

令和 7 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 08901
研究開発プロジェクト名 Beyond5G 通信基盤を支えるミリ波～テラヘルツ波帯
フレキシブル導波管基盤技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

新しい有線電波伝送手段としてのフレキシブル導波管技術の確立と、これを通じたテラヘルツ波通信の早期実用化への貢献と新しい有線電波通信の実現

(2) 研究開発期間

令和 6 年度から令和 8 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人福井大学〈代表研究者〉
株式会社米澤物産
学校法人早稲田大学
国立大学法人東海国立大学機構 岐阜大学
株式会社多摩川電子
国立大学法人京都工芸繊維大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 6 年度から令和 8 年度までの総額 298 百万円 (令和 7 年度 100 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 フレキシブル導波管基礎要素技術の研究開発

研究開発項目 1-a) 300GHz 帯向け導波管構成に関わる先導的研究 (京都工芸繊維大学)
研究開発項目 1-b) 300GHz 帯向け新規導波管構成のフィジビリティ評価 (福井大学)
研究開発項目 1-c) より高周波に対応したフレキシブル導波管製造方法開発 (米澤物産)
研究開発項目 1-d) フレキシブル導波管損失要因の研究 (京都工芸繊維大学)
研究開発項目 1-e) 50～110GHz 帯低損失材料の探索、製品構成の見直し (福井大学)
研究開発項目 1-f) 伝送特性の安定化に向けた研究開発 (米澤物産)

研究開発項目 2 フレキシブル導波管の課題解決にむけた周辺要素技術の研究開発

研究開発項目 2-a) EMI 特性向上に向けた漏出状況の精密測定法の研究開発 (岐阜大学)
研究開発項目 2-b) 民生応用の可能性を広げる有線・無線変換方式の研究開発 (岐阜大学)
研究開発項目 2-c) フレキシブル導波管特性の精密評価測定方法の開発 (福井大学)
研究開発項目 2-d) コネクタ国際標準化に向けた標準仕様検討 (米澤物産)

研究開発項目 3 通信応用実験の実施

研究開発項目 3-a) 通信応用実験の計画と技術課題の抽出 (早稲田大学)
研究開発項目 3-b) フレキシブル導波管の通信応用実験の実施 (多摩川電子)

(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	1	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	1	0
	その他研究発表	47	30
	標準化提案・採択	2	2
	プレスリリース・報道	2	1
	展示会	4	2
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

初年度の成果を受けて、具体的な研究開発を推進した。課題ごとに計画に即した取り組みを進めることで、それぞれ計画通りもしくはこれを超える成果を得た。中でも本技術の核であるフレキシブル導波管の検討設備導入を完了したことは今後につながる。

研究開発では、スタートアップミーティングおよびステージゲート評価会議での評価委員ご指摘を踏まえて、研究開発プロジェクト全体での成果共有や項目間連携の推進、実用化を見据えた製品メーカーとの連携なども進めた。1 月にはシンポジウムも開催し、技術周知でも成果を得た。

研究開発項目 1-a) 300GHz 帯向け導波管構成に関わる先導的研究（京都工芸繊維大学）

現状構造を 300 GHz 帯で動作させるために、単位セルを相似形のまま縮小化した組紐構造のフレキシブル導波管の伝送特性およびその損失の内訳について、シミュレーションにより評価を実施し、これを完了した。次に、平箔系の寸法の製作限界を考慮した場合の組紐構造の材料損失および放射損失の評価をシミュレーションにより実施し、課題抽出を行い、完了した。さらに組紐構造からの漏れ波放射を直接シミュレーション可能とする 300 GHz 帯のフレキシブル導波管の解析モデルを構築した。同モデルを用いて、伝送特性および放射特性をシミュレーションすることにより課題抽出を行い、これを完了した。

研究開発項目 1-b) 300GHz 帯向け新規導波管構成のフィジビリティ評価（福井大学）

300GHz 帯において利用可能な導波管用低損失材料について、複数のサンプルに対しテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) による評価を行い、現状では HDPE が 300GHz 帯において誘電正接値 $\tan \delta = 1.7 \times 10^{-4}$ と最も低損失であることを明らかにした。また、他の材料 (LDPE, LLDPE, PP, COP, TPX, PTFE) は HDPE 比で 1.5 倍以上の誘電正接を持つことも判明した。HDPE は 300GHz 以上の周波数に於いても最良の材料であると結論した。

研究開発項目 1-c) より高周波に対応したフレキシブル導波管製造方法開発（米澤物産）

初年度にて抽出を完了した製紐設備メーカーに、より細径化のための仕様案を取りまとめ、製紐設備の導入を完了した。また、当該設備を用いて 110~170 GHz 帯に対応したフレキシブル導波管製造技術の研究開発に着手した。その結果、さらに誘電体との密着性を高める必要があることが判明し、これを実現可能な新仕様の平箔系を検討し、導入を完了した。

研究開発項目 1-d) フレキシブル導波管損失要因の研究（京都工芸繊維大学）

前年度に得られた成果を基に、損失低減に向けた指針検討を実施した。研究開発項目 1-a における 300 GHz 帯での損失要因の検討と連動して、伝搬特性およびその損失内訳について、シミュレーションによる評価を実施し、損失低減に向けた指針（方向性概要）の精度を高め、その抽出を完了した。

研究開発項目 1-e) 50~110GHz 帯低損失材料の探索、製品構成の見直し（福井大学）

50~110GHz 帯において低損失化に有望と思われる芯線（内部誘電体）材料の調査を行った。誘電正接は THz-TDS により PE を 3 種、PP を 3 種、COP を 4 種それぞれ計測し、TPX と PTFE は各 1 種計測した。その結果、100GHz 付近では PE, PP, TPX, PTFE が何れも略同等

の低損失性を示した。この中で PTFE に次いで融点温度が高い材料である TPX を用いたフレキシブル導波管を試作し、透過損失他の物理特性評価を完了した。試作した導波管の透過損失は現行の PTFE が V 帯に於いて持つ -2dB に対して -3dB と若干大き目であり、可撓性は TPX が本来持つ固さを反映し PTFE に比べて低下した。

研究開発項目 1-f) 伝送特性の安定化に向けた研究開発（米澤物産）

項目 1-c で得られた知見を踏まえ、製紐の安定化に向けた取り組みを進めた。

具体的には、V 帯・E 帯・W 帯において編組密度が伝送特性に及ぼす影響を検証し、当該評価を実施した。また、昨年度の実績を踏まえ、製紐機導入に際し、製紐の安定化に寄与し得る仕様案を取りまとめ、当該作業を完了した。さらに、導入した設備を用いて製紐条件の見直しに着手し、まずはキャリアの挙動確認を実施した。

来期に向けて、製紐の安定化に可能性のある周辺機器類への研究開発に着手した。

研究開発項目 2-a) EMI 特性向上に向けた漏出状況の精密測定法の研究開発（岐阜大学）

前年度までに構築したシステムによる 70GHz 帯漏出電波の可視化から、110GHz 帯への拡張に向けた課題抽出を行い、解決策を見出した。信号対雑音比とダイナミックレンジを考慮して、全光型のシステムと電気システムと光システムのハイブリッドシステムの両者を比較検討の上、110GHz 帯(W 帯)を対象とした漏出電波可視化システムの開発を行った。具体的には、任意の偏波状態の電磁波の空間分布を可視化する技術を創出した。本技術の高周波数化についての検討も行い、300GHz 帯において利用可能であることを、一般的なアンテナを対象とした実験により示した。既存のフレキシブル導波管を対象とした漏出電波の可視化を行った。

研究開発項目 2-b) 民生応用の可能性を広げる有線・無線変換方式の研究開発（岐阜大学）

誘電体アンテナ形状をシミュレーションに基づき設計した。具体的には、フレキシブル導波管に接続した状態でのアンテナの基礎特性をシミュレーションから明らかにした。また、W 帯誘電体アンテナをフレキシブル導波管に装着し、放射パターンとアンテナ利得の測定を行った。フレキシブル導波管との接続方法検討については研究開発項目 2-d の成果を利用することを検討した。フレキシブル導波管に曲げを加えた状態での特性評価を行い、漏出電波とアンテナからの放射電波との干渉の影響を検討した。加えて、高周波数化に向けた課題抽出を行った。

研究開発項目 2-c) フレキシブル導波管特性の精密評価測定方法の開発（福井大学）

2つの手法(ⅰ)ベクトルネットワークアナライザ(VNA)および(ⅱ)テラヘルツ時間領域分光法を用いてフレキシブル導波管特性を評価可能な計測システムを構築し、これを完了した。また、2つの手法について、接続部分を含めた最適な測定手法の開発を行い、これを完了した。V 帯・W 帯の VNA スルー測定において以前の 0.2 dB 程度から 0.02 dB 程度に安定度改善を達成した。また、VNA について D 帯送受信システムの導入を完了した。

研究開発項目 2-d) コネクタ国際標準化に向けた標準仕様検討（米澤物産）

昨年度実施したコネクタ 1 次試作の評価結果を踏まえ、2 次試作およびその評価を実施した。

国際標準化に向けた評価体系の整備を目的にコネクタの耐久試験項目の検討を行い、試験案を取りまとめ、当該試験を完了した。ここでは、実用化段階を見据えて実施可能性を有する企業・機関を抽出のうえで試作および試験を実施し、伝送特性評価を行うことで、標準化案の妥当性評価を進めた。さらに、この 2 次試作評価の結果を踏まえ、3 次試作を計画し、試作まで完了した。3 次試作品の評価は来年度実施の予定である。

国際標準化に向けては、初年度のヒアリング結果から対応方針を協議し、方向性(案)を作成したうえで SC 4 6 F 国内委員会での意見聴取、日本規格協会への提案に繋げた。

研究開発項目 3-a) 通信応用実験の計画と技術課題の抽出（早稲田大学）

アンテナ部と無線機本体をフレキシブル導波管で機械的に分離し、アンテナ部のみを簡便な機構で可動とするシステムの設計と具体的な機構について検討した。早稲田大学に設置された電磁シールドルーム内での実験計画を立案した。機械的に変化した際のフレキシブル導波管の特性変動測定の精密化を進めた。これまでの損失測定だけでなく、位相測定についても精度向上を実現し、これらの結果を国際会議論文としてまとめた。また、漏洩電磁波と伝搬特性の関係について

の数理モデルに関しては、論文執筆を進めた。

研究開発項目 3-b) フレキシブル導波管の通信応用実験の実施（多摩川電子）

周波数拡張器と RF プローブをフレキシブル導波管で接続したプローブシステムについて、その有効性を評価するための実験計画を立案した。この計画に基づいて、評価用基板の設計・製作を行い、実測による評価を開始した。その一次評価の結果、フレキシブル導波管を用いた構成においてもシステム校正が可能であることを確認し、その有効性を確認した。

(8) 今後の研究開発計画

これまでに得られた成果を活かし、研究開発（3年間）の最終年度に相応しい取り組みを進めることで、最終目標を確実に達成していく。今後に向けて、現在の研究開発計画を変更する必要は無いと考えており、初期の計画に従い、着実に取り組みを進める。ここでは目標の達成は勿論のこと、研究開発の質を向上するための工夫や課題間の連携、技術の実用化を考慮した取り組みを更に推し進め、成果の最大化を図る。