達成した。

1. IEEE802.15.3e 準拠モジュールを用いた IF 回路の設計・開発を行った
 - ・ 60GHz 帯モジュール接続するための IF 回路を開発した
 - ・ Thor プロジェクトの最終デモ実験に活用した
 - ・ 4 チャンネル同時使用時 40Gbps 伝送可能であることを確認した
2. 長期屋外実験に耐えうる防水機能をもつ送受アンテナ共用 300GHz リアルタイム動作無線装置開発し
 - ・ 300GHz リアルタイム動作無線装置開発完了した
 - ・ 屋外運用実験にて、天候状況との関係性を実測した
 - ・ 悪天候下(100mm/h 風速 20m/s)動作可能とする条件を明らかにした
 - ・ ビル間テラビット級無線通信システム実現可能を検討した

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

研究開発項目 2-a) リングトポロジィでのテラヘルツ帯フロントホール回線の自動配置アルゴリズムの研究開発

R5 年度には、自動配置プログラムにおいて、アンテナ放射パターンを所要 SN 比および回線間干渉の評価用関数に実装し、回線稼働率の評価を実施した。

最終成果として、以下の 4 項目を達成した。

1. 高層ビル街において、実際の 300 GHz 帯無線回線特性を反映した、リングトポロジィでのフロントホール無線回線基地局自動配置プログラムを開発
2. 街灯等に設置された多数の RAU およびビル上に配置された多数の基地局を、回線間干渉を生じることなく、見通しがとれるようにリングトポロジィで自動配置するプログラムを開発
3. 自動配置プログラムにおいて、無線回線評価結果およびアンテナ放射パターンを所要 SN 比および回線間干渉の評価用関数に実装可能にした。
4. 開発した基地局自動配置アルゴリズムについて、特許を 1 件出願した。研究成果に関し、論文が 1 本採択され、現在 2 本投稿中である。国際会議で 4 件の発表を行った。

研究開発項目 2-b) テラヘルツ帯フロントホール回線の稼働率向上の研究開発

R5 年度には、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した。

最終成果として、以下の 3 項目を達成した。

1. 研究開発項目 1 で実施した無線回線評価結果を実装した電波伝搬シミュレータ、および、回線特性のシミュレータの開発
2. ゲリラ豪雨の発生エリアのモデル化を実施。ゲリラ豪雨発生時のエリアの回線稼働率を向上させる回線構成法を構築
3. 開発した回線構成法について、論文が 1 本採択され、現在 2 本投稿中である。国際会議で 4 件の発表を行った。

研究開発項目 3：アンテナ評価技術の開発

研究開発項目 3-a) 高利得アンテナを対象とした近傍界測定法の開発

R5 年度には、(1) 感度向上技術の開発、(2) 高確度アンテナ利得測定技術を開発を行った。具体的には、検出システムを改良し、雑音のコモンモードを除去する検出手法とすることで感度を数 dB 向上させた。また、近傍界計測結果を用いることで、より短距離で正確なアンテナ利得を測定する手法を開発した。

最終成果として、以下の 5 項目を達成した。

1. 光技術に基づく円筒走査型のアンテナ近傍界測定技術を開発した
 - (ア) 測定システムの長期安定度向上技術を開発した
 - (イ) 測定システムの感度向上技術を開発した
2. 光技術に基づく球面走査型のアンテナ近傍界測定技術を開発した
3. 研究開発項目 1-a に近傍界測定システムを供した
4. 高確度アンテナ利得測定技術を開発した
5. アンテナ近傍界計測技術を IF 帯回路 EMI 評価へ展開した

研究開発項目 3-b) アンテナ測定結果の国際比較

R5 年度には、(1) 放射パターンの比較、(2) アンテナ利得の比較を行った。具体的は、得られた成果について、リール大学での測定結果との比較検討を行った。

最終成果として、以下の 2 項目を達成した。

1. リール大学で測定されたアンテナ放射パターンと近傍界計測結果とを比較した
2. リール大学で測定されたアンテナ利得の周波数特性と比較した

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

多くの国が使いたいと思う/使わざるを得ない技術とするために、国際的な動向に対して独自の提案を行うのではなく、既存の規格を改訂したり、場合によっては欧米が推進する標準化プロセスに協力するなど、継続的に準化作業に取り組む。特にテラヘルツ帯無線システムの国際標準化では、WRC における周波数の特定や、IEEE802 委員会における短距離高速無線伝送システムの規格化などにおいて情報通信研究機構が世界をリードした活動をしているが、通信オペレーターである社会実装協力者（ソフトバンク株式会社と株式会社 KDDI 総合研究所）を始めとする本研究開発のメンバーもこれに積極的に協力し、実用化のための基盤づくりに今後も努める。具体的には IEEE802 委員会 Terahertz Interest Group (IGthz) において、本課題で連携を図った TUBS と情報通信研究機構が主導して策定した IEEE802.15.3d 規格の改訂提案、IEC におけるアンテナ測定手法の標準化、ITU-R へのアンテナパターンを入力などに積極的に寄与する計画である。固定無線への風の影響については ETSI ISG mWT においても、ミリ波帯中心に詳細の検討がなされている。動向を注視しながら、参加している国内メーカを介して、今後も適宜、連携を図る予定である。

我が国の国際競争力向上のために、研究開発の段階から、オープン・クローズ戦略に基づく成果の展開に取り組んできた。世界市場の成長を促しかつ、我が国の B5G インフラシステムを広く世界に普及させるために必須となる世界標準化を、海外の戦略的パートナーとともにオープンに進める一方で、我が国の競争力向上の源泉となる関連知財を、国内企業へ積極的にライセンスングすることを今後も目指す。

関連する研究への貢献の状況、・新たな研究開発への展開は以下の通りである。

- 本研究課題で構築したテラヘルツ無線テストベッドを 300GHz 帯において稼働させ、日本側・ドイツ側でリモート共同利用できる環境を提供する。
- テラヘルツ帯無線ネットワークの稼働率を向上させる手法として、ゲリラ豪雨時に断となる回線を予測する手法を機械学習により構築する。
- 本成果により、狭いビーム広がり角に対してアンテナの力学的偏位量が無視できず、構造物の力学的偏位（機械的振動、風や熱などによる位置シフト、アンテナ開口面の捻れなど）を含めた総合的な評価、つまりマルチフィジックス問題としてのリンク設計が重要となることがわかった。電磁気学的特性に力学的特性と熱的・力学的外乱を加味したマルチフィジックス問題として総合的なアンテナ評価法に関する研究へ展開する。

(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）

ブ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）