

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1：高効率光アクセス構成技術の研究開発

- 1-a) B5G-RAN 収容高効率アクセス構成技術 (KDDI 総合研究所)
- 1-b) アナログデジタル協調型 RoX (Radio-over-X) 伝送技術 (三菱電機株式会社)
- 1-c) 小型光ビームフォーミングデバイス技術 (国立研究開発法人産業技術総合研究所)

研究開発項目 2：高効率光メトロ構成技術の研究開発

- 2-a) 仮想光チャンネル技術 (三菱電機株式会社)
- 2-b) 異種信号収容誤り訂正フレーミング技術 (三菱電機株式会社)
- 2-c) 非線形伝送基盤技術 (国立大学法人大阪大学)
- 2-d) 光・電気協調による高速低電力信号処理技術 (公立大学法人大阪 大阪公立大学)

(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	17	15
	外国出願	18	13
外部発表等	研究論文	3	3
	その他研究発表	94	76
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	14	11
	展示会	6	5
	受賞・表彰	7	7

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1：高効率光アクセス構成技術の研究開発

各研究開発項目においてそれぞれ一次試作を実施し、基本設計や基本動作の確認を完了するとともに、2023 年度の改良試作に向けた課題抽出を行った。

研究開発項目 1-a) B5G-RAN 収容高効率アクセス構成技術

①B5G-RAN 機能部

2021 年度の机上検討結果に基づき、400MHz 幅の無線信号を 8ch 多重分離できるフルデジタル方式の IF 多重分離処理装置の試作装置仕様検討および一次試作を完了した。また、本 IF 多重分離処理装置と組み合わせてアンテナ端に設置する装置として、IF 信号とミリ波信号を相互に変換する機能とミリ波信号のビームフォーミング (BF) 機能を有した BF ボックスを試作した。

②モバイルフロントホール部

2021 年度に実施した試作仕様の設計内容に基づき、上り・下り各 8 波長、計 16 波長を用いて IF 多重信号を伝送することが可能な双方向光アナログ光伝送システム (収容局側・アンテナ側) の一次試作を完了した。また、標準外形非結合型 4 コア MCF に適用可能な Fan-in/Fan-out (FIFO) モジュールの試作を完了した。更に、片方向アナログ IFoF 信号の伝送特性評価において、2021 年度に実施した構成から無線信号の多重数を更に拡張し、400MHz 幅 64QAM OFDM 信号を 4608ch (12 コア×16 波長×24IF 多重)、伝送容量換算で約 10.5Tbps の大容量・多拠点収容伝送実験を行い、全チャンネルで 3GPP 規定の品質基準 EVM<8%を満足することを確認した (2021 年度に実施した 576ch/1.3Tbps 伝送の 8 倍のチャンネル数・伝送容量)。

研究開発項目 1-b) アナログデジタル協調型 RoX (Radio-over-X) 伝送技術

1-b-1) 双方向高分解多重・分離技術

広帯域 IFoF 信号に対して、アナログ領域・デジタル領域双方でチャンネル分離・多重する処理回路の試作および計画に先んじて性能改善を図る一部改良を実施した。試作回路を用いて

2チャンネル収容時ループバック検証を行い、256QAM収容時に3GPP要求値3.5%以下を満足し、中間目標を達成した。さらに、光伝送部を含めた64QAM4チャンネルの伝送試験に成功している。本回路によりADC/DAC1つあたり2ch以上の無線信号を収容可能であることを実証した。

1-b-2) 伝送最適制御技術

$\Delta\Sigma$ RoX方式について回路規模見積もりを行い、FPGA1石で10以上の信号を同時収容可能であることを確認した。また、250MHz帯域4チャンネルのマルチチャンネル $\Delta\Sigma$ -RoX構成をFPGAに実装し、ターゲットFPGA(Xilinx社)での動作確認を完了した。 $\Delta\Sigma$ -RoF方式について、伝送路損失がRF信号品質に与える影響を実測評価し、トランシーバ内蔵CDRを活用することで信号伝送2方式(RoFおよびRoFSO)を想定した受信電力で回線が成立することを実証した。

RoFSO方式について、回線計算を実施し、光アンテナの開口径1cmにて、10chのWDM、200mの伝搬が可能なことを確認した。ターミナル部の空間光学系設計、機構設計を実施し、10cm角程度の十分小型なターミナルの試作を完了した。

研究開発項目1-c) 小型光ビームフォーミングデバイス技術

ビームフォーミングデバイスとして光スイッチ型とフェーズドアレイ型の2種類を作製した。これらのデバイスの基礎特性を評価し、ビームの偏向動作を確認した。これらの結果と、技術開発運営委員会での議論を基に、光スイッチ型を軸に改良試作(第二次試作)の設計をした。ただし、フェーズドアレイ型についても光スイッチ型にはない特徴を持つため、引き続きこちらについても開発を進める。ビームフォーミングデバイスチップの設計を完成させたことで、今年度の目標を達成した。

研究開発項目2：高効率光メトロ構成技術の研究開発

DSPに関連する研究開発項目2-a、2-bでは、一次設計および一次試作、部分回路のFPGAリアルタイム検証を完了した。先進的な基盤技術に関連する研究開発項目2-c、2-dでは、実験系の立ち上げや回路設計、特性評価を行った。

研究開発項目2-a) 仮想光チャンネル技術

DSP当たりの光チャンネル数を現行の1チャンネルに対して、異種RANを含めて10倍可変とする仮想光チャンネル技術について、4倍可変とするデジタル回路の設計・検証(=回路構成を考慮した機能シミュレーション)を行い、仮想光チャンネル生成・検出の主要機能について完了した。また、符号機能の主要部について、最大スループット1.6Tb/s超・仮想光チャンネル数16を実現する回路のFPGAリアルタイム検証を完了した。

研究開発項目2-b) 異種信号収容誤り訂正フレーミング技術

異種RANサービス数10チャンネル以上を同時収容する仮想光チャンネル分割パラレル符号化誤り訂正フレーム構成とそのフレームに最適な適応可変誤り訂正符号方式の性能評価を行った。また、異種RANサービス数4チャンネルを同時収容する誤り訂正符号化回路と4チャンネルのデータから1チャンネルを選択して復号する誤り訂正復号回路の一次試作を行い、FPGAボードへの実装の見込みを得た。

研究開発項目2-c) 非線形伝送基盤技術

①超多値光変復調技術

4096(=2¹²)値固有値変調信号の設計および伝送実験を行い、50km伝送後の固有値変調信号が復調可能であることを示した。また、長距離伝送向け伝送路設計や復調処理の計算量低減の検討を行った。これらの検討で得られた成果は、論文誌IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology等にて発表した。また、次年度に実施予定の100km級伝送実験系の立ち上げを行った。

②超高効率非線形光信号処理

ポイント・マッチング法を用いた導波路シミュレーションを行い、シリコンリッチ窒化シリ

コン導波路特性（群速度分散、および、非線形パラメータ）の調査を行った。計算機シミュレーションにより、適切な導波路サイズを設定することにより、広帯域に亘ってフラットな波長変換特性が得られることを確認した。また、製造誤差を含めたサイズ変化の影響を調査し、±15nmのサイズ変化を許容可能なことを示した。本シミュレーションによる成果は、論文誌 IEEE Photonics Journal 等にて発表した。

研究開発項目 2-d) 光・電気協調による高速低電力信号処理技術

広帯域光ルートナイキストパルス発生法では数値解析により設計等の基礎検討を行うとともに実験のための光学系の準備を開始した。光 IQ 変調器及び強度変調器を用いる 2 種類の構成について入力光や光ファイバの条件について数値解析により検討した。また、多値変調ソリトンの数値解析と空間多重通信用の光スイッチの検討を行った。

光 IQ 変調器を用いた方式では入力光帯域幅の 1.8 倍、光強度変調器を用いる方式では入力光帯域幅の 4-16 倍の光ルートナイキストパルス発生の可能性を示した。光強度変調器を用いる方式は現在実験を継続している。

多値変調ソリトンは 20 GBaud の振幅 2 値・位相 2 値の 4 値を DSP を使わずに復調する数値解析を行った。LPFG によるマルチコア光ネットワーク用の光スイッチを提案し、2 コア・2 モードおよび 3 コア 1 モードスイッチの数値解析を実施した。特許出願するとともに 2 コア (1 モード) 光スイッチの原理確認実験を開始した。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1：高効率光アクセス構成技術の研究開発

各小項目 (B5G-RAN 収容高効率アクセス構成技術、アナログデジタル協調型 RoX 伝送技術、小型光ビームフォーミングデバイス技術) について、それぞれ 2022 年度までに実施した一次試作、基本性能検証結果に基づく改良試作を通じ、これらの技術の組み合わせにより 100Gbit/s 級の伝送速度の実現可能性を示す。また、小項目間の連携実験として、1-a) で開発した小型光アナログ送受信機と 1-b) で開発したアナログデジタル協調型 RoX 伝送技術の連携実験に一部着手する。

研究開発項目 1-a) B5G-RAN 収容高効率アクセス構成技術

2022 年度 (令和 4 年度) までに試作した B5G-RAN 機能部をベースに、TDD ベースのミリ波無線信号を送受信するために必要な制御系機能の拡張を行う。試作済みの小型光アナログ送受信機を用いて構成されるアナログ IFOF モバイルフロントホールを介し、本構成で End-to-End の双方向データ通信が実現可能であることを系統的に実証する。

研究開発項目 1-b) アナログデジタル協調型 RoX (Radio-over-X) 伝送技術

2023 年度に計画している改良においては、ADC/DAC 数をアンテナの 1/2 以下で収容する技術について、本年度の試作および計画に先んじて一部実施した改良および評価に基づき、さらなる性能改善および収容チャネル数増加を実現する改良を行い、64QAM の変調信号 10 チャネル以上を収容可能であることを実証する。また、広帯域 IFOF を分離する中間ノードからさらに離隔した場所に分散的に配置されたアンテナとの信号伝送について、2022 年度に実装検討した伝送最適制御技術に基づく処理回路の改良設計評価を完了する。評価結果に基づき、アンテナ素子数 10 以上の信号を通信における要求品質を担保した状態で高効率に収容する信号処理方式の設計手法を確立する。

研究開発項目 1-c) 小型光ビームフォーミングデバイス技術

2022 年度までの基本設計に基づき、小型光ビームフォーミングデバイスの改良試作 (第二次試作) に着手し、これを進める。また、連携評価を想定し、1 次試作のデバイスを利用して、その制御システムの開発を進める。

研究開発項目 2：高効率光メトロ構成技術の研究開発

DSP に関連する研究開発項目 2-a、2-b では、2022 年度までの検討・試作結果に基づいた

改良設計および評価を行う。先進的な基盤技術に関連する研究開発項目 2-c、2-d では、2022 年度までの方式検討・回路設計・特性評価結果に基づき、試作および伝送実験を行う。

研究開発項目 2-a) 仮想光チャネル技術

2023 年度は仮想光チャネル技術のアルゴリズムおよび回路の改良設計を行うとともに、研究開発項目 2-b との連携評価を可能とする回路の設計完了を目指す。また、改良試作した回路を組み込んだ光変復調評価用試作機を用いた光伝送実験によりアルゴリズムおよび回路の改良評価を行い、仮想光チャネル数可変 4 倍を確認することを目指す。

研究開発項目 2-b) 異種信号収容誤り訂正フレーミング技術

2023 年度は 2024 年度の実証実験による連携評価に先立って、一次設計結果からのフィードバックを元に、仕様、アルゴリズムおよび基本回路の改良設計を行う。

研究開発項目 2-c) 非線形伝送基盤技術

① 超多値光変復調技術

広帯域光送受信器、および、120GSa/s 高速任意波形成形器を用いて、4096 値固有値変調信号の 100km 級伝送の実証実験を行う。実験で得られた成果を国内学会や国際会議、学術雑誌論文等にて発表する。

② 超高効率非線形光信号処理

2022 年度までの回路設計・特性評価に基づき、試作に向けた詳細設計（導波路幅、導波路長、実装の仕様の詰め）を行う。また、一括光信号処理技術として、ファイバベースの光信号処理の検討を行う。導波路試作・実装に関して、国内学会、および、国際会議に参加し、国内外の最新の光デバイスの試作・応用技術を調査する。

研究開発項目 2-d) 光・電気協調による高速低電力信号処理技術

DAC 帯域より広帯域なパルス発生を行うルートナイキストパルス発生器のロールオフ率可変実験およびパルス発生器を用いた信号の送受信特性に関する原理確認実験を実施する。

数値解析による多値光ソリトンに対するソリトン制御効果の数値解析により評価する。またファイバグレーティングによるモード変換技術を応用した 2 コアファイバのコアスイッチング、2 モードファイバのモードクリーニング技術の基本実験を実施する。