

## 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大容量無線通信を支える次世代エッジクラウドコンピューティング基盤の研究開発
- ◆副題 Beyond 5Gに向けた革新的高速大容量データ転送ハードウェア開発と高機能エッジクラウド情報処理基盤の研究開発
- ◆受託者 東京工業大学、東海国立大学機構 岐阜大学、滋賀県立大学、富士通オプティカルコンポーネンツ(株)、古河電気工業(株)、古河ネットワークソリューション(株)、日本電気(株)、大阪大学、東北大学、楽天モバイル(株)
- ◆研究開発期間 令和2年度～令和5年度(4年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和2年度から令和5年度までの総額2,803百万円(令和5年度800百万円)

## 2. 研究開発の目標

日本の強みであるマルチコアファイバ技術を導入し、高速大容量データ転送を可能にする革新的ハードウェア技術を開発する。さらに、これら新たなハードウェア技術を基盤として、多種多様なサービスに対応可能な高機能エッジクラウド情報処理基盤の研究開発を行い、Beyond 5G 大容量無線通信、高信頼・極低遅延、超大量端末を最大限に発揮した将来のCyber-Physical System実現に貢献する。

研究開発成果

## 3. 研究開発の成果

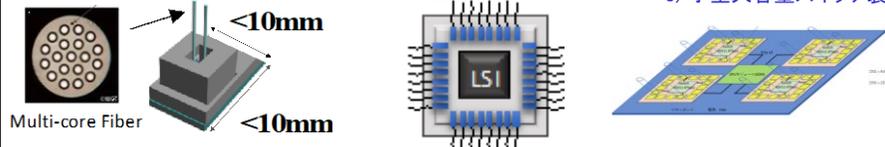
研究開発目標

### 研究開発項目1: 高速大容量データ転送を実現する革新的ハードウェア技術の研究開発

MCFをベースに、破壊的イノベーションの創出

CPO光トランシーバ、電気プラグブルインターフェイス、複数のCPO光トランシーバ搭載のCPOデータボードの実現

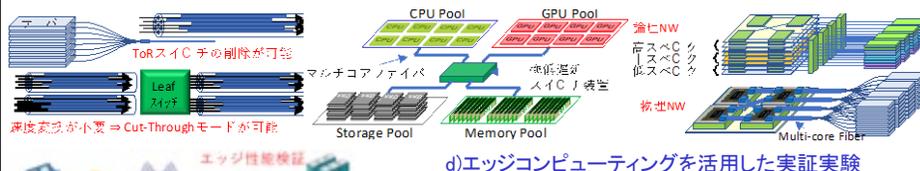
- a) CPO超小型光トランシーバ
- b) 高密度光電インターフェイス技術
- c) 小型大容量スイッチ装置



### 研究開発項目2: 多種多様なサービスに対応可能な高機能エッジクラウド情報処理基盤の研究開発

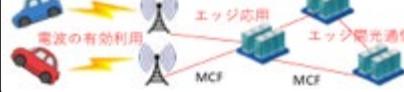
MCFをベースに、新たなエッジクラウド情報処理基盤の確立

- a) 極低遅延スイッチング技術
- b) リソース分離型コンピューティング技術
- c) ネットワークスライシング技術



#### d) エッジコンピューティングを活用した実証実験

高機能エッジクラウド情報処理の基本設計・解析モデル、数学モデルによる電波有効利用性検証、エッジ間光通信基本動作、スマートシティ実験環境整備



### 研究開発項目1-a: Co-Packaged Optics (CPO) 超小型光トランシーバの研究開発

- ・1060nm帯VCSELアレイの変調帯域34GHz、PAM4 100Gbps高速動作
- ・16ch 送信/受信用EIC の25Gbps動作、2.5mm角の小型化、2W以下の低電力化
- ・体積1cm<sup>3</sup>の世界最小、省電力5pJ/bitの400Gbps CPO光トランシーバを実現

### 研究開発項目1-b: チップ間光接続を可能とする高密度光電インターフェイス技術

- ・世界最小0.3mmピッチ高密度光電インターフェイスの50Gbaud動作を実証
- ・FPGA搭載CPOデータボードプロトタイプの実証、スイッチASIC搭載CPOデータボードプロトタイプを試作しCPO超小型光トランシーバを動作、特性評価、実現性を実証

### 研究開発項目1-c: 小型大容量スイッチ装置の研究開発

- ・スイッチ装置を試作、CPO超小型光トランシーバを動作、特性評価、実現性を実証

### 研究開発項目2-a: MCFを用いた極低遅延スイッチング技術の研究開発

- ・試作したスイッチ装置にて極低遅延スイッチングの原理実証の動作検証を実施

### 研究開発項目2-b: リソース分離型コンピューティング技術の研究開発

- ・提案システムのPoCを試作、実アプリケーションでリソース分離Xマイクロスケールによる無駄のない高効率なリソース割当を実機レベルで検証し、最終目標を達成

### 研究開発項目2-c: MCFを用いたネットワークスライシング技術の研究開発

- ・スイッチ装置にてネットワークスライシング技術を実証するための動作検証を実施

### 研究開発項目2-d: エッジクラウドコンピューティングを活用した実証実験

- ・エッジクラウド情報処理基盤内NW構成とリソースの割り当て手法を提案・シミュレーションによる有効性の評価
- ・電波資源利用率を拡大する機械学習に基づく判断手法の実環境での検証
- ・多入出力・4コア級の識別ラベル生成・スイッチ素子制御機構の検証・100ナノ秒以内低遅延化の方式提案、低偏波動作シリコン細線光スイッチ集積素子の構造提案と動作実証
- ・大岡山デジタルツインをエッジクラウドに実装し、AR電波可視化機能を構築
- ・衝突予測をB5Gエッジクラウドに実装し、スマートタウンの総合実証実験を実施
- ・衝突予測および危険回避アラートを表示するシステムをB5G NW上の多段的なMECに構築し、スマートシティにおける危険回避の実証実験を共同で実施

#### 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
28 (8)	29 (5)	14 (5)	174 (54)	4 (1)	14 (1)	16 (4)	6 (4)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

- ・単一モード1060nm帯VCSELアレイを製作し、この波長帯では世界最速の変調帯域34GHz以上、NRZ 50Gbps、PAM4 100Gbpsを実現。
- ・25 Gbps × 16 ch 光送信/受信用EICにおいて合計2 W以下の低電力化に成功。
- ・世界最小の体積1cm<sup>3</sup> の25Gbps × 16ch CPO光トランシーバを実現し、PD-TIA間の疑似差動構造により受信クロストークの低減を実現。
- ・通常の光トランシーバの1/3以下の5pJ/bitの省電力性能を実現。
- ・世界最小ピッチ0.3mmを用いた高密度光電インターフェイスを搭載した評価ステーションを構築し、50Gbaud信号伝送に適用可能であることを実証。
- ・B5Gセルラネットワークの実証フィールドカバレッジ拡張を行い、MECを活用することで画像伝送・物体認識の低遅延化に成功。
- ・MECサーバー上で動作するAugmented Information on MECおよびObject Detection on MECを開発し東工大 大岡山キャンパスでデモ実施。30名程度の方々に体験してもらった。
- ・B5Gエッジクラウド上のデジタルツインを用いて衝突予測を行い、B5Gを介した低遅延通信によりAR端末にアラートを出す衝突回避アプリケーションを実装し、楽天モバイルと連携してスマートタウンの総合実証実験を実施した。
- ・パケットベースのマイクロデータセンタ間連携に導入可能な低遅延光スイッチング技術を実証。
- ・大岡山キャンパスにB5Gヘテロニアスセルラネットワークの設計及び展開を実施、総合実証実験を通してスマートシティの社会実装にあたり解決課題を明確化。
- ・Beyond 5Gの実現、次世代エッジクラウドコンピューティング基盤の創出に向け、知財戦略に基づき、特許出願に注力した。
- ・B5G仮想化エッジクラウド関連の報道発表(6件)を積極的に行った。
- ・国際会議等の基調講演、招待講演(国内34件、国際27件)を行い、研究開発成果の情報発信を積極的に行った。
- ・ETSI MEC議長との議論・連携を目的とした国際会議のワークショップを開催し、研究開発成果の情報発信を積極的に行った。
- ・3GPPへ標準化提案4件寄書、そのうち1件が採択された。
- ・特許を積極的に出願(外国出願 29件, 国内出願 28件)するなど、成果の知財化に務めた。

## 5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

### 研究開発項目1: 高速大容量データ転送を実現する革新的ハードウェア技術の研究開発

高速大容量データ転送を実現する革新的ハードウェア技術の実現を目指し、デバイスレベルから装置までのハードウェアの研究開発を並列に実施し、研究成果を統合していき、最終的にCPOを用いた超大容量スイッチ装置の実現性を検証する。具体的には、以下の研究開発を実施する。

- ・NRZ 50Gbps、PAM4 100Gbpsの高速動作可能な裏面出射型16-ch VCSELアレイ試作とその高温動作、CPO光トランシーバ実装に向けたサンプルの提供。
  - ・25Gbps×16ch 光送信/受信EIC開発を基に、デジタル制御を用いた超小型・超低電力回路技術や回路トポロジーによる広帯域化技術の向上を目指す。
- また、さらなる高速化に向けた多チャンネル光送受信EIC回路技術及び次世代の高機能パケット通信対応等の高機能化の技術展開を行う。
- ・25Gbps×16ch CPO光トランシーバの製造安定性の改善と、CPOドータボード評価向けモジュールの提供を行う。また伝送レート50Gbaudへの高速化を進め、800G/1.6Tbps (50Gbps NRZ /100Gbps PAM4×16ch) 超小型大容量CPO光トランシーバのプロトタイプ試作とその実現性検証を行う。
  - ・50Gbaud用の高密度光電インターフェイスを用いて50Gbaud×16ch光トランシーバの動作検証を行い、2km以上の空間多重光伝送リンクの特性を評価し、実用性を検証する。CPOドータボードの2系統水冷システムの実用性を検証する。
  - ・FPGA搭載CPOドータボードおよびスイッチASIC搭載CPOドータボードにCPO超小型光トランシーバを装着した特性評価検証を継続し、実現性データを蓄積した後に、スイッチベンダ、装置ベンダにアピールを開始し、連携による製品化を推進する。
  - ・CPO超小型光トランシーバを装着したスイッチASIC搭載CPOドータボードを4枚搭載したスイッチ装置において特性評価検証を継続し、小型かつ大容量化可能であることを実証する実現性データを蓄積した後に、開発した技術を共有する装置ベンダの仲間作りを行うと共に、データセンタ運営会社への技術提案を行う。

### 研究開発項目2: 多種多様なサービスに対応可能な高機能エッジクラウド情報処理基盤の研究開発

- ・CPO超小型光トランシーバを装着したスイッチASIC搭載CPOドータボードを4枚搭載したスイッチ装置において特性評価検証を継続し、マルチコアファイバを用いた極低遅延スイッチング技術およびネットワークスライシング技術の実現性データを蓄積した後に、開発した技術を共有する装置ベンダの仲間作りを行うと共に、データセンタ運営会社への技術提案を行う。
- ・社会実装のターゲットであるマイクロデータセンタのユーザ要件と技術的要件と実用化課題を研究協力者(大阪大学計算機センター、およびそのユーザである歯学部医療情報室)と検討し、ユーザサイトに置かれて計算機センターのシステムと連携する形の新しいマイクロデータセンタのモデルを提案した。その試験的な導入によりユーザメリットを示して事業化と社会への普及を図る。
- ・需要の変動に柔軟に対応可能なようにエッジクラウドコンピューティングのネットワーク構成・制御手法の拡張と有効性のシミュレーションによる実証する。
- ・電波利用効率向上を目的としたエッジ使用判断手法のアプリケーションへの組み込むための設計、検証を行う。
- ・光スイッチングシステム: 複数無線ネットワーク- $\mu$ -DC間のデータの送受信制御、隣接 $\mu$ -DC間のデータ送信タイミング制御に関しては、マイクロデータセンタにとどまらず適用箇所を検討し、システムとしての展開を考えていく。 $\mu$ データセンタの有効性が認知され、リソースの拡大とエリアの拡張が必要となった暁には、連携のための低遅延・高密度集積化の可能な光スイッチング技術の導入機運も高まると期待される。
- ・東京工業大学と楽天モバイルは「楽天モバイル次世代エッジコンピューティング・ネットワーク協働研究拠点」を本研究開発期間中の2023年6月に設置し、既に本研究開発成果の展開・普及のための活動を始めている。
- ・東京工業大学が2022年度～2025年度に受託している「Society 5.0を実現するIoFDT (Internet of Federated Digital Twin)のためのワイヤレス・エッジコンピューティング・サービスプラットフォームの研究開発 (NICT-JUNOプロジェクト)」にも展開されている。
- ・特に衝突回避アプリケーションは、東京工業大学の知的財産権を楽天モバイルに売却しており、知的財産としての価値が高くまた実施される可能性がある。
- ・今回の研究開発で構築したB5G環境を活用し更に研究開発を進め、これにより得られた知見をもとにスマートシティの礎となるB5Gのネットワークやセンサーを実装しオペレーションの検討を進めていく。
- ・楽天エコシステムを最大限に生かし、本研究で得た知見や検討等をエコシステム全体に活用する。
- ・デジタルツインを活用したアプリケーションとして、自動運転車や歩行者等の安全性の確保、スマートグラスを活用した街中の情報の提供が可能なPFを展開していく。