

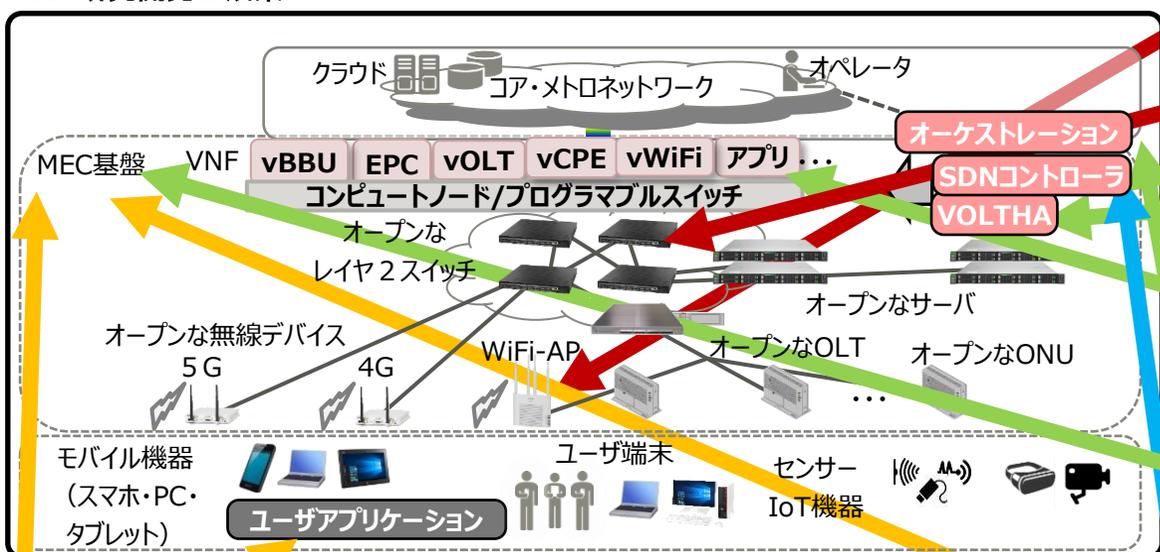
## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 : 5G・Beyond 5Gの多様なサービスに対応する有線・無線アクセスネットワークのプラットフォーム技術の研究開発
- ◆副題 : 5G・Beyond 5Gの多様なサービスに対応する有線・無線アクセスネットワークの仮想化とエッジクラウド基盤技術の研究開発
- ◆実施機関 : 富士通(株)、福井大学
- ◆研究開発期間 : 平成30年度から令和4年度(5年間)
- ◆研究開発予算 : 総額250百万円(令和2年度50百万円)

## 2. 研究開発の目標

5G・Beyond 5G時代に向けて、多種多様なサービスを誰もがいつでもどこでも容易に利用できる社会を実現するために、サービス多様化に対応する有線・無線アクセスネットワークの仮想化技術とエッジクラウド基盤技術を確立する。

## 3. 研究開発の成果



研究開発項目1-1: マルチベンダ光、無線アクセス装置のオープン化技術開発(富士通) オープンなアクセス機器とOSSを活用し光アクセス/無線アクセス/Wi-Fiアクセスの各ネットワーク基盤を設計/構築し、評価を実施した。

研究開発項目1-2: マルチベンダレイヤ2装置のオープン化技術開発(富士通) オープンなレイヤ2スイッチ機器およびプログラマブルスイッチ機器とOSSを活用し、Fabricネットワーク基盤を設計/構築し、評価を実施した。

研究開発項目1-3: マルチベンダ次世代光、無線アクセス装置のオープン化技術開発(富士通) 次世代の光、無線アクセス装置のオープン化技術/市場調査を実施した。

研究開発項目2-1: 光、無線アクセス機能のNFV化技術開発(富士通) オープンコミュニティが提供するOSSを活用し、光/無線/Wi-Fiアクセスの各機能をNFV化するための設計/構築を実施し、評価を実施した。

研究開発項目2-2: オープンネットワークコントローラ、NFVコントローラ技術開発(富士通) オープンコミュニティが提供するOSSを活用し、オープンネットワークコントローラとNFVコントローラを設計/構築し、評価を実施した。

研究開発項目2-3: スケーラビリティ対応による実用化開発(富士通) 構築した基盤に45台程度のオープンネットワーク機器を接続した評価を実施し、性能やスケーラビリティの課題を抽出した。

研究開発項目3-1: ネットワーク論理パス設定自動化技術開発(富士通) 光・無線ドメインごとに機器接続や起動をトリガとして各ドメインにおけるパスの自動化制御を設計/構築し、評価を実施した。

研究開発項目4-1: MEC技術開発(富士通) MEC内リソースのリアルタイム性能統計情報収集技術を開発し、サーバ上のアプリ実処理時間をネットワーク側からバケット毎にリアルタイム測定可能とする技術を確立、その結果に基づきシステム内リソースに対して自動で最適な制御を行うことを可能とするClosed Loopシステムを開発した。さらに、本システムをGTP通信を行うネットワークにおいても適用可能とする技術を確立した。また、仮想ブリッジ機能の低遅延化に向けた性能改善施策・検証を行った。

研究開発項目4-2: MECアプリケーション設計及び実用性・有効性評価(福井大学) MECプラットフォームで利用するスマートフォン用の多人数情報共有型ARアプリケーションを設計し、本アプリケーションを開発して実用性・有効性を評価した。また、MEC基盤と連携した実験評価も行い、さらに一体最適化資源利用技術と連携する動的タスク割当技術も実装した。

研究開発項目4-3: アプリケーションと連動する一体最適資源利用技術(福井大学) 多人数情報共有型ARアプリケーションと連動する一体最適化制御利用技術を確立した。本技術の性能はシミュレーションで評価し、最適割当の近似解を導出できることと高速処理が可能であることを示した。また、通信トラフィック量の削減効果を解析で評価し有効性を示した。さらに、一般的なアプリケーションを対象とした一体最適化資源利用技術を確立し、その有効性を示した。

# 主な成果 - その1: 富士通

## 研究開発項目1: ネットワーク装置のオープン化技術

研究開発項目1-1: マルチベンダ光、無線アクセス装置のオープン化技術開発  
 研究開発項目1-2: マルチベンダレイヤ2装置のオープン化技術開発

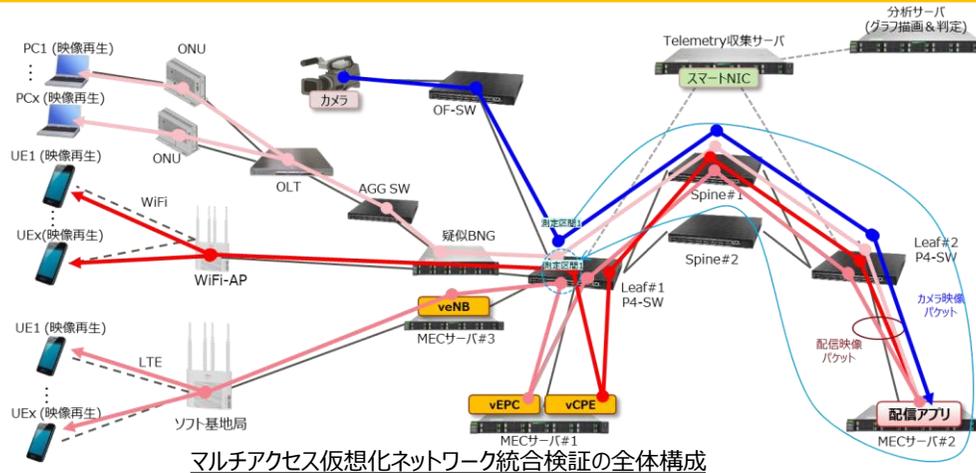
## 研究開発項目2: ネットワーク仮想化基盤技術

研究開発項目2-1: 光、無線アクセス機能のNFV技術開発  
 研究開発項目2-2: オープンネットワークコントローラ、NFVコントローラ技術開発

## 研究開発項目3: ゼロタッチ制御技術

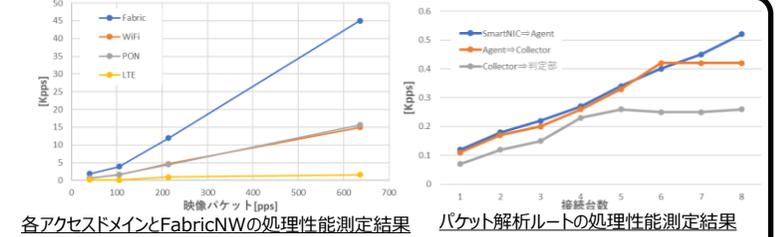
### 研究開発項目3-1. ネットワーク論理パス設定自動化技術開発

#### オープン機器・オープンソフトウェアで構築したマルチアクセス仮想化ネットワークの統合検証



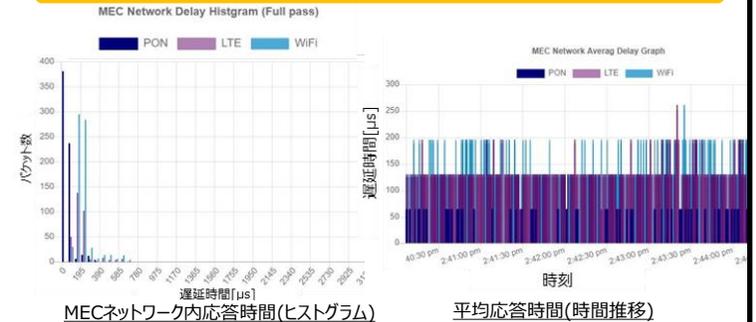
マルチアクセス仮想化ネットワーク統合検証の全体構成

オープン機器/オープンソフトウェアのみで構築した有線・無線マルチアクセスネットワーク仮想化基盤において45台程度の機器を接続した検証を行い、現状システムの性能を測定・分析し、性能やスケーラビリティの課題を抽出



各アクセスドメインとFabricNWの処理性能測定結果      パケット解析ルートの処理性能測定結果

#### 各アクセスドメインやパケット解析ルートにおける処理性能を測定



MECネットワーク内応答時間(ヒストグラム)      平均応答時間(時間推移)

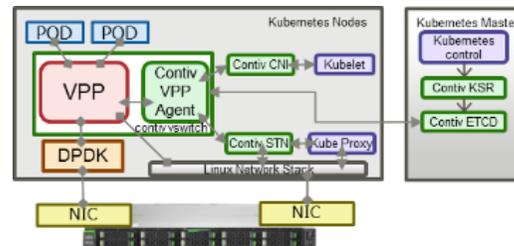
アクセスドメインごとにMECネットワーク内通信・処理時間のリアルタイム計測・可視化

## 研究開発項目4: エッジクラウドとネットワークの一体最適制御技術

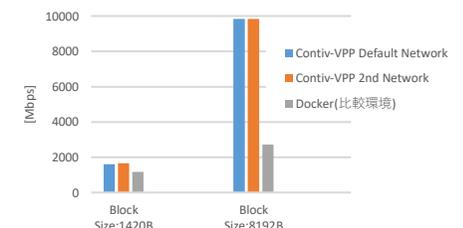
### 研究開発項目4-1: MEC技術開発(1/2)

#### 仮想化ブリッジ性能改善

クラウドコンピューティング領域から始まり、ネットワーク領域においても主流となりつつあるコンテナ型の仮想化基盤における仮想ブリッジのパケット処理性能改善のため、オープンなパケット処理高速化技術DPDKをベースとしたコンテナネットワークプラグインであるContiv-VPPの性能を検証



コンテナ対応仮想化基盤における性能改善施策導入構成



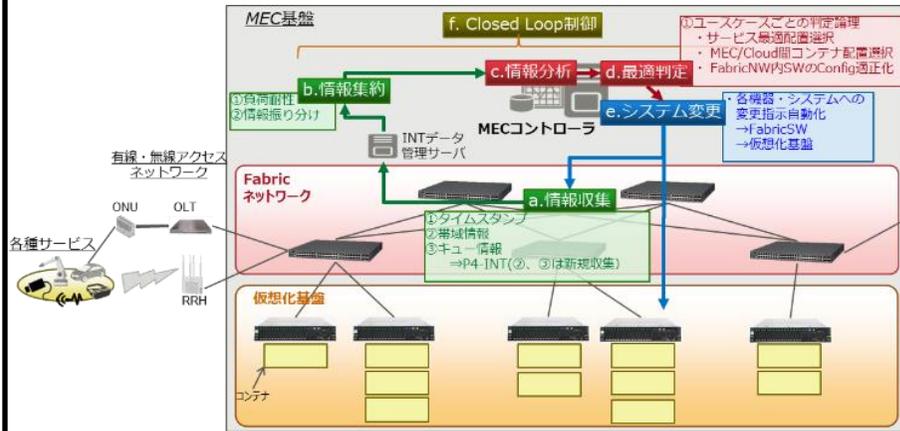
スループット測定結果(UDP)

# 主な成果 - その1: 富士通

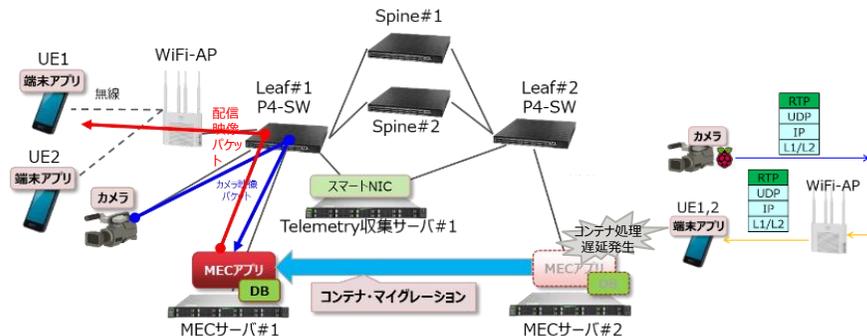
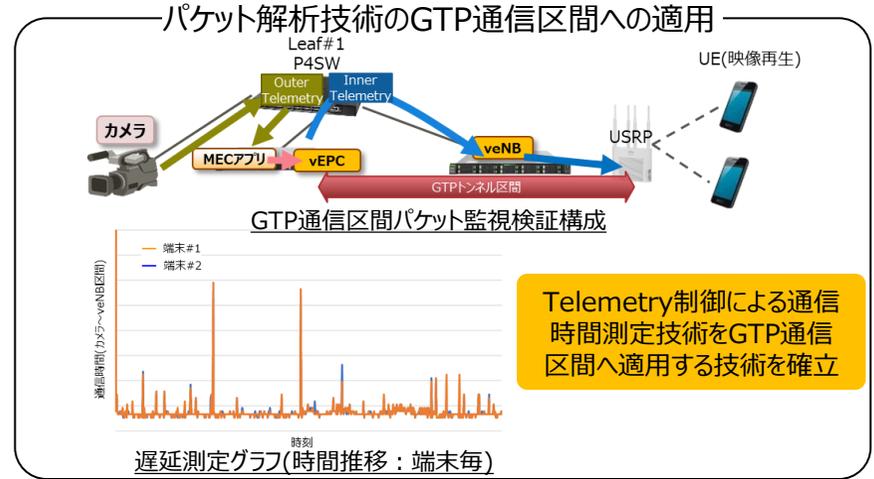
## 研究開発項目4: エッジクラウドとネットワークの一体最適制御技術

## 研究開発項目4-1: MEC技術開発(2/2)

### システム状態モニタと解析技術を用いたシステムリソース最適制御Closed Loop技術



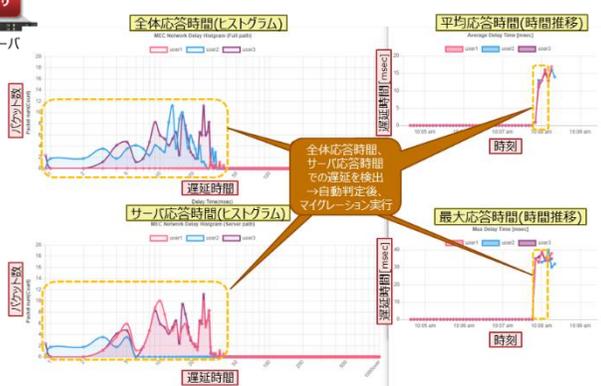
システムリソース最適制御Closed Loop技術の全体構成



情報収集システム構成

映像配信ユースケース: コンテナ・マイグレーション(サーバ#2→#1)

In-bandの実データパケットをリアルタイムに監視する手法により、ユーザの実サービスに関わる通信状況をより正確に計測し、その結果に基づいてシステム内リソースに対して自動で最適な制御を行うことを可能とするClosed Loopシステムを開発



遅延測定グラフ(左: ヒストグラム、右: 時間推移)

従来のクラウドサービスをMEC基盤上でも実行可能なMEC基盤を構築、最適な資源配備をリアルタイム、且つ、自動で行うClosed Loop制御技術を確立し、現状、従来比約1/10の帯域効率化を実現

## 研究開発項目4: エッジクラウドとネットワークの一体最適制御技術

### 研究開発項目4-2: MECアプリケーション設計及び実用性・有効性評価

#### 一体最適資源管理技術の効果を示すアプリへの拡張

拡大  
fps:?? 処理遅延時間  
ms: 117

処理場所	MEC 低負荷 (青枠)	MEC 高負荷 (赤枠)
MEC	10ms	500ms
クラウド	100ms	100ms

MECサーバは各端末に低優先タスクの処理場所を通知  
 ・青枠: MECサーバで処理  
 ・赤枠: クラウドサーバで処理  
 (MECプラットフォームとタスク割り当てアルゴリズムの連携)

#### 一体最適資源管理技術のトラフィック量削減効果に関する性能解析

トラフィック量の導出式 (ランダム割当)

$$D = \sum_{i=1}^N \left\{ 2L_1 + 2x_1 \frac{n_1}{N} P_1^i + 2x_2 \frac{n_2}{N} P_2^i \right\}$$

トラフィック量の解析結果

### 研究開発項目4-3: アプリケーションと連動する一体最適資源利用技術

#### 動的タスク割当技術に対する一体型資源利用アルゴリズム

2種類のMECサーバをもつMECプラットフォームに対して以下の最適化問題を定式化し右の発見的アルゴリズムで解を導出する.

$$\min_{\chi, \psi, \omega} \sum_{i=1}^N \{T_i^1 \chi_i + T_i^2 \psi_i + T_i^S \omega_i\}$$

提案アルゴリズムの評価結果

実行時間

$N$	GA [sec]	Proposed [sec]
10	1,004.345	0.093
20	1,048.478	0.184
30	1,720.223	0.266

#### 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
1 (1)	0 (0)	0 (0)	20 (9)	4 (4)	0 (0)	1 (1)	2 (1)

- (1) サーバ上で処理される送受信パケットの対応関係を特定する技術を新規考案・開発し、国内特許出願した【開発項目4-1】。 ※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数
- (2) エッジやネットワーク技術とそれを活かすリソース配備の自律性と最適化に関する取り組みについて、OKINAWA OPEN DAYS 2020で発表し、他参加者と意見交換を行った。
- (3) 仮想ブリッジ性能改善の施策(DPDK+Contiv-VPP環境の構築・評価)を沖縄オープンラボラトリーの5Gプロジェクトにおいて共有した【開発項目4-1】。
- (4) 2020年11月1月～31日(希望者限定で12月25日まで期間が延長された)に、ふくいITフォーラム2020 ON THE WEBで、開発したアプリと動的タスク割当技術をオンライン展示し、数多くの参加者に本アプリ及び技術を紹介することができた【開発項目4-2】。
- (5) 多数の研究発表を行い、開発したアプリケーションに関する成果発表が2年連続で電子情報通信学会北陸支部にて学生優秀論文発表賞として表彰された【開発項目4-3】。

#### 5. 今後の研究開発計画

- **研究開発項目1-3 マルチベンダ次世代光、無線アクセス装置のオープン化技術開発(富士通株式会社)**  
40G対応のNG-PON2や5Gなど次世代の光、無線アクセス装置に関する最新のオープン化技術調査、市場調査を実施し、機器およびOSSの選定を行う。(研究開発項目1-1、研究開発項目1-2については令和2年度で実施完了)
- **研究開発項目2-3: スケーラビリティ対応による実用化開発(富士通株式会社)**  
第1期で実施した評価/実証実験の結果から性能やスケーラビリティの課題を洗い出し、実用化に向けたパフォーマンス/信頼性向上のための構築環境のチューニングや機能拡充を行う。また、ネットワーク仮想化システム全体の性能や効率を向上させる技術(アクセラレーション、ロードバランシング、等)をネットワーク仮想化分野に適用することで、最終年度までに1Mpps以上のパケットを安定的に処理可能なシステムを実現するための技術手法の調査・実現性検討を行う。(研究開発項目2-1、研究開発項目2-2については令和2年度で実施完了)
- **研究開発項目3-2: 論理パスに連動するネットワークスライス制御技術開発(富士通株式会社)**  
コンピュータノード内、並びに、Fabric網レイヤ2スイッチ内のQoS制御機能と、これらを一括して設定を可能とするオーケストレータ機能の開発・検証を行う。(研究開発項目3-1については令和2年度で実施完了)
- **研究開発項目4-1: MEC技術開発(富士通株式会社)**  
第1期で構築したクローズドループ機能をベースのシステムとして、項目4-3をはじめとする様々な最適判定アルゴリズムを搭載させてMECネットワークの最適判定を行うことを可能とするシステムを実装する。また、実パケットを直接監視するネットワーク機能において、遅延測定の粒度を100マイクロ秒オーダー以下まで高めるための方式検討を行い、検討結果に基づき、プログラマブルスイッチやスマートNICカードの開発・検証を行う。
- **研究開発項目4-2: MECアプリケーション設計及び実用性・有効性評価(国立大学法人福井大学)**  
第1期に開発したMECアプリケーションに実装済みの動的タスク割り当て技術を修正し、研究開発項目4-3で開発したアルゴリズムを実装する。また、研究開発項目4-1によって収集する情報をアルゴリズムで使用するための改良も行う。それから、実装したアルゴリズムの実装実験を行う。
- **研究開発項目4-3: アプリケーションと連動する一体最適資源利用技術(国立大学法人福井大学)**  
一体型最適資源利用技術を開発項目4-1および4-2と連携させ、小規模実験で効果を調査して実装上の問題点を洗い出す。それから、問題点を解決できるようにアルゴリズムを改善する。さらに、第1期に確立した一般的な環境での一体型最適資源利用技術はその効果をシミュレーションで評価済みであるため、開発項目4-1と4-2との連携を想定して改善を行う。とくに、アルゴリズムで使用する情報と収集可能な情報の調整を行い、アルゴリズムで使用する情報の変更も含めて改良する。さらに、タスク割り当ての公平性の観点から資源の最適利用を実現する技術の確立にも取り組む。