

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名: Beyond 5Gに向けたモバイル収容大容量光アクセスインフラの研究開発
- ◆副題: Radio-over-Fiber型伝送技術をベースとするBeyond 5Gモバイルフロントホールの研究開発
- ◆実施機関: 株式会社KDDI総合研究所、三菱電機株式会社、国立大学法人東北大学
- ◆研究開発期間: 平成30年度から令和3年度 (4年間)
- ◆研究開発予算: 総額400百万円 (令和2年度100百万円)

2. 研究開発の目標

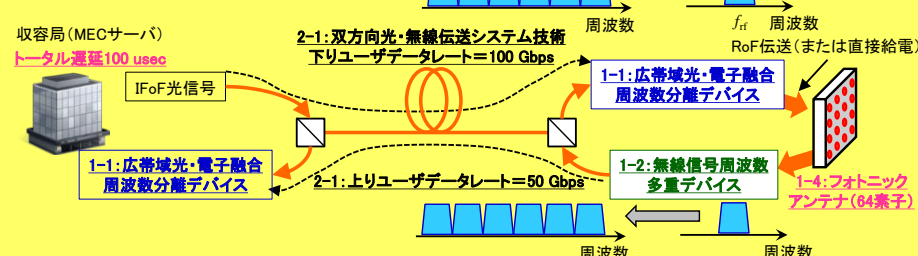
RoF・IFoFハイブリッドモバイルフロントホールとして、上り100 Gbps・下り50 Gbpsの伝送容量を実現し、また64素子のフォトニックアンテナアレイで100 μ sec以下のビーム切り替え時間を実現する。フルコヒーレントモバイルフロントホールとして、現状レベルのデバイスでフルコヒーレント伝送の実証実験を行い、フィジビリティを確認すると共に、商用化を想定した時の現実的な実現時期を見極める。

3. 研究開発の成果

①RoF・IFoFハイブリッドモバイルフロントホール技術

大容量 (100/50 Gbps) かつ低遅延 (100 μ sec) のモバイル収容光アクセス伝送システム

【研究開発項目1・2:RoF・IFoFハイブリッドMFH】



研究開発項目1 光・無線融合デバイス・サブシステム
研究開発項目2 RoF・IFoF伝送システム

研究開発成果1-1 100Gbps級広帯域光・電子融合周波数分離デバイス技術

28Gbps広帯域A/D変換から出力される膨大なデータをデジタル領域で処理するのが課題。
●大規模FPGAに実装したデジタルダウンコンバージョン回路の性能評価を実施し、14GHz帯域の信号を4ユーザに分割できることを確認した。

研究開発成果1-2 上り無線信号の高密度多重処理技術

シンプルな複数上りIF信号周波数多重技術と広帯域IFoF伝送が課題
●DSPを活用したIF信号周波数多重による50Gbps級上りIFoF伝送の実現可能性を確認した。

研究開発成果1-3 無線・光信号変換デバイス技術

高速ワイヤレス信号を収容するために必要な周波数帯域の確保が課題。
●電気・光変換部と光・電気変換部と組み合わせ、送信のみで28GHz以上、送受信合わせた周波数帯域として27GHz以上の通過帯域を確認した。

研究開発成果1-4 光・無線融合アンテナ技術

39GHz帯など高周波帯域での光・無線融合アレーアンテナ開発は未だに実証されていない。
●64素子の39GHz対応光・無線融合アンテナの開発に成功。

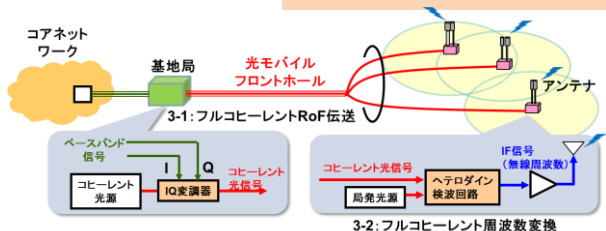
研究開発成果2-1 双方向光・無線伝送システム技術

80GHz以上の高周波信号を送信する際の最適手法について、明確な設計方針がなかった。
●RoF・IFoFそれぞれに対して、最適なアーキテクチャをユースケースごとに整理。またそれらを実験的に実証。

研究開発成果2-2 適応的空間電波周波数割り当て技術

RoFシステム実現のためには、光・無線区間を最適化するシステム設計が必要不可欠。
●上記を達成する新たな手法を考案し、特許出願完了。

②フルコヒーレントモバイルフロントホール技術



A フルコヒーレントRoF伝送技術
B フルコヒーレント光・無線周波数変換技術

研究開発成果3-1 フルコヒーレントRoF伝送方式の開発

研究開発成果3-2 フルコヒーレント周波数変換および光・無線融合伝送の実証

コヒーレント光QAM信号を無線信号へフルコヒーレント変換するためには高精度な光位同期およびキャリアコンバータが不可欠

●コヒーレントQAM光信号を60 GHz帯へ周波数変換するための光注入同期回路およびヘテロダイン検波回路を開発し、8 Gbaud、64~256のコヒーレントQAM信号のフルコヒーレント変換を実証 (研究開発成果3-1)

●8 Gbaud、64~256のコヒーレントQAM信号の光・無線融合フルコヒーレント伝送 (光: SMF 10 km、無線 (60 GHz帯): 6 m) を実証 (研究開発成果3-2)

1-1 100Gbps級広帯域光・電子融合周波数分離デバイス技術

・最終目標:

広帯域電気信号を低遅延で多数の狭帯域ユーザ信号に分離処理する、新しい広帯域光・電子融合周波数分離デバイス技術を開発する。本技術により、14GHz以上20GHz以下の広帯域電気信号を一括して4ユーザ以上のベースバンドに変換して10 μ sec以下の低遅延で分離出力することが可能となる。本提案の光・電子融合周波数分離デバイス技術では、28Gsps広帯域A/D変換から出力される膨大なデータをデジタル領域で高速デシメーション処理する新たなデジタルダウンコンバージョン方式を用いることで、回路の小型化と量子化ビット数の向上に加え、低遅延処理を実現することが出来る。

・令和2年度目標:

前年度までに実施した28 GSps広帯域A/D変換器から出力される膨大なデータをデジタル領域で高速デシメーション処理する新たなデジタルダウンコンバージョン方式の基本設計結果に基づき、実機による単体評価を実施する。

・令和2年度成果:

本方式は、14GHzの帯域を有する高周波電気信号をサンプリングレート28Gsps、量子化ビット数8bitのA/D変換器(ADC)を用いて、デジタル信号として取り込み、入力信号をデジタル領域でダウンコンバージョンして4ユーザ以上の信号に分割する機能を実現するものである。ユーザ毎の帯域分割を行うため、大規模FPGA1石に実装した周波数シフト部、FIR(Finite Impulse Response)フィルタ部、デシメーション部の多段構成によるデジタル回路を評価した。また、アナログフロントエンド装置を試作し、実装したデジタル回路のダイナミックレンジ、リニアリティ等の性能を評価した。また、20Gsps以上の広帯域ADCで課題となるダイナミックレンジを改善するため、マルチチャネルADC方式を考案し、30dB以上のダイナミックレンジが取れていることを確認した。

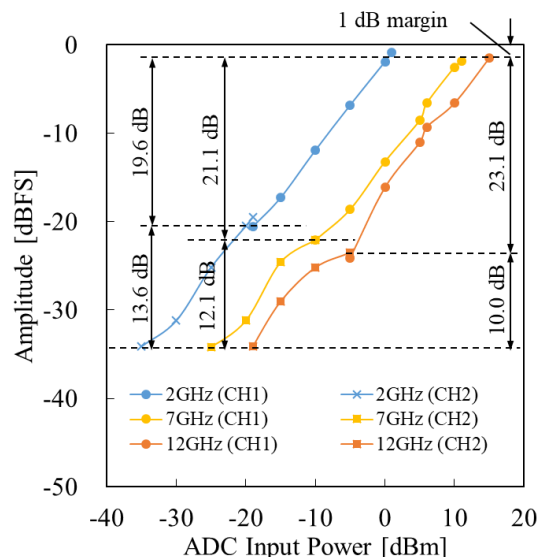


図: マルチチャネルADC方式によるダイナミックレンジ評価結果

1-2 上り無線信号の高密度多重処理技術

・最終目標:

アンテナ受信した無線信号を、特定低周波数帯のIF信号にミキサを用いてダウンコンバージョンし、低速ADCを用いてデジタル変換した後に、周波数軸上に信号多重して出力する方式について、実際にデジタル信号処理回路を開発し、10 μ sec以下の遅延で処理可能なことを確認する。

・令和2年度目標:

2019年度に試作開発した周波数多重化機器と、研究開発項目2-1のIFoF伝送技術とを連携させたIFoF伝送システムを構築し、50Gbps級上り伝送の実現性を実験で確認する。

・令和2年度成果:

昨年度試作開発した複数IF信号の周波数多重化機器と、研究開発項目2-1のIFoF伝送技術を組み合わせた上りIFoF伝送システムを構築・評価した。800MHzの帯域幅を有する複数IF信号を周波数多重することで、50Gbps級上りIFoF伝送の実現可能性を実験的に確認した。また、アンテナサイトから伝送された複数の上り信号を、本周波数多重機器が設置された中継サイト経由で集約し、一括して収容局までIFoF伝送する、カスケード接続型IFoF伝送システムが構成可能であることを確認した。

1-3 無線・光信号変換デバイス技術

・最終目標:

アンテナ-モバイル端末間でやり取りされるワイヤレス信号を光信号に重畳して伝送するRoF・IFoF技術を実現する光・電気相互変換デバイス技術を開発する。本技術によりワイヤレス信号をシームレスに収容することで、経済的で低遅延なアクセスネットワーク構築が可能となる。光通信で用いられているC帯の光信号に加え、O帯やT帯の光信号を用いる事により利用可能帯域を広げ通信容量拡大可能性を検討する。

・令和2年度目標:

本研究開発項目では、前年度までに実施したアナログの無線信号と光信号を変換する光デバイスの光学及び高周波設計をもとに、光デバイスを構成する部品を組合せ、光デバイスの最終形態において基本特性評価を実施する。

・令和2年度成果:

本研究開発項目では、電気・光相互変換デバイスにおける電気・光変換部の作製を行い、光・電気変換部と組合わせて送受信合わせた周波数応答特性の評価を実施した。その結果、高速信号を20Gbpsの伝送速度で動作するために十分な、3dB帯域にして送信のみで28GHz以上、送受組み合わせで27GHz以上の通過帯域が得られることを確認した。また、T帯(波長1064nm)光源を使用し、LN強度変調器と組合わせて変調特性評価を実施した。その結果、変調速度10GBaudにおいて十分に受信可能なアイ開口率を有する光出力波形が得られることを実験的に確認した。



図1: 電気・光変換デバイス

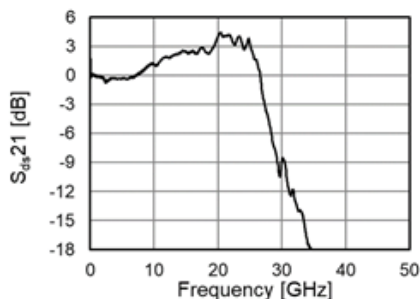


図2: 周波数応答特性結果

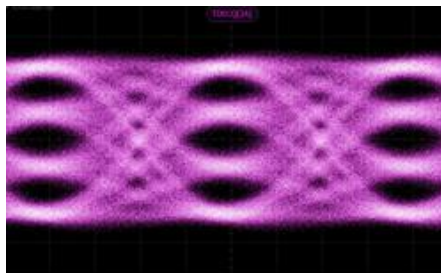


図3: 光出力波形(波長1064nm, 変調速度10GBaud)

1-4 光・無線融合アンテナ技術

・最終目標:

28 GHz、40 GHzおよび80 GHz以上の周波数に適した64素子以上の光・無線融合アンテナを開発する。その際遅延要求に柔軟に対応可能な、ビームステアリング制御情報の配信方法についての検討も行う。さらにアンテナへ給電する信号の位相・振幅を100 μ sec以内で制御することを目標に、広く適用されている電気処理の適用可能性を、理論および実験的な検討で明確化する。

・令和2年度目標:

2019年度に実施した仕様検討結果を踏まえて、光・無線融合アンテナの試作開発を実施し、単体性能評価を行う。また、電気処理による高速ビームフォーミング制御の可能性を実験的に検討するため、制御機器を試作し単体評価を行う。

・令和2年度成果:

本研究開発項目では、39GHz帯の光無線融合アンテナの開発を行った。昨年度までに完了していたレベルダイヤの設計に加えて、今年度は素子の配置とビームパターンシミュレーションを行い、8×8のアレイアンテナとフォトダイオードを一体集積したアンテナ開発を完了した。また開発品の39GHz帯における周波数特性が十分にフラットであることも確認し、来年度実施予定の統合実験に向けて問題のないことを確認した。

2-1 双方向光・無線伝送システム技術

・最終目標:

100 Gbps級の下りIFoF伝送技術として、256 QAM伝送(要求信号品質はアンテナ端でEVM 3.5%未満)の最適条件を明確化する。研究開発項目1-1試作物(即ち現状のデバイス技術レベル)で下りリンク用100 Gbps級IFoFを実現するための一形態として、LAN-WDM光波長多重の併用を検討する。また、上りリンクの50 Gbps級上りIFoF伝送についても、同様にLAN-WDM等の方式の流用を検討する。以上により、低コストで双方向の要求伝送容量を満足できるシステム構成を導出する。

・令和2年度目標:

80GHz以上のRF信号を想定した場合に、アンテナサイト向け下り伝送およびアンテナサイトからの上り伝送について、RoFおよびIFoF伝送方式の適用可能領域を実験で確認する。

・令和2年度成果:

80GHz以上のRF信号を想定した場合に、アンテナサイト向け下り伝送およびアンテナサイトからの上り伝送について、現実的な構成を数パターンに絞りそれぞれの長所・短所を明確化した。またこの検討に基づいて、RoFおよびIFoF伝送方式の適用可能領域を実験にて確認した。

2-2 適応的空間電波周波数割り当て技術

・最終目標:

無線区間の伝送品質状況を収容局へフィードバックし、適応的に複数の周波数帯を利用することで高い信号品質を担保する技術を検討する。また無線区間のみならず、RoF/IFoF伝送区間のチャンネル特性も総合的に判断して最適化するアルゴリズムも検討する。

・令和2年度目標:

2019年度に実施した技術検討結果を踏まえて仕様確定し、適応的周波数割り当て方式の有効性を確認するためのシミュレータを試作して技術評価を行う。

・令和2年度成果:

異なるRF周波数のRoF信号に対して、波長分散の影響によりどの程度ビームの形状が崩れるのかシミュレーションにより確認を行った。また上記のビーム形状崩れを防ぐための、各周波数の光無線融合アンテナに最適なビームフォーミング用プレコーディング用アルゴリズムの検討を完了し、特許1件の出願を完了した。

3-1 フルコヒーレントRoF伝送方式の開発

3-2 フルコヒーレント周波数変換および光・無線融合伝送の実証

・最終目標:

フルコヒーレントRoF伝送の基盤技術としてコヒーレント光源、フルコヒーレント制御技術、ならびに光信号をヘテロダイン検波により無線(IF)周波数(40 GHz以上)にダウンコンバートするキャリア周波数変換技術を開発する。これらの結果に基づき、100 Gbps級の信号に対して10 μ sec以下の遅延時間で光・無線のシームレスな変換を実現する。

・令和2年度目標:

コヒーレント光QAM信号の無線(IF)周波数への変換に際し、光位相同期回路およびヘテロダイン検波回路における位相雑音の低減ならびにS/Nの改善により、フルコヒーレントRoF伝送におけるQAM信号の多値度向上を実現する。また、光周波数から60 GHz帯へダウンコンバートしたQAM信号をアンテナを介して無線伝送することにより、光・無線融合フルコヒーレント伝送システムの基本性能を実証する。

・令和2年度成果:

本研究開発項目では、コヒーレントQAM光信号を60 GHz帯へ周波数変換するためのフルコヒーレント光・無線キャリアコンバータの開発に取り組み、光注入同期型ヘテロダイン検波回路により、従来のセルフヘテロダイン方式と比べ低位相雑音、高S/Nな光無線周波数変換を実現した。本回路により、シンボルレート8 Gbaud、多値度64~256のコヒーレントQAM光信号を60 GHz帯の無線信号にフルコヒーレント変換することに成功した。さらに、研究開発項目3-1のフルコヒーレント変換回路を用いて得られた60 GHz帯の8 Gbaud、64~256 QAM (48~64 Gbit/s)無線信号を、ホーンアンテナを介してユーザ側へ無線伝送することにより、光・無線融合フルコヒーレント伝送(光:SMF 10 km、無線(60 GHz帯):6 m)を実証した。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
8 (4)	6 (3)	3 (3)	30 (18)	0 (0)	0 (0)	2 (0)	1 (1)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

5. 今後の研究開発計画

1-1 100Gbps級広帯域光・電子融合周波数分離デバイス技術

前年度までに実施した28 GSps広帯域A/D変換器から出力される膨大なデータをデジタル領域で高速デシメーション処理する新たなデジタルダウンコンバージョン方式の実機による単体結果に基づき、項目1-2で開発したIFoF伝送システムを併用した、上下統合システムの実証を行う。

1-2 上り無線信号の高密度多重処理技術

本研究開発項目にて昨年度までに開発を行った周波数多重器をベースとして、項目2-1で使用したLAN-WDMシステムを併用した上りIFoF伝送システムの実証を行い、50Gbps級の伝送レートを達成する。

1-3 無線・光信号変換デバイス技術

前年度までに検討した光・無線相互変換デバイスをもとに、光デバイスを構成する部品を組み合わせ、光デバイスの最終形態において送受ともに基本特性評価を実施する。

1-4 光・無線融合アンテナ技術

本研究開発項目にて昨年度までに開発を行った光無線融合アンテナを用いて、光・無線リンクを一気通貫したRoF伝送の実証を行う。また実際に位相制御器を駆動し、その位相遷移のスピードが100μ秒未満であることを確認する。

2-1 双方向光・無線伝送システム技術

研究開発項目1-2にて開発した周波数多重器と、本研究開発項目で使用したLAN-WDMシステムを併用した、下り100Gbps・上り50Gbps級の双方向伝送システムのデモンストレーションを実施する。

2-2 適応的空間電波周波数割り当て技術

本研究開発項目にて昨年度までに検討を行ってきた、光区間におけるチャネル情報の事前取得を行い、予めセンター側で予等化を行う提案方式において、その予等化を行う手法の具体化を行う。

3 フルコヒーレント光・無線融合伝送基盤技術

シングルキャリアQAM信号に加え、マルチキャリアOFDM信号を用いたフルコヒーレント光・無線融合伝送を行なう。また、60 GHz帯での無線伝搬距離について、~20 m程度への拡大を図る。これにより、Beyond 5Gにおける無線アクセスの仕様を想定したときのフルコヒーレント方式の有用性を明確にする。