令和4年度研究開発成果概要図 （目標・成果と今後の成果展開）

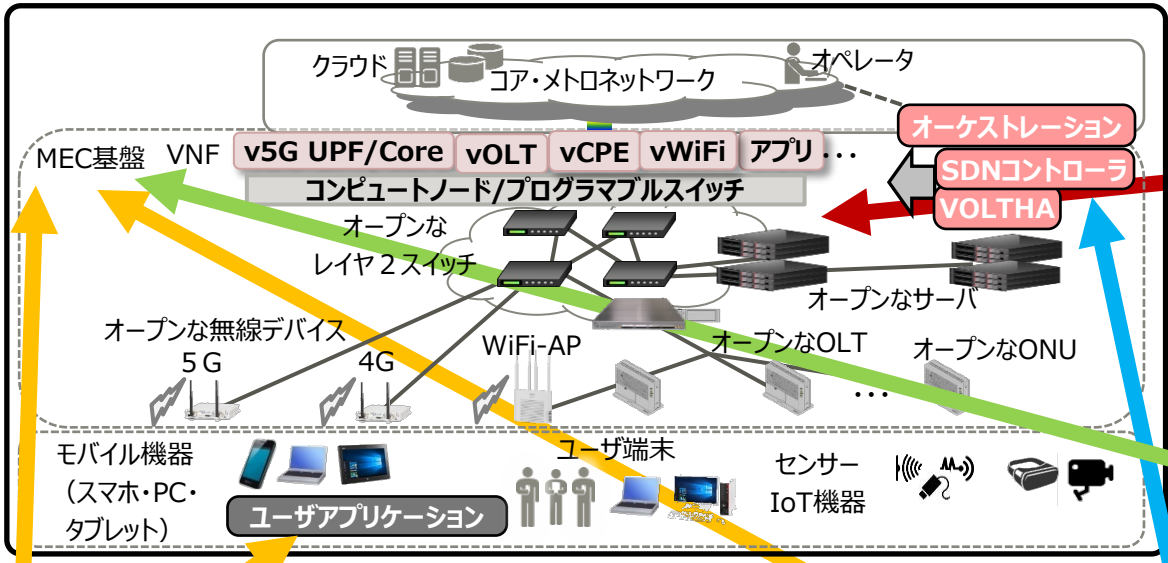
1．研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

◆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
◆受託者　　：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　：平成30年度から令和4年度までの総額250百万円（令和4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、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)
　オープン機器/オープンソフトウェアのみで対応可能な有線・無線アクセスネットワークを構築可能な技術を確立した。
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)
　オープン機器でのプラガブル型OLT/5G/WiFi-6/PTP対応プログラマブルスイッチについて、項目1-1,1-2にて確立した仮想化ネットワーク基盤技術にて基盤構築可能なことを確認した。
研究開発項目2-1：光、無線アクセス機能のNFV化技術開発、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)
　項目1で構築した各アクセスネットワークのオープンエコシステムを1つの仮想化基盤上で統合管理する技術を確立した。
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)
　パケット処理高速化、ロードバランシング技術によりBeyond5G要件を想定した1Mpps超の安定したパケット処理性能の仮想化システムを実現した。
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、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)
　コンピュータリソースとネットワーク遅延状況に応じて、通信経路やパケット処理場所を動的に切り替える自動制御技術を開発し、ユーザの体感品質向上につながるサービスの応答遅延時間低減を実現した。
研究開発項目4-1：MEC技術開発(富士通)
　VPP/SR-IOVを対象とした仮想ブリッジ高速化技術の組み込み、INT活用による100us以下の測定精度のリアルタイム遅延情報収集技術を開発、上記技術を用いたシステムリソース最適制御Closed Loopシステムを開発し、低遅延性と1Mpps以上のパケット処理能力を満たす自律型MEC基盤を実現した。

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)
　一体型最適資源利用技術である動的タスク割当アルゴリズムをMEC基盤で利用するためのサーバプログラムと携帯端末用アプリを開発し、構築した小規模実験システムで動的タスク割当アルゴリズムの実験評価を行いその有効性を示した。また性能解析から、一体型最適資源利用技術を活用した場合にコア・メトロ網の伝送帯域を1/100以下に削減できることを示した。
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)
　最適化問題に基づく動的タスク割当アルゴリズムを確立し、メタヒューリスティックアルゴリズムとヒューリスティックアルゴリズムによる求解によって、総応答時間を減少可能なタスク割当を実現した。さらに、本割当に基づきMEC基盤で利用可能なアルゴリズムを確立した。

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

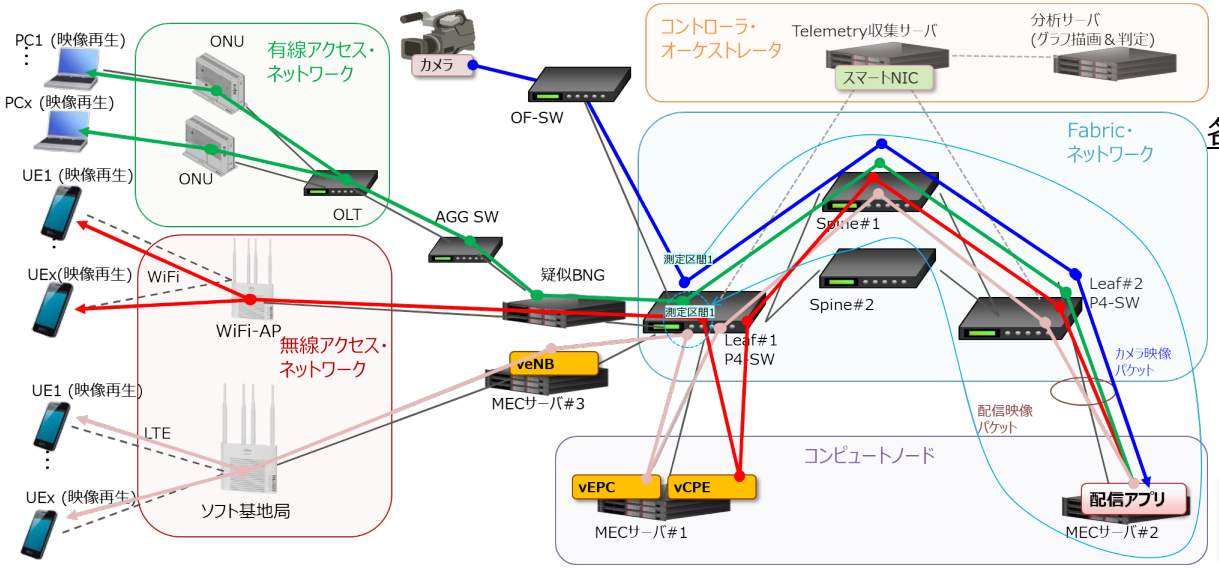
研究開発項目2：ネットワーク仮想化基盤技術

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

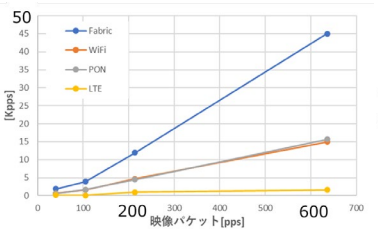
研究開発項目3：ゼロタッチ制御技術

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

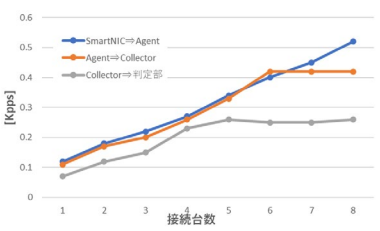
オープン機器・オープンソフトウェアで構築した
マルチアクセス仮想化ネットワークの統合検証



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

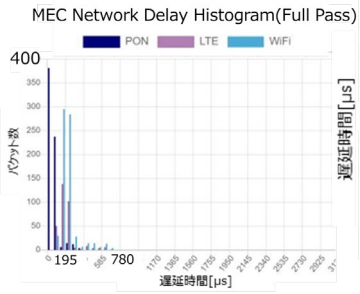


各アクセスドメインとFabricNWの処理性能測定結果

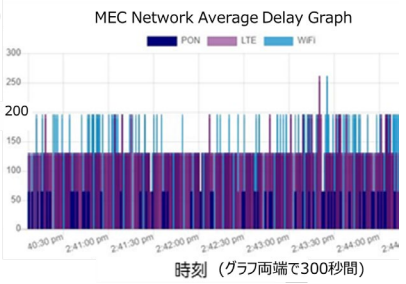


パケット解析ルートの処理性能測定結果

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)

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**

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

主な成果 － その1：富士通

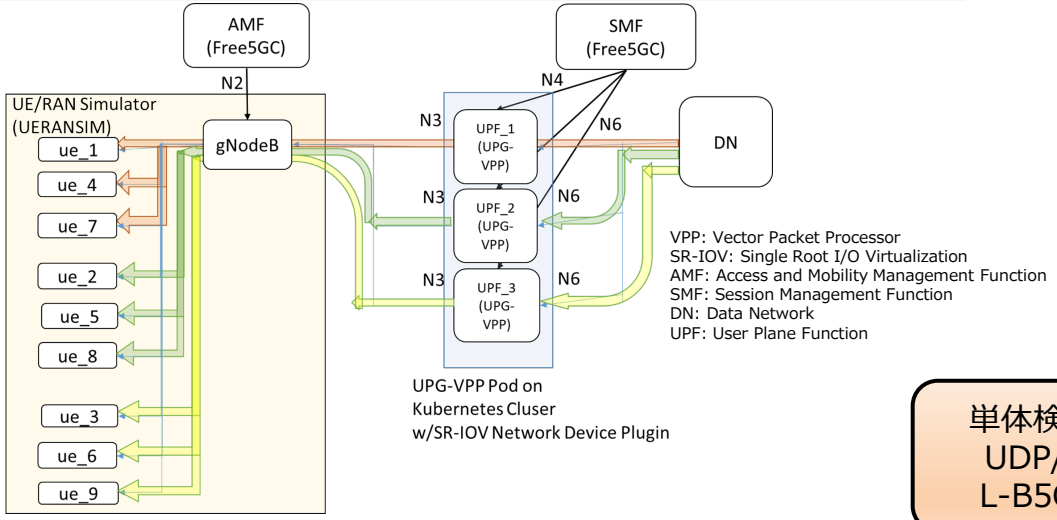
研究開発項目1：ネットワーク装置のオープン化技術

研究開発項目1-3：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

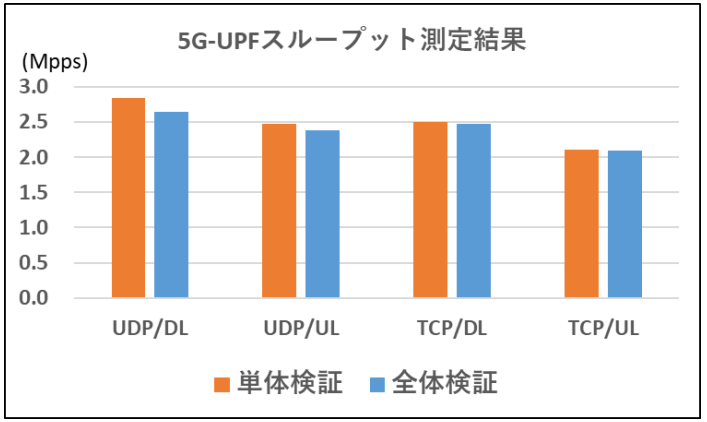
研究開発項目2：ネットワーク仮想化基盤技術

研究開発項目2-3：スケーラビリティ対応による実用化開発

VPP、SR-IOVプラグイン適用による**アクセラレーションとロードバランシング**による
ソフト化5G-Core機能(主にUPF部)のシステムスループット性能向上検証



5G-UPFスループット性能向上の検証構成

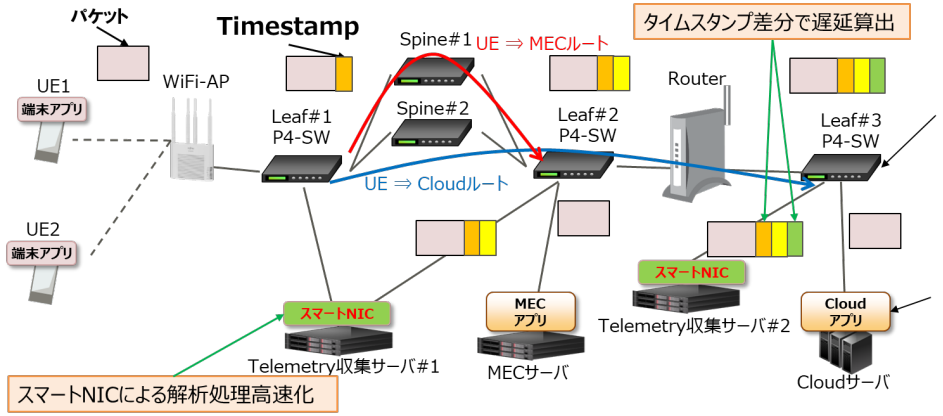


5G-UPFスループット性能改善結果

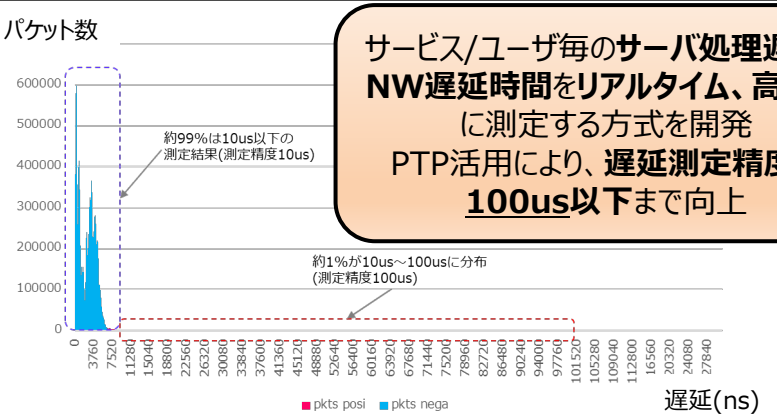
単体検証、および項目4-1のMEC基盤との結合システム検証にて、
UDP/TCP、Uplink/Downlinkのすべての組み合わせにおいて、
L-B5G想定要件の**1Mpps超**のスループットを仮想化NWで達成

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)



INT(*)を活用した遅延測定方式 (*)In-Band Network Telemetry



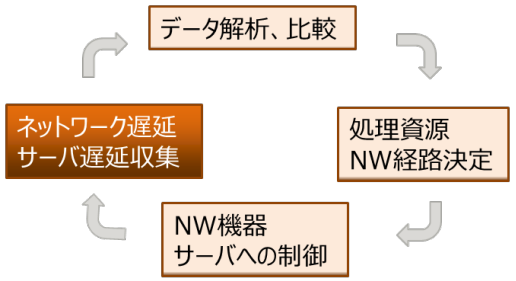
遅延測定精度単体検証結果

サービス/ユーザ毎の**サーバ処理遅延、NW遅延時間**を**リアルタイム、高精度**に測定する方式を開発
PTP活用により、**遅延測定精度を100us以下**まで向上

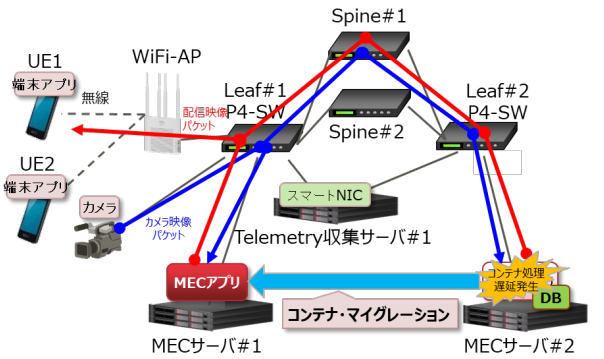
主な成果 － その1：富士通

研究開発項目3：ゼロタッチ制御技術　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
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)

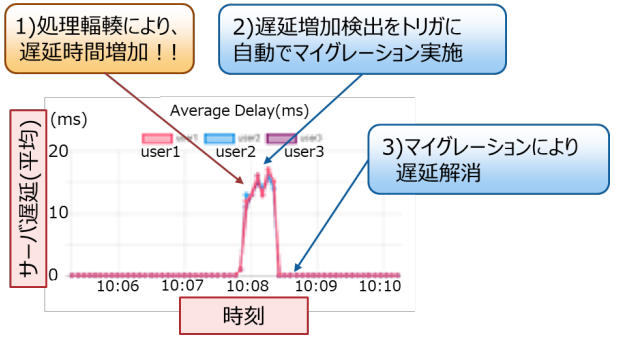
・Closed Loopのフレームワーク



リアルタイムなネットワーク遅延/サーバ遅延収集結果をもとに、**システム制御を自動で行う、Closed Loop**を構築

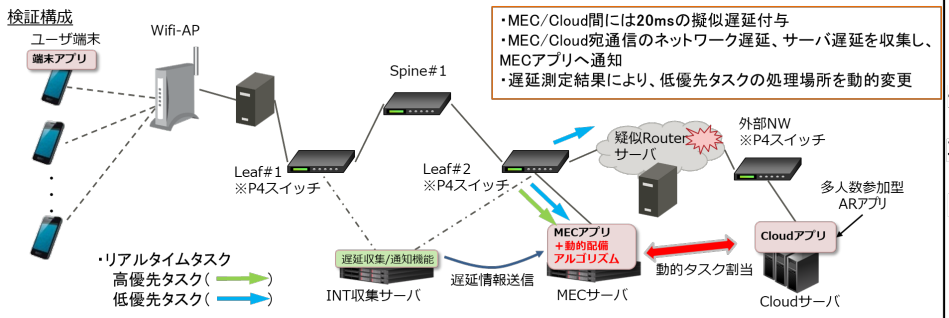


映像配信ユースケース：コンテナ・マイグレーション(サーバ#2→#1)

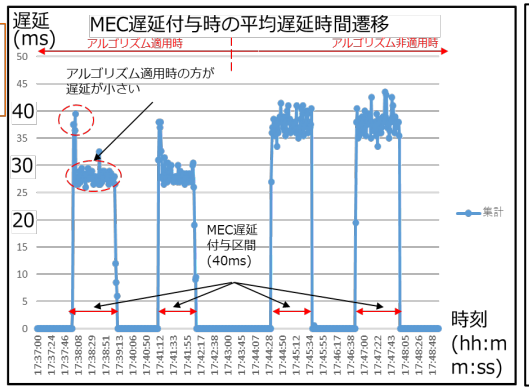


サーバ遅延時間測定
(時系列表示)

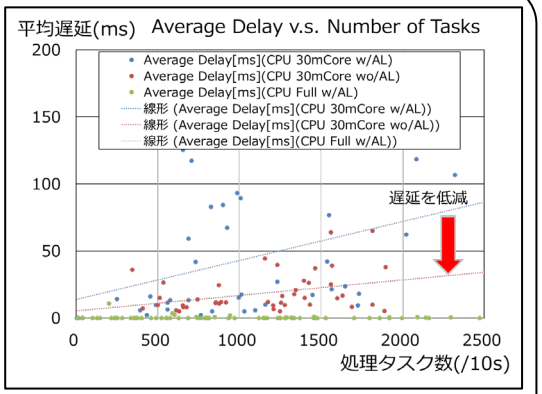
システムの輻輳箇所を特定し、**自動的に遅延を解消する**自律型エッジ・プラットフォームを実現



動的配備アルゴリズム/プラットフォーム連携構成



動的配備アルゴリズム連携動作検証結果



トータル遅延低減効果検証結果

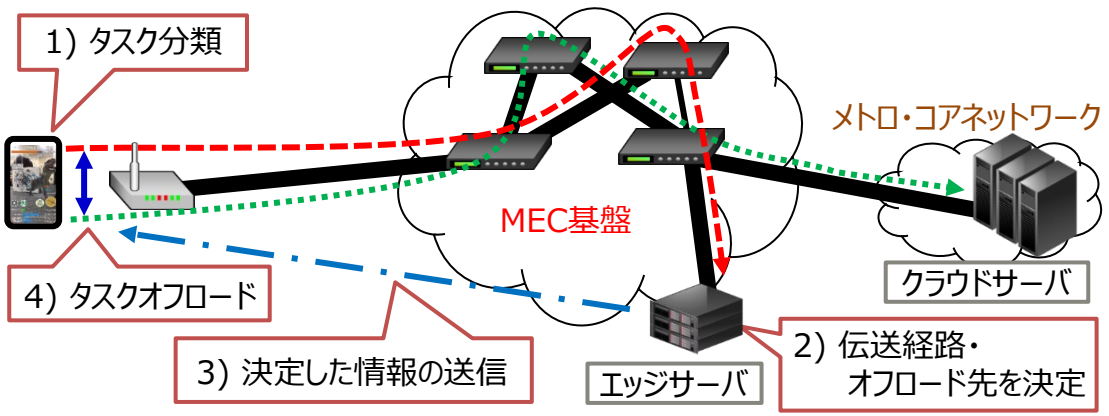
遅延測定結果と動的タスク割当アルゴリズムを連携可能なMEC基盤を構築し、サーバの輻輳状況と各サービス・タスクの要求基準から、最適なタスク処理場所をMECサーバとCloudサーバからリアルタイムに選択することで、ユーザ全体の**トータル遅延低減**を実現　※本検証構成にて**約50%**低減

主な成果 － その2：福井大学

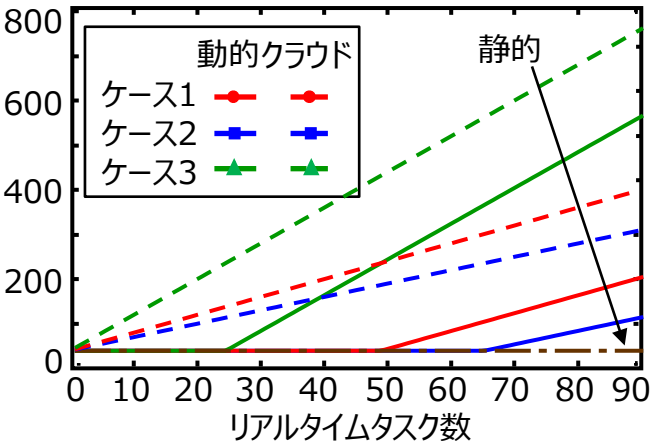
研究開発項目4：エッジクラウドとネットワークの一体最適制御技術

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
研究開発項目4-3アプリケーションと連動する一体型最適資源利用技術開発

動的タスク割当アルゴリズムの処理手順：アルゴリズムをエッジサーバに実装



メトロ・コア網へのトラヒック量を1/100以下に低減可能

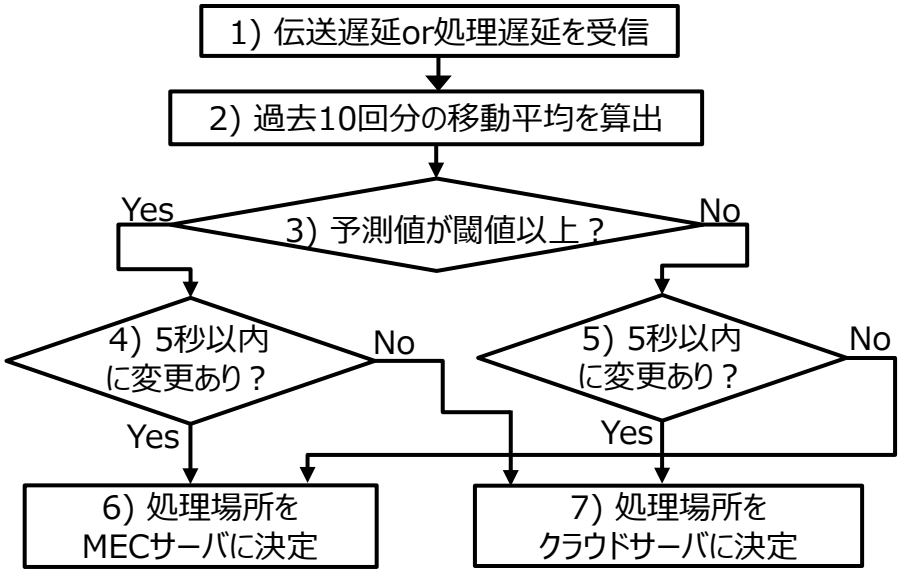


MECサーバの処理能力が低いと、トラヒック量が増加

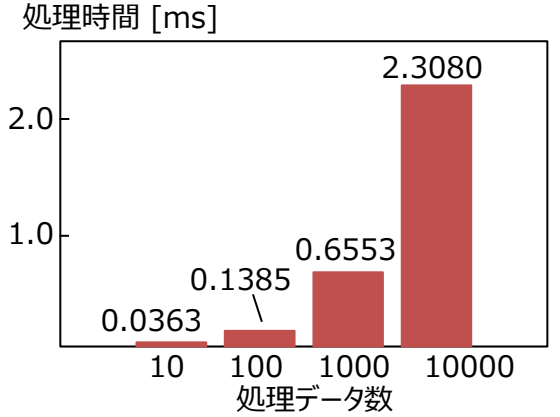
MECサーバの常時利用でトラヒックの削減効果が最大

動的タスク割当アルゴリズムを活用するアプリケーションを開発

MEC基盤に実装したアルゴリズム



アルゴリズムの処理性能



処理量によっては、動的タスク割当アルゴリズムがボトルネック化

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
2 (1)	0 (0)	2 (2)	28 (4)	6 (0)	0 (0)	2 (1)	2 (0)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

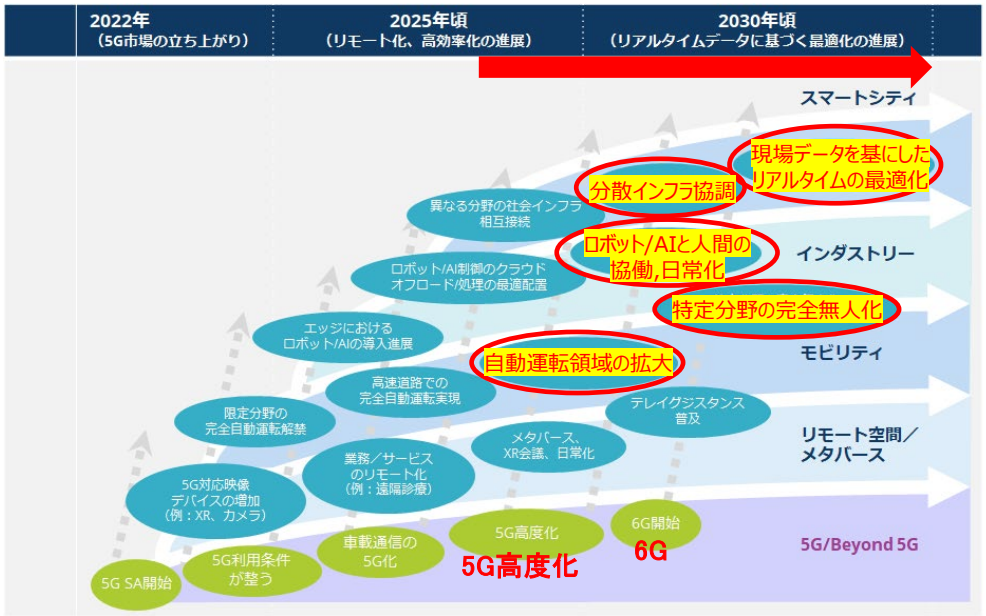
(1)オープンな機器とOSSを用いて、光アクセス、無線アクセス、Wi-Fiアクセスネットワーク基盤、およびNFV基盤をそれぞれ設計、構築、性能検証を実施した。また、その取り組みについて、Open Networking Conference Japan 2019 BoF、IEICEソサイエティ大会2020にて発表し、他参加者と意見交換を行った。
(2)INT活用による100us以下の測定精度のリアルタイム遅延情報収集技術を確立し、遅延情報をインプットとしたシステムリソース自立最適制御Closed Loopシステムを開発した。これらの技術および検証成果について2022年PN研究会にて招待講演を行った。割当アルゴリズムに関する招待講演も1件行った。
(3)INT活用による遅延測定技術については、サーバ上のアプリ実処理時間測定に対応する新規技術を確立し、特許を取得した。
(4)動的タスク割当アルゴリズムとエッジ基盤に関する学術論文がIEEE Communications Magazine(IEEE ComSocのフラグシップ論文誌)の2022年8月号に掲載され、2023年1月末時点でオンライン版のダウンロードが500件超のダウンロード実績を達成した(本論文誌の冊子体は希望するIEEE ComSoc会員に郵送)。
(5)電子情報通信学会北陸支部で学生2名が優秀論文発表賞をそれぞれ1件ずつ受賞し、当該学生は本内容で修士号を獲得して人材育成に貢献した。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- 本研究ではBeyond 5Gに向けた低遅延、多数接続性、自律性に重要な要素技術を確立することができた。確立した遅延測定技術、仮想化基盤性能向上技術などの技術は、個々の技術として製品あるいはソリューションに適用・組込みが可能である。そして、それら技術を個々に活用しスマートシティやインダストリー領域のCyber Physical Systemとしてコンピューティング技術と一体とした新たな製品・ソリューションへ応用可能である。

- 5G市場は立ち上がったばかりであり、今後は2025年以降の5G高度化、6Gに向け、新サービス・市場動向を鑑みながらビジネス化を推進していく。

従来の通信キャリアはもとより通信キャリアがカバーしづらい地域や産業の個別ニーズに対してもユーザーが抱える様々な課題解決に貢献



出展:IDC Japan「2022年国内産業分野向け5G市場動向分析:ユースケースとベンダ戦略」
(https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prJPJ49097922)

Beyond 5G

- 超高速・大容量
- **超低遅延**
- **多数接続**

＋

- **自律性**
- 拡張性
- 超安全・信頼性
- 超低消費電力