

革新的情報通信技術研究開発委託研究
Beyond 5G 機能実現型プログラム
基幹課題 研究計画書

課題 001

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



1. 研究開発課題

『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』

2. 目的

現在、各国で導入が進む第五世代移動通信システム（5G）は、大量の端末接続を可能とし、あらゆるモノがネットワークへつながる IoT（Internet of Things）社会の牽引力となっている。さらに、その次の世代の Beyond 5G（B5G）では、IoT の更なる発展に伴い、現実空間とサイバー空間が一体化した「Cyber-Physical System（CPS）」の世界へと大きく進化することが期待されている。この CPS 社会では、現実社会のあらゆるデータ（ビッグデータ）がサイバー空間へと送られ、AI を駆使した情報分析結果を再び現実社会へフィードバックすることにより、大きな社会経済活動の変革（社会システムの効率化、新産業の創出、知的生産性の向上など）がもたらされる。

このような CPS の実現には、「サイバー空間での強力なコンピューティング能力」が不可欠であり、現在では主に「クラウドコンピューティング」（大規模データセンタ）がその役目を果たしている。しかし、インターネットを介した遥か遠方のクラウド処理ではデータ往復の伝搬遅延が大きくなり、リアルタイム性を要するサービス（高度自動運転、遠隔手術、AR/VR 等）への対応が困難である。そのため、メトロアクセスネットワーク周辺に小規模なマイクロデータセンタ（エッジコンピュータ）を分散配置した「エッジクラウドコンピューティング」の導入が期待されている。エッジクラウドコンピューティングが進展すると、現実空間との距離が近いため、極めて低遅延でのリアルタイムサービスが可能になるとともに、大量のセンサ情報の一次処理を行うことで、クラウドに転送するトラフィック量を大幅に低減することが可能となる。これにより、B5G ネットワークのトラフィックが軽減され、更には B5G ネットワークのボトルネックとなり得る基地局及び端末間の無線通信のトラフィックが軽減されることで、有限かつ貴重な周波数資源の有効利用につながることを期待される。しかしその反面、膨大な消費電力、設置場所の確保、分散機器の保守運用コンピューティングリソースの非効率性など、多くの問題を抱えている。さらに、B5G の大きな発展により、エッジクラウドでのデータ処理能力不足が、CPS 社会のボトルネックになることが懸念される。

本委託研究では、これらの問題解決に向けて、これまでにない新たな革新的ハードウェア技術の開発を目指す。その際、日本の強みであるマルチコアファイバ技術を導入し、国際競争力を念頭に置いた差別化を図る。さらに、これら新たなハードウェア技術をベースに、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を行い、B5G 超大容量無線通信（高速大容量（eMBB：enhanced Mobile Broadband）、高信頼・極低遅延（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）、超大量端末（mMTC：massive Machine Type Communication））を最大限に発揮した将来の CPS 社会実現に貢献することを目的とする。

なお、本課題は、「Beyond 5G 研究開発促進事業 研究開発方針」（令和3年1月28日総務省国際戦略局）における「3. 研究開発項目」の「① Beyond 5G 機能実現型プログラム」（p.3）のうち、ア）開発目標（数値目標等）を具体的かつ明確に定めてハイレベルな研究開発成果の創出を目標とし、研究計画書を作成し、実施者を公募する課題（基幹課題）として実施する。

3. 内容

本委託研究では、以下の2つの研究開発項目に対し、研究開発を推進するものとする。

・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

本項目では、データセンタの大容量化、低消費電力化、小型化に寄与することを目的に、以下の3つの研究開発を推進する。

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

VCSEL/PD アレイとシングルモードマルチコアファイバを用いた SDM (空間多重) 方式を採用し、伝送速度 400Gbps (25Gbps x 16 コア) 以上、サイズ 10mm 角以下、消費電力 5W 以下の超小型低消費電力な革新的光トランシーバの実現を目指す。

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

a) で開発した CPO 超小型光トランシーバを、スイッチ ASIC や FPGA 等の周囲に多数装着可能な高密度集積実装技術の実現を目指す。なお、スイッチ ASIC と光トランシーバを装着するボードは、マザーボードと分離し大きさ 10cm 角程度のドータボードとすること。また、光トランシーバの故障時に容易に交換が可能な着脱形態であることが望ましい。

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

従来の“Pizza Box”型スイッチ装置 (スイッチ装置に ASIC1 個が限界) を脱却して、複数の ASIC を装着することにより、スイッチ装置の大容量化・小型化を目指す。b) で開発したドータボードをマザーボード上に、4 個以上装着し、全体で一つのスイッチとして動作させること。

・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

本項目では、エッジクラウドコンピューティング能力の飛躍的向上に寄与することを目的に、以下の4つの研究開発を推進する。

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

従来の ToR (Top of Rack) スイッチを削除して、スイッチ段数を減らすことで、ネットワークの低遅延化を目指す。例えば、サーバ装置から直接光出力させ、光 Fan-in でマルチコアファイバに集約させることで、ToR スイッチの代用が可能である。さらに、従来の Store & Forward 方式ではなく、Cut-through 方式を採用することにより、スイッチ装置の大幅な低遅延化が可能である。これは、マルチコアファイバを用いた CPO 光トランシーバにおいて、各コア独立に異なる光パケットを伝送することにより実現可能である。

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

従来のサーバ装置は、CPU、メモリ等のコンピューティングリソースを少しずつ集約したボックス指向型であり、多くのリソースが使われないで無駄が発生する。本項目では、CPU プールのように各リソースのプール群を形成し、a) で開発したマルチコアファイバを用いたスイッチ装置により極低遅延接続されたリソース分離型コンピューティング構成技術を開発することで、リソースの有効活用を目指す。

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

IoT/B5G で要求される多種多様なサービスを効率よく転送するため、従来は NFV や SDN を用

いたネットワーク仮想化技術や QoS を用いた優先制御などによるネットワークスライシング技術が検討されている。しかし、その様なソフトウェア制御では、データセンタ内ネットワークを動的にスライシングすることは困難である。本項目では、マルチコアファイバを用いて3次元のネットワーク構成を生成するなど、ハードウェア上でレイヤを高速に分離可能な、新たなスライシング技術の確立を目指す。

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

移動体⇄無線通信⇄光通信⇄エッジコンピュータの一連動作を実施し、エッジクラウドコンピューティング応用の有用性を実証することを目的とする。さらに、エッジクラウドコンピューティングの導入が、B5G 無線通信における電波の有効利用に効果的であることを示す。

4. アウトプット目標・アウトカム目標

・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

2024 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

- a) マルチコアファイバを用いた CPO 超小型光トランシーバの研究開発
 - ・伝送速度：400Gbps 以上
 - ・モジュールサイズ：10mm 角以下
 - ・消費電力：5W 以下
- 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
 - ・ドータボードサイズ：10cm 角程度
 - ・CPO 光トランシーバ装着数：8 個以上
- 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 搭載数：4 個以上が望ましい

2022 年度末におけるアウトプット目標

- a) マルチコアファイバを用いた CPO 超小型光トランシーバの研究開発
 - ・上記特性の CPO 光トランシーバのプロトタイプを実現すること。
- 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
 - ・上記最終目標のドータボード基本設計を完了し、その実現可能性を提示すること。
- 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
 - ・上記最終目標のスイッチ装置基本設計を完了し、その実現可能性を提示すること。

アウトカム目標

- 2025 年 光トランシーバ商品化を実現
- 2026 年 スイッチ装置の商品化を実現
- 2027 年 データセンタネットワークの低消費電力化、小型化に貢献
(ただし、ステージゲート評価後も研究を継続した場合)

・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

2024 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

- 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を用いた極低遅延スイッチング技術の構成技術を開発し、研究開発項目1) で作製した CPO 光トランシーバと 64x64 以上のスイッチを用いて原理実証を行うこと。
- 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構成技術を開発し、a) で作製した極低遅延スイッチを活用し、原理実証を行うこと。原理実証においては、一部のリソース（例えば、ストレージ）に関する分割でも構わない。
- 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
 - ・研究開発項目1) で作製した CPO 光トランシーバを活用し、4 スライス以上のスライシングが可能なることを実証すること。
- 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
 - ・移動体⇄無線通信⇄光通信⇄エッジコンピュータを繋ぐ超大容量データ伝送を実施し、エッジクラウドコンピューティングの有用性を実証すること。さらに、上記 a) ～c) の導入に伴うエッジクラウドコンピューティング性能向上及びそれがもたらす電波の有効利用の効果を数値シミュレーションによって実証すること。

2022 年度末におけるアウトプット目標

- 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
 - ・上記最終目標に向けたソフトウェア基本設計を完了すること。
- 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
 - ・上記最終目標に向けたシステム基本設計を完了し、その優位性を明確にすること。
- 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
 - ・上記最終目標に向けたネットワーク構成を明確にし、基本設計を完了すること。
- 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
 - ・上記最終目標の実証実験が達成可能である根拠を明確に提示すること。

アウトカム目標

2027 年 データセンタネットワークの低遅延化に貢献

2028 年 リソース分離型アーキテクチャをデータセンタに導入

2028 年 ネットワークスライシング技術をデータセンタ内に導入

（ただし、ステージゲート評価後も研究を継続した場合）

5. 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数：研究開発項目1)、研究開発項目2)ごとに1件。

研究開発期間：契約締結日から2024年度(2022年度に実施するステージゲート評価を踏まえ、継続の必要性等が認められた場合には、2024年度まで継続予定。ステージゲート評価やBeyond 5G研究開発促進事業の後年度予算の状況等により、研究開発期間を変更する場合がある。認められなかった場合2022年度末で終了。)

研究開発予算：各年度、研究開発項目1)及び研究開発項目2)を合わせて総額1,000百万円(税込)を上限とする(提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。ステージゲート評価やBeyond 5G研究開発促進事業の後年度予算の状況等により、各年度の研究開発予算を変更する場合がある。)

研究開発体制：単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

6. 提案に当たっての留意点

- 研究開発項目1)、研究開発項目2)のいずれか又は両方の研究開発項目に提案することができる。両方の研究開発項目に応募する場合、提案書は一つにまとめること。
- 提案書には、ステージゲート評価後2024年度まで実施することを仮定して、2024年度までの計画を記載すること。
- 具体的目標に関しては、2022年度後半のステージゲート評価を受ける際の中間目標と、当該評価で継続が認められた場合の2024年度の最終目標について、定量的に提案書に記載すること。
- 本研究開発の遂行過程で得られるデータについては、広くオープンにするのが望ましいことから、公開できると想定するデータがある場合には、その公開や利活用促進に関する計画(例：公開するデータの種類、公開先、公開方法等)を提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。
- 本委託研究で研究開発する技術について、具体的にB5Gの実現にあたりどのような分野のどのような知的財産の取得が期待できるのか、何件程度の特許出願を目指すのか、また、知的財産の取得とともに標準化活動の推進も重要であることから、どのような分野のどのような標準の策定が期待できるのか、どのような標準化活動を推進するのか、知財戦略と標準化戦略をどのように一体的に推進しようとしているかについて提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。
- 外国の民間企業、大学、アライアンス、コンソーシアム等との連携体制が構築できている又は計画している場合には、具体的な連携の方法について提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。
- 実施体制については、本研究開発の目的に則した実施体制を構築することとし、それぞれの役割を明記すること。
- 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研

究開発全体の方針について幅広い観点から助言をいただくとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導をいただくため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

- 本研究開発成果の社会実装に向けて、到達目標の項目に記載したマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、体制、方策等を記載すること。その際、持続的に自走するための計画等についても記載すること。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。

7. 運営管理

- 国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）と受託者の連携を図るため、代表提案者は、機構の指示に基づき定期的に連絡調整会議を開催すること。
- 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間調整会議を定期的に開催すること。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、機構が研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

8. 評価

- 機構は、研究開発終了時に終了評価を実施する。2022 年度後半において、評価委員会による評価（ステージゲート評価）を実施し、継続の必要性等が認められた場合には、2024 年度まで委託研究を継続し、2024 年度末に委託研究を終了する。評価の結果、継続性の必要性が認められなかった場合は 2022 年度末に終了とする。
- 機構は、本委託研究終了後に成果展開等状況調査を行い、追跡評価を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも本委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施することがある。

9. 成果の社会実装等に向けた取組み

- B5G の実現を支える技術として、知的財産戦略及び標準化戦略、さらには製品化と海外市場への展開戦略を記載するとともに、知財獲得に向けて必要な取組みを視野に入れること。
- 実用化、事業化、社会実装に向けた出口戦略を明確とすること（委託研究後の事業化等の内容を明確にする）。
- 上記の出口戦略を実現するため、場合によっては本委託研究で得られた成果のオープン化（例えば、成果発表やそれに留まらずコミュニティ先導のための国際ワークショップや国内特別セッション主催、展示、標準化、オープンソース化等）も行う等、成果の社会実装等に向けて必要な取組みを行うこと。

参考

現在、世界中で国家主導のプロジェクトを基に、次世代エッジクラウドコンピューティング技

術の活発な開発競争が繰り広げられている。米国では、ARPA-E Program の ENLITENED が 2017 年にスタートし、LytBit、MOTION、SHINE、PINE 等、9 個のプロジェクトが並行して、様々な実現方法を検討している。また、EU においても同様に、Horizon2020 Program において、plaCMOS、PASSION、MOICANA、3PEAT 等、多くのプロジェクトが進行中である。日本においては、技術研究組合 PETRA において、先進的な研究開発が進められている。また、多くの企業から構成される Gen-Z Consortium や IOWN Global Forum 等が結成され、当該技術に関連した活発な研究活動を推進している。本委託研究では、これら多くのプロジェクトと異なる新たな方法で、次世代エッジクラウドコンピューティング技術を実現し、日本の国際競争力を強化するものである。