

## O-RANアーキテクチャーの採用で柔軟な構成変更を可能にしたローカル5Gシステム

Local 5G System Capable of Flexibly Changing Configuration Based on Open RAN Architecture

アドナン アイジャズ Adnan AIJAZ 鬼塚 浩平 ONIZUKA Kohei  
米澤 祐紀 YONEZAWA Yuki 谷口 健太郎 TANIGUCHI Kentaro

5G（第5世代移動通信システム）を活用したローカル5Gシステムは、携帯電話事業者に依存せずに独自のネットワークを構築できるため、製造現場やオフィスなどの様々な環境での利用が期待されている。一方で、アプリケーションごとに異なる通信要求に対応するには、ローカル5Gシステムのカスタマイズが必要であり、迅速な導入や保守の実施が難しい。

東芝は、O-RANアライアンスに準拠したオープンなプラットフォームを用いて、柔軟に構成変更できるローカル5Gシステムを構築した。エンドツーエンドなネットワークスライスの自動生成・管理を実現する技術を開発し、マルチベンダー基地局でのフィールド実証を通して、安定動作を確認した。

A local 5G system, which allows municipalities and companies to build and operate their own fifth-generation mobile communication system (5G) networks according to regional and individual needs independent of mobile network operators, is expected to be used in various environments such as manufacturing sites and offices. However, as customization of local 5G systems is necessary to meet the different communication requirements of individual applications, introduction delays and maintenance difficulties have become serious issues.

Toshiba Corporation has established a local 5G system whose configuration can be changed flexibly and is compliant with an open radio access network (Open RAN) architecture formulated by the O-RAN alliance. We have developed a method to automatically generate and manage the end-to-end network slices, confirming stable operation through demonstration tests using the multivendor base station.

### 1. まえがき

ローカル5Gシステムは、特定のエリア・用途に独自の5Gネットワークを構築できるため、製造現場やオフィスなど幅広い分野への応用が期待されている<sup>(1)</sup>。高速・大容量、低遅延、多接続といった特徴があり、様々な領域におけるICT（情報通信技術）基盤としてのポテンシャルを秘めている。

ローカル5Gシステムの導入は、世界各国で進んでいる。国ごとの法規制で利用できる周波数帯が異なり、例えば、イギリスでは3.8–4.2 GHz帯、ドイツでは3.7 GHz帯、韓国では4.7 GHz帯、我が国では4.6–4.9 GHz帯である。

従来のローカル無線ネットワークは、通信の安定性・信頼性などが十分でなかったが、ローカル5Gシステムの導入によってこれらの解決が期待できる。一方、ローカル5Gシステムは、アプリケーションごとの通信要求に合わせてカスタマイズが必要であるが、システムの柔軟性と導入・保守容易性に課題があるため、スムーズな導入・保守のハードルとなる。

モバイル通信の業界では、オープンRAN（Radio Access Network）と呼ばれるオープンな基地局アーキテクチャーが注目されている。オープンRANは、基地局を構成するコンポーネントの分離とオープン化を目指している。ハードウェア

とソフトウェアの分離や、ソフトウェア間をつなぐオープンな通信プロトコルの使用が可能である。

オープンRANの中でも、O-RANアライアンス<sup>(2)</sup>によって定義されるO-RANアーキテクチャーは、オープンなインターフェースを用いた独自機能の追加が特徴であり、システムの柔軟な構成変更が可能になる。これにより、従来の単一ベンダーの基地局では困難とされていたコンポーネント間連携が可能となり、基地局に新たな価値を創造できる。このようなコンポーネント間の連携に利用するオープンなインターフェース及びプラットフォームは、RIC（RAN Intelligent Controller）と呼ばれる。

ここでは、まずO-RANアーキテクチャーを採用することで、複数ベンダーでの構成を実現したローカル5Gシステムについて述べる。次に、アプリケーションごとに異なる通信要求に対して動的に通信資源を割り当てるエンドツーエンドネットワークスライシング技術について述べる。最後に、イギリスのファンディングプロジェクトの一つであるBEACON-5Gプロジェクト<sup>(3)</sup>を通じたフィールド実証を行い、システムの安定動作を確認したことを示す。

### 2. O-RANによるローカル5Gシステム

東芝は、O-RANアーキテクチャーを採用してローカル5G

システムを構築した。このシステムは、3GPP (3rd Generation Partnership Project) と O-RAN が定義したオープンインターフェースを備えるコンポーネントを組み合わせたマルチベンダー基地局である。3GPP が定義するリリース 15 に準拠しており、O-RAN のニアリアルタイム RIC と非リアルタイム RIC の両方に対応している。

基地局は、無線信号を送受信する Radio Unit (RU)、通信割り当て制御を行う Distributed Unit (DU)、端末を管理する Centralized Unit (CU)、及び端末の認証や通信経路を確立するコアネットワーク (CN) で構成した。

構築したローカル 5G システムは、図 1 に示すように、汎用のサーバー上に、ソフトウェアスタックである DU・CU・CN を動作させた。RU は、ベンダーに依存したハードウェアコンポーネントで構成した。

当社は、周波数帯が異なるイギリスと我が国のそれぞれの法規制のつと、ここで構築したローカル 5G システムの疎通試験を実施した。

ローカル 5G システムの上り・下り通信のスループットは、データ変調の単位であるシンボルと、シンボルをまとめたスロットと呼ばれる時間スケジューリングの単位とで決定される。ここでは、アプリケーション用途に応じた上り・下り通信の割り当てについて、帯域幅に 40 MHz を利用した場合のスループットについて述べる。

下り通信を中心に利用する場合、下り通信に 7 スロット、上り通信に 2 スロットを割り当て、下り・上り通信の間にスロットを構成するシンボルのうち、下り通信に 6 シンボル、上り通信に 4 シンボル割り当てること、下り通信の最大スループット 250 Mビット/s、上り通信の最大スループット 25 Mビット/s を実現できた。

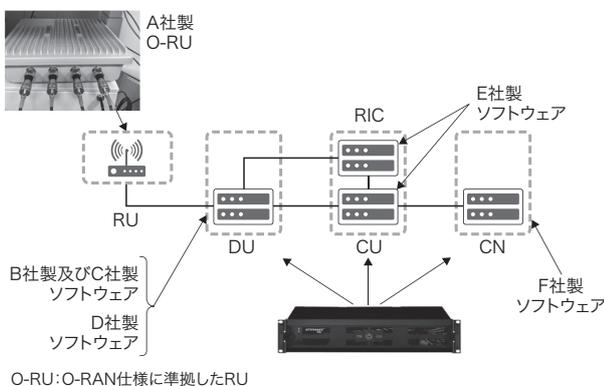


図 1. O-RAN アーキテクチャを採用したマルチベンダー基地局

O-RAN アーキテクチャを採用することで、マルチベンダー構成の基地局を構築した。

Multivendor base station based on Open RAN architecture

また上り通信を中心に利用する場合、下り通信に 5 スロット、上り通信に 4 スロットを割り当て、下り・上り通信の間にスロットを構成するシンボルを下り通信に 6 シンボル、上り通信に 4 シンボルを割り当てることで、下り通信の最大スループット 172 Mビット/s、上り通信の最大スループット 49 Mビット/s を達成した。

このシステムの通信遅延を、図 2 に示す。平均遅延は約 10 ms であり、リアルタイム性を要求する多くのアプリケーションに対応できる値である。

### 3. エンドツーエンドネットワークスライシング技術

#### 3.1 エンドツーエンドネットワークスライシングの必要性

ネットワークスライシングは、アプリケーションごとの通信要求に対応するために必要な技術の一つである。ネットワークスライシングの基本原理は、物理的に確保された通信資源を、複数の論理的な通信資源に分ける（スライス）ことである。5G では、ユーザー端末からサーバーまでの通信資源を一貫した制御の下でスライシングするエンドツーエンドネットワークスライシングが可能であり、通信要求に沿った通信資源の分割利用を最適化できる。

ローカル 5G システムにネットワークスライシングを導入してエンドツーエンドネットワークスライシングを可能にすることで、アプリケーションは様々なメリットを享受できる。特に、応答遅延要求が厳しいアプリケーションがほかのアプリケーションと共存する場合に、顕著な効果が得られる。また、スライシングの考え方は、通信資源だけでなく、計算資源やストレージなどほかの資源に対しても適用できる。

一方、ローカル 5G システムにおいて、このネットワークスライシングの仕組みを構築するには、アプリケーション間で利用される通信資源の完全な分離と、関連するコンポーネントのリソースを制御するオーケストレーション技術が必要である。これをアプリケーションごとに構築する場合、熟練した運用スキルや導入・保守コストが必要になる。

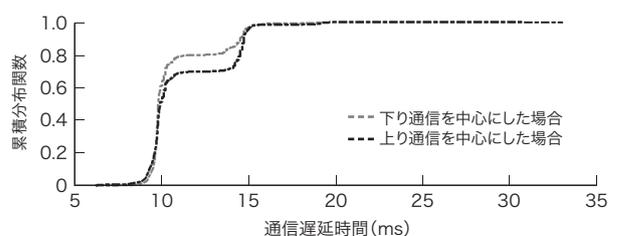


図 2. 構築したローカル 5G システムの通信遅延

上り/下り通信のどちらを中心に設定しても、通信遅延は約 10 ms を達成した。これにより、リアルタイム性を要求するアプリケーションに対応できる。

Results of local 5G system communication latency measurements

### 3.2 RICを用いたエンドツーエンドネットワークスライシング

アプリケーションの通信要求に合わせて、ネットワークスライスを自動生成・管理するエンドツーエンドネットワークスライシングの構成を、図3に示す。ここでは、O-RANアーキテクチャーのRICを用いて、DU・CU・CNに対して、ネットワークスライスの構築を指示する。これにより、アプリケーションごとに完全に分離されたエンドツーエンドのネットワークスライシングを実現できる。

この技術は、次の二つの機能で構成する。一つはアプリケーションの要望に応じたスライスのプロファイル生成機能(CSRF)であり、もう一つは、ネットワークスライスのマネジメント機能(NSMF)である。CSRFBは、アプリケーションの要望やオペレーターからの事前に決められたスペック要求を、ネットワークスライスのプロファイルへ変換する。生成されたプロファイルでは、アプリケーションに合わせたQoS(Quality of Service)制御が定義される。

NSMFは、DU・CU・CNと複数のコンポーネントをまたいだインスタンスの生成・管理・オーケストレーションを行う。DUには、独立した通信資源の割り当てを可能にするインスタンスを構築する。CUには、端末の通信制御に関するコントロールプレーン(CP)と、端末との通信データに関するユーザープレーン(UP)のそれぞれに対応したインスタンスを構築する。CNは、ネットワークスライスに関するインスタンスの生成を行う。CNには、ネットワークスライスを動的に管理する機能が備わっており、RICインターフェースを通じて、ネットワークスライスに必要なインスタンスを生成・削除・更新する。

図4に、ローカル5Gシステムにおけるネットワークスライ

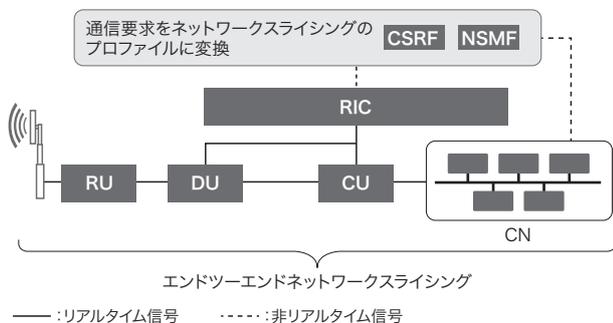


図3. ローカル5Gシステムのエンドツーエンドネットワークスライシングの構成

RICが、DU・CU・CNに対してネットワークスライスの構築を指示することで、アプリケーションごとに完全に分離されたエンドツーエンドのネットワークスライシングを実現する。

Outline of end-to-end network slicing method

シングの概要を示す。ネットワークスライシングは、CN上のファンクションとして、端末のアクセスと移動を管理するAMF (Access and Mobility Management Function)、通信のセッションを管理するSMF (Session Management Function)、及びユーザーデータを外部ネットワークにつなぐUPF (User Plane Function)を用いる。図4(a)の例では、共通利用するCP上のCU (CU-CP)が一つ、及びUP上に二つのCU (CU-UP1, CU-UP2)がある。DUが通信資源を割り当てて、5G端末1, CU-UP1, 及びUPF1がネットワークスライス1を、5G端末2, CU-UP2, 及びUPF2がネットワークスライス2を担う。

ネットワークスライス1と2に、通信資源の80%と20%を割り当てた場合、スループットは8:2に分けられる。実際に測定した結果、下り通信の平均スループットとして、スライス1では216.64 Mビット/s, スライス2では47.72 Mビット/sが得られた(図4(b))。

### 4. フィールド実証

2章で述べたマルチベンダー構成のローカル5Gシステムを、スマートシティでの都市交通の動的な制御に適用し、フィールド実証を行った<sup>(3)</sup>。

図5に示すように、イギリスの南グロスターシャー地域の

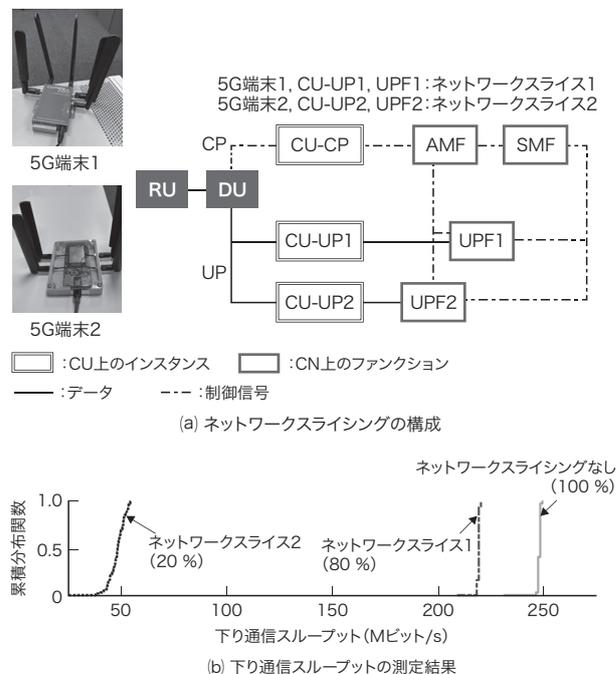


図4. ローカル5Gシステムのネットワークスライシング

通信資源をネットワークスライシングすると、その割合によってスループットが変化する。

Configuration of local 5G system with two network slicing units

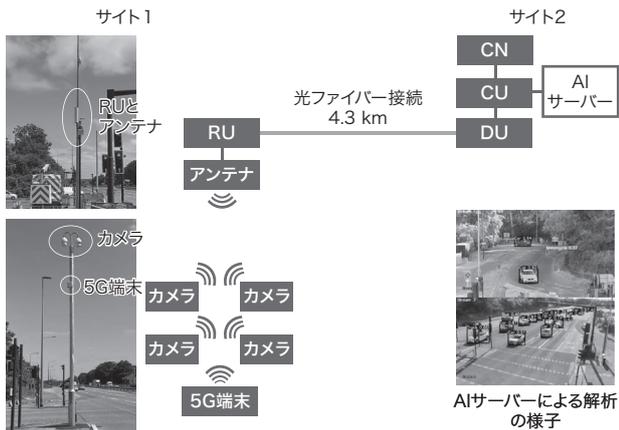


図5. フィールド実証

ローカル5Gシステムの現実社会への適用に向けて、交差点信号の最適化制御を実施し、安定動作を確認した。

Field tests of local 5G system assuming use cases for smart city

交差点(サイト1)とブリストルアンドバスサイエンスパーク(サイト2)を、4.3 kmの光ファイバーで接続した。O-RANアーキテクチャーに基づくローカル5Gシステムは柔軟な機器配置が可能であるため、サイト1にはRUだけを設置し、サイト2に残りの機器を設置した。都市交通の動的制御実証を行う際は、ローカル5Gシステムの低遅延性や高速通信性に加えて、AIや機械学習(ML)を用いた。ローカル5Gシステムに接続した4台のカメラが、交差点の様子を撮影し、映像データをサイト2に送信した。送信された映像を、AIやMLでリアルタイムに解析し、この情報を基に、スムーズな交通を実現するための交差点信号の最適化制御を実施した。

このとき、ローカル5Gシステムで送受信される映像配信と交差点信号の制御情報は、異なる通信要求を持つ。すなわち、映像配信は大容量通信が、制御情報は低遅延通信が、それぞれの通信要求である。また、これらの通信要求は、カメラの接続台数、制御対象の交差点信号の台数に応じて変わる。更に、従来は想定されていなかった機器を増設する際はシステムのカスタマイズが必要になり、対応に時間を要していた。これに対して、エンドツーエンドネットワークスライシング技術を適用したことで、アプリケーションの通信要求に合わせたカスタマイズを自動化でき、迅速なシステム導入を可能にした。

このように、アプリケーションの通信要求をサイトごとに把握し、それぞれの通信要求に対応したエンドツーエンドのネットワークスライシングを構築したことにより、システムの安定動作を実現できた。

## 5. あとがき

O-RANアーキテクチャーの採用により、柔軟な構成変更が可能なローカル5Gシステムを開発した。エンドツーエンドネットワークスライシング技術を適用したローカル5Gシステムを構築してスマートシティでフィールド実証を行い、安定動作を確認した。

これは、ローカル5Gシステムの柔軟性、低遅延性、高速性を活用したデジタルトランスフォーメーションの事例である。今後は、実用化に向けて、大規模なフィールド実証などを進めていく。

## 文献

- (1) Aijaz, A. Private 5G: The Future of Industrial Wireless. IEEE Industrial Electronics Magazine. 2020, 14, 4, p.136-145. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9299391>, (accessed 2024-08-02).
- (2) ORAN.WG1.OAD-R003-v12.00(Technical Specification):2024. O-RAN Architecture Description. WG1(Use Cases and Overall Architecture Workgroup), O-RAN ALLIANCE e.V.
- (3) Aijaz, A. et al. "Open RAN for 5G Supply Chain Diversification: The BEACON-5G Approach and Key Achievements". Proc. IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN). Munich, Germany, 2023-11, p.1-7.



アドナン アイジャズ Adnan AIJAZ, Ph.D.

東芝欧州社  
工学博士  
IEEE会員  
Toshiba Europe Ltd.



鬼塚 浩平 ONIZUKA Kohei, Ph.D.

東芝欧州社  
工学博士  
IEEE会員  
Toshiba Europe Ltd.



米澤 祐紀 YONEZAWA Yuki

研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所  
ワイヤレスシステムラボラトリー  
電子情報通信学会会員  
Wireless System Lab.



谷口 健太郎 TANIGUCHI Kentaro, Ph.D.

研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所  
ワイヤレスシステムラボラトリー  
工学博士 電子情報通信学会会員  
Wireless System Lab.