

様式 1-4-2 (2020-2)

令和 2 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 : 18501
研究開発課題名 : 高い環境耐性を有するキャリアコンバータ技術の研究開発
副 題 : 5G 時代に対応した大容量・低遅延・シームレスな光/ミリ波変換デバイスの
開発と実証評価

(1) 研究開発の目的

100Gbps 級の光ネットワークと高周波モバイルネットワークを高効率でシームレスに
接続することが可能な高い環境耐性を有するキャリアコンバータ技術を開発する。

(2) 研究開発期間

平成 28 年度から令和 2 年度 (5 年間)

(3) 実施機関

株式会社デンソー <代表研究者>
国立大学法人東北大学電気通信研究機構
学校法人早稲田大学
国立大学法人北海道大学
住友大阪セメント株式会社
日本電気株式会社
株式会社メガチップス

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 1000 百万円 (令和 2 年度 200 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 : キャリアコンバータ要素技術の研究開発

1. 光電子融合ミキサの研究開発 (国立大学法人東北大学電気通信研究機構)
2. キャリアコンバータ用光源デバイスの研究開発 (学校法人早稲田大学)
3. 高精度 OAM モード多重用高精度マルチプレクサ/デマルチプレクサ
(国立大学法人北海道大学)
4. 高効率ミリ波帯 E/O 変調モジュールの研究開発 (住友大阪セメント株式会社)

研究開発項目 2 : キャリアコンバータの環境耐性実装技術の研究開発

1. ビーム制御機能つきミリ波伝送ユニットの研究開発 (日本電気株式会社)
2. 自動車実証システムの研究開発 (株式会社デンソー)
3. 車載 LAN 向け光・電気混載ネットワーク対応通信方式の基礎検討、実証
(株式会社メガチップス)

(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	29	9
	外国出願	12	3
外部発表等	研究論文	8	3
	その他研究発表	126	15
	標準化提案・採択	9	2
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	12	0
	受賞・表彰	4	1

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目1：キャリアコンバータ要素技術の研究開発

1. 光電子融合ミキサの研究開発（国立大学法人東北大学電気通信研究機構）
第一に、UTC-PD 上部集積 HEMT に関して、UTC-PD 部のメサ面積の縮小と、それに合わせた入力光スポット径の縮小によって出力強度を向上させることを成功した。第二に、上記 UTC-PD 上部集積型 HEMT と TIA・PA 二段のハイブリッド実装について、縦トランスインピーダンス利得約 60 dB Ω のモジュールパッケージの作製を完了した。第三に、ASK 変調光データ信号からミリ波データ信号への直接周波数下方変換実験に関して、IF 周波数 225 GHz（光差周波数 112.5 GHz、RF-LO 周波数 90 GHz）において 10-Gbps ASK PRBS データ信号の周波数下方変換に成功するとともに、IF 周波数 109 GHz（光差周波数 190 GHz、RF-LO 周波数 81 GHz）の周波数下方変換にも成功した。
2. キャリアコンバータ用光源デバイスの研究開発（学校法人早稲田大学）
シリコン導波路に直接通電加熱位相シフターと集積型ヒートシンクを装荷した光スイッチにおいて、約 400 ns の非常に高速なスイッチング動作に成功した。高速位相シフターを装荷した波長可変レーザにおいて、オーバードライブ制御を用いる事で 15 us 以下の高速な波長切り替え動作を実証した。
3. 高精度 OAM モード多重用高精度マルチプレクサ/デマルチプレクサの研究開発（国立大学法人北海道大学）
OAM ソーター及び偏光回折素子を用いた光波複製系を用いることで、最大 9 個の OAM モードの分解に成功。また隣接モード間のクロストーク -15 dB、全体での挿入損失として 30% 以下を達成した。また、光波を OAM モード毎に分解した後、単一モードファイバーへの結合させるための実証実験を行い、結合効率約 75%を確認した。
4. 高効率ミリ波帯 E/O 変調モジュールの研究開発（住友大阪セメント株式会社）
高周波特性で課題であった 60GHz 以上の特性劣化について要因を特定し、シミュレーション等で高周波に対応した電極設計を実施した。また、その設計を実現するためのプロセス技術を開発することで、高周波域までスムーズな透過特性が得られ、最終目標である 110GHz まで半波長電圧 20V 以下に対し 9V を実現した。
また、当該特性改善サンプルと、高消光比変調器を他の研究分担者（株式会社デンソー）に提供し、システム特性の改善に貢献した。

研究開発項目2：キャリアコンバータの環境耐性実装技術の研究開発

1. ビーム制御機能つきミリ波伝送ユニットの研究開発（日本電気株式会社）

ミリ波ビーム制御の要素技術（下記）を確立し、目標数値を達成した。ミリ波ビーム制御を活用したアプリケーション実現の見通しを得た。

達成時の条件)

キャリア周波数：72.125/82.125GHz

変調方式：16QAM(通信速度 1Gbps 以上)

チャンネル帯域幅：1GHz

EIRP：42dBm(500m 相当のC/N(16dB)を達成)

ビーム可変範囲：ミリ波モジュールにより方位角/仰角ともに±5度を達成

要素技術)

- MMIC・・・送信/受信のビーム制御機能つきMMICの試作・評価を行い、E帯にて振幅・位相特性が良好に動作することを確認した。
- ミリ波モジュール・・・MMICとアンテナ素子を組み合わせ、良好なビームステアリング動作を確認した（変調信号を含む）。
- アンテナ・・・ガラス材料を用いたアンテナ素子を試作・評価を行い、広角にわたって安定したビームステアリング動作を確認した。
- ビーム制御アルゴリズム・・・検証機の試作、ソフトウェアの製作と屋外でのビームステアリング実験検証を実施した。
- 環境測定・・・ミリ波の伝搬環境の調査実施と通信品質のモデル化を行い標準化に提案した。
- 100GHz 超ミリ波ユニット・・・D帯RFデバイスの設計・シミュレーションを実施し、100GHz 超への適用可能性を確認した。

2. 自動車実証システムの研究開発（株式会社デンソー）

2-2-1：ビームステアリング制御技術の研究開発

高速かつ低遅延のギガビット通信を想定したキャリアコンバータシステムの実現において、無線通信（電波）を用いてインフラと車両間の信号伝送を行い、車両内では光に変換するなどのシステム構成を想定している。本項では、ミリ波帯無線通信システムギガビット無線通信を用いて、インフラと車両間（路車間）を高速信号伝送させるための課題抽出とそれを実現可能にする車載アンテナ技術開発を目的とする。

まず、Ebandで路車間通信に予想される技術課題の事前検討を行い、実証実験にて実環境での課題に関する詳細を明らかにし、実証実験の結果から路車間通信に必要な車載アンテナの仕様とビームステアリング範囲を導き出した。次に、この仕様に基づいて、社会実装面で車載製品化を想定した小型アンテナ技術の開発に着手した。まず、仕様を満足させるために側面放射の可能な単体アンテナの構造を提案し、シミュレーションと試作を行い妥当性と確認した。次にその検証した単体アンテナを用いて、実証実験からの仕様を満足させるアレイアンテナ構造を提案し、シミュレーションと試作による妥当性検討と課題抽出を行った。

2-2-2：実証システムの高信頼性実装技術の研究開発

デバイス単体での耐環境試験を実施し車載信頼性を確認した。また他の実施機関から提供された無線機、光変調器とホーンアンテナを統合して、80GHz 帯で無線⇄光直接変換に成功しQPSK/帯域2000MHzで通信距離514mを確認した。

3. 車載LAN向け光・電気混載ネットワーク対応通信方式の基礎検討、実証（株式会社メガチップス）

2-3-1 モデルベース開発、検証

実用に近いIEEE802.3ch 準拠の車載イーサネット方式にて電気PHYモデル作成し、このモデル simulation にて、STP ケーブル 15m、10Gb/s 超の電気伝送が可能であることを実証した。光リンクモデルも物理ベースに作成し、電気処理部と接続し光伝送システム

simulation 環境を構築した。

2-3-2 プロトタイプ(電気)の開発、実機検証

FPGA とディスクリート部品とを組み上げた 25Gb/s プロトタイプ機に加え、部品をボード集約して完成度高く装置化した 5Gb/s プロトタイプ機を作製し、STP15m、PAM4、5Gb/s 伝送を実証した。さらに実測結果を simulation で再現するようモデルを改良し高精度 simulation 環境を構築した。

2-3-3 プロトタイプ(光)の開発、実機検証

光リンク部を構築し NRZ, 10Gb/s 動作を実証した上で、その光リンク部と電気処理部を接続した光プロトタイプ機を構築し、光での PAM4、5Gb/s 伝送を実証した。課題をモデルへ反映し、光 simulation 環境を高精度化した。

2-3-4 電気⇄光のメディアコンバージョンの方策検討

プロトタイプ機実測に基づく高精度 simulation にて 802.3ch ベース 10Gb/s の性能を電気と光で比較した。結果を両者の信号処理 LSI 仕様に落とし込み Logic 規模を見積もり、消費電力、熱、EMI を車載要件視点で比較し、PAM4、10Gbps を光化するメリットを定量的に提示した。電気⇄光のシームレスな置き換えを可能とする車載 LAN のメディアコンバージョンを提言した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

1. 計画

- 研究開発

今後立ち上がる Beyond 5G などの研究に対して、本研究開発成果を展開する予定。

- 標準化

研究開発成果で得られた知見を標準化へ提案しており、今後も標準化に向けて活動を継続する予定。

- 製品化

研究開発成果を既存製品へ適用することで性能向上を図る予定。また市場動向を見ながら製品化を進める予定。

2. 展望（5年後程度を想定）

5G が 4G 同等にエリア展開されて、5G サービスを活用したサービスが展開されていることが予想される。また Beyond 5G の開発が本格化し、5G より更に大容量、低遅延のネットワークとなることが予想される。大容量ネットワークには、高精度 OAM モード多重用高精度マルチプレクサ/デマルチプレクサの活用が期待される。また 5G にスモールセルが本格運用されることが予想され、その中心技術として RoF (Radio over Fiber) を用いたネットワークが構築されることが期待される。