

令和2年度研究開発成果概要書

採択番号 00101

研究開発課題名：Beyond 5G 超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

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

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

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

(1) 研究開発の目的

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 超大容量無線通信、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。

(2) 研究開発期間

令和2年度から令和4年度(25ヵ月)

(3) 実施機関

国立大学法人東京工業大学<代表研究者>  
国立大学法人東海国立大学機構 岐阜大学  
公立大学法人滋賀県立大学  
富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社  
古河電気工業株式会社  
古河ネットワークソリューション株式会社  
日本電気株式会社  
国立大学法人大阪大学  
国立大学法人東北大学  
楽天モバイル株式会社

(4) 研究開発予算(契約額)

総額 2003 百万円(令和2年度 3 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：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

1-a. マルチコアファイバを用いた Co-Packaged Optics (CPO) 超小型光トランシーバの研究開発

1-a-1. CPO 光トランシーバのための VCSEL アレイの研究開発(国立大学法人東京工業大学)

1-a-2. 高速・低電力・多チャンネル電気集積回路(EIC)の研究開発

1-a-2-1. 高速・低電力・多チャンネル光送信用電気集積回路(EIC)の研究開発(国立大学法人東海国立開発機構 岐阜大学)

1-a-2-2. 高速・低電力・多チャンネル光受信用電気集積回路(EIC)の研究開発(公立大学法人滋賀県立大学)

1-a-3. CPO 超小型光トランシーバモジュールの研究開発(富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社)

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の研究開発

1-b-1. 高密度光電インターフェイス技術の研究開発(古河電気工業株式会社)

- 1-b-2. チップ間光接続を実現するCPO ドータボードの開発（古河ネットワークソリューション株式会社）
- 1-c. CPO 光トランシーバを接続可能な小型大容量スイッチ装置の研究開発（古河ネットワークソリューション株式会社）

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

- 2-a. 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の研究開発（古河ネットワークソリューション株式会社）
- 2-b. マルチコアファイバで連結したリソース分離型コンピューティング技術の研究開発（日本電気株式会社）
- 2-c. マルチコアファイバを用いたネットワークスライシング技術の研究開発（古河ネットワークソリューション株式会社）
- 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の実施
  - 2-d-1. 高機能エッジクラウド情報処理基盤内 NW 構成・制御技術の開発と処理性能検証（国立大学法人大阪大学）
  - 2-d-2. エッジクラウドによる電波有効利用の検証（国立大学法人東北大学）
  - 2-d-3. エッジサーバ間の光スイッチング技術の開発（国立大学法人東京工業大学）
  - 2-d-4. B5G とエッジクラウドコンピューティングを活用したスーパースマートタウンに関する研究開発
    - 2-d-4-1. B5G エッジクラウドを活用した実証実験に関する研究開発（国立大学法人東京工業大学）
    - 2-d-4-2. B5G 仮想化エッジクラウド基盤に関する研究開発（楽天モバイル株式会社）

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

(7) 具体的な実施内容と成果

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研究開発の方針を策定し、開発実施体制を整備した。

- 1-a. マルチコアファイバを用いた Co-Packaged Optics (CPO) 超小型光トランシーバの研究開発
  - 1-a-1. CPO 光トランシーバのための VCSEL アレイの研究開発
 

CPO 実装対応のために裏面出射 1060nm 帯 VCSEL ウェハの層構造の設計を行い、初期試作のための VCSEL ウェハの発注・調達し、フォトルミネッセンスや共振波長に関する添付データから、VCSEL ウェハの結晶品質を評価するとともに、VCSEL アレイのプロセスフローを確定した。また、CPO 光トランシーバのための VCSEL アレイの高速変調特性評価のための測定系を確認し、評価システムの整備を行なった。
  - 1-a-2. 高速・低電力・多チャンネル電気集積回路 (EIC) の研究開発
    - 1-a-2-1. 高速・低電力・多チャンネル光送信用電気集積回路 (EIC) の研究開発

多チャンネル光送信用 EIC の基本構成の検討として、従来技術の調査・分析を行い、これを参考に基本的な特性・機能の概算目標値（電気レベル）の設定を行なった。さらに、これらを元に基本回路構成の検討を行うとともに、多チャンネル・チップレイアウト配置、パッド配置、チップサイズ等の物理的な概算見積もりを行なった。

#### 1-a-2-2. 高速・低電力・多チャンネル光受信用電気集積回路（EIC）の研究開発

多チャンネル光受信用 EIC の研究開発方針を策定するために、動作特性の目標値の設定、ならびに IC 設計のためのトランジスタの選定を行い、基本回路構成に基づき、多チャンネル光受信用 EIC の動作速度、消費電力を見積もるとともに、パッド配置されたチップレイアウトのサイズの概算見積もりを行った。

#### 1-a-3. CPO 超小型光トランシーバモジュールの研究開発

10mm 角以下かつ伝送容量 400Gbps の CPO 超小型光トランシーバの構成法の検討を行い、光インターフェイスを 16ch マルチコアファイバ、送信側を VCSEL アレイ-インターポージャー-VCSEL ドライバアレイ、受信側を PIN PD アレイ-インターポージャー-TIA アレイの接続構造とする基本構成について、主要課題の抽出を行った。

#### 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の研究開発

##### 1-b-1. 高密度光電インターフェイス技術の研究開発

高密度光電インターフェイス技術の研究開発を行う実施事項とその手順について検討を行い、必要となる人員と試作にかかる概算について抽出した。これに基づき、開発実施体制を整備した。

##### 1-b-2. チップ間光接続を実現する CPO ドータボードの開発

CPO ドータボードの設計方針の検討を行なった。

##### 1-c. CPO 光トランシーバを接続可能な小型大容量スイッチ装置の研究開発

入手可能なスイッチ ASIC の調査を開始した。

#### 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

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の方針を策定し、開発実施体制を整備した。

##### 2-a. 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の研究開発

令和 4 年度から実施予定。

##### 2-b. マルチコアファイバで連結したリソース分離型コンピューティング技術の研究開発

リソース分離型コンピューティングの研究開発の方向性と施策を定めることを目標として、関連技術の状況やトレンドを調査し、取り組むべき技術課題と解決技術、並びにその展開を検討した。それをもとに研究開発の方針を策定した。

##### 2-c. マルチコアファイバを用いたネットワークスライシング技術の研究開発

令和 4 年度から実施予定。

##### 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の実施

###### 2-d-1. 高機能エッジクラウド情報処理基盤内 NW 構成・制御技術の開発と処理性能検証

高性能エッジクラウド情報処理基盤を実現するための、マルチコアファイバ・大容量スイッチ装置を効率的に利用したネットワーク構成、処理要求に対するネットワークや CPU、メモリ、ストレージ等のリソースの各スライスへの動的な割り当て手法の検討を進めるための、研究開発の方針を策定した。

###### 2-d-2. エッジクラウドによる電波有効利用の検証

エッジクラウド技術を導入することによって、B5G の電波資源の有効利用性が高められることを検証するための、具体的なネットワークおよびアプリケーションシナリオについて検討を開始した。

###### 2-d-3. エッジサーバ間の光スイッチング技術の開発

エッジサーバ間のMCF 接続構成と無線ネットワークとの接続形態について、收容エリアと伝送距離の関係を整理するとともに、要求遅延に収めるための条件を検討した。

#### 2-d-4. B5G とエッジクラウドコンピューティングを活用したスーパースマートタウンに関する研究開発

##### 2-d-4-1. B5G エッジクラウドを活用した実証実験に関する研究開発

中継器を用いたミリ波サービスエリアの拡張手法について検討を実施し、翌年度以降の実験に向けた体制構築を行なった。

##### 2-d-4-2. B5G 仮想化エッジクラウド基盤に関する研究開発

仮想化ネットワーク機能手法について検討を実施し、翌年度以降の研究開発に向けた体制構築を行なった。

### (8) 今後の研究開発計画

#### 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

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を用いた大容量スイッチ装置の実現性を検証する。

##### 1-a. マルチコアファイバを用いたCo-Packaged Optics (CPO) 超小型光トランシーバの研究開発

###### 1-a-1. CPO 光トランシーバのための VCSEL アレイの研究開発

新規な結合共振器構造を用いて、1060nm 帯 VCSEL の 50Gbaud 高速変調動作とそのCPO 実装に適合した 16ch VCSEL アレイの試作・評価、およびマルチコアファイバとの低損失直接光結合を検討する。

###### 1-a-2. 高速・低電力・多チャンネル電気集積回路 (EIC) の研究開発

###### 1-a-2-1. 高速・低電力・多チャンネル光送信用電気集積回路 (EIC) の研究開発

マルチコアファイバに対応した低電力・高速・多チャンネル光送信回路開発 (Tx-EIC) を実施する。試作による課題抽出を行うとともに、EIC の小型化を実現するために、デジタル制御による電極数の削減を検討し、25 Gbps NRZ 符号対応 16 チャンネル光送信用 EIC の開発を行う。

###### 1-a-2-2. 高速・低電力・多チャンネル光受信用電気集積回路 (EIC) の研究開発

25 Gbps NRZ 符号対応 16 チャンネル光受信用 EIC の開発において、チャンネル間の電磁的干渉 (クロストークノイズ) 低減技術の検証、小面積・広帯域化技術の検証を行い、65nm-CMOS プロセスで光受信用 EIC を開発する。

###### 1-a-3. CPO 超小型光トランシーバモジュールの研究開発

16ch マルチコアファイバと光接続した 400Gbps (25Gbps NRZ x 16ch) の CPO 超小型 (10mm 角以下) 光トランシーバプロトタイプを試作し、2km 伝送実現性を検証する。

##### 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の研究開発

###### 1-b-1. 高密度光電インターフェイス技術の研究開発

CPO 光トランシーバをドータボードに実装するための 25Gbps 以上の差動電気信号を 16 チャンネル入出力可能な電気プラグブルインターフェイスの開発を行う。また、CPO 光トランシーバを十分に冷却するための放熱構造と冷却方法について検討を行う。

###### 1-b-2. チップ間光接続を実現する CPO ドータボードの開発

研究項目 2-a の極低遅延スイッチング技術の実証実験で用いる FPGA 搭載 CPO ドータボード (10cm 角程度) と研究項目 1-c に採用するスイッチ ASIC 搭載ドータボードの 2 種類を設計、作製する。

###### 1-c. CPO 光トランシーバを接続可能な小型大容量スイッチ装置の研究開発

スイッチ ASIC の近傍に CPO 光トランシーバを配置することで、従来のフロントパネルの I/O の限界を超える大容量伝送を可能にする小型スイッチ装置を実証する。

#### 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

エッジクラウドコンピューティング能力の飛躍的な向上への貢献を目的として、マルチコアフ

ファイバを用いた CPO 光トランシーバと ASIC を実装した 64×64 以上の規模のスイッチ構成による極低遅延性のスイッチング技術の開発と原理実証、リソース分離型コンピューティング・プラットフォームと数 10% 以上のリソース有効活用を実証するためのアプリケーション開発と性能実証を行う。また 4 スライス以上のネットワークスライシングのスイッチング技術の開発と高速性実証、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・制御技術の数値解析による有効性実証、電波利用効率向上など電波有効利用への貢献を解析的に実証するとともに、ネットワークの各階層の連動を実施して 1ms 以下の低遅延性の実現可能性、アプリケーション・スマートシティにおける実証実験を通じた B5G レベルの有効性実証を行う。

#### 2-a. 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の研究開発

マルチコアファイバベースの CPO 光トランシーバを用いることによる ToR スwitch の削減および Cut-through モードでの光パケット転送を実現し、大幅な低遅延転送が可能であることを実証するためのソフトウェア基本設計を行う。

#### 2-b. マルチコアファイバで連結したリソース分離型コンピューティング技術の研究開発

有限なコンピューティングリソースの有効利用、および AI 処理に最適なリソース分離型コンピューティング技術の研究開発を行う。リソース間の物理的な接続にマルチコアファイバによる大容量光接続を用いることを想定し、接続の距離×帯域を飛躍的に伸ばしたリソース分離型コンピューティング・プラットフォームのために最適に作られる、Disaggregated-Native なアーキテクチャ、OS、インターコネクション、ハードウェアの研究開発を行う。

#### 2-c. マルチコアファイバを用いたネットワークスライシング技術の研究開発

転送経路に制約を与えることなく動的なスライス制御が可能な新たなデータセンタ内ネットワークスライシング技術を研究開発し、その原理動作を実証する。

#### 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の実施

##### 2-d-1. 高機能エッジクラウド情報処理基盤内 NW 構成・制御技術の開発と処理性能検証

高性能エッジクラウド情報処理基盤を実現するための、マルチコアファイバ・大容量スイッチ装置を効率的に利用したネットワーク構成、処理要求に対するネットワークや CPU、メモリ、ストレージ等のリソースの各スライスへの動的な割り当てに用いる制御方式についての方針を確定する。これらの NW 構成と方式について、シミュレーションによる基礎的な評価を行う。

##### 2-d-2. エッジクラウドによる電波有効利用の検証

大容量通信および超多数通信のシナリオを想定し、エッジクラウド技術を導入することによって電波利用効率が増大することを検証するための評価シナリオを検討し、基礎評価を行う。また、電波の有効利用性能を高めるネットワーク・アプリケーション制御手法の検討を開始し、性能解析を行う。

##### 2-d-3. エッジサーバ間の光スイッチング技術の開発

エッジサーバ間の光スイッチング技術の求められる要件について検討を行い、O-Node に関して低遅延性最適構成設計を行うとともに、無線ネットワーク-O-Node 間低遅延接続制御方式の設計・試作と O-Node 間接続方式を実装した制御システムの試作を行い、目標実現のための要件を抽出する。また光スイッチ集積素子については、基本構成の試作を行い、動作条件を明確化する。

#### 2-d-4. B5G とエッジクラウドコンピューティングを活用したスーパースマートタウンに関する研究開発

##### 2-d-4-1. B5G エッジクラウドを活用した実証実験に関する研究開発

研究項目 2-d-4-2 と連携し、各ソフト機能の仮想化によるエッジクラウドの研究開発と実証実験を行う。B5G ヘテロジニアスセルラネットワークのエリア構築を主に行い、B5G エッジクラウドを活用したアプリケーションの開発と実証実験を研究項目 2-d-4-2 と共同で検討する。

##### 2-d-4-2. B5G 仮想化エッジクラウド基盤に関する研究開発

各ソフト機能の仮想化によるエッジクラウドの研究開発と実証実験を行う。ユースケースに

応じた仮想化ネットワークの最適マッピングを主に担当し、B5G エッジクラウドを活用したアプリケーションの開発と実証実験を研究項目2-d-4-1 と共同で検討する。