

令和 5 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 02701

研究開発課題名 テラヘルツ帯チャンネルサウンディング及び時空間チャンネルモデリング技術の開発

(1) 研究開発の目的

5G 以降 (Beyond 5G) のモバイルネットワークにおいては、超高速データレートと超低遅延の需要は一段と高まることが予想され、5G よりさらに 10 倍以上の 100 Gbps に及び超高速データレートの実現が必要となる見込みである。本研究開発では、数～数十 GHz の大きなチャンネル帯域幅の使用が可能な 100 GHz を超えたテラヘルツ帯 (100 GHz～10 THz) の開拓に注目して、移動接続応用に向けて 300 GHz テラヘルツ帯における電波伝搬測定技術及び伝搬チャンネルモデルの開発を行い、新たな超高速無線伝送システムの設計・開発及び評価に広く資することを目的とする。

(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

国立大学法人新潟大学<代表研究者>

国立大学法人東京工業大学

(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 217 百万円 (令和 5 年度 77 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 高分解能時空間特性の測定及びチャンネルモデリング技術の開発

研究開発項目 1-a) 高分解能時空間特性の測定技術の開発 (国立大学法人新潟大学)

研究開発項目 1-b) 時空間チャンネルモデリング技術の開発 (国立大学法人新潟大学)

研究開発項目 2 動的特性の測定及びチャンネルモデリング技術の開発

研究開発項目 2-a) 動的特性の測定技術の開発 (国立大学法人東京工業大学)

研究開発項目 2-b) 動的チャンネルモデリング技術の開発 (国立大学法人東京工業大学)

(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	10	7
	その他研究発表	32	15
	標準化提案・採択	15	11
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	2	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1：高分解能時空間特性の測定及びチャンネルモデリング技術の開発

1-a) 高分解能時空間特性の測定技術の開発

- ① 伝搬チャンネル測定系（チャンネルサウンダ）の構築
長距離測定用 150 GHz・300 GHz 帯二周波数同時測定に対応するチャンネルサウンダを開発した。
- ② チャンネルサウンダで測定されたデータの Post-processing 手法の開発
多次元 CLEAN アルゴリズムを用いた Post-processing を確立した。

1-b) 時空間チャンネルモデリング技術の開発

- ① Beyond 5G 利用シナリオにおける伝搬チャンネル特性の測定
 - テラヘルツ伝搬特性の評価：屋内における壁面の影響を実験的に評価し、ハイブリッドチャンネルモデルのコンポーネントとして確率論的モデルを開発した。
 - 伝搬特性パラメータの抽出：超多素子アンテナにおける空間多重やユーザ多重など空間伝送技術の評価・開発に欠かせない情報でありながら、これまで測定系の制約から十分に解明されなかった散乱経路（クラスタ）の時空間特性の統計パラメータをもとめた。
- ② 準決定論的ハイブリッドチャンネルモデルの構築
空間伝送技術・アンテナ指向性制御等の通信方式評価のために、ミリ波帯チャンネルモデルで用いられている準決定論的ハイブリッドチャンネルモデルと互換性を持たせたチャンネルモデルを開発した。

研究開発項目 2 動的特性の測定及びチャンネルモデリング技術の開発

2-a) 動的特性の測定技術の開発

- ① 動的伝搬チャンネルと移動物体の同時測定系の構築(中距離測定、単一偏波)
複数の周波数において人体の姿勢と伝搬路の動的遮蔽特性が同時に測定できるチャンネルサウンダを開発し、測定用ソフトウェアを実装した。
- ② チャンネルサウンダとモーションキャプチャで同時測定されたデータの Post-processing 手法の開発
安価な深度カメラと赤外線反射マーカを用いる点群の位置合わせ手法を開発し、人体の表面を構成する点群の動画を取得した。

2-b) 動的チャンネルモデリング技術の開発

- ① Beyond 5G 利用シナリオにおける伝搬チャンネル特性の測定
複数の周波数帯において動的伝搬チャンネル応答の時間変化と人体の姿勢を同時測定し、解析した。
- ② 電磁界シミュレーションを併用した動的チャンネルモデルの構築
測定した人体の姿勢から構築した 2 次元および 3 次元の計算モデルに、回折理論を適用した伝搬チャンネル応答予測法を開発し、実際に測定したチャンネル応答との比較により妥当性を明らかにした。
また、上記のモデル化にも用いている高周波回折理論について、より詳細な検討を行った。影境界近傍における曲面による反射波およびクレーピング波を、等価的なエッジ回折波と結びつけて統一的に議論した。伝搬シミュレーションでよく用いられているが相互の関係が明確でな

かったフレネル回折 (KED) と一様回折理論 (UTD) の関係について検討し、UTD にフレネル近似を適用することでフレネル回折係数が導出されることを示し、UTD と KED の乖離を引き起こす変数が周波数ではなく角度であることを示した。

③ 遮蔽軽減技術を導入した動的チャンネルモデルの構築

エネルギー保存則を考慮した RIS の反射特性のモデル化として、連続波源で反射板をモデル化した物理光学近似 (PO) で計算する手法を、UTD 型の回折係数により高速に実行する方法を提案した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

【成果の展開・普及の計画】

関連技術開発に広く活用されるように伝搬測定データの解析結果を学会や論文などにより公開する。国内では電子情報通信学会 (IEICE) のアンテナ伝播研究会 (AP 研)、無線通信システム研究会 (RCS 研)、近距離無線通信システム研究会 (SRW 研) にて、定期的に発表し成果内容を広く知らせる。海外では、IEEE (アメリカ) や EurAAP (欧州) などの知名度の高い学会 (Globecom, ICC, EuCAP など) にて成果を積極的に発信する。また、本研究開発で得られた伝搬チャンネルモデルが、テラヘルツ帯超高速伝送技術及び高信頼性伝送技術の開発に広く用いられるようにホームページなどを立ち上げてデータを公開する。

テラヘルツ波におけるエリア拡張技術の開発へ展開し、製品化による社会実装まで視野に入れた取組を推進する。特にローカル 5G やローカル 6G といった個別環境におけるユーザ自営網への導入が先行すると考えられ、当初は工場や事業所といった環境での展開が考えられる。

【知的財産活動の計画】

本研究開発の成果として得られる電波伝搬測定技術及び伝搬チャンネルモデルは、Beyond 5G や 6G に向けたテラヘルツ帯超高速伝送技術及び高信頼性伝送技術の確立を促すものである。これは国際標準化の対象ではあるが、伝送技術そのものを開発するものではないため、知的財産の取得の面では直接期待できるものは少なかった。しかし、今後、この研究開発成果を基に具体的な通信エリア設計や拡張手法の開発へ展開させ、関連知財の獲得も意識して上述の研究開発を推進する計画である。

【標準化活動の計画】

伝搬チャンネルの研究は、ただ新しい無線システムの導入時に設計・評価のため必須であるだけでなく、技術標準の作成に先立ち、産業界・学术界にとって関連技術の議論を盛り上げる促進剤の役割を果たす。本研究開発により得られた伝搬チャンネルモデルの成果は、これまで着実に国際標準化へ入力した。特に、2023 年度には ARIB 「ワイヤレス利用分野における国際標準化動向調査」支援を受け、研究費を確保しつつ、継続性が必要な国際標準化を組織的に行うことができた。2024 年度も、同様な国際標準化活動を継続する計画である。これまでの実績はないが、ITU-R WP5D や 3GPP についても寄書入力を検討したい。

【今後の展望】

□ 想定市場規模を含む実用化の状況

本研究開発で明らかになったように、近距離エリアにおける反射板による伝搬環境改善技術を用いたエリア設計が実用化に向けて必須と思われる。当研究グループにおいても、市販の導電性インクジェットプリンタを使用した反射板構築を想定した設計技術などを検討している。今後、デッドスポットのないカバレッジを実現するための研究開発が順調に進めば、数年後には導入イメージがより明確になると期待できる。また、テラヘルツ波のエリア設計法を含めたプライベートネットワ

ークのエリア評価ツールの製品化も進み、ミリ波・テラヘルツ波を用いたシステムの普及を促す役割を果たすと予想する。

□ 関連する研究への貢献の状況

本研究開発が終わってから数年後には、3GPP や ITU-R WP5D においても 6G の具体的な仕様が固まり、2030 年頃には 6G の様々なモバイルネットワークに向けた超高速伝送技術及び高信頼性伝送技術が確立される見込みである。本研究開発の成果が技術シーズとなり、UM-MIMO による超高速データ伝送技術や ISAC システム、伝搬環境改善技術の活用、動的ビーム制御技術などの要素技術の確立への貢献が期待される。

□ 学術への貢献の状況

これまでテラヘルツ波帯は移動通信にふさわしい周波数とは考えられておらず、特に移動接続応用に向けた高分解能時空間電波伝搬特性に関しては、伝搬チャネル測定が容易でないことから、世界的にもまだ珍しい成果で、本研究開発は世界の先頭グループに入っている。より学術的な観点からは、テラヘルツ波における複雑な移動接続環境での電波伝搬メカニズムの解明への貢献が大きい。テラヘルツ帯電波伝搬特性の把握とその時空間特性の確率的及び決定論的モデルは、狭いサービスエリアで高速伝送をサービスする 6G のスモールセルホットスポット技術において極めて重要である。

□ 人材育成への貢献の状況

博士研究員（35 歳未満）の採用や大学院生（30 歳未満）の研究開発の参加を通じて若手人材育成へ貢献した。特に大学院生に国際学術会議（EU COST）を担当させるなど、研究発表だけでなく寄書作成法を含めて国際標準化のプロセスを経験させた。ホワイトペーパー（中間報告書）の執筆に参加してもらう予定である。

□ 国民生活に対する効果・社会に対する新たな利便性提供に関する状況

本研究の成果は、Beyond 5G や 6G 超高速移動通信システムの設計と普及に向けて必要不可欠である。2030 年頃、様々なテラヘルツ移動接続応用に向けた超高速伝送技術及び高信頼性伝送技術が確立され、本研究開発のアウトカム目標が実現されると期待する。