

線状に広がる社会インフラの安定的な無線通信を確保するローカル5G DAS

Local 5G DAS Providing Stable Wireless Communications to Linearly Located Social Infrastructure Systems

大屋 靖男 OHYA Yasuo 旦代 智哉 TANDAI Tomoya 福島 竜也 FUKUSHIMA Tatsuya 大野 健一 OHNO Kenichi

特定のエリアや用途に特化して独自に自営の5G（第5世代移動通信システム）無線網を構築・運営できるローカル5Gは、高速・大容量・低遅延なネットワーク特性から、様々な産業分野においてサイバーフィジカルシステム（CPS）の構築手段として注目されている。

東芝インフラシステムズ（株）は、道路や鉄道、河川などに沿って線状に広がる社会インフラシステムに対し、安定的にローカル5Gを提供できる分散型アンテナシステム（DAS：Distributed Antenna System）を開発した。実験により、対象エリア全域への十分な受信電力と安定した通信速度を確保しながら無線エリアを拡張していくことが可能であることや、電波遮蔽物がある状況でも安定した通信が確保できることを実証した。

In recent years, local 5G, which allows municipalities and companies to build and operate their own fifth-generation mobile communication system (5G) networks according to regional and individual needs, has attracted attention as a means of constructing cyber-physical systems in various industrial spheres thanks to features such as high speed, high capacity, and low latency.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has developed a distributed antenna system (DAS) for local 5G networks to provide stable wireless communications to social infrastructure systems linearly located along roads, railroads, rivers, and so on. DAS demonstration experiments have verified that it can expand the communication area while securing sufficient received power and stable communication speed inside a targeted area, as well as ensuring stable communication performance even in cases where shielding objects are located.

1. まえがき

社会インフラを支えるシステムにおいて、運用管理の効率化や品質管理の強化、及び生産性向上に資する新サービス創造への取り組みが進められている。これを実現するアプローチとして、カメラやセンサーを通じて現実世界から収集したデータをサイバー空間で分析・処理し、その結果を現実世界に迅速にフィードバックするCPSの構築が挙げられる。このようなデータの循環サイクルを加速するためには、高速・大容量・低遅延な通信環境が求められる⁽¹⁾。

この通信環境を実現するために、ローカル5Gの活用が期待されている。ローカル5Gは、高い安定性とセキュリティを確保して無線通信を提供する技術である⁽²⁾。

東芝インフラシステムズ（株）は、より柔軟に無線エリアを構築するためにローカル5G対応のDAS（以下、ローカル5G DASと略記）を開発・製品化し、既に複数の基地局パートナーと接続検証を実施した。

ここでは、ローカル5G DASによる無線エリアの拡張性について、アンテナの配置構成の違いによる電波受信強度への影響、通信速度とその安定性、及び電波遮蔽物による影響の、三つの観点で性能を評価した結果について述べる。

2. ローカル5G DASの概要

ローカル5Gの活用が期待される道路や鉄道、河川などに関連した社会インフラシステムでは、細長いエリアに安定した無線環境を提供しつつ、他者の土地への電波漏えいを抑えることが求められる。また、車両や構造物などにより電波が遮蔽されるおそれがある。このような無線エリアでの安定した通信の実現を目的として、DASが適用される。

ローカル5G DASの構成を図1に示す。DASは、親機（MU：Master Unit）、中継機（HU：Hub Unit）、子機（RU：Remote Unit）で構成される。MUは、ローカル5G基地局から入力された無線信号を光デジタル信号に変換し、複数のHUやRUへ信号を分配する。RUは、光デジタル信号を無線信号に復元し、信号を増幅させた後、アンテナへ出力する。

1台のMUには最大8台のHUが、HUには最大16台のRUが接続可能である。RUは、MU・HUに対してスター接続する構成と、RU同士をカスケード（数珠つなぎ）接続する構成を組み合わせることができる。カスケード接続する場合、一つのRUの故障が後段のRUへの通信に影響しないように、光スイッチで故障したRUをバイパスする機能も

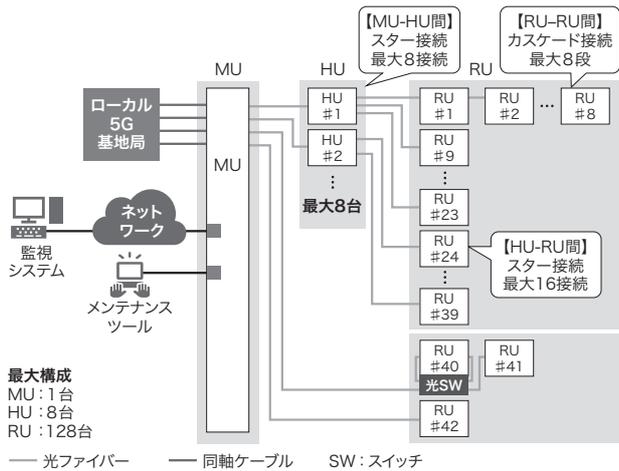


図1. ローカル5G DASの構成

ローカル5G基地局からMUへ入力された無線信号は、光デジタル信号に変換され、複数のHUやRUへ分配される。

Configuration of DAS for local 5G

付加できる。また、MUはDAS全体の制御・監視を行うためのメンテナンスツールや外部の監視システムとの連携機能を持つ⁽³⁾。

ローカル5Gの無線エリアを同一周波数で拡張する場合、複数のローカル5G基地局で拡張する方法と、DASのRUで拡張する方法の2通りが考えられる。図2に、両者を比較して示す。ローカル5G基地局から電波が届く範囲をセル

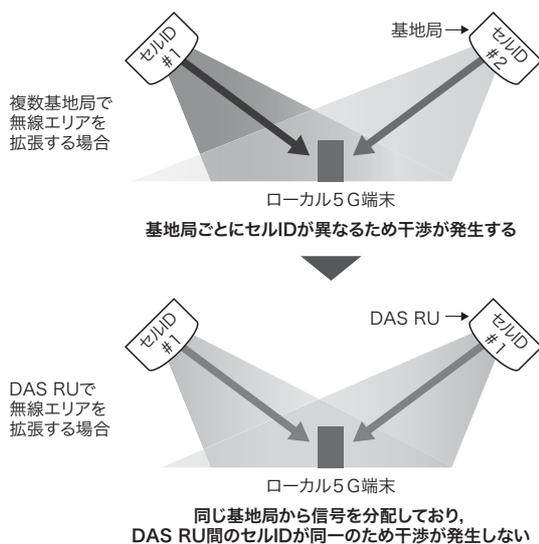


図2. 同一周波数でローカル5Gの無線エリアを拡張する方法の比較

複数のローカル5G基地局を用いた場合、セルIDが異なるため干渉が生じるが、DASのRUを用いた場合には、セルIDは同一であるため干渉は生じず、安定した通信を提供できる。

Comparison of methods for extension of local 5G communication area in case of same frequency

と呼び、それぞれ個別の物理セルID (PCI: Physical Cell Identifier (ID))を持つ。複数のローカル5G基地局で拡張する場合、セルが重なる無線エリアは、セルIDの異なる信号が混在するため、干渉が生じる。干渉が発生すると信号品質が劣化し、通信速度(スループット)の低下につながるため、通信の安定性が阻害される。一方、DASで拡張する場合は、各RUが同一の物理セルIDを持った無線信号を送信するため、信号の干渉は生じず、安定した通信が提供できる。

3. ローカル5G DAS性能の実証実験

アンテナの配置構成の違いによる性能への影響を確認した。図3(a)のようなローカル5G DASの無線エリアで、図3(b)の(1)に示す指向性アンテナからの電波の高強度方向(以下、アンテナ方向と略記)を向かい合わせて配置する構成と、(2)に示すアンテナが配列する方向にアンテナ方向をそろえて配置する構成のそれぞれで拡張する場合について、性能を評価した。評価は、周囲の建物などによる電波への影響を避けるため、屋外の遮蔽物のない平地で実験を行った。

3.1 受信電力の測定

電波受信強度への影響を確認するため、受信電力(RSRP: Reference Signal Received Power)を測定した。図4に、図3(b)の(1)の構成で、RU1に接続するアンテナ1と、その160 m先のRU2に接続するアンテナ2とを、アンテナ方向

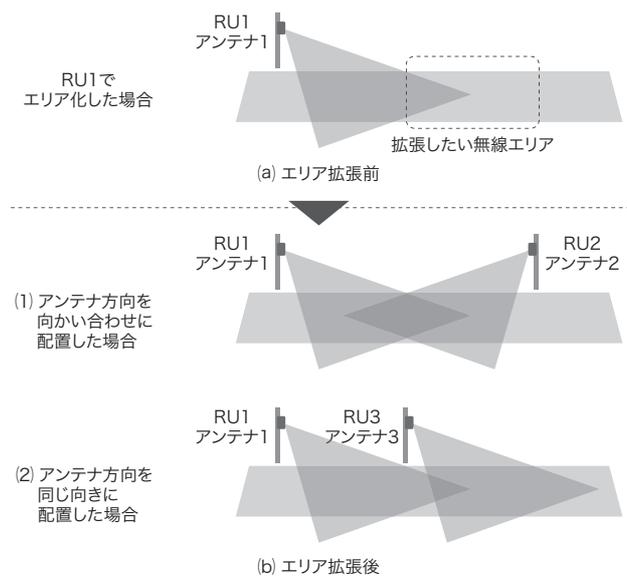


図3. 実証実験でのアンテナ配置パターン

無線エリアを拡張する際に、RUに接続するアンテナ方向を、向かい合わせとする配置、及び同じ向きとする配置の2通りとして、性能測定を実施した。

Positions of antennas in demonstration experiments

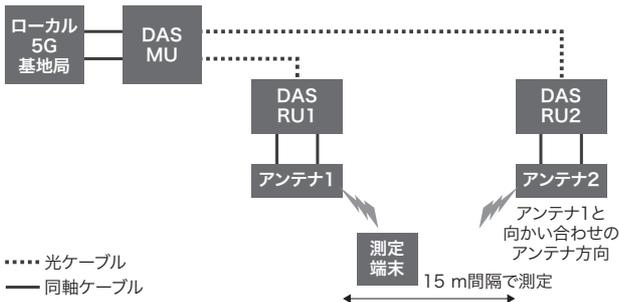
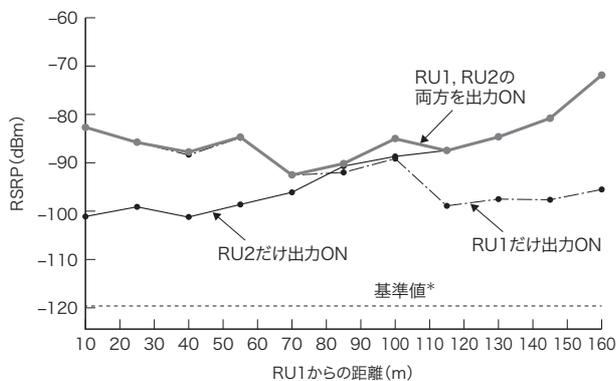


図4. アンテナ方向を向かい合わせに配置した場合のRSRPの測定機器構成

RU1, RU2に接続するアンテナ方向を向かい合わせに配置し、その間を15m間隔でRSRPを測定した。

Configuration of reference signal received power (RSRP) measurements in case of two antennas facing each other



*電波法関係審査基準に示される無線エリアでの受信電力の基準値 (RSSI (Received Signal Strength Indicator) 値をRSRP値に換算して算出)

図5. アンテナ方向を向かい合わせに配置した場合のRSRPの測定結果

RU1, RU2のいずれか一方だけをONにした場合では、RSRPはアンテナからの距離に応じて減衰したが、RU1, RU2を両方ともONにした場合では、全測定点において高いRSRPが得られた。

Results of RSRP measurements in case of two antennas facing each other

を向かい合わせに配置してRSRPを測定した際の機器構成を示す。RU1 だけ出力ON, RU2 だけ出力ON, RU1, RU2の両方とも出力ONの3パターンのそれぞれについて測定し、RSRPを評価した。測定結果を、図5に示す。縦軸はRSRPで、横軸は始点となるRU1からの距離を示す。RU1 だけ出力ONとしたパターンでは、始点から距離が遠くなるにつれて、RSRPが減衰した。RU2 だけ出力ONとしたパターンでは、逆に160 m地点に近づくほど、RSRPが増加した。RU1, RU2の両方とも出力ONとしたパターンでは、全ての距離で、電波法関係審査基準に示される無線エリアでの受信電力の基準値よりも20 dB以上高いRSRPを維持できていた。このように、一定間隔で複数のRUを配置する

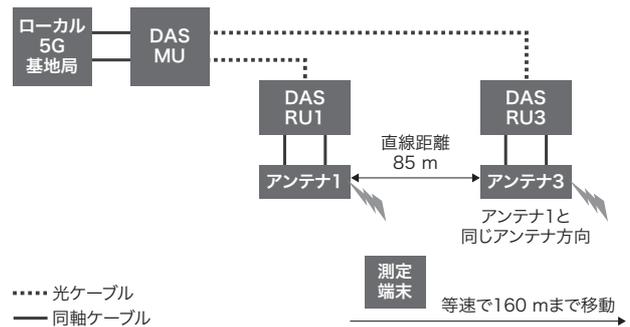


図6. アンテナ方向を同じ向きに配置した場合のスループットの測定機器構成

RU1, RU3に接続するアンテナ方向を同じ向きに配置し、測定端末をRU1のアンテナ位置からRU3のアンテナ位置を通過するように等速で移動させながらスループットを測定した。

Configuration of throughput measurements in case of locating two antennas in same direction

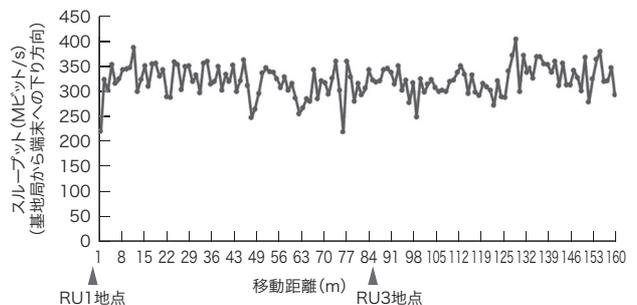


図7. アンテナ方向を同じ向きに配置した場合のスループットの測定結果

瞬断や大きなスループットの低下が発生することなく、安定して通信できることが確認できた。

Results of throughput measurements in case of locating two antennas in same direction

ことで、単独のRUでのRSRPの減衰分を補完した無線エリアが構築できることを確認した。

また、図3(b)の(2)のようにアンテナ方向を同じ向きに配置した構成では、RU1のRSRPが距離に応じて減衰していくが、RU3のアンテナ位置を越えるとRU3のRSRPが支配的となることを確認した。

3.2 通信速度の測定

通信速度とその安定性を確認するため、スループットを測定した。図6に、図3(b)の(2)の構成で、RU1に接続するアンテナ1とその85 m先にRU3に接続するアンテナ3のアンテナ方向を同じ向きに配置し、無線エリア内で端末を移動させて測定した際の機器構成を示す。スループットは、RU1, RU3の両方とも出力ONの状態、端末を等速度で160 m先まで移動しながら測定した。測定結果を、図7に示す。

縦軸は基地局から端末への下り方向のスループットを、横軸は移動距離を示す。移動しながらの通信において、瞬断や大きなスループットの低下が発生することなく、安定して通信できることを確認した。

また、図3(b)の(1)のようにアンテナ方向を向かい合わせて配置した構成でも、同様に瞬断や大きなスループットの低下が発生することなく、安定して通信できることを確認した。

3.3 無線エリア内の電波遮蔽物に対するDASの有効性検証

無線エリア内に電波遮蔽物がある状況でのDASの有効性について検証した。図8に、測定時の構成を示す。測定端末からRU1の見通し方向に電波遮蔽物(車両)を配置した。図3(b)の(1)の構成で、RU1だけ出力をONにした場合の電波遮蔽物の影響と、RU1、RU2の両方とも出力をONにした場合の受信状態の改善状況について評価を実施した。

測定結果を表1に示す。測定端末からRU1の見通し方向に電波遮蔽物がある状況で、RU2を出力ONすることにより電波遮蔽物なしの状況と同等のRSRPに改善し、複数のRUの設置が有効であることを確認した。

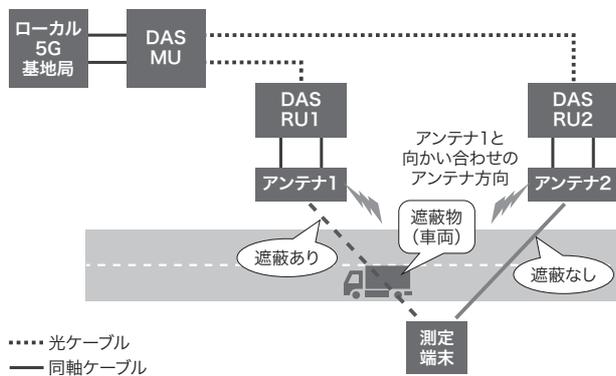


図8. 電波遮蔽物が存在する場合のRSRPの測定機器構成

RU1のアンテナと測定端末の間に電波遮蔽物が存在する状態で、測定端末が見通せる位置にあるRU2のアンテナの有効性を検証した。

Configuration of RSRP measurements in case of existing shielding object

表1. 電波遮蔽物が存在する状況でのRSRPの測定結果

Results of RSRP measurements in case of existing shielding object

項目	RU1だけ出力ON		RU1, RU2ともに出力ON
	電波遮蔽物なし	電波遮蔽物あり	電波遮蔽物あり
RSRP (dBm)	-106.2	-111	-105.2

4. あとがき

ローカル5G DASによる無線エリアの拡張性の実証を目的として、複数のアンテナ配置構成で実験を行い、一定の間隔で複数のアンテナを配置することにより、無線エリア全体で十分な受信電力と安定した通信速度が得られ、かつ電波遮蔽物に対して有効であることを確認した。

社会インフラを支える新サービス創造のアプローチであるCPSにおいて、データ循環を加速するための通信インフラの一手段としてDASを様々な産業分野に展開していく。

文献

- 久保亮吾, ほか. “サイバー・フィジカルシステムを支える通信技術”. 2022年電子情報通信学会総合大会論文集. オンライン開催, 2022-03, 電子情報通信学会, 2022, BI-4-1-BI-4-5.
- 伊藤陽介. “Beyond 5G時代を見据えたローカル5Gの社会実装の展望”. 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集, 2022-09, 電子情報通信学会, 2022, BS-1-6.
- 堀田幸暉, 中尾彰宏. ローカル5Gにおける低遅延映像配信の安定化を実現する基地局無線パラメータ設定の動的制御. 電子情報通信学会技術研究報告, 2023, 123, 177, p.59-64.



大屋 靖男 OHYA Yasuo

東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部
インフラサービス創造部
電子情報通信学会・映像情報メディア学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



旦代 智哉 TANDAI Tomoya, Ph.D.

東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部
インフラサービス創造部
博士(工学) IEEE・電子情報通信学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



福島 竜也 FUKUSHIMA Tatsuya

東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部
インフラサービス創造部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



大野 健一 OHNO Kenichi

東芝インフラシステムズ(株) 社会システム事業部
インフラサービス創造部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.