

令和 5 年度研究開発成果概要書

採択番号 04201

研究開発課題名 Beyond 5G 超大容量無線通信を支えるテラヘルツ帯のチャンネルモデル及びアプリケーションの研究開発

(1) 研究開発の目的

Beyond 5G の超高速伝送で想定されているテラヘルツ帯の無線伝送のためのチャンネルモデルの研究開発を米国の通信事業者及び日米の大学と行い、米国の6Gロードマップに反映しながら、国際標準化機関への提案を行うことを目的としている。また、テラヘルツ波を用いた無線通信のアプリケーションとして、最新の映像符号化技術を用いた概念実証実験を行うことにより Beyond 5G におけるテラヘルツ波利用の有用性、無線システム実現のための所要条件を明らかにするとともに、テラヘルツ帯を効率的に利用するプロトコルやアーキテクチャを提案することを目的としている。

さらに米国で大規模な無線実験環境を提供し、新たな無線通信技術やデバイス、エコシステムの研究開発を推進している PAWR (Platforms for Advanced Wireless Research、以降 PAWR と称する) と連携して実験環境を整備し、研究成果であるチャンネルモデルや、プロトコルやアーキテクチャの実証を行うことを目的としている。

(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

シャープ株式会社<代表研究者>  
国立大学法人京都大学  
国立大学法人東京大学

(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 283 百万円 (令和 5 年度 90 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 テラヘルツ帯チャンネルモデルの研究開発

1-a) 展開シナリオの研究開発 (シャープ株式会社)

1-b) 米国大学主催の Affiliate プログラムとの連携による研究開発 (シャープ株式会社)

1-c) チャンネルモデルの研究開発 (京都大学)

研究開発項目 2 国際標準化活動 (シャープ株式会社)

研究開発項目 3 アプリケーションの研究開発 (シャープ株式会社)

研究開発項目 4 プロトコル・アーキテクチャの研究開発 (東京大学)

(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	2	0
	外国出願	19	8
外部発表等	研究論文	2	1
	その他研究発表	33	18
	標準化提案・採択	48	21
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1 : テラヘルツ帯チャンネルモデルの研究開発 (シャープ、京都大学)

本研究開発項目全体について、3GPP や ITU-R で使用されるモデルと親和性の高い統計的チャンネルモデル (Geometry-based stochastic channel model) でチャンネルモデルをまとめた。また、3GPP リリース 19 ワークショップおよび 2023 年 12 月の RAN プレナリ会合でテラヘルツ帯 (おおむね 100GHz 帯) のチャンネルモデルの検討することと、シナリオに関する寄書 2 件を提案した。

研究開発項目 1-a 展開シナリオの研究開発 (シャープ)

米国の通信事業者と連携し、米国の 6G に向けたロードマップを策定する Next G Alliance の提案内容にもとづいて意見交換を行い、テラヘルツ帯を用いた無線通信システムの展開シナリオのうち、基本シナリオおよび拡張シナリオの特定を完了するとともに、追加シナリオについても特定を行った。

研究開発項目 1-b 米国大学主催の Affiliate プログラムとの連携による研究開発 (シャープ)

チャンネル測定とモデル化において著名な米国大学の Affiliate プログラムに参画し、150 GHz 帯まで対応したチャンネルモデルに拡充した。また、連携を活用して無線リンクレベルシミュレータの開発および ns-3 ネットワークシミュレータの開発を行い、2 件の査読付収録論文を達成した。

研究開発項目 1-c チャンネルモデルの研究開発 (京都大学)

ミリ波帯 (60 GHz)、テラヘルツ帯 (95/105 GHz) において、電波伝搬特性を測定する装置・環境を整備、開発し、屋内外環境において、全方位電力遅延プロファイルの測定を行った。それらの電波伝搬測定データをもとに、パラメータを抽出するソフトウェア、および、抽出されたパラメータから、チャンネル応答を計算機上で再生成するチャンネルシミュレータを開発した。これらの成果により、3 件の IEEE 査読付論文誌、3 件の IEEE 国際会議の査読付き収録論文への採択を達成し、加えて、1 件の IEEE 査読付論文誌、2 件の IEEE 国際会議の査読付き収録論文の執筆を完了した。

## 研究開発項目2：国際標準化活動（シャープ）

Next G Alliance の4つのWG (Working Group)に参加し、6Gに向けて情報収集を行った。また、3GPPで議論されるプレ6G (Rel-18)のトピックの中から、テラヘルツ帯を用いた無線通信でも活用可能なトピックに関して標準化活動を実施し、21件の特許出願、18件の標準化提案、30件の標準化採択を達成した。

## 研究開発項目3：アプリケーションの研究開発（シャープ）

テラヘルツ帯チャンネルを実装した伝搬路シミュレーションによりアダプティブストリーミングの適用を行った4K VVC ストリームによる動画に関して、アダプティブストリーミングの適用を行わない場合と比べて低遅延かつ高画質で再生されることを確認した。また、関連する適応ストリーミング等の解像度制御等について2件の査読付収録論文を達成した。

## 研究開発項目4：プロトコル・アーキテクチャの研究開発（東京大学）

5G NR と上位層のエンドツーエンドのクロスレイヤ制御手法を検討するための評価システムを構築し、新たなクロスレイヤプロトコル方式を提案した。具体的には、無線リンクの状態（LOS/NLOS 等）の変化に対してスループットを向上させるクロスレイヤ輻輳制御手法を考案し、評価システム上にて性能評価を進め、既存のTCP輻輳制御（CUBIC-TCP）と比較して約1.5倍のスループット向上が見込めることを明らかにした。さらに、多様なアプリケーションのQoS要件（スループット安定・低遅延）を満足するためのリンクアダプテーション最適化制御方式を考案し、評価システム上にて性能評価を進め、TCPスループットの標準偏差を64%削減しスループットの安定化が図れること、ICMPパケットの90パーセントのRTTを約50%削減し低遅延化が図れることを明らかにした。

## (8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

### 1. 3GPP リリース 19 におけるチャンネルモデル標準化のための本研究開発成果の活用

2023年12月に開催された世界無線会議（WRC-23）において、100 GHz以上のテラヘルツ帯をIMT周波数として特定するかどうかの議論はWRC-31に延期されたため、6Gの早期に導入されることはなくなった。2024年3月現在、3GPPリリース19において新たな周波数として7-24 GHz帯のチャンネルモデル化が行われる予定となっている。このチャンネルモデル化に対して、本研究開発で得られた周波数依存性の低い統計パラメータ等については提案を実施していく予定である。

### 2. 6Gの標準化における本研究開発成果の活用

2023年11月に、3GPPが6Gの仕様書を策定することを宣言し、6Gに向けた3GPPリリース20、21で6Gの標準化が行われる予定である。本研究開発では、テラヘルツ帯で必要な技術をテラヘルツ帯のみでなくミリ波を含めた広く活用可能な標準技術の研究開発を実施したため、本研究開発成果のうち、活用可能なものについては国際標準化活動を実施し、出願特許については6Gの標準必須特許（SEP）として活用することを検討していく予定である。

### 3. テラヘルツ帯チャンネルモデルの標準化提案

2031年に開催予定のWRC-31では、下記の周波数帯がIMT周波数の候補として議題となる予定である。

- 102-109.5 GHz
- 151.5-164 GHz
- 167-174.8 GHz
- 209-226 GHz
- 252-275 GHz

本研究開発成果は、これらの周波数が特定された以降でも十分提案できるものであると考えており、実際に将来テラヘルツ帯でのチャンネルモデル化の標準化が開始された場合には、本研究開発成果を拡充し、標準化提案を実施することを検討していく予定である。

#### (9) 外国の実施機関

ニューヨーク大学  
米国の通信事業者